ALEACIONES DE TITANIO: PROPIEDADES Y APLICACIONES

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- PROPIEDADES MECÁNICAS
- PROCESOS
- TRATAMIENTOS TÉRMICOS
- APLICACIONES
- DUTIFRISK

INTRODUCCIÓN

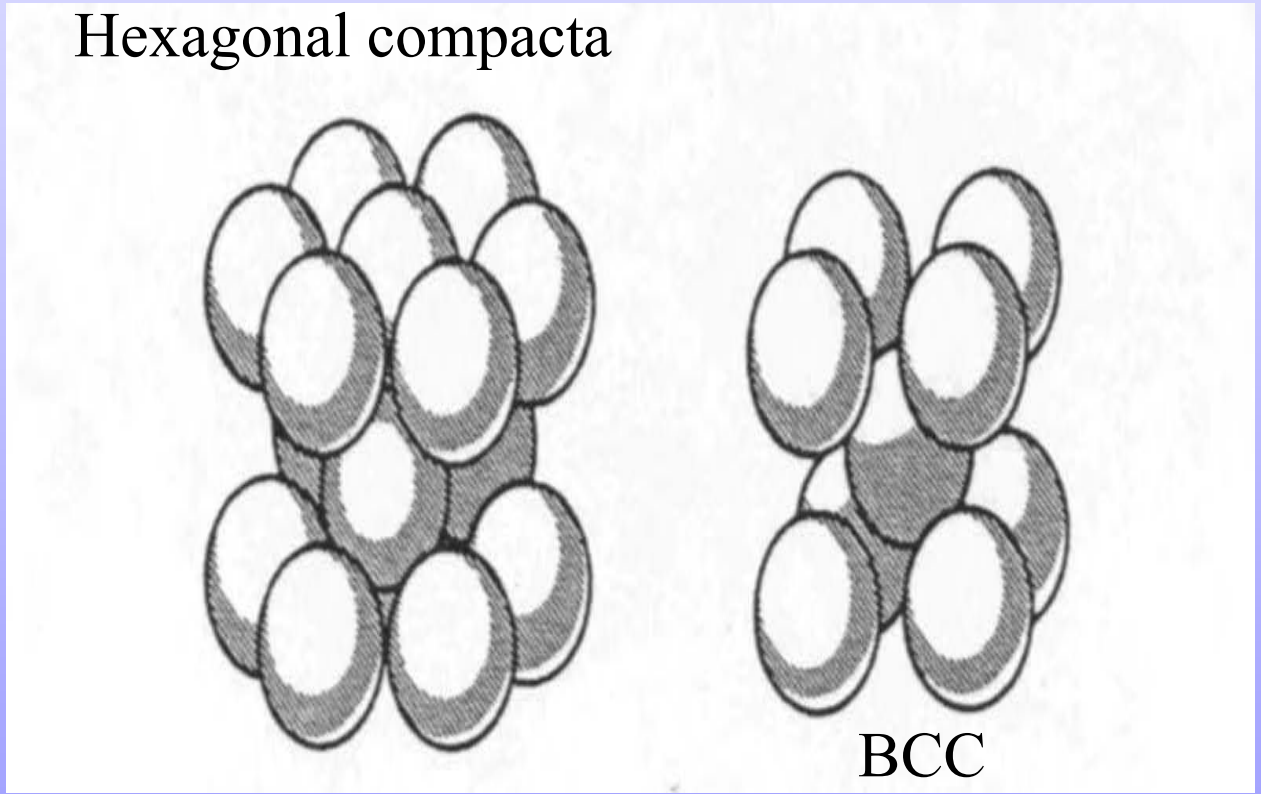
Fase β - BCC

Transformación

Alotrópica 882 ºC

β-Transus

Fase α – HCP



ALEACIONES DE TITANIO

Efecto de los elementos aleantes

- Estabilizadores de fase α, son **Al, O, C y N.**

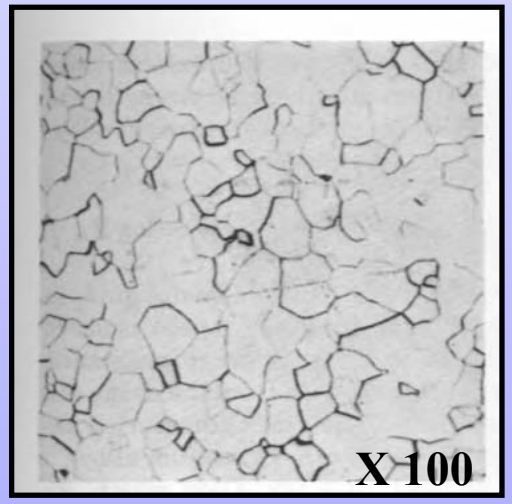
- Los metales que estabilizan la fase β, son elementos que permiten que sea estable a temperaturas inferiores al β-transus, estos elementos son **V, Mo, Ta.**

CLASIFICACIÓN

- Grados del titanio puro
  - Grado 1
  - Grado 2
  - Grado 3
  - Grado 4
- Aleaciones α
- Aleaciones casi - α
- Aleaciones $\alpha + \beta$
- Aleaciones β

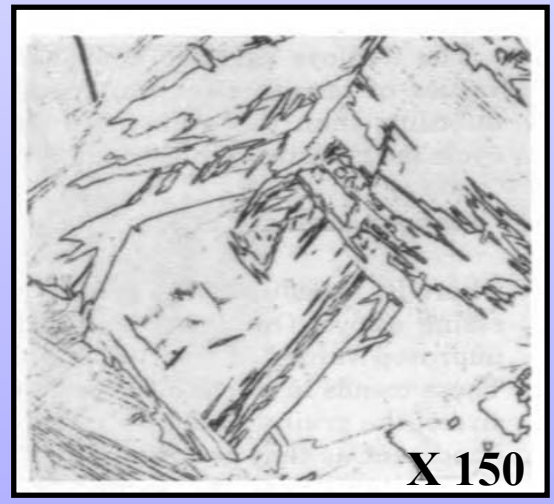
ALEACIONES α

Granos equiaxiales



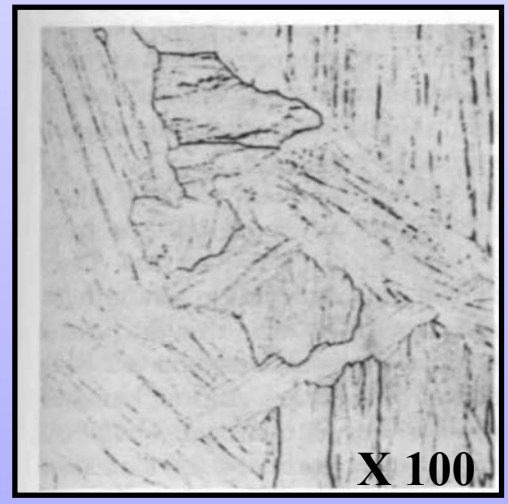
Recocido 1h 700ºC

Agujas aciculares



Templado desde fase β

P. Widmanstätten



Enfriado al aire

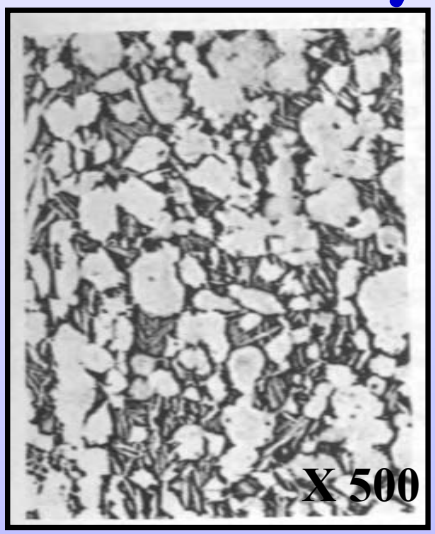
Aluminio equivalente:

