



Biyomedikal Uygulamalar İçin TiN Kaplı Ti6Al4V Alaşımının Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Levent URTEKİN* ve Ömer KELEŞ**

Öz

Bu çalışmada, biyomedikal amaçlı en yaygın kullanılan TiN kaplama ve ısıtım işlem uygulamalarının Ti6Al4V alaşımının mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Literatür kısmında belirtildiği üzere; ısıtım işlem ile Ti-6Al-4V alaşımının özelliklerine olumlu etkisi olan sabit parametreler tercih edilmiştir. Ti-6Al-4V alaşımına ısıtım işlem uygulanmış ve PVD ile TiN kaplama yapılmıştır. Ti-6Al-4V/TiN ve ısıtım işlemli numunelerine üç nokta eğme testleri gerçekleştirilmiştir. Isıtım işlem argon koruyucu atmosferinde 735 °C sıcaklıkta 1 saat beklenerek ve tabi soğumaya bırakılarak gerçekleştirilmiştir. TiN kaplama fiziksel buhar çöktürme tekniklerinden (PVD) sıçratma tekniği ile gerçekleştirilmiş olup kaplama kalınlığı ortalama 2 µm'dur. X-ışınları kırınım analizi ile elemental analiz yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda Ti-6Al-4V alaşımının elastik modülünün (E) uygulanan işlemlerle değişmediği (105-120 GPa) görülmüştür. Isıtım işlem sonrası uygulanan TiN kaplama eğme mukavemetini maksimum seviyeye çıkarmakta iken akma gerilmesi ise TiN kaplanmış ve ısıtım işlem sonrası TiN kaplanmış Ti-6Al-4V alaşımı için ise hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir. Ti-6Al-4V alaşımına uygulanan ısıtım işlem sonucu yük kapasitesi artmıştır. Sadece TiN kaplama yapıldığında ise bu yük kapasitesinin düştüğü TiN kırılma olmasıyla açıklanmıştır. Hem ısıtım işlem hemde TiN kaplanan numunelerde sadece TiN kaplanmış numunelere göre yük kapasitesi değişmediği saptanmıştır. Üç nokta eğme deney öncesi ve sonrası yüzey

* Doç.Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Kırşehir, levent.urtekin@ahievran.edu.tr

** Prof.Dr., Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, omer@gazi.edu.tr

morfolojisi için SEM ve Optik mikroskop ile görüntüleme yapılmıştır. Yüzey kaplamsının biyo-film oluşumuna ve tribolojik özelliklere faydaları bilinmekte olup, mekanik özelliklere olan etkisi tam bilinmemektedir. Bu çalışma ile TiN kaplamanın ve ısıtıl işlem uygulamasının mekanik özelliklere olan ilgisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ti-6Al-4V, Isıl İşlem, Mekanik Özellikler, Biyomedikal Uygulamalar.

Investigation of Mechanical Properties of TiN-coated Ti6Al4V Alloy for Biomedical Applications

Abstract

In this study, the effect of the most commonly used TiN coating and heat treatment applications on the mechanical properties of Ti6Al4V alloy was investigated. As stated in the literature section, constant parameters which have positive effects on the properties of Ti-6Al-4V alloy with heat treatment were preferred. Heat treatment was applied on Ti-6Al-4V alloy and TiN coating was done using PVD. Three-point bending tests were performed on Ti-6Al-4V/ TiN and heat treated samples. The heat treatment was carried out in an argon protective atmosphere at a temperature of 735 ° C for 1 hour and then the samples were allowed to cool. The TiN coating was carried out using the technique of splashing from physical vapor deposition techniques (PVD), and the average coating thickness was 2 µm. Elemental analysis was performed using X-ray diffraction analysis. In experimental studies, it was seen that the elastic modulus (E) of Ti-6Al-4V alloy was not changed by the applied processes (105-120 GPa). The TiN coating applied after the heat treatment maximized the bending strength, while the yield stress was almost identical between TiN-AlAl-4V alloy that is TiN coated after going through heat treatment and TiN-AlAl-4V alloy that is only TiN coated. As a result of the heat treatment applied to the Ti-6Al-4V alloy, the load capacity was increased. When TiN coating is applied alone, the decrease in the load capacity can be explained by the fact that TiN is brittle. In both heat treated and TiN coated samples, load capacity was not changed compared to just TiN coated samples. Before and after the three-point bending test, SEM and Optical microscope

examinations were performed for evaluating surface morphology. The benefits of surface coating to biofilm formation and tribological properties are known but its effects on mechanical properties are unknown. In this study, the effects of TiN coating and heat treatment application on mechanical properties were determined.

Keywords: Ti-6Al-4V, Heat Treatment, Mechanical Properties, Biomedical Applications.

Giriş

Ti-6Al-4V alaşımı, yoğunluğunun düşük ve tokluğunun yüksek olması nedeni ile endüstride ve özellikle de sağlık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Titanyum ve titanyum alaşımları çelikten daha dayanıklı fakat % 60 daha hafif olması nedeniyle özellikle havacılık, sağlık ve uzay teknolojisinde birçok parçanın üretilmesinde kullanılmaktadır. Titanyum ve titanyum alaşımları biyo-uyumluluk nedeniyle biyomedikal alanda implant ve kemik plakası olarak kullanılmaktadır (M. Sarrafa v.d. 2015). Bu nedenle, Ti-6Al-4V'nin mekanik özelliklerini geliştirmek için nitrojen implantasyonu ve titanyumun ultra pasivasyonu dâhil olmak üzere çeşitli yüzey modifikasyonları kullanılmıştır (H.W. Jang v.d. 2011). Mümkün olduğu kadar yüksek aşınma direnci olan malzemelerin kullanımı tıbbi uygulamalarda büyük kolaylık sağlamaktadır. İmplantlarla ilgili temel problem implant-doku ara yüzü birleşimidir. (C. Leyens. v.d. 2003) Bununla birlikte biyomedikal alanda en yaygın kullanılan Ti6Al4V alaşımının tribolojik özellikleri yeterli değildir (A. Vadiraj v.d. 2007-2006). Bu tribolojik özellikleri iyileştirmek için nitrojen iyonu im-plantasyonu, fiziksel buhar biriktirme ve plazma iyon nitrüleme kullanılarak titanyum yüzeyler TiN katmanı ile kaplanmaktadır (A. M. Maurer v.d. 1993).

