

## J - TİTANİUM VE ALAŞIMLARININ SERT LEHİMLENMESİ

Periyodik sistemin 4. grubunda bulunan titanium, intikal (transition) metalleri ile sınıflandırılır ve nispeten alçak yoğunluk ( $4,5 \text{ gr/cm}^3$ ); düşük lineer genişleme katsayısı; deniz suyu, agresif ortam ve değişik iklim koşullarında korozyona mukavemetiyle belirgindir. Titanium alaşımları, en yüksek kopma mukavemeti olarak  $50 \text{ ilâ } 140 \text{ kg/mm}^2$  arasında, bileşim ve ısıl işleme göre değişen alanda yer alır. Titanium,  $-253 \text{ ile } + 500^\circ\text{C}$  arası gibi geniş bir ısı alanında hizmet verebilir.

Titanium ve alaşımlarının sertlehimlenme (lehimleme) özellikleri, O, H, N dahil sair elementlere olan büyük kimyasal eğilimleriyle belirlenir. Bu nitelik, Öbürlerinin yanı sıra, titanium oksitlerinin yüksek kimyasal ve ısıl stabilitesinden sorumludur.

Titanium, tabiat itibariyle çok şekillidir (polymorphic). Bunun iki değişik türü vardır: sırasıyla  $882^\circ\text{C}$ 'in altında ve üstünde stabil olmak üzere alfa (altı köşeli şebeke) ve beta (kübik şebeke). Bu çok şekilliliğin sertlehimlenme (lehimlenme) nitelikleri, oksitlerinin yok edilebilme kabiliyeti ve sıcaklık alçaltıcılarının birleştirme yerinden ana metal içine difüzyonu üzerinde ciddi etkisi vardır. Ara katı eriyikler meydana getiren C, H, O, N elementleri, titaniumu gevrekletiren zararlı öğeler olarak telâkki edilir; bunlar, eriyik halinde mevcut bulduklarında, sonradan vaki olan gevrek kırılmanın nedeni olabilirler.

İkame katı eriyikleri hasıl eden elementler, alaşım ilâveleri olarak kullanılırlar. Aşağıda göreceğimiz tüm-alfa alaşımlar  $30 \text{ ilâ } 90 \text{ kg / mm}^2$ lik bir azami mukavemeti haizdirler; bunlar kolaylıkla sertlehimlenebilirler (lehimlenebilirler) ve  $-70^\circ\text{C}$ 'in altında sıcaklıklarda yüksek sünekliği korurlar. Alfa - beta alaşımları (iki fazlı alaşımlar), oda sıcaklığında başat alfa fazıyla, % 2'ye kadar beta stabilizatör elementleriyle alaşımlandırılmış olup  $70 \text{ ilâ } 100 \text{ kg/mm}^2$ lik azami mukavemeti haiz olur ve daha sünektirler ve kolaylıkla sertlehimlenebilirler.

Beta dokusunun başat olduğu titanium alaşımları  $20^\circ\text{C}$ 'ta çok sünek olup ısıl işleme sertleşebilirler; bunlar havada hızlı tempoyla derinlemesine oksitlenirler ve dekapajda kısa sürede hidrojenlenirler. Beta alaşımları, alfa-beta alaşımlarına göre, difüzyon bağlantısından sonra çok daha yavaş homogenleşirler. Bunda özellikle % 2'den fazla beta-stabilize edici element içerenler belirgindir.

Titanium, azot ve oksijeni kolaylıkla masseden (absorbe eden) "getter" metalleri arasında olup bu elementlerle büyük bir katı eriyikler yelpazesi meydana getirir. Oksijen ve azotun titanium içinde çok eriyebilme kabiliyetini ve bu sonucusu üzerinde bir alfa-stabilizatör etkisini haiz olmaları dolayısıyla, havada ısıtıldığında, titanium, düşük süneklikli bir alfa fazı yüzey katı eriyik tabakası meydana getirir. Hidrojen, alfa titanium içinde az eriyebilir, ama alfa alaşımlarla bileşerek, gevrekleşmeye götüren titanium hidrürfer hasıl eder. Hidrojen alfa-beta Ti alaşımlarında daha büyük ölçüde erir ve bunların ötektoid ayrışmasını önler, Böylece azot ve hidrojenli redükleyici

atmosferlerin, titanium ve alaşımlarının sertlehimlenmelerine uygun olmamaları izahını bulmuş oluyor.

Titanium, 650 ilâ 700°C'ta stabil TiO<sub>2</sub> (rutil) oksidi hasil eder ve 900°C in üstünde atmosferik azotla bileşerek nitrürler meydana getirir. Titanium veya alaşımların ısıtıldıklarında oksijen ve azottan yana doymuş olmaktan ve dolayısıyla gevrekleşmekten korunmak için, oksit tabakasıyla titanium içinde oksijen ve azot alfalaşmış katı eriyik tabakasının, birleştirilecek yüzeylerden mekanik ya da kimyasal yollarla özenle temizlenmesi gerekir.

Oksitler 20°C'ta temiz bir titanium yüzeyi üzerinde yavaş oluşur; bu yüzeyler, dekapajı takip eden 24 saat içinde birleştirilebilirler. Oksit filminin gelişme temposu sertlehimleme sıcaklığı uygulandığında hızlanır. TiO<sub>2</sub>, kimyasal olarak stabil olup alçak ayrışma basıncına sahiptir. Pratikte uygun reaktif dekapanlar bazen titanium ve alaşımlarının birleştirilmelerinde kullanılır.

