

TİTANYUM VE ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİK ETÜDÜ

BÖLÜM I

Cihat ENSARİOĞLU *,
M. Cemal ÇAKIR**

Titanyum esaslı ürünler yüksek maliyetleri ile tanınmalarına rağmen, düşük yoğunluk, mukavemet, kırılma direnci ve korozyon direnci özelliklerini bir arada bulundurabilmeleri sayesinde diğer malzemelerden ayrılırlar ve başta uçak ve uzay endüstrisinde olmak üzere, kimya endüstrisinde, tıpta, denizcilikte ve yiyecek endüstrisinde sıklıkla tercih edilirler. Tüm geleneksel talaş kaldırma yöntemlerinin uygulanabildiği bu malzemeler, kendilerine has bazı özellikleri nedeniyle, işlenmesi-zor malzemeler grubuna girmektedir.

Bu çalışmada titanyumun işlenebilirliği, kesici takım, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutucu/yağlayıcı maddeler ana başlıkları altında incelenecek, talaş oluşumu, aşınma mekanizmaları, yüzey pürüzlülüğü gibi konulara da yer geldikçe değinilecektir. Ayrıca titanyumun işlenebilirliği üzerine yapılan bazı deneylerden ve sonuçlarından kısaca bahsedilecektir.

Anahtar sözcükler: *Titanyum ve alaşımları, işlenebilirlik, talaş kaldırma parametreleri, aşınma mekanizmaları*

Although they are known to be expensive, titanium based products differ from other materials with their ability of having low density, strength, fracture toughness and corrosion resistance. They are preferred widely in the chemical, medical, marine and food industry. These materials, which all conventional machining techniques can be applied on, are in the group of difficult-to-cut materials, owing to some of their specific properties. In this study, machinability of titanium, and the effects of cutting tool, cutting speed, feed rate, depth of cut and coolant/lubricant onto the machinability was investigated. Besides, chip formation, wear mechanisms, surface roughness in various experiments about the machinability of titanium were also taken into consideration.

Keywords : *Titanium and its alloys, machinability, machining parameters, wear mechanisms.*

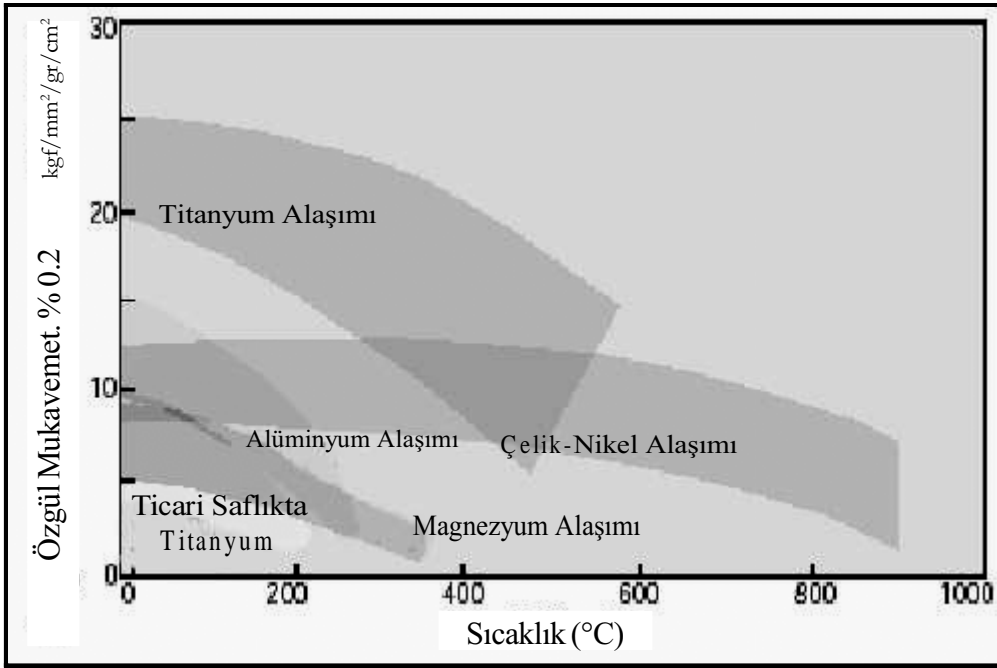
* Uludağ Üniversitesi, Müh-Mim Fak.,

** Prof. Dr. Uludağ Üniversitesi, Müh-Mim Fak.

GİRİŞ

Titanyum ve alaşımları, başta uçak ve uzay endüstrisinde olmak üzere, tıpta, kimyasal ünitelerde, denizcilikte ve yiyecek endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir [2,5,10,13]. Titanyum, sanayide kullanılan metaller arasında doğada en çok bulunan dördüncü metal olsa da, titanyum esaslı ürünler, birkaç sebepten kaynaklanan yüksek maliyetleri ile dikkat çekerler. Söz konusu sebepler, çıkarılma ve ayrıştırılma için karmaşık işlemlere ihtiyaç duyma, yoğun olarak bulunmama ve buna bağlı olarak tesis yatırımlarını yeterli ölçüde karşılayamama ve son olarak üretim maliyetinin yüksekliği olarak sayılabilir. Üretim maliyetindeki bu yükseklik, ürünlerin genelde karmaşık şekilli olmasının yanında yapısal kusursuzluğu güvence altına alma düşüncesine bağlı olarak "son şekline yaklaşık olarak işleme" mantığı ile üretilmemesinden ve sonuçta hammaddenin büyük bir kısmının talaş olarak atılmasından kaynaklanabileceği gibi, ürünlerin karmaşık şekillerinin veya titanyumun bazı özelliklerinin neden olduğu ve bu çalışmada üzerinde durulacak olan işleme zorluğundan da kaynaklanabilir [2,11,15,17].

Yukarıda sayılan sebeplerden dolayı pahalı hale gelen titanyum, bazı üstün özellikleri sayesinde cazibesini korur. İlk olarak, Şekil 1'de de görüldüğü gibi, akma mukavemetinin yoğunluğa oranı olarak tanımlanabilecek özgül mukavemet hususunda titanyum alaşımları, yüksek sıcaklıklarda da korunan yüksek bir performans göstermektedir. Bu konuda çeliği geride bırakması, yoğunluğunun, çeliğinkinin yaklaşık %60'ı kadar olması ile ilişkilidir. Bunun yanında, düşük elastisite modülünün bir sonucu olarak yüksek kırılma direnci, titanyum alaşımlarına, yüksek yükler altında kırılmadan çalışabilme imkanı vermektedir. Paslanmaz çelikten daha yüksek olan korozyon direnci de, titanyum ve alaşımlarının tercih edilmesinde etkili olmaktadır [10,11,16,18,19].



