

51CrV4 YAY ÇELİĞİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

EXAMINATION OF THE SURFACE PROPERTIES OF 51CrV4 SPRING STEEL

A. Aydın Kömeç*, Kazım Dikçi*, Ş. Hakan Atapek**,
Şeyda Polat**, Gülşah Aktaş**, Zekeriya Kurt*, Barış Çakır*

* TT ÇELİKİYAY Otomotiv Dış Ticaret A.Ş., Söğütlü Köyü Kenarı, 81750 Çilimli-Düzce

** Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Umuttepe Yerleşkesi, 41380 İzmit-Kocaeli

ÖZET

Son yıllarda birçok girişim, otomotiv endüstrisinde ağırlık ve maliyet tasarruflarına olan ihtiyacı karşılayabilmek için yüksek mukavemetli yay çeliklerine odaklanmıştır. Yay çeliklerinin mekanik özelliklerinin artırılması, alaşım kompozisyonunun, ısıtma işlem çevrim-

lerinin, termo-mekanik işlemlerin ve bilyalı dövme prosesinin kontrolü ile sağlanabilir. Bu çalışmada, 51CrV4 alaşımının yorulma özelliğini etkileyen mikroyapısal özellikler hammaddeden nihai yay ürüne kadar karakterize edilmiştir.

Anahtar kelimeler: 51CrV4 yay çeliği, mikroyapı, yorulma, karakterizasyon.

ABSTRACT

In recent years, many attempts have been focused on high strength spring steels to meet the need of weight and cost savings in automotive industry. Enhancing the mechanical properties of spring steels can be achieved through the control of alloy composition, heat treat-

ment routes, thermo-mechanical treatments and also shot-peening process. In this study, the microstructural features affecting the of fatigue property of 51CrV4 alloy were characterized starting from raw material to the final spring product.

Keywords: 51CrV4 spring steel, microstructure, fatigue, characterization.

1. Giriş

Günümüzde otomotiv endüstrisine yönelik yeniden tasarlanmış, ağırlığı azaltılmış, maliyeti düşük ve üstün mekanik özelliklere sahip malzemelerin üretimi güncel bir konudur. Taşıtlarda ağırlığın azaltılmasına yönelik çaba, bir taraftan yakıt tasarrufuna diğer taraftan da karbondioksit salınımını azaltarak çevre korumasına katkı sağlar. Kamyon ve yük taşıma araçları gibi lojistik amaçlı kullanılan araçların çoğu yüksek oranda yakıt tüketimine ve karbondioksit salınımına sahiptir. Bu tür araçların yeniden tasarlanması ve özellikle ağırlıklarının azaltılması ile bu ekonomik ve çevresel problem büyük

oranda giderilebilmektedir. Bu araçlarda kullanılan parabolik yay malzemelerinin azaltılmış kesitte en yüksek yorulma ömründe iş görmesi, bunu sağlayacak metalurjik ve mekanik özelliklerin kazandırıldığı malzeme ve süreçlerin geliştirilmesi bu açıdan önemlidir [1-5].

Parabolik yay malzemesi olarak çoğunlukla temiz çelik grubunda yer alan yüksek mukavemetli ve yorulma dirençli çelikler kullanılır. Bu çeliklerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde metalurjik birçok faktörün ve prosesleme sonrası çeliğin yüzey kalitesinin katkısı var-

dır. Metalurjik olarak çeliğin, seg-regasyon ve kalıntı içermeyen temiz bir içyapıya, küçük ve homojen tane yapısına ve temper martenzitik bir matrikse sahip olması istenir. Yüzey kalitesi söz konusu ise çelik yüzeyinin, tufalden arındırılmış olması, daha önceki işlem kademelerinden gelen dekarbürizasyonun azaltılmış/giderilmiş olması ve gerek yüzey kusurlarını gidermek gerekse de yüzey altında yüksek kalıntı gerilmesi oluşturmak için uygulanan bilyalı dövme işleminin yüzey çatlaklarının oluşmasına neden olabilecek şekilde uygulanması hedeflenir [6-10].

