

İÇ DİŞLİ ÇARKLARDA AŞINMANIN DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mert Şafak Tunalıoğlu *

Yrd. Doç. Dr., Hitit Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Çorum
mstunalioğlu@gmail.com

Bedri Tuç

Gazi Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara
btunc@gazi.edu.tr

ÖZET

İç dişli çarklar genellikle planet dişli sistemlerinde dış güneş dişlisi olarak kullanılırlar. Diş şekilleri, kavramaya giriş ve çıkıştaki kayma hızları, kavrama esnasında dişli çiftinin faydalı çalışma boyları dış dişli çarklara göre farklıdır. Bu farklılara rağmen dişli çarklarda aşınmanın tespitiyle ilgili çalışmalar dış dişli çarklar üzerine yoğunlaşmış olup iç dişli çarklarla ilgili tatmin edici düzeyde deneysel çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışmada iç dişli çarklarda oluşan aşınmayı inceleyebilmek için, çalışma prensibi “FZG kapalı devre güç dolaşım sistemi” isimli deney düzeneğine benzer bir pinyon-iç dişli çark yorulma ve aşınma test düzeneği imal edilerek aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde farklı burulma momenti ile yüklenen St37 malzemeden imal edilmiş pinyon ve iç dişli çarklar kullanılmıştır. Farklı yük tekrarlarında pinyon ve iç dişli çarkın diş profillerinde meydana gelen aşınma miktarları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç dişli çark, aşınma, planet dişli, FZG test cihazı, kayma hızı

Experimental Study of Wear on Internal Gears

ABSTRACT

Internal Gears are usually used as sun gear in planetary gear systems. Shape of their tooth, slippage velocity go into action and leave and the beneficial working sizes of gear couple during clutching were different than external gears. In spite of these differences, studies of wear on gears are focused on external gears and there isn't experimental studies at a satisfying rate on internal gears. In this study, wear experiments were done to investigate wear on internal gears by manufacturing pinion-internal gear whose working system similar to “FZG closed cycle power circulation system.” In experiments, pinion and internal gears were used which are made of St37 material loaded with different torsion moments. Wear measures in surface of pinion and internal gear were investigated at different load recurrence.

Keywords: Internal gear, wear, planetary gears, FZG test rig, slippage velocity

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 20.10.2012

Kabul tarihi : 07.11.2012

22-23 Ekim 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Konya'da düzenlenen VI. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi'nde sunulan bildiri, yazarlarınca güncellenerek ve genişletilerek bu makale hazırlanmıştır.

Tunalıoğlu, M. Ş., Tuç, B. 2012. “İç Dişli Çarklarda Aşınmanın Deneysel Olarak İncelenmesi,” TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 632, s. 49-54

