

# TİTANYUM VE ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİK ETÜDÜ

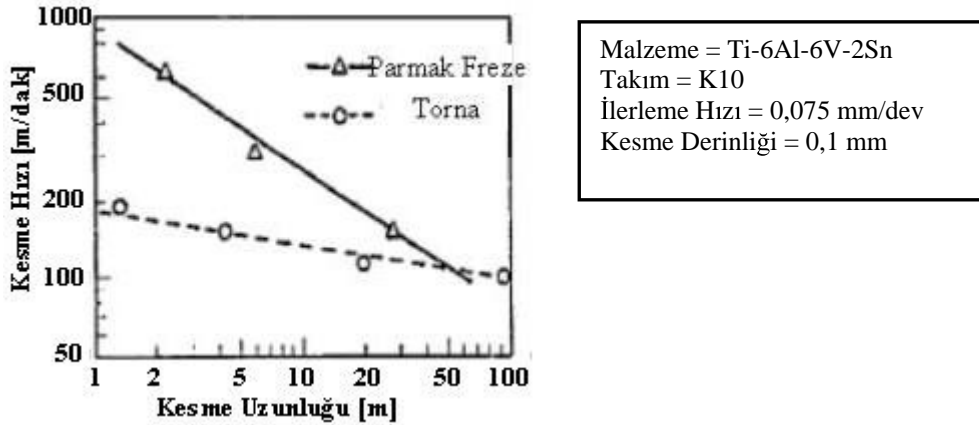
## 2. BÖLÜM

Cihat Ensarioğlu\*, M. Cemal ÇAKIR\*\*

### 3.2. Kesme Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkisi

#### 3.2.1 Kesme Hızı

Titanyumun işlenebilirliğini kısıtlayan en önemli unsurun ısı tabanlı aşınmalar olması ve sıcaklığı etkileyen en önemli kesme parametresinin “kesme hızı” olması nedeniyle titanyumun işlenmesinde kesme hızı önemli bir yere sahiptir. Uygulamalarda çeliğin işlenmesinde kullanılan değerlerin %10-35’i arası kesme hızları kullanılır. Ancak, işleme aşamasına kadar maliyeti artan ve işlenirken de büyük oranda talaş olarak atılan titanyum, bu maliyet artışlarının bir oranda telafi edilmesi için mümkün olduğunca yüksek hızda işlenmelidir. Buna karşın kesme hızının artması ile sıcaklığın artması, sürekli/testere dişli talaşın oluşması ve bu oluşumun sıcaklığı daha da arttırırken tırlamaya da sebep olması, kesici takım mukavemetini yitirirken iş parçasının mukavemetini koruması, yüzey kalitesinin belirli hız değerlerinden sonra muhtemelen takımdaki aşınmaya bağlı olarak düşmesi ve ayrıca yüzeye yakın bölgelerde mikro-yapının bozulması ve sertliğin artması problemleri söz konusudur, dolayısıyla günümüz teknolojisinde çıkılabilecek en yüksek değer 90-100 m/dak ile sınırlıdır [2,6,10-12]. Şekil 14’te de görüldüğü gibi kesme hızı arttıkça, 0,2 mm serbest yüzey aşınması, daha kısa bir kesme işlemi sonucunda meydana gelmektedir. Örneğin, tornalama için 150 m/dak ’da yaklaşık 10 m mesafede meydana gelen aşınma, kesme hızı 100 m/dak değerine düştüğünde 100 m mesafede oluşmaktadır [12].



