

Titanio

- E' stato scoperto nel 1790
- Ridotto per la prima volta nel 1930 con il processo Kroll
- Il titanio è il nono elemento più diffuso all'interno della crosta terrestre, costituendone lo 0,6% in peso, ed è, sempre per abbondanza, il quarto elemento metallico fra i metalli strutturali dopo alluminio, ferro e magnesio (la sua concentrazione è circa 1/20 di quella dell'alluminio ed 1/10 di quella del ferro, ma ben 100 volte quella del rame).
- Attualmente le fonti di titanio di maggior interesse sono rutilo (TiO_2), ilmenite (FeTiO_3),
- Principali giacimenti di rutilo si trovano in Brasile, quelli di ilmenite in Sud Africa, India, USA, Norvegia e Australia



Ilmenite (FeTiO_3)



Rutilo (TiO_2)

Titanio e sue leghe

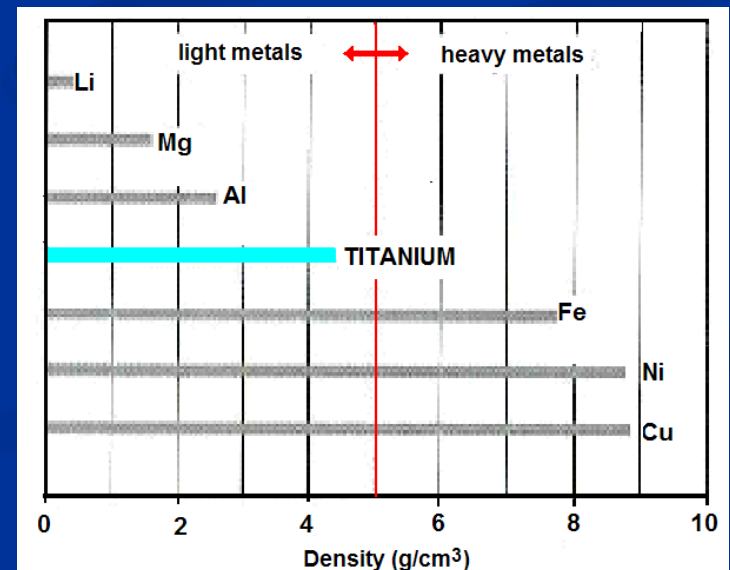
- Eccellente resistenza alla corrosione.
- Alto rapporto resistenza/peso specifico ad alte temperature.
- Alto punto di fusione del titanio → buona resistenza allo scorrimento viscoso a temperature più elevate di quelle degli acciai
- Costa 6 volte l'alluminio e 10 volte l'acciaio inossidabile
- 90% del suo utilizzo è nell'industria aerospaziale

■ le elevate proprietà meccaniche e la bassa densità delle leghe di titanio consentono di realizzare strutture con peso inferiore al 50% di quello delle strutture realizzate con acciai convenzionali

Titanio Proprietà

Proprietà fisiche

Numero Atomico	22
Massa atomica	45,95 kg/kmol
Densità a 20°C	4,51 kg/dm ³
Temperatura di fusione	1668 °C
Coeff.di dilataz.lineare	8,9 10 ⁻⁶ 1/K
Resistività elettrica a 20°C	5,54 10 ⁻⁷ ohm m



Titanio e sue leghe

- Grande resistenza a fatica
- Resistenza all'infragilimento alle basse temperature
- Capacità di assorbire grandi quantità di energia elastica
- Forgiabilità
- Possibilità di fusione in getti
- Saldabilità
- Lavorabilità con macchine utensili.critica!!!
- Biocompatibilità: ottima!!!



National science centre, Scotland



Titanium clad Guggenheim Bilbao museum, Spain at sunset.



Hip-joint component



Shape memory alloy



Turbine blades

AEROSPACE

- Civil
- Military
- Space

INDUSTRIAL

- Petrochemical
- Offshore
- Subsea
- Metal Finishing
- Pulp & Paper
- General Engineering

MEDICAL

- Orthopaedic Implants
- Bone Screws
- Trauma Plates
- Dental Fixtures
- Surgical Instruments

SPECIALIST

- Body Jewellery
- Ultrasonic Welding
- Motor Racing Components
- Marine
- Bicycle
- Sports Equipment

	Carico di rottura N/mm ²	Allungamento %	Durezza Hv	Utilizzo
ASTM Grado 1	240-410	≥ 24%	110-140	Tetti, rivestimento muri, altri usi
ASTM Grado 2	350-510	≥ 23%	130-180	Pannelli di rivestimento, chiodi, bulloneria
ASTM Grado 3	480-620	≥ 18%	150-210	Bulloneria

CONFRONTO PROPRIETA' FISICHE DEI METALLI					
	TITANIO CP	FERRO	ACCIAIO AISI 304	ALLUMINIO	RAME
PESO SPECIFICO g/cm ³	4,5	7,3	7,9	2,7	8,9
PUNTO DI FUSIONE °C	1668	1530	1400-1420	660	1083
CONDUCIBILITA' TERMICA Cal/cm ² /sec/°C/cm	0,041	0,15	0.039	0,49	0,92
MODULO DI Y. N/mm ²	10850	21000	20400	6900	11000

COEFFICIENTI DI DILATAZIONE TERMICA mm/m °C		
TITANIO CP	8,6 X 10 ⁻³	
ACCIAIO	12 X 10 ⁻³	1,4 VOLTE > TITANIO CP
ACCIAIO INOX	17 X 10 ⁻³	1,9 VOLTE > TITANIO CP
ALLUMINIO	23,6 X 10 ⁻³	2,7 VOLTE > TITANIO CP
RAME	16,8 X 10 ⁻³	1,9 VOLTE > TITANIO CP
ZINCO	27,4 X 10 ⁻³	3,2 VOLTE > TITANIO CP
ZINCO AL TITANIO	22 X 10 ⁻³	2,5 VOLTE > TITANIO CP
> = MAGGIORE		

Produzione titanio

Clorurazione TiO_2 (carboclorurazione)

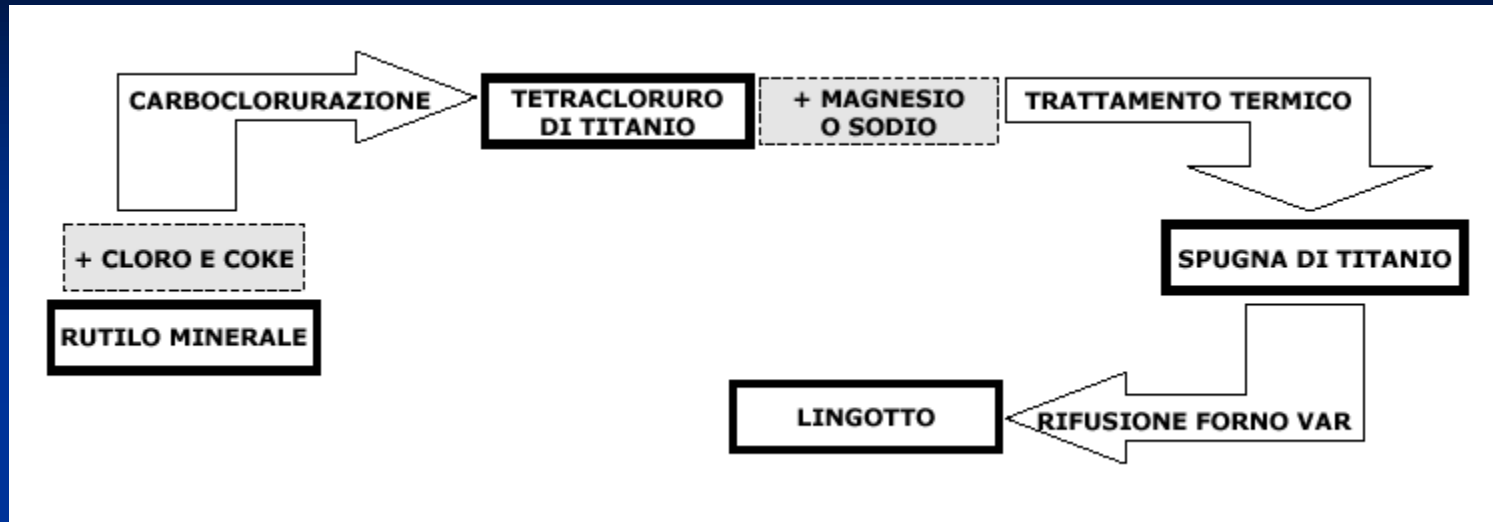


Riduzione del tetracloruro di titanio mediante processo termochimico (riduzione con magnesio). Processo Kroll



Si ottiene un prodotto poroso, detto spugna di titanio, che deve essere successivamente addensato mediante rifusione all'arco in un forno elettrico.