Al + 1/3Sn + 1/6Zr + 10(O+C+2N) < 9%

Ti-50Al, Ti-O

Ti-4Al-2.5Sn

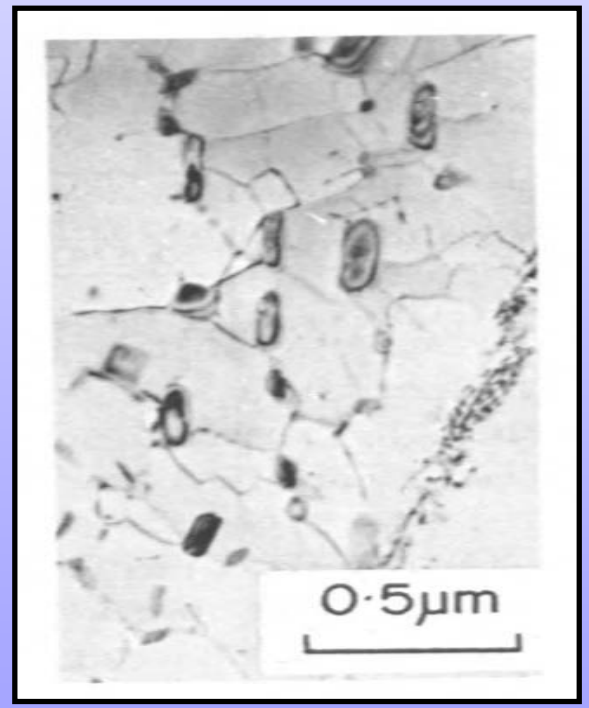
ALEACIONES CASI α



IMI 679 enfria al aire

IMI 685 temple aceite

Pequeñas cantidades de fase β mejoran la forjabilidad



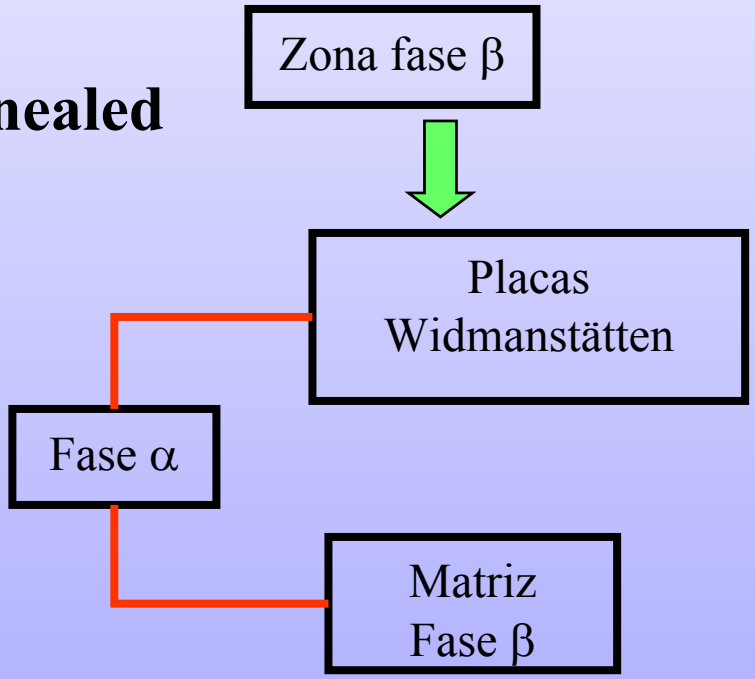
IMI 685 temple fase β

- Mayor resistencia que α a T_{amb}
- Gran resistencia a fluencia por encima de 400 ºC

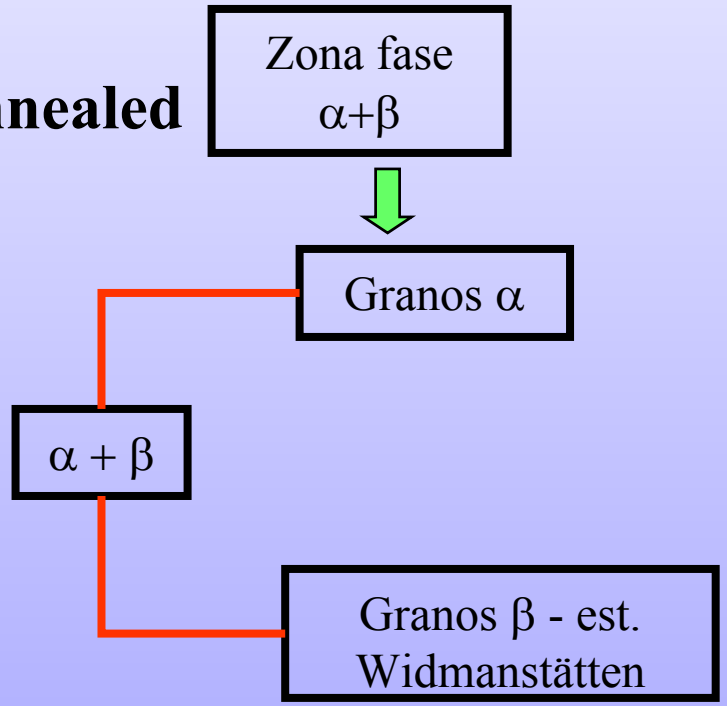
ALEACIONES α + β

Enfriamiento lento:

β annealed



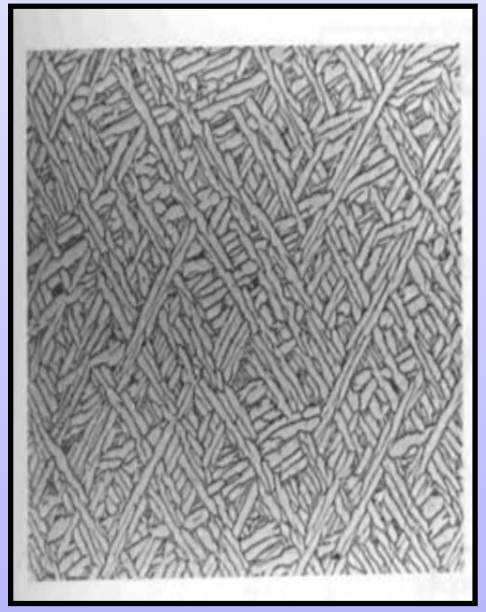
Mill annealed



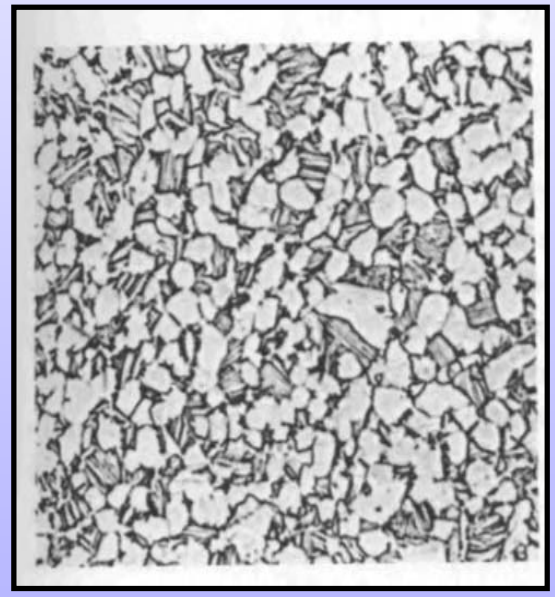
Enfriamiento rápido: α/β diluidas - martensita (α' α'' α''')