Bir parabolik yay malzemesinin üretimi göz önüne alındığında deformasyon, ısı işlem ve bilyalı dövme işlemleri esas işlem kademelerini oluşturmakta olup her bir kademe öncesi malzemenin metalurjik ve mekanik olarak karakterize edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, yay çeliği ailesinin bir üyesi olan 51CrV4 esaslı bir çelikten üretilen parabolik bir yay malzemesinin reel üretim basamakları sonrası içyapısı kesiti boyunca karakterize edilmiştir. Her bir üretim kademesi sonrası çeliğin içyapısında, yüzeyinde ve yüzey altında gözlemlenebilen tüm mikroyapısal bileşenler, yay çeliğinin mekanik özelliklerine (sertlik, mukavemet, tokluk, yorulma direnci vb.) olan olumlu ve olumsuz katkıları doğrultusunda irdelenmiştir.

2. Deneysel çalışma

Deneysel çalışma kapsamında incelenen 51CrV4 çeliği, ağırlıkça % 0.45-0.55 C, maksimum 0.40 Si, 0.70-1.10 Mn, 0.90-1.20 Cr ve 0.10-0.25 V içerir. Yay çeliğinin üretim

aşamaları, en basit hali ile temelde parabolik şekil verme, ısı işlem ve bilyalı dövme işlemlerini içermektedir. Parabolik haddeme yaklaşık 910 °C'de 4 pasoda gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem çalışmalarında yay malzemesi fırında 1000 °C sıcaklıkta 35 dakika tutularak östenitleştirilmiştir. Fırın çıkışı 920 °C ve yağa giriş öncesi 860 °C sıcaklıkta olan malzemeye yağ ortamında su verilmiş olup sonrasında 350-550°C sıcaklık aralığında 50 dakika bant fırınında temperleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüzeyde oluşan tufal (demir oksit yapısı) ve yüzey altı dekarbürizasyon tabakalarının giderilmesi için çelikler, ısı işlem sonrası S390 kalite çelik bilyaların 1700 rpm ve 9 m/dk hızda iş parçasına püskürtülmesi ile bilyalı dövme işlemine tabi tutulmuşlardır.

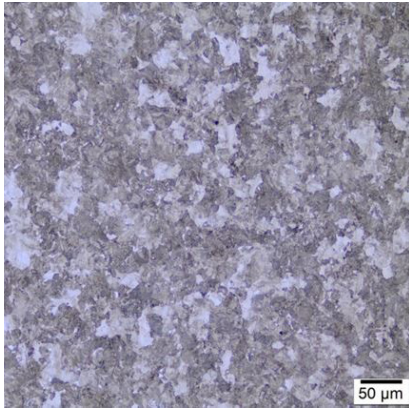
Her bir işlem kademesinden temin edilen numuneler 120, 320, 600 ve 1000 mesh no'lu SiC esaslı aşındırıcılar ile zımparalanmış ve sonrasında 3 µm elmas ile parlatılmıştır. Numuneler % 3 nital ile dağlanarak, kesitleri ışık mikroskobu (Olympus BX41M-LED model, IM) ve taramalı elektron mikroskobu (Jeol JSM 6060 model, SEM) ile incelenmiştir. Yüzeydeki oksit formunun ve içeriğinin analiz edilebilmesi için enerji dağılımlı x-ışını spektrometresi (IXRF model, EDS) ile kalitatif değerlendirme yapılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

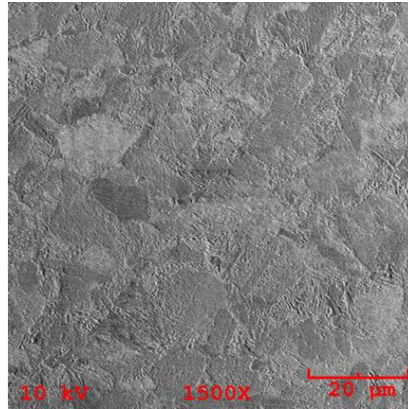
3.1. Parabolik haddelenmiş çeliğin karakterizasyonu

