
SAE 4340 Çeliğinde Isıl İşlem Parametrelerinin Yorulma ve Mikro Yapı Üzerine Etkisi

Şevki Yılmaz GÜVEN *¹, Doğancañ ÇELİK²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta

(Alınış / Received: 22.06.2018, Kabul / Accepted: 06.07.2018)

Anahtar Kelimeler

SAE 4340,
Isıl işlem,
Yorulma,
Dönen eğmeli yorulma

Özet: Makine elemanları, fonksiyonlarını yerine getirirken değişken kuvvetlere maruz kalır. Bu kuvvetlerin etkisi ile oluşan gerilmelerin belli bir yük tekrar sayısından sonra, yorulma sonucu genelde yüzeyde oluşan çatlakların ilerlemesi ile makine elemanı kırılarak hasara uğrar.

Makine elemanlarının, yorulma sonucu uğradıkları hasar; yüzey sertleştirme yöntemleri ile yüzeyde sert bir tabaka oluşumu ile önlenabilir. Böylece, çatlak oluşumunun zorlaştırılması veya geciktirilmesi ile parça kullanım ömrü artmış olur.

SAE 4340 çeliği; uçaklarda, otomobil, motor parçalarında, eksantrik ve krank millerinde direksiyon parçalarında, kovanlarda kullanılır. Yüksek tokluk özelliğine sahip ve yüzey sertleştirmeye uygundur. Bu çalışmada, SAE 4340 ıslah çeliğinin yorulma ömrüne, ısıl işlemlerin etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan yorulma numunelerine, su verme işlemi ve farklı sıcaklıklarda temperleme tayı uygulanmıştır. Hazırlanan yorulma numunelerine, dönen eğmeli yorulma deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca, deney malzemesine; çekme deneyleri, sertlik ölçümler ve metalografik incelemeler yapılmıştır. Böylece, deneylerde uygulanan ısıl işlemlerin etkileri incelenmiştir.

Heat Treatment Parameters Effect on Fatigue Strength and Microstructure on SAE 4340 Steel

Keywords

SAE 4340,
Heat treatment,
Fatigue,
Rotating fatigue

Abstract: Machine elements are exposed to variable forces while performing their functions. After a certain number of stresses caused by the effect of these forces, the result of fatigue is usually caused by the progression of the cracks on the surface by breaking the machine element.

The damage caused by fatigue of machine elements prevented by surface hardening methods by forming a hard layer on the surface. Thus, the life of the part is increased with the easing or delaying of the crack formation.

SAE 4340 Steel; Steering parts engine parts camshaft and the crankshaft in automobiles and airplanes, casings are used. High toughness and suitable for surface hardening. In this study, the effect of heat treatment on fatigue life of SAE 4340 reclaimed steel was investigated. Preparation of fatigue samples, quenching process and tempering at different temperatures were applied. For the prepared samples, rotating curved fatigue test were applied. In addition, test material; tensile tests, hardness measurements and metallographic investigations were carried out. Thus, the effects of the heat treatment applied in the experiments have been examined..

1. Giriş

Makine elemanları genellikle dinamik zorlanmalar etkisindedir. Gerilmenin büyüklüğü zamanla değişir. Dinamik zorlanmalar sadece kuvvetin değişken olduğu durumlarda ortaya çıkmaz. Dönen millerde kuvvet sabit olsa dahi değişken zorlanmalar meydana gelir. Bu zorlanmalara maruz kalan makine elemanları, akma dayanımlarının çok altındaki gerilme altında zaman içinde hasara uğrarlar. Değişken zorlanmalar altında makina elemanlarında meydana gelen bu hasar “ yorulma ” olarak adlandırılır. Yorulmada nihai hasar, malzemede içinde oluşan küçük makro çatlakların, değişken zorlanmalar neticesinde zamanla ilerleyerek büyümesi sonucunda ortaya çıkar. Bu olay daha ziyade metalsel malzemelerde gözlenir. Makine elemanlarında yer alan çeşitli süreksizlikler (kama yuvası, fatura, vida dişi, pim deliği, segman yuvası vb. gibi) yorulma hasarını hızlandırıcı etki yaparlar [1].

Yorulmanın keşfi 1800’ lerde birkaç Avrupalı araştırmacı köprü ve demir yolu akslarının tekrarlı yüklemelere maruz kalarak çatlakların oluştuğunu gözlemlemiştir [2].

