



# SEMENTASYON ÇELİKLERİNDE KÖRSERTLEŞTİRİLMİŞ VE SEMENTASYON YAPILMIŞ DURUMLARDA MEYDANA GELEN ARTIK GERİLMELERİN KARŞILAŞTIRILMASI

**\*Osman ASİ, \*\*Ahmet Çetin CAN**

\*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Çamlık/Denizli  
\*\*Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Kınıklı Kampüsü/Denizli

Geliş Tarihi : 20.06.2001

## ÖZET

Bu çalışmada, sementasyon çeliklerinde körsertleştirilmiş ve sementasyon yapılmış durumlarda meydana gelen artık gerilmeler araştırılmıştır. Malzeme olarak, dişli çarklar ve küçük çaplı millerin yapımında yaygın olarak kullanılan SAE 8620 (21NiCrMo2) çeliği seçilmiştir. Körsertleştirme yapılmış numuneler ile gaz atmosferinde 940 °C'de 45 dakika karbonlama ve suverme işlemleri yapılan numunelerin yüzeyinde ve kabuk bölgesindeki artık gerilmeler karşılaştırılmıştır. Numunelerin artık gerilme eğrileri X-ray diffraction metoduyla tespit edilmiştir. Sementasyon işlemi yapılmış numunenin yüzeyindeki artık bası gerilmesi -551 N/mm<sup>2</sup> iken, körsertleştirme yapılmış numunenin yüzeyindeki artık bası gerilmesi - 125 N/mm<sup>2</sup> 'dir.

**Anahtar Kelimeler** : Sementasyon, Artık gerilme, X-ray diffraction

## THE COMPARISON OF THE RESIDUAL STRESSES BETWEEN CARBURIZED AND ONLY QUENCHED STEELS

### ABSTRACT

In this study, the residual stresses developing in carburized and only quenched steel of SAE 8620 (21NiCrMo2) which is widely used as a carburized steel (shafts, gears etc.) was investigated. Carburizing programs was carried out in gas atmosphere for 45 minute at 940 °C. X-ray analysis was used to determine residual stress in the microstructures of the only quenched and carburized specimens. The results of x-ray analysis have shown that while the carburized specimens have a residual compressive stress at the surface -551N/mm<sup>2</sup>, the only quenched specimens have a residual compressive stress at the surface -125 N/mm<sup>2</sup>.

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

### 1. GİRİŞ

Sementasyon; küçük çaplı miller ve dişli çarklar 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

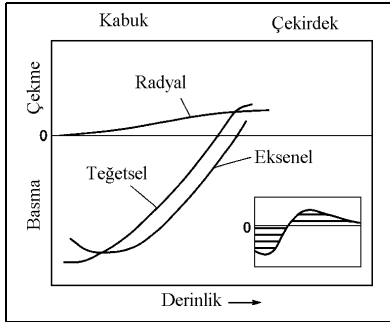
sert, çekirdeği toktur. Farklı zamanda soğuma ve farklı mikroyapıdan dolayı iç gerilmeler oluşur. Yüzeyde oluşan bası artık gerilmeleri eğme ve burma zorlamalarında faydalı olmaktadır. Sementasyon işlemi, aşınma, eğilme ve burulma yorulma dayanımı ile temas (kontakt) yorulma dayanımlarının yüksek olmasını sağlar (Krauss, 1989). 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 kabuğunun yüzey kısmında özelliklerini ciddi olarak etkileyen diğer mikroyapılar da meydana gelebilir. Bunlar; artık ostenit, kaba (masiv) karbürler, kalıntılar, tane sınırı karbürleri, fosfor segregasyonu ve yüzey oksitleri olabilir (Parrish, 1999). Çekirdek mikroyapıları, sertleşebilirliğe bağlı olarak, temperlenmiş martenzit, beynit veya ferrit ve perlitten meydana gelebilir. Oluşan bu kabuk ve çekirdek mikroyapıları, çeliğin mikroyapısında meydana gelen artık gerilmelerin büyüklüğünü, malzemenin yorulma dayanımını, temas yorulma dayanımını, sertlik ve aşınma dayanımını etkiler.

