Instituto de Tecnología de Materiales

Propiedades y aplicaciones de las aleaciones ligeras de magnesio y titanio

Vicente Amigó

Instituto de Tecnología de Materiales. UPV. Valencia

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

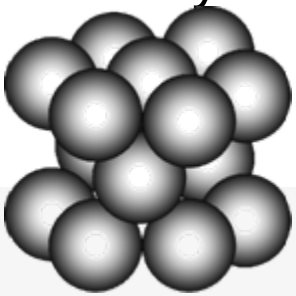
Magnesio

El más ligero de los materiales estructurales.

Densidad: 1,80 g/cm^3 (2/3 de la del aluminio!)

Características generales:

- ✓Muy mala resistencia a la corrosión
- ✓Buena resistencia mecánica aunque bajo E (~45 GPa)
- ✓Estructura HC: difícil y costoso de deformar plásticamente
- ✓Endurecimiento por acritud y tratamiento térmico.



Magnesio

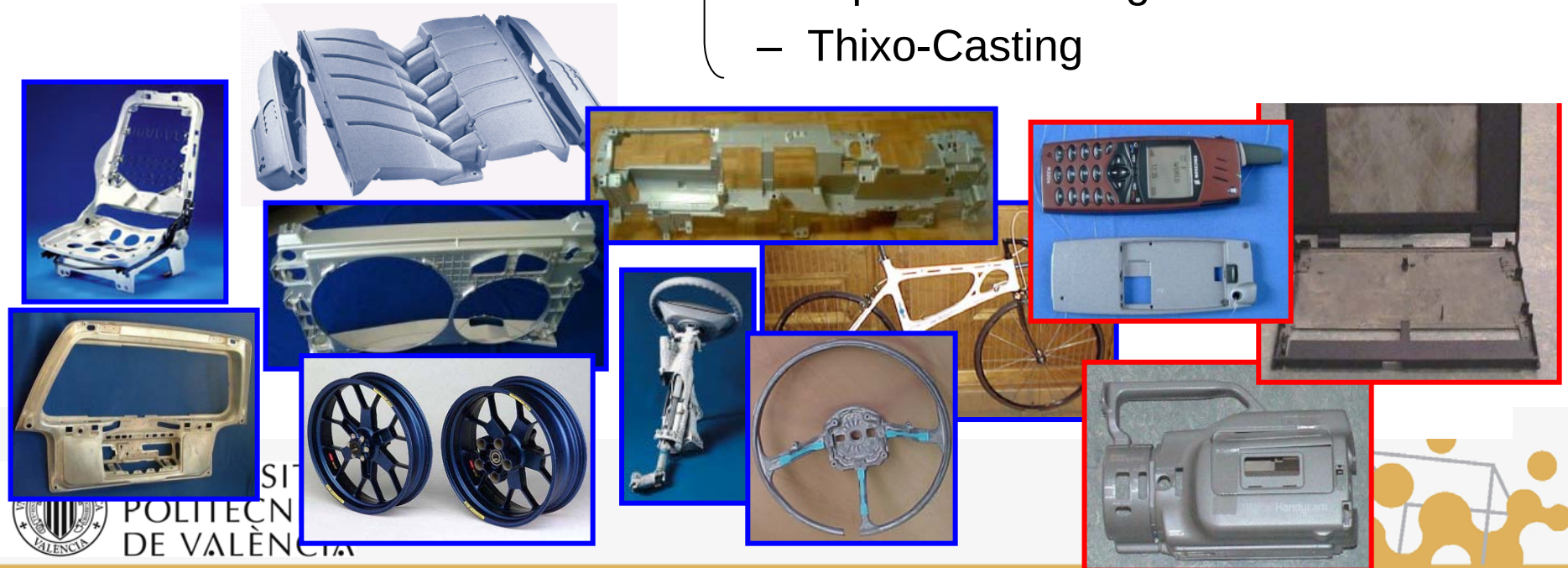
Propiedades mecánicas y aplicaciones de algunas aleaciones comerciales de magnesio.

UNE	Composición química, % peso	Tratamiento	Resistencia a tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Aplicaciones típicas
Aleaciones para forja						
AZ31B	3Al, 1Zn, 0.2Mn	Recocido	228		11	Equipos de cargas en aviones, estantes y armarios metálicos.
		Trab. frío (H24)	248	159	7	
HM21A	2Th, 0.8Mn	Tratamiento T8	228	138	6	Láminas y chapas de misiles, hasta 425°C.
Zk60	6Zn, 0.5Zr	Tratamiento T5	310	235	5	Usos espaciales en situaciones de elevadas deformaciones; extrusiones y piezas forjadas.
Aleaciones para fundición						
AZ63A	6Zn, 3Al, 0.15Mn	Molde metálico	179	76	4	Fundiciones en arena que requieren buena resistencia a temperatura ambiente.
		Tratamiento T6	235	110	3	
EZ33A	3TR, 3Zn, 0.7Zr	Tratamiento T5	138	97	2	Fundiciones en molde metálico utilizados a 150-160°C.
AZ91A	9Al, 0.7Zn, 0.15Mn	Molde metálico Alta pureza	250	160	7	Fundición inyectada (con presión) Piezas de automoción y componentes industria electrónica.
AM50A	5Al, 0.5 Mn	Molde metálico Alta pureza	230	125	15	Igual que la anterior, con mayor ductilidad y absorción de energía.

TR = Tierras raras.

