

AISI 4140 Çeliğinde Elde Edilen Farklı Sertliklerin Kalıntı Gerilmeler Üzerindeki Etkisinin Araştırılması

Mehmet SUBAŞI*, Çetin KARATAŞ**

* Gazi Üniversitesi Atatürk Meslek Yüksekokulu

** Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü

Geliş/Received : 11.01.2011, Kabul/Accepted : 16.04.2011

ÖZET

Bu çalışmada, ilk olarak 12 HRC sertliğindeki AISI 4140 çeliği 40, 45, 50 HRC sertlik değerlerine getirilmiş ardından bu sertlik değerlerindeki numuneler üzerindeki kalıntı gerilmeler ölçülmüştür. Farklı sertlik değerlerinin elde edilmesi için çalışmada, numuneler 930°C'de 1 saat bekletildikten sonra yağ ortamında soğutulmuştur. Numuneler sırasıyla 427°C, 316°C, 204°C'de 40 dakika temperlenerek 40, 45, 50 HRC sertlik değeri elde edilmiştir. Numunelerde meydana gelen kalıntı gerilmeler katman kaldırma yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, ısıtılmış işlem görmemiş (12 HRC) numunenin yüzeyinde 211 MPa kalıntı çekme gerilmesi elde edilirken, ısıtılmış işlem neticesinde 40, 45, 50 HRC sertlik değerlerindeki numunelerde ise sırası ile 169, 299, 203 MPa değerinde kalıntı çekme gerilmesi bulunmuştur. Sonuç olarak, sertleştirilmenin malzeme yüzeyinde kalıntı çekme gerilmeleri oluşturduğu ve sertlik değerinin kalıntı gerilme değerlerini etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Isıl İşlem, Kalıntı Gerilmeler, AISI 4140 çeliği

The Investigation of Residual Stresses Effect on the Hardness of Tempered AISI 4140 Steel

ABSTRACT

In this study, primarily some specimens of AISI 4140 steel with initial hardness of 12 HRC have been treated to reach the 40, 45, 50 HRC hardness values and then the amount of residual stresses on the hardened specimens was measured. In this study, for reaching to the different hardness values, the specimens were cooled in oil medium after waiting at 930 ° C for 1 hour. The specimen were tempered at 427 °C, 316 °C, 204 °C for 40 minutes, consequently reaching the hardness of 40, 45, 50 HRC respectively. Residual stresses in heat treated specimens were determined by the layer removal method. As a result of the experiments, the tensile residual stress on the surface of not heat-treated specimen (12 HRC) was 211 MPa. On the other hand, the tensile residual stress on the surface of heat-treated ones with 40, 45, 50 HRC hardness values, were found as 169, 299, 203 MPa respectively. Finally, this study has shown that the residual tensile stresses on the surface of the material were due to hardening and the values of the residual stresses are affected by the hardness amount of materials.

Key words: Heat treatment, Residual stresses, AISI 4140 steel

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kalıntı gerilmeler, dış kuvvetlerden bağımsız olarak bir cisimde meydana gelen gerilmeler sistemi olarak tanımlanır [1]. Bir makine elemanı eğer hiç kalıntı gerilme bulundurmadan üretilmiş olsa bile, özellikle değişken yüklemenin söz konusu olduğu servis şartlarında kalıntı gerilmeler ortaya çıkabilir. Bundan dolayı tasarımcı mühendisi bu tür gerilmeleri dikkate almak zorundadır [2]. Mekanik bir parçada kalıntı gerilmelerin mevcudiyeti her zaman olumsuz bir etkiye sahip değildir. Örneğin, parçada doğru cins ve büyüklüğe sahip kalıntı gerilmelerin bulunması çok büyük faydalar sağlar [3].

Kimyasal bileşim ve mikro yapı çeliklerin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Arzu edilen mikro yapının elde edilebilmesi için ısıtılmış işlem sıcaklığı, soğutma ortamı, temperleme sıcaklığı gibi fonksiyonlar büyük öneme sahiptir [4].

Çelik ve döküm iş parçaları yüksek sıcaklıklarda ısıtılıp soğutuldukları zaman sıcaklık farkından dolayı iş parçalarının yüzeyi ve merkezleri arasında gerilmeler oluşur. Özellikle martenzit dönüşümünden dolayı karmaşık iç gerilme alanları ortaya çıkar [5]. Ortaya çıkan bu karmaşık iç gerilme alanlarında kalıntı gerilme alanlarının dağılımı, yüzeyde çekme merkezde basma kalıntı gerilmesi şeklinde olmaktadır [6].

