Teknik yazı

SEMENTASYON İŞLEMİ UYGULANAN ÇELİKLERDEKİ KALINTI GERİLMELERİN TAHRİBATSIZ TEKNİKLERLE ÖLÇÜLMESİ

Hüseyin HIZLI — Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Tuğçe KALELİ — Orta Doğu Teknik Üniversitesi
C. Hakan GÜR — Orta Doğu Teknik Üniversitesi

ÖZET

Küresel rekabetin performans ve kalite beklentilerini yükseltmesine bağlı olarak imalat sırasında mühendislik parçalarında oluşan kalıntı gerilmelerin hızlı ve güvenilir biçimde tayini önem kazanmıştır. Sementasyon uygulanan çeliklerin yorulma ömrü, işlem sırasında oluşan kalıntı gerilmelerden doğrudan etkilenmektedir. Bu çalışmanın amacı sementasyon parametrelerindeki farklılıkların kalıntı gerilme durumuna olan etkilerini Manyetik Barkhausen Gürültüsü (MBN) yöntemi ile tahribatsız olarak tespit etmek ve bu yöntemin endüstriyel uygulama için kullanılabilirliğini araştırmaktır. Deneysel çalışmada, farklı parametrelerle sementasyon uygulanmış çelik numunelerde MBN ve X-ışını kırınımı yöntemleri ile ölçülen kalıntı gerilme değerleri karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Sementasyon işlemi, dişli ve mil gibi makine parçalarının yorulma ömrünü, yüzey sertliklerini ve aşınma dirençlerini artırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlemde, düşük karbonlu çelikten üretilmiş parçaların yüzeylerine kontrollü atmosferde ve yüksek sıcaklıkta difüzyon mekanizması ile karbon emdirilir; takiben hızla soğutularak yüzeylerinde martensit fazı içeren bir katman oluşturularak parçalar güçlendirilir. Yüzeyde oluşan katman martensit fazının yanı sıra, parça yüzeyleri kalıntı östenit fazı ve basma nitelikli kalıntı gerilmeler içerir [1]. Basma nitelikli kalıntı gerilmeler, kullanımı sırasında parçayı etkileyen çekme gerilmelerinin yüzeydeki etkisini azaltır.

Sementasyon sırasında işlem parametreleri değiştirilerek farklı içyapılar ve kalıntı gerilme durumları oluşturulabilir. Kalıntı gerilmelerin oluşmasında çok sayıda etmen birlikte rol oynar. Yüksek ve düşük karbonlu bölgelerdeki hacim farklılıkları, yüksek soğuma hızının sebep olduğu sıcaklık farklılıkları ve östenit fazının martensit fazına dönüşmesi sırasında olan bölgesel plastik deformasyonlar başlıca faktörlerdir.

Kalıntı gerilmeleri ölçmek için birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olan çeşitli tahribatlı ve tahribatsız yöntemler mevcuttur. Örneğin X-ışını kırınımı yöntemiyle, kalıntı gerilme miktarları gerçeğe çok yakın ölçülmekle birlikte tek bir noktadan ölçüm almak oldukça uzun sürmektedir. Ferromanyetik malzemelerin kalıntı gerilimlerinin ölçülmesinde, mikro-manyetik teknikler alternatif bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. Uygulama kolaylığı, taşınabilirliği, kısa uygulama süresi ve zorlu çevre koşullarında dahi uygulanabilir olması bu yöntemin en önemli özellikleridir.