Biyomedikal amaçlı TiN uygulamaları aşağıda kısaca özetlenmiştir. TiN kaplama, kalp yetmezliği olan hastalarda (D.C. Sin v.d. 2009) ve kalp pilleri olan hastalarda kardiyolojide kullanılmaktadır (M. Schaldach v.d. 1989). Nörolojide, TiN kaplı elektrotlar, örneğin spinal kort yaralanması tedavisi için kronik olarak implant edilen cihazların geliştirilmesi için araştırılmaktadır (P. R. Mezger v.d.1992). TiN kaplama diş hekimliğinde diş implantlarına uygulanmaktadır çünkü TiN'nin kobalt-krom-molibden iyonlarının salınımının azaltılması ve “altın rengi” nin estetik yönü gibi mükemmel biyolojik özelliklere sahiptir (A. Wisbey

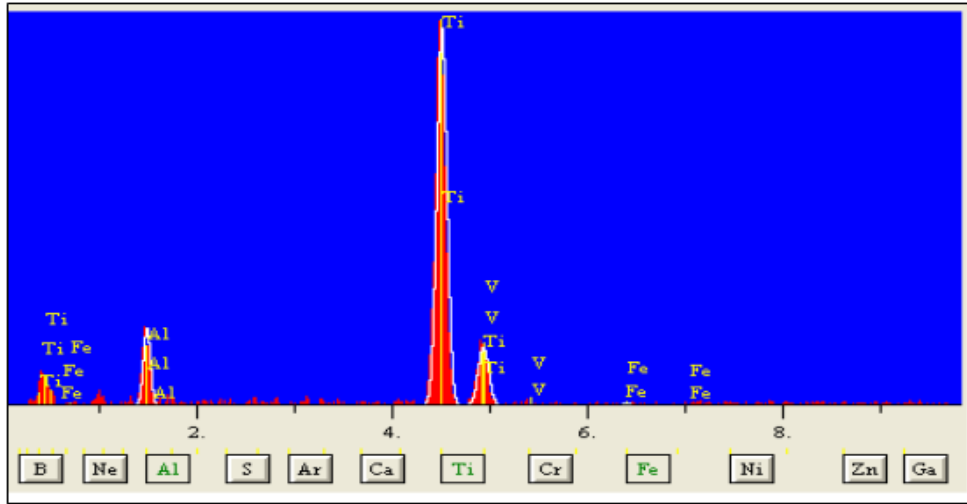
v.d.1987). İşlem görmemiş titanyum-alüminyum-vanadyum alaşımı aşırı femoral baş aşınması göstermektedir. Ti6Al4V'nin TiN kaplama ile alaşımın yüzey özelliklerini iyileşmesi çalışılmıştır (A. V. Lombardi v.d.1989).

Literatür özetinden de anlaşılacağı üzere biyomedikal uygulamalar için en yaygın kullanılan kaplamanın TiN olduğu görülmektedir. Çalışmada TiN kaplamanın tercih edilme nedeni yaygın olarak kullanılan bu kaplamanın mekanik özelliklere olan ilgisini belirlemektir. Biyomedikal amaçlı TiN kaplama çalışmalarında (S. Danışmaz v.d 2018, W. Cui v.d. 2017) kaplama kalınlığı ortalama 2 µm olarak belirlenmiştir. Bu nedenle çalışmada kaplama kalınlığı ortalama 2 µm ile sabit tutulmuştur. Isıl işlem yapılmasının nedeni ise kaplama öncesi yüzey iyileştirme amaçlı olup (H. Chandler 1996) en yaygın kullanılan ve en iyi genel özellikleri sağlayan (735 °C ve 1 saat) sabit parametreler seçilmiştir.

Ti-6Al-4V alaşımının TiN kaplaması ve yüzey özelliklerinin incelenmesi geçmişte çalışılmıştır. Fakat yapılan çalışmalarda daha çok aşınma ve korozyon (kimyasal testler) testleri göz önüne alınmış ve kaplama yüzeyi ile numune arasındaki ara yüzeyin mekanik özellikleri ihmal edilmiştir. Hâlbuki iş parçası dinamik veya statik bir yük altında eğilmeye maruz kalabilmektedir. Böylesi bir yükleme durumunda, kaplama yüzeyi ile ana malzemenin elasto-plastik özellikleri farklı olduğu için, bu iki kısım birbirinden farklı gerilme düzlemi boyunca uzayıp kısalabilecektir. Bu durumda, ara yüzey kayma gerilmelerinde bir süreksizlik meydana gelecek ve kaplama yüzeyinin ana malzeme yüzeyinden kopmasına veya kaplama yüzeyinde çatlakların oluşmasına neden olacaktır. Bahsedilen fiziki durum bu çalışma ile incelenecektir. Ayrıca Ti-6Al-4V alaşımının üstün özellikleri bulunması ve biomedikal uygulamalarda tercih edilmesinin yanı sıra tribolojik özelliklerinin yetersiz kaldığı bilinmektedir. Tribolojik özelliklerin iyileştirmesi için ise yüzey işlemleri (TiN coating) yapılırken Ti alaşımının bahsedilen üstün özelliklerinde bir değişiklik olup olmadığı tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada ısıtıl işlem yapılmış alaşımla ve ısıtıl işlem sonrası yüzeyi TiN (Fiziksel Buhar Çöktürme) kaplanmış alaşımın mekanik özellikleri üç-nokta eğme testi ile araştırılmıştır. Test öncesi ve neticesinde oluşan yüzeyin morfolojik özellikleri Yüzey Elektron Tarama Mikroskobu (SEM) ve Optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir.

Malzeme ve Yöntem

Deneysel çalışmalarda ana malzeme olarak Ti-6Al-4V kullanılmıştır. Kaplama malzemesi olarak da TiN seramik malzeme PVD ile yüzeye kaplanmıştır. Kaplama kalınlığı ortalama 2µm'dur. PVD metotlarından reaktif magnetron sıçratma tekniği ile sert seramik kaplamalar gerçekleştirilmiş ve yüzey karakterizasyonu yapılmıştır. Şekil 1'de X ışınları kırınımı (XRD) analizi verilmiştir.