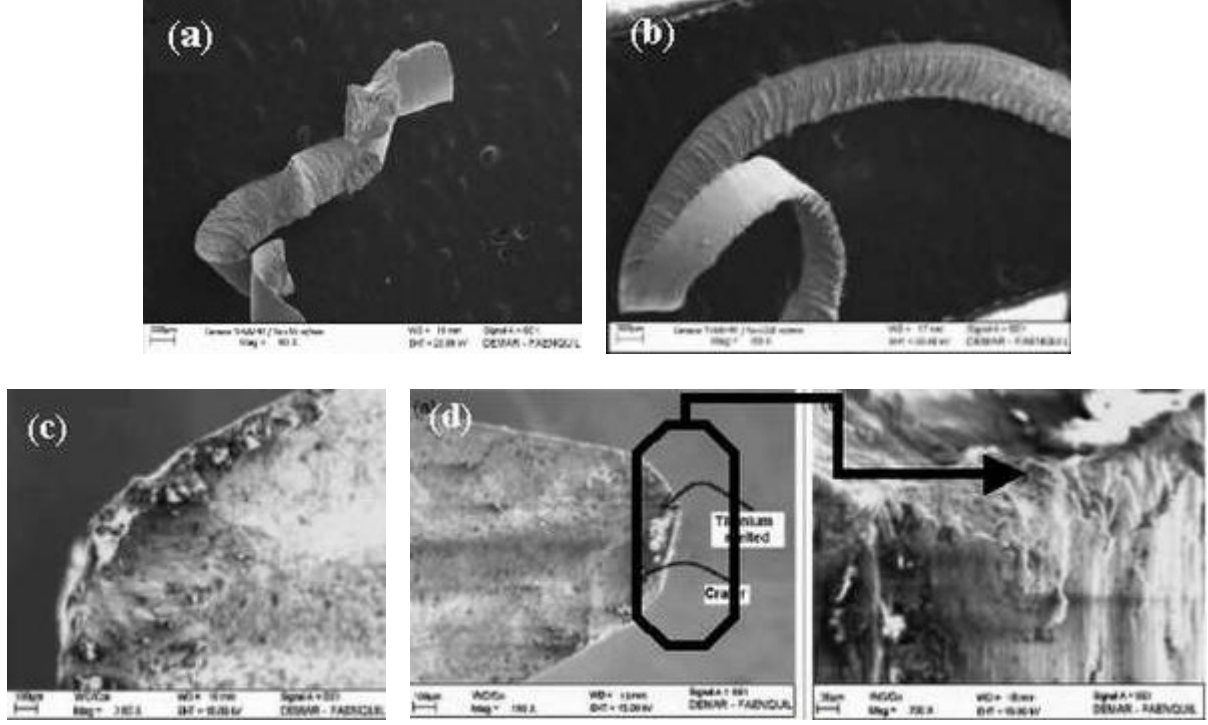
Şekil 14 : 0,2 mm serbest yüzey aşınmasına kadar yapılan kesme uzunluğunu gösteren bir grafik [12].

İlerlemenin 0,1 mm/diş, kesme derinliğinin 0,5 mm olduğu bir deneyin Şekil 15’te görülen sonuçlarından da anlaşıldığı gibi kesme hızının arttırılması ile, talaş, tam anlamıyla sürekli bir karakter kazanmakta ve takım aşınmasının etkisi artmaktadır [1,2].

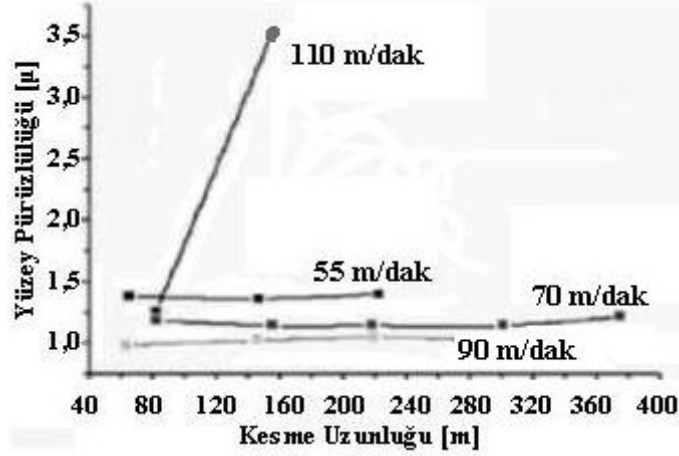
\* Uludağ Üniversitesi, Müh-Mim Fak. Görükle, BURSA, c\_\_i\_\_@hotmail.com

