

L'impact des traitements thermiques et CIC sur la microstructure et les propriétés mécaniques des pièces en Ti6Al4V par EBM et contrôle géométrique du procédé pour guider l'usinage

Journées A3TS Fabrication Additive, 2-3 décembre 2015

S. Michotte (SIRRIS),

C. de Formanoir et S. Godet (ULB),

A. Dolimont et E. Rivière (UMons)



driving industry by technology



Sirris | 25 years of Additive Manufacturing

Team of 20 independent experts

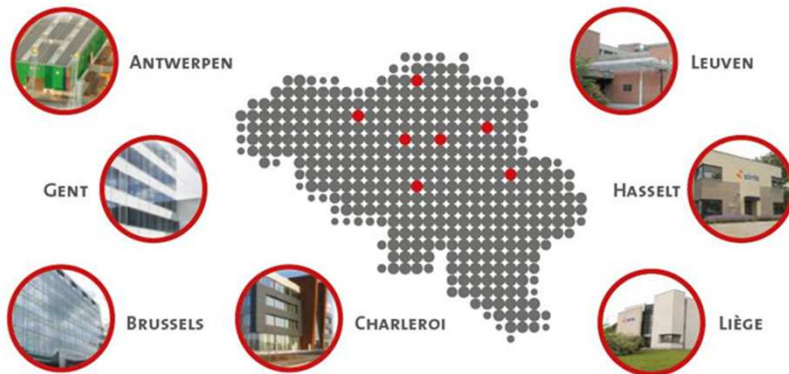
Most complete installed base in EU

Metals
Polymers
Ceramics

More than 10 additive technologies in house

© sirris | www.sirris.be | info@sirris.be | 3

130 experts and a high-tech infrastructure
Local presence, always near industry



S. Michotte



A. Dolimont et E. Rivière



C. de Formanoir et S. Godet



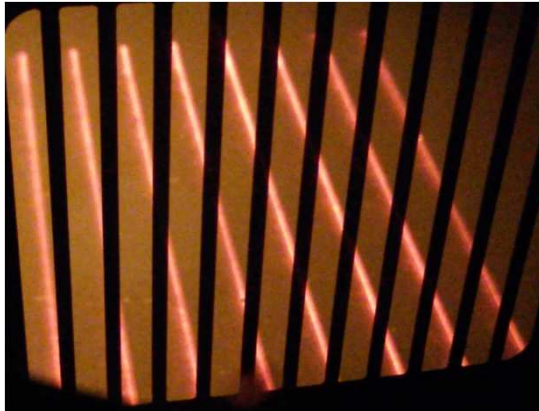
driving industry by technology



Plan

- Le procédé EBM en bref
- Microstructure Ti6Al4V et rugosité de surface
- Propriétés mécaniques en statique
- Impact de la CIC
- Impact des traitements thermiques
- Propriétés mécaniques en fatigue
- Caractérisation de la précision dimensionnelle du procédé pour guider l'usinage

EBM process



Preheating I



Outer Contours



Extra heating I



Preheating II



Inner Contours

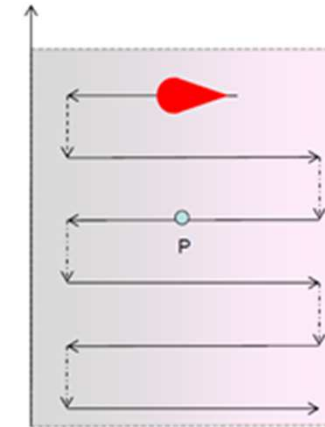
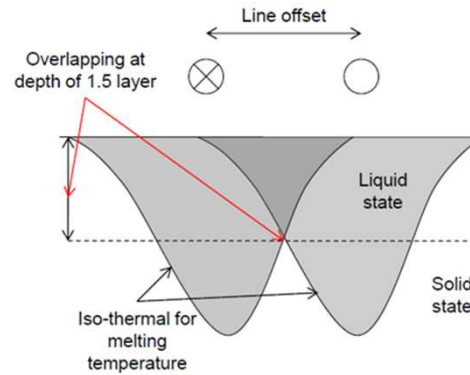
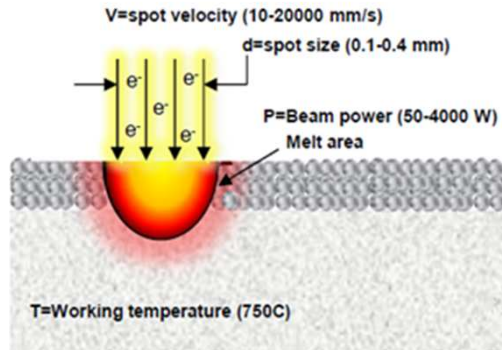


Core-melting

(90° rotation @ each layers)



