

Toprak Makinaları İmalatında Kullanılan 60SiMn5 Çeliğine Uygulanan Sertleştirme ve Menevişleme Isıl İşlem Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

Hülya DURMUŞ¹, Fatma Gizem ÇAKIR¹, Canser GÜL^{1*}

ÖZET: Toprak işleme makinaları sürüm işlemi yaparken, işleyici parçalar ile toprakta bulunan kuvars veya korundun gibi partiküller sürtünmektedir ve bu durum toprakta sürüm yapan işleyici tarım ekipmanlarında aşınmalara neden olmaktadır. Ülkemizde, bu ekipmanların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve aşınmaya karşı dirençlerini artırabilmek amacıyla uygulanan sertleştirme ısıl işlemleri gelişen teknikler ile birlikte değişmektedir. Yapılan çalışmada süneklik ve tokluk değerlerinin yüksek olduğu bilinen ve tarım aletlerinin belli bölümlerinde sıklıkla kullanılan 60SiMn5 alaşımına sertleştirme işleminden sonra farklı sıcaklıklarda (250 °C ve 270 °C) uygulanan menevişleme işlemlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, 970 °C’ de östenitleştirme ve ardından yağda soğutma işlemi uygulandıktan sonra farklı sıcaklıklarda menevişleme işlemi uygulanmıştır. Uygulanan menevişleme işlemlerinin mikroyapıya etkisi optik mikroskop ve SEM-EDX analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sertlik, darbe ve kuru kum kauçuk aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda 270 °C’ de yapılan menevişleme işlemi ile numunede alt beynit yapısının daha homojen dağılmasının sağlaması sebebi ile malzemenin tokluk değerinde artış görülmüştür. Ayrıca uygulanan menevişleme işlemlerinin akma, çekme ve aşınma dayanımlarını arttırdığı ve mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak; Pulluk; Uç demiri; Kültivatör; 60SiMn5; Isıl işlem

Investigation of the Effect of Hardening and Tempering Heat Treatment Parameters Applied to 60SiMn5 Steel Used in Earth Machinery Manufacturing on Mechanical Properties

ABSTRACT: While the tillage machines are plowing, the processing parts and the particles such as quartz or corundum in the soil rub off, and this causes abrasion in the tillage agricultural equipment. In our country, the hardening heat treatment processes applied in order to improve the mechanical properties of these equipment and increase their resistance to wear are changing with the developing techniques. In the study, the effects of tempering processes applied at different temperatures (250 °C and 270 °C) to the microstructure and mechanical properties of 60SiMn5 alloy, which is known to have high ductility and toughness values and is frequently used in certain parts of agricultural tools, were investigated. For this purpose, after austenitizing at 970 °C and subsequent cooling in oil, tempering at different temperatures was performed. The effect of tempering processes on the microstructure was carried out by optical microscope and SEM-EDX analysis. The hardness, impact and dry sand rubber abrasion tests of the samples were carried out. As a result of the study, an increase in the toughness value of the material was observed due to the more homogeneous distribution of the lower bainite structure in the sample with the tempering process performed at 270 °C. In addition, it has been observed that the applied tempering processes increase the yield, tensile and abrasion resistance and positively affect the mechanical properties.

Keywords: Soil; Plough; Plowshare; Cultivator; 60SiMn5; Heat treatment

¹Hülya DURMUŞ (Orcid ID: 0000-0002-7270-562X), Fatma Gizem ÇAKIR (Orcid ID: 0000-0002-4059-7900), Canser GÜL (Orcid ID: 0000-0002-1339-936X), Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Canser GÜL, e-mail: canser.gul@cbu.edu.tr

Bu çalışma Fatma Gizem ÇAKIR’ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Tarım ürünlerinin kaliteli yetiştirilmesi, uygun şartların sağlanması ile mümkündür ve toprağın en iyi şekilde işlenmesi, ürünün verim ve kalitesini doğrudan etkileyecektir (Gualco, 2010). Toprağı işlemek için kullanılan zirai alet ve makinalarının ömrü, modeline, imalatında kullanılan malzemeye, kalitesine, bakım, tamir durumuna ve kullanım şartlarına göre değişir. Sürüm işlemi yapılırken, toprak işleme makinalarının parçaları yani işleyici elemanlar ile toprak sürtünmektedir. Böylelikle makine elemanları zamanla aşınarak fonksiyonlarını yitirmektedir. Toprak ile temas eden kısımların bu sürtünme ile ortaya çıkan aşınmayı azaltabilmek için mekanik özelliklerinin yüksek olması beklenmektedir. Malzemenin özellikleri, sertlik, toprağın cinsi ve yüklenme aşınmayı etkileyen faktörlerdir (Güleç, 2012; Bialobrzaska ve Kostencki, 2015). Toprakta çalışma yaparken uygulanan kuvvetler sürekli değişiklik göstermektedir ve yüksek değerlere çıkmaktadır. Aşınmaya karşı sertliği yüksek malzemeler genellikle daha dayanıklıdır, fakat yüksek sertlikteki malzemeler genellikle uygulanan darbelerle karşı dayanıklı değildir (Er ve Par, 2006).

