



AISI 4140 ÇELİĞİNDE SERTLİK VE KALINTI GERİLME İLİŞKİSİ

MEHMET SUBAŞI*, FIRAT KAFKAS**, ÇETİN KARATAŞ***

*msubasi@gazi.edu.tr Gazi Üniversitesi, Atatürk Meslek Yüksekokulu-Ankara,

**fkafkas@gazi.edu.tr Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknoloji Fakültesi-Ankara,

***cetink@gazi.edu.tr Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknoloji Fakültesi-Ankara

ÖZET

Makine parçalarının çalışma performansı üzerinde etkisi olan kalıntı gerilmelerin uygulanan imal yöntemine göre termal, mekaniksel yada bunların birleşiminden kaynaklı olduğu bilinmektedir. Uygulanan imal yöntemin parçada nasıl bir kalıntı gerilme dağılımı oluşturacağına iyi bilinmesi mühendislik hesapları açısından zorunludur. Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğinden ternalandıktan sonra yağda 40, 45, 50 HRC değerlerinde sertleştirilmiş numunelerdeki kalıntı gerilme değerleri belirlenmiş ve hiç sertleştirilmemiş numunelerle karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 40, 45, 50 HRC değerlerinde sertleştirilmiş numunelerin yüzeylerinde sırasıyla 169, 299, 203 MPa çekme kalıntı gerilmesi olduğu, buna karşılık sertleştirilmemiş numune yüzeyinde ise 211 MPa çekme kalıntı gerilmesi olduğu tespit edilmiştir. Sertleştirilmenin malzeme yüzeyinde çekme kalıntı gerilmesi oluşturduğu, sertliğe göre değerinin değiştiği ve mekaniksel kaynaklı gerilmelerin termal kaynaklı gerilmelere göre daha baskın olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Sertleştirme, kalıntı gerilme

ABSTRACT

Residual stresses, which affect the working performance of mechanical parts, are due to thermal, mechanical or a combination of those two depending on applied production methods. It is vital to predict the residual stress distribution which was caused by applied production methods in order to obtain proper engineering calculations. In this study, residual stresses are obtained in AISI 4140 steel which was quenched in oil to get HRC 40,45,50. These values are compared with unquenched steels. At the end of these experiments, it is seen that the surfaces of the quenched steels with 40,45,50 HRC have 169,299,203 MPa tensile residual stresses respectively while an unquenched steel surface has a 211 MPa tensile residual stress surface. It is observed that quenching results in tensile residual stresses the surface of test materials and their value depends on the surface hardness. Also it is found that mechanical induced residual stress is more dominant than thermal induced residual stress.

Keywords: Hardening, residual stress

1.GİRİŞ

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 tasarım mühendisi bu tür gerilmeleri dikkate almak zorundadır [2].

Kalıntı gerilmeler elastik gerilmelerdir. Kalıntı gerilmenin ulaşabildiği maksimum değer malzemenin akma gerilmesi ile sınırlıdır. Gerilme bu değeri geçtiği anda, ters yönlü bir dış kuvvet yoksa, akma gerilmesi değerine ininceye kadar malzeme kendisini deforme eder. Bir diğer ifade ile plastik deformasyon meydana gelerek kalıntı gerilme değeri düşer [2].

Sertleştirme işlemleri sonucu iş parçasının yüzey bölgesinde hacim değişiklikleri ortaya çıkar [2]. Bir metal ısıtıldığında ve hemen ardından soğutulduğunda meydana gelen farklı genleşmeler, termal kaynaklı kalıntı gerilmelerin oluşumunun temel nedenidir. Tam veya yüzey sertleştirme işlemlerinde iş parçasının farklı bölgelerinde farklı sıcaklıkların bulunmasından iç gerilmeler doğar. Bu nedenle, bu işlem esnasında doğal olarak dış yüzey bölgelerinde soğuma hızı iç bölgelere göre daha yüksektir. Ayrıca, faz dönüşümü sonucu da kalıntı gerilmeler meydana gelmektedir [3-1].