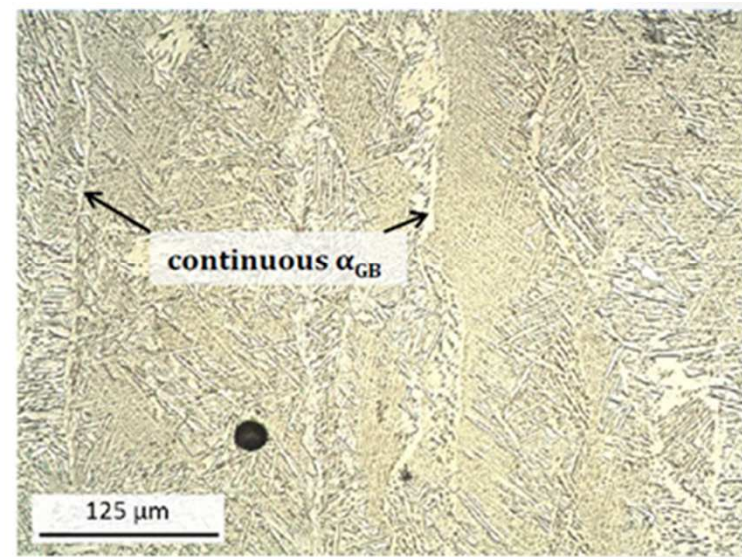
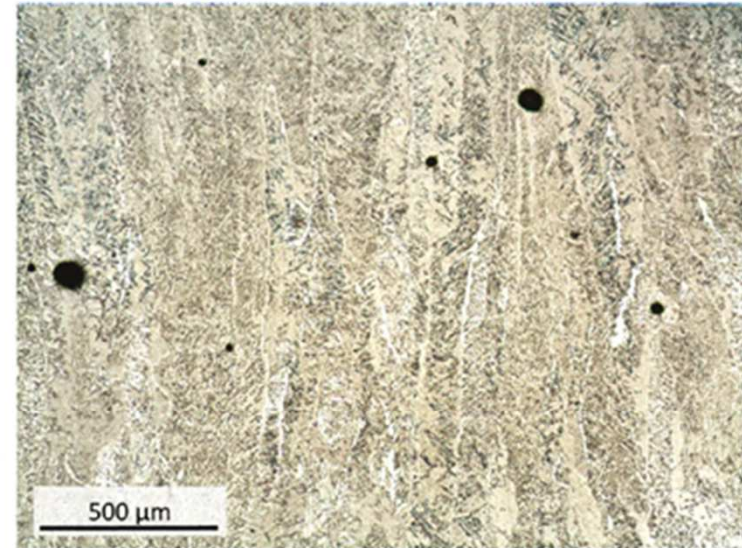
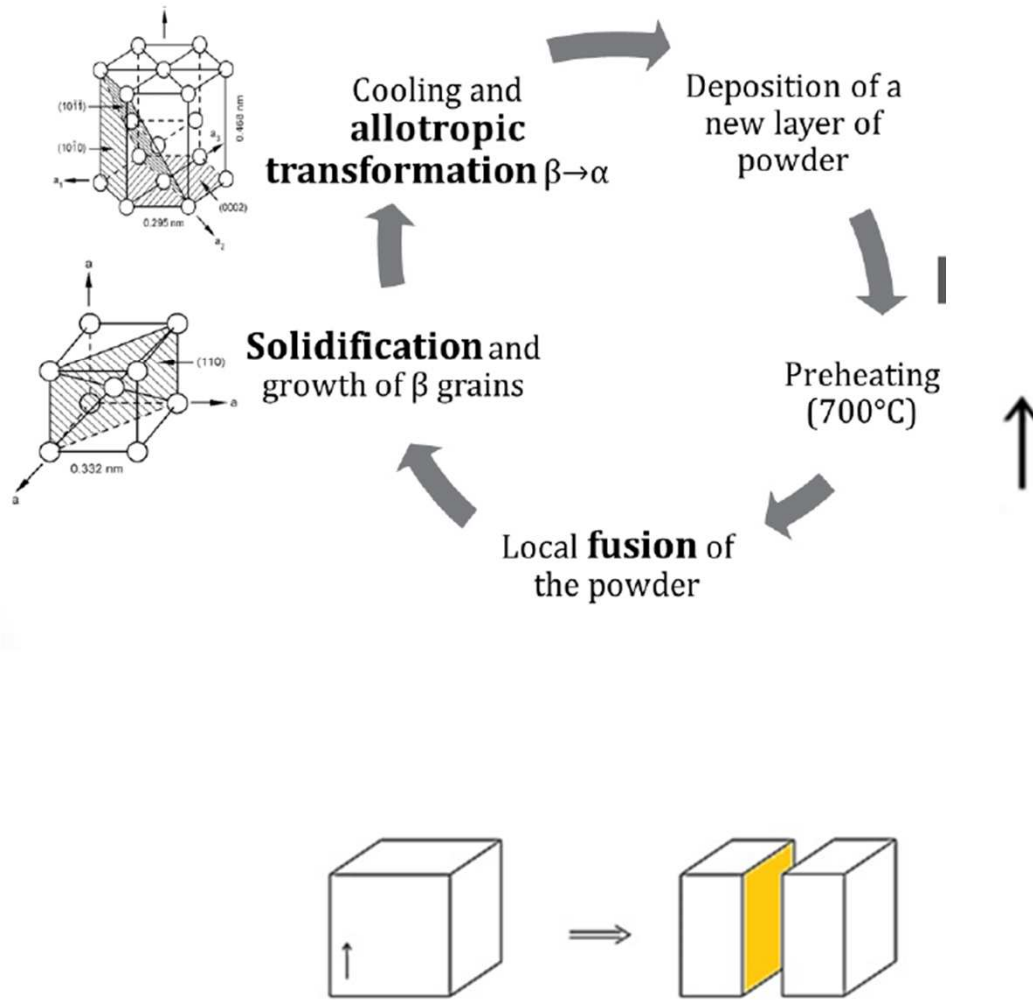
Paramètres process les plus significatifs



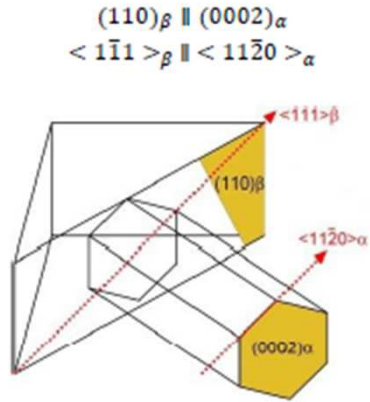
$$\text{density } E = \frac{60kV * \text{current } I}{\text{spot size } d * \text{speed } v * \text{layer thickness } t}$$

| layer | 50 μm | 70 μm |
|----------------|-------------------|-------------------|
| Hatch spacing | 100 μm | 200 μm |
| Spot size | 200 μm | 400 μm |
| Speed function | 98 | 36 |

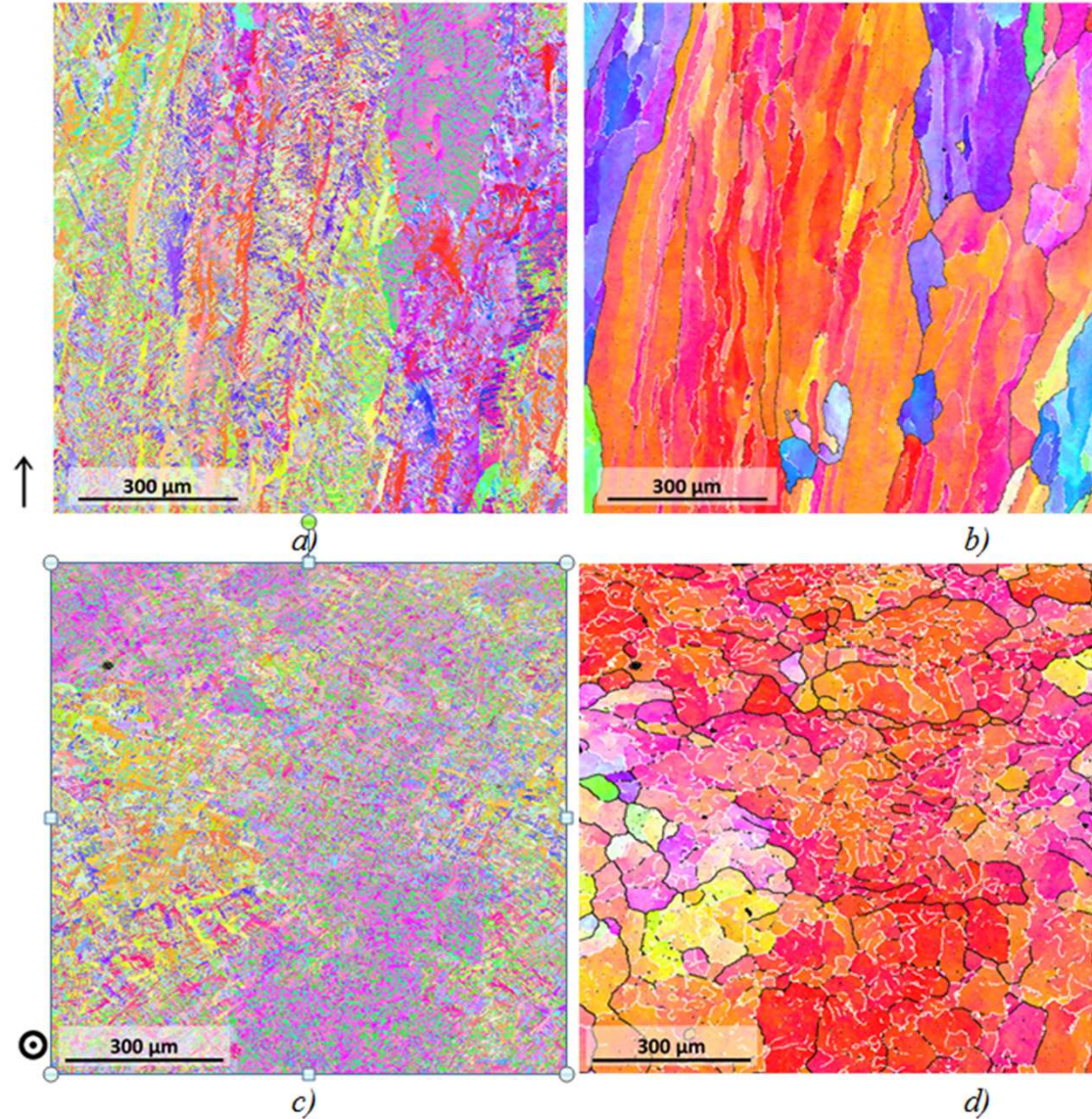
Microstructure Ti64 EBM



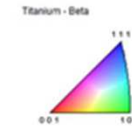
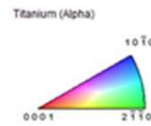
Microstructure Ti64 EBM (2)



