

AISI 1045 ÇELİĞİNİN DÜZ VE FRETİNG YORULMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNDE İNDÜKSİYONLA SERTLEŞTİRMENİN ETKİSİ

Recep SADELER, Ahmet Bilal ŞENGÜL, Ayhan ÇELİK ve Yaşar TOTİK

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ERZURUM

ÖZET

Fretting, temas eden iki eleman arasında meydana gelen küçük genlikli titreşimli bir kayma olayıdır. Fretting'e genellikle titreşim neden olur, fakat temas halinde olan elemanlardan birinin yorulma yüklemesine maruz kalması da fretting'e sebep olabilir. Fretting'de gözlenen aşınma ve yorulma çatlaklarının oluşumu, yüzey şartlarından kuvvetli bir şekilde etkilenir. İndüksiyonla sertleştirme işlemi, hem yerel sertliği artıran hem de yüzeyde bası artık gerilmelerinin oluşumunu sağlayan temel bir yüzey sertleştirme işlemidir.

Bu çalışmada, endüstriyel uygulamalarda shaft ve dişli imalatında çok yaygın kullanılan AISI 1045 (C45) çeliğine uygulanan indüksiyonla yüzey sertleştirme işleminin, düz yorulma (fretting etkisi yok) ve 100 MPa kontak basıncı altında fretting yorulma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, indüksiyonla sertleştirilmiş AISI 1045 çeliğinin düz ve fretting yorulma davranışlarında, işlemsizlerle karşılaştırıldığında, çok ciddi iyileşmelerin elde edildiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Fretting yorulması, indüksiyonla sertleştirme, yorulma

INFLUENCE OF INDUCTION HARDENING ON FRETTING FATIGUE BEHAVIOUR OF AISI 1045 STEEL

ABSTRACT

Fretting involves contact between surfaces undergoing small cyclic relative tangential motion. In general, vibration causes the fretting, but one of components contacting subjected to fatigue loading also causes the fretting damage. The resultant wear and initiation of fatigue cracks are strongly influenced by the nature of the surface. The induction hardening treatment is an established surface hardening treatment which produces both local hardness and the development of compressive stresses in the surface.

The present investigation is designed to assess the effect of the induction hardening treatment on the plane (without fretting) fatigue and fretting fatigue behaviour of AISI 1045 steel, which is widely used in industry for producing shaft and gear, under 100 MPa contact pressure. The results showed that the plain and fretting fatigue behaviours of induction hardened AISI 1045 steel were significantly improved compared to untreated.

Keywords: Fatigue, Fretting fatigue, Induction hardening

1. GİRİŞ

Fretting, temas eden yüzeyler arasında titreşim veya elemanlardan birinin yorulma yüklemesine maruz kalmasından dolayı oluşan titreşimli bir kayma olayıdır ve genellikle 30 μm 'den daha küçük olan gerilme genliklerine sahiptir. Fretting, aşınma prosesi ile malzeme kaybına neden olur, mühendislik bakış açısından fretting'in önemi ise yorulma çatlaklarının erken oluşmasına neden olmasıdır. Bundan dolayı, modern endüstrinin vebası olarak göz önüne alınan fretting, pek çok endüstri kolunu etkiler.

Fretting yorulması pek çok değişkeni ihtiva eden karmaşık bir olay olduğu için fretting yorulmasına maruz kalan elemanların davranışını tahmin etmek oldukça zordur. Göz önüne alınan sistemlere bağlı olarak, fretting yorulma çatlağının oluşma ve yayılma safhaları, toplam yorulma ömrünün değişen yüzdelere kapsar. Yorulma ömrünün ilk safhasında fretting yorulma çatlağının başladığı elemanlar için, çatlak yayılması toplam yorulma ömrünün önemli bir kısmını oluşturur ve fretting yorulma ömrü yalnızca çatlak yayılma modelleri ile tanımlanır.

Birçok çalışmada kontak basıncındaki artışın yorulma ömründe düşüşe neden olduğu rapor edilmiştir [1]. Bununla beraber, yapılan birkaç çalışmada ise belli bir kontak basıncı değerinde fretting yorulma ömrünün minimum bir değere ulaştığı ifade edilmiştir [2,3].