Yorulma dayanımının babası olarak bilinen demir yolu mühendisi olan August Wöhler 1850 yılında demir yolu aksları üzerinde yorulma araştırması yapmıştır. Bu sorunu araştırmak için sistemli bir dizi deneyler yaparak ve bu deneyden elde ettiği verileri kendi adını veren diyagramda yorumlamıştır [3].

Makine elemanlarının, fonksiyonlarını yerine getirirken, sabit yüklerden başka tekrarlanan ve değişken yüklerin (dinamik) etkisine maruz kaldığı bilinmektedir. Bunun sonucunda elemanlarda değişken gerilmeler meydana gelmektedir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak bir elemanın herhangi bir kesitine ait bir noktasının, minimum değişken gerilme (σ_{min}) ile maksimum değişken gerilme (σ_{max}) arasında devamlı olarak değişken bir gerilme etkisi altında kalması halinde eleman yorulma sonucu kırılarak hasara uğrar. [4].

Endüstride kullanılan bazı makine parçaları ve yapı elemanları kullanım sırasında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmakta; ancak bu gerilmeler malzemenin ya da parçanın statik dayanımından küçük olmasına rağmen, bu durum, belirli bir gerilme tekrarından sonra çatlama ve bunu takip eden kırılma ile hasar meydana gelmektedir. Bu olaya yorulma denir [5]. Çevrim sayısına bağlı olarak yorulma çatlakları, ilerleyerek hasara uğramasına neden olur [6].

Yüzeydeki plastik deformasyonun daha kolay olması, dislokasyonların hareketi yüzeyde girinti ve çıkıntılar oluşturur. Malzeme yüzeyinde girinti ve çıkıntılarının oluşması, yüzeyde yorulma çatlaklarının başlamasına sebep olur. Kayma basamakları tek başlarına bir yorulma çatlakları başlatabilecekleri gibi, yapısal veya

geometrik hatalarla etkileşime girme ile de oluşabilir. [7].

Yorulma, numunenin kendi özelliklerinden de etkilenmektedir. Numunenin işlenmesi esnasında oluşan mikro boşluklar, yüzey kusurları, sıcak ve soğuk deformasyon ile tane yapısında meydana gelen değişiklikler yorulma ömrünü etkiler [8].

Dönen eğmeli yorulma deneyinde parça yüzeyi, tekrarlanan gerilmelerine maruz kalmaktadır. Parça yüzeyi, bir çekme bir basma gerilmelerinin etkisinde kalmaktadır. Yüzeyde sert bir tabakanın oluşmasının, yorulma ömrü üzerine olumlu yönde etkisi olmaktadır[9].

2. Materyal ve metod

Bu çalışmada, numune malzemesi olarak SAE 4340 çeliği kullanılmıştır. SAE 4340 çeliği, ıslah çelikleri sınıfından olup kimyasal birleşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımli imalat çeliğidir. Tablo 1’ de SAE 4340 çeliğinin kimyasal bileşimi verilmektedir. Isıl işlem görmemiş deney numunelerine ve ısıl işlem görmüş numunelere sertlik ölçme, çekme deneyleri, dönel eğmeli yorulma deneyleri ile metalografik incelemeler yapılmıştır.

Deney numunelerine sırası ile uygulanan ısıl işlemler; 860 °C ‘de yağda su vermeden sonra 300 °C-500 °C-600 °C temperleme tavı uygulanmıştır. Yorulma ve sertlik ölçme numunelerine temperleme sıcaklığından sonra bir kısmına havada, diğer bir kısmını da yağda soğutma yapılmıştır. Buradaki amaç temperlemeden sonra soğuma hızının yorulma ömrü üzerine etkisini görmektir.

Tablo 1. SAE 4340 çeliğinin kimyasal bileşimi

C	% 0.39
Si	% 0.20
Mn	% 0.66
P	% 0.008
S	% 0.005
Cr	% 0.72
Ni	% 1.83
Mo	% 0.26

2.1. Deney numunelerine uygulanan ısıl işlemler

Seçilen su verme sıcaklığının ve temperleme sıcaklıklarının yorulma dayanımı üzerine etkilerini araştırmak için su verme sıcaklığı 860 °C olarak seçilmiştir. Su vermeden sonra 300 °C-500 °C-600 °C sıcaklıklarında temperleme tavı uygulanmıştır. Tablo 2 ‘de deney numunelerine uygulan su verme sıcaklığı, soğutma ortamı ve tav süresi, Tablo 3’de ise yağda su

vermeden sonra uygulanan temperleme sıcaklığı ile soğutma ortamı ve tav süresi verilmektedir.