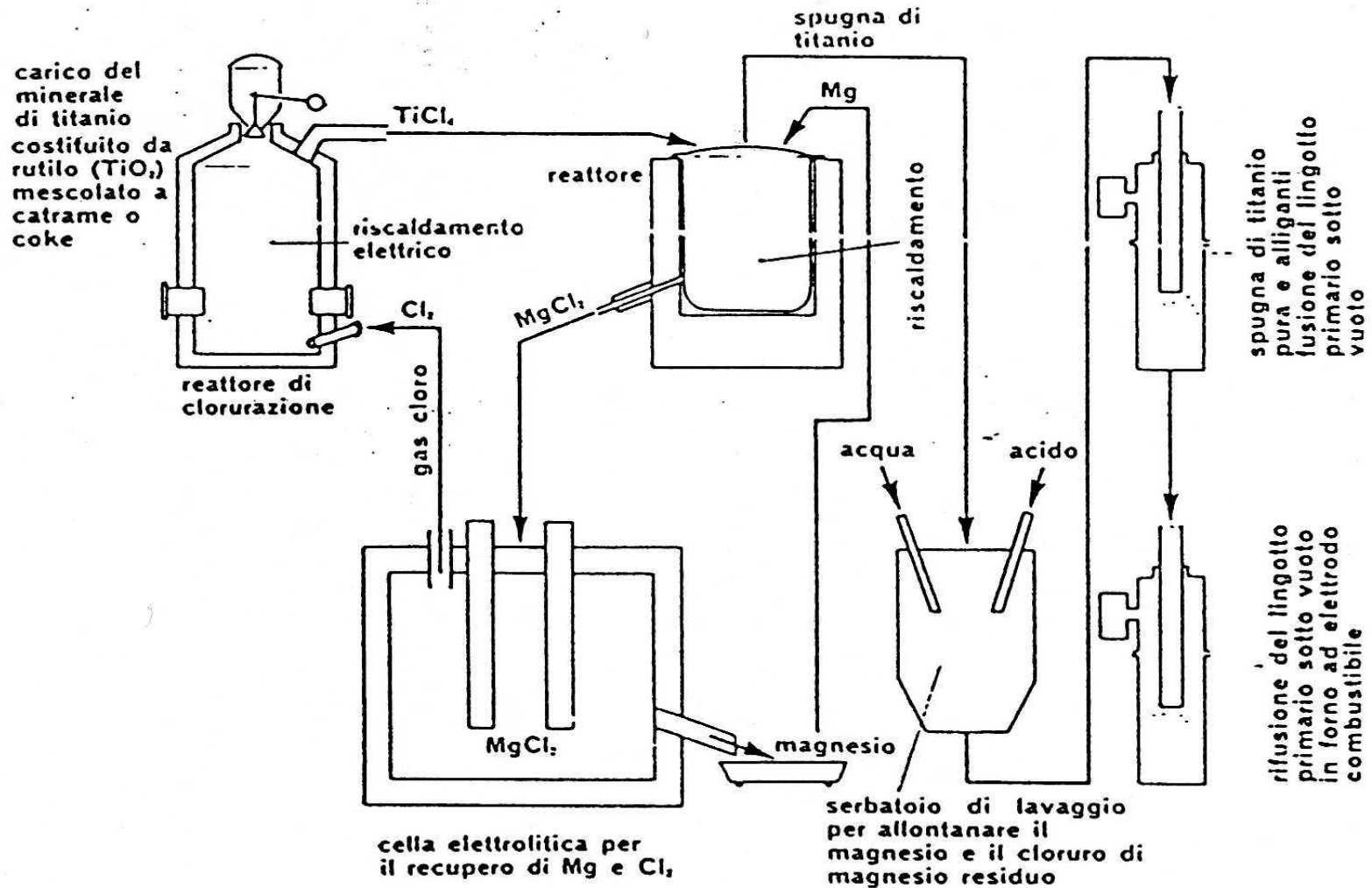
Produzione titanio



SPUGNA DI TITANIO

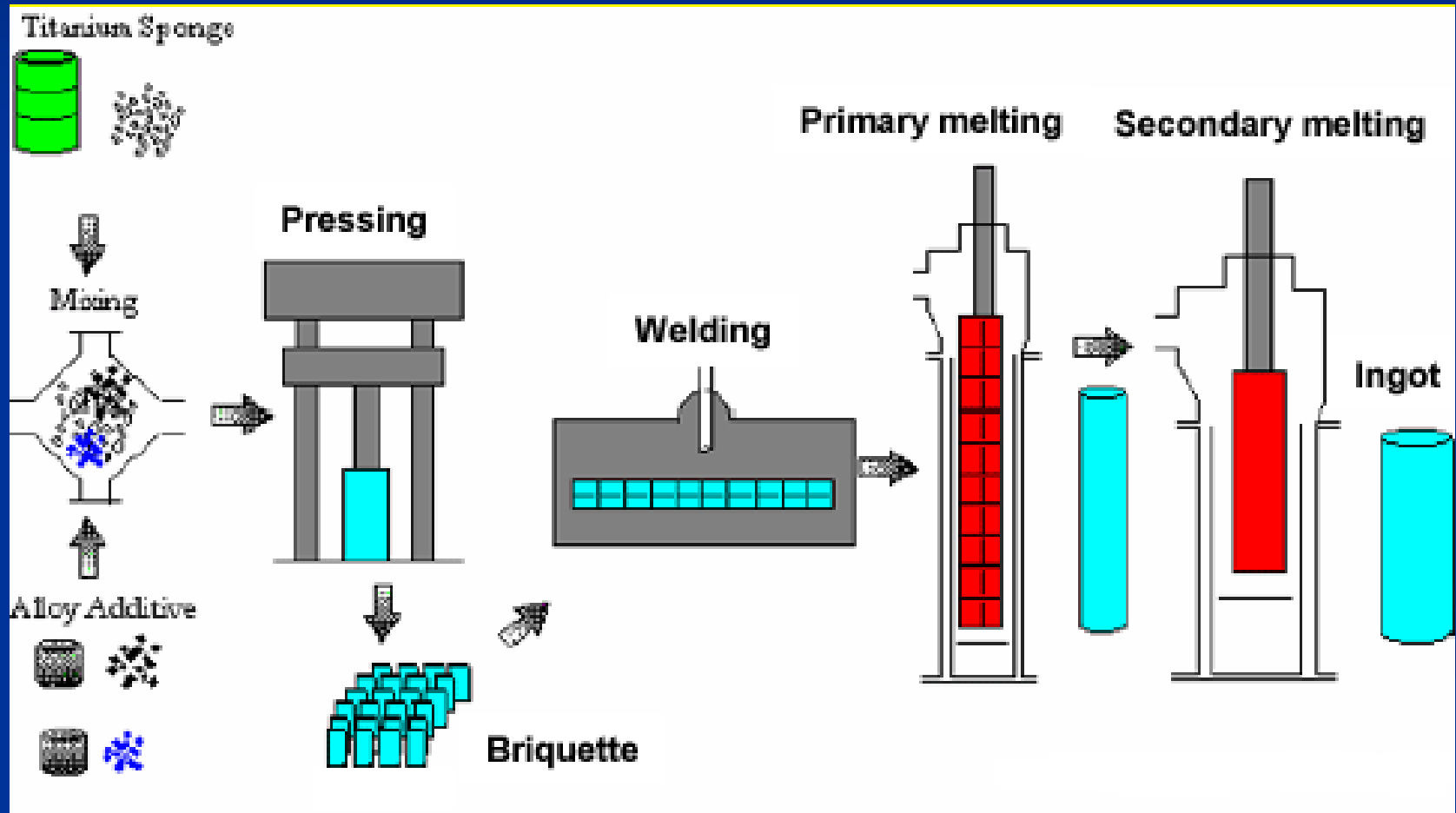


Produzione titanio

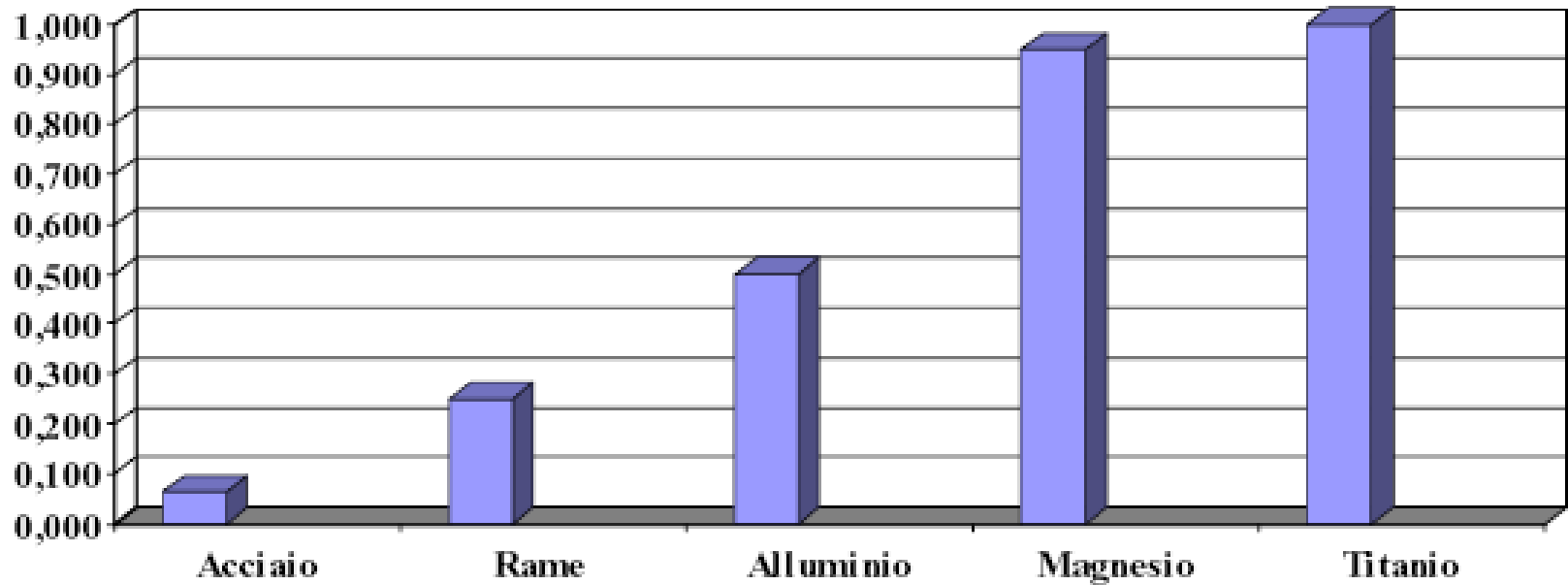


Produzione titanio

Vacuum arc refining (VAR)



Produzione titanio



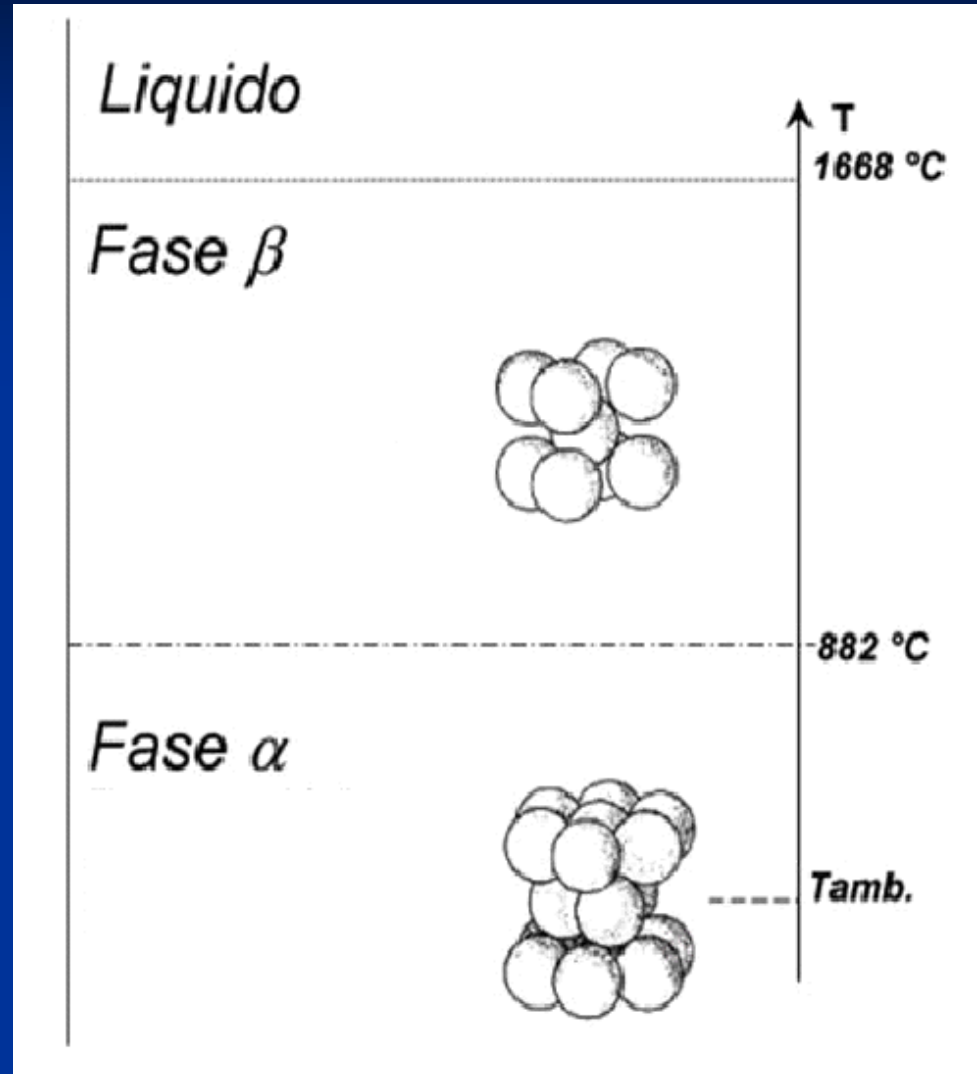
■ Fabbisogno energetico di produzione riferito all'unità di massa[%]

Titanio

Il titanio a T_{amb} presenta una struttura esagonale compatta (hcp) denominata fase α .

Questa struttura si mantiene stabile fino a 882°C , al di sopra della quale la struttura del titanio subisce una modificazione allotropica presentando un sistema cubico a corpo centrato (bcc) conosciuto come fase β , che rimane stabile fino al punto di fusione 1668°C

