

## Temperleme İşleminin Yağda Soğutulan Çeliklerin Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerine Etkisi

Uğur Çalığülü<sup>1</sup>, Mustafa Aras<sup>2</sup> ve Mustafa Türkmen<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Teknoloji Fakültesi, Met. ve Malz. Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

<sup>3</sup>Hereke MYO, Metalurji Programı, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

### Özet

Bu çalışmada, 38MnVS6 mikroalaşımli çelik ve 41CrMo4 çelik malzemelere 900 °C'de 1 saat tavlama sonrası yağda soğutma işlemi uygulanmıştır. Yağda soğutulan çelik malzemeler 300 °C, 400 °C ve 500 °C sıcaklıklarda 1 saat sürede temperleme işlemine tabi tutulmuş olup, temperleme işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Numunelerin mikroyapı incelemeleri yapılmış olup, temperleme öncesi ve sonrası sertlik testi uygulanmıştır. Sonuçlar, çeliklerde temperleme sıcaklığına bağlı olarak martenzitik yapıdan bainitik yapıya dönüşüm gözlemlenirken, sertlik değerlerinin de temperleme sıcaklığına bağlı olarak düştüğünü göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroalaşımli Çelik, Mikroyapı, Martenzit

## Effect of Tempering on Microstructure and Hardness Properties of Oil Quenched Steel

### Abstract

In this study, cooling process of 38MnVS6 microalloyed steel and 41CrMo4 steel were applied in oil after annealing at 900 °C for 1 hour. The effect of the tempering depending on 300 °C, 400 °C and 500 °C temperature on microstructure and mechanical properties were investigated. Microstructure and harness test results were investigated of oil quenched and tempered samples. Results showed transformation from martensite to bainitic structure and the hardness decreases depending on the tempering temperature.

**Key words:** Microalloyed Steel, Microstructure, Martensite

### 1. Giriş

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte çeliklerin sağlıktan uzay teknolojilerine; ulaşımdan iletişime, inşaatın tarıma varan yaygın kullanımı ve buna bağlı olarak mekanik ve metalografik özelliklerinin iyileştirilmesinde, çeliğe uygulanan ısıl işlemler giderek önem kazanmaktadır [1,2]. Çeliklere uygulanan bütün temel ısıl işlemler, iç yapının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Başka bir deyişle; bir çeliğin fiziksel ve mekanik özellikleri içerdiği dönüşüm ürünlerinin cinsine, miktarına ve metalografik yapısına bağlıdır [3,4].

\*Corresponding author: Address: Hereke Vocational School, Department of Metallurgy, Kocaeli University, 41800, Kocaeli, TURKEY. E-mail address: mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr, Phone: +902627424092

Mikroalaşımli çelikler değişik sertleştirme mekanizmalarının ve uygun termomekanik işlemlerin uygulanması ile yüksek dayanım, yüksek tokluk, düşük sünek gevrek geçiş sıcaklığı, mükemmel kaynaklanabilirlik ve korozyona dayanıklılık gibi üstün özelliklere sahip malzeme gurubudur. [5]. Mikroalaşımlama ile ilgili çalışmalar 1970'li yıllar öncesine dayanmakla birlikte; özellikle 1970 ve 1980 yılları arasında önemli gelişmeler olmuştur. Geçen yıllarda, sade karbonlu çeliklere küçük miktarlarda Ti, Al, Nb ve V gibi kuvvetli karbür ve nitrür oluşturan elementlerin katılmasıyla bu çeliklerin mekanik özelliklerinde büyük iyileşmeler gerçekleşmiştir. Mikroalaşımlandırma olarak adlandırılan bu işlemde alaşım elementlerinin toplamı genellikle % 2 değerini aşmaz. Çoğunda ise, mangan katılımları dışında, bu değer % 0,1-0,2 arasındadır. Bu çeliklerin avantajları, kullanılan alaşım miktarının azlığı, işlenebilirlik özelliklerinin daha iyi olması, üretiminin daha hızlı olması, enerji tasarrufu sağlaması, ağırlık yönünden daha hafif olmalarıdır [6]. Bu nedenle bu tür çelikler düşük ağırlık ve yüksek dayanım gerektiren yerlerde kullanılmaktadır [7].

