

Farklı sürelerde kutu sementasyon uygulanan AISI 1020 çeliğinin sertlik ve aşınma özelliklerinin incelenmesi

Investigation of the hardness and wear properties of AISI 1020 steel subjected to pack carburizing for different durations

Bünyamin YAMANEL* 

Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 71451, Kırıkkale

• Geliş tarihi / Received: 07.09.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 20.06.2025

Öz

Bu çalışmada AISI 1020 çeliği farklı sürelerde kutu sementasyon işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler 600 °C sıcaklıkta 80 dk ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Numunelere 910 °C sıcaklıkta 1.5, 4, 7 ve 10 saat süreler boyunca kutu sementasyon işlemi yapılmıştır. Sementasyon işlemi neticesinde numunelere 850°C sıcaklıkta 25 dk boyunca östenitleştirme ve 60 °C sıcaklıkta yağda su verme işlemi yapılmıştır. Numunelerin iç yapı incelemeleri, sertlik ölçümleri ve aşınma testleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Kutu sementasyon neticesinde en yüksek sertlik 10 saat semente edilmiş çelikte 562 HV1 olarak tespit edilmiştir. Aşınma testleri neticesinde en yüksek aşınma direnci 4 saat sementasyon yapılmış numunede tespit edilmiştir. Aşınma direncinin 2.5 kat arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: AISI 1020, Aşınma, Sertlik

Abstract

In this study, AISI 1020 steel was subjected to pack carburizing for different durations. The samples were preheated at 600 °C for 80 minutes. Carburizing was performed at 910 °C for 1.5, 4, 7, and 10 hours. Following the carburizing process, the samples were austenitized at 850 °C for 25 minutes and quenched in oil at 60 °C. The microstructure, hardness measurements, and wear tests of the samples were examined and evaluated. The highest hardness, 562 HV1, was observed in the steel carburized for 10 hours. The wear tests indicated that the highest wear resistance was found in the sample carburized for 4 hours, showing a 2.5-fold increase in wear resistance.

Keywords: AISI 1020, Wear, Hardness

1. Giriş

1. Introduction

Birçok malzeme endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanıma bağlı olarak ortaya çıkan en yaygın sorunlardan biri de aşınmadır. Aşınma nedeniyle malzeme yüzeyleri bozulmakta ve malzemenin kullanım ömrü azalmaktadır. Bu durum yüzey iyileştirme işlemlerinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Yüzey sertleştirme işlemleri ile aşınma direnci iyileştirilerek malzemelerin kullanım ömrü artırılabilir (Yüksel, 1985; Anver, 1986; Topbaş, 1993; Topbaş, 1998; Onaran, 1999).

Sementasyon, nitrürleme ve borlama başta olmak üzere çeşitli yüzey sertleştirme işlemleri mevcuttur. Bu işlemlerden en eski ve en yaygın kullanılan yöntem sementasyon işlemidir. İşlem kolaylığı, ekipman ihtiyacının az olması, maliyet düşüklüğü ve farklı geometrideki malzemelere rahatlıkla uygulanabilmesi yöntemin avantajları arasındadır. Sementasyon işlemi ile yüzey sertliğinin artmasına bağlı olarak aşınma direncinin iyileşmesi, yorulma dayanımının artması beklenir (Parrich, 1977; Can, 1993; Qiao & Guo, 2010; Stathokostopoulos vd., 2013).

Sementasyon işlemi genellikle % 0.1-0,25 karbon oranına sahip düşük karbonlu çelik malzemelere uygulanır. İşlem çelik malzemelerin yüzeyine difüzyon mekanizması ile karbon yayılması şeklinde gerçekleşir. Katı

* Bünyamin YAMANEL; bunyaminyamanel@hotmail.com

ortamda odun kömürü, sıvı ortamda erimiş siyanür ve gaz ortamda ise hidrokarbon gazları kullanılarak gerçekleştirilebilir. Sementasyon işlemi genellikle 900-950 °C sıcaklık aralığında uygulanır. Sementasyon süresi ise istenilen yapı kalınlığına göre değişiklik gösterir (Poirier, 1968; Callister, 1997).

Sementasyon uygulanmış çeliğin karbür tabakası dış kısımdan iç kısma doğru ötektoid üstü, ötektoid ve ötektoid altı olmak üzere üç kısımdan oluşur. Östenit fazının karbon çözme kabiliyeti daha fazladır. Östenit bölgesindeki sıcaklık aralığı ve bekleme süresi karbonda meydana gelen difüzyon miktarını artırır. Yüzeydeki karbon miktarı %1'e kadar artırılır. Bu oranı geçtiği zaman sementasyon uygulanan tabakanın mekanik özellikleri kötüleşir (Prabhudev, 1998).

Kutu sementasyon işleminde uygun ebatlarda hazırlanan numuneler karbon verici ortam içerisine yerleştirilir. Sementasyon işleminin gerçekleştirildiği pota içerisinde O₂ ile karbon verici ortamda bulunan karbon atomları tepkimeye girerek CO gazını oluşturur. Bu tepkimede ortaya çıkan atomik karbon atomları çelik yüzeyine difüzyon yoluyla yayılmaya başlar. İşlemin gerçekleştiği sıcaklık ve süreye bağlı olarak metal yüzeyde bir tabaka meydana gelir. Oluşan CO₂ bileşiği tekrar reaksiyona girerek döngüyü devam ettirir. Sementasyon işlemi bu şekilde tamamlanmış olur (Verhoeven, 1975).

Sementasyon işlemi en eski ve en çok kullanılan yüzey sertleştirme işlemidir. Genellikle sementasyon çeliklerine uygulanan bir yöntemdir. Maliyet ve uygulanabilirlik açısından birçok avantaja sahiptir. Literatür incelendiğinde AISI 1020 çeliğinin sementasyonu ile ilgili çalışmaların az olduğu görülmektedir. Literatür taraması yapılarak aşınma ve sertlik açısından optimum sonuçların elde edildiği sürelerde sementasyon işlemi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Benzer çalışmalarla karşılaştırılarak elde edilen veriler paylaşılmıştır. Ayrıca düşük ve yüksek sürelerde sementasyon işlemi yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir. Sementasyon işlemi aktivatör kullanılmadan gerçekleştirilerek, mevcut literatürle karşılaştırılmıştır. Yapılan yüzey kaplama işlemleri ile yüzey sertliği artırılarak aşınma direncinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Katı sementasyonun sonuçları, iç yapı, sertlik özellikleri ve aşınma davranışları açısından detaylı olarak incelenmiştir. Deney aşamalarında elde edilen veriler kullanılarak optimum sonuçlar belirlenmiş ve literatüre katkı yapılmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve metot

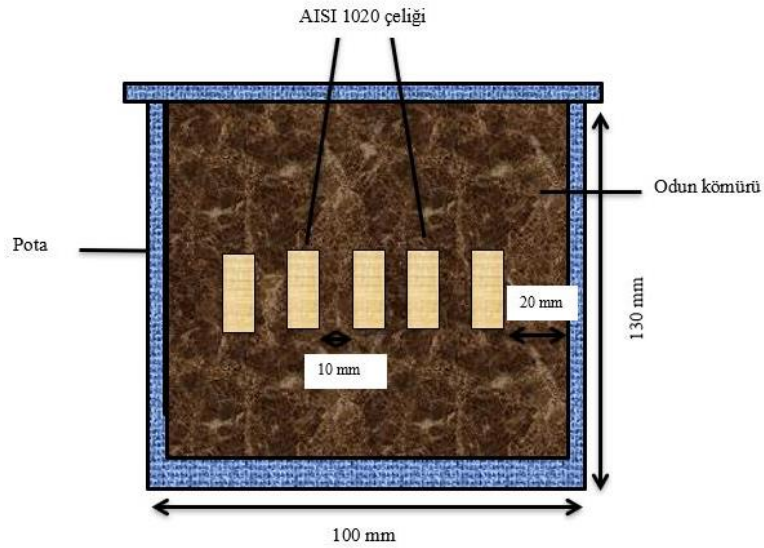
2. Material and method

2.1. Kimyasal bileşim ve iç yapı incelemesi

2.1. Chemical composition and microstructure examination

Sementasyon işlemi için piyasadan AISI 1020 çeliği temin edilmiştir. Deney numunelerine METEK MATERIALS ANALYSIS markalı optik emisyon argon spektrometresi kullanılarak kimyasal bileşim analizi yaptırılmıştır. Deney numuneleri silindirik şekilde 14 mm çapında ve 20 mm boyunda olacak şekilde talaşlı işleme hazırlanmıştır. Sementasyon işlemi öncesi numunelere 600 °C sıcaklıkta 80 dk ön ısıtma işlemi uygulanmıştır.