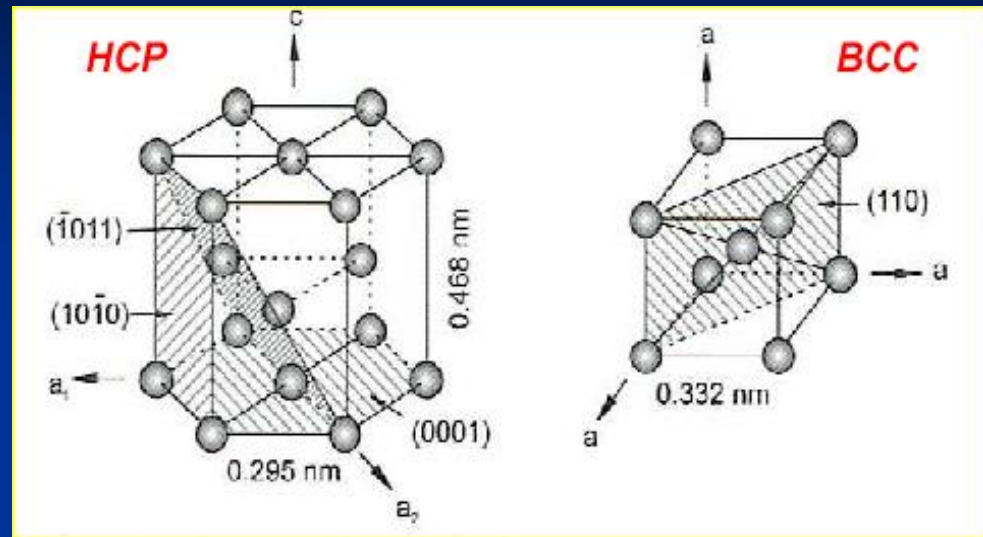
L'esistenza di due differenti strutture cristalline e la corrispondente temperatura di trasformazione allotropica sono la base per spiegare le differenti proprietà delle leghe di titanio.



Titanio

Sia la deformazione plastica che la velocità di diffusione sono strettamente connesse alla struttura cristallina.

La struttura cubica del **titanio beta** contiene un maggior numero di sistemi di scorrimento rispetto a quelli presenti nella forma esagonale alfa, quindi il titanio beta **è più facilmente deformabile**.