α/β concentrada - β metaestable

ALEACIONES α + β



D. β- isomorfo



Ti -64 enfriada lentamente desde campo β

Ti -64 recocido a 700ºC en campo α/β

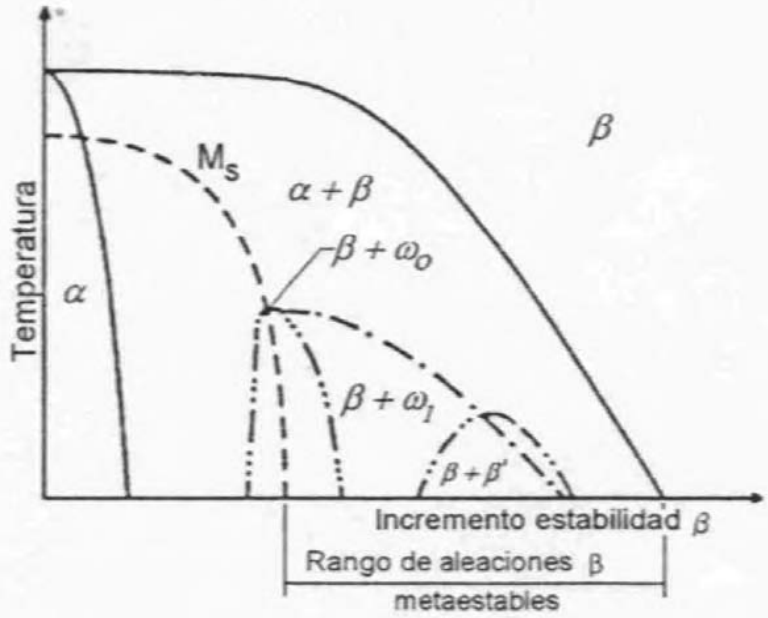
Ti -6Al -4V [IMI 318], Ti-6Al-6V-2Zr-0.7(Cu,Fe) [Ti-662]

Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo [Ti-6246], Ti-4Al-4Sn-4Mo-0,5Si [IMI 551]

Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr [Ti-17]

ALEACIONES β

Omitir la formación de fase ω



T. térmico en aleaciones β

Ti-13V-11Cr-3Al

Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al [Ti-8823]

Ti-15V-3Sn-3Cr-3Al [Ti-15-3-3-3]

PROPIEDADES MECÁNICAS

Parámetros que determinan la tenacidad de las aleaciones de titanio

- Nivel de elementos intersticiales y substitucionales
- Tamaño de grano
- Morfología microestructural
- Fracciones relativas de α y β
- Textura cristalográfica.

→ TRATAMIENTO TERMOMECÁNICO

Las aleaciones con mejor combinación de resistencia y tenacidad son las β metaestables, cuya microestructura consiste en una elevada fracción de fase β con precipitados muy finos de α.

PROPIEDADES MECÁNICAS

- **Aleaciones α**

FRACTURA : Clivaje y Crecimiento y coalescencia de cavidades

O, Al → Aumentan esfuerzo de cizalladura crítico para deslizamiento de dislocaciones, disminuyendo la tenacidad

- **Aleaciones β**

Mecanismos: Nucleación y crecimiento de pequeñas cavidades en intercaras α/β.

Influencia fase ω - disminuye tenacidad de fractura

PROPIEDADES MECÁNICAS

	Forging treatment‡	
	$\alpha + \beta$ phase field	β phase field
Tensile ultimate (MPa)	978	981
Tensile yield (MPa)	940	912
Tensile elongation (%)	16	12
Reduction in area (%)	45	22
Fracture toughness ($MPa\ m^{1/2}$)	62	79
10^7 fatigue limit (MPa)§	± 404	± 744

β transus 1500ºC

Ti-6Al-4V recocido 2h a 705ºC

- **Aleaciones α/β**

α+β granos equiaxiales

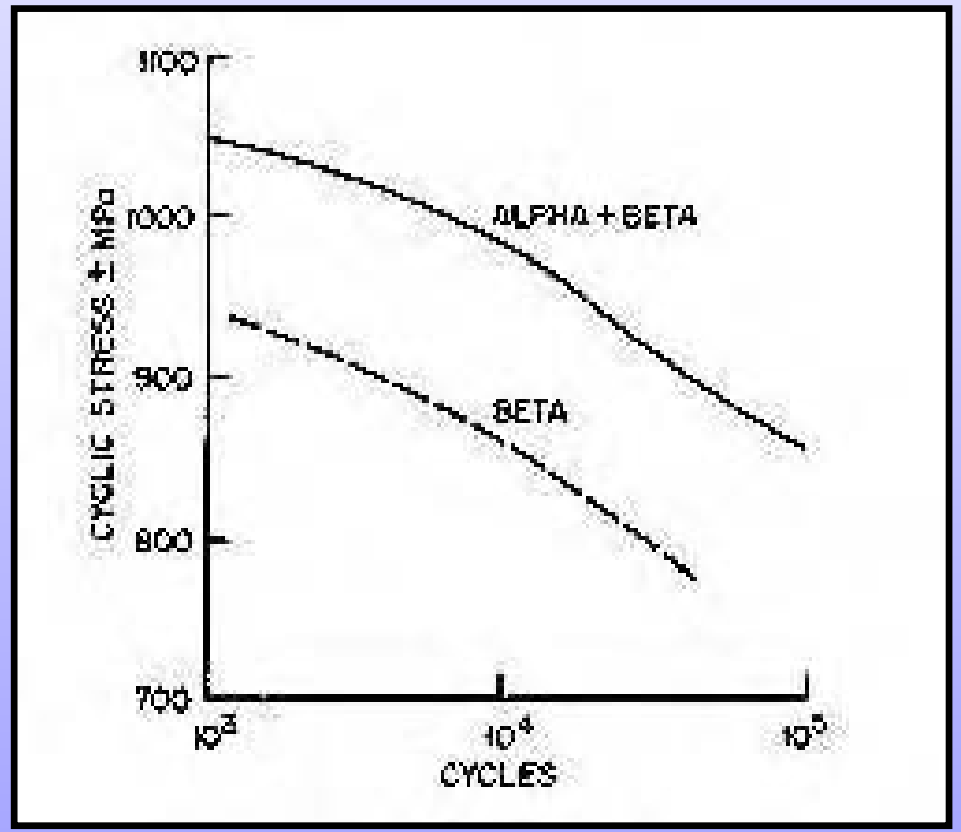
β placas Widmanstätten

Ductilidad mayor en la α+β

pero tenacidad de fractura mayor para la estructura de recocido en fase β

PROPIEDADES MECÁNICAS

Efecto de las diferentes proporciones de las fases α y β en las propiedades a fatiga de la aleación IMI 834



PROCESOS

MOLDEO- Debido a la afinidad del titanio líquido por el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, así como la reactividad con los crisoles y moldes, se requiere fusión en vacío y crisoles de grafito.

PULVIMETALÚRGIA- Atomización por centrifugación en vacío. Compresión isostática en caliente (HIP)

PROCESOS

FORJA: en frío será más difícil en la medida de la cantidad de estructura hexagonal compacta que contenga, ya que las posibilidades de deformación plástica serán muy limitadas, por lo que generan texturas y comportamientos dependientes de la dirección.

La posibilidad de la deformación en caliente si se hace a temperaturas superiores a la transformación alotrópica es equivalente a la de los aceros inoxidables, presentando en algunos casos superplasticidad.

PROCESOS

SOLDADURA

- Soldadura eléctrica con electrodo consumible o no,
- Plasma,
- Haz de electrones,
- Laser
- Fricción

Procesos por fusión control con atmósfera inerte o en vacío. NO FUNDENTES

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

- Reducir las tensiones residuales producidas en el proceso de fabricación.