Procesos de conformado

- Forja
- Estampación
- Extrusión
- FUSIÓN Y COLADA
  - Colada
  - Inyección en cámara fría
  - Inyección en cámara caliente
  - Colada en matriz en vacío, con alta presión
  - Squeeze-Casting
  - Thixo-Casting



Corrosión y Protección

- Capas anódicas específicas y de conversión, proyección térmica, tratamiento por láser, PVD proceso ANOMAG de anodización.

- Capas de niquel-fósforo sin corriente

Principales aleaciones de magnesio que se suelen recubrir: AZ91HP, AZ61, AZ31, AM50 y AM20.

Titanio

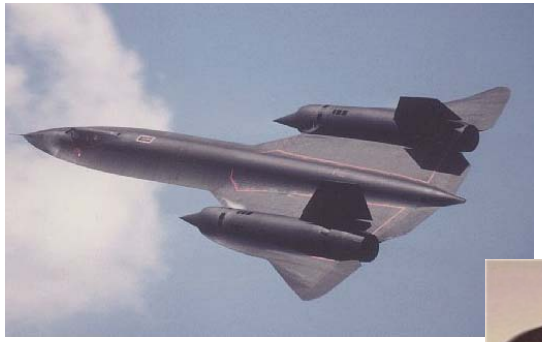
Metal ligero y de elevada resistencia

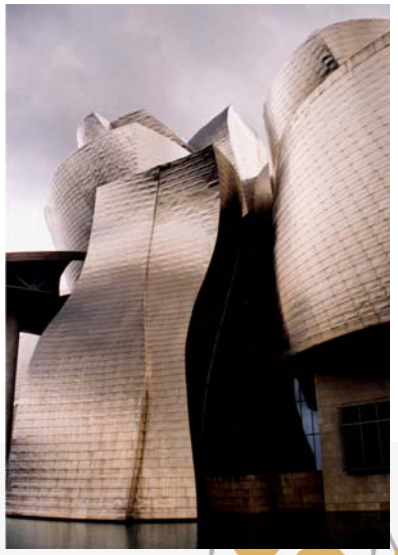
Densidad: ~4,50 g/cm^3

Modulo de elasticidad: ~110 GPa.

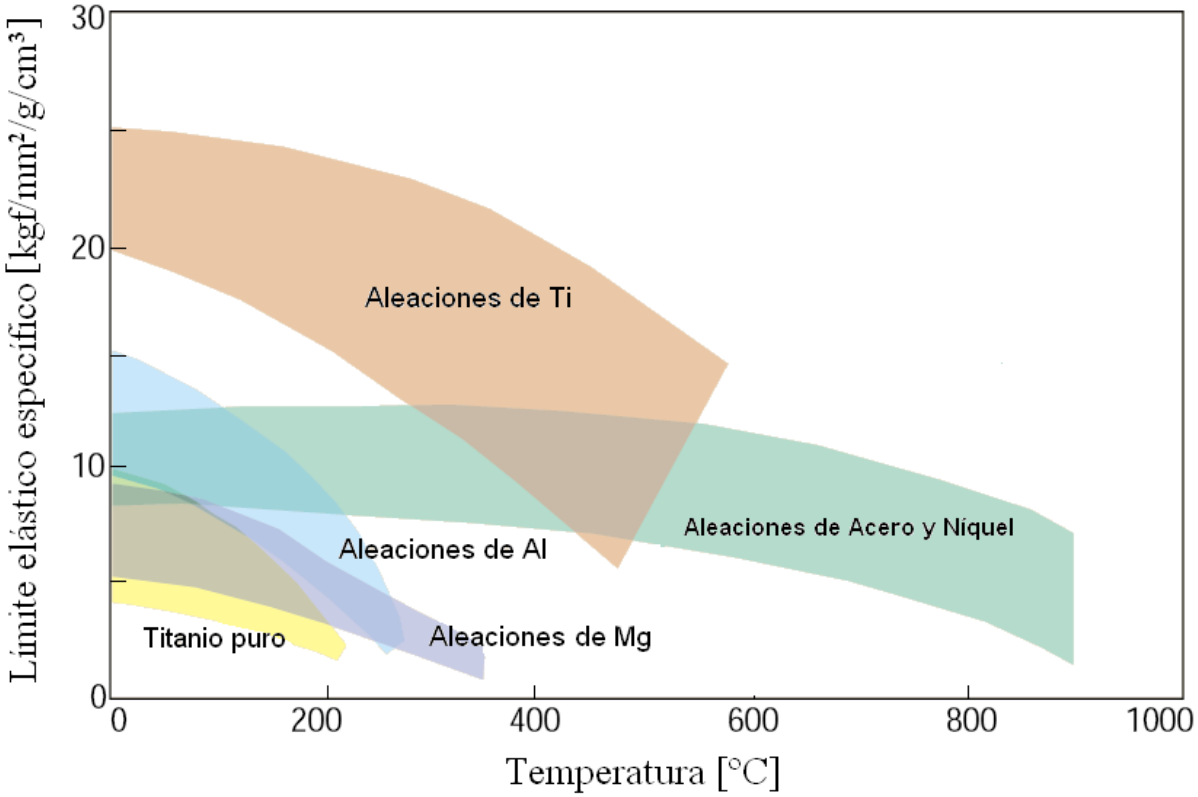
Características generales:

- ✓Excelente resistencia a la corrosión. Biocompatibilidad.
- ✓La mejor resistencia/peso de los metales.
- ✓Obtención muy difícil y por lo tanto muy caro.