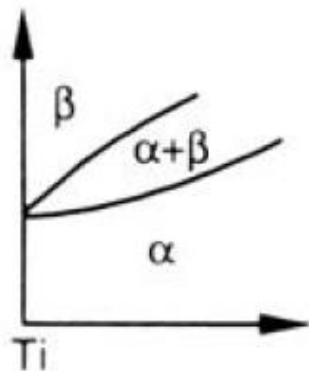


Structure type	N	CN	P	Slip planes Slip directions		Slip system per unit cell	Atom den- sity of slip plane	b_{min}/a
				indices	numbers			
hcp ($c/a=1,633$)	6	12	74%	{0001} <1120>	1 3	$1 \times 3 = 3$	$\approx 91\%$	1
bcc	2	8	68%	{110} <111>	6 2	$6 \times 2 = 12$	$\approx 83\%$	$1/2 \sqrt{3}$ $\approx 0,87$
fcc	4	12	74%	{111} <110>	4 3	$4 \times 3 = 12$	$\approx 91\%$	$1/2 \sqrt{2}$ $\approx 0,71$

N Number of atoms per unit cell
 CN Coordination number
 P Packing density
 b_{min}/a Minimal slip component

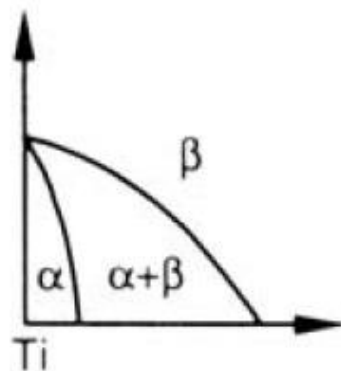
Leghe di Titanio

La principale influenza degli elementi aggiunti al titanio è quella di allargare o restringere i campi di esistenza della fase α



α stabilizer

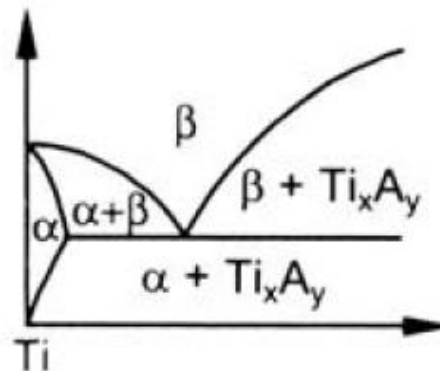
(Al, O, N, C)



β stabilizer

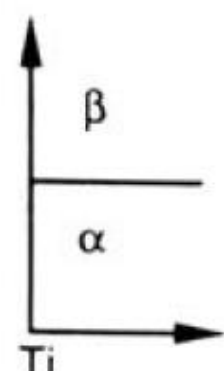
β isomorphous

(V, Mo, Nb, Ta)



β eutectoid

(Fe, Mn, Cr, Co, Cu, Si, H)



neutral

(Zr, Sn)

Al, O e N hanno inoltre la proprietà di indurire la fase solida α

Leghe di Titanio

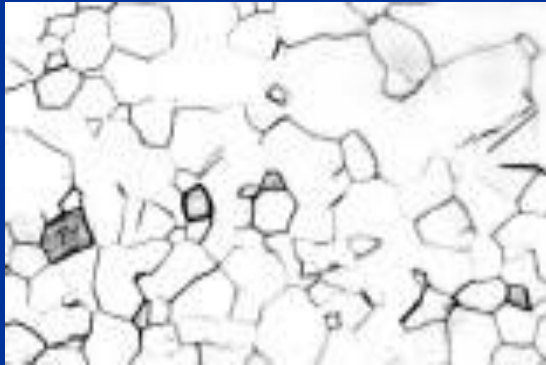
Elemento alligante	Range wt%	Effetto sulla struttura
Alluminio	2-7	α stabilizzante
Vanadio	2-20	β stabilizzante
Molibdeno	2-20	β stabilizzante
Cromo	2-12	β stabilizzante
Rame	2-6	β stabilizzante
Silicio	0.05-1	Migliora la resistenza al creep
Ossigeno, azoto, carbonio		α stabilizzante

Classificazione leghe di titanio

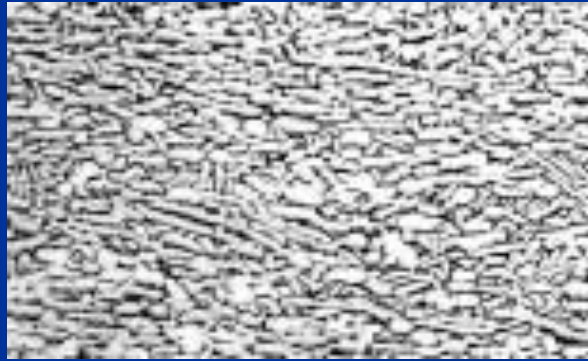
Le leghe di Ti sono classificate per semplicità in base alla loro struttura cristallografica che:

- dipende dagli elementi presenti in lega
- definisce le caratteristiche generali di comportamento della lega

Si distinguono pertanto leghe alpha, leghe beta, leghe alpha + beta, a seconda della fase presente a *T_{amb}*.



Leghe alfa



Leghe alfa+beta



Leghe beta

Leghe di Titanio

CP Ti , e le leghe alpha e near alpha Ti

1. Generalmente non sono trattabili termicamente
2. Proprietà meccaniche medie, buona resistenza al creep, buona resistenza alla corrosione

Leghe alpha-beta

1. Trattabili termicamente
2. Proprietà meccaniche da medie a alte, buona resistenza al creep

Leghe beta

1. Trattabili termicamente, buone proprietà di forgiatura
2. Proprietà meccaniche elevate, bassa duttilità

Leghe di Titanio

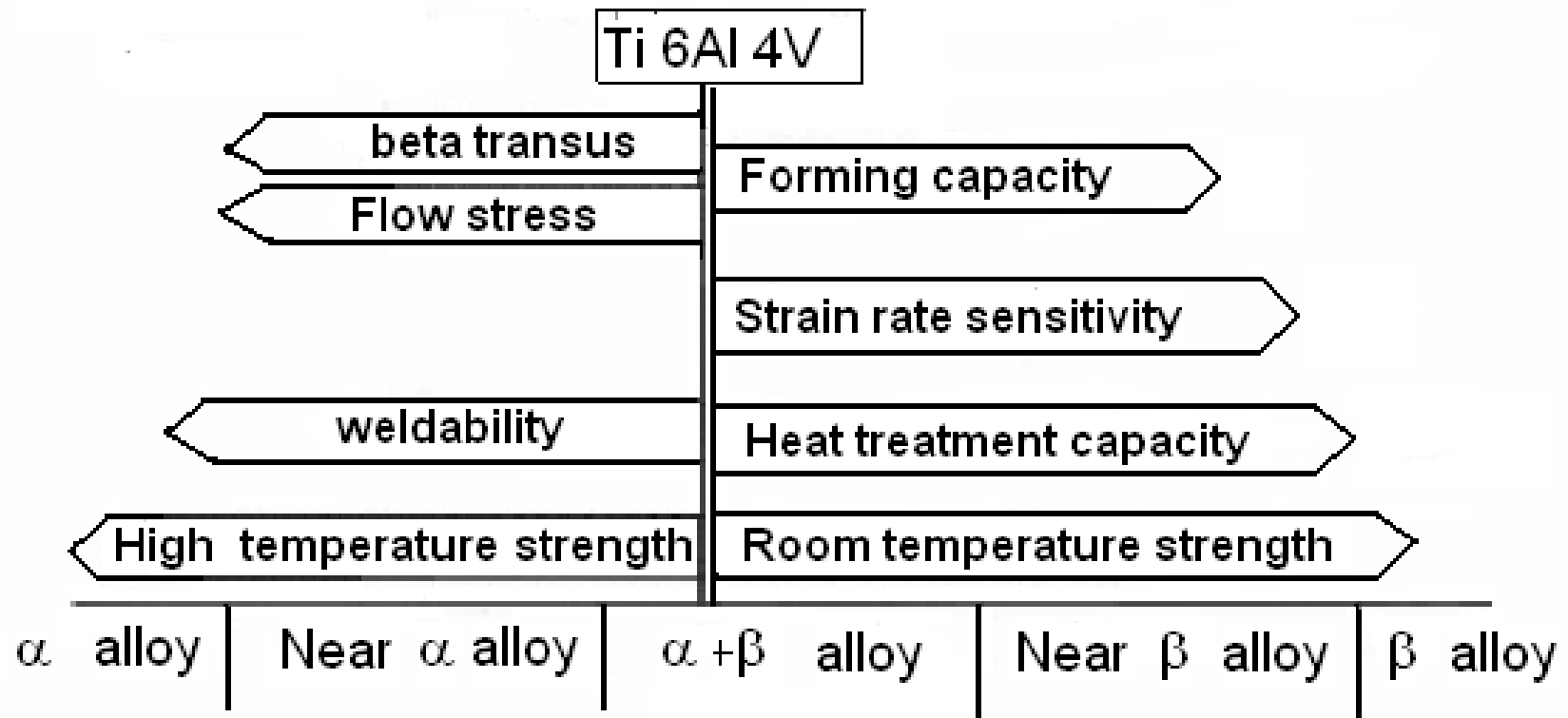
Più elementi beta stabilizzanti → aumento di

