

## ÖZET

### YÜKSEK DİRENÇLİ TİTANYUM ALAŞIMLARININ ÜRETİMİ

5 Bir titanyum alaşımının direncini ve tokluğunu arttırmaya yönelik belirli yapılanmaları, bir titanyum alaşımının, titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanındaki bir sıcaklıkta alanda en az %25'lik bir eşdeğer plastik deformasyona deforme edilmesini içermektedir. Titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında

10 plastik olarak deforme edilmesinin ardından titanyum alaşımı, titanyum alaşımının bir beta transus sıcaklığına veya bunun üstüne ısıtılmamaktadır. Plastik deformasyondan sonra titanyum alaşımı beta transus sıcaklığı eksi 20°F'ye (11.1°C) eşit veya bundan az bir ısı işlem sıcaklığında ısı ile işlenmesidir.

15

## İSTEMLER

1. Bir titanyum alaşımı Ti-10V-2Fe-3Al, Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo, Ti-6Al-4V, Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo, Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Cr-2Mo-0.25Si, Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo veya Ti-15Mo'nin direncini ve tokluğunu arttırmaya yönelik bir yöntem olup, özelliği; yöntemin:
- titanyum alaşımının, titanyum alaşımının bir alfa-beta fazı alanında bir sıcaklıkta alanda en az %25'lik bir azalmanın bir eşdeğer plastik deformasyonuna plastik olarak deforme edilmesini içermesi, burada alanda en az %25'lik bir azalmanın eşdeğer plastik deformasyonunun titanyum alaşımının bir beta transus sıcaklığının hemen altı ila titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 222°C (400°F) altı arasındaki bir plastik deformasyon sıcaklığında meydana gelmesi ve burada titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanındaki bir sıcaklıkta plastik olarak deforme edilmesinden sonra titanyum alaşımının beta transus sıcaklığında veya bunun üstünde bir sıcaklığa ısıtılmaması ve
- titanyum alaşımının ısı ile işlenmesini içermesi, burada titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinin beta transus sıcaklığı eksi 20°F'den (11°C) az veya buna eşit bir ısı işlem sıcaklığında bir ısı ile işlenmiş alaşım üretmek için yeterli bir ısı işlem süresi boyunca tek adımlı bir ısı işlemden oluşması, burada ısı ile işlenmiş alaşımın bir kırılma tokluğunun ( $K_{Ic}$ ) denkleme göre ısı ile işlenmiş alaşımın bir alan direnci (ksi cinsinden YS) ile ilişkili olması:

$$K_{Ic} \geq 173 - (0.9)YS$$

30

ve burada titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımının 952 MPa (138 ksi) ila 1234 MPa (179 ksi) aralığında bir nihai çekme direnci sergilemesidir.

2. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; ısı ile işlenmiş alaşımın kırılma tokluğunun ( $K_{Ic}$ ) denkleme göre ısı ile işlenmiş alaşımın alan direnci (ksi cinsinden YS) alan getirisi ile ilişkili olmasıdır.

5

$$217.6 - (0.9)YS \geq K_{Ic} \geq 173 - (0.9)YS.$$

3. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; ısı ile işlenmiş alaşımın kırılma tokluğunun ( $K_{Ic}$ ) denkleme göre ısı ile işlenmiş alaşımın alan direnci (ksi cinsinden YS) alan getirisi ile ilişkili olmasıdır.

10

$$K_{Ic} \geq 217.6 - (0.9)YS.$$

4. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında plastik olarak deforme edilmesinin titanyum alaşımının alanda %25'ten fazla bir azalma ila alanda %99'luk bir azalma aralığında bir eşdeğer plastik deformasyona plastik olarak deforme edilmesini içermesidir.

20

5. İstem 1'e göre yöntem olup, özeliği; alanda en az %25'lik bir azalmanın eşdeğeri plastik deformasyonun beta transus sıcaklığının 20°F (11°C) altı ila beta transus sıcaklığının 400°F (222°C) altı arasındaki bir plastik deformasyon\_sıcaklık aralığında meydana gelmesidir.

25

6. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanındaki bir sıcaklıkta plastik olarak deforme edilmesinden önce titanyum alaşımının beta transus sıcaklığında veya bunun üstünde ve beta transus sıcaklığı boyunca bir sıcaklıkta plastik olarak deforme edilmesini içermesidir.

30

7. İstem 6'ya göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının beta transus sıcaklığında veya bunun üstünde plastik olarak deforme edilmesinin titanyum alaşımının beta transus

35

sıcaklığının 200°F (111°C) üstü ile beta transus sıcaklığına ilişkin bir sıcaklık aralığında plastik olarak deforme edilmesini içermesidir.

5 **8.** İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; ayrıca titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesinden sonra ve titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden önce titanyum alaşımının oda sıcaklığına soğutulmasını içermesidir.

10 **9.** İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; ayrıca titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesinden sonra ve titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden önce titanyum alaşımının soğutulmasını içermesidir.

15 **10.** İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinin titanyum alaşımının 0,5 saat ile 24 saat aralığında bir ısıl işlem süresi boyunca 900°F (482°C) ile beta transus sıcaklığı eksi 20°F'lik (11°C) aralıktaki bir ısıl işlem sıcaklığına ısıtılmasını içermesidir.

20

**11.** İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesinin dövme, döner dövme, şahmerdanla dövme, çok eksenli dövme, çubuk haddeleme, plaka haddeleme ve titanyum alaşımının ekstrüde edilmesinden en az  
25 birini içermesidir.

**12.** İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; eşdeğer plastik deformasyonun titanyum alaşımının bir enine kesit alanındaki gerçek bir azalmayı içermesidir.

30

**13.** İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesinin titanyum alaşımının bir enine kesitinin alanında %5 veya daha az bir gerçek azalma ile sonuçlanmasıdır.

35

14. İstem 4'e göre yöntem olup, özelliği; eşdeğer plastik deformasyonun titanyum alaşımının bir enine kesit alanındaki gerçek bir azalmayı içermesidir.

5 15. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımının 65 MPa·m<sup>1/2</sup> (59 ksi·in<sup>1/2</sup>) to 111 MPa·m<sup>1/2</sup> (100 ksi·in<sup>1/2</sup>) aralığında bir K<sub>1c</sub> kırılma tokluğu sergilemesidir.

10 16. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımının 924 MPa (134 ksi) ila 1172 MPa (170 ksi) aralığında bir alan direnci sergilemesidir.

15 17. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımının %4,4 ila %20,5'lik bir uzama yüzdesi sergilemesidir.

18. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımının en az 1145 MPa'lık (166 ksi) bir ortalama nihai çekme direncine, en az 1021 MPa'lık (148 ksi) bir ortalama alan direnci, en az %6'lık bir uzama yüzdesi ve en az 71 MPa·m<sup>3/2</sup>'lik (65 ksi·in<sup>3/2</sup>) bir K<sub>1c</sub> kırılma tokluğu sergilemesidir.

25

19. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımının en az 1034 MPa'lık (150 ksi) bir nihai çekme direncine ve en az 77 MPa·m<sup>3/2</sup> (70 ksi·in<sup>3/2</sup>) bir K<sub>1c</sub> kırılma tokluğuna sahip olmasıdır.

30

20. İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; yöntemin:

titanyum alaşımını titanyum alaşımının bir beta transus sıcaklığının 200°F (111°C) üstü ila titanyum alaşımının 400°F (222°C) altı arasındaki bir işleme sıcaklığında plastik olarak

35 deforme edilmesini içermesi, burada titanyum alaşımının en az

%25'lik bir alanda azalmasının eşdeğer plastik deformasyonunun titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında meydana gelmesi ve burada tek adımlı ısıl işlemin 900°F (482°C) ve beta transus sıcaklığı eksi 20°F (11°C) arasındaki bir ısıl işlem sıcaklığında ısı ile işlenmiş alaşımın alan direnci (ksi cinsinden YS) ilişkili olan bir kırılma tokluğuna (ksi.in<sup>3/2</sup> K<sub>1c</sub>) sahip olan bir ısıl işlem üretmek için yeterli bir ısıl işlem süresi boyunca ısıtılmasından oluşmasıdır:

10  $K_{1c} \geq 173 - (0.9)YS.$

21. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; ısıl işlem süresinin 0,5 saat ila 24 saat aralığında olmasıdır.

15 22. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının işlenmesinin titanyum alaşımının alanda %25'ten fazla bir azalma ila alanda %99'luk bir azalma aralığında bir eşdeğer plastik deformasyon sağlamasıdır.

20 23. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının işlenmesinin titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında büyük oranda tamamen işlenmesini içermesidir.

25 24. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının alfa-beta alanında işlenmesinin titanyum alaşımının beta transus sıcaklığında veya bunun üstünde bir sıcaklıktan alfa-beta alanında bir nihai işleme sıcaklığına işlenmesini içermesidir.

30 25. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; ayrıca titanyum alaşımının işlenmesinden sonra ve titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden önce titanyum alaşımının oda sıcaklığına soğutulmasını içermesidir.

35 26. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; ayrıca titanyum alaşımının işlenmesinden sonra titanyum alaşımının ısıl işlem

sıcaklık aralığı içindeki ısıl işlem sıcaklığına soğutulmasını içermesidir.

27. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının  
5 oda sıcaklığında beta-fazını koruyabilen bir titanyum alaşımı  
olmasıdır.

28. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; titanyum alaşımının  
ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımının en az 1145  
10 MPa'lık (166 ksi) bir ortalama nihai çekme direncine, en az 1021  
MPa'lık (148 ksi) bir ortalama alan direncine ve en az 71  
MPa.m<sup>½</sup>'lik (65 ksi.in<sup>½</sup>) bir K<sub>1c</sub> kırılma tokluğuna ve en az %6'lık  
bir uzama yüzdesine sahip olmasıdır.

15 29. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; ısı ile işlenmiş  
alaşımın kırılma tokluğunun (ksi.in<sup>½</sup> K<sub>1c</sub>) denkleme göre ısı ile  
işlenmiş alaşımın alan direnci (ksi cinsinden YS) alan getirisi  
ile ilişkili olmasıdır.

20  $217.6 - (0.9)YS \geq K_{1c} \geq 173 - (0.9)YS.$

30. İstem 20'ye göre yöntem olup, özelliği; ısı ile işlenmiş  
alaşımın kırılma tokluğunun (ksi.in<sup>½</sup> K<sub>1c</sub>) denkleme göre ısı ile  
işlenmiş alaşımın alan direnci (ksi cinsinden YS) alan getirisi  
25 ile ilişkili olmasıdır.

$K_{1c} \geq 217.6 - (0.9)YS.$

31. İstem 1'e göre yöntem olup,  
30 özelliği; titanyum alaşımının oda sıcaklığında beta-fazını  
koruyabilmesi ve  
burada tek adımlı ısıl işlemin en az 1034 MPa (150 ksi) bir  
ortalama nihai çekme direnci ve en az 77 MPa m<sup>½</sup> (70 ksi-in<sup>½</sup>) bir  
K<sub>1c</sub> kırılma tokluğu olan titanyum alaşımı sağlamak için yeterli  
35 bir ısıl işlem süresi boyunca beta transus sıcaklığı eksi

20°F'den (11°C) daha fazla olmayan bir sıcaklıkta ısı ile işlemeden oluşmasıdır.

5 **32.** İstem 31'e göre yöntem olup, özelliği; ısıl işlem süresinin 0,5 saat ila 24 saat aralığında olmasıdır.

10 **33.** İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; plastik olarak deforme etmenin bir nihai plastik deformasyon sıcaklığında tamamlanması ve burada ısıl işleme sıcaklığının nihai plastik deformasyon sıcaklığından az olmasıdır.

15 **34.** İstem 1'e göre yöntem olup, özelliği; plastik olarak deforme etmenin bir nihai plastik deformasyon sıcaklığında gerçekleşmesi ve burada ısıl işlem sıcaklığının nihai plastik deformasyon sıcaklığından daha büyük olması ve titanyum alaşımının beta transus sıcaklığından daha az olmasıdır.

20 **35.** İstem 1'e göre yöntem olup, özeliği; alanda en az %25'lik bir azalmanın eşdeğeri plastik deformasyonun beta transus sıcaklığının 18°F (10°C) altı ila beta transus sıcaklığının 400°F (222°C) altı arasındaki bir plastik deformasyon\_sıcaklık aralığında meydana gelmesidir.