Relations de Burgers
 -> 12 variantes
 Réduction de l'anisotropie



Lionel Germain, LEM3, Metz



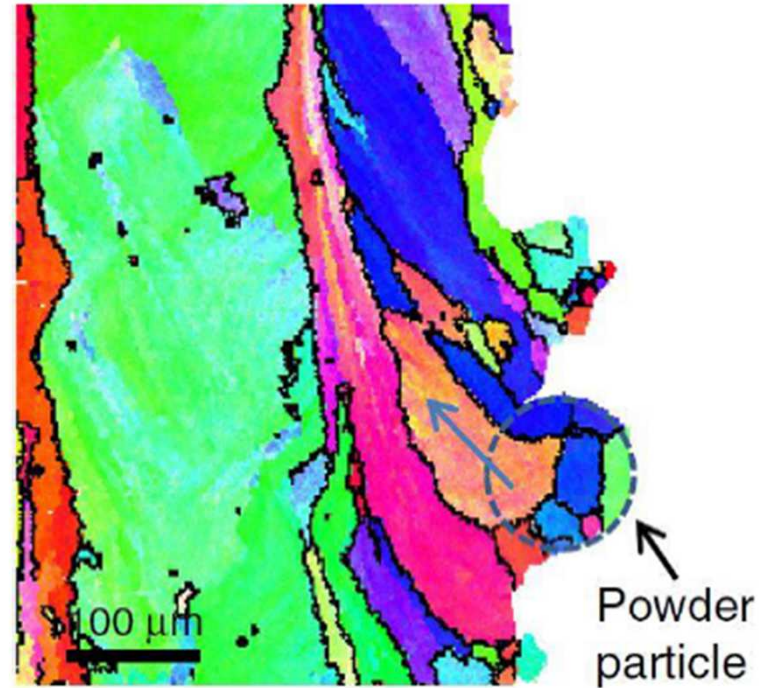
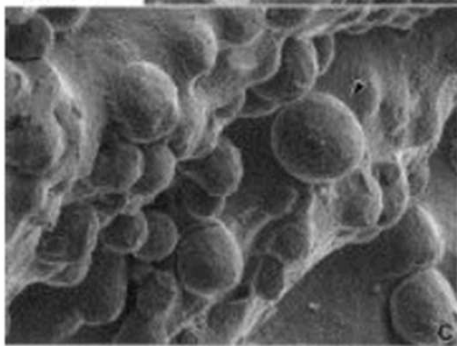
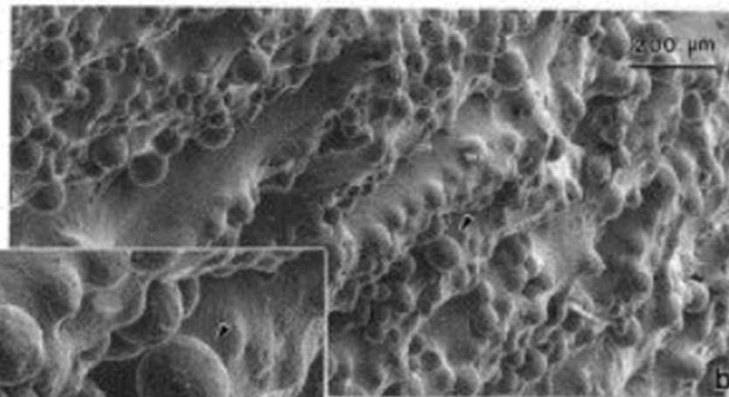
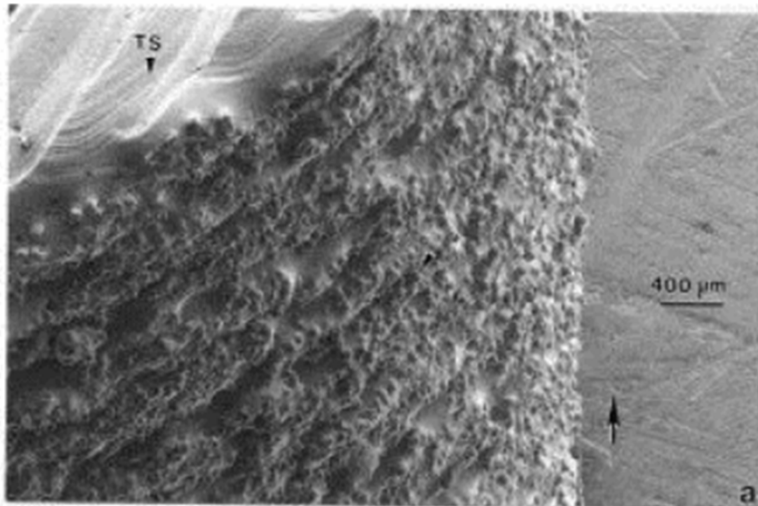
Boundaries: Rotation Angle
 Min 5° Max 15°
 — 15° 180°



