

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI TERMOPLASTİK DİŞLİ ÇARKLARIN YÜK
TAŞIMA KAPASİTESİ ve HASAR OLUŞUMUNUN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Rifat YAKUT
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

Konya, 2008

T. C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI TERMOPLASTİK DİŞLİ ÇARKLARIN YÜK
TAŞIMA KAPASİTESİ ve HASAR OLUŞUMUNUN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Rifat YAKUT

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI TERMOPLASTİK DİŞLİ ÇARKLARIN YÜK
TAŞIMA KAPASİTESİ ve HASAR OLUŞUMUNUN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

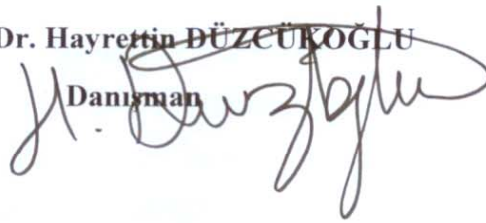
Rifat YAKUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

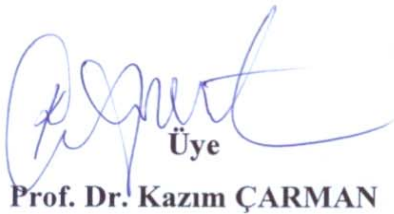
Bu tez 20/02/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜOĞLU

Danışman



Üye



Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Üye

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**BAZI TERMOPLASTİK DİŞLİ ÇARKLARIN YÜK
TAŞIMA KAPASİTESİ ve HASAR OLUŞUMUNUN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Rifat YAKUT

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Eğitimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

2008, 123 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İMREK

Hafiflik, düşük gürültü ve kendinden yağlama özelliklerine sahip olan plastik dişli çarkların kullanımı oldukça yaygındır. Yüksek yük ve yüksek hızda çalışan makinelerde kullanılan plastik dişli çarklar termal, diş kırılması, aşınma vb gibi hasarlara uğramaktadır. Bu nedenle bir plastik dişli çiftinin performansının doğru olarak belirlenmesi önemi ortaya çıkmaktadır.

Yapılan bu çalışmada PA66 GFR30, ABS/PC, ve PA66 GFR30 +%2 borik asit, enjeksiyon yöntemi ile elde edilen bazı termoplastik dişli çarkların yük taşıma kapasitesi ve hasar oluşumunu farklı yük ve devirlerde deneysel olarak çalışma yapılmıştır. Ayrıca

Termoplastik- AISI 8620 ve Termoplastik-Termoplastik eş dişli çalışma performansları da araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen diş yüzey sıcaklığı, diş profilinde oluşan aşınma derinlikleri, diş hasarları ve diş yüzeylerinin SEM mikroskobu altında incelenerek diş hasar oluşumu irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polyamid 66 (PA66), plastik dişli, ABS/PC, borik asit

ABSTRACT**Master Thesis****THE CAPACITY OF LOADING OF SOME THERMOPLASTIC GEAR
MECHANISM AND INVESTIGATION OF DAMAGES OCCURING****Rifat YAKUT****Selçuk University****Graduate School of Natural and Applied Sciences****Department of Machine Education****Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU****2008, 123 Pages****Jury: Prof. Dr. Kazım ÇARMAN****Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU**

The using of the plastic gear mechanisms which have the properties of lighting, low noise and self lubricating is rather widespread. It used at high loading and velocity in machine run is occurred to damages as thermal, fracture gear and wearing. Therefore the determining right of the pair of gear performance detects the it's importance.

In this study, the loading capacity and damages of PA66 GFR30, ABS/PC and PA66 GFR30+ %2 boric acid thermoplastic gear mechanisms produced with injection method, tested at the different loading and revolution. In addition, thermoplastic-AISI 8620 and thermoplastic – thermoplastic pair gears was investigated.

As result of study, gear surface temperature, wearing depth occurred at the gear profile, gear damages and occurring gear damages at the gear surface under the SEM microscope was examined.

Key Words: Polyamid 66 (PA66), plastic gear, ABS/PC, boric acid.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması BAP koordinatörlüğü tarafından 07201040 Nolu “Poliamid dişli çarkların yük taşıma kapasitesinin deneysel olarak incelenmesi” isimli BAP Tez Projesi kapsamında maddi olarak desteklenmiştir. Bu vesile ile ilgili BAP koordinatörlüğü nezdinde Selçuk Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmalarında laboratuvarları kullanmama yardımcı olan başta Teknik Eğitim Fakültesi dekanı sayın Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR hocama, bölüm başkanımız sayın Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU hocama ve çalışmalarım esnasında değerli katkılarıyla, yaptığı yapıcı eleştirilerle beni yönlendiren, gerekli yardımlarını ve çabalarını benden esirgemeyen sürekli desteğini gördüğüm, sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU’na, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve tecrübelerini paylaşan sayın hocam Arş. Gör. Mehmet Turan DEMİRCİ ve Arş. Gör. Şerafettin EKİNCİ’ye , deneylerimi yapmak için FZG deney cihazını kullanmama yardımcı olan Makine Mühendisliği Bölüm başkanlığına ve sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İMREK’e, Gazi Üniversitesi Kalıpcılık Bölümünde deney kalıbımın hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Zafer TEKİNER hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarımnda her zaman yanımda olan ve maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve sayın Recai DEMİRÖZ bey ile sayın Mehmet SAVAŞ beye en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Rifat YAKUT

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
TABLoların LİSTESİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAKARAŞTIRMASI.....	3
3. DÜZ DİŞLİ ÇARK MEKANİZMALARI.....	8
3.1. Diş Profili	8
3.2. Dişli Çarklarda Profil Kaydımı.....	8
3.3. Aşınma Profilleri.....	10
3.4. Diş Profilleri Arasındaki İzafi Hareket.....	11
3.5. Dişli Çarkların Aşınma Durumu.....	12
3.6. Diş Profilleri Arasındaki Yüzey Basıncı.....	12
3.7. Diş Profili Üzerindeki Sıcaklık Dağılımı Teoriksel Yaklaşımı.....	14
3.8. Dişli Çark Dişlisinin Gövde Sıcaklık Tahmini.....	15
4. PLASTİK MALZEMELER HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	19
4.1.1. Akrilonitril-bütadien stiren (ABS).....	20
4.1.2. PC/ABC.....	20
4.1.3. Polyamid (Naylon).....	20
4.1.4. POM-Derlin (Asetal-Polioksimetilen).....	21
4.1.5. Kestamid (Cast Poliamid).....	21
4.1.6. Polikarbonat.....	21
4.2. Dişli yapımında Kullanılan Plastiklerin Özellikleri.....	22
4.3. Plastik Dişli Çarkların Kullanım Kriterleri.....	23
4.4. Plastik Dişli Çarklar İçin Malzeme Çiftleri.....	25
5. PLASTİK DİŞLİLERDE ÖMÜR VE ÖNEMİ.....	27
5.1. Plastik Dişli Çarkların Hasar Mekanizmaları.....	27

5.1.1. Plastiklerin yorulması.....	28
5.1.1.1. Isıl yorulma (Yumuşama hasarı).....	29
5.1.2. Plastiklerin viskoelastik davranışı.....	30
5.1.2.1. Plastiklerin sürünmesi.....	30
5.1.2.2. Plastiklerde gerilme gevşemesi.....	31
5.1.3. Plastik aşınma ve yağlama.....	32
5.1.4. Polimerlerin kırılması.....	34
5.2. Plastik Dişlilerin Ömrünü Arttırıcı Değişik Metodler ve Hassasiyetleri.....	34
5.2.1. Soğutma metodu.....	34
5.2.2. Plastik dişli profilinin modifiyesi.....	35
5.2.3. Plastik dişli ile çalışan metal dişli malzemesinin etkisi.....	36
5.3. Plastik Dişli Çarkların Mukavemetlerini Arttırmak İçin Öneriler	36
5.3.1. Modülün seçimi	36
5.3.2. Kavrama açısını değiştirmek.....	37
5.3.3. Diş kök eğrisi formu.....	37
5.3.4. Tamamlayıcı profil.....	38
5.3.5. İşletme gürültülerinin azaltılması.....	38
5.3.6. Profil kaydırma.....	38
5.3.7. Diş hasarları.....	39
5.3.8. Boyutsal değişiklikler.....	39
5.3.9. Malzemeye dayalı değişiklikler.....	39
6. MATERYAL METOT	40
6.1. Kavrama Doğrusu Boyunca Statik Yük Dağılımı.....	40
6.2 Deney Yapılacak Plastik Dişlilerin Hesaplamaları.....	40
6.3. Dişli Kalıbının Hazırlanması ve Dişli Malzemeleri.....	43
6.3.1. Kalıp Tasarımı	43
6.3.2. Parça Tasarımı	44
6.4. Enjeksiyon İşlem Şartları	45
6.5. Deneysel Metot	48
6.5.1. Deney Tesisatı	48
6.5.2 Deney Prosedürü	50
6.5.2.1. Parametre secimi	52
6.5.2.2. Deney dişlilerinin sıcaklığının ölçülmesi	53
6.5.2.3. Deney dişlilerinin aşınma ve profil ölçümleri.....	54

6.5.2.4. Deney dişlilerinin SEM ölçümü.....	55
7. DENEY SONUÇLARI.....	57
7.1. PA 66 GFR 30/AISI8620 ve PA 66 GFR 30/PA 66 GFR 30.....	57
7.1.1. PA 66 GFR 30-AISI8620 Eş Dişli Çark, Modül 4.5.....	57
7.1.2. PA 66 GFR 30-PA 66 GFR30 Eş Dişli, Modül 4.5.....	64
7.1.3. PA 66 GFR 30-AISI8620 Eş Dişli, Modül 3.5.....	69
7.1.4. PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 Eş Dişli, Modül 3.5.....	74
7.2. ABS/PC-AISI8620 ve ABS/PC-ABS/PC.....	77
7.2.1. ABS/PC-AISI8620 Modül 4.5.....	77
7.2.2. ABS/PC-ABS/PC Modül 4.5.....	83
7.2.3. ABS/PC-AISI8620 Modül 3.5	88
7.2.4. ABS/PC-ABS/PC Modül 3.5.....	91
7.3. PA 66 GFR 30+%2 BORİK ASİT-AISI8620 Modül 4.5.....	94
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	102
9. KAYNAKLAR	105
10.EKLER	108
Ek-1. Diş yüzey sıcaklıkları	108
Ek-2. Çeşitli dişli hasar görüntüleri.....	114
Ek-3. Diş Profilinde olulan aşınma derinlikleri	119
Ek-4. SEM görüntüleri.....	120
Ek-5. Dişli Çarklarda meydana gelen aşınma kütle kayıpları.....	121

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Evolvent profilin oluşturulması.....	8
Şekil 3.2. Artı ve eksi profil kaydırılmış çark.....	9
Şekil 3.3. Referans profili ve kaydırma.....	10
Şekil 3.4. Dişli diş temas mekanizması.....	11
Şekil 3.5. Eş çalışan dişlilerin kinematik durumu	12
Şekil 3.6. Profillerin temas noktalarında kinematik değerler.....	13
Şekil 3.7. Dişli çarklarda Hertz yüzey basıncı	14
Şekil 3.8. Isı sensörü aracılığıyla diş yüzey sıcaklığının ölçümünün görünümü.....	15
Şekil 3.9. Dişli sıcaklık iletiminin gösterilmesi	16
Şekil 5.1. Değişken zorlamalara maruz kalan plastiklerde	29
Şekil 5.2. Plastiklerin şekil değiştirme mekanizması	31
Şekil 5.3. Gerilme gevşemesi.....	31
Şekil 5.4. Santrifüj jet soğutma metodu	34
Şekil 5.5. Profil modifikasyonu	35
Şekil 6.1. Düz dişlide normal kuvvet	40
Şekil 6.2. Düz dişli çark geometrisi	41
Şekil 6.3. Kalıp resminin genel görüntüsü	44
Şekil 6.4. Enjeksiyon sonrası dişli çark görünümü	45
Şekil 6.5. Granür görünümleri	46
Şekil 6.6. Kurutma işlemi görünümü.....	47
Şekil 6.7. Üretimi yapılan plastik dişli kalıbı ve plastik enjeksiyon makinesi.....	47
Şekil 6.8. Deney tesisatının yan görünüşü	48
Şekil 6.9. Dual Dıgıtal Tachometer DT 2268 marka devir göstergesi.....	49
Şekil 6.10. Tork kaplini	49
Şekil 6.11. Tork yükleme aparatları	50
Şekil 6.12. İmpact İnfratherm Pyrometer 510-N marka kızıl ötesi termometre	54
Şekil 6.13. Scherr Tumico Profil aşınma ölçme cihazı.....	54
Şekil 6.14. Profil ölçme cihazı	55
Şekil 6.15. Polaron Range SC7620 Sputter Coater marka atın platinyum kaplama..	56

Şekil 6.16. JEOL JSM-6060LV Scanning Electron Microscope (SEM) cihazı	56
Şekil 7.1. 1000 dev/dak PA66 GFR 30-AISI8620 diş kütle sıcaklık değişimi.....	57
Şekil 7.2. Ölçülen diş görünümü	59
Şekil 7.3. PA 66 GFR 30-AISI 8620 1000 dev/dak modül 4.5 değişik yüklemde oluşan diş profilinde oluşan aşınma derinliği	59
Şekil 7.4. 1000 dev/dak 65.53 N/mm diş yükü, a) Modül 4.5 PA 66 GFR 30-AISI 8620 eş dişli, b) Diş hasarı	59
Şekil 7.5. PA66 GFR 30-AISI8620 1000 dev/dak profil aşınma görünümü.....	60
Şekil 7.6. 1500 dev/dak PA 66 GFR 30-AISI8620 dişli sıcaklık değişimi.....	61
Şekil 7.7. 56.74 N/mm PA66 GFR 30-AISI8620 dişli sıcaklık değişimi	62
Şekil 7.8. 1500 dev/dak PA 66 GFR 30 – AISI8620 diş yükü hasar görünümü	63
Şekil 7.9. PA 66 GFR 30-AISI8620 1500 dev/dak profil aşınma görünümü.....	64
Şekil 7.10. 1000 dev/dak PA66 GFR 30-PA66 GFR 30 dişli sıcaklık değişimi.....	65
Şekil 7.11. PA 66 GFR 30- PA 66 GFR 30 1000 dev/dak aşınma derinliği grafiği..	66
Şekil 7.12. 1000 dev/dak PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 dişli hasar görünümü.....	66
Şekil 7.13. PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 1000 dev/dak profil aşınma görünümü..	67
Şekil 7.14. 1500 dev/dak PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 yüzey sıcaklık değişimi...	67
Şekil 7.15. 39.18 N/mm PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 yüzey sıcaklık değişimi ...	68
Şekil 7.16. 1500 dev/dak PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 dişli hasar görünümü.....	69
Şekil 7.17. 1000 dev/dak PA 66 GFR 30-AISI8620 yüzey sıcaklık değişimi.....	70
Şekil 7.18. 1000 dev/dak PA 66 GFR 30 – AISI8620 diş yükü hasar görünümü...	70
Şekil 7.19. PA 66 GFR 30-AISI8620 1000 dev/dak profil aşınma görünümü.....	71
Şekil 7.20. 1500 dev/dak PA 66 GFR 30-AISI8620 diş yüzey sıcaklık değişimi....	71
Şekil 7.21. 1500 dev/dak PA 66 GFR 30 – AISI8620 dişli hasar görünümü.....	72
Şekil 7.22. PA 66 GFR 30-AISI8620 1500 dev/dak profil aşınma görünümü	72
Şekil 7.23. 1000 dev/dak PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 yüzey sıcaklık değişimi...	74
Şekil 7.24. 1000 dev/dak PA 66 GFR 30 – PA 66 GFR 30 dişli hasar görünümü...	75
Şekil 7.25. PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 1000 dev/dak profil aşınma görünümü..	75
Şekil 7.26. 1500 dev/dak PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 yüzey sıcaklık değişimi...	76
Şekil 7.27. 1500 dev/dak PA 66 GFR 30 – PA 66 GFR 30 dişli hasar görünümü...	76
Şekil 7.28. PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 1500 dev/dak profil aşınma görünümü..	77
Şekil 7.29. 1000 dev/dak ABS/PC-AISI8620 diş yüzey sıcaklık değişimi.....	77
Şekil 7.30. 1000 dev/dak 29.7 N/mm ABS/PC-AISI8620 dişli hasar görünümü	78
Şekil 7.31. ABS/PC - AISI8620 1000 dev/dak profil aşınma görünümü.....	78

Şekil 7.32. ABS/PC- AISI8620 1000 dev/dak SEM görüntüsü.....	79
Şekil 7.33. ABS/PC-AISI8620 1000 dev/dak profil aşınma görünümü	80
Şekil 7.34. 1500 dev/dak ABS/PC-AISI8620 yüzey sıcaklık değişimi	80
Şekil 7.35. 1500 dev/dak ABS/PC-AISI8620 dişli hasar görünümü.....	81
Şekil 7.36. ABS/PC - AISI8620 1500 dev/dak profil aşınma görünümü	82
Şekil 7.37. 16.07 N/mm ABS/PC-AISI8620 yüzey sıcaklık değişimi	82
Şekil 7.38. 1000 dev/dak ABS/PC-ABS/PC yüzey sıcaklık değişimi.....	83
Şekil 7.39. 1000 dev/dak ABS/PC- ABS/PC dişli hasar görünümü	83
Şekil 7.40. ABS/PC-ABS/PC 1000 dev/dak profil aşınma görünümü.....	84
Şekil 7.41. ABS/PC- ABS/PC 1000 dev/dak SEM görüntüsü.....	85
Şekil 7.42. ABS/PC- ABS/PC 1000 dev/dak profil aşınma derinliği.....	86
Şekil 7.43. 1500 dev/dak ABS/PC-ABS/PC yüzey sıcaklık değişimi.....	86
Şekil 7.44. 1500 dev/dak ABS/PC- ABS/PC dişli hasar görünümü	87
Şekil 7.45. ABS/PC-ABS/PC 1500 dev/dak profil aşınma görünümü	87
Şekil 7.46. 1000 dev/dak ABS/PC-AISI8620 yüzey sıcaklık değişimi.....	88
Şekil 7.47. 1000 dev/dak ABS/PC-AISI8620 dişli hasar görünümü.....	89
Şekil 7.48. ABS/PC-AISI8620 1000 dev/dak profil aşınma görünümü	89
Şekil 7.49. 1500 dev/dak ABS/PC-AISI8620 yüzey sıcaklık değişimi	90
Şekil 7.50 1500 dev/dak ABS/PC-AISI8620 dişli hasar görünümü....	90
Şekil 7.51. ABS/PC-AISI8620 1500 dev/dak profil aşınma görünümü.....	90
Şekil 7.52. 1000 dev/dak ABS/PC-ABS/PC yüzey sıcaklık değişimi	91
Şekil 7.53. 1000 dev/dak ABS/PC-ABS/PC dişli hasar görünümü.....	92
Şekil 7.54. ABS/PC-ABS/PC 1000 dev/dak profil aşınma görünümü	92
Şekil 7.55. 1500 dev/dak ABS/PC-ABS/PC yüzey sıcaklık değişimi.....	93
Şekil 7.56. 1500 dev/dak ABS/PC-ABS/PC dişli hasar görünümü.....	94
Şekil 7.57. ABS/PC – ABS/PC 1500 dev/dak profil aşınma görünümü	94
Şekil 7.58. 1000 dev/dak PA66FR30+%2Borik Asit-AISI8620 sıcaklık değişimi. .	95
Şekil 7.59. 1000 dev/dak PA66 GFR30 %2 borik asit-AISI8620 hasar görünümü. .	96
Şekil 7.60. 1000 dev/dakda 56.75 N/mm diş yükünde Borlu ve Borsuz PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	97
Şekil 7.62. 1000 dev/dakda 74,32 N/mm diş yükünde Borlu ve Borsuz PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	97
Şekil 7.63. 1000 dev/dakikada 91,89 N/mm diş yükünde Borlu ve Borsuz PA66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	98
Şekil 7.64 1500 dev/dakda farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA 66 GFR 30-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	99

Şekil 7.65 1500 dev/dakda farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA 66 GFR 30 + %2 borik asit katkılı dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	99
Şekil 7.66 1500 dev/dak Modül 4.5 56.75 N/mm PA 66 GFR 30 + %2 borik asit – AISI 8620 eş dişli, b)Diş.....	100
Şekil 7.67. PA 66 GFR 30 + %2 Borik asit katkılı dişli çark SEM görüntüsü.....	101
Ek-1.1 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA66-AISI 8620 Eş dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	108
Ek-1.2 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA66-PA66 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	108
Ek.1.3. 65.53 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 PA66 GFR30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	109
Ek.1.4. 74.32 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 PA66 GFR30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	109
Ek.1.5. 91.89 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 PA66 GFR30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	110
Ek.1.6. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 3.5 PA66-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	110
Ek-1.7. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 3.5 PA66-PA66 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	111
Ek-1.8. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 ABS/PC –AISİ 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	111
Ek-1.9. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 ABS/PC-ABS/PC diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	112
Ek-1.10. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 3.5 ABS/PC-AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	112
Ek-1.11. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 3.5 ABS/PC-ABS/PC diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	113
Ek-1.12. 1000 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA66-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.....	113
EK 2.1 Farklı devir ve diş yükünde PA 66 GFR 30 Modül 4.5 ve 3.5 Dişli çark dişinde meydana gelen aşınma hasar örnekleri.....	115
Ek.2.2 PA 66 GFR 30 Dişli çark dişinde meydana gelen termal hasar örnekleri...116	
EK 2.3 Farklı devir ve diş yükünde ABS/PC Dişli çark dişinde meydana gelen aşınma hasar örnekleri.....	116
Ek.2.4 ABS/PC Dişli çark dişinde meydana gelen termal hasar örnekleri	117
Ek.2.5 PA 66 GFR 30 Dişli çark dişinde meydana gelen diş kırılma hasar örnekleri	118
Ek.2.6 ABS/PC Dişli çark dişinde meydana gelen diş kırılma hasar örnekleri.....	118
Ek 3-1 PA66 GFR30 –AISİ 8620 eş dişli 750 dev/dak modül 4.5, a) 65,32 N/mm diş yükü, b) 74,32 N/mm diş yükü	119
Ek.3.2. PA66 GFR 30- PA66 GFR 30 eş dişli 1000 dev/dak modül 4.5, a) 65,53 N/mm diş yükü, b) 74,32 N/mm diş yükü.....	119
Ek.3.3. PA66 GFR 30- AISİ 8620 eş dişli 750 dev/dak modül 3.5, a) 65,53 N/mm diş yükü, b) 38,75 N/mm diş yükü.....	119
Ek.4.1. ABS/PC-ABS/PC Çalışmalarının Çeşitli Sem Görüntüleri.....	120
Ek.4.1. PA 66 GFR 30 Çalışmalarının Çeşitli Sem Görüntüleri.....	120

TABLULARIN LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 4.1. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri.....	22
Tablo 4.2. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin bazı fiziksel özellikleri.....	23
Tablo 6.1. Deney dişlilerinin geometrik ölçüleri	43
Tablo 6.2. Windsor HSI 80 plastik enjeksiyon tezgahı basma değerleri.....	46
Tablo 6.3. Numunelerin deney prosedürleri	51
Tablo 6.4. Dişli çark numune sayıları.....	52
Tablo 6.5. Deney yapılacak numunelerin, döndüren, dönen ve diş modülleri	53
Tablo 7.1. PA66 GFR30- AISI8620 Modül 4.5 eş dişli çarkın aşınma kaybı	60
Tablo 7.2. PA 66 GFR30- AISI 8620 Modül 3.5 farklı diş yükü ve devirlerde dişli çarkta meydana gelen aşınma kaybı.....	73
Ek-5. Ağırlık ölçümleri	120
Ek-6.1. ABS/PC'nin mekaniksel özellikleri	122
Ek-6.2. Polyamid 66 GFR 30 malzemenin mekanik özellikleri	123

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde çok yaygın olarak kullanılan dişli çarklar hemen hemen her makinede kullanılan güç ve hareket iletim elemanıdır. Dişli imalatlarında önemli hususlar, dişlinin kullanılacağı yere göre yeterli mukavemet, hafiflik, ekonomiklik, sessiz çalışma, kolay üretilebilirlik vb. olarak sıralanabilir. Enerjinin ve malzemenin ekonomik bir şekilde kullanılarak kayıpların önlenmesi için öncelikle ideal çalışma şartlarının bulunması lazımdır.

Kullanım alanları çok yaygın olan dişli çarklarda malzeme olarak, metaller özellikle AISI 8620 ve dökme demir bunun yanında bakır, çinko, alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan metal dışı malzemeler olarak özellikle plastikler kullanılmaktadır. Bu plastikler, poliamid (nylon), asetal (derlin) v.b. olarak sayılabilir. Bu malzemelerin kullanılmalarıyla dişli çarklarda sessiz çalışma, yağsız çalışma, hafif olma, seri üretime uygun olma, darbe ve titreşimleri sönümleme, üretim ekonomisi gibi özellikler sağlanmıştır. Bunların dezavantajlı tarafları ise düşük yük taşıma kapasiteleri, düşük ısı iletkenliği, ömürlerinin tayin edilmesindeki tutarlılığın fazla olmaması olarak gözlenmiştir. Bu doğrultudaki çalışmalar her geçen gün daha da artmaktadır. Bunların dışında son zamanlarda cam takviyeli ve yağlayıcı katılan termoplastikler, dişli malzemesi olarak kullanılmaktadır. Mühendislikte kullanılan bu plastikler içerilerine ağırlıkça % 30 cam ve %15 yağlayıcı katılan streynakrilonitril, polikarbonat, polisülfon, asetal, polipropilen, nylon, poliüretan ve poliesterler olarak sayılır. Bunların yanında kompozit malzemelerden yapılan dişliler ise daha büyük yük taşıma kapasitesi, düşük termal genleşme, yüksek aşınma direnci ve yüksek yorulma mukavemetine sahiptirler. Bu malzemelerden imal edilen dişlilerle çalışacak karşılık dişlisi AISI 8620 veya dökme demirden imal edildiği takdirde oldukça yüksek bir yük taşıma kabiliyeti elde edilebilmektedir.

Yapılan deneyde, dişli çark diş temas sıcaklıkları ölçülerek diş hasar zamanı tespit edilmiştir. Dişli çark diş hasarları, SEM, dijital görüntüleme, dişli çark diş profilinde oluşan aşınma, dişli çarklarda oluşan ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

Yaptığımız bu çalışmada, PA 66 GFR 30 + % 30 cam takviyeli (PA 66 GFR 30) dişli çark, ABS/PC karışımı dişli çark ve % 30 cam takviyeli (PA 66 GFR 30) malzemeye %2 borik asit (katı yağlayıcı) ekleyerek 3 değişik malzeme üzerinde çalışma yapılmıştır.

ABS/PC genelde otomotiv yan sanayinde, elektronik eşya üzerine oldukça yaygın olmasına rağmen dişli çark üretimi hemen hemen hiç yoktur. ABS/PC malzemesi, polyamid

malzemenin hemen hemen yarı fiyatıdır. Bu nedenle ABS/PC malzemenin dişli çark için kullanılabilirliği araştırılmıştır. ABS/PC'nin alev, hava, ultraviyole ışınlarına dayanıklı olması ve nem emme özelliğinin düşük olması birçok alanda kullanımını avantajlı kılmaktadır.

Ayrıca, plastik dişli çarkların sürtünme katsayısını iyileştirebilmek amacı ile PTFE, MoS_2 , grafit ve silikon gibi katı yağlayıcılar katılarak dişli çarkın ömrünün artırılması oldukça yaygındır. Katı yağlayıcılardan biri olan borik asit plastik dişli çarklarda kullanılması literatürlerde rastlanmamıştır. PA 66 GFR 30 dişli çarkın enjeksiyon ile üretimi esnasında %2 borik asit katılarak aşınma performansı incelenmiştir.

2. KAYNAK ARŞTIRMASI

Kukureka ve arkadaşları (1999), PA66' nın sürtünme ve aşınması üzerine lif takviyesinin etkisi araştırılmıştır. Bir çift disk test cihazı ile üç çeşit kısa lif-aramid, karbon ve cam incelenmiştir. Aramid-lif takviyesinin, matris maddesinin sürtünmesini önemli ölçüde değiştirmediği görülmüştür. Bununla beraber hem karbon-lif hem de cam lif takviyesi sürtünmenin katsayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Aramid ve karbon lif bileşenlerinin aşınması zaman ile doğrusal ve genellikle takviyesiz materyallerden yaklaşık on kat daha az olduğu bulunmuştur.

Bloom ve arkadaşları (2000), polimer / yarı kristal polyamid şeklinde yeni bir malzeme üzerinde çalışmışlar ve uygulamalarda kuru yataklar ve birleşik dişliler gibi polimer bileşiklerle belli organik polimerlerin özelliklerinin arttığını göstermişlerdir. Yarı kristal malzemeler Al-Cu-Fe, polimer bazlı bileşiklerdeki hacim kaybı için aşınma dayanıklılığını önemli ölçüde geliştirmişlerdir. Ayrıca termal, mekanik ve aşınma özellikleri yeni geliştirilen polimer / yarı kristal polyamid ile gösterilmiştir.

Chen ve arkadaşları (2000), yağlamasız bir ortamda ve pürüzlü bir yüzeye sahip temas noktaları üzerinde birbirleriyle çalışan polyamid 66 (PA66)' nın tribolojik hareketiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Testler, çift diskli test aleti kullanılarak geniş oranda yükler ve kayma oranları üzerinde yapılmıştır.

Kurokawa ve arkadaşları (2000), beş çeşit PEEK/CF (poly-ether-ether-ketone / karbon elyaf) bileşiği ile diş içine enjeksiyon modellemeye üç çeşit PAN carbon fiber (CFs) ve sırasıyla iki çeşit diş açıklığı tipi poly-ether-ether-ketone (PEEK) ile karıştırılarak yapılmıştır. Yük kapasitesi ve dişli kökü aşınması gibi dişli performansları gösterilmiştir. Yüksek bir yük altında dönme şartlarının yük kapasitesi (PAI) polyamid bileşikli dişli ve (PPS) polyphenylenesulphide bileşikli dişlilerde yüksek olduğu bulunmuştur.

Luscher ve Houser (2000), enjeksiyon kalıplama ile yapılmış dişlilerin transmisyon hatalarını ve geometrilerini araştırılmıştır. Dolgu baskısı, bu çalışmada araştırılan basınç seviyeleri için bütün geometrik ve iletim hatalarını azalttığı görülmüştür.

Andrei ve arkadaşları (2001), geleneksel düz dişlilerde standart olmayan bir eğri yüzeyli geniş dişli geliştirmişler, bununla birlikte yüksek hızlı bir bağlantı oranı elde etmişler, eğilme basıncını azaltmışlar ve kayma hızlarını kıyaslamışlardır.

Apichartpattanasiri ve arkadaşları (2001), enjeksiyon sistemiyle dökümü yapılan PA66, dişli çarklarda ve yüksek yükler altında yaygın olarak kullanıldığını göstermişlerdir. Farklı

hacimlerde ve yüzey yapılarında, benzer ve benzer olmayan malzemelerden yapılmış ürünler karşılaştırıldığında, aşınma performanslarına bağlı oldukları görülmüştür.

Wright ve Kukureka (2001), fiber ile güçlendirilmiş termoplastikler kullanılarak plastik enjeksiyon sistemiyle dökümü yapılan kompozit dişliler, güçlendirilmemiş polimerden yapılanlarla karşılaştırıldığında daha fazla performans sergiledikleri görülmüştür. Yapılan çalışmada, çeşitli polimer matriks karışım dişlisi maddelerinin ölçümlerinin karşılaştırılma metotlarını açıklamışlar ve onların performansını bu konuyla ilgili yapılan başka çalışmaların deney sonuçları ile ilişkilendirmeye çalışmışlardır.

Eritenel ve arkadaşları (2003), plastik materyaller, metallere daha düşük modüle sahip oldukları için yük uygulanan plastik dişlilerdeki kırılmalar AISI 8620lerdeki kırılmalarla daha yüksektir. Kırılma analizi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak dişlilerin esnemesi, yükün etkisini ve diş kırılmaları üzerindeki çalışmaları incelenmiştir. Kırılma analizine ek olarak plastik dişlilerin kenarları boyunca yükler ve uç bölgesindeki değişikliklerin etkisi incelenmiştir. Analiz metodolojisini göstermek için örnek bir düz dişli parçası ve spiral bir dişli kullanılmış, analizin sonuçları plastik dişlilerde artan yük ile birlikte diş kırılması olarak meydana gelmediği görülmüştür.

Kurokawa ve arkadaşları (2003), enjeksiyon kalıplama ile yapılan karbon-fiberle güçlendirilmiş PA12 (Polyamid 12)'nin dişli performansı PA6, PA66 ve PA46 gibi karbon-fiberle güçlendirilmiş polyamidlerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. PA12/CF dişlisinin çalışma bölgesinde yağlama olması durumunda iyi bir dayanım özelliği göstermiştir. PA12/CF dişlisi araştırılan tüm polyamidler arasında en yüksek yük kapasitesi, sessiz çalışma özelliği, en düşük su emme ve boyut kararlılığı göstermiştir.

Can ve arkadaşları (2004a), içine 1.2 mm tel çapına sahip yaylar yerleştirilmiş polipropilenden üretilmiş kramayer dişli çarkların özelliklerini incelenmiştir. Yaylar, enjeksiyon kalıplama öncesi çekilip; kalıplama sonrası bırakılarak ön gerilme oluşturulmuştur. Yorulma deneyleri gerçekleştirilmiş ve takviye yapılmasının dayanımı artırdığı görülmüştür. Deneyler sonucunda ön gerilmenin, kramayer dişlinin yorulma ömrünü takviyesiz numuneye göre 12 kata kadar artırdığı bulunmuştur.

Hirogaki ve arkadaşları (2004), pamuk lifi destekli plastiklerden yapılan endüstriyel dişli tasarımı geliştirmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada, kuvvet etkisinde olan dişin eğilme gerilmesinden oluşan diş kök gerilmesini tespit eden yeni bir metot geliştirmeye çalışmışlar. Bu çalışma için 3–5 modül ve 25 mm diş eni ebatlarında dişliler kullanılmıştır. İlk olarak dinamik performansı göstermek için hareket koşulları altında dişlilerin hızları ölçülmüştür. Daha sonra eğilme yükleri altında dişli dişlerinin kırılma testleri uygulanmıştır.

Pamuk lif destekli plastik ve fenolik reçine dişlileri için diş köklerinde farklı kırılma biçimleri gözlenmiştir. Bunlarla birlikte, dişlilerin mekanik özellikleri, çekme, eğilme ve kesme testleri araştırılmıştır.

Kim (2006), plastik dişlilerin güç aktarımının deneysel araştırılmasında, hem yorulma hem de dayanıklılık karakteristikleri incelenerek yapılmıştır. Dişli çark dişlisinin dayanıklılığını artırma metodu, diş üzerine bir delik açma veya dişli dişinin içindeki deliğe AISI 8620 pim takmayı önermiştir. Asetal dişlilerde plastik deformasyonun artmasıyla yorulma miktarının arttığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, naylon dişlilerde bu metodun orijinal dişli ile karşılaştırıldığında diş sıcaklığını azalttığı ve böylece yorulma zamanını düşürüp çalışma süresini arttırdığı görülmüştür.

Senthilvelan ve Gnanamoorthy (2006a), Naylon 66, %20 cam ve %20 karbon lif destekli Naylon 66 dişli malzemeleri üzerinde uygulanan dinamik analiz, liflerin birleşimi sebebiyle sönüm faktörünün azalmasını göstermişlerdir. Katkılı ve katkısız malzemelerden yapılan enjeksiyon modelleme, düz dişli çark FZG test cihazında test edilmiştir. Test dişlilerinin yüzey sıcaklığı ve dişlinin birleştiği bölgedeki gürültü sürekli ölçülmüştür. Test sonuçları, katkılı dişlilerin katkısız dişlilerden daha fazla temas gürültüsü oluşturduğunu göstermiştir.

Senthilvelan ve Gnanamoorthy (2006b), karbon fiberle güçlendirilmiş polimer düz dişli üzerine bir çalışma yapmıştır. Yüksek gerilim bölgelerinde, yüksek dayanımlı elyafla kuvvetlendirilmiş polimer düz dişliyi kalıplamak için yeni dizayn metodu geliştirmişlerdir. Yüksek performanslı ve yüksek maliyetli kısa karbon elyaflarla güçlendirilmiş naylon 66, göbek bölgesinde kullanılan güçlendirilmemiş düşük maliyetli naylon 66 ve yüksek gerilimli diş bölgelerinde kullanılmıştır.

Senthilvelan ve Gnanamoorthy (2006c), plastik dişlilerde diş açma işlemi ve kesme aletinin boyutları dişli dibi geometrisini belirleyerek dişli performansı üzerinde etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada dişli çark diş kökü yarıçapının, enjeksiyon kalıplama ile farklı diş kökü yarıçapında yapılan 0,25 ve 0,75 mm, Nylon 66'nın diş dibi kırılması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneylerinde kızıl ötesi sensör kullanarak dişli çark diş temas sıcaklıklarını belirlemişlerdir. Çalışma esnasında dişli çark dişlisine uygulanan yükün diş sıcaklığında histerezis etkisi ve sürtünme sebebiyle artışa sebep olmuştur. Düşük yük uygulandığında küçük dişli kök yarıçapına sahip dişlilerde artan baskı konsantrasyonu sebebi ile kök bölgesinde çatlak oluşması ile hasara uğrarken büyük dişli kökü yarıçaplı dişlilerde bölüm dairesinde mikro çatlama şeklinde görülmüştür.