Tarım sektöründe en çok kullanılan tarım aletlerinden biri de kültivatörlerdir (çizel, graham pulluğu). Toprağı yırtarak kabartmak, havalandırmak, toprak keseklerini parçalamak, yabancı otları kesip köklerini toprak üstüne çıkartmak gibi işlemler kültivatörlerin temel görevlerini oluşturur (Polat, 2012). Kültivatörlerde kullanılan parçalarında mekanik dayanımlarının yüksek olması istenmektedir. Çeliklerde aşınma, sertlik ve darbe dayanımının iyi olması için uygulanan işlemlerden bazıları kültivatör parçalarında da uygulanabilmekte ve bu işlemler ile kültivatör parçalarının mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanabilmektedir (Güleç, 2012). Çeliklerde, su verme işlemi ile oluşturulan martenzit fazından dolayı sertlik sağlanır. Tavlama işlemi ile de bu parçaların darbe aldıklarında kırılması güçleştirilmektedir (Yıldız ve Gür, 2006). Kültivatörler çalışma açısından çoğu toprak tipine uygun tarım araçlarıdır. Uzun süre kullanımının sağlanabilmesi için malzemesini iyi tanımak, uygulanacak ısıl işlemleri bilmek ve bu işlemlerin etkilerinin önceden tahmin edilmesi maliyeti etkileyecektir.

Aşınma, fark edilmeden oluşan ve oluşurken doğrudan ve dolaylı problemleri de beraberinde getiren genel mekanik bir olaydır (Güleç, 2015; Halil ve Tümsavaş, 2005). Aşınmayı etkileyen birçok faktör bulunsun da ana faktörler belirli gruplar altında toplanabilir. Toprak koşulları, uygulama şartları ve tasarım parametreleri bu ana faktörlerin başında gelir (Owsiak, 1999). Farklı toprak koşullarında çalışan ve değişken mekanik yükler altında şiddetli aşınmalara maruz kalan ana elemanlar, toprak gevşetme ekipmanları ve yay uçlu noktalar da içeren kültivatörlerdir. Özellikle kültivatörlerin operasyonel güvenliği yay dişleri ve bu diş noktalarının ömürlerinden etkilenir (Owsiak, 1999; Stawicki ve ark. 2018).

Tarım makineleri, çoğunlukla kendilerinden daha sert olan kuvars veya korindon gibi partiküllerin etkisinin bir sonucu olarak aşınmaya maruz kalırlar (Stawicki ve ark. 2018). Aşınma, engellenmesi mümkün olmayan bir olaydır fakat uygulanacak işlemler ile aşınma sonucunda oluşan kayıplar azaltılabilir. Bu nedenle, bu parçaların aşınma dayanımlarını geliştirmek amacı ile yapılan çalışmalar sürdürülmektedir (Halil ve Tümsavaş, 2005). Yapılan ısıl işlemler ile çeki kuvvetinin azaltılması ile kullanılan enerjinin ve maliyetin azalması beklenmektedir. Körleşen tarım aleti toprağı kesmeyip sadece öteleme hareketi yapacağından çizi tabanı oluşumunu hızlandırmaktadır. Toprağın sıkışması birçok bitki yetiştirilmesi yönünden önemli pek çok toprak özelliğini etkileyerek kök ve bitki gelişmesini; dolayısıyla verimi azaltmaktadır. Aşınma azaldığında, yıllık olarak toprağı karışan metal oranı azaltılmış olacaktır. Kültivatörler malzeme ve ısıl işlem şekillerinde yapılan değişiklikler ile sertlik ve tokluk değerlerinin artması ile ömrünün artması beklenmektedir. Böylelikle verimin

azalması engellenecek ve kaliteli toprak ürünleri elde edilecektir (Singh ve Chatha, 2020). Ayrıca yüksek yineleme maliyeti olan, iş gücü gerektiren, arıza süreleri kimi zaman uzun olabilen değiştirme maliyetlerinden de kazanç sağlanacaktır (Kang ve ark. 2017).