driving industry by technology



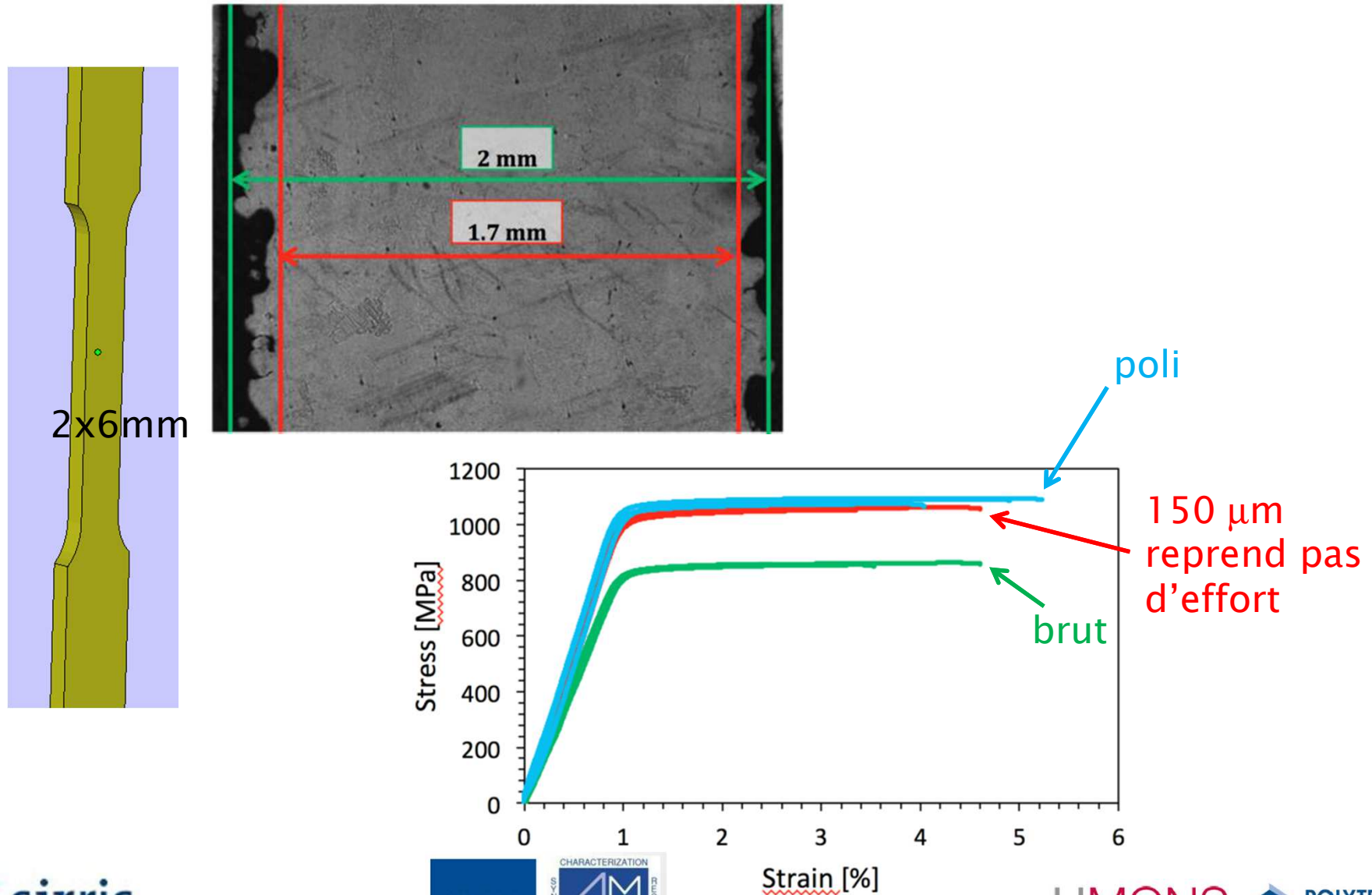
Rugosité de surface $\sim 35\mu\text{m}$



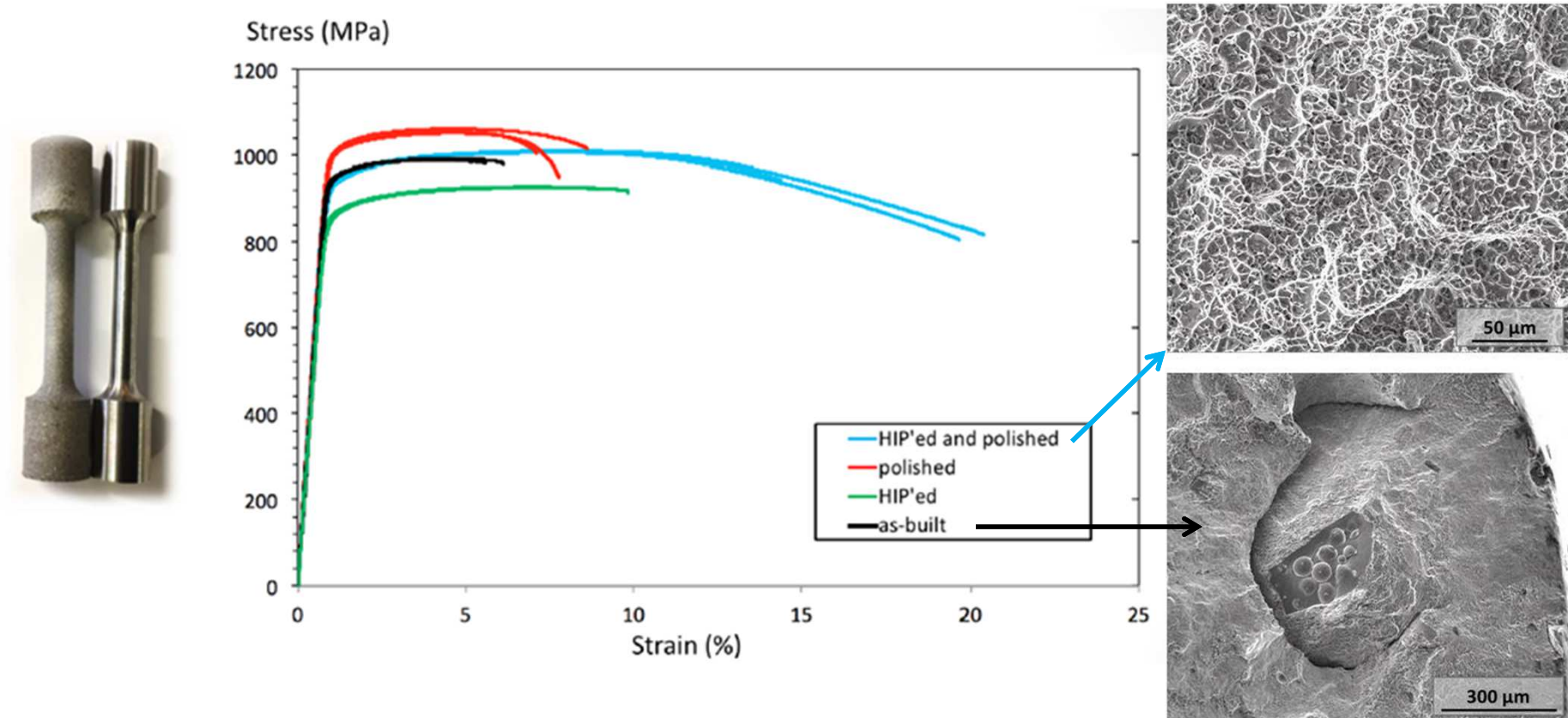
Reconstruction numérique des grains parents β proche de la surface
A.A. Antonysamy, et al., Materials Characterization, 84 (2013) 153–168

L.E. Murr et al., J. of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2 (2009) 20–32

Propriétés méca Ti64 EBM en statique



Impact du CIC sur les propriétés méca statiques



Polissage → augmentation de la résistance à la rupture (~70MPa)