Unal ve Mimaroglu (2006), saf polyetheretherketone (PEEK) ve %30 karbon lif destekli PEEK bileşiminin sürtünme ve aşınma performansını, kayma ve su damlasıyla yağlama altında değerlendirmişlerdir. Kayma değerleri pin-on-disk test cihazı üzerinde uygulanmıştır. Aşınma testleri, 50°C, 100°C, 150°C oda sıcaklığında ve 200 N yükleme ve 0.40 m/s kayma hızında çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın sonunda, %30 karbon lif destekli PEEK' in sürtünme kat sayısının yükteki artıştan önemli ölçüde etkilenmediğini, saf PEEK' in ise sürtünme kat sayısının yükteki artışla arttığını göstermişlerdir. Saf PEEK ve PEEK + %30 CF bileşimi için özel aşınma oranları su-yağlama durumlarında 10^{-15} m²/N iken, kuru kayma durumlarında bu değer 10^{-14} m²/N bulunmuştur.

Mao (2007a), polimer dişli çarkların aşınma oranı ve yüzey sıcaklığı arasındaki bağıntıya dayanan yeni bir metodu geliştirmiştir. Bu metoda göre; spesifik bir geometri için yük kritik bir değere ulaştığı zaman polimer dişli aşınma oranı kademeli olarak artabileceği görülmüş ve kritik bir yük altındaki dişlinin aşınma oranı yavaşlamıştır. Dişli yüzey sıcaklığı detaylı olarak incelendiğinde; çevre, hacim ve ani sıcaklık unsurları bulunmuştur. Farklı çevre sıcaklığındaki çalışma şartları ve dişli geometrisi altında bu metodu test sonuçları ilişkili bulunmuştur.

Mao (2007b), polimer temelli dişli çarklar için, dişli çarkların temas esnasında oluşan flash sıcaklığının detaylandırılmış analizi ve dişlinin dişle arasında ısı bölümleri konusunda çalışmıştır. Kavrama sürecinde hızdan dolayı kaynaklanan ısı değişimi, kararsız yoğunluk dağılımı problemleri iyileştirilmiştir.

Parey ve Tandon (2007), dişli çark kökünün yan yüzeyi üzerinde diş hasar büyüklüğünün titreşim sinyalleriyle ölçülmesinde etkili bir hız modeli olduğunu kanıtlamışlardır. Böylece Empirical Mode Decomposition (EMD) model fonksiyonu ile erken hata tespiti için hesaplamalar yapmışlardır.

Senthilvelan ve Gnanamoorthy (2007), güç ve hareket iletiminde kullanılan polimer dişliler, değişik yük ve hızlarda çalıştırılmıştır. Polimerlerin mekanik özellikleri, metallerle karşılaştırıldığında yük oranıyla orantılı olarak ciddi şekilde etkilenmişlerdir. Oluşan sıcaklığı ve materyalin dayanımını etkileyen dişlinin deviri, polimer dişlinin yük frekansını belirlemiştir. Enjeksiyon kalıplama ile yapılan güçlendirilmiş Nylon 6 ve % 20'si cam olan fiberle güçlendirilmiş Nylon 6 FZG test cihazında, farklı hız ve torkta test etmişlerdir. Test dişlisinin yüzey sıcaklığı ve kırılma analizinin temassız kızıl ötesi sensör ile dişli çark dişlisinin hasar anını tespit etmişlerdir. Araştırılan tüm dişli hızlarında, cam fiber ile güçlendirilmiş Nylon 6 dişlileri, güçlendirilmemiş Nylon 6 dişlilerine göre daha üstün

mekanik dayanım ve ısı deformasyona karşı dayanımı sebebiyle, daha üstün performans gösterdiği görülmüştür.

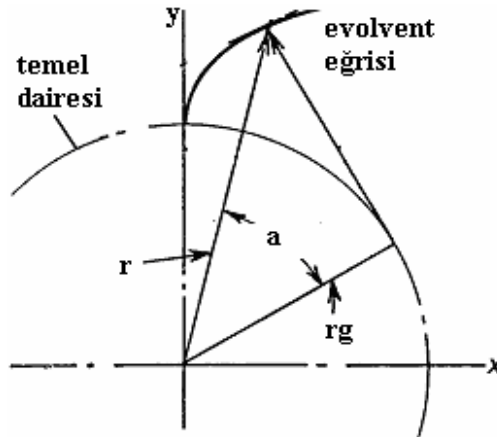
Lin ve Kuang (2008), POM ve naylon 66 plastik dişli çiftlerinin dinamik yüke bağlı ve dişli kökü aşınma profili arasındaki etkileşimi araştırmışlardır. Dinamik yüke bağlı bir algoritma hesabı ve dişli kökü aşınma profili arasındaki ilişkisi Flodin ve Andersson'un yaptıkları çalışmayı analiz ederek geliştirmişlerdir. Numerik sonuçlar, birbiriyle temas halinde plastik dişli çiftinin dinamik yük histogramı dişli kökü aşınmasından dolayı barizce değişebileceğini kanıtlamışlardır.

Yapılan literatür araştırmasında, plastik dişli çarkların hasar analizleri ve yeni nesil malzemelerden üretilmiş dişli çarkların üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalardan anlaşıldığı gibi, plastik dişli çark hasar analizine matematiksel bir yaklaşım yapmak ve buna göre dişli çarkın ömür tayinini tespit etmek oldukça zordur. Yeni nesil plastik malzemeler ve dişli çark üzerinde yapılan modifikasyonlar ile plastik dişli çarkların ömürleri arttırılmaya çalışılmaktadır.

3. DÜZ DİŞLİ ÇARK MEKANİZMALARI

3.1. Diş Profili

Plastik dişli çarkların dişleri, kavrama boyunca sabit bir açısal hız verecek şekilde dizayn edilmiştir. Birçok dişli çarkın dişleri sabit bir açısal hız vermesine rağmen çoğunlukla diş profili olarak evolvent diş profili kullanılmaktadır (Şekil 3.1). Evolvent eğrisi, dişlinin temel dairesi üzerinde kaymadan yuvarlanan bir doğru üzerindeki herhangi bir noktasının çizmiş olduğu eğri olarak da tarif edilir. Kuvvetin uygulanma noktasının çalışma sırasında takip ettiği yörünge evolvent dişlilerde bir doğrudur (Şekil 3.1) ve bu doğruya “kavrama doğrusu” denilmektedir. Kavrama doğrusunun uzantısı temel daireye eşittir.



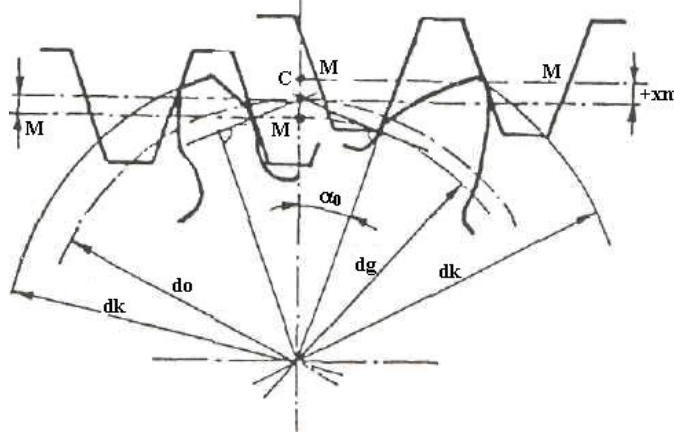
Şekil 3.1. Evolvent profilin oluşturulması (Küçükçongar, 2004)

3.2. Dişli Çarklarda Profil Kaydırma

Çok küçük diş sayılarının kullanılması, kayma ve kavrama durumlarının düzeltilmesi veya sınırlı modül değerlerinde belirli eksen uzaklıklarının sağlanması profil kaydırma yoluyla yapılır.

Profil kaydırma esasını, evolvent profilli dişlilerde sistemin kinematik durumuna tek etkinin, temel daire oluşudur, dolayısıyla temel daire merkezlerinin birbirine nazaran çeşitli konumlara getirilebilmesini teşkil eder. İki temel daireye ait evolvent profilleri çeşitli kısımlarında birbiriyle dişli ana kanununa uygun olarak eş çalıştırılabilir. Bunun için profil

kaydırma işleminde referans, profilin profil referans doğrusu (pratikte kesici takım) $+xm$ miktarı kadar dışa doğru (artı profil kaydırma) veya $-xm$ miktarı kadar içe doğru (eksi profil kaydırma) kaydırılır (Şekil 3.2).

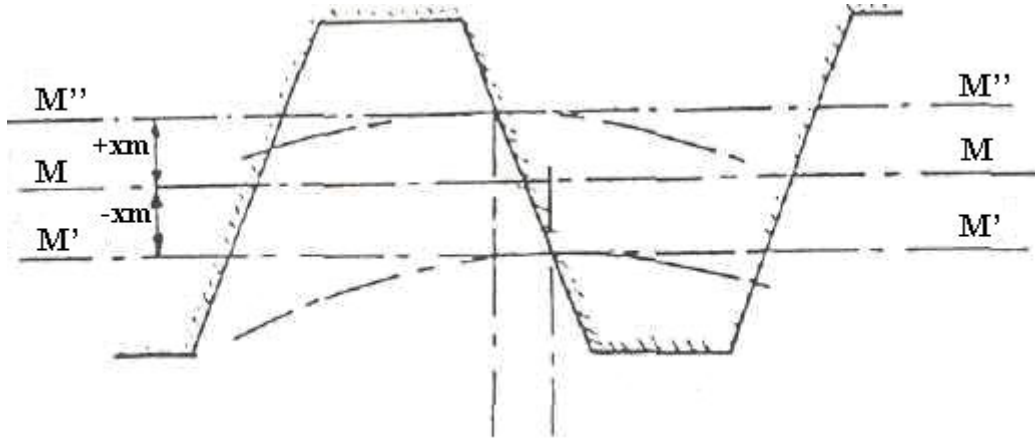


Şekil 3.2. Artı ve eksi profil kaydırılmış çark

Her iki durumda da profilin referans doğrusu MM, artık yuvarlanma noktası C den geçmez. Çarkın taksimat dairesi üzerinde ölçülen diş kalınlıkları ve diş aralıkları farklı büyüklükte olur. Aynı diş yüksekliğini elde edebilmek için bu çarkların baş ve taban dairesi çaplarının da aynı şekilde $2xm$ miktarı kadar büyütülmesi veya küçültülmesi gerekir. Değişen kavrama durumları sebebiyle bir mekanizmada profil kaydırılmış çarklardan oluşan bir çiftte boşluksuz diş temasında nominal diş başı boşluğunun muhafazası isteniyorsa ilave olarak diş başında,

$$k.m = a_0 + m(x_1 + x_2) - a \quad (3.1)$$

kadar bir kısaltma yapılması gerekir. Eğer imal edilecek dişlinin yuvarlanma dairesi referans profilinin M-M orta doğrusu üzerinde yuvarlanıyorsa bu durumda standart (normal) bir dişli çark elde edilir. Bu tip dişliye 0- dişlisi denir. Eğer kramayer imal edeceği dişli yuvarlanma dairesinden xm kadar yukarı kaydırılmış ve imalat esnasında dişli M' - M' doğrusu üzerinde yuvarlanıyorsa bu durumda artı profil kaydırılmış bir V- dişlisi elde edilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Referans profili ve kaydırma (İmrek, 1995)

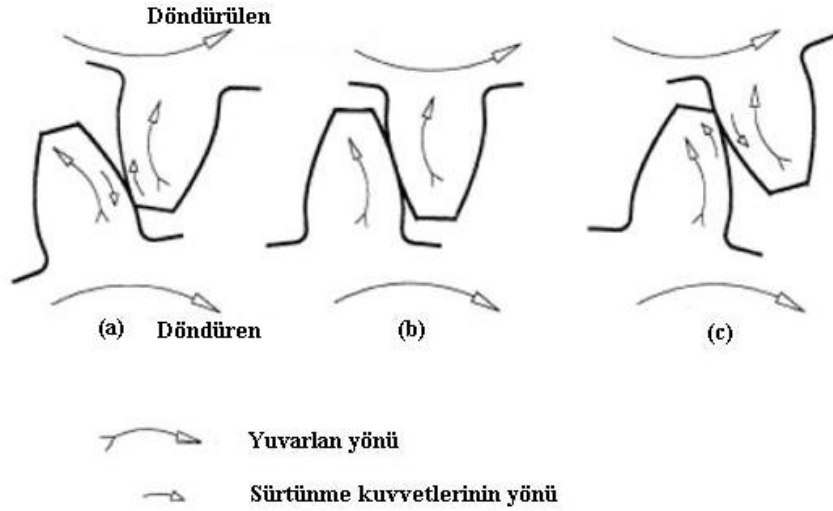
3.3. Aşınma Profilleri

Birbirine geçmiş olan iki dişli diş temas tipi iki bileşenle yuvarlanma ve kayma olarak basitleştirilebilir. Her bileşenin büyüklüğü devir başlangıcından sonuna kadar değişkendir ve bununla birlikte döndüren ve döndürülen dişlilerde ki bileşenlerin büyüklüğü değişmektedir. Döndüren ve döndürülen dişlilerin uç ve kök kısmında kayma oranı ve kayma hızı özdeş olarak görünmesine rağmen kayma yönüyle yuvarlanma yönü arasında bağıl bir terslik bulunmaktadır.

Şekil 3.4.'de birbirleriyle temas halinde bulunan dişlilerin yuvarlanma ve kayma hareketleri görülmektedir. İlk temas noktası Şekil 3.4a'da döndüren dişlinin kökü (diş dibi) ile döndürülen dişlinin uç kısmının (diş başının) birbirine geçmesi ile oluşmaktadır.

Yuvarlanma yönü döndüren dişli için, kökten uca doğru, döndürülen dişli için ise uçtan köke doğrudur. Ancak, döndüren dişlinin uç kısmında kayma ile yuvarlanma aynı yönde iken kök kısmında zıttır. Döndüren dişlide kayma yönü daima temas çizgisinden dışarı doğrudur. Buna zıt olarak, kayma hızı kökten uca doğru, temas çizgisinden içeri doğrudur.

Kayma ile yuvarlanma aynı yönde ise durma hareketi olarak bilinmektedir. Yanaşma hareketi bazen durma hareketinden daha zararlı olabilmektedir. Yanaşma durumu daha zararlı ise döndüren dişlinin kök kısmında uç kısmına göre daha büyük aşınma meydana gelmesi beklenmektedir.



Şekil 3.4. Dişli diş temas mekanizması, **a)** ilk temas noktası, **b)** yuvarlanma temas noktası, **c)** son temas noktası (Wright ve Kukureka, 2001).

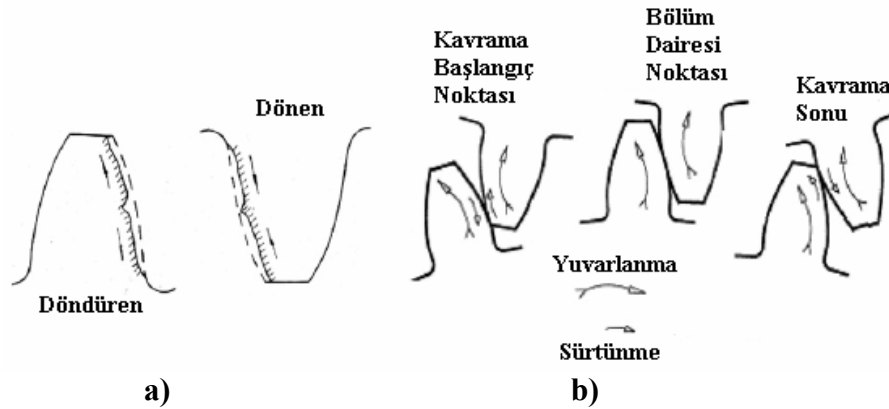
Döndüren ve döndürülen dişlilerin yan ve yüzey boyutları farklı olmasından dolayı, kayma sürekli olarak kök ve uç kısmında meydana gelmektedir. Kayma oranları dişlilerin kavrama boyunca değişmekte, yuvarlanma dairesi temas noktasında sıfır olmaktadır. Yuvarlanma ve kayma tekrar meydana gelmekte (Şekil 3.4b), bununla birlikte sürtünme kuvvetleri ilk temas noktasına göre ters yönde olmaktadır. Kayma hareketinden dolayı oluşan sürtünme kuvvetlerinin yönleri Şekil 3.4c’de görülmektedir. Sürtünme kuvvetlerinin yönü üst dişlide (döndürülen) dişlilerin temas noktasına doğrudur, alt dişlide (döndüren) ise temas noktasından dışarı yöndedir.

3.4. Diş Profilleri Arasındaki İzafi Hareket

Dişlerin birbirini kavramasıyla oluşan temas tipi yuvarlanma ve kayma olarak iki kısma ayrılır. Bu iki hareketin miktarı kavrama süresi boyunca değişir, aynı zamanda bu durum Pinyon ve karşılık dişlileri için de farklılık göstermektedir. Kavrama boyunca oluşan temas durumları kayma oranı (kayma hızının, ortalama yuvarlanma hızına oranı), yük, eğrilik yarıçapı ve kayma hızı terimleriyle tanımlanır. Pinyon ve karşılık dişlilerinin her ikisi için de diş başı ve diş dibinde kayma hızı ve kayma oranı özdeş gibi görünmesine rağmen yuvarlanma yönüyle kayma yönü arasında zıtlık bulunmaktadır. Pinyon dişlinin diş dibinde kayma yönü, yuvarlanma yönüne zıt iken diş başında aynıdır. Pinyon dişlide kayma yönü her zaman taksimat çizgisinden dışarı doğrudur.

3.5. Dişli Çarkların Aşınma Durumu

Karşılık dişlisinde kayma hızı diş başı ve diş dibinden taksimat çizgisine doğrudur. Bu da kayma yönünün diş dibinde yuvarlanma yönüne zıt, diş başında ise aynı olmasına sebep olur. Bu nedenle döndüren dişli ve dönen dişli profilindeki aşınma miktarı farklı olmaktadır. Bu durum şekil 3.5’de görülmektedir. (Küçükçongar, 2004).



Şekil 3.5. Dönen ve döndüren dişli görünümü, **a)** Dişli yüzey aşınması, **b)** Dişli yuvarlanması (Mao, 2006)

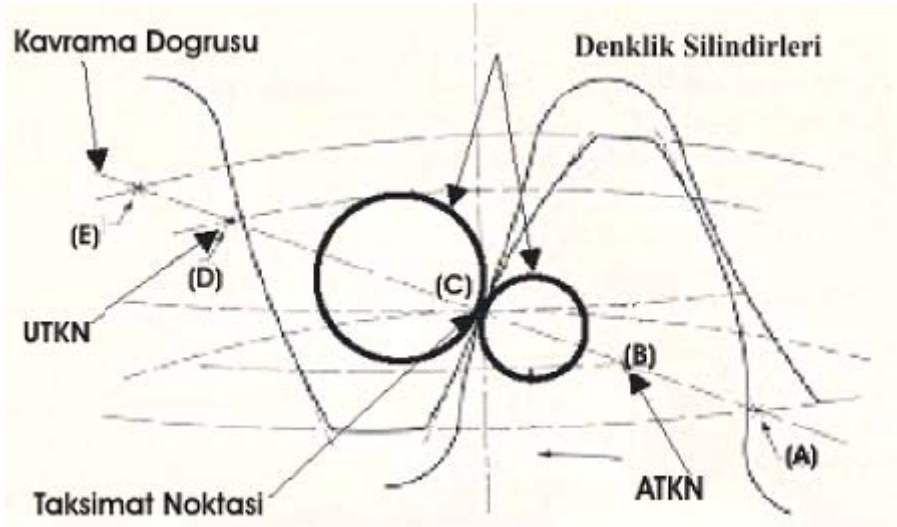
3.6. Diş Profilleri Arasındaki Yüzey Basıncı

H. Hertz 1882 yılında, iki elastik cismin temas bölgesinde temas yükünün fonksiyonu olarak oluşan basınç dağılımını incelemiştir. Hertz’in çıkardığı sayısal ifadeler halen temas problemlerinin çözümünde temel olarak alınmaktadır. O zamandan günümüze kadar temas problemleri, yüzeyin gerilme dağılımı, sürtünme ve yüzey topografyasını içerecek şekilde genişletilmiştir.

Konveks iki cisim birbirine bastırılırsa temas bir noktada (küre için) veya bir çizgi boyunca (iki silindir için) meydana gelmektedir. Uygulanan yükün artmasıyla birlikte temas halindeki iki silindir için temas bölgesi dikdörtgensel bir hal almaktadır. Maksimum basınç, yükün uygulandığı doğru üzerinde oluşurken temas kenarlarına doğru sıfırlanacaktır.

Şekil 3.6’da düz dişli çarkın dişlerine ait temas şekli görülmektedir. Bir dişliden diğer dişliye güç transferi, diş yüzeyine normal olan kuvvet sonucu gerçekleşmektedir. Temas alanları, diş profilinin temsil ettiği evolventliğin geometrik ilişkileri ile hesaplanmaktadır. Kavrama uzunluğunun taksimata bölümü kavramadaki ortalama diş sayısını temsil eden

kavrama oranını verir. Düz dişli çarklar için kavrama oranı her zaman 2'den küçük olmaktadır, yani kavrama sırasında tek ve çift diş temasları görülmektedir.



Şekil 3.6. Düz dişli çark dişlerine ait temas şekli

Eş çalışan profillerin temas noktalarında meydana gelen Hertz tipi yüzey basıncı şekil 3.7'de gösterildiği gibidir. Temasta bulunan iki silindir ele alındığında bu silindirlerin temas yüzeyinde F_n normal diş kuvvetinin etkisi altında oluşan yüzey basıncı;

$$p_H = \sqrt{\frac{2 \cdot F_n}{\pi \cdot b}} = \sqrt{\frac{F_n \cdot E^*}{\pi \cdot R}} \quad (3.2)$$

şeklinde yazılır. Burada E^* eşdeğer elastisite modülü, hertz yüzey basıncı genişliği, eşdeğer yarıçap R , normal kuvvet F_n ,

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1}{2} \left[\frac{(1 - \nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1 - \nu_2^2)}{E_2} \right] \quad (3.3)$$

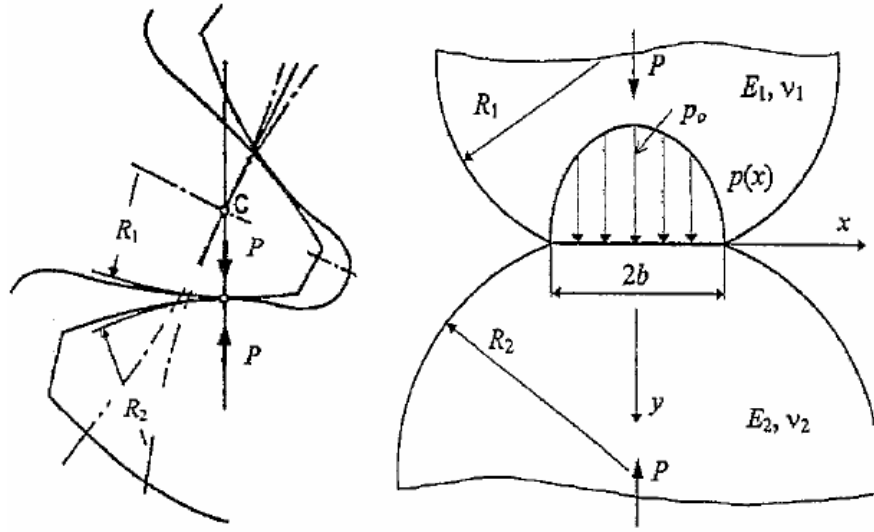
1 nolu parçanın poisson değeri ν_1 , 2 nolu parçanın poisson değeri ν_2 ,

$$b = \left(\frac{4FR}{\pi E^*} \right)^{1/2} ; \quad F = T/br \quad (3.4)$$

ve eşdeğer eğrilik yarıçapı R , tork T ,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}; \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 \pm R_2} \quad (3.5)$$

dir. Burada, R_1 ve R_2 temas noktasındaki yüzeylerin eğrilik yarıçaplarıdır.



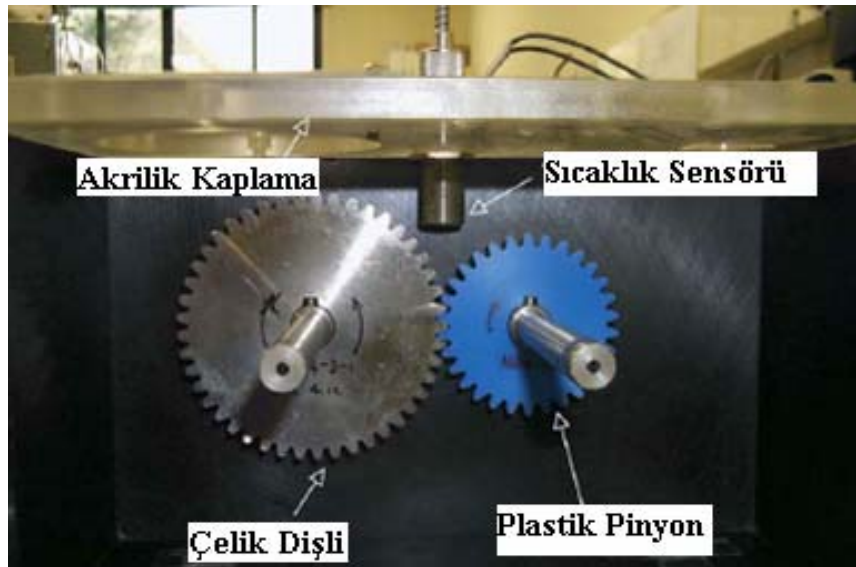
Şekil 3.7. Dişli çarklarda Hertz yüzey basıncı (Glodez ve arkadaşları 1997).

3.7. Diş Profili Üzerindeki Sıcaklık Dağılımı Teoriksel Yaklaşımı

Polimer dişlilerin termal genleşmesi, yüksek sıcaklıklarda ve düşük boyutsal kararlılıkta sınır değerdedir, ayrıca aşınma geçişlerinde verim üzerine maksimum diş yüzey sıcaklığı etkili olmakta, yağlama olmadan normal olarak çalışan düz dişlide eğri yüzey genişliğinin termal davranışı incelenerek, plastik dişliler ile ilgili sıcaklığın önemi gösterilmiştir. Hooke ve arkadaşları polimer dişliler için yüzey sıcaklığının hesaplanması ve ölçümünü incelemiştir (Andrei ve arkadaşları, 2001).

Dişli çark dişlisinde genel olarak sıcaklık, temas noktalarında meydana gelen maksimum sıcaklık θ_{max} , dişlilerin gövde sıcaklığı θ_b , ortam sıcaklığı θ_a ve ani sıcaklık θ_f 'den oluşmaktadır (Mao, 2007).

Birbirleriyle temas halindeki iki dişlinin izafi kayma ve yuvarlanma noktasında "flash sıcaklığı" olarak tabir edilen ani sıcaklık meydana gelir. Bir dişli çark mekanizmasında ve θ_b sıcaklığı sabit, θ_f ani sıcaklığı ise kavrama doğrusu boyunca değişkendir. θ_a ortam sıcaklığında çalışan dişlilerin gövde sıcaklığı θ_b , dişlerin çalışma esnasında temas eden yüzeyleri ani sıcaklığı θ_f 'den etkilenmektedir. Temas eden yüzeylerdeki ani sıcaklığın düşürülmesinde, dişlilerin malzeme özelliğine bağlı olarak gövde sıcaklığı büyük rol oynar. Şekil 3.8'de plastik dişli çarkın temas noktasının kızıl ötesi sensör ile yaklaşık olarak θ_b sıcaklığının ölçümü görülmektedir.

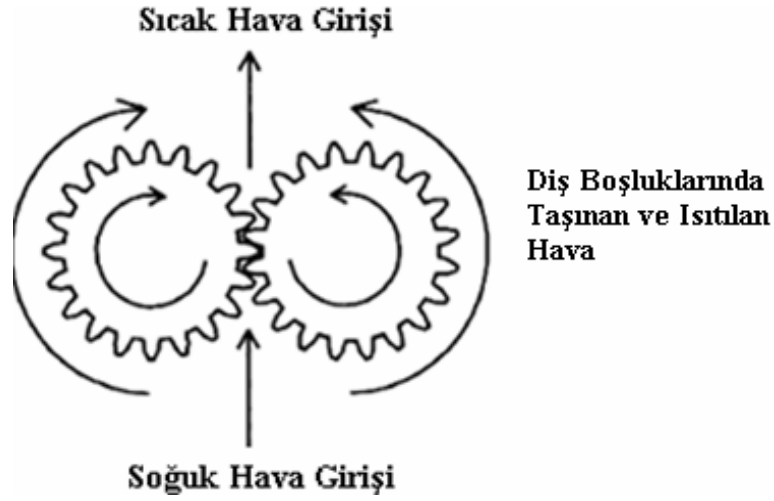


Şekil 3.8. Isı sensörü aracılığıyla diş yüzey sıcaklığının ölçümünün görünümü (Kim, 2006)

3.8. Dişli Çark Dişlisinin Gövde Sıcaklık Tahmini

Dişli çarkın çalışma süresince ortamdaki hava dişli çark dişleri arasına alınır ve dişli dönerken hem taşınır hemde dişlilerin temas esnasında oluşan sıcaklıktan dolayı bu hava ısınır. Dişliler birbirleri ile kavraşırken, dişli yüzeylerinin teması sonucunda oluşan sıcak hava dışarı atılır ve bu sürekli olarak tekrarlanmaktadır. Dişli arasına giren hava, ısınan dişli çark dişlerini ortam sıcaklığına yakın bir sıcaklığa düşürmektedir. Eğer dişlerdeki sürtünme ve

pompalanan hava hacminden dolayı güç kaybı meydana getirirse, dişlinin gövde sıcaklığı, havanın ısı kapasitesi, hesaba alınarak tahmin edilebilir. Şekil 3.9’da dişli çark sıcaklık iletimi gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Dişli sıcaklık iletiminin gösterilmesi (Mao, 2007)

Temas eden tek bir dişin ortalama sürtünme güç kaybı (ΔH_m);

$$\Delta H_m = \mu F V_s \quad (3.6)$$

$$V_s = (\pi \omega r_b) / Z \quad (3.7)$$

$$\Delta H = \frac{\mu F \pi \omega r_b}{Z} = \frac{\pi \mu H}{Z}$$

$$\Delta H = \frac{1.25 \pi \mu H}{Z}; \quad \Delta H = \Delta H_m + \frac{\Delta H_m 0.5}{2} \quad (3.8)$$

$$V = 2 \pi b (r_a^2 - r^2) \quad (3.9)$$

Bir dişin ortalama sürtünme gücü hasarı (ΔH_m), Diş sayısı (Z), Aktarma yükü (F), açısal hız (ω), Sürtünme katsayısı (μ), Dişli temel radüsü (r_b), Dış radüs (r_a), bölüm dairesi radüs (r)' dir.

$$\Delta H = \omega V \theta_b c_p \quad (3.10)$$

Dişlilerin gövde sıcaklığı θ_b ;

$$\theta_b = \frac{0.625 \mu T}{c_p Z b (r_a^2 - r^2)} \quad (3.11)$$

Sürtünme katsayısı (μ), havanın sıcaklık kapasitesi (C_p), İletilen tork (T), Dişli yüzey genişliği (b), Diş sayısı (Z), Dış radüs (r_a), bölüm dairesi radüs (r)' dür.

Ani sıcaklık θ_f ;

$$\theta_f = 1.11 \mu T \frac{\sqrt{V_1 - V_2}}{r b \sqrt{2 k_p c b}} \quad (3.12)$$

Yüzeyin özgül ısısı (c), sürtünme katsayısı (μ), iletilen tork (T), yüzey hızı (V), dişli temel radüsü (r_b), yoğunluk (ρ), hertz yüzey basıncı esnasında oluşan yarım temas genişliği (b) ısı iletkenliği (k)' dir.

Temas noktalarında meydana gelen maksimum sıcaklık θ_{max} ;

$$\theta_{max} = \theta_a + k_1 T + k_2 T^{3/4} \quad (3.13)$$

Isı iletkenliği (k);

$$k_1 = 0.625 \mu / [b c_p Z (r_a^2 - r^2)];$$

$$k_2 = 1.11 \mu (V_1^{1/2} - V_2^{1/2}) / 2 r^{3/4} b^{3/4} \sqrt{k_p c} (\pi E / R)^{1/4} \quad (3.14)$$

Dişli yüzey genişliği (b), yüzey hızı (V), İletilen tork (T), yoğunluk (ρ), Isı iletkenliği (k), hertz yüzey basıncı esnasında oluşan yarım temas genişliği (b), temas radüsü (R), dişli elastik modül (E), Kayma hızı (V_1 ve V_2) gibi durumlara bağlıdır.

Toplam sıcaklık;

$$\theta_{\max} = \theta_a + \theta_b + \theta_f \quad (3.15)$$

Dişli çarklar malzemelerine göre metal dişli çarklar ve plastik dişli çark olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yapmış olduğumuz çalışmada plastik dişlilerde meydana gelen deformasyon ve aşınma incelenmiştir.

4. PLASTİK MALZEMELER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen polimerik malzemeler, yüksek molekül ağırlığına ve zincir şeklinde bir yapıya sahip malzemelerdir. Polimerik bir malzeme olan plastikler basit oyuncak vb. alanlarda kullanılmaktan çıkıp sanayinin bütün dallarında metallere rekabet edebilecek önemli bir mühendislik malzemesi konumunu almıştır ve kullanım alanları her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır.

Plastik malzemeler; tekstil, otomotiv gövdelerinde, dişli ve yataklarda, kablo yalıtımlarında, elektronik ev aletlerinde, mobilya ve inşaatlarda, kaplama ve sentetik yapıştırıcı olarak, vb. alanlarda dayanıklı olması, ucuz ve kolay işlenebilmesinden dolayı teknolojik olarak birçok alanda kullanılmaktadır.

Plastik dişli malzemeleri olarak en çok asetal bazlı plastikler ve naylon reçineleri kullanılmaktadır. Hafif çalışma şartları için plastikleri çekici yapan özellikler, düşük maliyet, sessiz çalışma kabiliyeti, aşınma dayanımıdır. Plastik dişliler az yada hiç yağlama gerektirmeden de kullanılırlar. Düşük mukavemet, sıcaklığa dayanıklılığın düşük olması, zayıf boyutsal kararlılık ve doğruluk plastiklerin dişli malzemesi olarak kullanımını sınırlamaktadır (Akkurt ve Erten, 1994).

Plastik malzemeler oda sıcaklıklarında, dayanım değerleri AISI 8620lere oranla çok düşüktür, hafiftirler, titreşim sönümleme kabiliyetleri yüksektir, görünüm olarak renklidirler, yalıtıkcıdır ve ısıya dayanımları düşüktür. Plastikler yalıtkan olmaları nedeniyle korozyona uğramazlar. Plastikler su emer, yani makromolekülleri arasına su girebilir. Su emme özelliği, dayanım değerleri ve diğer özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Genel olarak plastikler, kimyasallara karşı zayıftırlar ancak üreticiler çeşitli kimyasallara karşı dayanıklı plastikler geliştirmiştir. Plastiklerin özellikleri katkı maddeleri ile değiştirilebilmektedir (Yüksel 1998).

Cam, karbon, aramid vb. gibi malzemelerle güçlendirilerek plastikler malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilerek, sanayide birçok alanda kullanılmaktadır (Şimşek, 2002).

Plastiklerin gelişiminde önemli bir aşama, malzemelerin cam, grafit ve karbon elyafları ile karıştırılarak kuvvetlendirilmiş plastikler elde edilmesidir. Bu malzemelerin mekanik özellikleri, metallerin seviyesine ulaşmakta ve birçok uygulama alanında plastikler metallerle rekabet etmektedirler (Şimşek, 2002).

4.1.1. Akrilonitril-bütadien stiren (ABS)

ABS reçinesi iki kısımdan meydana gelmektedir. Bu kısımlar stiren ve akrilonitrilinden meydana gelir ve ağırlıkça toplam kompozisyonun %50-95'ini içeren reçine kısmı ile %50-55'ini içeren kauçuk kısmından oluşur. Çok yüksek kimyasal ve mekanik özellikleri sahiptir. Ayrıca ısıya karşı dayanıklılık, boyutsal sabitlik, düşük sıcaklıklarda kullanılma özelliği, mükemmel kalıplanabilme, uzun müddet yük altında kalabilme ve katılık diğer üstün özellikleridir (www.bolbilgi.com, 2008)

4.1.2. ABS/PC

PC'nin çok sert bir malzeme oluşu ve ABS'ninde yumuşak malzeme oluşu dişli çarklarda ayrı ayrı kullanımını sınırlamaktadır. Bu iki malzemenin özellikleri birleştiğinde dişli için uygun olan ABS/PC malzemesi ortaya çıkmaktadır. ABS/PC'nin alev, hava, ultraviyole ışınlarına dayanıklı olması ve nem emme özelliğinin düşük olması birçok alanda kullanımını avantajlı kılmaktadır (www.infotron.com).

4.1.3. Polyamid (Naylon)

Makine endüstrisinde çok kullanılan nispeten sert, rijit, kaygan ve iyi mekanik dayanım değerlerine sahip bir malzemedir. Dişli uygulamalarında tekerlek yapımına kadar muhtelif kullanım alanları vardır. Ancak Kestamid kadar sert ve aşınmaya dayanıklı, Derlin kadar kaygan bir malzeme değildir. Kimyasal mukavemeti orta değerdedir, bazı asit ve bazlara karşı mukavemeti vardır. Polyamid 66 bünyesinde su toplama özelliğine sahiptir. Bu özelliklerin iyi ve kötü yanları vardır. İyi yönü parçanın titreşim ve ani darbelere karşı dayanımı artırır. Böylece parça kullanım esnasında oluşacak dinamik gerilmelerin bünyede yok edilmesine olanak sağlar. Kötü yönü ise malzemede ölçü stabilizesine ulaşmak güçleşir. Yani malzeme havadaki nemden dahi etkilenecek ölçü değişikliklerine uğrar parçaya son işlem yapılmadan toleranslara dikkat edilmelidir.