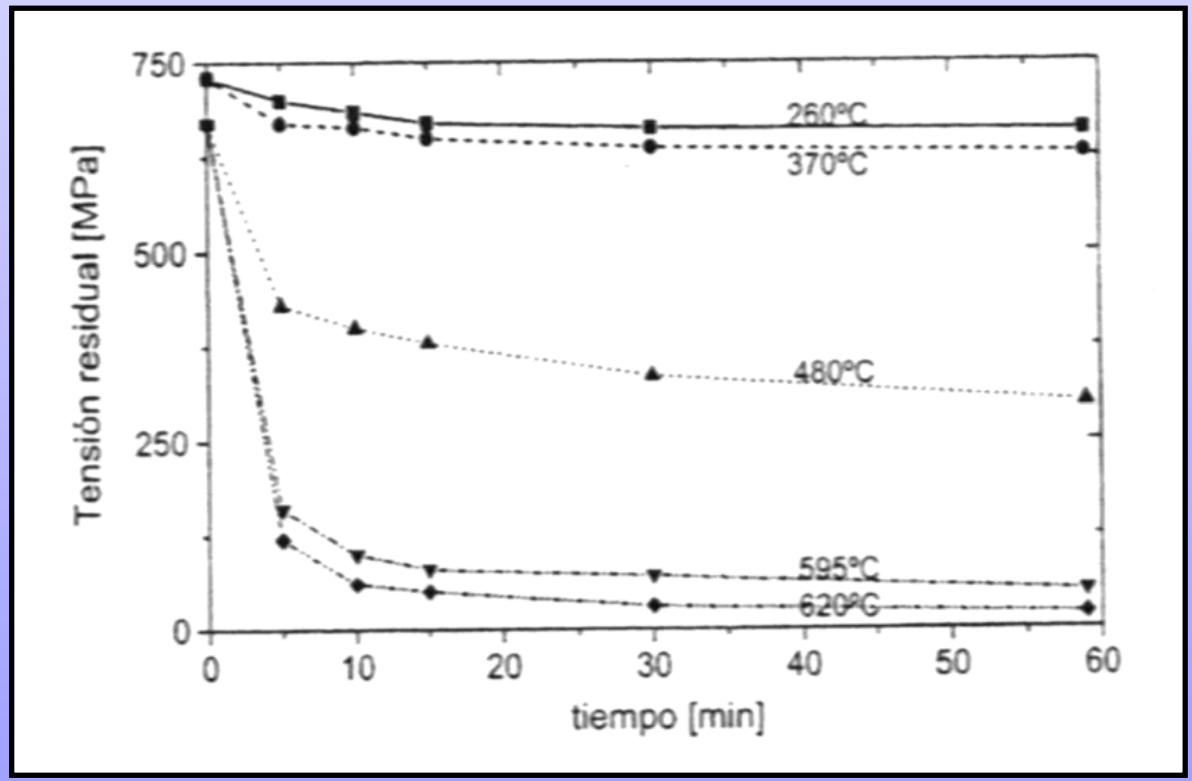
- Conseguir una adecuada combinación de ductilidad, maquinabilidad, estabilidad dimensional y estructural.

- Incrementar resistencia por medio de procesos de revenido y recocido.

- Optimizar propiedades particulares como la resistencia a la fractura, la resistencia a la fatiga o la resistencia a la fluencia a alta temperatura.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

- **RECOCIDO CONTRA ACRITUD**

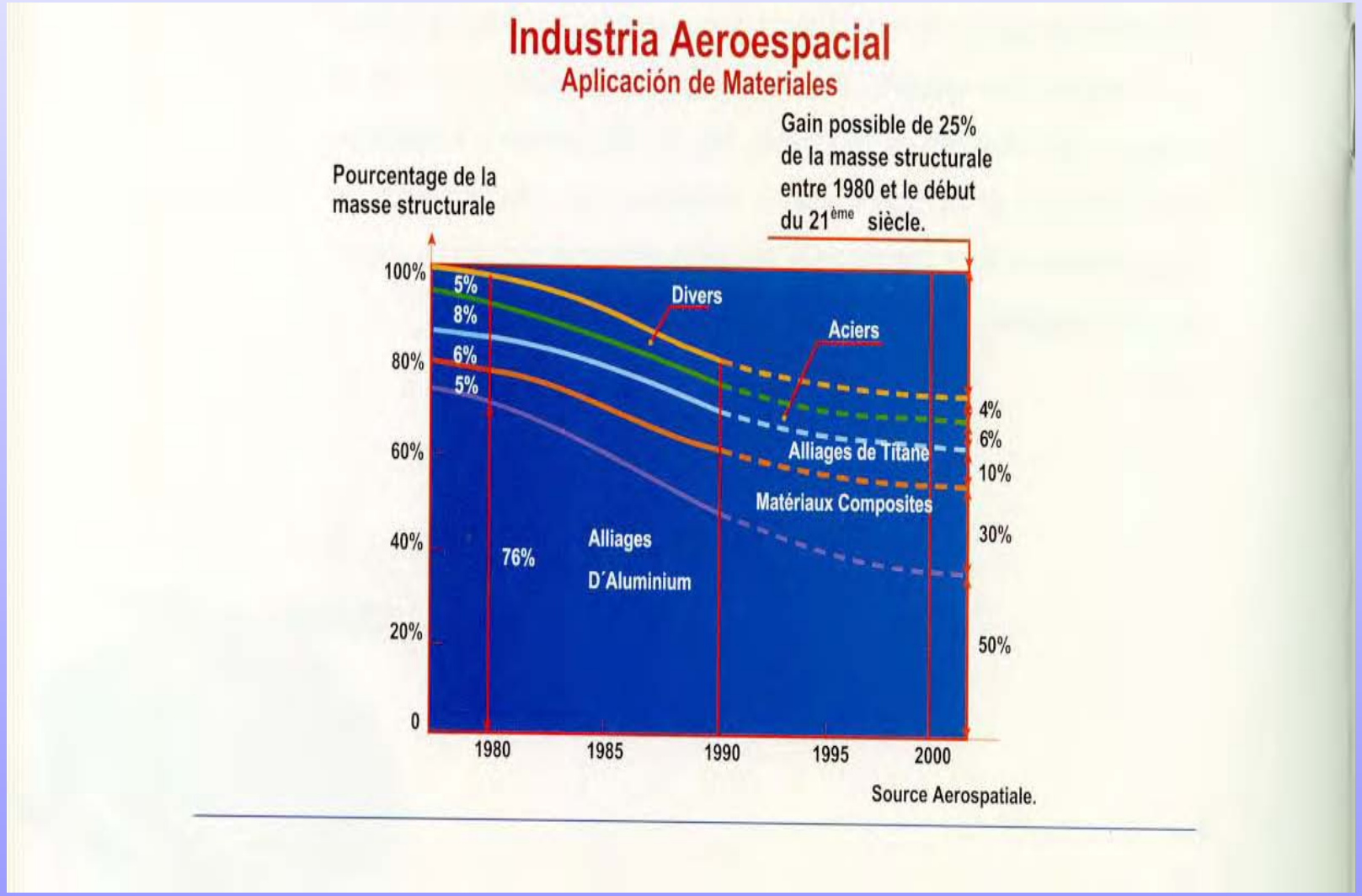


TRATAMIENTOS TÉRMICOS

- **RECOCIDO**
  - * Mill-annealing
  - * Doble recocido
  - * Recocido de recristalización
  - * Recocido β