Parça şekillendirmede kullanılan imalat işlemleri mikro yapı, son yüzey ve kalıntı gerilme gibi kapsamlı değişkenleri içerir. Kalıntı gerilmelerin kaynaklarının bilinmesi ve kontrol edilmesi, kalıntı gerilmelerden istenilen yönde sonuç elde edilmesini sağlar [4].

Literatürde, sertleştirme ve kalıntı gerilme ile ilgili farklı çalışmalar vardır. Bu çalışmalar karbürize edilmiş çeliklerin [5-6], indüksiyonla sertleştirilmiş çeliklerin [7], sertleştirilmiş temperlenmiş çeliklerin [8-9] kalıntı gerilmelerinin ölçmesi, sertleştirme işleminin simülasyonu ve modellenmesi [10-11] şeklindedir.

Bu çalışmada, AISI 4140 çelikten yorulma numunesi biçiminde tornalanan ve sonra yağda 40, 45, 50 HRC değerlerinde sertleştirilmiş numunelerdeki kalıntı gerilme değerleri belirlenmiş ve hiç sertleştirilmemiş numunelerle karşılaştırılması yapılmıştır. Kalıntı gerilmelerin belirlenmesinde ise katman kaldırma yönteminden faydalanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

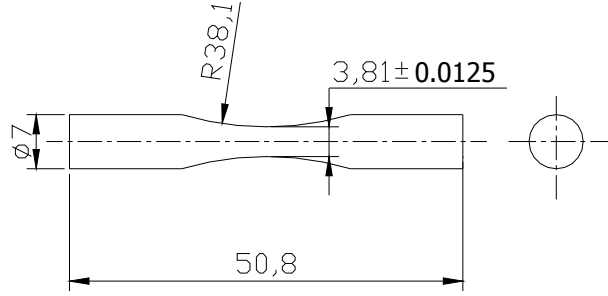
2.1. Deney Malzemesi

Deney malzemesi olarak AISI 4140 çelik kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çeliğin spektral analizi Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. 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

Deneylerde kullanılan numuneler 16 mm çaplı AISI 4140 çelikten ASTM E -466 ve 468'e [12-13] göre tornalanarak hazırlanmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Deney numunesi

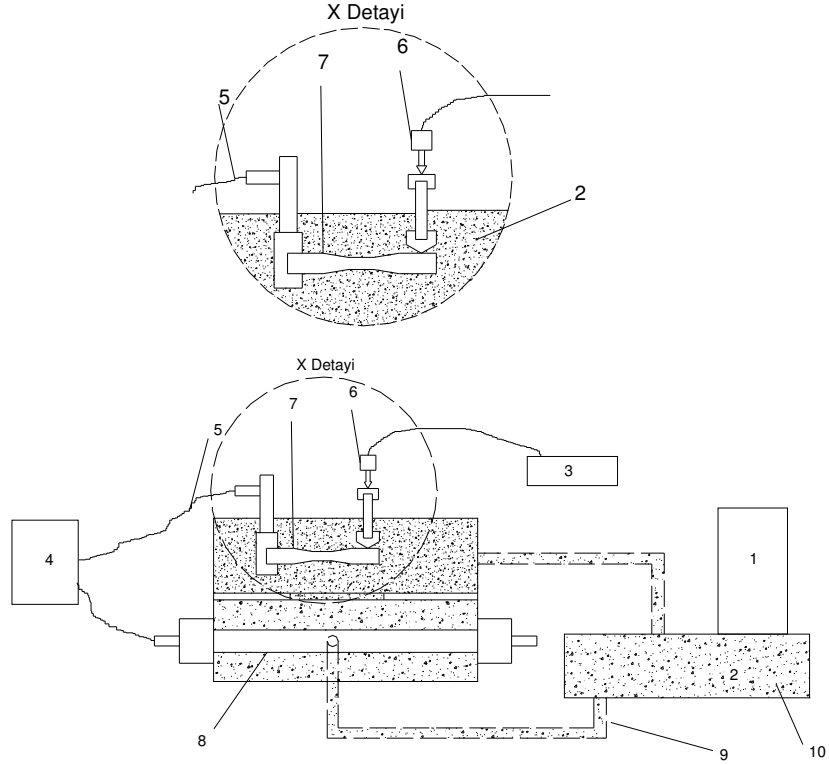
Şekil 2.1'de gösterildiği gibi hazırlanan deney numuneleri daha sonra Tablo 2.3 belirtilen şartlar altında ısıl işleme tabii tutulmuştur.