Genel olarak kullanım yerleri; dişlilerde, yataklarda, cıvatalarda, flaşlarda, makara kayış kasnaklarında, kesim plakası, filtre plakası, tezgah tablası vb yerlerde kullanılır.

4.1.4. POM-Derlin (Asetal-Polioksimetilen)

Asetal, sert, rijit, iyi nem, ısı ve çözücü dayanımına sahip bir mühendislik plastiğidir. Homopolimer ve kopolimer şeklinde elde edilir. Yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip düşük sürtünme katsayılı kaygan bir malzemedir. Rijit ve sert bir malzeme olduğu için dişli uygulamalarında özellikle küçük çaplı dişlilerde kullanılır. İşlenmiş parçalarda oldukça temiz yüzey elde edilir. Metallerle sürtünerek çalışması durumunda aşınma dayanımı zayıftır. Poliamid grubuna nazaran, daha yüksek sıcaklık dayanım değerleri ve ölçü stabilitesine sahiptir. Çözücülere ve yağlara karşı mukavimdir. Ancak asitlere ve bazlara karşı dayanımı oldukça zayıftır.

Kullanım yerleri; Üstün özellikleri ve kolay işlenebilir oluşu sanayide birçok kullanım alanı ortaya çıkarmıştır. Derlin çeşitli endüstriyel uygulamalarda yataklar, burçlar, ağır sanayide makine dişlileri, Silindirler ve her türlü parça imalatında kullanılmaktadır. Derlin' den üretilen parçalar diğer parçalara göre üstünlüklere Sahiptir. Bu üstünlüklerin bazıları Aşınma dayanımı ve darbelere dayanıklılığıdır. Yağsız ve sessiz çalışma özelliğine sahiptir (Can, 2004).

4.1.5. Kestamid (Cast Poliamid)

Kimyasal yönden bir Nylon türü olmakla beraber belli ölçüde (crosslinked) çapraz bağlı moleküler yapısı nedeni ile üstün bazı özelliklere sahip bir poliamid türüdür. Poliamidler üstün mekanik, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerden dolayı sanayide en çok kullanılan mühendislik plastikleridir. Çok yüksek molekül ağırlığı, yüksek kristal yapı çapraz bağlara sahip olma özelliklerinden dolayı sert, aşınmaya ve bükülmeye dayanıklı ve Nylon 6 ya göre daha az su emen sağlam bir plastiktir. Bilinen yüksek mekanik ve fiziksel özelliklerini daha da arttırmak amacı ile cam elyafı veya özel katkılı olanları da imal edilmektedir. Doğal olarak sarı renktedir. Talebe göre siyah veya değişik renklerde de üretilmesi mümkündür. Universal metal ve ağaç işleme tezgâhlarında da kolaylıkla işlenebilmektedir

4.1.6. Polikarbonat

Polikarbonat, genel olarak aleve, hava ve ultraviyole ışınlarına dayanıklıdır. Polikarbonat reçineleri çeşitli sıcaklıklarda çok iyi tokluğa, ısı ve ateşe karşı mukavemete, boyut kararlılığına sahiptirler. Darbe dayanımı parça kalınlığına bağlıdır ve kalınlık arttıkça

darbe dayanımı azalmaktadır. Kalıplanmış parçaların boyut ve özelliklerine nemin etkisi çok azdır. Çok iyi olan sürünme dayanımı cam elyafı ile kuvvetlendirme ile iki-üç misli, artmaktadır. Yalıtkanlığı, çeşitli sıcaklıklarda ve nem şatlarında çok iyidir. Genellikle polikarbonatlar asit, yağ ve gres yağ tarafından etkilenmezler; ancak 65 °C suda devamlı tutulduğunda yavaş yavaş gevrekleşirler (Şimşek, 2002).

4.2. Dişli yapımında Kullanılan Plastiklerin Özellikleri

Dişli yapımına uygun plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekmede Elastisite Modülü (GPa)	Çekmede Kopma Uzaması (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Elastisite Modülü (GPa)
Asetal	1410-1420	62-69	2,8-3,6	25-40	90-97	2,8
Naylon 6	1120-1140	62-90	1,4-2,8	100-320	34-97	2,8
Naylon66	1130-1150	76-83	2,6-3,2	60-300	41-110	21,4-4,1
PBT	910	21-28	0,21-034	350-450	96	0,69
PC	1100-1250	55-66	2,1-2,4	100-125	90-97	2,1
PSU	1240	68,9-75,8	2,5	50-100	97-105	2,8
PET	1350-1370	62 (Ç.D.)	-	100	112	-
HDPE	941-965	21-38	0,41-1,2	30-1300	-	0,69-2,1
ABS	1020-1060	22-54	0,97-2,5	30-90	34-97	0,69-2,8
PS	1040-1090	34-82,7	2,8-3,4	1,0-2,5	55-97	2,8-3,4
PU	1100-1500	14-69	0,69-6,9	200-1000	6,9-34	0,69
SKP	1600	135	15	4	125	-
PEEK	1300	70 (Ç.D.)	-	50	110	3,9 (23
PP*	900-910	30-38	1,1-1,6	200-700	41-55	1,4-2,1

* Literatürde dişli malzemesi olarak kullanımı yoktur (Can, 2004).

Dişli dayanımına uygun plastiklerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Dişli yapımında kullanılan plastiklerin bazı fiziksel özellikleri*

Malzeme	Çentik Darbe Tokluğu (J/cm)	Lineer Isıl Genleşme ($^{\circ}\text{C}\times 10^{-5}$)	Sertlik Rockwell	%Su Emme (24 saat)	Sürekli Servis Sıcaklığı	Fiyat**
POM	0,53-0,8	15,3-18,0	M94	0,25	91	3,5
Naylon 66	0,53-1,1	14	R120	1,5	79-150	3,9
Naylon 6/10	0,5-1,2	-	R111	0,2	79-120	-
PBT	Kırılma Yok	16	D55-65	0,01	105	-
PC	6,41-9,61	11-13	M70-82	0,2	120-135	4,2
PSU	0,7	9,4-10	M69	0,2	175-190	11
PET	0,27	6,5	M96	0,2	-	3,0
HDPE	106,7 N/cm	12,0	D40	-	-	1,1
ABS	1,4-6,09	9,5	R60	0,2-0,4	80	2,1
PS	0,1-0,2	11-14	M65-80	0-0,1	70-95	1,1
PU	Kırılma Yok	18-36	M29	0,7-0,9	90	-
SKP (LCP)	1,10	-	R60	0	-	-
PEEK	0,50	5,5	R123	3,2	-	42
PP	0,27-1,2	11-18	R80-110	0,01	110	1

* Tablodaki değerler ekstrüzyon kalıplama için geçerli değildir.

** Crawford, R. J., 1987 den alınmıştır. Fiyatlar polipropilen baz alınarak verilmiştir (Can, 2004).

4.3. Plastik Dişli Çarkların Kullanım Kriterleri

Plastik malzemelerden yapılmış olan dişli çarklar iyi kayma özellikleri ve sessiz çalışma ortamlarında çalışabildiği için geniş bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte özellikle; otomotiv endüstrisinde, ofis malzemelerinde, yiyecek ve tekstil makinelerinde kullanılmaktadır (Mao, 2006).

Plastik dişli çark kullanımının avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Düşük yoğunluktan dolayı ağırlığının düşük olması ve düşük atalet momentinden dolayı çalıştırma ve frenleme işlemlerinde gücün düşük olması.
- Parçaların üniform bir şekilde olması,
- Enjeksiyonla dökülmesinden dolayı maliyetinin düşük olması,
- Gövde ve diğer farklı elemanların malzemelerinin plastikten yapılma eğiliminin her geçen gün artması,
- Manyetik ortamlardan etkilenmemesi,
- Yapılarının elastik olması nedeni ile tolerans miktarlarının metal dişlilere nazaran daha az kritik olması,
- Yapısal olarak düşük sürtünme katsayısına sahip olmaları,
- Yapılarının yalıtkan olması nedeniyle bazı kullanım yerlerinde fayda sağlayabilir olması,
- Gürültüsüz bir şekilde çalışabilmeleri,
- Korozyona karşı dayanıklı olmasından dolayı, kaplamaya ihtiyaç duyulmaması,
- Yapısının elastik olması nedeniyle darbe ve titreşimleri sönmemesi,
- Doğal yapısındaki özellikleri nedeniyle az yağ bulunan veya hiç yağ bulunmayan ortamlarda çalışabilecek yapıda olmaları,
- Bir seferde üretilip, ek işlemlere gerek kalmamasından dolayı seri imalata uygundur. (Can, 2004), (Şimşek,2002).

Plastik dişli kullanımının dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Büyük ısı genleşme ve nem emme katsayıları nedeniyle boyut kararsızlıklarının büyük olmasıdır. Polyamidin ısı genleşmesi AISI 8620ten yaklaşık 10 kat daha fazladır.
- Uygun olmayan döküm, yöntem veya teçhizatlarının artık gerilmeler meydana getirmesi sonucu diş dibinde hesap dışı fazla gerilmeler oluşması ve dişin zamanla biçim değiştirmesi,
- Dayanım sınır değerlerinin düşük olması nedeniyle yük taşıma kapasitesinin düşük olması,
- Kimyasal maddelerin bazılarında hatta bazı yağlardan olumsuz olarak etkilenmesi,
- Her zaman aynı hassasiyette dökülememesi,
- Sıcaklık arttıkça veya azaldıkça çalışma kabiliyetinin düşmesi,

- Doğru diş formunu ve doğru boyutları elde edene kadar yapılan ilk döküm masraflarının büyük değerlerde olması,
- Plastik malzeme maliyetinin, petrokimya fiyatlarına bağlı olmasından dolayı hızla artması (Can, 2004).

4.4. Plastik Dişli Çarklar İçin Malzeme Çiftleri

Dişli çarklar çalışırken karşılıklı gelen dişler kavrama süresince birbiri üzerinde kaydıklarından sürtünme ve aşınma meydana getirmektedirler. Kayma hızı sabit olmayıp; kavrama başlangıcında maksimum, yuvarlanma noktasında sıfır ve kavramanın sonunda tekrar maksimum değer çıkmaktadır. Ortalama kayma hızı çevresel hızın yaklaşık olarak 1/5 'e tekabül etmektedir.

Plastik dişli çarklar montaj sırasında ya bir kere yağlanır ya da yağsız olarak çalışmaktadırlar. Sınır sürtünme veya kuru sürtünme olması halinde oluşacak sürtünme ve aşınma miktarı üzerinde kullanılan malzeme çiftinin büyük etkisi bulunmaktadır. Malzeme çiftleri oluşturulurken; düşük sürtünme, düzgün kayma, en az aşınma, sürtünmeden doğan ısıyı çabuk atabilmek için yüksek ısıl iletkenlik amaçlanır.

Polimerik dişli çarkların avantajları olmasına rağmen halen yapılan birçok araştırmanın amacı, polimer dişlilerin yük taşıma kapasitesini arttırmaktır. Polimerik dişlilerin mekanik mukavemetleri tamamen ısıya bağlı olmaları sebebiyle, çalışma esnasında ısının yükselmesini düşürmek veya düzgün bir dağılım oluşturmak için bazı ölçümler yapılmaktadır. AISI 8620 ile çalışan polimerler bu metodun bir örneğidir. Polimerlerin metallerle çalıştığı durumlarda, metal, sahip olduğu yüksek ısı iletkenliği sayesinde ısıyı hızlı bir şekilde dağıtır. Alüminyum ve bakır gibi demirsel alaşımı olmayan yüksek ısı iletkenliğine sahip metallerle çalışan polimerik dişlilerde aynı oranda performans görülmez. Bunun nedeni, bu malzemelerin çalışma sırasında fazlaca aşınmaya uğramasına neden olan yumuşaklıklarıdır (Pek, 2002).

Plastik dişli / AISI 8620 dişli çifti çalıştığında, sürtünmeden doğan ısı metallerin iyi iletken olması sebebiyle daha kolay atılır. Özellikleri iyileştirilmiş asetal kopolimer dişliler, standart plastik dişlilere göre iyi kayma özelliklerine sahiptirler ve bu nedenle daha az aşınırlar. Plastik dişliler toplam çalışma süresi kısa olan mekanizmalarda AISI 8620 veya demir olmayan metallerden (bakır ve alüminyum alaşımları gibi) yapılmış dişlilerle eşleştirilebilir.

Asetal kopolimer/poliamid ve Asetal kopolimer/polibütilentereftalat eşleştirmeleri sınır ve kuru sürtünme şartlarında iyi kayma özelliklerine sahiptirler. Plastik / AISI 8620 çiftine göre daha az sürtünme ve aşınma meydana gelir. Ancak aşırı aşınma ile dişin yan yüzeylerinde erime riski daha fazladır. Yüksek hızlı dişlilerde, plastik dişlilerin genellikle AISI 8620le eşleştirilmeleri tavsiye edilir (Can, 2004).

5. PLASTİK DİŞLİLERDE ÖMÜR VE ÖNEMİ

Dişli çarklarda ömür, kuvvete maruz dönen bir dişli üzerindeki bir dişin toplam çalışma süresindeki karşılık dişli ile temas sayısının saat cinsinden ifadesidir.

Günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan plastik dişlilerin dezavantajlı taraflarından birisi ömürlerinin tam bir kararlılıkla tespit edilemeyişiştir. Aslında bu araştırmalarda elde edilen ampirik değerler alınarak uygulamalarda kullanılır hale getirilebilir. Yapılan çalışmalar neticesinde dişli çark diş ömürleri üzerindeki etkili olan faktörler, yağlama, sıcaklık, hız, malzeme, yük, imalat hassasiyeti, montaj hassasiyeti, dişlilere ait geometrik büyüklükler (modül, diş sayısı, diş genişliği vb.) diş profillerinin geometrisi vs. olarak belirlenmiştir.

Plastik dişlilerin ömür tayini belirlemek, verimli bir çalışma sağlığı için şarttır. Dişlilerin hangi şartlarda ne kadar ömre sahip olduklarını belirlemek dişli hasarlarının önceden tayin edilmesini sağlayıp gerekli önlemlerin daha önceden alınmasını, gerekiyorsa dişlilerin yenileriyle değiştirilmesi imkanı sağlayacaktır.

Diş sıcaklığı, ortam sıcaklığına bağlı olarak dişli profilinin aşınma durumuna ve ayrıca denge durumundan sonraki sıcaklığın ölçüldüğü zamanına bağlı olarak değişmektedir.

Dişli sıcaklığının yükselmesi, dişlinin yükleme durumunun değişmesi, müsaade edilen eğilme gerilmesinin değişmesi gibi durumlarda ani kırılmalar meydana gelir. Bu nedenle plastik dişlilerde aşırı ısının oluşmasını önlemek için ısı kontrolüne gerek vardır. Açığa çıkan ısının düzgün bir şekilde dışarıya atılması lazımdır. Sıcaklık değişimi aralığının mümkün olduğu kadar düşük tutulması sağlanmalıdır (İmrek, 1990).

5.1. Plastik Dişli Çarkların Hasar Mekanizmaları

Plastiklerin kötü birer ısı ileticiler olması, yüksek performanslı dişli çarkların tasarımında kısıtlayıcı bir faktör olmaktadır. Dişli çarkların kullanım anında veya imalat safhasında kullanılamayacak derecede hasara uğramalarına yol açan etkenler, hasar mekanizmaları olarak tanımlanmaktadır. Dişlilerin kullanılmaz hale gelmelerinde üretim sürecinde yapıda oluşan boşluklar, çatlaklar ve içyapı homojenlikleri etkilidir. Üretim hataları nedeniyle dişli çark malzemesi beklenen çalışma periyodundan daha önce, çeşitli hasar mekanizmalarının etkisi altında ani olarak hasara uğrayabilir.

Plastik dişlilerin üretim hataları dışında kalan hasar mekanizmaları; yorulma, sürünme, aşınma ve plastik deformasyondur. Bu hasar mekanizmaları eş zamanlı oluştukları için hasara

uğramış plastik dişlilerde; sürünme, yorulma ve plastik deformasyonu birbirinden ayırmak oldukça zordur (Can, 2004).

Yapılan çalışmalarda görülen, plastik dişli çark dişlisinin hasarları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

5.1.1. Plastiklerin yorulması

Plastik dişlilere ait darbe mukavemetini tanımlamak çok zordur. Çünkü darbe yükünün altındaki performans birçok değişkenlere bağlıdır. Bazen darbe yükü şartlarında, cam elyaf takviyeli polyamid ilk şokta veya ikinci şokta kırılırken, bazen de binlerce kez tekrarlanan darbelere karşı kırılmamış olarak kalabilir. Ayrıca tam yorulma performansını tanımlamak çok güçtür. Hızlandırılan yorulma testlerini uygulamak çok güçtür. Eğilme, çekme veya basma gibi durumlarda oluşan çevrimli gerilmelerden oluşan ısı, kolaylıkla dağıtılamaz ve ölçülemez. Gerçek performansın tahmin edilmesindeki zorluk plastik dişlileri güç iletim mekanizmalarında güvensiz yapmaktadır. Dişlilerdeki değişken gerilme, yorulmayı da beraberinde getirmektedir. Değişken zorlamalar zamana göre maksimum ve minimum değerler arasında değişen zorlamalardır.

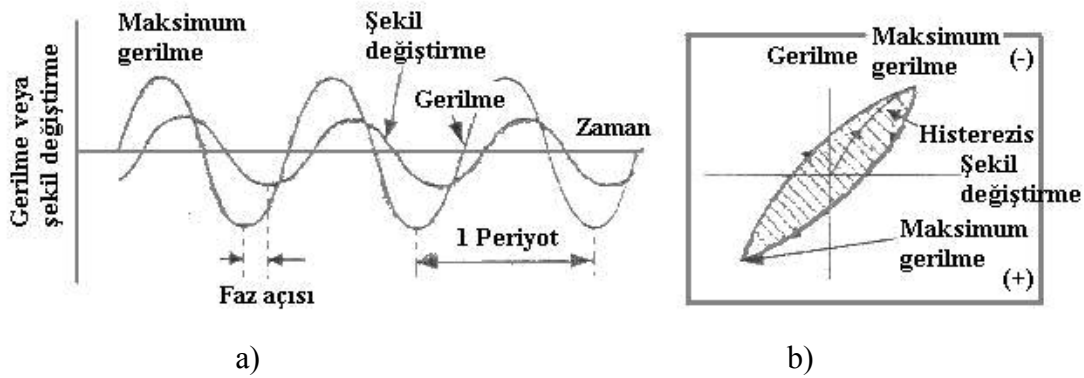
Plastiklerde yorulma, bir çatlağın oluşması ve yayılması sonucunda oluşmaktadır. Plastiklerde kalıplama esnasında yüzeyde, yorulma çatlaklarının yayılmasını sönmüleyen bir koruyucu tabaka meydana gelmektedir. Genellikle plastiklerde; küçük boşluklar, yolluk noktaları gibi kalıplama hatalarında çatlak oluşmaktadır.

Plastiklerin viskoelastik özelliğinden dolayı, yüksek sönmüleme ve düşük ısı iletkenliği sonucu oluşan ısının malzeme bünyesinde bir yumuşama meydana getirmektedir. Bu olaya ısıl yorulma veya yumuşama hasarı denilmektedir. Dolayısıyla plastiklerde çatlağın yayılmasına ve malzemenin yumuşamasına bağlı olarak iki çeşit yorulma vardır.

Statik zorlama altında σ nominal gerilmelerinin kopma dayanımı (σ_K) ile eşit veya daha büyük ($\sigma \geq \sigma_K$) olduğu durumda kopmanın meydana geldiği durum statik yorulma olarak tanımlanmaktadır. Malzemenin kopması sadece gerilmenin büyüklüğüne göre değil, o gerilmeye maruz kaldığı zamana da bağlıdır. Şöyle ki uzun süre gerilmelere maruz kalan parçalar, kopma dayanımından daha küçük gerilmelerde ($\sigma < \sigma_K$) kopmaktadırlar.

5.1.1.1. Isıl yorulma (Yumuşama hasarı)

Plastiklerin çoğu, çatlağın yayılmasından değil; iç sürtünmeden meydana gelen ısı ve bu ısınsın dışarıya iletilmemesi nedeniyle malzeme bünyesinde oluşan yumuşama hasarı ile hasara uğramaktadır. Plastiklerin viskoelastik özelliğinden dolayı değişen zorlamalarda gerilme ile şekil değiştirmeler aynı fazda değildir. (Şekil 5.1.a); şekil değiştirmeler gerilmelerin gerisinde kalmaktadır. Faz farkının değerleri plastiklerin cinsine göre büyük ölçüde değişmektedir.



Şekil 5.1. Değişken zorlamalara maruz kalan plastiklerde, (Akkurt, 2004)

a) Gerilme ve şekil değiştirme arasındaki faz farkı, b) Histerezis

Gerilme ile şekil değiştirme arasındaki faz farkının sonucu olarak her yük tekrarlanmasında, uygulanan mekanik enerjinin bir bölümü ısıya dönüştürülüp kaybolmaktadır. Şekil 5.2b'de gösterilen bu olay histerezis kaybını ifade etmektedir. Plastikler, düşük ısı iletkenliğine sahip olduklarından tekrarlanan yüklemelerde oluşan ısınsın büyük bir kısmı dışarıya iletilememekte ve her yük tekrarlanmasında ısılar birikmektedir.

Sıcaklığın etkisi altında malzeme dayanımında ve rijidliğinde bir azalma meydana gelmektedir. Malzeme bünyesinde oluşan ısı, dışarıya iletilen ısıdan daha büyük olduğunda sıcaklık sürekli olarak artmaktadır. Bu artan sıcaklığın belli bir değerinde, malzeme özellikleri bozulur, yükü taşıyamaz hale gelir ve hasara uğrar. Buna ısıl yorulma veya yumuşama hasarı olarak adlandırılır.

Plastik parçaların tasarımı anında malzemenin ısıl yorulma dayanımını arttırmak amacıyla, enerji kaybını önleyen ve ısı iletimini teşvik eden önlemlerin alınması gerekir. Bu önlemler;

- Mümkünse yükün frekansını azaltmak,
 - Aşırı cidar kalınlıklarından kaçınmak,
 - Isı iletimini kolaylaştırmak (Suni soğutma oluşturmak),
 - Kayıp uygunluğu düşük malzemeler seçmek,
 - Gerilme yığılmalarını azaltmak,
- şeklinde sıralanabilir (Akkurt, 2004).

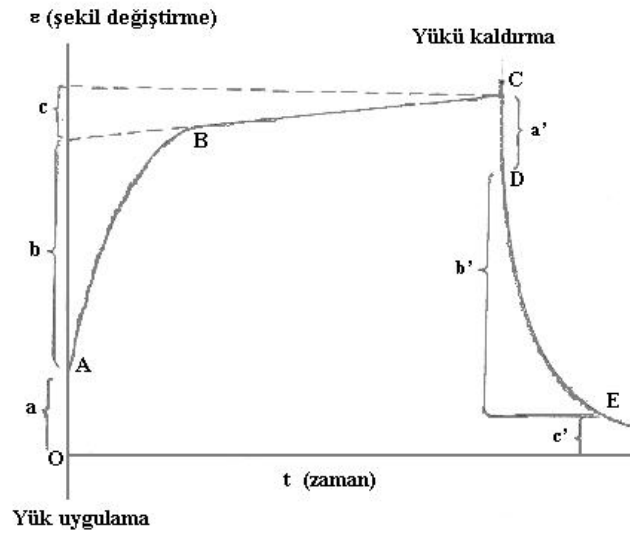
5.1.2. Plastiklerin viskoelastik davranışı

Plastikler, üzerlerine belirli bir kuvvet uygulandığında; hem elastik hem de plastik davranış gösterirler. Plastiklerin plastik deformasyonu, elastik kaymadan daha çok viskoz akış ile olmaktadır. Viskoz akış, polimerdeki zincirlerin birbiri üzerinde kayması ile olmaktadır.

Viskoelastik davranışta deformasyon, elastik deformasyon ve viskoz akış kombinasyonu ile olur. Viskoelastik davranış sürünme ve gevşeme (rölaksasyon) olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Sürtünme, sabit bir gerilmenin etkisi altında, malzemenin sürekli olarak şekil değiştirmesi; gevşeme ise belirli bir şekil değiştirme durumunda bulunan malzemede, gerilmelerin sürekli olarak azalması olarak ifade edilmektedir (Can, 2004).

5.1.2.1. Plastiklerin sürünmesi

Polimerik malzemeden yapılmış parçalar uygulamada uzun periyotlarla küçük çekme ya da basma gerilmelerine maruz kaldıklarında, boyut değiştirirler. Sabit yük altında zamanla boyut değiştirme olayına sürünme adı verilmektedir. Sürünme olayı Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

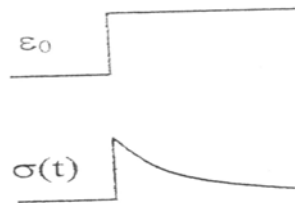


Şekil 5.2. Plastiklerin şekil değiştirme mekanizması, (Can, 2004).

Elastik bir malzemeye σ gerilmesi uygulandığında, başlangıçta uzama uygulanan çekme gerilmesi ile hemen hemen ani olarak oluşur. Başlangıç deformasyonu Şekil 5.2'deki eğrinin OA parçasıdır ve şekilde a ile gösterilmektedir. AB arası sürünme bölgesidir ve hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Genelde sabit deformasyon hızındaki değişim BC arasındadır. Yük kaldırıldığında OA arasındaki şekil değişimi CD arasında hızlı bir şekilde geri gelecektir. ($a'=a$). DE arasında daha yavaş bir geri gelme görülmektedir ancak bu tamamlanmayacak, başlangıçtakine göre belli bir plastik deformasyon oluşacaktır ($c'=c$). Burada b' gecikmeli şekil değiştirme, "c" ise Newton kanununa uyan viskoz sıvılarda meydana gelen şekil değiştirmelere benzer kalıcı şekil değiştirmelerdir.

5.1.2.2. Plastiklerde gerilme gevşemesi

Gerilme gevşemesi, sabit plastik deformasyon altında zamanla gerilmenin düşmesidir. Gevşemede malzemenin davranışı Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Gerilme gevşemesi

Sabit bir ϵ_0 şekil değiştirmede tutulan elastik bir malzemede gerilme sabit kalmakta iken Şekil 5.3’de gösterilen viskoelastik bir malzemede ise gerilme zamanla azalmaktadır.

Viskoelastik malzemelerin davranışı, gerilme ile şekil değiştirme arasında örneğin Hooke ve Newton kanununda olduğu gibi lineer veya lineer olmayan bir bağıntıya dayanarak incelenmektedir. Birinci durum lineer viskoelastisite teorisi, ikincisine ise nonlineer viskoelastisite teorisi denilmektedir. Viskoelastik malzemelerin davranışını tayin etmek için çeşitli modeller teklif edilmiştir. Bunlardan en basit olanı, bir yay ve bir sönümleme elemanına (amortisöre) dayanmaktadır(Akkurt, 1991, Crawford,1987) .

5.1.3. Plastik aşınma ve yağlama

Değiştirilmemiş durumdaki birçok polimer malzemesi yüksek aşınma ve sürtünme özellikleri gösterir, fakat içten yağlayıcılar olan grafit, PTFE ve silikon gibi maddelerin eklenmesiyle çok tesirli geliştirmeler yapılabilmektedir. PTFE, 0.02 sürtünme kat sayısı ile bilinen en iyi içten yağlayıcıdır. Silikon çevresel yağlayıcı olarak hareket eder ve sürekli ince bir tabaka oluşturacak şekilde yüzeye doğru hareket ederek ana reçineyle kısmen uyumlu bir alaşım oluşturur. PTFE’nin yeterli gelmediği yerlerde, PTFE / silikon hem başlangıçta hemde yüksek hızlarda sürekli olarak yağlama sağlarlar. Grafit de aynı özelliklerde çevresel yağlayıcı olarak hareket eder fakat, silikon kadar etkili değildir. Asbestos fiberler ve Mika, değişen derecelerde mekanik mukavemeti arttıran dolduruculardır, fakat cam fiberlerin eklenmesi ve son zamanlarda ise karbon fiberlerin eklenmesiyle sadece mekanik mukavemet değil ayrıca ısısal özelliklerin de aşırı derecede arttığı ve hatta uzun vadeli sünme direncinin de arttığı saptanmıştır. Bir dereceye kadar karbon fiberlerle doldurulmuş tipler, yüksek maliyetleri nedeniyle bazı çok özel uygulamalar dışında dişli çarklarda kullanılmasını kısıtlarlar, buna rağmen daha iyi ısı yayılımı veren ısı iletkenliği yüksek diğer dolduruculara göre daha çok avantajları vardır (Pek 2002).

Termoplastikler, yağlama olmadan bile iyi kayma özellikleri göstermelerine rağmen, makine tasarımlarında sürtünme ve aşınmayı belirgin olarak azalttığı için çoğunlukla yağlama yapılmaktadır.

Dökümle üretimde; plastik döküm yönüne karşı soğutulursa yüzeyi talaşlı imalatla işlenmiş yüzeyden daha sert ve kaygan olur. Bu nedenle döküm parçalar, daha düşük kayma sürtünmesi gösterirler ve dişli çarklar için çok uygun olmaktadır. İyi bir çalışma için cam kadar pürüzsüz olmamak şartıyla mümkün olduğunca pürüzsüz yapılmalıdır. Cam gibi bir

yüzey kontak yüzeyinin ve dolayısıyla sürtünmenin artmasına neden olur. Sürtünme, etkisini aşınma ve ısınma olarak gösterir.

Yağlama yapılması sürtünmeyi azalttığı için ısı oluşumu daha azdır. Özellikle sıvı yağlama halinde yağ, oluşan ısının atılmasına da yardımcı olur. İşletme sıcaklığının azalmasıyla yük taşıma kabiliyeti ve ömür belirgin olarak artmaktadır.

Sıvı yağların üstünlüklerine rağmen sızdırmazlığı sağlamanın maliyetinden dolayı çoğunlukla gresle yağlama tercih edilmektedir. Gresle yağlamada belli çevre hızı aşılmamalıdır. Yük taşıma kabiliyetini, sıvı yağlar kadar olmasa da arttırmaktadır. Genellikle montaj esnasında bir defalık yağlama yapılmaktadır. Belirli periyotlarla gresin yenilenmesinin ömür üzerindeki etkisi çok sınırlıdır. Yağlayıcı olarak, rulmanlar için geliştirilmiş greslerin kullanılması çoğunlukla uygundur.

Yağ seçiminde en önemli husus, plastiğin yağlayıcıya karşı kimyasal direncinin olmasıdır. Aşınma partikülleri etkisi ile yağın kalınlaşarak özelliğini kaybetmesi de söz konusu olabilir. Yağlayıcı eleman olarak lityum sabunlu mineral esaslı gresler kullanılır. Lityum sabunu gresin kıvamını düzenlemektedir. Özel katkı maddelerinin kullanılmasıyla, gresin plastik dişli çark yüzeyine daha iyi yapışması sağlanmaktadır.

Toz ile yağlama plastiklerin kayma özelliklerini oldukça iyileştirmektedir. Eğer uzun ömür beklentisi varsa katı yağlayıcıların yüksek hızlarda ve büyük yüklerde kullanılması problemlidir. Katı yağlayıcılar, pis olan ortamlarda gres kullanılmadığı ortamlarda kullanılmaktadır.

Plastiğin kayma özelliklerini iyileştirmek için PTFE (Teflon), Asetilen isi, MoS₂, grafit veya silikon gibi katkı maddeleri de katılabilir. Bu katkılar plastiğin termik ve mekanik davranışlarını etkilemektedir (Akkurt ve Sezer 1998, Şimşek,2002).

PTFE (Teflon) tanecikleri yağlayıcı bir film tabakası oluşturarak sürtünme katsayısını ve aşınma faktörünü belirgin olarak azaltmaktadır. Örneğin; %20 PTFE yağlayıcı katkılı Polietersülfon'un dinamik sürtünme katsayısı; 0,37'den 0,11'e ve aşınma faktörü; 1500'den 32'ye düşmüştür. Aşınma faktörünün 200'den aşağı olduğu olduğu bu amorf reçine dişli malzemesi olarak düşünülebilir. Amorf reçineler, kalıplamada kristalin reçinelere göre daha az kendini çekme gösterir. Bu şekilde daha hassas dişli çarkların imaline imkan sağlanır. PTFE taneciklerinin malzeme içerisinden sürtünme yüzeyine gelmesi zaman aldığından, çalışma sırasında sürtünme yüzeyleri belli bir müddet direkt temas ederler. Bu nedenle yüzeylerde hasarlar meydana gelebilir.

Sıvı silikon, yüzeylerde bir sınır sürtünme tabakası oluşturduğu için tercih edilmektedir. Çalışma sırasında silikon, malzeme içerisinden sürtünme yüzeyine hemen ulaşarak yağlama

vazifesini yerine getirir. Sıvı silikon tek başına veya PTFE ile beraber kullanılmaktadır. PTFE/silikon yağlayıcı takviyesi yüksek devirlerdeki uygulamalarda ve özellikle osilasyon hareketinin olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır.

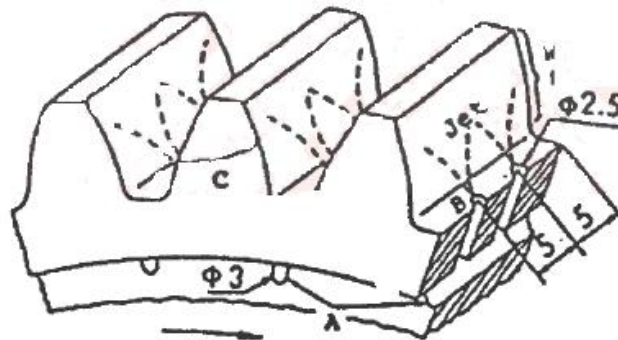
5.1.4. Polimerlerin kırılması

Polimerik malzemelerin kırılması, metallerin kırılmasıyla aynı değildir. Genel olarak, termoset polimerik malzemelerin kırılma modu gevrekliktir. Bu malzemelerin büyük bir kısmında sünekten gevreğe doğru bir davranış görülmektedir. Gevrek kırılmaya doğru geçişi, sıcaklıktaki düşme, gerilme oranının artması, keskin çentiklerin bulunması, numune kalınlığının artması ve bunlara ilave olarak polimer yapının kimyasal, moleküler ya da mikroyapısal olarak değiştirilmesi etkiler. Bazı termoplastikler, belli bir sıcaklığın üzerinde gevrekleşirler. Bu sıcaklığa camlaşma sıcaklığı, camlaşan termoplastiklerden bazılarında kırılmadan önce oluşan fazla ayrılma denmektedir. Ayrılmalarla bölgesel olarak yüksek oranda akan bölgelerde küçük ve birbirine temas etmeyen mikroboşluklar oluşur. Ayrılmanın gelişimi esnasında çatlama öncesi kırılma enerjisi depolanır ve polimerin kırılma tokluğu da artar.

5.2. Plastik Dişlilerin Ömrünü Arttırıcı Değişik Metodler ve Hassasiyetleri

5.2.1. Soğutma metodu

Şekil 5.4’de görüldüğü gibi santrifüj jet soğutma yöntemi polimer dişlilerin çalışma ısını düşürmek için kullanılmaktadır.



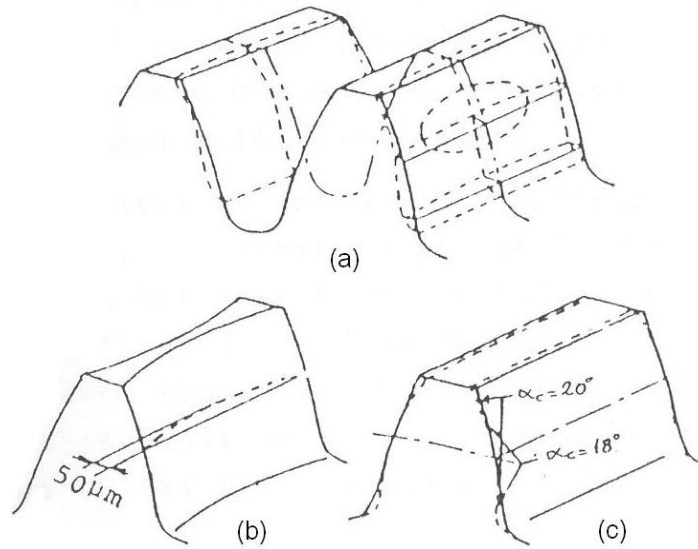
Şekil 5.4. Santrifüj jet soğutma metodu

Dişli çarklarının dönmesinden dolayı oluşan santrifüj etkisiyle, hava her bir dişli çiftine, çepere delinmiş bir delikten ve tabandan doğru üflenir. Eğer dişlilerin hızları gerekli pompalama hareketini sağlayamayacak kadar düşükse, gerekli soğutmayı oluşturmak için dişli çarklarının yanlarına bir fan yerleştirilir. Bu şekilde, naylon dişli çarkların yük taşıma kapasitelerini %25 oranında arttırmak mümkündür. Polimerik dişlilerde en fazla ısı oluşumu, birbiriyle çalışan dişlerin kayma teması sırasında sürtünmeden dolayı meydana gelir.

5.2.2. Plastik dişli profilinin modifiyesi

Yüksek sıcaklıklarda plastik dişlilerin dayanıklılığı azalmaktadır. Diş temas bölgelerinde özellikle de diş kökü civarında anormal bir aşınma oluşmaktadır.