- densità
- sensibilità al trattamento termico
- resistenza meccanica a breve termine
- sensibilità alla velocità di deformazione
- Fabbricabilità

Più elementi alfa stabilizzanti → aumento di

- Beta transus
- resistenza allo scorrimento (resistenza al creep)
- saldabilità

Characteristics of Ti alloy families



Materiale	Resistenza a trazione MPa	Carico di snervamento MPa	Allungamento %
<u>CP Ti</u>			
99.5 % Ti	240	170	24
90.0 %	550	480	15
<u>Alpha Ti alloy</u>			
5%Al-2.5%Sn	860	780	15
<u>Beta Ti alloy</u>			
13%V-11% Cr%-3% Al	1300	1200	5
<u>Alpha-Beta Ti alloy</u>			
6%Al-4%V	1000	960	8

Titanio commercialmente puro

Il titanio commercialmente puro contiene comunque delle impurità.

E' stata creata dall'ASTM una classificazione in gruppi:

Grado1 = titanio CP con basso contenuto di ossigeno, basso carico di rottura ed alta duttilità (profondo stampaggio e deformazione a freddo)

Grado2 = titanio CP con > ossigeno, denota maggiore resistenza rispetto al grado1 (titanio CP più largamente usato con migliore compromesso di resistenza saldabilità e formabilità)

Grado3 = titanio CP >>ossigeno ancora maggiore del grado 1 e 2 (maggiore resistenza e minore duttilità) è ben saldabile. Viene usato per la costruzione di recipienti in pressione

Grado4 = titanio CP>>> ossigeno. Possiede le caratteristiche di resistenza più elevate. Viene utilizzato per gli organi di trasmissione e nell'industria aeronautica

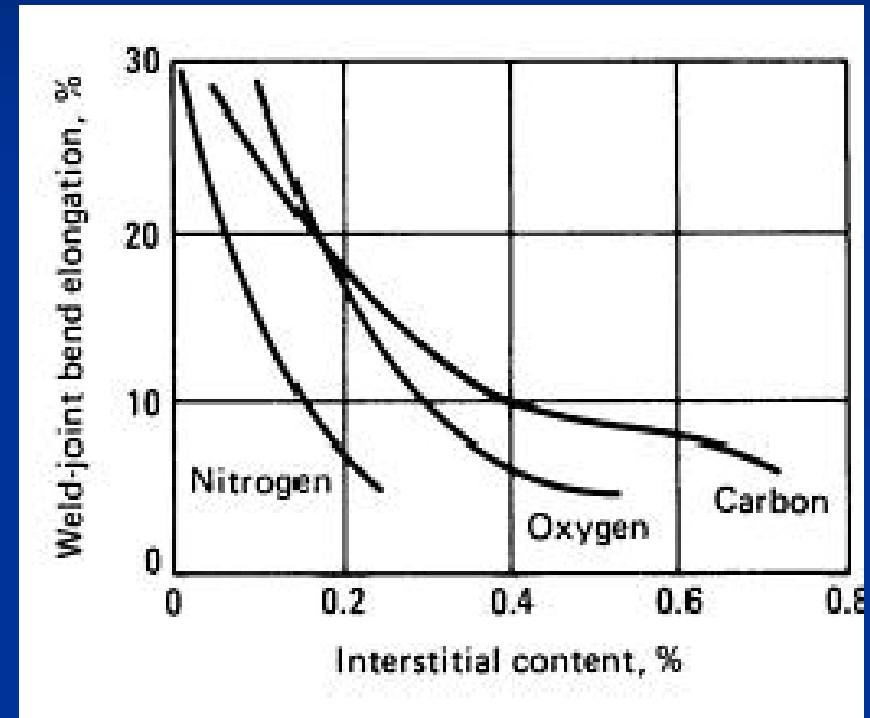
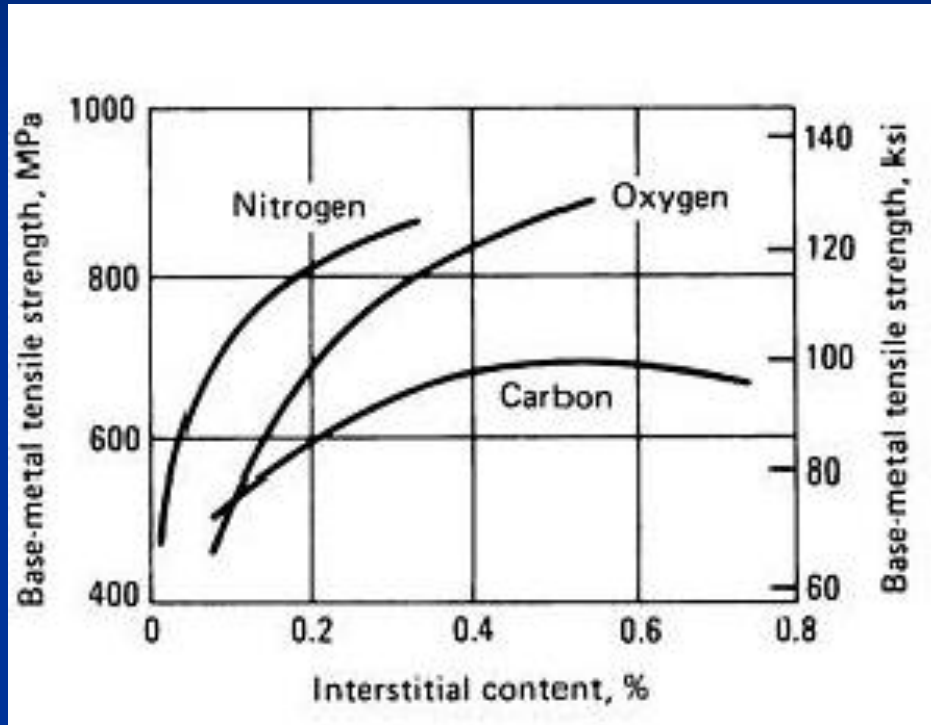
Designazione	Resistenza a trazione (min) MPa	0.2 %carico di snervamento (min) MPa	IMPURITY LIMITS wt%					wt % Nominal composition
			N (max)	C (max)	H (max)	Fe (max)	O (max)	others
ASTM GRADE 1 (%Ti 99.5)	240	170	0.03	0.10	0.015	020	0.18	-
ASTM GRADE 2 (%Ti 99.2)	340	280	0.03	0.10	0.015	030	0.25	-
ASTM GRADE 2 (%Ti 99.1)	450	380	0.05	0.10	0.015	0.30	0.35	-
ASTM GRADE 3 (%Ti 99.0)	550	480	005	0.10	0.015	0.50	0.40	-
ASTM GRADE 4	340	280	003	0.10	0.015	0.30	0.25	0.2 Pd