Ferromanyetik malzemeler, mikron boyutunda ve domen adı verilen manyetik bölgelerden oluşur. Birbirlerinden domen duvarları ile ayrılan domenlerdeki mıknatıslanma yönleri malzemenin toplam mıknatıslanmasını sıfırlayacak şekilde rastgele dağılmıştır. Dışarıdan mekanik bir yük veya manyetik alan uygulandığında, domen duvarları hareket ederek konumlarını değiştirirler. Malzeme içerisindeki manyetik bölgelerin hareketlerinin sebep olduğu değişimlerden sinyaller (Barkhausen Gürültüsü) elde edilir. Bu sinyaller malzemenin içyapısına göre ve uygulanan yüklere göre değişiklik gösterdiğinden içyapı karakterizasyonu veya gerilim ölçümlerinde kullanılabilir. Kalıntı gerilimler, 180° ve 90° lik manyetik domen duvarlarının hareketini etkilerken, içyapı domen duvarlarının hareketine engel oluşturan noktaların sayısını etkileyerek Barkhausen gürültüsünün miktarını değiştirir [2,3].

Manyetik Barkhausen Gürültüsü (MBN) yöntemi ile kalıntı gerilme ölçümü yapılabileceği, tahribatlı yöntemler ve X-ışını kırınımı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak ispatlanmaya çalışılmıştır [4]. Diğer bir çalışmada, basma kalıntı gerilimlerin değerinin sementasyon kabuk derinliği arttıkça arttığı gözlemlenmiştir [5]. Semente edilmiş 21NiCrMo2 çeliğinin yüzeyinde X-ışını kırınımı yöntemi kullanılarak gerilme ölçülmüştür [6]. Elastik çekme ve basma gerilmelerinin uygulandığı numunelerde yapılan MBN ve X-ışını kırınımı ölçümleri sonucunda, MBN sinyal genliği ile gerilmenin çeşidi ve büyüklüğü arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir [7]. Sementasyon uygulanmış çeliklerde yüksek ve düşük frekans kullanılarak yapılan

MBN ve X-ışını kırınımı ölçümlerinin sonuçları arasında bir ilişki bulunmuştur [8]. Su verilmiş çeliklerde MBN sinyallerinin ortalama karekök (rms) değeri ve mıknatıslık giderim kuvveti ile kalıntı gerilmelerin değişimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu anlaşılmıştır [9].

Bu çalışmanın amacı Manyetik Barkhausen Gürültüsü (MBN) yönteminin kalıntı gerilmelerin ölçülmesindeki etkinliğini ve güvenilirliğini incelemek ve sementasyon parametrelerindeki değişimlerin kalıntı gerilme durumuna olan etkilerini gözlemlemektir. Bu amaçla, farklı parametrelerle sementasyon uygulanmış çelik numunelerde, MBN ölçümleri ve X-ışını kırınımı yöntemlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. DENEYSEL YÖNTEM

Sementasyon işlemi için 19CrNi5H çeliğinden (Tablo 1) 165mmx36mmx10mm ölçülerine sahip dört numune seti hazırlanmıştır.

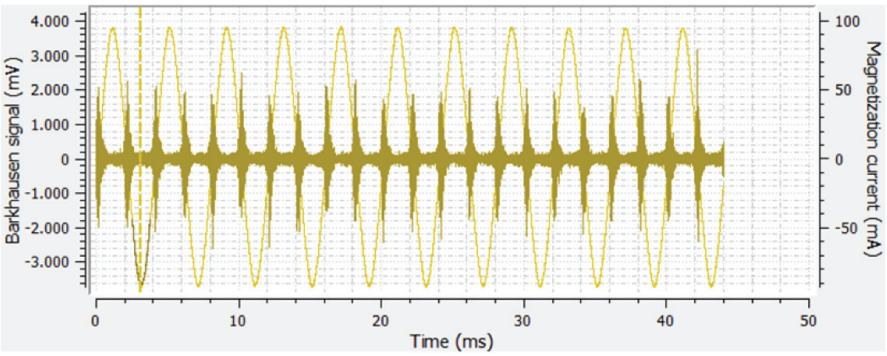
Tablo 1. 19CrNi5H çeliğinin kimyasal analizi (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	V
0.18	0.26	0.95	0.014	0.026	1.01	0.94	0.05	0.031	0.009

Numuneler C_3H_8(g) ve korumalı gaz atmosferine sahip (33% H_2, 28% CO, 0.8% CH_4) kutu tipi fırınlarda 900°C'de 8 saat tutularak semente edilmiştir. Ardından yağda su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin bir seti kontrol numune seti olarak ayrılıp diğer setlere üç farklı sıcaklıkta menevişleme işlemi uygulanmıştır: 180°C, 240°C ve 600°C.