Sertlehimlenmiş parçaların yüzeyinde oksit filmi ve alfalaşmış tabaka oluşması, parçalan bir akan saf argon veya vakumda ısıtmakla önlenir. Her ne kadar TiO<sub>2</sub>, 10<sup>5</sup> ilâ 10<sup>7</sup> mm Hg'dan daha az bir vakumda redüklenmezse de, oksijenin alfa-titanium içinde büyük ölçüde erime kabiliyeti" (%20'ye kadar) ve kap içinde nispeten az oksijenin bulunması nedeniyle 10<sup>4</sup> ilâ 10<sup>5</sup> mm Hg vakum veya saf ve kuru argon (helium) atmosfer akımı içinde sertlehimleme, önceden temizlenmiş titanium yüzeyinin oksit tabakası edinmesinin önlenmesi için yeterli olmaktadır.

Sertlehimlenmiş birleştirmelerin kalitesi, sertlehimlemenin içinde yapıldığı kabın (ocağın) sızdırmazlığı ve bunun iç yüzeylerinin temizliği tarafından ciddi şekilde etkilenir. Bir küçük kaçak veya korozyona dayanıklı çelikten yapılmış kabın iç cidarları üzerinde temizlenmemiş oksitler, birleştirmenin oksitlenmesini ve bunun kalitesinin düşmesini mucip olur.

### ***Ana ve ilâve metaller***

Titanium ve alaşımları 700 ilâ 860°C'ın Üstünde, yani alfa-titaniumun özellikle güçlü bir oksijen eriticisi olan beta-titaniuma dönüşmesi noktasının üstünde sıcaklıklarda sertlehimlenir. Bazı titanium malzemelerinin bileşim ve kullanma yerlerine ait misaller aşağıdaki tablo 1'de verilmiştir; bunların mekanik Özellikleri tablo 2'de görülür; tablo 3, titanium ve titanium alaşımlarının sertlehimlenmesine uygun ilâve metalleri verir; tablo 4'deki değerler, 1,4-1,6 mm kalınlık ve 16 mm genişlikte titanium levhalarının çeşitli ilâve metaller ve 5 mm bindirmeyle elde edilmiş birleşmelerinin makaslama mukavemetini gösteriyor. Birleştirmeler argon altında gerçekleştirilmiştir.

Sertlehimleme için bahis konusu olabilen elementlerin titaniumla bütün denge diyagramları, yukarda sözü edilen gevrek fazı gösterirler. Sadece titanium -gümüş alaşımları göreceli olarak yumuşak ve şekil alabilir olduğundan bunlar titaniumun sertlehimlenmesinde esas ilâve metal olarak kullanılabilirler. Teknik olarak önemli TIA16 V4, TIA15Sn2 ve TIAI8M0IVI malzemeleri için bakır ve lithiumlu gümüş serilenimi (tablo3'de No. 10) uygundur. Lithium, sertlehimlemede ıslatma ve akmayı artırır ama kısmen korozyona mukavemeti azaltır. TiVBCr 11A13 alaşımı için AgAl ve AgCu grubu sertlehimler önerilir. Isıtma ve beta fazı alanında bulunan çalışma sıcaklığında tutma süresi kısa olacaktır.

Mamafih son gelişmeler, sözü edilen Li, Cu, Al veya Sn'U Ag esaslı ilâve metallerin yanı sıra gümüş - palladium, titanium - nikel, titanium - nikel - bakır ve titanium - zirkonium - berilium gibi alaşımların başarıyla kullanılmasını sağlamıştır. Daha yüksek mukavemetler ve çukur tipi korozyona mukavemet, aranan karakteristikler olmuştur. Yüksek derecede korozyona mukavemetin arandığı birleştirmelerde, 48Ti-48Zr - 4Be ve 43Ti - 43 Zr 12 Ni - 2 Be tipi ilâve metaller fevkalâde sonuç vermektedir. Bir Ag-9Pd-9Ga ilâve metali 900 - 913°C arasında akar ve levha ve tel olarak hadde mamulü şeklinde satılmaktadır. Uçak yüksek basınç hidrolik sistemlerinde birleştirmeler yüksek derecede uzun Ömür, yorulma mukavemeti, oksitlenme ve korozyon dayanıklılık arz ederler.

Süpersonik uçak malzemesi ve proses teknolojisi, alüminyum ilâve metaliyle sertlehimlenmiş titanium petek sandviç panoları ortaya çıkarmıştır. Bu uçak yapılarının boyu 7 m'ye kadar olup bunlar 3003 sertlehim foliosu kullanılarak sertlehimle başarılı şekilde imal edilmişlerdir. 3003 alüminyum ilâve metalinin kullanılması yakl. 316°Ca kadar memnunluk verici mukavemet sağlar. 538-593°C arasında ise yüksek mukavemetli, korozyona dayanıklı Ti-Zr-Be veya Ti-Zr-Ni-Be sertlehimini önerilir.