1. GİRİŞ

İç dişli çarklar, dişlerinin dişli çark merkezinin dışına değil de içine doğru dönük olması yönüyle dış dişli çarklardan farklıdır. İç bükey diş profil yüzey ile dış bükey diş profil yüzeyin eş çalışmasından dolayı iyi bir yağlama, düşük yüzey basıncı ve iyi bir verim elde edilir. Dişlerin birbiriyle kavramaya girmesi ve kavramadan ayrılması esnasında kayma hızları dış dişlilere göre daha düşüktür. Otomotiv ve havacılık endüstrisinde dişli çark eksenler arası mesafesinin kısa olmasından dolayı yaygın olarak kullanılırlar. Ayrıca dişli kutusunun çok az yer kaplaması gerektiği, örneğin planet sistemlerinde, vites kutularında, çeşitli mutfak ve el aletlerinde kullanılırlar. İç dişli çarklarla ilgili yapılan çalışmaların çoğu diş dibinde oluşan gerilmelerin incelenmesi ve bu gerilmelerin azaltılması yönünde olmuş, aşınmayla ilgili deneysel çalışmalar çok fazla yapılmamıştır. Eiff vd. [1], iç ve dış dişli çarklarda dişli geometrisi ile diş dibinde meydana gelen maksimum teğetsel gerilmenin yeri, diş dibinde oluşan gerilmenin miktarı ve gerilme konsantrasyonu faktörünü belirlemişlerdir. Teorik hesaplama yöntemi olarak sonlu elemanlar metodu kullanarak, sonuçları fotoelastik deneylerle karşılaştırmışlardır. İç dişli çarkların diş dibi gerilmelerinin aynı boyutlardaki dış dişli çarklara göre daha düşük olduğunu göstermişlerdir. Tong vd. [2], iç dişli çarkların imalatı için bir program geliştirmişlerdir. Programda diş sayısı ve dişlilerin merkezler arası mesafesi belirtildiğinde eş çalışan dişlilerin diş genişliği sayısal olarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan diş genişliği, üretimin pratikliği ve kabul edilen sınır şartlarıyla karşılaştırılmış, gerektiğinde diş sayısı, modül veya dişli malzemesi değiştirilmiştir. Çalışmalarında, üretimi yaklaşık bir gün süren dişli çark üzerindeki değişiklikleri 30 dakikada yapan CAD programı geliştirilmiştir. Program sadece teorik hesaplara dayanıp deneysel verilerle desteklenmemiştir. Chong vd. [3], iç dişli çarklarda çember kalınlığının diş dibinde oluşan çekme ve basma gerilmelerine etkileri incelemişlerdir. Gerilme ölçümleri strain-gauge, fotoelastik deneyler ve sonlu elemanlar analizleriyle yapılarak, maksimum gerilmenin olduğu yerleri saptamaya çalışmışlardır. Maksimum çekme ve basma gerilmeleri ince çemberli iç dişlilerde yüklemenin 45° olduğunda diş dibi kavisinde görüldüğünü saptamışlardır. Oda vd. [4], iç dişli çarklarda çember kalınlığının diş dibi gerilmesi ve eğilme yorulması dayanımına etkilerini incelemişlerdir. Diş dibi gerilmesi için sonlu elemanlar yöntemi, eğilme yorulması dayanımı için farklı kalınlıklardaki dişlilerde statik yüklem testleri yapılmıştır. İnce çemberli iç dişlilerde çember kalınlığı azaldıkça maksimum diş dibi gerilmelerinin dışın kavis bölgesindeki çekme ve basma bölgelerinde arttığını saptamışlardır. Hidako vd. [5], çalışmalarında eşit yataklama şartlarında sabitlenmiş planet dişliler kullanmışlardır. Bu şekilde oluşturulan modelde eğilme momenti, eğilme gerilmesi ve çember içindeki radyal hareket teorik olarak belirlenmiştir. Daha sonra iç dişlilerdeki gerilmeler fotoelastik metotla analiz edilmiş, çember kalınlığı, diş sayısı ve maksimum gerilmenin pozisyonu açıklanmıştır. İç dişlilerde çember kalınlığı

düşüğünde, dişli çarkın diş dibi bölgesindeki basma gerilmesi artarken çekme gerilmesinin azaldığını belirtmişlerdir. Chong vd. [6], ince çember kalınlığına sahip iç dişlilerin diş diplerindeki gerilmeleri belirlemek için bir formül geliştirmişlerdir. Bu formül sayesinde dişlilerdeki gerilmeler kolaylıkla hesaplanmış ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Flodin vd. [7,8] düz ve helisel dişli çarklarda aşınmayı belirlemek için teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Teorik çalışmalarında ‘tekel-nokta gözlem metodu’ yardımıyla düz ve helisel dişli çarklarda aşınmayı belirlemişlerdir. Deneysel çalışmalarında farklı burulma momenti ve motor hızlarına sahip düz ve helisel dişli çarklarda deneyler yapıp, teorik denklemin uygunluğunu ispatlamaya çalışmışlardır. Dhanasekaran vd. [9], farklı burulma momentleri ile yüklenen düz dişli çarklarda dişli çark malzemesinin ve yağlamanın aşınmaya etkisini incelemişlerdir. Sinterlenmiş çeliğin içerisindeki MoS₂’nin dişlerdeki aşınmaya azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca burulma moment değeri arttığında düz dişli çarklarda aşınmanın arttığını belirtmişlerdir. Glodez vd. [10], düz dişli çarklarda pitting oluşumunu deneysel olarak gözlemişlerdir. Farklı moment ve farklı motor hızlarında FZG test cihazı yardımıyla deneyler yapmışlardır. Deneylerinde farklı yük tekrar sayılarında burulma momenti değeri arttığında aşınmanın arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca pitting oluşumunu engellemek için yüzey pürüzlülüğü, yağlama basıncı, kimyasal reaksiyonların çok iyi incelenmesi gerektiğini belirlemişlerdir.