Kutu sementasyon işlemi Şekil 1' de şematik resmi verilen Magma Term markalı ısıtma cihazında çelik pota kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kutu sementasyon işleminde karbon verici madde olarak odun kömürü kullanılmıştır. Sementasyon potası yaklaşık 500 gr odun kömürü ile doldurulup 5 adet numune kömür içerisine gömülmüştür. Potanın ağzı kapatılarak işlem ısıtma fırını kullanılarak yapılmıştır. Fırın sıcaklığı 910 °C sıcaklığa ulaştıktan sonra pota fırın içinde 1.5, 4, 7 ve 10 saat bekletilerek 4 farklı sürede kutu sementasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda fırın kapatılarak pota durgun hava da soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numuneler pota içerinden çıkartılarak numunelere 850 °C sıcaklıkta 25 dk boyunca östenitleştirme işlemi uygulanmıştır. Östenitleştirme işlemi sonrasında 60 °C sıcaklıkta yağda su verme işlemi uygulanmıştır. Deney numunelerine klasik metalografik işlemler uygulanıp parlatılan numuneler % 2 nital çözeltisiyle dağlanmıştır. İç yapı görüntüleri optik mikroskop ve SEM analizi kullanılarak elde edilmiştir.

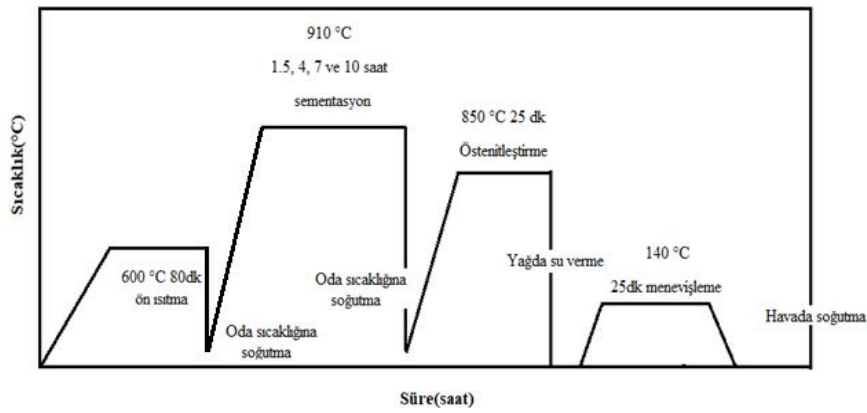


Şekil 1. Kutu sementasyon işlemi için kullanılan pota
Figure 1. Pot used for pack carburizing process

Tablo 1. Sementasyon işlemi parametreleri

Table 1. Carburizing parameters

Sementasyon sıcaklığı(°C)	Sementasyon süresi(saat)	Sementasyon türü
910	1.5	Kutu sementasyon
	4	
	7	
	10	



Şekil 2. Karbürleme işlem basamakları
Figure 2. Steps of the carburizing process.

2.2. Sertlik ölçümleri

2.2. Hardness measurements

Kutu sementasyon yapılmış AISI 1020 çeliği numunelerin sertlik ölçümleri yüzeyden merkeze doğru incelenmiştir. Sertlik ölçümleri Galileo Durometria markalı sertlik ölçüm cihazı kullanılarak 50 µm aralıklarla 1 kg yük altında Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

2.3. Aşınma testleri

2.3. Wear tests

Kutu sementasyon işlemine tabi tutulan AISI 1020 çeliği numunelerin aşınma davranışlarını incelemek amacıyla Şekil 3' te verilen Prototype aşınma test cihazı kullanılmıştır. Cihaz hız kontrol ünitesi ve yükleme sistemi olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır.

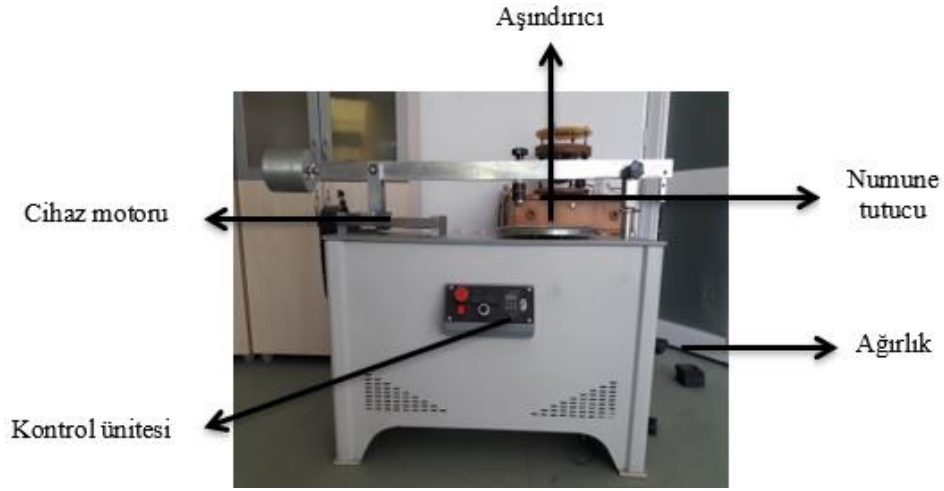
Sementasyon işlemi uygulanan numuneler 0.3 m/s kayma hızında 66 µm ortalama tanecik boyutuna sahip 200 mm çapında Al₂O₃ aşındırıcı kullanılarak 10, 30 ve 50 N yükler altında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testlerinde kayma mesafesi 40 m olarak belirlenmiştir. Aşınma testine ait parametreler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Aşınma deney parametreleri

Table 2. Wear test parameters

Kayma hızı(m/s)	Kuvvet(N)	Aşındırıcı türü	Aşındırıcı boyutu(µm)
0.3	10, 30 ve 50	Al ₂ O ₃	66

Aşınma testi öncesi ve sonrasında numuneler ultrasonik temizleyici yardımıyla temizlenerek 10⁻⁴ hassasiyetli Sartorius CPA 2245 markalı tartım cihazı kullanılarak ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Ağırlık kayıpları numune yoğunluğuna bölünerek hacim kayıpları belirlenmiştir.

