Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:3 (2017) 855-864

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Hafif ticari taşıtlarda maliyet azaltma amaçlı ayna mahruti malzemesi iyileştirmesi

Cemal Baykara*
İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 34437, Beyoğlu, İstanbul, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Otomotiv aks malzemesi optimizasyonu
- Dişli çark çifti dayanım ve ömür hesabı
- Deneysel dişli aşınma analizi

Makale Bilgileri
Geliş: 25.05.2016
Kabul: 10.05.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.337634

Anahtar Kelimeler:
Ayna mahruti dişlileri, diferansiyel mekanizması, dişli malzeme optimizasyonu, ticari taşıt

ÖZET

Otomotiv sanayiinde mühendislerin öncelikli amaçlarından biri maliyetleri düşürürken mamul kalitesi ve dayanımını koruyabilmektir. Bu çalışmada, hafif ticari taşıtların diferansiyel sistemlerinde kullanılan, ayna mahruti dişli çiftinde, imalat işlemleri değiştirilmeden, daha düşük maliyetli malzemelerin kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Halihazırda kullanılan malzeme ve önerilen malzeme ile imal edilmiş dişli çiftlerinin sertleştirilebilirlik kabiliyetleri kıyaslanmıştır. Kullanılmakta olan ve önerilen malzemelerden imal edilmiş dişli çiftleri, dinamometrenin de yer aldığı deney düzeneklerinde hızlandırılmış yorulma deneyleri ile hafif ticari taşıtların diferansiyel sistemlerine montajı gerçekleştirilerek, ömür testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, önerilen malzemenin sertleştirilebilirlik kabiliyeti mevcut malzeme ile aynı çıkmasına ve önerilen malzeme ile imal edilmiş dişlilerin taşıt performans deneyleri önceki malzemeden daha iyi olmasına rağmen, taşıt testleri sonrasında incelenen yuvarlanmalı yatak bağlantılarındaki hasarlardan ötürü, önerilen malzemenin yapılacak konstrüktif düzenlemeler neticesi ve kesinleştirme amacı ile yeniden yapılacak olan taşıt testlerinin sonucu da değerlendirilerek, taşıtlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca dinamometrede gerçekleştirilen yorulma deneyi sonuçlarının gerçek taşıt testlerine tekabül eden sonuçlar vermediği de tespit edilmiştir.

Cost reduction oriented hypoid gear material optimization in commercial vehicles

HIGHLIGHTS

- Automotive axle materail optimization
- Gear set strength and life analysis
- Experimental gear wear analysis

Article Info
Received: 25.05.2016
Accepted: 10.05.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.337634

Keywords:
Hypoid gear mechanism, differential system, gear material optimization, commercial vehicle

ABSTRACT

Engineers in automotive industrie are trying to provide the same level of quality and durability with more economic materials. In this study, the use of an alternative material was investigated for a crown wheel and pinion design used in differential gear systems of light commercial vehicles. Changing gear set material manufactured with both current and proposed material was a cost reduction step by keeping same manufacturing processes. Hardenability characteristics of the gear sets were compared. Accelerated fatigue tests were performed in rig test set up with dynamometer and gear sets manufactured with proposed materials were assembled to light commercial vehicles and durability tests were performed on real road conditions. It was seen that hardenability characteristics of current and proposed materials are so close. Gear sets manufactured with proposed material performed durability test were completed successfully. However, the differentials assembled to durability test vehicles were tear down and it was realised pinion head bearing and pinion tail bearing inner ring contact areas were damaged. Proposed materials usage will be approved after design modification and repeated durability tests. Additionally it is determined that the accelerated fatigue test results in dynamometer test rigs does not overlap with the road test results.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: baykaracem@itu.edu.tr / Tel: +90 212 293 13 00 / 2405

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüz otomotiv sanayiindeki rekabetçi ortam nedeni ile firmalar maliyetleri düşürmek amacı ile yoğun mühendislik faaliyetleri sürdürmektedirler. Bu hususta öncelikte malzeme sakınımının ele alındığı ve daha efektif kullanımına yoğunlaşıldığı görülmektedir. Bu konuda otomotiv sektörüne dişli çark tedariki gerçekleştiren firmalar da imalat maliyetlerini azaltmak, daha dayanıklı parça imal edebilmek üzere üniversitelerle ortak çalışmalar yürütmektedirler. [1] Son yıllarda, konik dişli çarklarda çeşitli dizayn parametrelerinin eğilme ve yüzey gerilmelerine etkileri [2] sayısal metodlarla incelenmesi konusundaki temel çalışmaların sürdürülmesi yanında [3], toz metalurjisi ile imal edilen parçaların dişli çark, yatak ve mil imalinde kullanılmasına yönelik çalışmalar artmaktadır [4, 5]. Ayrıca dişli imalatında kullanılan klasik malzemeler ile yüksek performans çeliklerinin mukayesesi, avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesi konusunda da çalışmalar devam etmektedir [6, 7]. Bu çalışmalara paralel olarak dişli çark temas yüzeylerinin özel malzemelerle kaplanarak [8] ve uygulanan işlemler vasıtası ile ömür artışı sağlamak amaçlı çalışmalar da sürmektedir [9, 10]. Yapılan çalışmalara son dönemlerde alternatif malzemeler ile imal edilen dişli çark konularının eklenmeye başladığı da görülmektedir [11]. Bunun yanında bir kısım çalışmalar yük taşıma kabiliyetinin artırılmasını amaçlamaktadır [12]. Mevcut çalışma bu yönde dişli malzemelerinin değiştirilmesini amaçlamaktadır. Bu tür çalışmalar konusunda yapılan yayınlar oldukça kısıtlı kalmakta, firmalar bu tür bilgilerin yayınlanmasını ticari kaygılar ile uygun bulmamaktadırlar.

2. DENEY NUMUNELERİN HAZIRLANMASI (PREPARATION OF TEST SAMPLES)

2.1. Malzeme Seçimi (Material Selection)

Mevcut imkanlar doğrultusunda dişli imalatçısı ile malzeme kompozisyonları incelenerek uygun malzemeler içerisinden ayna malzemesi olarak 16MnCr5 ve mahruti malzemesi olarak 20MnCr5 seçilerek, imalat gerçekleştirilmiştir. Yapılan malzeme değişikliğinin %16 oranında maliyet düşüşü sağlayacağı hesaplanmıştır (Tablo 1).