Titanio


Límite elástico específico [kgf/mm²/g/cm³]
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
Temperatura [°C]
Aleaciones de Ti
Aleaciones de Acero y Níquel
Aleaciones de Al
Titanio puro
Aleaciones de Mg

Propiedades

Propiedades: estáticas

Table 4.1 Properties of Selected Titanium Alloys

Alloy	*Nominal Composition*	*Condition*	*UTS (ksi)*	*YS (ksi)*	*E (Msi)*	*Elong. (%)*	*Reduction in Area (%)*
		Commercially Pure					
Grade 1	0.03N, 0.20Fe, 0.18O	Annealed	35	25	14.9	30	55
Grade 4	0.05N, 0.50Fe, 0.40O	Annealed	80	70	14.9	20	40
		Alpha and Near-Alpha					
Ti-5-2.5	Ti-5Al-2.5Sn	Annealed	115	110	16.0	16	40
Half 6-4	Ti-3Al-2.5V	Annealed	90	75	15.5	20	–
Ti-6242S	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.25Si	Annealed	130	120	16.5	15	35
Ti-8-1-1	Ti-8Al-1Mo-1V	Annealed	130	120	18.0	15	28
		Alpha–Beta					
Ti-6-4	Ti-6Al-4V	Annealed	130	120	16.5	14	30
		STA	170	160	16.5	10	25
Ti-6-4 ELI	Ti-6Al-4V	Annealed	120	110	16.5	15	35
Ti-6-6-2	Ti-6Al-6Sn-2V	Annealed	150	145	16.0	14	30
		STA	185	170	16.0	10	20
Ti-6246	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	STA	189	170	16.5	10	23
Ti-6-22-22S	Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	Annealed	150	140	17.7	–	–
		STA	185	165	17.7	11	33
		Beta					
Ti-10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	STA	170	160	16.2	10	19
Ti-15-3	Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	Annealed	114	112	–	22	–
		STA	159	143	–	12	–

Propiedades

Propiedades: Influencia de la composición

Element	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Ti6Al4V[a]
Nitrogen	0.03[b]	0.03	0.05	0.05	0.05
Carbon	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08
Hydrogen	0.015	0.015	0.015	0.015	0.0125
Iron	0.20	0.30	0.30	0.50	0.25
Oxygen	0.18	0.25	0.35	0.40	0.13
Titanium			Balance		

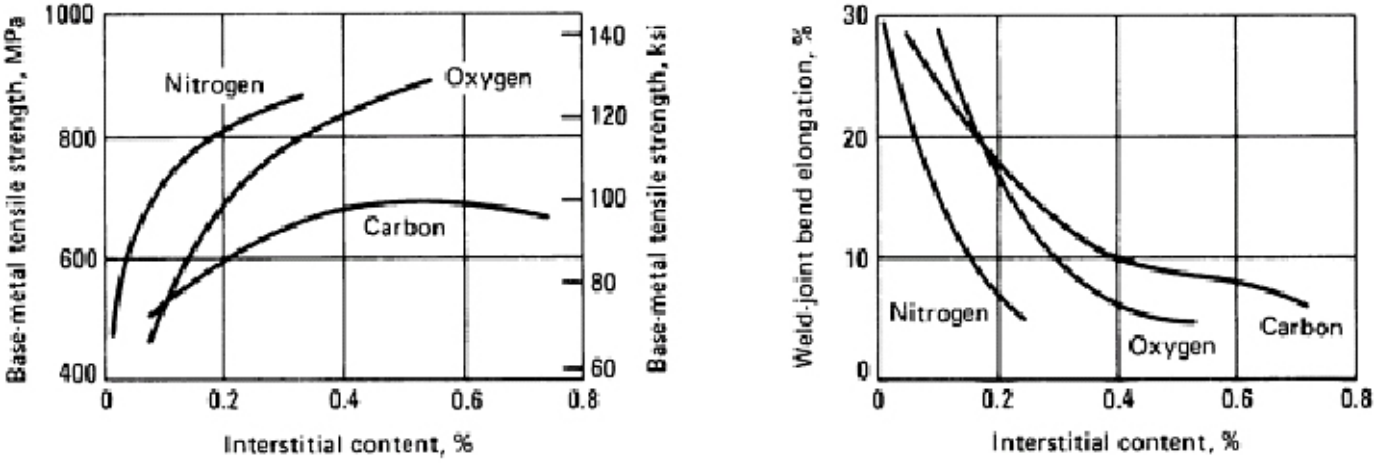
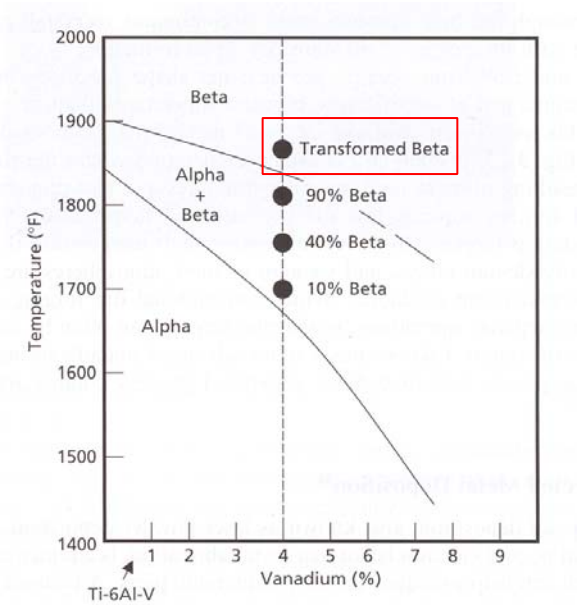