Şekil 5.5a'da bir plastik dişlinin çalışma halindeki diş yüzeyleri gösterilmektedir. Ortaya çıkan ısı kısmen dışarıya atılmakla birlikte şekilde kesitli çizgilerle gösterilen elips kısımda ısının dışarıya yayılması daha az olmaktadır. Yüke maruz kalan dişin kenar kısımları esnerken orta kısmı aşınmaya maruz kalır. AISI 8620 dişlinin uç kısmı plastik dişlinin bölüm dairesi altında kalan taban yüzeyini aşındırır. Bu aşınma sonucunda kesik çizgilerle gösterilen profil meydana gelmektedir.



Şekil 5.5. Profil modifikasyonu

AISI 8620 dişlilerle plastik dişlilerin sürtünmesi neticesinde plastik yumuşar. Şekilde kesik çizgilerle gösterilen elips kısımlarda ısınma artar. Bu ısınma neticesinde ve kuvvet

karşısında plastik dişler kırılırlar. Eğer bu dişli profili modifiye edilirse dişlerin kırılması önlenir.

5.2.3. Plastik dişli ile çalışan metal dişli malzemesinin etkisi

Plastik dişli ile çalışan karşılık dişli çoğunlukla AISI 8620 dişlidir. AISI 8620 dişliler yağsız çalışma ortamlarında korozyona uğrarlar. Bu sebeple çalışma için AISI 8620 olmayan dişlilerin kullanılması tercih edilir. Ancak kullanılacak dişli malzemelerinin aşınma durumları vs. gibi özelliklerinin bilinmesi lazımdır.

Plastik dişliler pirinçten imal edilmiş dişli ile çalıştığında aşınma en büyük değerdedir. Aşınma neticesinde meydana gelen pirinç parçacıkları (tozlar) plastik dişlerin yüzeyine saplanarak zarar vermektedir.

5.3. Plastik Dişli Çarkların Mukavemetlerini Arttırmak İçin Öneriler

5.3.1. Modülün seçimi

Diş dibi eğilme gerilmesi modül ile ters orantılıdır.

$$\sigma \sim \frac{1}{m} \quad (5.1)$$

Büyük modüllerde büyük bir teğetsel kuvvet ve dolayısıyla büyük moment nakledilmektedir. Büyük modül aynı zamanda büyük diş yüksekliği demektir. Verilen bir “d” taksimat dairesi çapında dişli çark için seçilecek modülün değeri minimum diş sayısı ile sınırlanmıştır.

$$M_{\text{maks}} = \frac{d}{Z_{\text{min}}} \quad (5.2)$$

Yüzey aşınması bakımından modülün mümkün olduğunca küçük olması istenmektedir. Modül küçüldükçe sürtünme enerjisi miktarı düşmektedir. Sürtünme enerjisi, yüzey gerilmesi

ile ortalama kayma hızının çarpımı ile hesaplanmaktadır. Temas noktalarındaki yüzey eğrilik yarıçapı küçüldükçe yüzey gerilmesi küçülmektedir. Kayma hızı diş yüksekliği ile doğru orantılı olarak düşmektedir (Fetvacı, 1998).

Küçük modellerde imalattan veya ısı genleşmeden kaynaklanan dişli hataları kolay kolay sıkışmaya sebep olmazlar. Küçük bir modül diş yüzeyi eğriliğinin az olması anlamına gelir ve bu durum diş mukavemetini olumlu etkiler. Büyük modül ise belirli bir çap için çevrede daha az diş anlamına gelir. Bu ise düşük diş başlarında alttan kesilmeye sebep olmaktadır. Büyük modüllü dişliler genelde küçüklere göre daha çok kayma sürtünmesi gösterirler. Pinyona daha fazla yük etkidiğinden bir dişli çifti tasarlarırken ilk önce pinyon dişliyi tasarlamak doğru bir yaklaşımdır.

5.3.2. Kavrama açısını değiştirmek

Dişli çarklarda kullanılan kavrama açıları $14^{1/2}$, 20^0 ve 25^0 dir. Düşük kavrama açısı durumunda diş dibinden kırılma ihtimali artmaktadır. Hassas hareket ve yüksek verimlilik istenen yerlerde kullanılmaktadır. Yüksek kavrama açısı durumunda iyi bir eğilme mukavemeti, fakat düşük bir verimlilik elde edilir. Bu dişliler yüksek güçlerin naklinde kullanılır. En çok kullanılan kavrama açısı 20^0 'dir. Kavrama açısının seçimi uygulama yerine bağlıdır. Kavrama açısı arttıkça min. Diş sayısı azalmaktadır. Artan açıyla taban genişliği artmaktadır. Dolayısıyla diş dibi mukavemeti artar, diş ucu sivrileşir ve kayma özellikleri iyileşir (Şimşek, 2002).

5.3.3. Diş kök eğrisi formu

Diş kök eğrisi formu plastik dişli çarklarda metallere göre daha fazla önem taşımaktadır. Çentik duyarlılığı nedeniyle plastik dişli çarklar için enjeksiyon kalıpları dizayn edilirken diş dibi kök eğrisi yarı çapı yüksek tutulur. Böylece gerime yığılmaları azaltılır ve çalışma ömrü arttırılır (Fetvacı, 1998, Şimşek, 2002).

5.3.4. Tamamlayıcı profil

Metal dişli / plastik dişli kombinasyonunda, nakledilen teğetsel kuvvet tamamlayıcı profillerin kullanılmasıyla arttırılmaktadır. Bu durumda plastik dişli çarkın diş kalınlığı metal dişliye arttırılır. Taksimat dairesindeki diş kalınlığının diş boşluğuna oranı 2:1'e çıkabilir.

5.3.5. İşletme gürültülerinin azaltılması

Diş yüzeyleri arasındaki sürtünmeye ek olarak kavrama esnasındaki sarsıntılar işletme gürültülerini arttırır. Bu sarsıntılar helisel dişli kullanılmasıyla hafifletilebilmektedir. Dişli çarkların esnek dizaynı, daha esnek malzemeler ile sarsıntılar azaltılabilir.

Dişli çarkların esnek dizaynı; ince, uzun dişliler (bunlar özel kesici takım gerektirir) veya diş dibi dairesine radyal yarıklar açılmasıyla gerçekleştirilir.

Dişli çember gövdeye yay elemanları ile bağlanır. Bu esnek bağlantı sayesinde dişler yan boşluksuz olarak çalışır ve dolayısıyla daha sessiz bir çalışma gerçekleştirilir (Şimşek, 2002).

Plastik malzemelerin daha az sert ve daha esnek yapılması ile darbeye karşı mukavemetleri arttırılır. Sarsıntılar ve işletme gürültüleri hafifletilir. Sürtünmeden doğan gürültüler ise uygun yağlayıcıların kullanılması ile azaltılır.

5.3.6. Profil kaydırma

Profil kaydırma işleminin yapılmasının nedeni şunlardır:

- Bir dişli çark çiftini istenen eksenler arası mesafeye yerleştirmek,
- Pinyonla çark arasındaki gerilme farkını dengelemek, mekanizmanın yük taşıma kabiliyetini arttırmak,
- Küçük diş sayılarında alt kesilmeyi önlemek,
- İzafi kayma hızları arasındaki farkı gidermek, kavrama oranını büyütmek, daha sessiz çalışmayı sağlamak.

Profil kaydırma miktarı bir x profil kaydırma faktörü yardımıyla ve x 'in işaretine bağlı olarak belirlenir. Pozitif profil kaydırma ile dişin yük taşıma kabiliyeti artar. Bu artış düşük diş sayılarında daha belirgin bir hale gelir. Pozitif profil kaydırma ile diş başı dairesi çapı artar, profillerin eğriliği azalır ve diş başı sivrileşir. Profil kaydırmanın üst sınırı kavrama oranı ile belirlenir. Alın dişlilerde bu oran en az 1,08 – 1,10 olmalıdır. Diş başının çok sivri

olması istenmediğinden diş başı kalınlığı belli bir değerin altına inmemelidir. Negatif profil kaydırmanın alt sınırını ise alttan kesilme ile belirler (Şimşek, 2002).

5.3.7. Diş hasarları

Taksimat dairesi boyunca kırılma polimerlere özgü bir durumdur. Polimerler yalıtkan malzemelerdir. Yuvarlanma noktasındaki yüksek sıcaklıklar nedeniyle mukavemet azalmaktadır. Taksimat dairesi boyunca kırılma genelde yağlanmamış dişli çarklarda görülmektedir. Diş dibinden kırılma, taksimat dairesi boyunca kırılma ve pitting teşekkülü yorulmadan kaynaklanan hasarlardır.

5.3.8. Boyutsal değişiklikler

Dişlinin temel büyüklüklerinin değiştirilmesi ya da bütün profilinin değiştirilmesi şeklinde görülür.

Plastik dişlilerin ömürlerinin arttırılması amacıyla yapılabilecek en basit çözüm aynı yüke maruz kalacak daha büyük bir dişli yapmaktır. Boyutların büyütülmesi sadece modülün büyütülmesi anlamında değildir. Modülün büyütülmesi dışında basınç açısının düşürülmesi ile diş dibi kalınlığını değiştirebilir.

5.3.9. Malzemeye dayalı değişiklikler

Dayanım değerleri, daha fazla malzeme kullanımı, takviye malzeme kullanımı, alaşımlama, kaplamalar, ısıl işlemler, malzemeye dayalı değişiklikler olarak sıralanabilir.

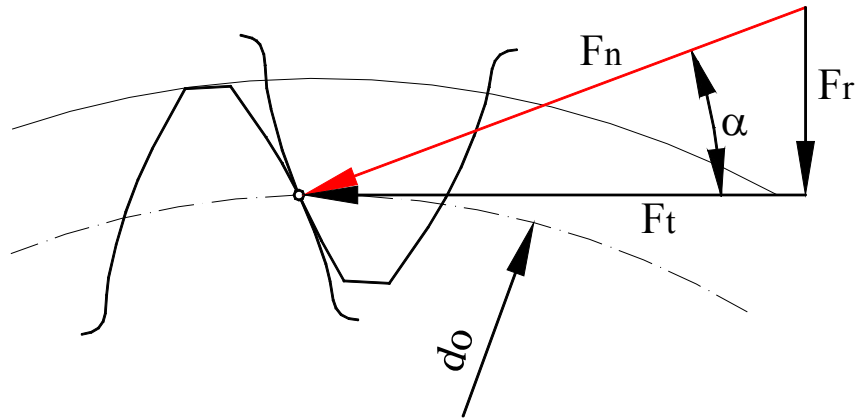
Dayanımı daha yüksek başka bir plastiğin kullanımı ile mukavemet artışı sağlanabilir, fakat bu maliyet artışına sebep olmaktadır

Plastiklerin kaplanması zor bir işlem olmakla birlikte mümkündür. Literatürde folya, ya da yassı mamullere uygulanmış olup dişliler için kaplama kullanılmamıştır.

6. MATERYAL METOT

6.1. Kavrama Doğrusu Boyunca Statik Yük Dağılımı

Dişlilerle ilgili herhangi bir çalışmaya başlamadan önce diş kuvvetleri, bu kuvvetlerin kaynağı ve sınıflandırılması ile bu kuvvetlerin sebep olduğu zorlanmaların doğru olarak bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Eş çalışan düz alın dişli mekanizmasında temasta olan diş çifti veya çiftlerinde dişlilerin birbirlerine uygulamakta olduğu kuvvete, sürtünme kuvveti ihmal edilirse, diş normal kuvveti denilmektedir (Şekil 6.1). Birden fazla diş çifti temasta ise, bu kuvvet diş çiftleri arasında paylaşılmaktadır. Burada, normal kuvvet F_n , teğetsel kuvvet F_t , radyal kuvvet F_r 'dir.



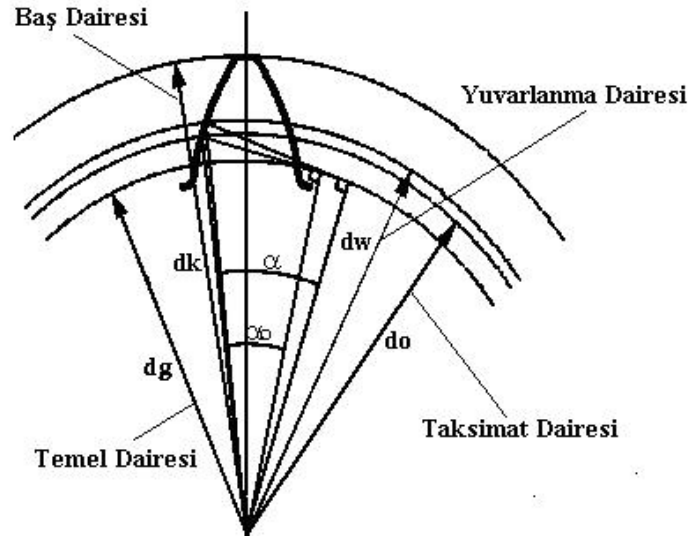
Şekil 6.1. Düz dişlide normal kuvvet

Diş normal kuvvetinin iletilmekte olan güçten kaynaklanan bileşenine statik yük denilmektedir (Küçükçongar, 2004).

6.2 Deney Yapılacak Plastik Dişlilerin Hesaplamaları

Yapılan deneysel çalışmada, deney cihazında kullanılan deney dişlileri için eksenler arası mesafe sabit ve 91.5 mm olduğu için standart düz dişli hesapları yerine profil kaydırmalı düz dişli hesapları yapılarak deney dişlilerinin boyutları hesaplanmıştır. Aşağıda deney

dişlilerinin boyutlarının hesaplandığı düz dişli profil kaydırma formülleri verilmiştir. Şekil 6.2’de Düz dişli çark geometrisi



Şekil 6.2. Düz dişli çark geometrisi

Bölüm dairesi çapı (taksimat dairesi) (d_o);

$$d_o = m.z \quad (6.1)$$

Modül (m), diş sayısı (z)’dir.

Yuvarlanma dairesi çapı (d_w);

$$d_w = d_o + 2.m.x \quad (6.2)$$

Bölüm dairesi çapı (d_o), modül (m) ve profil kaydırma miktarı(x)’dir.

Diş başı dairesi çapı (Diş üstü çapı) (d_k);

$$d_k = d_w.2.m \quad (6.3)$$

Yuvarlanma dairesi çapı (d_w), Modül (m)’dür.

Diş dibi dairesi çapı (d_f);

$$d_f = (d_o - 2.1,25.m) + 2.m.x \quad (6.4)$$

Bölüm dairesi çapı (d_o), modül (m) ve profil kaydırma miktarı(x)’dir.

Temal dairesi çapı (dg);

$$dg = do \cdot \cos \alpha_0 \quad (6.5)$$

$$rk = \frac{dk}{2} \quad (6.6)$$

$$rg = \frac{dg}{2} \quad (6.7)$$

Eksenler arası mesafe (a);

$$a = \frac{do_1 + do_2}{2} \quad (6.8)$$

Birinci dişli bölüm dairesi çapı (do_1), ikinci dişli bölüm dairesi çapı (do_2) ise toplam kavrama uzunluğu;

$$AE = \sqrt{(rk_1)^2 - (rg_1)^2} + \sqrt{(rk_2)^2 - (rg_2)^2} \quad (6.9)$$

Kavrama oranı;

$$\varepsilon = \frac{AE}{t \cdot \cos \alpha} \quad (6.10)$$

olarak hesap edilir. Kavrama oranı ne kadar büyük olursa, dişli çark okadar sessiz (darbesiz) çalışır. Bu nedenle kavrama oranının 1,4 ten büyük olması tavsiye edilir. Tablo 6.1’de deney dişlilerinin geometrik ölçüleri görülmektedir.

Eş çalışan dişlilerin temas yeri taksimat dairesi üzerinde bulunduğu durumda bu kuvvetin teğetsel bileşeni;

$$F_t = F_n \cdot \cos \alpha_0 \quad (6.11)$$

Diğer taraftan iletilen burulma momenti ;

$$M_b = F_t \cdot d_{01}/2 \quad (6.12)$$

şeklinde ifade edilir. Burada F_t değeri yerine (6.1) denklemi yazılırsa;

$$M_b = F_n \cdot \cos \alpha_0 \cdot d_{01}/2 \quad (6.13)$$

halini alır.

Tablo 6.1. Deney dişlilerinin geometrik ölçüleri

Modül m (mm)		4.5		3.5	
		Döndürül en	Döndür en	Döndürüle n	Döndür en
Diş sayısı	Z_1	20		26	
	Z_2	20		26	
Profil kaydırma faktörü	X_1	0.177		0.073	
	X_2	0.177		0.073	
Standart kavrama açısı α_o		20		20	
Çalışma kavrama açısı α		22.44		20.84	
Taksimat dairesi çapı	d_{o1} (mm)	90		91	
	d_{o2} (mm)	90		91	
Yuvarlanma dairesi çapı	Dw_1 (mm)	91.593		91.511	
	Dw_2 (mm)	91.593		91.511	
Temel dairesi çapı	dg_1 (mm)	84.564		85.512	
	dg_2 (mm)	84.564		85.512	
Diş üstü çapı	dk_1 (mm)	100.593		98.511	
	dk_2 (mm)	100.593		98.511	
Eksenler arası mesafe a (mm)		91.5		91.5	
Kavrama uzunluğu AE (mm)		19,552		16,356	
Kavrama oranı ε		1.496		1.592	
Diş genişliği	b (mm)	14 / 18		14 / 18	

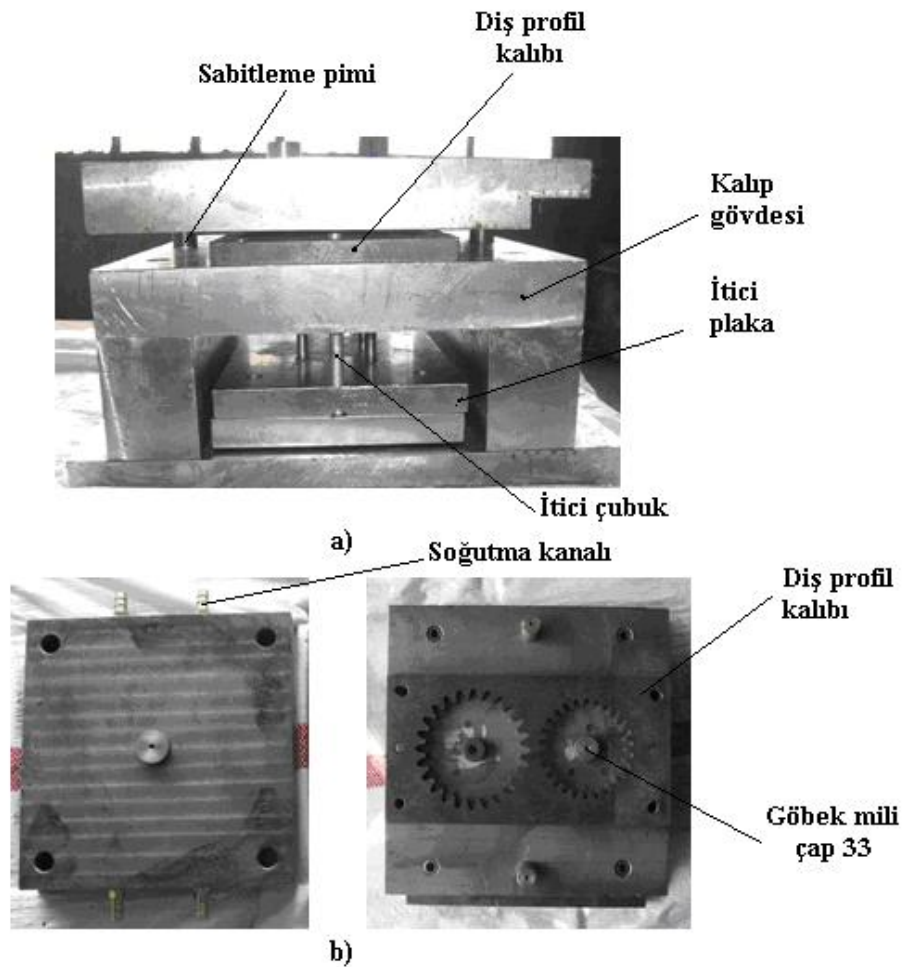
6.3. Dişli Kalıbının Hazırlanması ve Dişli Malzemeleri

Yukarıda belirtilen düz dişli çarklarda profil kaydırma denklemlerine göre, deneyde kullanılacak numuneler için dişli çark kalıbı, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Kalıpcılık Bölümünde üretildi. Tablo 6.1’deki deney dişlilerinin geometrik ölçüleri CNC tel erozyon tezgahında diş profilleri kesilerek deney dişlilerinin 3.5 modül ve 4.5 modül iki ayrı tip plastik enjeksiyon kalıbı oluşturuldu.

6.3.1. Kalıp Tasarımı

Enjeksiyon işleminin en önemli noktalarından biri kalıptır. İki veya daha fazla parçadan oluşan kalıplar üretilen her parça için farklı yapıda olabilmektedir. Genel olarak bir kalıbın esas görevi, erimiş haldeki bir malzemenin tüm boşluklara homojen bir şekilde rahatça dağılmasını sağlayabilmesi, erimiş haldeki malzemeye istenilen son şeklini verebilmelidir.

Şekil 6.3’de deney numunelerinin enjeksiyon kalıplama ile elde edilen kalıp resminin genel görüntüsü görülmektedir. Deney numunelerinin her tarafının eşit soğutulabilmesi için kalıba soğutma kanalı eklenmiştir.



Şekil 6.3. Kalıp resminin genel görüntüsü

6.3.2. Parça Tasarımı

Tasarımdaki biçim ve toleranslar bazen giderilmesi mümkün olmayan enjeksiyon hatalarına neden olmaktadır. Parça kalınlığı mümkünse parçanın her tarafında sabit olmalıdır.

Eğer farklı boyutta bir tasarım yapılırsa kalın kısmından ince kısmına bağlantı eğimli olması gereklidir. Aksi halde plastik malzemenin akması ve farklı soğuma oranından dalgalı gerilmeler oluşabilmektedir. Mukavemet şartlarının gerektirdiği en az et kalınlığı verilmelidir. Plastik malzeme enjeksiyon sonrasında malzeme sertleşmesi dış yüzeyden iç yüzeye doğru olduğundan çökmeler kalın kesitli bölge yüzeyinde oluşmaya çalışır (Akyüz 2000).

Plastik enjeksiyonda akışın sağlanması için yüksek basınçlara çıkılmaktadır. Keskin köşeler akışı engelleyici etki yapar ve bu bölgelerde gerilim yoğunlaşması meydana gelmektedir. Bu nedenle parçanın bu kesitlerinin darbeye karşı mukavemeti azaltılmaktadır. Ayrıca parçanın kalıptan kolaylıkla sıyrılması engellenir. Bu nedenle kökün köşelere uygun tasarım yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada dişli çarkın kama kanalı keskin köşe olması nedeni ile enjeksiyondan sonra bu gibi problemlerden kaçınabilmek için tasarım esnasında kama kanalı konulmamıştır. Deney dişli çark genişliği 14 mm olacak şekilde tek kalıpta hazırlanmıştır. Ayrıca, dişli çarkın merkezine çapı 33 mm olacak şekilde bir mil yerleştirilmiş ve daha sonra enjeksiyon kalıplama yapılmıştır. Enjeksiyon sonrası dişli çark görünümü Şekil 6.4’de görülmektedir. Daha sonra mil çapı genişletme kalıbı yapılarak çapı 33 mm olan göbek çapı, çap 36 mm’ ye tornalanmış ve kama kanalı açılmıştır.



Şekil 6.4. Enjeksiyon sonrası dişli çark görünümü

6.4. Enjeksiyon İşlem Şartları

Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile elde edilecek numunelerin kalıp haricinde çevre şartlarının ve makine çalışma şartlarının, enjeksiyon işlem şartlarının bilinmesi gerekmektedir. (Akyüz 2001). Enjeksiyon basma işleminde kullanılan ABS/PC ve PA66 GFR 30 granül halindeki malzemeler Şekil 6.5’de görülmektedir.



a)



b)

Şekil 6.5. Granül görünümleri, **a)** ABS/PC granüllerinin görünümü, **b)** PA66 GFR 30 granüllerinin görünümü

Yapılan çalışma için temin edilen ABS/PC (%60/40), PA66 GFR 30 malzemelerin baskı ısısı temin edilen firmadan temin edilmiştir. Diğer parametreler Tablo 6.2’de verilmiştir. Deney numunelerini basmadan önce granüller Tablo 6.2’de verilen kurutma süresinde hem kurutuldu hemde mikser ile karıştırıldı. Kurutma ve mikser ile karıştırma işlemi Şekil 6.6’da gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Windsor HSI 80 marka plastik enjeksiyon tezgahı ile enjeksiyon basma değerleri

Malzemeler	PA66 GFR 30 %30 Cam Elyaf	ABS/PC	PA66 GFR 30 %2 Bor
Modül (m) mm	4.5	3.5	4.5
Kurutma süresi	240 dak. 110°C	240 dak. 110°C	240 dak. 110°C
Makine kapasitesi	180 gr	180 gr	180 gr
Makine kapama gücü	80 ton	80 ton	80 ton
Enjeksiyon basıncı	30 bar, 3 saniye (Ocak içi basıncı 330 Bar)	20 bar, 3 saniye (Ocak içi basıncı 300 Bar)	30 bar, 3 saniye (Ocak içi basıncı 330 Bar)
Ütüleme basıncı	10 Bar, 5 saniye (Ocak içi basıncı 100 Bar)	12 Bar, 6 saniye (Ocak içi basıncı 150 Bar)	10 Bar, 5 saniye (Ocak içi basıncı 100 Bar)

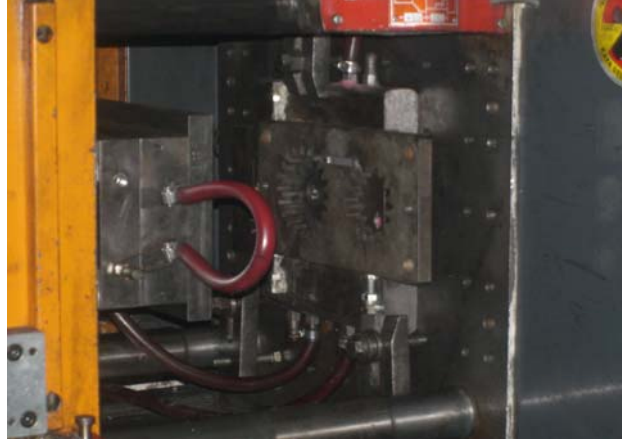
Baskı ısısı	220 °C, 230 °C, 250 °C	195 °C, 205 °C, 210 °C	230 °C, 240 °C, 250 °C
Kalıp ısısı	25 °C	40 °C	25 °C
Kalıpta bekleme süresi	30 saniye	50 saniye	30 saniye
Toplam çevrim süresi	50 saniye	70 saniye	50 saniye



Şekil 6.6. Kurutma işlemi görünümü

Deney numunelerinin pilot çalışma esnasında bazı hatalar meydana gelmiş ve bazı parametrelerde ayarlamalar yapılarak bu problemler aşılmıştır. Bu hatalardan bazıları, eksik ürün, parçanın kalıpta sıkışması, kalıptan çıkarken veya çıktıktan sonra parça üzerinde çarpılmalar, ütüleme basıncı ve süresinde hatalar şeklinde sıralayabiliriz.

Yukarıda belirtilen düz dişli çarklarda profil kaydırma denklemlerine göre, deneyde çalışılacak numunelerin üretiminde kullanılan plastik dişli kalıbı ve Windsor HSI 80 marka plastik enjeksiyon makinesinde basılmıştır. Bu enjeksiyon makinesi Şekil 6.7’de görülmektedir.



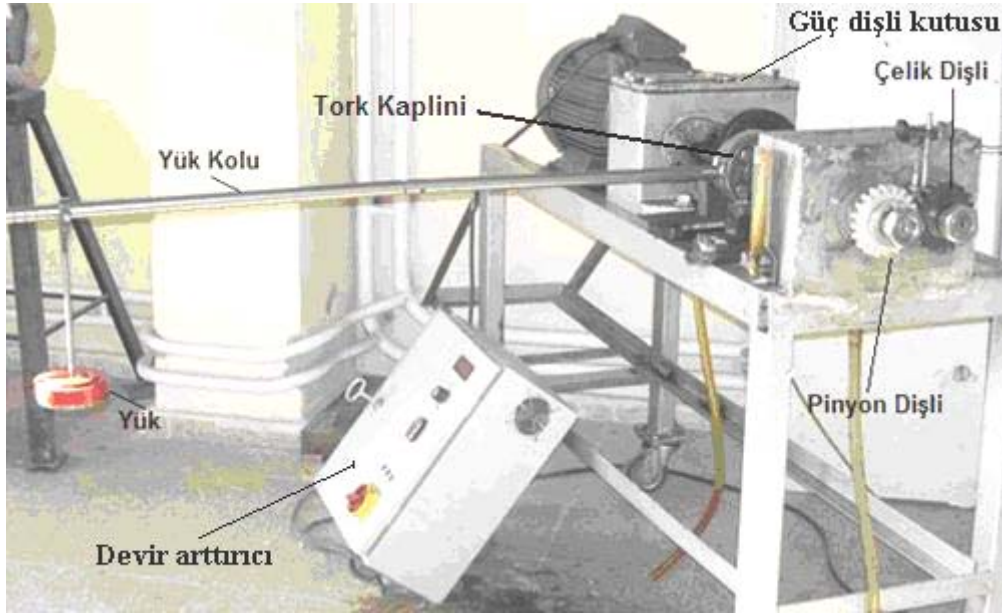
Şekil 6.7. Üretimi yapılan plastik dişli kalıbı ve plastik enjeksiyon makinesi

Yapılan çalışmada, 50 kg ABS/PC ve 50 kg PA66 GFR 30 %30 cam elyaf katkılı granül halinde malzeme temin edilmiştir. ABS/PC'nin ve %30 cam elyaf takviyeli Polyamid 66 (PA 66 GFR 30) katkılı malzemelerin ASTM standartları ve mekaniksel özellikleri Ek-6'da verilmiştir.

6.5. Deneysel Metot

6.5.1. Deney Tesisatı

Bu çalışmada test düzeneği olarak, güç sirkülasyon tipli FZG (Forschungstelle für zahnader und Getriebau) dişli test cihazı kullanıldı. Bu deney tesisatı 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Deney tesisatının yan görünüşü

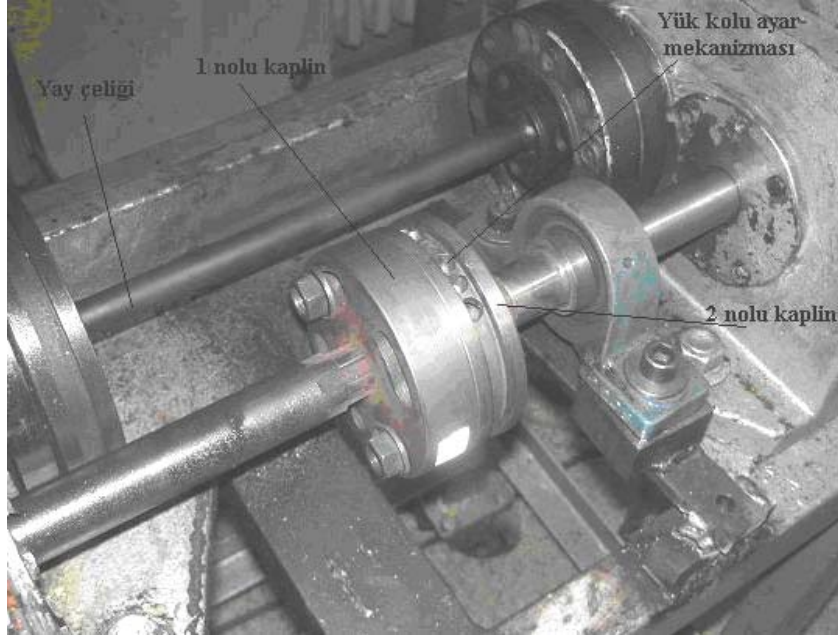
Deney tesisatındaki elektrik motorunun gücü 7,5 kw, dönme hızı 1500 d/dak dır. Devir arttırıcı ile 0-2500 d/dak dişli kutusunda devir elde edilmektedir. Bu cihazla çalışılacak devir, ayarlama yapılabilir. Deney öncesi uygulanacak devir Dual Dıgıtal Tachometer DT 2268 cihazı (Şekil 6.9) ilede kontrol edilerek hız değıştirme cihazındaki devir göstergesinin doğruluğu kontrol edilmiştir.



Şekil 6.9. Dual Dıgıtal Tachometer DT 2268 marka devir göstergesi

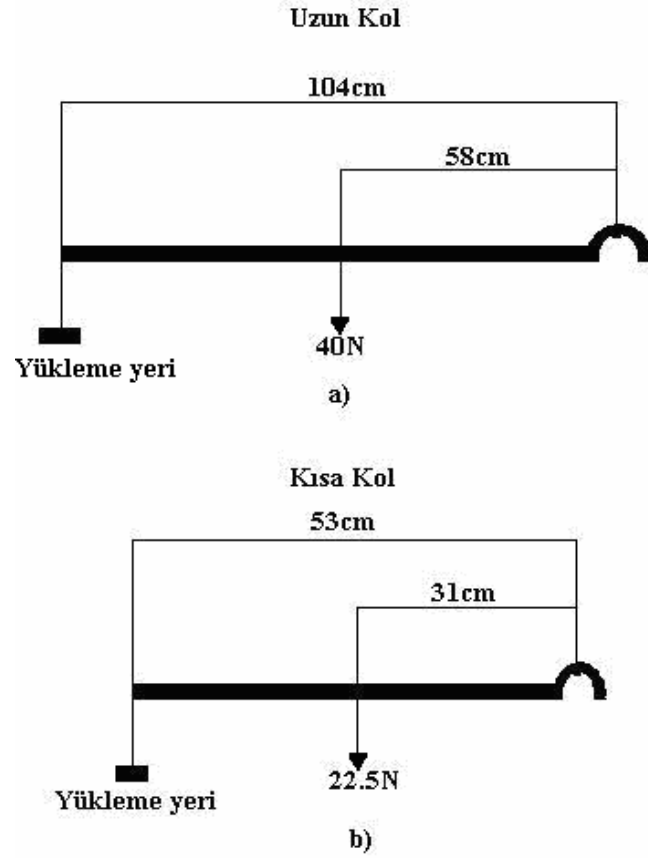
Deney tesisatında iki adet dişli kutusu mevcuttur ve motor tarafındaki dişli kutusu güç nakli içindir. Diğer uçtaki dişli kutusu içinde ise deney dişlisi ve karşılık dişli bulunmaktadır ve bu iki dişli kutu paralel iki mil sistemi ile birleştirilmiştir. Tork kaplini iki parçadan

oluşmaktadır. 1 numaralı kaplin sabitleme pimi ile sabitlenirken, 2 numaralı kaplini yük kolu (Şekil 6.8) yere paralel olacak şekilde konumlandırılmaktadır ve istenilen ağırlık konularak dişli çark dişlisine uygulanan moment ve burulmaya bağlı olarak F_n normal diş kuvveti tatbik edilmektedir. Daha sonra kaplinler 4 adet cıvata ile birleştirilerek sabitlenmektedir. Tork kaplini Şekil 6.10'de görülmektedir.



Şekil 6.10. Tork kaplini

Deney setindeki tork yüklemeleri, uzun kol ve kısa kol yükleme aparatlarıyla yüklenmiştir. Uzun ve kısa kol tork yükleme aparatları Şekil 6.11'de görülmektedir. Tork yükleme sisteminde 40N kuvvet uzun kol yükleme aparatının ağırlığı, 22.5N da kısa kol yükleme aparatının ağırlığıdır ve bu yükler sabittir.



Şekil 6.11. Tork yükleme aparatları, **a)** Uzun kol, **b)** Kısa kol

6.5.2 Deney Prosedürü

Deney başlamadan önce tüm deney dişli çarkları aseton ile temizlendikten sonra 40°C fırında 1 saat ısıtılıp nemi alındıktan sonra 0.0001 hassasiyetindeki terazide ilk ağırlıkları tartılmıştır. Tablo 6.3’de ise bu numunelerin deney prosedürleri verilmektedir.

Tablo 6.3. Numunelerin deney prosedürleri

Döndüren Dişli	Döndürülen Dişli	Modül	Devir Sayısı (d/dk) ve Diş Yüğü (N/mm)											
			750 F/b				1000 F/b				1500 F/b			
ABS/PC	ABS/PC	4.5	16.07	20.73	29.7		16.07	20.73	29.7		16.07	20.73	29.7	
ABS/PC	AISI 8620	4.5	16.07	20.73	29.7	38.75	16.07	20.73	29.7	38.75	16.07	20.73	29.7	38.75
ABS/PC	ABS/PC	3.5	16,07	20.5	29.36		16,07	20.5	29.36		16,07	20.5	29.36	
ABS/PC	AISI 8620	3.5	16,07	20,5	29.36	38.21	16,07	20,5	29.36	38.21	16,07	20,5	29.36	38.21
PA66 GFR 30	PA66 GFR 30	4.5	39.18	56.75	65.53		39.18	56.75	65.53		39.18	56.75	65.53	
PA66 GFR 30	AISI 8620	4.5	56.75	65.53	74.32	91.89	56.75	65.53	74.32	91.89	56.75	65.53	74.32	91.89
PA66 GFR 30	PA66 GFR 30	3.5	38.75	56.13	65.53		38.75	56.13	65.53		38.75	56.13	65.53	
PA66 GFR 30	AISI 8620	3.5	38.75	56.13	65.53	74.3	38.75	56.13	65.53	74.3	38.75	56.13	65.53	74.3
PA66 GFR 30(%2 borik asit)	AISI 8620	4.5	56.75	65.53	74.32	91.89	56.75	65.53	74.32	91.89	56.75	65.53	74.32	91.89

Tüm deney şartlarında 3 er adet dişli çark test edilmiştir. Yapılan toplam dişli çark numunelerinin sayılarını gösteren tablo 6.4’de verilmiştir.

