



AUBERT&DUVAL



UKAD

Titane

Laurent CLUZEL / Etienne ARCHAUD

15 / 10 / 2019



eramET

Sommaire

Introduction

O1 - Métallurgie du Titane

O2 - Filière de production

O3 - Contrôle de laboratoire

O4 - Applications

O5 - Conclusion



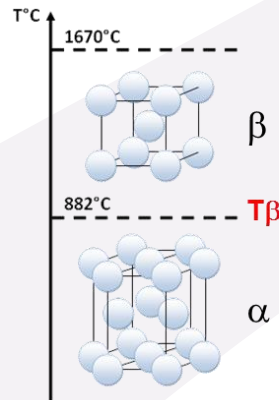
Introduction

Titane Pur

- **Numéro atomique: 22**
- **Masse volumique: 4,51 g/cm³**



- **Température de fusion: 1668°C**
- **Caractéristiques mécaniques**
 - > Module d'Young: 110 Gpa
 - > Limite d'élasticité: 350 MPa
 - > Contrainte de rupture: 450 MPa
 - > Allongement à rupture: 28%
- **Formes cristallines possibles:**



Introduction

Titane – Intérêts

- **Légèreté**
- **Tenue à la corrosion excellente**
- **Bio-compatibilité**

- **Caractéristiques mécaniques élevées (même jusqu'à 550°C pour certains alliages)**
- **Certains alliages utilisables aux températures cryogéniques**
- **Bonne stabilité thermique**
- **Propriétés superplastiques: propriété de déformation plastique à haute température**
- **Compatibilité avec les matériaux composites**
- **Faible conductivité thermique**
- **Amagnétique**

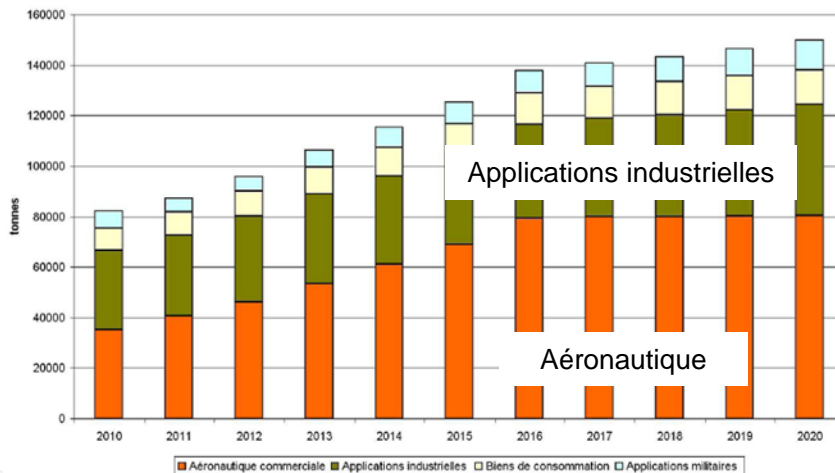
Introduction

Le titane est le 9ième élément le plus abondant sur terre et le 4ième métal le plus abondant.

Seulement 5% du minerai extrait est converti en éponge, le reste étant utilisé comme pigment dans les peintures.

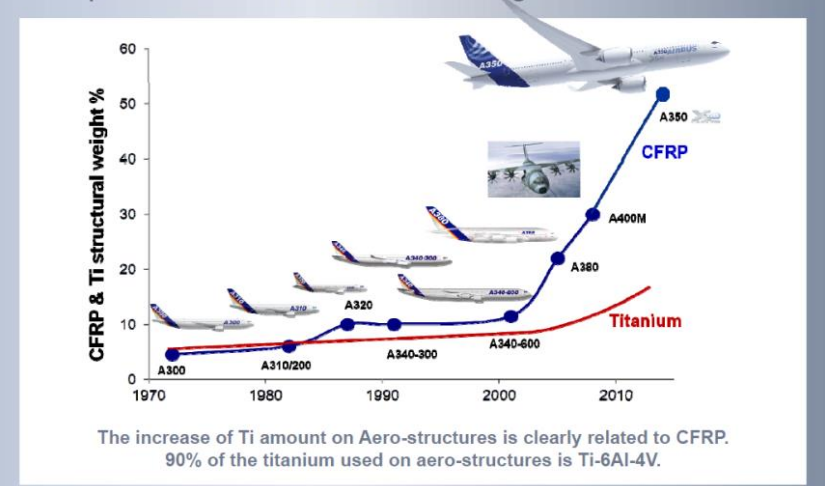
Environ 50% des alliages de titane utilisés pour des applications aéronautiques.

Le TA6V représente environ 65% des alliages de titane fabriqués.



Prévisions de la consommation mondiale de titane

Composite and Titanium increasing use over time



01

Métallurgie du Titane

UKAD

AUBERT & DUVAL
AD

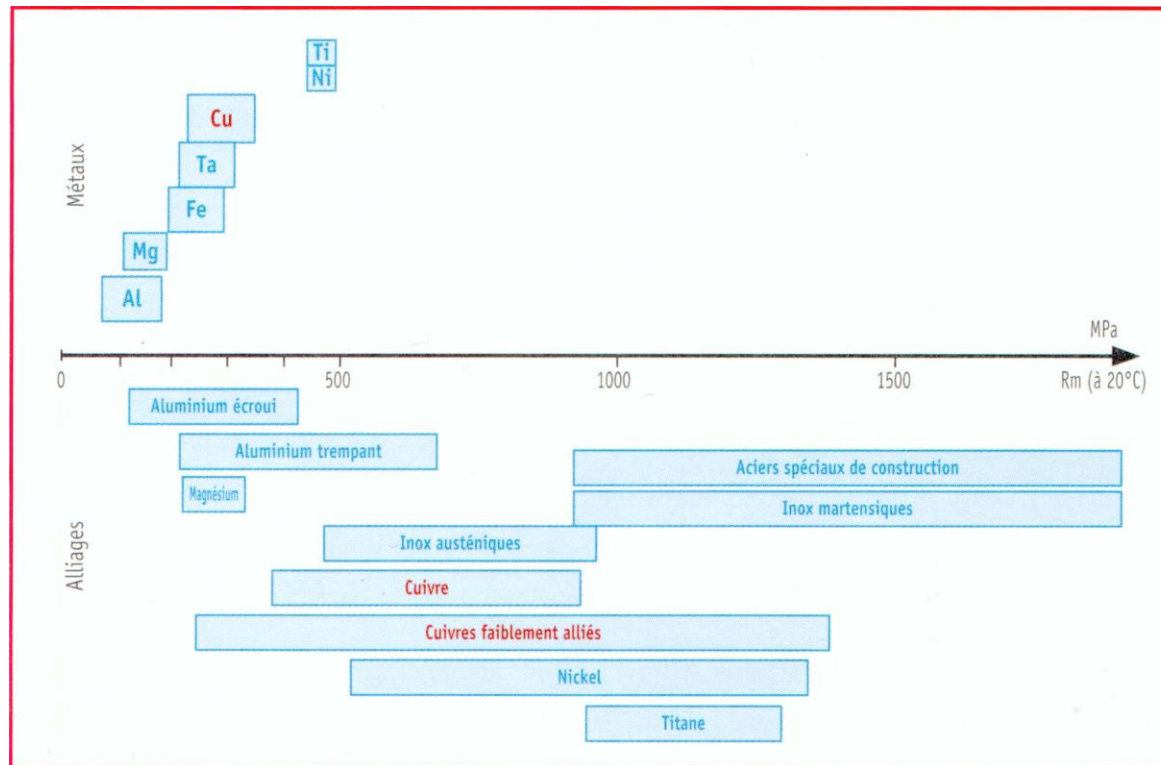
eraMET

Métallurgie du Titane

Alliages de Titane

► Pourquoi faire des alliages de titane?

- > Pour optimiser les propriétés d'emploi
- > Pour leur conférer une réponse aux traitements thermiques et thermomécaniques.



Métallurgie du Titane

Alliages de Titane

▣ **Éléments d'addition sont classés en 3 groupes:**

- > **Éléments alphas:**
 - Al, O, C, N et B
 - Stabilise le domaine alpha, donc augmente la valeur du transus bêta
- > **Éléments bêta:**
 - Mo, V, Nb, Ta, Mn, Fe, Cr, Si, Ni, Cu, H
 - Stabilise le domaine bêta, donc diminue la valeur du transus bêta
- > **Éléments neutres:**
 - Zr, Sn, Hf, Ga

Métallurgie du Titane

Alliages de Titane

Eléments en substitution:

- Molybdène:
 - Améliore la résistance, la ductilité et le fluage moyenne température. Augmente la tenue à l'oxydation. Empêche la précipitation grossière de Ti_3Al , retarde la précipitation fine de Ti_3Al .
- Vanadium:
 - Améliore la ductilité mais baisse la tenue à l'oxydation.
- Chrome:
 - Améliore la résistance, mais baisse la ductilité (limitation à 4% pour les alliages alpha/béta)
- Fer:
 - Améliore le compromis résistance/ductilité/fluage moyenne température. Baisse fortement le transus bêta et permet de travailler plus bas en température
- Silicium:
 - Améliore la tenue au fluage par précipitation de siliciures. On se limite à 1% pour éviter les trop fortes chutes de ductilité.

Métallurgie du Titane

Alliages de Titane

➤ Éléments en insertion:

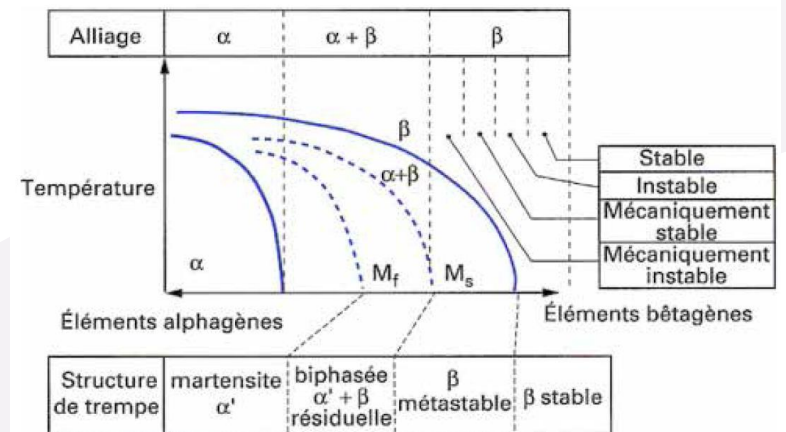
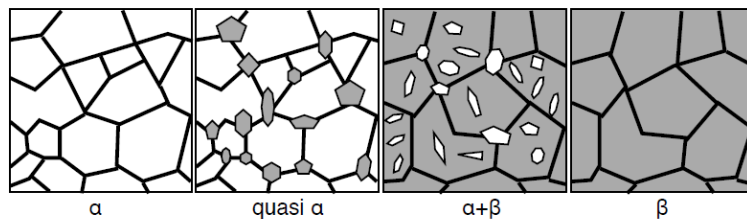
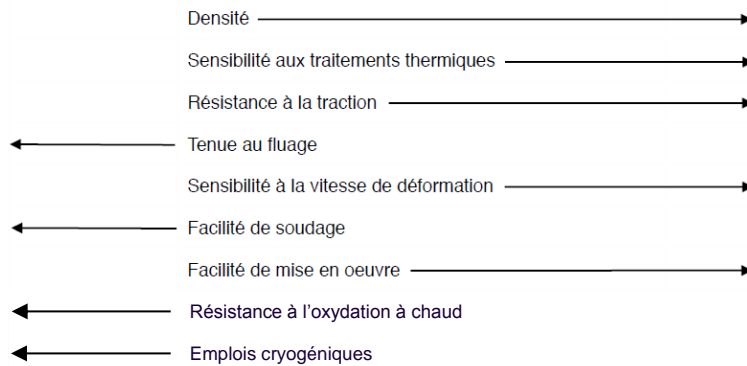
- Hydrogène:
 - Formation d'hydrures, baisse de ductilité. Plus il y a de phase bêta, plus il y a absorption d'hydrogène.
- Oxygène, Azote et Carbone:
 - Durcissent la phase alpha, diminue la ductilité.

Métallurgie du Titane

Alliages de Titane

3 grandes familles d'alliages

- > Alliages α
- > Alliages α - β
- > Alliages β



Métallurgie du Titane

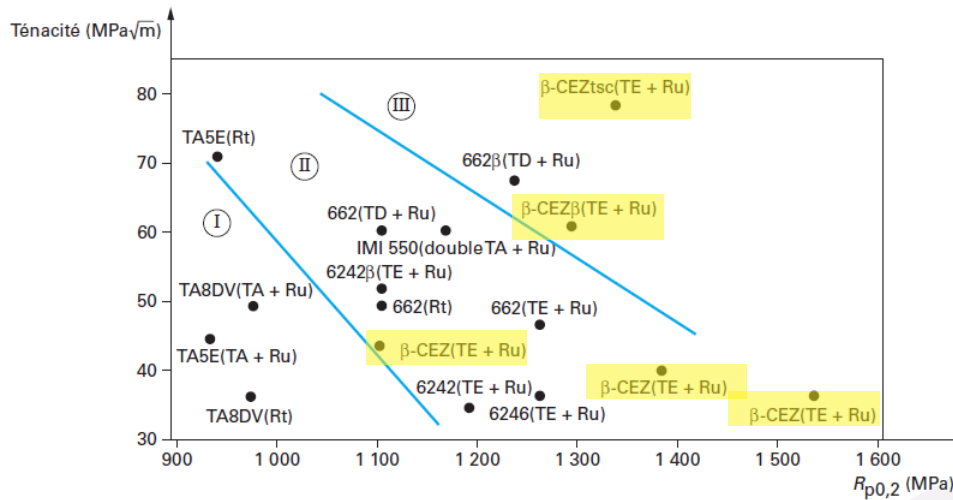
Alliages de Titane

NUANCE	ANALYSE NOMINALE %	TYPE	Transus β	DOMAINE D'UTILISATION
Ti 6242	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	Alpha Bêta	1000	Rouets-disques compresseurs
TA6V	Ti-6Al-4V	Alpha Bêta	1000	Pièces structures – Sphères – Rouets compresseurs- fan
Ti 6246	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	Proche Bêta	945	Rouets- disques compresseurs
Ti 17	Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	Proche Bêta	890	Disques compresseurs
Ti 5-5-5-3	Ti-5Al -5V- 4.5Mo - 3Cr	Quasi-Bêta	850	Pièces structures + Trains atterrissage
Ti 10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	Quasi-Bêta	800	Pièces structures + Trains atterrissage

Métallurgie du Titane

Alliages de Titane

Compromis Rp0,2/K1C



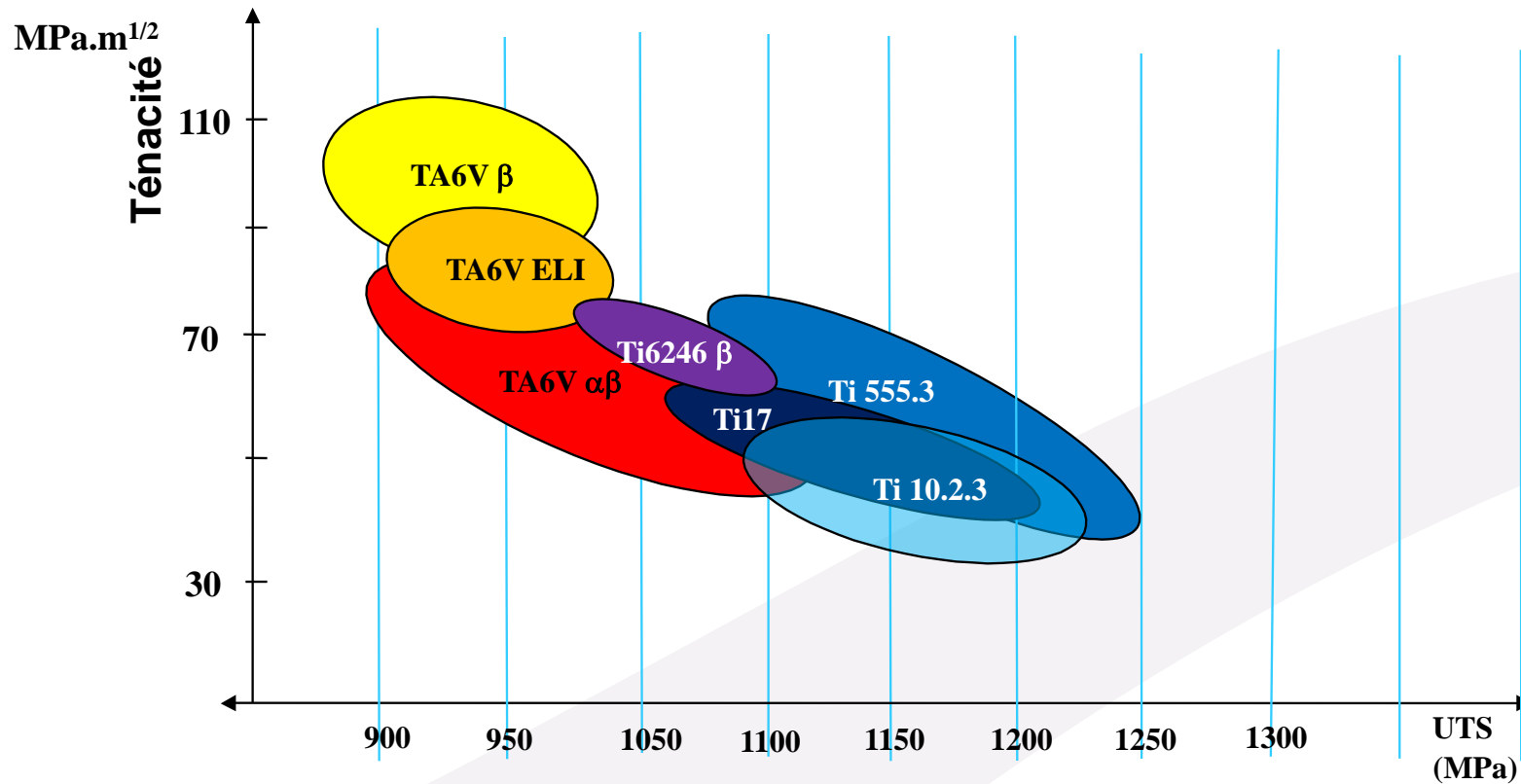
Rt recuit
 Ru revenu
 TE trempé eau
 TA trempé air
 tsc transus sous corroyage
 TD trempé douce
 β β process

Domaine I structure α
 Domaine II structure mixte α + β
 Domaine III structure aiguillée (ou en collier pour le tsc)

Les alliages de titane sont des alliages à traitement thermomécaniques.