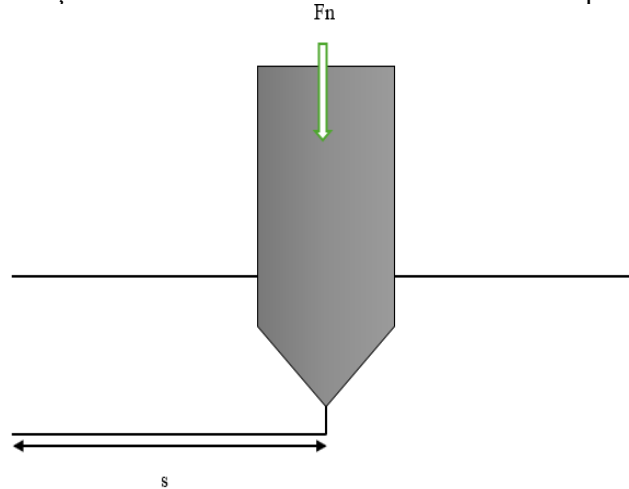


Şekil 3. Aşınma test cihazı
Figure 3. Wear test device

2.4. Spesifik aşınma hızı

2.4. Specific wear rate

Aşınma konusu literatürde farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Aşınma miktarları genel olarak aşınma neticesinde oluşan ağırlık kayıpları ya da numune boyutlarında meydana gelen değişimle açıklanmaktadır. Bu çalışma da spesifik aşınma hızı Eşitlik 1' de verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Aşınma mekanizmasının şematik görüntüsü
Figure 4. Schematic representation of the wear mechanism

Spesifik aşınma hızı = aşınma hacmi/(normal kuvvet*kayma mesafesi)

(1)

3. Tartışma ve sonuçlar

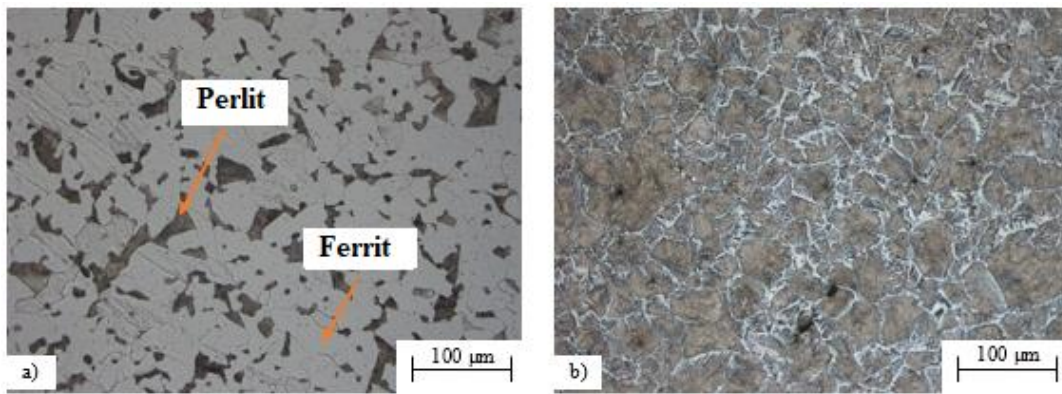
3. Discussion and conclusions

İşlem görmemiş ve kutu sementasyon uygulanmış çelik numunelerin iç yapıları, Nikon Eclipse MA 100 optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. İç yapının ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu belirlenmiştir. [Pekgöz vd. \(2013\)](#) yapmış oldukları çalışma da iç yapının ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir.

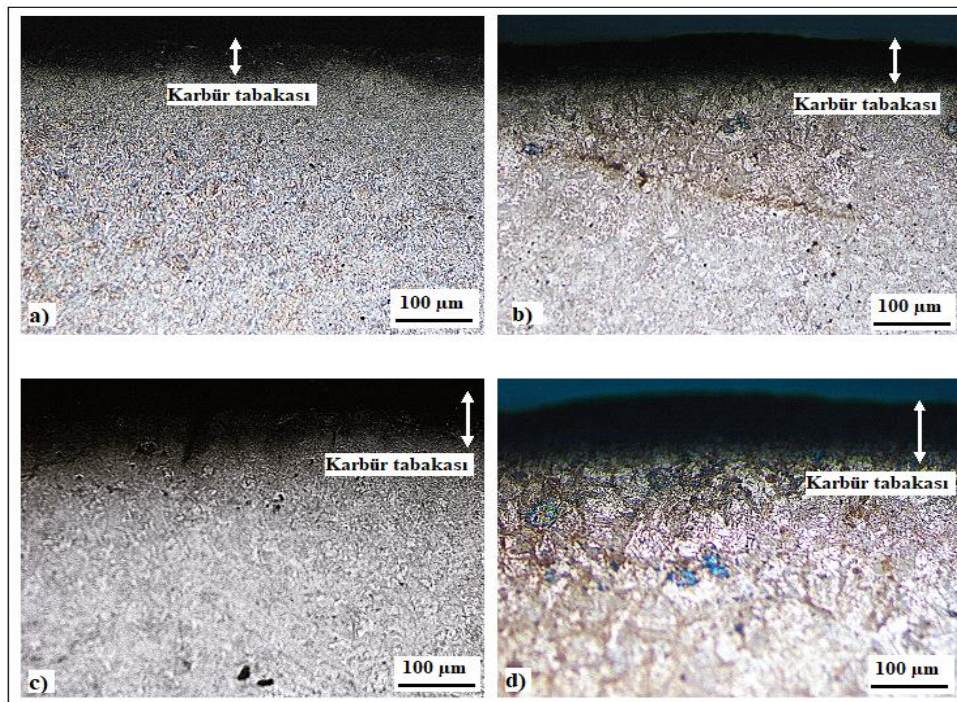
Tablo 3. AISI 1020 çeliği kimyasal bileşimi

Table 3. Chemical composition of AISI 1020 steel

Element	C	Mn	P	S	Si	Cr	Fe
% Bileşim	0.213	0.44	0.04	0.045	0.4	-	Denge



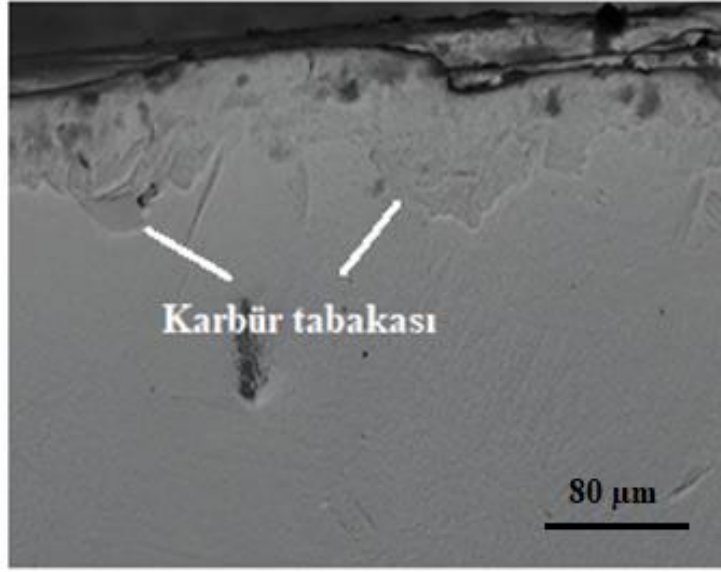
Şekil 5. a) İşlem görmemiş b) kutu sementasyon yapılmış çeliğin iç yapı optik görüntüleri
Figure 5. a) Untreated, b) pack carburizing steel microstructure optical images



Şekil 6. a) 1.5 b) 4 saat c) 7 saat d) 10 saat kutu sementasyon yapılmış çeliğin iç yapı optik görüntüsü

Figure 6. a) 1.5 hours, b) 4 hours, c) 7 hours, d) 10 hours pack carburizing steel microstructure optical image

Şekil 6 incelendiğinde sementasyon işlemi neticesinde karbon verici ortamdan difüzyon mekanizmasıyla karbon atomunun yüzeye yayıldığı belirlenmiştir. 1.5 saat süren sementasyon işlemi sonucunda karbür tabakalarının kalınlığının düşük olduğu tespit edilmiştir.