Tablo 2. Deney numunelerine uygulanan su verme sıcaklığı ve tav süresi

Numuneler	Su verme Sıcaklığı °C	Soğutma Ortamı	Tav Süresi (dk)
Yorulma numuneleri	860	Yağda	17.5
Çekme numuneleri	860	Yağda	30
Mikroyapı inceleme numuneleri	860	Yağda	20

Tablo 3. Deney numunelerine uygulanan temperleme sıcaklığı, soğutma ortamı ve tav süresi

Numuneler	Temperleme Sıcaklığı °C	Soğutma Ortamı	Tav Süresi (dk)
Yorulma numunesi (Grup 2)	300-500-600	Yağda	17.5
Yorulma numunesi (Grup 3)	300-500-600	Havada	17.5
Çekme numunesi	300-500-600	Havada	30
Mikroyapı inceleme numunesi	300-500-600	Havada	20
Sertlik numuneleri	300-500-600	Havada	20
Sertlik numuneleri	300-500-600	Yağda	20

3. Bulgular

3.1. Çekme deneyi

Isıl işlem görmemiş ve ısıl işlem görmüş çekme çubuklarının akma ve çekme gerilmeleri tablo 4 'de verilmektedir.

Tablo 4. Çekme deney numunelerinin sonuçları

Çekme Numuneleri	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Isıl işlem görmemiş	660.53	777.78
300°C temperlenmiş	1353.12	1706.15
500°C temperlenmiş	1025.07	1297.56
600°C temperlenmiş	869.20	1100.26

3.2. Sertlik Ölçmeleri

Sertlik ölçmeleri; ısıl işlem görmemiş numunelerde, yağda sertleştirdikten sonra temperleme tavi

uygulanıp yağda soğutulmuş numunelerde ve yağda sertleştirdikten sonra temperleme tavi uygulanıp havada soğutulmuş numunelerde gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü için numuneler 3 gruba ayrılmıştır. 1.Grup ısıl işlem görmemiş 2 Grup yağda sertleştirilmiş, temperleme tavi sonunda yağda soğutulmuş. 3 Grup yağda sertleştirilmiş ve temperleme tavidan sonra havada soğutulmuş numunelerden oluşmaktadır. YS temperlendikten sonra yağda soğutulan, HS ise temperlendikten sonra havada soğutulan numunelerdir. Tablo 5'de sertlik ölçümü yapılan numunelerinin sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Sertlik değerleri

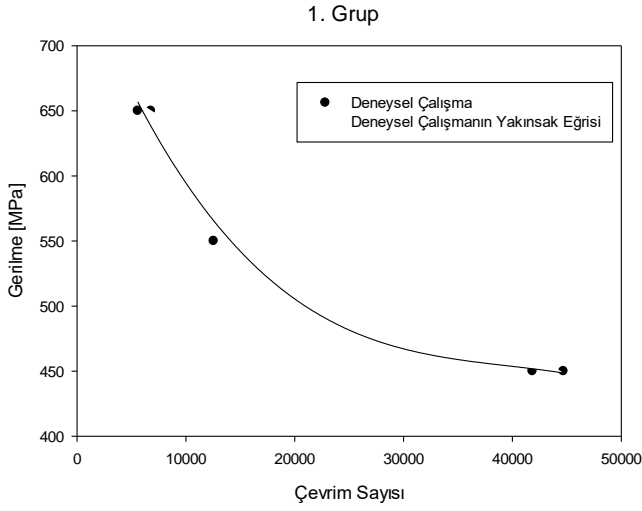
Sertlik Değerleri (HRC)	
1.Grup (Isıl işlem görmemiş)	28.6
Grup 2.1 (300 °C YS)	54.2
Grup 2.2 (500 °C YS)	44
Grup 2.3. (600 °C YS)	37
Grup 3.1(300 °C HS)	52.5
Grup 3.2 (500 °C HS)	43.5
Grup 3.3 (600 °C HS)	32.2

