

## SEMENTASYON YAPILAN SAE 8620 ÇELİĞİNDE MEYDANA GELEN KALINTI GERİLMELERİN İNCELENMESİ

Osman ASİ\*, Dilek ASİ

A.K.Ü. Uşak Müh.Fak. Makine Müh.Böl. 64100, Uşak, TÜRKİYE

### ÖZET

Bu çalışmada, dişli çark ve mil gibi makine parçalarının yapımında yaygın olarak kullanılan SAE 8620 (21NiCrMo2) sementasyon çeliğinde, sementasyon işlemleri sonucunda meydana gelen kalıntı gerilmeler incelenmiştir. Gaz atmosferinde 940 C 'de sementasyon işlemleri yapılan numunelerin kalıntı gerilme değerleri ve kalıntı östenit miktarları X-ışını difraksiyonu metoduyla tespit edilmiştir. Sementasyon yapılan tüm numunelerin yüzey ve yüzey altı bölgelerinde basma kalıntı gerilmeleri meydana gelmiştir. Sementasyon derinliğinin artması basma kalıntı gerilmelerinin düşmesine neden olmuştur.

*Anahtar Kelimeler : Sementasyon, kalıntı gerilme, X-ışını difraksiyonu*

## AN INVESTIGATION OF RESIDUAL STRESSES DEVELOPED IN CARBURIZED SAE 8620 STEEL

### ABSTRACT

In this study, the residual stresses developed in carburized SAE 8620 (21NiCrMo2) steel were investigated. Carburizing programs were carried out in gas atmosphere at 940 C. X-ray diffraction was used to determine residual stresses and retained austenite levels in the case-hardened microstructures of the carburized specimens. Test results indicated that residual stresses are all compressive at the carburized cases of specimens. The thicker case depth exhibited the lower compressive residual stress at the surfaces and/or very near the surfaces of carburized specimens.

*Key Words : Carburizing, residual stress, X-ray diffraction*

### 1. GİRİŞ

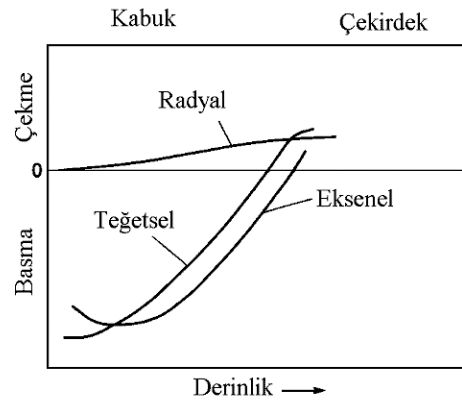
Sementasyon; mil ve dişli çark gibi yüksek zorlamalara maruz kalan makine parçalarının yüzey özellikleri iyileştirilerek, yüksek yüzey sertliği, yorulma dayanımı ve aşınma dayanımı elde etmek için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Düşük karbonlu çeliklerden ( $\leq 0,25\%$ C) üretilen makine parçaları, karbonlama ile yüksek karbonlu bir kabuk ( $0,8-0,9\%$ C) ve düşük karbonlu bir çekirdeğe sahip olur. Böyle bir parça sertleştirilir ise yüzeyi sert, çekirdeği tok olur. Aynı zamanda, farklı zamanda soğuma ve farklı mikroyapıdan dolayı iç gerilmeler oluşur. Genellikle yüzeyde ve kabuk bölgesinde basma, çekirdek bölgesinde ise çekme kalıntı gerilmeleri meydana gelir. Yüzeyde oluşan basma kalıntı gerilmeleri eğme ve burma zorlamalarında faydalı olmaktadır. Sementasyon işlemi, aşınma,

eğilme ve burulma yorulma dayanımı ile temas yorulma dayanımlarının yüksek olmasını sağlar (1). Isıl işlem doğru uygulanmış bir çeliğin mikroyapısı ağırlıklı olarak temperlenmiş martenzittir. Ancak yüzeyden çekirdeğe doğru martenzitin yapısı, miktarı ve özellikleri değişir. Sementasyon işlemi yapılmış çeliklerin yüzey kısmında özelliklerini ciddi olarak etkileyen diğer mikroyapılar da meydana gelebilir. Bunlar; kalıntı östenit, kaba karbürler, tane sınırı karbürleri, fosfor segregasyonu ve yüzey oksitleri olabilir (2). Çekirdek mikroyapıları, sertleşebilirliğe bağlı olarak, temperlenmiş martenzit, beynit veya ferrit ve perlitten meydana gelebilir. Oluşan bu kabuk ve çekirdek mikroyapıları, çeliğin mikroyapısında meydana gelen kalıntı gerilmelerin büyüklüğünü, malzemenin yorulma dayanımını, temas yorulma dayanımını, sertlik ve aşınma dayanımını etkiler (3).