X-ışını kırınımı yöntemi ile kalıntı gerilim ölçümleri, Cr-Kα ışınımı kullanılarak ferrit fazının {211} düzlemi ve 2Θ≈156° esas alınarak Xstress 3000 G2/G2R cihazı ile yapılmıştır. Ortalama nüfuziyet derinliği yaklaşık 5 µm'dir. Her numunede, eşit aralıkla beş farklı noktada üç yönde (0°, 45°, 90°) 10 farklı eğme açısı için ölçüm alınmıştır.

MBN ölçümleri için kullanılan değişkenleri optimize etmek için 2 ila 16 volt ve 0 ila 1000 Hz frekans aralıkları denenmiştir [10]. Rollscan 300 donanımı kullanılarak MBN ortalama karekök değerleri ölçülmüştür. Mıknatıslanma parametreleri, 10 Volt ve 250 Hz olarak optimize edilmiş ve 70-200 kHz arasında filtreleme uygulanmıştır. 0°, 45° ve 90° yönlerinde, 5 farklı ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin güvenirliği, Pearson's korelasyonu ile hesaplanan R^2 değerleri ile test edilmiştir.



Şekil 1. Optimizasyon sonrası MBN emisyonu sinyalleri

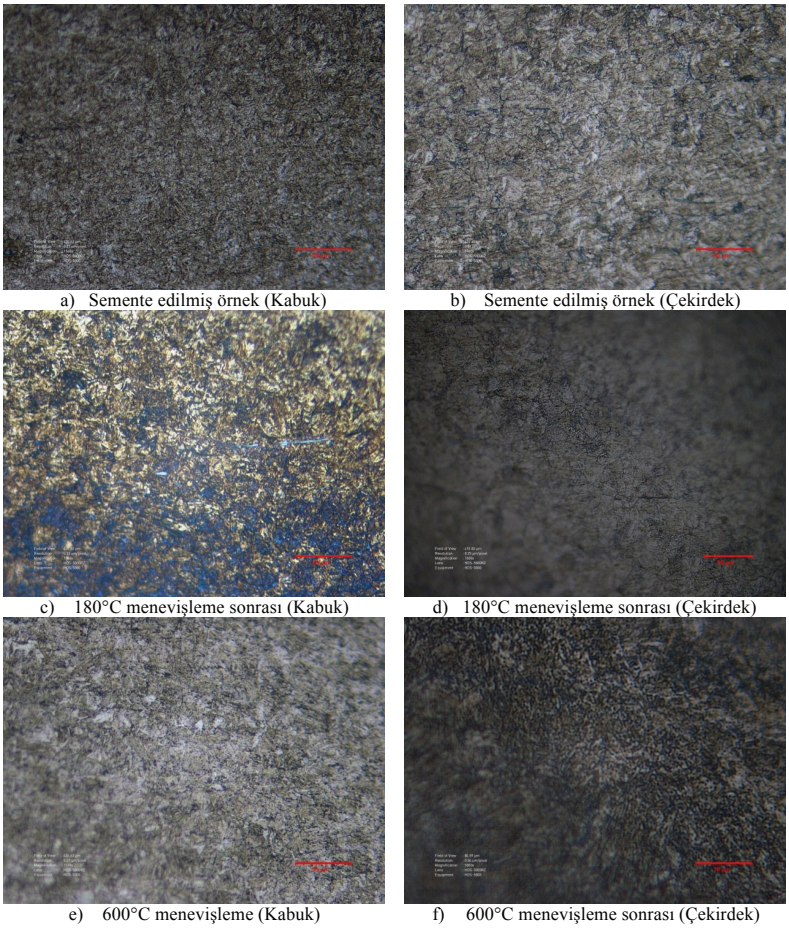
Kalıntı östenit miktarı, kalıntı gerilim ölçümlerinin yapıldığı noktalarda, ASTM standardına göre dört tepe noktası yöntemi ile GE-Seifert XRD cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Östenit fazındaki kalıntı gerilme miktarları {311} düzlemi ve 2Θ≈129° açısı için ölçülmüştür.