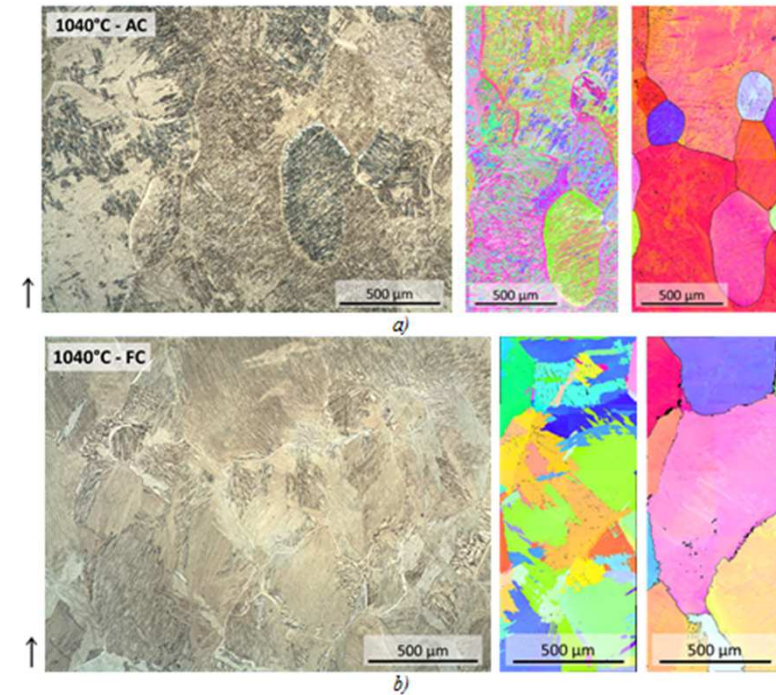
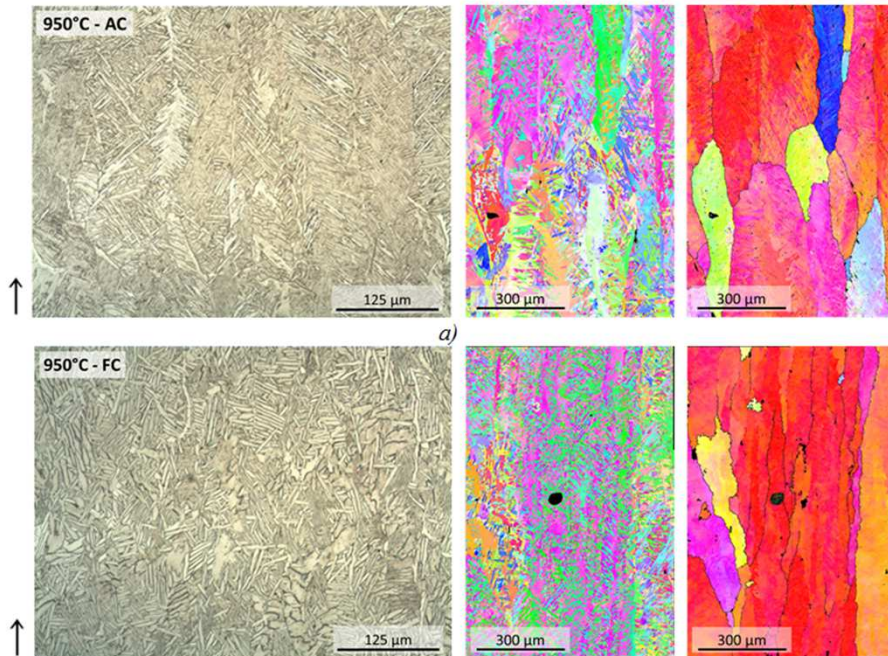
CIC (920°C ±10 – 1000bar –0/+50 – 120minutes –0/+30)

→ diminution résistance à la rupture (~50MPa) et augmentation ductilité

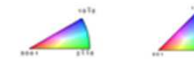
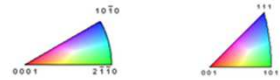
Impact du traitement thermique (30min)

Lamelles $1.8 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ~brut subtransus

supertransus

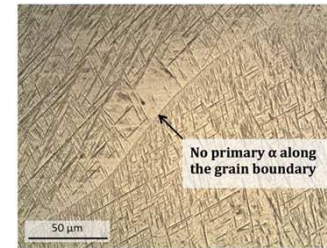
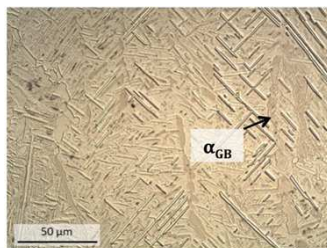


Lamelles $2.9 \pm 0.2 \mu\text{m}$

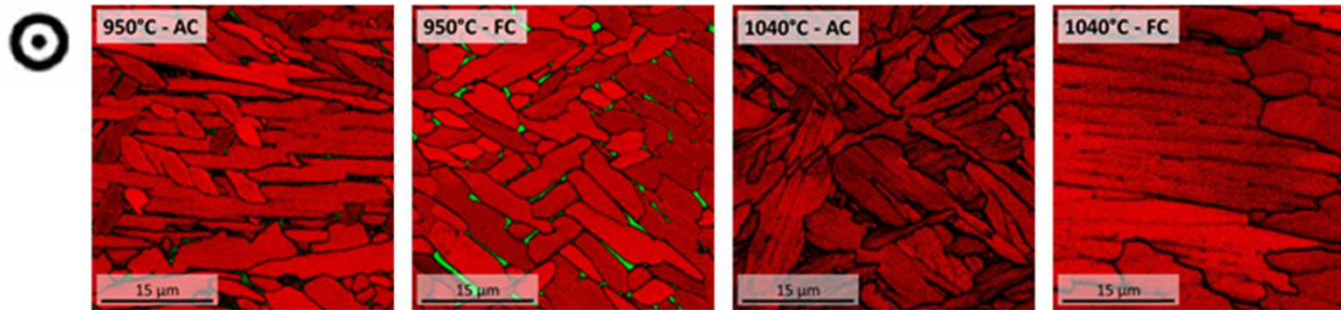


Présence de α_{GB} empêche la croissance des grains. Grossissement des lamelles

Absence de α_{GB} conduit à une croissance des grains β .

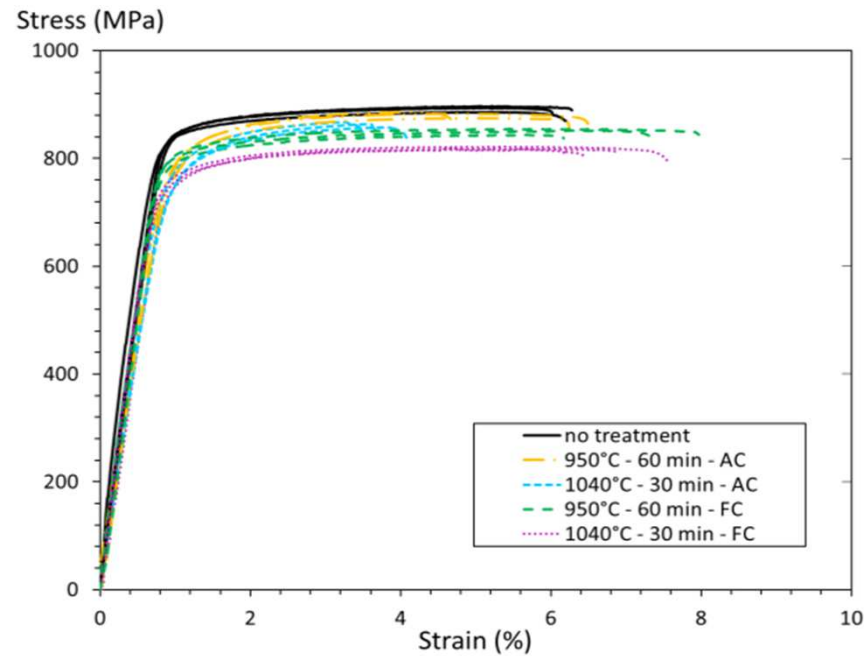


Impact du traitement thermique (2)