Yapılan literatür araştırmasına göre kalıntı gerilmeler üzerine yapılan araştırmalar iki temel esasa dayanmaktadır.

- Kalıntı gerilme oluşum mekanizmalarının etki düzeyi
- Kalıntı gerilmelerin önceden tahmini

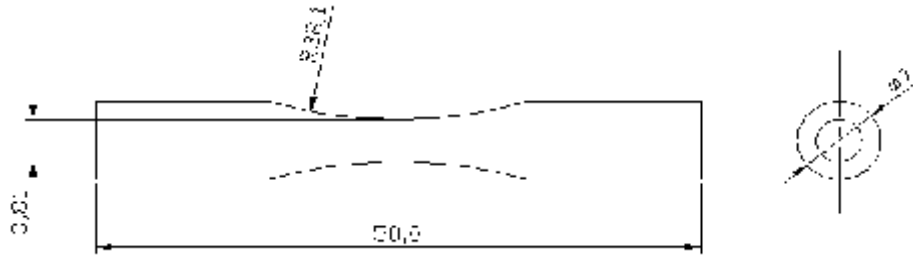
Literatürdeki bütün çalışmalarda kalıntı gerilmelerin oluşum mekanizması hakkında sıhhatli bir yorum yoktur ve ortaya çıkarılan modeller tamamen deneylere dayanmaktadır.

Literatürdeki kalıntı gerilme verileri özetlendiğinde, yüzey katmanındaki kalıntı gerilme $\sigma_y = \sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_p$ şeklinde üç bileşene bağlı olarak tarif edilmektedir.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: cetink@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2011.14.4, 289-295



Şekil 1. Deney numunesi

Burada σ_f ; kesme kuvvetlerinin neden olduğu kalıntı gerilme, σ_θ ; sıcaklığın neden olduğu kalıntı gerilmeler, σ_p ; yüzey katmanındaki faz dönüşümünün neden olduğu kalıntı gerilmelerdir [7].

Parça şekillendirmede kullanılan imalat işlemleri mikro yapı, son yüzey ve kalıntı gerilme gibi kapsamlı değişkenleri içerir. Kalıntı gerilmeleri oluşturan kaynaklarının bilinmesi ve kontrolü, kalıntı gerilmelerden istenilen yönde sonuç elde edilmesini sağlar. [8, 9].

Yüzey üzerinde malzeme sertliğinin etkisini deneysel olarak araştıran Matsumoto ve arkadaşları malzeme sertliğinin, parça yüzeyinde oluşan kalıntı gerilmeye önemli bir etki yaptığını bulmuşlardır [10,11].

Kalıntı gerilme ölçüm metotları, tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Mekanik metotlardan olan katman kaldırma yöntemi tahribatlı bir yöntem olup deney esnasında numunede meydana gelen deformasyonla gerilmelerin elde edilmesi esasına dayanır [12]. Katman kaldırma yönteminde kalıntı gerilmeler, malzemenin aşınması sonucunda oluşan deformasyon değişiklikleri ölçülerek hesaplanır. Tahribatlı olan bu metodun seçilmesinin sebebi ürün üzerindeki gerilmenin diğer metotlarda olduğu gibi bir yaklaşımla değil doğrudan parça üzerindeki gerilimi elde etmemizi sağlamasıdır.

Çalışmada kullanılan düşük alaşımlı çeliklerden olan AISI 4140 çeliği, alaşımsız karbon çeliklerinden daha iyi dayanım ve tokluk gösterir. Fakat düşük alaşımlı çelikler pahalı olduğu için sadece gerektiği zaman kullanılır. AISI 4140 çeliği yüksek dayanım gerektiren makine parçaları mil, dişli, krank ve saplama gibi parçaların imalatında kullanılır.

Bu özelliklerinden dolayı çalışmada AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, farklı sertlik değerlerindeki AISI 4140 çeliğinden yapılmış numunelerde kalıntı gerilmelerin tipi ve büyüklüğünü tespit et-

mektir. Bu amaçla 12, 40, 45, 50 HRC sertliğindeki AISI 4140 çelik numuneler üzerinde oluşan kalıntı gerilme türleri ve değerleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Deney Malzemesi (Experimental Material)

Deney malzemesi olarak AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler ASTM E-466 ve 468'e [13,14] göre \varnothing 16 mm malzemeden tornalanarak hazırlanmıştır (Şekil 1). Deneylerde kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	Si	Cr	S	P	Mo
%	0,41	0,83	0,21	0,9	0,027	0,027	0,18

Deney numunelerinin tümü cnc torna tezgâhinin da işlenip, tse 1143'e göre 0,025 mikron yüzey kalitesine ulaşabilmek için 180, 220, 400, 600, 800 ve 1200 numara zımpara ile aksel olarak zımparalanmıştır. 15'er numuneden oluşan sertleştirilmemiş ve farklı üç sertlik değerine sahip 15'erli dört numune grubu hazırlanmıştır. Sertlik değerleri aynı numunenin en az üç farklı noktasından alınan ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak bulunmuştur. Numunelere uygulanan isil işlemlerinin özeti tablo 2'de verilmiştir.

