

# **AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN FARKLI KESME PARAMETRELERİ İLE TORNALAMA İŞLEMİNDEN SONRA OLUŞAN KALICI GERİLMELERİN ARAŞTIRILMASI**

**Özgür TEKASLAN, Nedim GERGER\* ve Ulvi ŞEKER\*\***

Teknik Bilimler Bölümü, Kara Harp Okulu, Dekanlığı, Bakanlıklar, Ankara

\*Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi Balıkesir

\*\*Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara

[tekaslan@yahoo.com](mailto:tekaslan@yahoo.com), [ngrger@balikesir.edu.tr](mailto:ngrger@balikesir.edu.tr), [useker@gazi.edu.tr](mailto:useker@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 16.06.2008 ; Kabul/Accepted: 16.04.2009)

## **ÖZET**

Kullanım alanlarına göre istenen mekanik ve kimyasal özelliklerin sağlanması için paslanmaz çeliklerin bileşimlerinde yapılan değişiklikler, paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini etkilemektedir. Bütün üretim işlemleri (ısıtma işlemi, talaşlı ve talaşsız imalat, kimyasal işlemler gibi) makine parçaları üzerinde kalıcı gerilmeler oluşturur. Özellikle talaş kaldırma yöntemlerine bağlı olarak malzeme üzerinde gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler, makine elamanları üzerinde yorulma dayanımını azaltacak ve boyutsal değişikliklere yol açabilecek zararlı etkilere de neden olabilir. Bu nedenle makine elamanlarındaki kalıcı gerilme değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu araştırmada, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme değişik kesme parametreleri ile işlendikten sonra, işlemeyle ilgili olarak bünyesinde nasıl bir kalıcı gerilme oluştuğunu belirlemek hedeflenmiştir. AISI 304 çeliğinden 61 mm çapında, 250 mm boyunda 31 adet deney numunesi hazırlanmış ve değişik kesme parametrelerinde CNC torna tezgâhında işlenmiştir. Daha sonra deney numuneleri üzerinde oluşan kalıcı gerilme, katman kaldırma yöntemi kullanılarak tespit edilmiş ve en uygun işleme parametreleri belirlenmiştir. Deney numunelerinin tornalama işlemi sonunda yüzeylerde maksimum -1876.69 MPa ile -136.71 MPa'lık basma kalıcı gerilmelerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Yüzeydeki basma kalıcı gerilmelerinin, katman kaldırılması ile 0.0465 mm derinlikten sonra çekme kalıcı gerilmelerine yöneldiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, kesme parametreleri, kalıcı gerilme, katman kaldırma yöntemi.

## **A STUDY ON RESIDUAL STRESSES FORMED ON AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEELS WHEN MACHINED WITH DIFFERENT CUTTING PARAMETERS**

### **ABSTRACT**

Changes made in the composition of stainless steels so as to provide the mechanical and chemical properties desired according to the fields of application affect also their machining. All production processes such as heat treatment, production with or without machining, and chemical processes create residual stresses on the machine parts. Stress on materials occurs due to especially the methods of machining. These stresses may as well render harmful effects that may cause a decrease in the fatigue strength of the machine elements, and eventually dimensional changes. Therefore, it is necessary to know the residual stress values on machine elements.

This study aims to determine the residual stress, depending on the process, occurring on the AISI 304 austenitic stainless steel material after it is processed under various cutting conditions. Thirty-one test specimens, of AISI 304 steel, with a diameter of 61 mm and 250 mm length were prepared and machined in CNC lathes with different cutting conditions. Later on, using "layer removal" method residual stresses on the specimens were found out, and the best processing conditions determined. A maximum of -1876.69 MPa and -136.71 MPa

compressive residual stresses on the surfaces have been found after the turning process of the test specimens. The compressive residual stresses on the surface, upon layer removal, turn to be tensile residual stresses 0.0465mm beneath the surface.

**Keywords:** AISI 304 austenitic stainless steel, cutting conditions, residual stress, method of layer removal.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bu çalışmanın amacı farklı kesme parametreleri ile silindirik tornalama işlemine tabi tutulan deney numunelerinde oluşan kalıcı gerilmelerin tespiti ve buna bağlı olarak kalıcı gerilme açısından en iyi işleme parametrelerinin belirlenmesidir. Paslanmaz çeliklerin özellikle tıp, havacılık, nükleer, gıda, savunma sanayi gibi birçok alanda gün geçtikçe kullanımı yaygın hale gelmektedir. Paslanmaz çeliklerin sahip olduğu yüksek çekme mukavemeti, korozyon direnci ile düşük ısıl iletkenlik, sünek bir malzeme olması, yüksek miktarda krom-nikel ve bir miktar molibden gibi mukavemet artırıcı elementlerin muhtevası ve işlerken pekleşme özelliği işlemeyi zorlaştıran başlıca etkenlerdir. İşlenebilirliğin zorlaşması imalatçılar için büyük sorun teşkil etmektedir [1-3].

Kalıcı gerilmeler, dış yükler kaldırıldığında parçada kalan gerilmeler olarak tanımlanabilir. Kalıcı gerilmeler makine elamanlarının çalışma performansı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Kalıcı gerilme üretilen parçaların sertliğine, mukavemetine ve ölçü hassasiyetine belli bir etki yaptığı için genellikle istenen bir durum değildir. Kalıcı gerilmeler makine elamanlarının yorulma dayanımını etkilemekte ve boyutsal değişikliklere neden olmaktadır. Kalıcı gerilmeleri zihinde canlandırmak, ölçmek veya mümkün olan yakınlıkta hesaplamak oldukça zordur [4].

Kalıcı gerilmelerin makine elemanları için ne kadar önemli olduğu ve bu kalıcı gerilmelerin mekaniksel, X-Ray, Nötron kırınımı, manyetik ve ultrasonik yöntemlerle ölçülebildiği çeşitli araştırmalarda görülmüştür. Bazı araştırmacılar yüzey altındaki kalıcı gerilmelerin işleme parametreleri ile ilişkisini araştırmışlardır [5-8]. İşleme parametrelerinin ve kalıcı gerilmelerin belirlenmesinde deneysel yöntemler çok önemlidir. Araştırmacılar buldukları modelleri belirli bir malzeme ve işleme parametrelerine göre oluşturmuşlardır. Bütün bu yöntemlerin belirlenmesinde deneysel sonuçlar yer almaktadır. Bazı araştırmacılar da sonlu elemanlar yöntemini ve yapay sinir ağlarını kullanarak kalıcı gerilmeyi hesaplamaya çalışmışlardır [9-19]. En sağlıklı sonucun deneysel yollarla elde edilebileceği düşünüldüğünden araştırmada, imalat sanayinde yaygın olarak kullanılan ve bazı işlenebilirlik problemleri ihtiva eden AISI 304 östenitik

paslanmaz çelik malzeme değişik kesme parametreleri ile işlendikten sonra, üzerinde işlemeye bağlı olarak nasıl bir kalıcı gerilme oluştuğunu belirlemek hedeflenmiştir. Bu amaçla deney parçası üzerinde katman kaldırma tekniği kullanılmıştır. Numunedeki şehimin ölçümü 0,0001 mm hassasiyetindeki Linear Gage ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Kalıcı gerilme ölçüm cihazında numune yüzeyinden art arda gelen katmanların kaldırılması için elektrokimyasal aşındırma yöntemi kullanılmıştır. AISI 304 paslanmaz çeliği, özellikleri itibarıyla işlenebilirliği düşük ve imalat sanayinde çok yaygın olarak kullanılan bir malzemedir.