Tablo 2.3. Isıl işlem parametreleri

Sertlik değeri (HRC)	Sertleştirme sıcaklığı (°C)	Sertleştirme süresi (saat)	Sertleştirme ortamı	Temperleme sıcaklığı (°C)	Temperleme süresi (dak)
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

2.2. Deney Cihazı

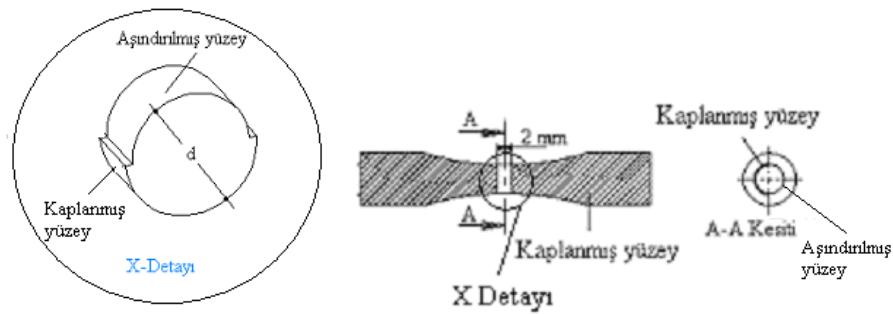
Çalışmada kalıntı gerilmelerin ölçümleri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde bulunan kalıntı gerilme ölçüm cihazında yapılmıştır. Kalıntı gerilme ölçüm cihazı Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilmiştir. Cihazın elektrokimyasal kısmı elektrolit, anot (numune), katot, elektrolit havuzu ve DC güç kaynağından oluşmaktadır. Numunedeki kalıntı gerilmenin belirlenmesi için gerekli deformasyonun ölçülmesinde 0,1 µm hassasiyetindeki doğrusal ölçüm ucundan yararlanılmıştır.



Şekil 2.2. Kalıntı gerilme deney düzeneği 1)Pompa 2) Asit 3) Gösterge 4) DC Güç kaynağı 5) Kablo 6) Linear Gage 7) Numune 8) Katot 9) Hortum 10) Asit deposu