Şekil 1. Çeşitli Metaller İçin (Özgül Mukavemet / Sıcaklık) Değişimi [18].

Titanyumun ilk olarak ve en çok kullanıldığı uçak endüstrisinde, malzemenin bu özellikleri sayesinde kritik bölgelerde ağırlık, mukavemetten ödün verilmeden, korozyon direnci de sağlanacak şekilde azaltılabilmektedir. Sonuçta, yakıt tüketimi azalmakta, diğer bir açıdan ise, en yüksek uçuş mesafesi artmaktadır [13,16]. Buna göre titanyum, gaz türbini motorlarının ısı dirençli süperalaşımın kullanıldığı 595 °C'yi aşan bölgeleri dışında kullanılır [3,16]. Tıpta ise, implantant malzeme olarak, altın ve kobalt-krom alaşımlarının ağırlıklarının sorun olduğu yerlerde, korozyon ve kırılma direnci sağlamanın yanında hafiflik de sağlar [9].

Talaşlı imalat, titanyum ürünlerin imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin, uçak ve uzay endüstrisinde üretilen gaz türbinine ait motor diski üretiminin %75'i tornalama ile; kompresör kapağı üretiminin %20'si tornalama, %40'ı frezeleme, %20'si delme ile; pervane üretiminin ise %60'ı frezeleme ile yapılmaktadır [16]. Ancak, titanyum ve alaşımları, kimyasal reaktifliklerinin yüksek olması nedeniyle kesici takıma kaynak olma

eğilimlerinin yüksek olması, ısı iletkenliklerinin düşük olması nedeniyle takım/talaş temas alanındaki sıcaklığın yükselmesine sebep olmaları, mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda korumaları ve düşük elastisite modülleri nedeniyle, işlenebilirlikleri düşük olan malzemelerdir [13,17]. Bu çalışmada işlenebilirlik konusu, kesici takım, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve soğutucu/yağlayıcı madde kullanımı başlıkları altında incelenecek, bu arada talaş oluşumu ve aşınma mekanizmaları gibi unsurlara da değinilecektir.

TİTANYUM VE ALAŞIMLARI

Sanayide 1950'lerden bu yana kullanılan titanyumun yoğunluğu demirin yoğunluğunun yaklaşık yarısı (4.54 g/cm³), ısı iletkenliği demirinkinin yaklaşık beşte biri (15.7 W/m.K), ergime sıcaklığı ise demirinkinden yaklaşık 130 °C yüksektir (1668 °C). Titanyum, özellikle karbon ve oksijene olmak üzere, birçok elemente karşı yüksek afinitesi, yani yüksek reaksiyon eğilimi olan bir malzemedir. Bu sebeple, karbona maruz kalması sonucu

titanyumun kolayca gevrekleşeceği; ısının yükseldiği ve oksijence zengin bir ortamda titanyum talaşlarının kolayca tutuşabileceği ve iş parçasının neredeyse tüm takım malzemeleri ile reaksiyona girerek kimyasal tabanlı aşınmalara yol açacağı söylenebilir [4,6,13,19]. Saf titanyumun oda sıcaklığındaki, α -fazı adı verilen hegzagonal yapısı, 882 °C'de β -fazı adı verilen hacim merkezli kübik yapıya dönüşür. Al, O, N gibi α -fazı sabitleyicileri dönüşüm sıcaklığını yükseltirken, V, Nb ve Ta gibi β -fazı sabitleyicileri bu sıcaklığı düşürür. Sn ve Zr elementleri ise, α -fazında kullanılırlar da, α ve β fazları içinde büyük oranda çözündükleri için, nötr elementler olarak adlandırılırlar. Faz sabitleyici olarak alüminyum, oda sıcaklığından 550 °C'ye kadar geniş bir aralıkta etkin olarak kullanılabilmesi ve düşük yoğunluğu ile dikkat çeker. Oksijen ise, ticari saflıktaki titanyum malzemelerde mukavemet ve imalat kolaylığı özelliklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır [2,11,15,16].

Aslında, saf titanyum, büyük oranda kullanıldığı çevrelerin gözüyle bakılırsa, çok değerli bir malzeme değildir. Tercih edilmesini sağlayan asıl özelliklerini düşük oranlarda eklenen alaşım elemanları ile kazanır. Alaşım durumuna göre bir sınıflandırma, aşağıdaki gibi yapılabilir [4,11,16].

Alaşım-sız-ticari saflıkta titanyum: Korozyon dirençleri yüksektir, ancak, mukavemetleri alaşımlı olanlara göre düşüktür. Soğuk çalışma ortamlarında tercih edilirler.

α -fazlı alaşım: α -fazı sabitleyicileri olarak bilinen Al gibi elementler ile Sn gibi nötr elementler içerirler (Ti-5Al-2.5Sn gibi). Saf titanyuma yakın özellikler gösterirler, ancak farklı olarak, 300 °C'ye kadar iyi bir çekme mukavemetine sahiptirler. Soğuk çalışma ortamlarında tercih edilirler.

Yakın α -fazlı alaşım: α -fazı sabitleyicileri olarak bilinen Al, O gibi elementleri fazla miktarda, Mo, V gibi β -fazı sabitleyicilerini ise düşük miktarda içerirler (Ti-8Al-1Mo-

1V gibi). α -fazlı titanyuma yakın özellikler gösterirler, ancak farklı olarak, çalışma sıcaklığı 400-520 °C'ye varan ortamlarda da kullanılabilirler.

$\alpha + \beta$ -fazlı alaşım: α ve β -fazı sabitleyicilerini bulundurlar. En sık kullanılan ve en eski titanyum alaşımı olan Ti-6Al-4V, bu gruba dahildir. Düşük yoğunluklu bu malzemeler, mukavemet ve korozyona dayanıklılık özelliklerini yüksek sıcaklıklara kadar korurlar.

β -fazlı alaşım: Yüksek miktarda β -fazı sabitleyicilerini bulundurlar. Yüksek sertlikleri ve mukavemetleri, soğuk şekil verilebilirlikleri genel özellikleridir. Çalışma sıcaklıkları $\alpha + \beta$ -fazlı alaşımlardan yüksek olsa da, metal matris kompozitler ve buhar türbinli güç santralleri örneklerinde olduğu gibi yeni yeni kullanım alanı bulabilmektedirler.