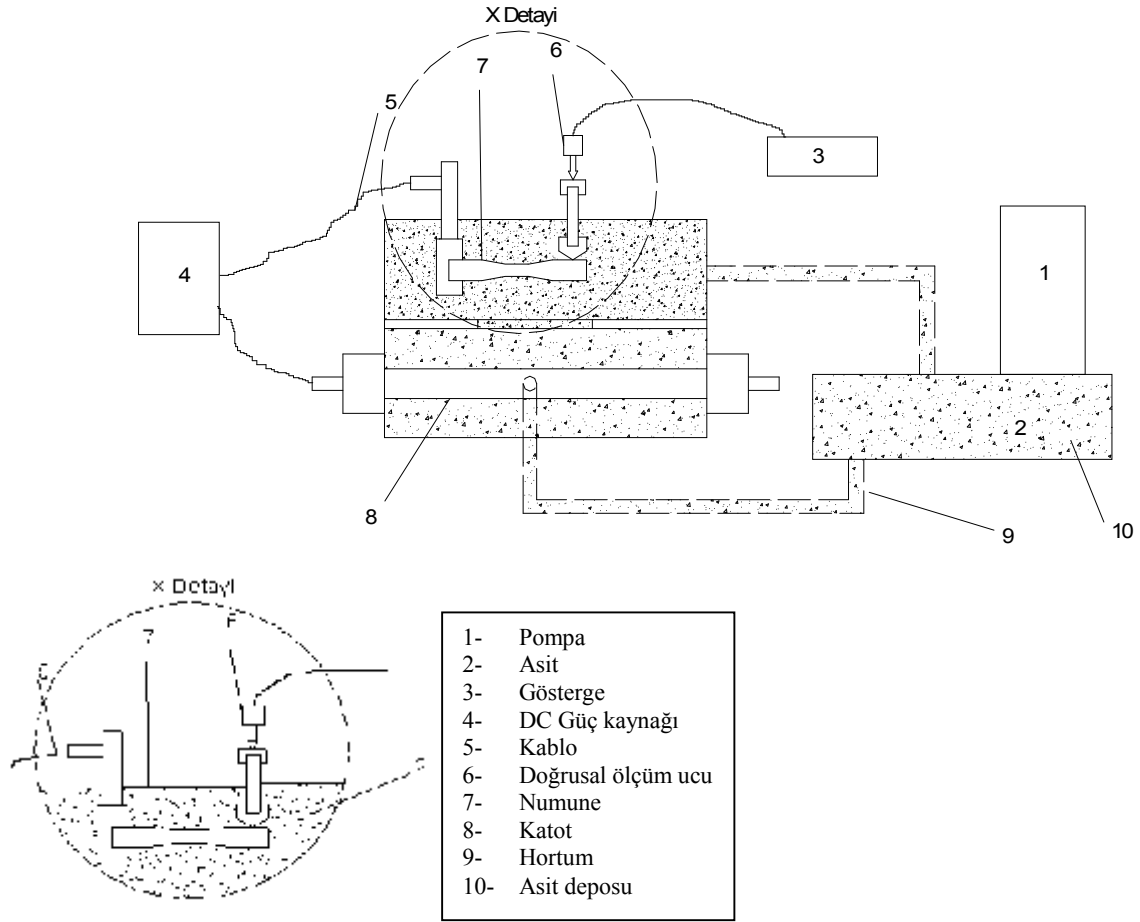
2.2. Deney Cihazı (Experimental Device)

Kalıntı gerilme ölçüm cihazı Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Cihazın elektrokimyasal kısmı elektrolit, anot (numune), katot, elektrolit havuzu ve DC güç kaynağından oluşmaktadır. Numunedeki kalıntı gerilmenin belirlenmesi için gerekli deformasyonun ölçülmesinde 0,1 μ m hassasiyetindeki doğrusal ölçüm ucundan yararlanılmıştır.