Métallurgie du Titane

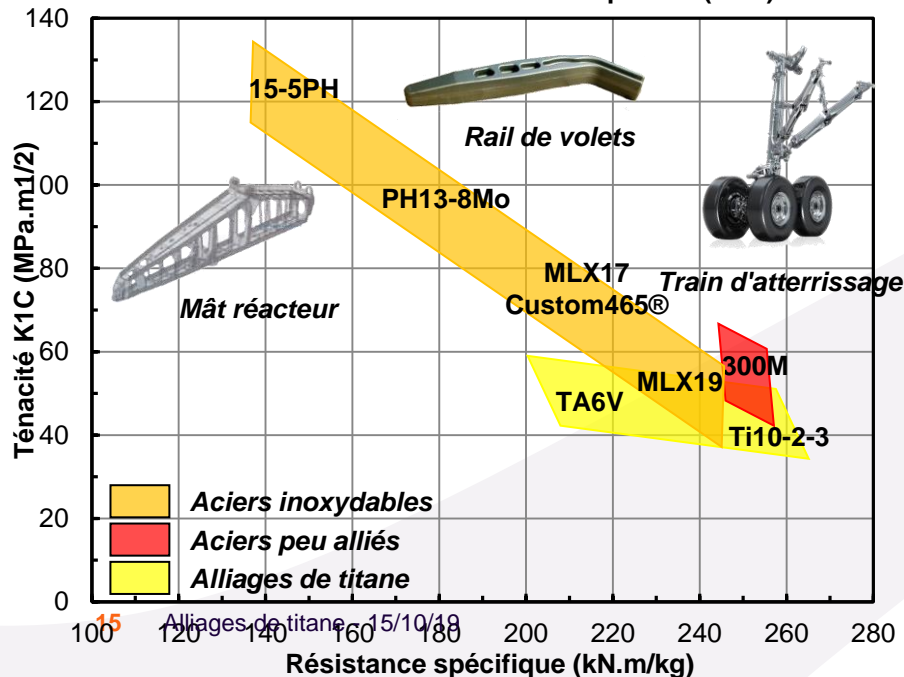
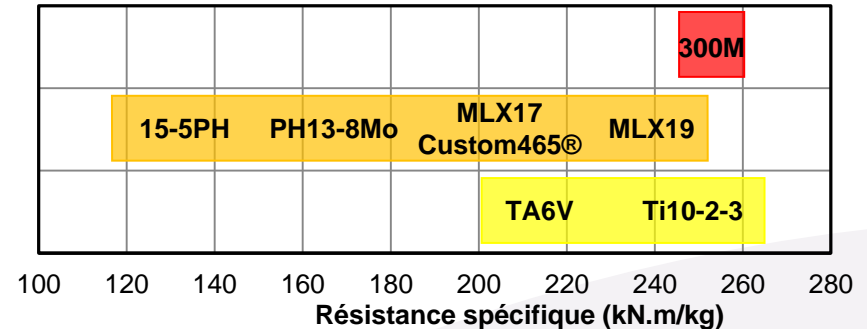
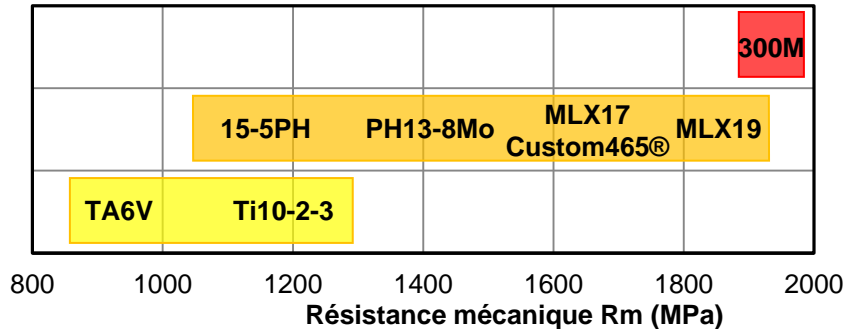
Alliages de Titane – Compromis Rm/K1C



Métallurgie du Titane

Alliages de Titane – Autres alliages

- Aciers inoxydables
- Aciers peu alliés
- Alliages de titane



Ce qui va faire la différence:

- Le prix élevé du titane
- Le volume de la pièce en titane pour une résistance équivalente à l'acier
- La compatibilité avec les pièces composites
- La très bonne résistance à la corrosion du titane (moins de revêtement)

Métallurgie du Titane

TA6V

- **Alliage de titane qui représente 50% du marché mondial des alliages de titane**
- **Alliage α - β**
- **3 types de TA6V**
 - > STD: standard
 - > PQ/DQ: Premium Quality – Disc Quality
 - > ELI: Extra Low Interstitial
- **Composition Chimique**

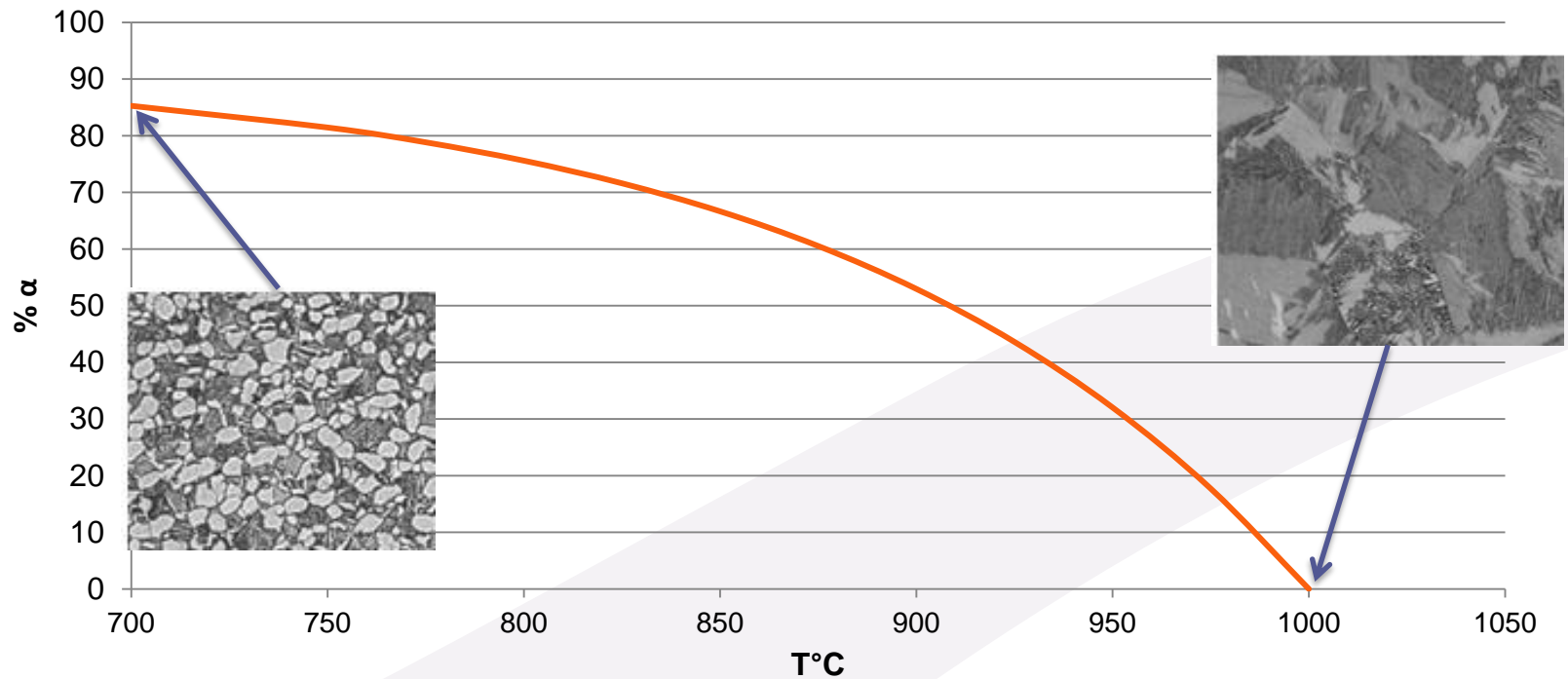
Ti	Al	V	O	C	N	H2	Fe
Balance	6%	4%	< 0,2% STD – PQ/DQ < 0,12% ELI	< 0,080%	< 0,030%	< 0,0125%	< 0,25%

Métallurgie du Titane

TA6V

Transus bêta: 1000°C

Courbe théorique de Castro et Séraphin

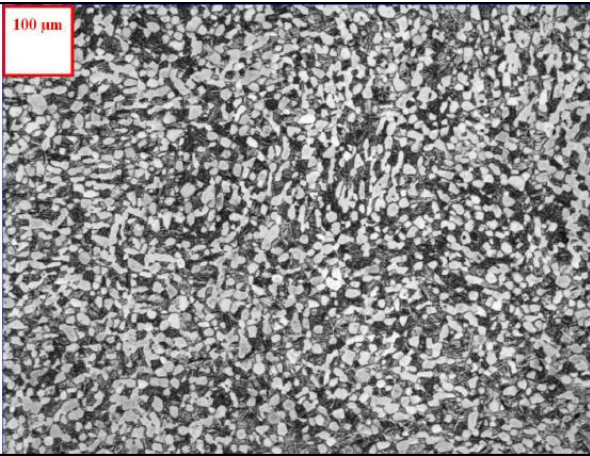


Métallurgie du Titane

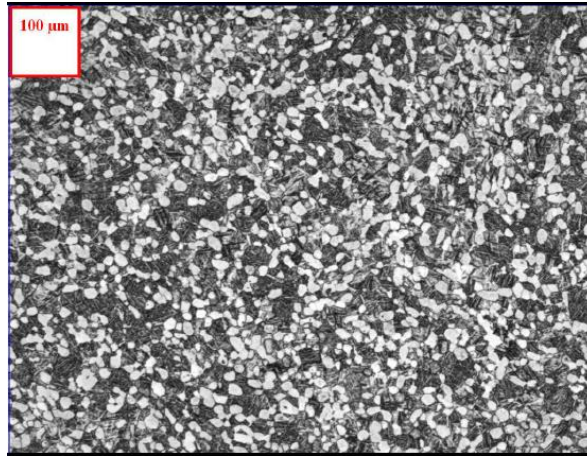
TA6V

➤ Méthode micrographique de détermination du transus

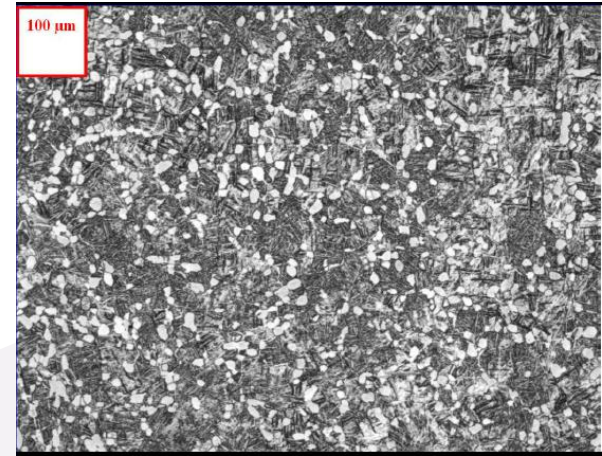
975°C - WQ



980°C - WQ



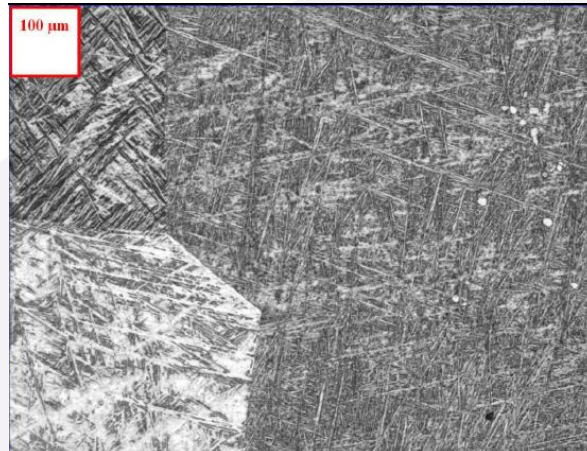
985°C - WQ



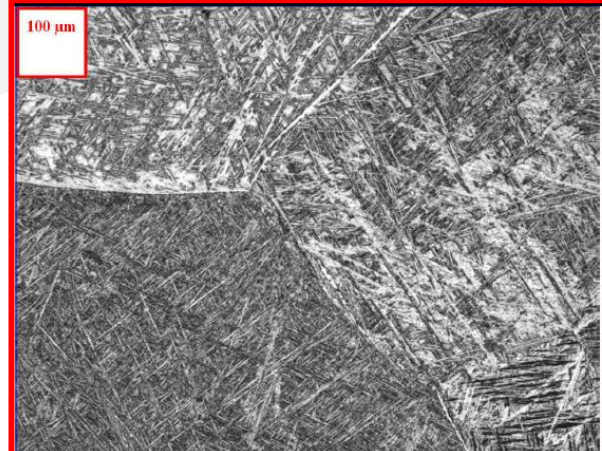
990°C - WQ



995°C - WQ

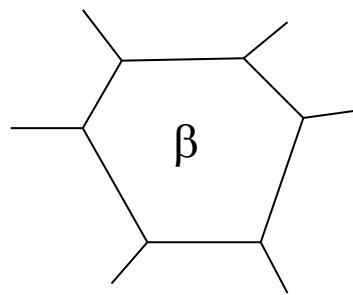
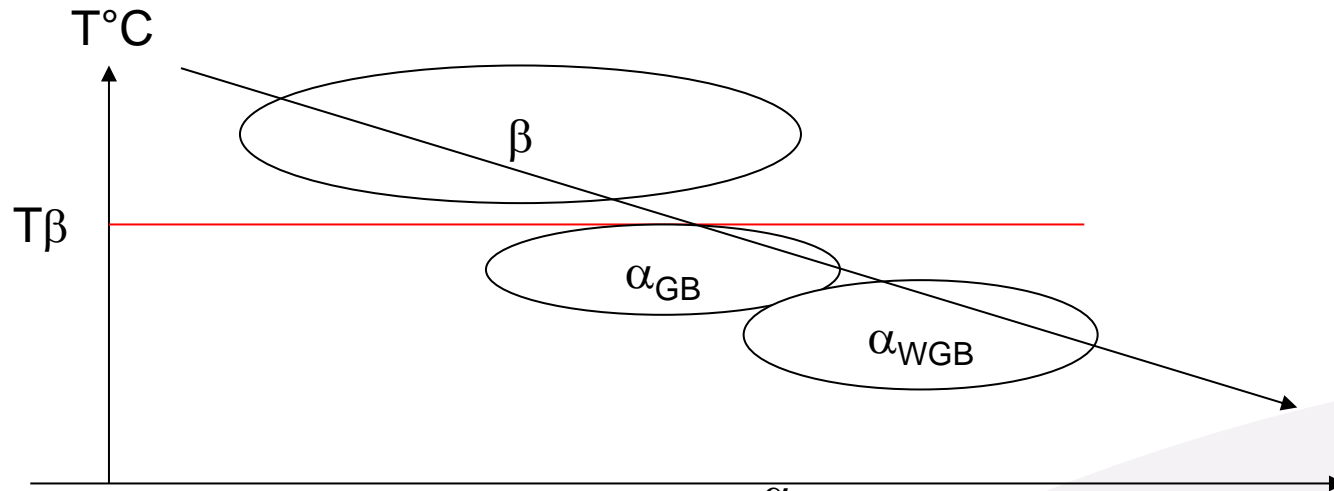


1000°C - WQ



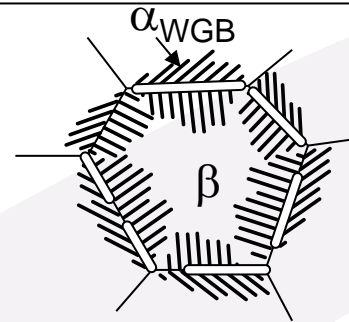
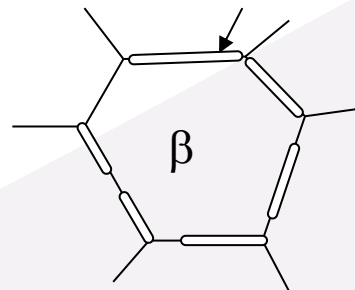
Métallurgie du Titane

TA6V – Refroidissement depuis bêta

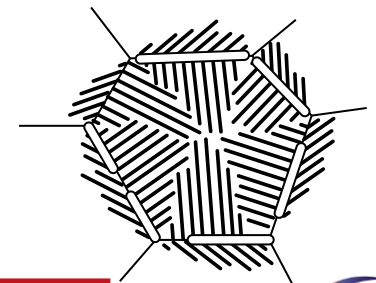


Grains β

Précipitation
des **liserés** α
ou α_{GB}

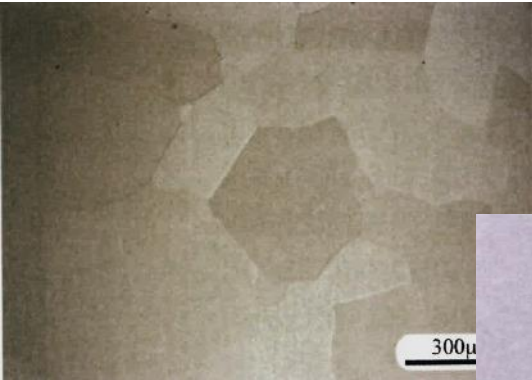


Précipitation de
la **phase** α_{WGB}



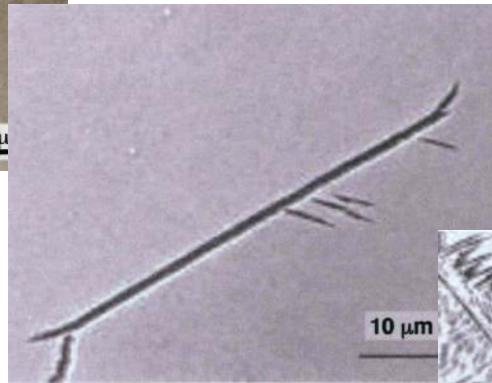
Métallurgie du Titane

TA6V – Refroidissement depuis bêta

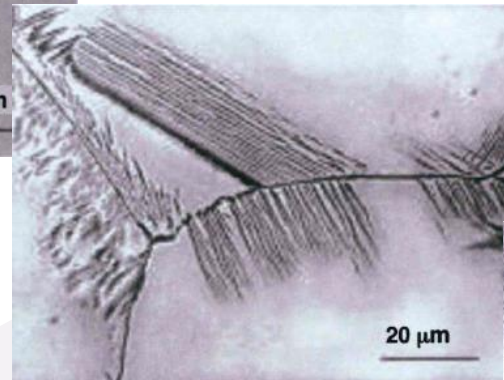


Grains β

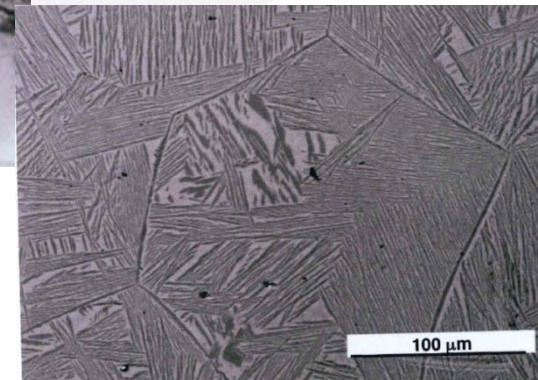
Structure possible seulement pour les alliages β refroidie très rapidement



Précipitation des **liserés** α
ou α_{GB}



Précipitation de la **phase** α_{WGB}



Métallurgie du Titane

TA6V

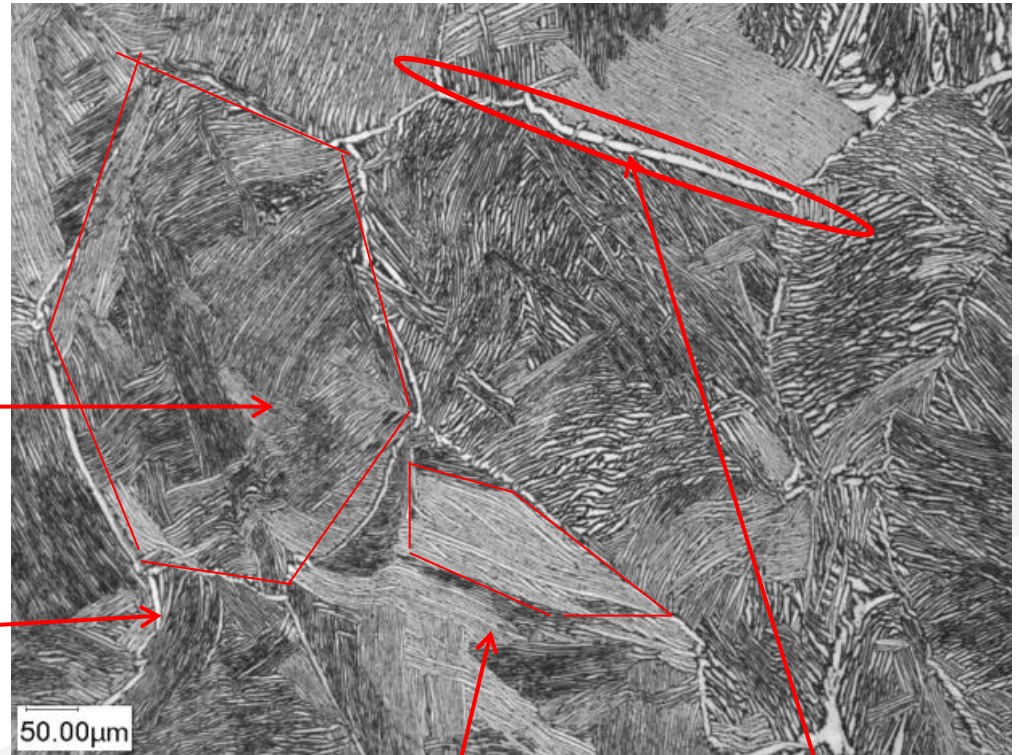
Microstructure « β »

Grain β

(ex grain β)

(= plusieurs colonies α)