Şekil 1'de verilen IM ve SEM görüntüleri 51CrV4 çeliğinin hammadde içyapısı olan tipik perlitik yapıyı göstermektedir. Yapı, ferrit ve sementit yapılarının bağlantılı bir şekilde ös-

tenitten ötektoid olarak dönüşmüş halini sergilemektedir. Parabolik haddeme ile yay çeliği, 910 °C'de istenen forma ulaşabilmek için 4 pasoda yaklaşık 35-40 saniye boyunca bir ısıya maruz kalmaktadır. Bu durumda Şekil 2a'da gösterildiği üzere çelik yüzeyinde ~100 µm kalınlığında tufal (demir oksit esaslı bileşen) oluşumu ve ~150 µm tabaka kalınlığında dekarbürizasyonun oluşması kaçınılmazdır. Çeliklerin ısıtılması ile birlikte yüzeylerinde oluşan ve belirli bir kalınlıkta olabilen bu tufal yapısının kontrol edilmesi ve giderilmesi önemlidir. Bu tür bir yapının oluşumunda alaşım kompozisyonu, sıcaklık, zaman ve ortam gibi etkenler oluşan oksit yapısının türünü ve tabaka kalınlığını doğrudan belirlemektedir [11-13]. Demir, oksitlenme reaksiyonları sonrası wüstit (FeO), magnetit (Fe₃O₄) ve hematit (Fe₂O₃) gibi oksit formlara dönüşür. Şekil 2b'de verilen EDS spektrometresi parabolik haddelenmiş yay çeliğinin yüzeyindeki tufalin yaklaşık ağırlıkça % 61 oksijen ve ağırlıkça % 39 demir içerdiğini göstermektedir. Bu formların oluşumunda oksidasyon hızı, Arrhenius bağıntısına uygun olarak artan sıcaklıkla birlikte artmaktadır [12]. Tufalin yüzeyde bulunması şekillendirilmiş çeliğin herhangi bir ısı işleme maruz kalması halinde bir bariyer gibi davranıp ısı transferini olumsuz yönde etkileyebilir [14]. Tüm bunların yanı sıra şekillendirme esnasında oluşan bu oksit yapısı mekanik etki ile yüzeye gömülebilmekte ve yüzeyde çatlak oluşumunu elverişli kılmasından dolayı malzemenin yorulma ömrünü azaltmaktadır [15]. Yay çeliklerinin üretiminde bu oksit formlarının kontrolü ve azaltılması genellikle zor olup, parabolik haddeme iş-

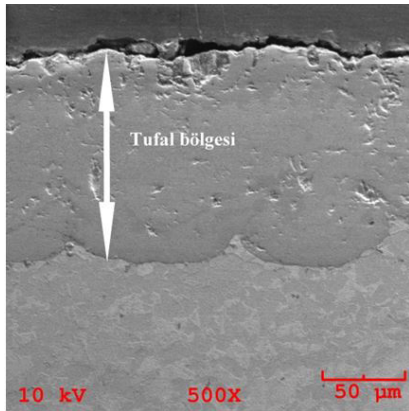


(a)

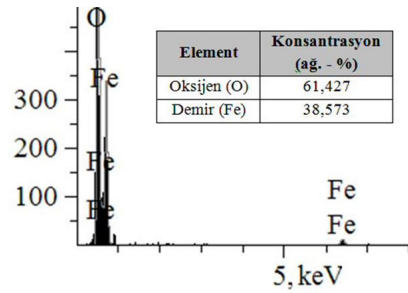


(b)

Şekil 1 - Perlitik içyapıya sahip 51CrV4 çeliğine ait IM (a) ve SEM (b) görüntüsü.