TİTANYUM VE ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİĞİ

İşleme aşamasına kadar maliyeti önemli ölçüde artan titanyumun işlenirken de büyük oranının talaş olarak atılacağı düşünülürse, işlenebilirliği daha da önem kazanmaktadır. Bu aşamada, aparat maliyeti açısından takım ömrü, kalite açısından yüzey kalitesi ve enerji maliyeti açısından gerekli güç ölçütü olarak kabul edilirse, titanyum, günümüz teknolojisinde, işlenmesi-zor malzemeler grubuna girmektedir [9,11,17]. Bu bölümde, sayılan bu ölçütler üzerinde etkili olan ana değişkenler olarak kesici takım, kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve soğutucu/yağlayıcı madde kullanımı konularına değinilecektir.

Kesici Takım

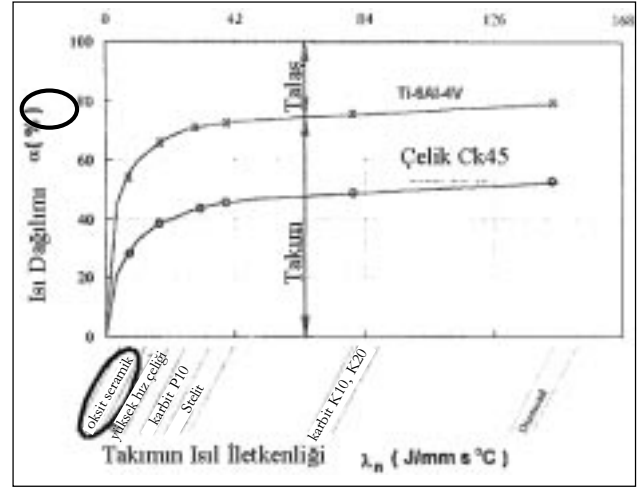
Titanyumun işlenmesi sırasında, kesici takım, Tablo 1'de de görüldüğü gibi, titanyumun bazı karakteristikleri sebebiyle olumsuz şartlara maruz kalmaktadır.

Buna göre kesici takımların şu özelliklere sahip olması gerektiği söylenebilir [11,16]:

- Meydana gelen ve uzaklaşmayan yüksek ısıya direnç gösterebilmesi için, "kızıl sertlik" özelliği iyi olmalıdır,

- Krater aşınmasına direnç gösterebilmesi için, "difüzyon ve abrasif tip aşınmalara dayanım" ve "kimyasal kararlılık" özellikleri iyi olmalıdır,
- Kuvvetlerin dar bir alana yayılması, tırlama olasılığı ve kraterlerle ucun zayıflaması durumlarına karşı, özellikle uç kısımda "tokluk" değerinin yüksek olması gerekmektedir,
- Isı malzemedan uzaklaşmadığı için, diğer malzemeler için kullanılan uçlara göre "ısı iletkenlik" değeri yüksek olmalıdır,
- Talaş kalınlığının küçük olması nedeniyle, daha rahat talaş kaldıracak için "uç keskinliği" yüksek olmalıdır. [8,11,13,16]

Titanyumun ısı iletkenliği düşük (örneğin çeliğin 1/6'sı kadar) olduğu için oluşan ısının yaklaşık % 80'i takım üzerinde kalmaktadır. Şekil 2'de de görüldüğü gibi bu değer, çelikte %45-50 arasında değişmektedir.



Şekil 2. Titanyum Alaşımı Ti-6Al-4V ve Ck45 Çelik İçin, Çeşitli Takımlarla Yapılan İşlemlerde Ortaya Çıkan Isının Takıma ve Talaşa Dağılım Oranı [11].

bir kısmının takıma aktarıldığı görülmektedir. Bu durumda ısı, takımdan da uzaklaşmayacak ve ısı tabanlı aşınma mekanizmaları ileri düzeyde etkili olacaktır. Çelik işlenirken ise ısı iş parçası boyunca uzaklaşabilmektedir [11].

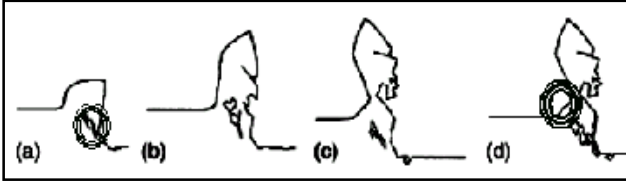
Tablo 1. Titanyumun Bazı Karakteristikleri ve Kesici Takıma Etkisi

Malzeme Karakteristikleri	Kesici Takıma Etkisi
Mukavemetin yüksek sıcaklıklarda korunması	Yüksek kuvvet ve ısıların oluşması
Dar talaş/takım temas alanı	Kesme kuvvetinin ve ısının yoğunlaşması
Isıl iletkenliğin düşüklüğü	Isının sıkışıp yükselmesi
Periyodik talaş oluşumu ve düşük elastisiteden kaynaklanan değişken kuvvetler	Vibrasyon ve tırlama
Kimyasal reaktifliğin yüksek olması	Özellikle krater aşınması olmak üzere kimyasal tabanlı aşınmalar

Titanyumda ise ısının, iş parçası boyunca uzaklaşmadığı için takım üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir [2,11]. Bunun yanı sıra, düşük ısı iletkenlik nedeniyle yüzeyin 20 µm ile 70 µm altında uzun süre sıkışıp kalan ısı, malzemenin bu kısmına ait sertliğin, aşırı-yaşlanmaya bağlı olarak ortalama sertliğin bir hayli altına düşmesine sebep olur [6].

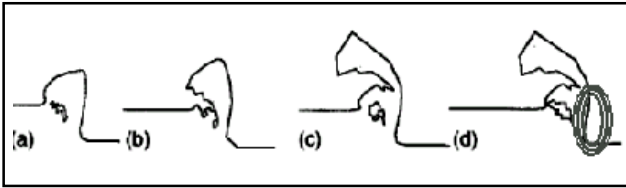
Grafikte ayrıca, seramik gibi ısı iletkenlikleri düşük takımlarda ısının, çeliğin işlenmesine göre çok daha fazla

Titanyumun işlenmesinde pek rastlanmayan parçalı talaşın oluşumunda, Şekil 3 (a) 'da gösterilen ilk çatlak, sürekli/testere dişli talaşta da olduğu gibi, en yüksek asal ve kayma gerilemelerinin bulunduğu, takımın uç bölgesindeki birincil deformasyon bölgesinde ortaya çıkar. Daha sonra diğer aşamalarda görüldüğü üzere, takımın bulunduğu kısma doğru ilerler ve orada da son bulur. Birkaç ayrılmadan sonra, Şekil-3 (d)'de gösterildiği gibi büyüyen kayma açısının yanı sıra artan talaş ağırlığı sonucu, takım tarafından da desteklenmemiş olan talaş kırılır.