2.3. Deneilerin Yapılışı

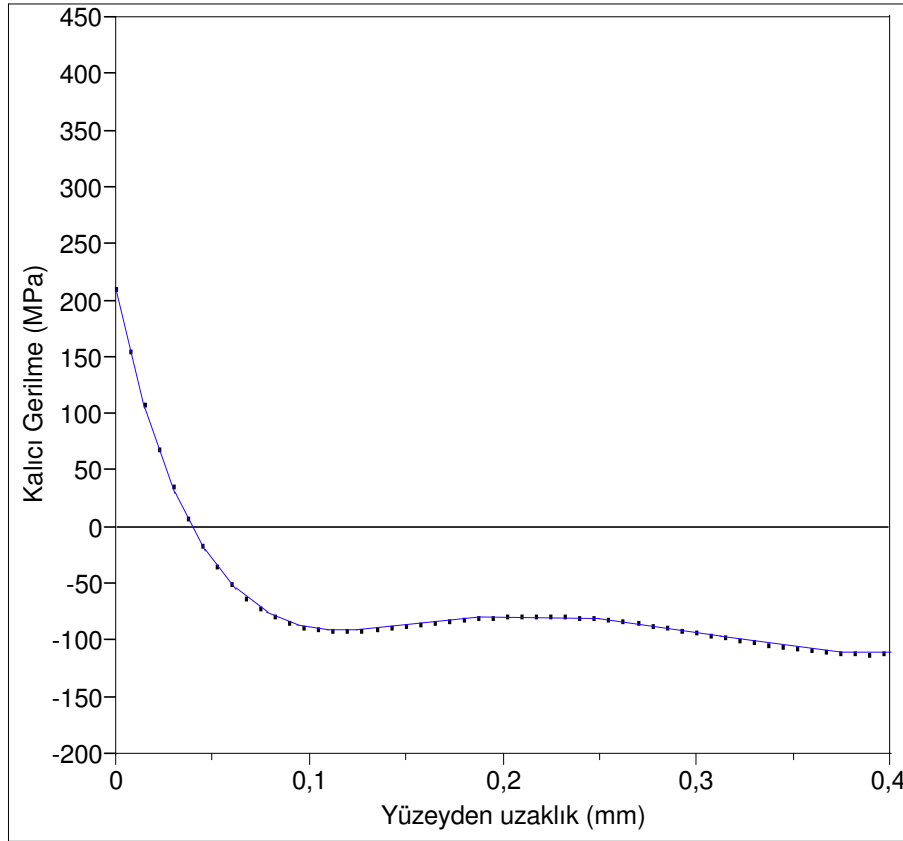
Numunelerdeki kalıntı gerilme değerleri katman kaldırma tekniğine göre gerçekleştirilmiştir. Katmanların kaldırılması işleminde elektrokimyasal yöntem tercih edilmiştir. Deney öncesi numuneler Şekil 2.3' de görüldüğü gibi kalıntı gerilme ölçüm cihazı için hazırlanmıştır. Ölçüm işlemi her bir numune için 30 dakika sürmüştür ve bu süre sonunda numunelerden 0,45 mm tabaka kaldırılmıştır. Her 30 saniyede bir ölçüm alınarak kaydedilmiştir. Yaklaşık 0,006 mm'lik katmanlardaki gerilme değerleri kaydedilmiştir.



Şekil 2.3. Koruyucu malzeme ile kaplanmış numune

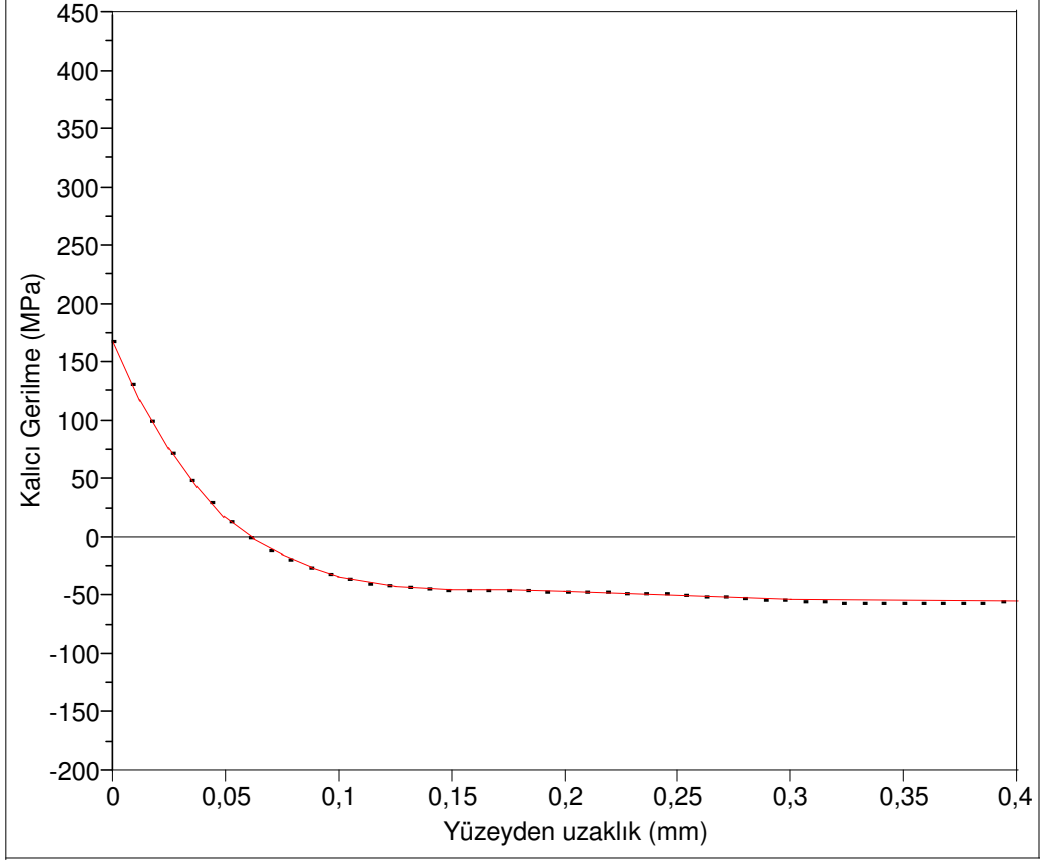
3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Şekil 3.1’de sadece tornalanmış numunenin kalıntı gerilme dağılımı görülmektedir. Numunenin yüzeyinde ölçülen çekme kalıntı gerilmesi 211 MPa’dır. Yüzeyde ölçülen çekme kalıntı gerilmesinin derinliği 0,03 mm ye kadardır. 0,03 mm derinlikten sonra gerilme basma kalıntı gerilmelerine dönüşmektedir. Numunede ölçülen maksimum basma kalıntı gerilmesi -90 MPa’ dır. Fatemi ve arkadaşlarına göre [4] parçaların imalatı sırasında yüzeyde çekme kalıntı gerilmesi oluştuğunu belirtmektedir. Bu çalışmadaki numunenin yüzeyinde de tornalamadan dolayı çekme gerilmesi çıkmıştır.