## 2. DENEY DÜZENİĞİ VE METODOLOJİ (EXPERIMENTAL SETUP AND METHODOLOGY)

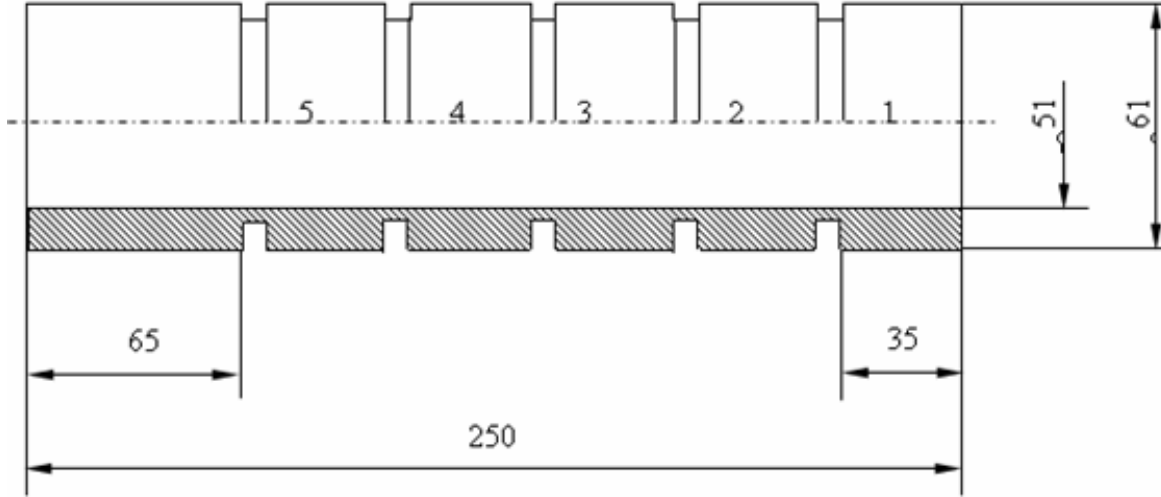
Bu çalışmada, deney numunelerinin hazırlanması için, AISI 304 östenitik dikişsiz paslanmaz çelik boru malzemeler piyasadan temin edilmiştir. Dikişli borularda ek yerlerinin kalıcı gerilmeyi etkileyebileceği düşünüldüğünden deneylerde özellikle dikişsiz boru kullanılmıştır. Kalıcı gerilmeyi katman kaldırma metoduna göre tespit edileceğinden ve dolu malzeme de iç kısmı boşaltmak için ilave bir işlem yapılması gerekeceğinden, bu durumun da malzemenin iç kısmında işlemeye bağlı kalıcı gerilmelerin oluşmasına neden olacağı değerlendirildiğinden, deney malzemesinin boru olmasına da ayrıca dikkat edilmiştir. Deneylerde kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz malzemenin spektral analizi; ticari bir firmada Spektrocast 11814/00 optik emisyon spektrometresi ile tespit edilmiştir. Deney numunelerinin belirlenen kimyasal bileşimi Çizelge 1’de, verilmiştir.

Çalışmada; tek bir deney numunesi üzerinde, Şekil 1’de gösterildiği gibi Çizelge 2’de belirlenen farklı kesme parametresi uygulanmıştır. Böylelikle kalıcı gerilmelerin ölçülmesi için, bir deney numunesinden beş parça elde edilmiştir.

Deney numunelerinin işlenmesinde takım üreticisi Mitsubishi firmasının katalogunda östenitik paslanmaz çelikler için önerilen M20 kalitesinde, SNMG 120408-MS formunda kesici uç ve buna uygun SBCR122525 takım tutucu kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin seçimi ISO 3685 (TS 10329)’a göre üretici firma verileri de

**Çizelge 1.** AISI 304 Östenitik Paslanmaz Malzemenin Kimyasal Bileşimi (% Ağırlık) (Chemical composition of AISI 304 Austenitic stainless steel (% Weight))

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
<0.0050	0.3885	2.173	>0.0960	0.0344	17.67	0.2983	14.71
Al	Cu	Nb	Ti	V	Bg	Fe	
0.0145	0.0806	<0.0050	<0.0010	0.0457	61.7	61.70	



Şekil 1. Deney Numunelerinin Teknik Resmi (Technical drawing of the experimental samples)

dikkate alınarak belirlenmiş ve Çizelge 2’de verilmiştir. Belirlenen kesici uca göre en uygun kesme hızları 80-120 m/dk dır. Tavsiye edilen kesme hızının altındaki ve üstündeki değerlerde nasıl sonuçlar alabileceğimizi görmek için ilave olarak 50-150 m/dk’lik kesme hızı da deneylere dahil edilmiştir. Literatür taraması, kesici takımın da kalıcı gerilme üzerinde etkili olduğunu bize göstermiştir [20,21]. Her deneyde yeni bir kesici uç kullanılarak kalıcı gerilmeler üzerinde kesicinin aşınmasından kaynaklanan etkiler elimine edilmiştir.