Sementasyon işleminden sonra, karbon miktarı genellikle yüzeyde en yüksek olacak şekilde çekirdeğe doğru azalır. Meydana gelen sertlik değerleri de karbon miktarına bağlı olarak değişmektedir. Sementasyon işleminden sonra yüzeye dik olarak kesit parlatılır ve uygun dağlama maddesiyle dağlanırsa, karbon almış bölge karbon almamış bölgeye nazaran daha koyu olarak görülür. Sementasyon derinliği teriminden, parçanın yüzeyinden itibaren parça kesitindeki kimyasal bileşimde karbon miktarının arttığı noktaya kadar olan dik mesafe anlaşılır. Sementasyon derinliğinden ayrı olarak etkili sementasyon derinliği terimi de kullanılmaktadır.

Etkili sementasyon derinliği, sementasyon işleminden sonra, belirli bir sertlik değeri için tarif edilir. TS 1719'a göre "etkili sementasyon derinliği; 1 kgf (9,81N) yük ile ölçüldüğünde Vickers sertliği 550 VSD olan karbonlanmış ve sertleştirilmiş tabaka ile yüzey arasındaki dikey uzaklık" olarak tarif edilmektedir (4). Etkili sementasyon derinliğine etki eden faktörler; sementasyon sıcaklığı, sementasyon süresi, karbonlama ortamının karbon potansiyeli, çeliğin kimyasal bileşimi, parçanın şekli ve büyüklüğü ve suverme esnasındaki soğutma hızıdır (3, 5).

Doğru olarak karbonlama yapılmış ve sertleştirilmiş çeliklerde meydana gelen eksenel, teğetsel ve radyal yöndeki kalıntı gerilme eğrileri Şekil 1.'deki gibidir.



Şekil 1. Sementasyon işlemi yapılmış parçalarda meydana gelen kalıntı gerilmeler (6).

Sementasyon işlemi yapılmış çeliklerin yüzeyinde basma kalıntı gerilmeleri, çekirdeğinde ise çekme kalıntı gerilmeleri meydana gelir (7). Bunun nedeni; çeliğin östenit bölgesinden suverilmesi esnasında yüzey ile çekirdek arasında sıcaklık farkının olması, mikroyapı dönüşümlerinin meydana gelmesi ve östenitin martenzitik yapıya dönüşmesi esnasında hacim artışının meydana gelmesidir. Karbonlama ile maksimum karbon miktarı yüzeyde meydana geldiği için, martenzit başlama sıcaklığı ( $M_s$ ) yüzeyde minimumdur.  $M_s$  sıcaklığı, yüzeyden çekirdeğe doğru azalan karbon miktarına bağlı olarak artar. Isı akışı ve ısı iletkenlik faktörleri nedeniyle suverme esnasında herhangi bir zamanda yüzey sıcaklığı parçanın çekirdek bölgesindeki sıcaklıktan daha düşüktür. Soğuma esnasında iç kısımların  $M_s$  sıcaklığı daha yüksek olduğundan, ilk önce bu bölgelerde martenzitik mikroyapı meydana gelir. Yüzeye yakın bölgeler düşük  $M_s$  sıcaklığına sahip olduklarından östenitik mikroyapı ilk safhada martenzite dönüşmez. Soğumayla birlikte sıcaklık düşmeye devam eder ve sonuçta sıcaklık, yüzeydeki mikroyapının  $M_s$  sıcaklığının altına düşer. Bu bölgelerdeki genişleme, önceden oluşan martenzit tarafından basıya zorlanır ve yüzey mikroyapısında basma iç gerilmeleri meydana gelir. İç gerilmelerinin meydana

gelmesini alaşım ve karbon miktarları (sertleşebilirliği ve  $M_s$  sıcaklığını etkilerler), sementasyon derinliği, suvermeye başlama sıcaklığı, suverme ortam sıcaklığı, sıcaklığa bağlı martenzit ve östenitin dönüşüm oranı etkilemektedir (6).