Tarım işleminde kazıma işini yapacak kısım olarak kullanılacak çeliklerde istenilen özellikler, yeterli yük dayanımı, iyi tokluk ve kırılmaya karşı emniyet şeklinde tanımlanabilir. Bu özellikler ancak uygun çelik seçimi ve/veya uygun ısıl işlem ile mümkün olabilir. Öte yandan, ısıl işlemler ile yük dayanımı arttırılırken malzemenin sünekliğini kaybetmemesi esastır. Bu nedenle seçilecek ısıl işlem parametreleri büyük önem arz eder (Güleç, 2012).

Bu çalışmada; 60SiMn5 alaşımlı çelikten üretilmiş numunelere su verme işlemi sonrasında iki farklı sıcaklıkta (250 °C ve 270 °C) menevişleme işlemi uygulanmıştır. Yapılan literatür taraması sonucunda 60SiMn5 çeliğinin çoğunlukla taşıtlarda yaprak yay, helis yay ve bilezik yay olmak üzere, orta ve yüksek çekme ve basma yüklerine dayanabilen yayların üretiminde kullanıldığı gözlemlenmiştir (Podgomik ve ark., 2015; Wang ve ark., 2019). Tarım makinelerinin uç kısımlarında kullanılmak üzere yapılan çalışmada ise sert toprak bileşenleri nedeni ile tokluk değerlerinin daha yüksek elde edilmesi gerekmektedir. Yapılan ön denemeler sonucunda tokluğun yükseldiği menevişleme sıcaklıkları tespit edilmiş ve uygulanacak olan menevişleme sıcaklıkları 250 °C ve 270 °C olarak belirlenmiştir. Menevişleme işlemleri sonrası numunelerin, mikroyapıları, mekanik özellikleri ve aşınma davranışları incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

60SiMn5 alaşımlı çeliğine ait kimyasal kompozisyon Çizelge 1’de verilmiştir. Alaşımdan ASTM E23-18 ve ASTM E8:2016 standartlarına göre kesilen numunelere 970 °C ’de 30 dk boyunca tavlama işlemi yapılmıştır. Yağda soğutma işlemi yapıldıktan sonra numunelerin bir bölümüne 250°C’de 120 dk menevişleme işlemi uygulanmıştır. Diğer bölümüne ise 270 °C ’de 120 dk menevişleme yapılmıştır. Çekme, çentik-darbe, kuru kum kauçuk aşınma, mikroyapı ve sertlik testleri için numuneler hazırlanmıştır.

Çizelge 1. 60SiMn5 kimyasal kompozisyonu (% ağı.)

C	Si	Mn	P	S	N	Fe
0.55	1	0.90	0.05	0.05	0.007	Kalan

Mikroyapı incelemelerinde Clemex yazılımlı Nikon Eclipse LV 150 optik mikroskop kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağıtım spektrumu (EDX) analizleri ZEISS marka Gemini Sigma 300 VP SEM cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Görüntüler alınırken hızlandırma gerilimi olarak 15 kV kullanılmıştır.