3.3. Yorulma deneyi

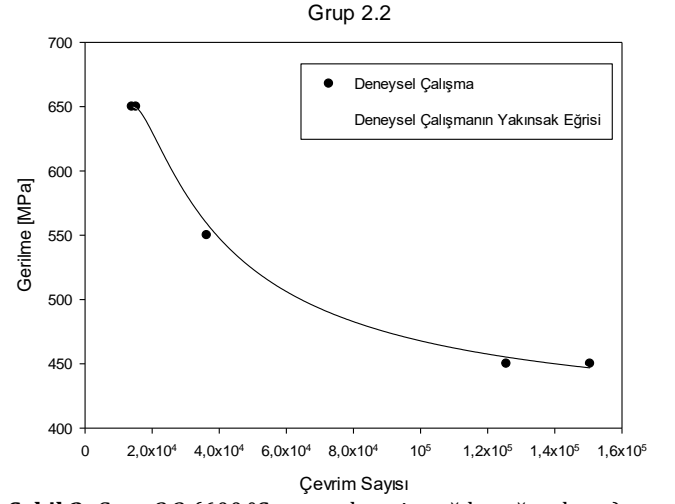
Yorulma deneyleri için 42 adet numune hazırlanmıştır. 1. grup, ısıl işlem görmemiş numuneler için, 2. grup temperlemeden sonra yağda soğutulan numuneler için, 3. grup temperlemeden sonra havada soğutulan numuneler içindir, Isıl işlemlerin yorulma dayanımı üzerini etkisini saptamak için uygulanan gerilmeler 650, 550, 450 MPa olarak belirlenmiştir. Isıl işlem görmemiş yorulma deneylerinde elde edilen sonuçlar tablo 6 'da, 300 °C -500 °C -600 °C temperlendikten sonra yağda soğutulan yorulma numunelerinin sonuçları sırasıyla tablo 7-8-9 da, 300°C-500 °C -600 °C temperlendikten sonra havada soğutulan yorulma numunelerinin sonuçları sırasıyla tablo 10-11-12 de verilmiştir. Isıl işlem görmemiş yorulma numunelerinin S-N eğrisi, Şekil 1 'de, 300°C-500°C-600°C temperlendikten sonra yağda soğutulan yorulma numunelerinin S-N eğrileri de sırasıyla şekil 2-3-4' de, 300 °C-500 °C-600 °C temperlendikten sonra havada soğutulan yorulma numunelerinin sonuçları da sırasıyla şekil 5-6-7'de verilmiştir.

Tablo 6. 1. Grup (Isıl işlem görmemiş) yorulma sonuçları

Numuneler	Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı
1.Numune	650	5580
2.Numune	650	6795
3.Numune	550	12555
4.Numune	550	15345
5.Numune	450	41850
6.Numune	450	44690



Şekil 1. 1. Grup ısıl işlem görmemiş numunelerin S-N eğrisi



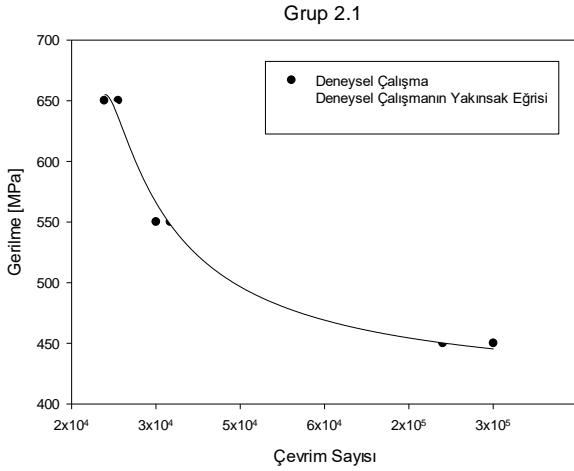
Şekil 3. Grup 2.2 (600 °C temperlenmiş yağda soğutulmuş) numunelerin S-N eğrisi

Tablo 7. Grup 2.1 (300 °C temperlenmiş yağda soğutulmuş) numunenin yorulma sonuçları

Numuneler	Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı
1.Numune	650	19530
2.Numune	650	27790
3.Numune	550	50220
4.Numune	550	58590
5.Numune	450	220250
6.Numune	450	250200

Tablo 9. Grup 2.3 (600°C temperlenmiş yağda soğutulmuş) numunenin yorulma sonuçları

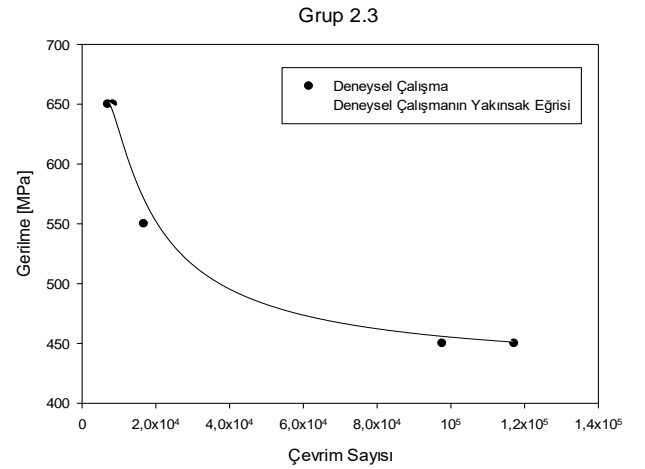
Numuneler	Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı
1.Numune	650	6975
2.Numune	650	8370
3.Numune	550	16740
4.Numune	550	26505
5.Numune	450	97650
6.Numune	450	117180