Yüzeyde dekarburizasyon ve oksitlenmenin meydana gelmesi ve kalıntı östenit miktarının fazla olması durumlarında, maksimum basma kalıntı gerilmeleri yüzeyden biraz içerde meydana gelir (8). Kalıntı basma gerilmeleri çekirdeğe doğru düzgün olarak azalır ve çekirdek bölgesinde çekme kalıntı gerilmeleri ile dengelenir. Sementasyon işlemi yapılmış parçaların pek çoğunda yapılan araştırmalara göre basma kalıntı gerilmeleri -100 ile -700 N/mm<sup>2</sup> arasında değişmektedir (1, 9).

Yüzey sertleştirme yöntemlerinden birisi olan sementasyon işleminin en büyük faydası, sementasyon işlemi yapılmış parçanın yüzeyinde kalıntı basma gerilmelerinin meydana gelmesidir. Bu gerilmeler, eğme ve burma zorlamalarında meydana gelen çekme gerilmeleriyle beraber bulunduğu parçaya etkileyen toplam gerilmenin büyüklüğü azaldığı için, yorulma dayanımını artırmaktadır. Parça çekmeye zorlanırsa, gerilmeler üst üste ekleneceği için kalıntı gerilmeler yorulma dayanımı için zararlı olmaktadır (1, 3).

Suverme sonucunda meydana gelen kalıntı östenit miktarının azaltılması için sıfırın altındaki sıcaklıklarda soğutma işlemleri kullanılmaktadır. Bu işlemlerle yüzey sertliği artmakta ve makine parçalarının çalışması esnasında mikroyapıda bulunan kalıntı östenitin martenzite dönüşmesi nedeniyle boyutsal farklılıkların oluşması önlenmektedir. Sıfırın altındaki sıcaklıklara soğutma işlemi uygulanmış parçalarda basma kalıntı gerilmelerinin arttığı bulunmuş, ancak parçanın yorulma dayanımında azalma olduğu belirtilmektedir. Bunun nedeni ise, kalan kalıntı östenit bölgelerinde meydana gelen çekme kalıntı gerilmelerinin yorulma çatlağının başlamasını ve ilerlemesini artırmasıdır (10, 11). Yüzey basma kalıntı gerilmeleri bilya bombardımanı ile artırılabilir. Kalıntı gerilmelerdeki bu iyileşme eğilme yorulma dayanımının iyileşmesine neden olur (12).

Yüksek sementasyon derinliği elde etmek için gerekli karbonlama süresi arttığından, sementasyon işlemi sonucunda numunenin mikroyapısında meydana gelen iç oksitlenme derinliği, kalıntı östenit ve karbürlerin miktarı artmaktadır. Bunlar ise kalıntı gerilme dağılımını tersine etkilemektedir. Yani, sementasyon derinliğinin fazla artmasıyla basma kalıntı gerilmelerinin büyüklüğü azalmakta ve yorulma çatlağı başlama noktalarının yüzey altında başlama oranı artmaktadır. Bunlara bağlı olarak da parçanın eğilme yorulma dayanımı düşmektedir (6).

Bu çalışmada, sementasyon işlemi yapılmış SAE 8620 (21NiCrMo2) çeliğinde meydana gelen kalıntı gerilmeler incelenmiştir.

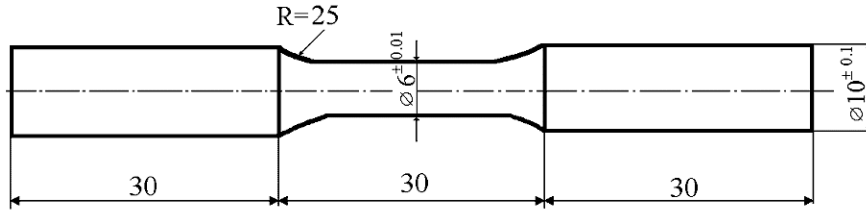
## 2. MATERYAL ve METOT

Dişli çark ve mil gibi makine parçalarının yapımında yaygın olarak kullanılan SAE 8620 (21NiCrMo2, Malzeme No: 1.6523) sementasyon çeliğinin kütle spektreskopi cihazı ile elde edilen kimyasal bileşimi Çizelge 1.'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** SAE 8620 çeliğinin kimyasal bileşimi (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
0,197	0,207	0,714	0,015	0,0081	0,205	0,449	0,413	0,154

Şekil 2.'de ölçüleri verilen deney numuneleri, 16 mm'lik çubuklar halinde kesilip, ısıtma fırınında 920 C' de 1 saat normalizasyon tavlamasından sonra, CNC torna tezgahında tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler tornalama işleminden sonra, yüzey pürüzlülüklerini gidermek için 200 ve 400 numara zımpara kağıdı ile zımparalanmıştır.