Common ASTM/ASME Titanium Grades

Grade	Description
Grade 1	Unalloyed titanium, low oxygen, low strength
Grade 2	Unalloyed titanium, standard oxygen, medium strength
Grade 3	Unalloyed titanium, medium oxygen, high strength
Grade 4	Unalloyed titanium, high oxygen, extra high strength
Grade 5	Titanium alloy (6% aluminum, 4% vanadium)
Grade 7	Unalloyed titanium plus 0.12% to 0.25% palladium, standard oxygen, medium strength
Grade 9	Titanium alloy (3% aluminum, 2.5% vanadium), high strength. Mainly aerospace applications
Grade 11	Unalloyed titanium plus 0.12% to 0.25% palladium, low oxygen, low strength
Grade 12	Titanium alloy (0.3% molybdenum, 0.8% nickel), high strength
Grade 13	Titanium alloy (0.5% nickel, 0.05% ruthenium), low oxygen
Grade 14	Titanium alloy (0.5% nickel, 0.05% ruthenium), standard oxygen
Grade 15	Titanium alloy (0.5% nickel, 0.05% ruthenium), medium oxygen
Grade 16	Unalloyed titanium plus 0.04% to 0.08% palladium, standard oxygen, medium strength
Grade 17	Unalloyed titanium plus 0.04% to 0.08% palladium, low oxygen, low strength
Grade 18	Titanium alloy (3% aluminum, 2.5% vanadium plus 0.04% to 0.08% palladium),
Grade 19	Titanium alloy (3% aluminum, 8% vanadium, 6% chromium, 4% zirconium, 4% molybdenum)
Grade 20	Titanium alloy (3% aluminum, 8% vanadium, 6% chromium, 4% zirconium, 4% molybdenum) plus 0.04% to 0.08% palladium
Grade 21	Titanium alloy (15% molybdenum, 3% aluminum, 2.7% niobium, 0.25% silicon)
Grade 23	Titanium alloy (6% aluminum, 4% vanadium, extra low interstitial, ELI)
Grade 24	Titanium alloy (6% aluminum, 4% vanadium) plus 0.04% to 0.08% palladium
Grade 25	Titanium alloy (6% aluminum, 4% vanadium) plus 0.3% to 0.8% nickel and 0.04% to 0.08% palladium
Grade 26	Unalloyed titanium plus 0.08% to 0.14% ruthenium, standard oxygen, medium strength
Grade 27	Unalloyed titanium plus 0.08% to 0.14% ruthenium, low oxygen, low strength
Grade 28	Titanium alloy (3% aluminum, 2.5% vanadium) plus 0.08% to 0.14% ruthenium
Grade 29	Titanium alloy (6% aluminum, 4% vanadium with extra low interstitial elements (ELI)

Titanio CP

Effetto degli elementi interstiziali



Titanio CP

% Ti	Grade	ASTM No.	% C	% Fe	% N	% O	% H	Typical applications
99.5	1	B265	0.08	0.20	0.03	0.18	0.015	Airframes; chemical, desalination, and marine parts; plate-type heat exchangers; cold-spun or pressed parts; platinized anodes; high formability.
99.2	2	B265	0.08	0.25	0.03	0.20	0.015	Airframes; aircraft engines; marine chemical parts; heat exchangers; condenser and evaporator tubing; formability.
99.1	3	B265	0.08	0.25	0.05	0.30	0.015	Chemical, marine, airframe, and aircraft engine parts which require formability strength, weldability, and corrosion resistance.
99.0	4	B265	0.08	0.50	0.05	0.40	0.015	Chemical, marine, airframe, and aircraft engine parts; <u>surgical implants</u> ; high-speed fans; gas compressors; good formability and corrosion resistance, high strength.

Titanio CP

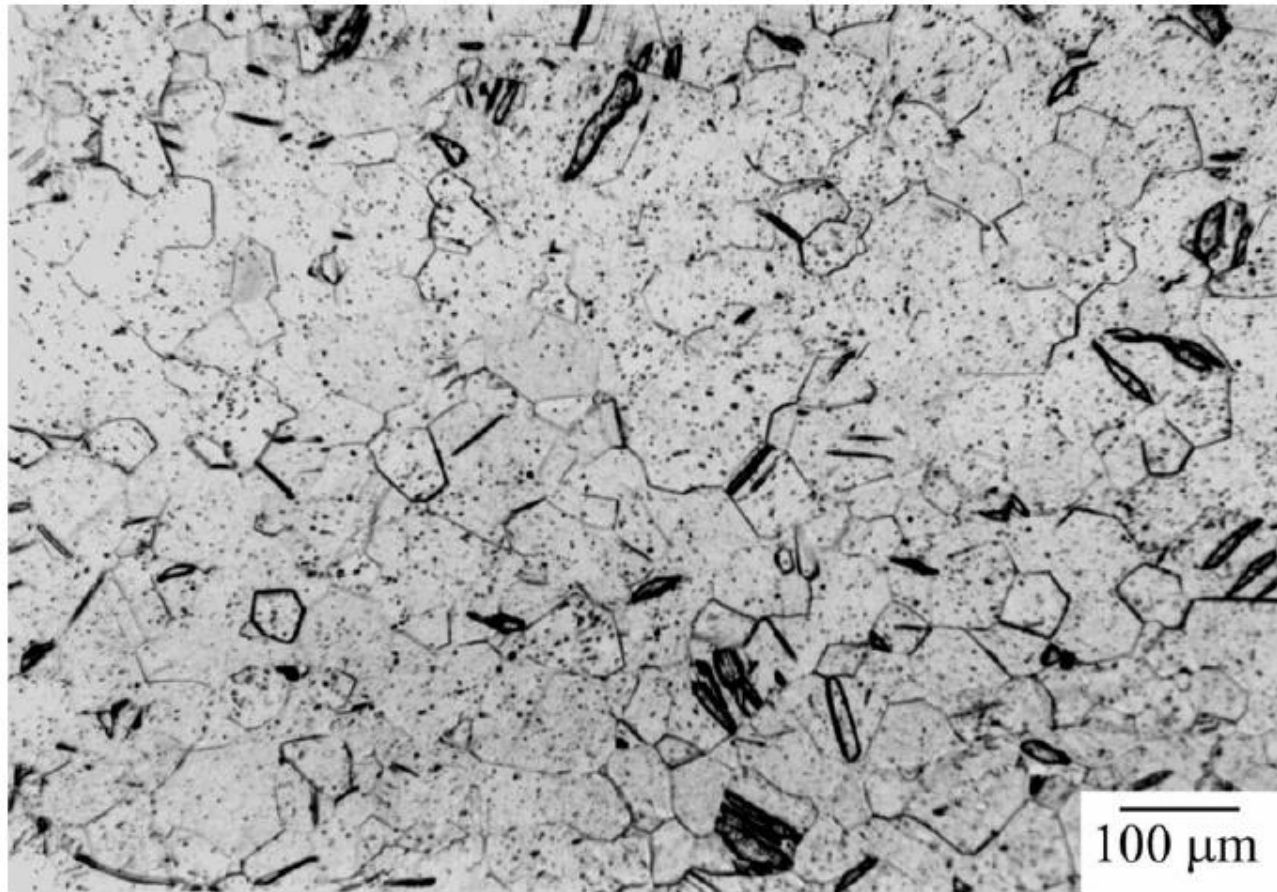


FIGURE 4.1 Commercial titanium, 675°C/1h/AC tensile tested at room temperature. Optical micrograph shows equiaxed α grains.

Leghe alfa

- ❑ Resistono all'ossidazione ad alte temperature (300°C - 540°C). Impieghi in temperatura (serbatoi combustibili di missili, tubi scarico aerei)
- ❑ Presentano miglior saldabilità rispetto ai vari tipi di titanio CP ed ottima duttilità.
- ❑ Buona duttilità a basse temperature.
- ❑ I livelli di resistenza a temperatura ambiente, comunque, sono i più bassi e queste leghe non rispondono a trattamento termico.
- ❑ Sono induribili solo con deformazioni plastiche a freddo.
- ❑ Trattamenti di distensione e ricotture per il recupero della deformabilità.
- ❑ La principale variabile microstrutturale delle leghe alfa è la dimensione del grano. Per una composizione fissata, la resistenza a breve termine (snervamento) e la resistenza a lungo termine (rottura per creep) sono influenzate dalla dimensione del grano e dall'energia immagazzinata (se ce n'è) a deformazione.

Leghe alfa

- Il Titanio Cp e la lega Ti-5Al-2.5Sn sono le leghe alfa più importanti.
- Il Ti Cp (ASTM gradi 1-4) è di solito laminata a caldo, forgiata e trattata termicamente nel campo di stabilità della fase alfa.
- La tipica temperatura di lavorazione è 800°C.
- Un tipico trattamento è 675°C per 1 h seguito da raffreddamento in aria.

