



X40CrMoV 5 1 ÇELİĞİNİN 20-600°C ARASINDAKİ YORULMA DAVRANIŞI
(*FATIGUE BEHAVIOR OF X40CrMoV 5 1 FROM 20 TO 600°C*)

Ruhi Yeşildal*, Sadri Şen*, İrfan Kaymaz*

ÖZET/ABSTRACT

Yorulma, tekrarlı yüklemeler altında çalışan makine elamanlarında görülen bir malzeme davranışı olduğundan bunların yorulma dayanımlarının yüksek olması istenir. Yüksek sıcaklık takım çelikleri gibi yüksek sıcaklıkta tekrarlı yükler altındaki çalışma koşullarında, malzemelerin yüksek sıcaklık yorulma dayanımlarının iyi olması gerekir. Bu çalışmada X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin 50, 100, 200, 300, 400, 500 ve 600 °C sıcaklıklardaki yorulma davranışları, dönen eğmeli yorulma deneyi ile incelenmiştir. Bu malzemenin oda sıcaklığındaki yorulma mukavemeti 432 MPa olup 400 °C da 383 MPa a düşmüştür. 400°C ile 600°C arasında ise yaklaşık sabit kalmıştır.

Since fatigue is a material behaviour seen in machine elements working under repeated loadings, they are required to have high fatigue strength. Materials working under repeating loads and high temperatures, such as high temperature tool steels, should have a very good high temperature fatigue strength. In this study, fatigue behaviours of X40CrMoV51 hot work tool steel were investigated in rotating bending fatigue experiment at the temperatures of 50, 100, 200, 300, 400, 500 and 600°C. Although, this material has a fatigue strength of 432 MPa at room conditions, it decreases to 383 MPa at 400°C, and it remains constant from 400°C to 600°C.

ANAHTAR KELİMELELER/KEY WORD

Yorulma, yüksek sıcaklık, dönen eğmeli yükleme.
Fatigue, high temperature, rotating bendind loading.

1. GİRİŞ

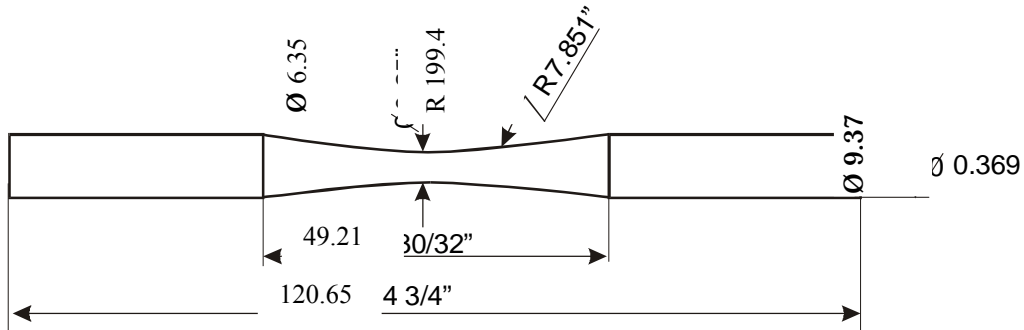
Makine elamanlarında yorulma, bir makine elamanının, değişken yüklemelerde, taşınması gereken yükler altında kırılması şeklinde tarif edilmektedir (Tausher, 1974). Klasik hesap yöntemlerinde tasarım, kullanım şartları ve diğer etkenler dikkate alınarak mukavemet ve elastisite teorisine göre yapılır. Fakat yorulmada ki zaman bağımlı tekrarlı yükler altında kırılmalar, bu hesaplamaların yeterli olmadığı gerçeğini ortaya çıkarmıştır (Collins, 1981). Çünkü tekrarlı dinamik yüklemelerdeki hesaplamalarda yorulmanın dikkate alınması zorunluluğu vardır (Shigley, 1986). Yorulmaya sebep olan etkenlerin sayısı oldukça fazla olup, bunlarınlar araştırmalar henüz tamamlanmamıştır (Avner, 1986). Yorulma kırılmasında sıcaklığın önemli bir yeri olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Brown, 1981; Dobrzansk vd., 2001). Yüksek sıcaklığın yorulmaya etkisi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Bashu vd., 1990; Sakane vd., 1987; Okazaki vd., 1989). Alaşımli çeliklerde alaşım elemanlarının yorulma davranışı üzerine çalışmalar yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir (Wenping vd., 2001; Jiang vd., 2001). Bu çalışmada X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin yorulma mukavemetleri 50, 100, 200, 300, 400, 500 ve 600 °C sıcaklık basamakları ve değişik yük değerlerinde araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, yorulma konusunda yapılmış olan literatür taramaları ve daha önceki araştırmalara dayanılarak, X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin yüksek sıcaklık-yükleme seviyesi-yorulma ilişkileri ele alınmıştır (Dobrzansk, 2001; Wenping vd., 2001). Sıcak iş takım çelikleri, dövme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları gibi çalışma şartları yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde çalışmak için uygundur (Wenping vd., 2001; Jiang vd., 2001). Kırılmanın esas sebeplerinden biri olan yorulma, makine elamanlarının sürekli gerilme altında çalışılmak zorunda olduğu bu tip yerlerde ayrı bir öneme sahiptir.

2.1 Deney Numunesi

Temin edilen malzemenin belirtilen özelliklerde olup olmadığını araştırmak için malzemeden seçilen değişik örneklemelerin spektral analizi yapılmış ve test sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi elde edilen sonuçlar, temin edilen malzemenin alaşım elementleri ve katışkılarının, X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin alaşım elementleri ve katışkı sınırları dahilinde olduğunu göstermektedir. ASTM (Swanson, 1974) standartlarına uygun B tipi kavisli deney numunesi seçilmiş olup boyutları Şekil 1 de verilmiştir. Boyut hassasiyetleri sağlanması için bilgisayar kontrollü sayısal (CNC, Computer-Numeric-Control) torna tezgahında üretim yapılmıştır.



Şekil 1. B tipi deney numunesi (Swanson, 1974)

Daha sonra numunelerin tamamı, hadde, tornalama gibi işlemlerden dolayı oluşan artık gerilmelerin etkilerini ortadan kaldırmak, malzemenin iç gerilmelerini gidermek için 860°C de on dakika fırında bekletilmiş ve havada soğutulmuştur.

