

TİTANYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMİ

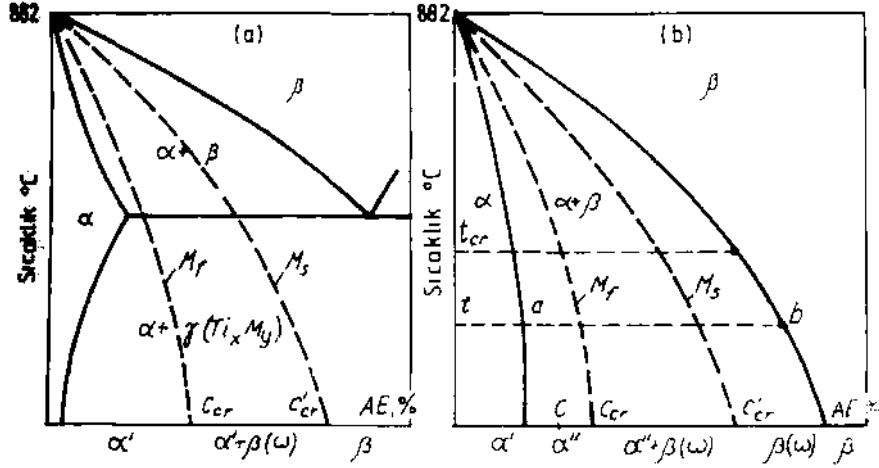
Bileşim ve amaçlarına göre Ti alaşımları tavlabilir, sertleştirilebilir, yaşlandırılabilirler veya kimyasal ısıl işleme (nitürleme, karbürleme vb.) tâbi tutulabilirler. Ti ve bunun α alaşımları, yukarda söylendiği gibi, ısıl işleme kuvvetlendirilemezler ve sadece rekristalizasyon tavlamaına tâbi tutulurlar. Tavlama sıcaklığı rekristalizasyon sıcaklığının üstünde olacak ama $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ dönüşüm sıcaklığını aşmayacaktır, şöyle ki β bölgesinde geniş ölçüde tane irileşmesi vaki olur. Çoğu kez α ve $\alpha + \beta$ alaşımlarına 750-850°C'ta rekristalizasyon tavlamaı uygulanır. Isotermal tavlama $\alpha + \beta$ alaşımlarına sık uygulanır; bu işlem, alaşımın bileşimine göre 850-950°C'ta ısıtıp sonra 500-650°C'ta kadar havada soğutma, bu sıcaklıkta tutma ve daha sonra da yine havada soğutmadan ibarettir. Bu işlem, icapının azami ısıl stabilitesini sağlar.

Tam faz rekristalizasyonu ile tavlama pratikte titanium ve alaşımlarının tanesini inceltmede kullanılmaz. Rekristalizasyon tavlamaı sırasında vaki olan kısmî faz rekristalizasyonunun, bu alaşımların nitelikleri üzerinde olumlu etkisi vardır.

550-600°C'ta proses (kısmî) tavlamaı, α ve $\alpha + \beta$ alaşımlarının çalışılması sırasında meydana gelen iç gerilmelerin giderilmesi için uygulanır.

α alaşımlarının aksine, $\alpha + \beta$ alaşımları, yaşlandırmanın takibedeceği sertleştirmeye kuvvetlendirilebilir. Sertleştirme ve yaşlandırma programlarının uygunluğu halinde, mukavemet artışının yanısıra memnuluk verici süneklik de elde edilir.

Şimdi sertleşme sırasında $\alpha + \beta$ alaşımlarında yer alan dönüşümleri ele alalım. β fazı bölgesinde bir sıcaklığa ısıtılmış alaşımların daldırıldıklarında (Şekil 270), martensitik dönüşümü tipinde bir değişikliğe veya yer değişimine uğrarlar. Çelikte olduğu gibi titanium alaşımlarında martensitik dönüşümü bir sıcaklık aralığında vaki olur. Alaşımda β stabilleştirici element miktarı ne kadar çoksa, martensitik dönüşümünün M_s ve M_f sıcaklıkları o kadar alçak olur (Şekil 270).



Şekil: 270 — β stabilleştirici element içeren Ti alaşımlarında sertleştirmeden sonra elde edilen içyapılar. (a), β bölgesinden daldırma ile (bir ötektoid dönüşümlü alaşımlar); (b), β bölgesinden daldırma ile (ötektoid dönüşümlü alaşımlar) (AE = alaşım elementi).