Özetle, üç tip titanium alaşımı satılmaktadır. Bunlar tüm - alfa, tüm - beta ve alf - beta alaşımları olup saf Ti ve birkaç alaşım tüm - alfa olarak sınıflandırılmıştır (tablo l'e bkz.)- Bu malzemeler ısı işlem kabul etmezler ve sertlehimleme işlemi bunların niteliklerini çok az etkiler. Tavlanmış halde kullanılmak üzere tasarlanmış tüm - beta ana metalleri da yine sertlehimlemenin ısı saykından etkilenmezler. Bunların ısı işleme tâbi tutulmalarının gerekmesi halinde, sertlehimleme sıcaklığının beta alaşımın nitelikleri üzerinde Önemli etkisi olabilir. En iyi süneklik ana metalin eriyik işlemi sıcaklığında sertlehimlenmesi halinde elde edilir. Sertlehimleme sıcaklığı bunun üzerine çıkarılacak olursa ana metalin sünekliği azalır.

Bileşime bağlı olarak alfa - beta titanium alaşımlarının nitelikleri büyük ölçüde ısı işlem ve mikro iç yapı değişimleriyle değiştirilebilir. Hadde ürünü alfa - beta titanium alaşımları genellikle, maksimum süneklik sağlayan ince taneli eşit eksen dupleks mikro iç yapı elde edecek şekilde imal edilirler. Alfa - beta alaşımları sertlehimlenirken bu iç yapının korunması

istenir; bunun için de sertlehimleme sıcaklığının kabaca 900 ile 1038°C arasında değişen beta fazı dönüşüm sıcaklığını aşmaması gerekir. Alfa - beta alaşımları tavllanmış veya eriyik işlemine tâbi tutulmuş halde ve yaşlandırılmış olarak kullanılabilirler. Sertlehimlemeden sonra bir tavllanmış içyapı istenirse, üç alternatif mümkün olmaktadır.

1. Tavlama ve sonra tavlama sıcaklığında veya altında sertlehimleme.
2. Tavlama sıcaklığının üstünde sertlehimleme ve bir tavllanmış içyapı elde etmek için sertlehimleme sayıklına bir kademeli soğutma eyleminin ithali.
3. Tavlama sıcaklığının üstünde sertlehimleme ve bunun bitiminden sonra tavlama. Mevcut ilâve metallerin çoğu titanium alaşımının tavlama sıcaklıklarının üstünde sıcaklıklarda akar şöyle ki son iki alternatif genellikle kullanılır.

Titaniumun alüminyum ilâve metalleriyle birleştirilmesi, yüzeylerin önceden 800 ilâ 900°C'ta ergimiş ilâve metala daldırılarak "kalaylanması" ile mümkündür: oksijen titaniumda erir ve böylece ince TiO<sub>2</sub> filmini redükler. Oksit filmlerinden kurtulmuş ve bir asal gaz altında ısıtılmış titanium kalay ve alüminyum tarafından kolaylıkla ıslatılır.

### ***Proses uygulamaları***

Sertlehimleme sırasında, temas ergimesi ve daha sonra Ti-Ni ötektiğinin oluşmasından kaçınmak için titanium parçalar paslanmaz çelikten ocak, iç cidarlarıyla temas etmeyeceklerdir. Bu amaçla iş parçaları molibden, mika ya da titaniumla redüklenmeyen seramikten mahfazalarla korunur.

Keza vakum sertlehimlenmesi de titanium, ona büyük eğilimi olan karbondan uzak tutulacaktır. Eğer kullanılmışsa, grafit resistans çubukları Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kaplanmış olacaktır.

Oksi-asetilen (üfleç) sertlehimlemesi güç olup özel Önlemleri gerektirir. Gümüş sertlehimlemesinde alkali klorürü ve flüorürü ile buna az miktarda eklenmiş AgCl veya Cu CU den ibaret dekapan uygun olmaktadır; sertlehimleme sırasında AgCl ayrışır ve gümüş titanium yüzeyini korur.

Patentle korunmuş dekapanların bileşimi kabaca şöyledir : % 25-35 LiF; % 10-37,5 KC1 ve % 37,5-55 HKF<sub>2</sub>

Üfleç birleştirilmesinde parçalar, ilâve metal yerine konulup titanium yüzey dekapan bulandıktan sonra ısıtılacaktır.

Üfleçle ve gümüş ilâve metalleri ve dekapan kullanılarak sertlehimlenmiş titanium ve alaşımları 4 ilâ 23 kg/mm<sup>2</sup> lik bir makaslama mukavemeti arz ederler.

Bir hazır ilâve metala % 7 ilâ 10 oranında bakır eklenmesiyle, ciddi mekanik nitelik azalmasına tanık olunur şöyle ki sertlehimleme ara yüzeyinde gevrek  $TiCu_3$  ve  $Ti_2Cu_3$  metaller arası birleşimler oluşur.