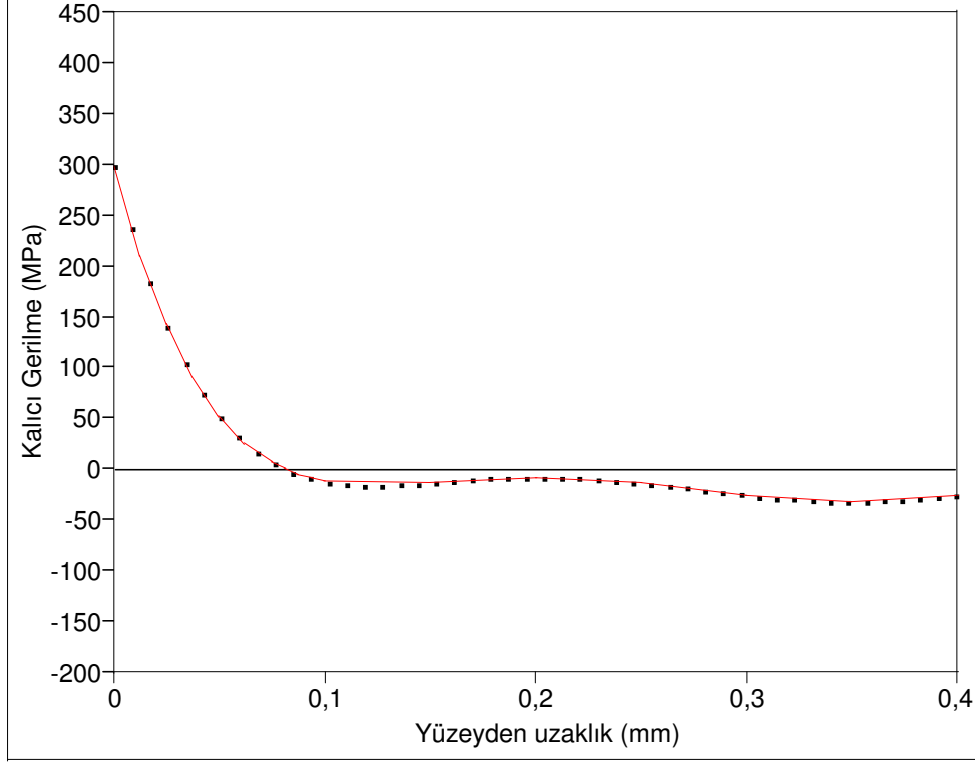
Şekil 3.1. Tornalanmış sertleştirilmemiş AISI 4140 numunenin kalıntı gerilmesi