Şekil 2. Grup 2.1 (300 °C temperlenmiş yağda soğutulmuş) numunelerin S-N eğrisi

Tablo 8. Grup 2.2 (500°C temperlenmiş yağda soğutulmuş) numunenin yorulma sonuçları

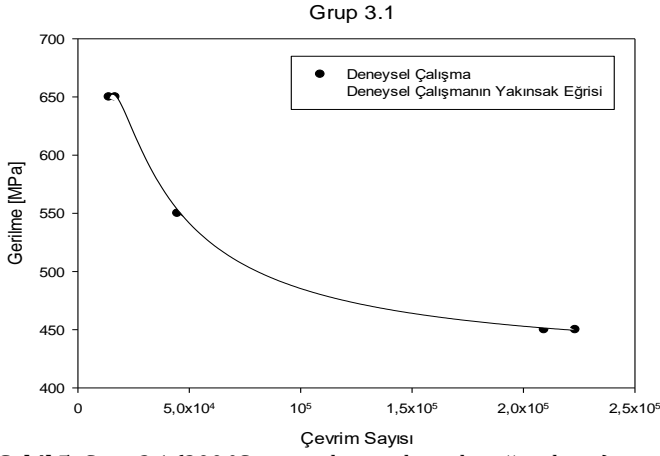
Numuneler	Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı
1.Numune	650	13950
2.Numune	650	15200
3.Numune	550	36270
4.Numune	550	43245
5.Numune	450	125550
6.Numune	450	150500



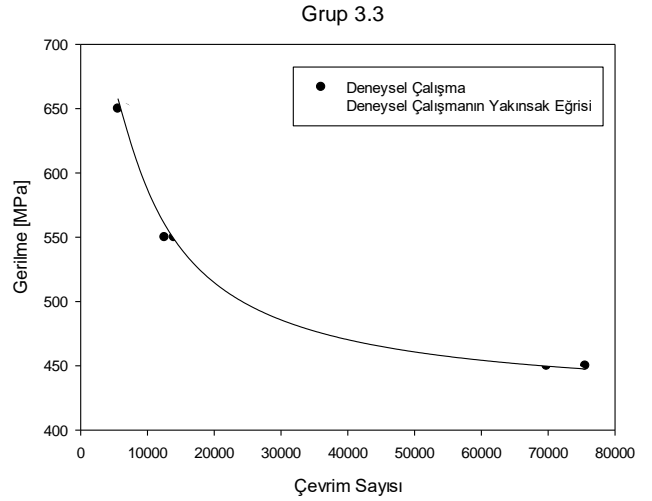
Şekil 4. Grup 2.3 (600 °C temperlenmiş yağda soğutulmuş) numunelerin S-N eğrisi

Tablo 10. Grup 3.1 (300 °C temperlenmiş havada soğutulmuş) numunenin yorulma sonuçları

Numuneler	Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı
1.Numune	650	13950
2.Numune	650	16740
3.Numune	550	44640
4.Numune	550	48225
5.Numune	450	209250
6.Numune	450	223200



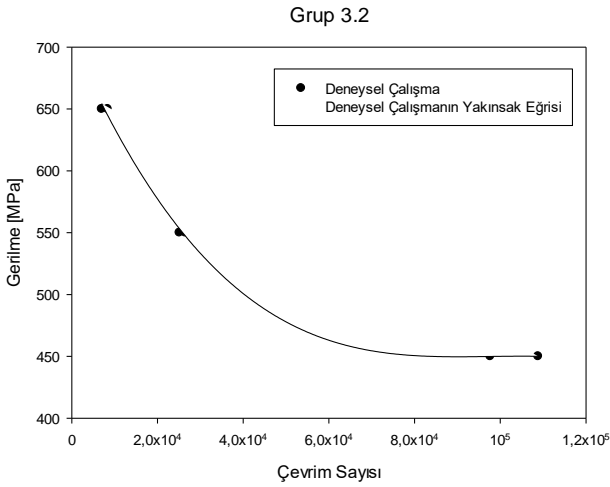
Şekil 5. Grup 3.1 (300 °C temperlenmiş havada soğutulmuş) numunelerin S-N eğrisi