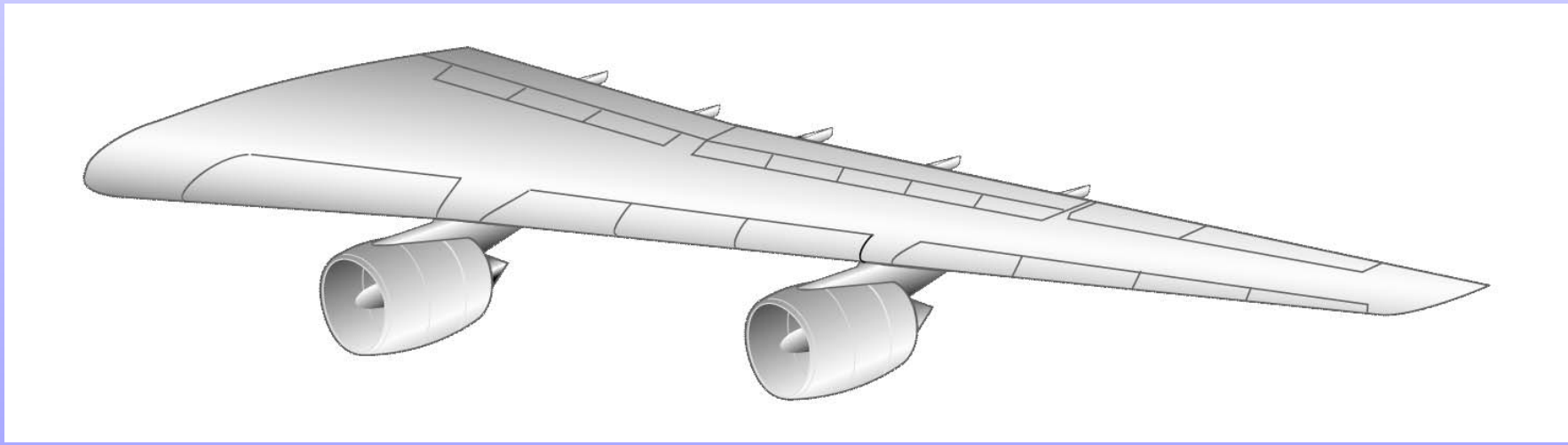
- **REVENIDO** se calienta la estructura obtenida por enfriamiento rápido a una alta temperatura (550ºC en aleaciones α/β), a las que las martensitas de la estructura sufren diversas transformaciones (revenido) al igual que la fase β retenida, obteniéndose con ello una alta resistencia.