Bu çalışmada, sementasyon işleminin artık gerilmelere etkisini tespit etmek için malzemenin körsertleştirme ile sementasyon işlemi yapılmış haldeki mikroyapısında meydana gelen artık gerilmeler incelenmiştir

## 2. ARTIK GERİLMELER

Doğru olarak karbonlama yapılmış ve sertleştirilmiş çeliklerde, ekstenel, teğetsel ve radyal yöndeki artık gerilme eğrileri Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Sementasyon yapılmış parçalarda meydana gelen artık gerilme eğrileri (İç tarafta verilen grafikte, bası artık gerilmesi ile çekirdekteki çeki gerilmesinin birbirini dengelemesi gösterilmektedir (Krauss, 1991)

Sementasyon işlemi yapılmış çeliklerin yüzeyinde bası artık gerilmeleri, çekirdeğinde ise çeki artık gerilmeleri meydana gelir (Zürn et al., 1988). Bunun nedeni; çeliğin ostenit bölgesinden suverilmesi esnasında yüzey ile çekirdek arasında sıcaklık farkının olması, mikroyapı dönüşümlerinin meydana gelmesi ve ostenitin 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 ostenitik 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 bası iç gerilmeleri meydana gelir. İç gerilmelerinin meydana gelmesini alaşım ve karbon miktarları (sertleşebilirliği ve  $M_s$  sıcaklığını etkilerler), kabuk derinliği, suvermeye başlama sıcaklığı, suverme ortam sıcaklığı, sıcaklığa bağlı martenzit ve ostenitin dönüşüm oranı etkilemektedir (Krauss, 1991).

Yüzeyde dekarburizasyon, iç oksitlenme ve artık ostenit miktarının fazla olması nedeniyle, maksimum bası gerilmeleri yüzeyden biraz içerde meydana gelir. Çekirdeğe doğru düzgün olarak azalır ve çekirdek bölgesinde çeki artık gerilmeleri ile dengelenir. Sementasyon işlemi yapılmış parçaların pek çoğunda yapılan araştırmalara göre bası artık gerilmeleri -100 ile -700 N/mm<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Krauss, 1989 ; Preston, 1993).

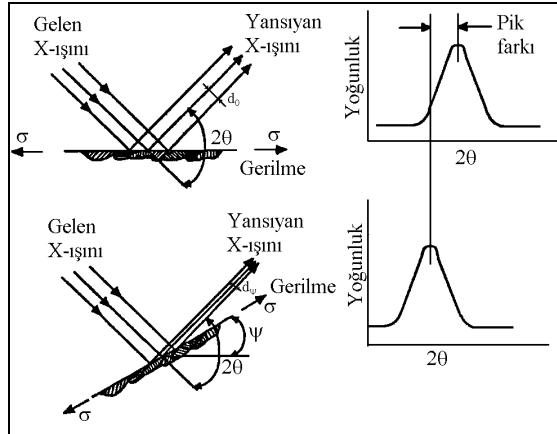
Yüzey sertleştirme yöntemlerinden birisi olan sementasyon işleminin en büyük faydası, sementasyon işlemi yapılmış parçanın yüzeyinde artık bası gerilmelerinin meydana gelmesidir. Bu gerilmeler, eğme ve burma zorlamalarında meydana gelen çeki gerilmeleriyle beraber bulunduğu parçaya etkileyen toplam gerilmenin büyüklüğü azaldığı için, yorulma dayanımı artmaktadır. Parça çekmeye zorlanırsa, gerilmeler üst üste ekleneceği için artık gerilmeler yorulma dayanımı için zararlı olmaktadır (Krauss, 1989 ; Parrish, 1999).

Suverme sonucunda meydana gelen artık ostenit miktarının azaltılması için sıfır altı veya kriojenik soğutma işlemleri kullanılmaktadır. Bu işlemlerle yüzey sertliği artmakta ve makine parçalarının çalışması esnasında mikroyapıda bulunan artık ostenitin martenzite dönüşmesi nedeniyle boyutsal farklılıkların oluşması önlenmektedir. Soğuk işlem uygulanmış parçalarda bası artık gerilmelerinin arttığı bulunmuş, ancak parçanın yorulma dayanımında azalma olduğu belirtilmektedir. Bunun nedeni ise, kalan artık ostenit bölgelerinde meydana gelen çeki artık gerilmelerinin yorulma çatlağının başlamasını ve ilerlemesini artırmasıdır (Krauss, 1991; Evanson et al., 1995). Yüzey bası artık gerilmeleri bilya bombardmanı ile artırılabilir. Gerilmedeki bu iyileşme eğilme yorulma dayanımının iyileşmesine neden olur (Parrish, 1999).