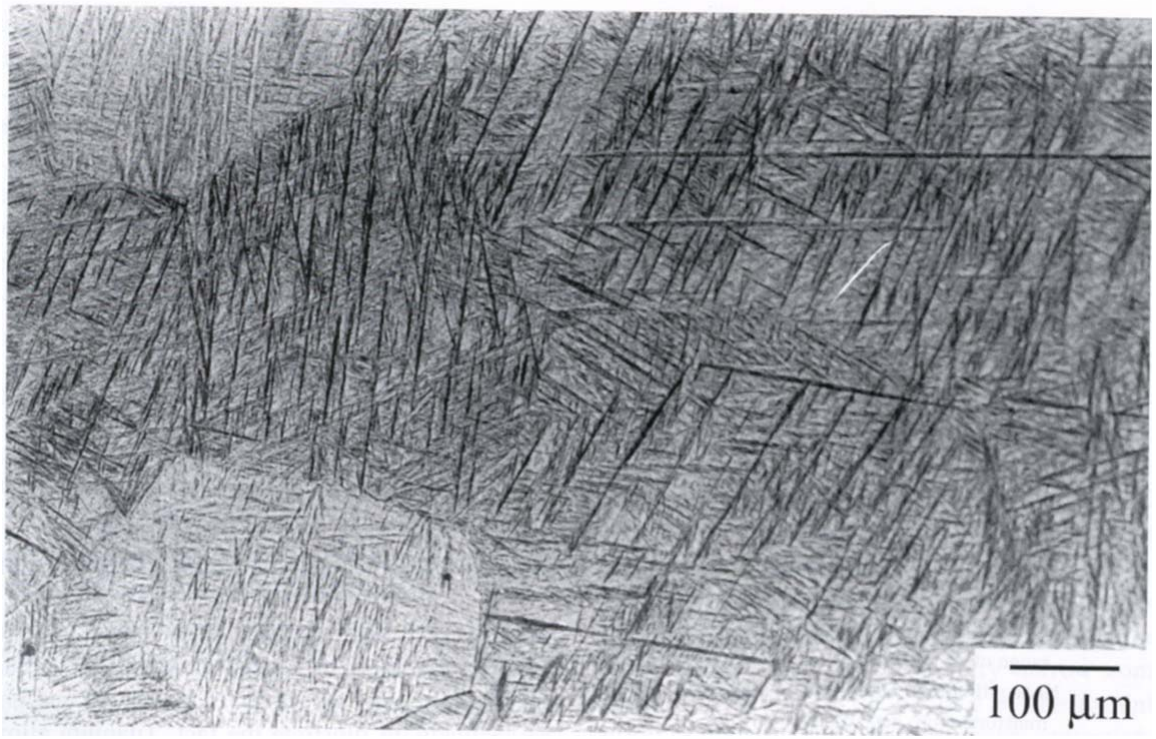
Fig. 1 Effects of interstitial-element content on strength and ductility of unalloyed titanium