Mühendis ve malzeme bilimcileri, fretting yorulması yüzey ile ilgili bir konu olduğu için, sert ve aşınma direnci yüksek yüzeylerin fretting hasarını azaltıcı etkiye sahip olduğuna inanırlar. Bu yüzden, geçmişte malzemenin fretting yorulma dayanımını artırmak için temas yüzeylerinin özelliklerini değiştirecek pek çok yöntemi uygulamak için çaba sarf etmişlerdir. Fretting hasarını azaltmak için kullanılan pek çok yüzey modifikasyon metodu vardır [4].

Temas yüzeyinin durumu ve şartları, fretting hasarına karşı hassasiyeti belirleyen önemli faktörlerdir [5]. Mevcut değişik yüzey teknikleri arasında, indüksiyonla sertleştirilmiş düşük alaşımlı orta karbonlu çelikler, kritik otomotiv ve makine parçalarının (tahrik milleri, krank milleri vb.) tribolojik ve düz yorulma (fretting şartı yok) özelliklerini artırmak için yaygın olarak kullanılır. Bununla beraber, düz yorulma davranışı üzerinde indüksiyonla sertleştirmenin etkisi hakkında pek çok çalışma varken [6], değişik kontak basınçları altında fretting hasarının azaltılması için indüksiyonla yüzey sertleştirmenin etkisini kapsayan çalışma yok denecek kadar azdır.

İndüksiyonla sertleştirme işlemi, hem yerel sertliği artıran hem de yüzeyde bası artık gerilmelerinin oluşumunu sağlayan temel bir yüzey sertleştirme işlemidir. İndüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi, kimyasal bileşimi etkilemeden malzemenin mekanik özelliklerini değiştirir. Söz konusu işlemde, frekans, güç ve ısıtma süresi gibi parametreler üzerinde gerekli ayarlamalar yapılarak istenilen sertlik ve sertleşme tabakası kalınlığı kolaylıkla kontrol edilebilir. Sertlik ve sertleşme tabakasının kontrol edilebilmesi, diğer yöntemlere göre indüksiyonla sertleştirmenin en büyük avantajıdır.

Bu çalışmada, endüstriyel uygulamalarda shaft ve dişli imalatında çok yaygın kullanılan AISI 1045 (C45) çeliğine uygulanan indüksiyonla yüzey sertleştirme işleminin, düz yorulma (fretting etkisi yok) ve 100 MPa kontak basıncı altında fretting yorulma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, indüksiyonla sertleştirilmiş AISI 1045 çeliğinin düz ve fretting yorulma davranışlarında, işlemsizlerle karşılaştırıldığında, çok ciddi iyileşmelerin elde edildiğini göstermiştir.

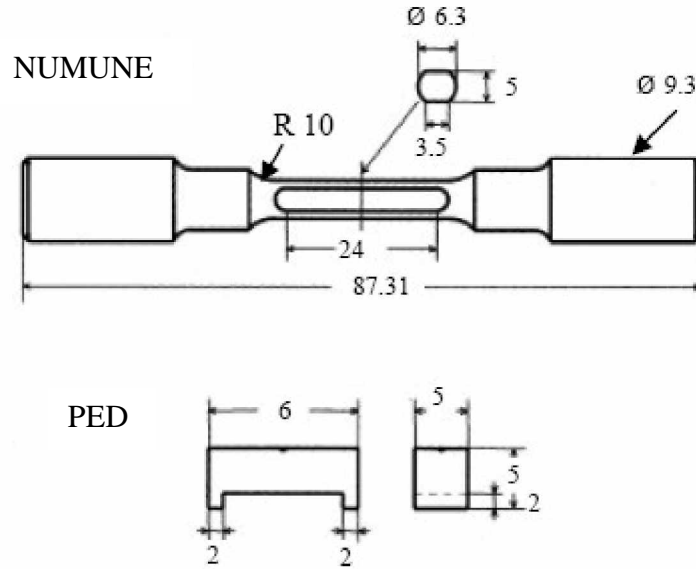
2. DENEYSEL YÖMTEMLER

Bu çalışmada dişli ve şaft imalatında yaygın olarak kullanılan AISI 1045 (C45) çeliği kullanılmıştır. Yapılan spektrometre analiz raporuna bağlı olarak, malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1’de gösterilmiştir.

