

# DÜŞÜK BASINÇ SEMENTASYON VE YÜKSEK BASINÇLI GAZ İLE SERTLEŞTİRME

Mehmet ÖZDEŞLİK  
Levent SİNDEL  
Selin KESKİN

Sistem Teknik Sanayi Fırınları A.Ş.  
Sistem Teknik Sanayi Fırınları A.Ş.  
Sistem Teknik Sanayi Fırınları A.Ş.

## ÖZET

Bu teknik makale yüzey sertliğini arttırmak için 16MnCr5 ve 21NiCr5 çeliklerine uygulanan asetilen gazı ile düşük basınç sementasyon ve yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme işlemlerini inceler. Geleneksel ısıtım yöntemleriyle karşılaştırıldığında vakum fırınlarında sementasyon daha çevre dostu bir şekilde yapılabilir. Ayrıca, düşük basınç sementasyon ve yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme işlemlerinin avantajları; yüksek kalite, güvenilirlik, tekrarlanabilirlik, daha az distorsiyon ve taneler arası sıfır oksidasyon sağlamasıdır. Bu deneysel çalışma, yatırım maliyetini en aza indirmek, sertleşebilirlik verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için 20 bar basınçta çalışabilen tek hazneli vakum fırınında gerçekleştirilmiştir. Bu makale, 16MnCr5 ve 21NiCr5 çelikleri için sementasyonu ve sertleştirmeyi içeren ısıtım süreçlerini içermektedir. Sementasyonun mikroyapıya etkisi, karbon konsantrasyonu, sertlik profili ve kalıntı östenit miktarı incelenmiştir. Martensit yapının elde edilmesi, kalıntı östenit miktarının az olması ve oksidasyonun olmayışıyla iyi bir mikroyapı elde edilmiştir. 60HRC nihai yüzey sertliği ve yaklaşık 0.70mm kabuk derinliği ile sanayideki ihtiyaçları karşılamaktadır.

## 1. GİRİŞ

Düşük basınçlı (vakum) sementasyon ve yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme diğer geleneksel metotlara göre hassas ve kompleks parçalar için son zamanlarda ısıtım sektöründe sıklıkla kullanılan modern yüzey sertleştirme yöntemidir. Atmosferik proseslerle karşılaştırıldığında en büyük avantajı; hızlı kinetik reaksiyonlar ve oksijensiz sementasyon atmosferi sonucunda oksidasyonsuz sementasyon tabakasıdır. Bunun yanısıra

bu proses malzemeye temiz yüzey, az distorsiyon, yüksek yorulma ve aşınma mukavemeti sağlamaktadır. [1]

Bu çalışma çeliğin sertleştirilmesine yönelik, vakum altında karbürleme, yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme ve meneviş işlemlerini tek merkezde yüksek hızlarda, ardıl çevrimler ile yapabilen sisteme sahip Sistem Teknik Sanayi Fırınları A.Ş. tarafından üretilen VF-1D-A-333-130-1301P tip fırın ile yapılmıştır. (Şekil 1)



Şekil 1. Vakum Sementasyon ve Yüksek Basınçlı Gaz ile Sertleştirme Fırını

Bu sistem 250-1350°C (523-1623°F) sıcaklık aralığına sahip, 5x10-2mbar vakum değerinde 50kg/h kapasiteyle sementasyon ısıtım prosesini gerçekleştirebilmektedir ve 20bar basınçla Hidrojen, Nitrojen, Helyum gibi gazlarla sertleştirme yapabilmektedir. Elektrikle çalışan Vakum Sementasyon ve Yüksek Basınçlı Gaz ile Sertleştirme Fırını 300x300x300 mm faydalı boyutuyla dikdörtgen iç haznesi mevcuttur.

## 2. VAKUM SEMENTASYON TEKNOLOJİSİ

Vakum sementasyon (karbürizasyon) genel olarak beş adımda gerçekleşir: (1) Çelikler sementasyon sıcaklığına (östenit sıcaklığı) kadar ısıtılır ve çelikte homojen sıcaklık elde edilene kadar beklenir. (2) Malzeme östenit fazındayken karbon miktarını arttırmak için karbonca

zengin hidrokarbon gazı veya gazları vakum ortamında hesaplanan debide verilerek karbürizasyon gerçekleştirilir. (3) Kinetik reaksiyonların gerçekleşmesi için fırın içerisine gaz verildikten sonra yeterli miktarda beklenilerek difüzyonun gerçekleşmesi sağlanır. (4) Karbürizasyon-difüzyon adımları fırın ve malzeme parametreleri dikkate alınarak yinelenir. (5) Sementasyon sonrası malzemenin sertleşmesi için sulama yapılır. [2]