İçyapı analizi için çıkarılan örnekler zımparalanmış, parlatılmış ve %2'lik nital çözeltisi ile dağlanmıştır. Optik mikroskop (Huvitz HDS-5800) ile malzemenin hadde yönüne paralel ve dik yüzeyleri incelenmiştir. Vickers sertlik değerleri 200 gram yük altında, Shimadzu HMV-2T cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

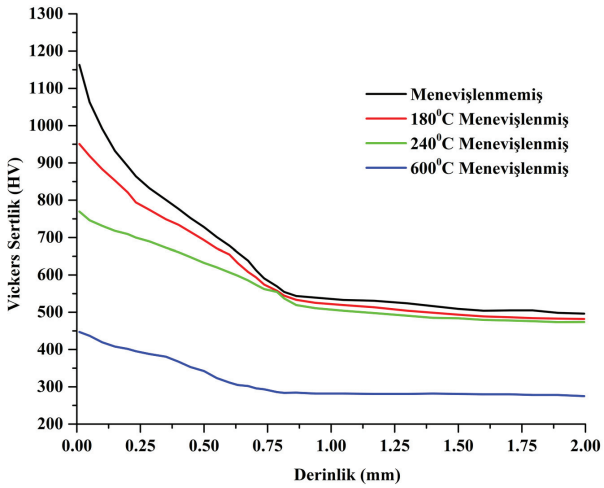
3.1. İçyapı ve Sertlik Analizi

Semente edilmiş yüzey bölgelerinde martensit ve kalıntı östenit tespit edilmiştir (Şekil 2). 180°C sıcaklıkta menevişlenmiş malzemelerde, kalıntı östenit miktarı yaklaşık %11 olarak bulunmuştur. Menevişlenmemiş numunede düşük sinyal şiddeti nedeniyle ölçüm yapılamamış; 240°C ve 600°C 'de menevişlenmiş numunelerde kalıntı östenit tespit edilmemiştir. Bunun nedeni, martensit başlangıç sıcaklığının semente edilmiş 19CrNi5H çeliği için yaklaşık olarak 190°C olması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 2. Sementasyon ve menevişleme sonrası içyapı resimleri

İçyapı analizleri, kabuk içyapısının iğnemsi martensit olduğunu ancak çekirdek içyapısının martensit ve Widmanstätten ferrit fazlarından oluştuğunu göstermiştir. İnce et kalınlığına sahip parçanın yüzey ve iç kısımlarının soğuma hızlarının birbirine yakın olması nedeniyle içyapıda ferrit veya perlit gözlemlenmedi. 180°C'de menevişleme sonrasında içyapıda belirgin bir değişim görülmemesine karşılık 600°C menevişleme sonrasında martensit fazının önemli derecede değiştiği, karbürlerin küreselleştiği ve kalıntı östenit fazının Widmanstätten ferrite dönüştüğü görülmüştür. Numunelerde, yüzeyden içeriye doğru sertlik değerleri önemli biçimde düşmektedir. Etkin kabuk derinliği, yaklaşık 0,75 mm olarak belirlenmiştir. Yüzeydeki azami sertlik değeri, su verilmiş numunede yaklaşık 70 HRC, 180°C ve 240°C'de menevişlenmiş numunelerde 68 HRC ve 63 HRC, 600°C'de menevişlenen numunede ise 45 HRC olarak ölçülmüştür (Şekil 3).