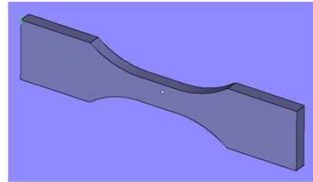


proche Fraction
volumique de la phase β à
l'équilibre $\sim 10\%$

Non poli

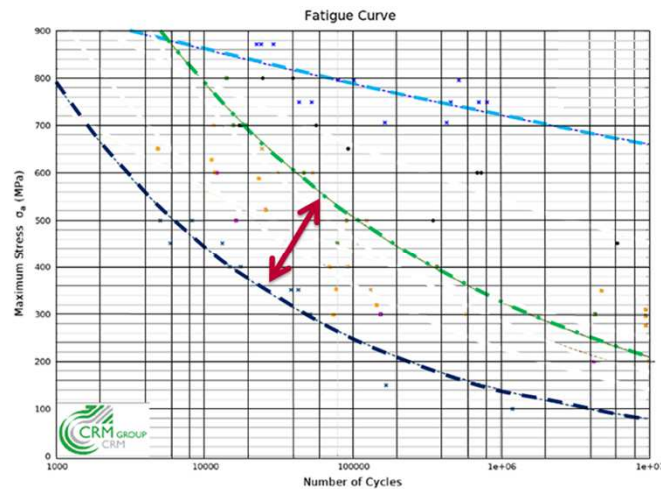


Propriétés méca Ti64 EBM fatigue

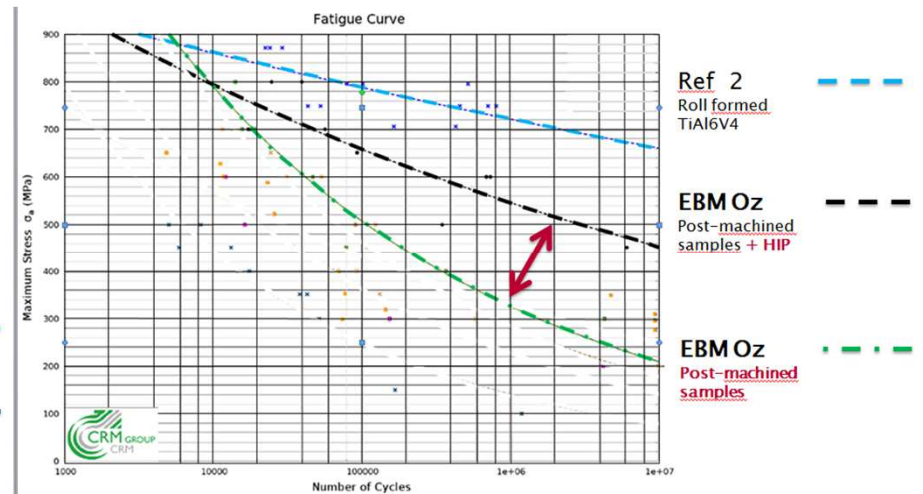


Mode: strain-strain
Control: force
Form: sinusoidal
R: 0.1

Impact rugosité



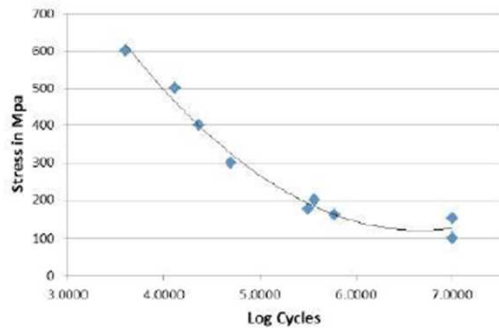
Impact CIC



microstructure lamellaire → haute résistance à la croissance des fissures de fatigue (déflexion des fissures suivant les paquets de lamelles orientés différemment – profil de fissuration irrégulier, consommant une énergie additionnelle pour la propagation de fissure)

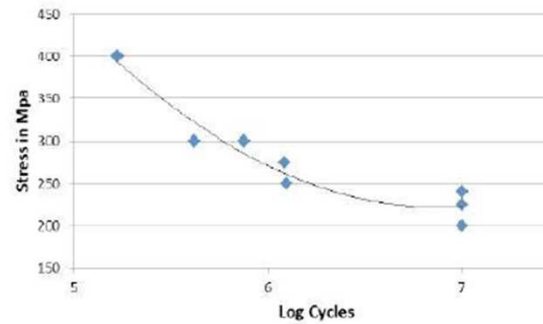
Propriétés méca Ti64 EBM fatigue (2)

vertical as-built



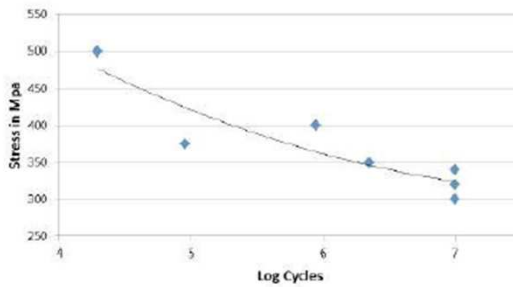
(a)

horizontal as-built



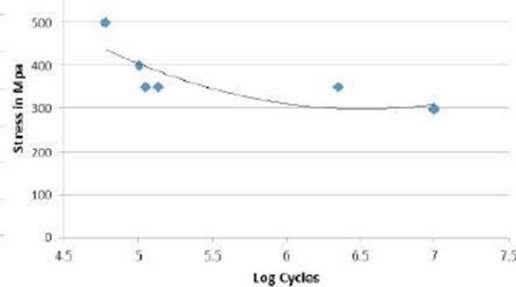
(b)

vertical machined

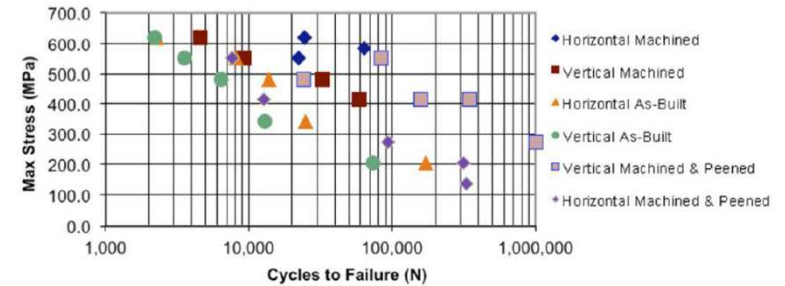


(c)

horizontal machined



(d)