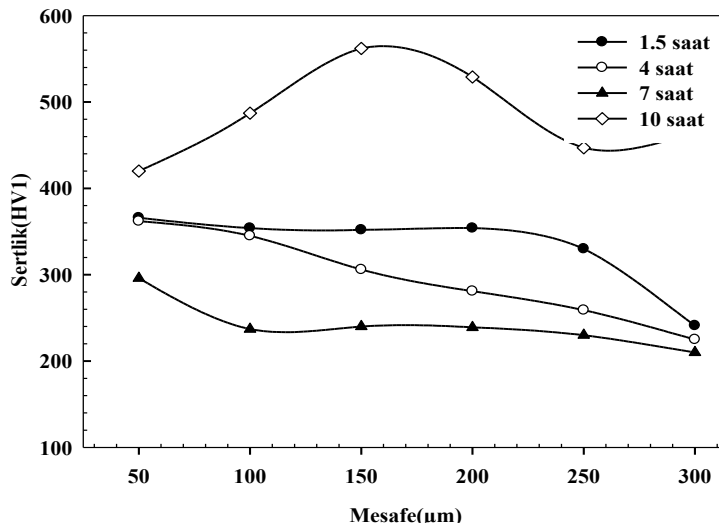
Şekil 7. 4 saat kutu sementasyon yapılmış çeliğin iç yapı SEM görüntüsü
Figure 7. SEM image of the microstructure of steel after 4 hours of pack carburizing

Sementasyon işleminin türü, uygulama süresi ve aktivatör kullanımının yüzeyde oluşan karbür tabakasının kalınlığını etkilediği bilinmektedir (Çoban vd., 2004). Kutu sementasyon işleminde süre artışı yüzeyde oluşan karbür tabakası kalınlığını artırmıştır. Bu çalışma da 7 ve 10 saat sürelerde yapılan sementasyon işlemi neticesinde oluşan karbür tabaka kalınlığının (Şekil 6) birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Bu durum karbür tabakasının doygunluğa ulaşması ile açıklanabilir. Yüzeye yayılan karbon atomları belirli süre ve sıcaklıklarda doygunluğa ulaşarak karbür tabakasının kalınlığındaki artış durur.

3.1. Sertlik ölçümleri

3.1.1. Hardness measurements

1.5, 4, 7 ve 10 saat sürelerde gerçekleştirilen kutu sementasyon sonucu sertlik değerleri Şekil 8’ de verilmiştir.



Şekil 8. Kutu sementasyon yapılmış AISI 1020 çeliğin sertliğinin yüzeyden itibaren mesafeye göre değişimi
Figure 8. Change in hardness of pack carburizing AISI 1020 steel with respect to distance from the surface

Çekirdek sertliği 241-263 HV1 olan çeliğin sertliği 1.5 saat kutu sementasyon sonrası 330-366 HV1 olarak tespit edilmiştir. Çekirdek sertliği 222-233 HV1 olan çeliğin sertliği 4 saat kutu sementasyon sonrası 306-362 HV1 arasında ölçülmüştür. Çekirdek sertliği 210-225 HV1 olarak ölçülen çeliğin sertliği 7 saat sementasyon sonrası 296 HV1 olarak tespit edilmiştir. Çekirdek sertliği 282-293 HV1 olarak ölçülen çeliğin sertliği 10 saat sementasyon sonrası 420-562 HV1 olarak ölçülmüştür. Bu durum şöyle açıklanabilir: Bu çalışmada kullanılan vickers sertlik ölçme yöntemi mikroyapıya karşı hassastır. 1.5 saat sementasyon edilen numunede karbon atomlarının sadece yüzeyde yoğunlaşması daha yüksek sertlik değerlerinin okunmasına neden olmuştur. Fakat 4 ve 7 saat sementasyon edilen numunelerde karbon atomunun daha derine yayılması yüzeyde karbon konsantrasyonunun düşmesine neden olmuştur. Bu durum sertlik değerlerinde azalmaya yol açmıştır. 10 saat sementasyon edilen numunede karbon derinliğinde yüksek olduğu için yüzeyde karbon atomları dengelidir. Bu durum en yüksek sertlik değerlerinin bu sürede olmasını açıklamaktadır.

Karagöz (2019) yapmış olduğu çalışma da 6 ve 7 saatlik sementasyon sonucunda 15 mm kalınlık için sırasıyla sertlik değeri 832/860 HV1 olarak ölçülmüştür. Bu çalışma da en yüksek sertlik değeri 420-562 HV1 olarak tespit edilmiştir.

Çoban vd. (2004) yapmış oldukları çalışma da CK 10 ve 16MnCr5 çeliklerinin katı sementasyon işleminde sertleşme derinliğine BaCO₃ bileşiğinin etkisini incelemiştir. Katı sementasyon işlemi ağırlıkça %10, 20 ve 30 BaCO₃ ilavesiyle 900 °C sıcaklıkta 9 saat gerçekleştirilmiştir. BaCO₃ miktarı %10'u geçtiğinde çeliğin sertleşme derinliğinin arttığı tespit edilmiştir.

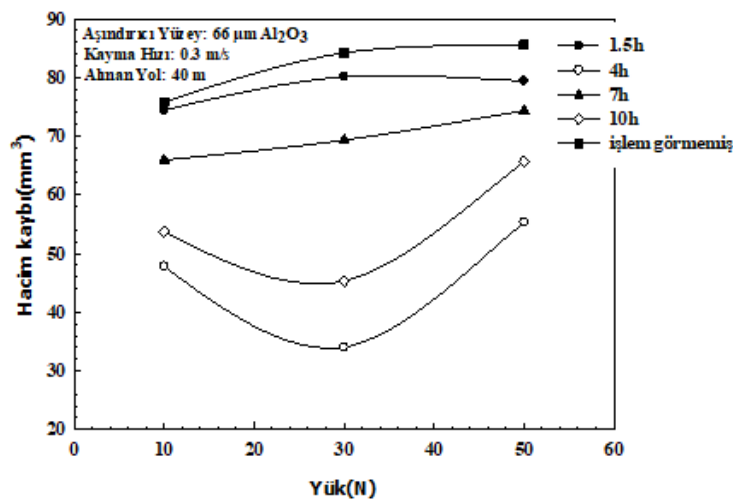
AISI 1020 çeliğinin çekirdek sertliği 265 HV1 olarak ölçülmüştür. Sementasyon işlemi ile çeliğin sertliğinin 3 kat arttığı tespit edilmiştir. Bu durum literatürde elde edilen sonuçlarla uyum içindedir. Pekgöz ve ark., yapmış olduğu çalışmada yapılan sementasyon işlemiyle çekirdek değerinin iki katına çıktığı tespit edilmiştir. Şekil 8' de verilen sertlik grafiği incelendiğinde karbon atomunun yüzeye yayılması sonucunda yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği ötektoidüstü bölge, kısmen karbür tabakasının olduğu ötektoid bölge ve çekirdek sertlik değerlerinin okunduğu ötektoidaltı bölge olmak üzere üç bölgeden oluştuğu tespit edilmiştir. Pekgöz vd. (2013) ve Prabhudev (1998) yapmış oldukları benzer çalışmalarla uyum içindedir. Artan sementasyon süresi ile yüzeyde karbon miktarının artışının sertlik değerlerini artırdığı bilinmektedir.

10 saat yapılan sementasyon neticesinde en yüksek sertlik değerlerinin elde edilmesi ötektoidüstü bölgeyi daha belirgin hale getirmiştir.