Tablo 6.4. Dişli çark numune sayıları

Malzemenin adı	Modül	Adet sayısı
ABS/PC %60/40	4.5	90
ABS/PC %60/40	3.5	90
PA66 GFR 30	4.5	90
PA66 GFR 30	3.5	90
PA66 GFR 30+%2 Borik Asit	4.5	24
Toplam	-	384

6.5.2.1. Parametre secimi

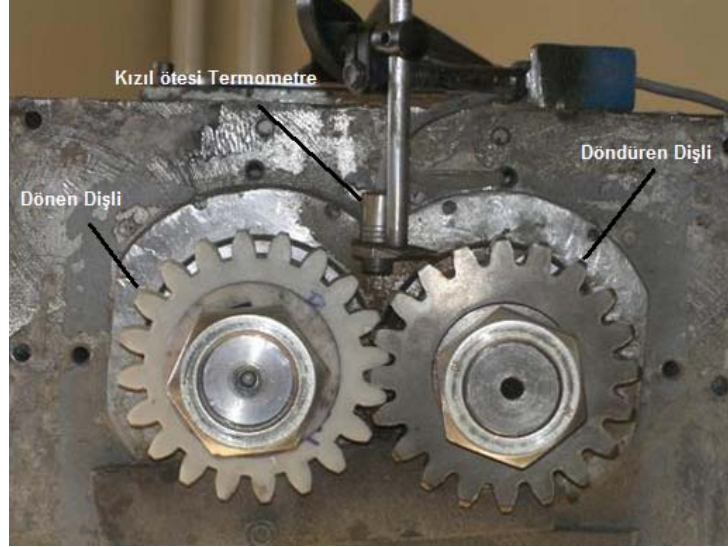
Yapılan çalışmada PA66 GFR30 dişli çark konusunda yapılmış çalışmalar incelendikten sonra en fazla çalışmanın 750 dev/dak, 1000 dev/dak ve 1500 dev/dak olduğu görülmüştür. Ancak ABS/PC malzemesinden elde edilen dişli çark için daha önce bir çalışma rastlanamadığından pilot çalışma yapılarak PA66 GFR 30 dişli için seçilen devirler sabit tutulup diş yükleri bu pilot çalışma sonucunda elde edilmiştir. PA66 GFR +%2 borik asit katkılı dişli çark çalışma parametresi 1000 dev/dak ve 1500 dev/dak seçilerek PA 66 GFR 30 diş yükleri ile aynı seçilerek katı yağlayıcı olarak borik asitin kullanımı dişli çark yük taşıma kapasitesi ve hasar oluşumunu incelenmiştir. Deney üç farklı (750,1000 ve 1500 dev/dak) devir sayılarında ve termoplastik - AISI 8620 eş çalışma uygulamalarda 4 farklı yük ve termoplastik-termoplastik eş çalışma uygulamalarda ise 3 farklı yük uygulanmıştır. Deney yapılacak numunelerin Tablo 6.5’de verilmiştir.

Tablo 6.5. Deney yapılacak numunelerin, döndüren, dönen ve diş modülleri

Deney No	Dönen Dişli	Döndüren Dişli	Modül
1	ABS/PC	ABS/PC	4.5
2	ABS/PC	AISI 8620	4.5
3	ABS/PC	ABS/PC	3.5
4	ABS/PC	AISI 8620	3.5
5	PA66 GFR 30	AISI 8620	4.5
6	PA66 GFR 30	PA66 GFR 30	4.5
7	PA66 GFR 30	AISI 8620	3.5
8	PA66 GFR 30	PA66 GFR 30	3.5
9	PA66 GFR 30(%2 Borik Asit	AISI 8620	4.5

6.5.2.2. Deney dişlilerinin sıcaklığının ölçülmesi

Tüm deneyler 19-25°C oda sıcaklığında gerçekleşmiştir. Deney dişli çarkları belirlenen yüklerde toplam 180.000 devir yaptırılarak çalışılmıştır. Bu nedenle farklı devirlerde gerekli hesaplamalar yapılarak ilgili devirde toplam çevrim süresi belirlenmiştir. Deneyler döndüren ve dönen dişli çark dişlerinin kavrama noktasına 7 mm mesafede Impact Infratherm Pyrometer 510-N kızıl ötesi termometre (Şekil 6.12) ile plastik malzemenin yaklaşık diş sıcaklığı ölçülmüştür.



şekil 6.12. Impact Infratherm Pyrometer 510-N marka kızıl ötesi termometre

6.5.2.3. Deney dişlilerinin aşınma ve profil  l  mleri

Deney bitiminde dişli çark aseton ile temizlenip 40 C fırında 1 saat kurutularak son ağırlıkları ölçülmüştür. Her deney numunesi değiştirildiğinde AISI 8620 AISI 8620 dişli aseton ile temizleme yapılmış yedek 2. dişli çalıştırılmış. Bunun nedeni dişin bir önceki deneyde ısınmasından dolayı diğer deneyleri etkilememesi içindir. Tartma işlemi yapılan dişli çark profilindeki aşınmayı  l  mek için 0.001 hassasiyetinde Scherr Tumico marka (şekil 6.13)  l  m cihazında profildeki aşınma değerleri ölçülmüştür.



şekil 6.13. Scherr Tumico Profil aşınma ölçüme cihazı

Ayrıca Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunda Microvu cihazı (Şekil 6.14) ile aşınmamış diş profili asetata çizilmiş ve aşınan dişli uygun bir şekilde yerleştirilerek diş profilindeki aşınma dijital görüntüleme yapılarak her deney şartında diş profilindeki aşınma derinlikleri gözlenmiştir.



Şekil 6.14. Profil ölçme cihazı

6.5.2.4. Deney dişlilerinin SEM ölçümü

Daha sonra hasar gören dişli çark diş yüzeyi dijital fotoğraf makinesi ile diş yüzeyleri görüntülenmiştir. Son olarak SEM görüntüleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalürji bölümü laboratuvarında Polaron Range SC7620 Sputter Coater marka cihazda (Şekil 6.15) 10-2 mbar/Pa, 8-10 mA voltajda 180 saniye atın platinyum kaplandıktan sonra JEOL JSM-6060LV Scanning Electron Microscope (Şekil 6.16) marka elektron mikroskobu ile taranmıştır. Ölçüm işlemi yapılmadan önce, ölçümü yapılacak dişli kesilerek numuneleri SEM cihazına bir seferde 4 adet bağlanacak şekilde hazırlandı. SEM görüntüsü alma aşamalarının zor olması, sürecin uzun ve pahalı olması nedeni ile deney numunelerinin sadece birkaç tanesinin bakılmasına imkan verilmiştir.



Şekil 6.15. Polaron Range SC7620 Sputter Coater marka atın platinyum kaplama cihazı



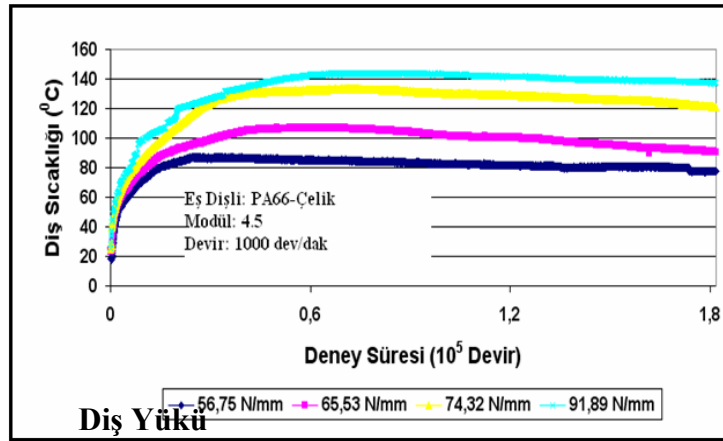
Şekil 6.16. JEOL JSM-6060LV Scanning Electron Microscope (SEM) cihazı

7. DENEY SONUÇLARI

Materyal metotta belirtilen deney şartlarına göre **PA 66 GFR 30 -AISI 8620** Eş Dişli Çark ve **PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30** eş çalışan dişlilerin modül 4.5 ile modül 3.5 ve **ABS/PC-AISI 8620** Eş Dişli, **ABS/PC-ABS/PC** modül 4.5 ile modül 3.5’da deney sonuçları aşağıda gösterilmiştir. Burada AISI 8620 dişli çark döndüren dişli çarktır.

7.1. PA 66 GFR 30 / AISI 8620 EŞ DİŞLİ ve PA 66 GFR 30 / PA 66 GFR 30 EŞ DİŞLİ.

7.1.1 PA 66 GFR 30 / Döndüren AISI 8620 Eş Dişli Çark, Modül 4.5



Şekil 7.1. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4.5, PA 66 GFR 30-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

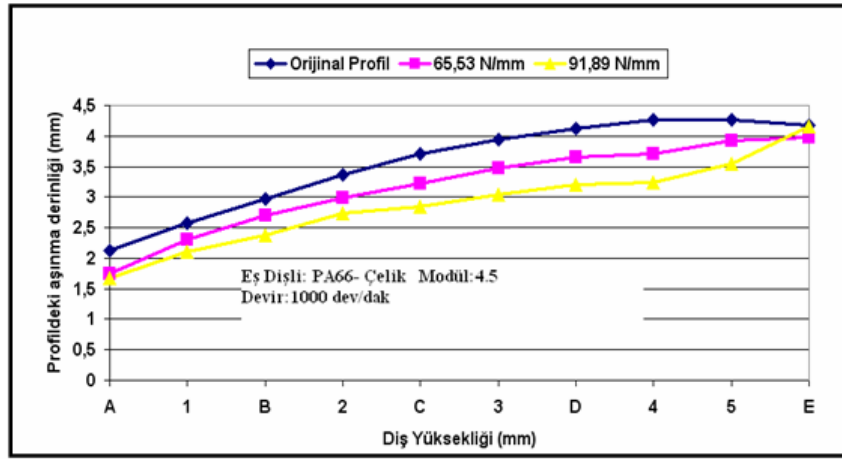
1000 dev/dak PA 66 GFR 30-AISI 8620 eş dişlisinde (Şekil 7.1), 56.75 N/mm sıcaklıkta düzgün şekilde artarak yaklaşık 80°C sıcaklığa çıkmış eş dişli olan AISI 8620 yüksek ısı iletkenliğinden dolayı ısıyı üzerine alarak çok hızlı bir şekilde gövdeye yaymasıyla diş yüzey sıcaklığın ısıl denge oluşmuştur. Eş çalışan dişliye uygulanan moment 56.75 N/mm diş yükünden 65.53 N/mm diş yüküne yükselmesiyle (diş yüklerinin artmasıyla) diş yüzeyine uygulanan normal kuvvet (F_n) artışı ile birlikte sürtünme kuvveti artmıştır. Normal kuvvetin artışı ile birlikte diş yüzeyinde oluşan Hertz yüzey basınç artışı meydana gelmiştir. 1000 dev/dakikada diş yükünün artışı ile birlikte diş yüzeyinde oluşan sıcaklık artış olmasına rağmen özellikle bu artış deneyin ilk başlarında ani olarak gerçekleşmediğinden zamanla AISI 8620 çelik dişli çark PA66 dişli çark diş

yüzeyinde oluşan diş sıcaklığı üzerine alarak ısı denge oluşturmuştur. Dişli çarkın çalışma süresince ortamdaki hava dişli çark dişleri arasına girmekte ve dişli dönerken diş temas esnasında oluşan sıcaklığı dişli arasına giren bu hava vasıtası ile dışarıya atılmaktadır. Dişli arasına giren bu hava dişlilerin yüzey sıcaklığına yakın bir sıcaklığa ulaşmaktadır. Dişli çark dişlileri arasındaki boşluklarda türbülansın dolayısıyla temas etmeyen dişli yüzeyleri de bu hava vasıtası ile ısıtılır ve temas yüzey sıcaklığına yakın bir sıcaklık oluşur. Bu esnada çelik dişli çark bu bölgede oluşan sıcaklığı bünyesinden dış ortama atmaya başlar ve çelik dişli bir süre sonra ısı dengeye gelir. bu oluşum diş yükünün artışı ve devrin artışı ile birlikte daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Ancak diş sıcaklığı ani artış söz konusu olduğunda (yüksek yük yüksek devir) çelik dişli çark ısı dengeye ulaşmadan PA66 dişli çarkın termal hasara uğramasına neden olmaktadır. Ek1.1 de 750 dev/dak'da diş yüzey sıcaklığı görülmektedir. Burada da görüldüğü gibi PA66 GFR30- AISI8620 eş dişli çarkta temas anında oluşan sıcaklık artışı meydana gelmesi ile birlikte AISI 8620 eş dişli çark ısı dengeye daha düşük sıcaklıklarda meydana gelmiştir. AISI 8620 döndüren dişli çark dişin uç kısmı plastik dişli çarkın diş kökünde aşınma meydana getirmektedir. Döndürülen dişli çarkın diş dibindeki bu aşınma olayı yükün artışı ile birlikte daha fazla oluşmaktadır. Meydana gelen aşınma derinliği (Şekil 7.3) ve aşınma görüntüsü (Şekil 7.5) verilmiştir. Şekil 7.2 de ölçme yapılan diş profili görülmektedir. Burada diş yüksekliği (y) 9 eşit aralığa bölünerek 10 noktadan ölçme (x) yapılmıştır. C noktası dişli çarkın bölüm dairesinin, A noktası dişin üst kısmı, E noktası da diş dibini temsil etmektedir. Diş dibi ve diş üstüne dişli çark kayma hızları maksimum değere ulaşmaktadır. Şekil 7.3'de PA 66 GFR 30 - AISI 8620 eş dişli dişli çarkın 1000 dev/dak 65.53N/mm ve 91.89N/mm diş yüklerinde oluşan diş profilinde meydana gelen aşınma derinliği orijinal profile kıyaslanma yapılmıştır. Bu grafikten anlaşıldığı gibi özellikle diş yükünün artışı ile birlikte PA66 GFR30 dişli çarkın bölüm dairesinin alt bölgesi (diş dibine yakın bölgeler) AISI 8620 dişli çark dişin uç kısmı bu bölgeyi daha fazla aşındırmaktadır. Tablo 7.1 de PA66 GFR30- AISI 8620 modül 4.5 eş dişli çarkın aşınma miktarları gram olarak verilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi yük ve devir artışına paralel olarak diş yüzeyinde oluşan aşınma miktarlarında artış göstermiştir. Ayrıca döndürülen dişli PA66 GFR 30 dişli çark dişinde meydana gelen kayma yönü, yuvarlanma yönüne zıt olduğundan aşınma

derinliği döndürölen dişlide uç kısmına nazaran daha fazla gerçekteşmektedir. Ek 2.1 de farklı devir ve diş yüklerinde PA66 GFR 30 dişli çark diş profilinde oluşan aşınmalar görölmektedir.



Şekil 7.2. Ölçölen diş görünümü (Yarı diş x: diş profili, y: diş yüksekliği)



Şekil 7.3. PA 66 GFR 30-AISI 8620 1000 dev/dak modöl 4.5 değişik yüklemde oluşan diş profilinde oluşan aşınma derinliği



a)



b)

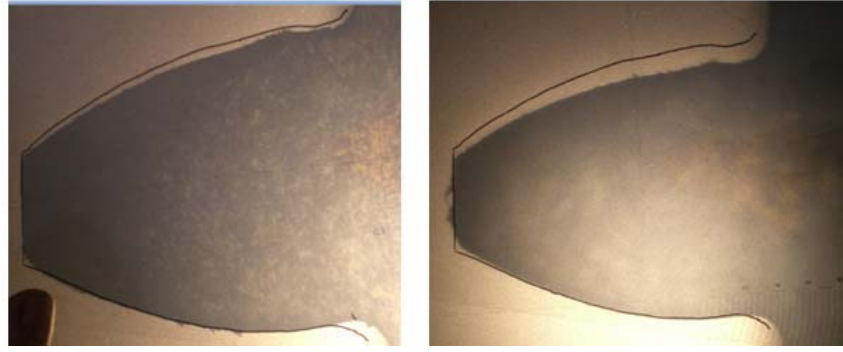
Şekil 7.4. 1000 dev/dak 65.53 N/mm diş yükü, a) Modöl 4.5 PA 66 GFR 30-AISI 8620 eş dişli, b) Diş hasarı

Tablo 7.1. PA66 GFR30- AISI8620 Modül 4.5 eş dişli çarkın aşınma kaybı

PA66-AISI 8620 (Modül 4.5)			
Fn/b (N/mm)	750-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
56,75	0,2642	0,4423	0,3798
65.53	0,5757	1,4687	1,1267
74.32	0,8734	1,6145	2,0064
91.89	1.1142	1.9764	3,9214

Şekil 7.4’ de PA 66 GFR 30-AISI 8620 eş dişli çarkın, 65.53 N/mm diş yükü, 1000 dev/dak modül 4.5 diş temas yüzeyi görülmektedir. Burada PA66 GFR 30 dişli çarkta artan yük ile birlikte diş yüzeyinde meydana gelen aşınma hasarı termal hasara dönüşmek üzeredir. Bunun nedeni diş yüzeyinde oluşan diş sıcaklığının yeterince ısı dışarı atılamadığı anlama gelmektedir. Diş yükünün artışı ile birlikte diş yüzeyinde oluşan sıcaklık artışını çelik dişli çark vasıtası ile tam olarak dışarı atılamadığı görülmüştür. Özellikle PA66 GFR 30 dişli çarkın diş sıcaklığı 120°C civarlarında termal hasarın daha çabuk gerçekleştiği görülmüştür. Ölçülen bu sıcaklık dişli çarkın tahmini kütle sıcaklığıdır. Bilindiği gibi dişli çark diş yüzeyinin temas esnasında oluşan flash (ani) sıcaklık artan Hertz yüzey basıncına paralel olarak artış gösterdiğinden ve ölçülen diş sıcaklığının üzerinde bir sıcaklık bu bölgede oluşmaktadır. Özellikle hertz yüzey basıncının yüksek olan tek diş kavrama bölgesi olan bölüm dairesi civarında termal hasar başlangıçları gözlenmektedir. Ek-2.2 PA66 GFR 30 dişli çarkın farklı yük ve devirlerde meydana gelen termal hasarlar görülmektedir.

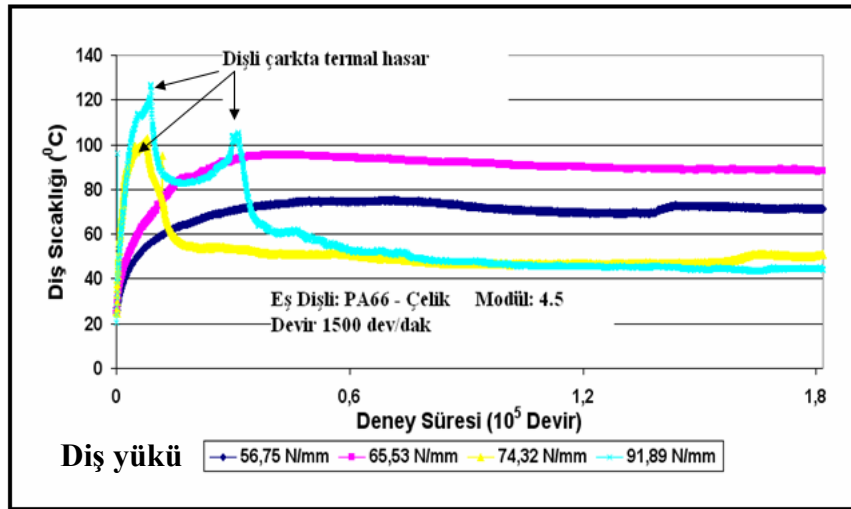
PA66 GFR30 dişli çarkın 74,32 N/mm diş yükünde deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma görüntüsü Şekil 7.5’de gösterilmiştir. Burada 74, 32 N/mm diş yükünde diş profilindeki aşınma miktarı 91,89 N/mm diş yüküne göre oldukça az oluşmuştur. Diş yükünün artışı ile birlikte çelik dişli uç kısmın plastik dişli çark diş dibini aşınma miktarını artırdığı gözlenmiştir.



a)

b)

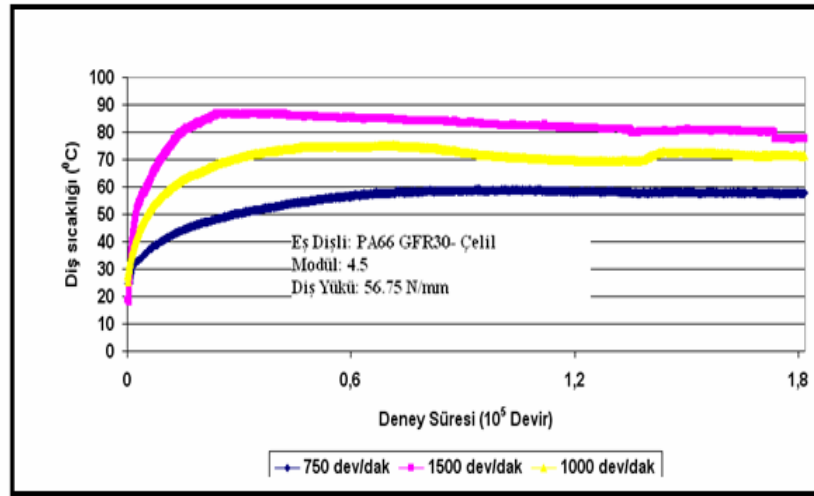
Şekil 7.5. PA 66 GFR 30-AISI 8620 eş dişli 1000 dev/dak modül 4.5, a) 74,32N/mm diş yükü, b)91,89 N/mm diş yükünde deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma.



Şekil 7.6. 1500 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4.5, PA 66 GFR 30-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Şekil 7.6' da 1500 dev/dak PA 66 GFR 30-AISI 8620 eş dişlisinde, 56,75 N/mm ve 65,53 N/mm diş yükünde sıcaklık düzgün artış göstermiş ve eş dişli AISI 8620 ısıl denge oluştuğunda diş sıcaklığı hemen hemen sabitlenmiştir. Diş yükünün 74,32N/mm ve 91,89 N/mm çıkarıldığında dişli çark diş yüzeyinde oluşan sıcaklık çok ani olarak artış gösterdiğinden eş dişli AISI 8620 çelik dişli ısıl dengeye ulaşmadan PA66 GFR30 dişli çark malzemesinin viskoelastik özelliğinden dolayı, yüksek sönümleme ve düşük ısı iletkenliği sonucu oluşan ısının malzeme bünyesinde bir yumuşama meydana getirmekte ve bu yumuşama bölgesinden parçacıklar kopmakta ve ısıl yorulma meydana gelmektedir.

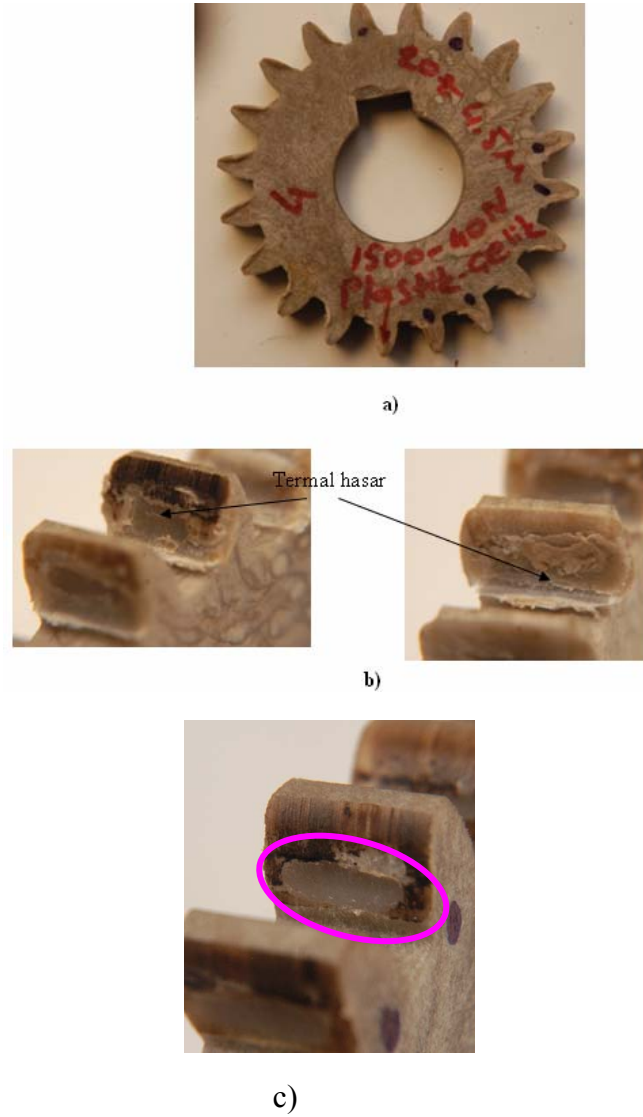
Şekil 7.6' da görüldüğü gibi diş yüzeyinde meydana gelen termal hasardan dolayı diş temas hataları meydana gelmiş ve dişli çarklar çalışmaya devam etmesine rağmen diş sıcaklığında ani azalma gözlenmiştir. Bu sıcaklık azalması AISI 8620 dişli çarkın ısıl dengesi sayesinde olmayıp tamamen diş yüzeyinde oluşan termal hasardan dolayıdır. Şekil 7.7' de sabit 56.74 N/mm diş yükünde farklı devirde dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim görülmektedir.



Şekil 7.7. 56.74 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 PA 66 GFR 30-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Burada 56.75 N/mm diş yükünde 750 dev/dak ve 1000 dev/dak'da diş yüzey sıcaklığı düzgün ve yavaş yavaş artış gösterirken 1500 dev/dak'da dişli çarkın diş yüzeyinde sıcaklık artışı diğer devirlere nazaran daha hızlı olmasına rağmen aşırı termal hasar meydana gelmemiştir. Ek.1.4 ve Ek1.5. de 74,32N/mm ve 91,89 N/mm diş yüklerinde 750 dev/dak ve 1000 dev/dak'da AISI8620 eş dişli çarkın ısıl dengeye ulaştığında düzgün bir sıcaklık oluştuğu görülmüştür. Ancak 1500 dev/dak'da deneyin ilk başlarında oluşan ani sıcaklık artışı nedeni ile dişli çarkın dişin çok erken termal hasarı oluşmakta ve diş hataları meydana gelmektedir. Bunun nedeni diş yüzeyinde oluşan ani sıcaklık değişimi ile birlikte tekrarlı yük ile birlikte diş yüzeyinde ve özellikle diş dibinde termal yumuşama meydana gelmekte ve yükün etkisi ile birlikte dişli kırılmalara neden olmaktadır (Şekil 7.8). Yaptığımız bu çalışmada sürekli izlenen plastik dişli çarkların hasar başlangıcı ani sıcaklık değişim

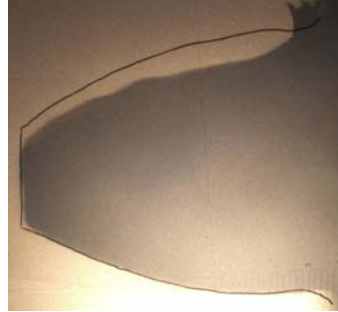
anı tespit edilerek sistemin tümüne hasara uğratmadan sistem durdurabilinir. Şekil 7.9 da 1500 dev/dak'da 65,53 N/mm diş yükünde diş dibinde meydana gelen aşınma derinliği görülmektedir. Yükün artışı ile birlikte bu aşınma miktarı da arttığı gözlenmiştir (Tablo 7.1).



Şekil 7.8. 1500 dev/dak 91,89 N/mm diş yükü , a) Modül 4.5 PA 66 GFR 30 – AISI 8620 eş dişli, b)Diş hasarı, c) termal hasar bölgesi

Şekil 7.8c' de görüldüğü gibi PA66 GFR30 dişli çark dişinde ortaya çıkan ısı kısmen dışarıya atılmakla birlikte şekildeki elips çizgilerle gösterilen ısıda ısının dışarıya yayılması daha az olmaktadır. Yüke maruz kalan dişin kenar kısımları esnerken orta kısım aşınmaya maruz kalmaktadır. Diş yükünün ve diş devrin artması

ile birlikte diş profilinde termal hasar oluşmaktadır. Ek.2.2 de farklı diş yükü ve devirlerde PA66 GFR30 eş dişli çarkın diş profilinde oluşan termal hasarlar görülmektedir.



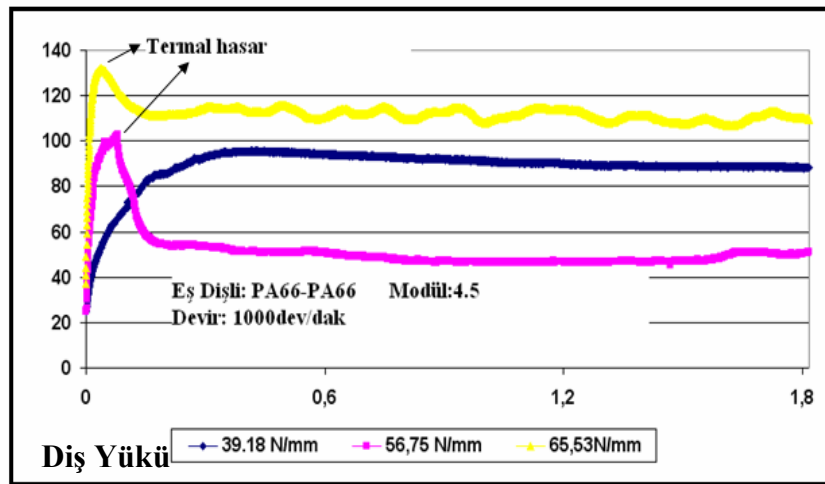
Şekil 7.9. PA 66 GFR 30 -AISI 8620 eş dişli 1500 dev/dak modül 4,5, 65,53 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

7.1.2. PA 66 GFR 30 / Döndüren PA 66 GFR 30 eş dişli Modül 4,5

Şekil 7.10'da 1000 dev/dak'da PA 66 GFR 30 / döndüren PA 66 GFR 30'da eş dişli 39.18 N/mm diş yükünde sıcaklık düzgün bir şekilde artış göstermiş ve deneyin sonlarına doğru diş sıcaklığı 90°C ile 95°C arasında sabitlenmiştir. Diş yükünün artmasıyla eş çalışan plastik malzemeler bünyesinde oluşan ısı her iki dişli çark diş temas yüzeylerinde birikme meydana gelmiştir. PA66 GFR30 malzemenin düşük ısı iletkenliği sonucu iç sürtünmeden meydana gelen ısı e bu ısının dışarıya iletilmemesi nedeniyle malzeme bünyesinde oluşan yumuşama hasarı ile diş yüzeyi hasara uğramaktadır. Her iki eş dişlinin PA66 GFR 30 aynı dişli çark olmasından dolayı yükün artışı ile birlikte diş temas yüzeyinde oluşan termal hasarlar hızlanmıştır. Yüksek yük ve devirlerde PA66 GFR 30 dişli çarkın viskoelastik özelliğinden dolayı değişen zorlamalarda gerilme ile şekil değiştirmeler aynı fazda olmayacaktır. Gerilme ile şekil değiştirme arasındaki faz farkı sonucu olarak her iki yük tekrarlanmasında, uygulanan mekanik enerjinin bir bölümü ısıya dönüştürmektedir. Düşük ısı iletkenliğinden dolayı tekrarlanan yüklemelerde oluşan ısının büyük bir kısmı dışarıya iletilmemekte ve her yük tekrarlanmasında ısı birikimi meydana gelmektedir. Sıcaklığın etkisi altında malzeme dayanımında ve rijitliğinde bir azalma oluşmaktadır. PA66 GFR30 malzeme bünyesinde oluşan ısı, dışarıya iletilen ısıdan büyük olduğunda sıcaklık sürekli olarak diş bünyesinde birikme

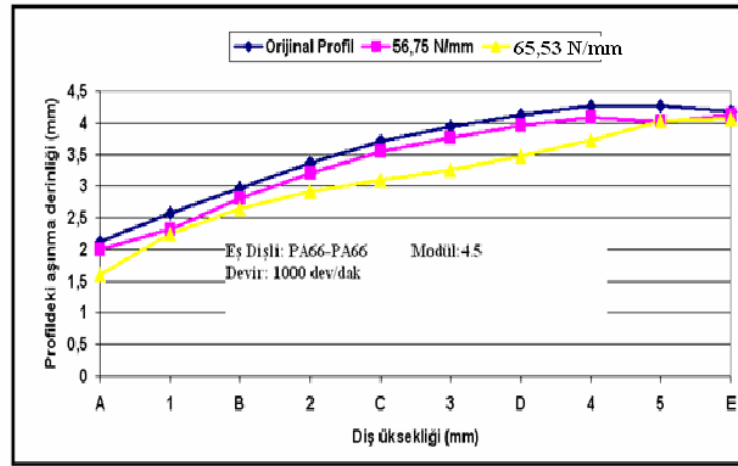
meydana getirmektedir. Bu artan sıcaklık belirli bir sıcaklığa ulaştığında (PA66 GFR 30 için diş sıcaklığı yaklaşık 120°C) malzeme özellikleri bozulmakta ve yükü taşıyamaz hale gelmekte ve termal hasara uğramaktadır.

Diş yüzeyinde meydana gelen termal hasardan dolayı diş yüzeyleri tam temas sağlamadığından diş temas hatası meydana gelmiş ve diş sıcaklığında düşüşler gözlenmiştir. Aynı zamanda bu düşüş dişli çarkın hasara uğradığının bir göstergesidir. Termal hasar bölüm dairesini biraz altındaki diş dibine yakın yerde çevresel hızların yüksek olmasıyla ısı birikimi de artmasıyla erimeler meydana gelmiştir. Şekil 7.11’de değişik yüklemelerde diş profilinde oluşan aşınma derinliği gösterilmiştir. Bura özellikle bölüm dairesinin hemen altında aşırı aşınma gözlenmiştir. Diş yükünün artışı ile birlikte bölüm dairesi altında özellikle diş dibi ve dişli çarkın diş üstü bölgesinde aşınma derinlikleri fazlalaşmıştır. Bu bölgede döndürülen dişlide diş dibinde kayma yönü, yuvarlama yönüyle zıt olduğundan sürtünme kuvvetin etkisi daha fazla göstermektedir. Şekil 7.12’de 39.18 N/mm diş yükünde termal hasar oluşmamış ve diş profilinde aşınma derinliği daha az oluşmuştur (Şekil 7.13). Malzeme bünyesindeki oluşan hasarlardan dolayı döndürülen PA66 GFR 30 dişli çark malzemenin kütle kaybı Ek-5’de gösterilmiştir. Bu ağırlık kaybının da yük ve devirin artışı ile birlikte arttığı gözlenmiştir. Ancak bu tabloda 1500 dev/dak’da 65,53 N/mm diş yükünde çalışma esnasında diş kırılması meydana geldiği için ağırlık ölçümü yapılamamıştır.



Şekil 7.10. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4.5, PA 66 GFR 30/PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim

Ek.2.5.'de PA66 GFR 30 dişli malzemesinin diş kırılma hasarları görülmektedir. Diş kırılmaları genel olarak bölüm dairesinin hemen altında gerçekleşmiştir. Bu bölgede sıcaklığın etkisi altında malzeme dayanımında ve rijitliğinde bir azalma meydana geldiğinden bu bölgeden kırılmalar gözlenmiştir. Yükün artışı ile birlikte bu kırılma yük tekrarlanmasından dolayı diş dibinde ısı birikme artmakta ve bu bölgenin F_n kuvvetin etkisi ile eğilme gerilmesine maruz kalarak dişin kırılmasına neden olmaktadır.