2.2. Sertleşebilme Kaabiliyeti ve Ölçümler (Hardening Capability and Measurement)

Yapılan ölçümlerde: mevcut SAE 8620 ayna dişlisi malzemesi üzerinde yapılmış ısıl işlem sonucunda ısıl işlem tesir derinliği 1,38 mm çıkarken, önerilen 16MnCr5 kullanılarak imal edilmiş ayna dişlisindeki tesir derinliği 1.44mm olarak tespit edilmiştir. Mevcut SAE 8625 mahruti dişlisi malzemesi üzerinde yapılmış ısıl işlem sonucunda işlem tesir derinliği 1,38 mm çıkarken, önerilen 20MnCr5 malzemesi kullanılarak imal edilmiş mahruti dişlisindeki tesir derinliği 1,32 mm olarak tespit edilmiştir. Şekil 1 ve 2'de mevcut ve önerilen malzeme ile imal edilmiş mahrutilerdeki ısıl işlem sonrasındaki sertlik değerlerinin karşılaştırması bulunmaktadır [13].

2.3. Numunelerin İmalatı ve Isıl İşlemleri (Sample Manufacturing and Heat Treatment)

Kapalı kalıpta sıcak dövme işlemi ile imal edilen ayna ve mahruti dişli taslakları kullanılarak, mahruti dişlisi CNC tezgahta işlenerek, kama yuvaları ve mahruti flanş somununun monte edileceği ucuna vida dişi açılmıştır. Ayna dişlisinde ise aynı işlemler tekrarlandıktan sonra monte edilmesini sağlayan delikler ve kılavuz çekilerek vida dişleri oluşturulmuştur. Bundan sonra diş açma işlemi gerçekleştirilerek ayna dişlisinin arka yüzeyindeki salgı miktarı, iç çapı, mahruti dişlisi üzerindeki yuvarlanmalı yatak çapları ve bunların salgı miktarının kontrolüne özel önem verilmiştir. Tezgaha bağlanmış (a) ayna ve (b) mahruti dişlileri talaş kaldırma işlemine tabi tutulmuş, Oerlikon C27 tezgahında soğutma sıvısı kullanılmadan, kesme takımı değiştirilerek hem ayna dişlisine hem de mahuti dişlisine diş açılmıştır [14] (Şekil 3, Şekil 4). Kesici bıçakların yerleşimi büyük önem taşıdığından, dişlilerin hızlanma ve yavaşlama esnasında çalışan yüzeyleri aynı anda, fakat farklı bıçaklar tarafından kesilmiştir. Diş açma işlemlerinden sonra pah kırma ve lebleme işlemleri de gerçekleştirilmiştir [15]. Belirlenmiş sertlik değerlerinin elde edilebilmesi için sementasyon işlemi ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiş, mahruti yüzeyinde sertliğin 58 – 63 HRC arasında, sertlik derinliğinin 1,143 – 1,397 mm olduğu kısımda 50 HRC ve diş çekirdeği sertliğinin ise en az 28 HRC olması amaçlanmıştır. Ayna dişlileri ısıl işlem fırınında ön tavlanmış, ardından karbürasyon fırınında sementasyon uygulanmış, sementasyon sonrasında yağda su verme işlemine tabi tutularak sertleştirilmiştir. Isıl işlem sonrasında, ayna dişlisi iç çapı ve istavroz kutusunun oturduğu yüzeyin düzlemselliği ve salgısı %100 kontrol edilmiştir. Temperlenen ve kumlanan ayna dişlileri CNC torna tezgahı yardımı ile sert tornalanmıştır. Test öncesinde, dişli boşluğu 0,17 – 0,18 mm olacak şekilde ayarlanarak, hızlanma ve yavaşlama esnasında çalışan yüzeylerdeki temas izlerinin kontrolü yapılmıştır (Şekil 5).

3. AYNA MAHRUTİ ÇİFTLERİNİN YORULMA DENEYLERİ (GEAR FATIGUE TESTS)

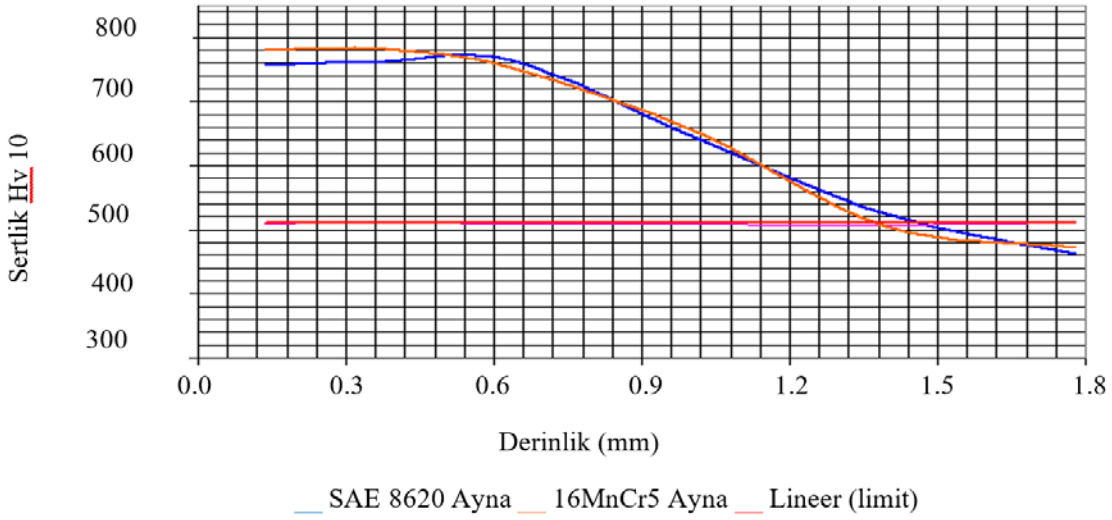
Ayna mahruti çiftlerinde en sık karşılaşılan hasar tipleri; yorulmaya maruz kalan dişlerde görülen çatlamalar ve kırılmalardır. Dişli oranları 3,73:1 ve 4,27:1 olacak şekilde, mevcut mahruti malzemesi SAE 8625 ve ayna malzemesi SAE 8620 olan dokuz adet ayna mahruti çifti ile mahruti malzemesi 20MnCr5 ve ayna malzemesi 16MnCr5 olan oniki adet dişli çifti deneylerde kullanılmıştır [16].

