

ISIL İŞLEM UYGULANAN 1040, 41Cr4 VE 42CrMo4 ÇELİKLERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Caner TUNA¹, Celal Erkal KAHRAMAN², Hakan ERÇAY³, Tuncay DİKİCİ⁴

Accepted: 29 Haziran 2025
DOI: 10.47118/somatbd.1610118

ÖZET

Bu çalışmada; otomotiv, makine, havacılık enerji ve madencilik alanlarında yaygın olarak kullanılan 1040, 41Cr4 ve 42CrMo4 çeliklerine aynı şartlar altında uygulanan ısıtıl işlemin mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Isıl işlem aşamaları; 840 C'de östenitleme, yağda su verme ve 600 C'de temperleme aşamalarından oluşmaktadır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskop aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sonrası numunelerin mekanik özellikleri ise çekme testi, sertlik ölçümü ve darbe deneyi ile tespit edilmiştir. Deneysel çalışma sonrası; mikroyapı analizinde 1040 çeliğinde ferrit ve perlit yapısı, 41Cr4 ve 42CrMo4 çeliklerinde ise martenzit ve temperlenmiş martenzit yapıları tespit edilmiştir. Sonuçlara göre, 41Cr4 ve 42CrMo4 numuneler benzer sertlik ve darbe dayanımı sonuçlarına sahip iken, 1040 çelikte bu sonuçlar yarı oranında düşük bir değer sergilemiştir. Su verme ve temperleme işleminden sonra yapılan çekme testi sonucunda üç çelik türünde de akma ve çekme dayanımı değerleri farklı sonuçlar göstermiştir. Sonuç olarak, 42CrMo4 çeliğin mekanik özellikler açısından daha iyi bir performans sergilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orta karbonlu çelikler, Su verme, Temperleme, Mekanik özellik

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT-TREATMENT APPLIED 1040, 41Cr4 AND 42CrMo4 STEELS

ABSTRACT

In this study, the effects of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 1040, 41Cr4 and 42CrMo4 steels, which are widely used in automotive, machinery, aerospace energy and mining fields, were investigated and compared. The heat treatment stages consist of austenitizing at 840 C, oil quenching and tempering at 600 C. Microstructure examinations of the samples were carried out by optical microscope. The mechanical properties of the samples after heat treatment were determined by tensile test, hardness measurement and impact test. After the experimental study, ferrite and pearlite structure in 1040

¹ Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Aliağa, İzmir, Türkiye, email: caner.tuna@ozkansteel.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7385-5227>

² Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Aliağa, İzmir, Türkiye, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0291-6971>

³ Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., Ar-Ge Merkezi, Aliağa, İzmir, Türkiye, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3858-4246>

⁴ Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 35860, Torbalı/İZMİR, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7004-9788>

steel, martensite and tempered martensite structures in 41Cr4 and 42CrMo4 steels were determined in microstructure analysis. According to the results, 41Cr4 and 42CrMo4 samples had similar hardness and impact strength results, while these results were half lower in 1040 steel. As a result of the tensile test performed after quenching and tempering, the yield and tensile strength values of the three steel types showed different results. As a result, it was observed that 42CrMo4 steel showed a better performance in terms of mechanical properties.

Keywords: Medium carbon steels, Quenching, Tempering, Mechanical properties

1. GİRİŞ

Demir (Fe) bilinen en eski metallerden biridir. Karbon (C) ise düşük maliyetli ve demiri sertleştirmek için en çok kullanılan etkili bir alaşım elementidir. Demir karbon alaşımı olarak bilinen çelik, mühendislik uygulamaları için kullanılan metalik malzemelerin %70'inden fazlasını oluşturmaktadır. Düşük, orta ve yüksek karbonlu çelik yapmak için demire %0,04 ile %2 arasında C ilave edilir. Çeliklerin mikroyapısı ve mekanik özelliklerini ısıtma yoluyla değiştirmek mümkündür. Isıtma ve soğutma döngülerinin uygun varyasyonları ile çok çeşitli mekanik özellikler elde edilebilir [AISI, 2017; Bhateja et al., 2012]. Çelik, günümüzde birçok endüstrinin bel kemiğidir. Bunun temel nedeni, kimyasal bileşimini tasarlayarak ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olan ısıtma işlemi kontrol ederek çok farklı özellikler ve seçenek sağlanabilir [Çalık et al., 2020].