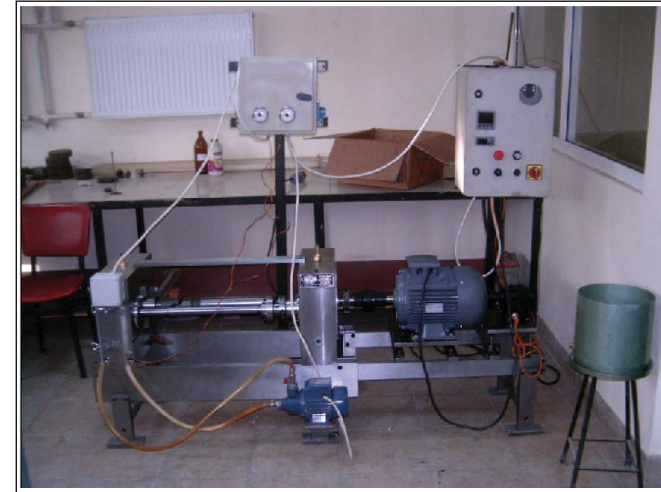
Bu çalışmanın amacı çalışma prensibi “FZG kapalı devre güç dolaşım sistemi” isimli deney düzeneğine benzer pinyon-iç dişli çark yorulma ve aşınma test düzeneği imal edilerek farklı dönme tekrar sayılarında dişlilere uygulanan burulma momentinin iç dişli çarklarda meydana gelen aşınmaya etkisini deneysel olarak inceleyebilmektir. Deneysel çalışmalarda iç dişli çarkların yanı sıra iç dişli çarklarla temas halinde bulunan ve sistemi döndüren dişli olan küçük dişli (pinyon) çarklarda oluşan aşınmalar da incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Deneysel Cihazı

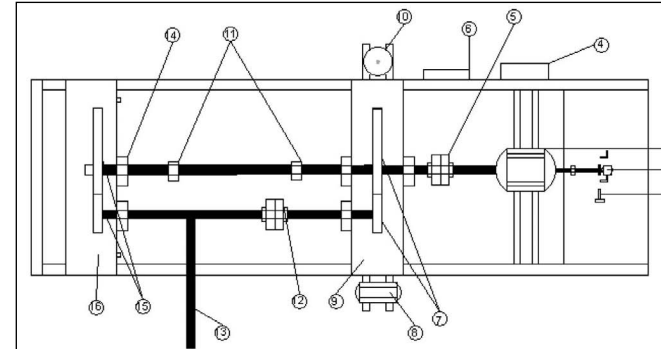
“FZG kapalı devre güç dolaşım sistemi,” dişli çarklarda aşınma ve yorulma deneylerinin yapılması için yaygın olarak kullanılmaktadır [7,8,9]. Bu çalışmada bir pinyon-iç dişli çark yorulma ve aşınma test düzeneği imal edilerek aşınma deneyleri yapılmıştır (Resim 1 ve Şekil 1).