Yukarda söylendiği gibi TiAg metaller arası birleşimin nispeten sünek olmasına karşılık gümüşle sertlehimlenmiş titanium birleştirmelerinin alçak

**Tablo 1.- Bazı titanium malzemesinin bileşim ve kullanılmasına örnekler**

Malzeme	Bileşim					Diğerleri	İçyapı	
	Fe	C	Al	V	Max. Ağ.-%			
Ti 99,5 F 30	0,20	0,08	-	-				Tank kaplamaları
Ti 99,5 F 35	0,25	0,08	-	-				Tank kaplamaları
Ti 99 F 35D	0,30	0,10	-	-				Basıncılı kaplar (TÜV)
Ti 99 F 55	0,35	0,10	-	-	0,20 Pd			Pompalar ve armatürler
Ti 99 Pd 02 F 30	0,20	0,08	-	-	0,20 Pd			Yukarıdakiler Daha yüksek
Ti 99 Pd 02 F 35	0,25	0,08	-	-	2,0-3,0 sn			gibi korozyon
TiAl 5 sn 2	0,50	0,08	4,0-6,0	-	1,8-2,2 sn			Uçak ve roket imali (450°C a kadar)
TiAl 6 sn 2 Zr 4 Mo 2	0,25	0,05	5,5-6,5	-	3,6-4,4 Zr 1,8-2,2 Mo			Türbin imali 550°C a kadar
TiAl 8 Mo 1 V 1	0,30	0,08	7,5-8,5	0,8-1,2	0,8-1,2 Mo			Türbin imali 450°C a kadar
TiAl 6 V 4	0,25	0,08	5,8-6,8	3,5-4,5				Başka alanlar için alaşımlar
TiAl 7 Mo 4	0,25	0,08	6,5-7,3	-	3,5-4,5 Mo			Döğme alaşımlar 500°C a kadar uygun
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			Daha yüksek Muk. li alaşım
TiV 13 Cr 11 Al 3	-	0,05	2,5-3,5	12,5-14,5	10-11 Cr			Roket imali
TiAl 5 sn 2 T	0,15	0,08	4,7-5,6	-	2,0-3,0 sn			Alçak sıc. Tekniği
TiAl 5 V 4 T	-	0,08	4,5-5,5	3,5-4,5				-253°C a kadar uygun

**Tablo 2.- Tavlanmış ve sertleştirilmiş halde bazı titanium malzemelerinin 20°C'ta (asgari garanti edilmiş) mekanik mukavemet değerleri**

Malzeme	Çekme muk. $\sigma_B$ Kp/mm <sup>2</sup>		Akma sınırı $\sigma_{0,2}$ Kp/mm <sup>2</sup>		Kopma uzaması $\epsilon$ %		Sertlik HB Kp/mm <sup>2</sup>
	Tavlanmış	Sertleşt.	Tavlanmış	Sertleşt.	Tavlanmış	Sertleşt.	
Ti 99,5 F 30	30-42	-	20	-	30	-	140
Ti 99,5 F 35	40-55	-	28	-	22	-	180
Ti 99 F 35D	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	330
TiAl 6 V 6 Sn 2	108	126	98	119	8-10	6-8	-
TiV 13 Cr 11 Al 3	95	130	90	120	10	4	280
TiAl 5 Sn 2 T	70	161	63	145	10	15	290
TiAl 5 V 4 T	91	185	84	174	10	6	300

Tablo 3.- Titanium ve alaşımlarının sertlehimlenmelerine uygun ilâve metaller

No	Grup	Çalışma sic. °C	Bileşim, %	Norm
1	AgCd	640	45 Ag, 24 Cd, 16 Zn, 15 Cu	-
2	AgAl	640 ... 690	29 ... 30 Ag, 0,00 ... 2 Ni, Resti Al	-
3	AgAl	680	30 Ag, 1 Ni, 0,01 Mn, 83 Al	-
4	AgCdZn	730	70 Ag, 20 Zn, 10 Cd	-
5		700 780		-
6	AgLi	780 790	97 98 Ag, 2 ... 3 Li	-
7	AgAl	790	97,5 Ag, 12,5 Al	-
8	AgAl	870 900	95 Ag, 5 Al	-
9	AgCu	790 825	71,5 Ag, 28 Cu, 0,2 Li	-
10	AgCu	870 ... 900	92,5 Ag, 7 Cu, 0,2 Li	-
11	TiNi	830 ... 1000	28 Ti, 16 Cu, 82 Ni, 5 Co	-
12	TiNi	830 ... 1000	85 Ti, 10 Cu, 25 Ni	-
13	Ag	1000	Ag	-
14	AgMn	1000	85 Ag, 15 Mn	L-Ag 85
15	CuTi	-	30 ... 50 Cu, 15 ... 30 Ti, 3 ... 5 Ag, 2 Ni, 5 ... 25 in	-
16	CuNi	-	50 Cu, max. 22 Fremantale, Resti Ni	-
17	PdAg	760 ... 790	81 ... Pd, 14,3 Ag, 4,6 Si	-
18	AgCuZnCd	850	40 Ag, 19 Cu, 21 Zn, 20 Cd	L-Ag 40 Cd
19	AgCuZnSn	850	55 Ag, 21 Cu, 22 Zn, 2 Sn	-
20	AgCuSn	780	Ag, 30 Cu, 10 Sn	-
21	AgCuZn	840	Ag, 16 Cu, 4 Zn	-

Tablo 4.- Çeşitli titanium alaşımı üzerinde yürütülmüş oda sıcaklığında makaslama mukavemeti deneylerinin sonuçları

Değişik Ti alaşımlarından bindirmeli numunelerin oda sıcaklığında makasl. muk.