Çizelge 1. İncelenen malzemenin spektral analiz sonuçları.

| Element | % | Element | % | Element | % |
|-----------|---------|----------|---------|-----------|----------|
| Karbon | 0.3643 | Silisyum | 1.06 | Mangan | 0.371 |
| Fosfor | 0.0216 | Kükürt | 0.0012 | Krom | 5.55 |
| Molibden | 1.18 | Nikel | 0.250 | Alüminyum | 0.0329 |
| Kobalt | 0.0304 | Bakır | 0.110 | Niobium | 0.00808 |
| Titanyum | 0.00198 | Vanadyum | 0.583 | Wolfram | 0.0675 |
| Kurşun | <0.0020 | Kalay | 0.00960 | Antimon | <0.00200 |
| Magnezyum | | Demir | kalan | | |

2.2. Deney Düzeninin Kurulması

Seçilen malzemenin ilk halinin özelliklerini ve yapılan ısıl işlemin malzemenin mekanik özelliklerine etkisini incelemek için universal bir Instron marka çekme cihazında çekme deneyleri, sertlik ölçme cihazında sertlik deneyleri yapılmış ve bunlar Çizelge 2 de verilmiştir.

Çizelge 2. Malzeme özellikleri

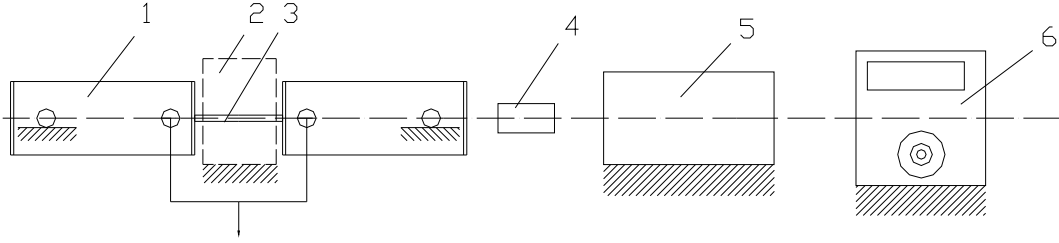
| Isıl işlem | Deney No | Çap (mm) | $S_{A0.2}$ (MPa) | S_C (MPa) | % uza. (e) | Sertlik (HB) |
|------------|----------|----------|------------------|-------------|------------|--------------|
| Yapılmamış | 1 | 5 | 400 | 700 | 16 | 383 |
| | 2 | 5 | 400 | 700 | 20 | 329 |
| | 3 | 5 | 400 | 710 | 25.6 | 312 |
| | 4 | 5 | 400 | 710 | 25.6 | 312 |
| | 5 | 5 | 400 | 720 | 25.6 | 333 |
| Yapılmış | 1 | 5 | 420 | 740 | 24.8 | 278 |
| | 2 | 5 | 400 | 690 | 24 | 297 |
| | 3 | 5 | 420 | 715 | 24.8 | 314 |
| | 4 | 5 | 432 | 735 | 24.8 | 273 |

2.3. Deneyin Yapılışı

Deneyler, şematik resmi Şekil 2 de görülen RR-Moore marka dönen eğilmeli yorulma cihazında yapılmıştır. Ana bölümleri şekilde verilen cihaz, yalnızca numuneyi içine alabilecek ve istenen sıcaklığa ayarlanabilen bir ısıtma ünitesine sahiptir. Deneye başlamadan önce sistem kalibre edilmiş, sistem çalışırken üst yüklemelerde malzemenin iç sürtünmelerinden kaynaklanan ısısının ortam sıcaklığını yükseltmemesi ve deney cihazının yataklar gibi yüksek sıcaklıktan etkilenebilecek kısımlarının korunması için sürekli olarak hava ile soğutulmuştur. Isıtma ve soğutma sistemlerinin kararlı duruma geçmesi ile yükleme yapılmaya başlanmıştır.

Gerilme-yük tekrar sayısı eğrisinin oluşturulması için yapılan deneylerde, önce üst ve alt yükleme değerleri belirlenmiş ve toplam yedi yükleme basamağında deneyler yapılmıştır. Daha sonra yükleme seviyesi seçilen en büyük değerinden itibaren giderek düşürülmüş ve numunenin kırılmadığı gerilmeye kadar bu işlem devam ettirilmiştir. Sonsuz ömre yakın bölgelerde daha yoğun olmak üzere her sıcaklık için seçilen bu yedi gerilme değeri ile

deneyler gerçekleştirilmiştir. Her gerilme değerinde 6-8 arası deney yapılmış, en büyük ve en küçük kırılma sayılarına sahip olanlardan birer tanesi atılarak, her gerilme için beş adet numuneden alınan sonuçlar kullanılarak yorulma ömrü belirlenmiştir.



1: Rulman Kutusu, 2: Isıtma Ünitesi, 3: Numune, 4: Kaplin, 5: Motor, 6: Kontrol Panosu

Şekil 2. Deney cihazı

2.4. Uygulanan Yükün Hesaplanması

Kullandığımız makinede numuneye gelen gerilme şu formülle hesaplanmaktadır (Comer, 1990).

$$\sigma = \frac{16.W.L}{\pi.D^3} \quad (1)$$

Burada; σ : numunenin en dış noktasındaki gerilme, W: Numuneye uygulanan toplam yük, L: Moment kolu (yük tatbik noktası ile yatak mesnedi arasındaki mesafe olup sabittir ve değeri 4 inç =101.6 mm dir.) ve D: Numunenin en düşük çapı (en küçük kesitteki çap Şekil 1). L nin sabit olduğu (1) eşitliğinde, verilen bir çap değeri için oluşturulacak gerilmeye karşı bulunması gereken bir tek W değeri kalmaktadır. Çaplardaki küçük farklılıkların dahi yüzeydeki gerilmeyi değiştirmesi nedeniyle, her numune için ayrı bir hesap yapmak yerine, belli bir çap değeri için seçilecek gerilmeye tekabül eden yükün hesaplanmasında yük ile çarpılması gereken bir katsayı ortaya çıkmaktadır. Kullanmış olduğumuz cihazın imalatçı firması, bu katsayıları bir tablo haline getirerek cihaz ile birlikte vermiştir. Bu değerler istenen gerilme ile çarpılarak uygulanması gereken yük bulunmaktadır. Her çap için ayrı ayrı hesaplanmış olan bu katsayıları kullanarak uygulanması gereken yükün kolayca bulunması mümkündür. Burada yatakların ve yükleme kancasının ağırlıkları toplamı yüke ilave edilmeli ya da bulunan yükten bu ağırlık çıkarılarak kalan değer kadar yükleme yapılmalıdır. Sabit olan bu ağırlıkların toplam değeri 14.8 pound (6.7 kg) dir. Diğer gerilme değerlerinden $\sigma_m=0$ (alternatif yükleme) ve $R = -1$ dir (Avner, 1986).