## TARİFNAME

### YÜKSEK DİRENÇLİ TİTANYUM ALAŞIMLARININ ÜRETİMİ

#### 5 TEKNOLOJİNİN GEÇMİŞİ

##### TEKNOLOJİNİN ALANI

Mevcut buluş yüksek dirence ve yüksek tokluğa sahip olan titanyum alaşımları üretmek için yöntemlere yöneliktir. Mevcut buluşa göre yöntemler belirli mevcut titanyum alaşımı üretim yöntemlerinde kullanılan çok adımlı ısı işlemlerini gerektirmemektedir.

##### TEKNOLOJİNİN ARKA PLANININ TARİFNAMESİ

Titanyum alaşımları tipik olarak yüksek bir direnç ile ağırlık oranı sergilemektedir, korozyona karşı dirençlidir ve bir dereceye kadar yüksek sıcaklıklarda sürünmeye karşı dirençlidir. Bu nedenlerden dolayı titanyum alaşımları, örneğin inme dişli elemanları ve motor karkasları gibi kritik yapısal parçalar dahil olmak üzere uzay ve havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır. Titanyum alaşımları ayrıca rotorlar, sıkıştırma kanatları, hidrolik sistem parçaları ve motor yerleri gibi jet motoru parçalarında kullanılmaktadır.

Saf titanyum yaklaşık 882°C'de alotropik bir faz dönüşümü geçirmektedir. Bu sıcaklığın altında titanyum  $\alpha$  fazı olarak adlandırılan, hekzagonal olarak kapalı paketlenmiş bir kristal yapıya sahip olmaktadır. Bu sıcaklığın üzerinde titanyum,  $\beta$  fazı olarak adlandırılan gövde merkezli bir kübik yapıya sahiptir.  $\alpha$  fazından  $\beta$  fazına dönüşümün gerçekleştiği sıcaklık beta transus sıcaklığı ( $T\beta$ ) olarak adlandırılmaktadır. Beta transus sıcaklığı arayer ve yer alan elemanlardan etkilenmektedir ve dolayısıyla katışkıllara ve daha önemli olarak alaşım elementlerine bağlıdır.

Titanyum alaşımlarında alaşım elementleri genel olarak  $\alpha$  stabilize edici elementler veya  $\beta$  stabilize edici elementler

olarak sınıflandırılmaktadır.  $\alpha$  stabilize edici elementlerin ( $\alpha$  stabilize ediciler) titanyuma eklenmesi beta transus sıcaklığını arttırmaktadır. Örneğin alüminyum titanyum için bir ikame elementidir ve bir  $\alpha$  stabilize edicidir.  $\alpha$  stabilize ediciler olan, titanyum için arayer alaşım elementleri örneğin oksijen, 5 nitrojen ve karbon içermektedir.

$\beta$  stabilize edici elementlerin titanyuma eklenmesi beta transus sıcaklığını düşürmektedir,  $\beta$  stabilize edici elementler, meydana 10 gelen faz diyagramına bağlı olarak ya  $\beta$  izomorfoz elementler ya da  $\beta$  ötektoit elementler olabilmektedir. Titanyum için  $\beta$  izomorfoz alaşım elementleri vanadyum, molibdenyum ve niobyumdur. Bu  $\beta$  izomorfoz alaşım elementlerinin yeterli konsantrasyonları ile alaşım yapılması vasıtasıyla beta transus 15 sıcaklığını oda sıcaklığına veya bunun altına düşürmek mümkündür.  $\beta$  ötektoit alaşım elementleri krom ve demirdir. Ek olarak örneğin silikon, zirkonyum ve hafniyum gibi diğer elementler, bu elementlerin titanyum ve titanyum alaşımlarının beta transus sıcaklığı üzerinde az etkiye sahip olması açısından 20 nötrdür.

ŞEKİL 1A, bir  $\alpha$  stabilize edicisinin titanyuma eklenmesinin etkisini gösteren bir şematik faz diyagramını göstermektedir. Bir stabilize edicinin konsantrasyonu arttıkça beta transus 25 sıcaklığı da ayrıca artmaktadır, bu da beta transus sıcaklığı çizgisi (10) pozitif eğimi ile görülmektedir. Beta fazı alanı (12) beta transus sıcaklık çizgisi (10) üstündedir ve sadece  $\beta$  fazının titanyum alaşımında bulunduğu faz diyagramının bir alanıdır. ŞEKİL 1A'da alfa-beta fazı alanı (14) beta transus 30 sıcaklığı çizgisinin (10) altındadır ve hem  $\alpha$  fazının hem de  $\beta$  fazının ( $\alpha+\beta$ ) titanyum alaşımında bulunduğu faz diyagramı üzerindeki bir alanı temsil etmektedir. Alfa-beta fazı alanının (14) altında sadece  $\alpha$  fazının titanyum alaşımında bulunduğu alfa fazı alanı (16) bulunmaktadır.

ŞEKİL 1B, bir izomorfoz  $\beta$  stabilize ediciyi titanyuma eklemenin etkisini gösteren şematik bir faz diyagramını göstermektedir. Beta transus sıcaklığı çizgisinin (10) negatif eğrisi ile gösterildiği üzere daha yüksek konsantrasyonda  $\beta$  stabilize ediciler beta transus sıcaklığını düşürmektedir. Beta transus sıcaklığı çizgisinin (10) üstünde beta fazı alanı (12) vardır. Bir alfa-beta fazı alanı (14) ve bir alfa fazı alanı (16) ayrıca ŞEKİL 1B'de izomorfoz  $\beta$  stabilize edici ile titanyumun şematik faz diyagramında bulunmaktadır.

ŞEKİL 1C, bir ötektoit  $\beta$  stabilize ediciyi titanyuma eklemenin etkisini gösteren şematik bir faz diyagramını göstermektedir. Faz diyagramı bir beta fazı alanını (12), bir beta transus sıcaklığı çizgisini (10), bir alfa-beta fazı alanını (14) ve bir alfa fazı alanını (16) göstermektedir. Ek olarak gerek  $\alpha$  fazını gerekse  $\beta$  fazını titanyumun ve ötektoit  $\beta$  stabilize edici alaşım eklemesinin (Z) reaksiyon ürünü ile birlikte içeren ŞEKİL 1C'nin faz diyagramında iki ilave iki fazlı alan vardır.

Titanyum alaşımları genel olarak bunların kimyasal bileşimine ve bunların oda sıcaklığında mikro yapısına göre sınıflandırılmaktadır. Ticari olarak saf (CP) titanyum ve sadece alüminyum gibi bir stabilize edici içeren titanyum alaşımları alfa alaşımları olarak değerlendirilmektedir. Bunlar baskın olarak esasen  $\alpha$  fazından oluşan tek fazlı alaşımlardır. Ancak CP titanyum ve diğer alfa alaşımları, beta transus sıcaklığının altında tavlandıktan sonra genel olarak  $\beta$  fazının hacimce yaklaşık yüzde 2-5'ini ihtiva etmekte olup, bu da tipik olarak alfa titanyum alaşımındaki demir katışkıları tarafından stabilize edilmektedir. Az hacimli  $\beta$  fazı, alaşımda yeniden kristalize olan  $\alpha$  fazı tane büyüklüğünü kontrol etmekte faydalıdır.

Neredeyse alfa titanyum alaşımları az bir miktarda  $\beta$  fazına,

genel olarak hacimce yüzde 10'dan az sahip olup, bu da alfa alaşımları ile karşılaştırıldığında artan oda sıcaklığında çekme direnci ve 400°C'nin üstündeki sıcaklıklarda kullanımda sürünme direnci ile sonuçlanmaktadır. Örnek bir neredeyse alfa titanyum alaşımı yaklaşık 1 ağırlık yüzdesinde molibdenyum ihtiva edebilmektedir.

Ti-6Al-4V (Ti 6-4) alaşımı ve Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (Ti 6-2-4-2) alaşımı gibi alfa/beta ( $\alpha+\beta$ ) titanyum alaşımları hem alfa hem de beta fazını ihtiva etmektedir ve yaygın olarak uzay ve havacılık sanayisinde kullanılmaktadır. Alfa/beta alaşımların mikro yapısı ve özellikleri ısıl işlemler ve termomekanik işleme aracılığıyla değiştirilebilmektedir.

Toplu olarak "beta alaşımları" olarak sınıflandırılan stabil beta titanyum alaşımları, yarı kararlı veya titanyum alaşımları ve neredeyse beta titanyum alaşımları esasen alfa/beta alaşımlarından daha fazla  $\beta$  stabilize edici element içermektedir. Örneğin Ti-10V-2Fe-3Al alaşımı gibi neredeyse beta titanyum alaşımları, hava ile söndürüldüğünde değil ancak su ile söndürüldüğü zaman bir tam- $\beta$  fazı yapısı için yeterli miktarlarda  $\beta$  stabilize edici elementler içermektedir. Örneğin Ti-15Mo alaşımı gibi yarı kararlı beta titanyum alaşımları daha yüksek seviyelerde  $\beta$  stabilize ediciler içermektedir ve hava ile soğutma üzerine bir tam- $\beta$  fazı yapısını korumaktadır ancak güçlendirme için  $\alpha$  fazını çöktürmek üzere yaşlandırılabilir. Örneğin Ti-30Mo alaşımı gibi yarı kararlı beta titanyum alaşımları daha yüksek seviyelerde  $\beta$  stabilize ediciler içermektedir ve hava ile soğutma üzerine bir tam- $\beta$  fazı yapısını korumaktadır ancak güçlendirme için  $\alpha$  fazını çöktürmek üzere yaşlandırılabilir.

Alfa/beta alaşımlarının beta transus sıcaklığının üstüne soğutulduğu zaman soğutma oranlarına karşı duyarlı olduğu bilinmektedir.  $\alpha$  fazının soğutma sırasında tanecik sınırlarında

ökөлmesi bu alaşımların tokluğunu dūřürmektedir. Günümüzde yüksek dirence ve yüksek tokluğa sahip olan titanyum alaşımlarının üretimi, yüksek sıcaklık deformasyonlarının ardından dikkatli bir şekilde kontrol edilen ısıtma hızlarını ve doğrudan yaşlandırmayı içeren karmaşık, çok adımlı bir ısıtma işleminin kombinasyonunun kullanımını gerektirmektedir. Örneęin U.S. 2004/0250932 A1 sayılı patent başvurusu yayını, %5 molibdenyum ihtiva eden bir titanyum alaşımını beta transus sıcaklığının üstündeki bir birinci sıcaklıkta bir yararlı şekle biçimlendirilmesini veya beta transus sıcaklığının üstünde bir birinci sıcaklıkta bir titanyum alaşımının işlenmesini ardından her dakika için 5°F (2,8°C) fazla olmayan bir hızda beta transus sıcaklığının altında bir ikinci sıcaklığa kontrollü soğutulmasını açıklamaktadır. Titanyum alaşımı ayrıca bir üçüncü sıcaklıkta ısı ile işlenebilmektedir.

Sert, yüksek dirençli titanyum alaşımları üretmeye yönelik tipik bir önceki teknik yönteminin bir sıcaklık ila zaman şematik grafiği ŞEKİL 2'de gösterilmektedir. Yöntem genel olarak beta transus sıcaklığının altında gerçekleştirilen bir yükseltilmiş sıcaklık deformasyonunu ve beta transus sıcaklığının üstüne ısıtmayı ardından kontrollü soğutmayı içeren bir ısıtma işlem adımını içermektedir. Hem yüksek dirence hem de yüksek tokluğa sahip olan titanyum alaşımlarını üretmek için kullanılan önceki teknik termomekanik işleme adımları pahalıdır ve günümüzde sadece sınırlı sayıda üretici bu adımları gerçekleştirme kabiliyetine sahiptir. Dolayısıyla titanyum alaşımlarının direncini ve/veya tokluğunu arttırmak için gelişmiş bir işlem sağlamak avantajlıdır.

US 2005/257864 sayılı patent belgesi yarı kararlı beta titanyum alaşımlarını ve bu alaşımları işleme yöntemlerini açıklamaktadır. Belirli yapılanmalar, en az 150 ksi çekme direncine ve en az yüzde 12'de uzama sahip olan, ağırlıkça yüzde 10'dan fazla molibdenyum içeren ikili beta-titanyum alaşımları

yarı kararlı beta titanyum alaşımları ile ilgilidir. Diğer yapılanmalar yarı kararlı beta-titanyum alaşımlarının işlenmesine ilişkin yöntemlerle ve daha spesifik olarak ağırlıkça yüzde 10'dan daha fazla molibdenyum içeren ikili beta-titanyum alaşımlarını işleme yöntemleri ile ilgili olup, burada yöntem yarı kararlı beta-titanyum alaşımını yarı kararlı beta-titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yarı kararlı beta-titanyum alaşımında alfa-beta çökeltileri oluşturmak için yeteri bir süre boyunca sıcak işlemeyi ve doğrudan yaşlandırmayı içermektedir.