Şekil 1’de şematik olarak gösterilen düzenek aynı çevrim oranını sağlayan iki dişli kutusundan meydana gelmektedir. Dişli kutularından biri Şekil 1’de 9 no’lu eleman olup motordan gelen gücü millere ileten dişli kutusudur (Şekil 1.9). 16 no’lu dişli kutusunda ise, aşınma deneyine tabi tutulacak deney dişlileri bulunmaktadır. İki dişli kutusu arasında iki adet mil mevcuttur. Millerden biri test dişli kutusunun üzerindeki iç dişli çarkı taşıyan mildir. Bu mil üzerinde iki adet kardan



Resim 1. Deneysel Düzenek Yandan Görünüşü

kavrama mevcuttur. Diğer mil ise, üzerinde burulma momentinin oluşturulduğu tork kaplininin mevcut olduğu mildir. Bu düzenekte yüklem sistemi hareketsizken yapılır. Sistem sabitlendikten sonra yardımcı dişli kutusu ve test dişli kutusu arasında bulunan mile takılan moment kolunun serbest ucuna ağırlık asılarak tork kaplini bulunan mil burulur. Ağırlıklar moment kolunda takılı iken kaplinin üzerinde bulunan civatalar sıkılarak sistem yüklenir. Takılan ağırlığın kalibrasyonu için strain-gauge düzenek hazırlanarak her ağırlığın hangi burulma momentine karşılık geldiği saptanmıştır. Deneysel düzeneğinde iki adet motor mevcuttur. Bunlardan biri dişlileri taşıyan mili tahrik eden 7,5 kW gücünde, hızı dakikada 3000 devire kadar çıkabilen trifaze elektrik motorudur. Diğer motor soğutucu suyu, su deposundan test dişlilerinin bulunduğu dişli kutusuna iletir. Deneylerde sabit sıcaklıkta çalışabilmek için ısıtıcı-soğutucu düzenek mevcuttur. Yağın sıcaklığını ölçmek için test dişlilerinin bulunduğu dişli kutusunda iki adet termo-couple kullanılmıştır. Sıcaklık kontrolünde sapma ±2°C’dir. Deneysel düzeneğinde sıcaklık kontrolü ve tahrik motorunun devir sayısının ayarlanabileceği kontrol panoları bulunmaktadır. Hız kontrol panosu ile 3000 d/d devirle dönen



Şekil 1. Kapalı Devre İç Dişli Aşınma Test Cihazı 1.Devir Alıcı 2. Redüktör 3. Güç Motoru 4. Güç Kontrol Panosu 5. Kaplin 6. Isıtıcı Soğutucu Düzenek Kontrol Panosu 7. Yardımcı Dişliler 8. Soğutma Suyu İletim Motoru 9. Yardımcı Dişli Kutusu 10. Su Kabı 11. Kayabilen Yataklar 12. Tork Kaplini 13. Ağırlık Asma Kolu 14. Kayabilen Yatak 15. Test Dişlileri 16. Test Dişli Kutusu

sistem 10 ayrı hız kademesinde çalıştırılabilir. Bu sayede sistemde farklı devirlerde yorulma ve aşınma deneyleri yapmak mümkündür.

2.2 Deneysel Dişlileri

Deneylerde kullanılan pinyon ve iç dişli çarkların malzemesi St37 çeliği olup dişlerin yüzey sertlikleri 120-130HV’dir (Resim 2). Dişli çarklara ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir.



Resim 2. Deneylerde Kullanılan Dişli Çarklar

Tablo 1. Deneysel Dişlilerin Özellikleri

Diş formu no	Sembol	Birim	Değer
Diş sayısı	z_1	-	17
	z_2	-	75
Modül	m	mm	3
Diş genişliği	b	mm	10
Profil kaydırma faktörü	x_1, x_2	-	0
Standart kavrama açısı	α_o	°	20
Taksimata dairesi çapı	d_{o1}	mm	51
	d_{o2}	mm	225
Diş baş dairesi çapı	d_{b1}	mm	57
	d_{b2}	mm	219
Temel dairesi çapı	d_{g1}	mm	47.92
	d_{g2}	mm	211.43
Eksenler arası mesafe	a	mm	87
Kavrama oranı	ϵ	-	1.88
Çevrim oranı	i	-	4.41

Tabloda kullanılan 1 indisi döndüren dişli olan pinyon, 2 indisi karşılık dişli olan iç dişli çarkı göstermektedir.