3.1. Deney Planı (Test Schedule)

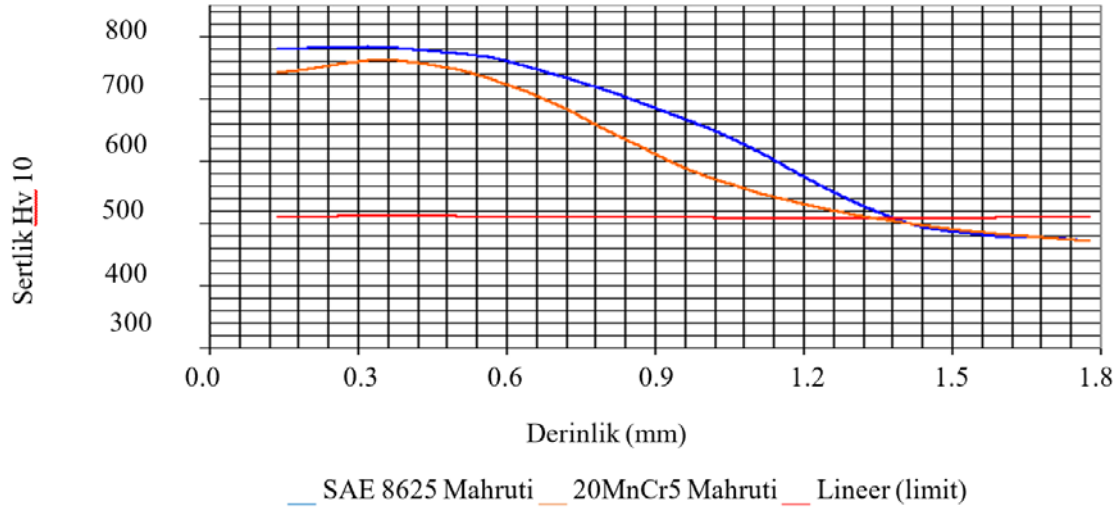
Yaklaşık üç buçuk ay süren deneylerde kullanılan dişli çifti, dinamometreye arka aks olarak monte edilerek, mahruti açısı, 0^o olarak ayarlanmıştır.

Tablo 1. Malzeme önerileri ve kompozisyonları (Selected materials composition)

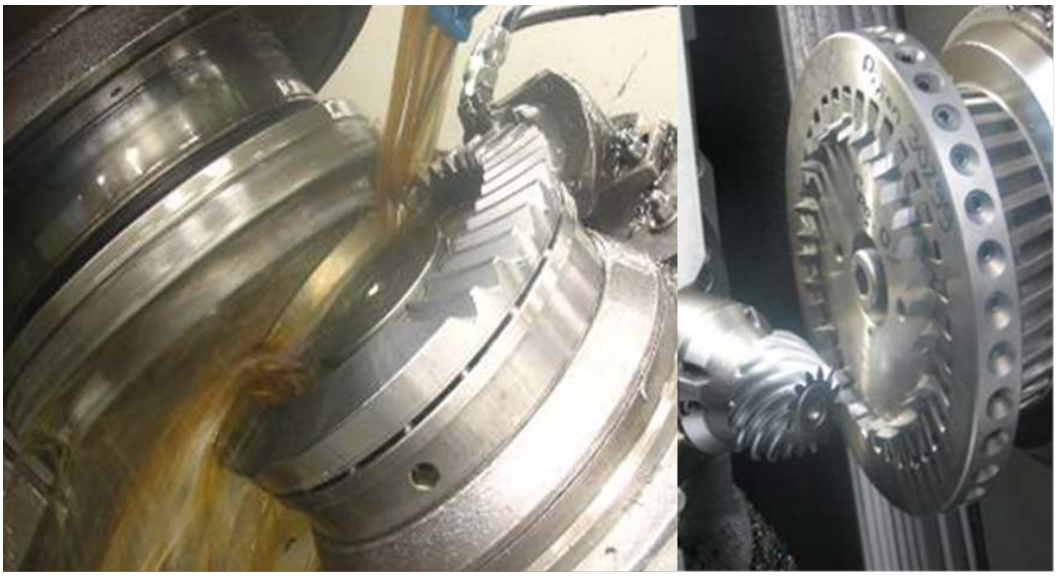
Malzeme	Karbon	Mangan
8620	0,18 – 0,23	0,70 – 0,90
16MnCr5	0,14 – 0,19	1,00 – 1,30
20MnCr5	017 – 0,22	1,10 – 1,40
8625	0,23 – 0,28	0,70 – 0,90
Nikel	Krom	Molibden
0,40 – 0,70	0,40 – 0,65 0,80 – 1,10	0,15 – 0,25
0,40 – 0,70	0,40 – 0,65 1,00 – 1,30	0,15 – 0,25



Şekil 1. SAE 8620 ve 16MnCr5 ile imal edilmiş aynaların sertlik ölçümü kıyaslaması (Materials hardening comparison)



Şekil 2. SAE 8625 ve 20MnCr5 ile imal edilmiş mahrutilerin sertlik ölçümü kıyaslaması
(Materials hardening comparison)



Şekil 3. Diş açma işlemi ayna dişlisi mahruti dişlisi (Threading Process)



Şekil 4. Lepleme işlemi ve kontrolü (Lapping process)



Şekil 5. Diş basma yüzeyleri kontrolü (Gear theat contact surface control)

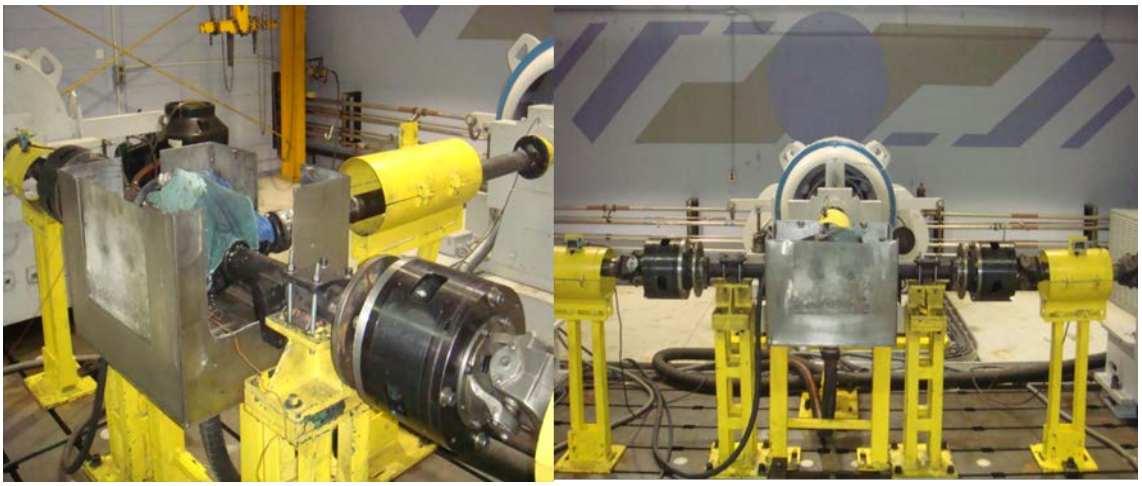
Deneyde, sentetik yağ kullanılarak toplam çıkış momenti 1.300 Nm, mahruti hızı 1.200 devir/dakika ve hareket yönü ileri olarak otuz dakika dişli alıştırma işlemi yapılmış, yağ haznesindeki yağın 105°C'yi geçmemesine dikkat edilmek sureti ile toplam çıkış momenti 5500 Nm, mahruti hızı 600 devir/dakika ve hareket yönü ileri olacak şekilde, hasar meydana gelinceye kadar deney devam ettirilmiştir. Hasar görmüş dişli çiftlerinin, diş boşluğu değerleri ve dişli temas yüzeyleri kaydedilmiştir [17, 18], (Şekil 6).