Orta karbonlu çeliklerde karbon içeriği %0,30 ile %0,60 ve manganez %0,60 ile %1,65 aralığındadır. Artan karbon içeriği sayesinde orta karbonlu çelikler su verilmiş ve temperlenmiş koşullarda kullanılabilir. Bu çelikler miller, akslar, dişliler, krank milleri, kaplinler ve dövme parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon içeriği %0,40 ile %0,60 arasında olan karbon çelikleri de raylar, demiryolu tekerlekleri ve demiryolu aksları için kullanılır. Isıl işlem, karbon çeliğinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde ve böylece performansının artırılmasında önemli bir rol oynar [Heat Treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steels, 2004] 1040, 41Cr4 ve 42CrMo4 kalite orta karbonlu çelikler, endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılan çelik türleri arasındadır.

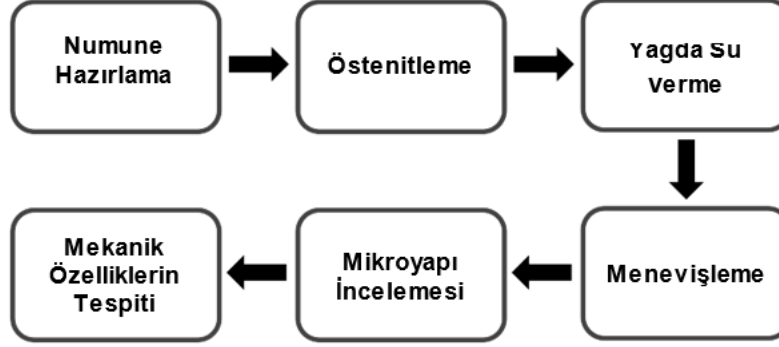
Bu çalışmada, 1040, 41Cr4 ve 42CrMo4 çeliklerine bir dizi ısıtma işlemi uygulanmış ve numuneler test - karakterizasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Çelik numuneler öncelikle uygun sıcaklıkta östenitlemiş ve sonrasında yağda su verme işlemi uygulanmıştır. Sertleşen çeliğin gevrekliğini gidermek ve tokluğunu artırmak amacıyla numuneler temperlenmiştir. Isıl işlem sonrasında numunelerin mikroyapıları incelenmiş ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

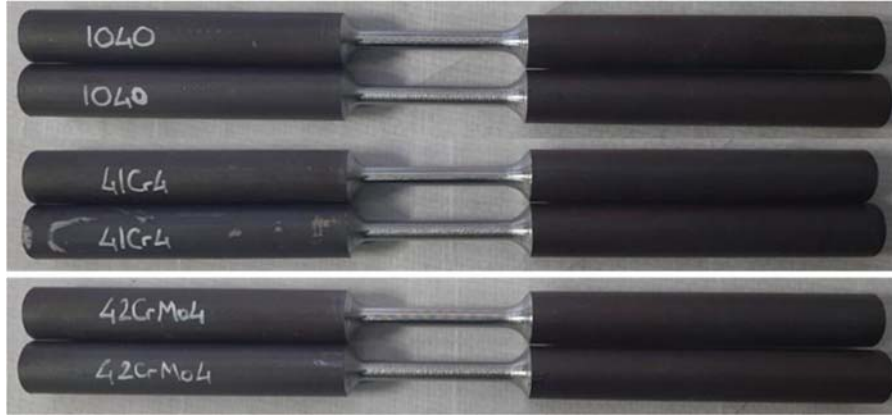
Çalışmada, 30 mm çapında yuvarlak kesitli 1040, 41Cr4 ve 42CrMo4 numuneler kullanılmıştır. Numunelerin spektrometre ile yapılan analiz sonucu çıkan kimyasal kompozisyonlarına ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Uygulanan işlemlere ait akış şeması ise Şekil 1'de gösterilmiştir. Numuneler öncelikle 880C'de 45 dakika östenitlenmiş ve sonrasında yağda su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sertleştirme işleminden sonra tüm numuneler 600C'de 90 dakika boyunca temperlenmiştir.

