



**Makale
(Article)**

Yüksek Basınçlı Soğutma Sistemiyle İşlenmiş Titanyum Alaşımlardaki Kalıntı Gerilmelerin X-ışını Kırınımı Metodu ile İncelenmesi

Lokman YÜNLÜ*, Oğuz ÇOLAK*, Cahit KURBANOĞLU**

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fak., İmalat Müh. Böl., 32260 Isparta/TÜRKİYE

**İstanbul Medeniyet Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Makine Müh. Böl., 34730 İstanbul/TÜRKİYE

lokmanyunlu@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi: 31.12.2013

Kabul Tarihi: 03.05.2014

Özet

Bu çalışmada, süperalaşım havacılık malzemelerinin Yüksek Basınçlı Jet Soğutma (YBJS) şartları altında tornalanması sonucu meydana gelen kalıntı (artık) gerilmeler araştırılmıştır. Malzeme olarak, yorulmaya karşı mekanik dayanıklılığının ve korozyon direncinin yüksek olması ve bunun yanında yüksek sıcaklıklarda çalışma kabiliyetine sahip olmasından dolayı havacılık sektöründe sıklıkla tercih edilen Ti-6Al-4V süperalaşım malzeme seçilmiştir. Titanyum malzemenin tornalanması işleminde takım-talaş arayüzüne 6 ile 300 bar basınç aralığında soğutma sıvısı uygulanarak farklı soğutma sıvısı basınçlarının etkileri gözlenmiştir. Daha sonra, işparçasının yüzeyinden 150 µm derinliğe kadar olan mesafedeki kalıntı gerilmeler karşılaştırılmış ve numunelerin kalıntı gerilme eğrileri X-ışını kırınımı metoduyla tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalıntı gerilme, Yüksek basınçlı soğutma, X-ışını kırınımı, Titanyum alaşımlar.

Investigation of Residual Stresses by X-Ray Diffraction Methodology in Titanium Alloys Machined by High Pressure Jet Assisted Machining

Abstract

In this study, the residual stress of the superalloy materials of aerospace have been investigated; being turned under the conditions of high pressure jet assisted machining (HPJAM). Ti-6Al-4V that is preferred in the aerospace industry has been selected superalloy as a material, due to its capacity of functioning in high temperatures and its mechanical durability against fatigue and its high corrosion resistance. Coolant of 6 and 300 bars being applied on the interface of the tool-chip during the turning of Titanium material the effects of different cooling pressures have been observed. After that, residual stress from beneath the workpiece surface to 150 µm has been compared, and the graphics of the residual stress of the samples have been measured through X-ray diffraction method.

Keywords: Residual stress, High pressure cooling, X-ray diffraction, Titanium alloys.

Bu makaleye atıf yapmak için

Yünlü L., Çolak O., Kurbanoğlu C. **, "Yüksek Basınçlı Soğutma Sistemiyle İşlenmiş Titanyum Alaşımlardaki Kalıntı Gerilmelerin X-ışını Kırınımı Metodu ile İncelenmesi" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2014, (10) 35-44

How to cite this article

Yünlü L., Çolak O., Kurbanoğlu C. **, "Investigation of Residual Stresses by X-Ray Diffraction Methodology in Titanium Alloys Machined by High Pressure Jet Assisted Machining" Electronic Journal of Machine Technologies, 2014, (10) 35-44

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir bir gelişme potansiyeline sahip olan; havacılık, otomotiv ve biyomedikal sektörlerde titanyum gibi yüksek ısıya dirençli alaşımların tercih edilmesi bu malzemelerin üretim ve imalat yöntemlerinin de gelişmesini sağlamaktadır. Titanyum (Ti-6Al-4V) gibi süperalaşımlar işlenebilirlikleri zor malzemeler olduğundan istenen kalitede yüzey elde etmek zordur. Bu alaşımların işlenebilirliğini arttırmak için yüksek kesme hızları tercih edilmektedir. Yüksek kesme hızları; işleme anında kesme bölgesinde yüksek sıcaklıkların oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan bu yüksek sıcaklıkla birlikte malzemenin sahip olduğu zayıf termal iletkenlik kesici takımında krater aşınması meydana getirmektedir [1]. Birçok kesici takım tedarikçisi bu zorlukların üstesinden gelmek amacıyla yeni ve farklı takımları farklı kaplama türleriyle uygun kesme şartlarında kullanmayı amaçlayan çalışmalar yapmaktadırlar [2].

Bu zorlukların çözüm yollarından biri de yüksek basınçlı jet soğutma sistemidir. Bu yöntemde iş parçası ve kesici takım ara yüzeyine doğrudan püskürtülen yüksek basınçlı kesme sıvısı, hem talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan sıcaklığı düşürür hem de talaşları kesici takımdan uzaklaştırarak takım-talaş ara yüzey sürtünme alanını azaltılmaktadır [3].