(ex) joint de grain β



Colonie α

Liseré α

Métallurgie du Titane

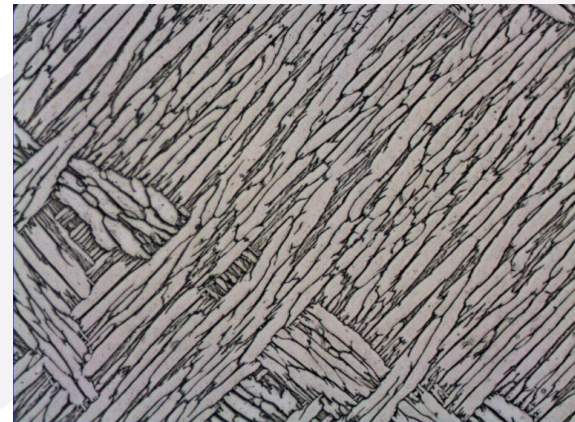
TA6V – Refroidissement depuis bêta



Refroidissement rapide

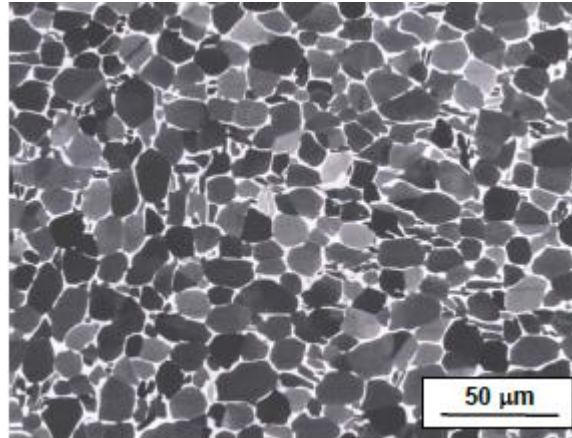


Refroidissement lent

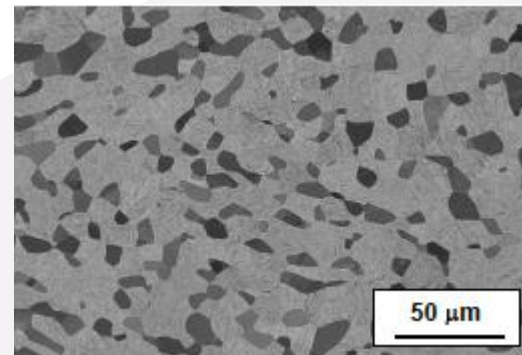
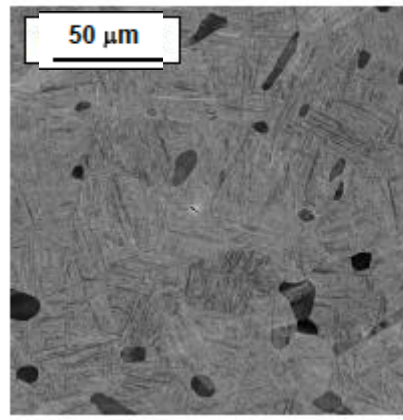


Quiz

Microstructure de l'alliage à l'état de réception



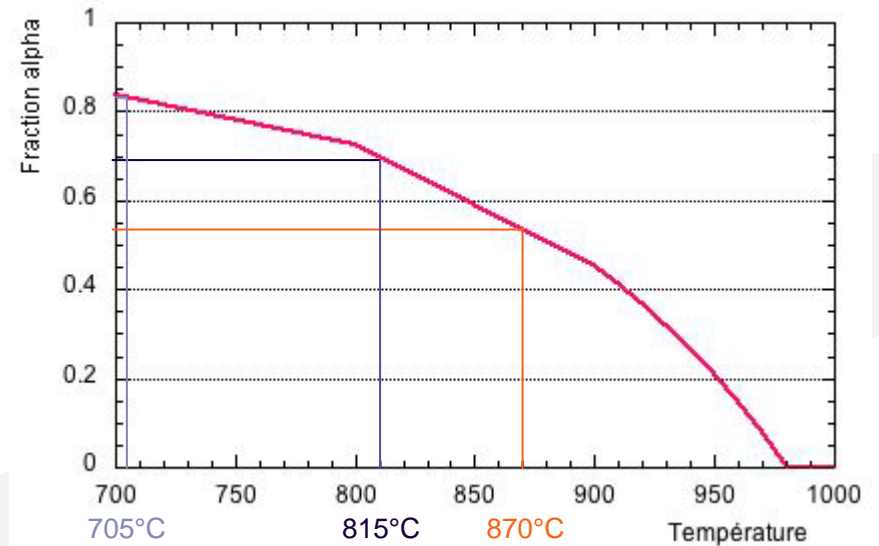
Traitement thermique: maintien 955°C ou 982°C suivi trempe eau.
Quelle température de mise en solution pour chacune des photos?



Quiz

Essais de traitement thermique: A quelle température ont été trempées les produits?

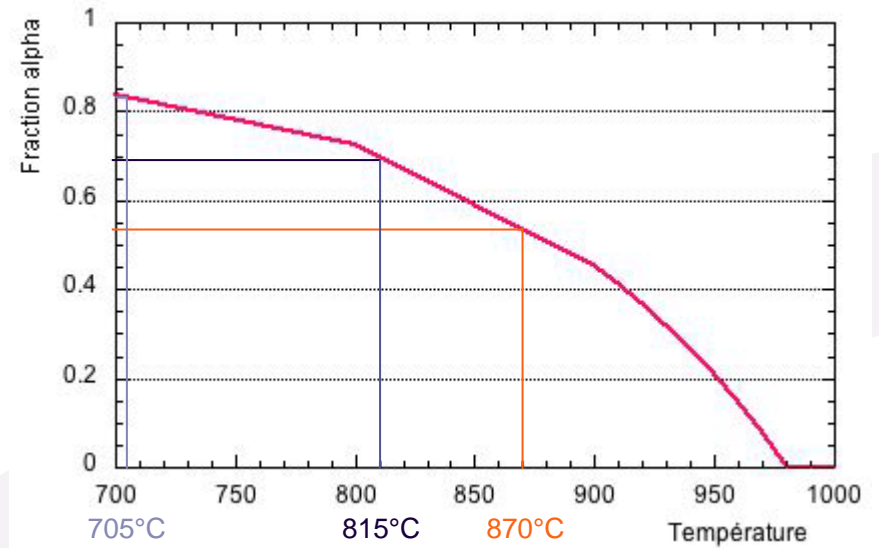
N°essai	Tm (°C) T° maintien	Vr (°C/min) Vit. Ref	Tq (°C) T° Trempe	% alpha
1	955	11	?	0,54
2	955	11	?	0,69
3	955	11	?	0,83
4	955	42	?	0,54
5	955	42	?	0,69
6	955	42	?	0,83
7	955	194	?	0,54
8	955	194	?	0,69
9	955	194	?	0,83



Quiz

Essais de traitement thermique: A quelle température ont été trempées les produits?

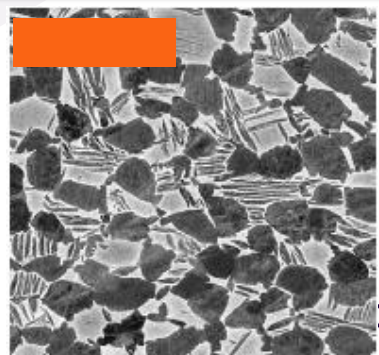
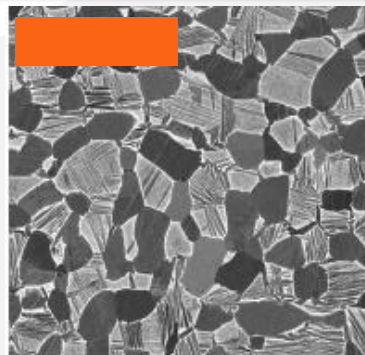
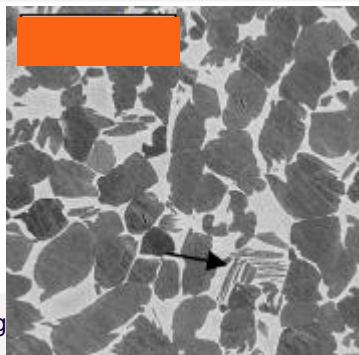
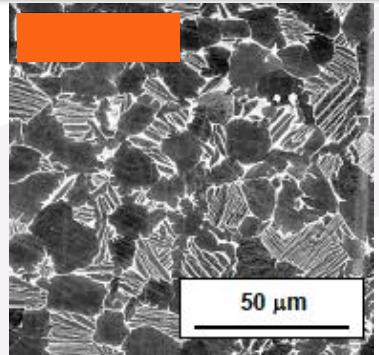
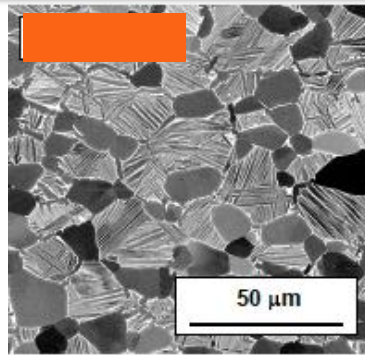
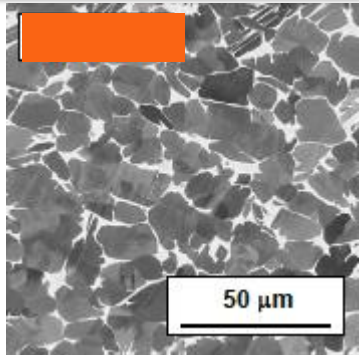
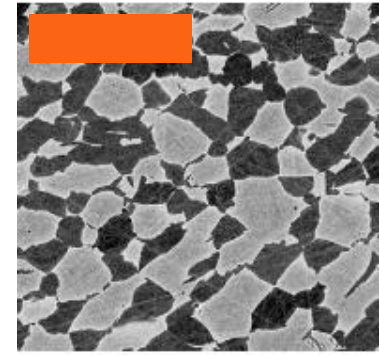
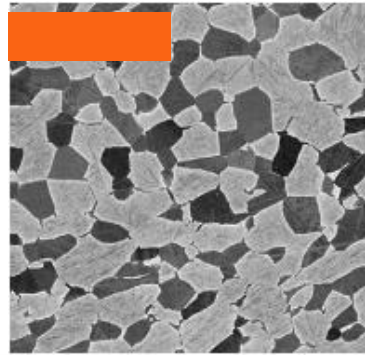
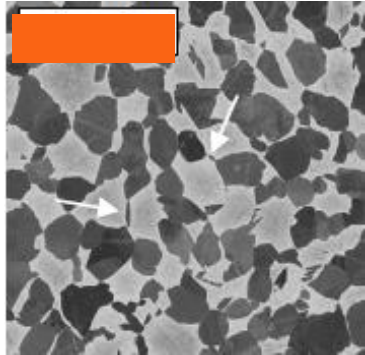
N°essai	Tm (°C) T° maintien	Vr (°C/min) Vit. Ref	Tq (°C) T° Trempe	% alpha
1	955	11	870	0,54
2	955	11	815	0,69
3	955	11	705	0,83
4	955	42	870	0,54
5	955	42	815	0,69
6	955	42	705	0,83
7	955	194	870	0,54
8	955	194	815	0,69
9	955	194	705	0,83



Quiz

Quel microstructure pour chacune des conditions de TTH vu précédemment?

Température de trempe
715°C – 815°C – 870°C

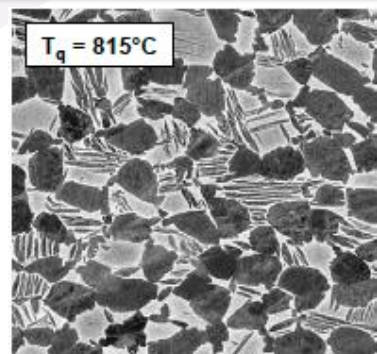
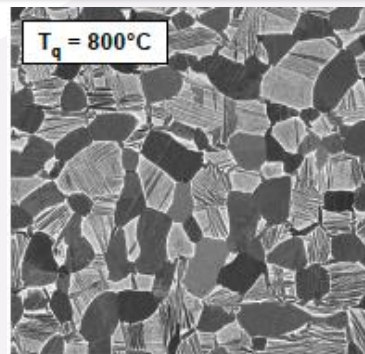
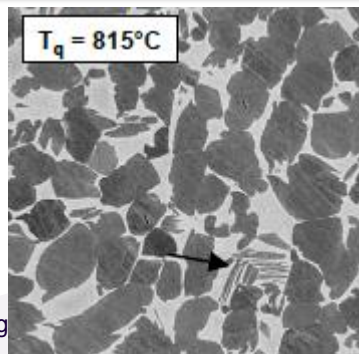
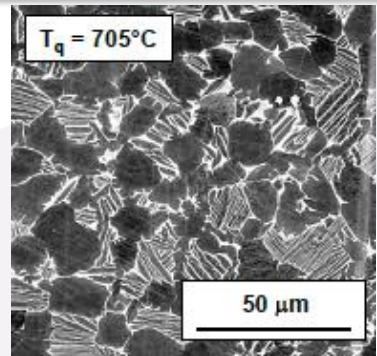
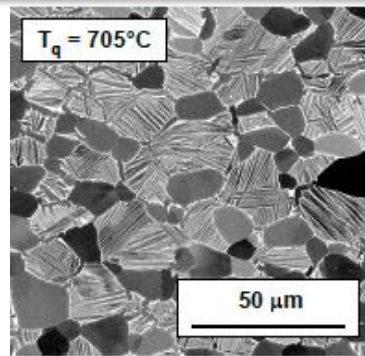
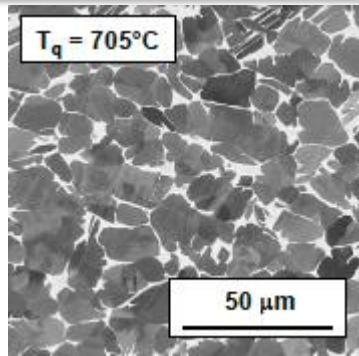
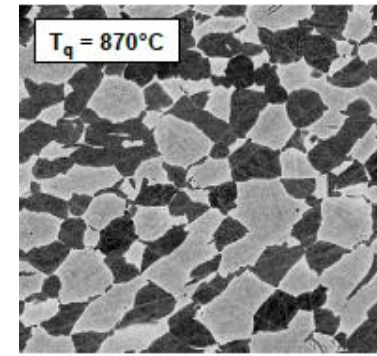
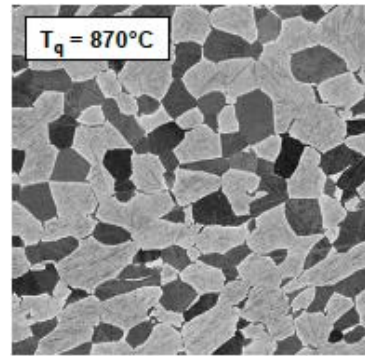
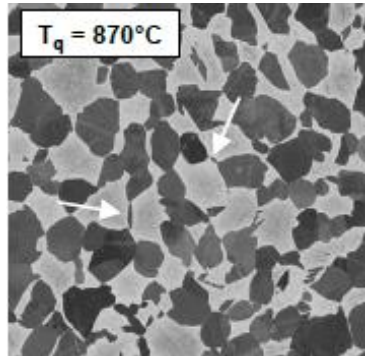


Température de trempe

Quiz

Quel microstructure pour chacune des conditions de TTH vu précédemment?

Température de trempe
715°C – 815°C – 870°C



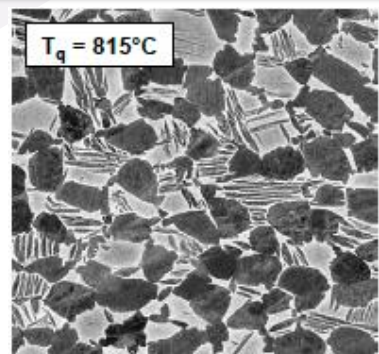
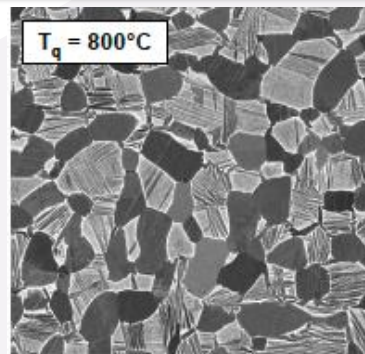
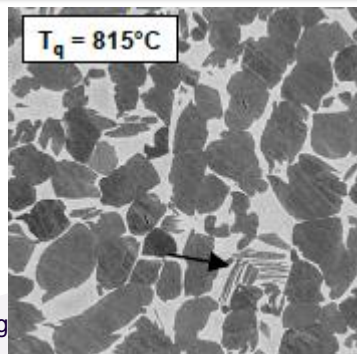
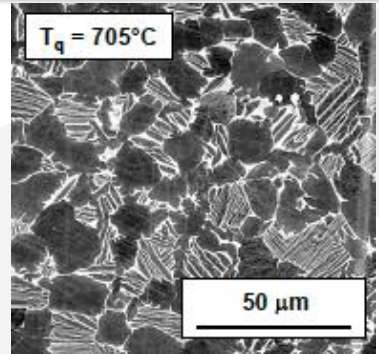
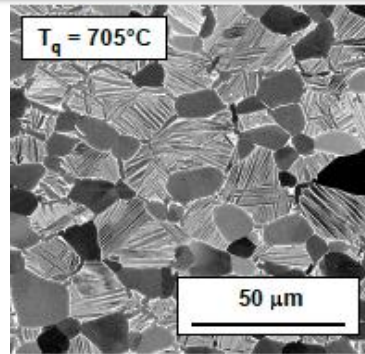
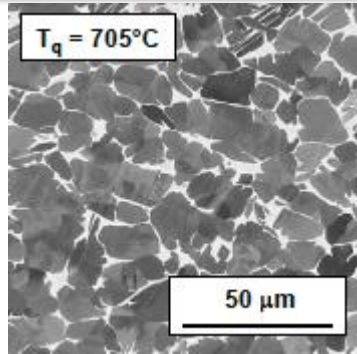
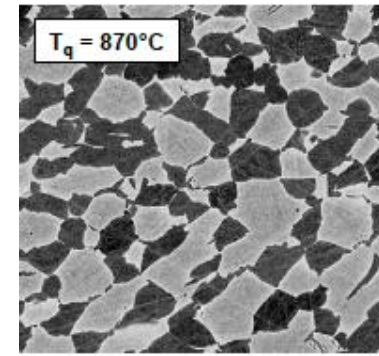
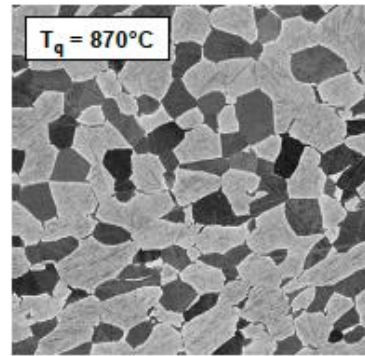
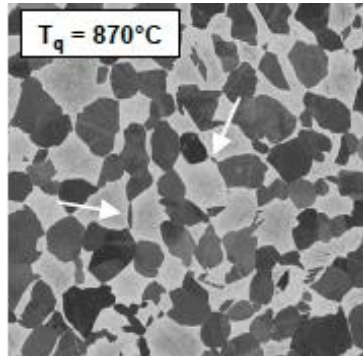
Température de trempe

Quiz

Quel microstructure pour chacune des conditions de TTH vu précédemment?

Vitesse de refroidissement depuis mise en solution

Température de trempe

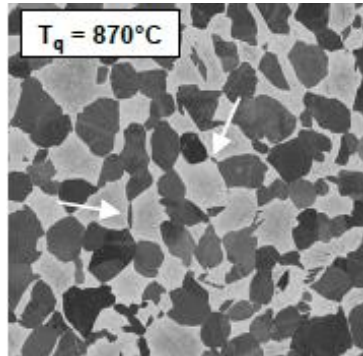


Quiz

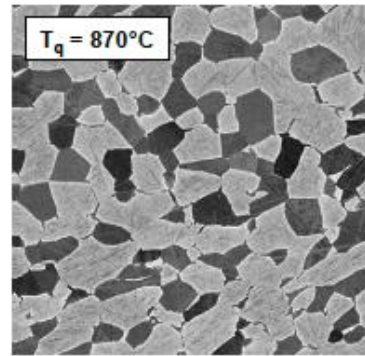
Quel microstructure pour chacune des conditions de TTH vu précédemment?