Şekil 1. Ti-6Al-4V Alaşımı X Işınları Kırınımı Analizi
(K. GÖK v.d., 2019, L. URTEKİN, 2015)

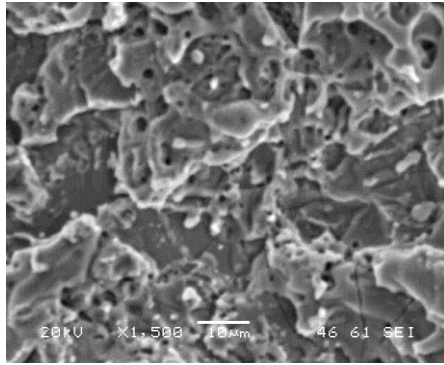
Tablo 1'de Ti-6Al-4V alaşımının mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Ti-6Al-4V Alaşımının Tipik Mekanik Özellikleri

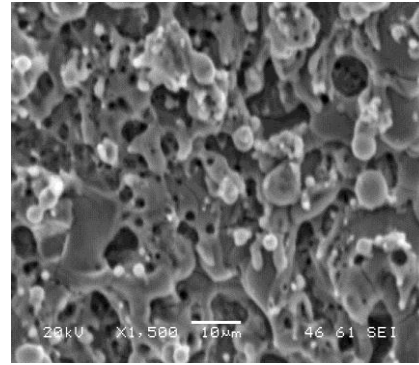
Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	% Uzama	10 ⁷ de Yorulma Dayanım Limiti (MPa)
965	895	110	12	515

TiN kaplama ilk seramik PVD kaplama çeşididir ve dekoratif parlak altın rengiyle diğer kaplamalardan ayırt edilebilir. Çoğunlukla titanyum nitrit olarak

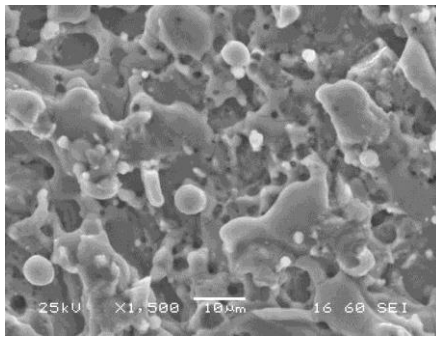
bilinir. TiN kaplama aşınma direnci yüksek olduğundan geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu uygulamalar kesici takımların ve kesme kalıplarının ömrünü uzatır. Bileme aralıkları uzar, hız ve ilerleme devirleri arttırılabilir ve yapışma olmadığından işlenen yüzey çapaksız ve pürüzsüz çıkar. Sürtünme katsayısı düşük olduğu için kesme gücünü ve çalışma sıcaklığını düşürür. TiN kaplama çoğunlukla talaşlı imalatla (karbon alaşımlı paslanmaz çelik vs.), kalıplarda, pançlarda sarma ve kırılmalarından dolayı oluşan kütleşmesini önler. TiN kaplama, içeriğindeki titanyum elementinin organik doku yapısıyla mükemmel uyumluluk göstermesinden dolayı medikal sektörde de yoğun talep görmektedir. TiN kaplama, altın renginde olduğundan ve aynı zamanda korozyona karşı olan direncinden dolayı dekoratif amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Şekil 2'de ısıtılma işlem ve kaplama görmüş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.



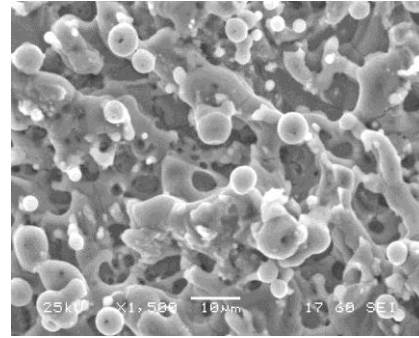
a) Ti-6Al-4V



b) Isıl İşlem Görmüş



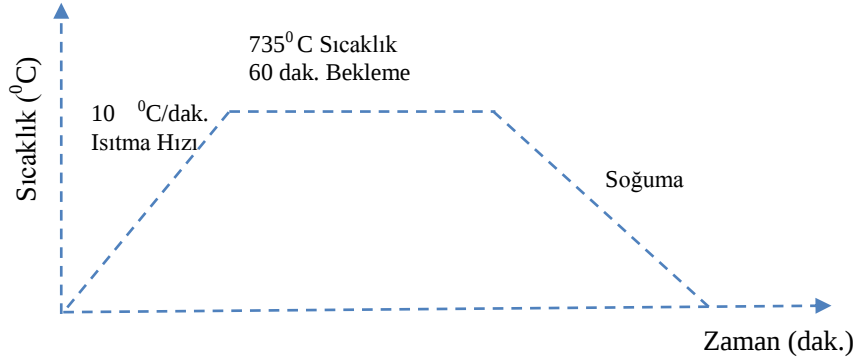
c) TiN Kaplanmış



d) Isıl İşlem + TiN Kaplanmış

Şekil 2. Kaplama Sonrası Ti-6Al-4V Numunelerine Ait SEM Görüntüleri

Ti-6Al-4V alaşımına ısıtıl işlem tüp fırın içerisi yerleştirilen numuneler Ar ortamında ısıtıl işleme tabi tutulmuştur. 735 °C sıcaklıkta 1 saat bekletilmiş ve tabi soğumaya bırakılmıştır. Bu sıcaklıkta ısıtıl işlem ve bekleme süresinin tercih sebebi; Ti6Al4V alaşımında bulunan $\alpha+\beta$ fazı, β fazında dönüşür. Ti-6Al-4V gibi alaşımlar nispeten ince bir mikro yapıya sahiptir. Ti-6Al-4V gibi çoğu $\alpha+\beta$ alaşımları mukavemeti, tane sınırı mukavemetleşmesinden sağlarlar. Vanadyum gibi elementler, β fazını stabilize eder ve mikroyapıda tane küçülmesine neden olarak bütün alaşımı mukavemetleştirir. Bu mikroyapıdaki küçülme bu alaşımların oda sıcaklığındaki sünekliğini geliştirir ve yüksek sıcaklıklarda onlara süper plastiktik kazandırır. Şekil 3'de ısıtıl işlem-zaman süreci verilmiştir.