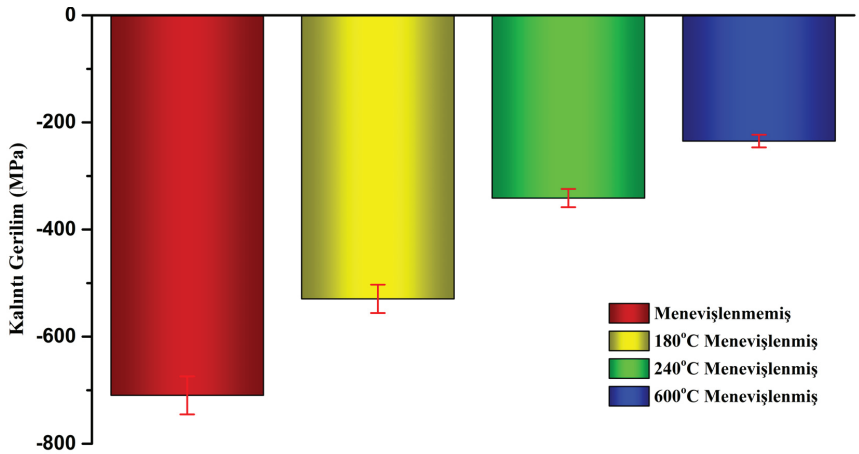


Şekil 3. Menevişlemenin semente edilmiş çeliğin sertlik değerlerine etkisi (900°C/8s)

3.2. Kalıntı Gerilme Ölçüm Sonuçları

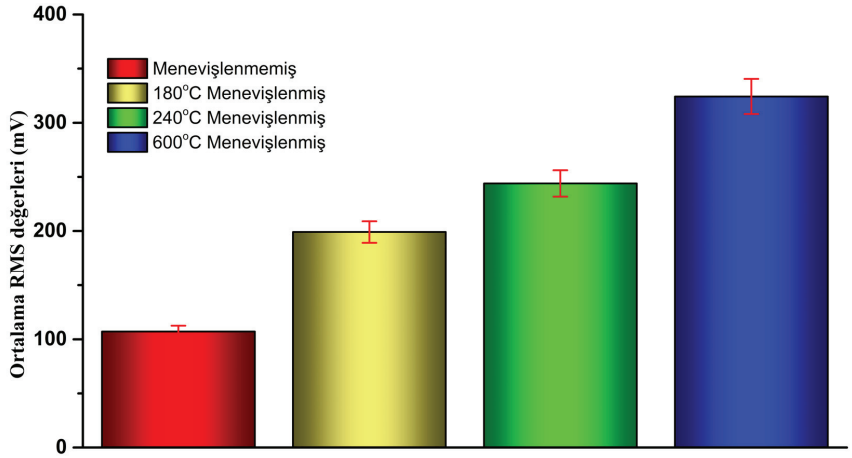
Karbonca zenginleşme, martensit dönüşüm başlangıç sıcaklığını (Ms) düşürdüğünden, hızlı soğutma sırasında yüzeyde östenit-martensit faz dönüşümü gecikir. Soğuma devam ederken yüzey altında yüzeye göre daha erken gerçekleşen martensitik dönüşüm lokal olarak hacim artışına, dolayısıyla iç bölgede basma ve yüzeyde ise çekme nitelikli iç gerilmelere sebep olur. Termal gradyan ve faz dönüşümü nedenli iç gerilmeler, yüksek sıcaklıkta akma dayancı düşük olan malzemede lokal plastik deformasyona neden olur. Parçanın sıcaklığı tamamen oda sıcaklığına düştüğünde, kabuk kısmında basma nitelikli kalıntı gerilimler ve bunu dengeleyici biçimde iç kısmında çekme nitelikli kalıntı gerilimler kalır. Basma nitelikli kalıntı gerilmenin büyüklüğü kabuğun hemen altında maksimum değere ulaşır, içeriye doğru gidildikçe azalır ve belirli bir derinlikten sonra çekme nitelikli kalıntı gerilmeye dönüşür. Sementasyon işleminin süresi artırıldığında, yüzeyde oluşan basma nitelikli kalıntı gerilim değerleri artar ve etki bölgesi daha derine ulaşır. Takiben uygulanan menevişleme işlemi sayesinde tokluk ve süneklik arttırılır; kalıntı östenit fazı diğer fazlara dönüştürülür ve parçanın şeklinin bozulması (çarpılma) en aza indirilir.