Mikroalaşımli çeliklerde, mikroalaşım elementlerinin ilavesi ile yapılan mikroalaşımlama işleminde, östenit tane boyutunun kontrolü ve matris sertliğinin ince çökelti dağılımı ile artırılması doğrudan sağlanabilir. İnce çökelti dağılımı ve tane boyutu kontrolü açısından da oluşabilen çökeltinin çözünürlüğü ve çözünürlük sıcaklıkları önem arz eder. Bu nedenle çökeltilerin oluşma ve çözünme sıcaklıklarının çok iyi hesaplanması gerekmektedir [6, 8-10].

42CrMo4 çeliği yaygın olarak AISI4140 olarak bilinmektedir. AISI4100 serisinden olan çelik, düşük alaşımli yapı çeliği, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımli çelikler sınıfına girmektedir. İçerdiği krom ve molibden elementleri yüksek sıcaklık dayanımı sağlar. Düşük alaşımli çelik sınıfından olan malzeme % 0,4C içeriğine bağlı olarak ısıl işlem ile sertleştirilebilir. Aşınma dayanımı yüksek yüzey tabakası oluşturulup civata, somun, dişli, mil ve aks gibi yüzeyi sertleştirilmiş parça üretiminde de tercih edilir [11,12]. Bu malzeme ayrıca otomobil ve uçak yapı elemanları ve benzer uygulamalar içinde uygundur [13].

Bu çalışmada 38MnVS6 ve 42CrMo4 çelik malzemeler uygun östenitleme sıcaklığında tavlandıktan sonra yağda soğutulmuştur. Yağda soğutulan numunelere farklı sıcaklıklarda temperleme işlemi uygulanmıştır. Değişen temperleme sıcaklığının 38MnVS6 ve 42CrMo4 çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

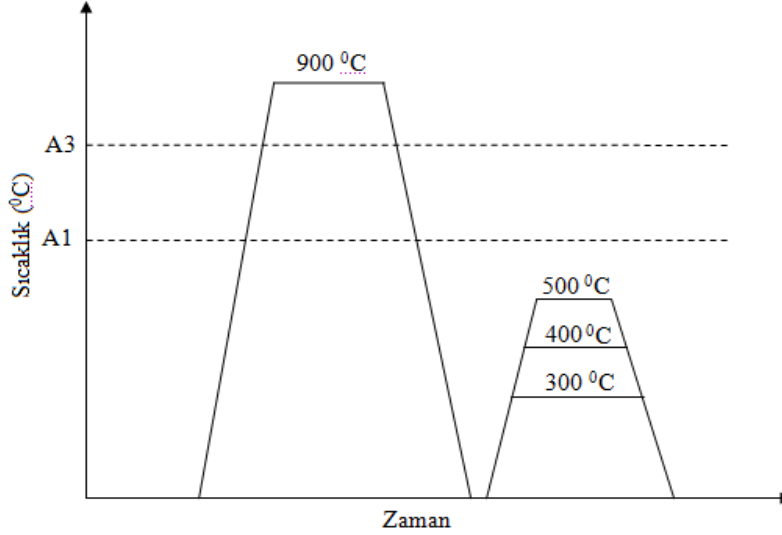
## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen çelik malzemeler kullanılmıştır. Isıl işlem öncesi numuneler 25x25x25 mm ebatlarında hazırlanmıştır.