Östenit fazındaki karbon potansiyeli fırın kapasitesine, fırın doluluk oranına, malzeme kalitesine ve yüzey alanına, kullanılan hidrokarbonun karbonca zenginliğine bağlıdır. Karbon potansiyeli aynı zamanda fırın performansını ve malzeme kalitesini olumsuz etkileyen kurum oluşumuyla da ilgilidir. Kurum oluşumunu minimize etmek için karbürizasyon adımı parametreleri ve tekrarlama adımları malzeme kalitesine ve yüzey alanına göre optimum olmalıdır.

Karbürizasyon-difüzyon adımları tamamlandığında yüzeyi sertleştirmek için hızlı soğutma yapılmalıdır, böylece yumuşak östenit fazından sert ve mukavemeti yüksek martensit fazı elde edilir.

### 3. PROSEDÜR

#### 3.1. Test Malzemeleri

Bu çalışmada ısıl işlem sonucu yüzeyde sert ve mukavemeti yüksek, çekirdekte yumuşak ve tok özellikler gösterdiği bilinen 16MnCr5 ve 21NiCr5 alaşımlı yapı çelikleri kullanılarak vakum sementasyon ve sertleştirme işlemleri uygulanmış ve sonuçlar metalografik olarak incelenmiştir. Test malzemelerinin kimyasal element analizi aşağıda verilmiştir. (Tablo 1) Malzemeler 15mm kalınlığa sahip lamalar olup fırın kapasitesinin %15'i doldurulmuştur.

**Tablo 1.** Test Malzemelerinin Kimyasal Analizleri

	C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	Ni
16MnCr5	0,18-0,23	0,20-0,35	0,70-0,90	0,04	0,04	0,40-0,60	0,15-0,25	0,40-0,70
21NiCr5	0,14-0,19	0,15-0,40	1,00-1,30	0,035	0,035	0,80-1,10	-	-

#### 3.2. Deneysel Prosedür

Numuneler fırın içerisine homojen yerleşecek şekilde yerleştirilmiş ve vakum altında östenit sıcaklığına kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklık değerinde homojenlik elde edildikten sonra karbürizasyon-difüzyon adımları uygulanarak malzeme yüzeyini sertleştirmek için kütle akış ölçüm cihazlarıyla reçetede belirlenen miktarlarda karbon verilerek ısıl işlem uygulanmıştır. Adımlar tamamlandığında yüksek basınçta Azot gazı ile hızlı soğutma yapılarak malzemenin martensit yapıya geçişi sağlanarak yüzey tabakası sertleştirilmiştir. Ardından kalıntı östeniti azaltarak aşınma mukavemetini daha çok geliştirmek için başka bir fırında kriyojenik işleme tabi tutulmuştur.