Tablo 1. Çeliklerin kimyasal kompozisyonu (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Mo	Al
1040	0,40	0,20	0,75	0,011	0,004	0,15	0,11	0,21	0,013	0,031	0,021
41Cr4	0,40	0,20	0,73	0,011	0,004	1,02	0,10	0,15	0,009	0,02	0,023
42CrMo	0,40	0,20	0,82	0,012	0,004	1,02	0,11	0,20	0,014	0,178	0,021

**Şekil 1.** DeneySEL aşamaları içeren akış şeması

Metalografik olarak incelenecek numunelerin yüzeyleri nital çözeltisi ile dağlanmış ve optik mikroskop (OM) yardımıyla mikroyapıları incelenmiştir. Isıl işlem sonrası numuneler, çekme testi ve darbe dayanım testi için standartlarda belirtilen ölçülerde hazırlanmış ve test edilmiştir. Çekme testi, ISO 6892-1 standardına uygun olarak 100 ton kapasiteli Instron marka cihazda 10MPa/sn çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme numunelerine ait örnekler Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Sertlik ölçümleri, ISO 6508-1 standardına uygun olarak BMS-150/C marka cihazda 120° konik elmas uç ile 150kg yük uygulanarak tespit edilmiştir. Darbe tokluğu testleri ise ISO 148 standardına uygun olarak 450J kapasiteli Instron marka cihazda oda sıcaklığında tespit edilmiştir. Darbe deneyinde kullanılan örnekler Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6' verilmiştir.

**Şekil 2.** Test öncesi çekme numuneleri



Şekil 3. Test sonrası çekme numuneleri



Şekil 4. İşleme öncesinde, kesilmiş darbe tokluğu test numuneleri

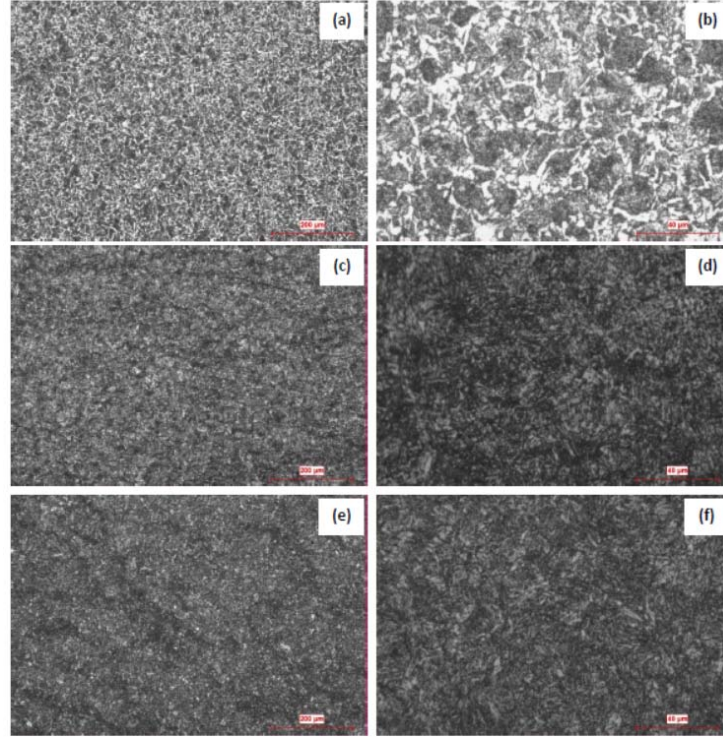


Şekil 5. İşlenmiş darbe tokluğu test numuneleri



Şekil 6. Test sonrası darbe tokluğu numuneleri

3. BULGULAR VE SONUÇLAR



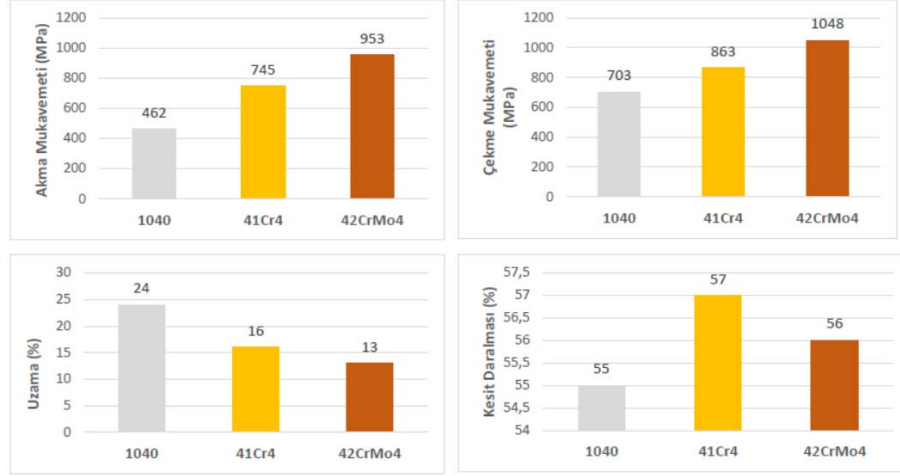
Şekil 7. Optik mikroskop (OM) görüntüleri (a, b) 1040 (c,d) 41Cr4 ve (e,f) 42CrMo4