Tablo 2. Isıl işlem parametreleri

Sertlik değeri (HRC)	Sertleştirme sıcaklığı (°C)	Sertleştirme süresi (saat)	Sertleştirme Ortamı	Temperleme sıcaklığı (°C)	Temperleme süresi (dak)
12*	-	-	-	-	-
40	930 °C	1	Yağ	427 °C	40 dak
45	930 °C	1	Yağ	316 °C	40 dak.
50	930 °C	1	Yağ	204 °C	40 dak

* Isıl işlem öncesi malzemenin sertlik değeri



Şekil 2. Kalıntı gerilme deney düzeneği [15]

2.3. Deney Metodu (Experimental Method)

Hesaplama

Katman kaldırma metodunda kalıntı gerilmelerin belirlenmesi deformasyon ölçüm esasına dayanmakta olup aşındırma esnasında meydana gelen deformasyon eş zamanlı olarak belirlenmiştir. Ölçülen deformasyon değerlerinden

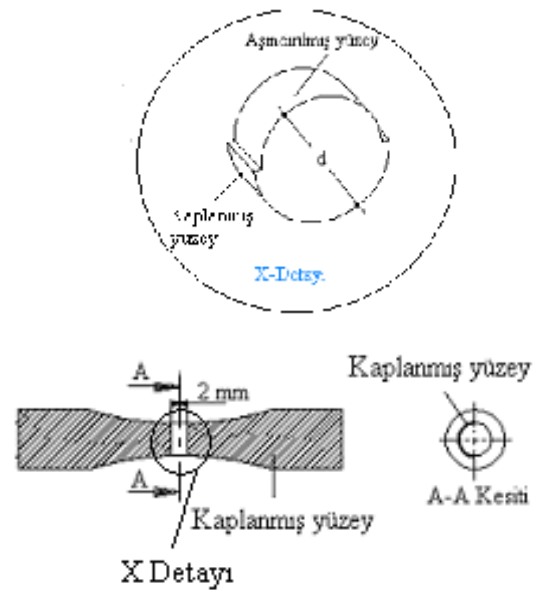
$$\sigma = \frac{E \cdot \pi \cdot (d - a)^2}{4 \cdot [\pi \cdot (r - a)]^2 \cdot b \cdot k_y} \cdot \frac{df}{da} \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak her bir katmana karşılık gelen kalıntı gerilme değerleri hesaplanmıştır. Burada E; elastikiyet modülü, d; çap, a; kaldırılan katman kalınlığı; r; yarı çap, b;genişlik, k_y; geometrik düzeltme katsayısı [1,16] dir.

Kimyasal İşlemler

Elektro kimyasal işlemede, kullanılan malzemenin kimyasal bileşimine uygun elektrolit seçimi çok önemlidir. Deneylerde kullanılan AISI 4140 malzemesine en uygun elektrolit tipinin, fosforik asit (430 ml), sülfirik asit (330 ml), gliserin (100 ml) ve su (140 ml) karışımı ile elde edilen elektrolit olduğu tespit edilmiştir. Deneylere başlamadan önce bu karışım hazırlanmıştır. Elektrolitin hazırlanmasından sonra

numunelerdeki sehimi ölçen doğrusal ölçüm cihazı kalıntı gerilme deney setine monte edilmiştir. Daha sonra numunelerin aşındırma yapılmayacak kısımları koruyucu malzeme ile kaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Koruyucu malzeme ile kaplanmış numune

Deney süreci

Elektrokimyasal işleme her bir numune için 30 dakika sürmüş olup, bu süre sonunda numunelerden toplam 0,45mm tabaka kaldırılmıştır. 30 dakikalık deney süresince her 30 saniyede yaklaşık 0,007 mm'lik katman kaldırılarak 60 ölçüm yapılmış ve gerilme değerleri kaydedilmiştir. Her numune grubu için 15 ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

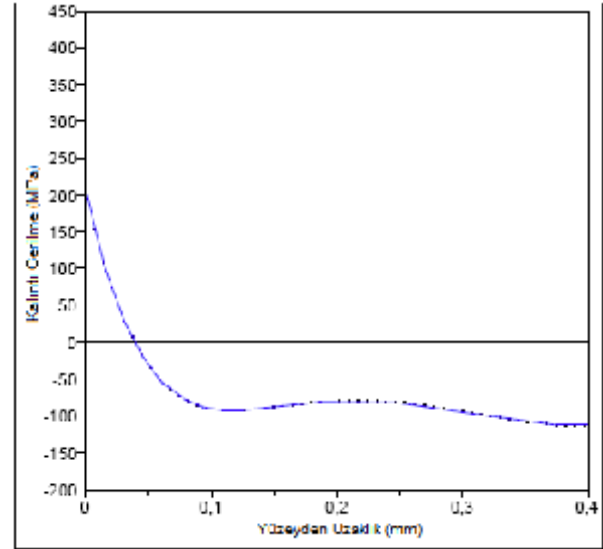
AISI 4140 çelik malzemeden tornalanarak şekillendirilmiş ve sertleştirilmemiş (12 HRC) numunenin kalıntı gerilme dağılımı Şekil 4'de görülmektedir. Numunenin yüzeyinde ölçülen çekme kalıntı gerilmesi 211 MPa'dır ve yüzeyden 0,03 mm derinliğe kadar çekme kalıntı gerilmeleri gözlenmiştir. Çekme kalıntı gerilmeleri bu derinlikten sonra basma kalıntı gerilmelerine dönüşmektedir. En yüksek basma kalıntı gerilmesi -90 MPa değerinde olup 0,12 mm derinlikte ölçülmüştür.