Tratamientos térmicos de la transformación a beta

Tratamientos térmicos: T > β transus, temple en agua

Ti-6Al-4V

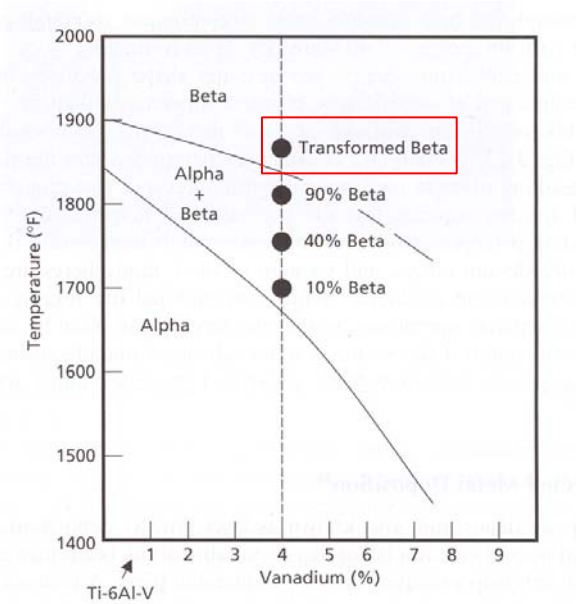




Tratamientos térmicos de la transformación a beta

Tratamientos térmicos: T > β transus, enfriamiento en horno

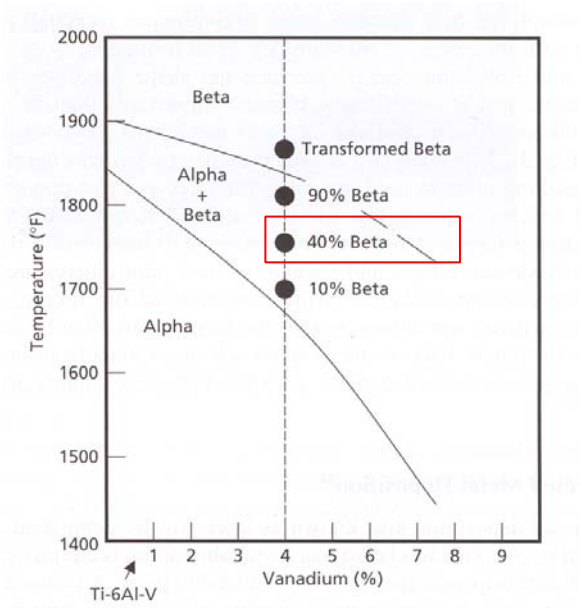
Ti-6Al-4V

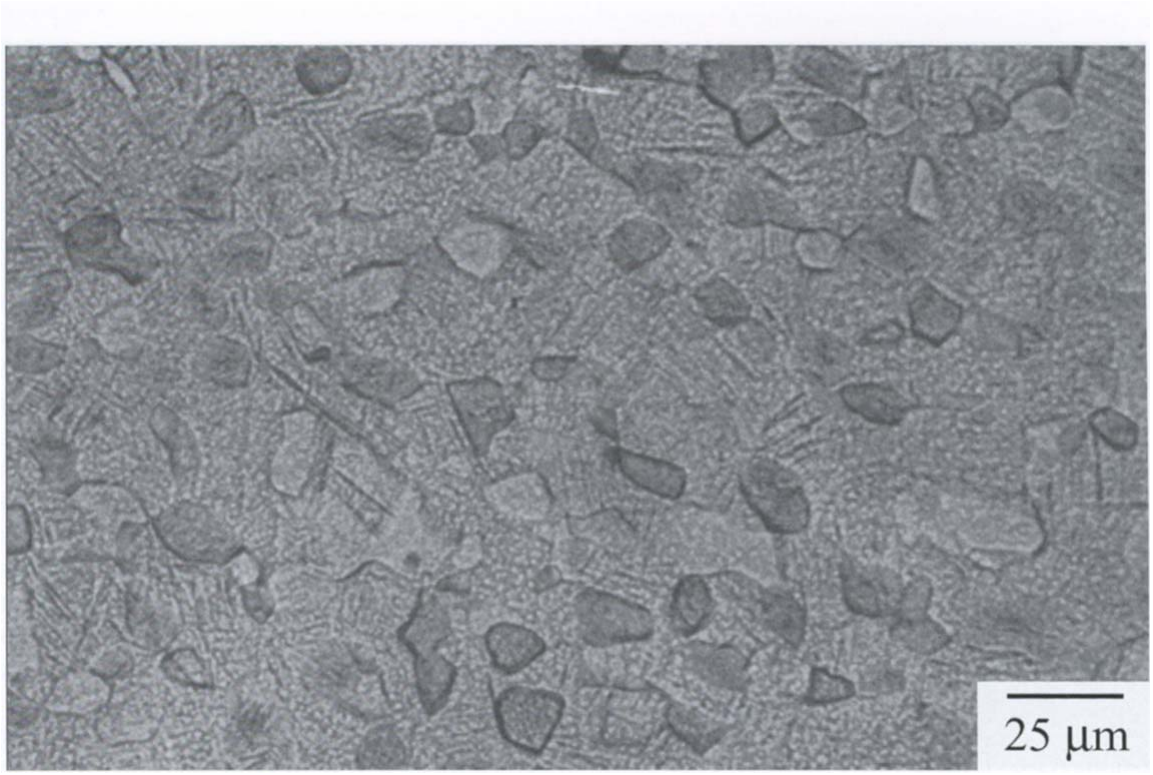


Tratamientos térmicos de la transformación a beta

Tratamientos térmicos: T < β transus, temple en agua

Ti-6Al-4V

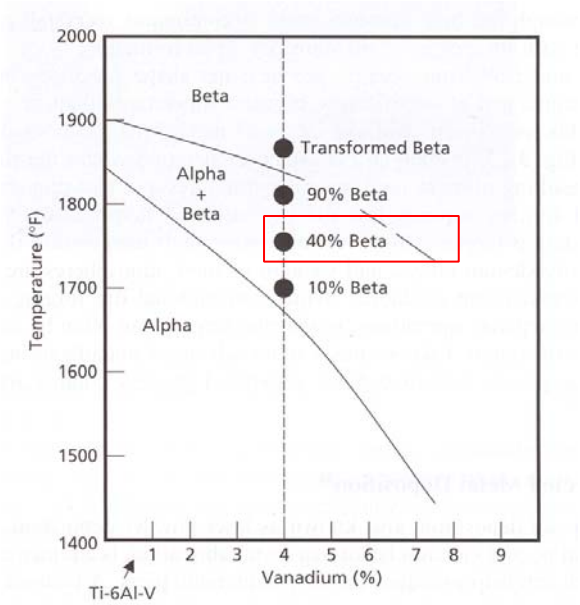