Vitesse de refroidissement depuis mise en solution

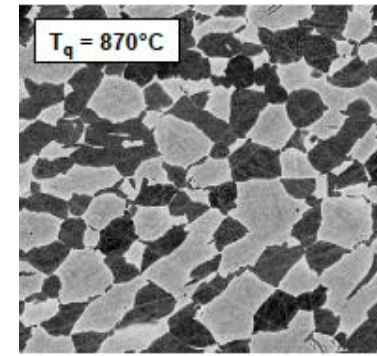
11°C/min



194°C/min

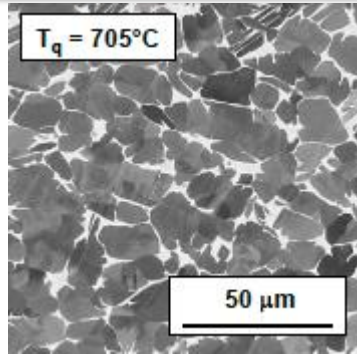


42°C/min

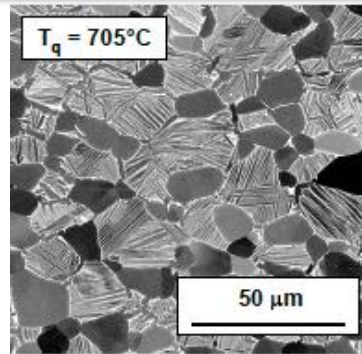


Température de trempe

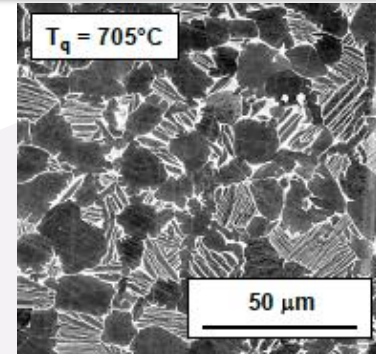
$T_q = 705^\circ\text{C}$



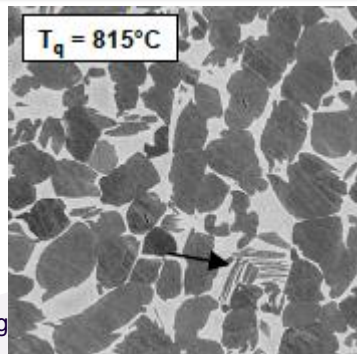
$T_q = 705^\circ\text{C}$



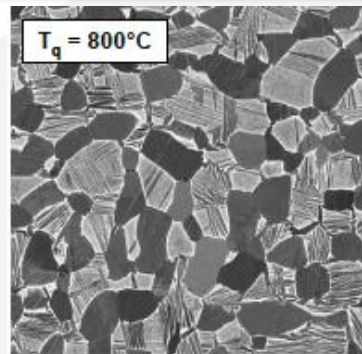
$T_q = 705^\circ\text{C}$



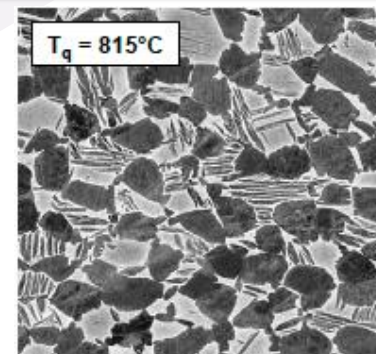
$T_q = 815^\circ\text{C}$



$T_q = 800^\circ\text{C}$



$T_q = 815^\circ\text{C}$



02

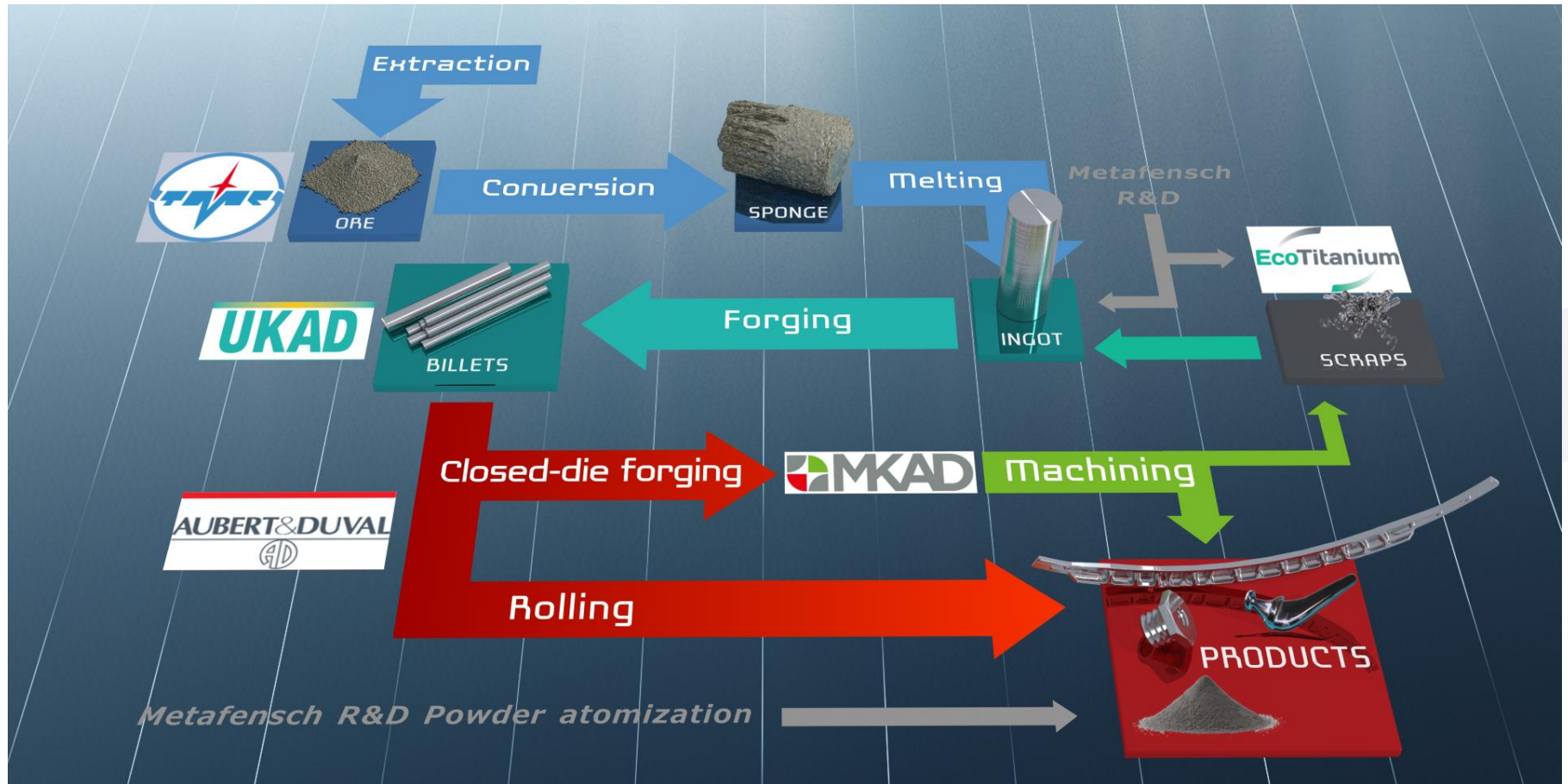
Filière de production

UKAD

AUBERT & DUVAL
AD

eraMET

Filière de production



Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot

- **Ti: 10^{ème} élément de la croûte terrestre, non trouvable à l'état isolé**
- **Ilménite (FeTiO₃) et Rutile (TiO₂)**
Découvert au XVIII^{ème} siècle
- **Titane surtout utilisé sous forme TiO₂ pour pigment blanc (8 000 000T par an)**
- **Titane métal représente 100 000T par an**

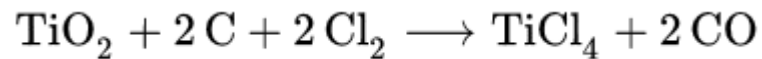
- **Métallurgie jeune, mise au point 1940**
- **Procédé Kroll**
- **Fabrication d'éponge de titane**
- **Principaux producteurs d'éponges:**
 - > Kazakhstan: UKTMP
 - > Russie: VSMPO
 - > USA: Timet, Allvac, Honeywell
 - > Chine, Japon

Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot

➤ Fabrication d'éponge de titane par procédé Kroll, réduction par Mg

➤ Réaction à 1000°C



➤ Réduction au magnésium à 800-850°C

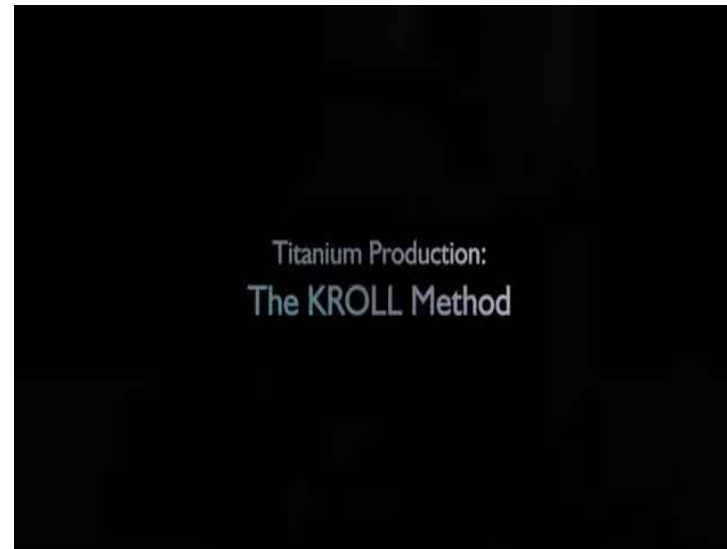


Titanium Production:
The KROLL Method

Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot

- Fabrication d'éponge de titane par procédé Kroll, réduction par Mg
- Compactage puis soudage des éponges + éléments d'addition
- Double ou triple refusion VAR



Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot



Broyage de l'éponge, inspection et nettoyage



Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot

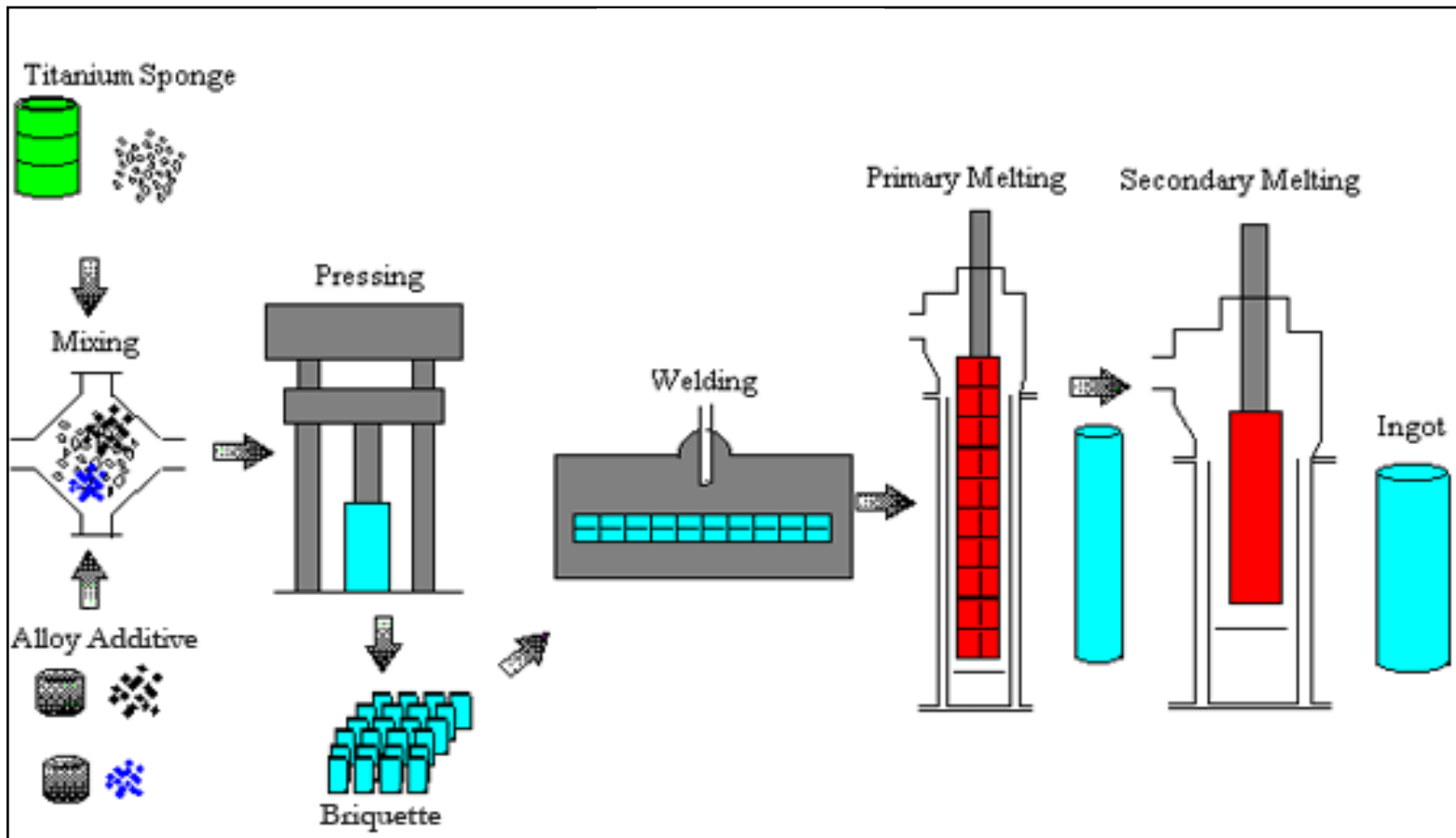
A partir de matières premières constituées d'éponges de titane (issues du minerai chloré rutile), d'éléments d'alliages et éventuellement de chutes triées et nettoyées, le schéma classique des opérations est actuellement le suivant :

- Mélange des matières premières pour obtenir la composition globale de l'alliage et fabrication de compacts par compression mécanique
- Assemblage de ces compacts par soudage dans une enceinte sous gaz inerte ou sous vide pour obtenir une électrode
- Double ou triple fusion au four à électrode consommable sous vide
- Ce procédé, s'il est mal contrôlé, peut conduire aux défauts associés :
 - **ségrégations α (riches en alphasènes)**
 - **β flecks (riches en bétasènes)**

D'autre part, l'utilisation de tournures mal triées, peut apporter des morceaux d'outils carbures dans le métal qui sont très nocifs ("défauts haute densité").

Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot

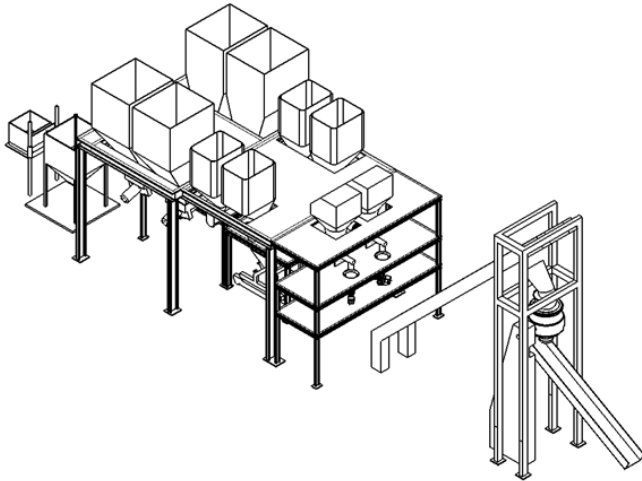


Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot



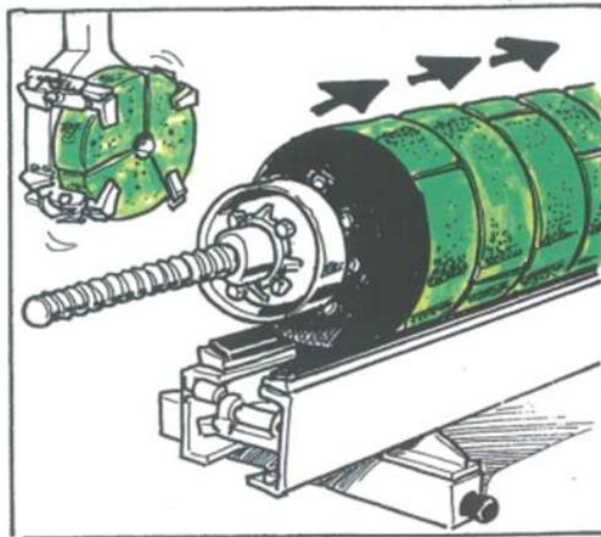
Compaction Press UKTMP



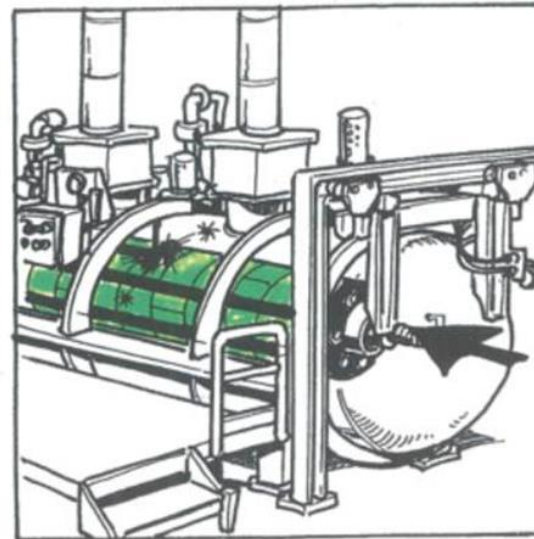
Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot

FABRICATION DE LA PREMIERE ELECTRODE



Montage des compacts + BUMPER



Soudage Plasma

Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot



Plasma Welding



Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot



VAR Furnace



Filière de production

Elaboration: du minerai au lingot



TA6V Ingot



Filière de production

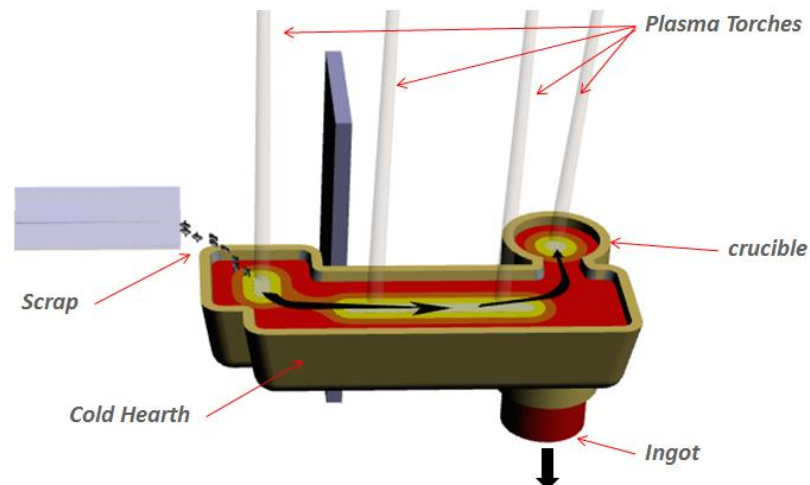
Elaboration: du minerai au lingot

Vidéo Black Bird

Filière de production

Elaboration: recyclage

Four PAMCHR



Élaboration complexe.

Travail important sur la qualité du métal liquide et l'homogénéité du lingot (ségrégation, bêtafleck, particules (TiN ...)).

Filière de production

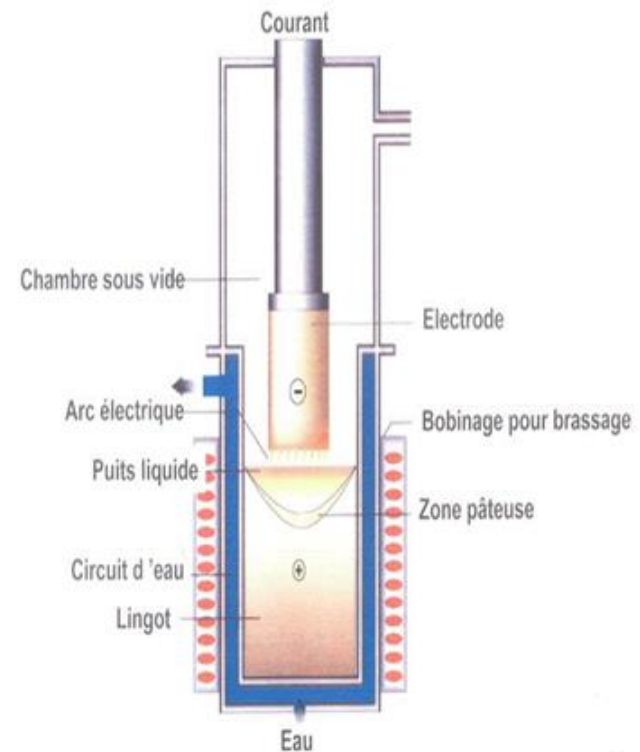
Elaboration: Refusion VAR

GENERALITES

On peut décrire schématiquement un four à électrode consommable comme suit :

- un creuset cylindrique en Cu, à fond généralement amovible et placé dans un circuit d'eau, constitue l'anode d'une alimentation électrique continue sous faible tension et forte intensité. Un enroulement de brassage électromagnétique du bain permet d'obtenir une bonne homogénéité de composition de l'alliage.
- L'électrode qui constitue la cathode est fixée par un raccord spécial (STUB ou BUMPER) à un porte électrode qui coulisse verticalement dans un passage étanche (vide et isolant électrique) à la partie supérieure du four.