APLICACIONES



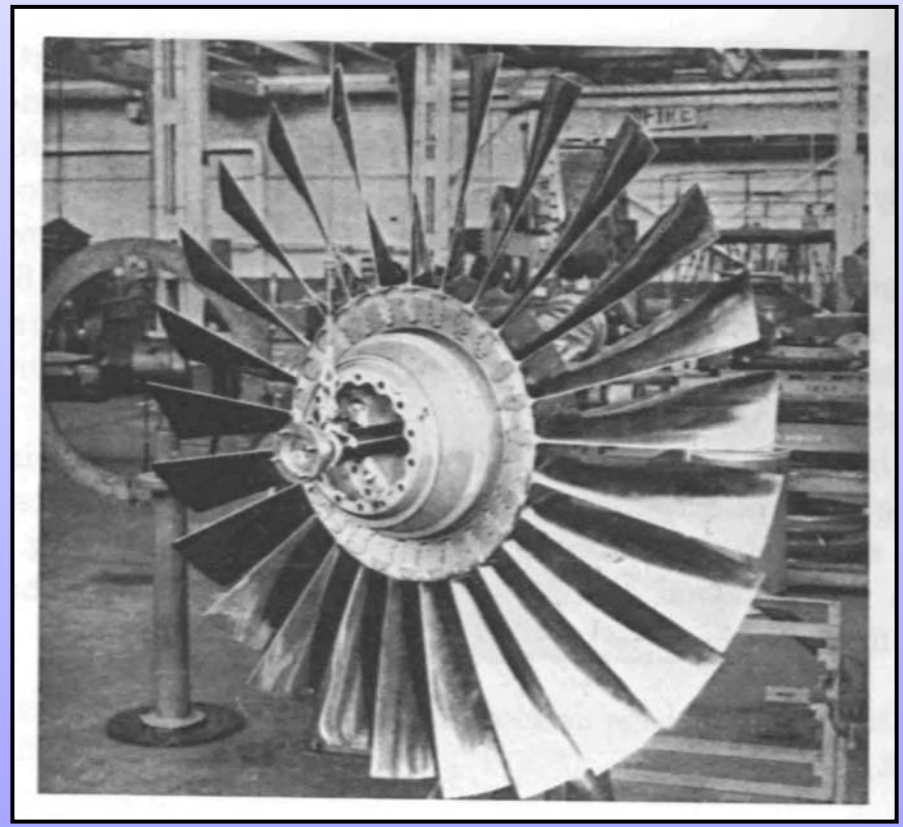
APLICACIONES

-FORJADOS ESTRUCTURALES..... SUSTITUIR AL ACERO
-TEMPERATURAS ALTAS.....SUSTITUIR AL ALUMINIO

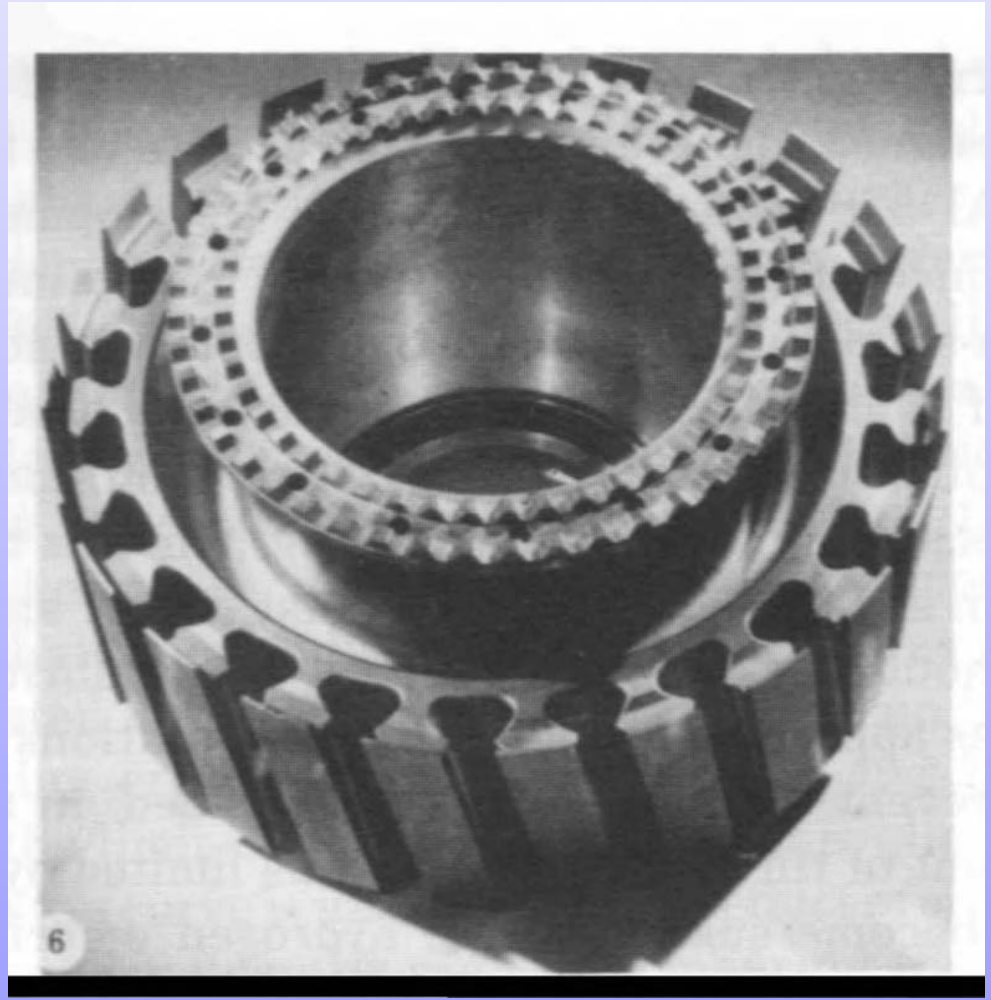


APLICACIONES

AERONÁUTICA discos de ventilación, álabes y palas de turbinas



APLICACIONES



Disco de compresor forjado en aleación

IMI 685, aleación casi α

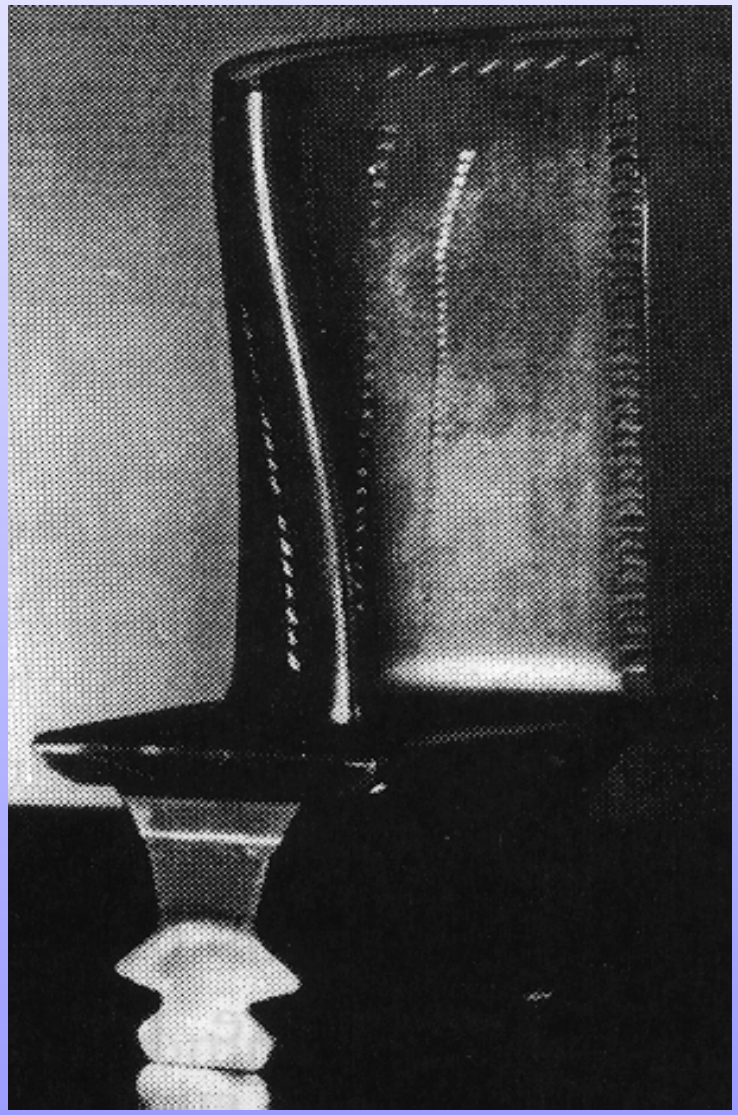
APLICACIONES

BIOMÉDICA: prótesis articulares, prótesis orales y componentes para la fabricación de válvulas cardíacas y marcapasos, clavos y placas de ostesíntesis para la recuperación de fracturas oseas.

INDUSTRIA DE PROCESO: fabricación de bombas, depósitos, reactores químicos y columnas de fraccionamiento.

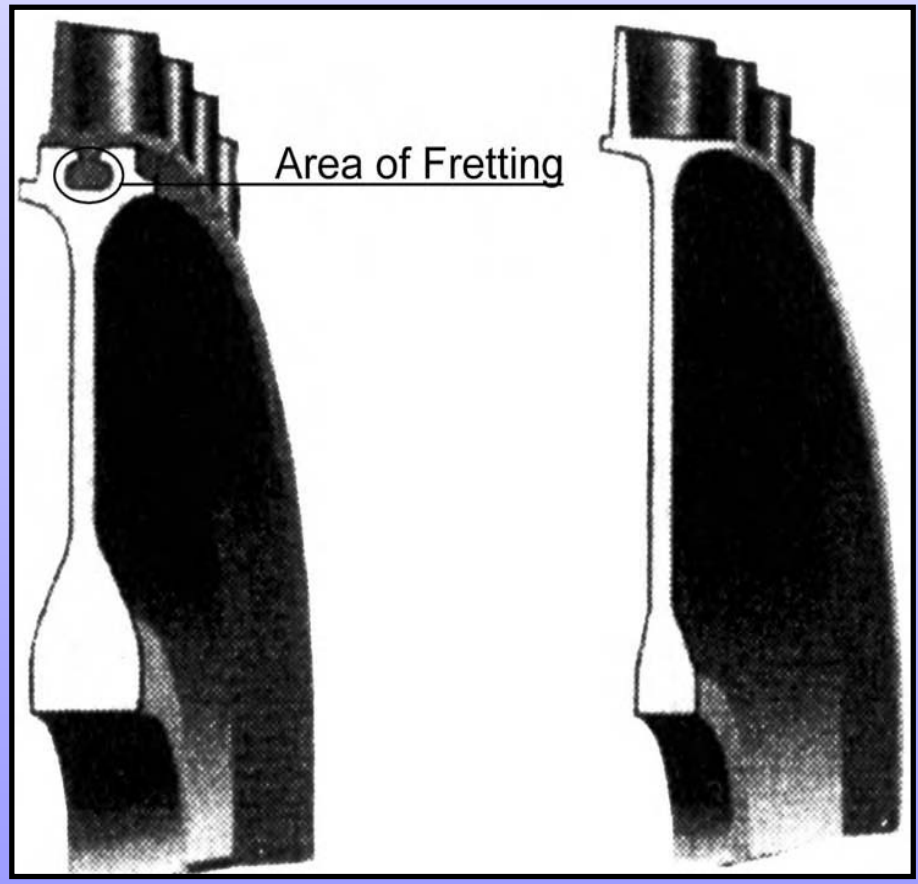
- Hélices y eje de timón, cascos de cámaras de presión submarina, componentes de botes salvavidas y plataformas petrolíferas.
- Intercambiadores de calor, condensadores y conducciones en centrales que utilizan agua de mar como refrigerante.
- Unidades de desulfuración de gases canalizados con el fin de eliminar emisiones de las centrales térmicas de carbón, y como bombas contenedoras de residuos radioactivos de baja densidad.

DUTIFRISK



Dual Material TitaniumAlloy

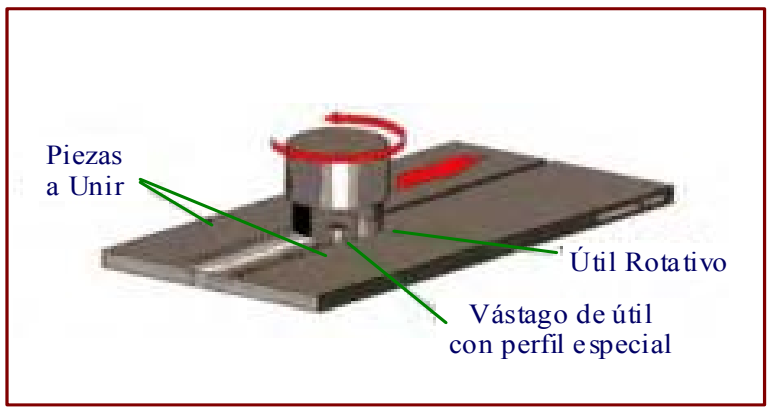
Friction Welded BLISK

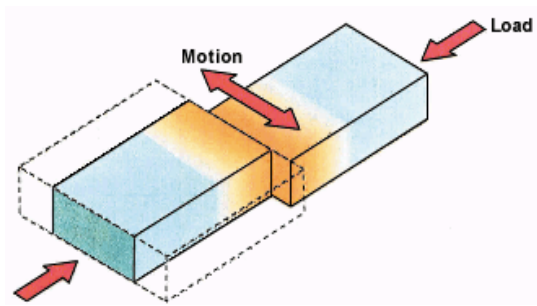


DUTIFRISK

SOLDADURA POR FRICCIÓN
(FRICTION STIR WELDING)

- Proceso de Soldadura sin Fusión.
- Utiliza una herramienta rotable realizada en un material duro.
- El calor generado por la fricción crea una región elástica alrededor del útil, permitiendo que se encolen ambas superficies