Yapılan literatür araştırmasına göre parçaların tornalama, frezeleme vb. imalat yöntemleri ile işlenmesi sırasında yüzeyde çekme kalıntı gerilmesi olduğu belirtilmektedir [8,9]. Kalıntı gerilmeler daima homojen olmayan plastik deformasyonun veya hacim değişiklikleri ile birleşmiş faz dönüşümlerinin bir sonucudur. İşleme esasında kesici takımdan iş parçası üzerine etkiyen kuvvetler plastik deformasyona neden olmaktadır [17]. Kesmedeki ısı olayı ile oluşan plastik deformasyon çekme kalıntı gerilmesine neden olmaktadır [18].

Farklı alaşımli çeliklerde tornalama parametrelerinin kalıntı gerilmelere etkisini belirlemek amacı ile birçok araştırma yapılmıştır [19]. AISI 4140 (32 HRC) çeliği kullanılarak yapılan bir çalışmada numuneler torna tezgâhında 0,05 (mm/dev) ilerleme hızında ve 0,2 mm uç yarıçaplı kesici ile işlenmiş olup, tornalama işlemi sonucunda numunelerin yüzeyinde 380 MPa çekme kalıntı gerilmesi ölçüldüğü belirtilmektedir [20]. Bu çalışmada da numuneler (12 HRC) torna tezgâhında 0,05 (mm/dev) ilerleme hızında ve 0,2 mm uç yarıçaplı bir kesici ile işlenmiş ve zımparalanmıştır. Bu parametrelerde hazırlanan numunelerde 211 MPa çekme kalıntı gerilmesi ölçülmüştür. Aradaki değer farkının numunelerin farklı sertliklerde olması ve tornalama işleminden sonra numunelere zımparalama işlemi yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 3 ve Şekil 5'de görülebileceği gibi 40, 45, 50 HRC sertliğindeki AISI 4140 numunelerden elde edilen kalıntı gerilme verileri, numunelerin yüzeylerinde

sırası ile en yüksek 169, 299, 203 MPa çekme kalıntı gerilmesi olduğunu göstermektedir. Çekme kalıntı gerilmeleri yüzeyden ortalama 0,05 mm derinliğe kadar devam etmekte ve bu derinlikten sonra basma kalıntı gerilmelerine dönüşmektedir. Ölçülen en yüksek basma kalıntı gerilmeleri sırası ile -56, -16, -26 MPa olarak bulunmuştur. Sertleştirilmiş numunelerdeki basma kalıntı gerilmesine dönüşüm derinlikleri 40, 45, 50 HRC için sırası ile 0,06, 0,07, 0,05 mm'dir. Sertleştirilmemiş numunedeki basma kalıntı gerilmesine dönüşüm



Şekil 4. Tornalanmış sertleştirilmemiş AISI 4140 numunenin kalıntı gerilmesi

derinliği ise 0,03 mm'dir. Sertleştirilmiş deney numunelerinin basma kalıntı gerilmesine dönüşüm derinlikleri sertleştirilmemiş numuneye göre yüzeyden daha derinde oluşmaktadır. Ayrıca sertleştirilmiş numunelerde basma kalıntı gerilmesine dönüşüm derinliği sertliğe göre farklılık göstermektedir.