3.2. Yorulma Deney Sonuçları (Test Results)

Bu deneylerde, 3,73 ve 4,27 olmak üzere iki adet arka aks oranı test edilmiştir. Mevcut malzeme ile imal edilen üç adet 4,27 ve altı adet 3,73 dişli seti, önerilen malzeme ile imal edilen altışar adet 3,73 ve 4,27 dişi setleri, birbirleri ile kıyaslanmak üzere deney düzeneğine çalıştırılmıştır. Çizelge 2'de mevcut ve önerilen malzeme ile imal edilmiş, 3,73 ve 4,27 oranlarındaki dişli setlerinin yorulma testi sonuçları bulunmaktadır. 191 numaralı numune, mahruti yuvarlanmalı yatağında hasar gerçekleştiği için deney tekrar edilmiştir ve yine Tablo 2'de yer alan taşıtların kat ettikleri mesafeler, lastik kodu 215/75 R16C olan tekerleklere göre hesaplanmıştır.

4. ÖNERİLEN MALZEME İLE TAŞIT DENEYLERİ (NEW MATERIAL VEHICLE TEST)

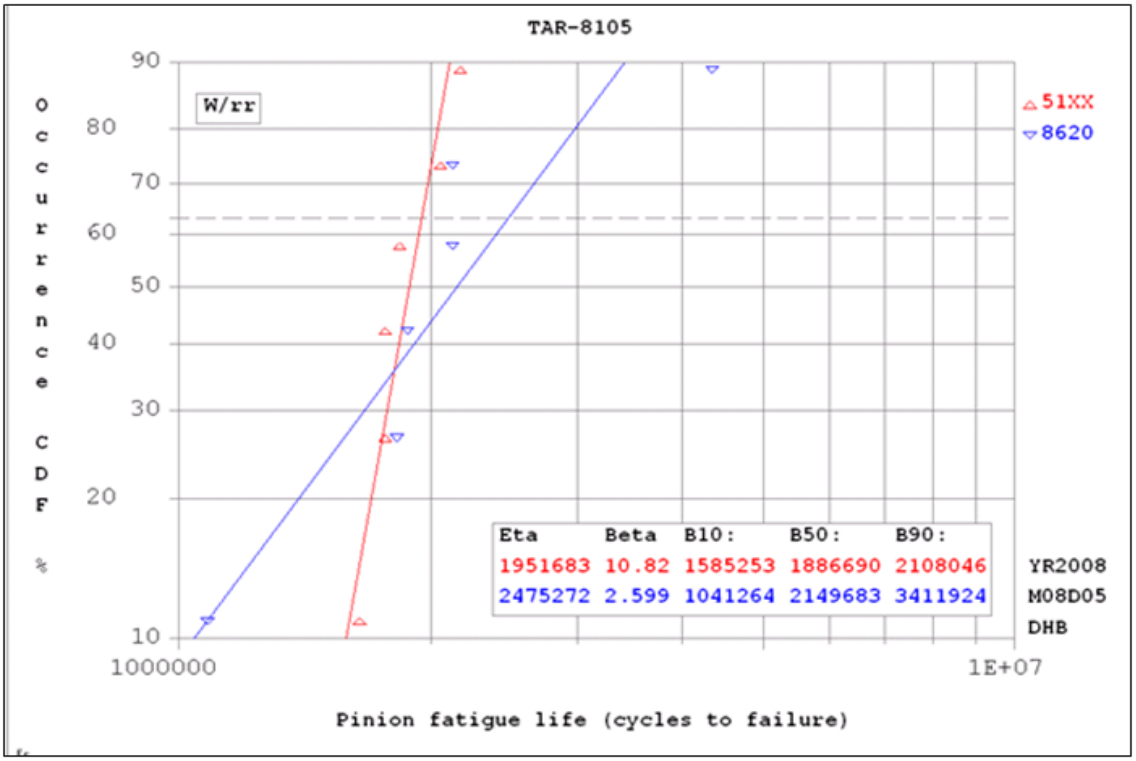
Deney tertibatının dışında, yeni malzeme ile imal edilmiş dişli çiftleri, test taşıtlarına monte edilerek Lommel Test Merkezi'nde test edilmiştir. İlk test T98A1428 kod'lu taşıtta yapılmış ve taşıt testi %100 (82.206 Km) tamamlamıştır. Testin sonlarına doğru 80 km/saat hızın üzerinde aks sesi problemi tespit edilmiştir. Test sonunda, alt parçaların ne durumda olduğunun belirlenmesi için, ölçümler alınarak tüm arka aks parçaları sökülmüştür. Dişli oranı 4,27 olan arka aksın ölçümleri esnasında, dişli boşluğu değeri üç farklı noktada 0.20 mm, 0.23 mm ve 0.20 mm olarak görülmüştür. Taşıt tasarım ömrünün 250.000 km olarak öngörüldüğü düşünüldüğünde, önerilen malzemeden imal edilmiş ayna mahruti çiftlerinin, hedeflenen değerin üstünde performans sergilediği görülmektedir. Güvenilirlik analizleri açısından Weibull dağılımı kullanılarak yazılım vasıtası ile mukayeseler gerçekleştirilmiştir (Şekil 7, 8). Eski ve yeni malzemelerle 3,73 çevrim oranında imal edilmiş dişlilerin yorulma dayanımları, yapılan deneylerde deney numunelerinin B10 ömürde istatistiksel olarak % 52 iyileşme göstermektedir. 4,27 çevrim oranında imal edilmiş dişlilerin yorulma dayanımlarını kullanarak oluşturulmuş Weibull grafiği yeni malzeme ile imal edilmiş mahruti çevrim sayısı, eski malzeme ile imal edilmiş mahrutinin çevrim sayısına göre, B10 ömürde istatistiksel olarak %50 iyileşme göstermektedir [19]. Mevcut malzeme ile 3,73 çevrim oranında imal edilmiş ayna mahrutilerin yorulma deneyleri sonucunda, 703 numaralı dişli seti haricindeki dişli setlerinin hepsinde mahruti dişlerinde pitting gözlemlenmiştir. 703 numaralı dişli setinin ise hem ayna hem de mahruti dişlerinde kırılmalar gözlemlenmiştir. Yorulma deneylerinde 537, 191 ve 1912 numaralı dişli setlerinin mahruti dişlerinde pitting, 533 ve 1911 numaralı dişli setlerinde mahruti dişlerinde kırılmalar ve 1913 numaralı dişli setinin mahruti dişlerinde ve gövdesinde kırılmalar tespit edilmiştir. Mevcut malzeme ile 4,27 çevrim oranında imal edilmiş ayna mahrutilerin yorulma deneyleri sonucunda, 1234 ve 7223 numaralı dişli setlerinde ayna dişlerinde kırılmalar, 147 numaralı dişli setinde ise mahrutinin tek dişinde kırılma gözlemlenmiştir. Önerilen malzeme ile 4,27 çevrim oranında imal edilmiş ayna mahrutilerin yorulma deneyleri sonucunda 4954, 2949 ve 4953 numaralı numunelerin mahrutilerinin birer dişi kırılmıştır. 2943, 2947 ve 4951 numaralı deney numunelerinin ise birden fazla sayıda mahruti dişlerinde kırılma gözlemlenmiştir (Şekil 9, Şekil 10). Test sonunda, alt parçaların ne durumda olduğunun belirlenmesi için, ölçümler alınarak tüm arka aks parçaları sökülmüştür. Çevrim oranı 4,27 olan arka aksın ölçümleri esnasında, dişli boşluğu değeri üç farklı noktada 0,20 mm, 0,23 mm ve 0,20 mm olarak görülmüştür. Ayna dişlisindeki basma izleri kontrol edilmiştir. Deney sonrasında, ayna mahruti yuvarlanmalı yataklarının monte edildiği mahruti şaftı üzerinde, çeşitli yüzey kusurlarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Deney sonrasında, 100 devir/dakika hızla ve 17 Nm moment uygulanarak HİH ölçümü yapılmıştır.