\*\* Prof. Dr. Uludağ Üniversitesi, Müh-Mim Fak. Görükle, BURSA, cemal@uludag.edu.tr

Aynı deneyde kesme hızı ile yüzey kalitesi arasındaki ilişki de incelenmiştir. Şekil 16'da görüldüğü gibi kesme hızı arttıkça azalan yüzey pürüzlülüğü, takım aşınmasının üst düzeylere çıktığı 110 m/dak değerinde aniden artmıştır. Bu anlamda, bu şartlar altında, hem takım ömrü hem de yüzey kalitesi açısından optimum hızın 90 m/dak olduğu söylenebilir [2].

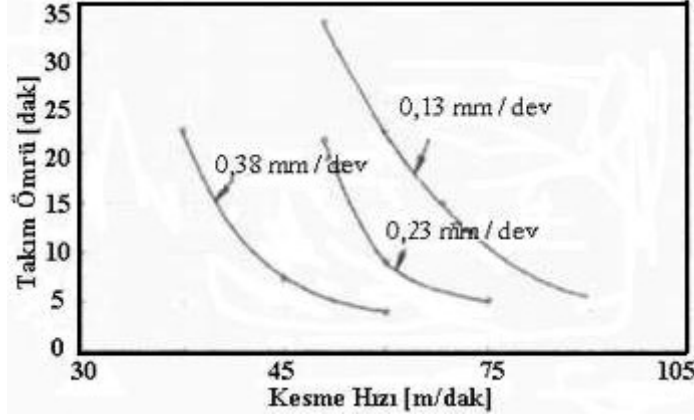


Şekil 15 : Oluşan talaş ve takım aşınması: (a)  $V_C = 55$  m/dak, (b)  $V_C = 110$  m/dak, (c)  $V_C = 90$  m/dak, (d)  $V_C = 110$  m/dak [2].



Şekil 16 : Yapılan deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri [2].

Ti-6Al-4V malzemesinin K20 kalitesinde karbür bir takımla işlendiği, sonuçları Şekil 17'de görülen bir başka deneyde, kesme hızı-ilerleme ve takım ömrü ilişkisini veren sonuçlara göre, kesme hızı arttıkça takım ömrü azalmaktadır [11].



Şekil 17 : Kesme hızı-ilerleme-takım ömrü ilişkisi. Malzeme : Ti-6Al-4V, Takım : Karbür (K20) [11].

Körelmiş takımlar ve yüksek gerilmelerin söz konusu olduğu kesme koşullarının taşlama işleminde, tornalama ve frezelemedekinin aksine, yorulma ömrünü düşüren çekme tipi artık gerilmelere ve ayrıca mikro-çatlaklara neden olduğu görülmüştür [11,17]. Her koşulda, maliyet, süre ve kalite ölçütlerine göre optimum değerlerin aranması ideal yaklaşım olsa da bir fikir vermesi açısından Tablo 3 'teki değerler, bir bütün olarak düşünülmesi gereken kesme parametrelerinin tipik değerleri olarak verilebilir.

Tablo-3 : Titanyumun işlenmesinde kullanılan tipik kesme parametreleri [6,11,16,17].