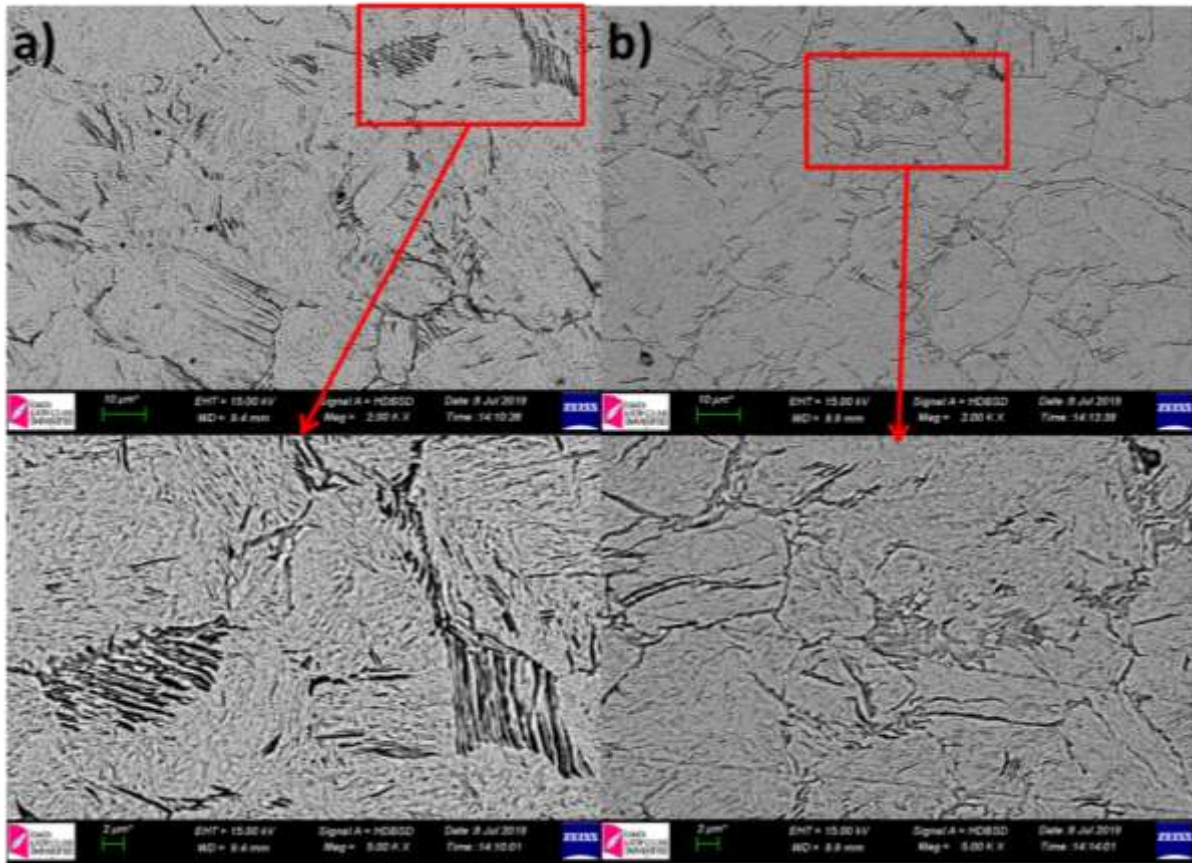
Kesitten yapılan sertlik ölçümleri Rockwell-C sertlik ölçüm metodu kullanılarak 150 kg yük altında gerçekleştirilmiştir. Charpy darbe testi ASTM E23-18’e göre gerçekleştirilmiştir. Numune ebatları 10x10x55 mm³’tür. Çekme testi ise ASTM E8:2016’ya göre gerçekleştirilmiştir.

Aşınma testleri 130 N yük ve 300 g/dk kum akışında ASTM G65 standardına göre uygulanmıştır. Kuru kum kauçuk tekerlek aşınma test cihazı, aşınmaya maruz kalan mekanik bileşenler için aşınma direncinin tespiti için kullanılan bir metottur (Ma ve ark. 2000). Test cihazı, aşınmaya dayanıklı kauçuk kaplı paslanmaz çelik döner disk ile numunenin bağlanacağı bir koldan meydana gelir. Cihazın tepesinde testte aşındırıcı olarak kullanılan kumun konulacağı bir hazne mevcut olup 50/70 AFS ölçülerinde silika kum bu haznedeki disk ile numune arasına doğru akar. Numunelere 30 dk boyunca 300 g/dk kum akışı ile test numuneleri abrazif aşınmaya maruz

bırakılmıştır. Test öncesi hassas terazi ile ağırlık ölçüm hassasiyeti için 0,1 mg hassasiyetindeki terazi ayarlanmış olup, test öncesi ve test sonrası ağırlıklar ölçülmüştür. Bütün numunelerin aşınma testi sonucuna göre ağırlık kayıpları karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