Çizelge.1. AISI 1045 çeliğinin kimyasal bileşimi

Kimyasal kompozisyon (ağırlıkça %)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
AISI 1045	0,4220	0,2440	0,6070	0,0190	0,0330	0,1970	0,0332	0,1220

Bu çalışmada kullanılan düz ve fretting yorulma numuneleri, 12 mm çapa soğuk çekilmiş, silindirik AISI 1045 çelik malzemeden elde edilmiştir.



Şekil 1. Fretting yorulma numunesi ve kontak pabucu (Boyutlar mm’dir)

Freting çalışmalarında tercih edilen en yaygın kontak türlerinden biri, düz yüzey üzerinde-düz yüzey (flat-on-flat) temasıdır. Bu, numunenin paralel iki yüzeye sahip olması anlamına gelir. Dairesel kesite sahip numunelerde paralel yüzey elde etmek için, numunenin her iki tarafı freze tezgahında işlenerek tasarlanan kalınlık ölçüsüne getirilmelidir. Bu çalışmada kullanılan fretting numuneleri, yukarıda ifade edilen özellikler göz önüne alınarak Şekil 1’de gösterilen ölçü boyutlarında hazırlanmıştır. Düz yorulma deney numuneleri için, 40 mm.lik ölçü uzunluğu ve 6.3 mm.lik çap dışındaki diğer bütün boyutlar, fretting numunesi ile aynı olacak şekilde işlenmiştir.

Bu çalışmalarda en yaygın olarak kullanılanı, uygulamadaki kontak geometrilerini en iyi yansıtan köprü tipi (bridge type) kontak pabucudur. Bu çalışma için seçilen köprü tipi kontak pabucunun geometrik boyutları Şekil’de gösterilmiştir. Pabuç malzemesi olarak, düz ve fretting numunelerinde olduğu gibi AISI 1045 çeliği seçilmiştir.

Fretting yorulma davranışı üzerinde temas yüzeylerinin durumunun önemli bir etken olduğu bilinmektedir. Bu yüzden, fretting yorulma numuneleri ve köprü tipi kontak pabuçlarının temas yüzeyleri mekanik olarak parlatıldı. Bu işlem 800-1200 arasındaki kumlu su zımparası ile gerçekleştirildikten sonra, söz konusu yüzeyler aseton ile temizlendi.

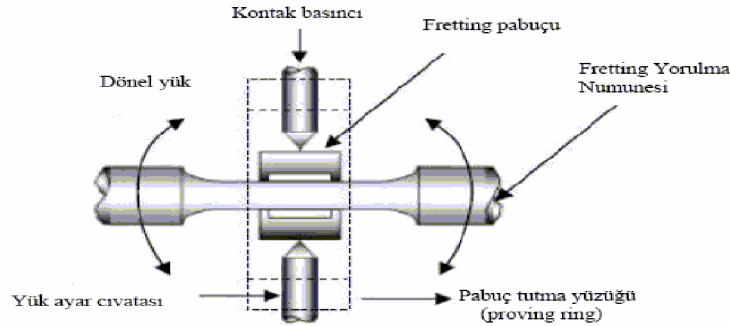
Bu çalışmada, indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi için seçilen işlem parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Su verme işleminde soğutma ortamı olarak su kullanılmıştır. İndüksiyonla yüzey sertleştirme işleminden sonra, yeterli tokluk elde etmek için temperleme uygulanmamıştır.

Çizelge .2 Çalışma için seçilmiş indüksiyonla yüzey sertleştirme işlem parametreleri

Numune	Frekans	Güç	Isıtma süresi	Sıcaklık
	[kHz]	[kW]	[s]	[°C]
AISI 1045	450	20	6	850

Bu çalışmadaki düz ve fretting yorulma deneyleri, 4000 dev/dak dönme hızında döner eğilmeli yorulma test ($R=-1$) gerçekleştirildi.

Bu çalışmada kullanılan fretting ünitesinde, bir deney halkası (proving ring) kullanılarak numunenin köprü tipi fretting pabuçlarıyla sıkıştırılması sağlanmıştır. Daha sonra numuneye yorulma yükleri uygulanır. Köprü tipi kontak pabuç uygulamasında, her bir pabuç için iki kontak bölgesi oluşur. Yorulma yükleri numunede bası çeki olarak değişen bir şekil değiştirme oluşturur. Uygulanan yük sürtünme yoluyla pabuçlara nakledilir. Bu durum pabuçlarda da bası çeki olarak değişen bir şekil değiştirme oluşturur. Sonuç olarak, numune üzerindeki şekil değiştirmeler, kontak pabuçlarında oluşan şekil değiştirmelerden daha büyüktür. Bu yüzden oluşan şekil değiştirmeler ve kontak noktasındaki bağıl kayma, numune ve pabuçlar arasında uyumsuz bir eşleşme oluşturur. Genellikle iki kontak yüzeyi arasındaki kaymanın düzgün bir şekilde dağıldığı varsayılır. Bu çalışmada kullanılan fretting test sistemi şematik olarak Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Fretting yorulma test sisteminin şematik çizimi.