2.3 Deneyselerde Kullanılan Yağ

Bu çalışmada, transmisyon otomotiv dişli yağı kullanılmıştır. Deneyselerde daldırma tip yağlama sistemi kullanılmıştır. Yağ sıcaklığı $23\pm 2^\circ\text{C}$ 'de tutulmuştur. Kullanılan yağın özellikleri Tablo 2'de verilmiştir [12].

Tablo 2. Deneyselerde Kullanılan Yağın Özellikleri [10]

SAE Numarası	80W/90
Özgül Ağırlık (g/ml) (15 °C)	0.906
Viskozite (mm ² /s) (40 °C)	200
Viskozite (mm ² /s) (100 °C)	17.5-18.5
Viskozite İndeksi	95
Alevlenme Noktası (°C)	220
Akma Noktası (°C)	-27

2.4 Deney Planı

İç dişli çarklarda aşınma deneyleri 2000 d/dak motor hızında ve üç farklı yüklenme durumu (50Nm, 100 Nm, 150 Nm) için yapılmıştır (Tablo 3). Deneysel çalışmada, iç dişliyi döndüren dış dişlinin (pinyon) her 100.000 dönme tekrarında sonra sistem durdurularak deney dişlileri dişli kutusundan çıkartılmıştır. Dişli çarklar, üzerlerinde bulunan aşınmış parçacıklar ve yağdan arındırılmak için temizlenmiştir. Temizleme işleminin

Tablo 3. Deney Planı

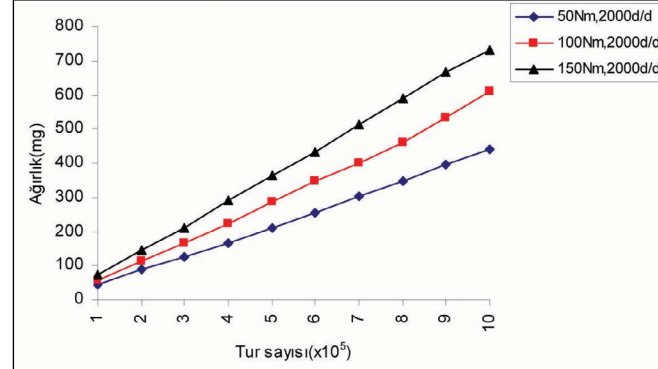
Deney No	Profil kaydırma miktarı	Burulma momenti (Nm)	Dönme devri (d/d)	Dönme tekrarı (tur)
1-10	$x_1=x_2=0$	50	2000	$1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$
11-20	$x_1=x_2=0$	100	2000	$1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$
21-30	$x_1=x_2=0$	150	2000	$1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$

ardından dişli çarklar basınçlı hava ile kurutulmuş ve 1/1000 gr hassasiyetli elektronik tartı ile tartılıp, aşınma miktarları belirlenmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1 Elektronik Tartı ile Dişli Çiftindeki Aşınmanın Gözlenmesi

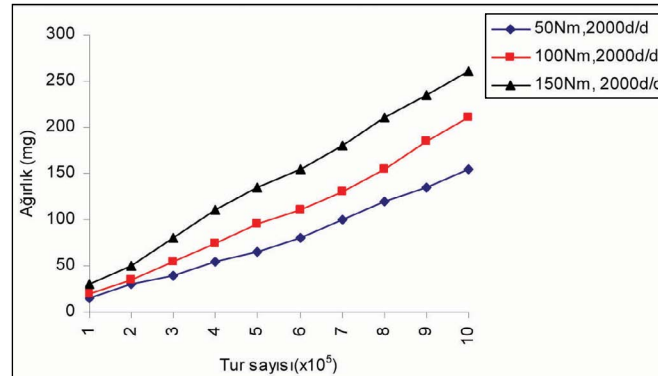
Pinyon dişlisinin her $N=1 \times 10^5$ dönme tekrarında sistem durdurularak deney dişlileri 1/1000 gr hassasiyetli elektronik tartıyla tartılıp aşınma miktarları belirlenmiş, sonuçlar şekillerle anlatılmıştır (Şekil 2-3).