Örnek paketi no	Bileşim, %	Çalışma sic. °C	Aşağıdaki Ti alaşımlarının mak. muk.			
			TiV 13 Cr 11 Al 3 1,60 mm kal. kp/mm <sup>2</sup>	TiAl 8 Mo 1 V 1 1,63 mm kal. kp/mm <sup>2</sup>	TiAl 5 Sn 2 1,65 mm kal. kp/mm <sup>2</sup>	TiAl 6 V 4 1,42 mm kal. kp/mm <sup>2</sup>
6	Ag, 2 Li	790	16,6 -	7,2 3,2	13,3 9,8	10,6 11,5
8	Ag, 5 Al	900	16,8 16,2	8,3 -	3,3 10,0	- -
9	Ag, 28 Cu, 0,2 Li	790	11,3 -	11,4 10,5	16,2 9,6	10,3 6,8
10	Ag, 7 Cu, 0,2 Li	900	14,7 16,0	15,5 12,7	1,2 10,7	10,1 12,0
20	Ag, 30 Cu, 10 Sn	780	5,0 6,1	6,0 10,5	11,0 -	6,5 -
21	Ag, 16 Cu, 4 Zn	840	6,0 13,2	8,8 7,0	8,9 12,1	8,9 12,9

Tablo 5.- Titanium ve alaşımlarının ısıtma işlem verileri

Malzeme	Gerilim giderme	Rekristalizasyon	Çözültü tavlama ve soğutma
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 0,2 F 30 Ti 99 Pd 0,2 F 35	120..15 dak, 450..550 °C/hava	10..120 dak, 700 ± 20 °C/hava	-
TiAl 5 Sn 2 TiAl 8 Mo 8 V 1	60..15 dak, 540..650 °C/hava 60..15 dak, 600..700 °C/hava	240..15 dak, 700..840 °C/hava 790 °C/hava	1 sa, 905..1010 °C/hava veya yağ + 8 sa, 595 °C/hava
TiAl 6 Sn 2 Zr 4 Mo 2 TiAl 6 V 4 TiAl 7 Mo 4	4..1 sa, 480..650 °C/hava 4..1 sa, 480..650 °C/hava 8..1 sa, 480..700 °C/hava	8..1 sa, 700..840 °C/hava 8..1 sa, 700..800 °C/hava 8..1 sa, 700..800 °C/hava	1 sa, 905..955 °C/hava + 8 sa, 595 °C/hava 60..15 dak, 820..950 °C/su + 8..2 sa, 480..650 °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 veya hava + 2..100 sa, 480 °C/hava
TiAl 5 Sn 2 T TiAl 6 V 4 T	60..15 dak 540..650 °C/hava 6..4 sa, 480..650 °C/hava	240..15 dak, 700..800 °C/hava 8..1 sa, 700..800 °C/hava	- Beriştirmez

makaslama mukavemetli olması, bu birleşimle titanium arasındaki büyük lineer genleşme katsayısı farkından ileri gelmektedir.

Alüminyum esaslı ilâve metallerle titaniumun kapiler sertlehimlemesi de mümkündür. Al - Ti ikili yapı diyagramı, şek. 69'daki (i) tîpindedir.

Zirkoniyumun titanyuma kıyasla daha büyük bir oksijen eğilimine sahip olması itibariyle, titanyumun zirkoniyum içeren ilâve metallerle sertlehimlenmesinde  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  mm Hg yeterli olmaktadır (ocağın önceden saf kuru argonla temizlenmiş olması koşuluyla).

Uçak yapım komponent malzemeleri arasında TiAl6-V4 alaşımının önemli yeri olup bunun difüzyon kaynak ve sertlehimleme süreci geliştirilmiştir. Bildiğimiz gibi difüzyon kaynağı bir katı hal birleştirme sürecidir ve bunda temizlenmiş yüzeylerin birbirlerine bağlanması, bir yüzey arası malzeme ile veya bunsuz, basınç ve ısının aynı zamanda uygulamasıyla gerçekleşir. Burada bütün süreç değişkenlerinin optimizasyonu bahis konusudur, iyi bir temizleme, alçak yüzey pürüzlüğü ve kontrollü atmosferin sağlanmış olduğu varsayıldığında birleştirme kalitesine egemen olacak başlıca değişkenler, sıcaklık, basınç, süre ve yüzey arası malzeme olmaktadır.

Ti Al6. V4 için beta intikal sıcaklığı yakl. 996 °C olup 1038 °C'lık bir çalışma sıcaklığı, alaşım sisteminin hem alfa-beta, hem de beta bölgesini kapsar. Daha sonraki bir ısıtma işleminden



önce bu alaşımın beta bölgesi sıcaklığına maruz bırakılması halinde kırılma tokluğunun arttığı görülmüştür.

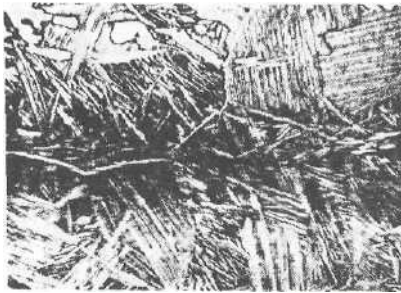
Ti Al8-Mol-V1'in iyi kaynak ve sertlehimlenmesinde saf Ti, Zr ve Cu yüzey arası malzemesi, umut verici sonuçlar sağlamıştır. Saf titanium, daha düşük sürünme mukavemeti ve akma noktası dolayısıyla, plastik olarak yayılır ve yüzeylerin mikroskopik intizamsızlıklarını doldurur. Böylece de ana metalinkinin mertebesinde fiziksel ve mekanik özellikler sağlar.