Şekil 7. Grup 3.3 (600 °C temperlenmiş havada soğutulmuş) numunelerin S-N eğrisi

Tablo 11. Grup 3.2 (500 °C temperlenmiş havada soğutulmuş) numunenin yorulma sonuçları

Numuneler	Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı
1.Numune	650	6975
2.Numune	650	8370
3.Numune	550	25110
4.Numune	550	26505
5.Numune	450	97650
6.Numune	450	108810



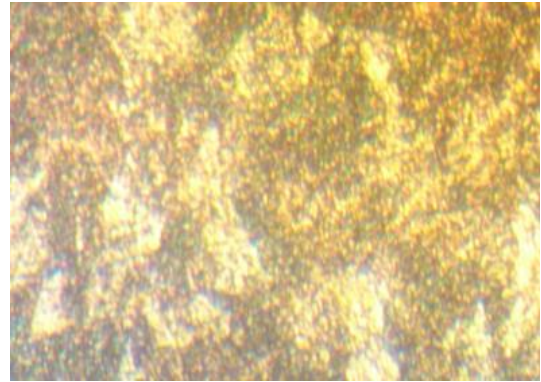
Şekil 6. Grup 3.1 (500 °C temperlenmiş havada soğutulmuş) numunelerin S-N eğrisi

Tablo 12. Grup 3.3 (600 °C temperlenmiş havada soğutulmuş) numunenin yorulma sonuçları

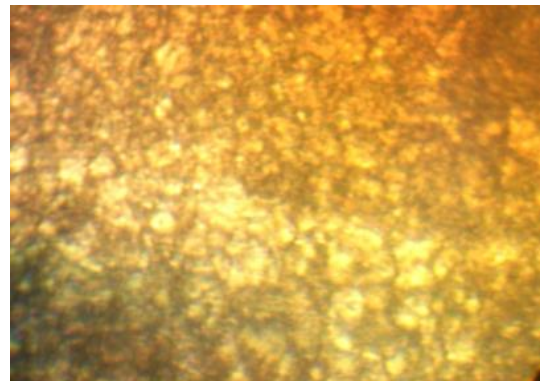
Numuneler	Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı
1.Numune	650	5580
2.Numune	650	6795
3.Numune	550	12550
4.Numune	550	13950
5.Numune	450	69750
6.Numune	450	75530

3.4. Metalografik incelemeler

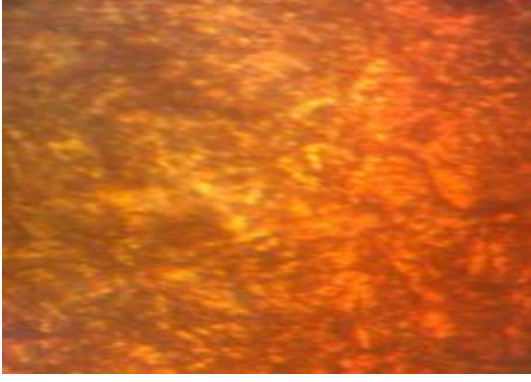
Metalografik 4 adet numune hazırlanmıştır. Bunlardan 1 adedi ısıl işlem görmemiş ve diğer 3 adedi de 860 °C yağda su verilerek ve 300, 500, 600 °C temperlenmiş ve havada soğutulmuş numunelerdir. Metalografik deneylerin yapılabilmesi için numunelere yüzey düzleştirme için zımparalama ve parlatma işleminden sonra 90 ml etil alkol + 10 ml nitrik dağlama reaktifi kullanılmıştır. Dağlanan yüzeyler, saf su ile yıkanıp, sıcak hava ile kurutulmuştur. Aşağıda verilen Şekil 8 - 14 numunelerin 600X ve 1500X büyütme fotoğrafları verilmektedir



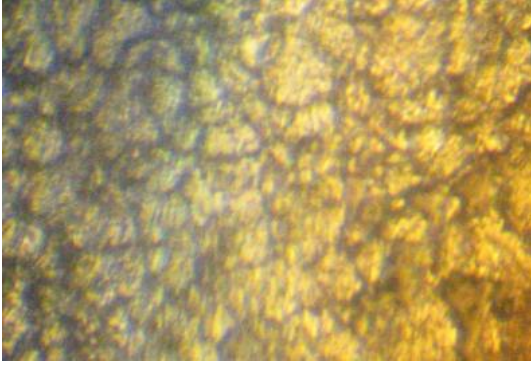
Şekil 8. Isıl işlem görmemiş numune (600X)