Deneyler  $\varnothing 61 \times 250$  mm ölçülerindeki parçalar üzerinde Çizelge 2’deki parametrelere göre Fanuc kontrol ünitesine sahip TC-35 Johnford CNC torna tezgahında yapılmıştır. CNC torna tezgahında  $\varnothing 60$  mm ve 35 mm boyunda 30 adet, deney numunesi elde edilmiştir. Bir adette işlenmemiş numune hazırlanmıştır. Numuneler CNC torna tezgahına ayna punta arasında hassas bir şekilde bağlandıktan sonra, üzerinden en ideal kesme hızı olarak önerilen 80 m/dk ile 1 mm talaş kaldırılarak, deney numuneleri üzerindeki tabaka kaldırılmış ve böylece hem salgi engellenmiş hem de haddelemenin olumsuz etkileri giderilmiştir. Malzemenin salgılı dönmesi ve hadde-

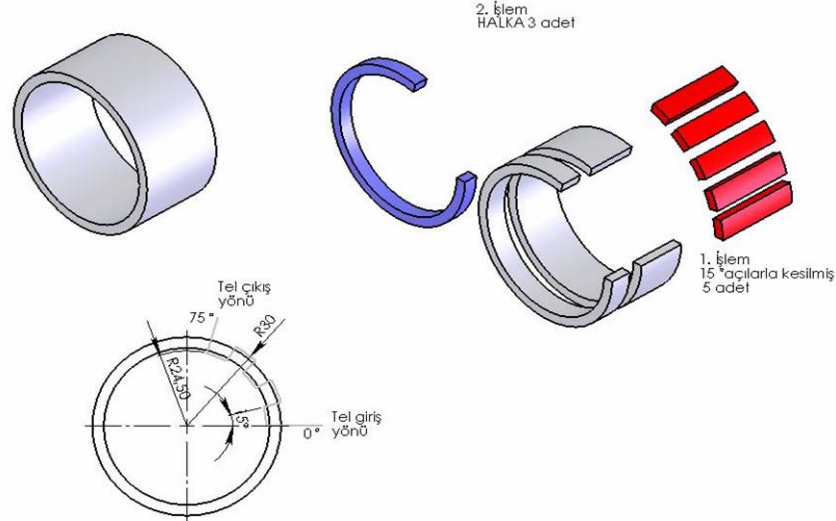
leme, işlemleri kalıcı gerilme değerini etkileyecektir. Bu sayede salğıdan ötürü oluşacak kalıcı gerilme önlenmiştir. Bu işlemde sonra deney numunesi sökülmeden sırası ile Çizelge 2 deki parametrelere göre işlenmiştir.

İşleme deneylerini müteakip, numuneler üzerindeki kalıcı gerilmeleri ölçmek için, işlenmiş numuneler; ONAPRİMA S250 tel erozyon tezgahında Şekil 2’de görüldüğü gibi kesilmiştir. Tel erozyon tezgahında kesme işlemi, diğer kesme yöntemlerine göre kalıcı gerilme oluşumu yok denecek kadar az olduğu için tercih edilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi her bir deney numunesinden eksene paralel olarak beş adet ve eksene dik olarak da üç adet parça çıkarılmıştır. Kalıcı gerilmelerin elde edilen bu parçalar üzerinde ölçülmüştür.

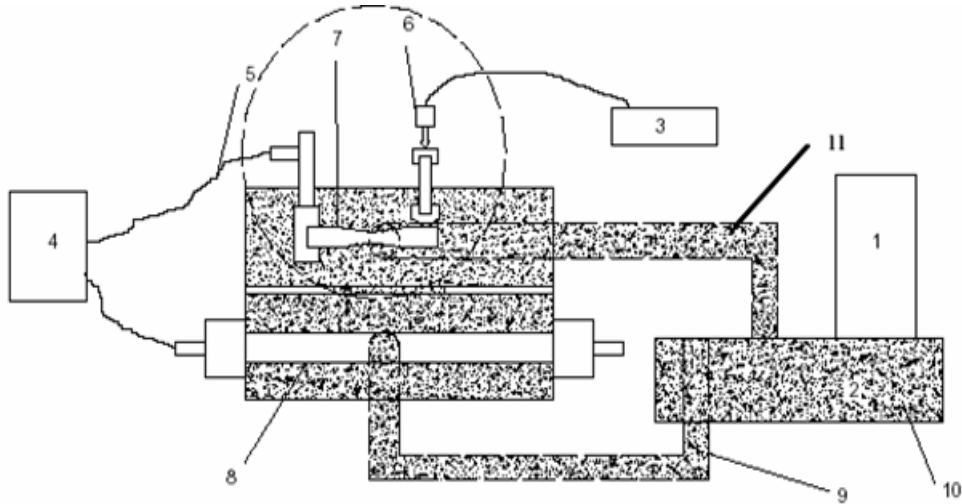
Makine elemanlarının üretimi esnasında oluşan kalıcı gerilmelerin belirlenmesi için; CNC’li tel erozyon tezgahından elde edilen 248 adet deney parçası üzerinde katman kaldırma tekniği kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan deney düzeneğinin teknik detayları şematik olarak Şekil 3’de görülmektedir. Numunedeki sehimin ölçümü 0.0001 mm hassasiye-

Çizelge 2. İşleme Deneylerinde Kullanılan Kesme Parametreleri (Cutting parameters used in machining experiments)

DENEY NO	V (m/dk)	f (mm/d)	a (mm)	DENEY NO	V (m/dk)	f (mm/d)	a (mm)
1	50	0,15	1,5	16	50	0,15	2
2	75			17	75		
3	100			18	100		
4	125			19	125		
5	150			20	150		
6	50	0,20	1,5	21	50	0,20	2
7	75			22	75		
8	100			23	100		
9	125			24	125		
10	150			25	150		
11	50	0,25	1,5	26	50	0,25	2
12	75			27	75		
13	100			28	100		
14	125			29	125		
15	150			30	150		
				31	İşlenmemiş Deney Numunesi		



**Şekil 2.** Kalıcı Gerilmeleri Ölçülecek Parçaların CNC Tel Erozyon Tezgâhında Kesilmesi (Cutting on the CNC wire erosion bench, of the pieces whose residual stresses will be measured)



1- Pump, 2- Electrolyte, 3- Computer, 4- DC power supply, 5- Cable, 6- Linear Gage, 7- Specimen, 8- Cathode, 9- Electrolyte entrance, 10- Acid tank, 11- Electrolyte exit [22].

**Şekil 3.** Katman kaldırma işlemini gerçekleştiren deney düzeneğinin şematik görünüşü (Schematic view of the experimental set for layer removal operation)

tindeki Linear Gage ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Kalıcı gerilme ölçüm cihazında, numune yüzeyinden art arda gelen katmanların kaldırılması için, elektrokimyasal aşındırma yöntemi kullanılmıştır. Bu cihaz elektrokimyasal yöntemle talaş kaldıracak makineden, güç kaynağından, analog dijital dönüştürücüden, bilgisayar ve yazıcıdan oluşmaktadır. Katmanların kaldırılması işleminde, art arda gelen katmanların hem seri bir şekilde kaldırılmasına hem de katman kaldırma esnasında numunede oluşan ilave gerilmelerin çok düşük seviyelerde gerçekleşmesine imkân tanıdığı için elektrokimyasal yöntem özellikle tercih edilmiştir.