Leghe alfa beta

Proprietà

- Elevata resistenza meccanica
- Ottima forgiabilità
- Forte dipendenza delle caratteristiche meccaniche dalla microstruttura
- Poco saldabile e termoresistente

Trattamenti termici influiscono sulle proprietà meccaniche

- Ricottura
- Trattamento di tempra seguita da un invecchiamento

Utilizzi

- Componenti strutturali degli aerei
- Apparecchiature dei processi chimici

Leghe alfa beta

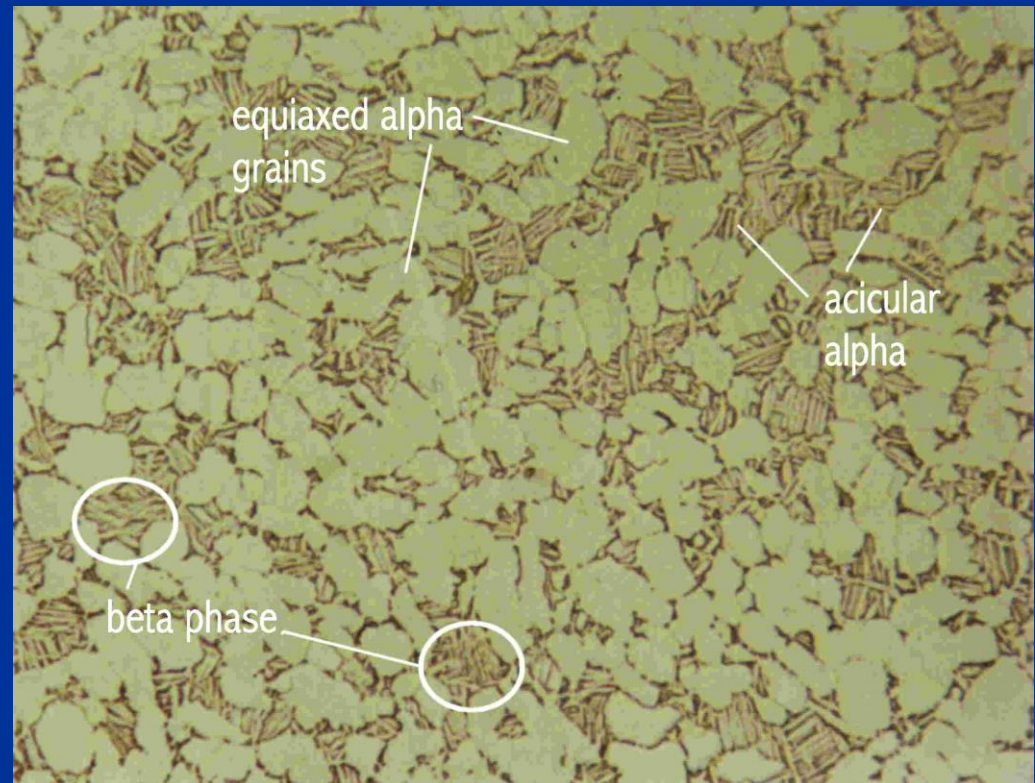
Alloy composition	Condition	Typical applications
6% Al, 4% V	Annealed; solution + age	Rocket motor cases; blades and disks for aircraft turbines and compressors; structural forgings and fasteners; pressure vessels; gas and chemical pumps; cryogenic parts; ordnance equipment; marine components; steam-turbine blades.
6% Al, 4% V (low O ₂)	Annealed	High-pressure cryogenic vessels operating down to -320°F
6% Al, 6% V, 2% Sn	Annealed; solution + age	Rocket motor cases; ordnance components; structural aircraft parts and landing gears; responds well to heat treatments; good hardenability.
7% Al, 4% Mo	Solution + age	Airframes and jet engine parts for operation at up to 800°F; missile forgings; ordnance equipment.
6% Al, 2% Sn, 4% Zr, 6% Mo	Solution + age	Components for advanced jet engines.
6% Al, 2% Sn, 2% Zr, 2% Mo, 2% Cr, 0.25% Si	Solution + age	Strength, fracture toughness in heavy sections; landing-gear wheels.
10% V, 2% Fe, 3% Al	Solution + age	Heavy airframe structural components requiring toughness at high strengths.
8% Mn	Annealed	Aircraft sheet components, structural sections, and skins; good formability, moderate strength.
3% Al, 2.5% V	Annealed	Aircraft hydraulic tubing, foil; combines strength, weldability, and formability.

La lega Ti 6Al4V è la più importante lega del titanio (60% mercato mondiale)

Ti 6 Al 4V usata per palette e dischi del compressore delle turbine a Gas e la raccorderia forgiata dei telai di aeroplano

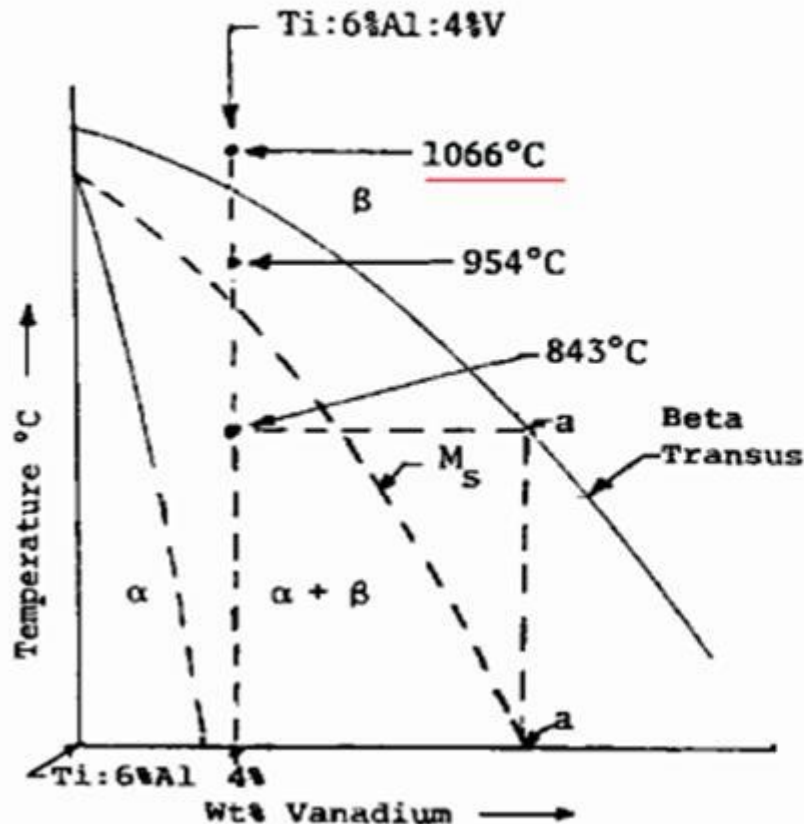
- Lega molto utilizzata (circa il 50% di tutto il mercato di titanio e leghe)
- Caratteristiche medie ottime: massima resistenza nella condizione STA – temprata in soluzione+invecchiata (circa 1100MPa)
- Temprabile solo su spessori inferiori ai 25 mm
- T invecchiamento abbastanza elevata
- Impieghi in temperatura
- Elevata affidabilità
- Problema dell'ingrossamento del grano e controllo della tessitura
- Scarsa resistenza all'usura

Annealed at
700 °C



Le proprietà meccaniche della lega Ti-6Al- 4V dipendono dalla microstruttura.