Şekil 3.2’de 40 HRC sertliğindeki numunesinin kalıntı gerilme dağılımı görülmektedir. Numunenin yüzeyinde ölçülen çekme kalıntı gerilmesi 169 MPa’dır. Yüzeyde ölçülen çekme kalıntı gerilmesinin derinliği 0,06 mm dir. 0,06 mm derinlikten sonra numunede ölçülen maksimum basma kalıntı gerilmesi ise -56 MPa’ dır. Numunede ölçülen kalıntı basma gerilmeleri 0,06 mm ‘den sonra doğrusal olarak artış göstermiştir.



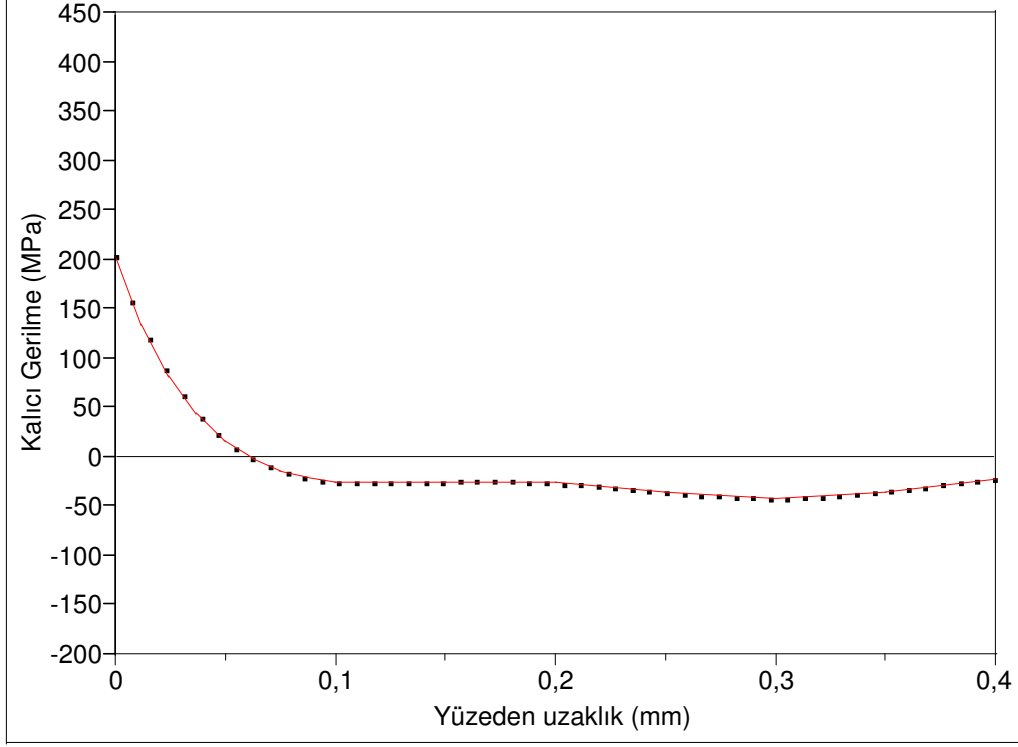
Şekil 3.2. 40 HRC sertliğindeki numunelerin kalıntı gerilmeleri

Şekil 3.3’de 45 HRC sertliğindeki numunenin kalıntı gerilme dağılımı görülmektedir. Numunenin yüzeyinde çekme kalıntı gerilmesi ölçülmüştür. Yüzeyde ölçülen çekme kalıntı gerilmesi 299 MPa’dır. Yüzeyde ölçülen çekme kalıntı gerilmesinin derinliği 0,07 mm dir. 0,07 mm derinlikten sonra numunede basma kalıntı gerilmeleri tespit edilmiştir. Numunede ölçülen maksimum basma kalıntı gerilmesi ise -16 MPa’ dır. Maksimum basma gerilmesinin ölçüldüğü derinlik 0,12 mm’ dir. 0,12 mm den sonra ölçülen basma kalıntı gerilmelerinde dalgalanmalar olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.3. 45 HRC sertliğindeki numunelerin kalıntı gerilmeleri