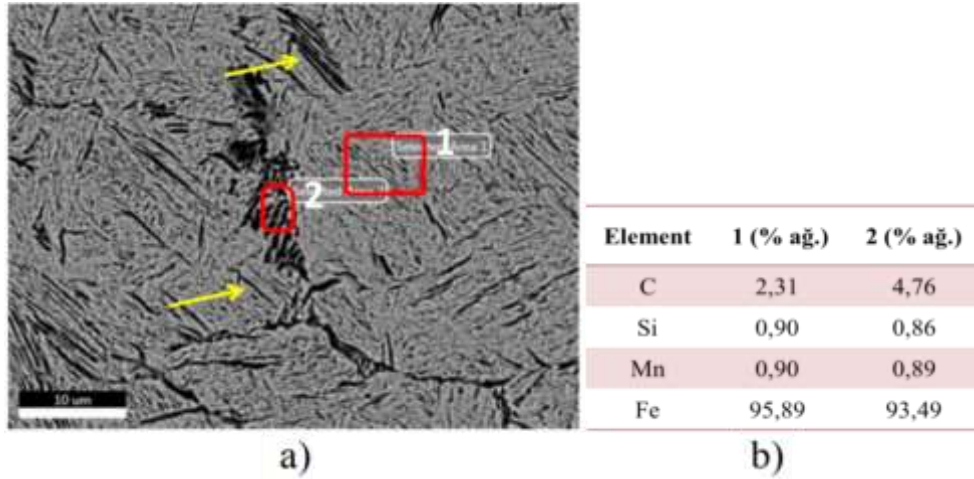
Farklı işlemler görmüş 60SiMn5 malzemesinden numunelerin mikroyapıları incelendiğinde (Şekil 1) alt beynit yapıları görülmektedir. Martenzit ve alt beynit her ikisi de ince karbür içerdiğinden dolayı birbirlerine benzetilebilir. İki arasındaki fark, beynit içerisindeki sementit partiküllerinin, beynit plakanın ana eksenine yaklaşık 60° çökmesidir. Temperlenmiş martenzit karbürleri ise çok değişkenli Widmanstätten dizilerinde çöker. Karbon konsantrasyonu yüksekse veya dönüşüm sıcaklığı düşükse, Widmanstätten dizilerinin alt beynitte bulunduğu istisnai durumlar da vardır (Öztürk, 2013).



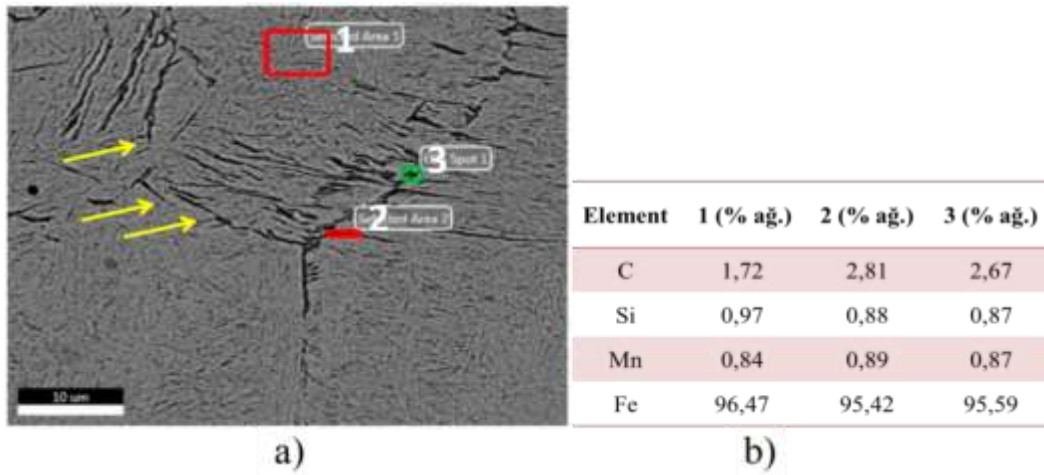
Şekil 1. 60SiMn5 malzemesinden numunelerin SEM Görüntüleri a) 60SiMn5-250°C b) 60SiMn5-270°C

Şekil 1’de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde yapının alt beynit olduğu görülmektedir. Şekil 1a’da tane sınırlarından başlayan beynit yapısı Şekil 1b’ye göre daha fazladır. Şekil 2’de 250 °C’de temperlenmiş numunelere ait ve Şekil 3’te 270 °C’de temperlenmiş numunelere ait EDX analizi verileri verilmiştir.

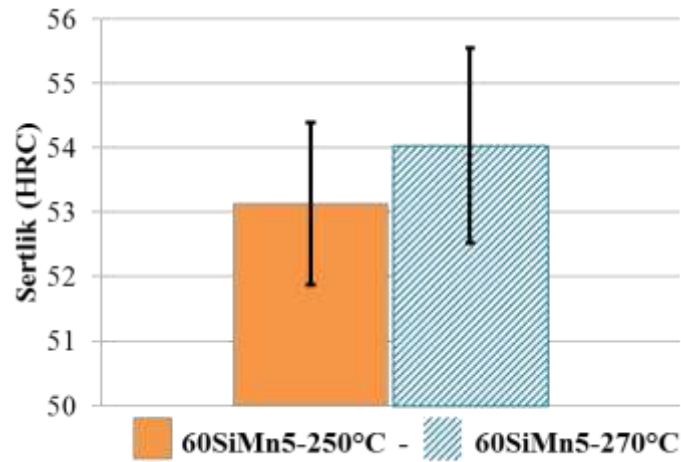
Aynı büyütmelemlerde verilen bu iki analiz verileri incelendiğinde, Şekil 2’de ve Şekil 3’te siyah renkle gözlemlenen iğnemsî yapılar (sarı oklar ile gösterilmiştir) karbon oranı bakımından daha yoğundur. 250 °C sıcaklıkta menevişleme işlemi görmüş olan çelikte karbonca zengin bölgeler tane sınırlarına toplanmıştır (Şekil 3). 270 °C’de menevişleme işlemi görmüş olan numunede, tüm EDX alınan noktalar yaklaşık olarak aynı element içeriğine sahiptir ve yapı alt beynit şeklinde oluşmuştur