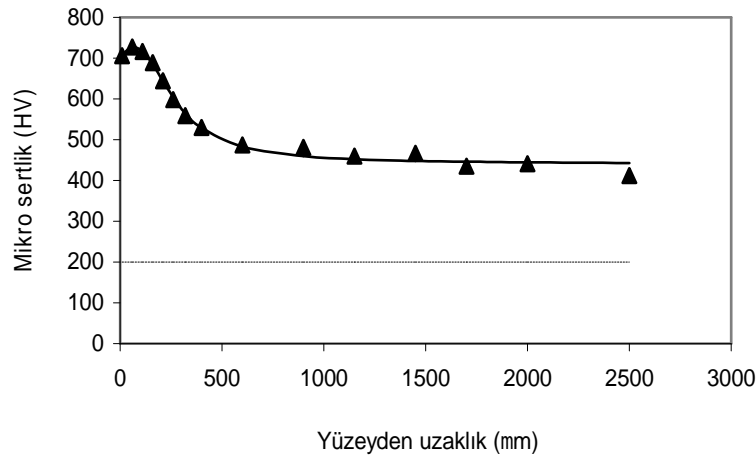
Yorulma limiti, göz önüne alınan bütün numunelerin 3.10^6 çevrimde kırılmadığı gerilme değerleri olarak alınmıştır. Yorulma limitleri, stair case metodunu ihtiva eden JSM S002 standardı kullanılarak elde edilmiştir. İndüksiyonla yüzey sertleştirme işleminden sonra,

örnek numunelerde sertlikler PC kontrollü Buehler-Omnimet ile ölçüldü. Ayrıca metalografik işlemlerle yüzey özellikleri tanımlandı.

3. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

3.1. İndüksiyonla Sertleştirme işlemi ile Elde Edilen Sertlik Dağılımı

İndüksiyonla yüzeyi sertleştirme işleminden sonra, numune kesit alanı üzerindeki sertlik ölçümleri PC kontrollü Buehler-Omnimet cihazı ile yapıldı. Isıl işlemsiz malzemenin sertliği yaklaşık 200 Hv olarak ölçüldü. Sertleştirilmiş numunenin frettinge maruz bölgesinin kesitindeki sertlik dağılımı Şekil 3’ de verilmiştir.



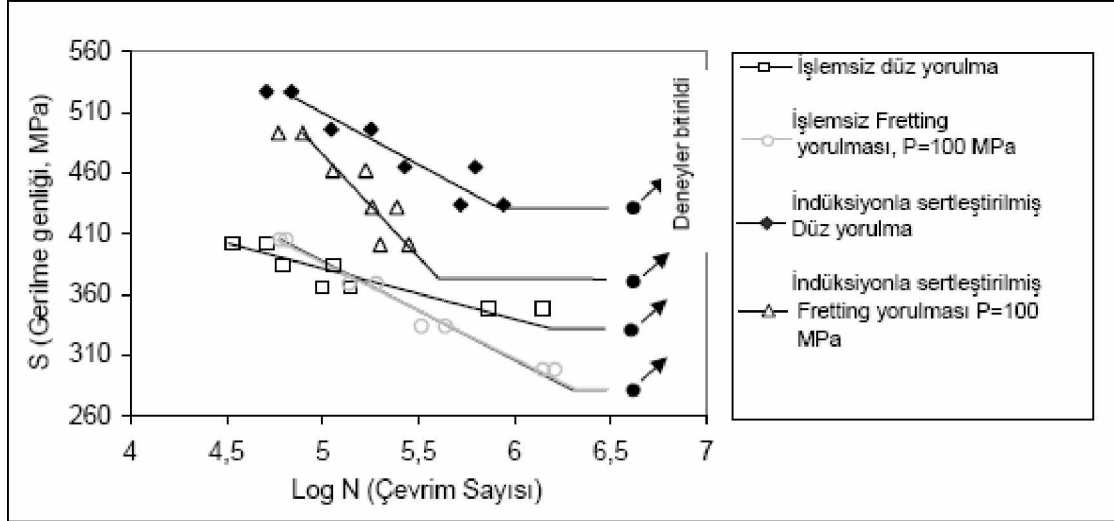
Şekil 3. Fretting yüzeyinden itibaren mesafe ile sertlik arasındaki ilişki.