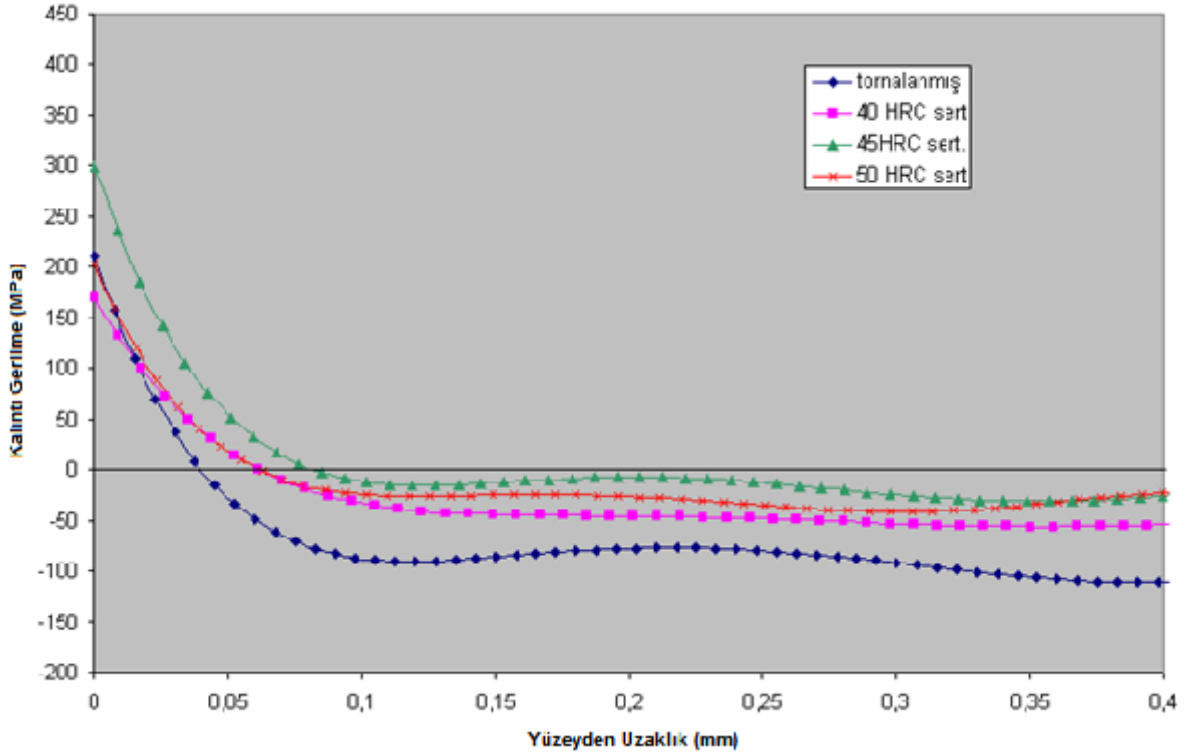
Yüzey katmanının biçim ve geometrisinde değişiklik oluşturan her hangi bir mekanizma kalıntı gerilmeler oluşturur. Bu değişim; mekaniksel, termal ve fiziksel olmak üzere üç mekanizmadan kaynaklanabilir: [21]. Termal bir metot olan ısı işlem parçalara uygulandığında, ısı etkisiyle yüzey katmanlarında meydana gelen farklı hacim genişlemelerinden dolayı kalıntı gerilmeler oluşur. Yüzeydeki ve yüzey altındaki bölgelerin soğuma hızı farklıdır. Yüzey soğuduğunda büzümeye çalışır buna karşın hacimce genişlemiş sıcak alt katmanlar buna izin vermez. Sonuçta gerilmeler kendini dengeleme ihtiyacı duyacağından yüzeyde çekme kalıntı gerilmeleri meydana gelir [8]. Bu

Tablo 3. Farklı sertliklerdeki AISI 4140 numunelerin yüzeyindeki çekme kalıntı gerilme değerleri

Sertlik Değeri (HRC)	Yüzeydeki çekme kalıntı gerilme (MPa)	Sertleştirilmemiş numuneye göre yüzeydeki kalıntı gerilme % farkı	Basma kalıntı gerilmesine dönüşme derinlikleri (mm)
Sertleştirilmemiş (12 HRC)	211	-	0,03
40	169	-%20	0,06
45	299	+%43	0,07
50	203	-%3	0,05

çalışmada da uygulanan sertleştirme işleminin numunelerde çekme kalıntı gerilmelerinin oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir.

sertleştirilen ve daha sonra 316°C de 40 dk. temperlenen numunelerde 299 MPa çekme kalıntı gerilmesi olduğu görülmüştür (Tablo 2-3).