Şekil 3. Parçalı Talaş Oluşumuna Ait Evreler [1].

Sürekli/testere dişli talaş oluşumunda ise oluşan ilk çatlak işlenmemiş parça yüzeyine doğru ilerler ve orada son bulur. Şekil 4(d)'de gösterildiği gibi talaşın sürekli olan kısmı takım tarafından desteklenir ve talaş kırılmadan uzun süre devamlılığını korur. Bir süre sonra sarım yapacak ve kaymaya başlayacak olan talaş, talaş yüzeyinde takımın ucuna yakın bir bölgede, takımı aşındıracak şekilde şiddetli bir kayma gerilmesine ve bunun sonucu yüksek sıcaklığa sebep olarak ikincil deformasyon bölgesini oluşturur [1].

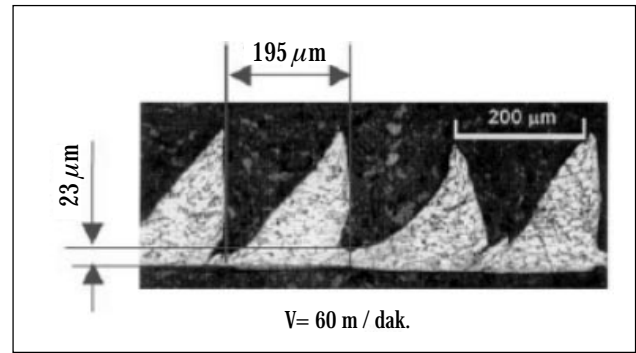


Şekil 4. Sürekli/testere Dişli Talaş Oluşumuna Ait Evreler [1].

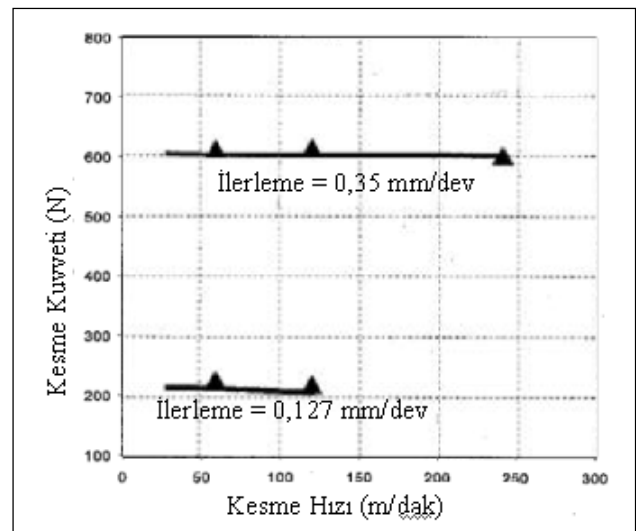
Profili Şekil 5'te gösterilen sürekli/testere dişli talaş tipi titanyumun işlenmesinde, özellikle kesme hızının belirli bir değer üzerinde olduğu durumlarda, çok sık karşılanan talaş tipidir [1,8,13]. Bu tip bir talaş değişken bir yüke sebep olur ve özellikle rijit olmayan sistemlerde, sistemdeki boşluklar nedeniyle "tırlama" meydana gelir. Kesme kuvvetlerinin dalgalanma periyodu ile talaşta oluşan dişlerin oluşma frekansı çakışmaktadır (konuyla ilgili yapılan bir çalışmada bu periyot 10 μ s olarak hesaplanmıştır [1]). Böyle bir durumda, takım ömrü önemli ölçüde düşeceği için, sistem mümkün olduğunca rijit olmalı ve takım malzemesi de "tok" seçilmelidir. Tırlamaya sebep olan bir diğer unsur olan "sehim", çeliğe göre 2 misli değerindedir ve düşük elastisite modülünden kaynaklanır. Takım malzemeye her girdiğinde, bir sıçrama etkisi yaşanır [1,11]. Ayrıca, tırlamanın sebep olduğu

dalgalı yüzeye, takım bir sonraki devirde veya dişte tekrar temas edecek ve tırlama "rejeneratif tırlama" denilen mekanizma ile belirli bir sınıra kadar, giderek şiddetlenecektir [13].

Bunların dışında, titanyum işlenirken takıma gelen yük çok küçük bir alana yayılmaktadır. "Temas Genişliği" çelik işlenirken 24 μ m iken, titanyumun işlenmesinde 8 μ m'ye düşer. Çeliğin işlenmesi için gerekli olan kuvvet, titanyum için gerekli olan kuvvetle yaklaşık aynı olsa da, oluşan gerilmenin titanyumda 3-4 misli olmasının en önemli sebebi budur. Bu alan darlığı, takımın aşınmasını hızlandıran ısı yoğunlaşmaya da yol açmaktadır [10,11,14-16]. Titanyum ve alaşımlarının 500 °C 'yi aşan sıcaklıklarda, neredeyse



Şekil 5. Sürekli/Testere Dişli Talaşın Profili. Malzeme: Ti-6Al-4V, Talaş Açısı : 15°, Kesme Hızı : 60m/dak, İlerleme: 0.127 mm/dev, Kesme Derinliği : 2.54 mm [1].



Şekil 6. Kesme Hızı/Kesme Kuvveti Grafiği. Malzeme: Ti-6Al-4V, Kesme Derinliği: 2.54 mm [1].

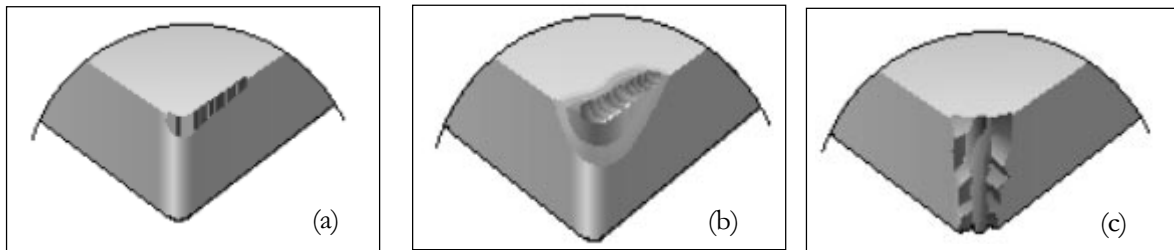
tüm malzemelerle reaksiyona girmesi ve sonuçta kimyasal tabanlı aşınma mekanizmalarının etkili olması da, takım ömrünün önemli ölçüde etkilemektedir. Buna göre, kimyasal olarak kararlı takımlar ve etkili soğutma sıvıları kullanılmalıdır [5,11,16].