### 3. ARTIK GERİLMELERİN X-RAY DİFFRACTION METODUYLA ÖLÇÜLMESİ

Artık gerilmeleri teorik olarak hesaplamak oldukça zordur, fakat deneysel olarak ölçümü nispeten kolaydır. Artık gerilmelerin ölçülmesinde X-ray diffraction metodu, kabuk kaldırma metodu (mekanik ve elektro kimyasal) ve delik açma metodu gibi pek çok teknikler vardır. Bunların içinde en yaygın ve pratik olarak X-ray diffraction yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle, artık gerilme olmamış haldeki numunenin ölçüm değerlerine gereksinim duyulmaksızın artık gerilmeler tespit edilebilmektedir. X-ray diffraction yönteminin dezavantajı ise, X-ışınlarının mikronun sadece onda birkaçı kadar yayılmasından dolayı, yüzeydeki artık gerilmelerinin ölçülebilmesidir. Sementasyon işlemi yapılmış numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru artık gerilme değerlerinin elde edilmesinde, elektrolitik parlatma (electropolishing) ile talaş kaldırılarak istenilen derinliklerdeki artık gerilme değerleri ölçülmektedir (Almen and Black, 1963; Prevey, 1997; Bein et al., 1998).

Artık 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 2'de gösterildiği gibi,  $2\theta$  açısında kırınım göstererek yansıma yapar.



Şekil 2. X-ray diffraction metoduyla artık gerilmelerin belirlenme prensibi

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

Tablo 1. SAE 8620 (21NiCrMo2, Malzeme No; 1.6523) 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

Burada  $n$ ; yansıyan ışının sayısı,  $\lambda$ ; monokromatik radyasyonun (tek renkli ışınım) dalga boyu,  $d$ ; iki bitişik paralel düzlemin atomları arasındaki mesafedir (düzlemler arası mesafe).

Dalga boyu sabit tutulursa, herhangi belirli düzlem üzerindeki atomlar gelen X-ışınlarının belirli bir açıda kırılmasına neden olur. Yansıyan X-ışınları hüzmesi 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 artık gerilme yoksa kırılan eğrilerin ikisi de üst üste gelecektir. Ancak eğer artık gerilme varsa farklı yönlere kırılan atomik düzlemler sıkışacak veya genişleyecek ve pik değeri değişecektir.

Gerilme,  $\sigma$ , aşağıdaki denklem 2'de verilen eşitliğe bağlı olarak tespit edilir (Almen and Black, 1963).

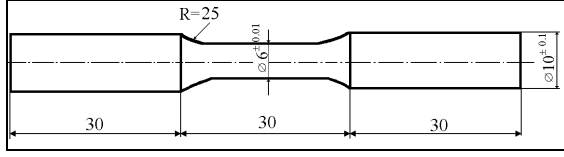
$$\sigma = \frac{E}{1 + \nu} \frac{1}{\sin^2 \psi} \frac{(d_\psi - d_0)}{d_0} \quad (2)$$

Burada,  $d_\psi$ ;  $\psi$  eğim açısındaki düzlemler arası mesafedir,  $E$ ; Elastisite modülü,  $\nu$ ; Poisson oranı.

### 4. MATERYAL VE METOT

Sementasyon işleminin artık gerilmelere etkisini incelemek için dişli çarkların ve küçük çaplı millerin yapımında yaygın olarak kullanılan SAE 8620 (21NiCrMo2) sementasyon çeliği seçildi. Spektral analiz cihazı ile elde edilen çeliğin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Numuneler,  $\varnothing 16$  mm'lik çubuklar halinde piyasadan alınıp standart boylarda kesilip, ısıl işlem fırınında  $920^\circ\text{C}$ ' de 1 saat normalizasyon tavlama işleminden 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 3'de ölçüleri verilen numuneler, standart yorulma deneyi numunesi ölçülerinde ve ASTM standartlarına uygundur.

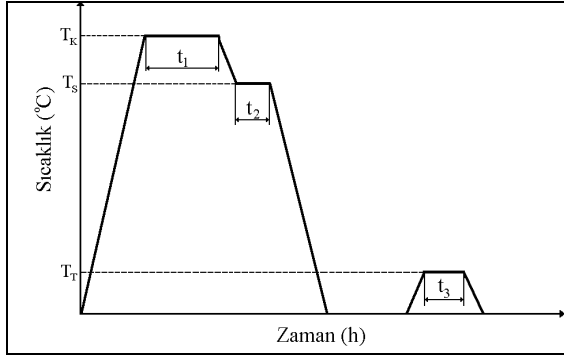


Şekil 3. Yorulma deneyi numunesi

Numunelerin sementasyon işlemindeki karbonlama, gaz atmosferi karbonlama ortamında yapılmıştır.