(a)



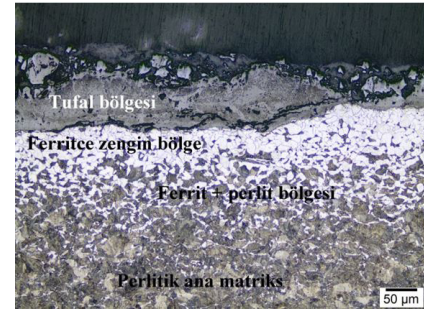
(b)

Şekil 2 - Parabolik haddelenmiş yay çeliğinin yüzeyinde tufal bölgesi (a) ve bu bölgeye ait EDS spektrumu (b).

lemi sırasında malzemeden kopan tufal parçalarının yüzeye batmasını engellemek için basınçlı hava üflenerek yüzeyden uzaklaştırılması sağlanabilmektedir.

Bilindiği üzere dekarbürizasyon, çeliğin yüzeyindeki karbon atomlarının fırın atmosferi veya ısıya maruz kaldığı açık atmosfer ile reaksiyona girip gaz fazında çelikten uzaklaşması sonucu gerçekleşir. Çelik esaslı malzeme kesitinde daha iç kısımda bulunan ve yüksek konsantrasyona sahip karbon atomları, ısıya maruz kalma sürecinde meydana gelen konsantrasyon gradyentinden dola-

yı düşük karbon konsantrasyonuna sahip yüzeye yayılır ve böylece dekarbürizasyon belirli bir tabaka olarak proses sonrasında yüzey altında varolur [16]. Yay çeliklerinin parabolik haddeleme aşamasında oluşan dekarbürizasyon, malzemenin aşınma direnci ve yorulma ömrü söz konusu ise giderilmesi gereken bir problemdir. Yüzey ve merkez arası mikroyapısal farklılaşma bu özelliklerin azalmasına neden olacaktır [17]. Şekil 3'de görüleceği üzere parabolik haddelenmiş yay çeliğinde kesit, yüzeyden merkeze doğru esasta üç karakteristik yapı içermektedir. Bu yapılardan birincisi çeliğin

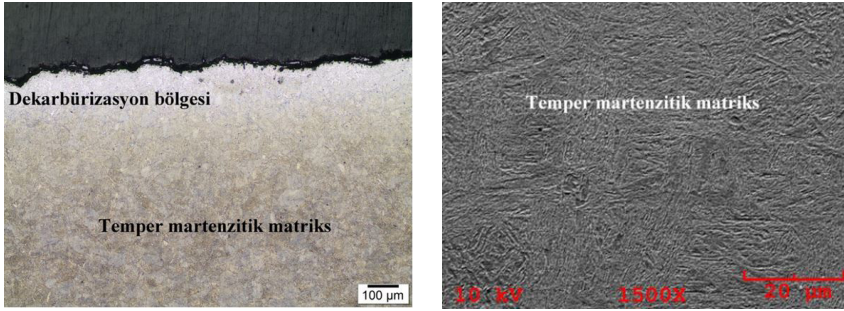


Şekil 3 - Parabolik haddelenmiş yay çeliğinin yüzeyden merkeze doğru içerdiği farklı mikroyapı bölgeleri.

atmosfer ile temas ettiği tüm yüzeyi boyunca içerdiği ferritce zengin faz alanlarıdır. İkinci yapı, kısmen ferrit ve kısmen perlit alanları içermektedir. Üçüncü yapı ise ısıdan etkilenmemiş ve perlitik yapının baskın olduğu çekirdek (merkez) yapıdır.

3.2. Isıl işlemlenmiş çeliğin karakterizasyonu

Yüksek mukavemetin sağlanabilmesi için yay çeliklerine uygulanan temel ısıl işlem kademeleri; (i) östenitleştirme, (ii) su verme ve (iii) temperleme işlemleridir. Bu işlemler sonrasında yapı Şekil 4'de örneklendiği üzere temperlenmiş martenzit içerir. Östenitleştirme kademesinde çelik matriksinin tamamen östenit içermesi istenir. Bu işlemi takiben su verme öncesinde yay çeliğinin yüzeyinde kabuksu formda tufal yapısı gözlenebilir. İş parçasına su verme esnasında bu kabuksu yapı çoğunlukla yüzeyden uzaklaşabilmektedir. Su verme ile birlikte difüzyonsuz bir dönüşüm sağlanarak martenzitin oluşumu gerçekleştirilir ve bu dönüşüm yüzey merkezli kübik (ymk) kafes yapısından hacim merkezli tetragonal (hmt) kafes yapısına değişimi içerir. Yapı bu halde sert ve kırılmaya karşı direnci oldukça düşüktür. Su verme işlemini takiben yapılan temperle-