Deney numunelerinin her birinde; farklı kesme hızlarının yanı sıra ilerleme hızı, talaş derinliği gibi işleme parametreleri de değiştirilmiştir. Bu sayede kesme

hızının, ilerlemenin ve talaş derinliğinin kalıcı gerilmeyi nasıl etkileyeceği tespit edilmiştir. Deneylerin yapımında aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

- Her bir deney numunesinin işlenmesi esnasında oluşan esas kesme kuvvetleri, radyal kuvvetler ve pasif kuvvetler belirlenmiştir.
- Her bir deney numunesinin işlenmesinde kesici uç değiştirilmiştir.
- Deney numunelerinin CNC'li tel erozyon tezgâhında kesilmeden önce ve kesildikten sonraki çapları ölçülmüş ve toplamda mevcut olan çevresel eşdeğer gerilmeler hesaplanmıştır.
- CNC torna tezgâhında işlenen deney numunelerinde oluşan kalıcı gerilmelerin belirlenmesi için Şekil 2'deki gibi eksene paralel beş ve eksene dik üç parça çıkarılmış ve katman kaldırma tekniği

kullanılmıştır. Parçalar çıkarılırken CNC'li tel erozyon tezgâhı kullanılarak oluşacak kalıcı gerilmeler en aza indirilmiş ve kalanlarda ihmal edilmiştir. Ayna ayaklarının sıkma kuvveti de kalıcı gerilmeyi etkileyeceğinden Şekil 1'de görülen 65 mm'lik kısım işlenmemiş ve deneylere dahil edilmemiştir. Bu kısım CNC'li tel erozyon tezgâhında kesilip atılmıştır. Deney numunelerinde düz olan parçalarda boyuna gerilme, dairesel olan parçalarda da çevresel gerilme ölçülmüştür. Gerilmeyi üç boyutlu olarak ölçmek mümkün olmadığı için hesaplamalarda tek eksende gerilme ölçülmüş, diğer boyutlarda gerilme olmadığı kabul edilmiştir. Bu amaç için tasarlanıp imal edilen, Şekil 3'deki ölçüm cihazında, numune yüzeyinden art arda gelen katmanların kaldırılması için elektrokimyasal aşındırma yöntemi kullanılmıştır. Elektrokimyasal işlemede malzeme tipleri ve bunlara uygulanan elektrolitler incelenmiş ve AISI 304 paslanmaz çeliğine uygun olarak, elektrolit tipinin fosforik asit, sülfürik asit, gliserin ve su karışımı ile elde edilen elektrolit olduğu tespit edilmiştir. Katmanların kaldırılması sonucu meydana gelen deformasyonu ölçmek için cihaz üzerine linear gage monte edilmiştir. Elektrik sinyallerine dönüştürülen mekanik yer değiştirme miktarı, uygun bir donanım ve yazılım kullanılarak sayısal sinyallere dönüştürülmüş ve bilgisayar yardımı ile her katmana karşılık gelen kalıcı gerilme değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu verilerden, her katmana karşılık gelen gerilmeler hesaplanmış ve grafikler oluşturulmuştur.

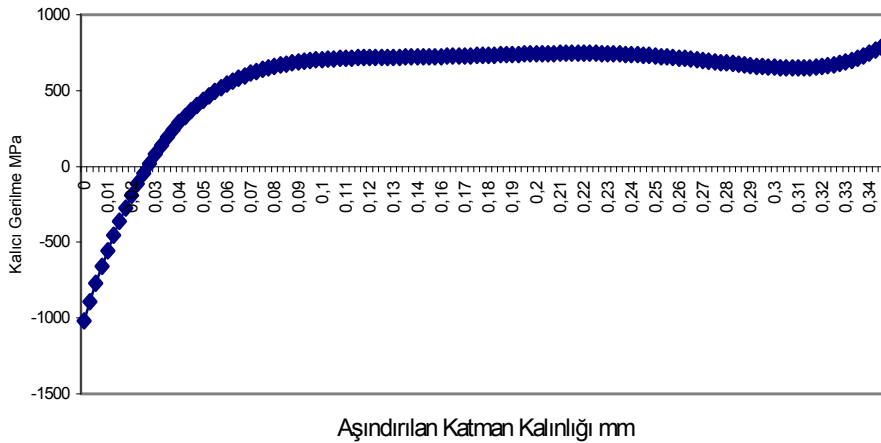
- Deneylere başlamadan önce numunelerde aşındırma yapılmayacak kısımlar klorovil reçine ile kaplanmıştır.
- Elektro kimyasal işleme her bir numune için 45 dakika sürmüş olup, bu süre sonunda numunelerden 0.3489 mm tabaka kaldırılmıştır. 45 dakikalık deney süresince her 20 saniyede bir ölçü alınarak yaklaşık 0.0026 mm'lik katmanlardaki gerilme değerleri kaydedilmiştir. Literatürde; kalıcı gerilmelerin yoğun olarak yüzeyde bulunabi-

leceği yüzeyin altındakilerin ihmal edilebileceği yada yüzeyden 0.3 mm derine inmenin yeterli olacağı belirtilmiştir [22-26]. Deney numunelerinde inilen 0.3489 mm'lik derinlik, literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde yeterli kabul edilmiştir. Her bir deney numunesinde toplam 136 ölçüm yapılmıştır.

- Elde edilen tüm grafikler incelenerek kesme parametrelerinin kalıcı gerilmeyi nasıl etkilediği ve bunlar arasındaki ilişkiler yorumlanmıştır.
- Kalıcı gerilme grafikleri, beş deney numunesinden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak hazırlanmıştır.
- Deneyler titanyum kaplı kesici uçla ve kesme sıvısı kullanılmadan yapılmıştır. Deneylerin tümünde kesme açısı sabit tutulmuştur.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

Farklı kesme parametrelerinde işlenen deney numunelerinden katman kaldırma yöntemi ile elde edilen kalıcı gerilme değerleri tespit edilmiştir. Kalıcı gerilmelerin boyuna etkilendiği, aksenal gerilmelerin çevresel gerilmelerden daha etkili olduğu ve derinlik arttıkça azaldığı da belirtilmektedir [26-31]. Yapılan tüm çalışmalarda olduğu gibi, bu çalışmada da yüzeyde basma kalıcı gerilmeleri, yüzeyden içeri doğru ilerlendikçe çekme kalıcı gerilmelerine doğru bir dönüşümün olduğu görülmüştür. Herhangi bir işlemeye tabi tutulmayan ham deney numunesinin üzerindeki gerilmeler Şekil 4'de gösterilmiştir. İşlenmemiş deney numunesinin yüzeyinde  $-1017.97$  MPa'lık bir basma kalıcı gerilmesi varken, yüzeyden 0.0258 mm derinlikte 19.74 MPa'lık çekme kalıcı gerilmesine dönüşmüş ve derinlik arttıkça çekme kalıcı gerilmesinin değeri artarak 810.53 MPa'ya ulaşmıştır. Görüldüğü gibi AISI 304 östenitik paslanmaz çelikte belirli bir derinlikten sonra büyük miktarlarda çekme kalıcı gerilmesi bulunmaktadır. Bu durumunda makine elemanının ömrünü olumsuz olarak etkileyeceği bilinmektedir.