Sertleştirme işleminden sonra numune yüzeyindeki sertlik değeri HV 702, maksimum sertlik yüzeyden 0.06 mm mesafede yaklaşık olarak HV 726 olarak ölçüldü. Sertlik değerlerindeki değişimin temel nedeni, martenzit yapının tamamen oluşmamasıdır. Toplam sertleşme derinliği ile efektif sertleşme derinliğinin (effective case depth) (ECD) ayırt edilmesi de bir diğer önemli konudur. Çoğu zaman etkin sertleşme derinliği, toplam sertleşme derinliğinin yaklaşık % 65 dir. Bu çalışmada efektif sertleşme derinliği 1.6 mm dir. Bu tanıma göre, ECD'nin numune yarıçapına oranı olarak ifade edilen sertleştirme oranı (HR), 0.64 değerine karşılık gelmektedir.

3.2 İndüksiyonla Sertleştirme işleminin Düz ve Fretting Yorulmasına Etkisi

P= 100 MPa kontak basıncı altında, benzer malzemelerin kontağı durumunda AISI 1045 çeliğinin fretting yorulma davranışları üzerinde indüksiyonla sertleştirmenin etkisi, döner eğilmeli yükleme durumu için araştırıldı. Bu çalışmada fretting yorulma limiti ve ömründeki değişimin belirlenmesi, düz ve fretting numunelerinden elde edilen S-N (Wöhler) diyagramlarının elde edilmesi ile mümkündür. Bu çalışmada sonsuz yorulma ömür sınırı 3×10^6 çevrim olarak alındı. JSME 002-1981 standart istatistiksel metodu kullanılarak göz önüne alınan durumlar için S-N eğrileri tespit edildi. Eğimli bölge için dört gerilme genlik seviyesinde toplam sekiz numune (%50 kırılma ihtimaliyle) ve yatay bölüm için stair case metodu ile [7, 8] toplam altı numune olmak üzere bir S-N eğrisi için toplam on dört numune kullanıldı [8, 9].

Göz önüne alınan durumlar için elde edilen S-N eğrileri Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. AISI 1045 çeliğin düz yorulma ve fretting yorulma testlerinden elde edilen S-N eğrileri

İndüksiyon işlemi uygulanmamış malzemenin yorulma limiti 332 MPa olarak bulundu. İndüksiyonla sertleştirilmiş numuneler için ise yorulma limiti 431 MPa olarak tespit edildi. Bu sonuç indüksiyonla sertleştirilmiş numune ile karşılaştırıldığında indüksiyonla sertleştirmenin yorulma limitinde önemli bir artış sağladığını göstermektedir. Bu artış, çeliklerde indüksiyonla sertleştirme işleminin, yüzey sertliğini artırmasının ve yüzeyde bası artık gerilmeleri oluşturmasının bir sonucudur. Her iki faktör, yorulma çatlak başlaması ve yayılmasına karşı bir direnç oluşturur. Benzer çalışmalardan çok iyi biliniyor ki, indüksiyonla sertleştirme işlemi sonucu oluşan bası artık gerilmelerinin değeri, ana malzemenin akma dayanımına ulaşmaktadır.

Bilindiği üzere, düz yorulmada (fretting'siz), yüzey bölgesinde dinamik kayma gerilmelerinin etkisi ile meydana gelen dislokasyon hareketinin sebep olduğu çatlak oluşumu, yorulma ömrünün önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Yüzey bölgesinin mukavemetinin artırılması, söz konusu bu dislokasyon hareketini zorlaştırır ve çatlak oluşumu geciktir. Dolayısıyla da malzemenin yorulma mukavemeti artar. Bununla birlikte indüksiyonla sertleştirme işleminin oluşturduğu bası artık gerilmeleri, maksimum değişken bileşke gerilmenin yüzeyle merkez arasında yüzey altında bir bölgeye ötelenmesine neden olur [10]. Bu durum yüzeydeki gerilmenin, uygulanan gerilmeye göre daha düşük olmasına neden olacaktır.