Yapılan bu açıklamalar ışığında sırasıyla 50°C, 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C ve 600°C sıcaklıklarda ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin her biri tek tek ele alınıp, açıklamalar ayrı başlıklar altında aşağıda sunulmuştur.

3. YORULMA DENEYİ BULGULARI

Aşağıdaki şekillerde (Şekil 3-11 arası) sırasıyla 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500 ve 600°C de yorulma deneyine tabi tutulmuş numunelerin gerilme-yük tekrar sayısı (Wöhler) eğrileri ve kırılma değerleri verilmiştir. Eğrilerin oluşturulması için yapılan deneylerde gerilmenin üst değeri olarak literatürde esas alınan “ilk yüklemenin ilgili malzemenin çekme gerilmesinin %70-85 i kadar yapılması” ilkesinden hareketle en büyük yükleme %80 olarak seçilmiştir

(Tauscher, 1974; Shigley, 1986; Avner, 1986). Sonsuz ömürdeki mukavemet değeri, eğrinin eğiminin azalma göstermeye başladığı bölgeden itibaren daha küçük yüklemeye azaltılmasıyla deneyler yapılarak yaklaşık 2×10^6 çevrim sayısına ulaşılarak belirlenmiştir. En büyük yüklemeye değeri ile sonsuz ömre giden yüklemeye değeri arasındaki yüklemeye aralıkları, sonsuz ömür bölgesine yakın noktalarda daha çok deney yapacak şekilde seçilmiştir. Her sıcaklık kademesinin aynı yüklemeye değerinde ortalama 6 (altı) numune olmak üzere, her eğri için seçilen 6-8 arası yüklemeye basamağında toplam ortalama 45 numune kullanılmıştır. Sonsuz ömürdeki deneylerde peş peşe üç numunenin kırılmaması nedeniyle daha fazla deney yapılmamıştır. Wöhler eğrilerinden de görüldüğü gibi artan sıcaklığa bağlı olarak malzemenin yorulma mukavemeti 400°C ye kadar azalma gösterirken 400°C ile 600°C arasında değişmemektedir. Artan sıcaklığa bağlı olarak yorulma mukavemetindeki değişim Şekil 11 da toplu olarak görülmektedir.

3.1. Oda Sıcaklığında Yapılan Yorulma Deneyleri

Isıtma işlemine başlamadan önce ilgili malzemenin ortam sıcaklığındaki yorulma ömrünü tespit etmek gerekmiş ve ilk deney malzemenin oda sıcaklığındaki yorulma ömrünü tayin etmek için yapılmıştır. Yapılan deneylerde X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin 2×10^6 çevrim sayısında yorulma mukavemeti 432 MPa bulunmuştur. Bir grafik programı ile çizilen bu deneyle ilgili Wöhler eğrisi Şekil 3 de verilmiştir.

3.2. 50°C de Yapılan Yorulma Deneyleri

Isıtmalı olarak ilk deneme 554 MPa de yapılmış ve 3300 ile 10670 arasında kırılma çevrim sayıları elde edilmiştir. Daha sonra giderek azalan yüklemelerle kırılma çevrim sayıları bulunmuş ve bu değerlerle ilgili grafik "Frilans" grafik programı yardımıyla çizilmiştir. Burada bir Wöhler eğrisi oluşturabilmek için düşey eksene uygulanan gerilme, yatay eksene bu gerilmelere karşılık gelen kırılma çevrim sayıları yerleştirilmiştir. Özellikle 50°C de yapılan deneylerde numunenin kendinden gelen ısınmanın sistemin sıcaklık dengesini bozmaması için gerekli soğutma işleminin dikkatli yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu deneylerde 2×10^6 çevrim sayısında malzemenin kırılmadan taşıyabileceği en yüksek gerilme 422 MPa olarak bulunmuştur. Bu durum Şekil 4 deki ilgili grafikten de görülmektedir.

3.3. 100°C de Yapılan Yorulma Deneyleri

Yüksek sıcaklıklarda yapılan deneylerde ilk yüklemeye gerilmesi seçilirken 550 MPa'nın üzerindeki gerilmelerde, sıcaklığında etkisiyle aşırı deformasyon ve bunun sonucunda oluşan aşırı ısınma nedeniyle deneylerden sağlıklı sonuç alınamamış, en yüksek yüklemeye için birkaç kademe aşağıda bir değer seçilmesi gerekmiştir. Bu nedenle en yüksek yüklemeye olarak 100°C ve üzerindeki sıcaklıklarda 530 MPa seçilmiştir. Bu gerilme seviyesinde yapılan ilk deneylerde 2250 ile 21000 arasında kırılma çevrim sayıları elde edilmiştir. Yine giderek azalan gerilme seviyelerinde elde edilen kırılma çevrim sayıları ilgili grafiğe yerleştirilerek bu sıcaklık için Wöhler yorulma eğrisi elde edilmiştir. 2×10^6 çevrim sayısına kadar yapılan deneylerde, 100°C de bu malzemenin kırılmadan taşıyabileceği en yüksek gerilme 412 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 5).

3.4. 200°C de Yapılan Yorulma Deneyleri

Yine en yüksek gerilme olarak 530 MPa seçilip bu gerilme değerinde yapılan deneylerde 3180 ile 21670 arasında kırılma çevrim sayıları elde edilmiştir (Şekil 6). Azalan gerilme değerleri ile kırılma çevrim sayıları artmış ve bu malzemenin 200°C sıcaklıkta kırılmadan taşıyabileceği en yüksek gerilme seviyesi 402 MPa olarak bulunmuştur.