Son olarak, Ti-6Al-4V üzerinde, çeşitli kesme hızı ve ilerleme değerleri ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen ve Şekil 6'da görülen grafikten de anlaşıldığı gibi, kesme hızı artsa da, iş parçası mukavemetini kaybetmemektedir. Bu arada artan sıcaklıkla mukavemetini yitiren takım ise hızla aşınmaktadır [1,11].

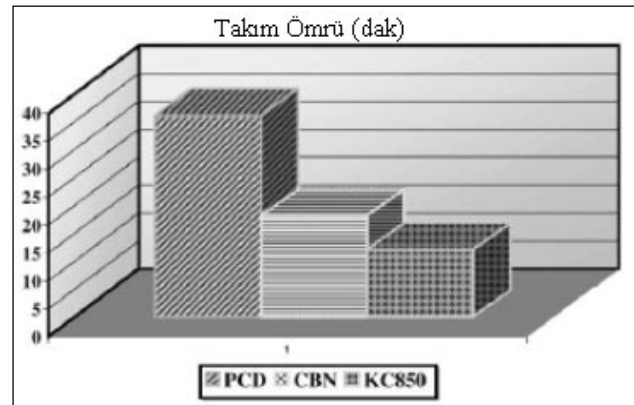
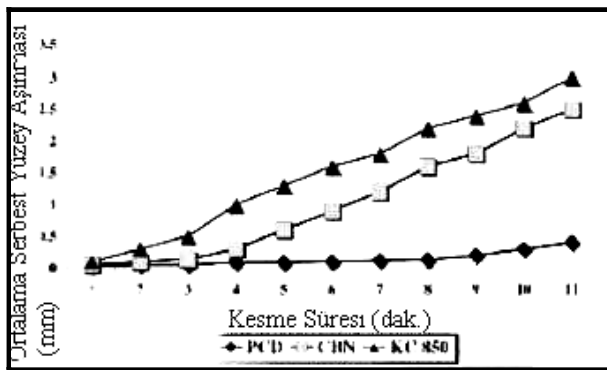
Tüm bu olumsuz etkiler sonucu, özellikle Şekil 7'de temsili olarak gösterilen üç aşınma tipi ortaya çıkmaktadır. Takımın serbest yüzeyinin işlenmiş yüzeye sürtünmesi ile meydana gelen "serbest yüzey aşınması", kimyasal reaktifliği yüksek olan titanyumun yüksek gerilmeler altında takıma yapışmasının ardından çekilip alınması ile, difüzyon aşınmasının da etkisi ile oluşan akış yönünde pürüzsüz kanallar meydana getiren "krater aşınması" ve

daha çok kırılma tokluğu düşük olan takımlarda, serbest yüzey aşınması ve krater aşınması ile desteksiz kalan takımın meydana gelen "kırılma" [2,8,10,11,16]. Serbest yüzey aşınmasının her malzemede meydana geldiği ve kırılmanın da bir sonuç olduğu düşünülürse, bu aşınma mekanizmaları arasında krater aşınması, üzerine durulması gereken mekanizma olarak düşünülebilir.

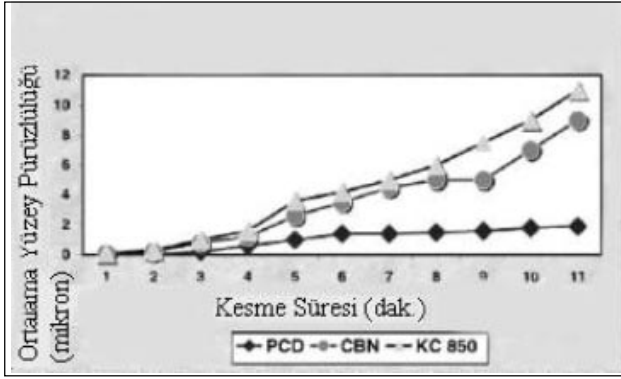
Kaplamalı karbür, CBN ve PCD takımlar kullanılarak yapılan deneyler sonucunda, serbest yüzey aşınmasına dair elde edilen sonuç, Şekil 8 (a)'daki grafikte görülmektedir. Buna göre, PCD takım kullanıldığında, aşınma önemli ölçüde azalmaktadır. Aynı deney sonucunda elde edilen takım ömrü değerleri, Şekil 8(b)'de gösterilmiştir. En iyi sonuç, yine PCD takımlarla alınmıştır [8]. Aynı deneyde, yüzey pürüzlülüğü değerleri de ölçülmüştür. En iyi sonucu PCD takımlar vermiştir. Bu takımlarla, 10 dakikalık kesme süresinin ardından dahi, yüzey pürüzlülüğü 2 µm düzeylerinde kalmıştır.



Şekil 7. Titanyumun İşlenmesinde Baskın Olan Aşınma Tipleri : (a) Serbest Yüzey Aşınması, (b) Krater Aşınması, (c) Kırılma [16].



Şekil 8. $V_c : 75 \text{ m/dak}$, $f : 0.25 \text{ mm/dev}$, $a : 1 \text{ mm}$ Değerleri ile Yapılan Deneylerin Sonucu : (a) Serbest Yüzey Aşınması, (b) Takım Ömrü [8].