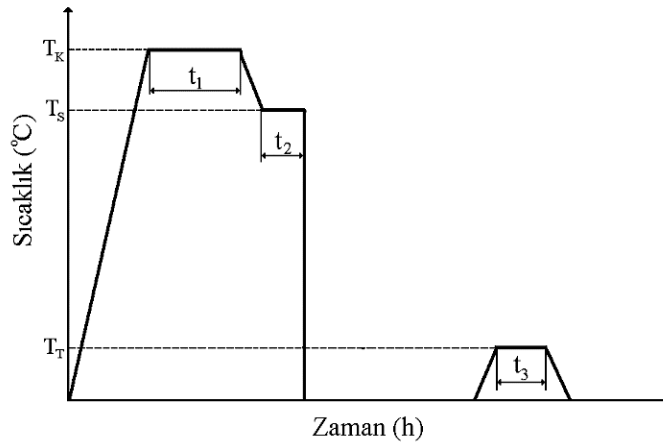
Şekil 2. Deney numunesi

Gaz atmosferinde sementasyon işlemi yapılan numunelerin ısıtılması, İSTAŞ A.Ş. (İzmir) ısıtılması tesislerinde, Şekil 3'de verilen programa göre yapılmıştır. Sementasyon işlemi yapılan numunelerin ısıtılması ortamı, sıcaklık ve süreleri Çizelge 2'de verilmektedir. Numunelerin sementasyon işlemindeki karbonlama gaz atmosferi endotermik indirgeyici gaz (%33 H<sub>2</sub>, %28 CO, %0,8 CH<sub>4</sub>) ile propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) karışımı karbonlama ortamında yapılmıştır. Gaz atmosferinde sementasyon işlemi yapılan numunelerde, hızlı bir karbon difüzyonu için, ilk önce 940° C'de %1,2 C'lu bir ortamda, daha sonra yüzey karbon miktarının %0,8 C'ü aşmaması için 850° C'de %0,7 C'lu bir ortamda karbonlama işlemi yapılmıştır. Numuneler 850 C'den direkt sertleştirme işlemine tabi tutulmuşlardır. Numuneler, gaz atmosferinde karbonlama işleminden sonra, 60° C' deki ISORAPID 277HM hızlı soğutma yağında sertleştirildikten sonra 170°C 'de 2 saat temperlenmişlerdir.

Numunelerin mikrosertlik değerleri, Officine Galileo Microscan marka mikrosertlik cihazında 9,81 N yük altında elde edilmiştir.

Çizelge 2. Numunelerin ısıtılması işlem programı

Numune No	Karbonlama ortamı	Karbonlama sıcaklığı	Karbonlama süresi (saat)	T <sub>S</sub> = 850°C 'de bekleme süresi (dakika)	Temperleme süresi (saat) (T <sub>T</sub> = 170°C)
		T <sub>K</sub> (°C)	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>
1	Gaz atmosferi	940 °C	¾	15	2
2	Gaz atmosferi	940 °C	3	30	2
3	Gaz atmosferi	940 °C	5	30	2