**Tablo 1.** Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi.

Malzeme	C	Si	Cr	Mn	P	S	Mo	V	Fe
38MnVS6	0,38	0,58	0,14	1,51	0,01	0,04	0,02	0,17	Balans
42CrMo4	0,40	0,25	0,98	0,92	0,02	0,03	0,14	-	Balans

Deneyisel çalışmalarda kullanılan ısıtım işlemlere ait şematik görüntü Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’den görüldüğü üzere numuneler 900 °C’de 1 saat tavlama işlemi sonrası yağda soğutulmuştur. Yağda soğutma işlemi sonrası numunelere 300 °C, 400 °C ve 500 °C sıcaklıklarda 1 saat sürede temperleme işlemi uygulanmıştır. Isıtım işlem deneyleri 1200 °C kapasiteli Protherm marka ısıtım işlem fırınında yapılmıştır.



Şekil 1. Isıtım işlem deneyleri

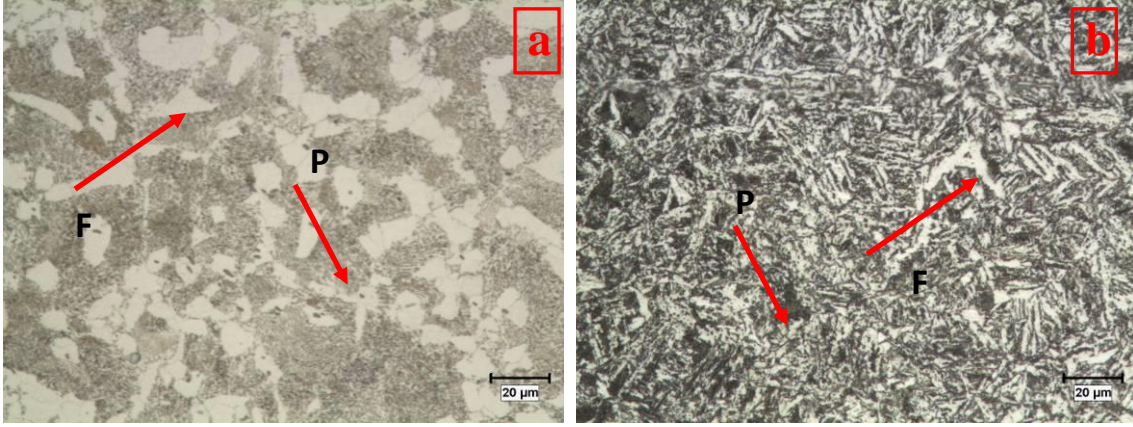
Isıtım işlem deneyleri sırasında sıcaklık ölçümünde K tipi yüksek sıcaklık ısıtım çifti kullanılmıştır. Isıtım işlem görececek numunelerin uç kısımları delinmiştir. Açılan bu deliğe, K tipi yüksek sıcaklık ısıtım çifti sıkı geçme olarak yerleştirilmiştir. Isıtım çiftinin diğer ucu ise parça merkezindeki sıcaklığı okuyabilmek amacıyla Eso-Elimco 680 model sıcaklık ölçüm cihazına bağlanmıştır. Isıtım çifti yerleştirilmiş olan parçalar fırın içerisine konularak ısıtım işlem gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlem sayesinde, numunenin merkezindeki sıcaklık tam ölçülerek fırın üzerinde ayarlanan sıcaklık ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bunun sonunda, parçanın merkezindeki sıcaklık ile fırın üzerinde ayarlanan sıcaklığın  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  aralığında olduğu görülmüştür. Fırın içerisinde farklı bölgelerden doğabilecek sıcaklık farklılaşmasını önlemek için deneylerde fırının aynı bölgesi kullanılmıştır.

Numunelerin yüzeyleri taşlanarak ısıtım işlem sonucu oluşan oksitler ve dekarbürizasyon bölgeleri ortadan kaldırılmıştır. Yüzeyleri taşlanan Numuneler sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 meshlik su zımparasıyla yüzeydeki pürüzler yok edilinceye kadar zımparalanmıştır. Bu yüzeyler sırasıyla 6  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$  ve 1  $\mu\text{m}$  elmas pastalar ile parlatılarak dağlamaya hazır hale getirilmiştir. Dağlama işlemi için % 3’lük Nital solüsyonu kullanılmıştır. Mikroyapı incelemeleri Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Her numunenin değişik bölgelerinden farklı büyüklüklerde görüntüler alınarak bu görüntülerin bütün mikroyapıyı temsil edebilir nitelikte olmasına dikkat edilmiştir. Yağda soğutma sonrası temperleme uygulanmayan malzemenin ve farklı sıcaklıklarda temperleme işlemi uygulanan numunelerin mikrosertlik ölçümleri Buehler Micromet 5103 marka Sertlik Ölçüm Cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümleri

HV1 (1000 gr.) yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden ölçülen 10 adet sertlik ölçümünün ortalaması alınarak sertlik değerleri belirlenmiştir.

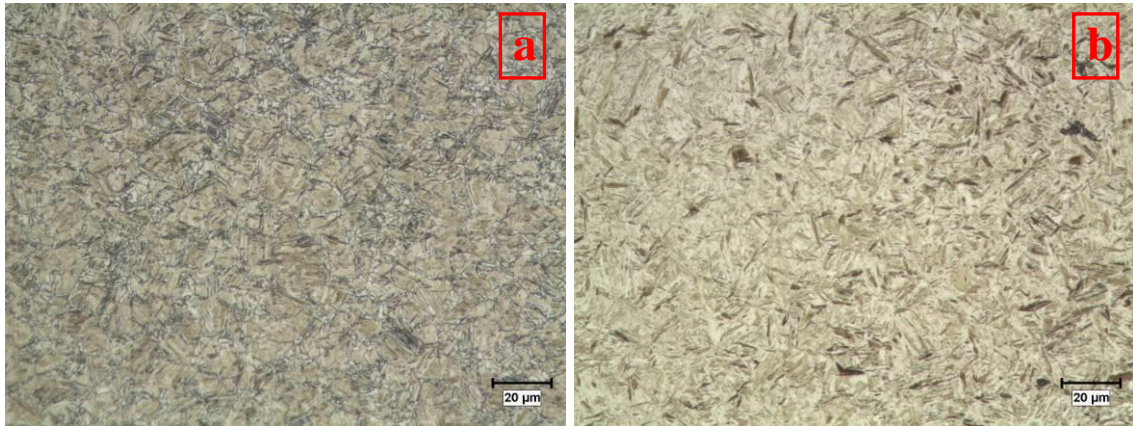
### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Isıl işlem uygulanmamış orjinal malzemeye ait optik mikroyapı görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir. Şekil’den görüldüğü gibi 38MnVS6 ve 42CrMo4 çeliklerinin orjinal yapıları ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmektedir.



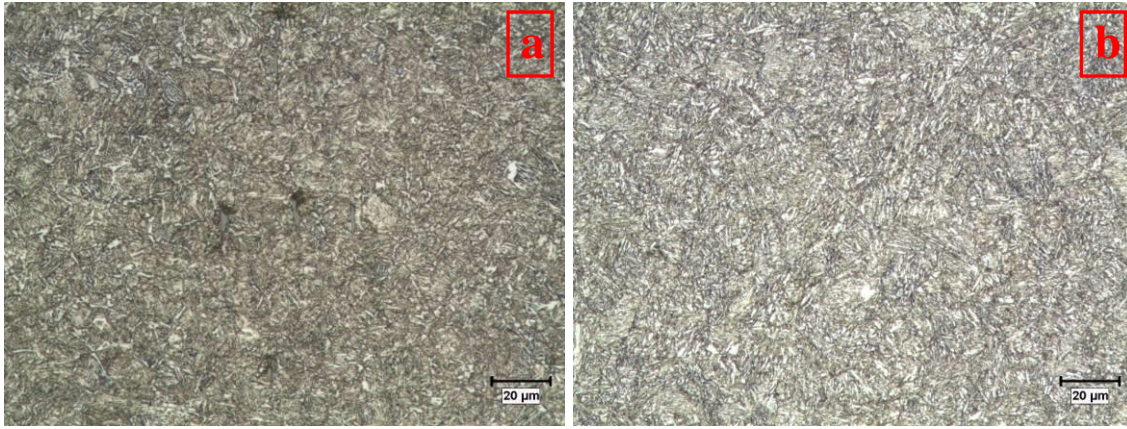
Şekil 2. Isıl işlem görmemiş orjinal malzemele ait optik mikroyapı görüntüsü a) 38MnVS6 ve b) 42CrMo4. (F: Ferrit, P: Perlit).