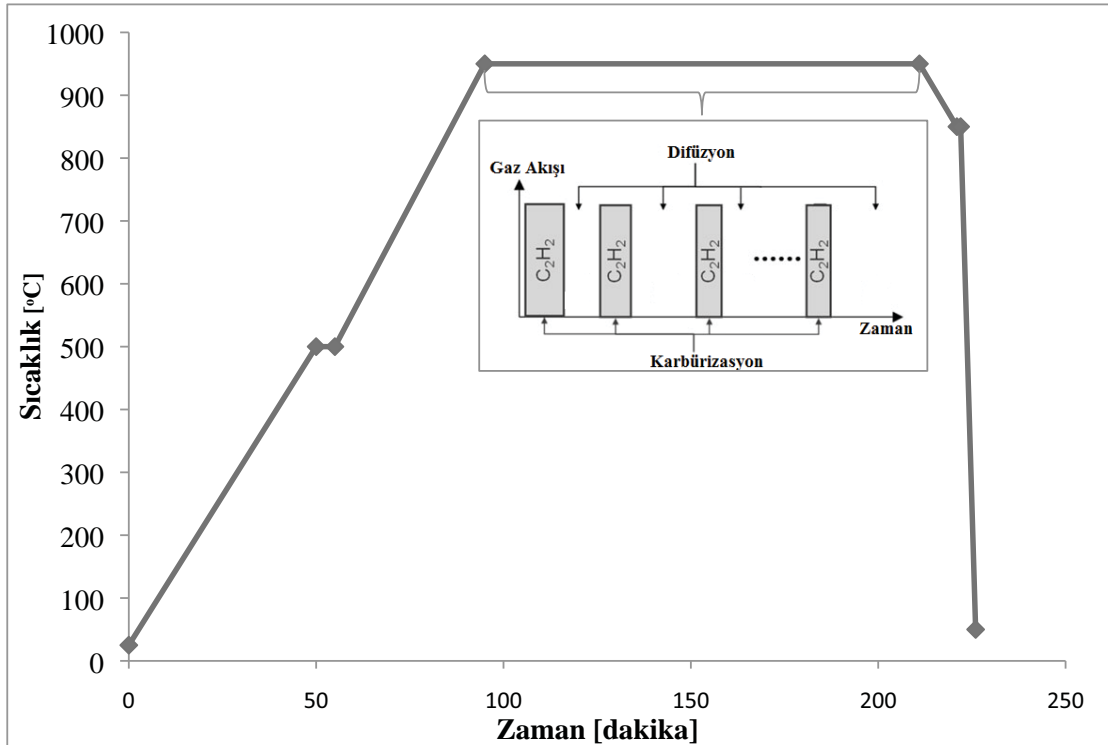
Vakum sementasyon ve yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme prosedüründe istenilen karbon kalınlığı ve yüzey sertliğine ulaşmak için başlangıçtaki karbon oranı, karbürizasyon sıcaklığı, basıncı ve süresi, karbürleme gazı ve karbürizasyon-difüzyon adımlarının sayısı gibi birçok parametre dikkate alınarak fırın reçetesi oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan reçete parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Reçete parametreleri

Vakum Değeri	$5 \times 10^{-2}$ mbar
Karbürizasyon Sıcaklığı	950 °C
Isıtma Rampası	10 °C/dk
Karbürizasyon Gazı	Asetilen, $C_2H_2$
Asetilen Debisi	4 lt/dk
Karbürizasyon ve Difüzyon Basıncı	1 mbar
Toplam Karbürizasyon Süresi	30 dk
Toplam Difüzyon Süresi	86 dk
Soğutma Gazı ve Basıncı	20 bar $N_2$

Teste başlamadan önce numunelere yüzey ve çekirdek sıcaklığı homojen olduğunda reçeteyi uygulamak için NiCr-Ni termokupllar numunelerin çekirdeğine bağlanarak ısıtım prosedürleri uygulanmıştır. Karbürizasyon sıcaklığına ani çıkışta yaşanacak deformasyon risklerini ortadan kaldırmak için basamaklı sıcaklık artışıyla 10 °C/dk rampayla ulaşılmıştır. Karbürizasyon sıcaklığı 950°C ve sertleştirme sıcaklığı 800-830°C'dir. (Şekil 2)

Bu çalışmada karbürizasyon gazı olarak östenit sıcaklığında hızlıca çözünen yüksek karbon konsantrasyonluasetilen gazı,  $C_2H_2$ , kullanılarak karbürizasyon-difüzyon adımları yinelenmiştir.<sup>[3]</sup> Vakum sementasyon işlemi bittiğinde malzeme sertleştirme sıcaklığına indirilerek 20 bar  $N_2$  gazı ile soğutulmuş sertleştirilmiştir.



Şekil 2. Sıcaklık - Zaman Eğrisi[4]

Vakum sementasyon ve yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme işlemlerinden sonra oda sıcaklığında biten bir ısıl işlem prosesinin devamı olan kriyojenik işlem (sıfır altı) uygulanmıştır. Amaç, düşük sıcaklıklara inilerek martenzitik dönüşümün devamını sağlamak ve kalıntı östenik miktarını düşürmektir. Bu nedenle düşük basınçta sementasyon işlemi sonrası 16MnCr5 ve 21NiCr5 çelikleri -140°C'da 3 saat Azot ile işleme tabi tutulmuş ve metalürjik olarak incelenmiştir.