Şekil 2. Farklı Burulma Momenti ile Yüklenmiş Pinyon Dişli Çarkta Meydana Gelen Aşınma Miktarı

Pinyon dişlilere ait aşınma miktarlarını gösteren Şekil 2 incelendiğinde, pinyon dişlisine etki eden burulma momenti arttığında pinyon dişlisinde aşınma miktarının arttığı gözlenmektedir. Örnek olarak 50 Nm momentile yüklenen ve 2000 d/dak hızla döndürülen pinyonda, $N = 1 \times 10^6$ dönme tekrarındaki toplam aşınma miktarı 441 mg'dır. 100 Nm moment ile yüklenen, 2000 d/dak hızla döndürülen pinyonda $N = 1 \times 10^6$ dönme tekrarındaki toplam aşınma miktarı %38 artmıştır. 150 Nm momentile yüklenen, 2000 d/dak hızla döndürülen pinyonda $N = 1 \times 10^6$ dönme tekrarındaki toplam aşınma miktarı %66 artmıştır.

Aşınma deneylerinde kullanılan test dişlilerinin çevrim oranı 4,41'dir. Dolayısıyla çember dişliler için dönme sayısı tekrarı küçük dişlilerin dönme tekrarı sayısının 1/4,41'i kadardır.



Şekil 3. Farklı Burulma Momenti ile Yüklenmiş İç Dişli Çarkta Meydana Gelen Aşınma Miktarı

Bu nedenle çember dişlilerdeki diş aşınma derinlikleri küçük dişlilere göre daha azdır. Şekil 3 incelendiğinde, iç dişli çarka etki eden burulma moment yükü arttığında iç dişli çarktaki aşınma miktarı da artmaktadır. 50 Nm momentle yüklenen ve 2000 d/dak hızla döndürülen iç dişli çarkta, $N = 2.3 \times 10^5$ dönme tekrarındaki toplam aşınma miktarı 155 mg'dır. 100 Nm momentle yüklenen, 2000 d/dak hızla döndürülen iç dişli çarkta $N = 2.3 \times 10^5$ dönme tekrarındaki toplam aşınma miktarı %36 artmıştır. 150 Nm moment ile yüklenen, 2000 d/dak hızla döndürülen iç dişli çarkta $N = 2.3 \times 10^5$ dönme tekrarındaki toplam aşınma miktarı %68 artmıştır.

3.2 Dişli Çarkların Makro Fotoğraf Çekimleri

Resim 3 incelendiğinde, pinyon dişli çarka etki eden moment yükü arttırıldığı zaman, pinyon dişli çarktaki aşınma miktarı da artmaktadır. Resim 3 (a)'da aşınma daha çok scoring şeklinde oluşmuşken, (b)'de pitting oluşumu, başlangıç pitting seviyesinde, (c)'de ise pitting oluşumu dahada artmış ve

harap edici pitting seviyesine ulaşmıştır. Diş profilindeki en büyük aşınmanın diş dibi bölgesinde meydana geldiği görülmektedir.