P. Edwards et al., Journal of Manufacturing Science and Engineering, 135 (2013) 7

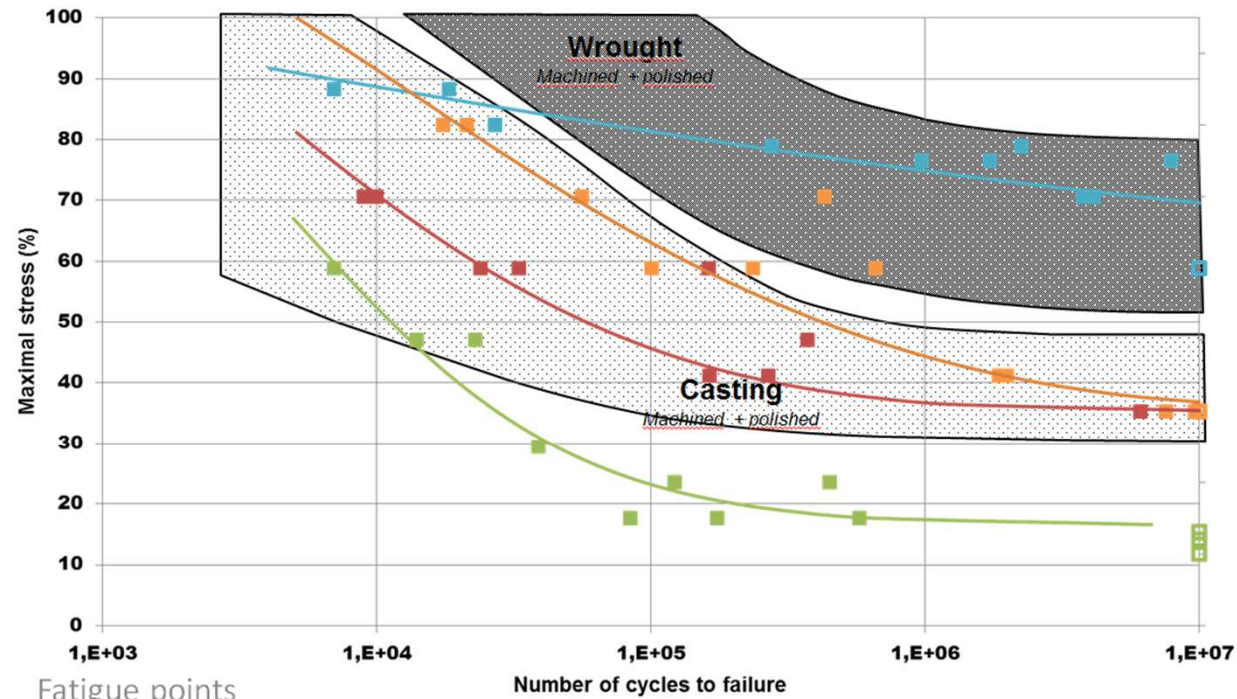
H. K. Rafi et al., 23rd Solid Freeform Fabrication Symposium, 2012

Vertical > Horizontal

Vertical < Horizontal

Propriétés méca Ti64 EBM fatigue (3)

Usiné < 1 μm
 Poli < 0,25 μm
 R: -1



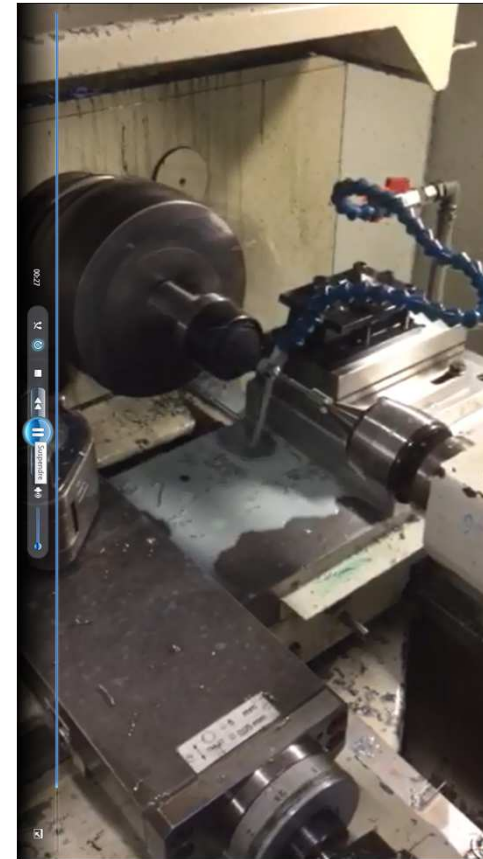
Fatigue points
 Z – Machined + polished
 Z – as built
 XY – Machined + polished
 Z – HIP + Machined + polished

Source :
 G. Welsch, R. Boyer and E.W. Collings,
 Materials properties handbook:
 titanium Alloys,
 2nd edition, ASM International, 1998

Vertical < Horizontal

V. Chastand, A. Tezenas et Y. Cadoret (Thales)

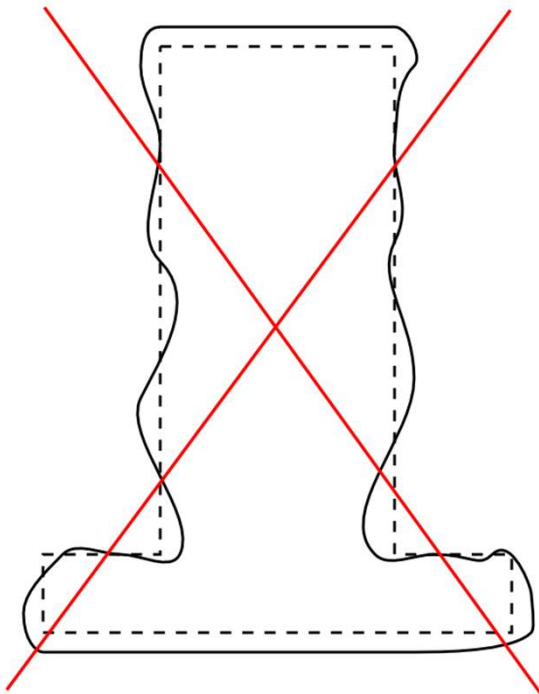
Usinage de pièces EBM



Temps d'usinage +/- 30 sec pour une pièce de 60 mm
 $V_c = 50\text{m/min}$
Usure outils comparable à l'usinage titane classique
Brut <> CIC

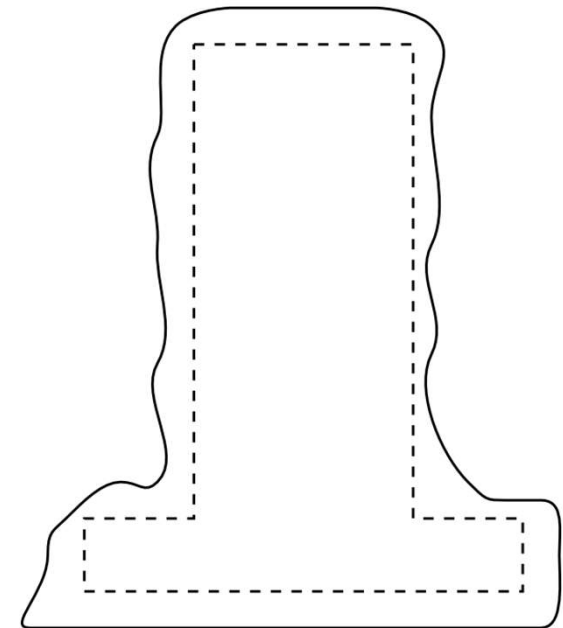
Caractérisation précision du process EBM en vue de guider l'usinage