Şekil 7.11. PA 66 GFR 30 / PA 66 GFR 30 1000 dev/dak modül 4.5 değişik yüklemde oluşan diş profilinde oluşan aşınma derinliği



a)

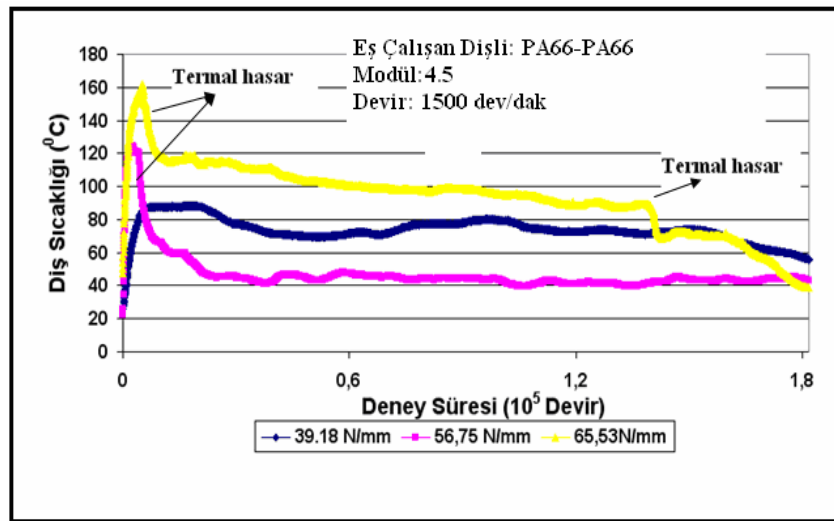


b)

Şekil 7.12. 1000 dev/dak 39.18 N/mm diş yükü, a) Modül 4.5 PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 eş dişli, b) Diş hasarı



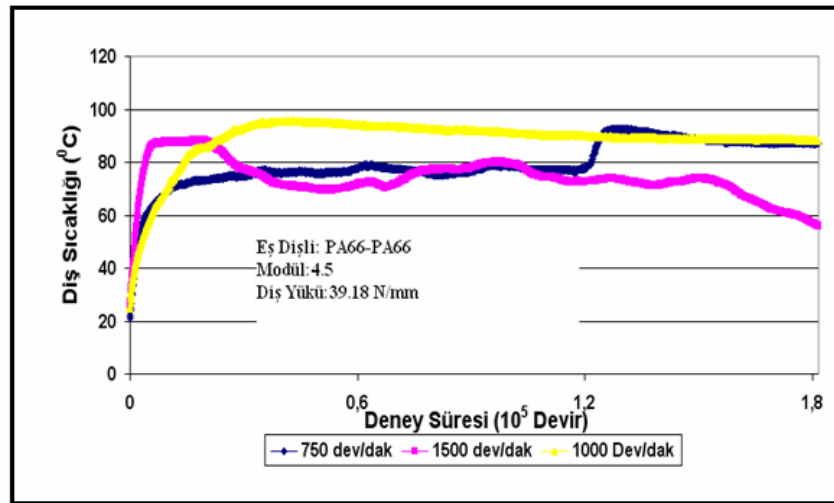
Şekil 7.13. PA 66 GFR 30/PA 66 GFR 30 1000 dev/dak modül 4,5, 39,18 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma



Şekil 7.14. 1500 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4,5 PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim

1500 dev/dak modül 4,5 PA 66 GFR 30 / döndüren PA 66 GFR 30 eş dişli çalışmasında (Şekil 7.14) oluşan diş sıcaklığı, 56,75 N/mm ve 65,53 N/mm diş yükünde ani sıcaklık değişimi meydana gelmiş ve daha sonra malzemenin bünyesinde meydana gelen iç sürtünmeden dolayı malzemenin depoladığı ısı artmıştır. Eş dişlinin her ikisinde aynı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olduğundan ısı malzeme bünyesinde depolanmaya devam etmiş ve bir müddet sonra yumuşama hasarı meydana gelmiştir. Bu hata nedeni diş sıcaklığında ani düşmeler gözlenmiştir. Şekil 7.15 de sabit diş yükü farlı devirlerde diş yüzeyinde oluşan sıcaklık değişimleri gösterilmiştir. Burada 750 dev/dak ve 1000 dev/dak 'da 39,18

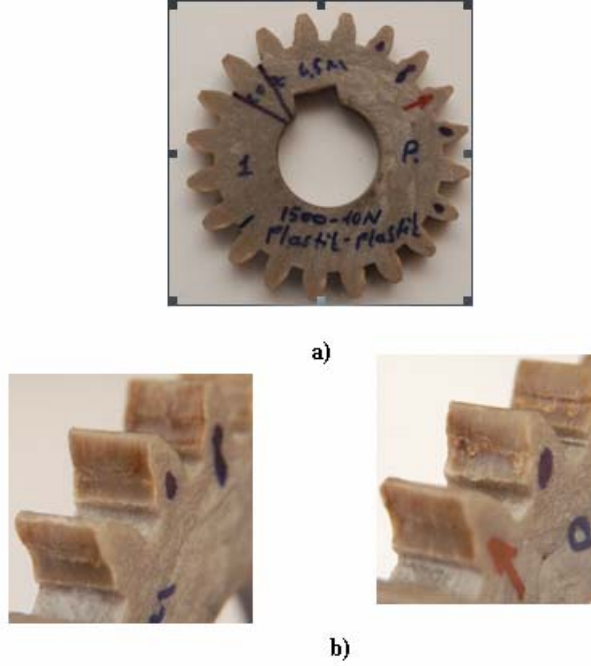
N/mm diş yükünde sıcaklık artışı yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu nedenle dişli çark diş yüzeyinde termal hasar meydana gelmemiştir. Ancak 1500 dev/dakika aynı yükte yüksek kayma hızından dolayı diş yüzeyinde oluşan sıcaklığın ani artışı ile birlikte diş hasarının daha erken meydana gelmesine neden olmaktadır. Termal hasardan dolayı diş temas hatası nedeni kavrama esnasında dişli çark dişlerin tam kavrama yapamadığından sıcaklık artışı olmamaktadır. 750 dev/dak modül 4.5 PA 66 GFR 30 / PA 66 GFR 30 eş çalışmada diş yükü arttıkça sıcaklıkta düzenli olarak artmıştır. Fakat deneyin sonlarına doğru diş yorulması nedeni ile dişli çark malzemesinin mekanik özelliğinde düşüşler gerçekleşmesi ile diş hasarları Ek-1.2’de 750 dev/dak dişli çarkın yüzey sıcaklık değişim grafiği gösterilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde 750 dev/dak uygulanan tüm yüklerde sıcaklık artışı gözlenmiş fakat dişli yüzeyinde aşırı bir termal hasar gözlenmemiştir. Fakat diş profilinde aşırı aşınma hasarı gözlenmiştir. Dişli çark dişine uygulanan diş yükü arttıkça bu aşınma hasarı daha da artmakta ve diş termal hasara uğramaktadır.



Şekil 7.15. 39.18 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Malzeme bünyesinde biriken ısı, sıcaklıktan dolayı ısıl yorulmaya sebep olmuştur. Isıl yorulmaya uğrayan PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 dişli malzemesinin her ikisinde kimyasal ve fiziksel özelliklerinin aynı olması nedeniyle bünyesindeki ıslığı PA 66 GFR 30-AISI 8620 dişli eşleşmesinde olduğu gibi yayamamaktadır.

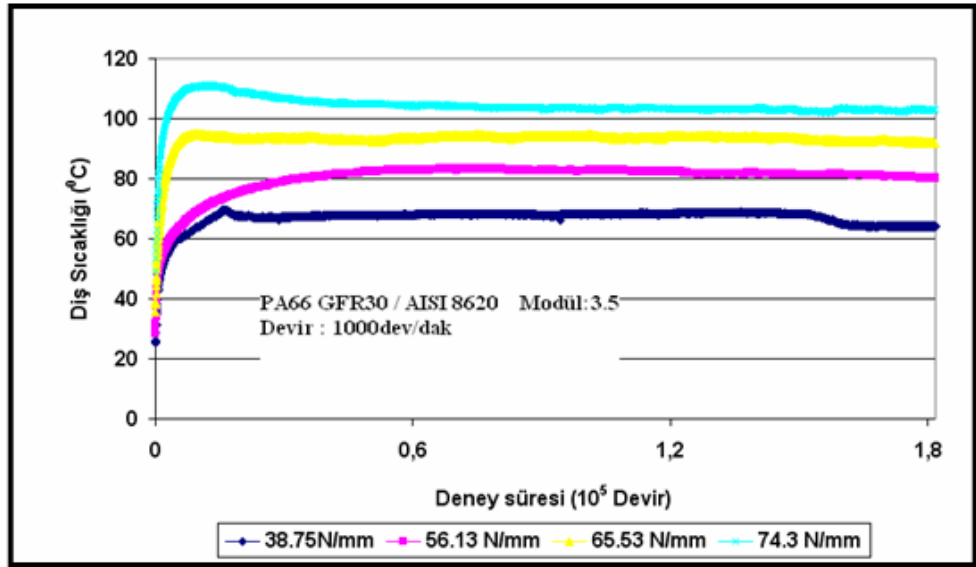
Ayrıca flash sıcaklığın etkisi ile birlikte bölüm dairesi ile diş dibi bölgesinde sıcaklık birikimi hızlanmakta ve malzemede ısıdan dolayı yumuşama meydana gelmektedir. Bu olayda termal hasara neden olmaktadır. Ek.2.2 de PA66 GFR 30 dişli çarkın termal hasarları görülmektedir.



Şekil 7.16. 1500 dev/dak 56.75 N/mm diş yükünde, **a)** Modül 4.5 PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 eş dişli, **b)** Diş hasarı

7.1.3. PA 66 GFR 30 / AISI 8620 döndüren eş dişli, Modül 3.5

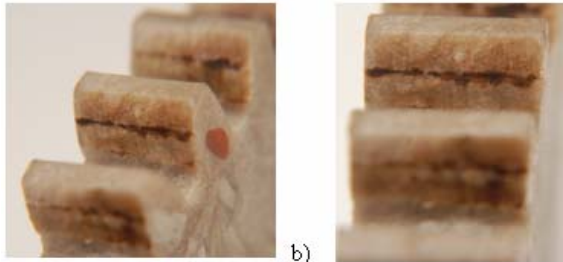
Döndürülen dişli PA66 GFR 30 ve döndüren dişli AISI 8620 eş dişli çarkta modül 3.5 de yapılan çalışmada 1000 dev/dak dört farklı diş yükü artıka diş kütle sıcaklığında artış gözlenmiştir. Eş çalışan AISI 8620 dişli yüksek ısı iletkenliği sayesinde PA 66 GFR 30 üzerindeki ısıyı absorbe ederek hızlı bir şekilde gövdeye yaydığı için ısı dengeye ulaşmıştır. Isıl yorulmadan dolayı oluşan diş hasarı Şekil 7.18’de gösterilmiş ve Şekil 7.19’da ise diş profilinde meydana gelen aşınmada verilmiştir. Ek 3’de değişik diş yükü ve devirlerde profilde oluşan aşınma derinliği görülmektedir.



Şekil 7.17. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 3.5 PA 66 GFR 30-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



a)

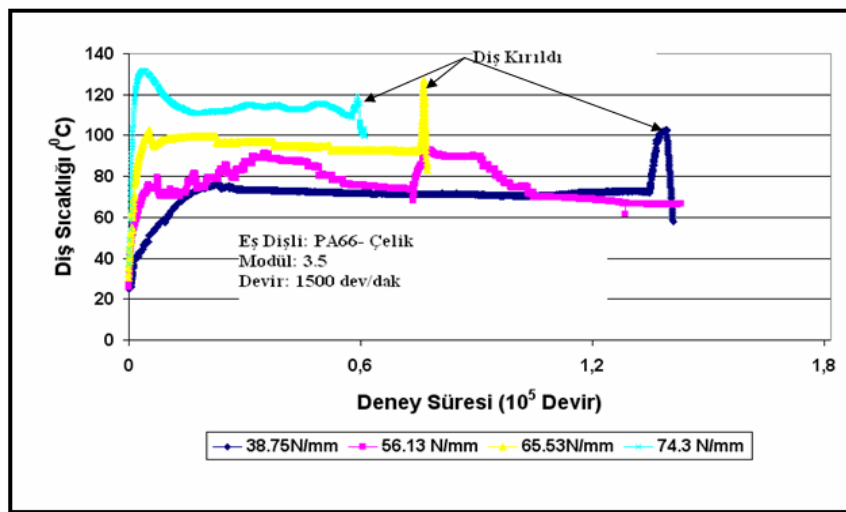


b)

Şekil 7.18. 1000 dev/dak 38,75 N/mm diş yükü , a) Modül 3.5 PA 66 GFR 30 – AISI 8620 eş dişli, b)Diş hasarı

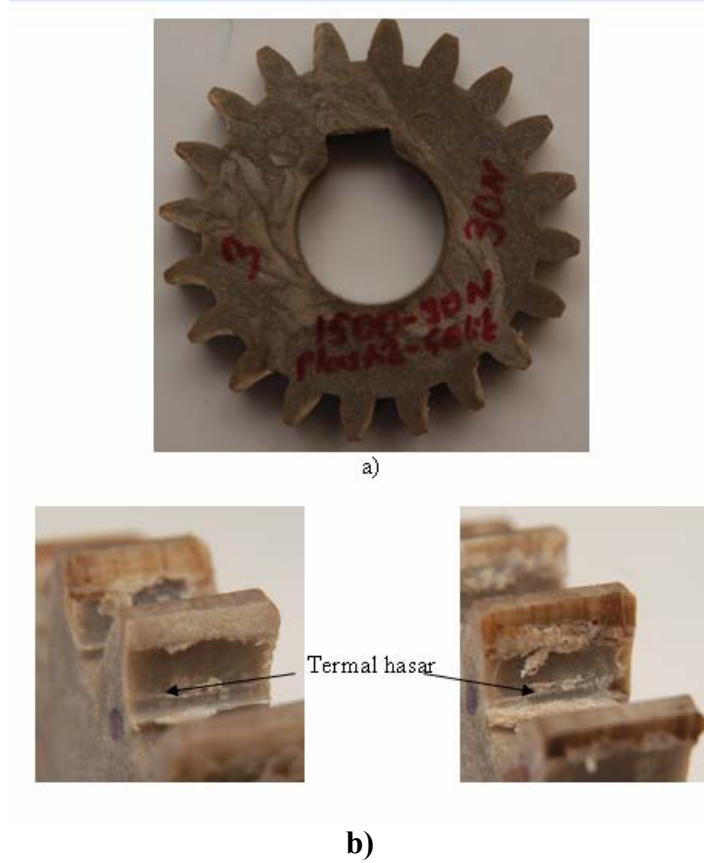


Şekil 7.19. PA 66 GFR 30-AISI 8620 1000 dev/dak modül 3.5, 56,13 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

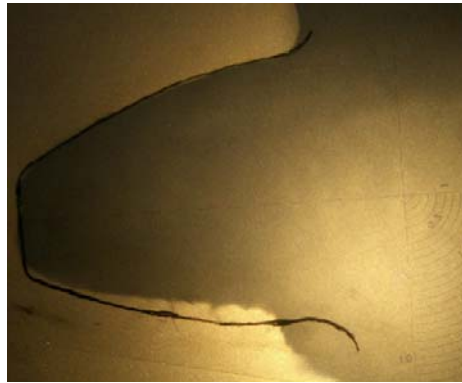


Şekil 7.20. 1500 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 3.5 PA 66 GFR 30-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Şekil 7.20’de 1500 dev/dak 38,75 N/mm diş yükünde dişli çark dişinde oluşan sıcaklık artışı karşı AISI 8620 çelik dişli çarkın ısıl dengeye yaklaşık 76°C de ulaşmaktadır. Fakat deneyin sonlarına doğru tekrarlı yüklerin nedeni ile dişli çark dişlisi kırılma hasarı oluşmaktadır. Dişli çarklarda oluşan kırılma hasarları Ek 2.5 de termal hasar Ek 2.2 ‘de görülmektedir. Şekil 7.21’de 1500 dev/dak’da 65,53 N/mm diş yükünde dişli çark dişinde meydana gelen hasar görülmektedir. Ek.3.3 ‘de 750 dev/dak’da farklı diş yüklerinde diş profilinde meydana gelen aşınma derinliği görülmektedir. Tablo 7.2’de PA 66 GFR dişli çarkta meydana gelen aşınma kütle kaybı görülmektedir.



Şekil 7.21. 1500 dev/dak 65.53 N/mm diş yükü , a) Modül 3.5 PA 66 GFR 30 – AISI 8620 eş dişli, b)Diş hasarı



Şekil 7.22. PA 66 GFR 30-AISI 8620 1500 dev/dak modül 3.5, 38.75 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

Tablo 7.2. PA 66 GFR30- AISI 8620 Modül 3.5 farklı diş yükü ve devirlerde dişli çarkta meydana gelen aşınma kaybı

PA 66 GFR30 –AISİ8620 (Modül 3.5)			
Fn/b (N/mm)	750-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
38,75	0,1243	0,2880	Diş Kırıldı
56,13	0,1752	0,6865	Diş Kırıldı
65,53	0,6507	0,9993	Diş Kırıldı
74,32	1,1111	1,4879	Diş Kırıldı

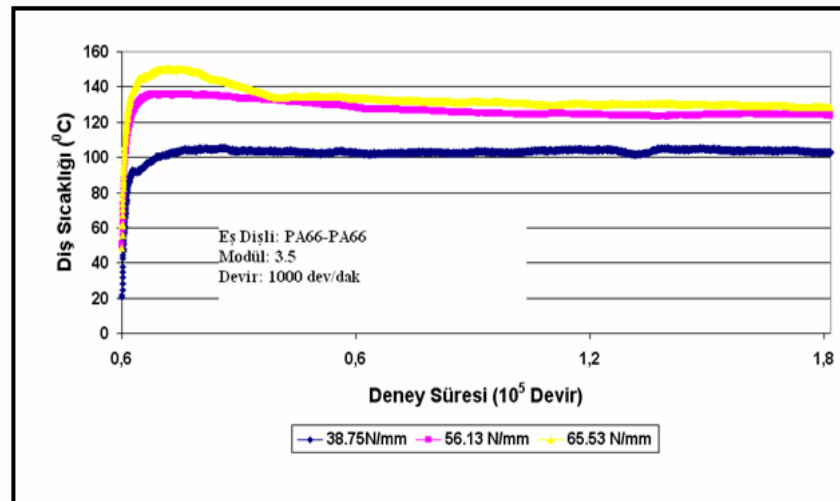
Tablo 7.1 de verilen PA66 GFR modül 4.5 ve Tablo 7.2 de verilen PA66 GFR 30 modül 3.5 dişli çark aşınma kayıpları verilmektedir. Hem bu tablolarda sunulan veriler hem aynı yük ve devirlerde diş kütle sıcaklıklarında elde edilen verilerde gerekte diş hasarları modül 4.5 ve modül 3.5 dişli çarkların aynı şartlar altında şu şekilde bir sonuç çıkarılabilir. Yüzey aşınması bakımından modülün mümkün olduğunca küçük olması diş profilinde daha az aşınma meydana gelmektedir. Modül küçüldükçe sürtünme enerji miktarı düşmektedir. Temas noktalarındaki yüzey eğrilik yarıçapı küçüldükçe yüzey gerilmesi düşmektedir. Dişli çark diş kavrama noktasında diş yüksekliği azaldıkça kayma hızı da düşmekte ve daha düşük diş sıcaklığı oluşmaktadır. Modül büyüdükçe dişli çark dişinde daha çok kayma sürtünmesi meydana gelmektedir.

Yapılan bu çalışmada modül 4.5 ve modül 3.5 aynı devir ve diş yükünde kıyas edildiğinde PA66 GFR30 dişli çark diş yüzeyinde dişli çark diş yüzeyinde oluşan sıcaklık değişim farkı görülmektedir. Şekil 7.1 ve Şekil 7.17 kıyas edildiğinde modül 4.5’de 38.75 N/mm diş yükünde oluşan maksimum sıcaklık yaklaşık 85°C iken modül 3.5’de yaklaşık 70°C oluşmuştur. 56.13N/mm diş yükünde ise 115°C iken modül 3.5’de 84 °C, diş yükü 65.53 N/mm de yaklaşık 130 °C olurken modül 3.5’de 98 °C, diş yükü 74.3 N/mm olduğunda modül 4.5’de diş sıcaklığı 140 °C olduğunda ise modül 3.5’de ise aynı yükte oluşan diş sıcaklığı 118 °C ‘yi bulmaktadır. Hem eş dişlinin AISI 8620 hem de PA66 GFR 30 eş dişli olmasında aynı sonucu ulaşılmaktadır. Ek 1.6 ve Ek.1.7’de 750 dev/dak farklı diş yükünde oluşan diş sıcaklıkları verilmiştir. Ancak devir 1500 dev/dak’ya çıktığında sıcaklık artışı küçük modülde daha hızlı gerçekleşmiştir. PA66 GFR 30 malzemelerin kırılması, metallerin kırılması ile aynı olmamaktadır. Bu malzemelerin kırılması oldukça gevreklerdir. PA66 GFR30 malzemesinde sünekten gevreğe doğru bir davranış

gösterirler. Gevrek kırılmaya geçişi, sıcaklığın düşmesi, gerilme oranının artması, dişli kalınlığının fazla olması ve bunlara bağlı olarak bu malzemenin hasarını etkiler. Bu malzeme belli bir sıcaklığın üzerinde gevrekleşmektedir. Bu sıcaklığa ani olarak çıkması durumunda malzemenin yapısı camlaşma sıcaklığı, camlaşan yapıda ani olarak diş kırılmasına neden olmaktadır. Küçük modüllü dişli çarklarda diş yükünün artışı ile birlikte dişli çarkın diş dibindeki kalınlık büyük modüle göre daha zayıf olduğundan dişli çark diş kırılması rastlanmaktadır. Bu amaçla büyük modüllerde büyük bir teğetsel kuvvet ve dolayısı ile büyük moment aktarılmada büyük modül daha uygun olmaktadır.

7.1.4. PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 Modül 3.5

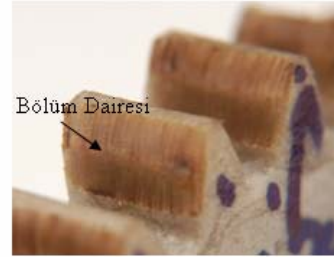
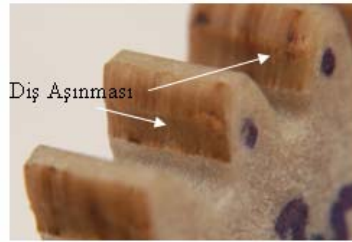
Şekil 7.23’de 1000 dev/dak yük miktarı artıkça, bölüm dairesi bölgesinde aşınma miktarının artmasıyla sıcaklıkta düzgün bir şekilde artış göstermiş. Artan sıcaklık malzeme bünyesinden atılamadığından ısıl yorulma sonucunda malzemede termal hasarlar gözlenmiş (Şekil 7.24) ve diş profilinde meydana gelen aşınmalar Şekil 7.25’de gösterilmiştir. Ek-1.7’de 750 dev/dak’da diş yüzey sıcaklığı gösterilmiştir. Eş dişli çarkın AISI 8620 olması durumunda daha düşük diş sıcaklığı oluşurken eş dişli PA66 GFR 30 olduğunda aynı devirlerde eş dişlinin aynı olması durumunda daha yüksek diş sıcaklığı oluşmaktadır.



Şekil 7.23. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 3.5 PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

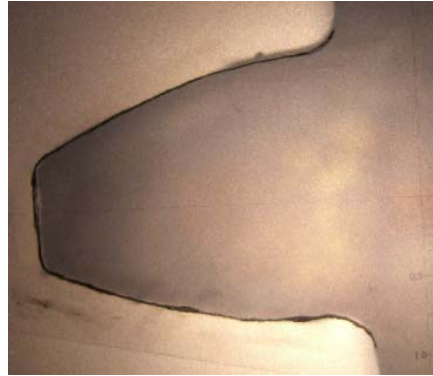


a)



b)

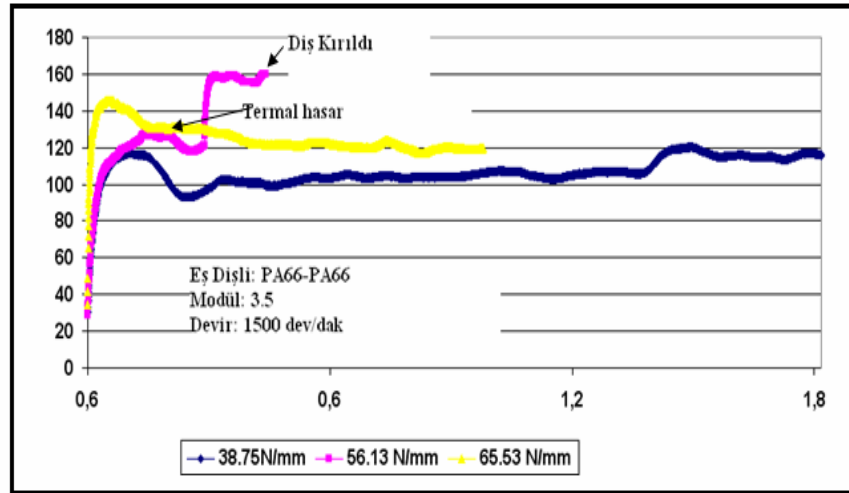
Şekil 7.24. 1000 dev/dak 38,75 N/mm diş yükü , a) Modül 3.5 PA 66 GFR 30 – PA 66 GFR 30 eş dişli, b)Diş hasarı



Şekil 7.25. PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 1000 dev/dak modül 3.5, 38.75 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

1500 dev/dak'da (Şekil 7.26) birinci yükte eş çalışan her iki malzemenin aynı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması sürtünmeden dolayı aşınma esnasında oluşan ısı dışarı atılamadığından ısı birikimi olmuş ve buda yumuşama hasarını oluşturduğundan 95°C ile 120°C arasında sıcaklık dalgalanarak devam etmiştir.

İkinci ve üçüncü yüklerde ani sıcaklık artışıyla ısıl hasar daha çabuk oluşarak malzemenin bu yüksek ısıdan dolayı fiziksel ve kimyasal özellikleri bozulduğundan termal hasar ve ani diş kırılmaları meydana gelmiştir (Şekil 7.27). Yumuşama hasarı, diş profilindeki aşınmayı arttırmıştır (Şekil 7.28). diş yükünün artışı ile birlikte diş kırılma hasarları görülmektedir (Ek 2.5)



Şekil 7.26. 1500 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 3.5 PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



a)

b)

Şekil 7.27. 1500 dev/dak 38,75 N/mm diş yükü , a) Modül 3.5 PA 66 GFR 30 – PA 66 GFR 30 eş dişli, b) Diş hasarı

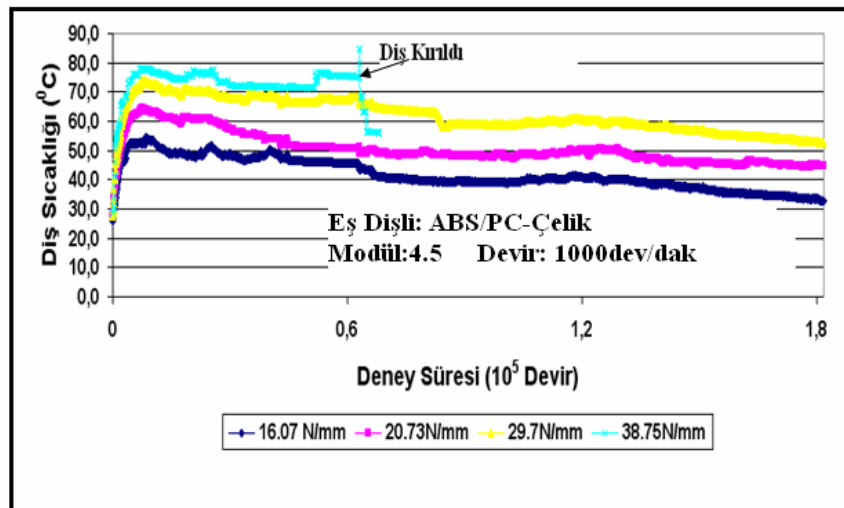


Şekil 7.28. PA 66 GFR 30-PA 66 GFR 30 1500 dev/dak modül 3.5, 38.75 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

7.2. ABS/PC-AISI 8620 ve ABS/PC-ABS/PC

7.2.1. ABS/PC-AISI 8620 Modül 4.5

PC'nin çok sert bir malzeme oluşu ve ABS'inde yumuşak malzeme oluşu dişli çarklarda ayrı ayrı kullanımını sınırlamaktadır. Bu iki malzemenin özellikleri birleştiğinde dişli için uygun olan ABS/PC malzemesi ortaya çıkmaktadır. ABS/PC'nin alev, hava, ultraviyole ışınlarına dayanıklı olması ve nem emme özelliğinin PA66 GFR 30 malzemeye göre düşük olması ve boyut kararlılığı birçok alanda kullanımını avantajlı kılmaktadır. Bu çalışmanın amacı ABS/PC malzemenin dişli çark olarak kullanımı araştırılmıştır.



Şekil 7.29. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4.5 ABS/PC-AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Şekil 7.29 ‘da 1000 dev/dak, sıcaklık dış yüküne bağlı olarak artmış, çalışma esnasında ABS/PC tozları düşük yüklerde yağlayıcı etki göstermesi ve eş çalıştığı AISI 8620 dişli yüksek ısı iletimine sahip olduğundan ısıyı absorbe ederek hızlı bir şekilde gövdeye yaydığından büyük sıcaklık dalgalanmaları oluşmamıştır. Düşük yüklerde çok ideal bir aşınma gözlenmektedir. Fakat yükün artışı ve devrin arştı ile birlikte ani sıcaklık artışları gözlenmiştir. Şekil 7.30 ‘da diş hasarı görülmektedir. Diş yüzeyinde oluşan aşınma derinliği Şekil 7.31’de gösterilmiştir. Özellikle diş profilinde oluşan aşınma derinliği diş dibinde gerçekleşmiştir. ABS/PC malzemesinin belli bir sıcaklığın üzerinde gevrekleşmektedir. Bu sıcaklığa ani olarak çıkması durumunda malzemenin yapısı camlaşma ve camlaşan yapıda ani olarak diş kırılmasına neden olmaktadır.



a)



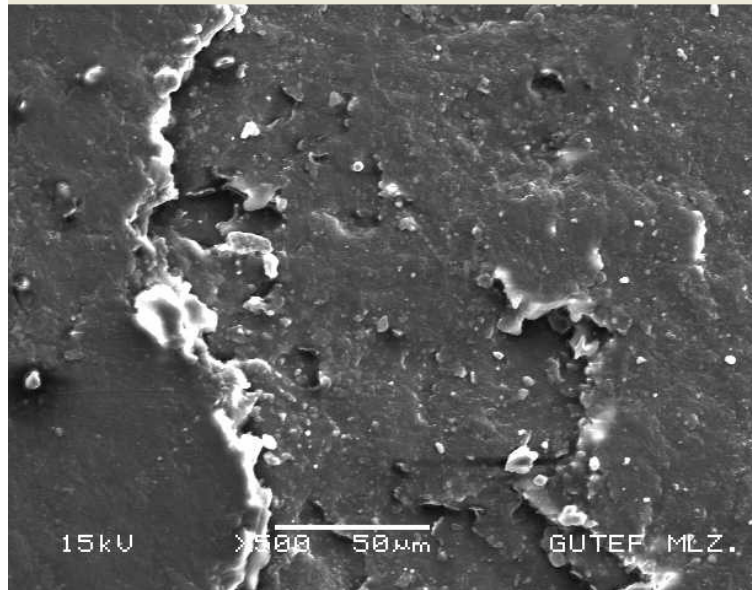
b)

Şekil 7.30. 1000 dev/dak 29.7 N/mm diş yükü , a) Modül 4.5 ABS/PC-AISI 8620 eş dişli, b)Diş hasarı



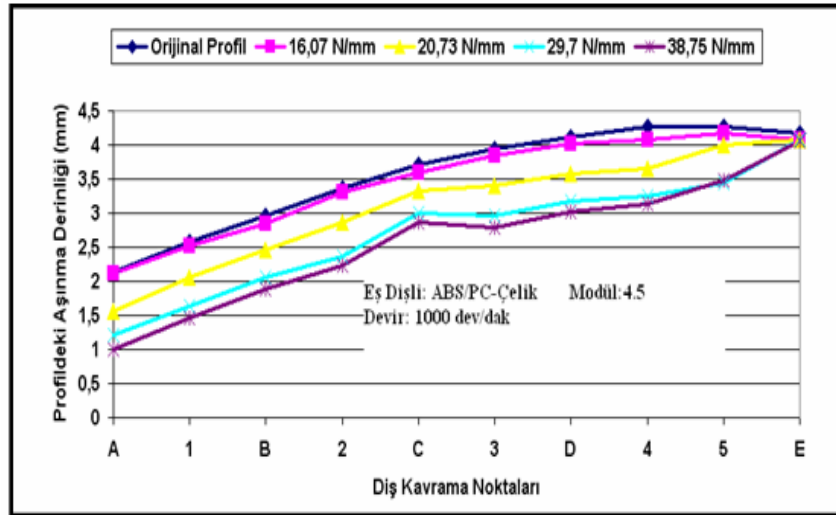
Şekil 7.31. ABS/PC - AISI 8620 1000 dev/dak modül 4.5, 16.07 N/mm diş yükünde deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

Plastiklerin, plastik deformasyonu elastik kaymadan daha çok viskoz akış ile olmaktadır. Viskoz akış, polimerdeki zincirlerin birbiri üzerinde kayması ile oluşmaktadır. Bu nedenle diş yüzeyinde yumuşama meydana gelmektedir. Şekil 7.32'deki SEM görüntüsünde görüldüğü gibi plastik malzemelerinin üzerinde kopmalar meydana gelmiştir.

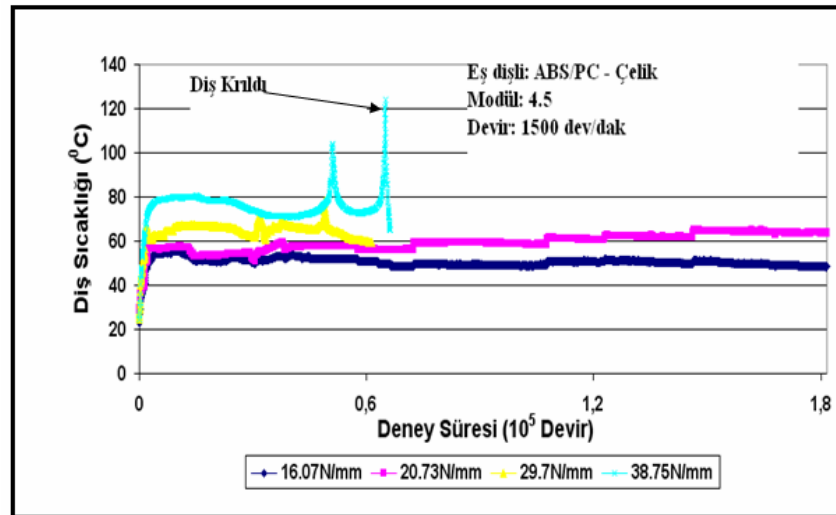


Şekil 7.32. Modül 4.5 ABS/PC- AISI 8620 eş dişli 1000 dev/dak 29.7 N/mm diş yükü, SEM görüntüsü

Döndüren ve döndürülen dişlilerin yan ve yüzey boyutları farklı olmasından dolayı, kayma sürekli olarak kök ve uç kısmında meydana gelmektedir. Kayma oranları dişlilerin periyodu boyunca değişmekte, yuvarlanma dairesi temas noktasında sıfır olmaktadır. Şekil 7.33'deki döndürülen dişlide sürtünme kuvvetlerinin yönü dişlilerin temas noktasına doğrudur. Bu nedenle diş başı ve diş diplerinde aşınmalar meydana gelmiştir.



Şekil 7.33. ABS/PC-AISI 8620 1000 dev/dak değişik yüklemelerde oluşan diş profilinde oluşan aşınma derinliği



Şekil 7.34. 1500 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4.5 ABS/PC-AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Şekil 7.34 'de 1500 dev/dak'da 16.07 N/mm diş yükünde düşük sıcaklık meydana gelmekte ve diş temas esnasında oluşan diş sıcaklığı AISI 8620 çelik dişli tarafından bu sıcaklık açık ortama dağılmakta ve ısıl denge oluşmaktadır. PC tozların aşınması aynı zamanda sisteme yağlayıcı özelliği göstermektedir. ABS /PC malzemesinden imal edilmiş sıcaklık eğer ani olarak diş sıcaklığı yaklaşık 90 °C ulaştığında malzemesinin bünyesinde ısıl yumuşama ve malzemede camlaşma

olmaktadır. Diş yükün artışı ve devrin artışı ile birlikte ABS/PC dişli malzemesinde ani erimeler olmaktadır. Bu esnada termal hasara uğrayan dişli çarkta diş yüzeyinde diş temas hatası oluştuğundan diş sıcaklığında düşmeler görülmektedir. ABS/PC dişli çarkın termal hasara uğradığı ada keskin bir yanık kokusu da hissedilmektedir. Diş profilinde meydana gelen aşınmalar Şekil 7.36’de gösterilmiştir. EK 5 de ABS/PC döndürülen dişli çarkın aşınma kayıpları verilmiştir. Buradan analizildiği gibi saf ABS/PC malzemesinde aşınma derinliği ve aşınma miktarı PA66 GFR 30 ‘a nazaran daha fazla olmaktadır. Ek-1.7’de diş yüzey sıcaklığı grafiğinde gösterilen 750 dev/dak’daki sıcaklık değişim grafiğinde ise devir düşük olduğundan ABS/PC tozları yağlayıcı özellik gösterirler ve AISI 8620 çelik dişli ısıyı üzerine alarak absorbe ettiğinden ilk üç yükte sıcaklık sabit seyrederken, dördüncü yükte tozlar fiziksel ve kimyasal özelliklerini yitirdiklerinden yaklaşık 90 dakikada diş kırılmıştır.