Şekil 2. Farklı işlemler görmüş 60SiMn5 malzemesinden numunelerin SEM-EDX analiz sonuçları a) 60SiMn5-250°C SEM görseli b) 60SiMn5-250°C EDX sonuçları

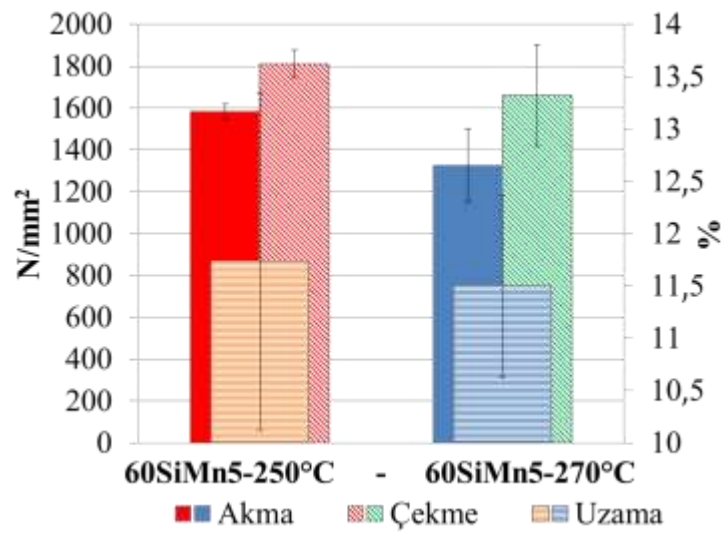


Şekil 3. Farklı işlemler görmüş 60SiMn5 malzemesinden numunelerin SEM-EDX analiz sonuçları a) 60SiMn5-270°C SEM görseli b) 60SiMn5-270°C EDX sonuçları



Şekil 4. Sertlik sonuçları

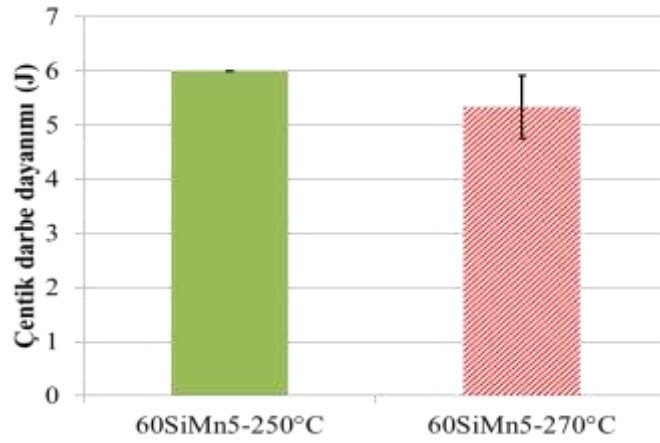
60SiMn5-250 °C ve 60SiMn5-270 °C numunelerine ait sertlik grafiği Şekil 4'te verilmiştir. 250°C'de menevişleme yapılan numunenin sertlik ortalama değeri 53 HRC ve 270 °C menevişleme yapılan numunenin ortalama sertlik değeri 54 HRC hesaplanmıştır. Toprak işleme makinelerinde çalışan bileşenlerin maruz kaldığı abrazyon aşınmayı azaltmanın yollarından biri sertliklerini arttırmaktır. Bu şekilde, aşındırıcı tanelerin malzemeye nüfuz etmesi en aza indirilir fakat bu durumun bazı kısıtlamaları vardır. Sertlik ile abrazyon aşınma direnci arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin meydana gelme olasılığı mevcuttur. Bu durumda aşınma dayanımı mikroyapı ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca sertliğin artmasına, malzemenin darbe direncinin azalması eşlik edebilir (Stawicki ve ark., 2018; Sundström ve ark., 2001). Toprak işlemede kullanılan bu parçalardan istenen, hem aşınma dayanımının hem de toprak içinde ani darbeye neden olacak yapılara karşı darbe direncinin de yüksek olmasıdır.