Thermal Treatments to Ti-6AL-4V



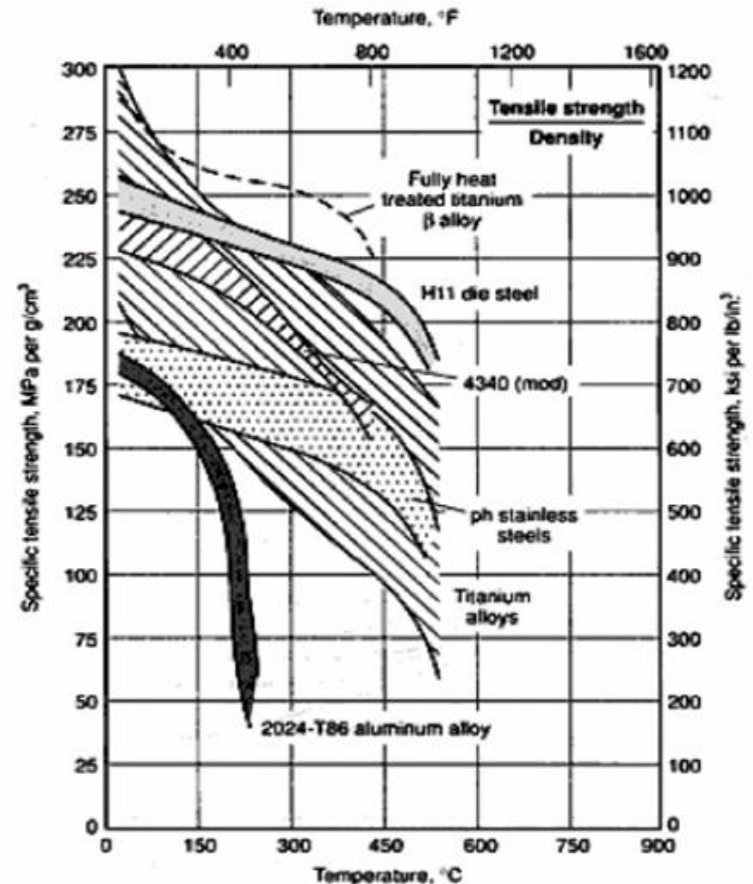
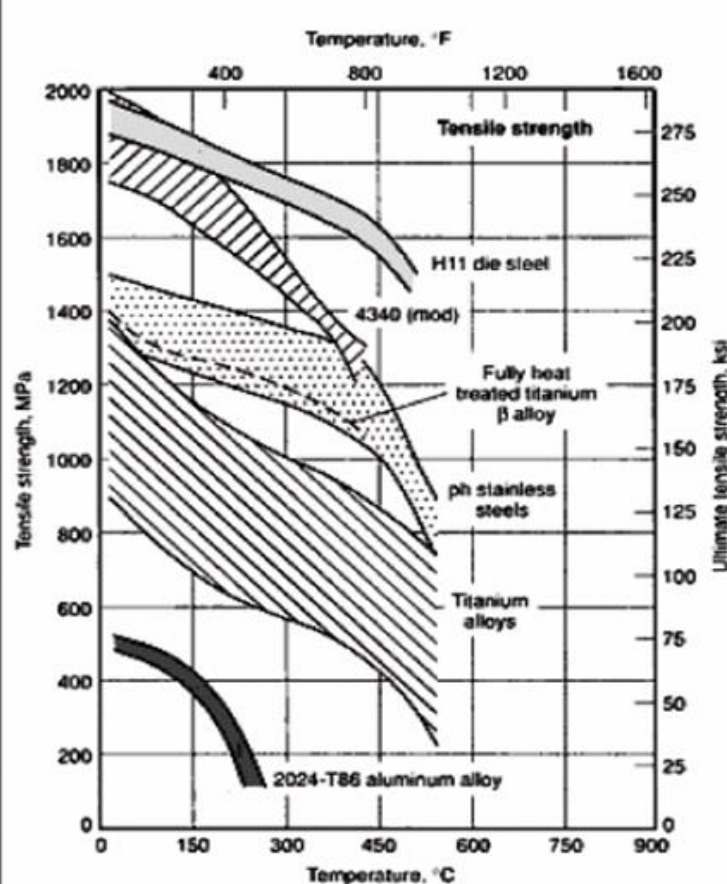
Microstructure of α - β titanium depends on chemical composition, processing, thermal treatment

Very complex microstructure

Figure 10-28 Schematic pseudo-binary phase diagram for Ti-6% Al alloy with additions of vanadium. (M_s = martensite start temperature.)

Proprietà meccaniche titanio e sue leghe

High temperature properties as compared to steels



Resistenza alla corrosione di Ti e sue leghe

- Il Ti è molto reattivo e si ricopre di un sottile strato di ossido (passivazione) altamente resistente e autocatrizzante nella maggior parte degli ambienti chimici (acidi fortemente ossidanti, soluzioni acquose di cloruri, acqua marina etc.)
- Le leghe di Ti resistono meno alla corrosione del Ti CP
- Resistenza a corrosione fino a $T < 550^{\circ}\text{C}$
- Attenzione all'assemblaggio con metalli meno nobili

Table 3-2 Galvanic series of some commercial metals and alloys in seawater

↑ Noble or cathodic	Platinum
	Gold
	Graphite
	Titanium
	Silver
	Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
	Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
	18-8 Mo stainless steel (passive)
	18-8 stainless steel (passive)
	Chromium stainless steel 11-30% Cr (passive)
	Inconel (passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
	Nickel (passive)
	Silver solder
	Monel (70 Ni, 30 Cu)
	Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni)
	Bronzes (Cu-Sn)
	Copper
	Brasses (Cu-Zn)
	Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
	Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
	Inconel (active)
	Nickel (active)
	Tin
	Lead
	Lead-tin solders
	18-8 Mo stainless steel (active)
	18-8 stainless steel (active)
	Ni-Resist (high Ni cast iron)
	Chromium stainless steel, 13% Cr (active)
	Cast iron
	Steel or iron
	2024 aluminum (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
	Cadmium
	Commercially pure aluminum (1100)
	Zinc
↓ Active or anodic	Magnesium and magnesium alloys

Benefits-Corrosion Resistance (Sea Water)

Corrosion Mode	Cu Alloys	Al Alloys	316 SS	Adv. SS	Ni Alloys	Titanium
General Corrosion	R/S	R	R	R	R	R
Erosion Corrosion	S	R	R	R	R	R
Pitting Attack	S	S	S	R	R	R
Crevice Corrosion	S	S	S	S	S	R
Stress Corrosion	R/S	S	R/S	R	R	R
MIC	S	S	S	S	R	R
Weld Attack	S	S	S	S	R	R
Galvanic Attack	S	S	S	R	R	R
Composite Comp.	S	S	S	S	S	R

S=Susceptible R=Resistance

Principali settori di utilizzo

Aeronautica, aerospaziale, militare

- turbine, strutture, veicoli spaziali, rotori per elicottero, corazze

Industrie di processo, petrolchimico, produzione di energia

- turbine a gas, a vapore, sistemi di desolforazione di combustibili, reattori e recipienti in pressione, scambiatori di calore, pompe, condensatori, valvole filtri, agitatori, sistemi di condutture.

Ambiente marino

- scafi esterni, sommergibili per alta profondità, componenti vari (pompe antincendio, sistema idraulico, serbatoi, condutture, sistemi di desalinizzazione)

Settore automobilistico

- Pannelli, basamenti, valvole, molle

Principali settori di utilizzo

Applicazioni per bioingegneria

- protesi d'anca e ginocchio, chiodi intramidollari, valvole cardiache, impianti dentali, strumenti chirurgici

Sport, architettura

- Mazze da golf, telai per biciclette, cambi, volanti, racchette, bombole di immersione, sci, utensili, occhiali, orologi, gioielleria, utensili, tetti, telai, finestre, ventilatori

Leghe a memoria di forma

LAVORAZIONI LEGHE DI TITANIO

- ❖ **CARATTERISTICHE CHE LIMITANO LE LAVORAZIONI DEL TITANIO SONO:**
- ❖ **BASSA conducibilità termica:** il calore generato dall'azione di taglio non viene dissipato velocemente per conduzione all'interno del pezzo e si concentra sul bordo di taglio e sul bordo dell'utensile.
- ❖ **Il modulo elastico relativamente basso può dare inizialmente qualche difficoltà di lavorazione. Sotto la pressione dell'utensile il materiale tende ad allontanarsi dalla zona di taglio.**

LAVORAZIONI LEGHE DI TITANIO

Problemi saldatura (saldature ad arco TIG,MIG, PAW)

- La saldatura deve essere condotta in atmosfera controllata (alta reattività del titanio con ossigeno azoto e idrogeno)
- Prima di eseguire LA SALDATURA lo strato di ossido superficiale deve essere eliminato

LAVORAZIONI LEGHE DI TITANIO

LAVORAZIONI ALL'UTENSILE:

- Problemi causati dalla bassa conducibilità termica (si utilizzano lubrificanti a basso tenore di cloro)
- Lavorabilità del titanio paragonabile a quella degli acciai legati ed inox
- Notevole deflessione del materiale sotto la spinta dell'utensile (a causa del basso modulo elastico).
- Utilizzo di sistemi con di fissaggio estremamente solidi e severa affilatura degli utensili.

Trattamenti superficiali

Tuttavia a fronte delle notevoli proprietà menzionate, tali materiali presentano grossi limiti in termini di resistenza ad usura, manifestando proprietà tribologiche generalmente insufficienti per gran parte degli impieghi in cui vi siano in gioco forze di attrito.

Trattamenti superficiali

Per supplire a tale limite è possibile ricorrere a trattamenti di indurimento superficiali, quali Nitrurazioni in Plasma e rivestimenti PVD. La combinazione dei due trattamenti oltre ad incrementare la resistenza a corrosione della lega ne aumenta considerevolmente le caratteristiche di resistenza ad usura, raggiungendo valori di durezza superficiali superiori ai 2000 HV_{0.05}

Trattamenti superficiali

Principali trattamenti superficiali effettuabili sul titanio consistono nell'anodizzazione (un processo elettrochimico in cui si effettua un'ossidazione controllata della superficie tramite immersione in un mezzo ossidante) e nella Nitrurazione che produce TiN e TiN_2 in superficie.

Trattamenti superficiali

Tra i trattamenti termochimici maggiormente studiati, la nitrurazione sembra essere la tecnica più promettente e flessibile per applicazioni ingegneristiche poiché può facilmente formare strati induriti sulla superficie del materiale. Dati in letteratura indicano la possibilità di raggiungere valori di microdurezza dell'ordine di 800-1200 HV con tempi di processo fino a 20 ore.