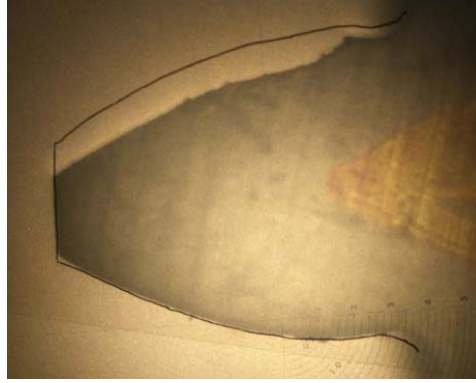


a)

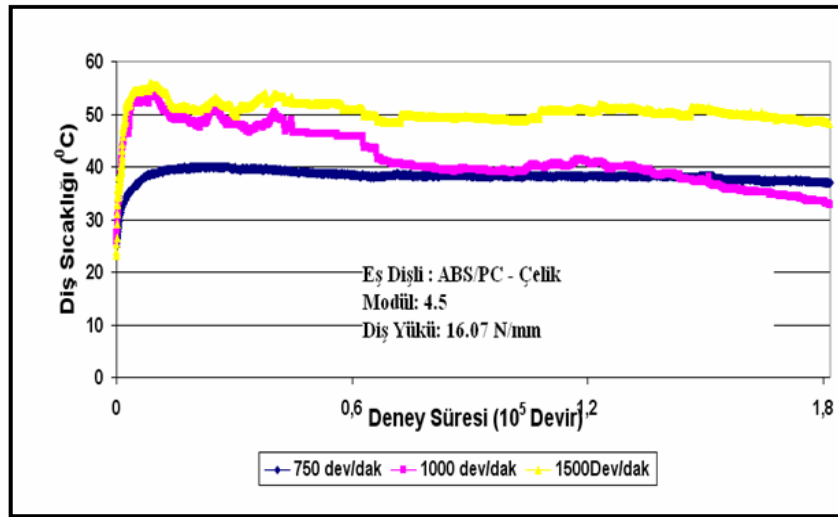


b)

Şekil 7.35. 1500 dev/dak 29.7 N/mm diş yükü , **a)** Modül 4.5 ABS/PC-AISI 8620 eş dişli, **b)**Diş hasarı



Şekil 7.36. ABS/PC - AISI 8620 1500 dev/dak modül 4,5, 38,75 N/mm diş yükünde deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

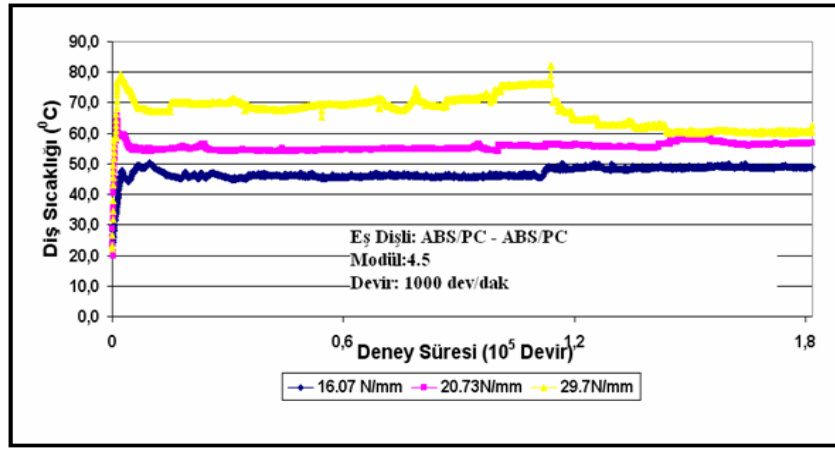


Şekil 7.37. 16.07 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 ABS/PC-AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

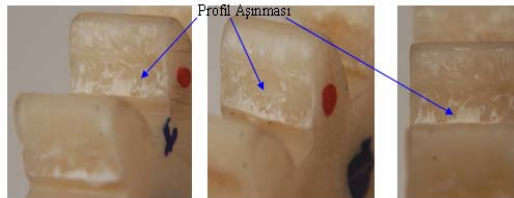
Şekil 7.37 'de 16.07 N/mm diş yükünde düşük yükte ABS/PC tozlarının yağlayıcı özelliğinden ve Çeliğin yüksek ısı iletkenliğinden dolayı AISI 8620 ısıyı üzerine alarak sıcaklığın sabit seyretmesine sebep olur. Yükün artışı ile birlikte malzemenin viskoelastik davranış malzemedede sürünme ve gevşeme şeklinde hasar oluşur. Tekrarlı yükün etkisi ile temas noktalarındaki sıcaklık artar ve malzemedede termal hasar oluşur. Hasar oluştuğundan sonra diş temas hatası oluştuğundan dişli çark profilleri tam bir kavrama yapamayıp diş sıcaklığında düşüş gösterir. Ek-2.5'de yüksek yüklerde sıcaklıkta artacağında diş kırılması hasarları oluşmuştur.

7.2.2. ABS/PC-ABS/PC Modül 4.5

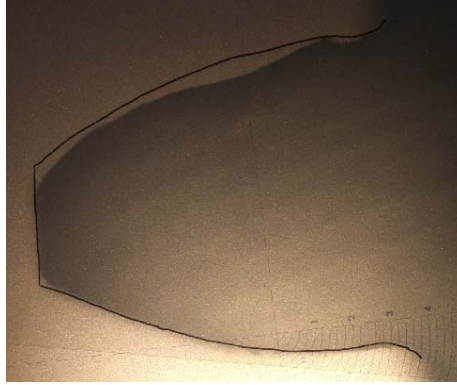
Şekil 7.38’de 1000 dev/dak’da ilk iki yükte sıcaklık düzenli olarak atarken üçüncü ve en büyük diş yükünde malzemenin iç yapısında meydana gelen aşınmalardan dolayı sıcaklık birikimi olmuş, eş çalışan dişlide aynı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olduğundan ısıyı dışarıya atamadıklarından ısı yorulma sonrası malzemede kademeli olarak diş profilinde partiküller kopmaktadır(Şekil 7.39). Diş profilinde meydana gelen aşınma ise Şekil 7.40’da gösterilmiştir.



Şekil 7.38. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4.5 ABS/PC-ABS/PC diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



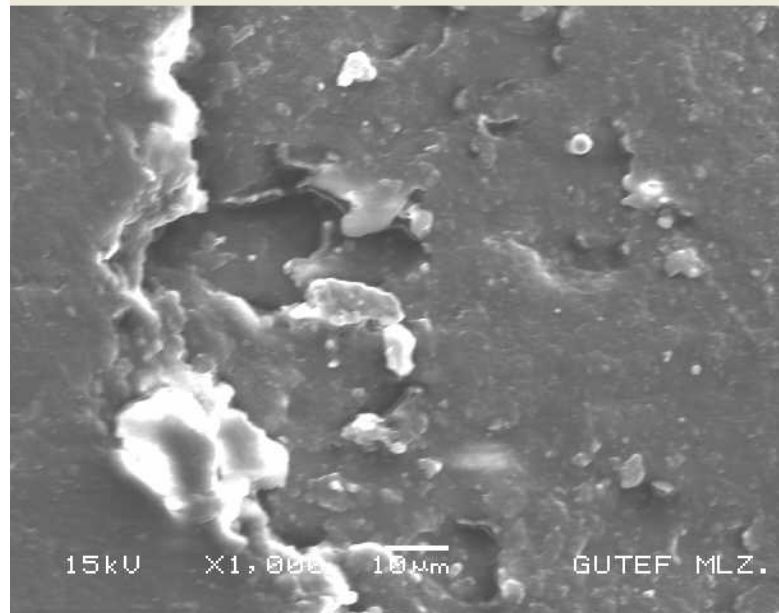
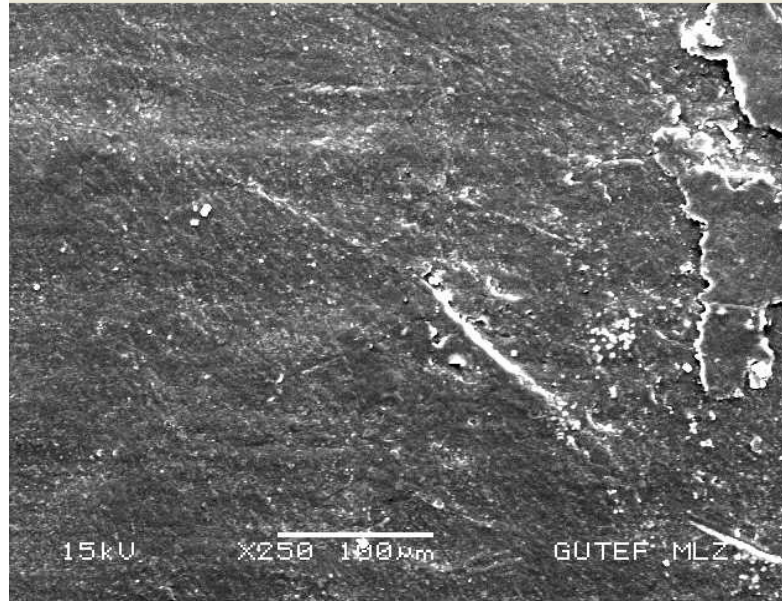
Şekil 7.39. 1000 dev/dak 20.73 N/mm diş yükü , a) Modül 4.5 ABS/PC- ABS/PC eş dişli, b) Diş hasarı



Şekil 7.40. ABS/PC-ABS/PC 1000 dev/dak modül 4.5, 29.7 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

ABS/PC malzemesin aşınması hızlı olarak gelişmektedir. Bu nedenle bu malzemenin içine cam elyaf veya karbon elyaf takviye edilerek daha yüksek diş yüküne ve devrine çıkartılabilir. Yapılacak bu takviyeler ile ABS/PC malzemesinin boyut kararlılığı ve ultraviyole ışınlarına dayanıklılığı nedeni ile açık ortamlarda kullanıma birliği geliştirilebilir.

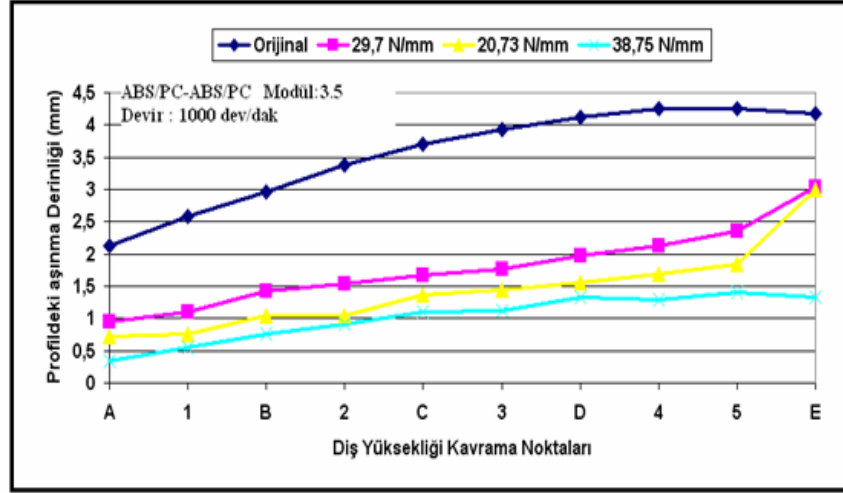
ABS/PC- ABS/PC eş dişli çark aynı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iki malzeme çalıştığından dolayı ısı dışarıya iletilmeyip malzeme bünyesinde birikmiştir. Tekrarlı yük sonucunda malzeme bünyesindeki sıcaklık daha da artmış ve bu durum kendini, diş yüzeyinde, çatlak, erime, ve parça kopması çukurlaşmalar olarak göstermiştir. Bu durumlar SEM görüntüsü altında Şekil 7.41’de gösterilmiştir. Diş temas yüzeyinde dişli çarkın kavrama esnasında oluşan kayma hızının etkisi ile diş yüzeyinde tabaka halinde malzeme koptuğu ve bu nedenle diş yüzeyinde çukurcuklara neden olduğu görülmektedir. Diğer sem görüntüleri EK-4’de verilmiştir.



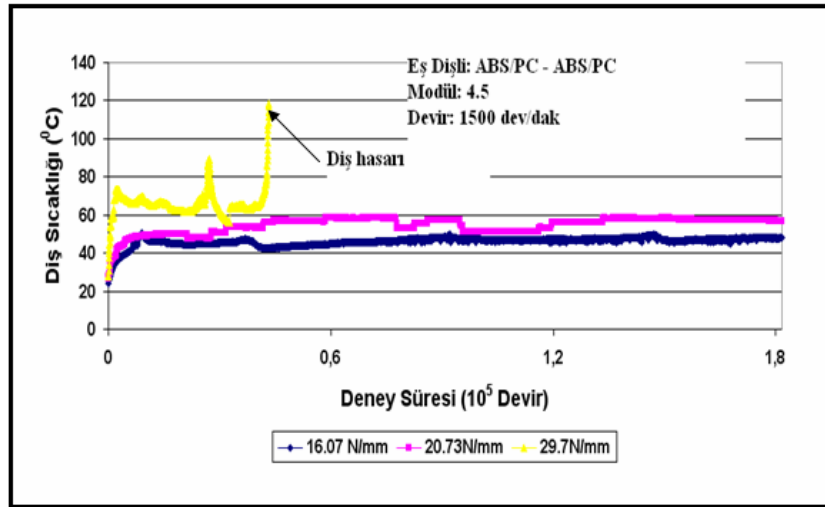
Şekil 7.41. Modül 4.5 ABS/PC- ABS/PC eş dişli 1000 dev/dak 29.7 N/mm diş yükü SEM görüntüsü

1000 dev/dak'da diş yükü arttıkça diş başı ve diş dibi bölgesinde aşınma miktarının artmasıyla malzemenin iletken olmayan yapısından dolayı bünyesinde biriken sıcaklık termal hasarlar meydana getirmektedir. Bu durum Şekil 7.42'de gösterilmiştir. Burada diş yükün artışı ile birlikte özellikle bölüm dairesinin alt

bölgesinde dişli kayma ve yuvarlanma yönünün zıt olması nedeni ile daha fazla aşınma gerçekleşmiştir.



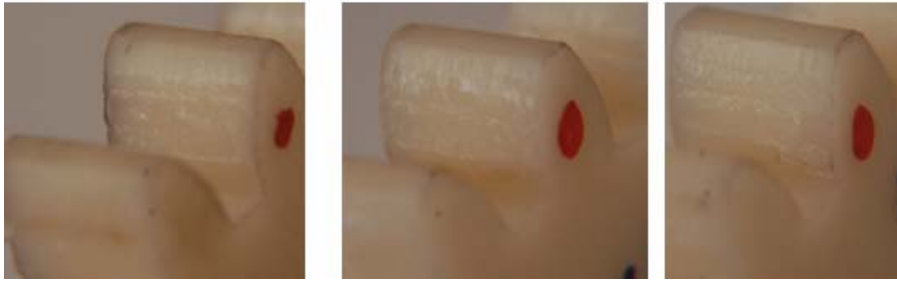
Şekil 7.42. ABS/PC- ABS/PC 1000 dev/dak değişik yüklemelerde oluşan diş profilinde oluşan aşınma derinliği



Şekil 7.43. 1500 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4.5 ABS/PC-ABS/PC diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Şekil 7.43 'de 1500 dev/dak'da 29.7N/mm diş yükünde dişli kısa bir zaman sonra kırıldığı görülmüştür. 16.07 N/mm diş yükünde diş profilinde düzgün bir aşınma meydana gelmiştir (Şekil 7.44). Şekil 7.45'de diş profilinde meydana gelen

aşınma derinliği görülmektedir. Ek.1.8 ve Ek. 1.9’da 750 dev/dak diş yüzey sıcaklığı grafiği verilmiştir. Burada özellikle 29.7 N/mm diş yükünde deneyin başlangıcında ani diş sıcaklığın artışı ile birlikte yaklaşık 70°C laştığında dişli çark dişinde termal hasarlar görülmüştür. Düşük yüklerde ise devir düşük olduğundan diş kırılma hasarı görülmemiştir.



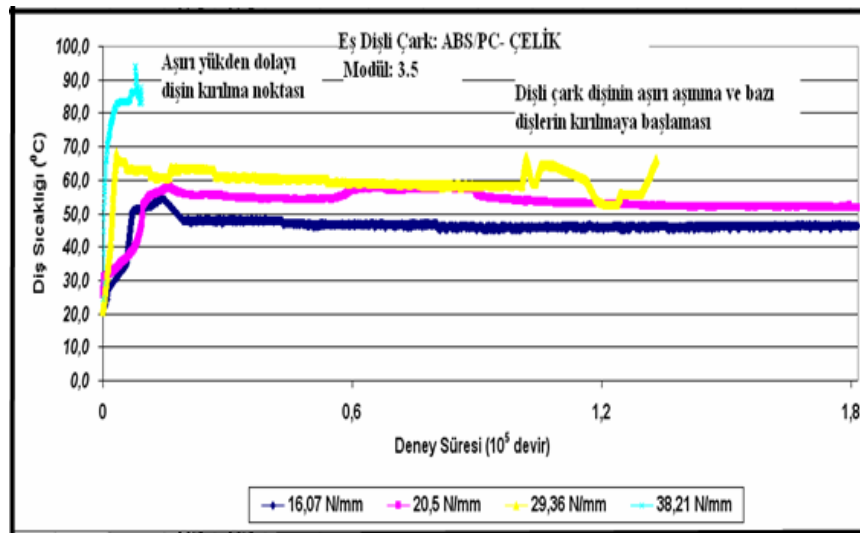
Şekil 7.44. 1500 dev/dak 16.07 N/mm diş yükü , a) Modül 4.5 ABS/PC- ABS/PC eş dişli, b) Diş hasarı



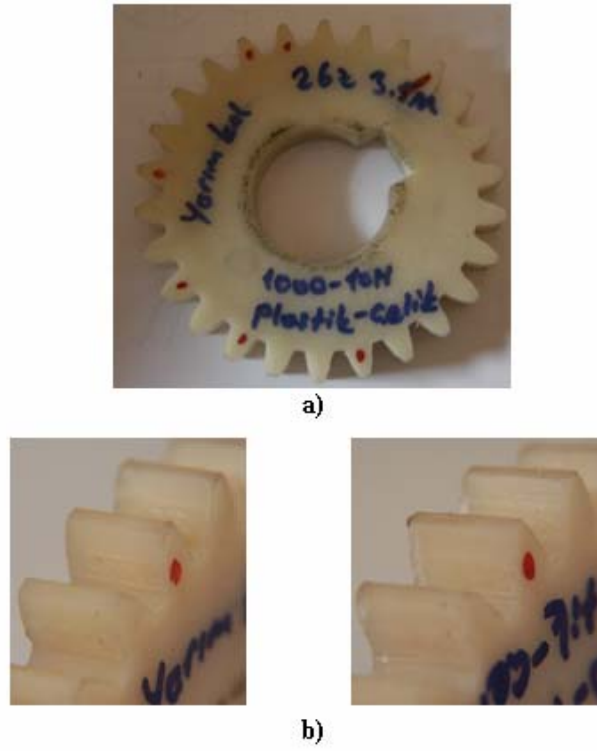
Şekil 7.45. ABS/PC-ABS/PC 1500 dev/dak modül 4.5, 16.07 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

7.2.3. ABS/PC-AISI 8620 Modül 3.5

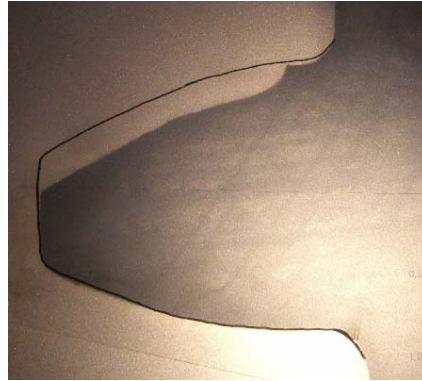
Şekil 7.46’da 1000 dev/dak’da 16.07 N/mm ve 20.5 N/mm diş yükünde diş sıcaklığı kademeli olarak arttığı ve belirli bir sıcaklıkta AISI 8620 eş çelik dişli çarkın ısıl dengeye ulaştığında dişli çarkın termal hasar görülmemiş sadece diş profilinde aşınma meydana gelmiştir (Ek.2.3). Ancak diş yükün artışı ABS/PC dişli malzemenin düşük ısıl iletkenliğinden dolayı tekrarlanan yüklemelerde oluşan ısının büyük bir kısmı dışarıya iletilmemekte ve her yük tekrarlanmasında ısı birikimi meydana gelmektedir. Sıcaklığın etkisi altında malzeme dayanımında ve rijitliğinde bir azalma oluşmakta ve belirli bir zaman sonra dişli çark dişinde kırılma hasarı görülmektedir. Diş yükün artışı ile birlikte diş hasarı ani olarak gerçekleşmektedir. Ek 2.6’da ABS/PC dişli malzemesinin belirli yük ve devirde diş kırılma hasarı verilmektedir. Şekil 7.47 1000 dev/dak’da 20.05 N/mm diş yükünde diş hasarı görülmektedir. Şekil 7.48’de diş profilinde aşınma derinliği verilmiştir.



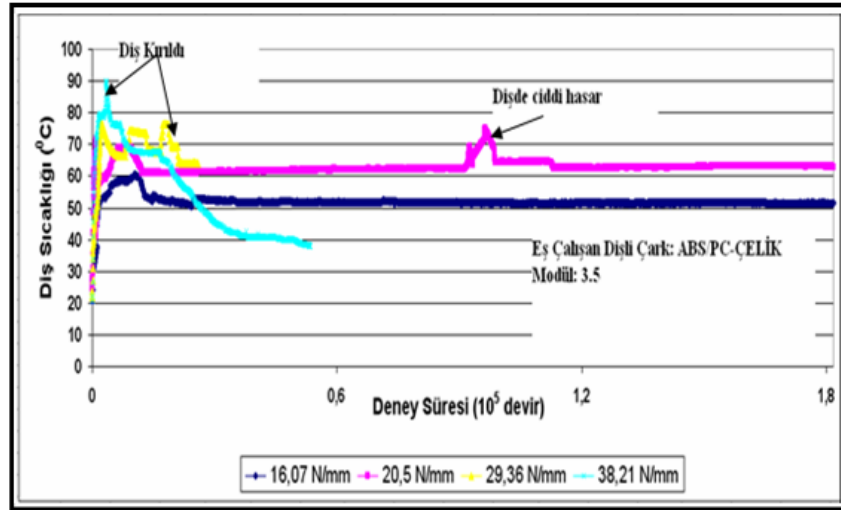
Şekil 7.46. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 3.5 ABS/PC-AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



Şekil 7.47. 1000 dev/dak 20.05 N/mm diş yükü, a) Modül 3.5 ABS/PC-AISI 8620 eş dişli, b) Diş hasarı

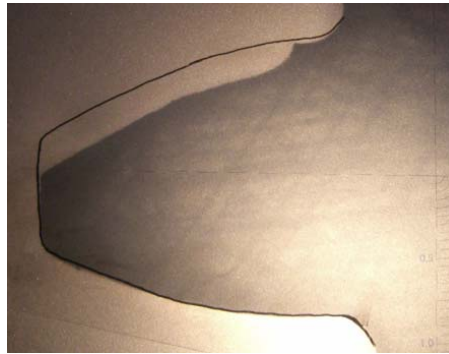


Şekil 7.48. ABS/PC-AISI 8620, 1000 dev/dak modül 3.5, 20.05 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma



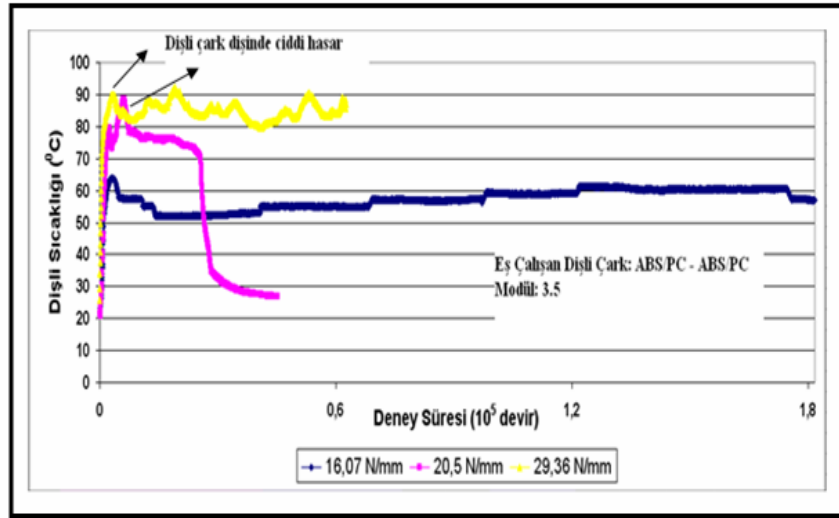
Şekil 7.49. 1500 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 3.5 ABS/PC-AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

1500 dev/dak'da (Şekil 7.49), emen hemen tüm yüklerde diş hasarı meydana gelmiştir. Bu hasarlar düşük yüklerde termal hasar yükün artışı ile birlikte diş kırılmalar halinde gözlenmiştir. Şekil 7.50 'de 20.5 N/mm diş yükünde diş profilinde meydana gelen termal hasar görülmektedir. Burada diş profilinde aşırı aşınmanın yanında erimelerde görülmektedir. Şekil 7.51'de 1500 dev/dak'da 20.05N/mm diş yükünde diş profilinde aşınma derinliği görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi ABS/PC dişli çark dişinde aşırı aşınma olduğu görülmüştür.



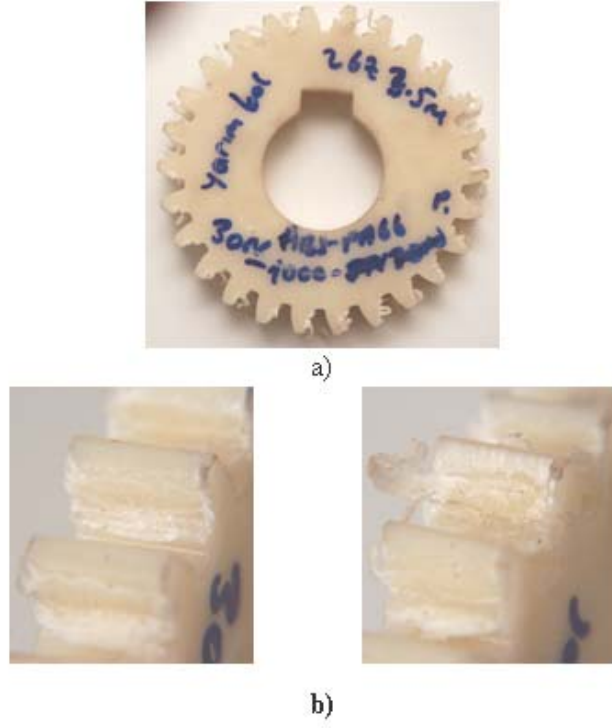
Şekil 7.51. ABS/PC-AISI 8620 1500 dev/dak modül 3.5, 20.05 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

7.2.4. ABS/PC-ABS/PC Modül 3.5

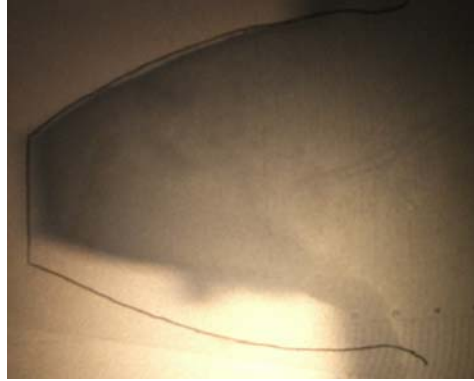


Şekil 7.52. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 3.5 ABS/PC-ABS/PC diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

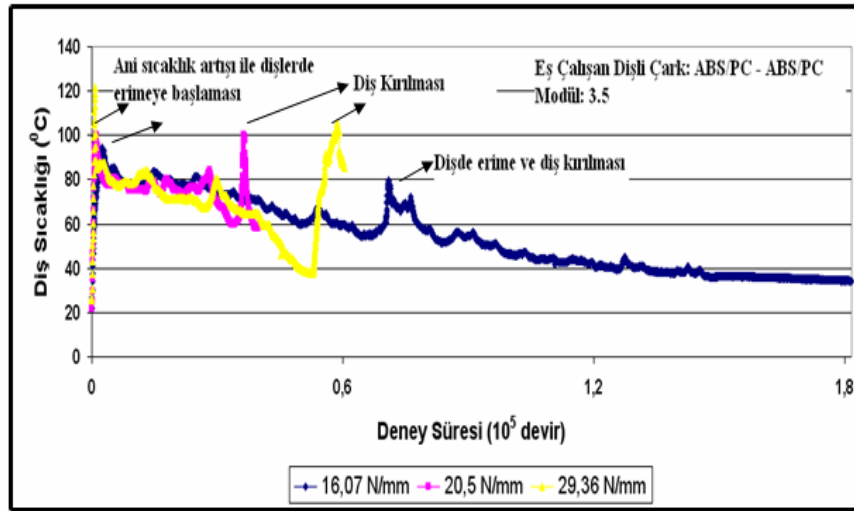
Şekil 7.52 'de 1000 dev/dak'da eş dişli ABS/PC dişli malzemesi oluşu diş teması esnasında meydana gelen diş sıcaklığının ani olarak artışı ile birlikte hemen hemen tüm yüklerde diş hasarı gözlenmiştir. Bu hasarlar ya diş kırılması yada dişte meydana gelen termal hasar olarak kendini göstermiştir. Şekil 7.53 diş yüzeyinde oluşan hasar mekanizması ve Şekil 7.54'de ise diş profilinde meydana gelen aşınma derinliği verilmektedir. Ek 5'de dişli çark dişinde meydana gelen aşınma kütle kayıpları verilmiştir. PA66 GFR 30 dişli çarkta açıklandığı gibi küçük modüllü dişli çarkta oluşan diş sıcaklığı büyük modüllü dişli çarka nazaran daha az yükselmiştir. ABS/PC dişli malzemesi olarak kullanabilmesi için diş yükünün ve devir sayısı uygun olarak seçilmelidir. Ayrıca ABS/PC dişli malzemesine katılacak katkı malzemeleri ile termal dayanıklılığı artırılabilir.



Şekil 7.53. 1000 dev/dak 20.05 N/mm diş yükü, a) Modül 3.5 ABS/PC-ABS/PC eş dişli, b) Diş hasarı

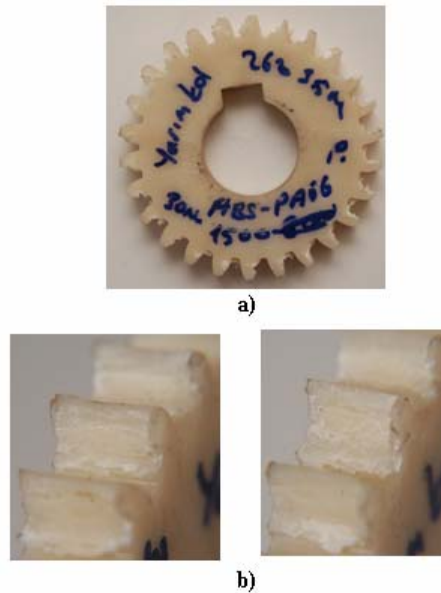


Şekil 7.54. ABS/PC-ABS/PC 1000 dev/dak modül 3.5, 20.05 N/mm diş yükü deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

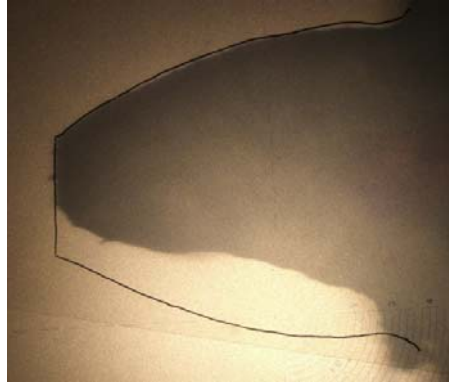


Şekil 7.55. 1500 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 3.5 ABS/PC-ABS/PC diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Şekil 7.5 ‘de 1500 dev/dak’da tüm yüklerde ya termal hasar yada diş kırılma şeklinde diş hasarları verilmiştir. ABS/PC malzemesi yaklaşık 80°C gevrekleşme oluşmakta ve yapısı cam gibi kırılganlığı artmaktadır. Yuvarlanma bölgesinde yüksek sıcaklıktan dolayı malzemenin mukavemeti azalmakta ve bu sebeple diş kırılmaları oluşmaktadır. Şekil 7.56 diş profilinde meydana gelen aşınma hasarı görülmektedir.



Şekil 7.56. 1500 dev/dak 29.36 N/mm diş yükü, a) Modül 3.5 ABS/PC-ABS/PC eş dişli, b) Diş hasarı



Şekil 7.57. ABS/PC – ABS/PC 1500 dev/dak modül 3.5, 20.05 N/mm diş yükünde deney sonucunda diş profilinde meydana gelen aşınma

Şekil 7.5 ‘de görüldüğü gibi ABS/PC diş profilinde aşırı şekilde kütle kaybı ve profilinde büyük aşınma derinliği görülmektedir. Buda diş temas hataları oluşturmaktadır.

7.3. PA 66 GFR 30+%2 BORİK ASİT-AISI 8620 Modül 4.5

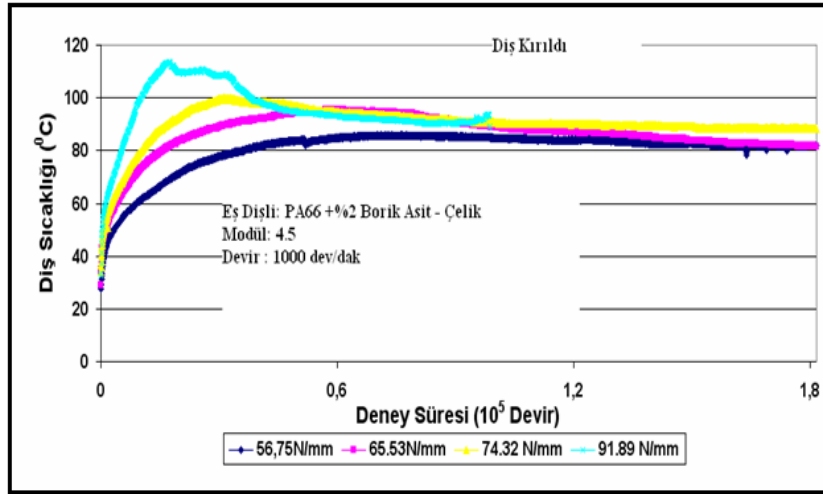
Yağlama yağlarının en önemli rolü her şeyden önce enerji kaybını azaltmak, aşınmayı minimum seviyeye indirmek ve yüzeylerin birbiriyle kaynamasını önlemek, dolayısı ile sürtünme karakteristiklerini geliştirmektir. Son yıllarda yağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılan organik boratlar, büyük ilgi çekmektedir. Bunun nedeni, organik boratlar aşınma direnci, sürtünmeyi azaltma kabiliyetleri, oksidasyonu önleme ve sürtünme yüzeyleri ile uygunluk gibi olumlu özelliklerine sahip olmasındandır. Borun bileşikleri içerisinde en yaygın kullanılanı borik asittir (H_3BO_3). Borik asitte, oksijenler bir eşkenar üçgenin köşelerinde bor atomu ise üçgenin köşesinde bulunur. Bu eşkenar üçgenler katı halde hidrojen köprüleriyle birbirine sıkıca bağlıdırlar. Borik asit 171 °C’de eriyen beyaz bir katıdır. Molekül ağırlığı 61.83 g/mol, yoğunluğu 1.435 ÷ 2.6 g/cm³, erime noktası 300 ÷ 400 °C, kaynama noktası 1860 °C ‘dir.

Borik asit, grafit ve hegzagonal bornitrit gibi katı yağlayıcıların yağlama özellikleri onların tabakalı yapısındanadır. Bu katı yağlayıcılarda aynı tabaka üzerinde bulunan atomlar birbirleri ile sıkı sıkıya güçlü bir şekilde (kovalent bağ ile) bağlanırken, birbirinden ayrı uzak olan tabakalar ise birbirleriye zayıf (van der

Waals) bağları ile bağlanırlar. Kayan yüzeyler arasında böyle bir yağlayıcı mevcut olduğunda, bu tabakalar izafi hareketin yönüne paralel bir hareket sergileyerek kaymayı kolaylaştırır ve yüzeyler arasında düşük sürtünme oluşumunu sağlarlar. Yani lamelli katı yağlayıcılar, sürtünme sırasında aynı zamanda tercihli yönlenme göstererek yağlama özelliklerini iyileştirirler.

PA 66 GFR 30 dişli çarkın diş temas esnasında sürtünme kuvvetinin meydana getirdiği diş temas sıcaklık değerini azaltmak ve PA66 GFR 30 dişli çarkın ömrünü artırabilmek için PA66 GFR 30 malzemenin içine %2 borik asit katılmıştır. Bu karışım yapılmadan önce PA66 GFR 30 partikülleri öğütülerek partikül boyutları küçültülmüştür. Bu işlemten sonra bu partiküllerin içine borik asit partikülleri katılarak yaklaşık üç saat karıştırılmış ve ayrıca PA66 GFR 30 ve borik asit partikülleri kurutulmuştur. Bu işlemten sonra dişli çark üretime geçilmiştir.

İçine %2 borik asit katılmış PA 66 GFR 30 deney dişlileri 1000 dev/dak ve 1500 dev/dak'da ve farklı diş yükünde deney tabi tutuldu. Şekil 7.58'de 1000 dev/dak farklı yüklerde dişli çark kütle sıcaklığı verilmektedir.



Şekil 7.58. 1000 dev/dak farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA 66 GFR 30+%2 Borik Asit-AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

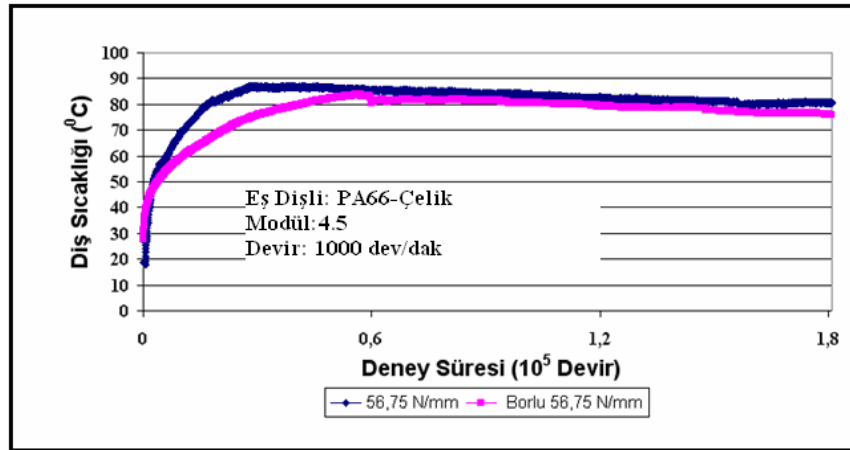
Şekil 7.59'da bor katkılı dişli çarkın diş profilinde oluşan hasar görülmektedir. Burada görüldüğü gibi bor katkılı dişli çarkın dişinde bor katkısız PA66 GFR 30 dişli çark ile aynı diş yük ve şartlarda Şekil 7.4 kıyas edildiğinde bor

katkılı PA66 GFR 30 dişli çarkın yüzeyinde termal hasar oluşmadığı sadece diş profilinde aşınma meydana geldiği görülmüştür.