Tablo 2. Numunelerin Isıl İşlem Programı

Numune No	Karbonlama ortamı	Karbonlama sıcaklığı	Karbonlama süresi (Dakika)	Suverme sıcaklığında bekleme süresi (Dakika) ( $T_S = 850^\circ\text{C}$ )	Temperleme süresi (Saat) ( $T_T = 70^\circ\text{C}$ )
		$T_K$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_1$	$t_2$	$t_3$
1	Sadece $850^\circ\text{C}$ 'den suverilmiş (körsertleştirme)			30	2
2	Gaz atmosferi	$940^\circ\text{C}$	45	15	2



$T_K$  : Karbonlama sıcaklığı  $t_1$ : Karbonlama süresi  
 $T_S$  : Suverme sıcaklığı  $t_2$ : Suverme sıcaklığında bekleme süresi  
 $T_T$ : Temperleme sıcaklığı  $t_3$ : Temperleme süresi

Şekil 4. Sementasyon işlemindeki ısıl işlem programı

Gaz atmosferinde sementasyon işlemi yapılan numuneler hızlı bir karbon difüzyonu için ilk önce % 1.2 C'lu bir ortamda, daha sonra yüzey karbon miktarının % 0.8 C'ü aşmaması için  $850^\circ\text{C}$  suverme sıcaklığında % 0.7 C'lu bir ortamda karbonlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Numuneler kabuk ostenitleme sıcaklığına ( $850^\circ\text{C}$ ) düşürüldükten sonra direkt sertleştirme işlemine tabi tutulmuşlardır. Numuneler, gaz atmosferi karbonlama işleminden sonra,  $60^\circ\text{C}$ 'deki ISORAPID 277HM suverme yağında sertleştirilmişlerdir. Körsertleştirme ve sementasyon işlemi yapılan numuneler  $170^\circ\text{C}$ 'de 2 saat temperlenmişlerdir.

Numunelerin mikrosertlik değerleri, Officine Galileo Microscan marka mikrosertlik cihazında 9.81 N yük altında elde edilmiştir.

Gaz atmosferindeki karbonlama işlemi endotermik koruyucu gaz (% 33  $\text{H}_2$ , % 28  $\text{CO}$ , % 0.8  $\text{CH}_4$ ) ile propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) karışımı ortamda yapılmıştır.

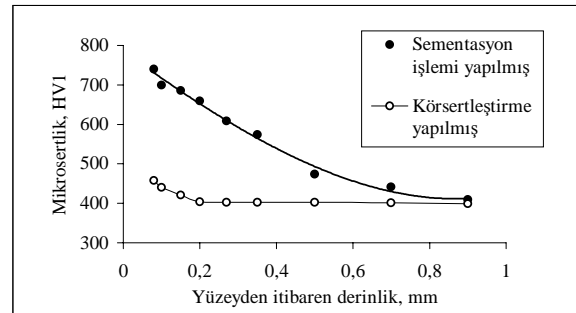
Gaz atmosferindeki sementasyon işleminde ısıl işlem programı Şekil 4'de verilen programa göre yapılmıştır. Körsertleştirme ve sementasyon işlemi yapılan numunelerin ısıl işlemlerindeki ortam, sıcaklık ve süreler Tablo 2'de verilmektedir.

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

Radyasyon : Cr,  
 $K\alpha$  :  $2.291 \text{ \AA}$   
 Kristoloğrafik düzlem :  $\alpha$  (211)  
 Bragg açısı :  $156.1^\circ$   
 $\psi$  eğim açısı :  $18^\circ$

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

Körsertleştirme ile sementasyon işlemi yapılan numunelerin mikrosertlik değerleri Şekil 5'de verilmektedir.