VAR : Vacuum Arc
Remelting



Filière de production

Elaboration: Refusion VAR

PARAMETRES DE FUSION

- **Après réalisation du vide, l'électrode est amorcée soit directement sur la plaque du fond de lingotière en cuivre soit sur un lit de copeaux de même nuance.**
- **Les paramètres à suivre au cours de la fusion sont :**
 - la tension,
 - l'intensité
 - la vitesse de fusion
 - le DRIP-SHORT
 - le niveau de vide et les remontées de vide
 - le déplacement de l'électrode
 - le brassage électromagnétique
- **A la troisième fusion, les paramètres du HOT-TOPPING.**
- **Le STUB ou BUMPER ne doit pas être refondu (conserver au minimum 20 mm d'électrode = chapeau de fin de fusion).**

Filière de production

Elaboration: Refusion VAR

TYPES D 'ANOMALIES RENCONTREES DANS LES ALLIAGES DE TITANE

Hard alpha type I ou High Interstitial Defect (HID) = ségrégation constituée d'un volume de titane fortement enrichi en éléments interstitiels alphas, tels que l'Azote, l'Oxygène ou le carbone ; la présence de ces éléments se traduit par une augmentation importante du point de fusion ; en particulier avec le nitrure de titane (2950° C), le carbure de titane (2003°C) ; le point de fusion de l'oxyde de titane est à 1885° C comparé à celui du titane de 1670°C ; l'inclusion demeure solide pendant le cycle d'élaboration, l'augmentation de la dureté (1000 HV/ matrice 350) favorise le risque de formation de fissures.

Hard alpha type II ou High Aluminium Defect (HAD) = ségrégation d'alpha stabilisée riche en Aluminium qui peut s'étendre au travers de nombreux grains bêta ; sa microdureté est légèrement supérieure à celle de la matière adjacente.

High Density Inclusion (HDI) = inclusion constituée d'une forte concentration d'éléments réfractaires (usuellement le tungstène, molybdène, tantale ou le niobium) caractérisée par une densité élevée et un point de fusion fortement plus élevé que la matrice ; les HDI sont facilement détectables par radiographie et apparaissent plus brillant que la matrice ; ils sont aussi détectables par ultrasons.

Clean Voids ou Stain Induced Porosity (SIP) = Vides apparaissant dans la microstructure comme le résultat de porosités induite par la contrainte.

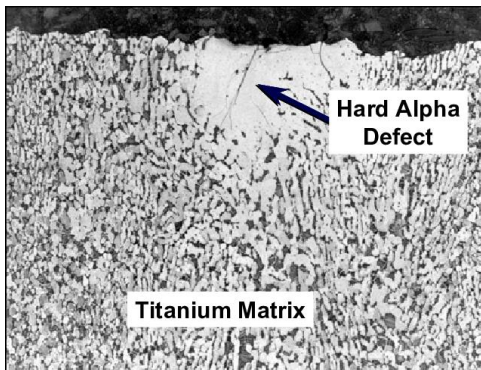
β fleck = zones riches en β dans une microstructure alpha-bêta

Filière de production

Elaboration – Qualité des lingots Rajouter bêta fleck slide Laurent/ Rajouter graph Marion sur défaut

➤ Défauts types liés à l'élaboration:

Hard Alpha



Bêta Fleck



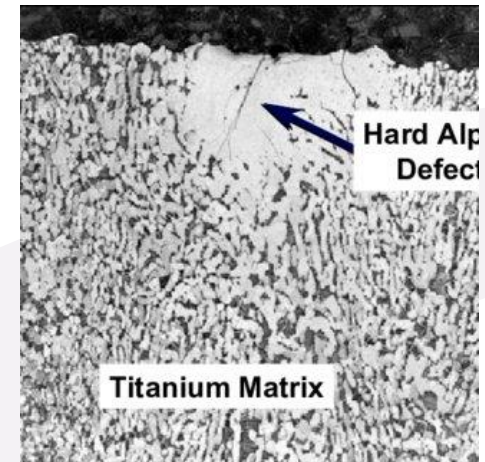
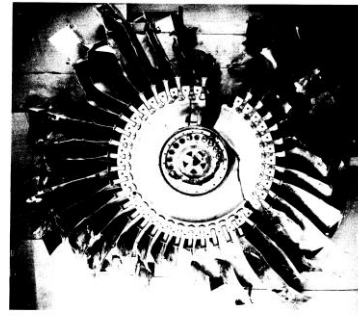
Inclusion exogène (WC)



Filière de production

Elaboration – Qualité des lingots

- Vol United Airlines 232 – McDonnell Douglas DC10
- Soufflante du moteur arrière se brise, perte totale des 3 systèmes hydrauliques de l'avion



Filière de production

Billetizing: du lingot à la billette en TA6V

- UKAD
- Presse de 4500T avec manipulateurs
- Four de chauffage: gaz et électrique
- Production de billette:
 - > 85 à 200mm: laminoir (150mm) + SMX Ancizes
 - > 200 à 450mm: UKAD
- Ecroutage
- Installation US



Filière de production

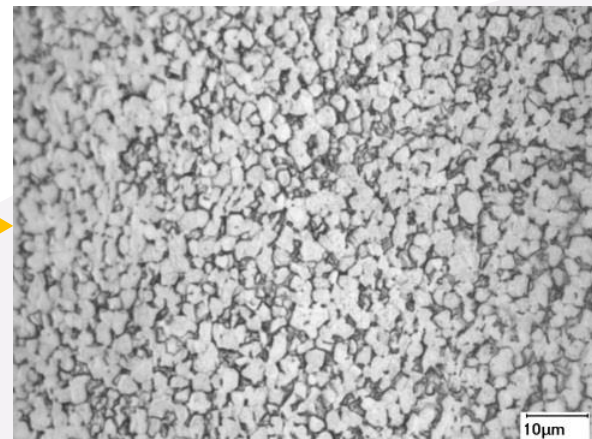
Billetizing: du lingot à la billette en TA6V

Procédé de mise en forme:

Transformer un lingot brut de solidification en un $\frac{1}{2}$ produit pour utilisation matriçage

Conversion de lingot à pour but:

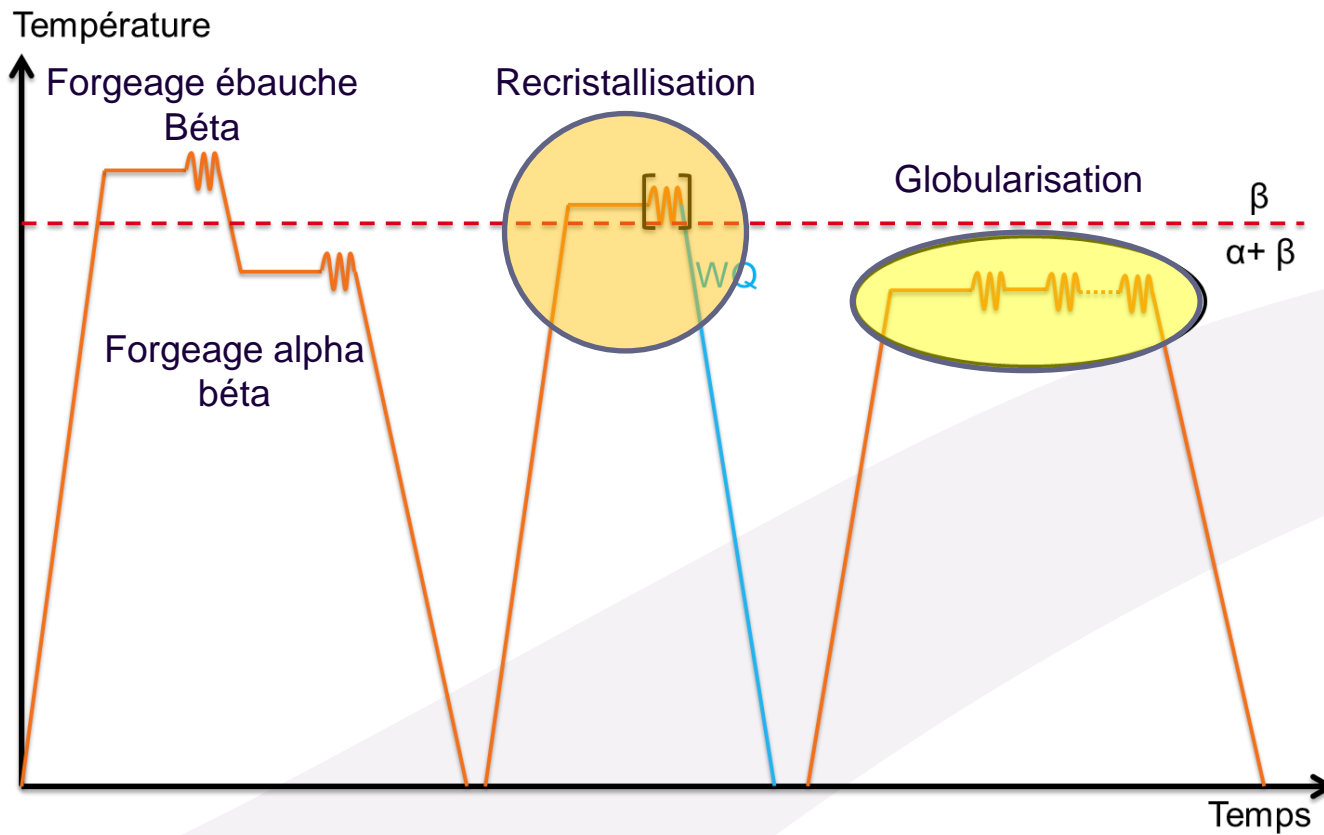
- > Homogénéiser la structure du lingot: grains centimétriques
- > Obtenir une structure globulaire sur billette



Filière de production

Billetizing: du lingot à la billette

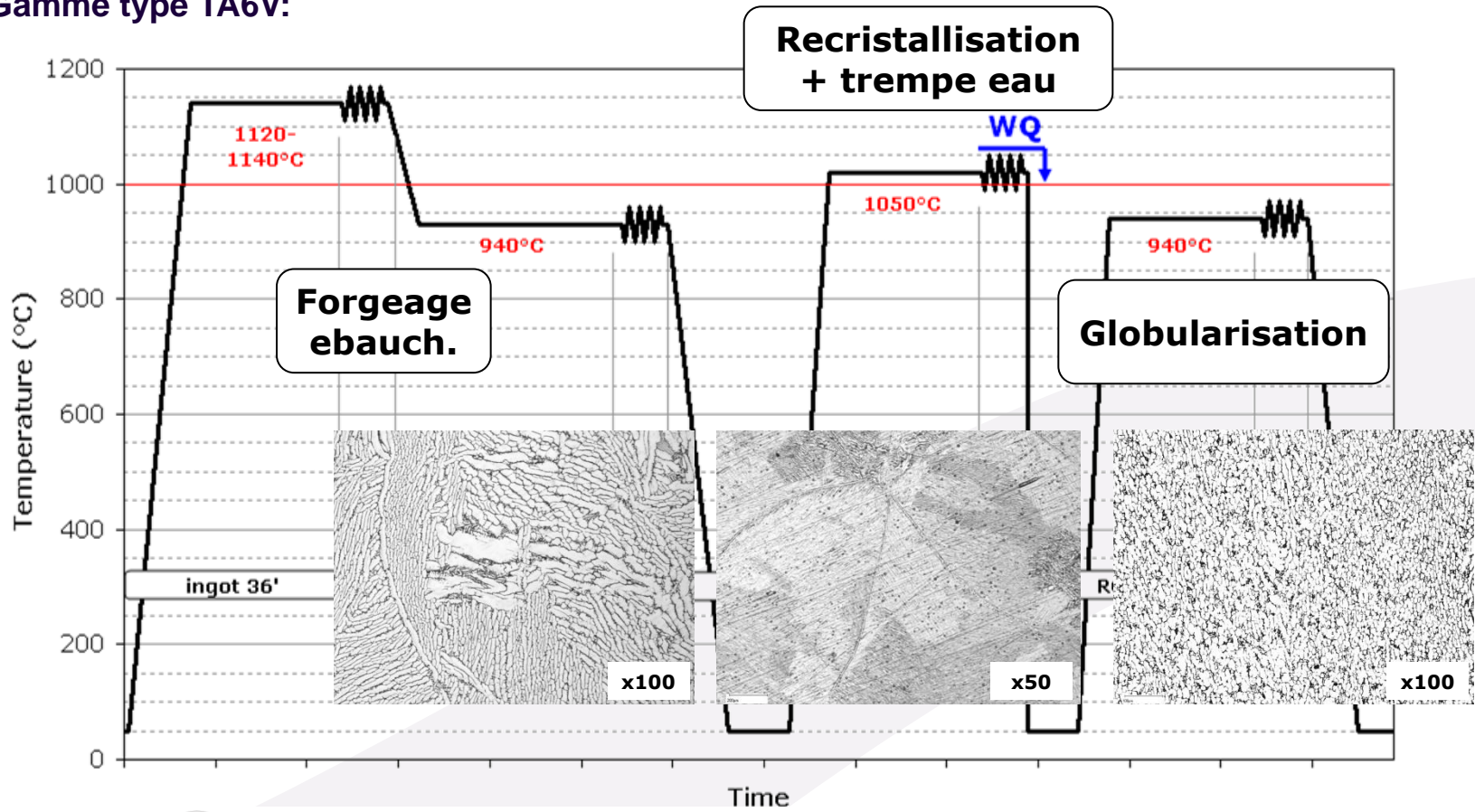
➤ Gamme type TA6V:



Filière de production

Billetizing: du lingot à la billette

Gamme type TA6V:



Chaque étape a un rôle
Meilleure pratique utilisée pour les gammes "aéronautiques"

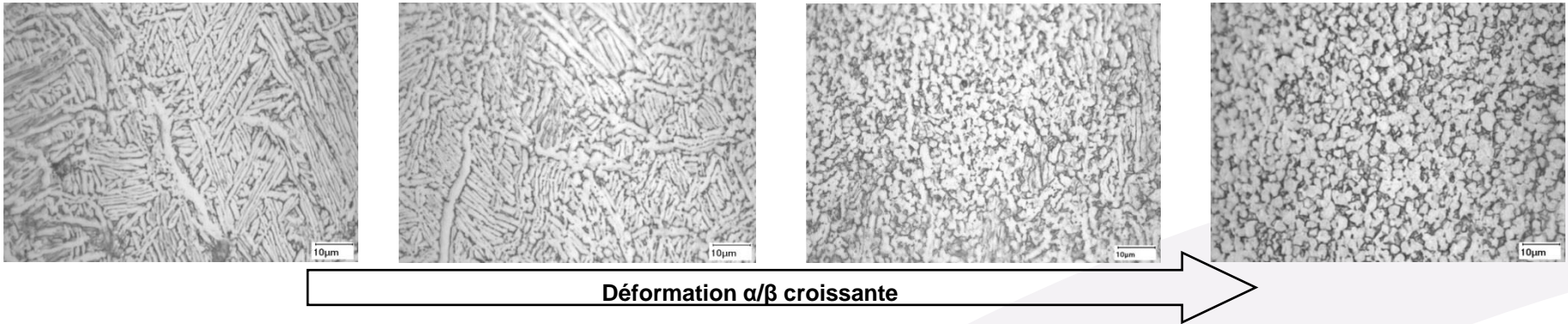


3 T°C = 3 fours
Trempe eau

Filière de production

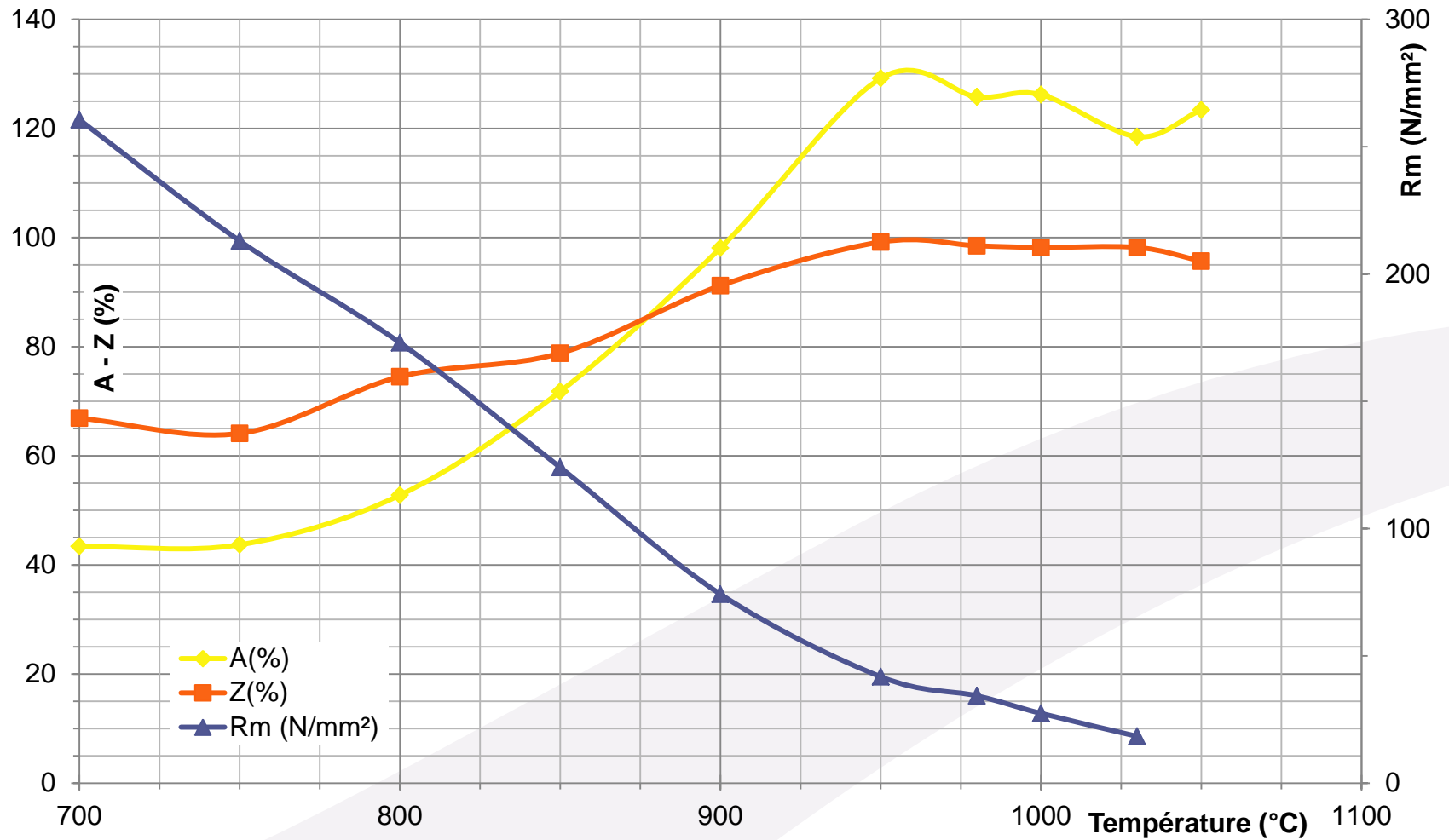
Billetizing: du lingot à la billette

▮ Globularisation



Filière de production

Courbe de Forgeabilité:



Filière de production

Chauffage

- Il faut éviter toute contamination à l'hydrogène durant les opérations de réchauffage et de recuit. Dès 150 °C, le titane absorbe l'hydrogène. Il est conseillé d'utiliser des fours à atmosphère oxydante.
- Mais il faut éviter la contamination par l'oxygène et l'azote, qui apparaissent respectivement à 600 et 800 °C. Il faut donc trouver un bon compromis au niveau du temps de maintien pour minimiser cette contamination tout en garantissant une bonne température de forgeage.
- Pour éviter toute contamination par des supports en fer ou la sole des fours, les pièces doivent reposer sur des briques réfractaires propres, des cales en titane ou des supports en inox réfractaires (si la température de forgeage est inférieure à 1280°C).

FORGEAGE

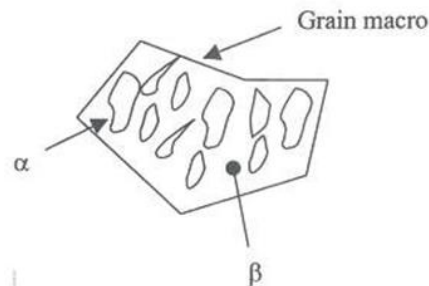
But de forgeage : obtenir des grains β petits et homogènes et des grains α petits, et équiaxes.

On distingue 4 phases de forgeage :

- un dégrossissage dans le domaine β à une température au moins supérieure à 100° C voire 150° C par rapport au β transus ; c'est dans ce domaine que l'alliage est le plus ductile (taux de corroyage mini : 2).

On casse la structure de solidification ; en fin de forgeage, haute température, on a des grains β de taille variant de 1 à 20 mm.

Au cours du refroidissement, alpha va se former ; la transformation est dite martensitique.



FORGEAGE (suite)

- Un précorroyage alpha - Bêta : casser les paquets d 'alpha, former des sous-paquets alpha.

Taux de corroyage mini : 1,4.

- Une recristallisation Bêta à une température maximale de 100° C par rapport au transus β .

On obtient ainsi une nouvelle taille de grains β bien plus faible que celle de départ.

- Un forgeage alpha-Bêta

A partir de ce moment là, on ne repassera plus en Bêta.

Ce forgeage permet de donner la structure finale en cassant les aiguilles d 'alpha et en assurant la globularisation de la phase α en évitant que le produit ne soit trop froid (remises intermédiaires au four).