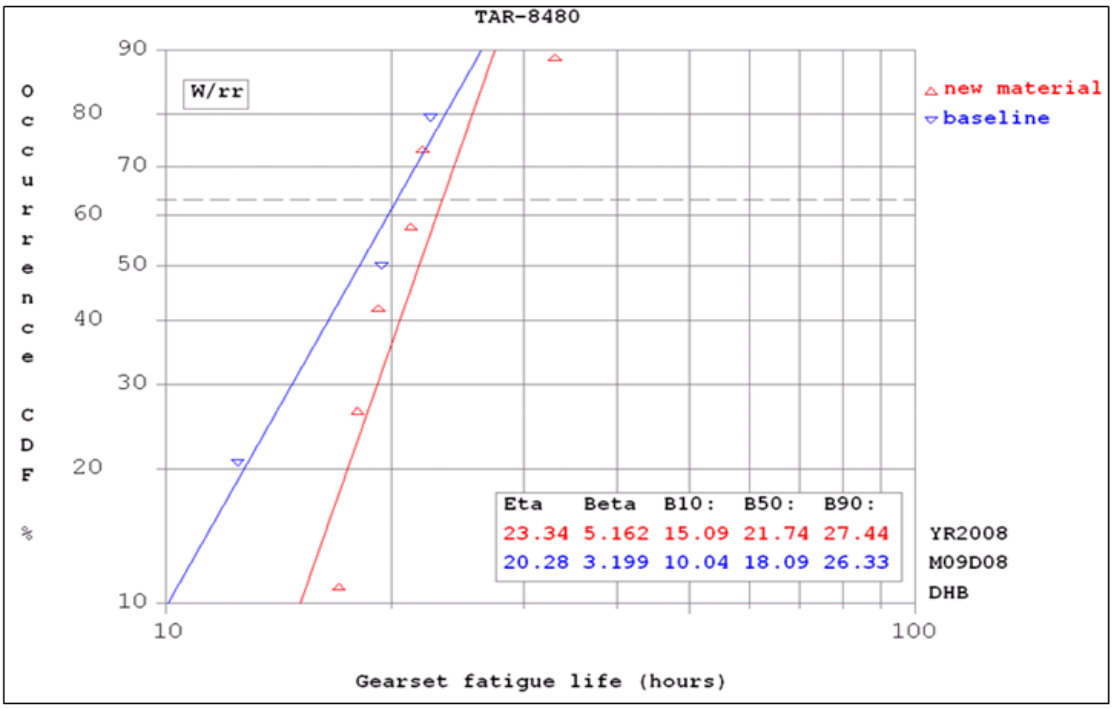
Şekil 6. Dinamometrede hazırlanmış aks numuneleri (Dynomometer test setup)

Tablo 2. Deney sonuçları (Test results)