Yüksek basınçlı jet soğutma/yağlama sistemi ile işleme, geleneksel işleme yöntemine göre kesme bölgesinde daha iyi bir termal ve mekanik kesme ortamı sağlaması sebebi ile yenilikçi bir yöntemdir. Bu yenilikçi alternatif metot; talaşın kırılmasında ve kesme bölgesinin soğutulmasında büyük ölçüde iyileşmeye yol açar [4]. Yüksek basınçlı soğutma ile işleme yöntemi metal kesme sektöründe malzeme kaldırma kabiliyeti ve verimliliği yönünde önemli bir artış göstermektedir. [5]. YBJS desteği ile tornalama işlemi; sıvı basıncına ve debisine bağlı olarak kesme bölgesindeki sıcaklığın düşürülmesi ve talaş kontrolü için etkili bir yöntemdir. Kesme sıvıları çevre ve üretim ekonomisi üzerine doğrudan bir etkiye sahiptir. Geleneksel soğutma yönteminden vazgeçerek kuru veya YBJS teknolojisi kullanılarak kesme sıvıları sarfiyatı ile tüketim maliyet düşürülebilir. Bu yöntem işleme sürecinin verimliliğinin yanı sıra çevre ile ilgili endişeleri ortadan kaldırır [6].

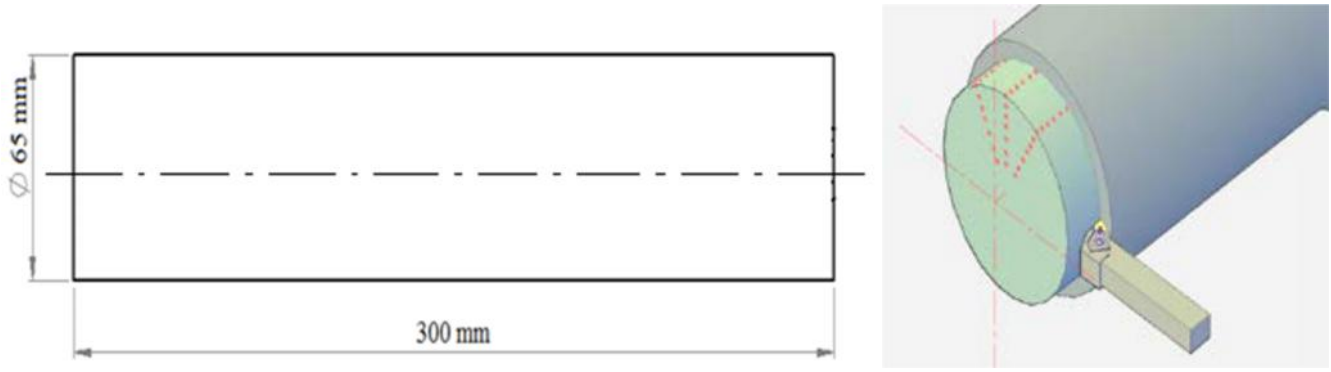
İşleme esnasında talaş ile kesici takım arasında adezyon kuvveti ya da yığıntı talaş oluşmakta buda kesici takım yüzeyinde bozulmalar ve malzeme kaybına sebep olmaktadır. İşleme esnasında oluşan bu olumsuzluklar talaş derinliğinde çentiğe neden olmakta ve takım aşınmasına sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda oluşan kimyasal reaksiyonlar, takım talaş arasında difüzyon aşınmasına neden olmaktadır. Süper alaşımlardaki sert aşındırıcı karbürler, kesilme esnasında kesici takımı önemli derecede etkilemekte ve aşınmayı hızlandırmaktadır. İşleme esnasında çıkan sürekli ve sert talaşların varlığı, kontrolü sağlamayı güçleştirmekte talaşların takım yüzeyinde krater oluşturmaya sebebiyet vermektedir.

Bu ve benzeri sebeplerden dolayı, süperalaşım malzemelerin işlenmesinde daha kısa takım ömrü ve yüzey kalitesinde daha yüksek Ra sonuçları elde edilmektedir. İşleme esnasında parça yüzeyinde ve alt tabakasında oluşan termal gerilmeler ve artık gerilmeler işlenen elemanın mekanik gerilim ve korozyon özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir [7]. Son zamanlarda işlenen malzemenin işleme performansını ve yorulma ömrünü belirleyen, işleme koşulları ve artık gerilmeler arasında ilişki kuran çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Kalıntı gerilmeler üretimden/imalatıktan sonra parçanın içerisinde kaldığından kullanım sırasında dışarıdan uygulanacak olan gerilmeler kalıntı gerilmelerle birlikte parçaya etki eder. Bu nedenle kalıntı gerilim içeren bir parçada, parçaya etkiyen gerçek yükleme durumu analiz/hesaplama sonucunda tahmin edilenden çok farklı olabilir. Kalıntı gerilmeler üretilen malzemenin servis ömrünü doğrudan etkilerler. Çekme kalıntı gerilmeler malzemenin yorulma ömrünü azaltıp erken bir hasara neden olabilirken basma kalıntı gerilmelerin malzemenin yorulma ömrünü artırıcı etkisi vardır [8].

2. MATERYAL ve METOT

2.1. İşparçası ve Kesici Takım Malzemesi

Tornalama deneylerinde kullanılan Ø 65 mm ve 300 mm boyutlarındaki Ti-6Al-4V' numunenin ölçüleri Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tornalama işleminde kullanılan Ti-6Al-4V malzemeye ait ölçüler.

Titanyum ve alaşımlarını uçak ve uzay sanayinde tercih sebebi yapan kilit özellikleri; yüksek özgül mukavemet, yüksek yorulma dayanımı, yüksek sürünme dayanımı ve yüksek kırılma tokluğu olarak sıralanabilir [1]. Malzemeye ait kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 1 ve 2’ de verilmiştir.