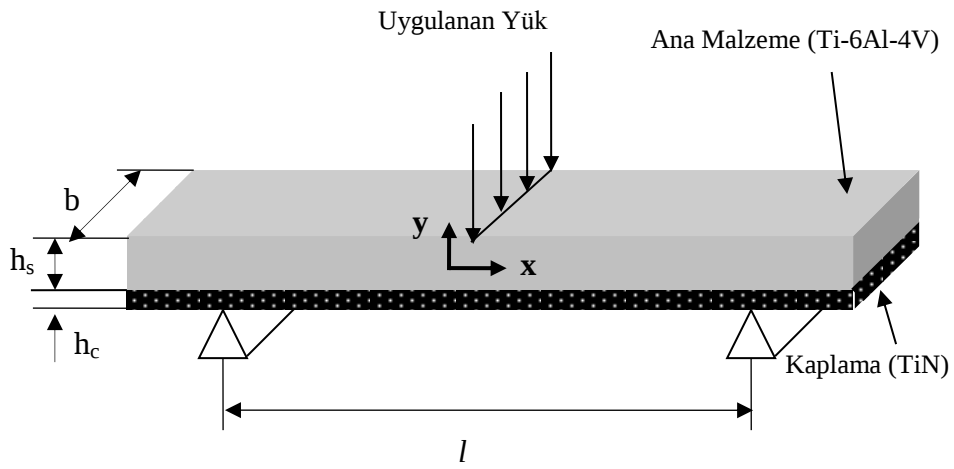
Şekil 3. Koruyucu Atmosferli Fırında Isıl İşlem-Zaman Süreci

Üç nokta eğme deneyleri 5 kN kapasiteli Schimadzu marka eğme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney parçasının iki bacağına eksenleri, eğme sonunda eğme eksenine (yatay düzlemde) dik olarak kalır. Mamul standartlarında belirtilen özelliklere göre 180 0'lik bir eğmede, iki yanal yüzey birbirine temas edecek durumda yatırılır veya yanal paralel yüzeyler arasında önceden belirlenen bir açıklık bırakılır ve bir parça kullanılarak açıklık kontrol edilir. Tablo 2'de üç nokta eğme deneyi uygulanan numunelerin boyutları verilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Boyutları

	Kalınlık (h _c)-(mm)	Uzunluk (l)-(mm)	Genişlik (b)-(mm)
İnce Numuneler	1.2	50	20
Kalın Numuneler	3	50	20

Deney numunelerine dört farklı işlem uygulandıktan sonra üç nokta eğme testi yapılmıştır. Bunlar, herhangi bir işlem görmemiş Ti-6Al-4V alaşımı, TiN kaplanmış Ti-6Al-4V numuneleri, ısıtılmış Ti-6Al-4V numuneleri ve ısıtılmış TiN kaplanmış Ti-6Al-4V numunelerdir. Deney sonucunda numune kalınlığı ve uygulanan işlemlerin mekanik özelliklere etkisi tartışılarak bir sonuca varılmıştır. Şekil 4'de üç nokta eğme deneyi şematik resmi verilmiştir.



Şekil 4. Deney Numunesi Boyutları ve Üç Nokta Eğme Deneyinin Şematik Görüntüsü

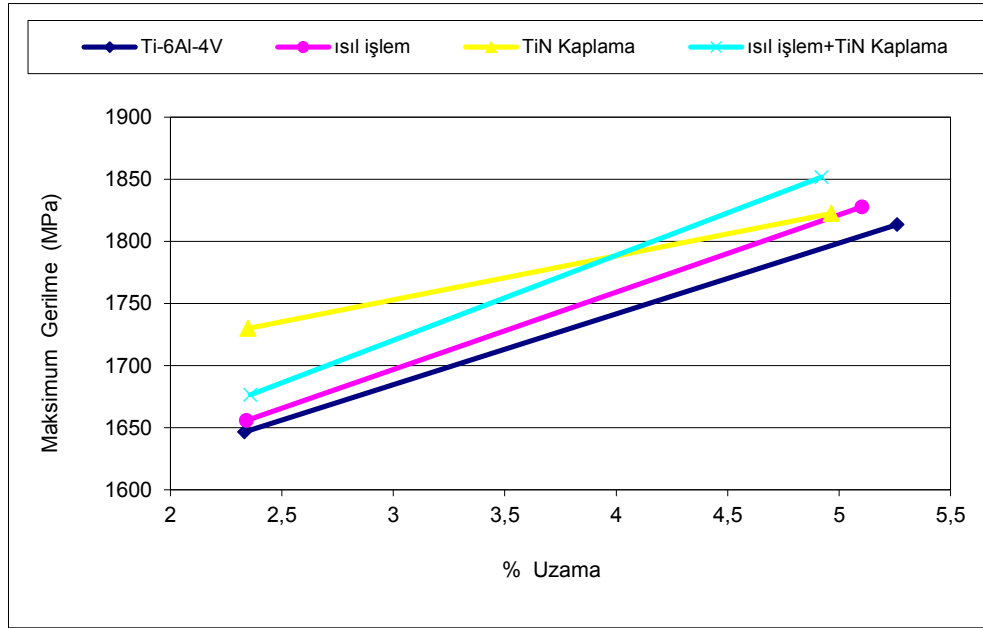
Numuneler, kırılan kısmın hemen altından elmas disk ile kesildikten sonra polyestere gömülerek zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır.