Zirkonium, bir yüzey arası malzeme olarak titaniumun difüzyon kaynağında birçok avantaj sağlar: o bir nötr pekiştirici olup metallere arası birleşimler hasıl etmez ve hem beta hem de alfa fazında sürekli erime kabiliyetini haizdir.

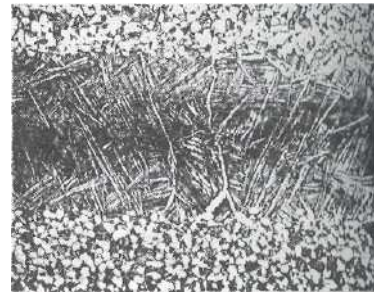
Saf bakır bir yüzey arası malzeme olarak özellikle uygun görünür şöyle ki yüzey intizamsızlıklarını doldurup teması artıran ve böylece de difüzyon sertlehimlemesinde alçak basınç uygulanmasına olanak sağlayan bir geçici sıvı faz oluşturur.

Yüzey arası malzeme olarak 982 ile 1038°C arasında bakırla yapılan difüzyon sertlehimlemesi tam bir katı hal süreci olmamıştır. Bu sıcaklıklar bakırın ergim; noktasının altında ama Cu-Ti ötektik bileşiminkinin üstündedir.

Bakır, difüzyon kabiliyetini artıran ve sıkı temasa kolayca gelinmesini sağlayan geçici yüzey arası sıvı faz meydana getirmekle temas basıncının İyn düşürülme olanağını vermiştir. Sadece 1 atü'lük (15 psi) bir basınç yeterli olmuştur ki bu, kesin bir imal avantajı olmaktadır. Uçak yapı komponentlerinde bu süreç en çok geleceği olan bir difüzyon kaynağı – sertlehimlemesi süreci olarak görülmektedir.



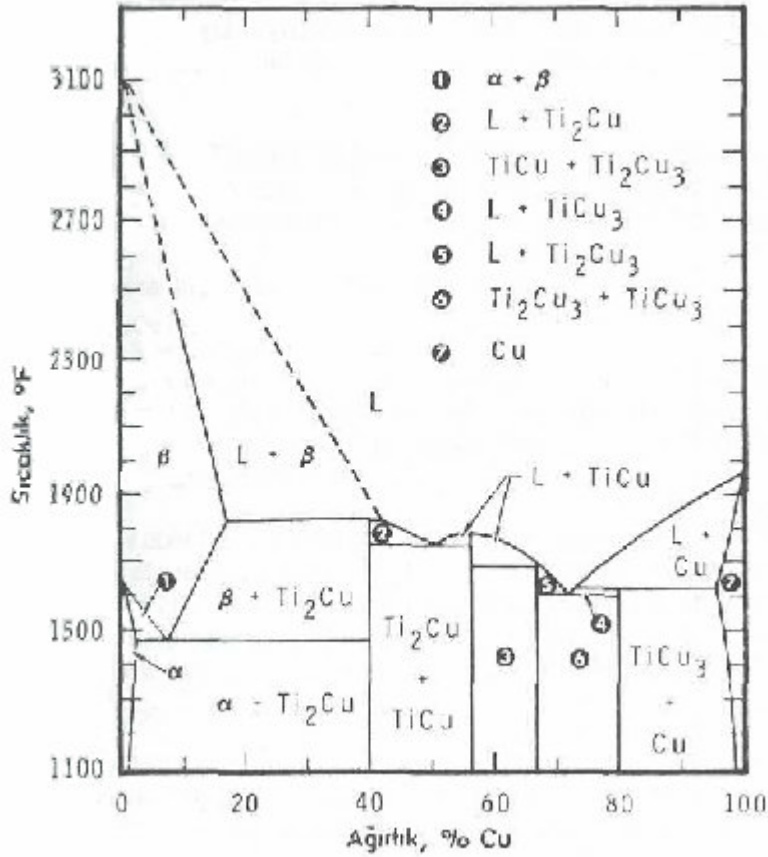
**Şek. 214.- TiA16-V4'un bakırla difüzyon sertlehimlenmesi 1038°C, 60 dak. x200 (basımda % 46 küçültülmüş).**



**Şek. 215.- TtA16-V4'ün bakırla difüzyon sertlehimlemesi 982°C, 120dak x200 (basımda %46 küçültülmüş).**

Metalürjik muayenede 1038°C, 60 dak. ve 982°C, 120 dak. Sertlehimleme koşullarıyla iyi kalitede sertlehimler elde edildiği görülür (şek. 214 ve 215). Difüzyon sıcaklık ve süreye bağlı olarak bu değişkenlerden birinin azalması, aynı sonucu alabilmek için öbürünün artmasını gerektirir. Yukarıdaki her iki koşul da aynı difüze olmuş bakır miktarını vermiştir. Mamafih, TiA16-V4'ün beta intikal sıcaklığının altında bulunan 982°C çalışma sıcaklığı, normal olarak beta tavlmasına uğramayan ince kesitler için istenir. Aradaki bakır folio aynı kalınlıkta (0,013mm) titanium alaşım levhaları hep aynı kalitede birleştirmeler arz etmişlerdir.