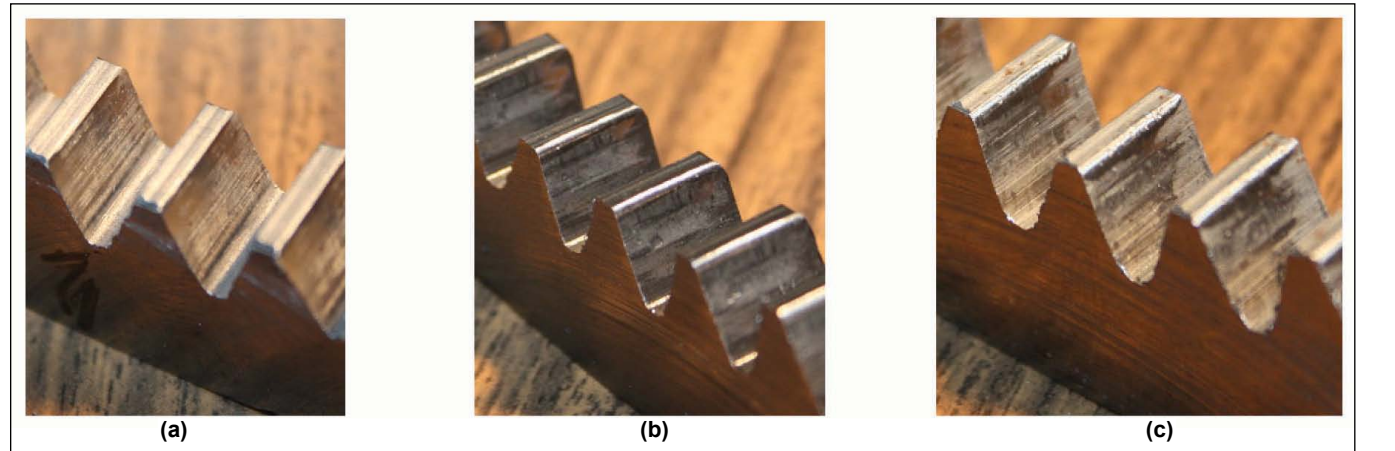
Resim 4 incelendiğinde, pinyon dişlisinden farklı olarak diş profilindeki en büyük aşınma, iç dişli çarkın diş başı bölgesinde görülmektedir. İç dişli çarka etki eden burulma momenti arttırıldığı zaman, iç dişlinin diş başlarındaki aşınma miktarı da artmaktadır. İç dişli çarkların üretiminde diş genişliği boyunca paralel olarak imalattan kaynaklanan izler bulunmaktadır. Resim 4 (a)'da diş başı bölgesinde bu izler kaybolmuş olup, aşınma başlangıç seviyesinde gözükmemektedir. Resim 4 (b)'de diş başı bölgesinde scoring oluşumu gözlenmekte, (c)'de ise aşınma diş başı bölgesinde başlangıç pittingi şeklinde gözükmemektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada "FZG kapalı devre güç dolaşım sistemi" isimli deney düzeneğine benzer pinyon-iç dişli çark yorulma ve



Resim 3. Farklı Momentle Yüklenmiş (a-50Nm, b-100Nm, c-150Nm) Pinyon Dişli Çarkın Makro Fotoğraf Çekimleri



Resim 4. Farklı Moment ile Yüklenmiş (a-50Nm, b-100Nm, c-150Nm) İç Dişli Çarkın Makro Fotoğraf Çekimleri

aşınma test düzeneği imal edilerek farklı dönme tekrar sayılarında uygulanan burulma momentinin iç dişli çarklar ile iç dişli çarklarla temas halinde bulunan küçük dişli (pinyon) çarklarda aşınmaya etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Hem pinyon dişlisinde hem de iç dişli çarklarda, uygulanan burulma momenti miktarı arttığı zaman diş profillerinde meydana gelen aşınma miktarı artmaktadır. Sonuçlar dış dişli çarklarla ilgili Literatür [7,8,9] çalışmalarıyla uyum içerisindedir ve imal edilen pinyon-iç dişli çark yorulma ve aşınma test düzeneğinin kullanılabilirliğini göstermektedir. Eş çalışan dış dişli çarklarda dişlerdeki aşınma her iki dişlinin diş dibi bölgesinde başladığı ve aşınmanın bu bölgelerde maksimum olduğu önceki çalışmalarda gösterilmiştir [9,11,14,15]. Yapılan deneysel çalışmalardan da görüldüğü gibi küçük dişlilerin dişlerinde meydana gelen en büyük aşınma miktarı iç dişli çarkın dişleri ile kavramaya girdiği diş tabanı bölgesinde, iç dişli çarkların dişlerinde meydana gelen en büyük aşınma miktarı pinyon dişlisinin dişleriyle kavramaya girdiği diş başı bölgesindedir. Bu sonuçlara göre aşınma bakımından iç dişli çarkın kritik bölgesi diş başı bölgesidir. Dolayısıyla pinyon-iç dişli çark çiftinde profil kaydırma işlemiyle ilgili çalışmalar yapıldığında bu durum dikkate alınmalıdır.