Şekil 3’te ısıtıl işlem sonrası yağda soğutulan çeliklerden alınmış optik mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Orjinal yapıları ferrit ve perlit olan 38MnVS6 ve 41CrMo4 çeliklerin yağda soğutma sonrası mikroyapı resimlerine bakıldığında martenzitik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu durum yağda soğuma hızının deneysel çalışmada kullanılan çeliklerin kritik soğuma hızından yüksek olduğunu göstermektedir. Çelikte kritik soğuma hızını, çelik içerisindeki alaşım elementleri etkilemektedir. Alaşım elementleri sürekli soğuma diyagramlarını uzun zamana iterek kritik soğuma hızını düşürür ve martenzit oluşumunu kolaylaştırır [3,14].



**Şekil 3.** Yağda soğutma sonrası mikroyapı görüntüleri a) 38MnVS6 ve b) 42CrMo4.

Şekil 4'te yağda soğutma sonrası 500 °C'de temperleme işlemi uygulanan numunelerden alınmış optik mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Yağda soğutma sonrası martenzitik yapıdan oluşan numunelerin temperleme sonrası mikroyapı resimlerine bakıldığında beynitik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. 300 °C ve 400 °C'de yapılan temperleme işleminde ise martenzitik yapının değişmediği yapının temperlenmiş martenzit olduğu görülmüştür. Sonuçlar Kesti'nin yapmış olduğu çalışma ile benzerlik göstermektedir. Kesti, yapmış olduğu çalışmada özellikle 450 °C üzerinde yapılan temperleme işleminde beynitik yapının oluştuğunu belirtmiştir [15].