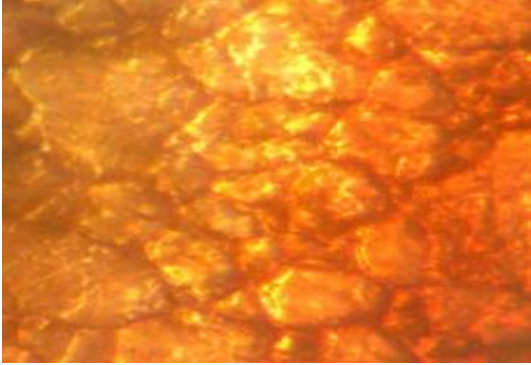
Şekil 9. 300 °C temperlenmiş numune (600X)



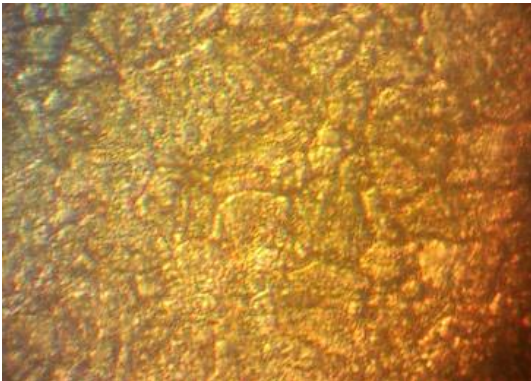
Şekil 10. 300 °C temperlenmiş numune (600X)



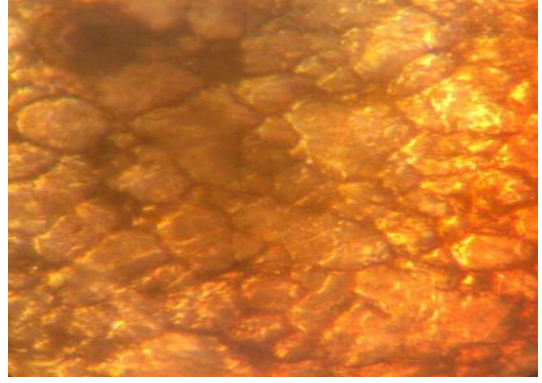
Şekil.11. 500 °C Temperlenmiş numune (600X)



Şekil.12. 500 °C Temperlenmiş numune (1500X)



Şekil.13. 600 °C Temperlenmiş numune (300X)



Şekil.14. 600 °C Temperlenmiş numune (1500X)

4. Tartışma ve sonuç

Yapılan çekme deneylerinde, temperleme sıcaklığı arttıkça akma ve çekme dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür. Isıl işlem uygulanan çekme çubuklarının sünek olarak kırıldığı saptanmıştır.

- Isıl işlem uygulanmayan çekme çubuklarında ortalama akma dayanımı 660.53 MPa olarak bulunmuştur.
- 300 °C de temperlenen numunede, ortalama akma dayanımı, 1353.16 MPa, ortalama çekme dayanımı ise, 1706.15 MPa olarak elde edilmiştir.

Temperlemeden sonra; havada ve yağda soğutulan numunelerde, temperleme sıcaklığı arttıkça her iki ortamda soğutulan numunelerin sertlik değerlerinin düştüğü belirlenmiştir (Şekil 6.7).

- Sertlik ölçme numunelerinde, herhangi bir ısıl işlem uygulanmamış numunelerin yüzey sertliği ortalama 28.6 HRC 'dir
- 860 °C de yağda su verilen numunede yüzey sertliği, sertlik değeri ortalama 53.6 HRC olarak elde edilmiştir.
- Temperleme sıcaklığından sonra yağda soğutulan numunelerin havada soğutulan numunelere göre sertlik değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Metalografi deney numunelerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yağda soğutma sonrası martenzitik yapıdan oluşan numunelerin temperleme sonrası elde edilen mikro yapılarına bakıldığında bey nitik bir yapıda olduğu görülmektedir. 300 °C , 500 °C, 600 °C yapılan temperleme işleminde ise martenzit yapının, temperlenmiş martenzit olduğu görülmüştür. (Martenzit yapının elde edilmesi; yağda soğutma hızının, kritik soğuma hızından daha yüksek hızda gerçekleşmesinin bir sonucudur.)
- Yağda su vermeden sonra, temperleme işlemi uygulanan numunelerden alınmış optik

mikro yapı görüntüleri verilmiştir (Şekil 8 – 6.14).