Tablo 1. Ti-6Al-4V Alaşımının Kimyasal Özellikleri

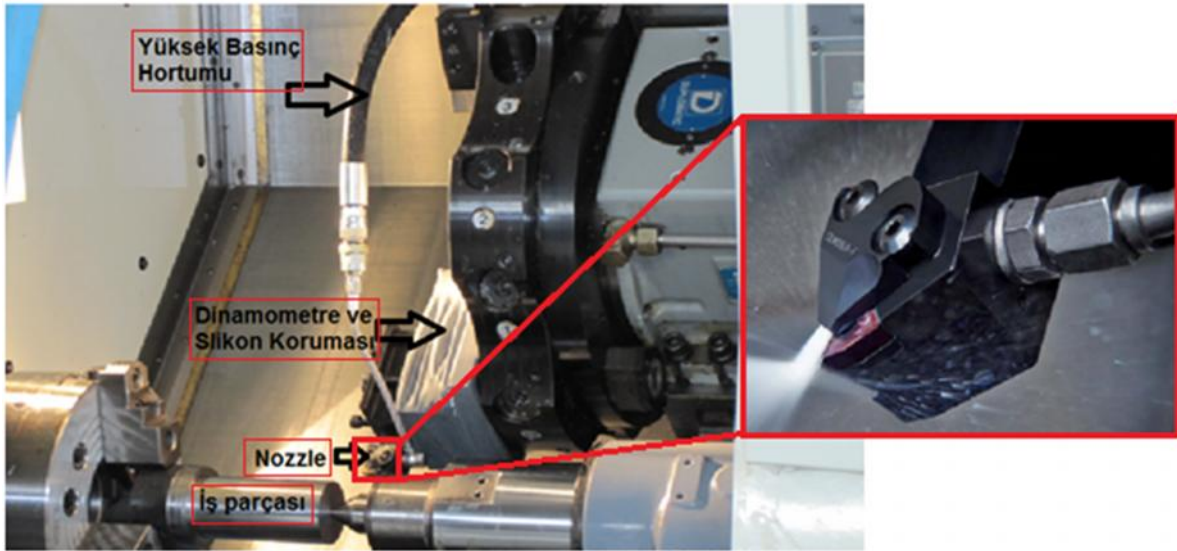
N	C	H	Fe	O	Al	V	Ti
0.05	0.08	0.015	0.40	0.20	6.75	4.5	Diğer

Tablo 2. Ti-6Al-4V Alaşımının Mekanik Özellikleri

Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Elastik modül (GPa)	Sertlik HRc	Yoğunluk (g/cm ³)	Erime noktası (°C)	Isıl iletkenlik (W/mK)
896	827	115	36	4.42	1650	6.6

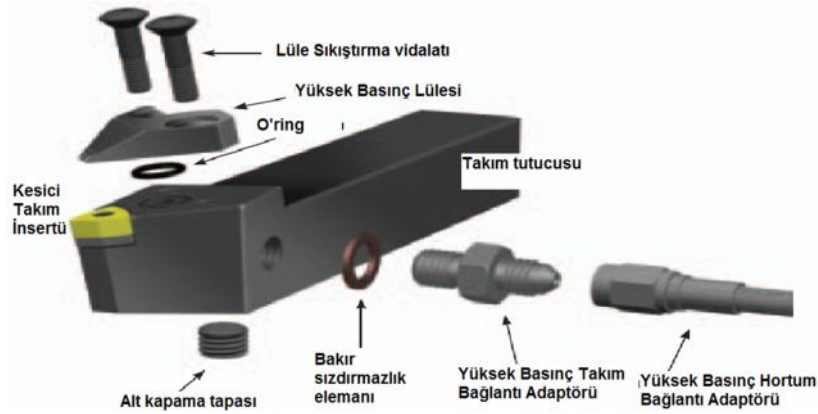
2.2. Yüksek Basıncılı Jet Soğutma Sistemi

Bütün deneyler 50 – 4000 iş mili devir aralığı ve 15 kW motor gücüne sahip ALEX ANL-75 CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Yüksek basınçlı jet soğutma sistemi torna tezgahına yüksek basınca dayanıklı bağlantı ekipmanları ile entegre edilmiştir. Soğutma sisteminde bir adet maksimum 350 bar sıkıştırma basıncında ve 21 l/dak akış debisinde yüksek basınç pompası bulunmaktadır. Soğutma/yağlama sıvısı olarak 5% bor yağı konsantrasyonunda kesme sıvısı kullanılmıştır. İşleme merkezine entegrasyonu yapılan yüksek basınçlı jet soğutma sistemine dair ekipman ve düzenekler Şekil 2’de verilmiştir. Şekilde yüksek basınç pompasından gelen soğutma sıvısının hidrolik basınca dayanıklı hortum vasıtasıyla takım tutucuya yapılan bağlantısı görülmektedir.



Şekil 2. YBJS sisteminin CNC Torna tezgahı üzerine montajı

Soğutma sıvısı SECO Jet Stream PCLNR takım tutucu kullanılarak takım talaş arayüzüne 1,3 mm çaplı tek kanallı lüle ile enjekte edilmiştir. Kesme işleminde (Ti,Al)N+TiN kaplamalı karbür takım kullanılmıştır. Jet Stream takım tutucu sisteminin yapısı Şekil 3’de verilmiştir. Isıya dirençli malzemelerin tornalanması, mümkün olan en yüksek kaliteye sahip ileri teknoloji ürünü kesici takımların kullanılmasını gerektiren zorlu ve zahmetli bir işlemdir [9].