Şekil 4 - Isıl işlem uygulanmış yay çeliğine ait IM (a) ve SEM (b) görüntüleri.

me işlemi ile bu özellikler optimize edilir. Temperleme işlemi ile özellikle karbonun segregasyonu sonrası bir taraftan iç gerilmeler giderilip diğer taraftan da iğnesel karakteristikteki martenzit morfolojisinin bozunumu sağlanarak çelik toklaştırılabilir [13].

3.3. Bilyalı dövülmüş çeliğin karakterizasyonu

Parabolik haddelenmiş ve sonrasında ısıl işlem uygulanmış yay çeliğinin yüzey kusurlarının azaltılması ve böylece yorulma ömrünün arttırılması bilyalı dövme işlemi ile sağlanır. Bu işlem sadece yüzey kusurlarını gidermekle kalmaz aynı zamanda yüzey altında yüksek kalıntı gerilmeleri oluşturularak yay çeliğinin daha uzun ömürde iş görmesine

olanak verir. Şekil 5'de verilen IM ve SEM görüntüleri bu işlem sonrasında yüzeyden tufalin önemli ölçüde giderildiğini ve özellikle dekarbürizasyon bölgesinin azaltıldığını göstermektedir. Yüzey üzerine yapılan çoklu mikroskobik incelemeler parabolik haddeleme sırasında oluşumu en yoğun halde gözlenen tufal tabakasının önemli ölçüde giderildiğini, dekarbürizasyon tabakasının özellikle ferritce zengin alanlarının kaldırıldığını ortaya koymuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, yay çeliklerinin temel üretim kademeleri olan parabolik deformasyon, ısıl işlem ve bilyalı dövme işlemleri sonrası yüzey özelliklerindeki ve içyapılarındaki değişimler mikroskobik olarak

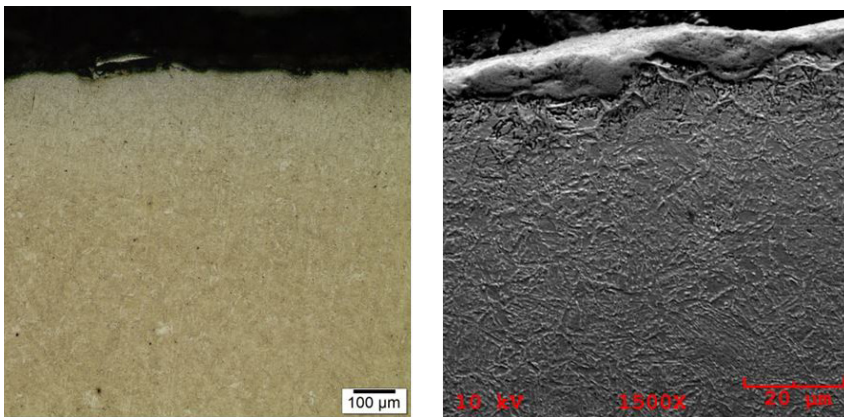
incelenmiştir. Parabolik haddeleme sürecinde oluşan tufalin ısıl işlemi takiben bilyalı dövme işleminde önemli miktarda giderilmiş olması, yay malzemesinin yorulma ömrüne katkı verebilecek düzeydedir. Aynı zamanda bilyalı dövme gibi bir mekanik işlemin dekarbürizasyon tabakasının azaltılmasına katkı verdiği de tespit edilmiştir. Yüzey kusurlarının azaltılmasına yönelik yapılan bir başka çalışmamızda da benzer sonuçlar [18] elde edilmiş olup ilerleyen çalışmalarımız optimize edilmiş süreçler sonrasında örneklenen mikroyapısal unsurların yay çeliğinin yorulma davranışına etkisi üzerine olacaktır.