DUTIFRISK

ETAPA I

Caterización material base

Ti-6246 β-forjado
Ti-6246 (α+β)-forjado
Ti-6242 (α+β)-forjado
Ti-6242 β-forjado
Ti-64 (α+β)-forjado

Tracción
Fatiga a bajos ciclos (LCF)
Fatiga a altos ciclos (HCF)
Tenacidad de Fractura
Propagación de grieta

ETAPA II

Elaboración soldadura

Diseño tratamientos post-soldadura

DUTIFRISK

ETAPA III

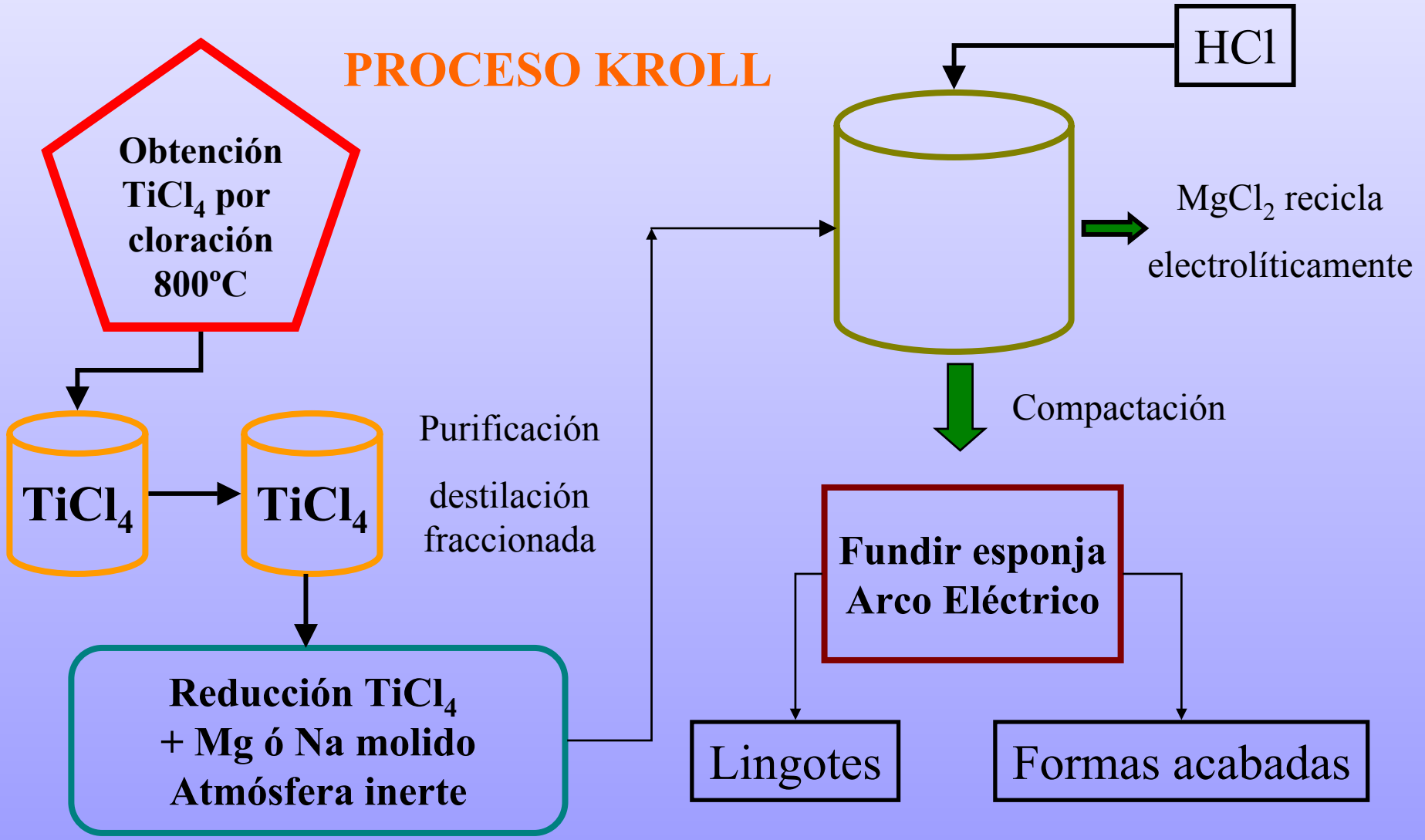
- Caracterización soldadura

Material Alabe	Ti-6246 β-forjado Disco	Ti-17 β-forjado Disco
Ti-6246 β-forjado	X	
Ti-6246 (α+β)-forjado	X	
Ti-6242 (α+β)-forjado	X	
Ti-6242 β-forjado	X	X
Ti-64 (α+β)-forjado	X	X

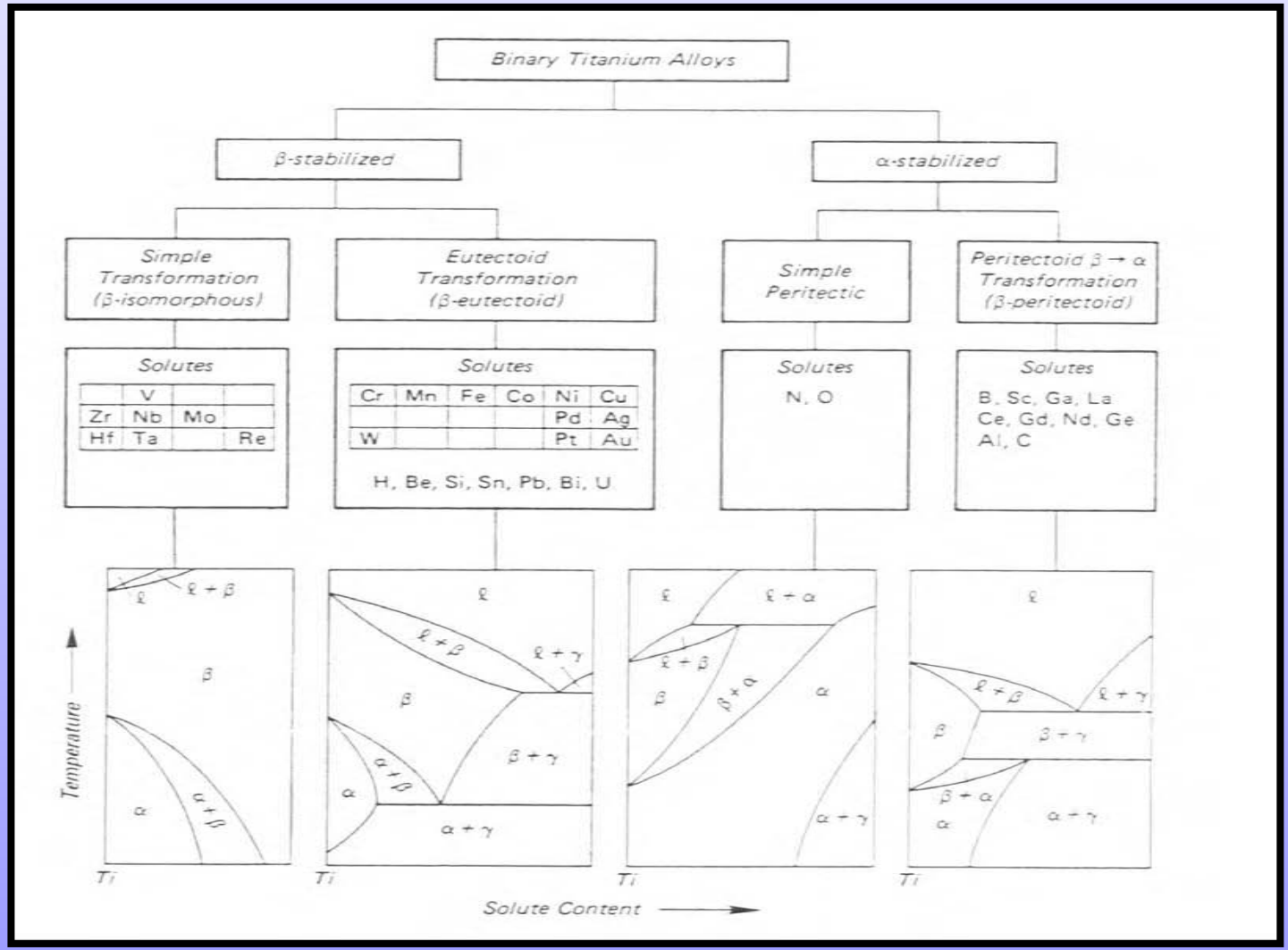
- Ensayos de microindentación instrumentada