X-Işınları kırınımı sonuçlarına göre, menevişleme sıcaklığı arttıkça malzeme yüzeyinde oluşan kalıntı gerilme değerlerinde azalma olduğu saptanmıştır (Şekil 4).



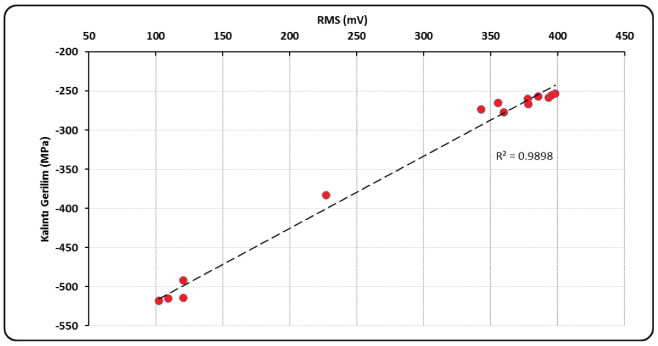
Şekil 4. Menevişleme sıcaklığının sementasyon işlemi uygulanmış numunenin yüzeyindeki kalıntı gerilmeye etkisi XRD ölçüm sonuçları

MBN ölçümleri, menevişleme sonrasında RMS (ortalama karekök) değerlerinde bir artış olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni, menevişleme sonrasında kabuk kısmındaki basma nitelikli kalıntı gerilme değerinin azalması olabilir (Şekil 5). Su verilmiş numunede, martensit fazındaki aşırı miktarda dislokasyon domen duvarlarının hareketine engel olur. Domen hareketinin ve domen duvarlarının çekirdeklenmesinin zorluğundan dolayı, manyetik alanı tersine çevirmek için daha güçlü bir manyetik alan gerekir. Bunun yanı sıra, iğnemsi martensit fazındaki mikro kalıntı gerilmeler de MBN emisyonunda azalmaya neden olur. Menevişleme sonucunda, domen hareketini zorlaştıran dislokasyonların sayısı azalır ve daha yüksek MBN sinyalleri oluşur.



Şekil 5. Semente edilmiş ve menevişlenmiş numunelere ait MBN emisyon değerleri

MBN ve XRD ölçümlerinden elde edilen sonuçlar arasında çok iyi bir korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 6). Bu durum, kalıntı gerilmelerin MBN yöntemi ile ölçülmesi için umut vericidir. Ancak sementasyon koşulları ve/veya çelik türü değiştirildiğinde farklı bir korelasyon söz konusu olacaktır. Ayrıca, hem kalıntı gerilme değerlerinde hem de içyapıda değişiklikler olduğunda bunların MBN emisyonuna etkilerini birbirinden ayırtetmek mümkün olamamaktadır.



Şekil 6. Kalıntı gerilimler ve MBN ortalama karekök değerleri arasındaki korelasyon

4. SONUÇ

Sementasyon sonucunda oluşan kalıntı gerilmelerin tahribatsız olarak ölçülmesi için Manyetik Barkhausen Gürültüsü (MBN) metodunun uygunluğu araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, 19CrNi5H çeliğinden hazırlanan numunelere 900°C'de 8 saat boyunca sementasyon işlemi ve takiben üç farklı sıcaklıkta menevişleme işlemi uygulanmıştır. Kalıntı gerilim ölçümü için X-ışınları kırınımı (XRD) ve MBN teknikleri kullanılmıştır.