JP 4 074856 sayılı patent belgesi, bir beta titanyum alaşımını bu işlemlere tabi tutma süresince spesifik sıcaklık alanlarında sıcak işleme, solüsyon ile işleme, soğuk işleme ve yaşlandırma işlemi gerçekleştirerek ince metalik yapıya ve direnç ve süneklik açısından mükemmel olan bir beta titanyum alaşımı malzemesi üretmeyi amaçlamaktadır. Bir beta titanyum alaşımına başarılı bir şekilde sıcak işleme, solüsyon ile işleme, soğuk işleme ve yaşlandırma işlemi sırasında solüsyon ile işleme beta-fazı sıcaklık bölgesinden daha düşük bir (alfa+beta) iki fazlı sıcaklık bölgesinde gerçekleştirilmektedir ve soğuk işleme az miktarda alfa-fazının karıştırıldığı bir durumda gerçekleştirilmektedir.

Buluş, ekli istemlerde yer alan istem 1'e uygun olarak, titanyum alaşımlarını işlemek için bir yöntem sağlamaktadır.

Mevcut buluşa göre titanyum alaşımının direncini ve tokluğunu arttırmak için bir yöntem, bir titanyum alaşımının, titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanındaki bir sıcaklıkta alanda en az %25'lik bir eşdeğer plastik deformasyona deforme edilmesini içermektedir. Titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanındaki bir sıcaklıkta plastik olarak deforme edilmesinin ardından titanyum alaşımı, titanyum alaşımının bir beta transus sıcaklığında veya bunun üstünde bir sıcaklığa ısıtılmamaktadır. Ayrıca titanyum

alaşımının plastik olarak deforme edilmesinden sonra titanyum alaşımı,  $K_{Ic} \geq 173 - (0.9)YS$  denklemine göre alan direnci (YS) ile ilişkili olan bir kırılma tokluğuna ( $K_{Ic}$ ) sahip olan bir ısı ile işlenmiş alaşım üretmek için yeterli bir ısıl işlem süresi boyunca bir beta transus sıcaklığı eksi 20°F (11°C) eşit veya bundan az bir ısıl işlem sıcaklığında ısı ile işlenmektedir. Başka bir yapılanmada titanyum alaşımı, aşağıdaki denkleme göre alan direnci (YS) ile ilişkili olan bir titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanındaki bir sıcaklıkta bir kırılma tokluğuna ( $K_{Ic}$ ) sahip olan bir ısı ile işlenmiş alaşım üretmek için yeterli bir ısıl işlem süresi boyunca eksi 20°F'lik beta transus sıcaklığına eşit veya bundan az bir sıcaklıkta bir ısıl işlemde en az %25'lik bir alanda azalmaya eşdeğer plastik deformasyona titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında bir sıcaklığa plastik deformasyonunun ardından ısı ile işlenmektedir  $K_{Ic} \geq 217.6 - (0.9)YS$ .

Mevcut buluşun başka bir yönüne göre bir titanyum alaşımını termomekanik olarak işlemek için bir yöntem, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 200°F (111°C) üstünde bir işleme sıcaklığı aralığındaki bir titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanındaki bir sıcaklıkta titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesinden önce beta transus sıcaklığının altına işlenmesini içermektedir. İşleme adımının sonucunda en az %25'lik alanda azalmada bir eşdeğer plastik deformasyon, titanyum alaşımının bir alfa-beta fazı alanında gerçekleştirilmektedir ve titanyum alaşımı, titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında en az %25'lik alanda azalmada eşdeğer plastik deformasyondan sonra beta transus sıcaklığının üstüne ısıtılmamaktadır. Bir yapılanmaya göre titanyum alaşımının işlenmesinden sonra alaşım 0,5 ve 24 saat arasında bir ısıl işlem süresi boyunca 1500°F (816°C) ve 900°F (482°C) arasında bir ısıl işlem sıcaklığı aralığında ısı ile işlenebilmektedir. Titanyum alaşımı,  $K_{Ic} \geq 173 - (0.9)YS$  denklemine göre veya başka bir yapılanmada  $K_{Ic} \geq 217.6 - (0.9)YS$  denklemine göre ısı ile işlenmiş alaşımın alan direnci

(YS) ile ilişkili olan bir kırılma tokluğuna ( $K_{Ic}$ ) sahip olan bir ısı ile işlenmiş alaşım üretmek için yeterli bir ısı işlem süresi boyunca 1500°F (816°C) ve 900°F (482°C) arasında bir ısı işlem sıcaklık aralığında ısı ile işlenebilmektedir.

5

Mevcut buluşa göre titanyum alaşımını işlemeye yönelik bir yöntem, bir titanyum alaşımının, titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanda titanyum alaşımının alanında en az %25'lik azalmalı bir eşdeğer plastik üretmek için işlenmesini içermektedir.

10 Yöntemin bir yapılanmasında titanyum alaşımı oda sıcaklığında beta-fazını koruyabilmektedir. Bir yapılanmada titanyum alaşımının işlenmesini ardından titanyum alaşımı en az 1034 MPa (150 ksi) bir ortalama nihai çekme direnci ve en az 77 MPa m<sup>3/2</sup> (70 ksi-in<sup>3/2</sup>) bir  $K_{Ic}$  kırılma tokluğu olan titanyum alaşımı üretmek için yeterli bir ısı işlem süresi boyunca beta transus sıcaklığı eksi 20°F'den daha fazla olmayan bir sıcaklıkta ısı ile işlenmektedir. Bir yapılanmada ısı işlem süresi 0,5 saat ila 24 saat aralığındadır.

## 20 ÇİZİMLERİN KISA AÇIKLAMASI

Burada tarif edilen yöntemlerin özellikleri ve avantajları, ekteki çizimlere atıfta bulunularak daha iyi anlaşılabilen olup, burada:

25 ŞEKİL 1A, bir alfa stabilize edici element ile alaşım haline getirilen titanyuma yönelik bir faz diyagramının bir örneğidir;

ŞEKİL 1B, bir izomorfoz beta stabilize edici element ile alaşım haline getirilen titanyuma yönelik bir faz diyagramının bir örneğidir;

30 ŞEKİL 1A, bir ötektoit beta stabilize edici element ile alaşım haline getirilen titanyuma yönelik bir faz diyagramının bir örneğidir;

ŞEKİL 2, tok, yüksek dirençli alaşımlar için önceki tekniğin bir termomekanik işleme şemasının şematik bir sunumudur;



ŞEKİL 3, mevcut buluşun yönteminin esasen bütün alfa-beta fazı plastik deformasyonunu içeren kısıtlayıcı olmayan bir yapılanmasının bir zaman-sıcaklık diyagramıdır;

5 ŞEKİL 4, mevcut buluşun bir yönteminin "beta transus boyunca" plastik deformasyonunu içeren kısıtlayıcı olmayan başka bir yapılanmasının bir zaman-sıcaklık diyagramıdır;

ŞEKİL 5, önceki teknik işlemlerine göre ısı ile işlenen çeşitli titanyum alaşımlarına yönelik  $K_{Ic}$  kırılma tokluğu ile alan direncine ilişkin bir grafikdir;

10 ŞEKİL 6, mevcut buluşa göre bir yöntemin kısıtlayıcı olmayan yapılanmalarına göre plastik olarak deforme edilmiş ve ısı ile işlenmiş titanyum alaşımlarına ilişkin  $K_{Ic}$  kırılma tokluğuna ilişkin ve önceki teknik işlemlerine göre ısı ile işlenmiş alaşımlara sahip bu yapılanmalarla karşılaştıran bir grafikdir;

15 ŞEKİL 7A, bir Ti 5-5-5-3 alaşımının haddeleme ve 4 saat boyunca 1250°F'de (677°C) ısıl işleminden sonra uzunlamasına doğrultuda bir mikrografiğidir ve

ŞEKİL 7A, bir Ti 5-5-5-3 alaşımının haddeleme ve 4 saat boyunca 1250°F'de (677°C) ısıl işleminden sonra enine doğrultuda bir  
20 mikrografiğidir.

Okuyucu, mevcut açıklamaya göre sınırlayıcı olmayan bazı yapılanmalarının aynı zamanda diğerlerinin aşağıdaki ayrıntılı tarifini göz önünde bulundurarak yukarıda belirtilen detayları  
25 ve diğerlerini takdir edecektir.

### **BAZI KISITLAYICI OLMAYAN YAPILANMALARIN DETAYLI AÇIKLAMASI**

Mevcut buluşa göre belirli yapılanmalar tok ve yüksek sertlikte titanyum alaşımı üretmeye yönelik olan ve karmaşık, çok adımlı  
30 ısıl işlemler gerektirmeyen termomekanik yöntemlere yöneliktir. Şaşırtıcı şekilde ve titanyum alaşımları ile günümüzde ve geçmişte kullanılan karmaşık termomekanik işlemlerin aksine burada açıklanan termomekanik yöntemlerin belirli yapılanmaları sadece yüksek bir sıcaklıkta deformasyon adımı ardından belirli  
35 uzay ve havacılık malzemelerinde gerekli olan çekme direncinin,

sünekliğin ve kırılma tokluğunun kombinasyonlarını titanyum alaşımlarına sağlamak için bir tek adımlı ısıtma işlemi içermektedir. Mevcut buluş içinde termomekanik işleme ilişkin yapılanmaların titanyum termomekanik ısıtma işlemeyi gerçekleştirilmek için iyi donatılmış olan herhangi bir tesiste gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir. Titanyum alaşımlarına yüksek tokluk ve yüksek direnç sağlamaya yönelik geleneksel ısıtma işlem uygulamalarının aksine yapılanmalar yayın olarak alaşım soğutma hızlarını yakından kontrol etmek için yaygın olarak gereken sofistike ekipmanı uygulamaktadır.

ŞEKİL 3'ün şematik sıcaklık ile zaman grafiğine atıfta bulunursak mevcut buluşa göre bir titanyum alaşımının direncini ve tokluğunu arttırmaya yönelik bir yöntem (20) titanyum alaşımının alfa-beta fazındaki bir sıcaklıktaki bir titanyum alaşımının en az %25'lik bir alanda azalmaya eşdeğer bir plastik deformasyona plastik olarak deforme edilmesini (22) içermektedir. (Bakınız ŞEKİLLER 1A-AC be bir titanyum alaşımının alfa-beta fazı ile ilişkili yukarıdaki tartışma.) Alfa-beta fazı alanındaki eşdeğer %25 plastik deformasyon, alfa-beta fazı alanındaki bir nihai plastik deformasyon sıcaklığını (24) içermektedir. "Nihai plastik deformasyon sıcaklığı" burada titanyum alaşımının, titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesinin sonucundaki ve titanyum alaşımının yaşlandırılmasından önceki sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3'te ayrıca gösterilmiş olarak; plastik deformasyondan (22) sonra titanyum alaşımı yöntem (20) sırasında titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının ( $T_{\beta}$ ) üstüne ısıtılmamaktadır. ŞEKİL 3'te gösterildiği üzere nihai plastik deformasyon sıcaklığında plastik deformasyondan (24) sonra titanyum alaşımı titanyum alaşımına yüksek direnç ve yüksek tokluk sağlamak için yeterli bir süre boyunca beta transus sıcaklığının altında bir sıcaklıkta ısı ile işlenmektedir (26). Isıtma işlemi (26) beta transus sıcaklığının altında en az 20°F'lik (11°C) bir sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir. Başka bir

yapılanmada ısıtma işlemi (26) beta transus sıcaklığının altında en az 50°F'lik (28°C) bir sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir. Belirli yapılanmalarda ısıtma işleminin (26) sıcaklığı nihai plastik deformasyon sıcaklığının (24) altında olabilmektedir. ŞEKİL 3'te gösterilmeyen diğer yapılanmalarda titanyum alaşımının kırılma tokluğunu ayrıca arttırmak için ısıtma işleminin sıcaklığı nihai plastik deformasyon sıcaklığının üstünde ancak beta transus sıcaklığının altında olabilmektedir. Her ne kadar ŞEKİL 3, plastik deformasyona (22) ve ısıtma işlemine (26) yönelik sabit bir sıcaklığı göstermektedir, mevcut buluşa göre bir yöntemin diğer yapılanmalarında plastik deformasyonun (22) ve/veya ısıtma işleminin (26) sıcaklığı değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin plastik deformasyon sırasında meydana gelen titanyum alaşımı iş parçasının sıcaklığındaki doğal bir azalma burada açıklanan yapılanmaların kapsamı içindedir. ŞEKİL 3'ün şematik sıcaklık - zaman grafiği, yöntemin titanyum alaşımlarına yüksek direnç ve yüksek sertlik sağlamaya yönelik geleneksel ısıtma işlem uygulamalarının aksine burada açıklanan yüksek direnç ve yüksek sertliği sağlamak için titanyum alaşımlarının ısıtma işlenmesine ilişkin yöntemlerin belirli yapılanmalarını göstermektedir. Örneğin geleneksel ısıtma işlem uygulamaları tipik olarak çok adımlı ısıtma işlemleri ve alaşım soğutma hızlarını yakından kontrol etmek için sofistike ekipmanları gerektirmektedir ve dolayısıyla pahalıdır ve bütün ısıtma işlem tesislerinde uygulanamamaktadır. ŞEKİL 3'te gösterilen işlem yapılanmaları, ayrıca çok adımlı ısıtma işlemi içermemektedir ve geleneksel ısıtma işlem ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