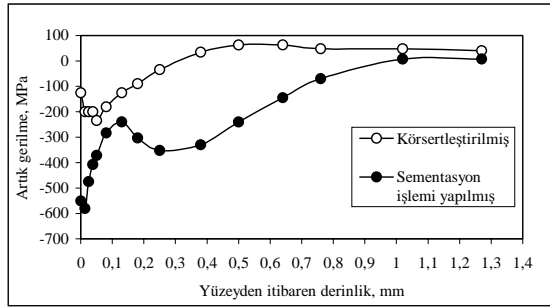


Şekil 5. Numunelerin mikrosertlik eğrileri

Sementasyon işlemi yapılan numunenin etkili sementasyon derinliği 0.39 mm'dir ("Etkili sementasyon derinliği; 1 kgf (9.81N) yük ile ölçüldüğünde Vickers sertliği 550 HV1 olan karbonlanmış ve sertleştirilmiş tabaka ile yüzey arasındaki dikey uzaklıktır", TS 1719). Sementasyon işlemi yapılan numunenin kabuk bölgesindeki sertlik

değerleri önemli derecede artarken, çekirdek bölgesine doğru sertlik değerleri körsertleştirme işlemi yapılmış numunenin sertlik değerleriyle yaklaşık aynıdır. Çünkü her iki numunenin çekirdek bölgesindeki karbon miktarı aynıdır. Sementasyon işlemi yapılan numunenin yüzeyinde sertlik değerlerinin yüksek olması aşınma dayanımının yüksek olmasını sağlamaktadır (Silva et al., 1999).

Şekil 6'da ise körsertleştirme ile sementasyon işlemi yapılan numunelerin mikroyapısında meydana gelen artık gerilmeler verilmektedir. Sementasyon işlemi yapılan numunelerde artık gerilmeler baskın olarak bası artık gerilmeleri şeklinde meydana gelirken, körsertleştirme yapılmış numunelerin mikroyapısında meydana gelen artık gerilmeler çeki artık gerilmesi şeklindedir.



Şekil 6. Numunelerin eksenel artık gerilme eğrileri

Körsertleştirme yapılan numunenin yüzeyinde meydana gelen artık gerilme  $-125 \text{ N/mm}^2$  iken sementasyon işlemi yapılan numunenin yüzeyinde meydana gelen artık gerilme  $-551 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Her iki numunede de maksimum artık bası gerilmesinin değeri yüzeyden biraz içerde meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise numunelerin yüzeyinde dekarburizasyon, iç oksitlenme ve karbürlerin meydana gelmesi olabilir (Medlin et al., 1995; Kim and Kweon, 1996). Sementasyon işlemi yapılan numunenin yüzeyinde artık bası gerilmesinin yüksek olması, malzemenin eğme ve burma zorlaması altında çalışması esnasında bileşik gerilmenin değerini düşüreceği için yorulma dayanımının artmasına neden olur (Krauss, 1991; Parrish, 1999).

## 6. KAYNAKLAR

Almen, J. O. and Black, P. H. 1963. Residual Stresses and Fatigue in Metals, Mc Graw-Hill Book Company, Inc.

Bein, S., Calvez, C. L. and Lebrun, J. L. 1998. Determination of Stress Gradients by X-ray Diffraction: Comparison of Different Methods and Applications, Zeitschrift für Metallkunde 89, 289-296.

Evanson, K., Krauss, G. and Medlin, D. 1995. "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.

Kim, H. J. and Kweon, Y. G. 1996. High Cycle Fatigue Behavior of Gas-Carburized Medium Carbon Cr-Mo, Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 27A, 2557-2564.

Krauss, G. 1989. Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International.

Krauss, G. 1991. Microstructures and Properties of Carburized Steels, ASM International, Metals Handbook, Volume 4: Heat Treating, 363-375.

Medlin, D., Krauss, G., Matlock, D. K., Burriss, K., and Slane, M. 1995. Comparison of Single Gear Tooth and Cantilever Beam Bending Fatigue Testing of Carburized Steel, SAE Technical Paper Series, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, February 27-March 2.

Parrish, G. 1999. Carburizing: Microstructures and Properties, ASM International.

Preston, S. 1993. Fatigue Crack Initiation and Growth from a Gas Carburized Surface, Materials Transactions, JIM, 34 (1), 27-32.

Prevey, P. S. 1997. Problems with Non-destructive Surface X-ray Diffraction Residual Stress Measurement, Lambda Research Publications.

Silva, V. F., Canale, L. F., Spinelli, D., Bose, W. W., Crnkovic, O. R. 1999. Influence of Retained Austenite on Short Fatigue Crack Growth and Wear Resistance of Case Carburized Steel, Journal Materials Engineering and Performance, 8 (5), 543-548.

Zürn, J., Razim, C. and Grosch, J. 1988. "The Effect of Residual Stress in Case Hardening", 6<sup>th</sup> International Congress on Heat Treatment of Materials, Chicago, 28-30 September, 279-283.