Yöntem	Takım	Kesme Hızı [m/dak]	Kesme Derinliği [mm]	İlerleme
Kaba Tornalama	Karbür (K20)	30 – 50	8	0,25 – 0,35 mm/dev
İnce Tornalama	Karbür (K20)	80 – 100	0,25 – 1	0,1 – 0,2 mm/dev
Frezeleme	HSS (M42)	40 – 60	3,5 – 5	0,1 – 0,15 mm/dış
Delme	Karbür (K20)	10 – 20	-	0,1 mm/dev
Broşlama	HSS (M3)	3 – 4	-	0,075 mm/dış

### 3.2.2. İlerleme

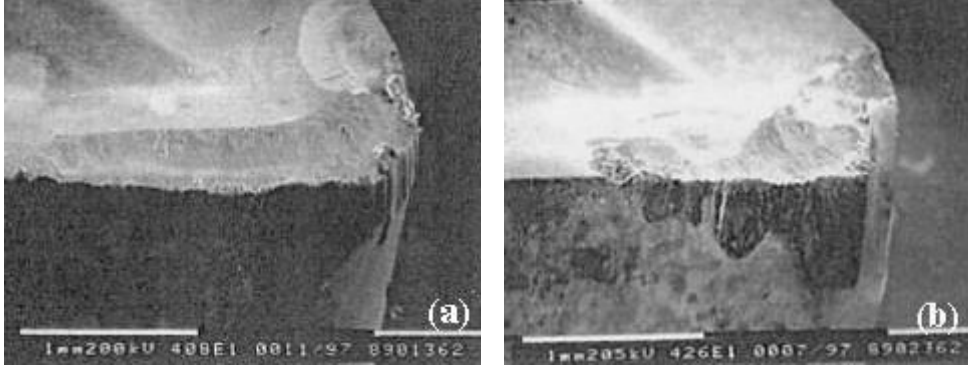
Genel olarak talaşlı imalatta ilerlemenin tek sınırlayıcısı yüzey kalitesi olsa da titanyum işlenirken ilerlemenin takım ömrünü daha fazla etkilemesi:

- sıcaklığın tehlikeli seviyelerde olması ve ısıl iletkenliğin düşük olması sonucu aşınmanın ısıl tabanlı olmasına bağlı olarak ilerlemenin karekökü ile doğru orantılı olan takım/talaş kesiti sıcaklığının ilerleme ile artarak aşınma mekanizmalarının etkinliğini arttırmasına,
- takım/talaş temas alanının çok dar olmasına bağlı olarak ilerlemenin yarattığı küçük kuvvet artışının daha etkili olmasına bağlanabilir.

Şekil 17'deki grafiğe ilerleme açısından bakıldığında da anlaşıldığı gibi, ilerleme de kesme hızı kadar olmasa da takım ömrünü önemli ölçüde etkilemektedir [6,10,11]. Örneğin, 75 m/dak 'da, ilerleme hızı 0,13 mm/dev 'den 0,23 mm/dev 'e çıktığında takım ömrü yarı yarıya azalmaktadır.

Bir başka deneyde ise, aynı kesme hızında ilerlemenin 0,35 mm/dev 'den 0,25 mm/dev 'e düşürülmesi ile takımda meydana gelen aşınmanın Şekil 18 'de görüldüğü gibi azaldığı

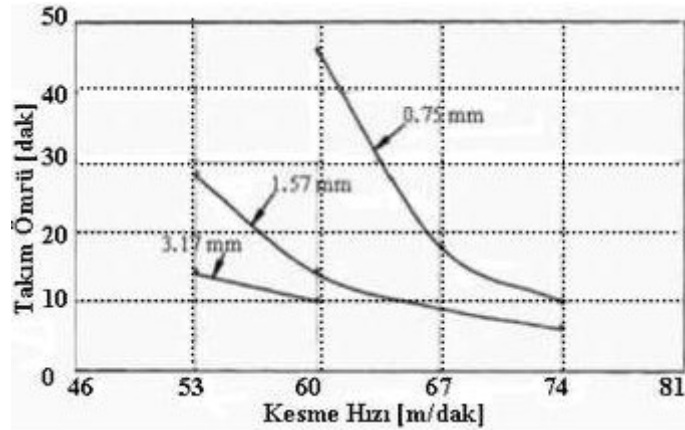
görülmüştür [10]. Ancak, verimliliği artırma gerekliliği ve kesme hızının zararlı etkisi düşünüldüğünde kesme hızından ziyade ilerlemenin mümkün olduğunca artırılması yerinde olacaktır [16].