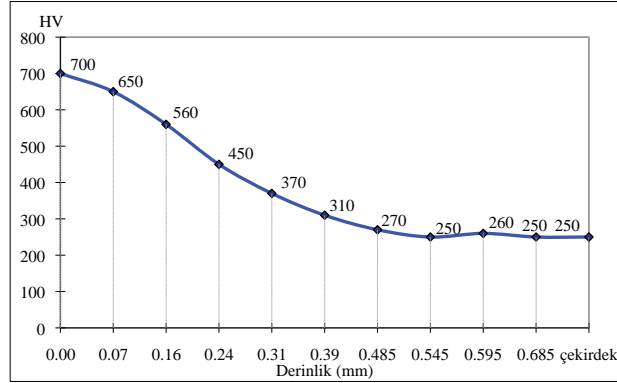
## 4. DENEY SONUÇLARI

Vakum sementasyon teorilerden çok deneysel sonuçlarla kontrol edilmektedir. Kabuk derinliği, sıcaklık, fırın basıncı, hidrokarbonların debisi ve zamanına bağlı olarak yüzeyden çekirdeğe mikroyapılar ve sertlikler değişkenlik gösterirler. Uygulanan ısıl işlem reçeteleri sonunda malzemeler değerlendirilmek üzere metalürjik incelemeye tabi tutulmuştur.

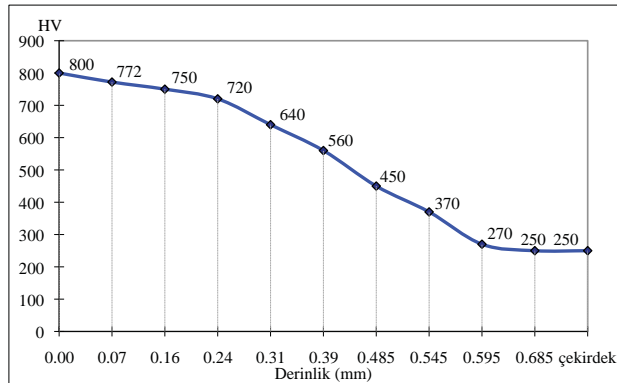
### 4.1. Sertlik Ölçümü

Yüzey sertlikleri ısıl işlem prosesi boyunca değişmektedir. Isıl işlem sonundaki ortalama yüzey sertlik değerleri 16MnCr5 ve 21NiCr5 için sırasıyla 58 ve 60HV'dir. (Şekil 3 ve 5) Kriyojenik işlem sonrası düşük sıcaklıklara inilerek martenzitik dönüşümün devamı sağlandığı ve kalıntı östenik miktarı düşürüldüğü için ortalama yüzey sertlik değerleri artmış ve 16MnCr5 ve 21NiCr5 için sırasıyla 61 ve 62 HV olarak ölçülmüştür. (Şekil 4 ve 6)

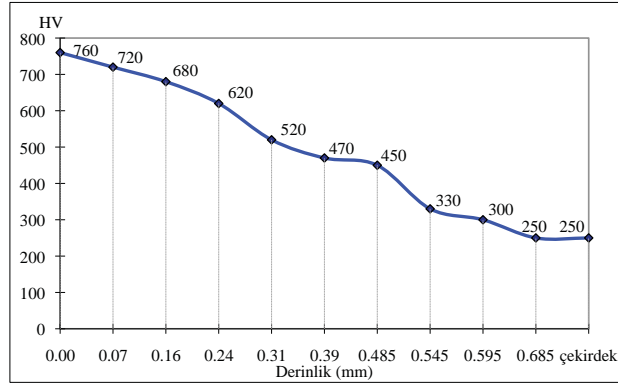
Mikrosertlik ölçümlerinde FutureTech marka FM300E sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu ölçümlerde 500gr yük 15 saniye süresince uygulanarak vickers cinsinden sertlik değerleri elde edilmiştir.



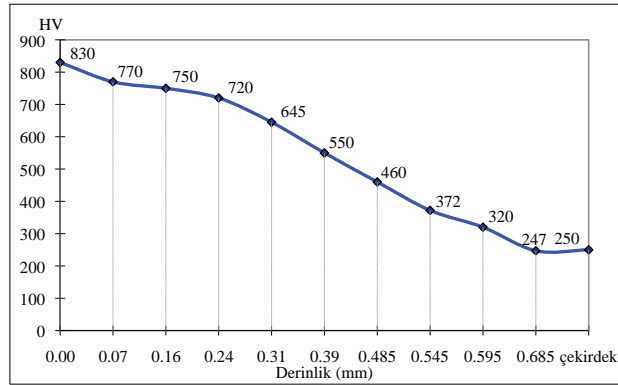
Şekil 3. 16MnCr5 Vakum sementasyon sonrası mikrosertlik profili