KAYNAKÇA

1. **Eiff, H. V., Hirschmann, K. H., Lechner, G.** 1990. "Influence of Gear Tooth Geometry on Tooth Stress of External and Internal Gears," *Journal of Mechanical Design*, vol. 112, p. 575-583.
2. **Tong, B. S., Walton, D.** 1987. "A Computer Design Aid for Internal Spur and Helical Gears," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, vol.27, no. 4, p. 479-489.
3. **Chong, T. H., Suzuki, T., Aida, T., Fujio, H.** 1982. "Bending Stresses of Internal Spur Gear," *Bulletin of JSME*, vol. 25, no. 202, p. 679-686.
4. **Oda, S., Miyachika, K., Araki, K.** 1984. "Effects of Rim Thickness on Root Stress and Bending Fatigue Strength of Internal Gear Tooth," *Bulletin of JSME*, vol. 27, no. 230, p. 1759-1764.
5. **Hidaka, T., Ishida, T., Uchida, F.** 1984. "Effects of Rim Thickness and Number of Teeth on Bending Strength of Internal Gear," *Bulletin of JSME*, vol. 27, no. 223, p. 617-623.
6. **Chong, T. H., Kubo, A.** 1985. "Simple Stress Formulae for a Thin-Rimmed Spur Gear. Part 3: Examination of the Calculation Method and Stress State of Internal Spur Gear," *Journal of Mechanisms Transmissions and Automation in Design*, vol. 107, p. 418-423.
7. **Flodin, A., Andersson, S.** 1997. "Simulation of Mild Wear in Spur Gears," *Wear*, vol. 207, p. 16-23.
8. **Flodin, A., Andersson, S.** 2000. "Simulation of Mild Wear in Helical Gears," *Wear*, vol. 241, p. 123-128.
9. **Dhanasekaran, S., Gnanamoorthy, R.** 2008. "Gear Tooth Wear in Sintered Spur Gears Under Dry Running Conditions," *Wear*, vol. 265, p. 81-87.
10. **Glodez, S., Winter, H., Stüwe, H. P.** 1997. "A Fracture Mechanics Model for the Wear of Gear Flanks by Pitting," *Wear*, vol. 208, p. 177-183.
11. **İmrek, H., Düzcükoğlu, H.** 2007. "Relation Between Wear and Tooth Width Modification in Spur Gears," *Wear*, vol. 262, p. 390-394.
12. **Tunalıoğlu, M. Ş., Gemalmayan, N., Tuç, B.** 2007. "Kaplamalı Düz Dişlilerde Scoring Sıcaklığının Deneysel Yolla İncelenmesi," *UMES'07*, p. 703-706.
13. **Archard, J., F.** 1953. "Contact of Rubbing Flat Surfaces," *Journal of Applied Physics*, vol. 24, p. 981-988.
14. **Terauchi, Y., Nagamura, K., Ikejo, K.** 1991. "Study on Friction Loss of Internal Gear Drives," *JSME International Journal Series III*, 34: 106-113 (1991).
15. **Fetvacı, C., İmrak, C. E.** 2007. "Evolvent Düz Dişli Çarklarda Diş Kökü Eğrilerinin İncelenmesi," *TMMOB MMO, Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 48, sayı 570, s. 18-22.