Il faut au moins un taux de corroyage de 3 pour casser correctement l 'alpha (5 pour être parfait)

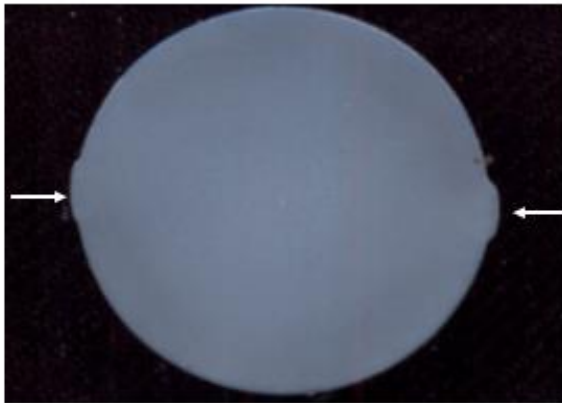
Lorsque la peau est craquelée, on procède à un meulage intermédiaire (sinon risque de propagation de crique).

Filière de production

Billetizing: du lingot à la billette

➤ Laminage produit TA6V

Problématique du laminage – mise au mille



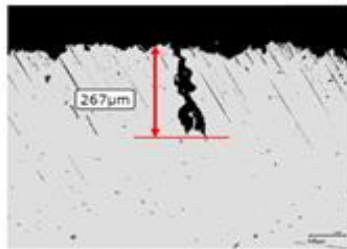
Exemple : rond de 101mm

Le titane « s'élargit » particulièrement en laminage

- Risque accrus de replis
- Descente de laminage particulière

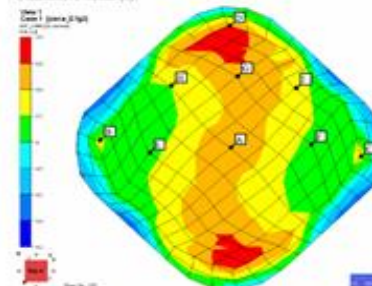
Ne pas laminier avec plus de surépaisseur puis écrouter !!

- 30€/kg !!



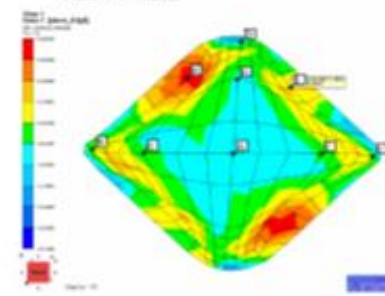
ERAMET
DES ALLIAGES

Cumulative strain (%)



Aciers - superalliages

Cumulative strain (%)



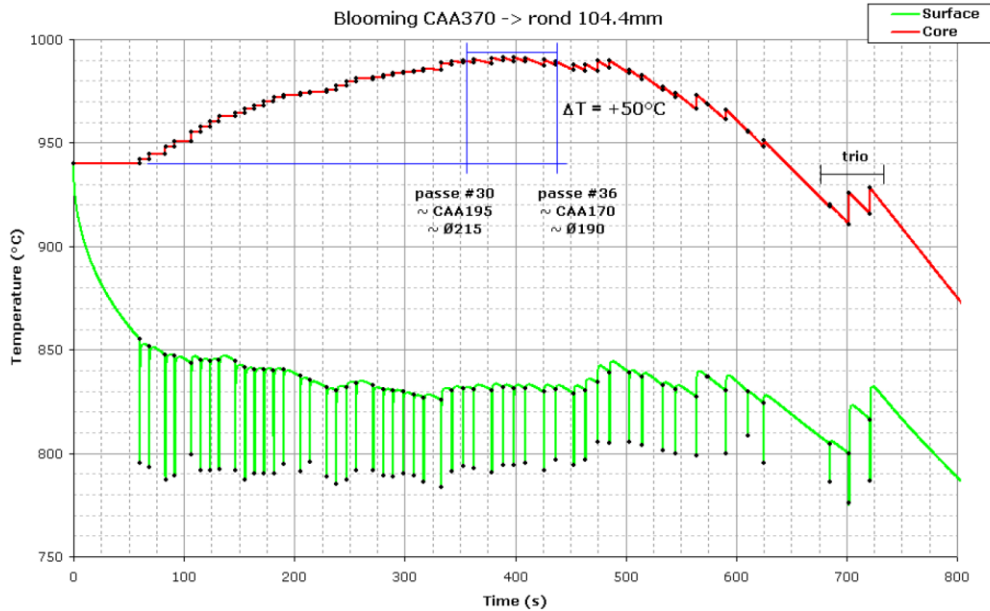
Titanes

AUBERT&DUVAL

Filière de production

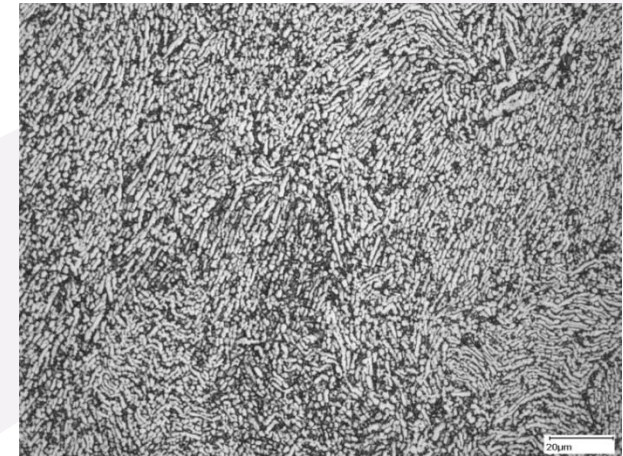
Billetizing: du lingot à la billette

Laminage produit TA6V



Ø101mm, cœur
sens travers, x200

NOK



Ø101mm, cœur
sens travers, x200

Pas de brulure

Filière de production

Matriçage



Interforge



Airforge



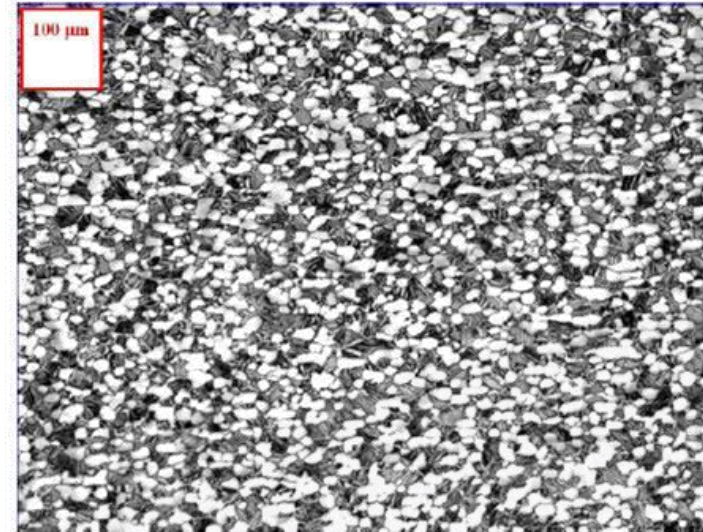
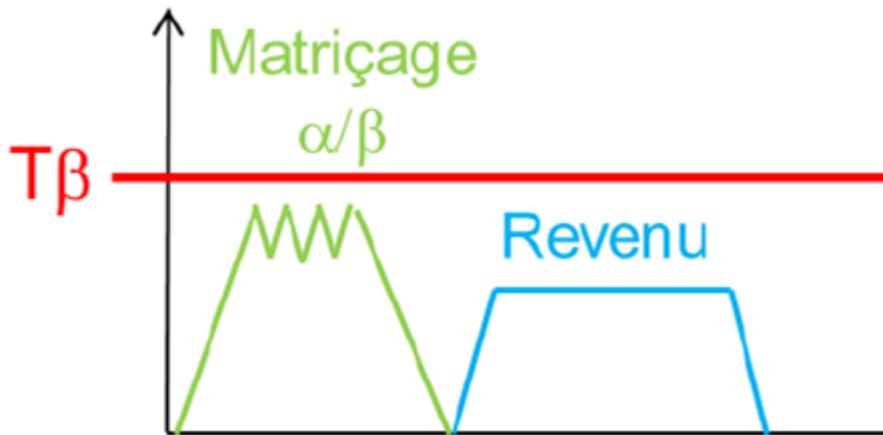
Grande diversité de géométries de pièces matriçées

- Le procédé de matriçage permet l'obtention de géométries plus ou moins complexes.
- Il existe divers types de gammes thermomécaniques qui conditionnent les propriétés d'emploi des pièces matriçées.

Métallurgie du Titane

TA6V – Application matriçage

➤ Gamme α - β standard



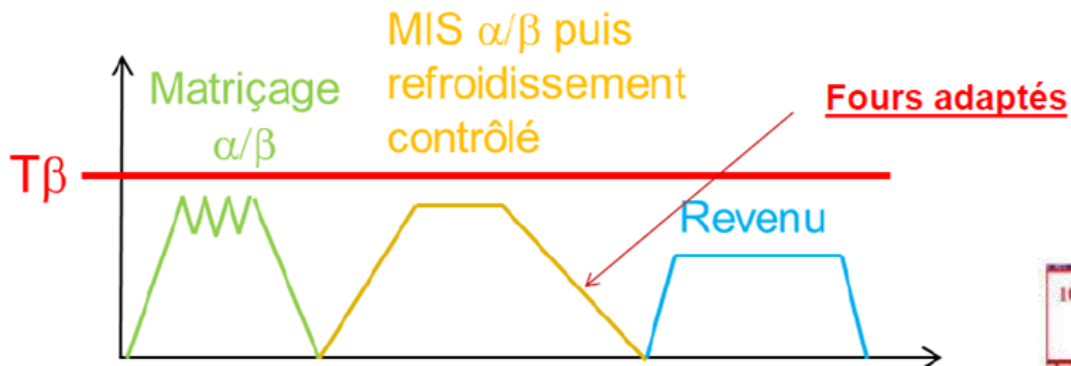
Quelques $T^{\circ}\text{C}$ types à retenir:
Matriçage = 940 / 960 $^{\circ}\text{C}$
Revenu = 730 $^{\circ}\text{C}$

+ Statique et fatigue.
- Tolérance aux dommages et ténacité

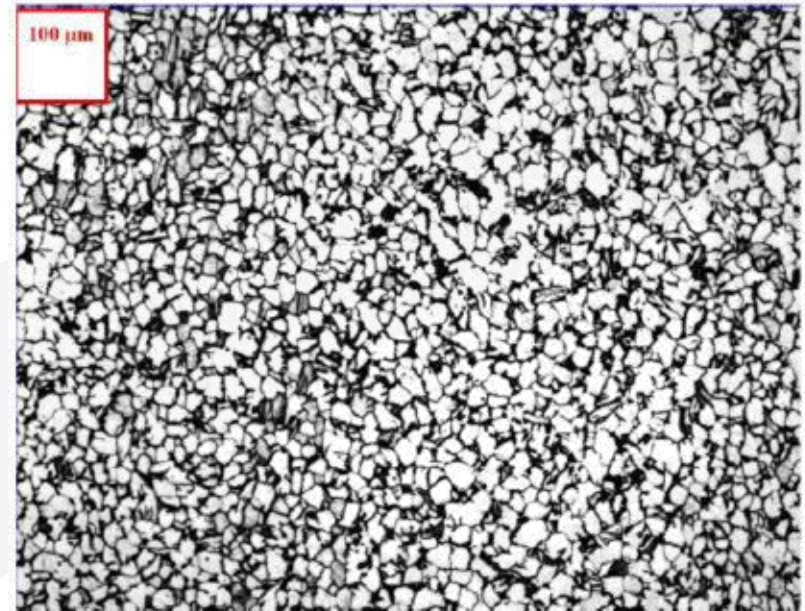
Métallurgie du Titane

TA6V – Application matriçage

- Gamme α - β avec TTH de mise en solution α - β



+ Statique et fatigue.
= Tolérance aux dommages et ténacité



Quelques $T^{\circ}\text{C}$ types à retenir:

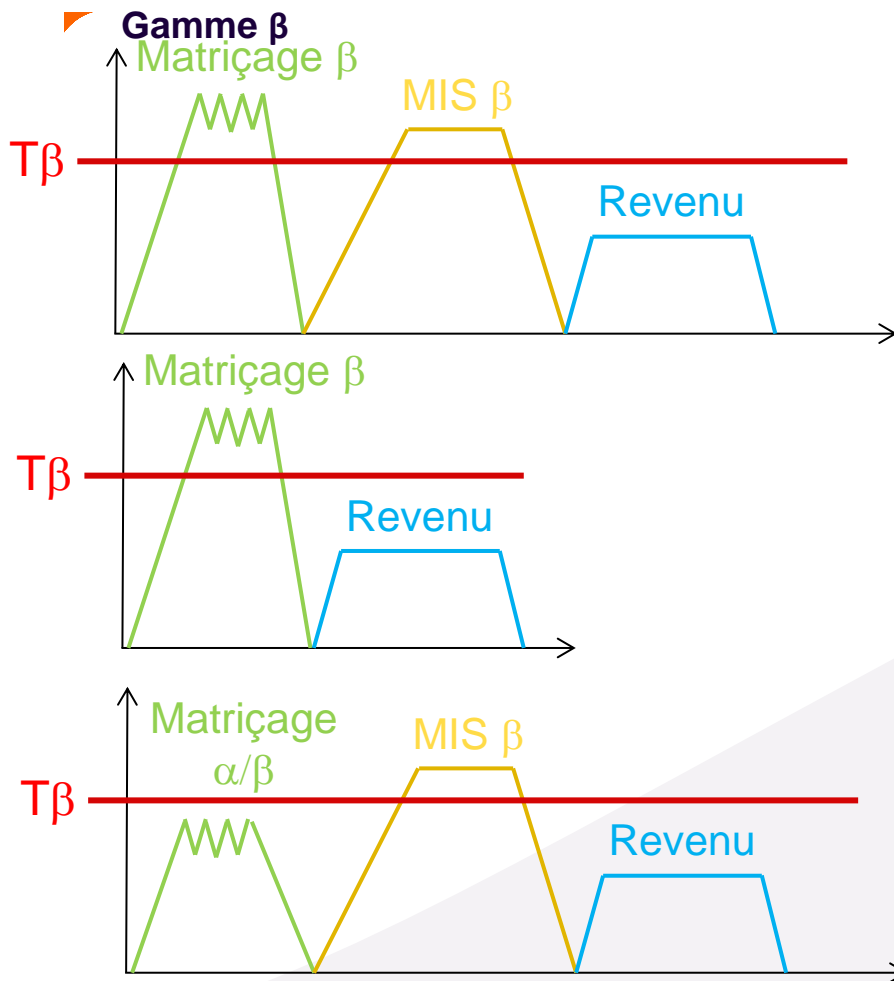
Matriçage = 940 / 960 $^{\circ}\text{C}$

Mise en solution = $T\beta - 30^{\circ}\text{C}$

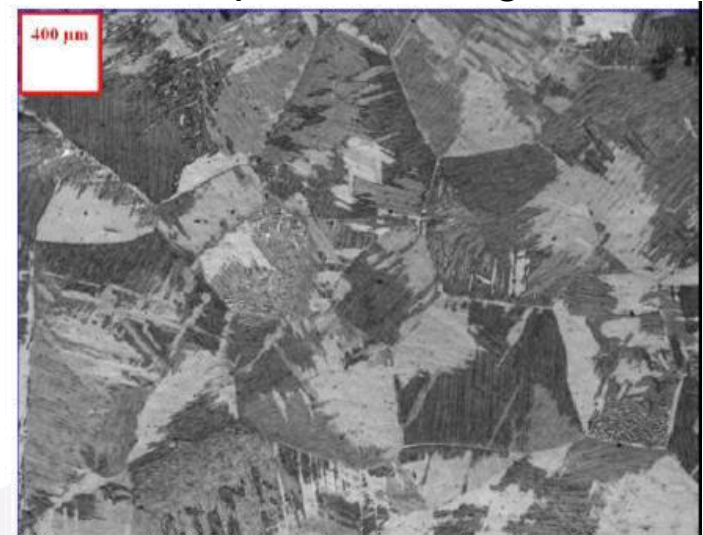
Revenu = 730 $^{\circ}\text{C}$

Métallurgie du Titane

TA6V – Application matriçage



- + Tolérance aux dommages et ténacité
- Statique et en fatigue.



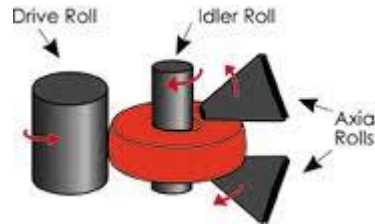
Quelques $T^{\circ}\text{C}$ types à retenir :
 Matriçage = 940°C / 960°C ou
 en β
 Mise en solution = $T_{\beta} + 15^{\circ}\text{C}$ ou
 $T_{\beta} + 25^{\circ}\text{C}$

UKAD VENET DEVAL 730 $^{\circ}\text{C}$ eramET

Filière de production

Laminage circulaire

- Transformation d'un galet refoulé en couronne de plus grand diamètre.



- Réalisation de pièces laminées de forme.

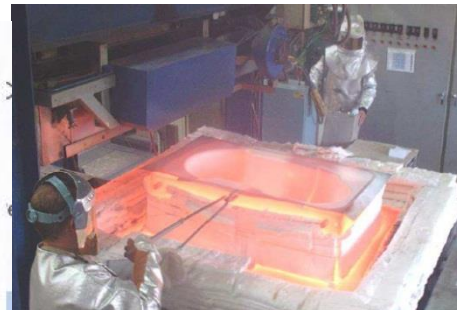
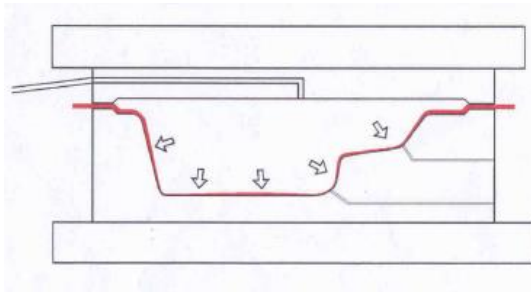


- Préparation d'ébauches laminées pour la réalisation de disques moteurs matricés (Pamiers).