Şekil 5. AISI 4140 çelikteki çekme kalıntı gerilmeleri üzerine sertlik değerlerinin etkisi

Malzeme yüzeyinde sertleştirme işleminden sonra oluşan çekme kalıntı gerilmesi, sertlik artışına göre uyumlu hareket etmediği kararsız artış ve azalışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Kalıntı gerilmeler zaman, sıcaklık, deformasyon ve mikro yapı arasındaki etkileşimin bir sonucudur [22]. Buna bağlı olarak elde edilen kalıntı gerilmelerdeki artış ve azalışların numunelerin hazırlanma şartlarındaki farklılardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Alaşımli çeliklerden yapılan parçalara uygulanan farklı sertleştirme yöntemlerinin ve sertleştirme parametrelerinin parçadaki kalıntı gerilmelere etkisi üzerine birçok araştırma bulunmaktadır [23-26]. AISI 4140 çeliğinden hazırlanan sertleştirilmiş, temperlenmiş parçaların yüzeylerinde çekme kalıntı gerilmeleri olduğu ve çekme kalıntı gerilmelerinin numunelerin yüzeyinden aşağıya doğru inildikçe azalma eğiliminde olduğu belirtilmektedir [4, 27, 28] Bu çalışmada da sertleştirilmiş numunelerin yüzeyinde çekme kalıntı gerilmeleri tespit edilmiştir. Yüzeyden aşağıya doğru inildikçe çekme kalıntı gerilmeleri basma kalıntı gerilmelerine dönüştüğü görülmektedir (Şekil 5).

AISI 4140 çeliğinden 730°C dereceye kadar ısıtılıp polimerik solüsyon ortamında soğutma işlemine tabi tutulan numunelerde, 300 MPa çekme kalıntı gerilmesi ölçüldüğü belirtilmektedir [4]. Bu çalışmada da 930°C dereceye kadar ısıtılıp yağ ortamında

AISI 4140 çeliğinden hazırlanmış numunelere uygulanan lazerle sertleştirme işleminin numunelerde hangi tip ve boyutta kalıntı gerilme oluşturacağını araştırıldığı bir çalışmada kalıntı gerilmeler X ışını yöntemi ile ölçülmüştür. 60 HRC sertliğindeki numunelerin yüzeyinde 90 MPa çekme kalıntı gerilmesi ölçülürken, 50 HRC sertlikteki numunelerde 210 MPa çekme kalıntı gerilmesi ölçüldüğü belirtilmektedir [28]. Yapılan deneyler sonucunda yukarıdaki çalışmadaki 60 ve 50 HRC sertlikteki numunelerde olduğu gibi daha sert olan 50 HRC sertlikteki numunelerde (203 MPa) 45 HRC sertlikteki numunelerden (299 MPa) daha az çekme kalıntı gerilmesi belirlenmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda görülmüştür ki, sertleştirme işlemi sırasında sıcaklığın, soğutma şeklinin-süresinin vb. etmenlerin faz dönüşümlerini direk etkilemesine bağlı olarak ölçülen kalıntı gerilme değerlerinin tam olarak hangi sertlikte ne olması gerektiği belirlenememiştir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Mekaniksel metot olan tornalama işlemi, AISI 4140 malzemesinden yapılmış numunenin yüzeyinde 211 MPa çekme kalıntı gerilmesi oluşturduğu tespit edilmiştir.