Usinage traditionnel
À pd EBM brut



NOK

Final désiré
profile
Pièce brut

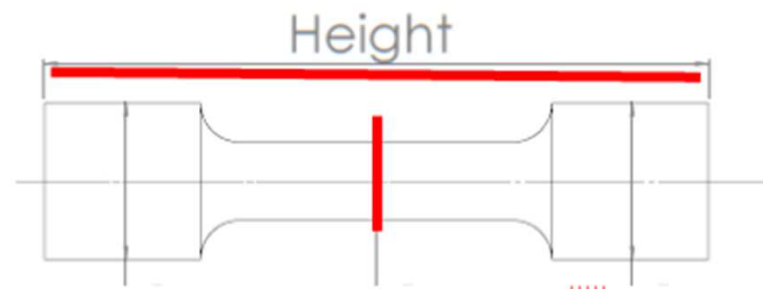
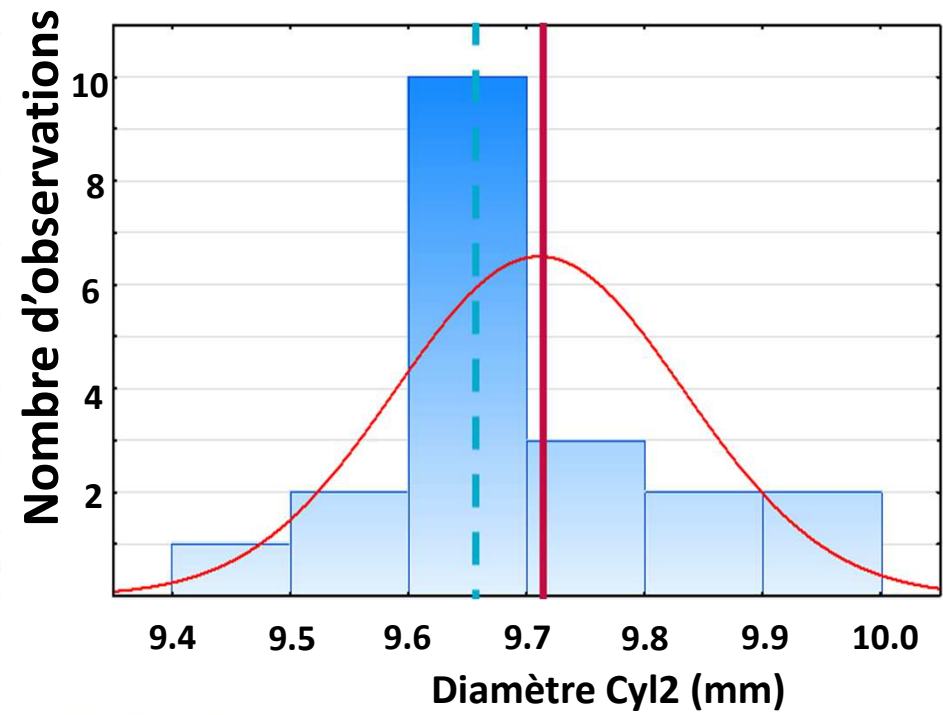
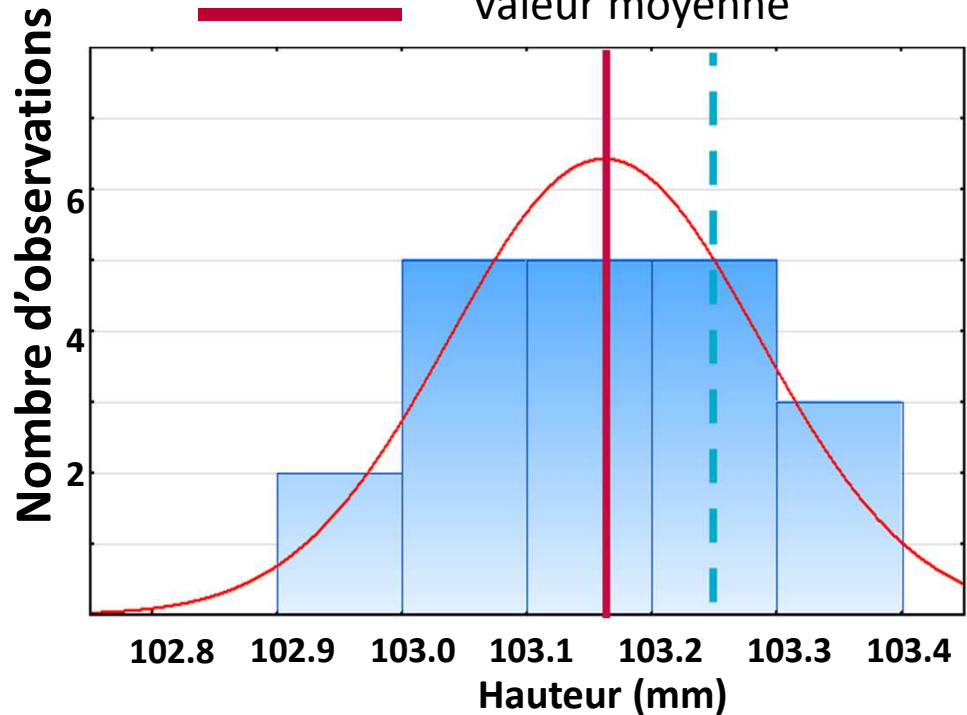


OK

- + Moins de perte matière
 - + Temps d'usinage réduit
 - Pas certain d'atteindre les tolérances
- ➔ **nécessité d'un bon contrôle du procédé**

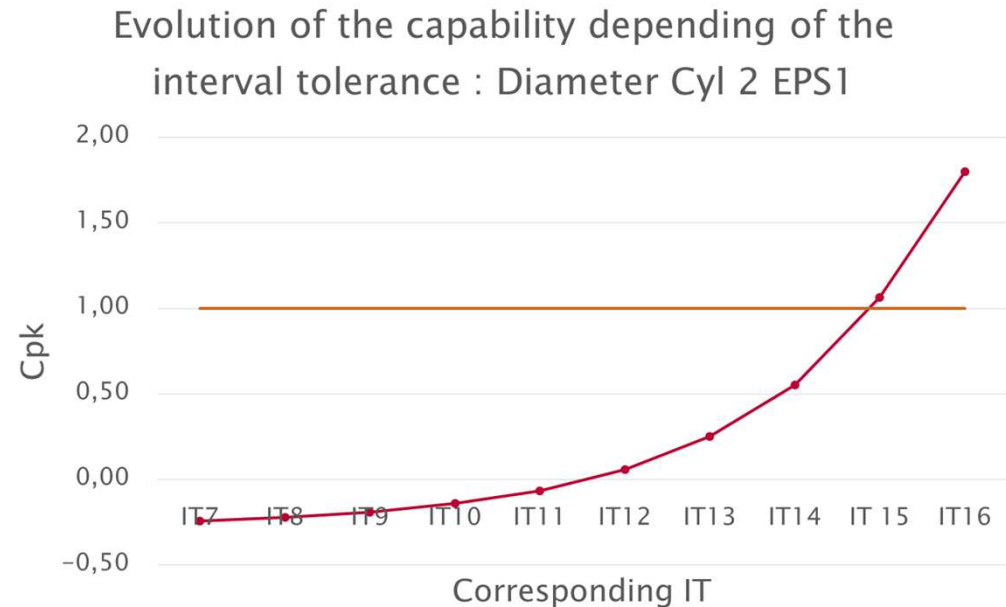
Caractérisation précision du process EBM en vue de guider l'usinage

— Valeur cible
— Valeur moyenne



Caractérisation précision du procédé EBM en vue de guider l'usinage

- Définition des surépaisseurs d'usinage en fonderie:
0.5 mm ± ½ IT
- 0.5 + ½ IT _x(d)



| Procédé | Fonderie Sable | Fonderie moule permanent | EBM |
|---------|----------------|--------------------------|-----------|
| IT | IT11–IT16 | IT10–IT13 | IT12–IT15 |
| CT | CT7–CT9 | CT6–CT8 | CT6–CT7 |
| Ra | 6,3– 50 μm | 3,2–12,5 μm | 8–30 μm |

Ex.: pour 100mm : 0,5mm + ½ IT15(100) = 1,3mm

Conclusions sur le procédé EBM (Ti6Al4V)

- Forte influence rugosité de surface sur les propriétés mécaniques statique et fatigue
- Gain significatif du CIC en ductilité et fatigue
- Légère anisotropie
- Propriétés légèrement supérieure à la fonderie
- Propriétés légèrement inférieures au forgé
- Capabilité « dimensionnelle » aussi bonne que fonderie sable et comparable fonderie moule permanent