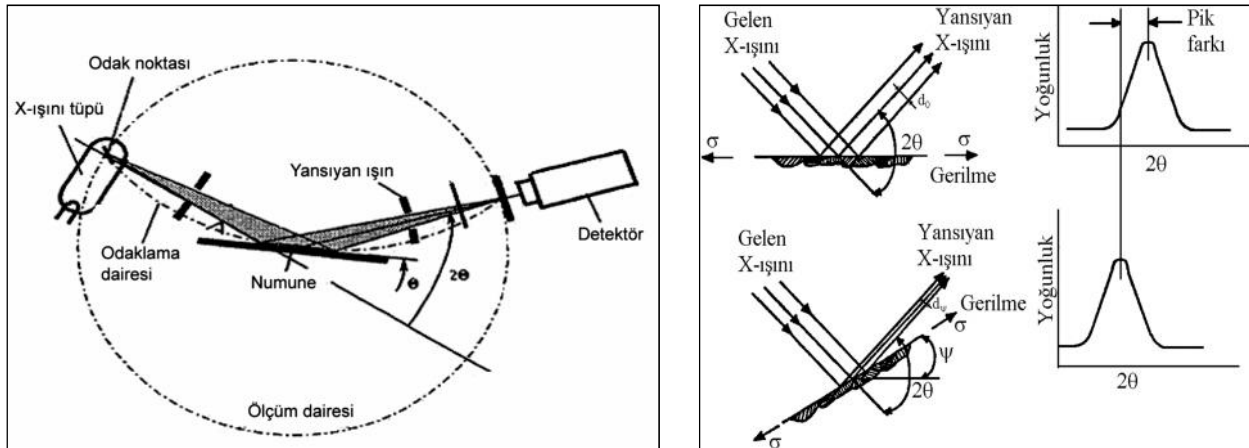
Şekil 3. Deneylerde kullanılan Jet Stream kesici takım tutucu ve bağlantı ekipmanları

2.3. X- ışını Kırınım Metoduyla Kalıntı Gerilme Ölçümü

Kalıntı gerilimler üretilen malzeme içerisinde dengelenmiş bir halde bulunurlar. Parçanın bir bölgesinde varolan basma kalıntı gerilimler, diğer bölgelerdeki çekme kalıntı gerilimler tarafından dengelenirler ve malzeme içerisinde bir kalıntı gerilim dağılımı meydana gelir. Malzeme seçimi ve tasarımı, kullanılacak malzemenin içindeki kalıntı gerilim dağılımının önceden bilinmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle kalıntı gerilimlerin ölçülmesi günümüzde oldukça yaygınlaşmış bir mühendislik uygulamasıdır. Kalıntı gerilim ölçümleri için tahribatlı testler uzun zamandır verimli olarak kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemlerin, ölçüm yapılacak malzemeye zarar vermesi ve çalışan parçalara uygulanmasındaki zorluklar nedeniyle günümüzde tahribatsız tekniklerle kalıntı gerilim ölçme uygulamaları yaygınlaşmaktadır [10].

Kalıntı gerilmeler çeşitli üretim/imalat aşamalarından sonra parçada kalan elastik gerilmelerdir. Kaynaklı imalat, döküm, yüzey işlemleri ve ısı işlemler sonucunda malzeme içerisinde homojen olarak dağılmadan kalan plastik deformasyonlar veya ısısal değişimler, kalıntı gerilim oluşmasındaki ana nedenlerdendir. Kalıntı gerilmeler parçada gerilme korozyon çatlamasına, sürünmeye, çarpılmaya, aşınmaya, kırılmaya yorulma çatlamasına ve zamansız hatalara yol açabilir [11]. Üretim sırasında oluşan zararlı kalıntı gerilmeleri mümkün olduğu kadar kontrol altına almak imalat yöntemlerini sürekli geliştirmekle sağlanabilir.

Artık gerilmeleri teorik olarak hesaplamak oldukça zordur, fakat deneysel olarak ölçümü nispeten kolaydır. Artık gerilmelerin ölçülmesinde X-ray diffraction metodu, kabuk kaldırma metodu (mekanik ve elektrokimyasal) ve delik açma metodu gibi pek çok teknikler vardır. Bunların içinde en yaygın ve pratik olarak X ışını kırınımı yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle, artık gerilme olmamış haldeki numunenin ölçüm değerlerine gereksinim duyulmaksızın artık gerilmeler tespit edilebilmektedir. X ışını kırınımı yönteminin dezavantajı ise, X-ışınlarının mikronun sadece onda birkaçı kadar yayılmasından dolayı, yüzeydeki artık gerilmelerinin ölçülebilmesidir [12]. Tornalama işlemi gibi termo-mekanik işlem yapılmış numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru artık gerilme değerlerinin elde edilmesinde, elektrolitik parlatma ile tabaka kaldırılarak istenilen derinliklerdeki artık gerilme değerleri ölçülmektedir [13]. Artık gerilmelerin tespiti, Hooke Kanunu'na göre atomik kafes içindeki birim şekil değiştirmelerin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Numunenin yüzeyine gönderilen X-ışını, aşağıda denklem 1'de verilen Bragg Kanunu'na göre ve Şekil 4'de gösterildiği gibi, 2θ açısında kırınım göstererek yansıma yapar [14].