Filière de production

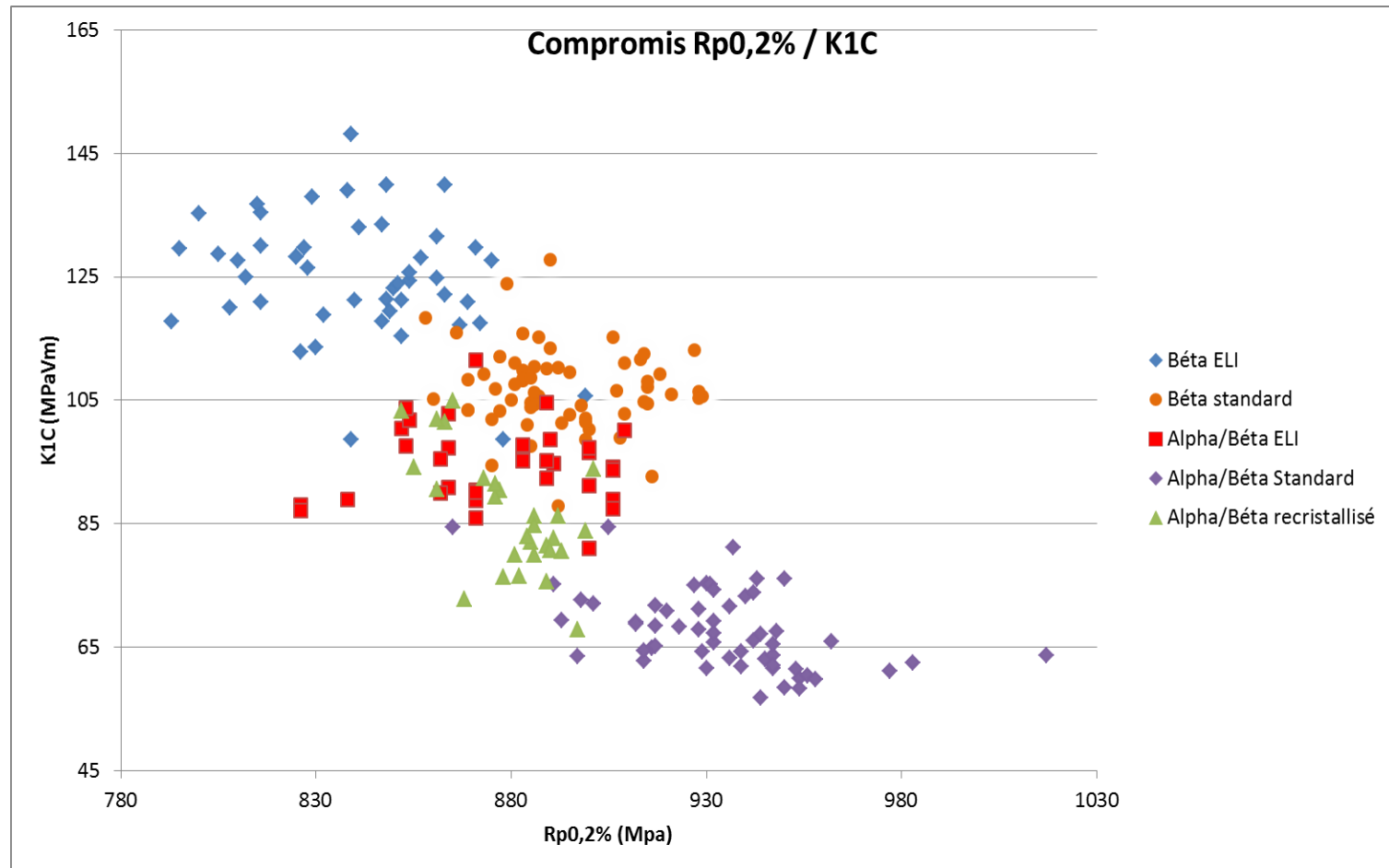
Autres procédés – Formage superplastique

- Mise en forme de tôles à très basses vitesses de déformation.
- Tôle déformée grâce à la pression d'un gaz (Azote).
- Utilisation des propriétés superplastiques pour:
 - > Mise en forme sous basses contraintes
 - > Gain de ductilité (peu ou pas de striction)



Métallurgie du Titane

TA6V



03

Contrôles de laboratoire

UKAD

AUBERT & DUVAL
AD

eraMET

Examen Macrographique

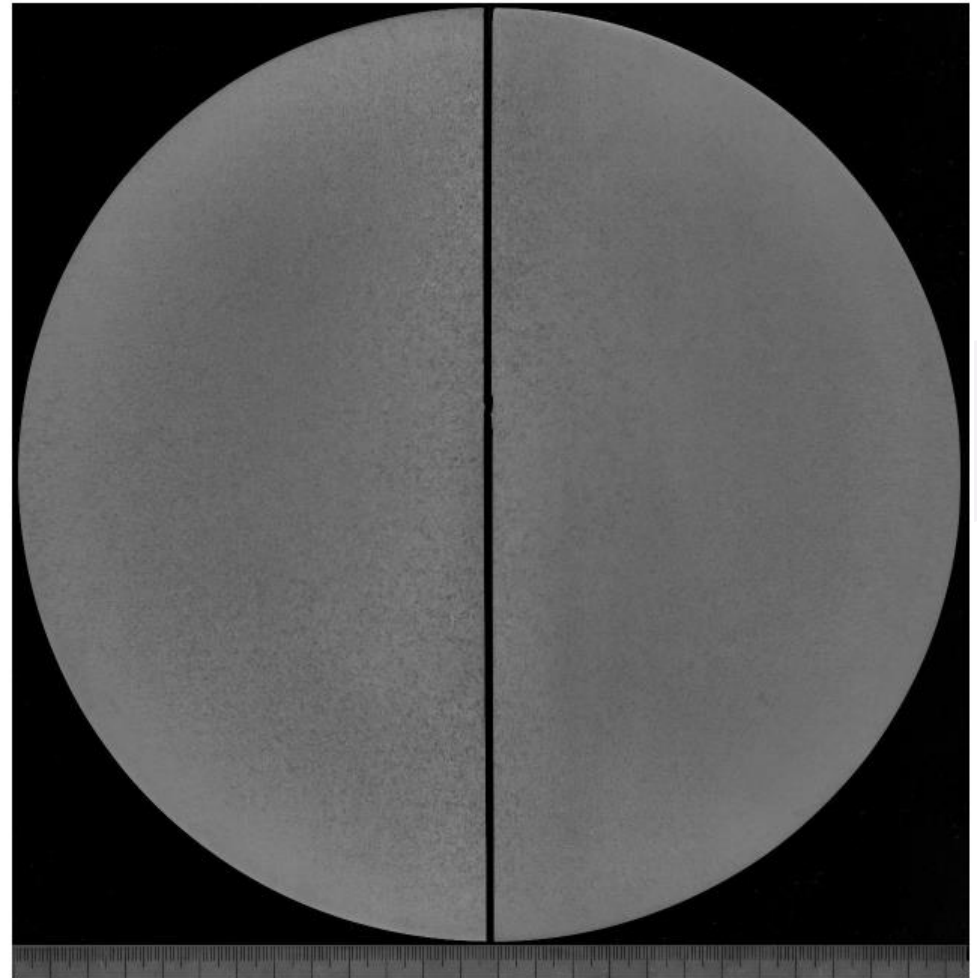
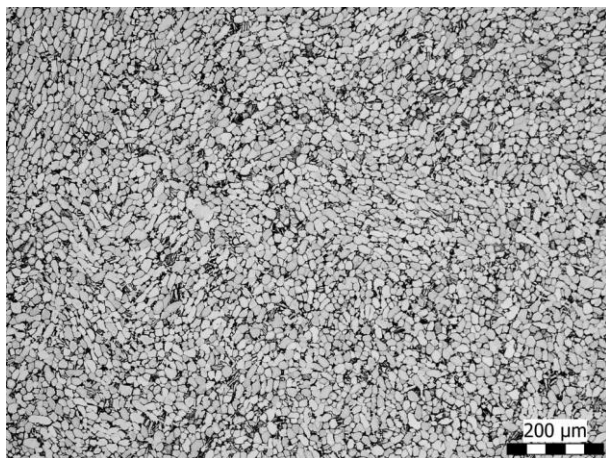
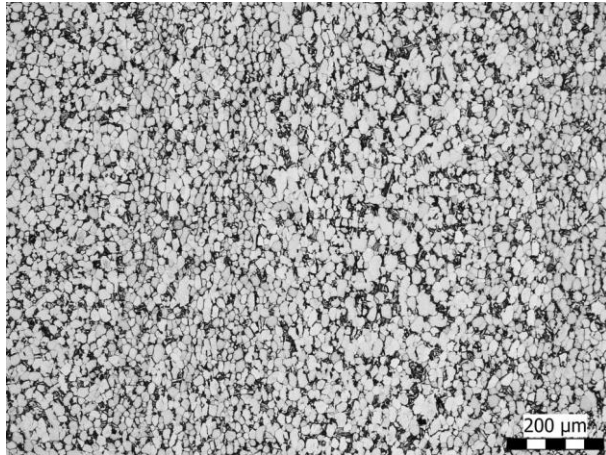
L'examen Macrographique est réalisé sur les plaquettes prélevées après éboutage,

Il a pour but de vérifier l'absence de défauts d'élaboration tout particulièrement en Tête et pied du lingot, ainsi que de s'assurer de la pertinence de l'éboutage.

Les examens micrographiques seront réalisés dans la zone la plus défavorable en examen macrographique

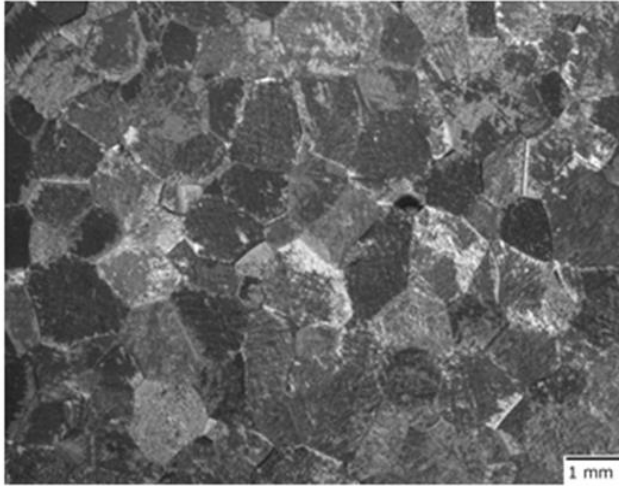
Examen Structure

STRUCTURE NORMALE

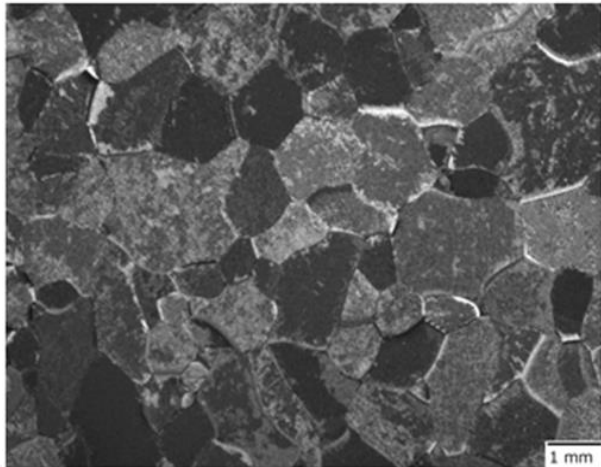


Examen Structure

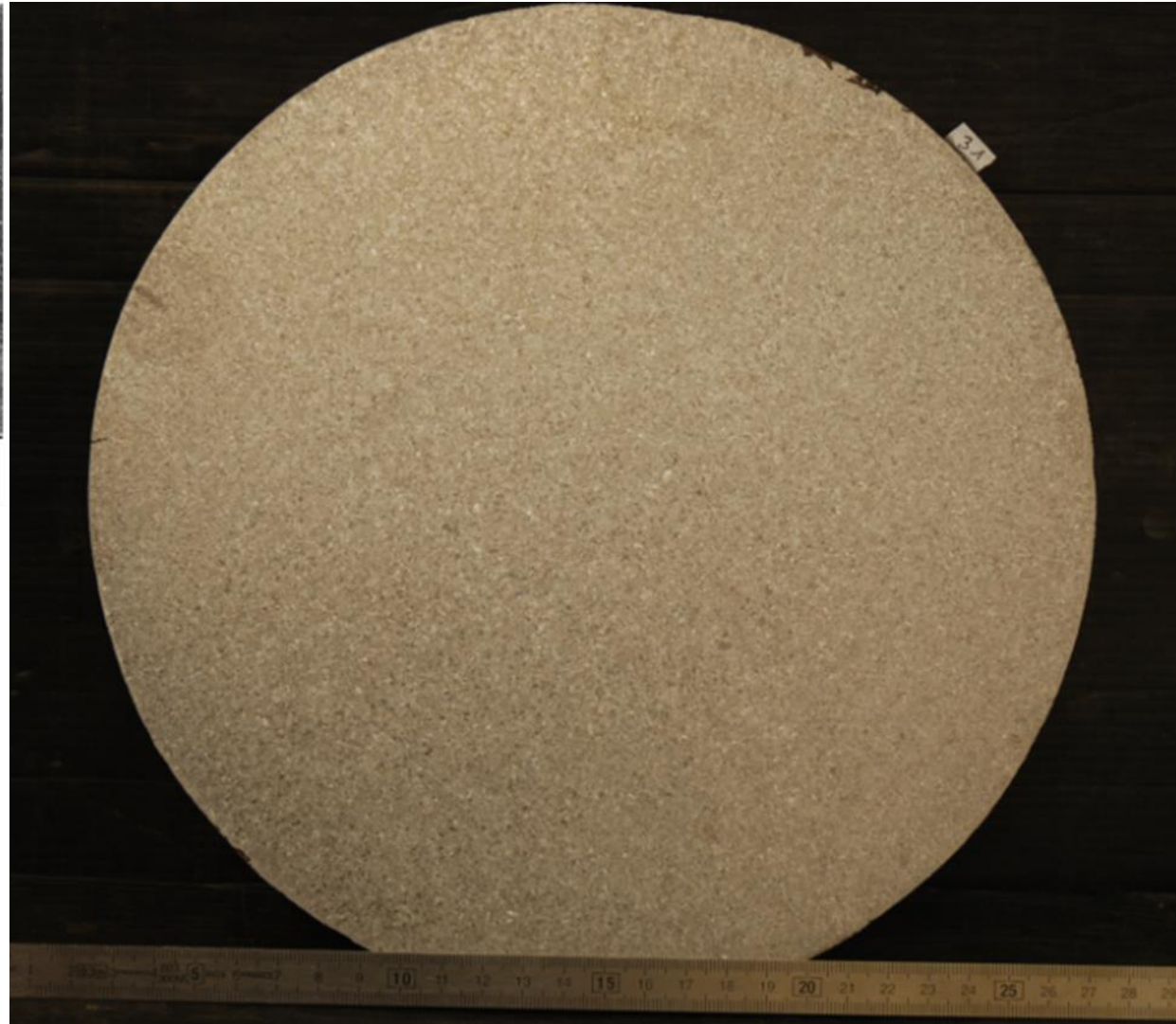
Passage de transus



X10- 1003080- Peau

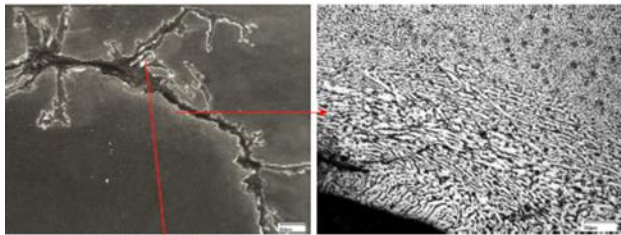


X10- 1003078-Centre



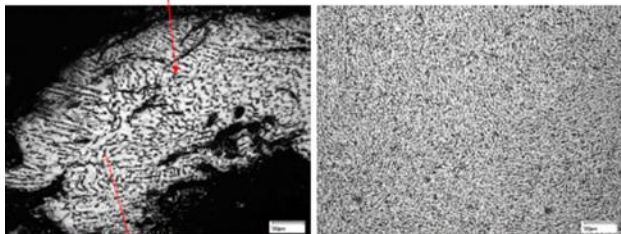
Examen Structure

Fond de retassure en tête



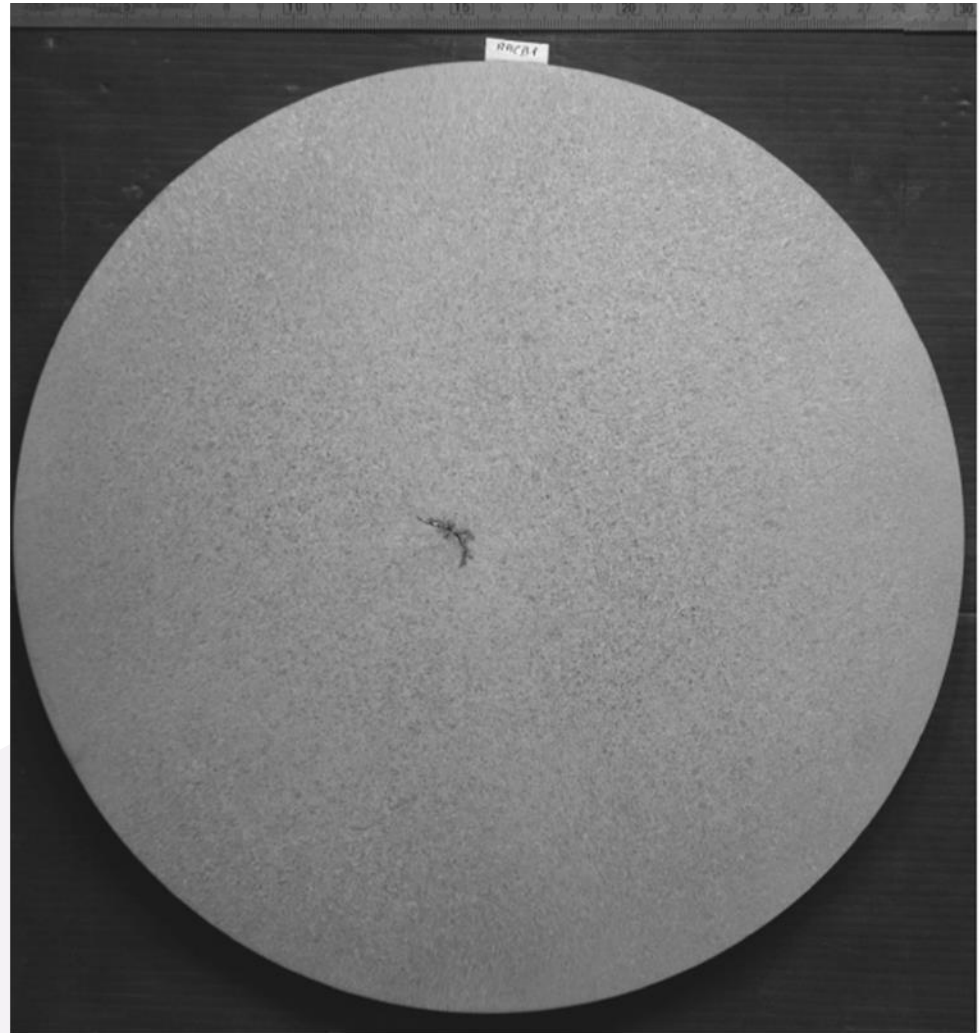
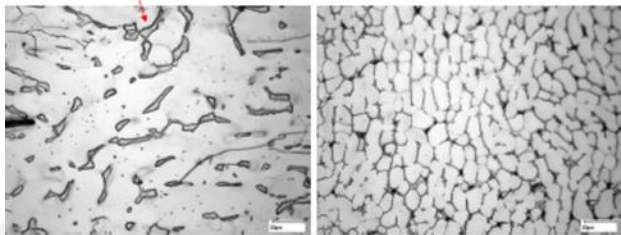
X7 Aspect du défaut

X100 Structure grossière B23



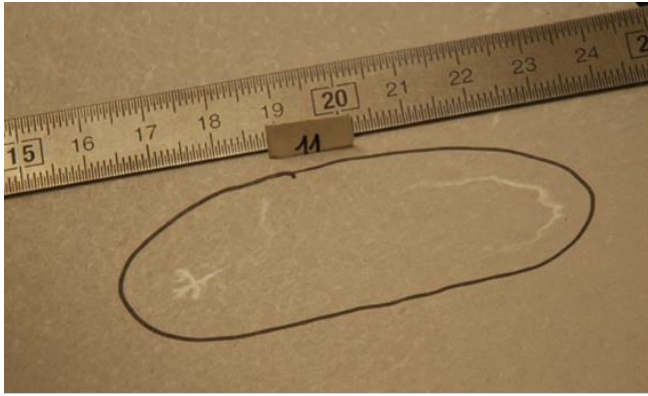
X100 Structure grossière peu déformée

X100 Zone cainé
Structure B1

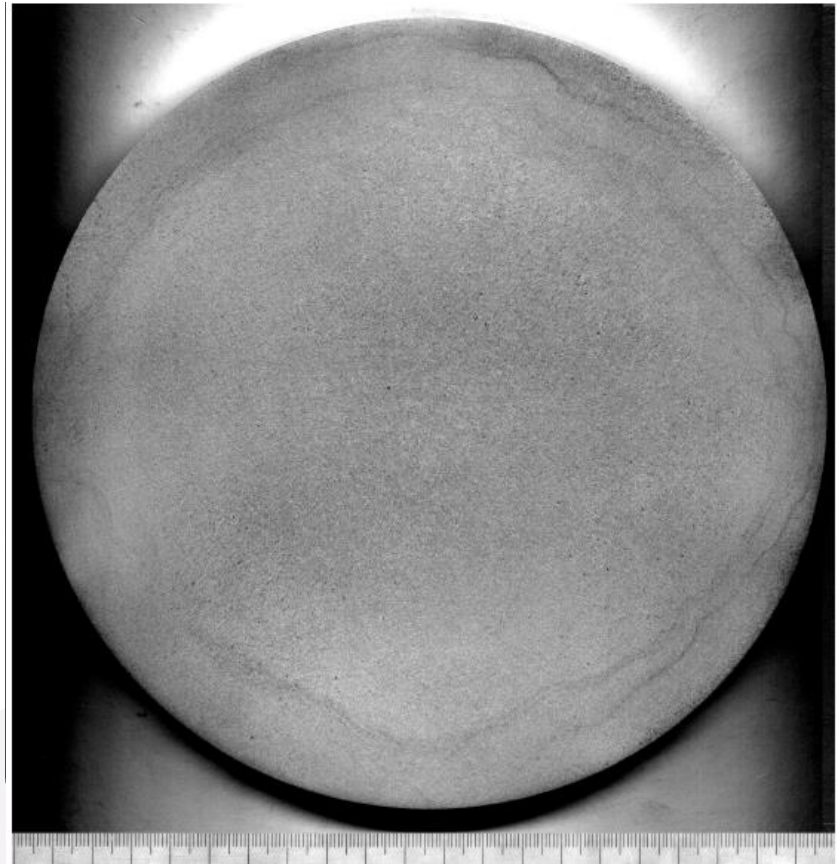


Examen Structure

Défaut d'élaboration



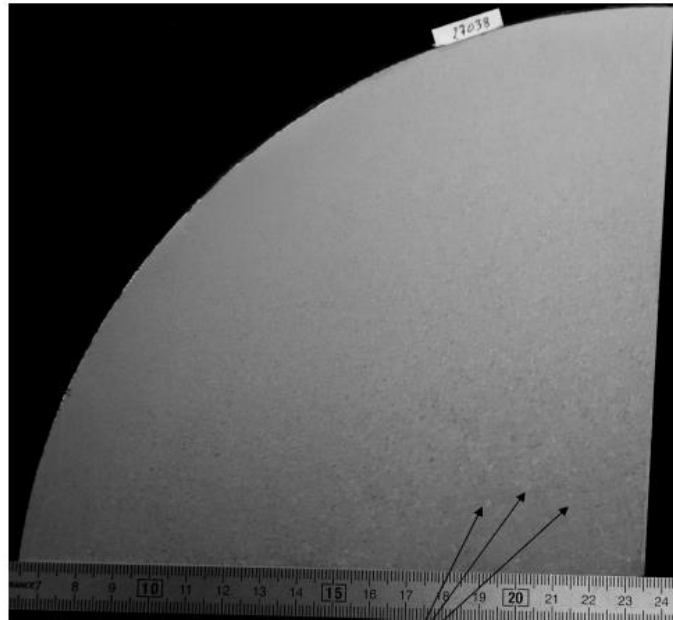
Défaut Type II Haut Al
(HAD) ET14-544



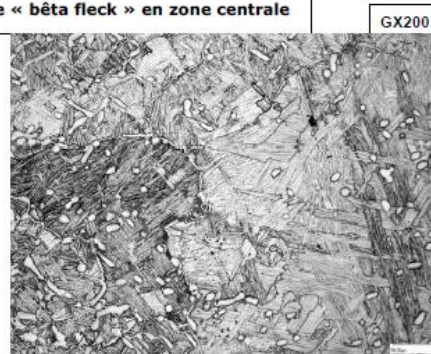
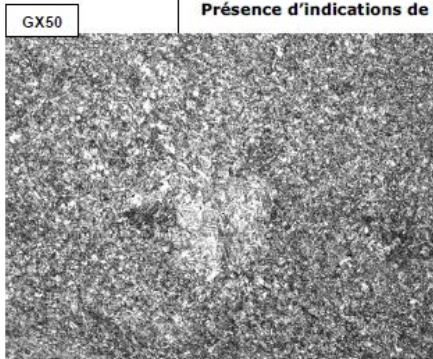
Annulaire