Genel olarak spesifik titanyum bileşimi ısıtma işlem süresinin (sürelerinin) ve mevcut buluşa göre yöntemleri kullanarak istenen mekanik özellikleri sağlayacak olan işlem sıcaklığının (sıcaklıklarının) kombinasyonunu belirtmektedir. Ayrıca ısıtma işlem süreleri ve sıcaklıkları, belirli bir alaşım bileşimi için istenen spesifik bir direnç ve kırılma tokluğu dengesi elde etmek için ayarlanabilmektedir. Burada açıklanan belirli

yapılanmalarda bir Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr (Ti 5-5-5-3) alaşımının mevcut buluşa göre bir yöntem vasıtasıyla örneğin ısıl işlem sürelerinin ve sıcaklıklarının ayarlanması sayesinde 66 MPa.m<sup>3/2</sup> ila 110 MPa.m<sup>3/2</sup> (60 ksi.in<sup>3/2</sup> K<sub>1c</sub> ila 100 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> kırılma tokluğu ile kombine edilmiş 965 MPa ila 1241 MPa'lık (140 ksi ila 180 ksi) nihai çekme dirençlerine erişilmiştir. Mevcut buluşun değerlendirilmesi üzerine teknikte sıradan uzmanlığa sahip olanlar gereksiz çaba harcamadan ısıl işlem süresinin ve amaçlanan uygulaması için belirli bir titanyum alaşımına optimal direnç ve tokluk özelliklerini sağlayacak sıcaklığın özel kombinasyonunu (kombinasyonlarını) belirleyebilmektedir.

"Plastik deformasyon" terimi burada malzemeyi kendi elastik sınırına kısıtlayan uygulanan stres veya stresler altında bir malzemenin inelastik distorsiyonu anlamına gelmektedir.

"Alanda azalma" terimi burada bir titanyum alaşımının plastik deformasyondan önceki enine kesit alanı ve titanyum alaşımının plastik deformasyondan sonraki enine kesit alanı arasındaki farkı tanımlamak için kullanılmakta olup, burada enine kesit eşdeğer bir konumda alınmaktadır. Alanda azalma değerlendirilirken kullanılan titanyum alaşımı formu bir çubuk, bir plaka, bir boru, bir sargı, bir levha, bir haddelenmiş şekil ve bir ekstrüde edilmiş şekil olabilmektedir ancak bunlarla sınırlı değildir.

Kütüğün 6,4 cm (2,5 inç) yuvarlak titanyum alaşım çubuğunun haddelenmesi vasıtasıyla 13 cm (5 inç) çaplı yuvarlak bir titanyum alaşımı kütüğünün plastik olarak deforme edilmesine yönelik alanda bir azalma hesaplamasına ilişkin bir örnek aşağıdadır. Bir 13 cm (5 inç) çaplı yuvarlak kütüğün enine kesit alanı çapın karesinin  $\pi$  (pi) katı veya yaklaşık olarak  $(3,1415) \times (6,4\text{cm (2,5 inç)})^2$  veya  $128,7\text{cm}^2$  ( $19,625\text{ in}^2$ ) olmaktadır. Bir 6,4 cm (2,5 inç) yuvarlak çubuğun enine kesit alanı yaklaşık olarak  $(3,1415) \times (3,18(1,25))^2$  veya  $32,2\text{cm}^2$  ( $4,91\text{ in}^2$ )

olmaktadır. Başlangıç kütüğünün enine kesit alanının haddelemeden sonraki çubuğa oranı 4.91/ 19.625 veya %25'tir. Alanda azalma alanda %75'lik bir azalma için %100-%25'tir.

5 "Eşdeğer plastik deformasyon" terimi burada malzemeyi kendi elastik sınırına kısıtlayan uygulanan stres veya stresler altında bir malzemenin inelastik distorsiyonu anlamına gelmektedir. Eşdeğer plastik deformasyon, tek eksenli deformasyon ile elde edilen belirenmiş alanda azalma ile  
10 sonuçlanan stresleri içerebilmektedir ancak alaşım formunun deformasyondan sonraki boyutlarının alaşım formunun deformasyondan önceki boyutlarından büyük oranda farklı olmayacağı şekilde meydana gelmektedir. Örneğin ve kısıtlama olmaksızın açık kalıpla yaparak dövülmüş bir titanyum alaşımı  
15 kütüğünü önemli plastik deformasyona tabi tutmak için çok eksenli dövme kullanılabilen olup, alaşıma kütüğün nihai boyutlarını büyük oranda değiştirmeden çıkıntılar sağlamaktadır. Eşdeğer plastik deformasyonun en az %25 olduğu bir yapılanmada alandaki gerçek azalma %5 veya daha azı olabilmektedir. Eşdeğer  
20 plastik deformasyonun en az %25 olduğu bir yapılanmada alandaki gerçek azalma %1 veya daha azı olabilmektedir. Çok eksenli dövme, teknikte uzman bir kişi tarafından bilinen bir tekniktir ve dolayısıyla burada ayrıca açıklanmamıştır.

25 Mevcut buluşa göre belirli yapılanmalarda bir titanyum alaşımı %25'ten fazla bir alanda azalma ila %99'a kadar bir alanda azalmaya sahip bir eşdeğer plastik deformasyona plastik olarak deforme edilebilmektedir. Plastik deformasyonun %25'ten fazla bir alanda azalma olduğu belirli yapılanmalarda alfa-beta fazı  
30 alanında %25'lik bir alanda azalmaya sahip en azından eşdeğer bir deformasyon plastik deformasyonun sonucunda meydana gelmektedir ve titanyum alaşımı plastik deformasyondan sonra titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının ( $T_{\beta}$ ) üstüne ısıtılmamaktadır.

Mevcut buluşa göre bir yöntemin bir yapılanmasında ve genel olarak ŞEKİL 3'te gösterildiği üzere; titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesi, titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesini içermektedir böylece eşdeğer plastik deformasyonun tamamı alfa-beta fazı alanında meydana gelmektedir. Her ne kadar ŞEKİL 3, alfa-beta fazı alanında sabit bir plastik deformasyon sıcaklığını gösteriyor olsa da, alfa-beta fazı alanındaki en az %25'lik bir alanda azalmalı eşdeğer plastik deformasyonun değişen sıcaklıklarda meydana gelmesi de buradaki yapılanmaların kapsamı içindedir. Örneğin titanyum alaşımı alaşımın sıcaklığı kademeli olarak azalırken alfa-beta fazı alanında işlenebilmektedir. Ayrıca en az 525'lik bir alanda azalmalı eşdeğer plastik deformasyon sırasında titanyum alaşımının sıcaklığını sabit veya neredeyse sabit bir sıcaklıkta korumak veya azalmayı kısıtlamak için titanyum alaşımını ısıtmakta titanyum alaşımı titanyum alaşımının beta transus sıcaklığına veya bunun üstüne ısıtılmadığı müddetçe buluşun kapsamı içindedir. Bir yapılanmada titanyum alaşımının alfa-beta fazı bölgesinde plastik olarak deforme edilmesi, alaşımın beta transus sıcaklığının hemen altı veya beta transus sıcaklığının 18°F (10°C) altında bir sıcaklık ile beta transus sıcaklığının 400°F (222°C) altında bir sıcaklık aralığında plastik olarak deforme edilmesini içermektedir. Başka bir yapılanmada titanyum alaşımının alfa-beta fazı bölgesinde plastik olarak deforme edilmesi, alaşımın beta transus sıcaklığının hemen altı veya beta transus sıcaklığının 400°F (222°C) altında bir sıcaklık ile beta transus sıcaklığının 20°F (11°C) altında bir sıcaklık aralığında plastik olarak deforme edilmesini içermektedir. Yine başka bir yapılanmada titanyum alaşımının alfa-beta fazı bölgesinde plastik olarak deforme edilmesi, alaşımın beta transus sıcaklığının hemen altı veya beta transus sıcaklığının 50°F (28°C) altında bir sıcaklık ile beta transus sıcaklığının 400°F (222°C) altında bir sıcaklık aralığında plastik olarak deforme edilmesini içermektedir.

ŞEKİL 4'ün şematik sıcaklık ila zaman grafiğine atıfta bulunursak, mevcut buluşa göre başka bir yöntem (30) burada "beta transusu boyunca" işleme olarak anılan bir özelliği içermektedir. Beta transus boyunca işlemeyi içeren yapılanmalarda plastik deformasyon (ayrıca burada "işleme" olarak anılmaktadır) titanyum alaşımının, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığında ( $T_{\beta}$ ) veya bunun üstündeki sıcaklığı ile başlamaktadır. Ayrıca beta transus boyunca işlemede plastik deformasyon (32) titanyum alaşımının beta transus sıcaklığındaki veya bunun üstündeki bir sıcaklıktan (24) titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında olan bir nihai plastik deformasyon sıcaklığına (24) plastik olarak deforme edilmesini içermektedir. Dolayısıyla titanyum alaşımının sıcaklığı plastik deformasyon (32) sırasında beta transus sıcaklığı "boyunca" ilerlemektedir. Ayrıca beta transus boyunca işlemede alanda en az 525'lik bir azalmaya eşdeğer plastik deformasyon alfa-beta fazı alanında meydana gelmektedir ve titanyum alaşımı, titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında plastik olarak deforme edilmesinden sonra titanyum alaşımının beta transus sıcaklığında ( $T_{\beta}$ ) veya bunun üstünde bir sıcaklığa ısıtılmamaktadır. ŞEKİL 4'ün şematik sıcaklık - zaman grafiği, yöntemin titanyum alaşımına yüksek direnç ve yüksek sertlik sağlamaya yönelik geleneksel ısıl işlem uygulamalarının aksine burada açıklanan yüksek direnci ve yüksek sertliği sağlamak için titanyum alaşımının ısıl işlenmesine ilişkin yöntemlerin belirli yapılanmalarını göstermektedir. Örneğin geleneksel ısıl işlem uygulamaları tipik olarak çok adımlı ısıl işlemleri ve alaşım soğutma hızlarını yakından kontrol etmek için sofistike ekipmanları gerektirmektedir ve dolayısıyla pahalıdır ve bütün ısıl işlem tesislerinde uygulanamamaktadır. ŞEKİL 4'te gösterilen işlem yapılanmaları, ayrıca çok adımlı ısıl işlemi içermemektedir ve geleneksel ısıl işlem ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.

Mevcut buluşa göre bir yöntemin belirli yapılanmalarında

titanyum alaşımının bir beta transus boyunca işleminde plastik olarak deforme edilmesi, titanyum alaşımının, titanyum alaşımının beta transus sıcaklığının 200°F (111°C) üstünde sıcaklık ila beta transus sıcaklığının 400°F (222°C) altındaki sıcaklığa kadarki bir sıcaklık aralığında plastik olarak deforme edilmesini, plastik deformasyon sırasında beta transus boyunca sıcaklığın geçilmesini içermektedir. Buluş sahibi bu sıcaklık aralığının (i) alanda en az %25'lik bir azalmaya eşdeğer bir plastik deformasyon alfa-beta fazı alanında meydana geldiği ve (ii) titanyum alaşımı alfa-beta fazı alanındaki plastik deformasyondan sonra beta transus sıcaklığında veya bunun üstünde bir sıcaklığa ısıtılmadığı müddetçe etkilidir.