Şekil 4. X-ışını kırınım metodu uygulamasının şematik gösterimi [14].

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

Burada n ; yansıyan ışının sayısı, λ ; monokromatik radyasyonun (tek renkli ışınım) dalga boyu, d ; iki bitişik paralel düzlemin atomları arasındaki mesafedir (düzlemler arası mesafe). Dalga boyu sabit tutulursa, herhangi belirli düzlem üzerindeki atomlar gelen X-ışınlarının belirli bir açıda kırılmasına neden olur. Yansıyan X-ışınları huzmesi kesişir ve numune çevresinde bulunan film üzerinde iz bırakır. Sadece düzlemler arası mesafeleri Bragg kanununu sağlayan düzlemlerde, radyasyon konisi filmi keser. Film analiz edilerek 2θ açısı hesaplandığında düzlemler arası mesafe belirlenebilir. Numune ψ açısı kadar eğilirse, atomik düzlemler de ψ açısı kadar eğilecektir. Eğer numunede artık gerilme yoksa kırılan eğrilerin ikisi de üst üste gelecektir. Ancak eğer artık gerilme varsa farklı yönlerdeki atomik düzlemler sıkışacak veya genişleyecek ve pik değeri değişecektir.

Gerilme, σ , aşağıdaki denklem 2'de verilen eşitliğe bağlı olarak tespit edilir [14].

$$S = \frac{E}{1+n} \cdot \frac{1}{\sin^2 \gamma} \cdot \frac{(d_\gamma - d_o)}{d_o} \quad (2)$$

Burada,
 d_γ ; γ eğim açısındaki düzlemler arası mesafe,
 E ; Elastisite modülü,
 ν ; Poisson oranı.

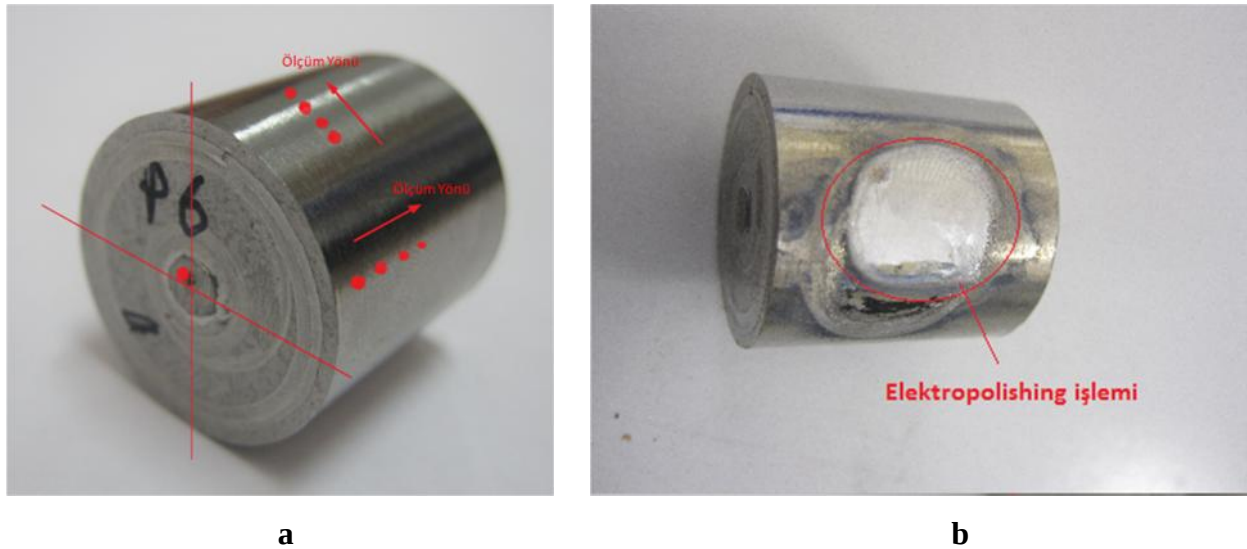
2.4. Elektro-Parlatma Cihazı

Kalıntı gerilme ölçüm esnasında X-ışınları işparçası yüzeyinden 5 μm kadar derinliğe nüfuz edebilir, daha derinlerdeki kalıntı gerilmenin tayini ancak elektro-parlatma işlemi vasıtasıyla tabaka kaldırma yapılarak kalıntı gerilme değeri ölçülebilir. Parlatma işleminin yapıldığı parlatma cihazı Şekil 5’de verilmiştir. “STRUER_Lectropol-5” marka elektro-parlatma cihazı yüzeyden ölçüm alma sırasında gerekli çözeltiler kullanılarak belirlenen kalınlıkta parlatma işleminde kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 15 μm mesafede bir parlatma işlemi uygulanarak 10 adımda toplam 150 μm derinliğe kadar tabaka kaldırılmış ve yüzeyden gerilme değeri ölçülmüştür.