3.5. 300°C de Yapılan Yorulma Deneyleri

Yüksek sıcaklıklarda aşırı deformasyon ve ısınma sebebiyle en yüksek gerilme değeri olarak belirlenen 530 MPa'lık gerilme değerinde 300°C de bu malzemenin kırılma çevrim sayıları 1870 ile 14250 arasında gerçekleşmiştir. Gerilme değerlerinin azaltılmasıyla giderek yükselen kırılma çevrim sayıları nihayet 392 MPa'lık gerilme değerinde 2×10^6 çevrim sayısına ulaşmıştır. Bununla ilgili tüm değerler Şekil 7 de verilmiştir.

3.6. 400°C de Yapılan Yorulma Deneyleri

Bu sıcaklıkta yapılan yorulma deneyinde en yüksek gerilme 559 MPa seçilmiş ve bu değerde 2000 ile 6000 arasında kırılma çevrim sayıları elde edilmiştir. İlgili malzemenin 400 °C de 2×10^6 çevrim sayısına kadar kırılmadan taşıyabileceği en yüksek gerilme 380 MPa bulunmuştur. Bu sıcaklıkta elde edilen Gerilme-Çevrim sayısı eğrileri Şekil 8 de verilmiştir. Deney esnasında seçilen devir sayısı 5500 d/d olup 2×10^6 çevrim sayısı için deney süresi yaklaşık 6 saat sürmüştür.

3.7. 500°C de Yapılan Yorulma Deneyleri

500°C de yapılan yorulma deneylerinde ilk yükleme 530 MPa'lık bir gerilme seviyesinde yapılmış ve 2000 ile 6000 arasında kırılma çevrim sayıları bulunmuştur. Sonsuz ömür bölgesine yaklaştıkça gerilme aralıkları daraltılarak yapılan deneylerde malzemenin bu sıcaklıkta 2×10^6 çevrim için kırılmadan taşıyabildiği yükleme değeri 383 MPa olarak bulunmuştur. Bu durum Şekil 9 da sunulmuştur. 373 MPa'daki kırılmalar numune kusurlarına bağlanmaktadır. Elde edilen bu veriler ilgili malzemenin 400 °C ile 500°C arasında 2×10^6 çevrimde yorulma dayanımında bir azalmanın olmadığını göstermektedir. 2×10^6 çevrim için deney süresi 5500 d/d'lık devir sayısında yaklaşık 6 saattir.

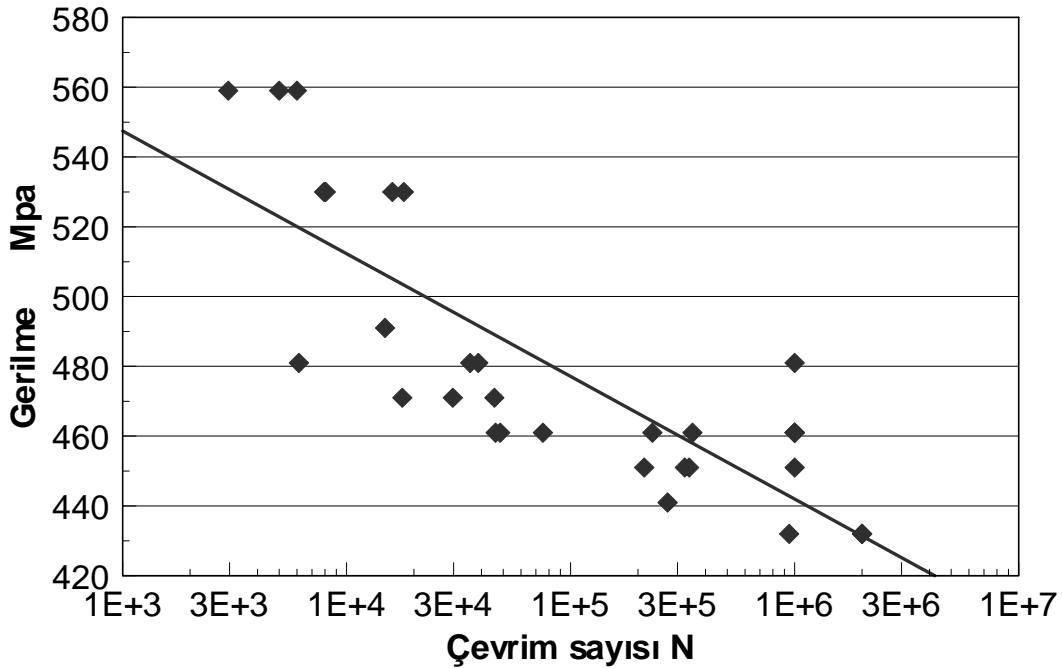
3.8. 600°C de Yapılan Yorulma Deneyleri

600°C de yapılan yorulma deneylerinde ilk yükleme deneylerin çoğunda olduğu gibi 530 MPa'lık bir gerilme seviyesinde yapılmış ve 1000 ile 2000 arası bir kırılma çevrim sayısı elde edilmiştir. Giderek azalan yükleme değerleri ile bu malzemenin 2×10^6 çevrim için yorulma mukavemeti 400 ve 500°C'lik deneylerde olduğu gibi 383 MPa olarak tespit edilmiştir. Deney sonuçları ve ilgili Wöhler eğrisi Şekil 10 da verilmiştir. Elde edilen verilere dayanarak 400, 500 ve 600°C sıcaklık aralıklarında ilgili malzemenin 383 MPa gerilme altında yorulma ömründe önemli bir azalma olmadığı söylenebilir. Deney süresi 6 saattir.