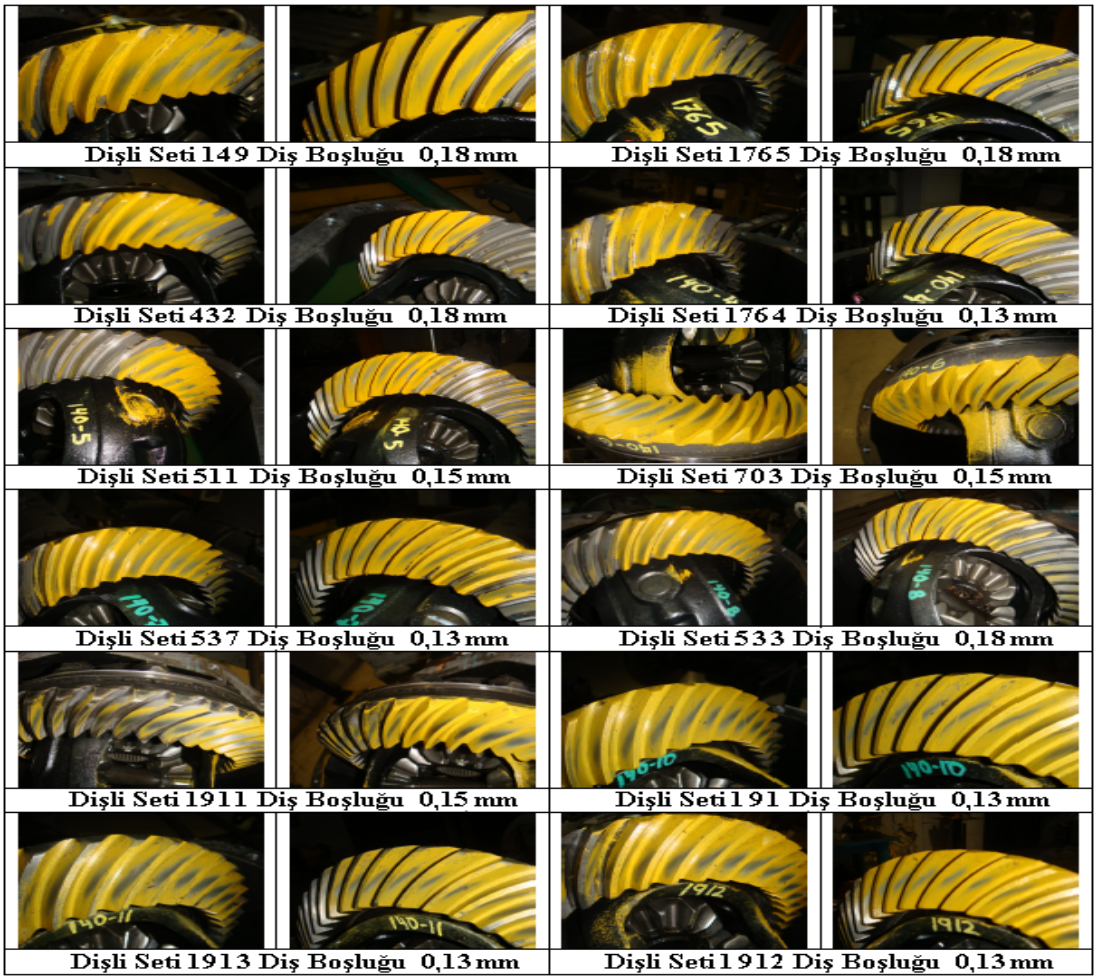
Malzeme	Dişli Oranı	Dişli Seti No	Süre (saat) dakika)	Mahruti Çevrim Sayısı	Ayna Çevrim Sayısı	Aracın tamamladığı yol (km)
Mevcut	3,73	149	52:10	1.875.600	502.841	1.151.506
Mevcut	3,73	1765	120:72	4.345.800	1.165.093	2.668.063
Mevcut	3,73	432	50:65	1.823.400	488.847	1.119.460
Mevcut	3,73	1764	59:00	2.124.000	569.436	1.304.008
Mevcut	3,73	511	59:00	2.124.000	569.436	1.304.008
Mevcut	3,73	703	30:00	1.080.000	289.544	663.056
Ortalama			61:91	2.228.800	597.533	1.368.350
Mevcut	4,27	1234	12:45	448.200	104.964	240.368
Mevcut	4,27	7223	19:38	697.800	163.419	374.230
Mevcut	4,27	147	22:5	810.000	189.695	434.402
Ortalama			18:11	652.000	152.603	349.667
Önerilen	3,73	537	49:00	1.764.600	472.922	1.082.992
Önerilen	3,73	533	49:00	1.763.999	472.922	1.082.992
Önerilen	3,73	1911	60:28	2.170.200	581.823	1.332.375
Önerilen	3,73	191*	51:00	1.836.000	492.225	1.127.195
Önerilen	3,73	1913	45:60	1.643.388	440.586	1.008.942
Önerilen	3,73	1912	57:08	2.055.000	550.938	1,261,648
Ortalama			51:99	1.872.198	501.903	1.149.357
Önerilen	4,27	4954	22:01	792.360	185.620	425.070
Önerilen	4,27	2949	17:00	612.000	143.325	328.214
Önerilen	4,27	2943	19:18	690.480	161.733	370.369
Önerilen	4,27	4953	33:00	1.188.000	278.220	637.124
Önerilen	4,27	2947	21:21	763.560	178.875	409.624
Önerilen	4,27	4951	18:00	648.000	151.756	347.521
Ortalama			21:73	782.400	183.255	419.654



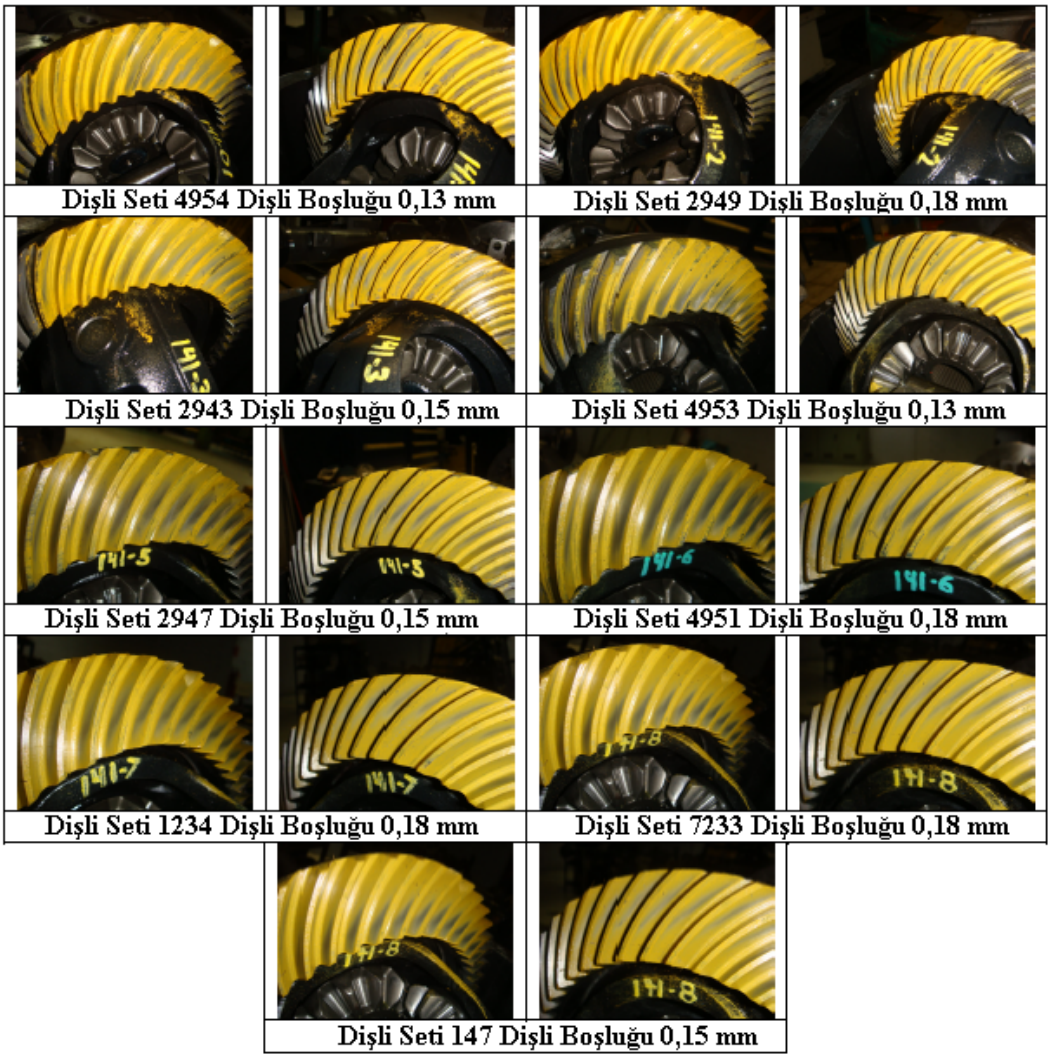
Şekil 7. 3.73 Karşılaştırmalı deney sonuçları (Test results comparison)