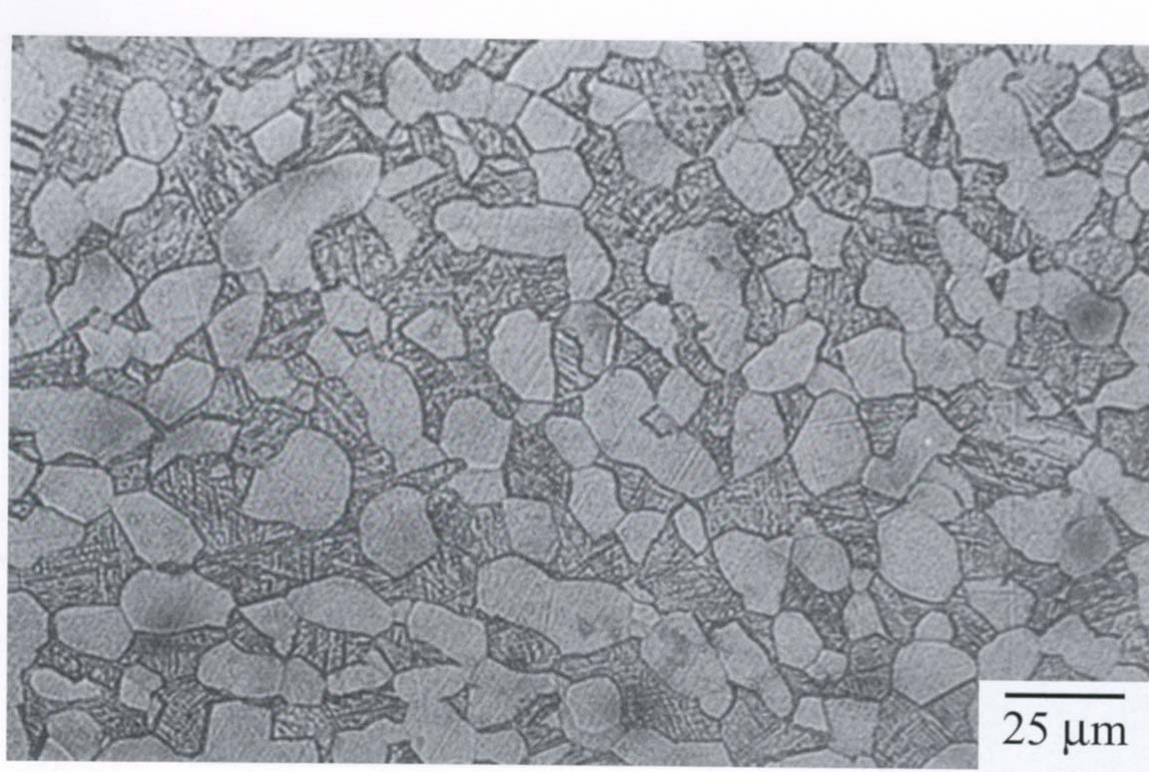


Tratamientos térmicos de la transformación a beta

Tratamientos térmicos: T < β transus, enfriamiento en aire

Ti-6Al-4V

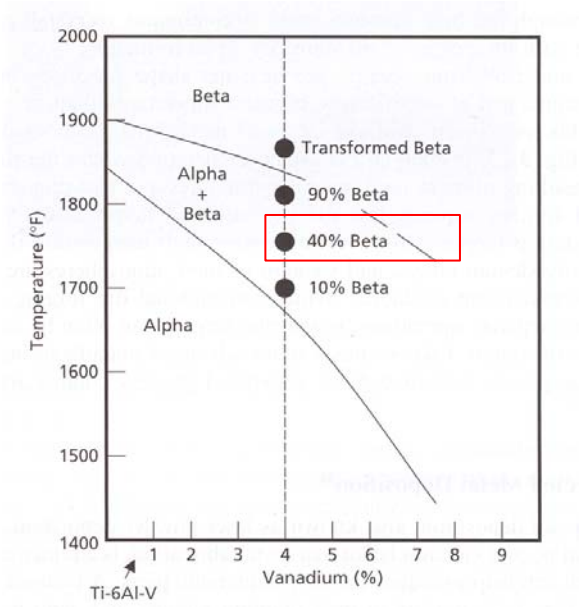


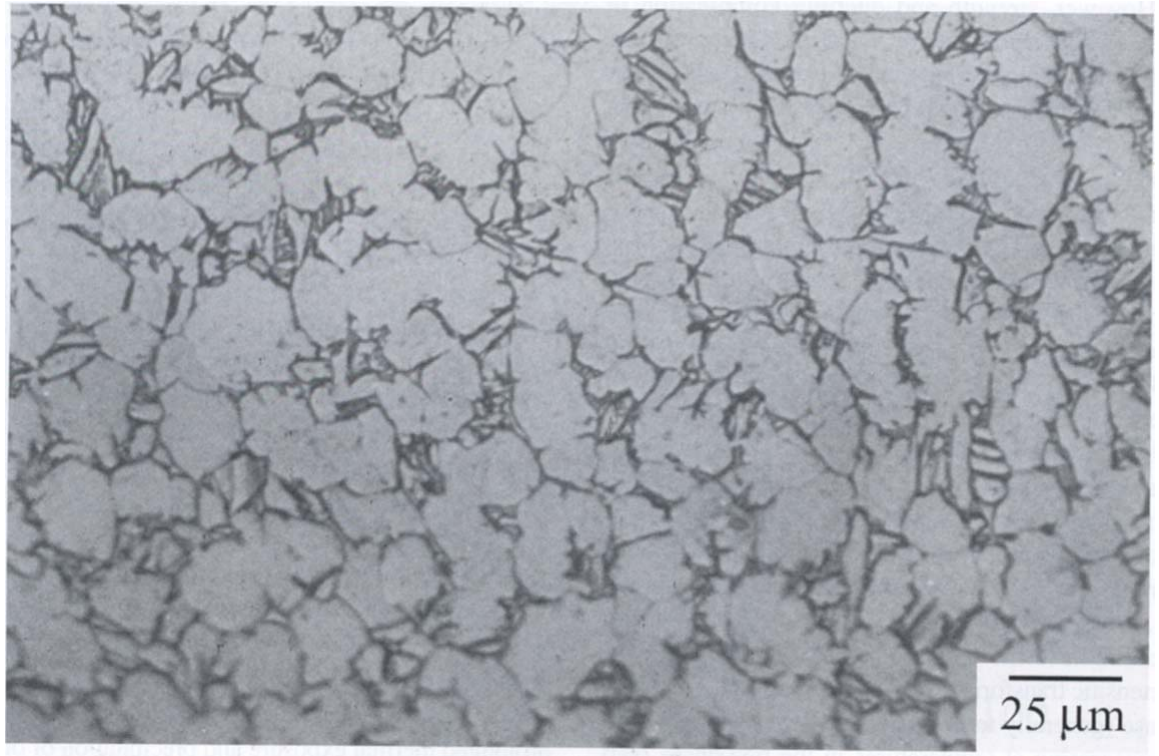


Tratamientos térmicos de la transformación a beta

Tratamientos térmicos: T < β transus, enfriamiento en horno

Ti-6Al-4V





Relación microestructura propiedades

Fatiga

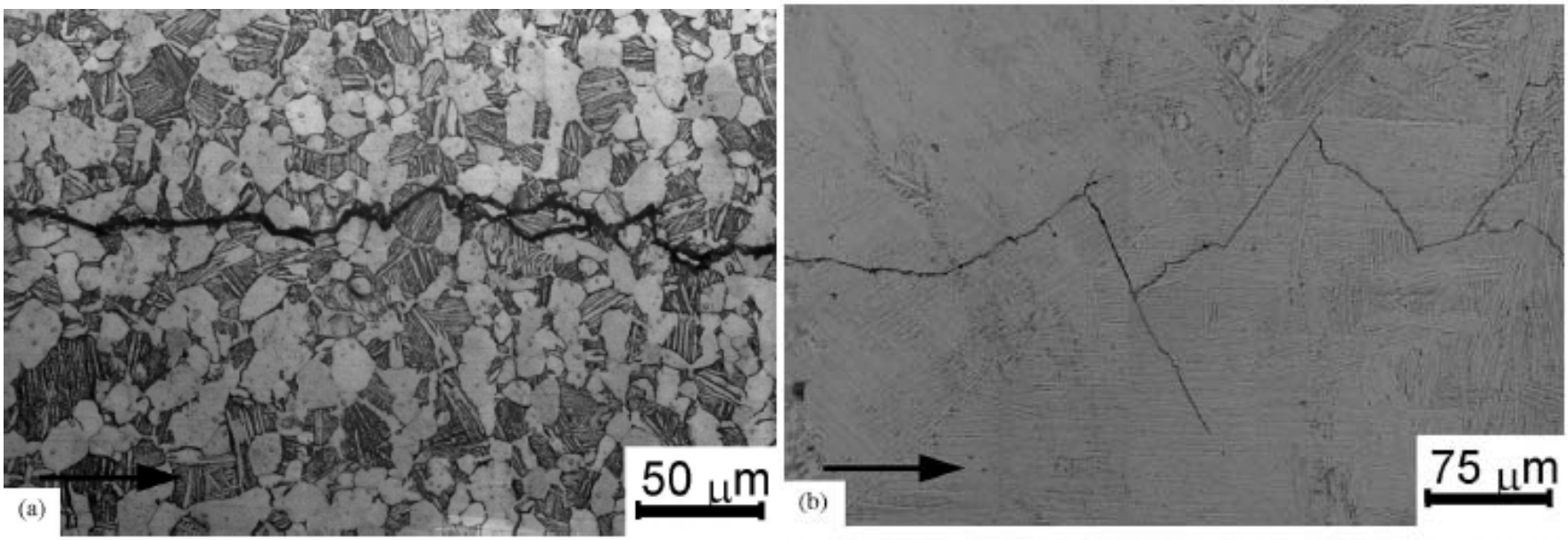
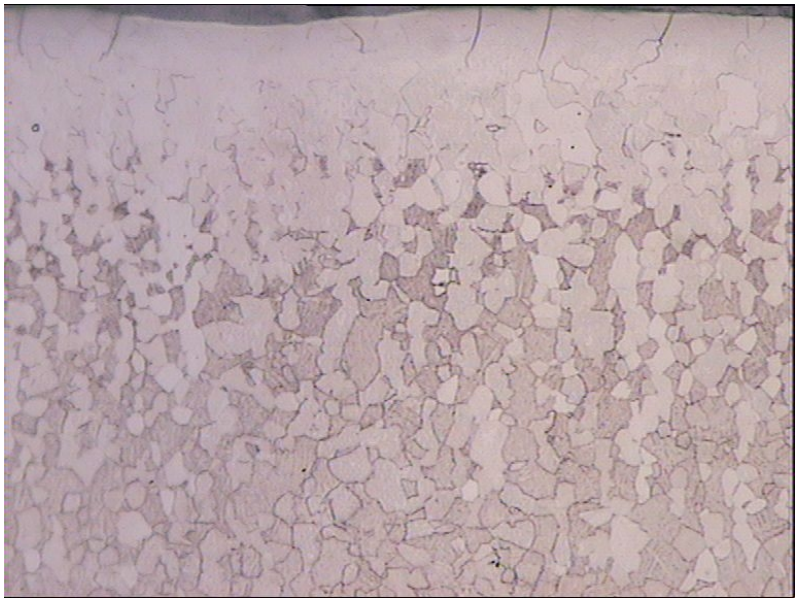


Fig. 9—A typical near-threshold crack profile observed for the (*a*) bimodal and (*b*) lamellar microstructure ($R = 0.1$, and $da/dN \sim 10^{-10}$ m/cycle). The nominal crack propagation direction is indicated by the arrow. The structure-sensitivity of fatigue-crack growth is clearly stronger for the lamellar microstructure.

Procesos de conformado del titanio

Forja en caliente
Conformado en frío
Conformado superplástico
Soldadura por difusión (SPF/DB)
Conformado por colada (+HIP)

α-case



Procesos de conformado del titanio

Conformado superplástico/soldadura por difusión (SPF/DB)