Mevcut buluşa göre yapılanmalarda titanyum alaşımı bunlarla sınırlı olmaksızın dövme, dönerek dövme, şahmerdanla dövme, çok eksenli dövme, çubuk haddeme, plaka haddeme ve ekstrüde etme veya bu tekniklerin ikisinin veya daha fazlasının kombinasyonlarını içeren teknikler vasıtasıyla plastik olarak deforme edilebilmektedir. Plastik deformasyon, kullanılan işleme tekniği titanyum alaşımı iş parçasını alfa-beta fazı bölgesinde alanda %25'lik bir azalmaya en azından eşdeğer bir noktaya plastik olarak deforme edebildiği müddetçe şimdi veya daha sonra teknikte sıradan uzmanlıkta bir kişinin bildiği uygun herhangi bir öğütme işlemi vasıtasıyla gerçekteştirilebilmektedir.

Yukarıda belirtildiği üzere titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında meydana gelen alanda %25'lik bir azalmanın en azından bir eşdeğerine plastik deformasyonu titanyum alaşımının nihai boyutları büyük oranda değiştirmemektedir. Buna örneğin çok eksenli dövme gibi bir teknik aracılığıyla erişilmektedir. Diğer yapılanmalarda plastik deformasyon plastik deformasyonun tamamlanması titanyum alaşımının üzerine bir enine kesitinin gerçekte bir alanda azalmasını içermektedir. Teknikte uzman bir kişi bir titanyum alaşımının %25'lik bir alanda azalmaya en azından eşdeğer plastik deformasyonu ile sonuçlanan alanda



azalmasının örneğin titanyum alaşımının referans verilen enine kesit alanını gerçekten değiştirmesi ile sonuçlanabilmektedir, başka bir deyişle %0 veya %1 ve en fazla %25'e kadar bir gerçek alanda azalma. Ayrıca toplam plastik deformasyon en fazla  
5 %99'luk bir alanda azalmaya eşdeğer plastik deformasyon içerebildiğinden dolayı en fazla %99'luk bir alanda azalmaya eşdeğer plastik deformasyondan sonra iş parçasının gerçek boyutları titanyum alaşımının enine kesit alanında referans verilen enine kesit alanında %0 veya %1 kadar az ve en fazla  
10 %99'a kadar gerçek bir değişim üretebilmektedir.

Mevcut buluşa göre bir yöntemin bir yapılanması, titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesinden sonra ve titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden önce titanyum alaşımının oda sıcaklığına soğutulmasını içermektedir. Soğutma fırında soğutma,  
15 hava ile soğutma su ile soğutma veya teknikte sıradan uzmanlıkta bir kişinin şimdi veya bundan sonra bildiği diğer uygun soğutma teknikleri vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir.

20 Bu buluşun bir yönü, titanyum alaşımının burada açıklanan yapılanmalara göre sıcak işlenmesini ardından titanyum alaşımının beta transus sıcaklığına veya bunun üstüne ısıtılamayacağı şekildedir. Dolayısıyla ısıtma işlem adımı, alaşımın beta transus sıcaklığında veya bunun üstünde meydana  
25 gelmemektedir. Belirli yapılanmalarda ısıtma işlemi titanyum alaşımının 0,5 saat ila 24 saat aralığında bir süre ("ısıtma işlem süresi") boyunca 900°F (482°C) ila 1500°F'lik (816°C) aralıktaki bir sıcaklıkta ("ısıtma işlem sıcaklığı") ısıtılmasını içermektedir. Diğer yapılanmalarda kırılma tokluğunu arttırmak  
30 için ısıtma işlem sıcaklığı nihai plastik deformasyon sıcaklığının üstünde ancak alaşımın beta transus sıcaklığından daha az olabilmektedir. Başka bir yapılanmada ısıtma işlem sıcaklığı ( $T_h$ ) beta transus sıcaklığı eksi 20°F'ye (11 °C) eşittir, başka bir deyişle  $T_h \leq (T_\beta - 20^\circ\text{F}(11^\circ\text{C}))$ . Başka bir yapılanmada ısıtma işlem  
35 sıcaklığı ( $T_h$ ) beta transus sıcaklığı eksi 50°F'ye (28°C)

eşittir, başka bir deyişle  $T_h < (T_\beta - 50^\circ\text{F} (28^\circ\text{C}))$ . Yine başka yapılanmalarda bir ısıtma işlem sıcaklığı en az  $00^\circ\text{F} (482^\circ\text{C})$  ila beta transus sıcaklığı eksi  $20^\circ\text{F} (11^\circ\text{C})$  aralığında veya en az  $00^\circ\text{F} (482^\circ\text{C})$  ila beta transus sıcaklığı eksi  $50^\circ\text{F} (28^\circ\text{C})$  aralığındadır. Isıl işlem sürelerini örneğin parçanın kalınlığı uzun ısıtma süreleri gerektirdiği zaman 24 saatten daha uzun olabildiği anlaşılmaktadır.

Mevcut buluşa göre bir yöntemin başka bir yapılanması, titanyum alaşımının plastik olarak deforme edilmesinden sonra doğrudan yaşlandırmayı içermekte olup, burada titanyum alaşımı titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında plastik olarak deforme edilmesinden sonra ısıtma işlem sıcaklığına doğrudan soğutulmasını veya ısıtılmasını içermektedir. Mevcut yöntemin titanyum alaşımının plastik deformasyondan sonra doğrudan ısıtma işlem sıcaklığına soğutulduğu belirli yapılanmalarında soğutma hızının ısıtma işlem adımı ile elde edilen direnç ve tokluk özelliklerini negatif olarak etkilemeyeceğine inanılmaktadır. Mevcut yöntemin titanyum alaşımının nihai plastik deformasyon sıcaklığının üstünde ancak beta transus sıcaklığının altında bir ısıtma işlem sıcaklığında ısı ile işlendiği yapılanmalarında titanyum alaşımı, titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında plastik olarak deforme edilmesinden sonra ısıtma işlem sıcaklığına doğrudan ısıtılabilir.

Mevcut buluşa göre bir termomekanik yöntemin belirli yapılanmaları oda sıcaklığında  $\beta$  fazını koruyabilen bir titanyum alaşımına işlemin uygulanmasını içermektedir. Bu şekilde mevcut buluşa göre çeşitli yapılanmalar vasıtasıyla avantajlı olarak işlenebilen titanyum alaşımları beta titanyum alaşımlarını, yarı kararlı beta titanyum alaşımlarını, neredeyse beta titanyum alaşımlarını, alfa-beta titanyum alaşımlarını ve neredeyse alfa titanyum alaşımlarını içermektedir. Burada açıklanan yöntemlerin ayrıca alfa titanyum alaşımlarının direncini ve tokluğunu arttırabildiği düşünülmektedir çünkü yukarıda ele alındığı üzere

CP sınıfı titanyum bile oda sıcaklığında  $\beta$  fazının düşük konsantrasyonlarını içermektedir.

5 Mevcut buluşa göre yöntemlerin diğer yapılanmalarında yöntem, oda sıcaklığında  $\beta$  fazını koruyabilen ve yaşlandırmadan sonra  $\alpha$  fazını koruyabilen veya çökeltebilen titanyum alaşımlarını işlemek için kullanılabilir. Bu alaşımlar beta titanyum alaşımlarının, alfa-beta titanyum alaşımlarının ve düşük hacim yüzdeli  $\beta$  fazını içeren alfa alaşımlarının genel kategorilerini 10 içermektedir ancak bunlarla sınırlı değildir.

Mevcut buluşa göre yöntemlerin yapılanmaları kullanılarak işleme tabi tutulabilen titanyum alaşımlarına ilişkin örnekler, örneğin Ti-6Al-4V alaşımı (UNS Numaraları R56400 ve R54601) ve Ti-6Al-15 2Sn-4Zr-2Mo alaşımı (UNS Numaraları R54620 ve R54621) gibi alfa/beta titanyum alaşımlarını; örneğin Ti-10V-2Fe-3Al alaşımı (UNS R54610)) gibi neredeyse beta titanyum alaşımlarını; örneğin Ti-15Mo alaşımı (UNS R58150) ve Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr alaşımı (UNS atanmamış) gibi yarı kararlı beta titanyum alaşımlarını 20 içermektedir.

Burada açıklanan yapılanmalara göre bir titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımı 952 MPa ila 1234 MPa (138 ksi ila 179 ksi) aralığında bir nihai çekme direncine sahip 25 olabilmektedir. Burada ele alınan nihai çekme direnci, ASTM E8 - 04 "Metalik Malzemelerin Çekme Testine yönelik Standart Test Yöntemlerine" ilişkin şartnameye göre ölçülebilmektedir. Ayrıca mevcut buluşa göre yöntemlerin belirli yapılanmalarına göre bir titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımı 65 30 MPa.m<sup>1/2</sup> ila 110 MPa.m<sup>1/2</sup> (59 ksi.in<sup>1/2</sup> ila 100 ksi.in<sup>1/2</sup>) aralığında bir K<sub>1c</sub> kırılma tokluğuna sahip olabilmektedir. Burada ele alınan K<sub>1c</sub> kırılma tokluğu, ASTM E399 - 08, "Metalik Malzemelerin Lineer-Elstik Düzlem-Gerilme Kırılma Tokluğuna K<sub>1c</sub> yönelik Standart Test Yöntemine" ilişkin şartnameye göre ölçülebilmektedir. Ek olarak 35 mevcut buluşun kapsamı içindeki yapılanmalara göre bir titanyum

alaşımı 924 MPa ila 1172 MPa (134 ksi ila 170 ksi) aralığında bir alan direncine sahip olabilmektedir. Bunun ötesinde mevcut buluşun kapsamı içindeki yapılanmalara göre bir titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra titanyum alaşımı %4,4 ila %20,5 aralığında bir yüzde uzamaya sahip olabilmektedir.

Genel olarak mevcut buluşa göre yöntemlerin yapılanmalarının uygulanması vasıtasıyla erişilebilen, titanyum alaşımlarına yönelik direnç ve kırılma tokluğunun avantajlı aralıkları 965 MPa ila 1241 MPa (140 ksi ila 180 ksi) nihai çekme dirençleri ile yaklaşık 44 MPa.m<sup>3/2</sup> (40 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> ila 110 MPa.m<sup>3/2</sup> (100 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub>'lik kırılma tokluğunu veya 965 MPa ila 1103 MPa (140 ksi ila 160 ksi) nihai çekme dirençleri ile 66 MPa.m<sup>3/2</sup> ila 88 MPa.m<sup>3/2</sup> (60 ksi.in<sup>3/2</sup> K<sub>1c</sub> ila 80 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> arasında değişen kırılma tokluğunu içermektedir ancak bunlarla sınırlı değildir. Yine başka yapılanmalarda dirence ve kırılma tokluğuna ilişkin avantajlı aralıklar 1103 MPa ila 1241 MPa'lık (160 ksi ila 180 ksi) çekme dirençleri ile 44 MPa.m<sup>3/2</sup> ila 66 MPa.m<sup>3/2</sup> (40 ksi.in<sup>3/2</sup> K<sub>1c</sub> ila 60 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> arasında değişen kırılma tokluğunu içermektedir. Mevcut buluşa göre yöntemlerin belirli yapılanmalarının uygulanması vasıtasıyla erişilebilen direnç ve kırılma tokluğuna ilişkin diğer avantajlı aralıklar: 931 MPa to 1241 MPa (135 ksi ila 180 ksi) nihai kırılma dirençleri ile 60 MPa.m<sup>3/2</sup> ila 110 MPa.m<sup>3/2</sup> (55 ksi.in<sup>3/2</sup> K<sub>1c</sub> ila 100 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> arasında değişen kırılma tokluğunu; 1103 MPa ila 1241 MPa (160 ksi ila 180 ksi) arasında değişen çekme dirençleri ile 66 MPa.m<sup>3/2</sup> (60 Ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> ila 99 MPa.m<sup>3/2</sup> (90 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> arasında değişen kırılma tokluğunu ve 31 MPa ila 1103 MPa (135 ksi ila 160 ksi) arasında değişen çekme dirençleri ile 93 MPa.m<sup>3/2</sup> (85 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> ila 104 MPa.m<sup>3/2</sup> (95 ksi.in<sup>3/2</sup>) K<sub>1c</sub> arasında değişen kırılma tokluğu değerlerini içermektedir.