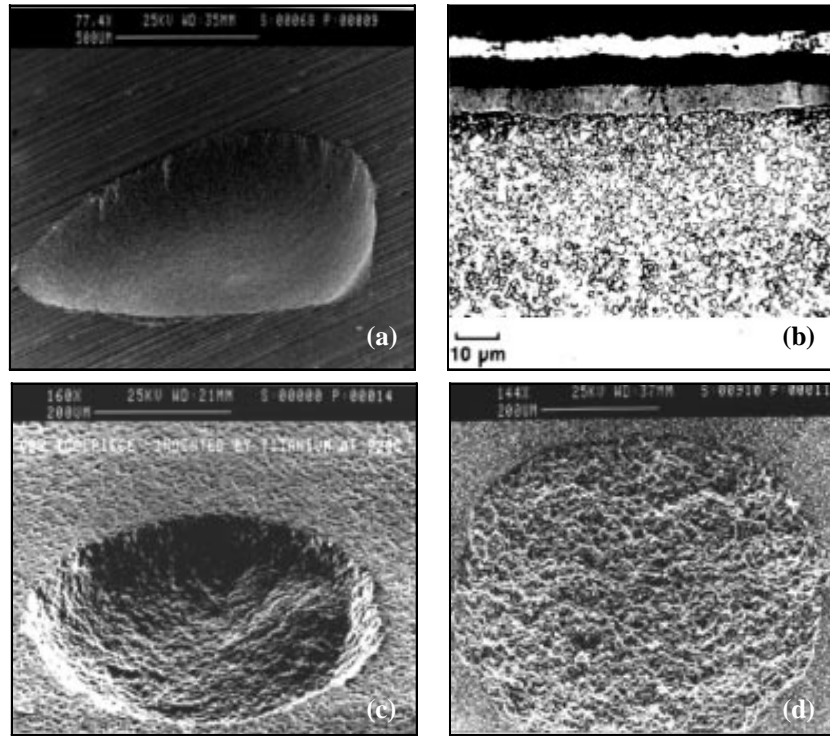
Şekil 9. $V_c : 75 \text{ m/dak}$, $f: 0.25 \text{ mm/dev}$, $a : 1 \text{ mm}$ Değerleri ile Yapılan Deneylerin Sonucunda Çeşitli Takımlarla Elde Edilen Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri [8,14].

Titanyumun işlenmesinde karakteristik aşınma tipi olan krater aşınmasının daha iyi anlaşılması için, statik yapışma deneyi yapılmıştır. Bu deneyde titanyum malzemedan bir koni, 115 N'luk bir normal kuvvet ile bir yandan da ısıtılarak 10 dakika süresince takım üzerine bastırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 10'da görülmektedir. Tüm kopmaların, takım malzemesi

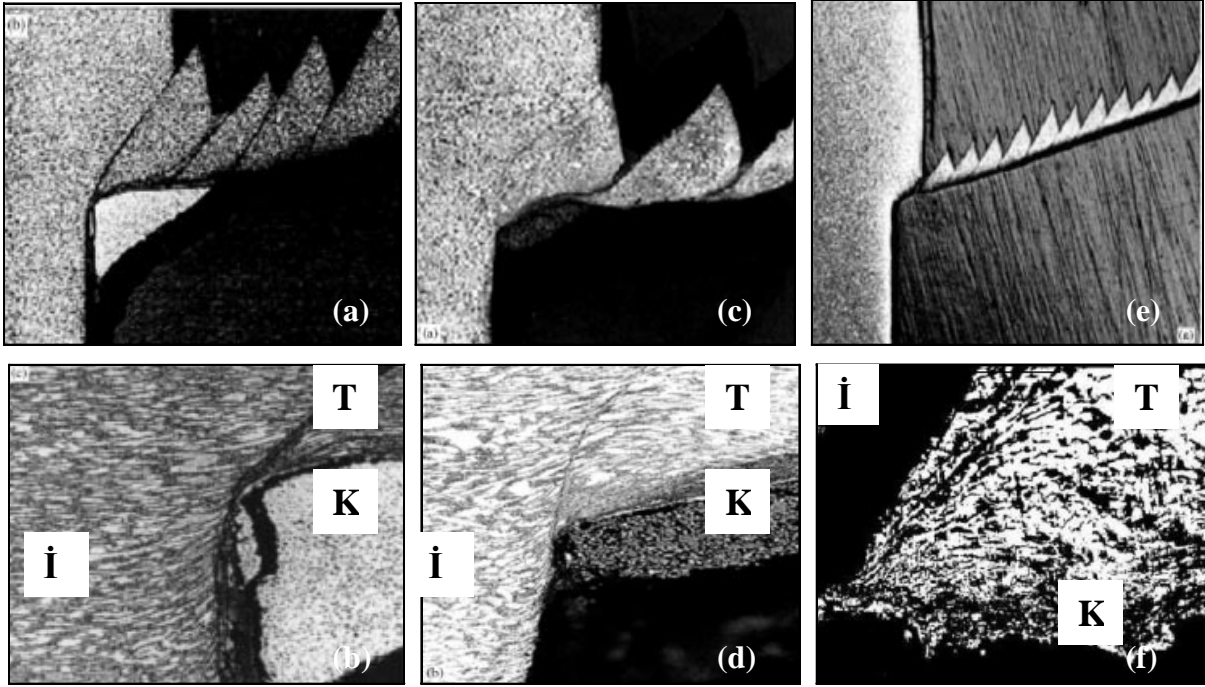
tarafında olduğu ve en az aşınmanın PCD takımında meydana geldiği tespit edilmiştir [14].

Burada önemli olan bir nokta, kaplamalı karbürün aşınma profilidir. Şekil 10 (b)'de görülen düşey profilde, kaplamanın tamamının koptuğu anlaşılmaktadır. Özellikle CVD olmak üzere, kaplamalı takımların kimyasal reaksiyon eğilimleri yüksektir ve kimyasal reaktifliği yüksek olan titanyumla reaksiyona girerek yapışma mekanizmasının daha etkili olmasına sebep olurlar. Bunun yanında, kopma mukavemetlerinin ve tokluklarının düşük olması nedeniyle, kaplamalı takımlar çoğu zaman tercih edilmezler [8,11,14,16].

Krater aşınması üzerine yapılan bir başka deneyde, ani-durma yöntemi kullanılmıştır. Bu deneylerde krater, aniden kesme ortamından uzaklaştırılarak takım/talaş ayrılması benzeştirilmekte ve ardından takım ile talaş incelenmektedir. Kaplamalı karbür, CBN ve PCD



Şekil 10. Statik Yapışma Deneyi Sonucunda Elde Edilen Yüzeyler: (a) Kaplamalı Karbür, (b) Kaplamalı Karbürün Düşey Aşınma Profili, (c) CBN, (d) PCD [14].