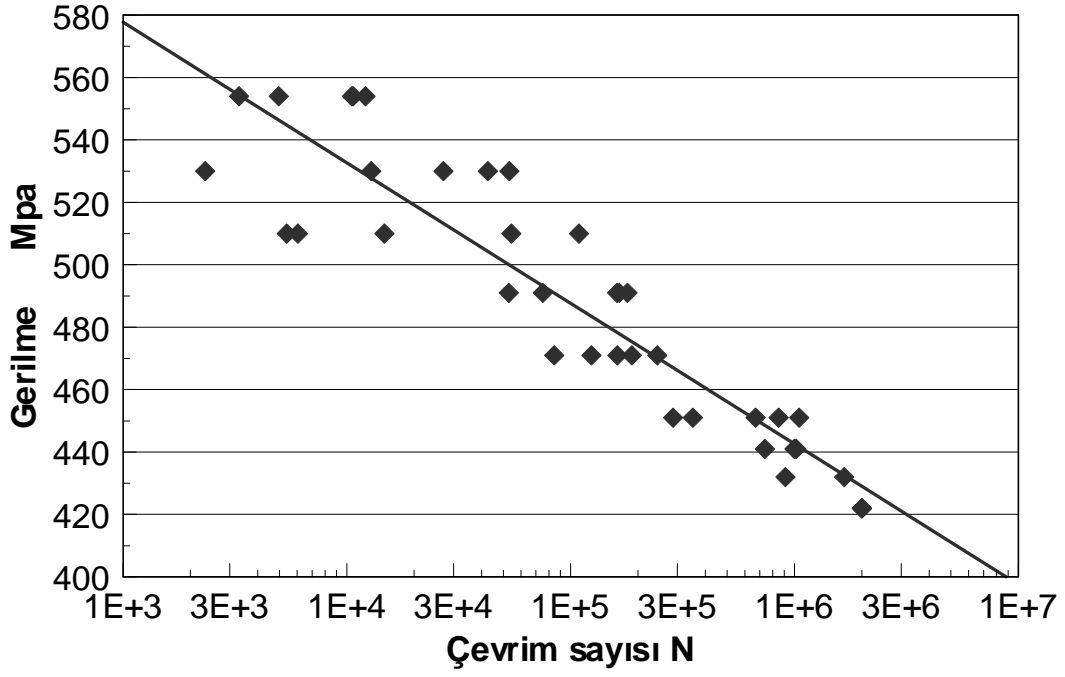
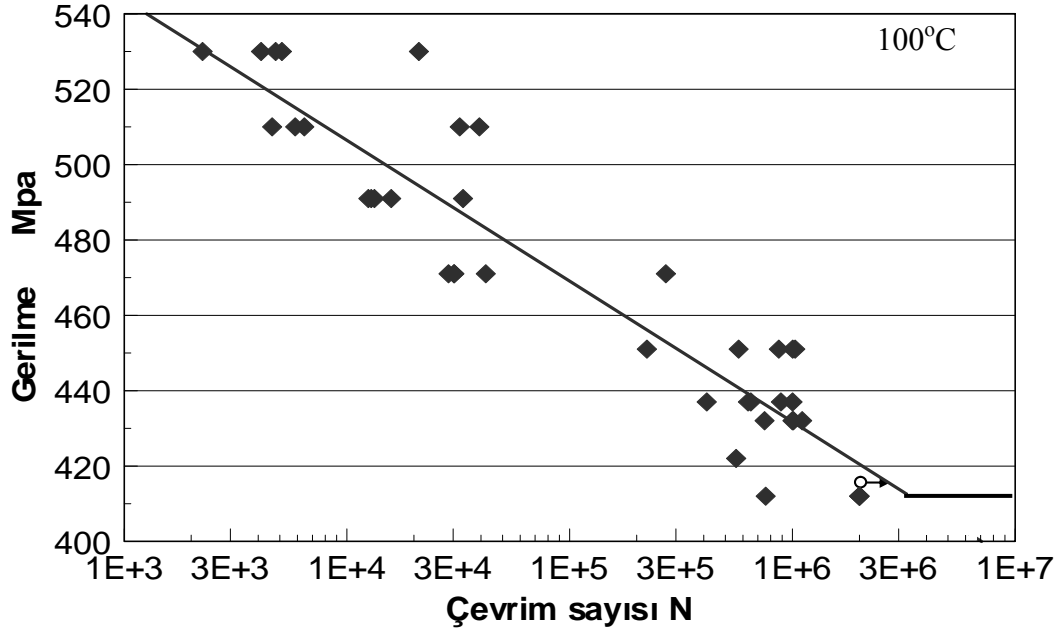
4. TARTIŞMA