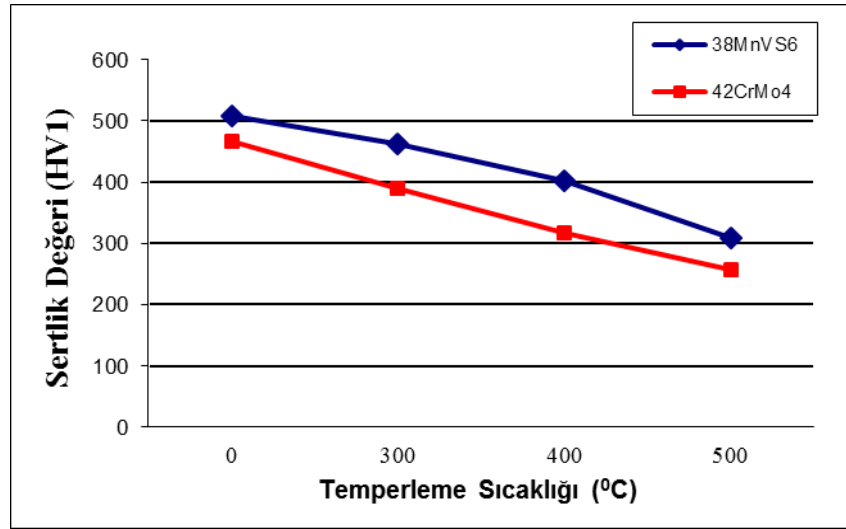


**Şekil 4.** Temperleme sonrası (500 °C) mikroyapı görüntüleri a) 38MnVS6 ve b) 42CrMo4.

Şekil 5 yağda soğutma sonrası temperleme işlemi uygulanmamış ve farklı sıcaklıklarda (300 °C, 400 °C, 500 °C) temperleme işlemi uygulanmış çelik numunelerin sertlik deney sonuçlarını göstermektedir. 38MnVS6 ve 41CrMo4 çeliklerin sertlik deneyi sonuçlarına bakıldığında her iki çelik grubu içinde en yüksek sertlik değerleri yağda soğutma sonrası temperleme işlemi uygulanmayan numunelerde sırasıyla 509 HV ve 467 HV olarak ölçülmüştür. Şekil 5'ten 300 °C yapılan temperleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik değerlerinde aşırı bir düşme olmadığı görülmektedir. Bu sıcaklığa kadar yapılan temperleme işleminde, yüksek sertlikteki martenzitin tetragonal kristal yapısı bozularak karbür ve düşük karbonlu martenzit meydana gelir. Bu durumdaki çelik hala yüksek sertlik değerine sahiptir. Ancak gerilmelerin büyük bir kısmı ortadan kalkmıştır [16]. Benzer durum 400 °C'de yapılan temperleme işlemi içinde geçerli olmaktadır. Temperleme işleminin 500 °C'ye çıkması ile sertlik değerlerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 5). 38MnVS6 ve 41CrMo4 çeliklerin 500 °C'de temperleme sonrası sertlik deneyi sonuçlarına bakıldığında sırasıyla 306 HV ve 258 HV olarak ölçülmüştür. Sertlik değerindeki bu düşmenin nedeni sert martenzitik yapının beynitik yapıya dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Mikroyapı sonuçlarına (Şekil 4) bakıldığında her iki grup çelikte de 500 °C'de temperleme sonrası beynitik yapının oluştuğu görülmektedir.

Ayrıca 38MnVS6 numunelerin sertlik değerleri bütün deneyler için 41CrMo4 numunelerin sertlik değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni vanadyum gibi mikroalaşım elementlerinin varlığı bu çeliklerin yüksek dayanım değerlerine sahip olmasına sebep olmaktadır. Bu alaşım elementlerinin oluşturmuş olduğu V(CN), Nb(CN) ve Ti(CN) gibi çökeltiler dislokasyonların

hareketini engelleyerek malzemenin dayanımını arttırmaktadır [17,18]. Bepari [19] yapmış olduğu çalışmada, vanadyum içeren düşük karbonlu çelikler sürekli soğutulduklarında küçük VCN gibi çökeltilerin oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca soğuma hızının artması dönüşüm sıcaklığını düşürdüğünü ve yapıda homojen olarak dağılmış ufak VCN çökeltilerinin oluşmasına neden olduğunu belirtmiştir. Benzer sonuçlar, Karabulut ve Gündüz'ün yapmış olduğu çalışmada da belirtilmiştir [20]. Lee ve Su, yaptıkları çalışmada, 36CrNiMo4 çeliğinin su verme ve farklı temperleme sıcaklıklarında oluşan mekanik özellikleri ve mikro yapısını incelemişler temperleme sıcaklığı ve süresinin mekanik özellikler ve mikro yapı üzerinde doğrudan etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Temperleme sıcaklığı ve süresinin artması ile mukavemet ve sertlikte azalma meydana geldiğini rapor etmişlerdir [21]. Bulunan sonuçlar Lee ve Su'nun yapmış olduğu çalışmayla uyumluluk göstermiştir.



Şekil 5. Çeliklerinin Vickers sertlik değeri (HV<sub>1</sub>)

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada yağda soğutma sonrası farklı sıcaklıklarda temperleme işleminin çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 38MnVS6 ve 42CrMo4 çelik malzemeler uygun östenitleme sıcaklığında tavlandıktan sonra yağda soğutulmuştur. Yağda soğutulan numunelere farklı sıcaklıklarda temperleme işlemi uygulanmıştır. Farklı sıcaklıklarda temperlenen bu numunelerin sertlikleri alınarak mikroyapı resimleri çekilip karşılıklı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Yağda soğutulan numunelerin martenzitik yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, yağda soğumanın çelikte martenzitik yapı oluşturmak için gerekli kritik soğuma hızından daha yüksek hızda gerçekleşmesinin bir sonucudur.
2. Temperleme işleminin 500 °C'ye çıkması ile temperleme sonrası beynitik yapının oluştuğu tespit edilmiştir.
3. Temperleme sıcaklığı 500 °C olan numunelerde en düşük sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu durum mikroyapının martenzitten beynitik yapıya dönüşmesi ile ilişkilendirilmiştir.