Mevcut buluşa göre bir yöntemin bir yapılanmasında titanyum alaşımının ısı ile işlenmesinden sonra alaşım en az 1145 MPa'lık (166 ksi) bir ortalama nihai çekme direncine, en az 1021 MPa'lık

(148 ksi) bir ortalama alan direncine, en az %6'lık bir uzama yüzdesine ve en az 71 MPa.m<sup>½</sup> (65 ksi.in<sup>½</sup>) bir K<sub>1c</sub> kırılma tokluğuna sahiptir. Mevcut buluşa göre yöntemlerin diğer yapılanmaları, en az 1034 MPa'lık (150 ksi) bir nihai çekme direncine ve en az 77 MPa.m<sup>½</sup> (70 ksi.in<sup>½</sup>) bir K<sub>1c</sub> kırılma tokluğuna sahip olan bir ısı ile işlenmiş titanyum alaşımı sağlamaktadır. Mevcut buluşa göre yöntemlerin yine başka yapılanmaları, en az 931 MPa'lık (135 ksi) bir nihai çekme direncine ve en az 60 MPa.m<sup>½</sup> (55 ksi.in<sup>½</sup>) bir kırılma tokluğuna sahip olan bir ısı ile işlenmiş titanyum alaşımı sağlamaktadır.

Mevcut buluşa göre bir titanyum alaşımını termomekanik olarak işlemek için bir yöntem bir titanyum alaşımının, titanyum alaşımının bir beta transus sıcaklığının 200°F (111°C) üstü ile beta transus sıcaklığının 400°F (222°C) altındaki bir sıcaklık aralığında işlenmesini (başka bir deyişle, plastik olarak deforme edilmesini) içermektedir. İşleme adımının son kısmı sırasında en az %25'lik bir alanda azalmanın eşdeğer bir plastik deformasyonu, titanyum alaşımının bir alfa-beta fazında meydana gelmektedir. İşleme adımından sonra titanyum alaşımı beta transus sıcaklığının üstüne ısıtılmamaktadır. Yapılanmalarda titanyum alaşımının işlenmesinden sonra alaşım 0,5 ve 24 saat arasında bir ısıl işlem süresi boyunca 900°F (482°C) ve 1500°F (816°C) arasında bir ısıl işlem sıcaklığı aralığında ısı ile işlenebilmektedir.

Mevcut buluşa göre belirli yapılanmalarda titanyum alaşımının işlenmesi, alanda %25'ten fazla bir azalmanın eşdeğeri bir plastik deformasyon sağlamakta olup, burada en az 525'lik bir eşdeğer plastik deformasyon işleme adımının titanyum alaşımının alfa-beta fazı bölgesinde meydana gelmektedir ve titanyum alaşımı plastik deformasyondan sonra beta transusun üstüne ısıtılmamaktadır. Bir yapılanma titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında işlenmesini içermektedir. Diğer yapılanmalarda işleme titanyum alaşımının beta transus sıcaklığında veya bunun

üstünde bir sıcaklık ila alfa-beta alanında bir nihai işleme sıcaklığında işlenmesini içermekte olup, burada işleme titanyum alaşımının alfa-beta fazı alanında %25'lik bir alanda azalmanın eşdeğer bir plastik deformasyonunu içermektedir ve titanyum alaşımı plastik deformasyondan sonra beta transus sıcaklığının üstüne ısıtılmamaktadır.

Belirli uzay ve havacılık uygulamaları için faydalı olan titanyum alaşımlarının termomekanik özelliklerini belirlemek için önceki teknik uygulamalarına göre ATI ALLvac'ta işlenmiş olan titanyum alaşımlarına ilişkin mekanik testten elde edilen veri veriler ve teknik literatürden alınan veriler toplanmıştır. Burada kullanıldığı şekilde bir alaşım, alaşımın tokluğu ve direnci uygulama için gerekli olan bir aralık kadar yüksek veya bu aralık içinde ise belirli bir uygulama için "kullanışlı" olan mekanik özelliklere sahiptir. Belirli havacılık ve uzay uygulamaları için faydalı olan aşağıdaki alaşımlara yönelik mekanik özellikler toplanmıştır: Ti-10V-2Fe-3-Al (Ti 10-2-3; UNS R54610), Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr (Ti 5-5-5-3; UNS atanmamış), Ti-6Alaşımlıloy (Ti 6-2-4-2; UNS Numaraları R54620 ve R54621), Ti-6Al-4V (Ti 6-4; UNS Numaraları R56400 ve R54601), Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo (Ti 6-2-4-6; UNS R56260), Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Cr-2Mo-0.25Si (Ti 6-22-22; AMS 4898), ve Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo (Ti 3-8-6-4-4; AMS 4939, 4957, 4958). Bu alaşımların her birinin bileşimi literatürde raporlanmıştır ve iyi bilinmektedir. Burada açıklanan yöntemlerden sorumlu kısıtlayıcı olmayan örnek titanyum alaşımlarının ağırlık yüzdesi cinsinden tipik kimyasal bileşim aralıkları Tablo 1'de gösterilmektedir. Tablo 1'de gösterilen alaşımların sadece burada açıklana yapılanmalara göre işlendiği zaman artan direnç ve tokluk sergileyebilen alaşımlara ilişkin kısıtlayıcı örnekler değildir aynı zamanda teknikte uzman uygulayıcı tarafından şimdi veya daha sonra ayırt edilen diğer titanyum alaşımları da burada açıklanan yapılanmaların kapsamı içindedir.

Tablo 1

(ağırlık %)

	Ti 10- 2-3	Ti-5- 5-3	Ti 6-2- 4-2	Ti 6-4	Ti 6-2- 4-6	Ti 6- 22-22	Ti 3- 8-6-4- 4	Ti-15M0
Al	2,6- 3,4	4,0- 6,3	5,5-6,5	5,5- 6,75	5,5-6,5	5,5- 6,5	3,0- 4,0	
V	9,0- 11,0	4,5- 5,9		3,5- 4,5			7,5- 8,5	
Mo		4,5- 5,9	1,80- 2,20		5,50- 6,50	1,5- 2,5	3,5- 4,5	14,00- 16,00
Cr		2,0- 3,6				1,5- 2,5	5,5- 6,5	
Cr +						4,0- 5,0		
Mo								
Zr		0,01- 0,08	3,60- 4,40		3,50- 4,50	1,5- 2,5	3,5- 4,5	
Sn			1,80- 2,20		1,75- 2,25	1,5- 2,5		
Si						0,2- 0,3		
C	0,05 maks	0,01- 0,25	0,05 maks	0,1 maks	0,04 maks	0,05 maks	0,05 maks	0,10 maks
N	0,05 maks		0,05 maks	0,05 maks	0,04 maks	0,04 maks		0,05 maks
O	0,13 maks	0,03- 0,25	0,15 maks	0,20 maks	0,15 maks	0,14 maks	0,14	

Tablo 1

(ağırlık %)

	Ti 10- 2-3	Ti-5- 5-3	Ti 6-2- 4-2	Ti 6-4	Ti 6-2- 4-6	Ti 6- 22-22	Ti 3- 8-6-4- 4	Ti-15M0
H	0,015 maks		0,0125 maks	0,015 maks	0,0125 maks	0,01 maks	0,020 maks	0,015 maks
Fe	1,6- 2,2	0,2- 0,8	0,25 maks	0,40 maks	0,15 maks		0,3 maks	0,1 maks
Ti	rem	rem	rem	rem	rem	rem	rem	rem

Prosedür olarak karmaşık ve maliyetli önceki teknik termomekanik işlemlerini kullanarak işlendiği zaman yukarıda bahsedilen alaşımlar tarafından sergilenen kırılma tokluğu ve alan direncinin faydalı kombinasyonları ŞEKİL 5'te grafiksel olarak gösterilmektedir. ŞEKİL 5'te kırılma tokluğunun ve alan direncinin faydalı kombinasyonlarını içeren grafik bölesinin bir alt sınırınının  $y = -0.9x + 173$  çizgisine yakın olduğu görülebilmekte olup, burada "y" ksi·in<sup>1/2</sup> cinsinden K<sub>1c</sub> kırılma tokluğudur ve "x" ksi cinsinden alan direncidir (YS). Burada aşağıda sunulan Örnekler 1 ve 3'te gösterilen veriler (ayrıca bakınız ŞEKİL 6) mevcut buluşa göre titanyum alaşımlarını işlemeye ilişkin bir yöntemin burada açıklandığı üzere plastik olarak deforme etmeyi ve alaşımları ısı ile işlemeyi içeren yapılanmalarının maliyetli ve nispeten prosedür olarak karmaşık önceki teknik işleme teknikleri kullanılarak erişilenler ile karşılaştırılabilen K<sub>1c</sub> kırılma tokluğu ve alan direnci kombinasyonları ile sonuçlandığı gösterilmektedir. Başka bir deyişle ŞEKİL 5'e atıfta bulunarak, mevcut buluşun bir yönteminin belirli yapılanmaları gerçekleştirilerek erişilen sonuçlara dayanarak Denklem (1)'e göre kırılma tokluğu ve alan



direnci sergileyen bir titanyum alaşımına erişilebilmektedir.

$$K_{Ic} \geq -(0.9)YS + 173 \quad (1)$$

Ayrıca ŞEKİL 5'te kırılma tokluğunun ve alan direncinin faydalı kombinasyonlarını içeren grafik bölgesinin bir üst sınırının  $y = -0,9x + 217,6$  çizgisine yakın olduğu görülebilmekte olup, burada "y" ksi·in<sup>1/2</sup> cinsinden  $K_{Ic}$  kırılma tokluğudur ve "x" ksi cinsinden alan direncidir (YS). Dolayısıyla mevcut buluşa göre bir yöntemin yapılanmaları uygulanarak erişilen sonuçlara dayanarak mevcut yöntem ŞEKİL 4'teki sınırlı bölge içinde kırılma tokluğu ve alan direnci sergileyen bir titanyum alaşımı üretmek için kullanılabilir, bu da Denklem (2)'ye göre açıklanabilmektedir.

$$217.6 - (0.9)YS \geq K_{Ic} \geq 173 - (0.9)YS \quad (2)$$

15

Bu buluşun bir yönüne göre mevcut buluşa göre yöntemin plastik deformasyon ve ısıl işlem adımlarını içeren yapılanmaları nispeten maliyetli ve prosedür olarak karmaşık önceki teknik termomekanik teknikler kullanılarak işlenen aynı alaşım ile daha az karşılaştırılan alan direncine ve kırılma tokluğuna sahip olan titanyum alaşımları ile sonuçlanmaktadır.

Ek olarak burada aşağıda Örnek 1 ve Tablolar 1 ve 2'de gösterilen veri aracılığıyla gösterildiği üzere titanyum alaşımı Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr'nin mevcut buluşa göre bir yöntem aracılığıyla işlenmesi önceki teknik termomekanik işleme aracılığıyla elde edilenleri aşan mekanik özellikler sergileyen bir titanyum alaşımı ile sonuçlanmıştır. Bkz. ŞEKİL 6. Başka bir deyişle ŞEKİLLER 5 ve 6'da gösterilen, önceki teknik termomekanik işleme vasıtasıyla erişilen alan direncinin ve kırılma tokluğunun kombinasyonlarını içeren sınırlı bölgeye atıfta bulunursak mevcut buluşa göre bir yöntemin belirli yapılanmaları kırılma tokluğu ve alan direncinin Denklem (3)'e göre ilişkili olduğu titanyum alaşımlarını üretmektedir.

$$K_{Ic} \geq 217.6 - (0.9)YS$$

(3)

5 Takip eden örneklerin, mevcut buluşun kapsamını sınırlamadan bazı yapılanmaları ayrıca tarif etmesi amaçlanmaktadır. Teknikte sıradan uzmanlığa sahip kişiler, aşağıdaki Örneklerin varyasyonlarının, sadece istemlerle tanımlanan buluş kapsamında mümkün olduğunu takdir edecektir.