Şekil 3. Sementasyon işlemindeki ısıtılması işlem programı

T<sub>K</sub> : Karbonlama sıcaklığı

t<sub>1</sub> : Karbonlama süresi

T<sub>S</sub> : Suverme sıcaklığı

t<sub>2</sub> : Suverme sıcaklığında bekleme süresi

T<sub>T</sub> : Temperleme sıcaklığı

t<sub>3</sub> : Temperleme süresi

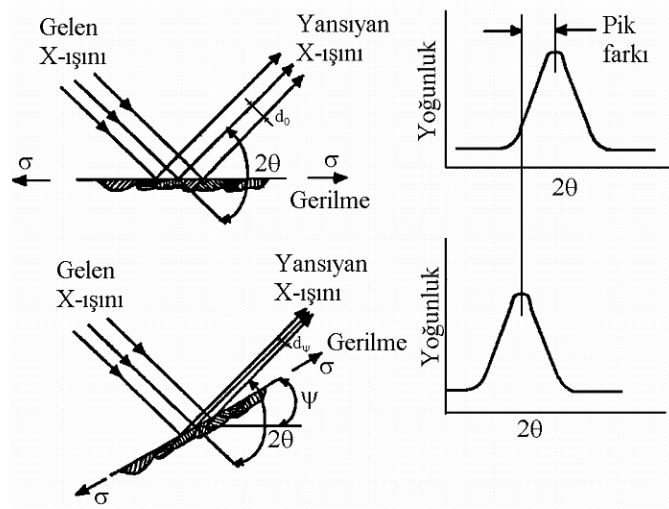
Bu çalışmadaki numunelerin kalıntı gerilme değerleri ve kalıntı östenit miktarları Proto Manufacturing Limited (Kanada) laboratuvarlarında X-ışını difraksiyonu metoduyla elde edilmiştir.

X-ışını difraksiyonu metoduyla, numunelerin kalıntı gerilme olmamış haldeki ölçüm değerlerine gereksinim duyulmaksızın kalıntı gerilmeler tespit edilebilmektedir. Ancak bu metotta, X-ışınlarının sadece 5-10 m derinliğe kadar etkili olması nedeniyle, sadece yüzeydeki kalıntı gerilmeler ölçülebilmektedir. Sementasyon işlemi yapılmış numunelerin yüzeyinden çekirdeğine doğru kalıntı gerilme değerlerinin elde edilmesinde, elektrolitik parlatma (electropolishing) ile talaş kaldırılarak istenilen derinliklerdeki kalıntı gerilme değerleri ölçülebilmektedir.

Kalıntı gerilmelerin tespiti, Hooke Kanunu'na göre atomik kafes içindeki birim şekil değiştirmelerin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Numunenin yüzeyine gönderilen X-ışını, aşağıda denklem 1 'de verilen Bragg Kanunu'na göre ve Şekil 4'de gösterildiği gibi 2 açısında kırınım göstererek yansıma yapar.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad [1]$$

Burada, n yansıyan ışının sayısı,  $\lambda$  monokromatik radyasyonun dalga boyu,  $d$  iki bitişik paralel düzlemin atomları arasındaki mesafedir.



Şekil 4. X-ışını difraksiyonu metoduyla kalıntı gerilmelerin belirlenme prensibi

Dalga boyu sabit tutulursa, belirli bir düzlem üzerindeki atomlar gelen X-ışınlarının belirli bir açıda kırılmasına neden olur. Yansıyan X-ışınları hüzmeleri kesişir ve numune çevresinde bulunan film üzerinde iz bırakır. Sadece düzlemler arası mesafeleri Bragg kanununu sağlayan düzlemlerde, radyasyon konisi filmi keser. Film analiz edilerek  $2\theta$  açısı hesaplandığında düzlemler arası mesafe belirlenebilir. Numune  $\psi$  açısı kadar eğilirse, atomik düzlemler de  $\psi$  açısı kadar eğilecektir. Eğer numunede kalıntı gerilme yoksa, kırılan eğrilerin ikisi de üst üste gelecektir. Ancak eğer kalıntı gerilme varsa farklı yönlerdeki atomik düzlemler sıkışacak veya genişleyecek ve pik değeri değişecektir.

Gerilme ( $\sigma$ ), denklem 2 'de verilen eşitliğe bağlı olarak tespit edilir.

$$\sigma = \frac{E}{1+\nu} \frac{1}{\sin^2 \psi} \frac{(d_\psi - d_0)}{d_0} \quad [2]$$

Burada,  $d_\psi$   $\psi$  eğim açısındaki düzlemler arası mesafe, E elastisite modülü,

$\nu$  poisson oranıdır.

Bu çalışmadaki numunelerin kalıntı gerilmelerinin ölçülmesinde kullanılan kalıntı gerilme difraksiyon koşulları ve parametreleri;

Radyasyon : Cr,  $K\alpha$  : 2.291 Å, Kristoloğrafik düzlem :  $\alpha$  (211), Bragg açısı : 156,1°,  $\Psi$  eğim açısı : 18

X-ışını difraksiyonu metoduyla kalıntı östenit miktarının belirlenmesi, kristalli bir malzeme X ışınlarıyla radyasyona tabi tutulursa malzeme içinde bulunan bütün fazların kristal yapıları tarafından belirlenen karakteristik difraksiyon paternleri elde edilir ve bu paternde oluşan fazların şiddetleri (pik alanları) malzeme içinde bulunan fazların miktarıyla orantılıdır prensibine dayanmaktadır. Kalıntı gerilme ölçülmesi yönteminde bahsedildiği gibi, X-ışını difraksiyonu metodunda X-ışınlarının sadece 5-10  $\mu$  m derinliğe kadar etkili olması nedeniyle, sementasyon işlemi yapılan numunelerin yüzeyindeki ve yüzeyden istenilen derinlikteki kalıntı östenit miktarının ölçülmesi için elektrolitik parlatma (electropolishing) ile istenilen yüzey elde edilerek ölçümler yapılmaktadır.