Şekil 5. STRUER_Lectropol-5 Elektro-parlatma cihazı

Kalıntı gerilme değerlerinin ölçüldüğü titanyum malzemelere ait resimler Şekil 6’da verilmiştir. Numune üzerinde belirlenen yönlerde (şekil 6, a) aksenal ve teğetsel olmak üzere iki yönde kalıntı gerilme değeri ölçümü yapılmıştır. Ölçümü yapılan her bir gerilme değerinden sonra yapılan parlatmanın iş parçası yüzeyindeki etkisi şekil 6, b de gösterilmiştir.



Şekil 6. Kalıntı gerilme ölçümü yapılan numune; işparçası ve ölçüm yönleri (a) ile tabaka kaldırma işleminin malzeme üzerindeki etkisi (b).

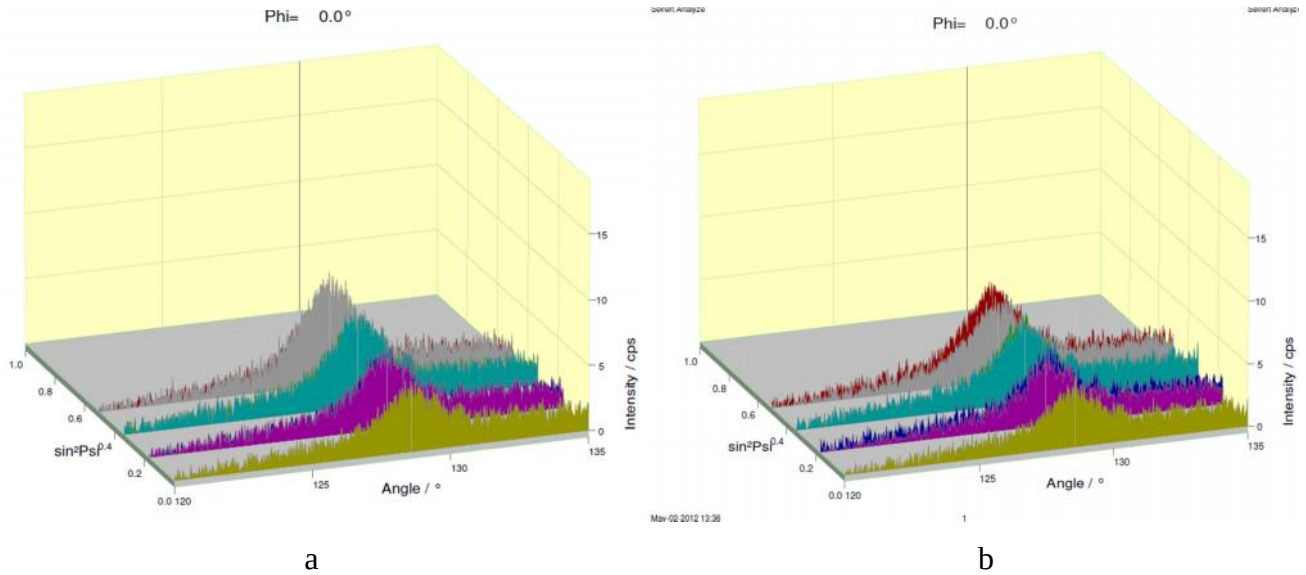
Numuneler üzerinde belirlenen ok yönlerindeki noktalardan (eksenel ve teğetsel) gerilme değerleri ölçülmüştür. Alınan ölçümlerin o yüzey için ortalamasını alarak bu yüzeyin ölçümü tamamlanmış ve bir sonraki parlatma işlemi uygulanıp sonrasında ölçüm işlemi yine aynı yönlerden ortalaması alınarak devam edilmiştir. Burada kalıntı gerilme grafiğinin net bir şekilde çizilebilmesi için 10 adet parlatma işlemi belirlenmiş ve her bir parlatma işleminden sonra kalıntı gerilme ölçümü alınmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI

Tornalama işlemi esnasında yüzeydeki ve yüzey altındaki bölgelerin soğuma hızı farklıdır. Yüzey soğuduğunda büzüşmeye çalışır buna karşın hacimce genişlemiş sıcak alt katmanlar buna izin vermez. Sonuçta gerilmeler kendini dengeleme ihtiyacı duyacağından yüzeyde çekme kalıntı gerilmeleri meydana gelir.

Ti-6Al-4V süperalaşım havacılık malzemesinin yüksek basınçlı jet soğutma sistemi yardımıyla tornalanması sonucu, malzemede oluşan kalıntı gerilme ölçümüne ait X-ışını pik değerlerine ait grafik Şekil 7' de verilmiştir. Bu grafik, X-ışını kırınım grafiği olarak adlandırılır. X-ışını kırınımı yönteminde malzemeye gönderilen X-ışınları malzeme içerisindeki kristal düzlemlerden yansır. Bu sırada malzemeye gelen ışınların yönü değiştirilerek en çok yansımanın olduğu açı bulunur. Bulunan açı ve Bragg yasası kullanılarak iki atomik düzlem arasındaki mesafe hesaplanır. Malzeme içerisinde kalıntı gerilmeler mevcutsa bu mesafe parçanın gerilim olmayan haline göre değişiklik gösterir. Bu özellikler kullanılarak parçanın içerisinde kalan kalıntı gerilmeler hesaplanır.