#### 10 **ÖRNEK 1**

ATI Allvac, Monroe, North Carolina'dan bir 13 cm (5 inç) yuvarlak Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr (Ti 5-5-5-3) alaşımı kütüğü, alfa-beta fazı alanında yaklaşık 1450°F'lik (788°C) bir başlangıç sıcaklığında 6,4 cm (2,5 inç) çubuğa haddelenmiştir. Ti 5-5-5-3 alaşımının beta transus sıcaklığı yaklaşık 1530°F (832°C) olmuştur. Ti 5-5-5-3 alaşımı, ağırlıkça yüzde 5,02 alüminyum, ağırlıkça yüzde 4,87 vanadyum, ağırlıkça yüzde 0,41 demir, ağırlıkça yüzde 4,90 molibdenyum, ağırlıkça yüzde 2,85 krom, ağırlıkça yüzde 0,12 oksijen, ağırlıkça yüzde 0,09 zirkonyum, ağırlıkça yüzde 0,03 silikon, gerisi titanyum ve tesadüfi katışımlar olan bir 20 ortalama külçe kimyasına sahiptir. Nihai işleme sıcaklığı ayrıca alfa-beta fazı alanında 1480°F (804°C) ve alaşımın beta transus sıcaklığının 400°F (222°C) altında olmuştur. Alaşımın çapındaki azalma, alfa-beta fazı alanında alaşımın alanında 25 %75'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir. Haddelenmeden sonra alaşım hava ile oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğutulan alaşımların örnekleri, çeşitli ısıl işlem süreleri boyunca çeşitli ısıl işlem sıcaklıklarında ısı ile işlenmiştir. Isı ile işlenmiş alaşım örneklerinin mekanik özellikleri uzunlamasına 30 doğrultuda (L) ve enine doğrultuda (T) ölçülmüştür. Çeşitli test örneklerinde kullanılan ısıl işlem süreleri ve ısıl işlem sıcaklıkları ve uzunlamasına doğrultuda örneklere yönelik çekme ve kırılma tokluğu ( $K_{Ic}$ ) testlerinin sonuçları Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2 - Isıl İşlem Koşulları ve Uzunlamasına Özellikler

No.	Isıl İşlem Sıcaklığı (°F/°C)	Isıl İşlem Süresi (saat)	Nihai Çekme Direnci (ksi)	Alan Direnci (ksi)	Uzama yüzdesi	K <sub>1c</sub> (ksi · in <sup>1/2</sup> )
1	1200/649	2	178,7	170,15	11,5	65,55
2	1200/649	4	180,45	170,35	11	59,4
3	1200/649	6	174,45	165,4	12,5	62,1
4	1250/677	4	168,2	157,45	14,5	79,4
5	1300/704	2	155,8	147	16	87,75
6	1300/704	6	153	143,7	17	87,75
7	1350/732	4	145,05	137,95	20	95,55
8	1400/760	2	140,25	134,8	20	99,25
9	1400/760	6	137,95	133,6	20,5	98,2

Örnekler için enine doğrultuda ölçülen ısıl işlem süreleri, ısıl işlem sıcaklıkları ve çekme testi sonuçları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3 - Isıl İşlem Koşulları ve Enine Özellikler

No.	Isıl İşlem Sıcaklığı (°F/°C)	Isıl İşlem Süresi (saat)	Nihai Çekme Direnci (ksi)	Alan Direnci (ksi)	Uzama yüzdesi
1	1200/649	2	193,25	182,8	4,4
2	1200/649	4	188,65	179,25	4,5
3	1200/649	6	186,35	174,85	6,5
4	1250/677	4	174,6	163,3	4,5
5	1300/704	2	169,15	157,35	6,5
6	1300/704	6	162,65	151,85	7

Tablo 3 - Isıl İşlem Koşulları ve Enine Özellikler

No.	Isıl Sıcaklığı (°F/°C)	İşlem Süresi (saat)	İşlem Nihai Direnci (ksi)	Çekme Alan Direnci (ksi)	Uzama yüzdesi
7	1350/732	4	147,7	135,25	9
8	1400/760	2	143,65	131,6	12
9	1400/760	6	147	133,7	15

Uzay uygulamalarında kullanılan Ti 5-5-5-3 alaşımının özelliklerine yönelik tipik hedefler, en az 150 ksi'lik bir ortalama nihai çekme direnci ve en az 70 ksi·in<sup>1/2</sup> değerinde bir minimum kırılma tokluğu K<sub>1c</sub> içermektedir. Örnek 1'e göre bu mekanik özelliklere, Örnekler 4-6 için Tablo 2'de listelenmiş ısıtıl işlem süresi ve sıcaklık koşulları aracılığıyla erişilmiştir.

10

### **ÖRNEK 2**

Örnek 1'den Örnek No. 4'ün numuneleri, her bir numunenin yaklaşık olarak orta noktasında enine kesitlenmiştir ve haddeler haddeme ve ısıtıl işleminden kaynaklanan mikro yapının incelenmesi için kazanmıştır. ŞEKİL 7A, uzunlamasına doğrultuda bir optik mikrograftır (100x) ve ŞEKİL 7B, örnek olarak hazırlanan numunenin enine doğrultusunda bir optik mikrograftır (100x). Haddeme ve 1250°F'de (677°C) 4 saat boyunca ısıtıl işleminden sonra üretilen mikro yapı bir β faz matrisinde dağıtılan bir ince α fazıdır.

20

### **ÖRNEK 3**

ATI Allvac'tan elde edilen bir Ti-15Mo alaşım çubuğu alfa-beta fazı alanında olan 1400°F'lik (760.0°C) bir başlangıç sıcaklığında %75'lik bir azalmaya plastik olarak deforme edilmiştir. Ti-15Mo alaşımının beta transus sıcaklığı yaklaşık

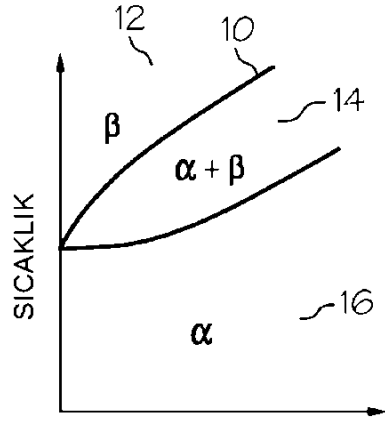
25

1475°F (801,7°C) olmuştur. Alaşımın nihai işleme sıcaklığı, alaşımın beta transus sıcaklığının en fazla 400°F (222°C) altında olan yaklaşık 1200°F (648,9°C) olmuştur. İşlemeden sonra Ti-15Mo çubuğu 16 saat boyunca 900°F'de (482,2°C) 5 yaşlandırılmıştır. Yaşlandırmadan sonra Ti-15Mo çubuk 178-188 ksi arasında değişen nihai çekme dirençlerine ve 170-175 ksi arasında değişen alan dirençlerine ve yaklaşık olarak 30 ksi·in<sup>1/2</sup> K<sub>1c</sub> kırılma tokluğu değerlerine sahip olmuştur.

#### 10 **ÖRNEK 4**

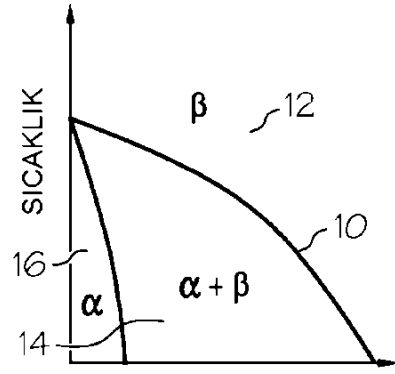
5 inçlik bir yuvarlak Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr (Ti 5-5-5-3) alaşımı kütüğü, alfa-beta fazı alanında yaklaşık 1650°F'lik (889°C) bir başlangıç sıcaklığında 2,5 inçlik bir çubuğa haddelenmiştir. Ti 5-5-5-3 alaşımının beta transus sıcaklığı yaklaşık 1530°F'dir 15 (832°C). Nihai işleme sıcaklığı ayrıca alfa-beta fazı alanında 1330°F (721°C) ve alaşımın beta transus sıcaklığının en fazla 400°F (222°C) altında olmuştur. Alaşımın çapındaki azalma alanda %75'lik bir azalmaya karşılık gelmektedir. Plastik deformasyon sıcaklığı plastik deformasyon sırasında soğutulmaktadır ve beta 20 transus sıcaklığından geçmektedir. Alanda en az %25'lik bir azalma alaşım plastik deformasyon sırasında soğudukça alfa-beta fazı alanında meydana gelmektedir. Alfa-beta fazı alanındaki en az %25 azalmadan sonra alaşım beta transus sıcaklığının üstüne ısıtılmamaktadır. Haddelenmeden sonra alaşım hava ile oda 25 sıcaklığına soğutulmuştur. Alaşımlar 2 saat boyunca 1300°F'de (704°C) yaşlandırılmaktadır.

Mevcut buluş çeşitli örnek niteliğinde ve açıklayıcı kısıtlayıcı yapılanmalara atıfta bulunarak yazılmıştır. Bununla birlikte, 30 teknikte sıradan uzmanlığa sahip kişilerce, tarif edilen düzenlemelerin herhangi birinin (veya bunların kısımlarının) çeşitli yer değiştirmelerinin, modifikasyonlarının veya kombinasyonlarının, istemlerin kapsamında yapılabileceğini kabul edilecektir.



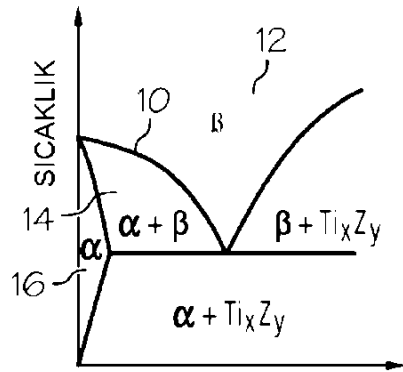
ŞEKİL 1A  
(ÖNCEKİ TEKNİK)

AĞIRLIK YÜZDESİ  $\alpha$  STABİLİZE EDİCİ



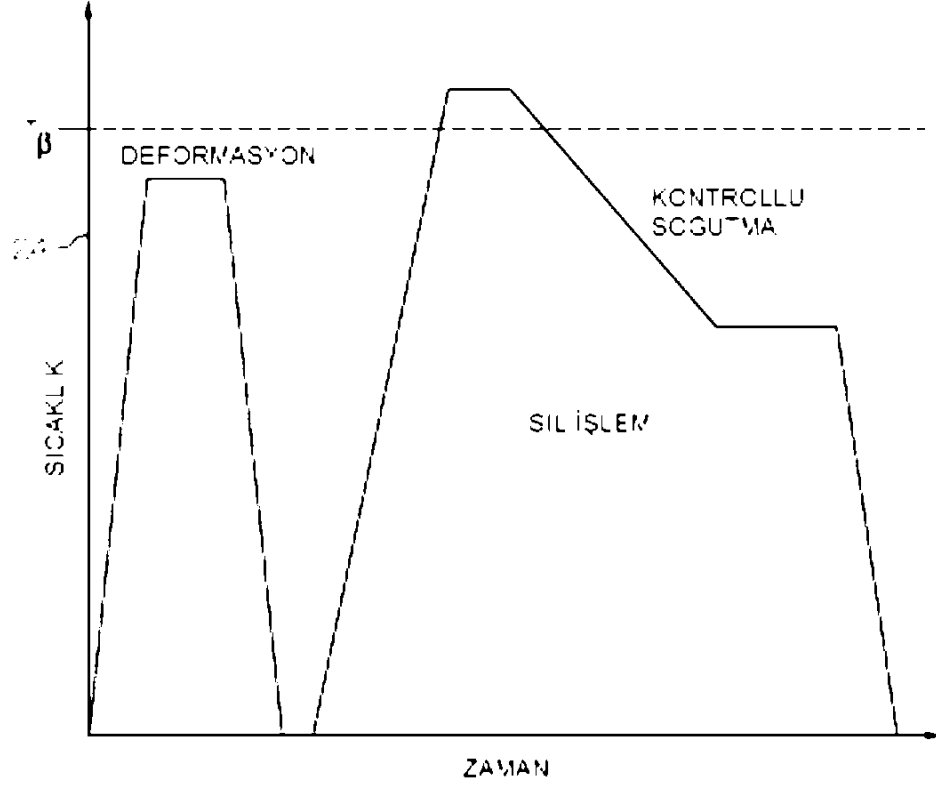
ŞEKİL 1B  
(ÖNCEKİ TEKNİK)