2. Sertleştirilmemiş numunenin yüzeyinden 0,03 mm mesafeden sonra çekme kalıntı gerilmeleri basma kalıntı gerilmelerine dönüşmüştür. 0,12 mm derinlikte basma kalıntı gerilmeleri maksimum (-90 Mpa) değerine ulaşmıştır.
3. Sertleştirilmiş AISI 4140 malzemesinin yüzeyindeki en yüksek çekme kalıntı gerilmesi, 45 HRC sertlikte olduğu görülmüştür.
4. Termal metot olan sertleştirme işlemi, 40, 45, 50 HRC sertleştirilmiş numunelerin yüzeyinde sırası ile 169, 299, 203 MPa çekme kalıntı gerilmesi oluşturduğu tespit edilmiştir.
5. 40, 45, 50 HRC sertleştirilmiş numunelerde ortalama 0,05 mm derinlikten sonra basma kalıntı gerilmeleri tespit edilmiştir. 40, 45, 50 HRC sertleştirilmiş numuneler için ölçülen maksimum basma kalıntı gerilmeleri sırası ile -56, -16, -26 MPa dır.
6. AISI 4140 malzemesinin sertleştirme işleminden sonra malzemenin yüzeyinde elde edilen çekme kalıntı gerilmelerinde artış ve azalışların olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin numuneleri sertleştirme şartlarından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmada kalıntı gerilmelerin ölçümü sırasında gerekli yardımı esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Fırat KAFKAS'a teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. 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, 40-56, 2001.
2. Varol R., Bedir F., "Artık Gerilmelerin Önemi ve Yorulma Limiti Üzerine Etkisi", **Mühendis ve Makine**, 34 (406): 38-41, (1993).
3. Parlane A.J.A., "The determination of residual stresses: A review of contemporary techniques", *Residual Stresses in Welded Construction and their Effects*. Int. Conf., **London**, 63-78, (1977).
4. Grum J., Bozic S., Zupancic M., "Influence of quenching process parameters on residual stresses in steel", **Journal of Materials Processing Technology**, 114,57-70, (2001).
5. Gür C. H., Tekkaya A. E., "Numerical investigation of non-homogeneous plastic deformation in quenching process", **Mater. Sci. Eng. A**, 319-321, 164-169, (2001).
6. Jaap S., "Fatigue of Structures and materials", **Kluwer Academic Publisher**, 71, (2001).
7. Sasahara H., "The effect on fatigue life of residual stress and surface hardness resulting from different cutting conditions of 0.45 %C steel", **International Journal of Machine Tools&Manufacture**, 45, 134-136, (2005).
8. Stephens I. R., Fatemi A., Stephens R. R., Fuchs O. H., "Metal Fatigue in Engineering", **John Wiley & Sons, New York**, 243-266, 2000.
9. Bailey N. S., Tan W., Shin Y. C., "Predictive modeling and experimental results for residual stresses in laser hardening of AISI 4140 steel by a high power diode laser", **Surface & Coatings Technology**, 203, 2003-2012, (2009).
10. Matsumoto, Y., "Review of current hard turning technology", **Abrasives Magazine**, Oct./Nov: 16-34, 1996.
11. Matsumoto Y., Hashimoto F., Lahoti G., "Surface integrity generated by precision hard turning", **Annals of the CIRP**, 48(1):59-62, (1999).
12. Withers P.J., Bhadeshia H.K.D.H., "Residual stresses : Part1- Measurement Techniques", **Materials Science and Technology**, 17,355-365, (2001).
13. ASTM, "Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials", Philadelphia, **ASTM E 466-07**, (2007).
14. ASTM, "Standard Practice for Presentation of Constant Amplitude Fatigue Test Results for Metallic Materials", Philadelphia, **ASTM E 468-11**, (2011).
15. Kafkas F., "Vidaların Talaşlı İmalatında İmalat Parametrelerinin Vida Dış Dibiindeki Kalıntı Gerilmeler Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 114-116, 2007.
16. Dülek, E., "Ç 1020 Malzemede Bilyalı Dövme ile Oluşturulan Yüzeydeki Kalıcı Gerilmelerin Katman Kaldırma (Elektro Kimyasal) Yöntemiyle İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 55-68, 2002.
17. Arunachalam R.M., Manan M.A., Spowage A. C., "Surface integrity when machining age hardened Inconel 718 with coated carbide cutting tools", **International Journal of Machine Tools&Manufacture**, 44, 1481-1491, (2004).
18. Griffiths B., "Manufacturing surface technology", Taylor & Francis Book Inc, **New York**, 1-26, 2001.
19. Liang S.Y., Su J-C., "Residual Stress Modeling in Orthogonal Machining", **Annals of the CIRP**, 56, 65-68, (2007).
20. Capello E., "Residual stresses in turning Part II. Influence of the machined material", **Journal of Materials Processing Technology**, 172, 319-326, (2006).
21. Capello E., "Residual stresses in turning Part I: Influence of Process Parameters", **Journal of Materials Processing Technology**, 160, 221-228, (2005).
22. Bhadeshia H.K.D.H., "Handbook of residual stress and deformation of steel; Materials factors", University of Cambridge, **ASM International**, 3-9 (2002).
23. Gür C. H., "Investigation of the influence of specimen geometry on quench behavior of steels by X-ray determination of surface residual stresses", **International Journal of Mechanical Sciences**, 44, 1335-1347, (2002).
24. Ferguson B. L., Li Z., Fregborg A. M., "Modeling heat treatment of steel parts", **Computational Materials Science**, 34, 274-281, (2005).
25. Ligang L., Qiang L., Xiaohei L., Yukui G., Xuejun R., Bo L., Qingxiang Y. , "Stress field simulation of carburized specimens with different carbon content during quenching process", **Materials Letters**, 61, 1251-1255, (2007).

26. Lee M.K., Kim G.H., Kim, K.H., Kim W.W., “Effects of surface temperature and cooling rate on the residual stresses in a flame hardening of 12Cr steel”, **Journal of Materials Proessing Technology**, 176, 140-145, (2006).
27. Kristoffersen, H., Vomacka, P., “Influence of process parameters for induction hardening on residual stresses”, **Materials & Desing**, 22: 637-644, (2001).
28. Bailey N. S., Tan W., Shin Y. C., “Predictive modeling and experimental results for residual stresses in laser hardening of AISI 4140 steel by a high power diode laser”, **Surface & Coatings Technology**, 203, 2003–2012, (2009).