Elektron mikroskopu analizleri, 1038°C'ta 60 dakikada yapılmış difüzyon sertlehiminde bakır içeriğinin % 5'ten az olduğunu ve difüzyon bölgesinin toplam genişliğinin 400  $\mu$ dan fazla olduğunu göstermiştir.



Şek. 216.- Ti-Cu sistemi diyagramı

Ti-Cu bileşim diyagramına göre (şek. 216)  $Ti_2 - Cu$  da bir metaller arası birleşim teşkili için asgari bakır oranı % 40 civarındadır. Bu metaller arası birleşim serilenimin kenarında oluşur şöyle ki karşılıklı yüzeylerin arasından dışarı akan sıvı faz bu kenarlarda difüze olmamış bakırla bakırdan yana zengin bir köşe meydana getirir . Bundan ya akmayı durdurucu bir madde

kullanarak, ya da bakırı kenarlardan biraz içeriye yerleştirerek kaçınılabılır. Tabii bu, daha sonra işlenmeyecek olup sertlehimleme köşe dolgusunun istenmediği durumlarda alınacak bir önlemdir.

1038°C ve 60 dak'da yapılmış iyi kalite sertlehimler 56 kg/mm<sup>2</sup> gibi difüzyon kaynağının makaslama mukavemetleriyle kıyaslanabilir makaslama mukavemeti arz etmiş olup deneyler sırasında en zayıf değer bundan çok az aşağı olmuştur.

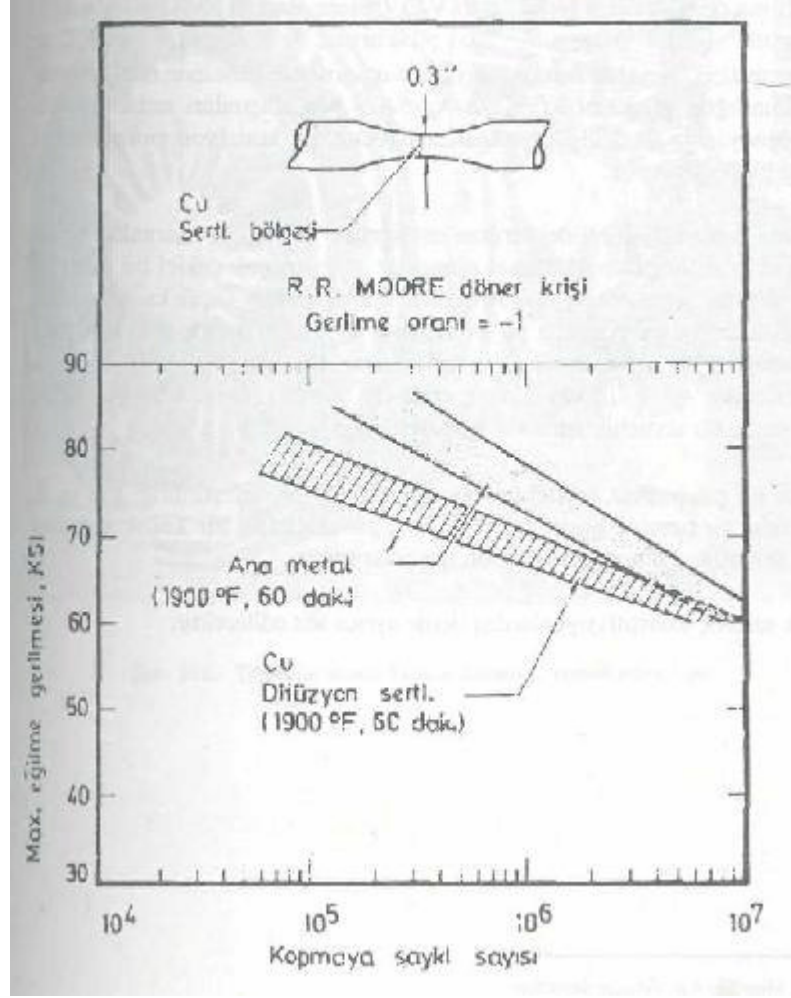
Sertlehimlenmiş döner kiriş numuneler üzerindeki yorulma deneylerinin sonuçları ana metalin değerlerine yakın bulunmuştur. Ana metalin yorulma ömrü 42 kg/mm<sup>2</sup> (60 ksi) gerilme düzeylerinde hafifçe fazla olmuştur. (Şek. 217).

Çentik eğme ve darbe deneyleri de sertlehim için ana metalinkilerle kıyaslanabilir sonuçlar vermiştir.

Bu proses, kanat panolarında takviye kaynakları, iç kaburgalar, kirişler ve döğme parça İkamelerinin konstrüksiyonu gibi birçok uçak strüktürü için kullanılabilir; Örneğin bir 727 iniş takımı üst kilitleme fittingi bir vakum kabı içinde başarıyla bakır difüzyon sertlehimlemesiyle imal edilmiştir.

Yüksek performanslı 20 000 ve 30 000 lb (9072 ilâ 13600 kg) jet motoru ve hava taşıt gövdesi ve uzaya yönelik yapıların ortaya çıkmasıyla ağırlık ve asgari masraf talebi önem kazanmıştır. Buna bir de ısı, çevre (316 ilâ 482°C) koşulu eklenince bir yapı (strüktür), malzeme ve imal tekniğinin seçimi sınırlı olmaktadır. Titaniumun difüzyon kaynak ve sertlehimlemesi burada yerini bulmuş oluyor.