Şekil 11. Ani Durma Deneyleri Sonucu Elde Edilen Talaş ve Talaşın Altına Yapışan Takım parçaları (İ : İş Parçası, T : Talaş, K : Kopan Parça) : (a) Kaplamalı Karbür (100X), (b) Kaplamalı Karbür (200X), (c) CBN (100X), (d) CBN (200X), (e) PCD (100X), (f) PCD (400X) [8,14].

takımlarla yapılan “ani durma” deneyleri sonucu elde edilen talaş ve talaşın altına yapışan takım parçalarına ait resimler, Şekil 11’de gösterilmiştir [8,14].

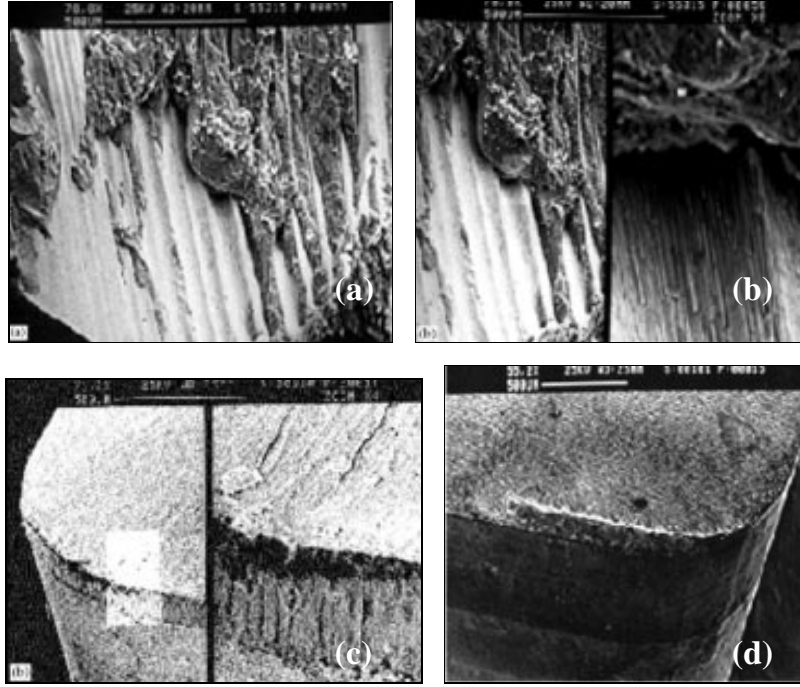
Krater aşınmasının benzeştirildiği bu deneyde, Şekil 11’de görüldüğü gibi kaplamalı karbürden, diğer takımlara göre büyük bir parça kopmakta, CBN takımında küçülen parça büyüklüğü PCD takımında en küçük boyuta ulaşmaktadır.

Ayrıca, PCD takımdan kopan parça, diğer takımlardan kopan parçaya göre küçük olsa da Şekil 11 (f)’de görüldüğü gibi ayrılma yüzeyi daha pürüzlüdür. Bu durum oluşan bağın daha kuvvetli olmasıyla açıklanabilir [8,11,14].

Aynı deneyde bu defa takım incelenirse Şekil 12’de gösterildiği gibi, kaplamalı karbür takımın üzerinde takım üzerine yapışmış, iş parçasına ait eriyikler olarak niteleyebileceğimiz kalıntılar ve bu eriyiklerin kopartılıp alınması ile oluşan akış yönüne paralel kanallar görülür.

Oluşan kanallara daha yakından bakıldığında kanalların pürüzsüz bir aşınma yüzeyine sahip olmaları bu olayda "difüzyon aşınması"nın da etkili olduğunun bir göstergesidir [6,8,10,14].

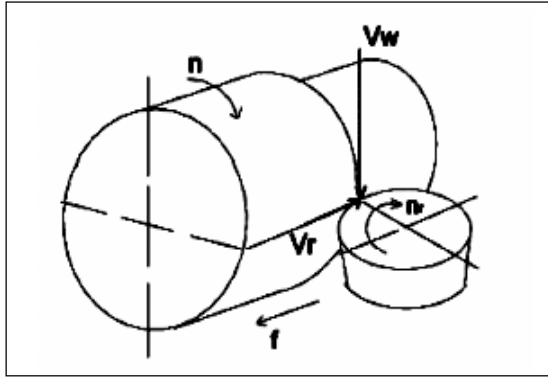
CBN ve PCD takımlara baktığımızda ise, özellikle PCD takımında aşınmanın önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. CBN takımın direnci takım malzemesinin titanyuma karşı kimyasal kararlılığının olmasına bağlanabilir. PCD takımın üstün direnci, çeşitli şekillerde açıklanmaya çalışılmıştır. Bu teorilerden biri, takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasında, aşınma eğilimini azaltan çok kararlı, doymuş ve sağlam bir yapının oluştuğunu öngörmektedir. Bir süre sonra takımdan kopan parçanın ayrılma yüzeyinin diğer takımlara göre daha pürüzlü olması bu teoriyi desteklemektedir [8,11,14]. Titanyumun işlenmesi açısından takım malzemelerinin performansı Tablo 2’de özetlenmiştir.



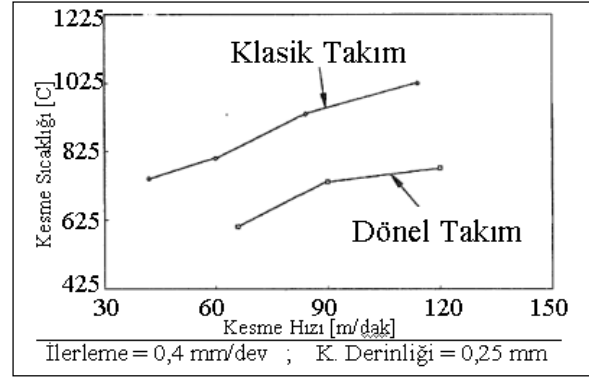
Şekil 12. “Ani Durma” Deneyleri Sonucu Elde Edilen, Takım Yüzeyine Ait Resimler : (a) Kaplamalı Karbür; (b) Kaplamalı Karbür (kanallar), (c) CBN, (d) PCD [8,14].

Tablo 2. Titanyumun İşlenmesinde Çeşitli Takımların Performansı [8,10,11,14,16,17].