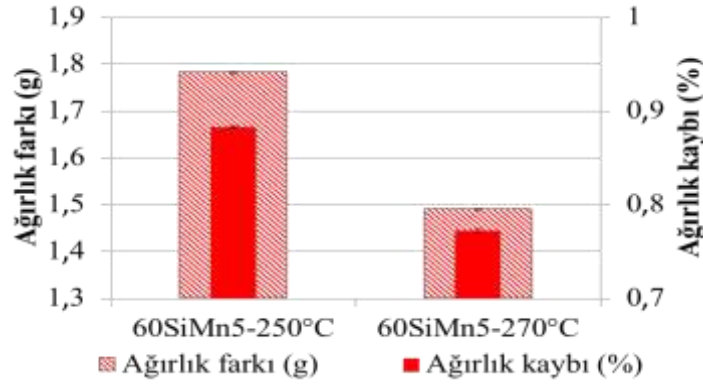
Şekil 5. Farklı işlemler uygulanmış 60SiMn5 malzemelerin çekme testi sonuçlarını gösteren grafik

60SiMn5-250 °C ve 60SiMn5-270 °C olan numunelerin akma ve çekme mukavemetleri ve % uzama değerleri Şekil 5'teki grafikte gösterilmiştir. 250 °C'de menevişleme işlemi yapılmış numunede 1580 N/mm² akma mukavemeti ve 1810 N/mm² çekme mukavemeti elde edilmiştir. Numunelerin ortalama yüzde uzama değeri ise % 11,7'dir. 270 °C'de temperleme işlemi yapılmış numunede 1320 N/mm² akma mukavemeti ve 1660 N/mm² çekme mukavemeti elde edilmiştir. Numunelerin ortalama yüzde uzama değeri ise % 12'dir. Er ve Gaşan (2006), 60SiMn5 yay çelikleri ile yaptıkları çalışmada, 830-860 °C'de östenitleme işleminin ardından soğutma neticesi 400- 550 °C'de temperleme işlemi yapılmış halde 1030 N/mm² akma mukavemeti, 1320-1520 N/mm² çekme mukavemeti elde etmiştir. Yine aynı çalışmada daha düşük menevişleme sıcaklıklarında daha yüksek akma ve çekme dayanımı elde edilebileceği gösterilmiştir (Er ve Gaşan, 2006).

Farklı sıcaklıklarda menevişleme işlemi uygulanmış 60SiMn5'e uygulanan çentik darbe testi sonuçları Şekil 6'daki grafikte verilmiştir. 60SiMn5-250 °C numunesinin çentik darbe test sonuçlarının ortalaması alındığında 6 J ve 60SiMn5-270 °C numunesinin çentik darbe test sonuçlarının ortalaması alındığında 5,5 J elde edilmiştir. Numunelerin her ikisi de tokluğu düşük ve gevrek bir yapıdadır. SEM-EDX incelemelerinden görüldüğü gibi yapısının alt beynitten oluştuğu ve martenzite yakın olan bu gevrek yapının tokluğunun da düşük olduğu görülmüştür. Sertlik değeri daha düşük olan 250 °C'de menevişleme uygulanmış numunede tokluk değeri diğer numuneye göre daha yüksek elde edilmiştir.



Şekil 6. Çentik darbe test sonuçları



Şekil 7. Aşınma test sonuçları

ASTM G65'e göre test cihazında gerçekleştirilen kuru kum kauçuk aşınma testi sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. 250 °C'de menevişlenmiş numune için ortalama ağırlık kaybı 1,78 g ve ortalama yüzde kayıp % 0,883 olarak hesaplanmıştır. 270 °C'de menevişlenmiş numune için ortalama ağırlık kaybı ise 1,49 g ve ortalama ağırlık kaybı % 0,773 olarak hesaplanmıştır. 250 °C sıcaklıkta menevişlenen numunede aşınma sırasında büyük parçalar kopmuş ve aşınma miktarını arttırmıştır. Bunun nedeninin 250 °C 'de menevişlenmiş numunenin SEM-EDX analizinde tane sınırlarında görülen sert karbürler olduğu düşünülmektedir.