İndüksiyon işlemi uygulanmamış numunede P=100 MPa kontak basıncında, yorulma limitinin değeri fretting'in etkisiyle 332 MPa dan 282 MPa'a düşmektedir. Düz yorulma davranışında olduğu gibi, indüksiyonla sertleştirme işlemi fretting yorulma davranışı üzerinde de olumlu etkiye sahiptir. İndüksiyonla sertleştirme işlemi uygulanmamış numunelerde görülen duruma benzer olarak, fretting hasarı indüksiyonla sertleştirilmiş olan numunede 100 MPa kontak basıncında fretting yorulma limitini 431 MPa'dan 373 MPa'a indirmiştir.

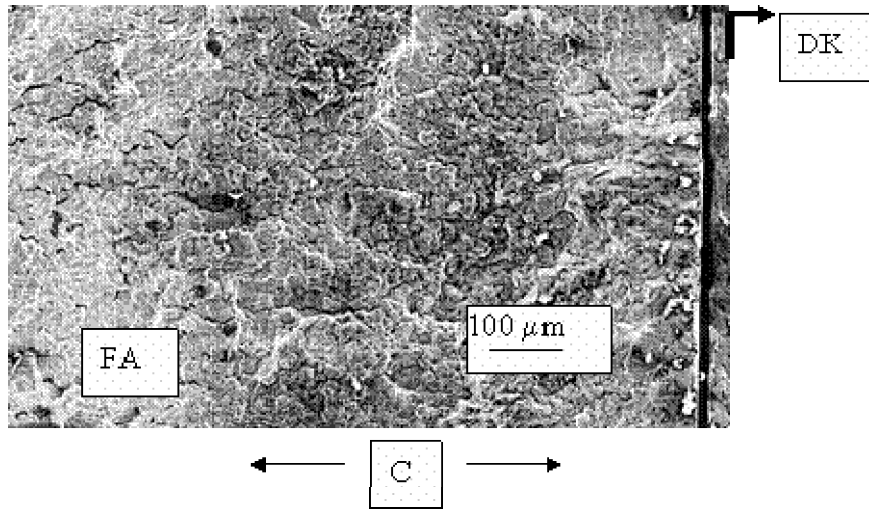
Kontak yüzeyinde sürtünme kayma gerilmesinin lokal olarak yoğunlaştığı bölgede, fretting yorulma çatlaklarının oluştuğu ifade edilmektedir. Bu yüzden, fretting hasarının sebep olduğu yorulma ömründeki azalma, fretting'in sebep olduğu lokal gerilme konsantrasyonunun meydana getirdiği çatlak başlama ömründeki azalmanın sonucudur diye kabul edilir [11]. Fretting ile oluşan ilk çatlağı hızlandıran temel mekanizmalardan biri de, aşınma debris'lerinin küçük fretting çatlaklarının arasına sıkışmasının sonucu olan kenar

etkisidir[12]. Bununla birlikte, çatlak tamamen aşınma debrisleriyle dolarsa, o zaman aşınma debrisleri çatlak içine artık daha fazla ilerleyemediğinden, söz konusu etki azalır.

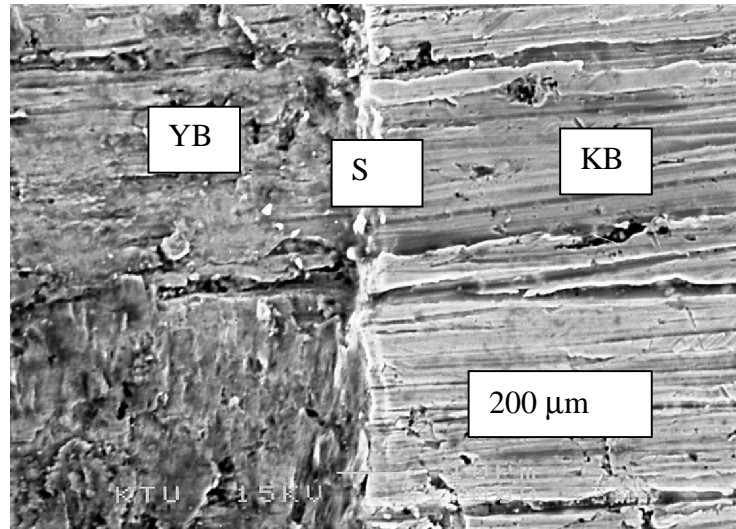
Fretting yorulma ömründe indüksiyonla sertleştirmenin etkisi dikkate alındığında, fretting davranışını geliştiren ana mekanizmalar; Düz yorulmada olduğu gibi, ısıtılma sonucu oluşan sertlik ve artık gerilmelerdir. İndüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi sonucu, yüzey tabakasında oluşan bası artık gerilmeleri, fretting'in hasara sebep olan etkisini hafifleten belki de en etkili faktördür. Bası artık gerilmeleri, ortalama gerilme gibi etki ederek, efektif gerilme yoğunluk faktörünü azaltıp, çatlak yayılmasını önlemektedir.