Alaşımında β stabilleştirici element miktarının C_{cr} den az olması halinde (Şekil 270 a), sertleştirmeden sonra, bir ötektoid dönüşümü olan alaşımlarda sadece bir α martensit fazı oluşur. β stabilleştirici element oranlarının C_{cr} ile C'_{cr} sınırları arasında bulunduğu alaşımlarda, α' fazına ek olarak bir bakiye β fazı bulunacaktır. C_{cr} den fazla oranda stabilleştirici element içeren alaşımlarda, sertleştirmeden sonra sadece β fazı bulunur (Şekil 270 a).

Martensitik α' fazı, α — titanium içinde alaşım elementlerinin bir fazla doymuş katı eriyikidir.

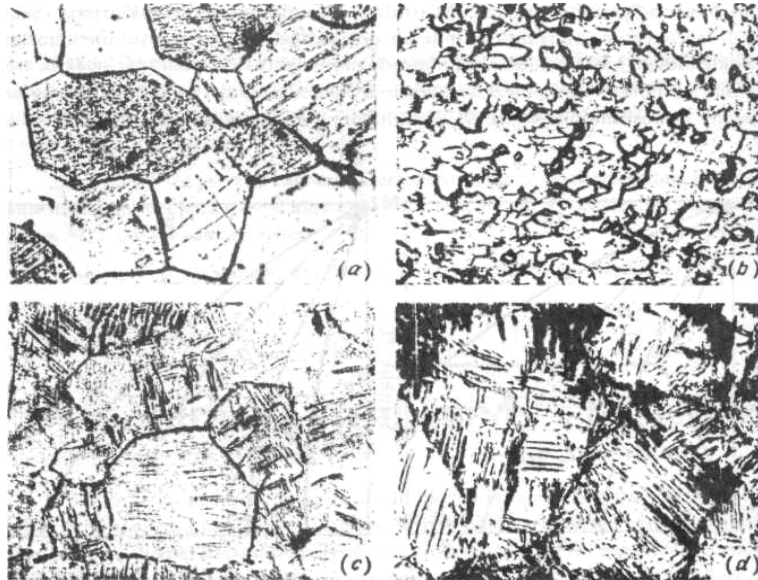
α' fazı, martensitte tipik bir asiküler (iğne biçiminde) içyapılı biraz çarpılmış altıköşe kafesi haizdir (Şekil 271 c ve d). Alaşımda alaşım elementlerinin konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa, α' fazının sertlik ve mukavemeti o kadar yüksek olur.

Şekil 270 b'de gösterilen durumda, α' fazı, alçak alaşımlar sertleştikten sonra oluşur. C noktasının ötesinde bir alaşım elementi konsantrasyonunda, eşkenar dörtgen (baklava) kafesli α' martensit fazı oluşur. Bu α fazının oluşması, alaşımların sertlik ve mukavemet kaybına götürür ve bunların sünekliği artar. C_{cr} in ötesinde β stabilleştirici element oranlı alaşımların sertleştirilmelerinden sonra, α' ve β fazları oluşur ve, C_{cr} in ötesinde bir oranda, sadece β metastabil (tam stabil olmayan) fazı meydana gelir (Şekil 270 b). Şekil 270'den görüldüğü gibi martensitik w fazı, β fazı içinde teşekkül edebilir, w fazı bir altıköşe kafesi haiz olup içyapısı matrise tutarlı şekilde bağlıdır. Dolayısıyla mikro-içyapı analizinde meydana çıkarılamaz, w fazı alaşımı ağır şekilde gevrekleştirir.

$\alpha + \beta$ alaşımları mutad olarak $\alpha + \beta$ bölgesinde bir sıcaklıktan (Şekil 270 b) daldırılarak sertleştirilir. Alaşımlar işbu iki faz bölgesine ısıtıldıklarında α fazı, sertleştirmeden sonra, aynen kalmıştır (değişmemiştir), β fazı da, onunla aynı bileşimde olup da β bölgesinde bir sıcaklıktan sertleştirilmiş bir alaşımınkilerin aynı dönüşümlerine uğrar. Şekil 270 b'deki durumda, örneğin, t sıcaklığında α fazının bileşimi a noktasıyla, β fazınınki de b noktasıyla saptanır. Sertleştirmeden

sonra bu bileşimdeki bir β fazı bir β (w) içyapısını elde eder. Dolayısıyla t sıcaklığından sertleştirilmiş bütün alaşımların içyapısı $\alpha + \beta$ (w) fazlarından ibaret olur. t_{cr} in üstünde bir sıcaklıktan sertleştirmede, β fazının bileşimi C'_{cr} den az olur ve hızlı soğuma (daldırma) dan sonra tam ya da kısmî bir martensitik dönüşüme uğrar. $\alpha + \beta$ bölgesinde sertleştirildikten sonra, Şekil 270 b deki diyagrama tekabül eden alaşımların içyapıları ya $\alpha + \alpha'' + \beta$ (w) ya da $\alpha + \alpha''$ veya $\alpha + \alpha$ olur.