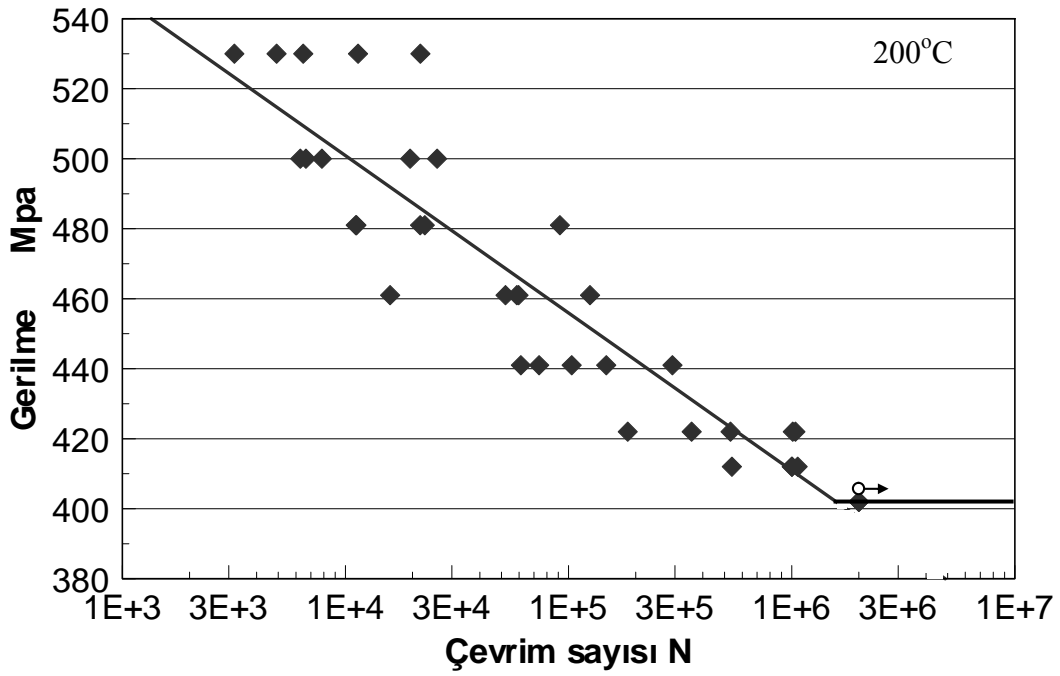
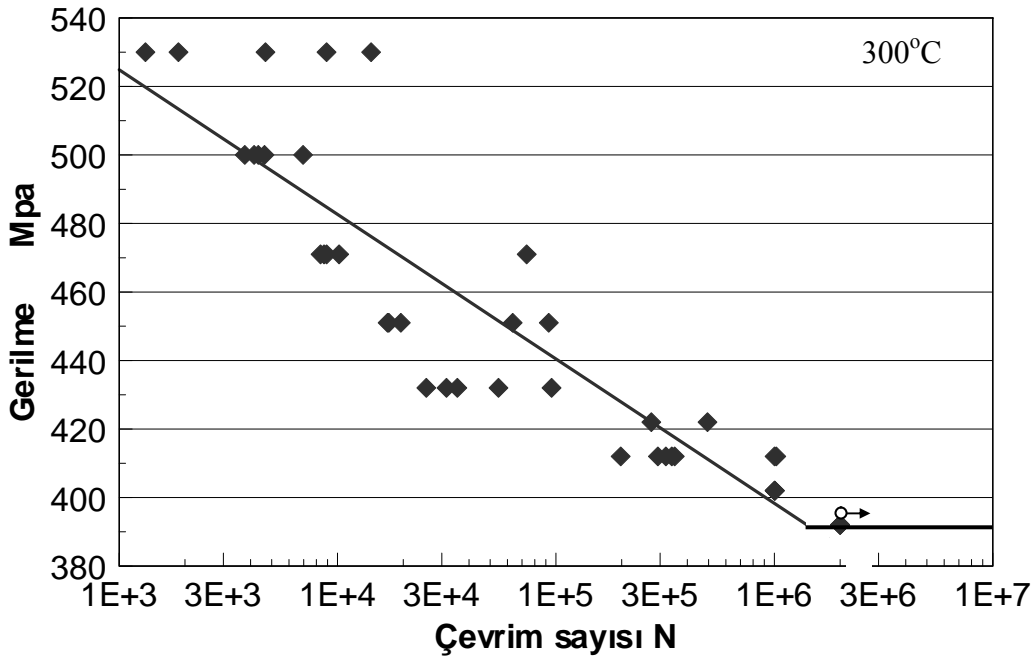
Oda sıcaklığı ile 600°C arasında 2×10^6 çevrim sayısına kadar yapılan deneylerden elde edilen yorulma mukavemeti değerlerinin toplu olarak bir mukayesesi yapılırsa, oda sıcaklığından itibaren 400°C'ye kadar malzemenin 2×10^6 çevrim için yorulma mukavemetinde Şekil 11' de gösterildiği gibi yaklaşık 50 MPa'lık bir azalma tespit edilmiştir. Fakat bu azalma her 100°C için yaklaşık 10 MPa'lık bir azalma olup alaşımsız çeliklere oranla nispeten düşüktür (Fischer vd., 1990). 400°C ile 600°C arasında ilgili çeliğin yorulma mukavemetinde azalma olmamış, yani bu sıcaklıklar arasında yaklaşık 383 MPa'lık gerilme seviyesinde sabit kaldığı tespit edilmiştir. Oda sıcaklığı ile 600°C arasında yorulma mukavemetindeki değişim 400°C ye kadar gibi artan sıcaklık ile azalmış bu durum literatürle uyusmaktadır (Comer, 1990; Fischer vd., 1990; Srinivasa vd., 1991) fakat bu sıcaklıktan sonra azalma durmuştur. Bunun nedeni bu çeliğin bileşiminde V, Mo ve Cr gibi kuvvetli karbür yapıcı elementlerin bulunmasıdır. Bu elementler VC, MoC, Mo₂C, Cr₄C, Cr₇C₃ gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı karbürler oluşturarak çeliğin yüksek sıcaklığa dayanımını artırır.

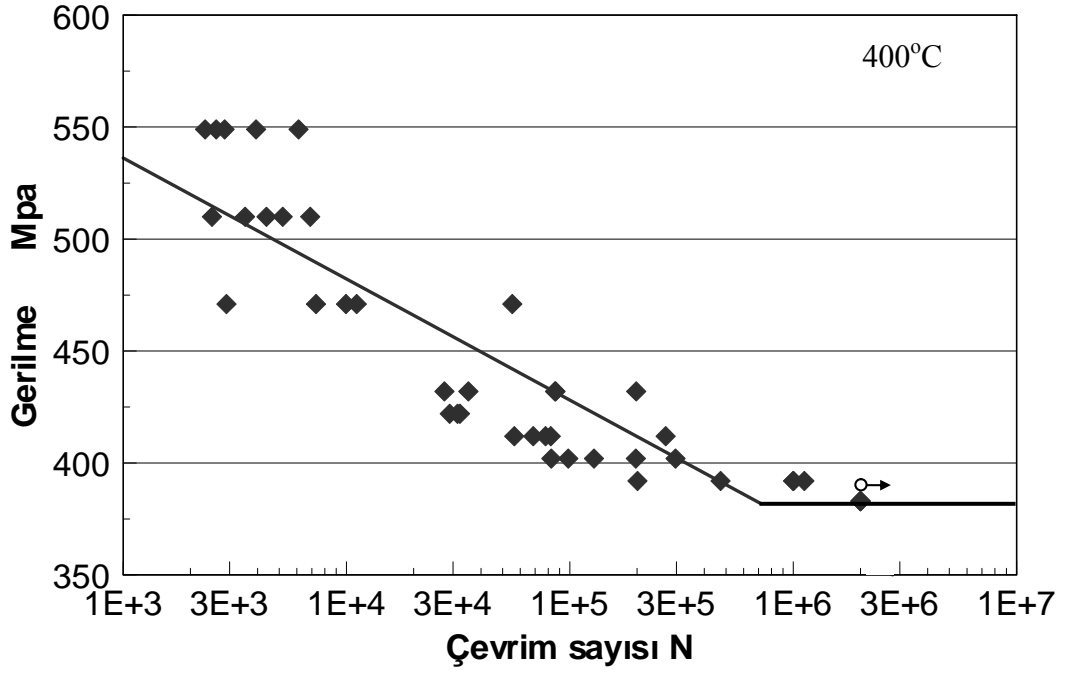
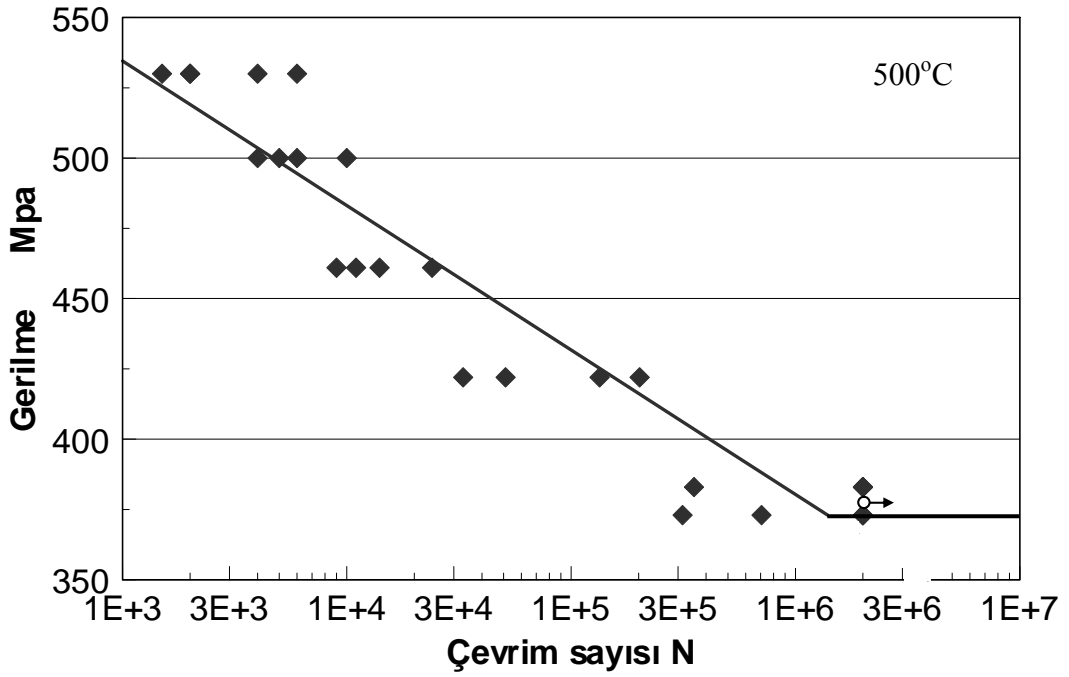
İlgili malzemenin yorulma mukavemeti akma sınırına yakın oluşmaktadır. Bu durum aksel çekme ile elde edilen akma sınırı ve çekme mukavemetinin eğme yüklemesi sonucu elde edilen akma sınırı ve çekme mukavemetinden daha düşük olmasına bağlanmaktadır. Zira Çizelge 3 de verilen akma değerleri aksel çekme ile elde edilmiş değerlerdir. Literatürde (Shigley, 1986) SAE 4340 çeliği için verilen aksel çekme gerilmesi 799 MPa ve yorulma mukavemeti 338 MPa iken, eğme sonucu elde edilen çekme gerilmesi 965 MPa ve yorulma mukavemeti 489 MPa olarak verilmiştir. Yapılan deneylerde malzemeye uygulanan yükleme dönen eğmeli bir yükleme şekli olup elde edilen değerler literatüre uyumludur.