3.2. Aşınma testleri

3.2. Wear tests

İşlem görmemiş, kutu sementasyon uygulanmış AISI 1020 çeliğine yapılan aşınma testi sonrasında oluşan hacim kaybı-yük grafiği Şekil 9' da verilmiştir.



Şekil 9. Aşınma nedeniyle yüke bağlı olarak meydana gelen hacim kaybı grafiği
Figure 9. Graph of volume loss due to wear as a function of load

Şekil 9 incelendiğinde en yüksek aşınma davranışını sergileyen numunelerin işlem görmemiş numuneler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yük miktarındaki artışın aşınma miktarını artırdığı gözlemlenmiştir. Sementasyon işlemi uygulanmış numuneler arasında en yüksek aşınma davranışını sergileyenlerin, 1.5 saat işlem gören numuneler olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, difüzyon için yeterli zamanın olmaması ile açıklanabilir. Difüzyon miktarının yetersiz olması, karbür tabakasının kalınlığını olumsuz yönde etkilemiştir. Sonuç olarak, bu faktörler aşınma davranışını olumsuz yönde etkilemiştir. 4 saat ve 10 saat semente edilen numunelerin 10-30 N arasında aşınma davranışının iyileştiği görülmektedir. Bu durum şöyle açıklanabilir: Aşındırıcı olarak kullanılan Al_2O_3 abraziv aşınma sırasında koparak aşınmaya tabi tutulan malzeme yüzeyine yapışabilir. Bu durum aşınma davranışını değiştirir. Yüksek sertlik değerlerine sahip Al_2O_3 parçacıklarının yüzeye yapışması aşınma davranışını iyileştirir.

Aşınma neticesinde çizilen hacim kaybı ve yük grafiği incelendiğinde, en yüksek aşınma direncine sahip numunenin 4 saat sementasyon işlemi uygulanmış numune olduğu belirlenmiştir. Sementasyon işlemi sonucunda yüzeydeki karbon miktarının artması, sertlik değerlerini yaklaşık üç kat artırmıştır. Artan sertlik değerleri, aşınma direncinin iyileşmesini sağlamıştır. Sementasyon işlemi sonucunda aşınma davranışında 2.5 katlık bir iyileşme gözlemlenmiştir. Sementasyon aşınma davranışını 2-10 kat arasında artırabilir (Kwon vd., 2004; Hossain & Chowdhury, 2010).

Aşınma davranışları incelendiğinde 1.5 saatlik sementasyon süresinin tribolojik açıdan yeterli olmadığı belirlenmiştir. Yeterli karbür tabakasının oluşmaması ve yeterli sertliğin olmaması bu durumun temel nedenidir. En yüksek sertlik değerleri 10 saat sementasyon yapılmış numunelerde elde edilmesine rağmen en iyi aşınma direnci 4 saatlik sürede belirlenmiştir. Bu durumun nedeni difüzyon denge durumu ve sertlik değerlerinin dengesiz dağılımı (Şekil 8) ile açıklanabilir (Mallya, 2011; Smith, 2007; Johnson, 2002): Sementasyon süresinin artışı karbon atomunun yüzeye difüzyonunu artırmaktadır (Qiao ve Guo, 2010). Bu çalışma da 4 saatlik sürede karbonun yüzeye difüze olması için yeterli süreyi sağladığı düşünülmektedir.

Daha uzun sürelerde yapılan sementasyon işlemlerinde karbonun fazla miktarda birikmesinin karbür tabakasının homojenliğini bozduğunu düşünülmektedir. Şekil 8 incelendiğinde 10 saatlik sementasyonda sertlik dağılımının dengesiz olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu durumlar dikkate alındığında 4 saat sürenin üzerinde uygulanan sementasyon işleminin aşınma davranışını kötüleştirdiği tespit edilmiştir. Alfaydh vd. (2002) AISI H13 çeliğinin kutu sementasyon işlemi sonunda en yüksek sertlik ve en iyi aşınma değeri $930^\circ C$ sıcaklıkta 3 saat semente edilen numunelerde elde edilmiştir.

Semente edilmiş numunelerde etkin aşınma mekanizması abraziv aşınmadır. Aşınma testinin başlamasıyla Al_2O_3 semente edilmiş yüzeye doğrudan temas eder. Aşınma testi sırasında kullanılan yük ve kayma hızının etkisiyle sürtünme başlar. Yüzeyde oluşan sementasyon ile aşınma yüzeyi arasında göreceli hareketten dolayı aşınma başlar. Aşındırıcı malzeme kuvvet ve kayma hızının etkisiyle numune yüzeyinden parçacıklar kopmaya başlar. Yüzeyde oluşan mikroçatlaklar zamanla büyümeye başlayarak yüzeyin yapısal bütünlüğünü bozar. Bu durum pul şeklinde yüzeyden dökülmelere sebep olur. Yüzeyden kopan parçacıklar bazen birikerek aşınma mekanizmasını artırabilir.

Şekil 9 incelendiğinde en iyi aşınma direncine sahip numunenin 4 saat sementasyon uygulanmış numune olduğu tespit edilmiştir. Yüzeyde sertlik değerinin artışı, karbon atomlarının yüzeyde doygunluğa ulaşması aşınma davranışını iyileştirmiştir. Yapılan sementasyon işlemi ile aşınma davranışı 2.5 kat artmıştır.

3.3. Spesifik aşınma hızı

3.3. Specific wear rate

İşlem görmemiş ve farklı sürelerde sementasyon işlemine tabi tutulan AISI 1020 çeliğine ait spesifik aşınma hızı değerleri Tablo 4 ve Şekil 10' da verilmiştir. Analizler sonucunda, en yüksek spesifik aşınma hızına sahip olan numunelerin işlem görmemiş numuneler olduğu tespit edilmiştir.

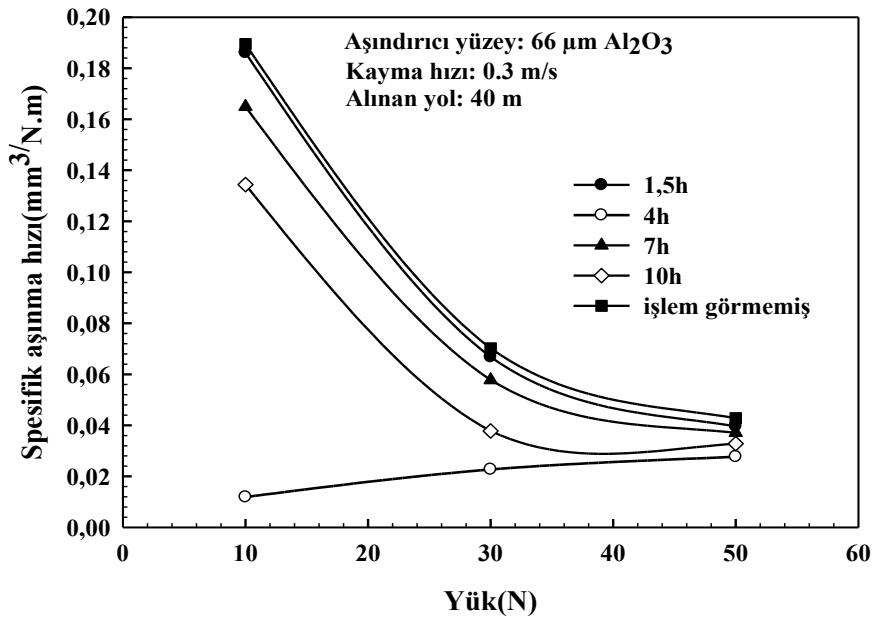
1.5 saatlik sementasyon uygulanan numunelerin spesifik aşınma hızında küçük bir iyileşme olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, 4 saatlik sementasyon uygulanan numuneler, en düşük spesifik aşınma hızına sahip olarak bulunmuştur. 4.5 katlık bir azalma tespit edilmiştir.