Sertleştirilmiş alaşımların daha sonra yaşlandırılmalarında, martensitik α , α'' ve w fazları, geri kalan metastabil β fazı ile birlikte, ayrışırlar. Bu ayrışmanın nihâî ürünleri, denge bileşiminin α ve β fazları veya ötektoid dönüşümlü sistemlerde, α fazı ve $Ti \times Mg$ kimyasal birleşiki olur. Birinci halde elde edilen metastabil β fazı, alçak yaşlandırma sıcaklıklarında ayrışır ve α fazı oluşturur; daha yüksek sıcaklıklarda, α fazı teşekkül eder.

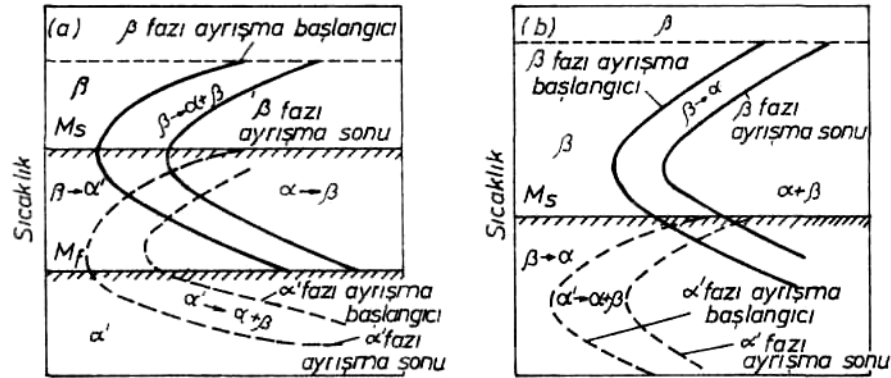


Şekil:271_Titanium alaşımlarının mikro-içyapıları (a), α fazı (X350),(b), $\alpha + \beta$ fazları;(c), α fazı;(d), $\alpha + \beta$ fazları (koyu alanlar β fazıdır). X100

Sertleştirilmiş alaşımlar yaşlandırdıklarında, mukavemetleri artar. Bu, α'' fazı ile β fazından geri kalanın ayrışması nedeniyle vaki olur. α' fazının ayrışmasıyla mukavemet hissedilir ölçüde artmaz, w fazının oluşmasıyla birlikte hasılolan mukavemet artışı, alaşımlarda yüksek bir gevrekleşme meydana geldiğinden, kullanılmaz, w fazının oluşmasından meydana gelen gevrekleşmeden kaçınmak için daha yüksek bir yaşlandırma sıcaklığına ($450-600^{\circ}C$) başvurulur, $\alpha + \beta$ bölgesinde aşırı derecede yüksek sertleştirme sıcaklığı, ve özellikle alaşım β bölgesine ısıtıldığında, yaşlanmadan sonra mukavemet ve sertlik artışına götürür ama süneklik, keskin şekilde azalır.

Ti alaşımlarının ısıtılmasında vaki olan süreçler, çeliklerinkinde olduğu gibi, aşırı soğumuş β fazının izotermal dönüşüm diyagramlarıyla, yani TTT diyagramlarıyla çok daha iyi anlaşılır.

β stabilleştirici element oranının C_{cr} den az olduğu alaşımlar (Şekil 270) için bir TTT diyagramı, Şekil 272 a'da gösterilmiştir.

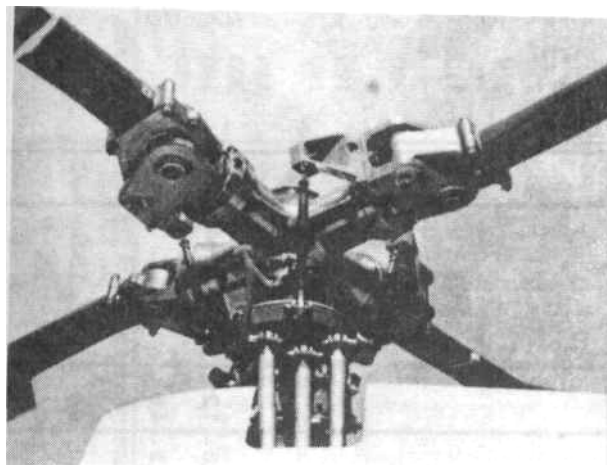


Şekil: 272 — Ti alaşımları için TTT diyagramları (β fazının isotermal dönüşümü) (a), C_{cr} den az β stabilleştirici element oranı; (b), C_{cr} ilâ C'_{cr} β stabilleştirici element oranı (Şekil 270'e bkz.)