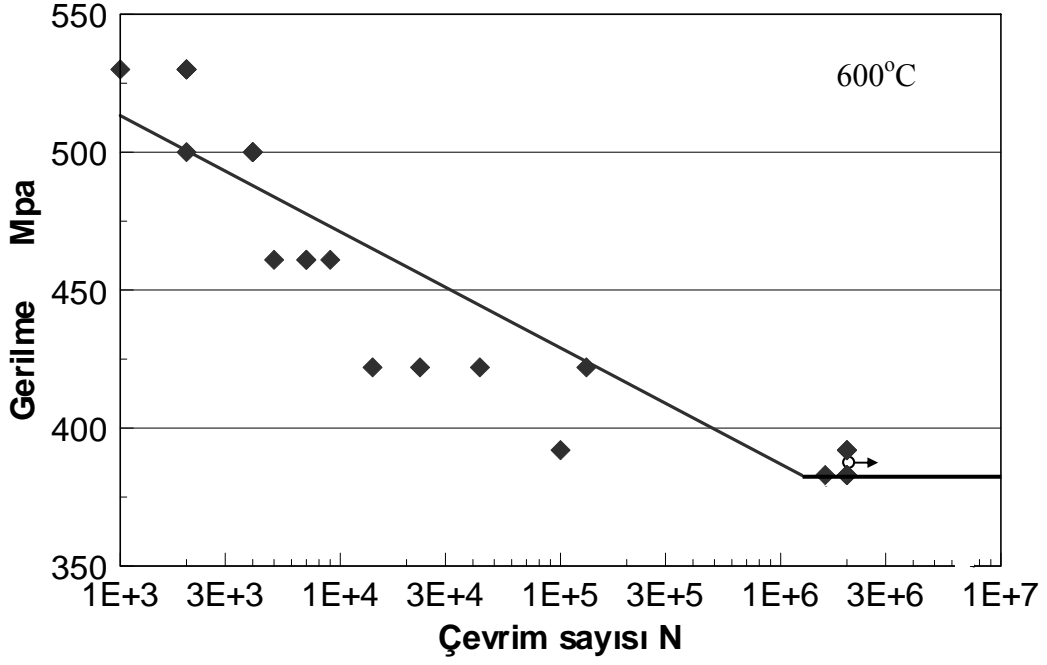
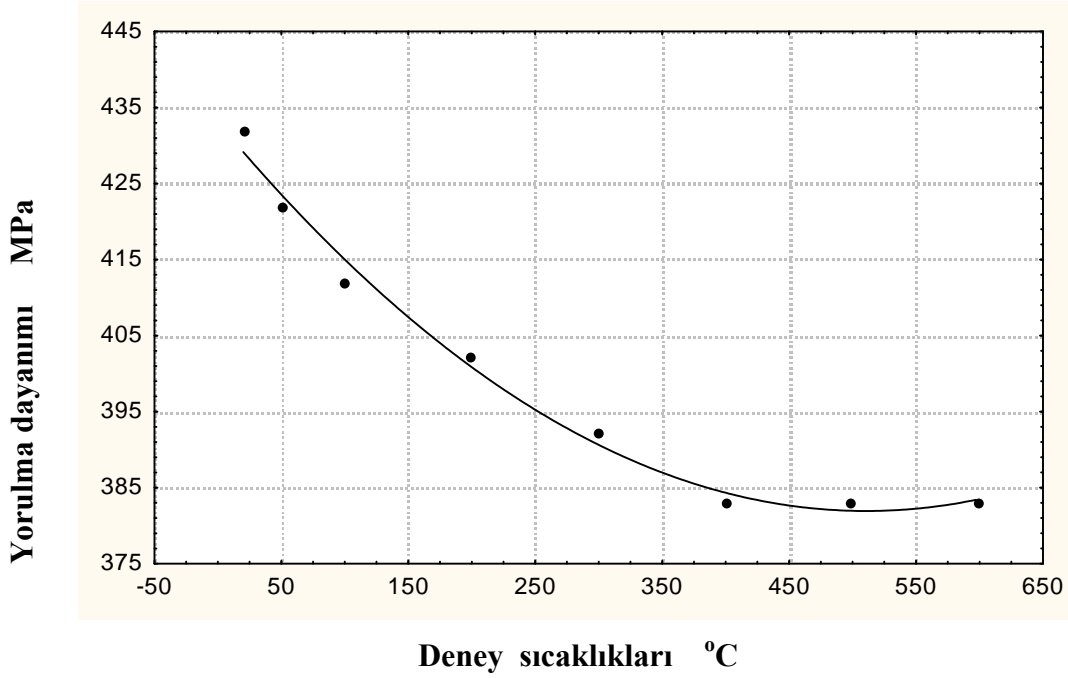