Deneyisel Bulgular ve Sonuçlar

1. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

Şekil 5’de üç nokta eğme deneyleri sonucu 1.2 mm kalınlığındaki Ti-6Al-4V alaşımının eğme mukavemeti 1646 MPa olarak saptanmıştır. Aynı özellikteki numunelere uygulanan ısıtılmış işlem sonucu eğme mukavemeti 1655 MPa’ya yükselmiştir. TiN kaplanmış Ti-6Al-4V alaşımlarının ise eğme mukavemeti 1730 MPa olarak en yüksek tespit edilmiştir. Isıtılmış işlem uygulanan ve daha sonra PVD ile

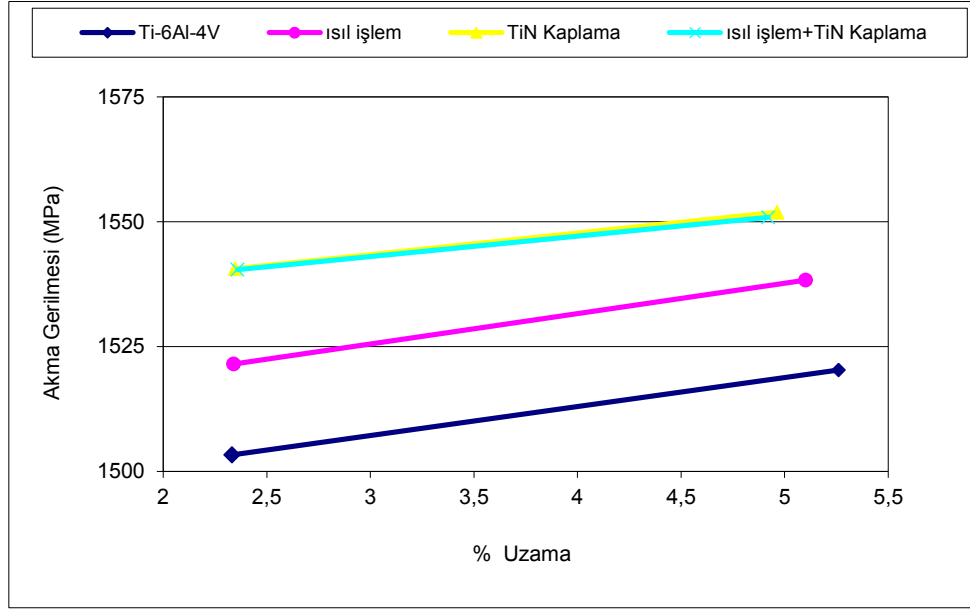
TiN kaplama yapılan numunelerde ise eğme mukavemeti 1676 MPa hesaplanmıştır.



Şekil 5. Farklı Kalınlıktaki Numunelerde % Uzama-Maksimum Gerilme İlişkisi

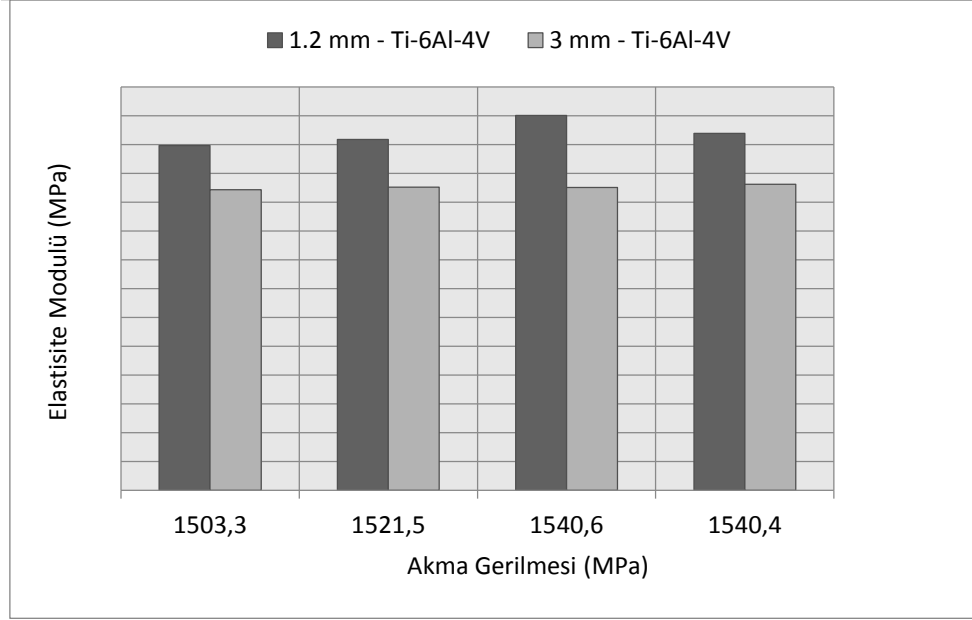
Numune kalınlığı (3mm) artırılıp aynı işlemler yapıldığında Ti-6Al-4V alaşımının 1813 MPa olduğu gözlenmiştir. Aynı özellikteki numunelere ısıtma işlemi uygulandığında 1827 MPa'lık eğme mukavemetine ulaşılmıştır. Maksimum 2 µm kalınlıkta olan TiN kaplama sonrası elde edilen eğme gerilmesi 1822 MPa olarak tespit edilmiştir. Isıl işlem ve TiN kaplama sonrası elde edilen eğme mukavemeti 1855 MPa' dır. Kalınlık ve uygulanan işlemler göz önüne alındığında ısıtma işlemi sonrası PVD ile TiN kaplama yapılmış 3 mm kalınlığındaki numunelerde en yüksek eğme mukavemetine ulaşılmıştır (1855 MPa).

Şekil 6'da ince numunelerde (1,2 mm kalınlığında) akma gerilmesi 1503 MPa olarak hesaplanmıştır. Isıl işlem uygulanmış numunelerde akma gerilmesi bir miktar artmış ve 1521 MPa seviyesine yükselmiştir. TiN kaplama yapılmış ve ısıtma işlemi sonrası TiN kaplama yapılmış numunelerde akma gerilmesi hemen hemen aynı olup 1540 MPa civarındadır.