Seramik Takımlar	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Isıl iletkenlikleri düşüktür. Malzemeden uzaklaşmayan ısı, takımdan da uzaklaşamaz ve ısıl tabanlı aşınma mekanizmaları üst düzeyde etkili olur, ❖ Titanyum işlenirken, krater + serbest yüzey aşınması ile oluşan kırılmanın, yüksek gerilmelerin ve değişken yüklerin gerektirdiği “tokluk” özelliği, seramiklerin en büyük eksikliğidir, ❖ Titanyumla tepkime eğilimleri oldukça yüksektir. ❖ Bu sebeplerden dolayı tavsiye edilmezler.
Hız Çeliği Takımlar	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Oluşan yüksek ısı ve gerilmeler sonucu, kısa sürede plastik deformasyona uğramakta ve ardından kırılmaktadırlar. ❖ Aralıklı kesme işlemleri dışında tavsiye edilmezler.
Kaplamalı Karbür Takımlar	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Özellikle CVD olmak üzere, yukarıdaki deney sonuçları da düşünülürse tavsiye edilmezler. Kaplama, kısa sürede kopmaktadır.
Kaplamasız Karbür Takımlar	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Kaplamalı olanlara göre daha iyi sonuç vermektedirler. Bunun sebebi, kaplamalı karbürlerde, takım ana malzemesinin kaplama ile birlikte koparılmasıdır. ❖ Karbür takımlar arasında, özellikle K sınıfı tungsten karbür takımlar, tokluk için %6’lık kobalt eklenmesi ile, genel amaçlı talaş kaldırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sementit karbür ise, iyi sonuçlar vermemektedir.
CBN ve özellikle PCD Takımlar	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aşınmalara karşı çok iyi direnç göstermektedirler. Diğer taraftan, pahalı oluşları, kullanımlarını kısıtlamaktadır. Ancak, ince işlemlerde yüksek yüzey kalitesi ve uç değiştirme sıklığının azalması ile alakalı olan kalite tutarlılığı isteniyorsa, tercih edilmelidirler.



Şekil 13. Dönel Kesici Takım : (a) Çalışma Prensibi [5],



(b) Kesme Hızı/Sıcaklık Grafiği [11].

Titanyumun işlenmesinde Şekil 13 (a)'da gösterilen dönel takımlar da kullanılmaktadır. Yuvarlak bir ucun kendi eksenini etrafında döndürülmesi ile kesme bölgesinde takımın farklı kısımlarının işleme katılması prensibine dayanan bu takımların, takım ömrüne ve yüzey kalitesine önemli katkıda bulunduğu söylenebilir. Kesme kuvvetlerinde, kesme sıcaklığında yaşanan düşme sonucu malzemedeki mukavemet artışına bağlanabilecek küçük bir artış yaşanmaktadır. Ancak, titanyumun işlenmesinde temel sorunlardan olan, ısının uzaklaşma zorluğu, takımın aktif kısmının sürekli değişmesi ile aşılmaktadır. Şekil-13 (b)'de de görülen bu durum, temas süresinin azalmasını yanında, ısınan kısmın soğumak için fırsat bulmasına da bağlanabilir.

Yapılan deneylerde elde edilen serbest yüzey aşınması değerlerine göre, örneğin 360 m/dak'lık kesme hızında, 0.2 mm'lik bir aşınma, klasik takımda 0.8 dakikada meydana gelirken, dönel takımında bu süre 33 dakika olmaktadır. Kesme sıcaklığındaki düşüş sayesinde, baskın olan ısıl tabanlı aşınma mekanizmaları da etkisini yitirmekte ve takım ömrü ortalama 40 kat artmaktadır. Takım ömrü arttığı için kesme hızının geleneksel işlemeye göre çok daha yüksek değerlere çıkarılabilmesi ve verimliliğin artması; takım ömründeki artışın dönel takımın sürekli olarak dönen 37 takım gibi olduğu düşünüldüğünde ise reel olarak 1.7 kat olması, çok sayıda uç yerine yalnızca bir ucun takılması ve toplam ayar zamanının büyük ölçüde azalması, sürekli

olarak takım değiştirilmediği için kalite tutarlılığının olması dönel takımın başlıca avantajları olarak sayılabilir. Ancak, dönel takımlar, karmaşık iş parçaları için kullanılmayan, çok rijit sistemlere ihtiyaç duyan ve yuvarlak uç kullanıldığı için en yüksek talaş derinliği değerinin sınırlı olduğu takımlardır, bu nedenle yaygın olarak kullanılmazlar [5,11].

KAYNAKÇA

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, Sf : 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, Sf : 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, Sf :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, Sf : 653-661.
6. Che-Cheron C.H., "Tool Life and Surface Integrity in Turning Titanium Alloy", Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 118, 2001, Sf :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, Sf : 2271-2285.
8. **Nabhani F.**, "Machining of Aerospace Titanium Alloys", Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Cilt : 17, 2001, Sf : 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, Sf : 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, Sf : 329-334.
11. **Ezugwu E.O., Wang Z.M.**, "Titanium Alloys and Their Machinability-a Review", Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 68, 1997, Sf : 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, Sf : 142-148.
13. **Schueler J.K., Tlustý J., Smith S., Leigh E.**, "Advanced Machining Techniques on Titanium Rotor Parts", American Helicopter Society, 56th Annual Forum, Virginia Beach, VA, 2-4-Mayıs-2000
14. **Nabhani F.**, "Wear Mechanisms of Ultra-Hard Cutting Tools Materials", Journal of Materials Processing Technology, Cilt : 115, 2001, Sf : 402-412.
15. "Titanium Industries inc. - Data and reference guide", 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
17. "Machining titanium & its alloys" www.supraalloys.com/machining_titanium.htm
18. "Details of titanium" www.kobelco.co.jp/titan/e/details.pdf
19. "Materials" <http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/eod/pdf/material.pdf>

ODA DERGİLERİ 2005 YILI ABONE FORMU

Adı-Soyadı :

Meslek :

İşyeri Adı :

Adres ve Posta Kodu :

Telefon :

e-posta :

Kayıtlı Olduğunuz ODA :

Oda Sicil No :

İSTENİLEN DERGİ

Dergi

Yıllık Abone Bedeli

- [] Mühendis ve Makina.....30 YTL
- [] Endüstri Mühendisliği.....15 YTL
- [] Tesisat Mühendisliği.....18 YTL

Tek Dergi Bedelsiz Mühendis ve Makina Endüstri Mühendisliği Tesisat Mühendisliği

Ödenen Miktar :

Ödeme Şekli :

Gereğini bilgilerinize sunarım.

Tarih / / 2005 İmza

- 96954 No.lu Posta Çeki hesabına, fotokopisiyle beraber bir dilekçe
- İş Bankası Yenişehir/ANK. Şb. 4218 89872 Hs. Banka dekontu ile beraber bir dilekçe