SONUÇ

Yapılan çalışmada 60SiMn5 çeliğinden hazırlanan numuneler 970 °C sıcaklıkta östenitlenmiş, yağda soğutulmuş, daha sonra bu numunelere 250 °C ve 270 °C sıcaklıklarda menevişleme işlemleri uygulanmıştır. Numunelerin mikroyapı ve SEM-EDX incelemeleri yapılmıştır. Mekanik özellikleri test edilmiş ve tartışılmıştır. Çalışma sonucunda;

1. Mikroyapılardan ve SEM görüntülerinden her iki sıcaklıkta menevişleme işlemi yapılan numunenin yapısının da alt beyrit olduğu sonucuna varılmıştır. 250 °C' de menevişleme işlemi uygulanmış numunede tane sınırlarında karbürler gözlemlenmiştir.
2. Çekme testleri sonucunda uygulanan sıcaklıklardaki menevişleme işleminin çekme dayanımlarına etkisinin az olduğu ve malzemelerin dayanım değerlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu sonucuna varılmıştır.

3. Darbe dayanımları ortalama 5.5 J ile 6 J arasındadır. Yapıda martenzite yakın bir alt bey nit yapısı bulunması yapıyı gevrekletmiştir ve darbe dayanımlarını düşürmüştür.
4. Numunelerin sertlik değerleri arasında çok yüksek bir fark tespit edilememiş olsa da, aşınma dayanımları karşılaştırıldığında menevişleme sıcaklığının artması ile yüzde ağırlık kaybının %0,88'den %0,77'ye düştüğü gözlemlenmiştir.
5. Uygulanan ısıl işlemin tarım makine parçalarının korunması için etkili ve kullanılabilir bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmadaki malzeme temini ve ısıl işlemlerin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Halit Ünlü Ziraat Aletleri Zirai Ürünler San. ve Tic. A.Ş. firmasına teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Bialobrzaska B, Kostencki P, 2015. Abrasive wear characteristics of selected low-alloy boron steels as measured in both field experiments and laboratory tests. *Wear*, 328–329: 149–159.
- Er U, Par B, 2006. Wear of plowshare components in SAE 950C steel surface hardened by powder boriding. *Wear*, 261: 251–255.
- Er Ü, Gaşan H, 2010. Bazı borlu çeliklerin toprak işleme aletlerinin uç demirlerinde kullanımının laboratuvar koşullarında incelenmesi. 23. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, 2006, pp:232-230.
- Gualco A, 2010. Effect of welding procedure on wear behaviour of a modified martensitic tool steel hardfacing deposit. *Materials & Design*, 31.9: 4165–4173.
- Güleç U, 2012. Yüksek Lisans Tezi, Farklı tip kültüratör uç demirlerinin malzeme özelliklerinin belirlenmesi.
- Halil Ü, Tümsavaş Z. Toprak frezesi bıçaklarının farklı çalışma hızlarındaki aşınma durumlarının incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19.1: 51–62.
- Kang AS, Singh G, Cheema GS, 2017. Improving wear resistance via hardfacing of cultivator shovel, *Materials Today: Proceedings* 4: 7991–7999.
- Ma X, Liu R, Li DY, 2000. Abrasive wear behavior of D2 tool steel with respect to load and sliding speed under dry sand rubber wheel abrasion condition. *Wear*, 241: 79–85.
- Owsiak Z, 1999. Wear of spring tine cultivator points in sandy loam and light clay soils in southern Poland, *Soil and Tillage Research*, 50(3-4): 333–340.
- Öztürk Z, 2018. Yüksek Lisans Tezi, An Investigation of Bainitic Transformation in Low Carbon Alloy and High Carbon Railway Steels.
- Podgornik, B., Torkar, M., Burja, J., Godec, M., & Senčič, B. (2015). Improving properties of spring steel through nano-particles alloying. *Materials Science and Engineering: A*, 638, 183–189.
- Polat O, 2012. Yüksek Lisans Tezi, Yaprak yayların bilgisayar destekli yorulma analizi.
- Singh P, Chatha SS, 2020. Reduction of abrasive wear via hardfacing of mouldboard ploughshare, *Materials Today Proceedings*, in press..
- Stawicki T, Kostencki P, Bialobrzaska B, 2018. Wear resistance of selected cultivator coulters reinforced with sintered-carbide plates, *Archives of civil and mechanical engineering*, 158: 1661–1678.
- Sundström A, Rendón J, Olsson M, 2001. Wear behaviour of some low alloyed steels under combined impact/abrasion contact conditions. *Wear*, 250(1-12): 744–754.
- Wang, Y., Sun, J., Jiang, T., Yang, C., Tan, Q., Guo, S., & Liu, Y. (2019). Super strength of 65Mn spring steel obtained by appropriate quenching and tempering in an ultrafine grain condition. *Materials Science and Engineering: A*, 754, 1–8.
- Yıldız T, Gür AK, 2006. Aşınma Sistemleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 86-91.