Bu çalışmadaki numunelerin kalıntı östenit miktarlarının ölçülmesinde kullanılan difraksiyon koşulları ve parametreleri;

Radyasyon : Cr,  $\Psi$  salınım açısı : 3°,  $K\alpha$  : 2,291 Å, Filtre : Vanadyum

Latis düzlemleri ve Bragg açıları : Östenit (220), 128°, Martenzit (200), 106°

### 3. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Sementasyon işlemi yapılan numunelerin yüzey ve çekirdek sertlik değerleri, etkili sementasyon derinliği, yüzeydeki kalıntı östenit miktarı ve eksenel kalıntı gerilme değerleri Çizelge 3.'de, numunelerin yüzeyinden çekirdeğine doğru sertlik değişimleri ise Şekil 5'de verilmektedir.

**Çizelge 3.** Numunelerin sementasyon işlemi sonrası mikroyapıda meydana gelen mekanik ve metalurjik değişiklikler

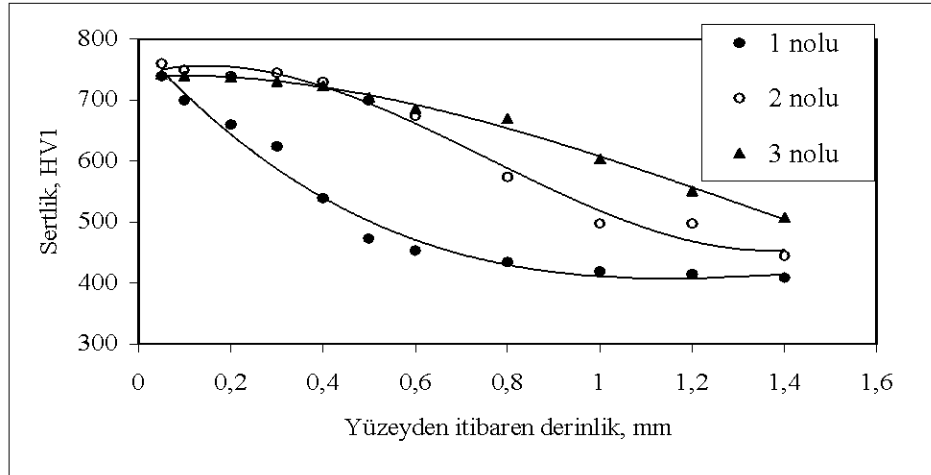
Numune No	Yüzey sertliği HV1	Çekirdek sertliği HV1	Etkili sementasyon derinliği (mm)	Yüzeydeki kalıntı östenit miktarı (%)	Yüzeydeki eksenel kalıntı gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Maksimum eksenel kalıntı gerilme (N/mm <sup>2</sup> )
1	740	402	0,39	30,5	-551	-580
2	760	428	0,86	15,6	-586	-675
3	762	447	1,2	15	-490	-490

Gaz atmosferinde sementasyon işlemi yapılan numunelerin yüzey sertlik değerleri genelde birbirine yakın olmasına rağmen, kalıntı östenit miktarının fazla olduğu 1 nolu numunedeki yüzey sertlik değeri diğerlerine göre biraz düşüktür. Çünkü kalıntı östenitin sertliği martenzitin sertliğinden daha düşüktür (3). Sonuç olarak; sementasyon işlemi yapılan numunelerin yüzey sertlik değerlerinde önemli bir fark gözlenmemiştir. Numunelerin çekirdek bölgesindeki sertlik değerleri de genelde birbirine yakın olmasına rağmen, etkili sementasyon derinliğinin artmasıyla çekirdek bölgesindeki sertlik değeri biraz daha yüksek olmaktadır.

Sementasyon işlemi yapılan numunelerin etkili sementasyon derinlikleri karbonlama süresinin artmasıyla önemli oranda artmaktadır.