Şekil 6. Farklı Kalınlıktaki Numunelerde % Uzama-Akma Gerilme İlişkisi

Kalınlık 3 mm çıkarılıp aynı işlemler yapıldığında Ti-6Al-4V alaşımı için akma gerilmesi 1520 MPa olarak hesaplanmıştır. Isıl işlem görmüş numunelerde ise akma gerilmesi 1538 MPa yükselmiştir. TiN kaplama ve ısıt işlem görmüş TiN kaplanmış numunelerde akma gerilmesi yaklaşık olarak 1550 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 5). Her iki kalınlıktaki numunelerde TiN kaplanmış ve ısıt işlem görmüş TiN kaplanmış numunelerde akma mukavemetin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Her iki grafikte de % uzama aynı kalınlıktaki numuneler için hemen hemen aynıdır. Şekil 7' de elatisite modülü akma gerilmesi değişimi verilmiştir.



Şekil 7. Elastikiyet Modülü - Akma Gerilmesi Değişimi

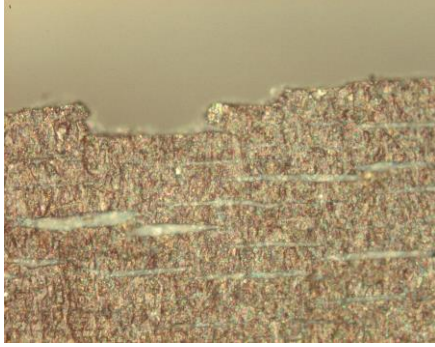
Şekil 7’den anlaşılacağı üzere akma gerilmesi artarken elastik modülün düştüğü fakat elastik modülün 120 -105 GPa arasında değiştiği görülmektedir. Sadece TiN kaplama numune için bu değer 130 GPa çıktığı görülmekte bu ise kaplama TiN malzemesi ile Ti-6Al-4V arasında oluşan bağ kuvvetiyle değiştiği kanaatine varılmıştır. Atomlar arası bağın bir fonksiyonudur. İnce numuneler için E değerinin 120 GPa ve kalın numuneler için 105 GPa olduğu görülmektedir. Bu ise uygulanan işlemlerin elastik modüle etkisinin olmadığı yorumunu getirmiştir. Her iki kalınlıktaki numunelere uygulanan işlemlerde elastik modülün çok fazla değiştirmemesine rağmen uygulanan işlemlerin akma gerilmesine ve eğilme gerilmesine olumlu katkı sağladığı gözlenmiştir. Ti-6Al-4V alaşımı için literatürden (Ş.Y. Güven 2014) okunan E değeri 110 GPa değerine yakın olduğu görülmüştür.

2. SEM Analizleri

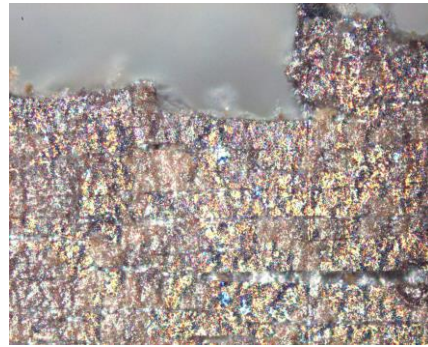
Elektron mikroskobu ile TiN kaplanmış Ti-6Al-4V alaşımının görüntüsü alınmıştır. Her iki malzemenin ısı iletim katsayısının yakın oluşu birbirlerine

yüksek bir bağ ile tutunmayı sağlamıştır. Bağ mukavemeti olarak adlandırılan bu durum TiN yüzeye tutunmasıyla kendisini göstermiştir.

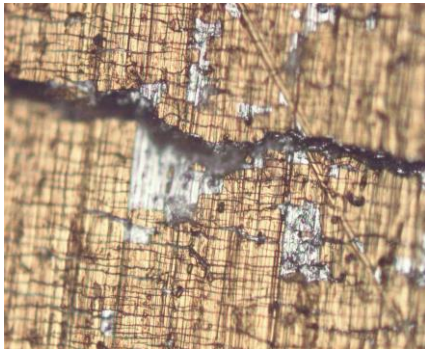
Şekil 8’de üç nokta eğme deneyi sonrası optik mikroskop ile yüzeyde meydana gelen deformasyonlar gösterilmiştir. Şekil 8’den de anlaşılacağı üzere üç nokta eğme sonrası tüm numune yüzeylerinde çatlaklar meydana gelmiştir. Ti6Al4V malzemesinin biyomalzeme olarak kullanılacağı düşünülecek olursa bu kadar yüke maruz kalmayacağı tahmin edilmektedir. İşlemsiz Ti6Al4V alaşımının kullanılabilirliğini etkilemeyecek şekilde yapılan ikinci işlemler alaşımın mukavemet ve akma gerilmesini iyileştirdiği, elastisite modülünün ise değişmediğini üç nokta eğme sonuçları göstermektedir.



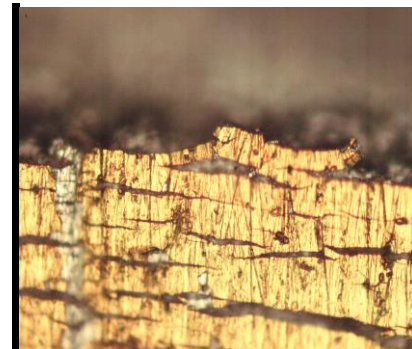
a) Ti-6Al-4V



b) Isıl İşlem Görmüş



c) TiN Kaplanmış



d) Isıl İşlem + TiN Kaplanmış

Şekil 8. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonrası Ti-6Al-4V Numunelere Ait Optik Mikroskop Görüntüleri

Sonuçlar

Ti-6Al-4V alaşımının biyo-mekanik ve biyo-uyumluluk özelliklerinin üstün olduğu tribolojik özelliklerinin ise düşük olduğu bilinmektedir. Buna karşın TiN amaçlı kaplama yapılarak bu özelliklerin iyileştirilmesi yapılmakta fakat kaplamanın mekanik özelliklerine etkisi tam olarak bilinmemektedir. *Muller ve arkadaşlarının* (1993) yaptıkları çalışmada; üç noktalı eğme testi sonucunda TiN kaplamaları için arayüz kırılma tokluğunun yüksek olduğunu göstermişlerdir. *Bolognini ve arkadaşlarının* (2001) yaptığı çalışmada ise TiN kaplanmış Ti6Al4V alaşımının yorulma özelliklerini iyileştirebileceğini gözlemlemişlerdir. *Yilbas ve Hashmi* (2000) yaptıkları çalışmada ise TiN kaplamalı takım çeliklerinin aşınma özelliklerini araştırmışlar ve dubleks işlemlili iş parçaları için aşınma direncinin önemli ölçüde arttığını göstermişlerdir.