Ancak, sementasyon süresinin artışı, belirli bir noktadan itibaren spesifik aşınma hızını olumsuz etkilemiştir. Bu durum, uzun süreli sementasyon işlemlerinde oluşan karbür tabakasının yapısal değişikliklerinin aşınma performansını etkileyebileceğini göstermektedir.

Tablo 4. İşlem görmemiş ve sementasyon yapılmış numunelerin spesifik aşınma hızı değerleri

Table 4. The specific wear rate values of the untreated and carburized samples

Numune	Aşındırıcı yüzey	Uygulanan kuvvet(N)	Alınan yol(m)	Spesifik aşınma hızı(mm ³ /N.m)
İşlem görmemiş		10		0.1895
İşlem görmemiş		30		0.0702
İşlem görmemiş		50		0.0428
1.5h		10		0.1861
1.5h		30		0.0668
1.5h		50		0.0396
4h		10		0.0119
4h	66 µm Al ₂ O ₃	30	40	0.0227
4h		50		0.0277
7h		10		0.1649
7h		30		0.0578
7h		50		0.0371
10h		10		0.1344
10h		30		0.0378
10h		50		0.0328



Şekil 10. Yük - spesifik aşınma hızı grafiği
Figure 10. Load - specific wear rate graph

3.4. Pürüzlülük ölçümleri

3.4. Roughness measurements

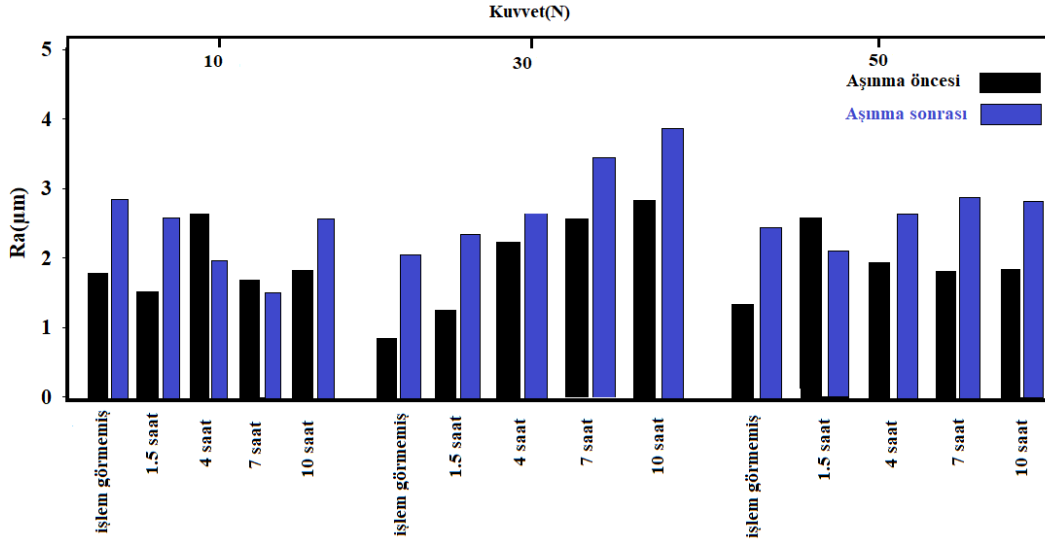
Aşınma öncesi ve sonrasında belirlenen yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 5' de verilmiştir. Değerler incelendiğinde aşınma sonrasında pürüzlülük değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Purohit vd. (2009); Jain vd. (2008) çalışmaları ile uyumludur.

Yüzey pürüzlülük değerlerindeki en büyük artış işlem görmemiş numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yüzeyin korumasız olmasından kaynaklanmaktadır. Sementasyon uygulanmış numunelerde aşınma sonrasında yüzey pürüzlülüğündeki artışın işlem görmemiş numunelere göre daha az olduğu belirlenmiştir. Pürüzlülükteki en az artışın 4 saat sementasyon yapılmış numunede olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yüzeyde sertlik değerlerinin artması ve yüzeyde karbon miktarının artışıyla açıklanabilir. Yüzeyde homojen

ve düzgün bir formda karbür tabakası oluşumu aşınma davranışını iyileştirerek pürüzlülük değerlerine etki etmiştir. 4 saat dışındaki sementasyon sürelerinde aşınma sonrasında daha yüksek pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.

Tablo 5. Kuvvete bağlı ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri
Table 5. Average surface roughness (Ra) values as a function of force

66 µm Al ₂ O ₃	Aşınma öncesi (Ra)	Aşınma sonrası (Ra)	Fark
İşlem görmemiş-10	1.76	2.851	+1.091
İşlem görmemiş-30	0.852	2.051	+1.119
İşlem görmemiş-50	1.356	2.458	+1.102
1.5h-10	1.489	2.575	+1.086
1.5h-30	1.26	2.364	+1.104
1.5h-50	2.572	2.098	+0.526
4h-10	2.689	2.027	-0.662
4h-30	2.255	2.671	+0.416
4h-50	1.988	2.673	+0.685
7h-10	1.658	1.509	-0.149
7h-30	2.578	3.458	+0.88
7h-50	1.859	2.927	+1.068
10h-10	1.885	2.588	+0.703
10h-30	2.858	3.882	+1.024
10h-50	1.852	2.822	+0.97



Şekil 11. Aşınma öncesi ve sonrası ortalama yüzey pürüzlülük değerleri
Figure 11. Average surface roughness values before and after wear

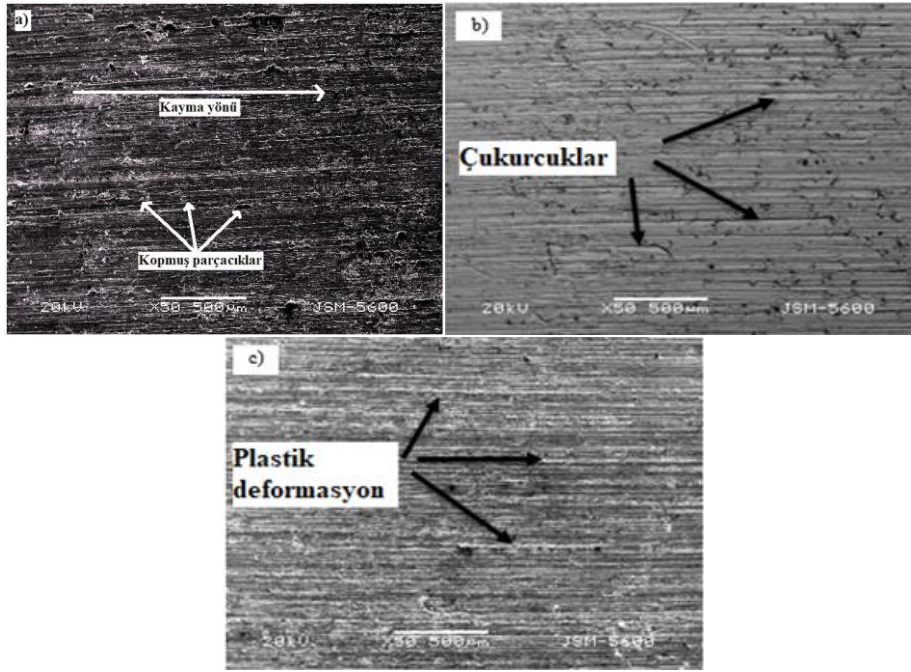
3.5. Aşınma yüzey sonuçları

3.5. Wear surface results

İşlem görmemiş numunelerin aşınma yüzeyleri JEOL JSM-5600 markalı cihaz ile SEM analizi yapıldığında, yüzeyde aşınma sonucu çok sayıda çizik ve çukurcuk olduğu gözlemlenmiştir. Artan yük koşullarında, yüzeydeki aşınma çizgilerinin sayısının da arttığı belirlenmiştir. [Khonsari ve Booser \(2021\)](#); [Crossland ve Daubney \(2022\)](#) çalışmaları bu sonuçlar ile uyum içindedir. Ayrıca, yüzeyde birçok kopan parçanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Artan yük seviyeleri ile aşınma yüzeyindeki deformasyon miktarının da arttığı saptanmıştır.