Gaz atmosferindeki sementasyon işleminde, ikinci kademedeki karbonlama ortamında karbon miktarının %0,8 C' dan daha düşük düzeyde olması ve dolayısıyla numunelerin yüzeyindeki karbon miktarının düşük olması nedeniyle, meydana gelen kalıntı östenit miktarları düşük düzeydedir. Sadece 1 nolu numunenin yüzeyinde kalıntı östenit miktarı biraz fazla meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise; 1 nolu numunede ikinci kademedeki karbonlama süresi kısa olduğundan, yüzeyin ve yüzeye yakın bölgede karbon miktarının %0,8 C miktarının altında kalması için yeterli süre verilmemiş olmasıdır. Materyal ve metotta ayrıntılı olarak verildiği gibi, 1 nolu numune ilk önce 940° C'de % 1,2 C' lu ortamda 45 dakika, daha sonra 850° C'de %0,7 C' lu ortamda 15 dakika beklemek suretiyle karbonlama işlemi yapılmıştır. Bu nedenle, numunenin kabuk bölgesindeki karbon miktarının %0,8 C' dan düşük olması için yeterli süre verilmediğinden, yüzey ve yüzey altı karbon miktarı %0,8 C' dan yüksek olmuştur. Kabuk bölgesindeki karbon miktarının %0,8 C' dan yüksek olması nedeniyle,  $M_s - M_f$  sıcaklık aralığı düşük sıcaklıklara düşmüş ve oda sıcaklığına soğutmakla östenitin martenzite dönüşüm

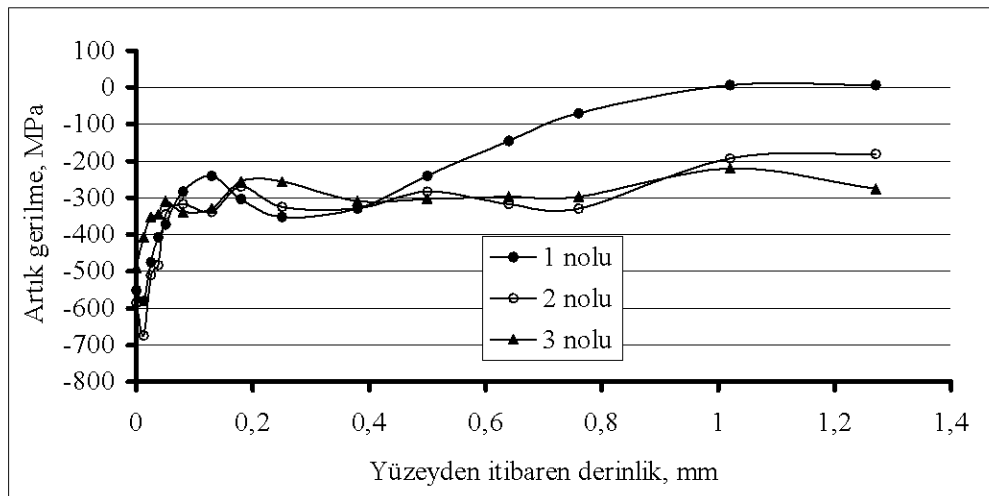
oranı azaldığı için mikroyapıda meydana gelen kalıntı östenit miktarı fazla olmuştur.



Şekil 5. Numunelerin mikrosertlik eğrileri

Numunelerde meydana gelen eksenel kalıntı gerilme profilleri Şekil 6.'da gösterildiği gibidir. 940°C de sementasyon işlemi yapılan numunelerin içinde en yüksek basma kalıntı gerilme değerleri (-675N/mm<sup>2</sup>) 2 nolu numunelerde meydana gelmiştir. Bunun nedeni; östenit-martenzit dönüşümünün fazla olmasıdır. 1 nolu numunede basma kalıntı gerilmesinin büyüklüğü (-580N/mm<sup>2</sup>) 2 nolu numuneye göre bir miktar düşüktür. Çünkü 1 nolu numunenin kabuk bölgesinde meydana gelen karbon miktarının fazla olması (>%0,8 C) nedeniyle  $M_s - M_f$  aralığı düşük sıcaklıklara düşmüş ve oda sıcaklığına soğutmakla dönüşmemiş kalıntı östenit miktarı daha fazla olmuştur. 3 nolu numunede ise, 1 ile 2 nolu numunelerin basma kalıntı gerilme değerlerine göre daha düşük (-490N/mm<sup>2</sup>) basma kalıntı gerilme değerleri meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise, oksitlenme derinliğinin fazla olması, karbürlerin daha kaba olması ve kabuk derinliğinin artmasıyla östenit - martenzit dönüşüm oranının daha düşük düzeyde olmasıdır (8,10).