- Orijinal numunelerde 600X büyütmede, ferrit ve perlit taneli içyapı görülmektedir (Şekil 8).
- 600X büyütmelerde ve 300 °C de temperlenen numuneye göre, 500 °C temperlenmiş numunenin, beynit taneleri etrafında, kalınlaşmış tane sınırlarında adeta ağ şeklinde bir oluşumun meydana geldiği belirgin olarak görülmüştür (Şekil.11).
- 600X büyütmelerde ve 600 °C temperlenmiş numunenin, 500 °C temperlenen numuneye göre, daha küçük boyutlu taneler ve tane sınırlarındaki kalınlaşmanın incelendiği ve ince taneli bir yapı oluşumu görülmüştür. (Şekil 13).

Yukarıdaki mikro yapı oluşumları, 300 °C, 500 °C, 600 °C de temperlemeden sonra havada soğutulan numunelerin, 1500X büyütmelerde elde edilen mikro yapı fotoğrafları ile de teyit edildiği görülmüştür.

Yorulma deneyi numunelerine, yağda sertleştirildikten ve temperleme sıcaklığından sonra soğutma işlemi ayrı ayrı, yağda ve havada yapılmıştır. Her iki ortamda soğutulan yorulma numunelerinde, temperleme sıcaklığı arttıkça sertliğin düştüğü ayrıca, uygulanan eğilme gerilme değerinin artmasıyla da yorulma ömrünün azaldığı saptanmıştır

- Isıl işlem görmemiş olan numunelerde, yorulma ömrünün en az olduğu görülmüştür (Tablo 6).
- 300 °C de temperlemeden sonra havada soğutulan yorulma numunelerinde, 500 °C ve 600 °C de havada soğutulan yorulma numunelerine göre, yorulma ömrünün daha yüksek olduğu görülmüştür. 300 °C de temperleme sıcaklığının, uygulanan diğer temperleme sıcaklıklarına göre daha düşük olduğu dolayısı ile de, sertlikte fazla bir düşme olmadığının sonucudur.
- Temperleme sıcaklığından sonra yağda soğutulan numunelerin havada soğutulan numunelere göre yorulma ömrünün daha yüksek olduğu görülmüştür.
- 300 °C sıcaklıkta temperleme işleminden sonra, yağda soğutulan numunelerin (450 MPa Eğilme dayanımında ve 250020 çevrim sayısında), havada soğutulan numunelere göre (450 MPa Eğilme dayanımında, 223200 çevrim sayısında), yorulma ömrünün daha yüksek ve %12 oranında bir artışın olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Şevki Yılmaz GÜVEN 'e teşekkürlerimi sunarım. Deney

çalışmalarında, Prof. Dr. Remzi VAROL, Doç. Dr. Recai Fatih TUNAY ve Dr. Öğr. Üyesi Kamil DELİKANLI hocalarıma değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] Temiz V., Makine Elemanlarının Sürekli Mukavemete Göre Hesabı. <http://web.İtu.edu.tr/temizv/Sunular/Yorulma.pdf> (Erişim Tarihi 04.04.2018)
- [2] Metals Handbook 1997. Fatigue and Fracture
- [3] McKeighan, P.C., Ranganathan, N., 2005. Analysis Under Variable Amplitude Loading Conditions. ASTM, 26-34
- [4] Postacıoğlu, B. 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 543s
- [5] Şık, A., Önder, M., Korkmaz, M.S., 2015. Taşıt Jantlarının Yapısal Analiz İle Yorulma Dayanımının Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(3), 565 – 574
- [6] Kaya, M.T., 2016. SAE 4140 (42CrMo4) Islah Çeliğinin Bileşik Gerilmeli Yorulma Davranışının İncelenmesi. Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, Yozgat
- [7] Saatçi, G.E., Tahralı, N., 2003. Birikimli Hasar Teorileri Ve Yorulma Çatlağına Göre Ömür Değerlendirmeleri. Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 1(2), 33-39
- [8] Sakin, R., Er, M., 2010. 1100 – H14 Alüminyum Alaşımının Düzlemsel Eğme Gerilmeli Yorulma Davranışının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(2), 213 – 223
- [9] Kandemir, K., Can, A.Ç., Ası, O., 2000. Tasarım Aşamasında Makine Parçalarının Yorulma Dayanımını Artırıcı Önlemlerin Alınması. Mühendis ve Makina Dergisi, 41(484), 19 -26