Şekil 18 : İlerlemenin takımdaki aşınmaya etkisi. Takım : tungsten karbür (kaplamasız), kesme hızı = 60 m/dak, kesme derinliği = 2 mm, ilerleme: (a) 0,35 mm/dev, (b) 0,25 mm/dev [10].

### 3.2.3. Kesme Derinliği

Titanyumun işlenmesinde kesme derinliği kesme hızından sonra en etkili değişken olarak göze çarpmaktadır. Kesme derinliğinin artması ile birlikte hem talaş yükü artarak gerilmeleri arttırmakta, hem de artan talaş yükü ile artan sürtünme kuvveti ve dolayısıyla ısı, bu ısının uzaklaşmasının da zorlaşması ile daha etkili olmaktadır. Titanyumun işlenmesinde takım ömrünü etkileyen en önemli değişken olan sıcaklık kesme derinliğindeki artışla çok yüksek değerlere çıkmaktadır [13]. Malzemenin yorulma ömrünü etkileyen artık gerilmelerin ise frezeleme sonrasında, yorulma ömrünü arttıracak şekilde tornalamada olduğu gibi sürekli olarak bası tipinde olduğu, ayrıca kesme derinliğinin artması ile birlikte mutlak olarak azaldığı görülmüştür. [3,17]

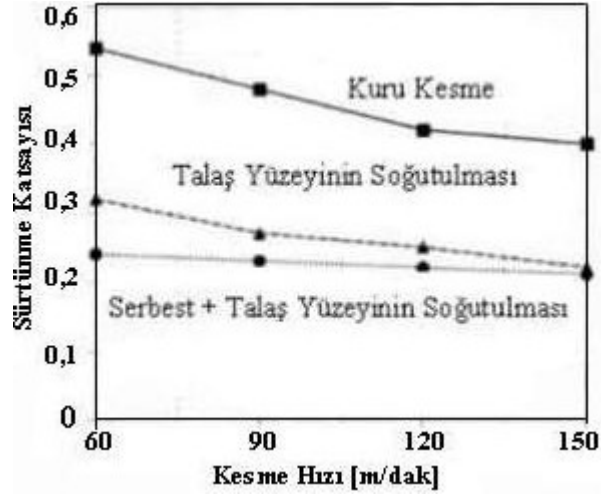


Şekil-19 : Kesme hızı-kesme derinliği-takım ömrü ilişkisi. Malzeme : Ti-5Al-2Sn, takım = karbür (K20) [11].

Sonuçları Şekil 19'da görülen Ti-5Al-2Sn malzemesinin K20 Karbür takımla işlendiği bir başka deneyde kesme hızı-kesme derinliği-takım ömrü ilişkisini veren sonuçlara göre, kesme derinliğinin artması ile takım ömrünün azaldığı tespit edilmiştir [11]. Kesme derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün de arttığı düşünülürse, kaba işlemlerde 6-8 mm, ince işlemlerde ise 0,25-1 mm değerlerinin üzerine çıkılmaması tavsiye edilebilir [6,11,16,17].

### 3.3. Kesme Sıvısı Kullanımı

Titanyumun işlenmesinde en önemli sorunların 1100 °C 'ye varan yüksek kesme sıcaklıkları ve dolayısıyla yüksek ısı ve yapışmanın gerçekleştiği aşınma mekanizmaları olduğu düşünülürse kesme sıvılarının kullanılması gerektiği rahatlıkla söylenebilir. Düşük hızlarda bor yağı yeterli olurken, yüksek kesme hızlarında ve delme, broşlama işlemlerinde, korozyon riski taşısa da klor içerikli kesme yağlarının kullanılması gerekmektedir. Geleneksel kesme sıvıları soğutma özelliklerinin yanında yüksek viskoziteleri ile yağlama işlevi de görürken, soğuk kesmede kullanılan sıvı azot gibi sıvılar çok daha düşük kesme sıcaklıkları sağlamaları ile bilinirler. Bunun yanında, Şekil 20'deki grafikte de görüldüğü gibi, yüksek basınçla talaş/takım nüfuz etmeleri sayesinde geleneksel kesme sıvıları kadar olmasa da sürtünme etkisini azaltarak, ve ayrıca sıcaklığın düşmesi ve takım sertliğinin korunması ile takım/talaş arasındaki yüksek yapışma eğilimini kısmen yok ederek, sürtünme katsayısını düşürürler ve böylece yağlama etkisi de yaparlar.