Şekil 4. İşlenmemiş Deney Numunesi Üzerindeki Kalıcı Gerilmeler (Residual stresses on the surface of the raw experiment sample)

Farklı işleme parametreleri ile bu kalıcı gerilmelerin değerleri ve nasıl değiştikleri Şekil 5,7,8,9,10'da verilmiştir. Yüzeydeki basma kalıcı gerilmesinin değerinin  $-136.717$  MPa ile  $-1876.7$  MPa arasında değiştiği, çekme kalıcı gerilmesinin ise  $220.36$  MPa ile  $1.03$  MPa arasında olduğu tespit edilmiştir. İşlenen bütün numunelerde yüzeyde basma kalıcı gerilmeleri mevcutken, yüzeyden katmanlar kaldırıldıkça, yaklaşık yüzeyden  $0.0465$  mm derinlikte hızla çekme kalıcı gerilmelerine dönüştüğü görülmüştür. Malzemelerden talaş kaldırmanın kalıcı gerilme yapısını basma gerilmesi şeklinde olumlu yönde etkilediği de ayrıca görülmektedir.

Ancak kesme hızı  $50$  m/dk ilerleme  $0,25$  mm/d ve talaş kalınlığının  $1,5$  mm olduğu deneyde sonuç beklenen aksine yüzeyde  $19,47$  MPa'lık çekme kalıcı gerilmesi oluşmuştur. Kesici ucun kalıcı gerilme üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle kesici uç elektron tarama mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve Şekil 6'da verilmiştir. İnceleme sonucu kesici uçta çentik ve bol miktarda sıvanma (BUE) olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda; kesici takım uygun bir kesme yapamadığından, kesici takım iş parçası sürtünmesiyle sıcaklık artışının da yüzeyde çekme kalıcı gerilmesini oluşturduğu değerlendirilmektedir.

Grafikler incelendiğinde beş grafiğinde benzer bir eğilim sergilediği, kesme hızının, ilerleme hızının ve talaş derinliğinin artması ile yüzeydeki ve yüzey altındaki basma kalıcı gerilmelerinin önce sıfıra daha sonrada işleme parametrelerine bağlı olarak çekme gerilmesine yönünde arttığı görülmektedir. İşleme parametrelerinin kalıcı gerilmeleri basma gerilmesinden çekme gerilmesine doğru artırdığı literatürle de desteklenmektedir [9,10,13,14].

İlerleme hızının artması ile basma kalıcı gerilme değerlerinin azaldığı, çekme kalıcı gerilme değerlerinin arttığı,  $0,15$  mm/dk'lık ilerleme hızında deney

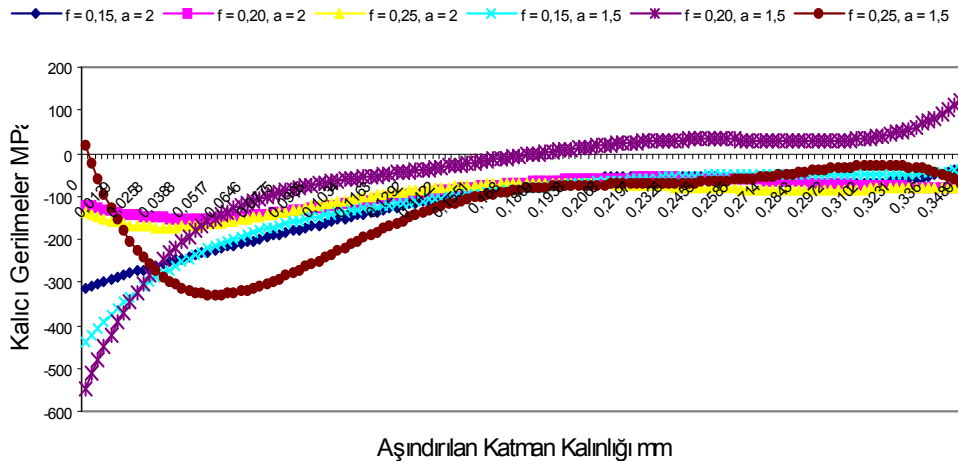
numunelerinde ortalama  $-743,68$  MPa'lık  $0,20$  mm/dk'da  $-544,51$  MPa'lık  $0,25$  mm/dk'da ise  $-546,12$  MPa'lık basma kalıcı gerilmelerinin olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneylerin hepsinde azalma olurken ilerlerinde bazı deney numunelerinde ilerlemenin artması ile gerilmelerde de artma meydana gelmiştir. Bu durum deneylerin işlenmesi esnasında titreşim olması ya da işleme prosesi tamamlandıktan sonra deney numunesinin gerilmeyi değiştirebilecek etkilere maruz kalmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Talaş derinliğinin artmasının da basma kalıcı gerilmelerini azalttığı görülmektedir. Talaş derinliğinde  $1,5$  mm olduğu işleme şartlarında ortalama  $-723,23$  MPa'lık bir basma kalıcı gerilmesi oluşurken, talaş derinliğinin  $2$  mm artırıldığında deney numunelerinde ortalama  $-502,36$  MPa'lık bir basma kalıcı gerilmeleri oluşmuştur. Bu durum literatürde bazı çalışmalarla paralellik göstermektedir [9,10,14,25-31,35].

Talaş kaldırma durumunda iş malzemesine ve takım geometrisine bağlı olarak kalıcı gerilmeler basma ya da çekme gerilmesi tipinde olabilmektedir. Kalıcı gerilmelerin işlenen yüzeylerde çekmeden basmaya doğru değişebileceği literatürde de belirtilmektedir [24,32-37]. Kalıcı gerilmelerin belirli bir kesme hızına kadar artması ve belirli bir kesme hızından sonra azalması malzemenin hızlı deformasyona uğramasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION)

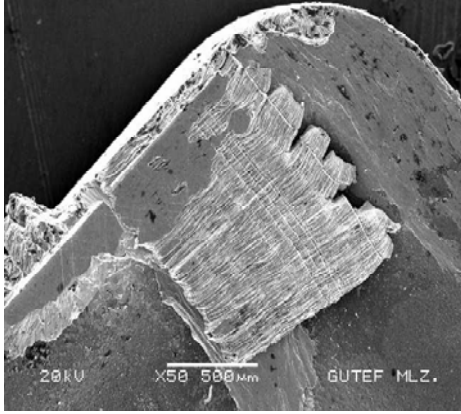
AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin farklı kesme parametreleri ile tornalanma işleminden sonra, deney numunelerinin yüzeyinde ve yüzeyin  $0.34$  mm derinliğine kadar yapılan ölçümlerin sonucu kalıcı gerilmeler ile ilgili aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

- Yüzey ve yüzey altındaki kalıcı gerilmeler katman kaldırma yöntemi ile tespit edilebilmektedir.