Şekil 4. 16MnCr5 Kriyojenik işlem sonrası mikrosertlik profili



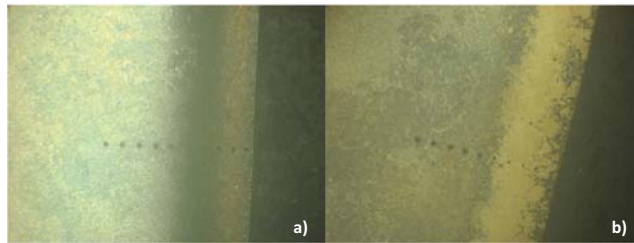
Şekil 5. 21NiCr5 Vakum sementasyon sonrası mikrosertlik profili



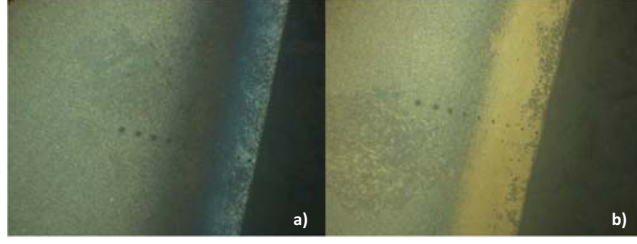
Şekil 6. 21NiCr5 Kriyojenik işlem sonrası mikrosertlik profili

## 4.2. Semente Malzemelerin Mikroyapısı

Şekil 7 ve Şekil 8 sırasıyla 16MnCr5 ve 21NiCr5 için karbürizasyon sonrası ve kriyojenik işlem sonrası mikroyapıları göstermektedir.



Şekil 7. (a) 16MnCr5 Karbürizasyon sonrası mikroyapı (50x)  
(b) 16MnCr5 kriyojenik işlem sonrası mikroyapı (50x)



**Şekil 8. (a)** 16MnCr5 Karbürizasyon sonrası mikroyapı (50x)  
**(b)** 16MnCr5 kriyojenik işlem sonrası mikroyapı (50x)

## 5. SONUÇ

16MnCr5 ve 21NiCr5 çelikleri için düşük basınç sementasyon, yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme ve kriyojenik işlemler uygulanmıştır. Fırın ve malzeme koşulları dikkate alınarak oluşturulan teorik ve pratik bilgilerle optimum proses parametreleri uygulanarak çeliklerin özellikleri geliştirilmiş ve mikrosertlik profili ile mikroyapıları incelenmiştir.

Proses sonunda fırında ve malzeme yüzeyinde herhangi bir kurum oluşumu gözlemlenmemiştir. Malzeme mikroyapısı incelendiğinde difüzyo bölgesi, geçiş bölgesi ve çekirdek incelenerek martenzitik iç yapı görülmüştür.

Ortalama yüzey sertlik değerleri 16MnCr5 ve 21NiCr5 için sırasıyla 58 ve 60HV'dir. Karbon profilinin derinliği proses parametreleri değiştirilerek arttırılabilir. Kriyojenik işlem sonunda artan sertlik değerleriyle kalıntı östenitin martenzitik yapıya dönüşümünü ifade etmektedir.

Geleneksel ısıtma işlem metotlarıyla karşılaştırıldığında tanelerarası sıfır oksijen ile malzeme sertleştirilmiştir ve VF-1D-A-333-130-1301P fırınıyla ardıl ısıtma işlemleri gerçekleştirilerek maliyet azaltılmıştır. Fırın içi karbon potansiyeli, sıcaklık kademeleri ve rampaları, basınç değerleri, karbürizasyon-difüzyon zamanları fırın ekranından kontrol edilerek ısıtma işlemi tamamlanmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Jon L. Dossett, Howard E. Boyer, "Practical Heat Treating: Second Edition", ASM International, Materials Park, Ohio 2006
2. Flake C. Campbell, "Elements of Metallurgy and Engineering Alloys", ASM International, 2008
3. Rafi U. Khan, Dominic Buchholz, Frank Graf, Rainer Reimert, "Pyrolysis of Acetylene for Vacuum Carburizing of Steel: Modeling with Detailed Kinetics.", International Journal of Chemical Reactor Engineering, 2009, Vol 7, Article A10
4. Shaopeng Wei, Gang Wang, Xianhui Zhao, Xiaopeng Zhang, Yiming Rong, "Experimental Study on Vacuum Carburizing Process for Low Carbon Alloy Steel", Journal of Materials Engineering and Performance, 2014, Vol23(2), 545-548