Şekil 8. 4.27 Karşılaştırmalı deney sonuçları (Test results comparison)



Şekil 9. Yorulma testi sonrasında diş basma izi incelemesi fotoğrafları (Contact surface fatigue test results)



Şekil 10. Yorulma testi sonrasında diş basma izi inceleme fotoğrafları (Contact surface fatigue test results)



Şekil 11. T98A1428 taşıt testi, diş basma izleri: hızlanma ve yavaşlama yüzeyi
(Contact surface fatigue test results of acceleration and deceleration surfaces)

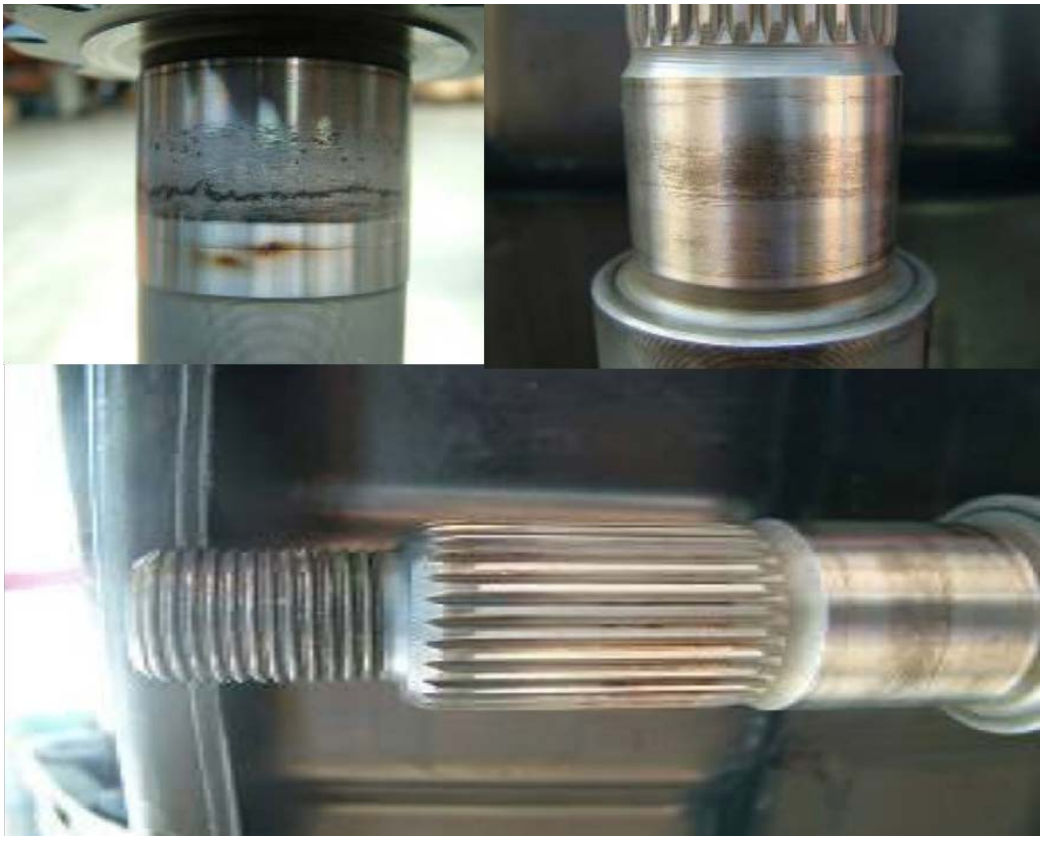
Ayna dişlisi üzerinde hızlanma tarafı HİH 28,16 µR ve yavaşlama tarafı HİH 36,23 µR ölçülmüştür. Sınır değerin 25 µR olduğu düşünülürse, yavaşlama tarafındaki yüzeyin aşınmış olduğu söylenebilir.

İkinci taşıt testi, T98A1526 kod'lu taşıtla yapılmıştır ve taşıt testi %100 (83,382 km) tamamlamıştır. Çevrim oranı 4,27 olan arka aksın test sonunda ölçümler esnasında yan boşluk değerlerinin üç farklı noktada da 0,23 mm olarak ölçülmüştür. Deney sonrasında, ayna dişlisi üzerinde hızlanma tarafı HİH 105,9 µR ve yavaşlama tarafı HİH 14,26 µR ölçülmüştür. Sınır değerin 25 µR olduğu düşünülürse, hızlanma tarafındaki yüzeyin çok fazla aşınmış olduğu söylenebilir. Deney sonrasında, ayna mahruti yuvarlanmalı yataklarının monte edildiği mahruti şaftı üzerinde çeşitli yüzey kusurlarının oluştuğu gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR
(RESULTS AND DISCUSSIONS)