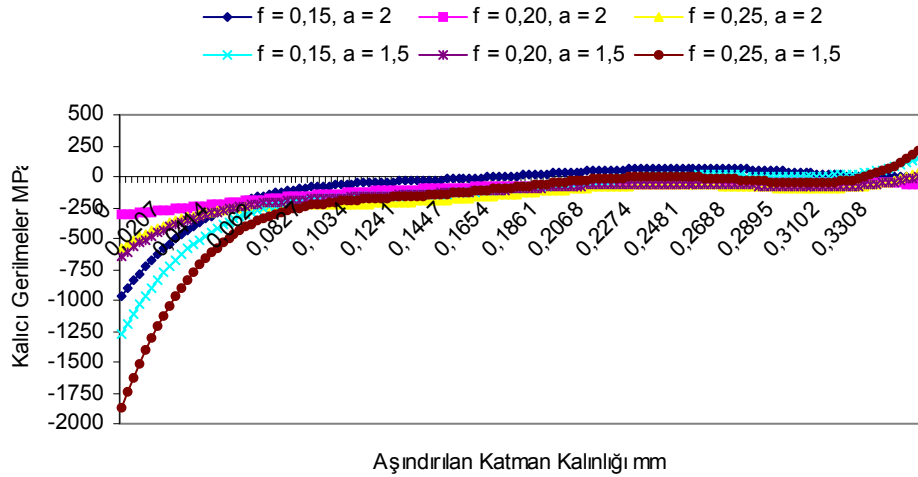
Şekil 5. Kesme Hızı  $50$  m/dk İle İşlenmiş Deney Numunesi Üzerindeki Kalıcı Gerilmeler (Residual stresses on the surface of the experiment sample machined with a cutting speed of  $50$  m/min.)



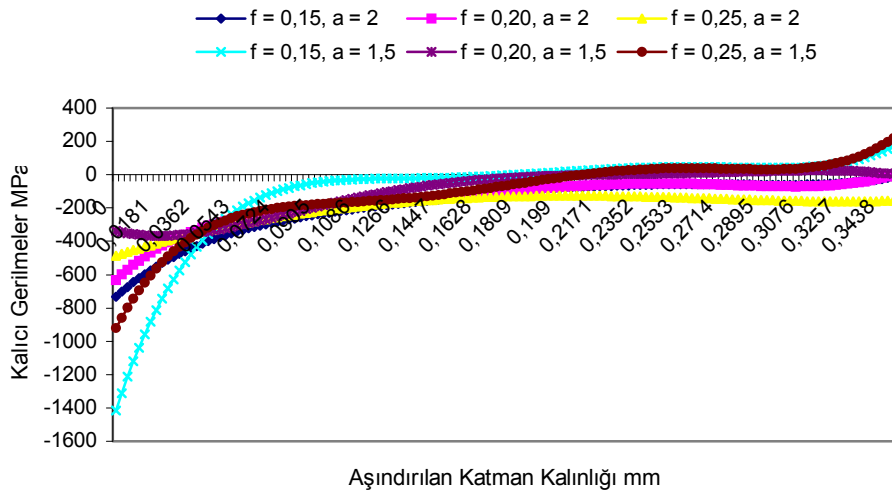


**Şekil 6.** Kesme hızı 50 m/dk, ilerleme oranı 0,25 mm/d, kesme derinliği 1,5 mm olan deney numunesinin işlenmesinden sonra kesici uçta oluşan BUE (BUE produced on the cutter head after the specimen is machined with a cutting speed of 50m/min, feed rate of 0.25 mm/rev, 1.5 mm depth of cut.)

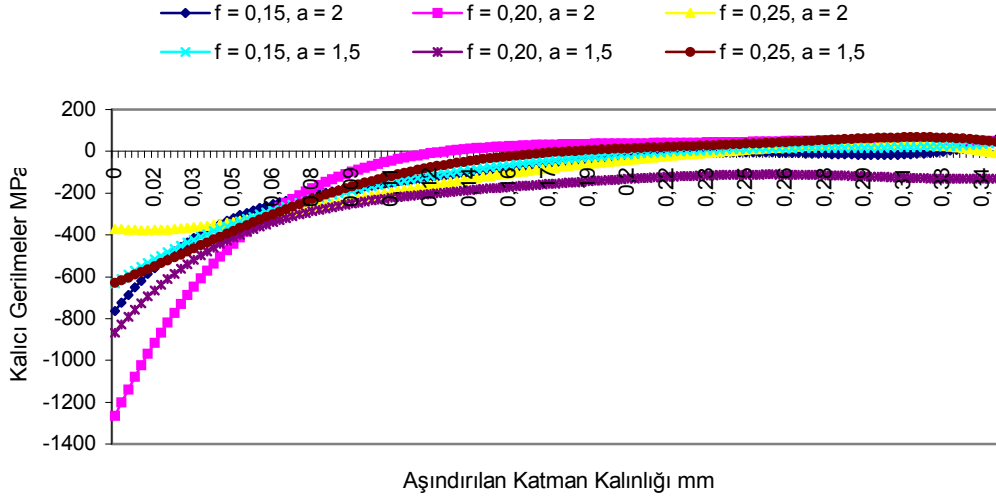
- ii. İşlenmemiş deney numunesinde çekme kalıcı gerilmelerinin hakim olduğu belirlenmiştir. Bu durumda makine elamanın yorulmaya bağlı ömründe olumsuz etki yaratacağı düşünülmektedir.
- iii. Tormalama yöntemi ile makine parçalarının imalatında yüzeyde  $-1876.69$  Mpa ile
- iv.  $-136.71$  Mpa'lık basma kalıcı gerilmelerinin olduğu tespit edilmiştir.
- v. Yüzeydeki basma kalıcı gerilmelerinin, katman kaldırılması ile 0.0465 mm derinlikte çekme kalıcı gerilmesine dönüştüğü görülmüştür.
- vi. Farklı kesme parametreleri ile işlenen 30 adet deney numunesi üzerinde yapılan ölçümler neticesinde yüzeydeki basma kalıcı gerilmelerinin belirli bir derinlikten sonra sıfıra doğru yaklaştığı ve daha derinlere inildikçe çekme kalıcı gerilmelerine dönüştüğü tespit edilmiştir.
- vii. Yorulma ömrünü maksimumda tutacak en uygun kesme hızının sırası ile 75 m/dk, 100 m/dk ve 125 m/dk olduğu tespit edilmiştir. Bu kesme