4. 38MnVS6 numunelerin sertlik değerleri bütün deneyler için 41CrMo4 numunelerin sertlik değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni vanadyum gibi mikroalaşım elementlerinin varlığı bu çeliklerin yüksek dayanım değerlerine sahip olmasına sebep olmaktadır.

### Kaynaklar

- [1] Metals Handbook Heat Treatments of Steels, 10th edition , ASM;1993.
- [2] Uzku M, Özdemir İ. Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2001;3:65-73.
- [3] Savaşkan, T. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, KTÜ, Trabzon; 1999.
- [4] Topbas, M. A. Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Prestij Yayıncılık, İstanbul;1998.
- [5] Lawrow P. Welding considerations with high-strength steel, Modern steel constructions, August, USA, 2000.
- [6] Erden M. A. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen mikroalaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2015.
- [7] Yılmaz R, Çelik F, Tümer M. Özlü tel ark kaynağı ile birleştirilen yüksek mukavemetli düşük alaşımli çeliklerin çekme dayanımının incelenmesi, International Iron & Steel Symposium, 02-04 April, Karabuk, Turkey 2012: 789-796
- [8] Ünal Hİ, Atapek ŞH, Belesi BG. Mikroalaşımlı bir çeliğin mikroyapısal karakterizasyonu ve mekanik testler sonrası fraktografik etüdü, MakinaTek, 2010;156:216-222.
- [9] Bai DQ, Yue S, Maccagno TM, Jonas JJ. Effect of deformation and cooling rate on the microstructures of low carbon NB-B steels, ISIJ International, 1998; 38:371-379.
- [10] Li Y, Crowther DN, Green MJW, Mitchell PS, Baker T. The effect of vanadium and niobium on the properties and microstructure of the intercritically reheated coarse grained heat affected zone in low carbon microalloyed steel. ISIJ International, 2001;41:46-55.
- [11] Varol, H., Av ve Spor Tüfekleri İçin Kritik Parçaların Hasar Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [12] Doruk, İ., 2010: Yıvsız Setsi Av ve Spor Tüfeklerinde Kaliteyi Artırmak Amacıyla Kritik Parçalarda İyileştirme Çalışmaları Av ve Spor Tüfekleri İçin Kritik Parçaların Hasar Analizi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [13] Krauss, G. Martensite in steel strength and structure, Materials Science and Engineering A. 1999;273:40–57.
- [14] Tekin, A. Çelik ve Isıl İşlemi, İTÜ, İstanbul; 1984.
- [15] Kesti, E. Ç4140 Çeliğinin, Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [16] Asil Çelik., İslah Çelikleri, Teknik Yayınlar, İstanbul; 1984.
- [17] Ollilainen, V., Kasprzak, W., Hollapa L. The effect of silicon, vanadium and nitrogen on the microstructure and hardness of air cooled medium carbon low alloy steel. Journal of Materials Processing Technology, 2003;134:405-412.
- [18] Kaynar A, Gündüz S, Türkmen M. Investigation on the behaviour of medium carbon and vanadium microalloyed steels by hot forging test, Materials and Design 2013;51:819-825.
- [19] Bepari, M.A. Structure of continuously cooled low-carbon vanadium steel, Metallurgical Transaction A, 1990;21:2839-2855.

- [20] Karabulut H, Gündüz S. Effect of vanadium content on dynamic strain ageing in microalloyed medium carbon steel, *Materials and Design* 2004;25:521-527.
- [21] Lee W S, Su T T. Mechanical Properties And Microstructural Features of AISI4340 High-Strength Alloy Steel Under Quenched And Tempered Conditions, *Journal of Materials Processing Technology* 1999;87:198-206.