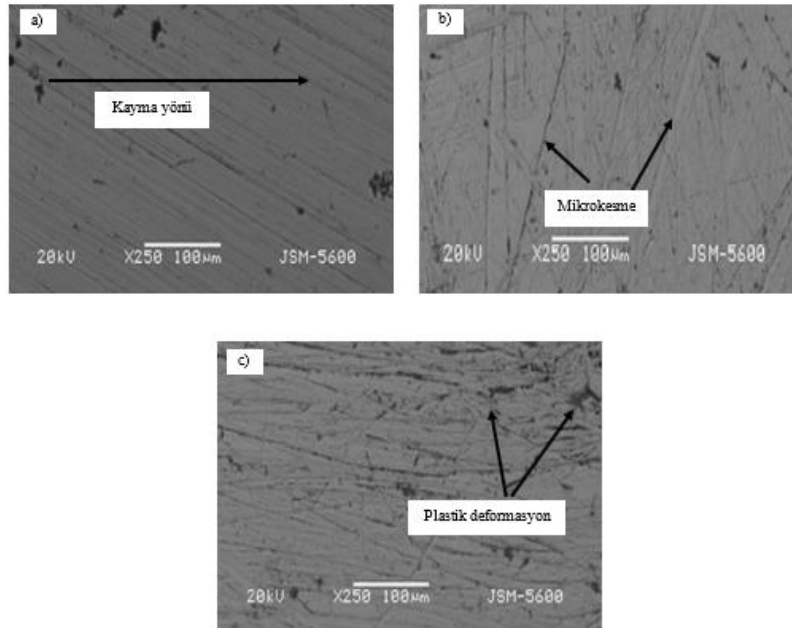
Numuneler herhangi bir işleme tabi olmadığı için yüzey korumasızdır. Dolayısıyla artan yüklerle yüzeyde meydana gelen deformasyon miktarı artmıştır. Deformasyon miktarının artışı yüzeydeki çizik ve çukurcukların artması ile ifade edilebilir. [Smith ve Johnson \(2023\)](#) çalışması ile tutarlıdır.

1.5 saat katı sementasyon yapılmış numunelerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde yüzeyde çok sayıda çizik ve derin çukurların olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yüzey pürüzlülük değerleri (Şekil 11) ile desteklenmektedir.



Şekil 12. İşlem görmemiş çeliğin a) 10 N, b) 30 N ve c) 50 N yük altında aşınma testine tabi tutulan yüzeylerin optik görüntüleri

Figure 12. Optical images of the surfaces of untreated steel subjected to wear testing under loads of a) 10 N, b) 30 N, and c) 50 N.

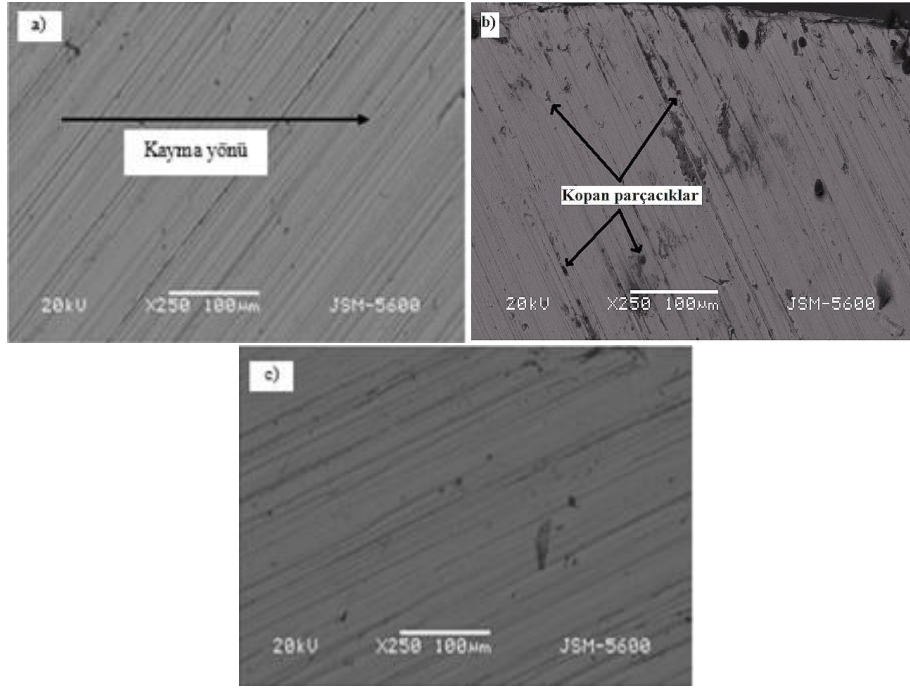


Şekil 13. 1.5 saat kutu sementede edilmiş AISI 1020 çeliğinin a) 10 N, b) 30 N ve c) 50 N yük altında aşınma testine tabi tutulan yüzeylerin optik görüntüleri

Figure 13. Optical images of the surfaces of pack carburizing AISI 1020 steel after 1.5 hours of treatment, subjected to wear testing under loads of a) 10 N, b) 30 N, and c) 50 N.

Yüzeyde aşınmaya bağlı olarak kopan parçacıklar ve plastik deformasyona uğramış bölge tespit edilmiştir. 1.5 saat sementasyon yapılan numunelerin işlem görmemiş numunelere benzer aşınma davranışı sergilediği belirlenmiştir. Bu durumun sementasyon süresi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Kısa süreli uygulanan sementasyon işlemi neticesinde yüzeyde yeterli sertlik değerlerinin elde edilememesi (Şekil 8) ve yeterli karbon difüzyonunun olmaması aşınma davranışını olumsuz etkilemiştir. 1.5 saatlik sementasyon süresinin tribolojik olarak uygun olmadığı tespit edilmiştir.

4 saat sementasyon işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeyleri SEM analizi (Şekil 14) ile incelenmiştir. İşlem görmemiş numunelerle karşılaştırıldığında yüzeyde oluşan çizik ve çukurcukların azaldığı belirlenmiştir. Bu durum sementasyon neticesinde yüzeyde sertlik değerlerinin artması ve yüzeyin karbona doyması ile açıklanabilir. Yüzeyde karbon miktarının difüzyon sonucu artması sertlik değerlerini artırmıştır. Ayrıca yüzeyde doyuma ulaşan ve homojen yapıda oluşan karbür tabakası aşınma davranışını iyileştirmiştir. En yüksek aşınma direnci, 4 saatlik sementasyon işlemi sonucunda sağlanmıştır. Bu durum literatür ile uyum içindedir. Singh ve Patel (2020) çalışma da aşınma direnci açısından optimum sementasyon süresinin 2-4 saat arasında tespit edilmiştir.