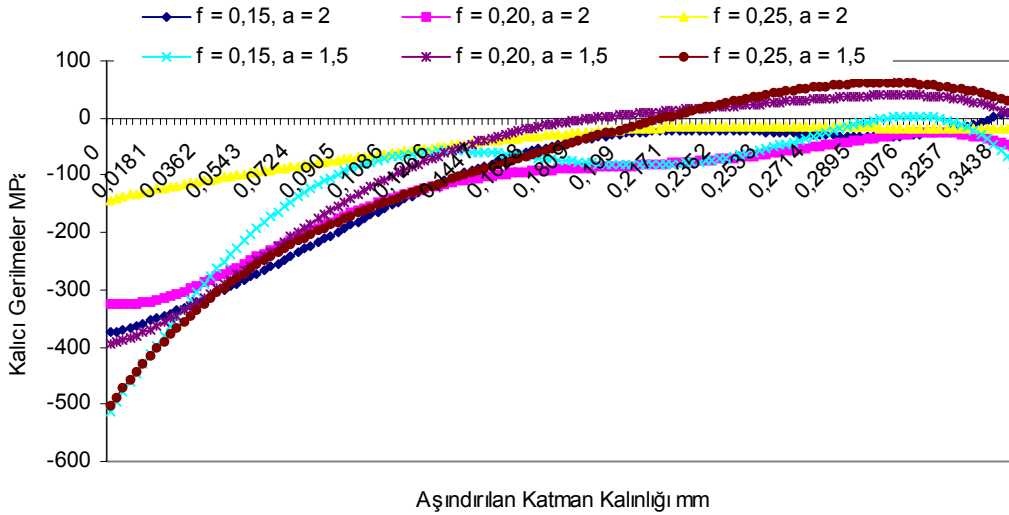
**Şekil 7.** Kesme Hızı 75 m/dk İle İşlenmiş Deney Numunesi Üzerindeki Kalıcı Gerilmeler (Residual stresses on the surface of the experiment sample machined with a cutting speed of 75 m/min.)



**Şekil 8.** Kesme Hızı 100 m/dk İle İşlenmiş Deney Numunesi Üzerindeki Kalıcı Gerilmeler (Residual stresses on the surface of the experiment sample machined with a cutting speed of 100 m/min.)



**Şekil 9.** Kesme Hızı 125 m/dk İle İşlenmiş Deney Numunesi Üzerindeki Kalıcı Gerilmeler (Residual stresses on the surface of the experiment sample machined with a cutting speed of 125 m/min.)



**Şekil 10.** Kesme Hızı 150 m/dk İle İşlenmiş Deney Numunesi Üzerindeki Kalıcı Gerilmeler (Residual stresses on the surface of the experiment sample machined with a cutting speed of 150 m/min.)

- hızlarında en büyük basma kalıcı gerilmeleri tespit edilmiştir. Kesme hızının belirli bir değere kadar artması ile yüzeydeki basma kalıcı gerilme değerleri artarken belirli bir değerden sonra azalma sergilemektedir.
- viii. En uygun ilerleme hızının 0,20 mm/d olduğu, anılan ilerleme hızında daha büyük basma kalıcı gerilmeleri elde edilmiştir.
- ix. Talaş derinliğinin küçük olmasının daha büyük basma kalıcı gerilmelerine yol açtığı, talaş derinliğinin artırılmasının basma kalıcı gerilmelerini azalttığı ve çekme kalıcı gerilmelerine yönelttiği tespit edilmiştir.
- x. Kesme hızı 50m/dk'da oluşan basma kalıcı gerilme değerinin diğerlerine göre düşük olduğu, hatta bazı deneylerde çekme kalıcı gerilmelerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Bu durum AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde 50 m/dk kesme hızının 0.25 mm/d lik ilerleme hızı ile 1.5

- mm talaş derinliğinin uygun olmadığı tespit edilmiştir.
- xi. En uygun işleme şartının ise 75 m/dk kesme hızı, 0.20 mm/d ilerleme hızı ile 1,5 mm talaş derinliğinin bulunduğu şartlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir.
- xii. Eksen yönündeki boyuna kalıcı gerilmelerin çevresel gerilmelerden daha etkili olduğu, kalıcı gerilmelerin boyuna etkilendiği tespit edilmiştir.
- xiii. İşleme yöntemlerinin kalıcı gerilmeyi olumlu (basma gerilmesi) ya da olumsuz (Çekme gerilmesi) olarak etkilediği tespit edilmiştir.
- xiv. Kesici ucun deforme olması ve kesicide BUE oluşumu yüzeyde çekme kalıcı gerilmelerinin oluşmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sandvik Coromant Co. Inc., **Modern Metal**