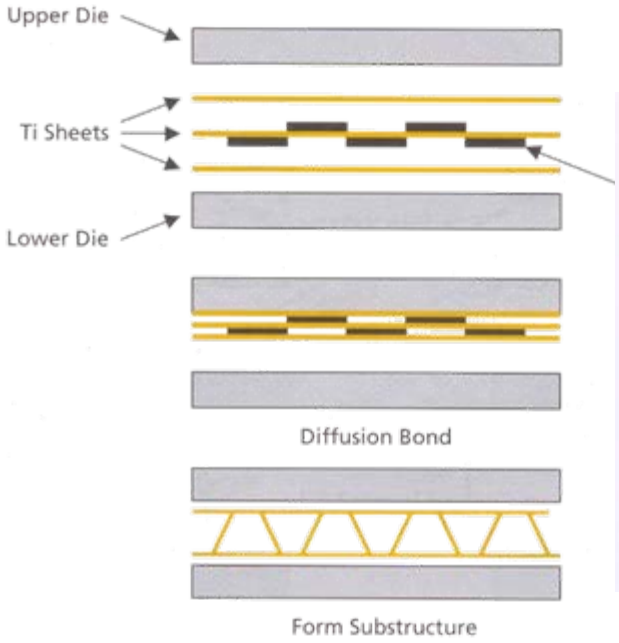


Fig. 4.21. Three-Sheet SPF/DB Process

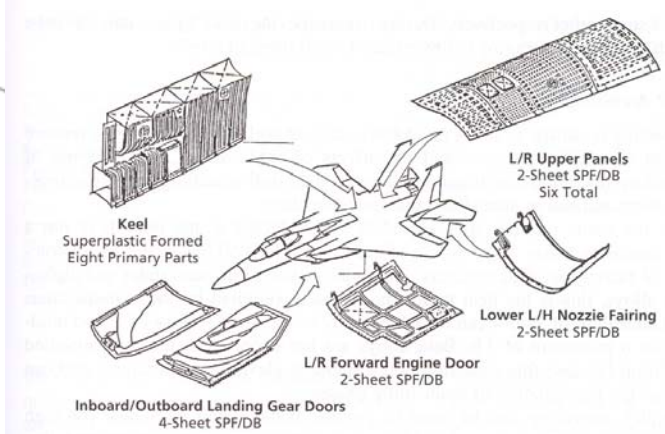
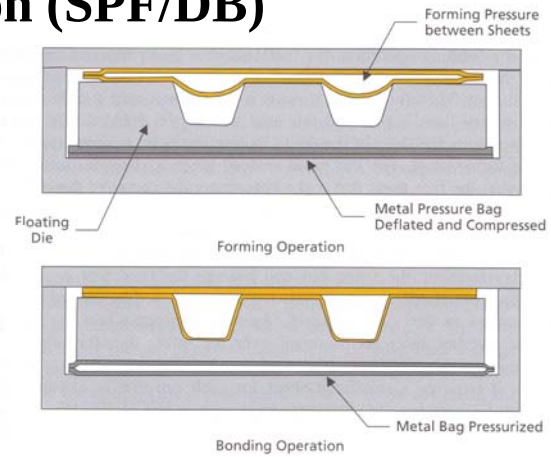


Fig. 4.23. SPF and SPF/DB Applications on F-15E
Source: The Boeing Company



ig. 4.19. Two-Sheet SPF/DB

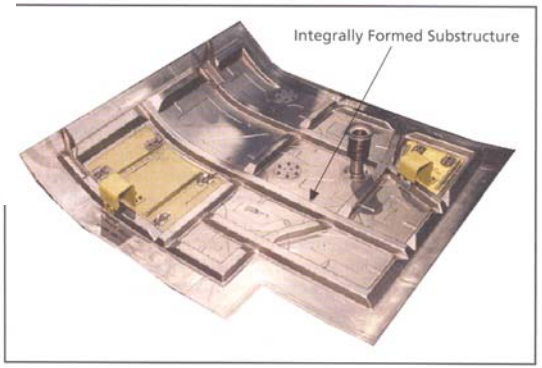


Fig. 4.20. Two-Sheet SPF/DB Aircraft Door
Source: The Boeing Company

Conformado superplástico/soldadura por difusión (SPF/DB)

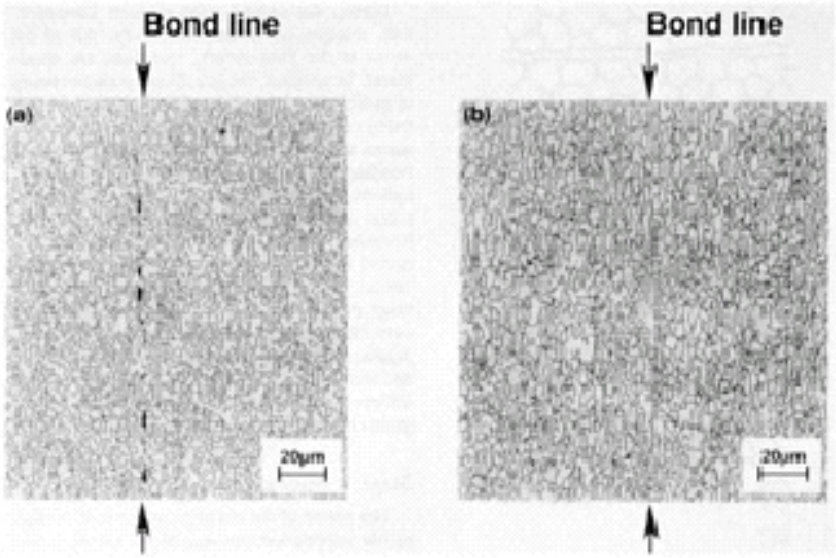


FIG. 3 EFFECT OF PRESSURE ON PRESENCE OF VOIDS AT BAND INTERFACE OF TITANIUM ALLOY DIFFUSION BONDED AT TEMPERATURES OF 980 °C (1795 °F) FOR 2 H. (A) INCOMPLETE BOND AT 7.0 MPA (1.0 KSI). (B) COMPLETE BOND AT 10.0 MPA (1.5 KSI)