Mori ve arkadaşlarının (2001) yaptıkları çalışmada Ti/TiN çok katmanlı kaplamanın sertlik ve akma dayanımı gibi mekanik özelliklerin iyileştirildiğini göstermiştir. Mevcut çalışmada TiN kaplamalı ve ısıtıl işlem görmüş numunelerin mukavemet değerlerinde artış gözlenmiştir. Sadece TiN kaplama yapıldığında ise bu yük kapasitesinin düştüğü TiN kırılma olmasından dolayı açıklanmıştır. Deney numunelerinin statik bir yük altında eğilmeye maruz kalmış kaplama yüzeyi ile ana malzemenin elasto-plastik özellikleri farklı olduğu için, bu iki kısım birbirinden farklı gerilme düzlemi boyunca hareket etmiştir. Bu durumda, ara yüzey kayma gerilmelerinde bir süreksizlik meydana gelmiş ve kaplama yüzeyinin ana malzeme yüzeyinden kopmasına veya kaplama yüzeyinde çatlakların oluşmasına neden olmuştur. *Yılbaş ve arkadaşları* (2005) bu durumu TiN kaplı iş parçasının yüksek sertliği nedeniyle yüksek yüke neden olmasıyla izah etmişlerdir. Ayrıca kaplamanın yüksek kırılma dayanımı, kaplamada çatlak başlangıcına katkıda bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Yilbas ve arkadaşları (2005) yaptıkları çalışmada iş parçalarının kaplamalı ve kaplanmamış elastik davranışlarının benzer olduğu, ancak plastik bölgenin başlangıcında bazı farklılıklar gözlemlendiği görülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda ise yapılan tüm işlemler neticesinde elastik modül 105-120 GPa arasında bulunmuştur. Bu sonuç uygulanan işlemlerle elastik modülün değişmediği göstermiştir. Ti-6Al-4V elastik modülü literatürde (*Ş.Y. Güven, 2014*) 110 GPa olarak belirtilmiştir. Akma gerilmesi artarken elastik modülün artmaması

sonucunda uygulanan ısıt işlemin mukavemet ve süneklîğe olumlu katkı sağladığı sonucuyla açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyum içerisinde.

Sonuç itibarıyla kaplama ve ısıt işlem uygulamasının Ti6Al4V alaşımının mukavemet ve süneklîk özelliklerine (plastik bölge) olumlu katkıları olduğu, elastitiste modülünün (elastik bölge) ise değişmediği görülmüştür. Yüzeyde meydana gelen çatlama gibi etkilerin ise işlemsiz Ti6Al4V içinde geçerli olduğu düşünüldüğünde ısıt ve kaplama işlemlerinin mekanik özellikleri de destekler nitelik taşıdığı belirlenmiştir.

Extended Summary

Ti-6Al-4V alloy is widely used in industry and especially in health industry due to its low density and high toughness. Although titanium and titanium alloys are more durable than steel, they are 60% lighter, and used in many parts, especially in aerospace and aerospace technology. Titanium and titanium alloys are used in biomedical field as an implant and bone plate due to their biocompatibility. TiN coating and surface properties of Ti-6Al-4V alloy have been studied in the past. However, mostly wear and corrosion tests (chemical tests) were taken into consideration in the studies and the mechanical properties of the interface between the coating surface and the sample were neglected. However, the workpiece can be subjected to bending under a dynamic or static load. In the case of such a loading, since the elasto-plastic properties of the coating material and those of base material are different, these two parts can extend and shorten along different stress plane. In this case, a discontinuity will occur in the interfacial shear stresses and will cause the surface of the coating to detach from the surface of the main material or to form cracks on the surface of the coating. The physical situation is examined in this study. In addition, Ti-6Al-4V alloy has superior properties and is preferred in biomedical applications but it is known that its tribological properties are insufficient. In search of improving the tribological properties, it is not known whether changes are to occur in abovementioned superior properties of Ti Alloy while surface treatments (TiN coating) are performed. In this study, mechanical properties of TiN (Physical Vapor Deposition) coated alloy with heat treated alloy and heat treated surface are investigated using three-point bending test. The morphological features of the surface before and after the test are examined using SEM and Optical Microscopy

(Scanning Electron Microscopy). Thus, the resistance to bending stress of the alloy that is coated and subjected to heat treatment is determined. The Ti-6Al-4V elastic modulus is reported in the literature as 110 GPa. As a result of experimental studies, the elastic modulus was read between 105-120 GPa. This result led to the conclusion that the elastic modulus was not changed by the applied processes. The load capacity of the samples was changed with thickness. Both thickness and applied processes were found to have an effect on toughness. The load capacity was increased as a result of the heat treatment applied to the Ti-6Al-4V alloy which has not undergone any other treatments. When TiN coating is applied alone, the decrease seen in load capacity compared to heat treated and then TiN coated samples can be explained by the fact that TiN is brittle. For thin samples subjected to both heat treatment and TiN coating, load capacity did not differ compared with that of just TiN coated samples, but when the thickness was increased, it was found that the load capacity was also increased. Yield stress was increased in both thin and thick samples, while the elastic modulus remained stable. As the yield stress increases, the elastic modulus does not increase. The data obtained as a result of this study will be used in industrial applications and will contribute to science.

Kaynakça

Makaleler

- Bischoff U., Freeman M., Smith D., Tuke M., Gregson P. (1994). Wear induced by motion between bone and titanium or cobalt-chrome alloys. *J Bone Jt. Surg. Br.*, 76,713–716.
- Bolognini, S., Mari, D., Viatte, T. and Benoit, W. (2001). Fracture toughness of coated TiCN-WC-Co cermets with graded composition. *Int. J. Refractory Metals and Hard Materials*, 19, 285-92.
- Brien W.W., Salvati E.A., Betts F., Bullough P., Wright T., Rimnac C., Buly R., Garvin K. (1992). Metal levels in cemented total hip arthroplasty: a comparison of well-fixed and loose implants. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 276, 66–74.
- Chandler H., (1996). Heat Treater's Guide Practices and Procedures For Nonferrous Alloys, ASM International, ISBN: 087170-565-6.