Eski ve yeni dişli malzemeleri kullanılarak imal edilmiş ayna mahruti çiftleri, yorulma ömrünü saptayan deney düzeneklerinde hızlandırılmış yorulma deneylerine tabi tutulmuştur. Çevrim oranı 3,73 olan yeni ayna mahruti çiftlerindeki yorulma ömrü, ayna dişli çevrim sayısı açısından bakıldığında, %16 oranında azalmıştır. Çevrim oranı 4,27 olan yeni ayna mahruti çiftlerindeki yorulma ömrü, ayna dişli çevrim sayısı açısından bakıldığında, %20 oranında artmıştır. Çevrim sayıları ve tekerlek çapları gözönünde bulundurulduğunda, dişlilerde yorulma sonucu hasar gerçekleşinceye kadar taşıtların katettikleri yol, tasarım ömrü olan 250.000 Km'nin üzerinde çıkmıştır. Yorulma deneylerine ilave olarak, yeni malzeme ile imal edilmiş dişli çiftleri, hafif ticari taşıtların diferansiyellerine monte edilerek ve gerçek taşıt çalışma koşullarında dayanıklılık testine tabi tutulmuşlardır.

Hiçbir problem çıkmadan tamamlanan taşıt dayanıklılık testi sonucunda, taşıtlarda bulunan diferansiyel sistemleri sökülerek alt parçaları incelenmiştir, incelemeler sonucunda, ayna dişlerinde aşınmaların olduğu, yuvarlanmalı yatakların monte edildiği mahruti şaftı üzerinde yüzey hasarlarının oluştuğu farkedilmiştir. Bunun sonucunda, düzeneklerde gerçekleştirilen yorulma deneylerinin tam olarak gerçek taşıt şartlarını yansıtamadığına karar verilmiştir (Şekil 11). Taşıt testlerinde ortaya çıkan parça hasarları değerlendirildiğinde: yeni malzemenin taşıta monte edilecek dişli imalatında doğrudan kullanılmasının mümkün olmadığı, taşıt testlerinde ortaya çıkan yatak muylu hasarlarının, sıkı geçme tolernaslarından kaynaklandığı ve yapılacak değişiklikle giderilebilecek nitelikte olduğu anlaşılmıştır (Şekil 12). Bu nedenle, yapılacak iyileştirme sonrası önerilen malzeme ile imal edilmiş dişlilerin kullanıldığı taşıt testlerinin tekrarlanması gerektiğine karar verilmiştir. Dişli imalatçısı firmanın tesislerini başka bir ülkeye taşıması nedeni ile malzeme mikroyapıları karşılaştırmalı olarak incelenememiştir. Tekrarlanması gereken taşıt testlerinin tamamlanması 6 ile 9 ay arasında zaman alacaktır ve testlerin sonuçları iyi çıktığı taktirde, yeni dişli malzemeleri seri imalata alınabilecektir.



Şekil 12. Yuvarlanmalı yatak temas yüzeyleri ve kamalı mil yüzeyi hasarı (Roller bearing and spline contact surface damage)

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Her zaman verdiği desteklerden dolayı Sn. Prof. Dr. Aybars ÇAKIR'a ve Yük. Müh. Çise ÖZKAYA'nın yüksek lisans tezi olan çalışmaya desteklerinden ötürü Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.'ne teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Erdin M.E., Helisel Konik Dişli Çarklarda Gerilmelerin Sonlu Eleman Yöntemiyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.

2. Fetvacı M.C., Determination of Effective Involute Parameter Limit in Generation Simulation of Gears Manufactured by Pinion-type Cutters, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (2), 449-455, 2016.

3. Güllü E., Yılmaz T.G., Investigation Of Surface Pressure And Elastic Deformation On External and Internal Spur Gear, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (2), 585-591, 2017.

4. Jonggyu J., Seungjin N., et.al, Mechanical behavior of ultrafine-grained high-Mn steels containing nanoscale oxides produced by powder technology, Materials and Design, 92, 73-78, 2016.

5. Behrens B.A., Doege E., et.al., Precision forging processes for high-duty automotive components, Journal of Materials Processing Technology, 185, 139–146, 2007.

6. John B., Mathias, W., Comparison of slip-rolling behaviour between 20MnCr5 gear steel, 36NiCrMoV1-5-7 hot working tool steel and 45SiCrMo6 spring steel, Wear, 328-329, 28-38 2015.

7. Lefevre J., Hayrynen, K. L., Austempered Materials for Powertrain Applications, Journal of Materials Engineering and Performance, 13, 1914-1922, 2013.

8. Jeitler B., Hinteregger C., Leitner H., New Gear Manufacturing Technologies in the Automotive Field of Transmissions, Axle Drives and Transfer Cases, Proceedings Of The Asme International Design Engineering Technical Conferences And Computers And Information In Engineering Conference, 7, 813-822, 2007.

9. Sergio B., Fatigue resistance of steel and titanium PVD coated spur gears, International Journal of Fatigue, 29, 1893–1903, 2007.

10. Khorsand H., Habibi, S. M., et.al., Fatigue of sintered steels (Fe - 1.5 Mo - 3 Mn - 0.7 C), Materials and Structures / Materiaux et Constructions, 37, 335-341, 2004.

11. Kleiss R., Ferfecki F.J., 2012, Designing A Polymer Gear For Use In The Environment Of An Internal Combustion Engine, Proceedıngs Of The Asme International Design Engineerıng Technıcal Conferences And Computers And Information In Engineering Conference, 8, 515-521, 2011.

12. Kapelevich A.L., Ananiev V.M., Gear Transmission Density Maximization, Proceedings Of The Asme International Design Engineering Technical Conferences And Computers And Information In Engineering Conference, 8, 127-133, 2012.

13. Eryürek İ.B., Hasar Analizi Ders Notları, 56 – 83, İTÜ, İstanbul, 1993.

14. Danilevsky J., Dişliler ve Dişli İmalatı, İmalat Mühendisliği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 327 – 358, 1987.

15. Brown J., Advanced Machining Technology Handbook, Fineblanking, 33-44, 1998.

16. Chien W.Y., Pan J., Close D., Ho S., Fatigue Analysis of Crankshaft Sections Under Bending with Consideration of Residual Stresses, International Journal of Fatigue, 27, 1-19, 2005.

17. Shigley J.E., Mechanical engineering design, McGraw Hill, New York, U.S.A., 1986.

18. Çakır Y.A., Baykara C., Yenilmez A., Fetvacı C., Makina Elemanları Ders Notları, 1999.

19. Weibull, W., Fatigue Testing and Analysis of Results, 16-17, Pergamon Press, Sweden, 1961.