Şekil 3.4’de 50 HRC sertliğindeki numunenin kalıntı gerilme dağılımı görülmektedir. Numunenin yüzeyinde ölçülen çekme kalıntı gerilmesi 203 MPa’dır. Yüzeyde ölçülen çekme kalıntı gerilmesinin derinliği 0,05 mm dir. 0,07 mm derinlikten sonra numunede ölçülen maksimum basma kalıntı gerilmesi ise -26 MPa’dır. Maksimum basma gerilmesinin ölçüldüğü derinlik 0,1 mm’dir. 0,1 mm’den sonra ölçülen basma kalıntı gerilmelerinde dalgalanmalar olduğu gözlemlenmiştir.

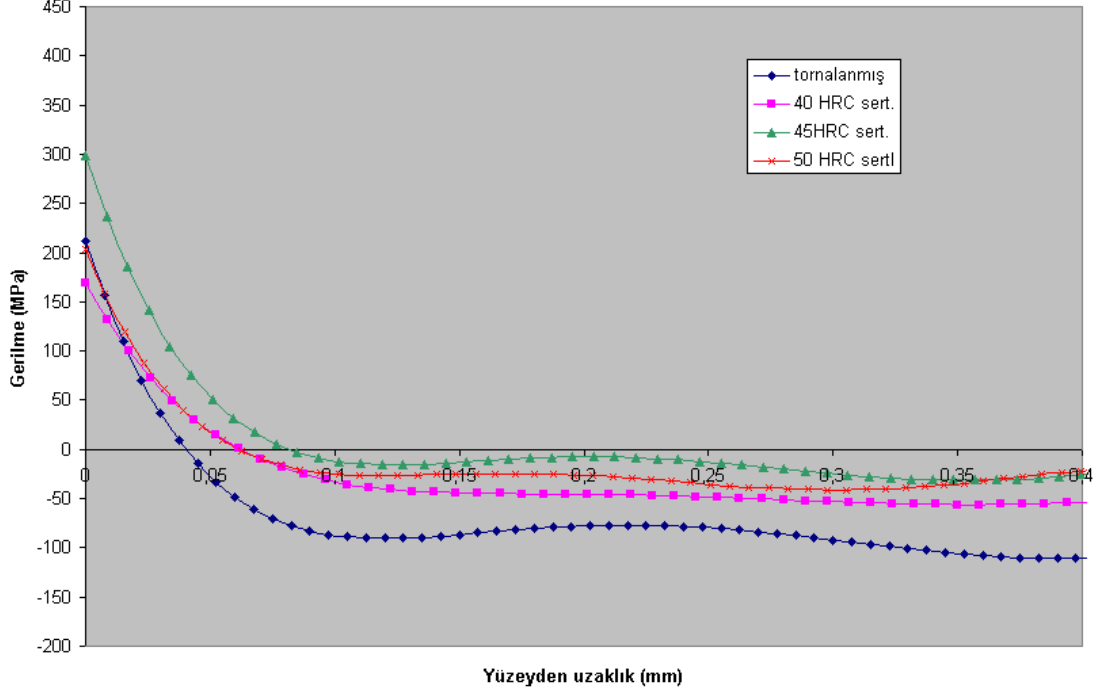


Şekil 3.4. 50 HRC sertliğindeki numunelerin kalıntı gerilmeleri

40, 45, 50 HRC sertliğindeki numunelerde yapılan deneyler sonucunda Çizelge 3.1 ve Şekil 3.5’de görüldüğü gibi numunelerin yüzeylerinde sırası ile 169, 299, 203 MPa çekme kalıntı gerilmesi ölçülmüştür. Numunelerde ölçülen çekme kalıntı gerilmeleri yüzeyden ortalama 0,06 mm derinliğindedir. Bu derinlikten sonra numunelerde basma kalıntı gerilmeleri ölçülmüştür. 40, 45, 50 HRC sertleştirilmiş numunelerde ölçülen maksimum basma kalıntı gerilmeleri sırası ile -56, -16, -26 MPa’dır.