- Cutting-A Practical Handbook**, Sweden, (1997).
2. Bahadur, A., Kumar, B.R., Chowdhury, G.S, "Evaluation Of Changes In X-Ray Elastic Constants And Residual Stress As A Fuction Of Cold Rolling Of Austenitic Steels", **Materials Science and Techonology**, V20, 3, (2004),p.,387-392.
  3. J.C. Outeiro, A.M. Dias, J.L. Lebrun, V.P. Astakhov, Machining residual stresses in AISI 316L steel and their correlation with the cutting parameters, **Machining Science and Technology**, 6 (2) (2002) 251–270.
  4. Korkut, İ., Kasap, M., Çiftci, M., Şeker, U., "Determination Of Optimum Cutting Parameters During Machining Of AISI 304 Austenitic Stainless Stell" **Materials&Desing**,V25, 4,(2004),p.,303-305
  5. P. Dahlman, F. Gunnberg, M. Jacobson, The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning, **J. Mater. Proc. Tech.**, 147 (2004) 181–184.
  6. J. Hua, X. Cheng, V. Bedekar, R. Shivpuri, Y. Matsumoto, F. Hashimoto, T.R. Watkins, Effect of feed rate, workpiece hardness and cutting edge on subsurface residual stress in the hard turning of bearing steel using chamfer + hone cutting edge geometry, **Mater. Sci. Eng.**, A 394 (2005) 238–248.
  7. J. Hua, R. Shivpuri, D. Umbrello, Investigation of cutting conditions and cutting edge preparations for enhanced compressive subsurface residual stress in the hard turning of bearing steel, **J. Mater. Proc. Tech.** 171 (2) (2006) 180–187.
  8. D. Umbrello, **FE—analysis of machining processes: innovative experimental techniques for results assessing**, Ph.D. Thesis, Mechanical Engineering, University of Calabria (February 2005).
  9. D. Ulutan, B.E. Alaca, I.Lazoğlu, Analytical modelling of residual stresses in machining, **Journal of Materials Processing Technology** 183 (2007), p., 77-87
  10. D. Umbrello, G. Ambrogio, L.Filice, R. Shivpuri, An ANN approach the desired cutting conditions during hard turning, **Journal of Materials Processing Technology** 189 (2007), p., 143-152
  11. J.C. Outeiro, D.Umbrello, R.M.Saoubi, Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel, **Machine Tools & Manu Facture**, 46 (2006), p., 1786-1794
  12. M.N.A. Nasr, E.-G. Ng., M.A. Elbestawi, Modelling the effects of tool-edge radius on residual stresses when orthogonal cutting AISI 316L, **Machine Tools & Manu Facture**, 47 (2007), p., 401-411
  13. F. Valiorgue, J.Rech, H. Hamdi, P. Gilles, J.M. Bergheau, A new approach for the modelling of residual stresses induced by turning of 316L, **Journal of Materials Processing Technology** (2007)
  14. F. Gunnberg, M. Escursell, M. Jacobson, The influence of cutting parameters on residual topography during hard turning of 18 MnCr5 case carburised steel, **Journal of Materials Processing Technology**, 174 (2006), p.,82-90
  15. Ship-Peng Lo, "An Analysis Of Cutting Under Different Rake Angles Using The Finite Element Method", **Journal of Materials Processing Technology** 105 (2000), p., 143-151
  16. R. Liu, Y.B. Guo, "Finite Element Analysis Of The Effect Of Sequential Cuts And Tool-Chip Friction On Residual Stresses In A Machined Layer", **International Journal of Mechanical Sciences** 42, (2000), p.1069–1086.
  17. Natarajan, R., Jeelani, S., "Residual Stresses In Machining Using Finete Element Method",**Computers In Engineering**, Computer Software And Applications ASME, New York, (1983), 3, P.,19-20
  18. Bray, D. E., Pathak, N., Srinivasan, M. N., "Residual Stress Mapping İn A Steam Turbine Disk Using The LCR Ultrasonic Technique", **Material Evaluation**, (1996).
  19. Fetullayev, E. K., "Talaş Kaldırma Yöntemi İle Üretilen Vidalı Elemanlara Yüzey Katında Oluşan Artık Gerilmelerin Vida Elemanlarına Etkisi", **Uluslararası Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, ANKARA, (1998).
  20. Kasap, M., **AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinde En Uygun Kesme Parametrelerin ve İşleme Şartlarının Deneysel Olarak Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2001).
  21. Belejchak, P., "Machining Stainless Steel", **Advanced Materials & Processes**, (1997), p 23-25.
  22. Kafkas, F., **Katman Kaldırma Tekniğine Dayalı Olarak Kalıcı Gerilmelerin Ölçülmesini Sağlayan Bilgisayarlı Ölçme Cihazının Tasarımı Ve İmalatı**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2001).
  23. Fetullayev, E. K., "Vidalarda Meydana Gelen Artık Gerilmelerin Teknolojik Faktöre Bağlı Olarak Tayin Edilmesi", **7. Uluslararası Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, ANKARA, (1996).
  24. Marshall, C.W., Maringer, R.E., **Dimensional Instability On Introduction**, Pergamon Press Ltd., UK.(1977), p. 139-163., p. 342-395.
  25. Shet,C, Deng, X., "Residual Stresses And Strains In Orthogonal Metal Cutting", **International Journal of Machine Tools & Manufacture** V 43, (2003), p. 573–587
  26. Zone-Ching Lin, Wun-Ling Lai, H.Y. Lin, C.R. Liu, "The Study Of Ultra-Precision Machining And Residual Stress For Nip Alloy With

- Different Cutting Speeds And Depth Of Cut”, **Journal of Materials Processing Technology**, V97, (2000), p.200-210.
27. Lin, Z.C., Lin, Y.Y., Liu, C.R., “Effect Of Thermal Load And Mechanical Load On The Residual Stress Of A Machined Workpiece”, *Int. J. Mech. Sci.* 33 (4), (1991), p. 263–278.
  28. Jeffrey D. Thiele, Shreyes N. Melkote, Roberta A. Peascoe, Thomas R. Watkins, “Effect Of Cutting-Edge Geometry And Workpiece Hardness On Surface Residual Stresses İn Finish Hard Turning Of AISI 52100 Steel”, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Vol. 122, (2000), p.642-649.
  29. Lin, Z.C., Lai, W.L., Lin H.Y., Liu, C.R., “Residual Stress With Different Tool Flank Wear Lengths İn The Ultra Precision Machining Of Ni-P Alloys”, **Journal of Materials Processing Technology**, V 65, (1997), p.,116-126.
  30. Lin, Z.C., Lin, Y.Y., “A Study Of Oblique Cutting For Different Low Cutting Speeds”, **Journal of Materials Processing Technology**, V 115, (2001), p., 313-325.
  31. Lin, Z.C., Yarnq, Y.D, “ Three Dimensional Cutting Process Analysis with Different Cutting Velocities”, **Journal of Materials Processing Technology**, V 70, (1997), p.22-33.
  32. Henriksen, E. K., “Residual Stress In Machined Surfaces”, *Transactions ASME Journal Of Engineering for Industry*, Vol. 73, (1951), p. 69-76.
  33. Liu, C.R., Barash, M.M., “Variables governing patterns of mechanical residual stress in a machined surface”, *Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry V* 104,(1982), p. 257–264.
  34. Leskovar, P. And Peklenik, J., “Influence Affecting Surface Integrity İn TheCutting Process”, *Ann. CIRP*, (1981), p. 245-248.
  35. Sasahara, H., Obikawa, T., Shirakshi, T., “Prediction Model Of Surface Residual Stress Within A Machined Surface By Combining Two Orthogonal Plane Models”, **Journal Of Machine Tools And Manufacture**, V.,44, 7-8, (2004), p., 815-822
  36. M.H. El-Axir, “A Method Of Modeling Residual Stress Distribution İn Turning For Different Materials”, **International Journal of Machine Tools & Manufacture** 42,(2002), p.,1055–1063.
  37. H., Sasahara “The effect on fatigue life of residual stress and surface hardness resulting from different cutting conditions of 0.45%C steel,”, **Journal Of Machine Tools And Manufacture**, V.,45, (2005), p., 131-136.