1 ve 2 nolu numunelerin mikroyapısındaki kalıntı basma gerilmelerinin maksimum değerleri yüzeiden biraz içeride meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise; bu numunelerin yüzey bölgesinde oksitlenme, dekarburizasyon ve karbürlerin meydana gelmesidir. Bu durumlar ise, östenit katı çözeltisi içinde alaşım elementlerinin azalmasına ve dolayısıyla sertleşebilirliğin azalmasına neden olurken, yüzeyde perlit gibi martenzitik olmayan mikroyapıların meydana gelmesine sebep olur. Yüzeydeki dönüşümler yüksek sıcaklıklarda meydana geldiği için östenit-martenzit dönüşüm oranının yararlı etkisi azalmış olur (3,6,12).



Şekil 6. Numunelerin mikroyapısında meydana gelen eksenel kalıntı gerilmeler

## SONUÇLAR

- Sementasyon işlemi yapılan numunelerin yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerinde meydana gelen kalıntı gerilmeler, baskın olarak basma kalıntı gerilmesi şeklindedir.

- Yüzeyde yaklaşık aynı kalıntı östenit miktarına sahip numunelerde artan etkili sementasyon derinliği ile basma kalıntı gerilme değerinin büyüklüğü azalmıştır.

- Kalıntı östenit miktarının yükselmesi yüzeyde ve yüzeye yakın bölgelerde meydana gelen kalıntı gerilmelerin düşmesine neden olmuştur.

## TEŞEKKÜR

Gaz atmosferindeki sementasyon işlemlerini ısı işlem tesislerinde yaptığımız İSTAŞ A.Ş. (İzmir) yetkililerine, numunelerin kalıntı gerilme değerleri ile kalıntı östenit miktarlarının ölçümlerini yapan Proto Manufacturing Limited (Kanada) laboratuvar görevlileri James PINEAULT ve Dr. Mohammed BELASSEL'e teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Krauss, G., "Steels: heat treatment and processing principles", *ASM International*, 291-305 (1989).
2. Hyde, R.S., Krauss, G. and Matlock, D.K., "Phosphorus and carbon segregation: effects on fatigue and fracture of gas-carburized modified 4320 steel", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 25(A): 1229-1239 (1994).
3. Parrish, G., "Carburizing: microstructures and properties", *ASM International* (1999).
4. TSE 1719, Çelikler sementasyon (karbürleme) ve sertleştirmede elde edilen etkili derinliğin tayini ve kontrolü, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1974).
5. Genel, K. and Demirkol, M., "Effect of case depth on fatigue performance of AISI 8620 carburized steel", *International Journal of Fatigue*, 21 (1999): 207-212 (1999).
6. Krauss, G., "Microstructures and properties of carburized steels", *ASM International, Metals Handbook*, 4 (Heat Treating): 363-375 (1991).
7. Zürn, J., Razim, C. and Grosch, J., "The effect of residual stress in case hardening", *6<sup>th</sup> International Congress on Heat Treatment of Materials*, September, Chicago, 28-30: 279-283 (1988).
8. Kim, H.J. and Kweon, Y.G., "High cycle fatigue behavior of gas-carburized medium carbon Cr-Mo steel", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 27(A): 2557-2564 (1996).
9. Preston, S., "Fatigue crack initiation and growth from a gas carburized surface", *Materials Transactions, JIM*, 34(1): 27-32 (1993).
10. Evanson, K., Krauss, G. and Medlin, D., "Bending fatigue behaviour of vacuum carburized AISI 8620 steel", *Proceedings of the Second International Conference on Carburizing and Nitriding with Atmospheres*, 6-8 December 1995, Cleveland, Ohio, ASM, 61-69 (1995).
11. Almer, J.D., Cohen, J.B. and Moran, B., "The effect of residual macrostresses and microstresses on fatigue crack initiation", *Materials Science & Engineering*, A284 (2000): 268-279 (2000).
12. Wise, J. P., Matlock, D. K., Krauss, G., "Bending fatigue of carburized steels", *ASM Heat Treating Progress*, August/September 2001: 33- 41 (2001).

Geliş Tarihi:25.02.2003

Kabul Tarihi:03.05.2003