Şekil-20 : Sıvı azotün sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi. Yöntem : tornalama, takım = K20 (kaplamasız), kesme derinliği = 1,27 mm, ilerleme = 0,254 mm/dev [7].

Bu olumlu etkiler sayesinde kimyasal aşınmaları önemli ölçüde engeller ve takım ömrünü arttırlar. Bunun yanısıra bu maddelerin çevreye zararı yoktur. Ancak azot kesme sıvıları gibi devri daim ettirilemez, buharlaşır ve daha fazla gerçekleşen soğuma nedeniyle gerekli kesme kuvveti % 6-7 artar. Bir başka önemli husus olarak klasik bir soğutmada sıcaklık, özellikle sürekli kesmede, çok az miktarda düşmektedir. Bu verimsizlik soğutucunun tam olarak kesme bölgesine yönlendirilmesi ile aşılabılır. Bu tip bir soğutma devri daimin olmadığı soğuk kesmede şarttır [7,11,12].

#### 4. Sonuçlar

İşlenmesi-zor malzemeler grubunda olan titanyumun işlenebilirliği ile ilgili bu bilgilerin ışığında, aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

- Titanyumun işlenmesinde ana oluşum nedeni sürekli/testere dişli talaş oluşumu ve düşük elastisite modülü olan tırlamaya karşı rijit bir sisteme ve tok takımlara gereksinim vardır.
- Hız eliği takımlar aralıklı kesme işlemlerinde kullanılabilse de, düşük maliyet ve kalite unsurlarını bir arada sağlamaları ile K sınıfı tungsten karbür takımlar, genel amaçlı talaşlı imalat işlemleri için en iyi seçim olacaktır. Kaplamalı karbürler ise, kaplamanın bir miktar takım ana malzemesiyle beraber kısa sürede kopması nedeniyle genelde tavsiye edilmezler.
- CBN ve PCD takımlar pahalı olsalar da standart takımlardan çok daha iyi yüzey kalitesi ve takım ömrü değerleri vermektedirler. Bu takımlar da bir seçenek olarak düşünölmeli ve yapılacak imalatın maliyet, zaman ve kalite değerlerine göre bir karar verilmelidir.
- Dönel takımlar takım ömründe belirgin bir artış sağlarken yüzey kalitesini de iyileştirmektedirler. Bu takımların kullanılmasını kısıtlayan unsurlar yapılacak imalat için engel değilse kullanılmaları tavsiye edilebilir.
- Verimliliği ve yüzey kalitesini arttırsa da kesme hızı takım ömrünü en çok etkileyen kesme parametresi olarak en çok kısıtlanması gereken parametredir.
- İlerleme titanyumun işlenmesinde takım ömrünü diğer malzemelerde olduğundan daha fazla etkilese ve yüzey pürüzlölüğünü arttırsa da verimliliğin artırılmasında kesme hızına tercih edilmelidir.
- Titanyumun işlenmesinde kesme hızından sonra takım ömrünü etkileyen en önemli parametre olan kesme derinliği, sıcaklığı, dolayısıyla takım aşınmasını ve yüzey pürüzlölüğünü arttırdığı için küçük tutulmalıdır.
- Kalıntı gerilmeleri tornalama ve frezeleme işlemlerinde yorulma ömrünü arttıracak şekilde bası tipinde oluşsa da, körelmiş takımlarla ve yüksek gerilmeli kesme koşulları altında yapılan taşlama işlemlerinde bu gerilmelerin çekme tipinde oluştuğu unutulmamalıdır.
- Titanyumun işlenmesinde en önemli sorun olan yüksek sıcaklıkların aşılması için kesme sıvısı kullanılmalıdır. Sıvı azot gibi yeni soğutucu maddelerin yağlayıcı özelliklerinin olduğu da ispatlanmıştır.
- Titanyumun işlenmesinde ısı çok dar bir alanda etkili olmaktadır. Buna göre kesme sıvısı tam olarak kesme bölgesine odaklanmalıdır.