1040 kalite çelikte ısıtıl işlem sonrasında elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 7 (a,b) 'de verilmiştir. Temperleme sonrası ferrit (beyaz renkli bölgeler) ve perlit (lamelli yapı bölgeler) yapıları görünürken bir miktar beyaz (lamel yapı görünmeyen koyu renkli ara bölgeler) faz oluştuğu da görülmektedir. 41Cr4 kalite çelikte ısıtıl işlem sonrasında bazı bölgelerde düşük oranda ferrit fazı mevcuttur (Şekil 7 c,d). Yapının genelinde ise martenzit fazı ve temperlenmiş martenzit fazı birlikte görülmektedir. Şekil 7 (e,f)'de gösterildiği üzere, 42CrMo4 kalite çelikte homojen bir temperlenmiş martenzit yapısı oluşmuş ve literatür sonuçları ile uyum sergilemektedir [İsmail et al., 2019; Mahmood, 2014; Özbek and Saraç, 2021].

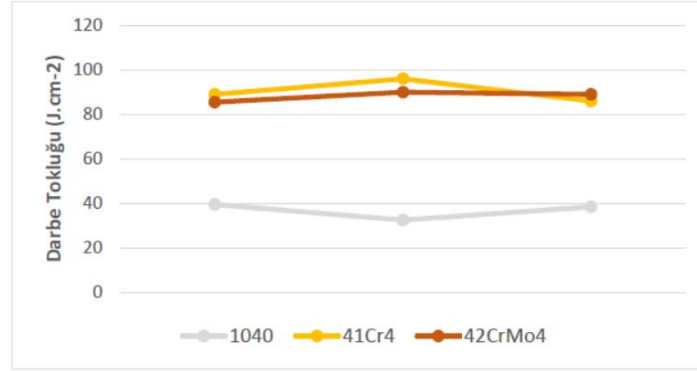
Tablo 2. Sertlik sonuçları (HRC)

	1040	41Cr4	42CrMo4
Su verme	22,5 ±0,5	51±0,5	52±0,3
Su verme+Temperleme	14,5±0,5	31±0,3	32±0,3

Tablo 2’de 1040, 41Cr4 ve 42CrMo4 çeliklerine ait su verme ve temperleme işlemlerinden sonra yapılan sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. En düşük sertlik değeri 1040 kalite çelikte, en yüksek sertlik değerleri ise 41Cr4 ve 42CrMo4 çeliklerinde ölçülmüştür. Bu farkın en önemli sebebi; alaşım içindeki Cr elementinin mevcudiyetidir ve yapı içinde oluşan CrC bileşikleridir. Cr elementinin çeliğin sertliği üzerindeki etkisi yapılan ölçüm sonuçları ile ortaya konmuştur [Wang et al., 2023, Xia et al., 2024].



Şekil 8. Çekme testi sonuçları: akma mukavemeti, çekme mukavemeti, yüzde uzama ve yüzde kesit daralması verileri



Şekil 9. Charpy darbe dayanımı testi verileri

Su verme ve temperleme işlemi sonrası çeliklerin mekanik özelliklerindeki değişim oda sıcaklığında çekme ve Charpy darbe testi ile belirlenmiştir. Malzemelere ait akma mukavemeti (MPa), çekme mukavemeti (MPa), yüzde uzama (%), yüzde kesit daralması (%) ve darbe dayanım sonuçları bulunmuştur. En düşük akma ve çekme dayanımı 1040 çeliğinde 462 MPa ve 703 MPa olarak tespit edilmiştir. 42CrMo4 çeliğinde ise en yüksek mukavemet değerleri ölçülmüştür. Yüzde uzama değerleri ise beklenildiği gibi çeliklerin çekme dayanımına ters yönde eğilim göstermiştir. Isıl işlem sonrası mekanik özelliklerden biri olan kesit daralmasındaki değişimde en belirgin fark 41Cr4 örneğinde tespit edilmiştir.