Şekil 14. 4 saat kutu semente edilmiş AISI 1020 çeliğinin a) 10 N, b) 30 N ve c) 50 N yük altında aşınma testine tabi tutulan yüzeylerin optik görüntüleri

Figure 14. Optical images of the surfaces of pack carburizing AISI 1020 steel after 4 hours of treatment, subjected to wear testing under loads of a) 10 N, b) 30 N, and c) 50 N.

4. Genel sonuçlar

4. Conclusions

Yapılan iç yapı incelemeleri sonunda AISI 1020 çeliğinin perlit ve ferrit fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Artan sementasyon süresi ile yüzeyde oluşan karbür tabakası kalınlığının arttığı belirlenmiştir. 7 ve 10 saat semente edilen numunelerin karbür tabaka kalınlıklarının yakın olduğu tespit edilmiştir. Yapılan sertlik ölçümleri sonunda en yüksek sertlik değeri 10 saat sementasyon yapılmış numunede 562 HV1 olarak ölçülmüştür. Yapılan aşınma testleri sonucunda en düşük aşınma direnci işlem görmemiş çelikte gözlemlenmiştir. 1.5 saat sementasyon yapılan çeliğin aşınma davranışının işlem görmemiş numuneye yakın olduğu belirlenmiştir. 1.5 saat uygulanan sementasyon işleminin tribolojik açıdan yetersiz olduğu belirlenmiştir. En yüksek aşınma direncinin 4 saat sementasyon uygulanmış numunelerde olduğu ve aşınma direncini 2.5 arttığı tespit edilmiştir. En yüksek spesifik aşınma hızı işlem görmemiş numunede 0.1895 mm³/N.m olarak en düşük spesifik aşınma hızı 4 saat semente edilen numunelerde 0.0119 mm³/N.m olarak hesaplanmıştır. Yapılan pürüzlülük ölçümlerinde bütün numunelerin aşınma sonrasında ortalama pürüzlülük değerlerinin genellikle arttığı tespit edilmiştir. Pürüzlülük değerlerindeki en büyük artış işlem görmemiş numunelerde en az artış ise 4 saat sementasyon yapılan numunelerde tespit edilmiştir.

Yapılan kuru sürtünme aşınma testleri neticesinde numune yüzeyleri incelendiğinde işlem görmemiş ve 1.5 saat kutu sementasyon uygulanmış numunelerin aşınma yüzeylerinin yüksek oranda aşınmaya uğradığı tespit edilmiştir. Yüzeylerde çok sayıda çiziklerin, derin çukurların oluştuğu ve kopan parçacıkların varlığı tespit edilmiştir.

4 saat sementede edilen numunelerin aşınma yüzeylerinde çiziklerin incelendiği kopan parçacık sayısının azaldığı belirlenmiştir. Yapılan sementasyon neticesinde aşınma direncinin 4 saatlik sementasyon sonunda 2.5 kat arttığı tespit edilmiştir.

Sementasyon işlemi bu çelik için aynı sürelerde farklı aktivatörler kullanılarak yapılabilir. Birden fazla aktivatör kullanılarak sonuçlar değerlendirilebilir. Aynı zamanda nitrürleme, borlama gibi farklı yüzey sertleştirme işlemleri aynı sürelerde yapılarak bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Alfaydh, S. A. A., Çuğ, H., Akgül, Y., & İncesu, A. (2002). Sementasyon işleminin sıcak iş takım çeliklerinin aşınma davranışına etkisinin incelenmesi. *Çelik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 3(2), 1-7.
- Anver, S. H. (1986). *Introduction to physical metallurgy* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Callister, D. W. (1997). *Materials science and engineering: An introduction* (5th ed.). John Wiley & Sons
- Can, A. Ç., & Yüksel, M. (n.d.). Sementasyonla sertleştirilen parçalar için çelik ve boyut seçimi. *Metalurji*, (66), 42-46.
- Crossland, E. J. W., & Daubney, G. M. (2022). *Wear and abrasion of materials: Theory and applications*. Elsevier.
- Çoban, C., Taktat, S., Başpınar, M. S., & Said, G. (2004). Kutu sementasyonla çelikleri karbürleme işleminde BaCO₃ aktivatörün sertleşme derinliğine etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1-6
- Hossain, M. A., & Chowdhury, A. S. (2010). Effects of carburizing time on the wear resistance of low alloy steel. *Materials Science and Engineering A*, 527(13), 3368-3375.
- Jain, R. M., Rao, S. R., & Ghosh, M. K. (2008). Effect of carburizing time on the surface roughness of steel components. *Surface and Coatings Technology*, 202(10), 2523-2529.
- Johnson, C. M. (2002). Influence of case depth and microstructure on the wear resistance of carburized steels. *Journal of Tribology*, 124(4), 794-800.
- Karagöz, İ. (2019). Hardness change due to carburization time and material thickness during heat treatment of SAE 8620 (21NiCrMo2) plates. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(3), 748-754. <https://doi.org/10.31202/ecjse.578057>
- Khonsari, M. M., & Booser, E. R. (2021). *Tribology: Principles and design applications*. CRC Press.
- Kwon, J. W., Kim, S. Y., & Lee, H. S. (2004). Effect of carburizing on the wear resistance of steels. *Journal of Materials Science*, 39(20), 6067-6075.
- Mallya, S. P. (2011). Carburizing and case hardening. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(5), 693-703.
- Onaran, K. (1999). *Malzeme bilimi*. Bilim Teknik Yayınevi.
- Parrich, G. (1977). Influence of microstructure on the properties of case-carbureased components VI: Core properties and

case depth. *Heat Treatment Metals*, 3, 45-54.

- Pekgöz, B., Sarıdemir, S., Uygur, İ., & Aslan, Y. (2013). Sementasyon işleminin farklı çeliklerin mikroyapı ve sertlik değerlerine etkileri. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(1), 19-24.
- Poirier, D. R. (1968). Activity of carbon in austenite. *Transactions of the Metallurgical Society of AIME*, 242, 685-689.
- Prabhudev, K. H. (1998). *Heat treatment of steels*. McGraw-Hill.
- Purohit, P. K., Ghosh, S., & Jha, R. S. (2009). Influence of carburizing process on surface roughness and microhardness of steels. *Materials Science and Engineering A*, 516(1-2), 208-214.
- Qiao, Y., & Guo, X. (2010). Formation of Cr-modified silicide coatings on a Ti-Nb-Si based ultrahigh-temperature alloy by pack cementation process. *Applied Surface Science*, 256, 7462-7471. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.05.091>
- Singh, R. K., & Patel, M. R. (2020). Wear resistance of steel: The effect of carburizing time and temperature. *Wear*.
- Smith, D. M. (2007). The effect of carburizing time on the microstructure and wear resistance of steels. *Materials Science and Engineering A*, 101(2), 157-165.
- Smith, A. R., & Johnson, J. D. (2023). Quantitative analysis of load-induced surface deformation in abrasive wear. *Journal of Tribology*.
- Stathokostopoulos, D., Chaliampalias, D., Stefanaki, E. C., Polymeris, G., Pavlidou, E., Chrissafis, K., Hatzikraniotis, E., Paraskevopoulos, K. M., & Vourlias, G. (2013). Structure, cementation. *Applied Surface Science*, 285, 417-424. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.08.070>
- Topbaş, M. A. (1993). *Isıl işlemler*. İstanbul.
- Topbaş, M. A. (1998). *Çelik ve ısıl işlem el kitabı*. İstanbul.
- Verhoeven, J. D. (1975). *Fundamentals of physical metallurgy*. John Wiley & Sons.
- Yüksel, M. (1985). Çeliklerde sementasyon. *Metallurji*, (41), 11-17.