3.3. Fretting Yorulmasından Temas Bölgesinin Morfolojisi

İndüksiyonla sertleştirme işlemi uygulanmamış numunelerin fretting yorulma deneyinden sonraki temas yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 5' de verilmiştir.



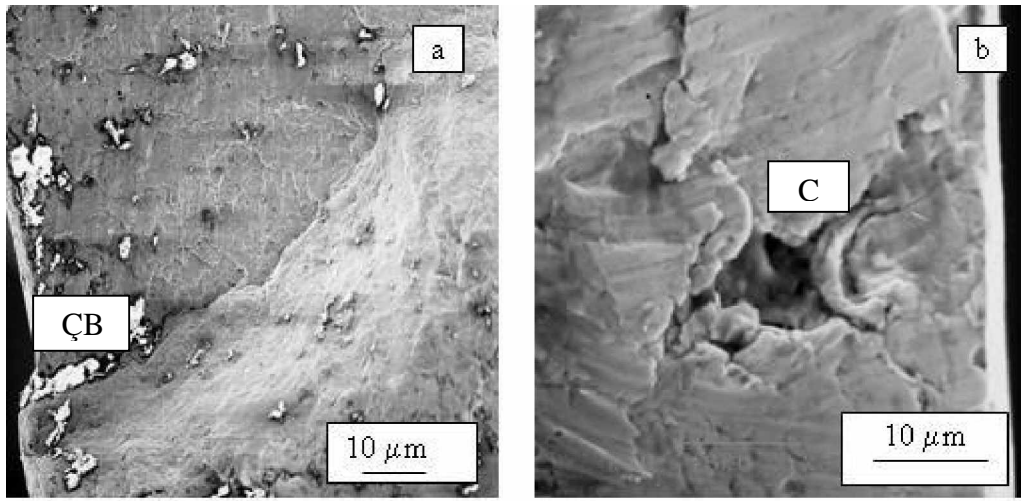
Şekil 5. (a) $P = 100$ MPa 'da İndüksiyonla sertleştirme işlemi uygulanmamış Fretting yorulma numunelerinin, temas bölgelerinin SEM görüntüleri; FA: Fretting bölgesi, DK: Dış Kenarlar, C: Dinamik yükleme doğrultusu



Şekil 6. Isıtılma işlemisiz 100 MPa kontak basıncında fretting izi (scar)'nin SEM görüntüsü. YB: Yapışma bölgesi, KB: Kayma bölgesi, S: kayma yapışma bölge sınırı.

Muhtemelen aşınma kalıntı (debris)'lerinin oluşumu ve uzaklaştırılmasından dolayı, kayma bölgesinde etki eden net kontak basıncı, ortalama kontak basıncından daha düşüktür. Diğer taraftan yapışma bölgesinde, gerçek kontak alanı küçüldüğünden net kontak basıncı muhtemelen ortalama kontak basıncından daha yüksektir. Böylece, yapışma bölgesinde net sürtünme gerilmesi ortalama değerden daha büyük, kayma bölgesinde ise daha düşüktür. Bu yüzden, kayma ve yapışma bölgeleri arasındaki sınır civarında gerilme yığılması oluşur ve çatlak kolayca başlayabilir [13].

İndüksiyonla sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş düz (frettingsiz) yorulma numuneleri için çatlak başlangıç bölgelerinin ve civarının SEM görüntüleri, Şekil 7'de verilmiştir. İndüksiyonla sertleştirme işlemi uygulanmamış yorulma numunelerinde çatlak yüzeyden başlama eğilimindedir (Şekil 4.7a). İndüksiyonla sertleştirilmiş yorulma numunesinde ise çatlak yüzey altında başlama eğilimindedir (Şekil 7).