AĞIRLIK YÜZDESİ  $\beta$  STABİLİZE EDİCİ

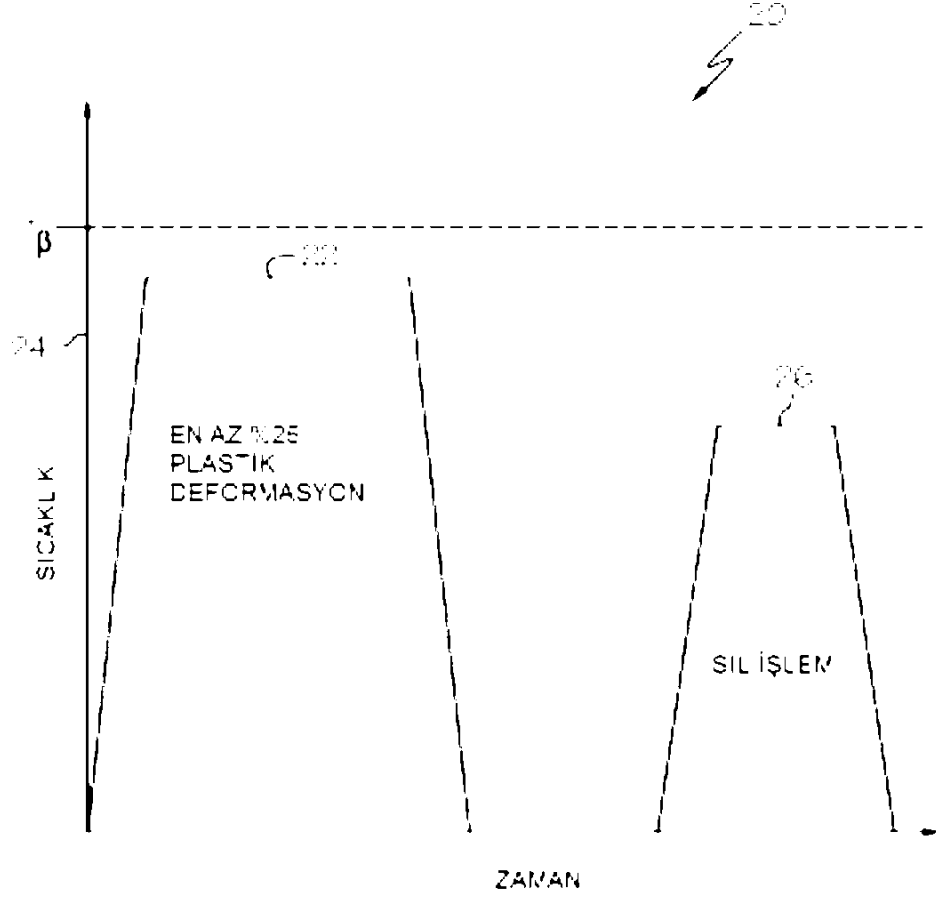


ŞEKİL 1C  
(ÖNCEKİ TEKNİK)

AĞIRLIK YÜZDESİ  $\beta$  STABİLİZE EDİCİ

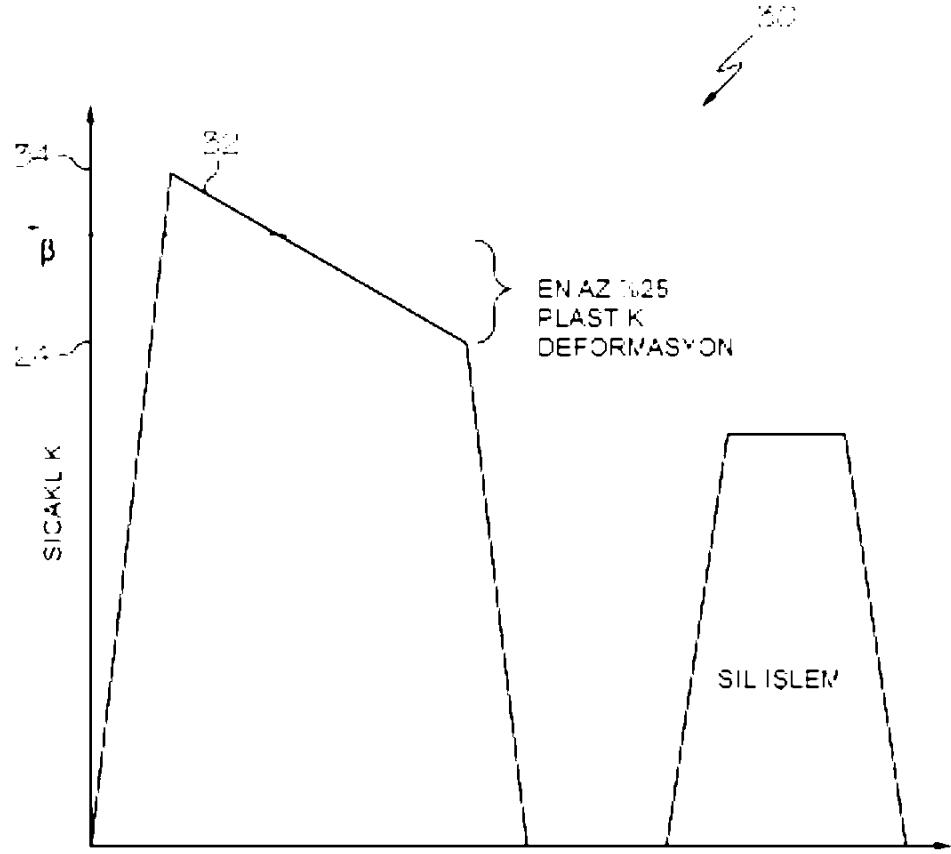


ŞEKİL 2  
(ÖNCEKİ TEKNİK)

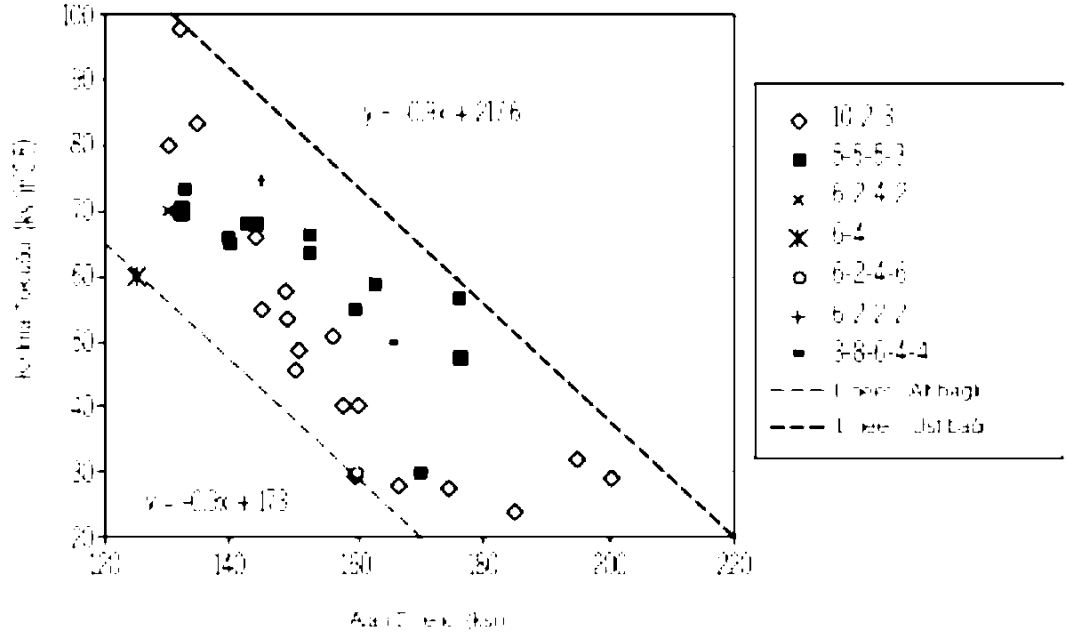


ŞEKİL 3

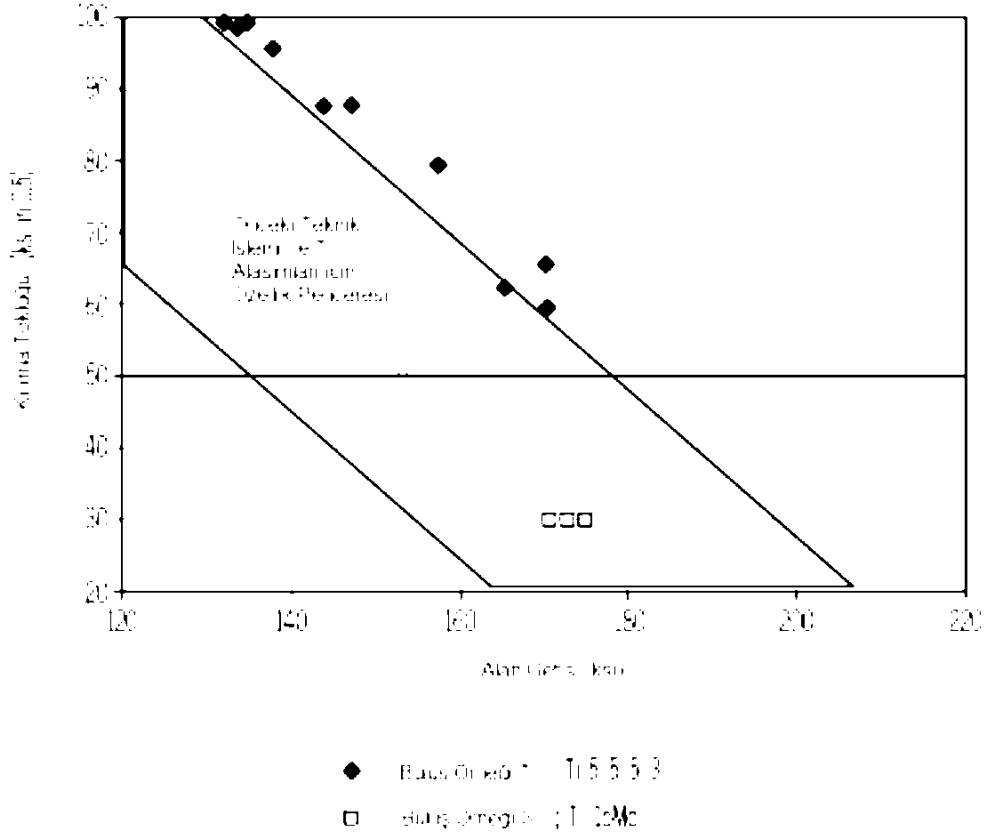




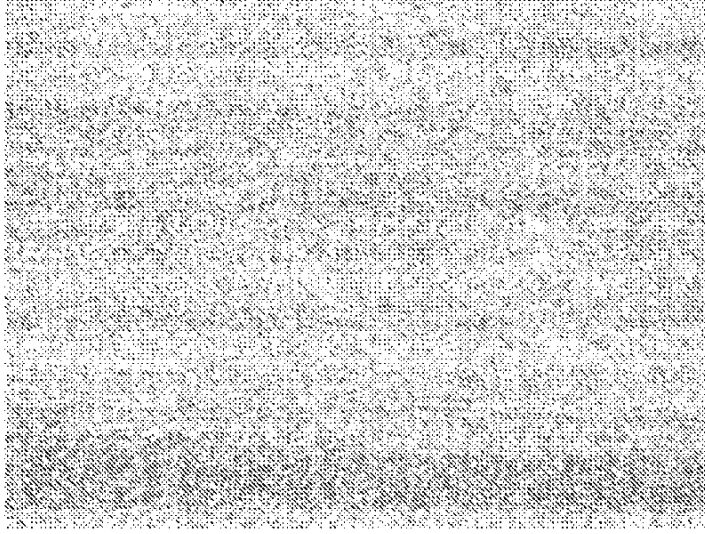
ŞEKİL 4



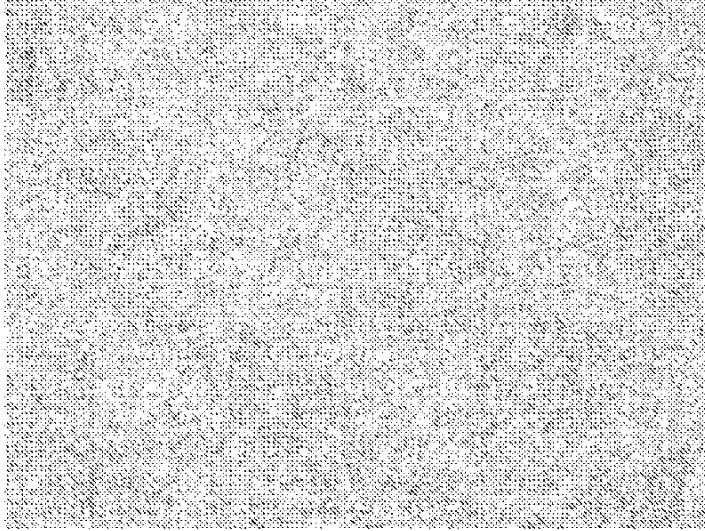
ŞEKİL 5



ŞEKİL 6



ŞEKİL 7A



ŞEKİL 7B