#### 5. Kaynaklar

- [1] HUA J., SHIVPURI R., “Prediction of chip morphology and segmentation during the machining of titanium alloys”, Journal of Materials Processing Technology, basım aşamasında (2004).
- [2] RIBEIRO M.V., MOREIRA M.R.V., FERREIRA J.R., “Optimization of titanium alloy (6Al-4V) machining”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 143-144, 2003.; 458-463.
- [3] SRIDHAR B.R., DEVANANDA G., RAMACHANDRA K., BHAT R., “Effect of machining parameters and heat treatment on the residual stress distribution in titanium alloy IMI-834”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 139, 2003, 628-634.
- [4] XU J.H., GENG G.S., “Experimental study on the milling of a Ti Beta 21S”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 129, 2002, 190-192.

- [5] LEI S., LIU W., “High-speed machining of titanium alloys using the driven rotary tool”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Cilt : 42, 2002, 653-661.
- [6] CHE-CHERON C.H., “Tool life and surface integrity in turning titanium alloy”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 118, 2001, 231-237.
- [7] HONG Y.S., DING Y., JEONG W.C, “Friction and cutting forces in cryogenic machining of Ti-6Al-4V”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Cilt : 41, 2001, 2271-2285.
- [8] NABHANI F., “Machining of aerospace titanium alloys”, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Cilt : 17, 2001, 99-106.
- [9] OHKUBO C., WATANABE I., FORD J.P., NAKAJIMA H., HOSOI T., OKABE T., “The machinability of cast titanium and Ti-6Al-4V”, Biomaterials, Cilt : 21, 2000, 421-428.
- [10] JAWAID A., CHE-HARON C.H., ABDULLAH A., “Tool wear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 92-93, 1999, 329-334.
- [11] EZUGWU E.O., WANG Z.M., “Titanium alloys and their machinability-a review”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 68, 1997, 262-274.
- [12] KITAGAWA T., KUBO A., MAEKAWA K., “Temperature and wear of cutting tools in high-speed machining of Incone1718 and Ti-6Al-6V-2Sn”, Wear, Cilt : 202, 1997, 142-148.
- [13] SCHUELLER J.K., TLUSTY J., SMITH S., LEIGH E., “Advanced machining techniques on titanium rotor parts”, American Helicopter Society, 56th Annual Forum, Virginia Beach, VA, Mayıs-2000.
- [14] NABHANI F., “Wear mechanisms of ultra-hard cutting tools materials”, Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 115, 2001, 402-412.
- [15] “Titanium industries inc. – Data and reference guide”,  
[www.stormrobot.com/heavies/storm/design/titanium-bible.pdf](http://www.stormrobot.com/heavies/storm/design/titanium-bible.pdf)
- [16] “Titanium alloys”  
[www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/aerospace/gas\\_turbines/C\\_2920\\_18\\_ENG\\_043\\_074.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/aerospace/gas_turbines/C_2920_18_ENG_043_074.pdf)
- [17] “Machining titanium & its alloys” [www.supraalloys.com/machining\\_titanium.htm](http://www.supraalloys.com/machining_titanium.htm)
- [18] “Details of titanium” [www.kobelco.co.jp/titan/e/details.pdf](http://www.kobelco.co.jp/titan/e/details.pdf)
- [19] “Materials” <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/pdf/material.pdf>