Şekil 7 (a) $\sigma = 402$ MPa, indüksiyonla sertleştirilmemiş ve (b) $\sigma = 442$ MPa indüksiyonla sertleştirilmiş yorulma deney numuneleri için çatlak başlangıç bölgelerinin SEM görüntüleri.
ÇB: Çatlak başlangıç bölgesi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

$P=100$ MPa kontak basıncı ve aynı malzemelerin teması için, AISI 1045 çeliğinin fretting yorulma davranışı üzerinde indüksiyonla sertleştirmenin etkisi araştırıldı. Aşağıdaki bulgular elde edildi:

1. Fretting, hem indüksiyonla sertleştirilmiş hem de indüksiyonla sertleştirme işlemi uygulanmamış numunelerin fretting yorulma dayanımlarında ciddi azalmalara neden olmaktadır.
2. İndüksiyonla sertleştirme işlemi, AISI 1045 çeliğinin Düz yorulma ve Fretting yorulma limitlerini önemli miktarda artırmıştır. Bu artış, indüksiyonla sertleştirme işlemi sonucunda malzemenin sertliğini artırıp ve numune yüzeyinde bası artık gerilmelerini oluşturmasından kaynaklanmaktadır. İndüksiyonla sertleştirme işlemi sonucu elde edilen sert yüzey çatlak başlamasına direnç göstermekte ve elde edilen bası artık gerilmeleri ise çatlakın ilerleme hızını azaltmaktadır.

3. Hem indüksiyonla sertleştirilmiş hem de indüksiyonla sertleştirilmemiş numunelerde fretting yorulma çatlakları yapışma ve kayma bölgeleri, fretting yorulmasının ilk safhasında oluşmuştur. Ardından çatlak belirli bir derinliğe ulaştıktan sonra, çatlak büyümesi düz yorulma çatlaklarında gözlemlendiği gibi yayılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Waterhouse, R.B. and Bethune, B., 1968. "Electrochemical studies of fretting corrosion" *Wear*, 12, 27.
2. Lee, S.K.-Nakazawa, K.-Sumita, Maruyama, N., 2000. In: *Fretting fatigue: current technology and practices*, ASTM STP 1367, Eds: Hoepfner, D.W., Chandrasekaran, V., Elliott III CB., American Society for Testing and Materials, sayfa 199.
3. N.K. Ramakrishna Naidu and S. Ganesh Sundara Raman 2005. "Effect of contact pressure on fretting fatigue behaviour of Al-Mg-Si alloy AA6061" *International journal of fatigue* volume 27, issue 3, sayfa 283-291
4. Li P. and J. A. Todd., 1988. "Application of a New Model to the interphase Precipitation Reaction in Vanadium Steels", *Metallurgical Transactions A*, (19), 2139-2151.
5. Waterhouse, R.B. and Trowsdale, A.J., 1992. "Residual Stress and Surface Roughness in Fretting Fatigue," *Journal of Physics D: Applied Physics*, 25, 1A, sayfa 236- 239.
6. Bertini L. And Fontanari V., 1999. Fatigue behaviour of induction hardening notched components. *International Journal of Fatigue*, sayfa 611 - 617
7. Sheng-Kuei Lin, Yung-Li Lee, Ming-Wei Lu., 2001. "Evaluation of staircase and accelerated test methods for fatigue limit distribution", *International journal of fatigue*, sayfa 75 – 83.
8. Gope P.C. 1999 "Determination of sample size for estimation fatigue life by using Weibull or log-normal distribution" *International journal of fatigue* sayfa 745-752.
9. Nakazawa H. And Kodama S., 1985. "Statistical S – N Testing method with 14 specimens: JSME Standard method for determination of S – N curves"
10. Bell, T.-Loh, N.L: 1982. *J. Heat Treat.*, 232.
11. Sumita, H.-Nakazawa, K.-Hamano, R.-Maruyama, N., 1993. Report of the National Research Institute for Metals, 14, sayfa 207.
12. Antoniou, R.A., Radtke, T.C., 1997. Mechanisms of fretting-fatigue of titanium alloys, *Materials Science and Engineering*, A237, 229-240.
13. Jim O. and Mall S., 2003. "Effects of Slip behavior: experiments and analyses" *Wear* sayfa 671 – 684.