β fazı, M_s noktasının üstünde sıcaklıklarda ayrışır; M_s noktasının altında sıcaklıklarda sadece martensitik α' (veya α'') fazlarıyla metastabil β fazı, ve M_f noktasının altında da sadece martensitik α' (veya α'') fazları mevcut olur.

β ve martensitik α' (α'') fazlarının ayrışmaları ayrı eğrilerle gösterilmiştir. C_{cr} ile C'_{cr} (Şekil 270'e bkz.) sınırları arasında bir oranda bir β stabilleştirici element içeren alaşımlar için TTT diyagramı, Şekil 272 b de verilmiştir. Bu alaşımlarda M_f noktası oda sıcaklığının altındadır.

Yukarda betimlenen ısıtma işlemi ek olarak, Ti alaşımları kimyasal ısıtma işlemi de tâbi tutulabilirler. Örneğin Ti, aşınma direncinin artırılması için 30 ilâ 60 saat süreyle azot atmosferi içinde $850^\circ-950^\circ\text{C}$ 'ta nitrülenebilir. Böylece sertleştirilmiş alaşımlarda difüzyon tabakasının derinliği, 0.05 ilâ 0.15 mm; sertliği de 750 ilâ 900 HB olur (alaşımın bileşimine göre).



Şekil: 273 — BOI05 helikopterinin Ti Al 6V 4 alaşımından yükselme pervanesi.

ALMAN SINIFLANDIRMA VE UYGULAMALARI

Bunların arasında Ti A15 Sn2, uçak ve roket; Ti V 13 Cr11 A13, roket imalinde kullanılmaktadır. Tablodaki son iki tanesi de -253°C 'a kadar alçak sıcaklık tekniğinde uygulanabilir. Ünlü Ti V 13 Cr11A13 β alaşımı, folio kalınlığına kadar soğuk çekilebilir (petek imali) ve eriyik tavlama ve yaşlandırma ile yüksek mukavemet edinebilir (aşağıdaki tabloya bkz.). Isıya dayanımı kesinlikle yakl. 350°C ile sınırlıdır. Bunların dışında, alaşımsız Ti malzemeleri arasında Ti 99 F35D, TÜV'ün kabul ettiği basınçlı kaplar imalinde % 0.2 Pd'lu Ti 99 Pd 02 F30 ve F35 de,yine basınçlı olmak üzere, daha yüksek korozyon mukavemetinin bahis konusu olduğu yerlerde kullanılır.

Bazı Ti malzemelerin bileşimleri

MALZEME	KİMYASAL BİLEŞİM					Diğerleri	İç yapı
	Fe	C	Al max. Ağırlık %	V			
Ti 99,5 F 30	0,20	0,08	-	-	-	-	α
Ti 99,5 F 35	0,25	0,08	-	-	-	-	α
Ti 99 F 35 D	0,30	0,10	-	-	-	-	α
Ti 99 F 55	0,35	0,10	-	-	-	-	α
Ti 99 Pd 02 F 30	0,20	0,08	-	-	0,20 Pd	-	α
Ti 99 Pd 02 F 35	0,25	0,08	-	-	0,20 Pd	-	α
TiAl 5 Sn 2	0,50	0,08	4,0 ... 6,0	-	2,0 ... 3,0 Sn	-	α
TiAl 6 Sn 2 Zr 4 Mo 2	0,25	0,05	5,5 ... 6,5	-	1,8 ... 2,2 Sn 3,6 ... 4,4 Zr 1,8 ... 2,2 Mo	-	α
TiAl 8 Mo 1 V 1	0,30	0,08	7,5 ... 8,5	0,8 ... 1,2	0,8 ... 1,2 Mo	-	α
TiAl 6 V 4	0,25	0,08	5,8 ... 6,8	3,5 ... 4,5	-	-	α/β
TiAl 7 Mo 4	0,25	0,08	6,5 ... 7,3	-	3,5 ... 4,5 Mo	-	α/β
TiAl 6 V 6 Sn 2	0,35 - 1,0	0,05	5,0 ... 6,0	5,0 ... 6,0	1,5 ... 2,5 Sn 0,35 ... 1,0 Cu	-	α/β
TiV 13 Cr 11 Al 3	-	0,05	2,5 ... 3,5	12,5 ... 14,5	10 ... 11 Cr	-	β
TiAl 5 Sn 2 T	0,15	0,08	4,7 ... 5,6	-	2,0 ... 3,0 Sn	-	α
TiAl 5 V 4 T	-	0,08	4,5 ... 5,5	3,5 ... 4,5	-	-	α/β

Bunların garanti edilmiş akma sınırları 35 kp/mm²'dir.