Şekil 3. 20°C de yapılan yorulma deneyi σ -N eğrisi

Şekil 4. 50°C de yapılan yorulma deneyi σ -N eğrisiŞekil 5. 100°C de yapılan yorulma deneyi σ -N eğrisi

Şekil 6. 200°C de yapılan yorulma deneyi σ -N eğrisiŞekil 7. 300°C de yapılan yorulma deneyi σ -N eğrisi

Şekil 8. 400°C de yapılan yorulma deneyi σ -N eğrisiŞekil 9. 500°C de yapılan yorulma deneyi σ -N eğrisi

Şekil 10. 600°C de yapılan yorulma deneyi σ -N eğrisiŞekil 11. X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin oda sıcaklığı ile 600°C arasındaki sıcaklıklarda 2×10^6 çevrim için yorulma mukavemetinin sıcaklıkla belirlenen değişimi.

Çizelge 3. 20-600°C arasında yapılan yorulma deneylerinden elde edilen yorulma mukavemeti değerleri.

| Gerilme MPa | YORULMA MUKAVEMETİ SINIRLARI °C | | | | | | | |
|-------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
| 432 | 2x10 ⁶ + | | | | | | | |
| 422 | | 2x10 ⁶ + | | | | | | |
| 412 | | | 2x10 ⁶ + | | | | | |
| 402 | | | | 2x10 ⁶ + | | | | |
| 392 | | | | | 2x10 ⁶ + | | | |
| 383 | | | | | | 2x10 ⁶ + | 2x10 ⁶ + | 2x10 ⁶ + |
| 373 | | | | | | | | |

5. SONUÇLAR

Oda sıcaklığı ile 600°C arasında uygulanan yorulma deneylerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1- Oda sıcaklığında X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin yorulma mukavemeti 432 MPa bulunmuştur.
- 2- Yapılan deneylerde malzemenin 2x10⁶ çevrime kadar kırılmadan taşıyabileceği en yüksek gerilme değeri 50°C de 422 MPa, 100°C de 412 MPa, 200°C de 402 MPa, 300°C de 392 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değerler çelik sertleştirilip menevişlendiğinde artırılabilir.
- 3- Oda sıcaklığından itibaren 400°C ye kadar 2x10⁶ çevrimde yapılan deneylerde malzemenin yorulma mukavemetinde yaklaşık 50 MPa, değerinde bir azalma tespit edilmiştir. 400°C ile 600°C arasında ilgili çeliğin yorulma mukavemetinde azalma olmamış, bu sıcaklıklar arasında yaklaşık 383 MPa'lık gerilme seviyesinde lineer bir ilişki tespit edilmiştir. Bu durumda X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin yorulma mukavemetinin oda sıcaklığı ile 400°C arasında bir miktar azaldığı fakat 400°C ile 600°C arasında yaklaşık sabit kaldığı kabul edilebilir.
- 4- X40CrMoV 5 1 sıcak iş takım çeliğinin 400°C, 500°C ve 600°C sıcaklıkları arasında kırılmadan taşıyabileceği en yüksek gerilme değeri olarak 383 MPa, bulunmuştur.
- 5- Sıcaklıkla yorulma dayanımındaki düşme alaşimsız çeliklere göre çok azdır. Bunun edeni incelenen çeliğin bileşiminde Mo, V ve Cr gibi kuvvetli karbür yapıcı elementlerin varlığıdır. İç yapıda oluşan bu karbürler, çeliğin yüksek sıcaklıktaki mukavemetinin fazla oranda düşmesini engeller.

KAYNAKLAR

- Avner S. H. (1986): In: Introduction to Physical Metallurgy, McGraw-Hill
 Bashu S.A., Sing K., Rawat M. S. (1990): Materials Science and Engineering, A127.
 Brown M.W., Miller K.J. (1981): Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, 19 (4) 202.
 Collins J.A. (1981): In: Failure of Materials in Mechanical Design, John Wiley and Sons, New York.

- Comer J., Handrock J. (1990): In: Fundamentals of Metal Fatigue analysis, Prentice- Hall Inc., New Jersey.
- Dobrzansk L.A, Mazurkewicz J., Hajduczek E., Madejski J. (2001): Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113, 527.
- Fischer F.D., Rammerstorfer F.G. (1990): Metallurgical Transactions A, 21A, 935.
- Jiang O.C., Fang J.R.,Guan Q.F.(2001): Scripta Materialia, 45, 199 .
- Okazaki M., Yada T., Endoh T. (1989): Nuclear Engineering and Design, 111, 123.
- Sakane M., Ohnami M., Sawada M. Journal of Engineering Materials and
- Shigley J. E. (1987) In: Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, London, 1986.
- Technology, Transactions of the ASME, 109, 7, 236.
- Srinivasan V.S., Sandhya R., Rao K. B. S., Mannan S. L., Raghavan K. S. (1991): Int J Fatigue 13 (6) 471.
- Swanson R.S. (1974): Handbook of Fatigue Testing, ASTM, 4.
- Tauscher H. (1974): In: Fatigue Metal Fatigue, Oxford University Press, Belfast.
- Wenping J., Molian P. (2001): Surface and Coating Technology. 135, p139.