Cr elementinin çeliğe ilavesi, östenit dönüşüm bölgesini küçültebilmekte, östenit oluşum hızını düşürebilmektedir. Düşük sıcaklık faz dönüşümünün meydana gelmesini desteklemektedir. Çeliğe Mo elementinin eklenmesi ferrit ve perlit dönüşümünü etkili bir şekilde baskılamakta, martenzitik dönüşüm sıcaklığını düşürebilmekte ve tam martenzitik dönüşüm için kritik soğutma hızını düşürebilmektedir. Böylece martenzitik dönüşüm desteklenebilmektedir. Mo elementinin darbe dayanımını koruyarak mukavemeti arttırmada iyi bir etkiye sahip olduğu ve Cr elementinin mukavemet ve sertlikte önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Nitekim yapılan testler neticesinde de 41Cr4 ve 42CrMo4 çeliklerinin mekanik değerleri karşılaştırıldığında 42CrMo4 çeliğinde 41Cr4 çeliğine göre daha yüksek mukavemet değerleri

tespit edilmiştir. Buna karşılık oda sıcaklığında darbe dayanımında kayıp yaşanmamıştır. Ayrıca 42CrMo4 çeliğinde tespit edilen homojen mikroyapı da mekanik test sonuçlarını desteklemektedir [9].

4. SONUÇ

Bu çalışmada orta karbonlu çelik grubundan olan 1040, 41Cr4 ve 42CrMo4 çeliklere uygulanan su verme ve temperleme işleminin mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir. Isıl işlem sonucu, en düşük sertlik, çekme ve darbe dayanımı sonuçları 1040 çelikte ölçülmüştür. 41Cr4 ve 42CrMo4 “çeliklerinde sertlik ve darbe dayanımı sonuçları oldukça birbirine yakındır. Fakat bu iki çelik arasından 42CrMo4 daha yüksek akma ve çekme dayanımına sahiptir. Orta karbonlu bu üç farklı çeliğe yağda su verme ve sonrasında uygulanan temperleme işleminin mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkisine dair sonuçlar ve yorumlar, mühendislik hesaplamaları ve malzeme seçiminde bizlere önemli veriler sunmaktadır.

KAYNAKLAR

American Iron and Steel Institute (AISI). 2017. Available online: <http://www.steel.org/> (accessed on 20/11/2017).

Bhateja A, Varma A, Kashyap A, Singh B (2012). Study the effect on the hardness of the three sample grades of tool steel ie EN-31, EN-8 and D3 after heat treatment processes such as annealing, normalizing and hardening and tempering. International Journal of Engineering and Science. 1(2):253-9.

Çalık, A., Dokuzlar, O., & Uçar, N. (2020). The effect of heat treatment on mechanical properties of 42CrMo4 steel. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 98(1), 5-10.

Heat Treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steels (2004). Effects on Macroscopic Mechanical Properties, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering Cambridge, MA 02139, 2.002 Mechanics and Materials II Spring, Laboratory Module No. 5.

Ismail, A., Zenasni, R., Amine, K. S. M., & Ahmed, S. (2019). Effect of tempering temperature on the mechanical properties and microstructure of low alloy steel DIN 41Cr4. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 13(1), 9-14.

Mahmood, S. N. (2014). Study the effect of surface and internal heat treatment on mechanical properties of C40 steel alloy. Engineering and Technology Journal, 32(4), 922-931.

Özbek, N. A., & Saraç, E. (2021). Temperleme ısı işlem sıcaklıklarının AISI 1020 ve AISI 1040 karbon çeliklerin mekanik özellikleri üzerine etkileri. Gazi Mühendislik Bilim. Derg, 7(1), 17-25.,

Wang, D., Zhong, Q., Yang, J., & Zhang, S. (2023). Effects of Cr and Ni on the microstructure and corrosion resistance of high-strength low alloy steel. Journal of Materials Research and Technology, 23, 36-52.

Xia, T., Ma, Y., Zhang, Y., Li, J., & Xu, H. (2024). Effect of Mo and Cr on the Microstructure and Properties of Low-Alloy Wear-Resistant Steels. Materials, 17(10), 2408.