Bazı Ti malzemesinin tavllanmış ve sertleştirilmiş halde 20°C'ta mekanik nitelikleri
(garanti edilmiş asgarî değerler)

MALZEME	Çekme mukavemeti σ_B kp/mm ²		Akma sınırı $\sigma_{0.2}$ kp/mm ²		Uzama ϵ %		Brinell ¹⁾ Sertliği kp/mm ²
	Tavllanmış	Sertleştirilmiş	Tavllanmış	Sertleştirilmiş	Tavllanmış	Sertleştirilmiş	
Ti 99,5 F 30	30...42	-	20	-	30	-	140
Ti 99,5 F 35	40...55	-	28	-	22	-	180
Ti 99 F 35 D	47...60	-	36	-	18	-	200
Ti 99 F 55	55...75	-	45	-	16	-	220
Ti 99 Pd 02 F 30	30...42	-	20	-	30	-	140
Ti 99 Pd 02 F 35	40...55	-	28	-	22	-	180
TiAl 5 Sn 2	84	-	80	-	10	-	300
TiAl 6 Sn 2 Zr 4 Mo 2	91	-	84	-	10	-	-
TiAl 8 Mo 1 V 1	91	-	84	-	10	-	310
TiAl 6 V 4	91	112	84	105	10	10	310
TiAl 7 Mo 4	102	119	95	112	10	6...8 ²⁾	330
TiAl 6 V 6 Sn 2	108	126	98	119	8...10 ³⁾	6...8 ²⁾	-
TiV 13 Cr 11 Al 3	95	130	90	120	10	4	280
TiAl 5 Sn 2 T	70	161 ³⁾	63	145 ³⁾	10	15 ³⁾	290
TiAl 5 V 4 T	91	185 ³⁾	84	174 ³⁾	10	6 ³⁾	300

1) Tavllanmış halde değer

2) Haddeleme yönüne göre

3) t = -253°C için değer

Ti ve alaşımlarının ısı işleme spesifikasyonları

MALZEME	GERİLİM GİDERME TAVLAMASI	REKRİSTALİZASYON TAVLAMASI	ERİYİK TAVLAMASI VE BEKLETME
Ti 99,5 F 30 Ti 99,5 F 35 Ti 99 F 35 D Ti 99 F 55	120...15 dak. 450...550 °C/hava	10...120 dak. 700 ± 20 °C/hava	-
Ti 99 Pd 02 F 30 Ti 99 Pd 02 F 35	120...15 dak. 450...550 °C/hava	10...120 dak. 700 ± 20 °C/hava	-
TiAl 5 Sn 2	60...15 dak. 540...650 °C/hava	240... 15 dak. 700...840 °C/hava	1 sa. 905...1010 °C/hava
TiAl 8 Mo 8 V 1	60...15 dak. 600...700 °C/hava	790 °C/hava	+ 8 sa. 595 °C/hava
TiAl 6 Sn 2 Zr 4 Mo 2	4... 1 sa. 480...650 °C/hava	8... 1 sa. 700...840 °C/hava	1 sa. 905...955 °C/hava + 8 sa. 595 °C/hava
TiAl 6 V 4	4... 1 sa. 480...650 °C/hava	8... 1 sa. 700...800 °C/hava	60... 15 dak. 820...950 °C/su + 8... 2 sa. 480...650 °C/hava
TiAl 7 Mo 4	8... 1 sa. 480...700 °C/hava	8... 1 sa. 700...800 °C/hava	90... 30 dak. 850...950 °C/su + 8... 2 sa. 480...600 °C/hava
TiAl 6 V 6 Sn 2	4... 2 sa. 480...600 °C/hava	8... 1 sa. 650...720 °C/hava	800...870 °C/su + 8... 2 sa. 480...600 °C/hava
TiV 13 Cr 11 Al 3	30...15 dak. 540 °C/hava	60... 15 dak. 790 °C/hava	60... 15 dak. 790 °C/su + 2...100 sa. 480 °C/hava
TiAl 5 Sn 2 T TiAl 6 V 4 T	60...15 dak. 540...650 °C/hava 8... 4 sa. 480...650 °C/hava	240... 15 dak. 700...800 °C/hava 8... 1 sa. 700...800 °C/hava	- Önerilmez