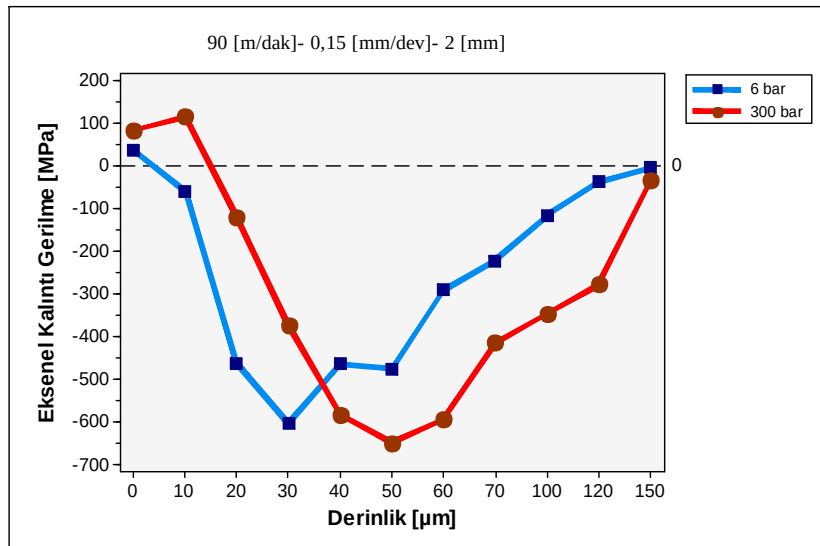
Kalıntı gerilme ölçümü yapılan numunelerin ortak işleme parametreleri olarak; 6 bar (geleneksel) ve 300 bar (yüksek basınç) soğutma sıvısı basıncı için 90 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme oranı ve 2 mm kesme derinliği seçilmiştir. Bu işleme parametrelerinde her iki basınçta soğutma için numunenin yüzeyindeki X-ışını pik değerleri Şekil 7' de verilmiştir.



Şekil 7. Geleneksel soğutma; 6 bar (a) ve 300 bar (b) soğutma şartlarında işlenen malzemedeki pik değerleri.

X-ışını kırınımı metodu kalıntı gerilimlerin bulunmasında oldukça doğru sonuçlar veren bir yöntemdir. Kristal yapı içerisinde bulunan atomik düzlemler arasındaki mesafe, uygulanan gerilimler veya malzeme içerisinde kalan kalıntı gerilimler sayesinde uzayıp kısalır. Bu mesafenin artması o bölgede oluşan bir çekme gerilimi ifade ederken mesafenin azalması ise basma gerilimlerin varlığını gösterir. Bu bilgiler doğrultusunda hesaplanan Ti-6Al-4V süperalaşım malzemenin 6 ve 300 bar soğutma basıncında tornalanması sonucu eksenel ve teğetsel kalıntı gerilme değişim sonuçları şekil 8 ve 9’da verilmiştir.

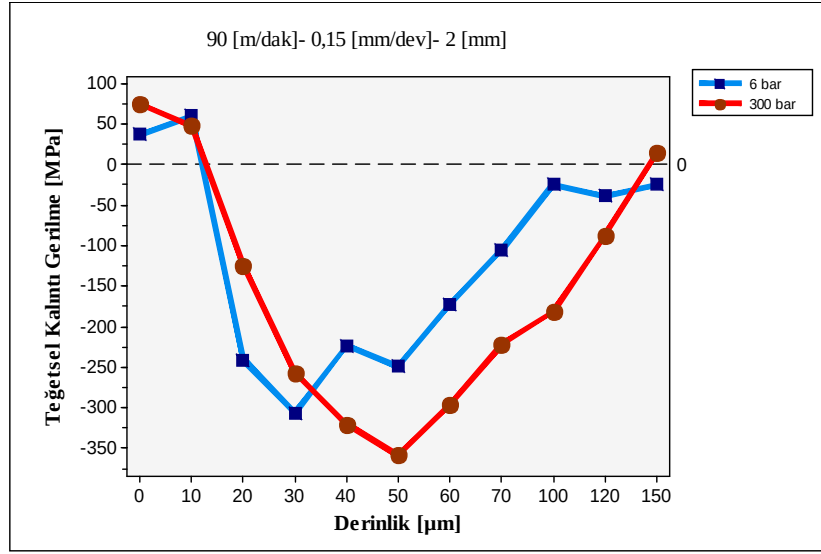
Tornalama işlemi termo-mekaniksel bir yöntemdir. Bu işlem; malzemenin yüzeyinde ve alt tabakalarda çekme-basma gibi kalıntı gerilmelerin oluşumuna sebep olmaktadır. Talaş kaldırma esnasında takımın eksenel ve teğetsel hareketi sebebiyle her iki yönde kalıntı gerilme bileşenler ortaya çıkmaktadır.



Şekil 8. Eksenel yöndeki kalıntı gerilme değişimi

Şekil 8’de 6 ve 300 bar soğutma basıncında, 90 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme oranı ve 2 mm kesme derinliğinde işlenen numunenin eksenel kalıntı gerilme dağılımı görülmektedir. Numunede ölçülen maksimum eksenel çekme kalıntı gerilmesi; 6 bar için yüzeyde ölçülürken 300 bar için 10 µm derinlikte

ölçülmüştür. Maksimum basma kalıntı gerilmesinin ölçüldüğü derinlik ise 6 bar için 30 μm derinlikte ölçülürken 300 bar için 50 μm derinlikte ölçülmüştür.