Examen Structure

Défaut d'élaboration

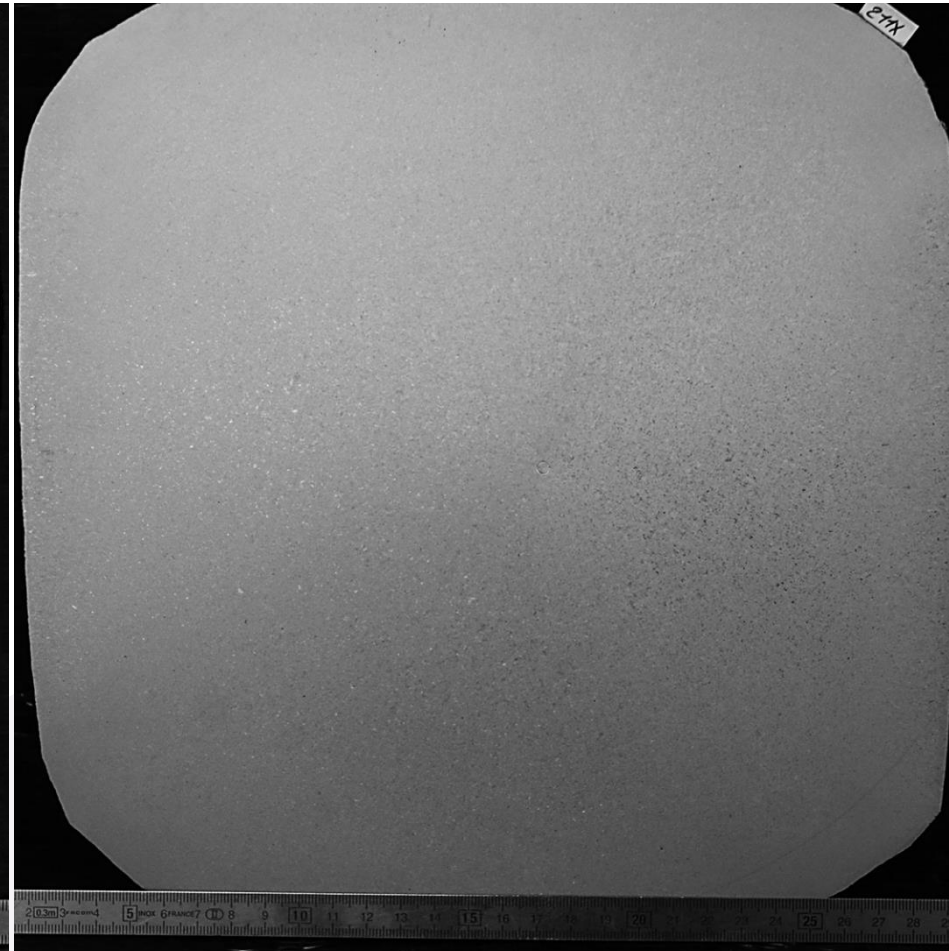
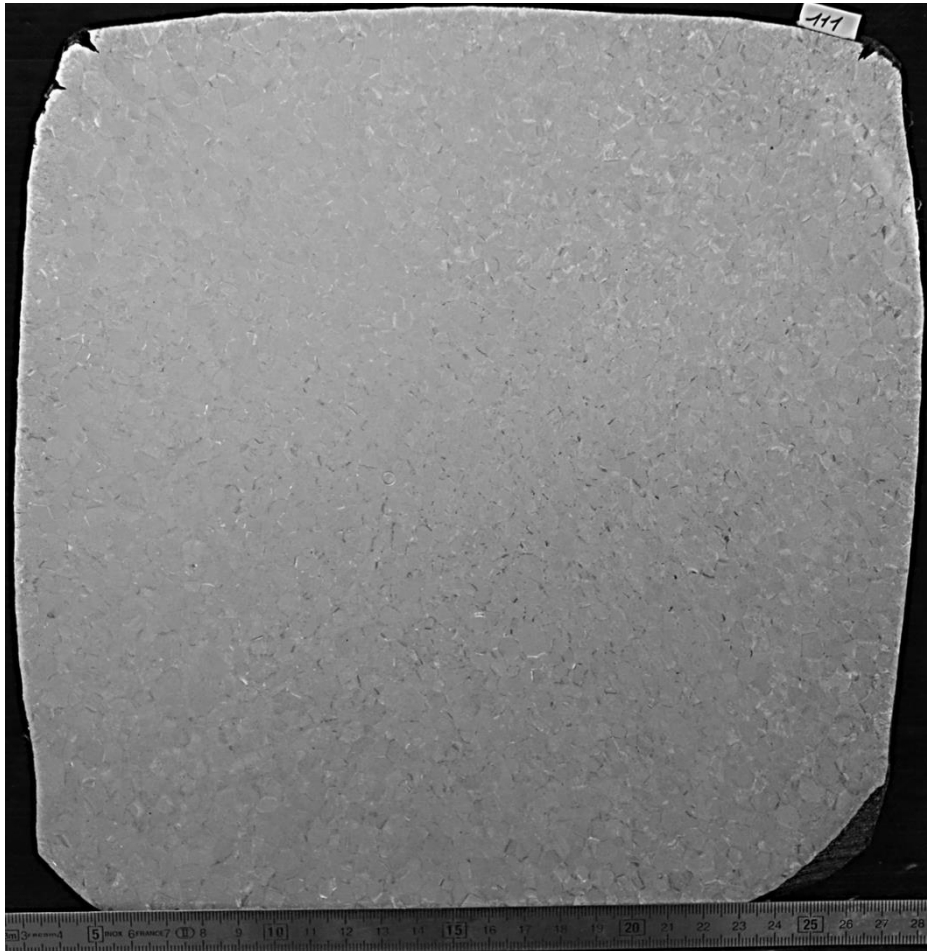


Présence d'indications de type « bêta fleck » en zone centrale



Examen Structure

Homogénéité Forgeage



04

Applications

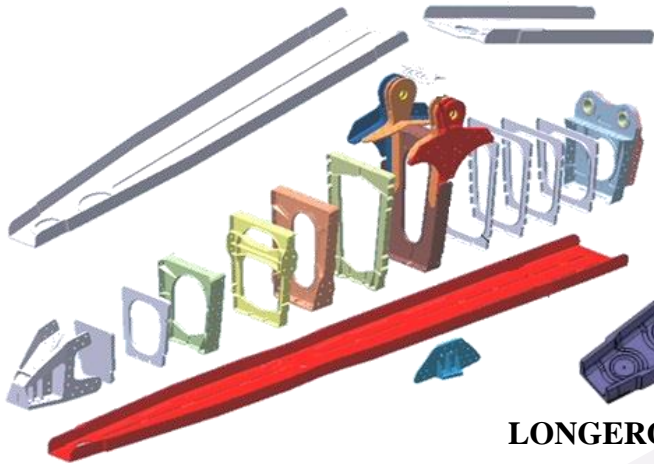
UKAD

AUBERT & DUVAL
AD

eraMET

Applications

Mât réacteur A380



LONGERON SUP AV – TA6V
A68290

LONGERON SUP ARR – TA6V
A68300

N9 – TA6V
A67600

BELPHEGOR – TA6V
E25950-60

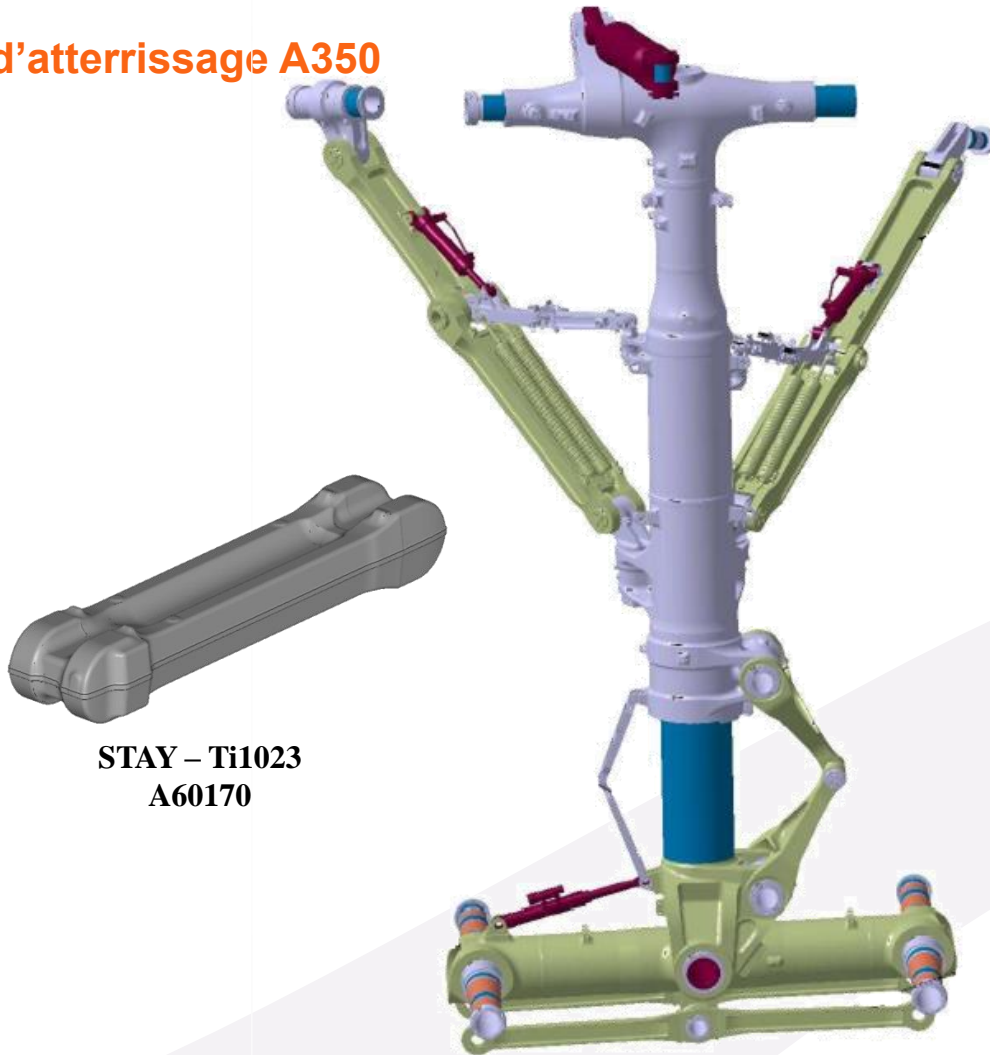
DOG HEAD – TA6V
E25970-80
E26080-90

LONGERON INF – TA6V

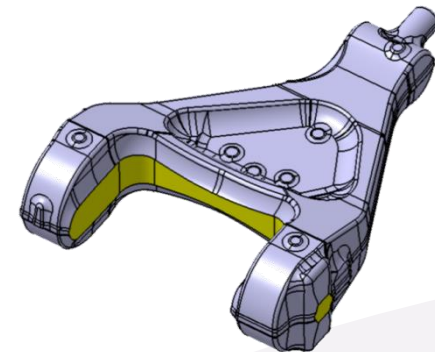


Applications

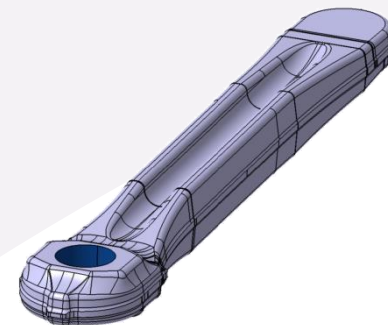
Train d'atterrissage A350



**STAY – Ti1023
A60170**



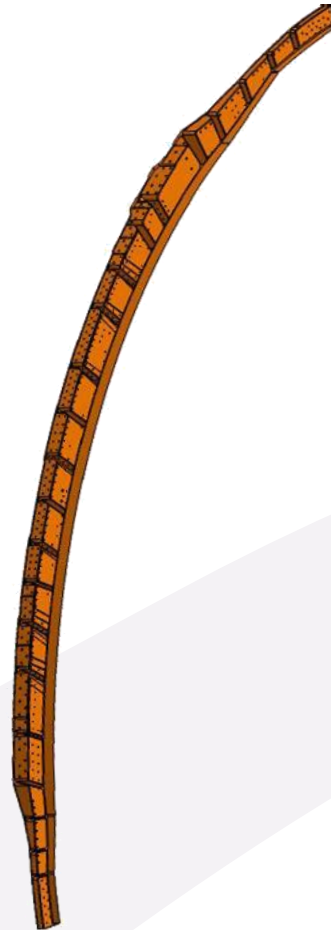
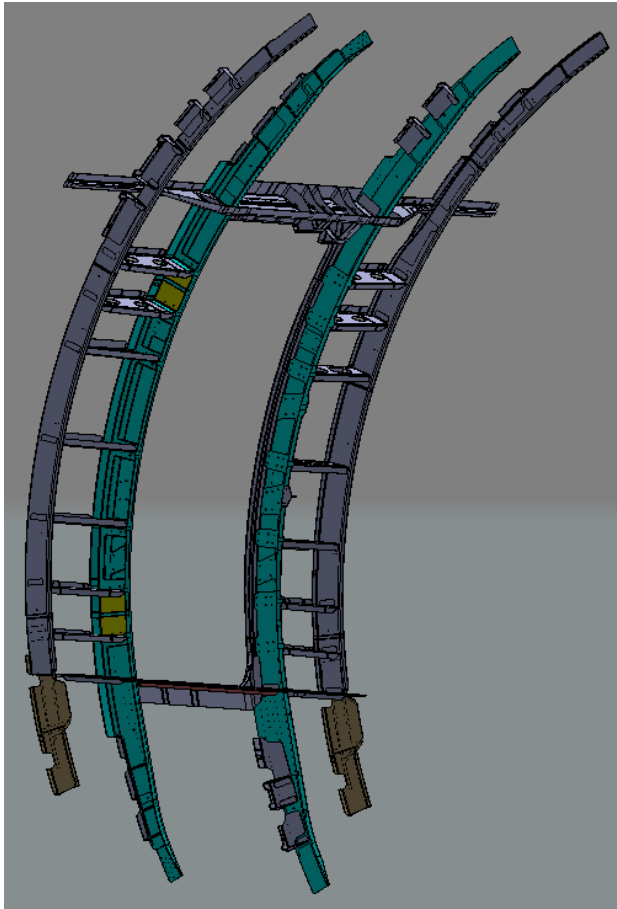
**TORQUE LINK – Ti1023
K60350**



**BRAKE ROD – Ti1023
A60150**

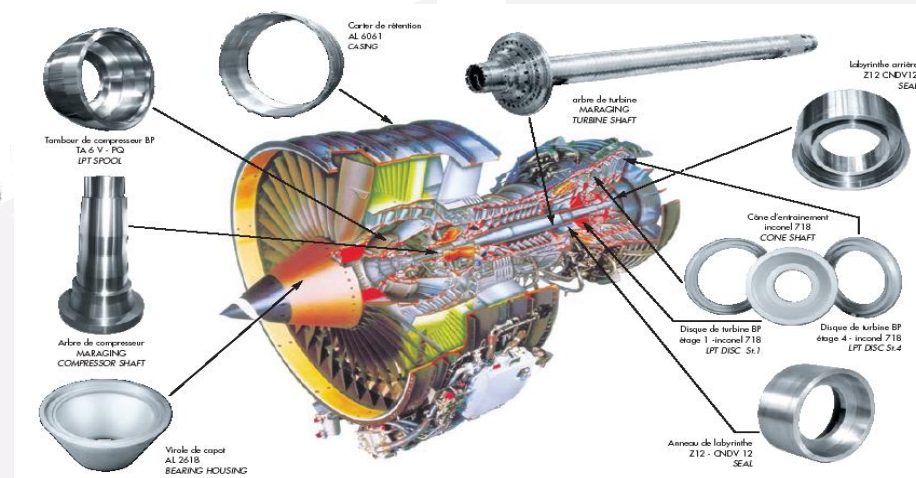
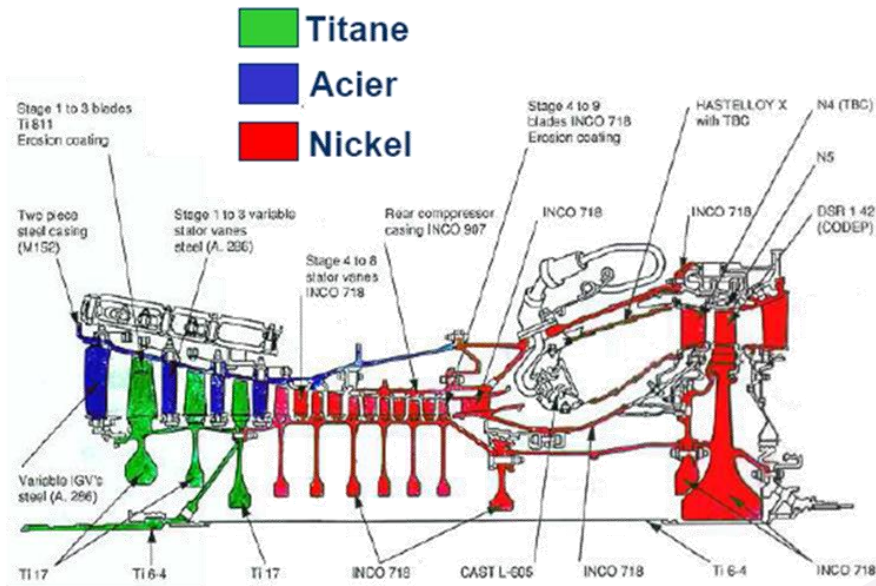
Applications

Cadre de portes « Doorframes)»



Applications

Moteurs



Applications

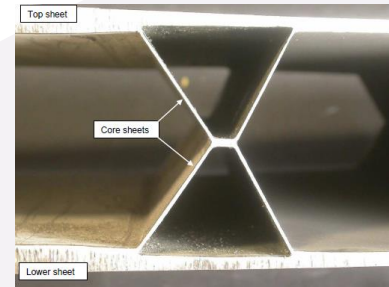
Autres



Prothèses
médicales



Fasteners/rivets



Tôles (SPF, blindage)

05

Conclusion

UKAD

AUBERT & DUVAL
AD

eraMET

Conclusion

Titane

- **Le forgeage et le matriçage ne sont pas que des opérations de mise en forme. Pour les alliages de titane, le traitement thermomécanique confère les propriétés en service de la pièce matriçée.**
- **Une grande variété de microstructure peuvent être obtenues pour une même composition chimique et des traitements thermomécaniques différents.**
- **Une grande attention doit être portée notamment:**
 - > A la thermique des produits (chauffage, temps de transfert, auto-échauffement, ...)
 - > A la répartition de la déformation.