- Cui W., Qin W., Duan J., Wang H. (2017). A graded nano-TiN coating on biomedical Ti alloy: Low friction coefficient, good bonding and biocompatibility. *Materials Science and Engineering*, C71, 520-528.
- Danışman Ş., Odabas D., Teber M. (2018). The Effect of Coatings on the Wear Behavior of Ti6Al4V Alloy Used in Biomedical Applications. *Materials Science and Engineering*, 295, 012044, doi:10.1088/1757-899X/295/1/012044.
- Danışman Ş., Savaş S. (2006). The Effect of Ceramic Coatings on Corrosion and Wear Behaviour. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 12, (1)104-113.
- Danışman Ş., Savaş S., Işık G., Bendeş O., Özbekler A. (2008) Wear Resistant Hard Ceramic Coatings Used in Biomedical Applications, *4 th National Biomechanics Congress*, Erzurum.
- Gök K., İnal S., Urtekin L., Gök A. (2019). Biomechanical performance using finite element analysis of different screw materials in the parallel screw fixation of Salter–Harris Type 4 fractures. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(3).
- Güven Ş. Y., (2014). Biyouyumluluk ve Biyomalzemelerin Seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(3), 303-311.
- Hirakawa K., Stulberg B.N., Wilde A.H., Bauer T.W., Secic M., (1998). Results of 2-stage reimplantation for infected total knee arthroplasty. *J. Arthroplast.*, 13,22–28.
- Jacobs J.J., Gilbert J.L., Urban R.M. (1998). Current concepts review-corrosion of metal orthopaedic implants, *J. Bone Jt. Surg.*, 80, 268–282.
- Jang H.W., Lee H.J., Ha J.Y., Kim K.H., Kwon T.Y. (2011). Surface characteristics and osteoblast cell response on TiN-and TiAlN-coated Ti implant. *Biomed.Eng. Lett.*, 1,99–107.
- Leyens, C. and Peters, M. (2003). *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*. Wiley-VCH, Weinheim.
- Lombardi Jr A. V., Mallory T. H., Vaughn B. K., and Drouillard P. (1989). Aseptic loosening in total hip arthroplasty secondary to osteolysis induced by wear debris from titanium-alloy modular femoral heads. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 71,(9) 1337–1342.

- Maurer A. M., S. Brown A., Payer J. H., Merritt K., and Kawalec J. S. (1993). Reduction of fretting corrosion of Ti-6Al-4V by various surface treatments. *Journal of Orthopaedic Research*, 11(6) 865–873.
- McKellop H., Sarmiento A., Schwin C.P., Ebramzadeh E. (1990). In vivo wear of titanium-alloy hip prostheses. *J. Bone Jt. Surg. Am.*, 72, 512.
- Mezger P. R. and Creugers N. H. J. (1992). Titanium nitride coatings in clinical dentistry. *Journal of Dentistry*, 20,(6) 342–344.
- Mori, T., Fukuda, S. and Takemura, Y. (2001). Improvement of mechanical properties of Ti/TiN multilayer film deposited by sputtering. *Surface and Coating Technology*, 140, 122-7.
- Muller, D., Cho, Y.R. and Fromm, E. (1993). Measurement of TiN and Al coatings by fracture mechanics tests. *Thin Solid Films*, 236, 253-6.
- Namba R.S., Keyak J.H., Kim A.S., Vu L.P., Skinner H.B. (1998). Cementless implant composition and femoral stress: a finite element analysis. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 347,261-267.
- Probst J., Gbureck U., Thull R. (2001). Binary Nitride and Oxynitride PVD Coatings on Titanium for biomedical Applications. *Surface and Coatings Technology*, 148, 226-23.
- Salvati E.A., Betts, F. Doty S.B. (1993). Particulate metallic debris in cemented total hip arthroplast., *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 293, 160–173.
- Sarrafa M., Zalnezhad E., Bushroa A.R., Hamouda A.M.S., Rafieerad A.R., Nasiri-Tabrizi B. (2015). Effect of microstructural evolution on wettability and tribological behavior of TiO₂ nanotubular arrays coated on Ti–6Al–4V. *Ceramic International*, 41, 7952–7962.
- Shaldach M., Hubmann M., Hardt R., and Weigl A. (1989). Titanium nitride cardiac pacemaker electrodes. *Biomedizinische Technik*, 34, 185–190.
- Sin D.-C., Kei H.-L., and Miao X. (2009). Surface coatings for ventricular assist devices. *Expert Review of Medical Devices*, 6,(1) 51–60.
- Urtekin L., (2015). Experimental investigation of process parameters for WEDM of Ti-6Al-4V/TiN composites. *Science and Engineering of Composite Materials*, 22 (6), 685-692.
- Vadraj A., Kamaraj M. (2006). Characterization of Fretting Fatigue Damage of PVD TiN Coated Biomedical Titanium Alloys. *Surface and Coatings Technology*, 200, 4538-4542.

-
- Vadıraj A., Kamaraj M. (2007). Effect of Surface Treatments on Fretting Fatigue Damage of Biomedical Titanium Alloys. *Tribology International*, 40, 82-88.
- Wisbey A., Gregson P. J., and Tuke M. (1987). Application of PVD TiN coating to Co-Cr-Mo based surgical implants. *Biomaterials*, 8,(6) 477–480.
- Yilbas B.S., Sunar M., Qasem Z., Abdul Aleem B.J. and Zainaulabdeen S. (2005). Study into mechanical properties of TiN coating on Ti-6Al-4V alloy through three-point bending tests. *Industrial Lubrication and Tribology*, 57 (5), 193-196.
- Yilbas, B.S. and Hashmi, M.S.J. (2000). Laser treatment of Ti-6Al-4V alloy prior to plasma nitriding. *Journal of Materials Processing Technology*, 103, 304-9.