Şekil 9. Teğetsel yöndeki kalıntı gerilme değişimi

Sekil 9'da daha önce ifade edilen her iki soğutma sıvısı basıncı ve işleme parametreleri için teğetsel kalıntı gerilme dağılımı görülmektedir. Numunede ölçülen teğetsel yöndeki maksimum çekme kalıntı gerilmesi; 6 bar için 10 μm derinlikte ölçülürken 300 bar için yüzeyden ölçülmüştür. Teğetsel yöndeki maksimum basma kalıntı gerilme değerine eksenelde ölçülen derinliklerle aynı değerlerde ulaşılmıştır.

6 ve 300 bar soğutma basıncında, malzemede oluşan maksimum çekme kalıntı gerilmeleri eksenel ve teğetsel yönlerin her ikisinde de yüzeye yakın bölgede olduğu gözlenmiştir. 6 bar için teğetsel yöndeki maksimum basma kalıntı gerilme değeri 30 μm derinlikte oluşurken 300 bar için bu değer 50 μm derinliğinde ölçülmüştür. 300 bar yüksek basınçta soğutma etkisinin bir sonucu olarak; basma kalıntı gerilme değerinin 6 bar da ölçülen değere göre daha fazla ölçülmüş olması basıncın kalıntı gerilme üzerindeki etkisini de ortaya koymaktadır. Her iki basınç için maksimum basma kalıntı gerilme değerleri karşılaştırıldığında; teğetsel yönde ölçülen değer eksenel yöne oranla yaklaşık iki kat fazla olduğu yine grafikten anlaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

Her iki basınç ve kalıntı gerilme yönünde ölçülen çekme kalıntı gerilmelerin; 10 μm derinlikten sonra ani bir şekilde basma kalıntı gerilmelere dönüştüğü görülmektedir. Bu da malzemenin sahip olduğu zayıf termal iletkenlik özelliğine sahip olmasının yanında yüksek basınçlı soğutma sisteminin kesme bölgesindeki sıcaklığın düşürülmesinde olumlu etkisinin bir sonucu olarak ifade etmek mümkündür.

Her iki yönde elde edilen kalıntı gerilme değerlerinde yüksek basıncın etkisiyle maksimum basma kalıntı gerilme değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu durum yüksek basıncın, sıcaklığın alt tabakalara ulaşmasını önlemede geleneksel yöntemlere göre daha etkili olması olarak açıklanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK ve Slovenya bilimsel araştırma kurumu (ARRS) tarafından 108M380 Projesiyle desteklenmiştir. Ayrıca Atılım Üniversitesi, Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi Laboratuvarına teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

1. Akyol, S., 2007, “Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Isıl İşlem Yardımıyla Arttırılması” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Surface Engineering Committee 2000, “Foresight in Surface Engineering,” Institute of Materials, London, October.
3. Ezugwu, E. O., Bonney, J., 2003, “Effect of High-Pressure Coolant Supply when Machining Nickel-Base, Inconel 718, Alloy with Coated Carbide Tools,” in Proc. of AMPT 2003, Dublin, pp 787-790.
4. C.Courbona, V. Sajnb, Kramar, D., Recha, J., Kosel, F., Kopac, J., 2010, “A Numerical Model To Analyze High Pressure Jet Assistance In Turning”, Proceedings of the 1th International Conference of Sustainable Life in Manufacturing, 70-76 Isparta ,TURKEY
5. Yünlü, L., Çolak, O., Kurbanoglu, C., 2013, “Chip Formation Analysis of High Pressure Jet Assisted Machining of Ti-6Al-4V”, Proceeding of the 4th International Conference on Sustainable Life in Manufacturing, SLIM2013, Fiesa, SI.
6. Kramar, D., Kopac, J., 2009, “High Pressure Cooling in the Machining of Hard-to-Machine Materials”, Journal of Mechanical Engineering 5511, 685-694.
7. Özçatalbaş Y., 1996, “1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
8. Asi, O., Can, A. Ç., 2001, “Sementasyon Çeliklerinde Körsertleştirilmiş ve Sementasyon Yapılmış Durumlarda Meydana Gelen Artık Gerilmelerin Karşılaştırılması”, Mühendislik Bilimleri Dergisi,7, 2, 183-187.
9. Wertheim, R., Rotberg, J., 1992, “Influence of High-Pressure Flushing through the Rake Face of the Cutting Tool,” Ann. CIRP, 41, 1, pp 101-106.
10. Yelbay, H. İ., 2008 “Tahribatsız Yöntemlerle Kalıntı Gerilim Ölçümündeki Gelişmeler”, 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, Istanbul Turkey,
11. Kafkas, F., 2009 “Tornalanmış Parçalardaki Kalıntı Gerilmelerin Sapma Yöntemi Kullanılarak Tahmini”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük, Türkiye.
12. Almen, J. O., Black, P. H., 1963. “Residual Stresses and Fatigue in Metals”, Mc Graw-Hill Book Company, Inc.
13. Prevey, P. S., 1997, “Problems with Non-destructive Surface X-ray Diffraction Residual Stress, Measurement”, Lambda Research Publications.
14. Yiğit, O., Dilmeç, M., Halkacı, H. S., 2008, “Tabaka Kaldırma Yöntemi ile Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması”, Mühendis ve Makina Cilt : 49 Sayı: 44