INTRODUCCIÓN

PROCESO KROLL



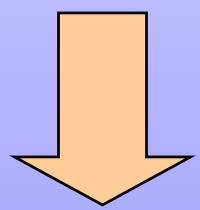
Elementos aleantes



PROCESOS

MECANIZACIÓN : presenta dificultades similares a las de los aceros inoxidables y mayores que las de los aceros normales, aunque tengan la misma dureza.

- calentamientos locales
- embozar herramientas
- bajas tolerancias



Metódos de mecanización químicos o electroquímicos.

PROCESOS

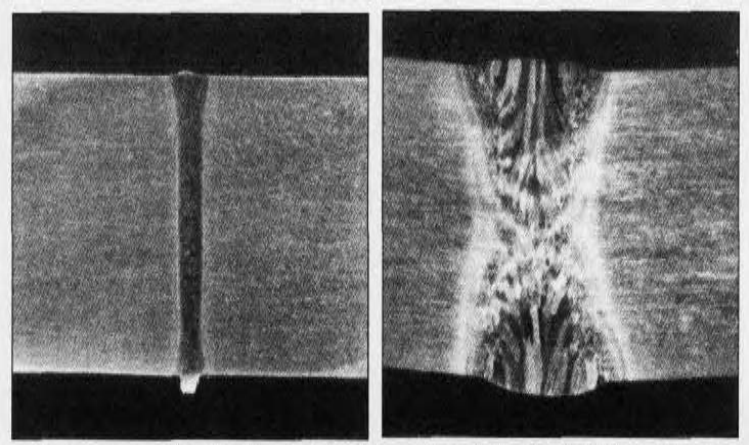
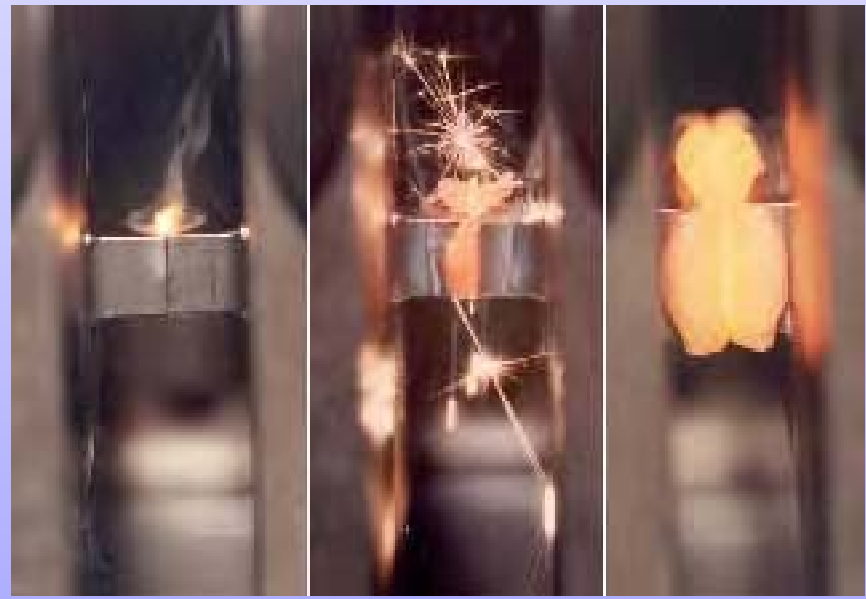
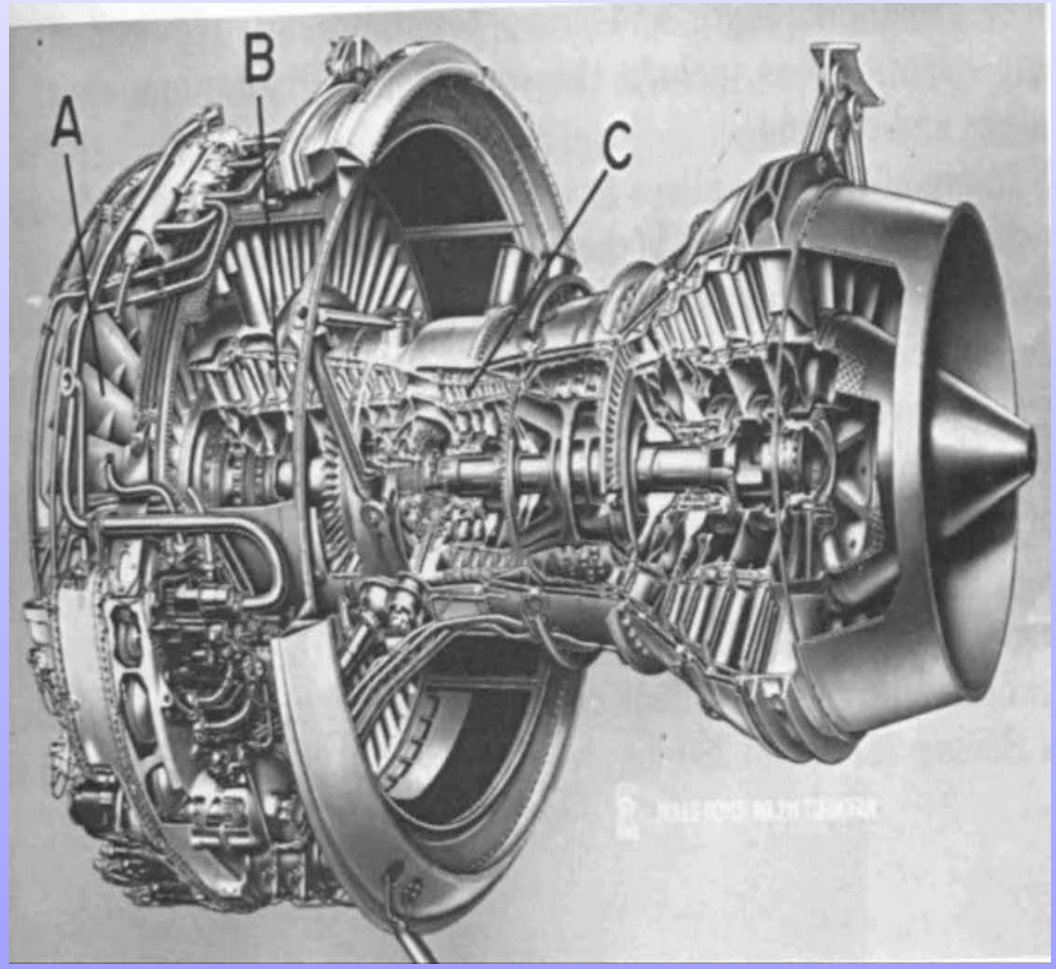


Fig. 5 — Cross sections of welds performed with electron beam (left) and GTA (right). The higher heat intensity of the electron beam creates a much smaller fusion zone and HAZ.



Soldadura por fricción LWF

APLICACIONES



Sección de un modelo de una turbina a gas. (Rolls Royce RB 211)

A. Álabes

B. Compresor de baja presión

C. Compresor de presión intermedia