XRD ölçümleri, semente edilmiş çeliklerin yüzeyinde basma nitelikli kalıntı gerilme oluştuğunu ve gerilme değerlerinin menevişleme sıcaklığı arttıkça düştüğünü göstermiştir. MBN ölçümlerinin sonuçları da benzer eğilimi göstermiştir. Yüksek dislokasyon yoğunluğu ve iğnemsi martensit fazının varlığı MBN emisyonunu düşürmektedir. MBN ortalama karekök değerleri, menevişleme sıcaklığı arttıkça artmaktadır. Menevişleme sıcaklığına bağlı olarak, dislokasyon yoğunluğu azalmakta ve martensit tetragonal yapısını kaybetmektedir. Bu yüzden, domenlerin çekirdeklenmesi ve hareketlerinin kolaylaşmasına bağlı olarak MBN sinyal şiddeti artmaktadır.

Sonuç olarak, ölçüm öncesi uygun ve hassas bir kalibrasyon yapılması şartıyla, MBN metodu semente edilmiş ve menevişlenmiş çeliklerdeki kalıntı gerilmelerin tahribatsız, hızlı ve otomasyona yatkın bir şekilde belirlenmesi için güçlü bir adaydır.

Teşekkür:

Sementasyon işlemi için Kemal Sürücü ve Arda Güleş (Türk Traktör), XRD metodu ile kalıntı gerilim ölçümleri için Zeynep Öztürk (Atılım Üniv. Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi).

5. KAYNAKÇA

[1] G.Krauss, "Steels: Heat Treatment and Processing Principles", ASM International, 1989.

[2] Moorthy, V., S. Vaidyanathan, B. Raj, T. Jayakumar, and B.P. Kashyap, "Insight into the Microstructural Characterization of Ferritic Steels using Micromagnetic Parameters," Metallurgical and Materials Transactions A, 31 (2000) 1053–1065

[3] Saquet, O., J. Chicois, and A. Vincent, "Barkhausen Noise from Plain Carbon Steels: Analysis of the Influence of Microstructure," Materials Science and Engineering: A, 269 (1999) 73–82

[4] Gauthier, J., T.W. Krause, and D.L. Atherton, "Measurement of Residual Stress in Steel using the Magnetic Barkhausen Noise Technique," NDT&E International, 31 (1998) 23–31

[5] E.Macherauch, O.Vohringer, "Residual stresses after quenching, in theory and technology of quenching", Editors: B.Liscic, H.M.Tensi, W.Luty, Springer-Verlag, 1992, 117-181.

[6] O.Asi and A.Ç.Can, "The comparison of the residual stresses between carburized and only quenched steels", Journal of Engineering Sciences, 201 (2001) 183-187.

[7] L.Mierczak, D.C.Jiles and G.Fantoni, "A new method for evaluation of mechanical stress using the reciprocal amplitude of Magnetic Barkhausen Noise", IEEE Transactions on Magnetics, 47 (2011) 459-465.

[8] V.Moorthy, B.A.Shaw, P.Mountford, P.Hopkins, "Magnetic barkhausen emission technique for evaluation of residual stress alteration by grinding in case-carburized En36 steel", Acta Materialia, 53 (2005) 4997-5006.

[9] E.Gorkunov, M.Zadvorkin, S.Goruleva, "Estimating residual stresses in heat-treated carbon steels by magnetic parameters", CD-Bildiriler Kitabı, 18th World Conference for NDT, Nisan 2012, Durban.

[10] E.Arslan, K.Davut, C.Şimşir, "Optimization of Sensitivity and Reliability of Magnetic Barkhausen Technique for Detecting Hardness Differences on Quenched and Tempered AISI 4140 Steels", CD-Bildiriler Kitabı, ICBM-11, 19-20 Haziran 2015, Kuşadası.