Havacılık ve uzay endüstrisinin çok hızlı gelişmesi ve titaniumun birleştirilme yöntemlerinin ıslahı, çok sayıda araştırmaya yol açmıştır. Bunda teknolojik yöntemler olduğu kadar ilâve metal cinsleri de araştırmaların konusu olmuştur. Bunların burada ayrıntılarına girmek olanaksız olup bazı önemli hususları belirterek birkaç çalışmayı zikretmekle\* yetineceğiz.



Şek. 217.- TİA16 - V4'ün bakır difüzyon sertlehimleri ve ana metalin yorulma ömrü

Difüzyon bağlantı sisteminin başarılı uygulaması bir yüzey arası sıvı faz. bunun meydana gelmesi anında birleştirmede yakın temasa bağlı olduğundan parçaların dar toleranslarla imal edilmiş olmaları ve stabil takımların bulunması gereklidir. Sıvı fazın meydana gelmesi anında birleşme ile takımlar yakın temasın sağlanması için bir "alfa-delta-takım" kavramı seçilmiştir. Bu kavram, parçayla takım arasındaki ortalama ısıl genişleme katsayısı farkına dayanmaktadır: bu fark, sıvı fazın hasil olduğu sıcaklıkta birleşmeyi yakın temas halinde bastıracaktır,

Araştırma odaklarından biri Tİ-A16-V4 titanium alaşımı ile Ag-Al-Mn ilâve metal alaşım sistemi olmuştur. Tuz püskürtme korozyonu ve 427°C'ta oksitlenme testleri, bu ilâve metallerle yapılmış sertlehimlemelerin niteliklerinde azalma olmadığını göstermiştir. Keza Ag-5A + Mn alaşımları serisi üzerinde yapılmış deneylerde de değişik manganez ilâvelerinin korozyon mukavemetini I kontrol ettiği görülmüştür.

Kırılma mekaniğinin bilinci kırılma emniyetli ("fail-safe") tasarımlara büyük ilgi yaratmıştır. Bu tipin mükemmel olanaklar arz eden çok çekici bir tasarımı, (haddelenmiş) lamine strüktürdür.

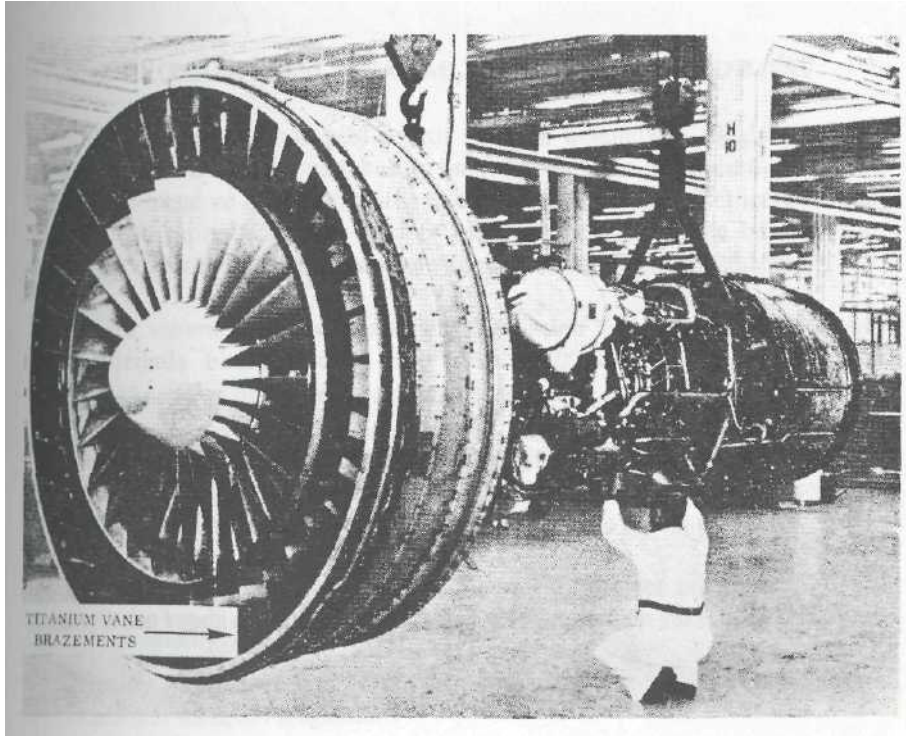
Strüktürel komponentler (uçak kanat kutuları, gövde başlıkları ve ya yorulma ya da kırılma açısından kritik olan kanatlar), kırılma emniyetli lamine konstrüksiyonlara adaydır. Bu arada AMA VS\* araştırma programında Ag - 5Al-0,5Mn ilâve metali ele alınmıştır. Bu alaşım, 830 ile 885°C arasında bir sertlen imleme sıcaklığını haizdir.

Bütün bu çalışmalar, sertlehimlemenin içinde gerçekleştirildiği kap yada ocağın kesin sızdırmazlığının önemini, bunun mutlaka bir kaçak saptama tertibiyle donatılmış olması gereğini ortaya çıkarmıştır.

Petek sandviç kon strüksiyonlardan ilerde ayrıca söz edilecektir.

---

#### Advanced Melallik Air Vehicle Structure



Şek. 218.- Turbo-jet motor farının kanatları sertlehimlenmiştir.