Teşekkür

Yazarlar, TT ÇELİKİYAY Otomotiv Dış Ticaret A.Ş.'ye çalışmaya sağlamış oldukları imkanlardan dolayı teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Y. S. Kong, M. Z. Omar, L. B. Chua, S. Abdullah, "Fatigue life prediction of parabolic leaf spring under various road conditions", Engineering Failure Analysis, 46, 92-103, 2014.
- [2] J. C. Shin, S. Lee, J. H. Ryu, "Correlation of microstructure and fatigue properties of two high strength spring steels", International Journal of Fatigue, 21(6), 571-579, 1999.
- [3] C. S. Lee, K. A. Lee, D. M. Li, S. J. Yoo, W. J. Nam, "Microstructural influence on fatigue properties of a high-strength spring steel", Materials Science and Engineering A, 241(1-2), 30-37, 1998.
- [4] S. Tekeli, "Enhancement of fatigue strength of SAE 9245 steel by shot peening", Materials Letters,



Şekil 5 - Bilyalı dövülmüş yay çeliğine ait IM (a) ve SEM (b) görüntüleri.

57(3), 604-608, 2002.

[5] R. Fragoudakisa, S. Karditsas, G. Savaidis, N. Michailidis, "The effect of heat and surface treatment on the fatigue behaviour of 56SiCr7 spring steel", *Procedia Engineering*, 74, 309-312, 2014.

[6] B. Podgornik, V. Leskovšek, M. Godec, B. Senčič, "Microstructure refinement and its effect on properties of spring steel", *Materials Science and Engineering A*, 599, 81-86, 2014.

[7] C. L. Zhang, Y. Z. Liu, L. Y. Zhou, C. Jiang, "Secondary hardening, austenite grain coarsening and surface decarburization phenomenon in Nb-bearing spring", *Journal of Iron and Steel Research International*, 19(3), 47-51, 61, 2012.

[8] D. Angelova, R. Yordanova, T. Lazarova, S. Yankova, "On fatigue behavior of two spring steels. Part I: Wöhler curves and fractured surfaces", *Procedia Materials Science*, 3, 1453-1458, 2014.

[9] B. G. Scuracchio, N. B. de Lima,

C. G. Schön, "Role of residual stresses induced by double peening on fatigue durability of automotive leaf springs", *Materials & Design*, 47, 672-676, 2013.

[10] M. L. Aggarwal, "Modeling of shot peening parameters for weight reduction of EN45A spring steel leaf springs", *AASRI Procedia*, 3, 642-645, 2012.

[11] W. Sun, A. K. Tieu, Z. Jiang, H. Zhu, C. Lu, "Oxide scales growth low-carbon steel at high temperatures", *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156, 1300-1306, 2004.

[12] H. T. Abuluwefa, "Kinetics of high temperature oxidation of high carbon steels in multi-component gases approximating industrial steel reheat furnace atmospheres", *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Vol. II, 1-5, Hong Kong, 14-16 March 2012.

[13] G. E. Totten, "Steel heat treatment handbook", 2nd ed., Taylor & Francis Group, London, 2006.

[14] H. Okada, "Deformation behavior of oxide scale in hot strip rolling", *Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report*, No.111, 73-78, 2016.

[15] W. Lei, T. Sakai, M. Wakita, S. Mimura, "Influence of microstructure and surface defects on very cycle fatigue properties of clean spring steel", *International Journal of Fatigue*, 60, 48-56, 2014.

[16] G. F. Vander Voort, "Understanding and measuring decarburization", *ASM International, Advanced Materials & Processes*, 22-27, 2015.

[17] Y. Prawoto, N. Sato, I. Otani, M. Ikeda, "Carbon restrotaion for decarburized layer in spring steel", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 13, 627-636, 2004.

[18] A. A. Kömeç, K. Dikçi, Ş. H. Atapek, Ş. Polat, G. Aktaş, Z. Kurt, B. Çakır, "Yay çeliklerinde yüzey ve yüzey altı mikroyapısı üzerine deformasyon, ısıl işlem ve bilyalı dövme etkisinin incelenmesi", *MakinaTek*, 222, 46-52, 2016.