Çizelge 3.1. Farklı sertliklerdeki AISI 4140 numunelerin yüzeyindeki çekme kalıntı gerilme değerleri

Sertlik Değeri (HRC)	Yüzeydeki kalıntı çekme gerilme (MPa)	Tornalanmış numuneye göre yüzeydeki kalıntı gerilme karşılaştırması
Tornalanmış (12 HRC)	210	-
40	169	-%20
45	299	+%43
50	203	-%3



Şekil 3.5. Farklı sertliklerdeki AISI 4140 çeliğinin yüzeyindeki çekme kalıntı gerilme değerleri

Parça yüzeyinde termal yöntem ile kalıntı gerilme oluşturma yöntemlerinden biri olan sertleştirme numunede çekme özelliğine sahip kalıntı gerilme oluşmasına sebep olur.

4. SONUÇ

Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Termal bir metot olan sertleştirme işlemi malzemenin yüzeyinde termal kaynaklı çekme kalıntı gerilmesi oluşturmaktadır.
2. Tornalama işlemi termo-mekaniksel bir yöntemdir ve malzemenin yüzeyinde çekme kalıntı gerilmesi oluşturmaktadır.
3. Malzeme yüzeyinde sertleştirme işleminden sonra oluşan çekme kalıntı gerilmesi, sertlik artışına göre uyumlu hareket etmediği kararsız artış ve azalışlar gösterdiği tespit edilmiştir.
4. AISI 4140 malzemesinin yüzeyindeki en yüksek çekme kalıntı gerilmesi, 45 HRC sertlikte olduğu görülmüştür.
5. AISI 4140 malzemesinin sertleştirme işleminden sonra malzemenin yüzeyinde çekme kalıntı gerilmeleri yaklaşık 0,03 derinlik den sonrada basma kalıntı gerilmelerine dönüşmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [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. ve BEDİR, F., Artık Gerilmelerin Önemi ve Yorulma Limiti Üzerine Etkisi, **Mühendis ve Makine**, 34 (406): 38-41, (1993).
- [3] 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).
- [4] STEPHENS, I. R., FATEMI A., STEPHENS, R. R., FUCHS, O. H., Metal Fatigue in Engineering, **John Wiley & Sons**, New York, 243-266, (2000).
- [5] KOISTINEN D. P., The distribution of residual stresses in carburized cases and their origin, **Transactions of the ASM**, 50: 227-41, (1958).
- [6] MOTOYAMA, M., HORISAWA, H., Residual stress measurements in case-hardened steels, SAE Paper 710281, (1968).
- [7] ISHII, K., IWAMOTO, M., SHIRAIWA, T., SAKAMOTO, Y., Residual stress in the induction hardened surface of steel, SAE Paper 710280, (1968).
- [8] KIRK, D., NELMS, P. R., ARNOLD, B., Residual stresses and fatigue life of case-carburized gears, **Metallurgia**, 74: 255-7, (1966).
- [9] MACDONALD, B. A., Application of the X-ray two-exposure stress measuring technique to a carburized steel, **Advances in X-Ray Analysis**, 13: 487-506, (1970).
- [10] INOUE, T., WANG, Z., Coupling between stress, temperature, and metallic structures during processes involving phase transformation, **Materials Science and Technology**, 1: 845-50, (1985).
- [11] GÜR, C. H., TEKKAYA, A. E., Finite element simulation of quenched hardening, **Steel Research**, 67:298-306, (1996).
- [12] ASTM, Contuction Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials, Philadelphia, ASTM E 466-82, (1982).
- [13] ASTM, Presentation of Constant Amplitude Fatigue Test Result For Metallic Materials, Philadelphia, ASTM E 468-82, (1982).