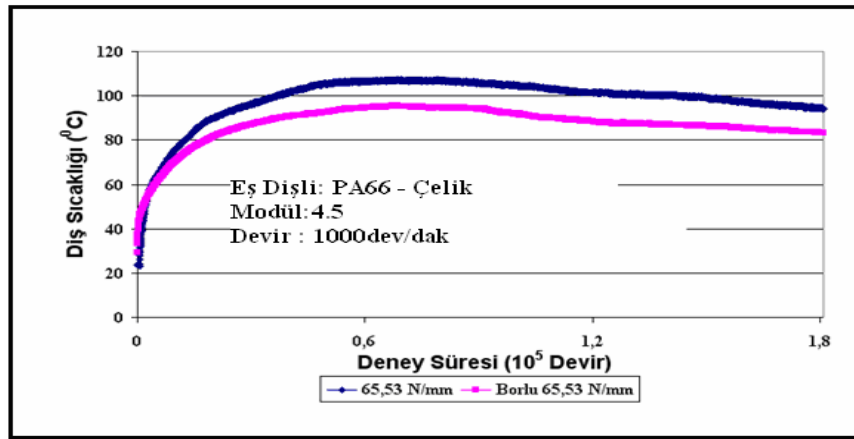


Şekil 7.59. 1000 dev/dak Modül 4.5 74,32 N/mm diş yükü , **a)** Modül 4.5 PA 66 GFR 30 +%2 borik asit – AISI 8620 eş dişli, **b)**Diş hasarı

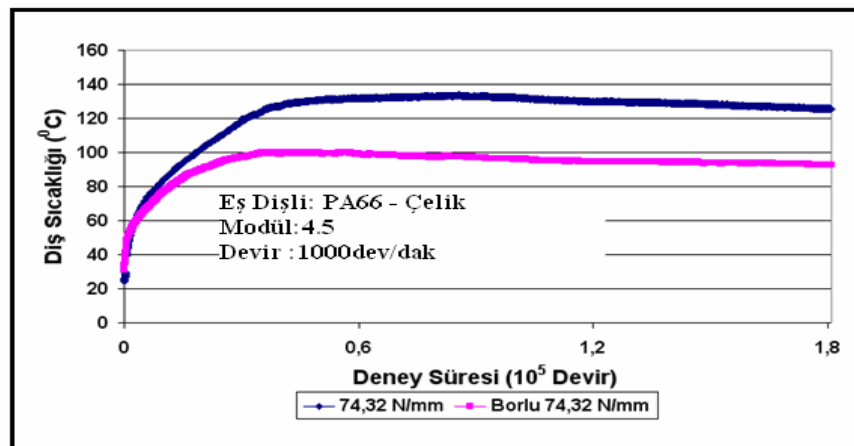
1000 dev/dak’da değişik diş yükü altında borik asit katkılı dişlilerin davranış özellikleri incelendiğinde, artan diş yükleriyle birlikte kütle sıcaklıklarında da artışlar meydana gelmiştir. Şekil 7.60 grafik incelendiğinde eş dişli AISI 8620 çelik dişli aynı yük altında çalıştırıldığında borik asit katkılı dişli çark diş yüzeyinde daha düşük sıcaklık meydana gelmiştir. Şekil 7.61-62’ lerde de görüldüğü gibi diş yükün artışı ile birlikte borik asit katkılı dişli çark dişin sıcaklığı daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Ancak diş yükü 91.89 N/mm çıkarıldığında katkısız dişli çarkta termal hasar oluşurken bor katkılı PA66 GFR 30 dişli çarkta deneyin başlangıcında termal hasar ve daha sonra ani olarak diş kırılması meydana gelmiştir (Şekil 7.63).



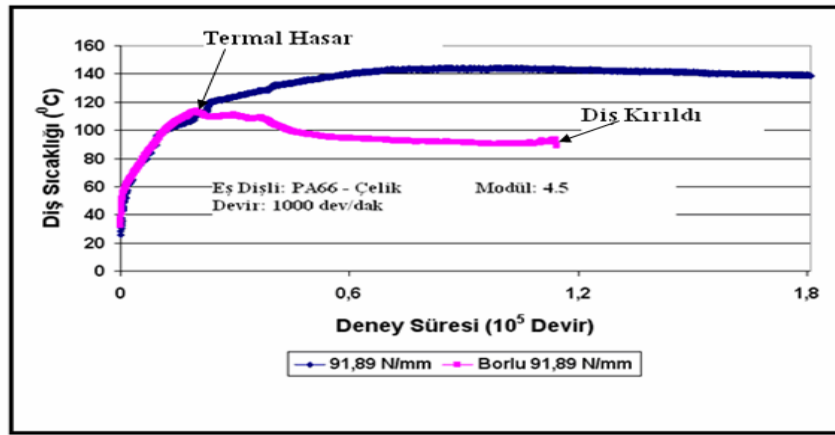
Şekil 7.60. 1000 dev/dakda 56.75 N/mm diş yükünde Borlu ve Borsuz PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



Şekil 7.61. 1000 dev/dakda 65.53 N/mm diş yükünde Borlu ve Borsuz PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



Şekil 7.62. 1000 dev/dakda 74.32 N/mm diş yükünde Borlu ve Borsuz PA 66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



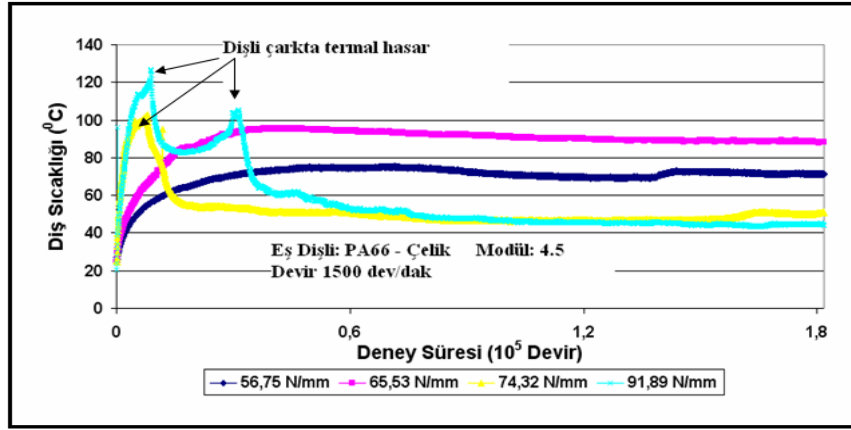
Şekil 7.63. 1000 dev/dakikada 91,89 N/mm diş yükünde Borlu ve Borsuz PA66 GFR 30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim

Şekil 7.64’de borsuz PA66 GFR 30 şekil 7.65’de ise PA66 GFR 30 malzemenin içine %2 borik asit katı yağlayıcı elde edilen malzemenin dişli çarkın kütle sıcaklığı değerleri verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde hemen hemen tüm yüklerde borik asit katkılı PA66 GFR 30 dişli çarkın kütle sıcaklığı daha düşük seyretmiştir. Ancak katkısız PA66 GFR 30 dişli çarkın 74.32 N/mm ve 91.89 N/mm diş yüklerinde oluşan termal hasardan dolayı diş temas hatası meydana gelmiştir. Bu nedenle bu diş yükünde diş sıcaklığı düşük olarak seyretmiştir.

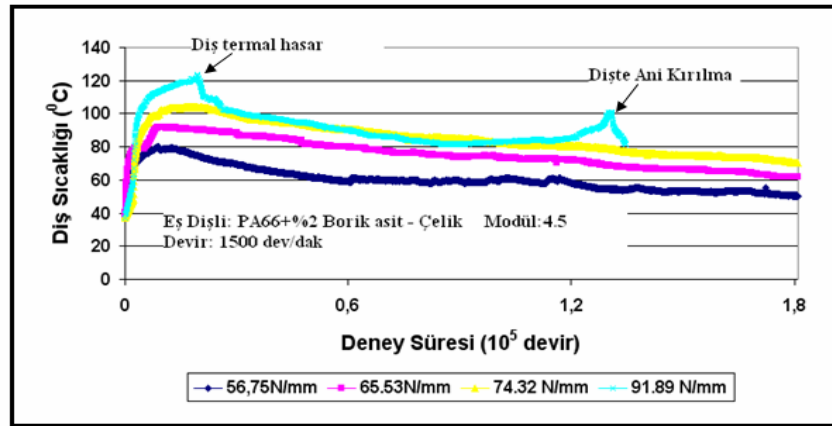
Bor katkılı PA66 GFR30 dişli çarkta özellikle yüksek yüklerde termal hasar meydana gelmiş ve termal hasar oluşumun hemen ardından dişli çark dişinde ani kırılmalar oluşmuştur. PA 66 GFR 30 dişli çark içine katılan borik asitin eklenmesi düşük diş yükünde tesirli geliştirmeler yapmıştır. Borik asit katı yağlayıcının yağlama özellikleri onun tabakalı yapısındanadır. Yani borik asit yapısındaki tabakalar izafi hareketin yönüne paralel bir hareket sergileyerek kaymayı kolaylaştırır ve yüzeyler arasında düşük sürtünme oluşumunu sağlarlar. Yani sürtünme sırasında aynı zamanda tercihli yönlenme göstererek yağlama özelliklerini iyileştirirler.

Fakat diş yükünün artışı ve dişli çarkın devrin artışı ile birlikte borik asit katı yağlayıcının etkisi kaybolmaktadır. PA 66 GFR 30 dişli malzemenin içine katılan borik asit partikülleri yağlayıcı olarak iyileştirme yapar iken malzemenin mekanik özelliğini düşürerek yüksek yüklerde F_n kuvvetin etkisi ile ani kırılmalar oluşturmaktadır. Bu nedenle bundan sonra yapılacak bir çalışmalara yol göstermek

amacı ile borik asit oranının uygun bir şekilde hem yağlayıcı özelliğinin artırılması hemde mekanik özelliğini düşürmeyecek şekilde önlemler alınarak çalışmalar yapılabilir.



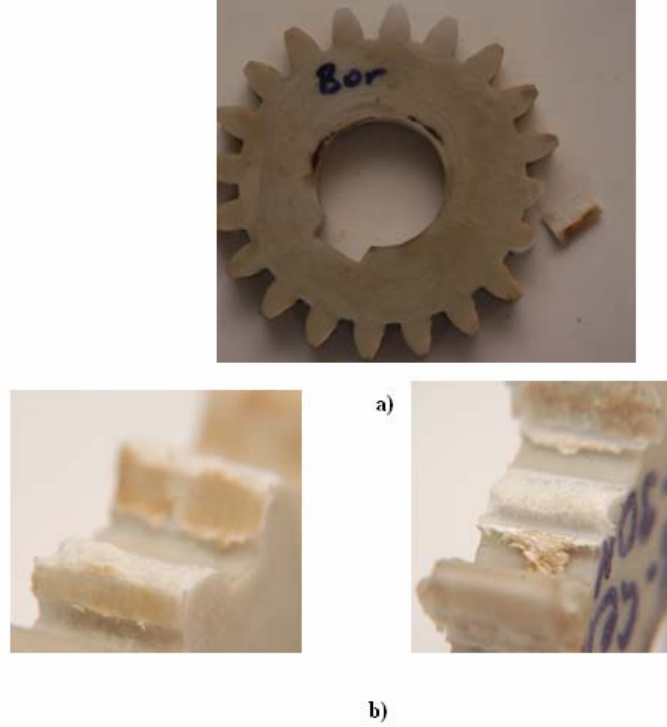
Şekil 7.64 1500 dev/dakda farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA 66 GFR 30-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



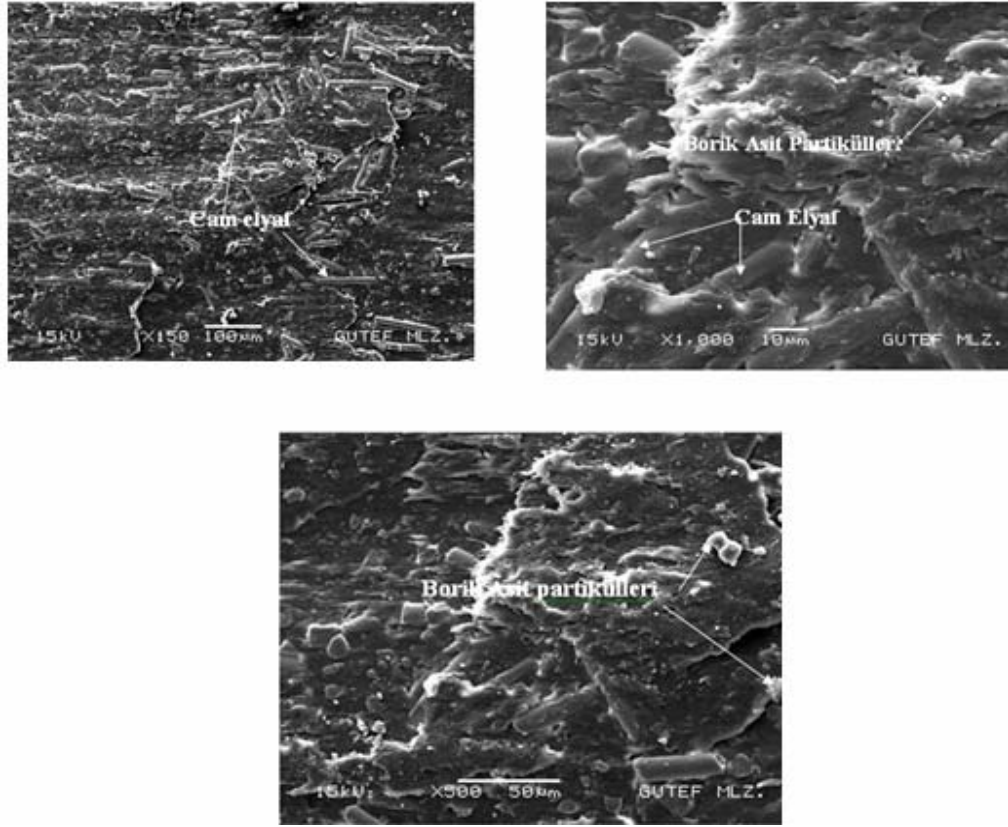
Şekil 7.65 1500 dev/dakda farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA 66 GFR 30 + %2 borik asit katkıli dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

Şekil 7.66 'da görüldüğü gibi borik asit katkıli PA66 GFR 30 malzemesinin yüksek diş yükünde ani olarak diş kırılması görülmüştür. Şekil 7.67'de PA66 GFR30 dişli malzemenin bor katkıli aşınma sonrası SEM görüntüleri görülmektedir. Burada PA 66 GFR 30 malzemenin bünyesinde bulunan cam elyafların diş temas yüzeyinde meydana gelen aşınma hasarından sonra koptuğu görülmektedir. Bu kopmaların neticesinde dişli malzemenin mekanik özelliği zayıflamaktadır. Ayrıca katılan borik asit katı yağlayıcının yüzeyinde yayıldığı görülmektedir. Yukarıda

açıklandığı gibi katı yağlayıcı olarak borik asitin de kullanabileceği fakat katılan borik asit oranının uygun bir şekilde düzenlenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ancak bizim çalışmada uygulanan diş yüklerin yapılan literatür çalışmaları göz önünde bulundurulduğunda oldukça yüksek olması bu tip hasarların çıkmasına neden olmuştur. Diş yükünün düşürülmesi ile daha iyi bir sonuç alınacağı umut edilmektedir.



Şekil 7.66 1500 dev/dak Modül 4.5 56.75 N/mm PA 66 GFR 30 +%2 borik asit – AISI 8620 eş dişli, **b)**Diş



Şekil 7.67. PA 66 GFR 30 +%2 Borik asit katkılı dişli çark SEM görüntüsü

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, bazı termoplastik dişli çarkların yük taşıma kapasitesi ve hasar oluşumunun deneysel olarak incelenmesi yapılmıştır. Bu amaçta PA 66 GFR 30, ABS/PC ve PA 66 GFR 30+ %2 borik asit katkılı, olmak üzere üç farklı malzeme üzerinde çalışma yapılmıştır. Ayrıca döndüren eş dişli AISI 8620 çelik dişli ve aynı özellikli dişli malzemesi kullanılmıştır. Değişik diş yükü ve devirlerde yapılan çalışmalar sonucunda çıkan sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir. Bunlar;

1. PA 66 GFR 30 dişli malzemesinin eş dişli çark AISI 8620 çelik dişli çark olduğu durumlarda dişli çark diş temas esnasında oluşan diş sıcaklığın üzerine alarak dış ortama dağıtması ve belirli bir ısıl denge ulaştığında sıcaklığın hemen hemen sabitlemiştir. Düşük diş yüklerinde ve 750 dev/dak ve 1000 dev/dak'da diş hasarları olarak özellikle diş kökü civarlarında aşınma hasarları görülmektedir. Diş yükü ve devir artığında diş temas esnasında ortaya çıkan ısı dairesi altında diş temas yüzeyinin orta kısımlarında ısı birikmesi oluşmaktadır. Bu ısı birikimi yüksek diş yüklerinde malzemenin viskoelastik davranış sürünme ve gevşeme oluşmakta ve diş kırılma hasarı oluşmaktadır.
2. PA 66 GFR 30 dişli malzemesinin eş dişli çark PA 66 GFR 30 aynı tip malzeme olduğunda, eş dişlini AISI 8620 eş dişliye nazaran daha fazla diş kütle sıcaklığı olduğu görülmüştür. Ayrıca AISI 8620 eş dişli çarka göre daha erken termal hasarların olduğu görülmüştür. Bunun nedeni diş bünyesinde özellikle bölüm dairesi alt bölgesinde ısı birikimi nedeni ile bu bölgede tekrarlı yüklerin etkisi ile gevşeme oluşmakta ve buralardan büyük partiküllerin kopması edeni ile hızlı bir şekilde termal hasarlar meydana gelmiştir. Bu çalışma şartlarında devam etmesi durumunda bu bölgenin mekanik özelliğin zayıflaması olması nedeni ile diş kırılma hasarları meydana gelmektedir.
3. Dişli çarkın modül küçüldükçe kavrama uzunluğun, büyük modüllü dişli çarka göre daha kısa olduğunda kayma hızının düşük ve sürtünme enerji miktarı da daha düşük seviyelerde oluşmaktadır. Hemen hemen tüm diş yükü

ve devirlerde modül 3.5 diş kütle sıcaklığın modül 4.5 dişliye göre daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Ayrıca küçük modüllü dişli çarkta meydana gelen kütle kaybının modül 4.5' e göre daha az miktarda gerçekleşmiştir. Ancak diş yükünün artması nedeni ile küçük modüllü dişli çarkın diş dibi mukavemeti düşük olduğu için diş kırılmaları modül 4.5'e nazaran daha erken oluşmuştur. Bu bakımdan yüzey aşınması bakımından modülün küçük, fakat güç iletimlerinde ise modülün daha büyük olması gereklidir.

4. ABS/PC'nin alev, hava, ultraviyole ışınlarına dayanıklı olması ve nem emme özelliğinin PA66 GFR 30 malzemesine göre düşük olması birçok alanda kullanımını avantajlı kılmaktadır. Özellikle açık ortamlarda ve nemli ortamlarda çalışılacak dişli çarklarda ABS /PC dişli malzemesi olarak kullanabilirliği geliştirilmesi gereklidir. Yapılan çalışmada ABS/PC dişli çark dişlisinde düşük devir ve diş yüklerinde çok ideal bir çalışma şartları olduğu görülmüştür. Karşı dişli çarkın AISI 8620 eş dişli olduğunda ısının çelik dişli üzerinden dış ortama dağıtılması daha kolay olmaktadır. Ancak diş yükü arttıkça diş sıcaklığın ani artış nedeni ile termal hasar oluşmakta, yüzeyinde erime ve diş kırılmalar gerçekleşmiştir. ABS/PC dişli malzemesinin içine katılacak katkı maddeleri ile ısı dayanaklığı artırılması gereklidir. ABS/PC dişli çarkların ideal bir çalışma şartların diş yükü ve devir belirlenerek ideal bir çalışma şartları belirlenmesi gereklidir.
5. Yüksek güç iletiminin istenmediği ve düşük diş yükünde ABS/PC dişli çarklar tercih edilebilir. Bununla birlikte ekonomik maliyeti açısından ABS/PC dişli malzemesi, PA66 GFR 30 dişli malzemesine göre daha düşük maliyetindedir.
6. PA 66 GFR 30 dişli çark malzemesi ile %2 oranında borik asit katılmasında aynı yük ve devirlerde katkısız malzemeye göre diş temas yüzeyinde daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Diş yükünün ve devirin artırılması ile birlikte bor katkılı malzemesinin diş sıcaklığında aynı eğilim göstermektedir. Ancak diş yükünün artması durumunda dişli çark dişlinin ani olarak kırıldığı görülmüştür. Bunun nedeni ise PA 66 GFR30 malzemesinin içine katılan borik asitin bir miktar malzemenin mekanik özelliğini azaltmıştır. Düşük

yüklerde bor katkısız PA66 GFR 30 dişli çarkı diş temas esnasında daha fazla ısı birikimi olduğu için termal hasar daha erken oluşurken borik asit katkılı katı yağlayıcının diş temas esnasında dişli çark temas esnasında oluşan sürtünme katsayısını düşürdüğü ve bu nedenle daha düşük seviyelerde sıcaklık oluşturmuştur. PA 66 GFR 30 malzemesinin içine katılan borik asit katı yağlayıcının sürtünme katsayısı Pin On Disk deney düzeneğinde inceleme yapılarak aşınma karakteristiği araştırılabilir. Ayrıca PA 66 GFR 30 malzemesinin içine katılan borik asit katı yağlayıcının malzemenin mekanik özelliğini değiştirmeyecek şekilde gerekli katkı oranı ve ek tedbirler alınmalıdır.

7. Yapılan çalışmalarda yüksek diş yüklerinde plastik temelli dişli çarklarda hasar mekanizması, aşırı aşınma, ısı yorulmadan dolayı termal hasar ve diş kırılma hasarları meydana gelmektedir. Bu amaçla bu tip malzemelerin ideal bir çalışma ortamını elde edebilmek için diş yükü ve çalışma devri uygun bir şekilde seçilmesi gerekmektedir.
8. Plastik temelli dişli çarkların enjeksiyon ile üretim esnasında oluşan çarpılma ve enjeksiyon hatalarını engellemek için uygun diş kalınlığı ve ek tedbirler alınması gereklidir.

9. KAYNAKLAR

- Akkurt, S. 1991, Plastik Malzeme Bilgisi, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İSTANBUL.
- Akkurt, S., Erten, M., 1994, Plastik Dişli Çarkların Hesap ve Konstrüksiyon Bakımından İncelenmesi, 6. Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi 453-462, ODTÜ.
- Akkurt, S., Sezer, M. F., 1998, Plastik Dişlilerin Tasarımı, Makine Metal Teknolojisi 74 : 87-98.
- Akyüz, Ö. F., 2001, Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, Pagev yayınları, İSTANBUL.
- Andrei, L., Andrei, G., Epureanu, A., Oancea, N., Walton, D., 2001, Numerical simulation and generation of curved face width gears, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 : 1-6
- Apichartpattanasiri, S., Hay, J. N., Kukureka, S. N., 2001, A study of the tribological behaviour of polyamide 66 with varying injection-moulding parameters, Wear 251 : 1557-1566.
- Bartels, T., 2001, Gear Lubrication Oils, Lubricants and Lubrication 207-245.
- Bloom, Paul D., Baikerikar, K. G., Otaigbe, Joshua U., Sheares, Valerie V., 2000, Development of novel polymer/quasicrystal composite materials, Materials Science and Engineering 294-296, 156-159.
- Can, H., 2004, Ön Gerilmeli Plastik Dişli Çark Tasarımı, Doktora Tezi, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., ANKARA.
- Can, H., Mendi F., Topcu, M., 2004a, Yay Takviyeli Plastik Dişlilerin Yorulma Özellikleri, TEKNOLOJİ, Cilt 7, (2004), Sayı 3, 401-405.
- Chen, Y. K., Kukureka, S. N., Hooke, C. J., Rao, M., 2000, Surface topography and wear mechanisms in polyamide 66 and its composites, Journal of Materials Science 35 : 1269-1281.
- Crawford, R.J., 1987, Plastics Engineering, 2 nd Edition, Pergamon Press 12-26, 109-140, 154-160, Oxford.
- Eritenel, T., Vijayakar, S. M., Houser, D. R., Casella, J. M., 2003, Effect of tooth deflection and corner contact on backside separation (backlash) of gear pairs”, Proceedings of DETC’03 ASME, Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Chicago, Illinois, USA, September, 2-6.

Fetvacı, M. C., 1998, “Plastik Dişli Çarklarda Malzeme Seçimi ve Konstrüktif Tedbirler”, Mühendis ve Makine 39 : 34-38.

Glodez, S., Winter, H., Stüwe, H. P., 1997, A fracture mechanics model for the wear of gear flanks by pitting, Wear 208 : 177-183.

Hirogaki, T., Aoyama, E., Katayama, T., Iwasaki, S., Yagura, Y., Sugimura, K., 2004, Design systems for gear elements made of cotton fiber-reinforced plastics, Composite Structures 66 : 47-52.

<http://www.bolbilgi.com/plastik-malzemeler-t103158.html>, 2008.

http://www.infotron.com.tr/haber_30.html, 2008.

İmrek, H., 1990, Plastik Dişlilerin Ömürlerinin Arttırılması, Doktora Semineri, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst., KONYA.

İmrek, H., 1995, Dişli Çarklarda Profil Kaydırma İşleminin Yenme Olayı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst., KONYA.

Kim C.H., 2006, Durability improvement method for plastic spur gears, Tribology International 39 : 1454-1461.

Kukureka, S. N., Hooke, C. J., Rao, M., Liao, P., Chen, Y. K., 1999, The effect of fibre reinforcement on the friction and wear of polyamide 66 under dry Rolling-sliding contact, Tribology International 32 : 107-116.

Kurokawa, M., Uchiyama, Y., Iwai, T., Nagai, S., 2003, Performance of Plastic Gear Made of Carbon Fiber Reinforced Polyamide 12, Wear 254 : 468 – 473.

Kurokawa, M., Uchiyama, Y., Nagai, S., 2000, Performance of plastic gear made of carbon fiber reinforced poly-ether-ether-ketone: Part 2, Tribology International 33 : 715-721.

Küçükçongar, B., 2004, Metalik Düz Dişli Çarklarda Diş Genişlik Modifikasyonu İle Aşınma arasındaki ilişkinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst., KONYA.

Lin, A., Kuang, J., 2008, Dynamic interaction between contact loads and tooth wear of engaged plastic gear pairs, International Journal of Mechanical Sciences 50 : 205-213.

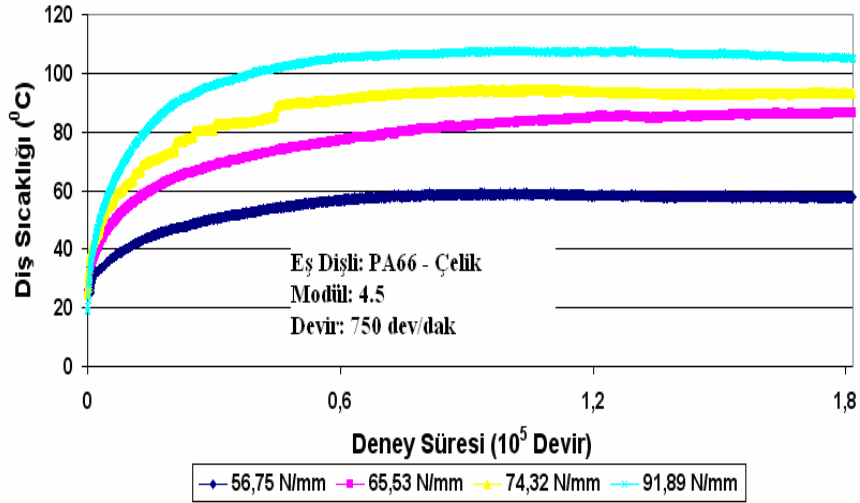
Luscher, A., Houser, D., 2000, An Investigation of the Geometry and Transmission Error of Injection Molded Gears, Journal of Injection Molding Technology 4 : 4.

Mao, K., 2007a, A new approach for polymer composite gear design, wear 262 : 432-441.

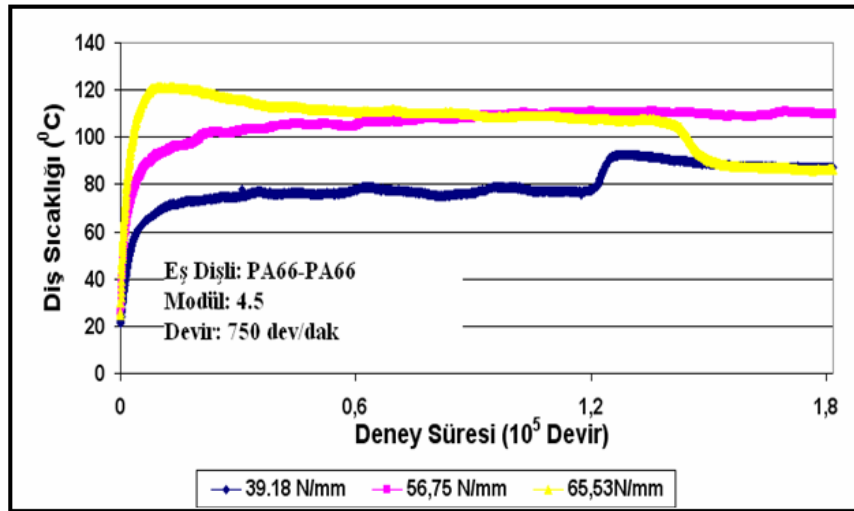
- Mao, K., 2007b, A numerical method for polymer composite gear flash temperature prediction, *Wear* 262 : 1321-1329.
- Parey, A., Tandon, N., 2007, Impact velocity modelling and signal processing of spur gear vibration for the estimation of defect size, *Mechanical Systems and Signal Processing* 21 : 237-243.
- Pek, M. A., 2002, Polimerik dişlilerde sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizi, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bil. Enst., ISPARTA.
- Senthilvelan, S., Gnanamoorthy, R., 2006a, Damping characteristics of unreinforced, glass and carbon fiber reinforced nylon 6/6 spur gears, *Polymer Testing* 25 : 56-62.
- Senthilvelan, S., Gnanamoorthy, R., 2006b, Selective Carbon Fiber Reinforced Nylon 66 Spur Gears: Development and Performance, *Applied Composite Materials* 13 : 43-56.
- Senthilvelan, S., Gnanamoorthy, R., 2006c, Effect of gear tooth fillet radius on the performance of injection molded Nylon 6/6 gears, *Materials and Design* 27 : 632-639.
- Senthilvelan, S., Gnanamoorthy, R., 2007, Effect of rotational speed on the performance of unreinforced an glass fiber reinforced Nylon 6 spur gears, *Materials and Design* 28 : 765-772.
- Şimşek, S., 2002, Plastik Malzemeden Mamul Dişli Çarkların Hesap Yöntemleri ve kullanım alanları, Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniv. Fen Bil. Enst., BURSA.
- Unal, H., Mimaroglu A., 2006, Friction and Wear Characteristics of PEEK and its Composite under Water Lubrication, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 25 : 16.
- Wright, N.A., Kukureka, S.N, 2001, Wear Testing and Measurement Techniques for Polymer Composite Gears, *Wear* 251 : 1567-1578.
- Yüksel, M., 1998, Malzeme bilgisi, TMMOB-Makine Mühendisleri Odası-Denizli Şubesi Yayınları 1 : 304-338, Denizli.

EK-1

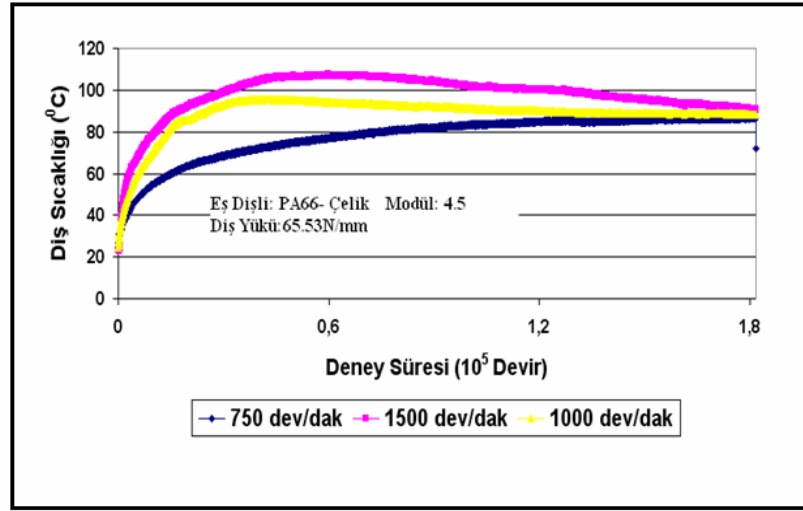
PA66-AISI 8620 ve PA66-PA66, ABS/PC-AISI 8620 ve ABS/PC-ABS/PC, PA66 GFR 30 + %2-AISI 8620 (modül 4.5 ve modül 3.5) Dişli Çark Yüzey Sıcaklık Grafikleri



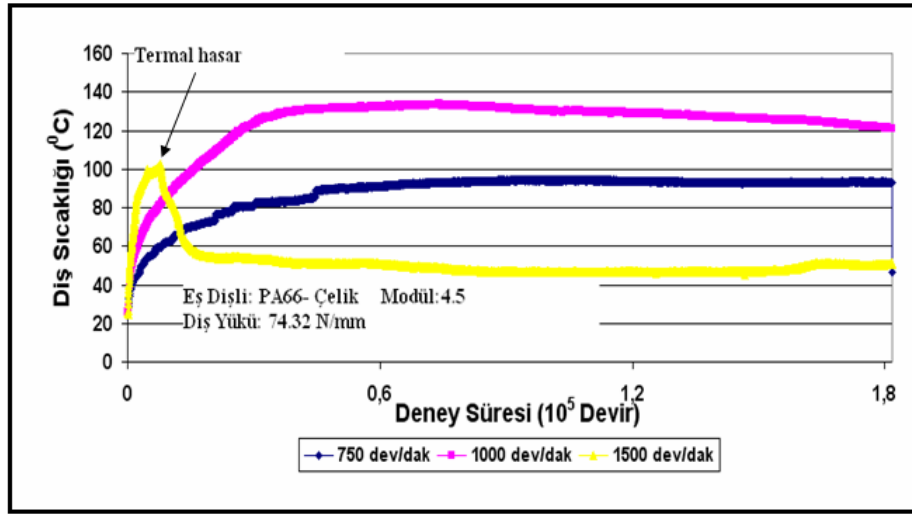
Ek-1.1 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA66-AISI 8620 Eş dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



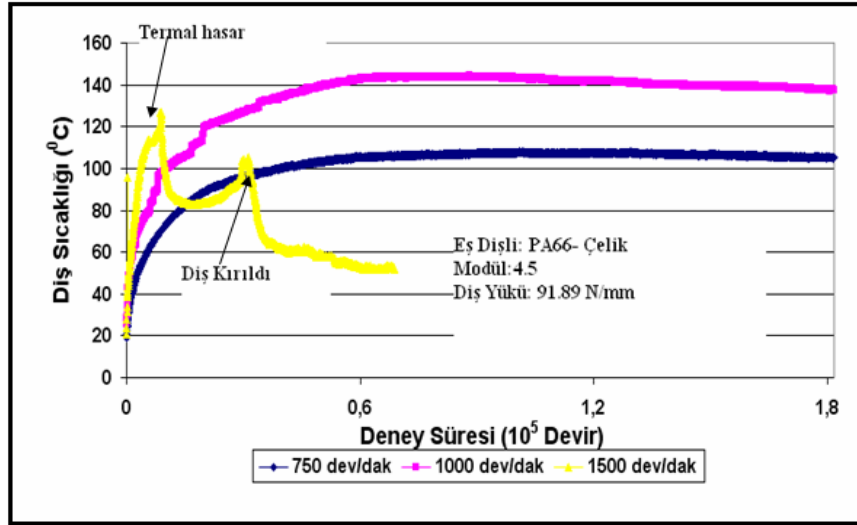
Ek-1.2 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA66-PA66 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



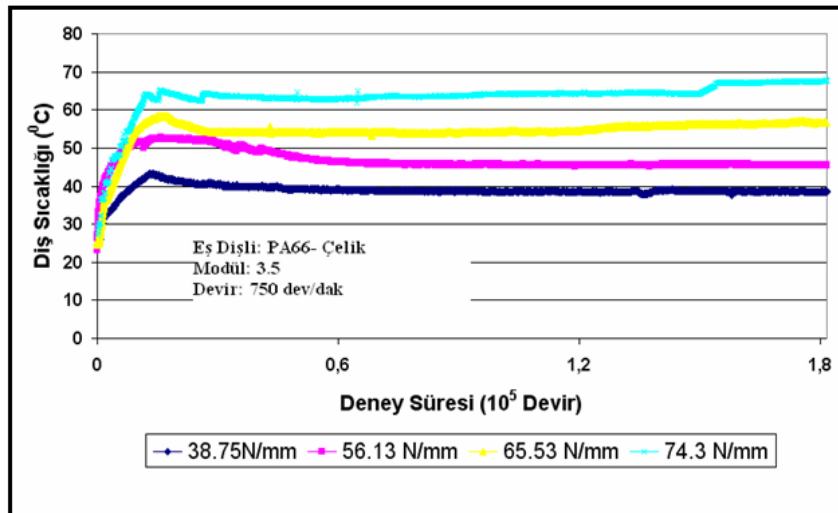
Ek.1.3. 65.53 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 PA66 GFR30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



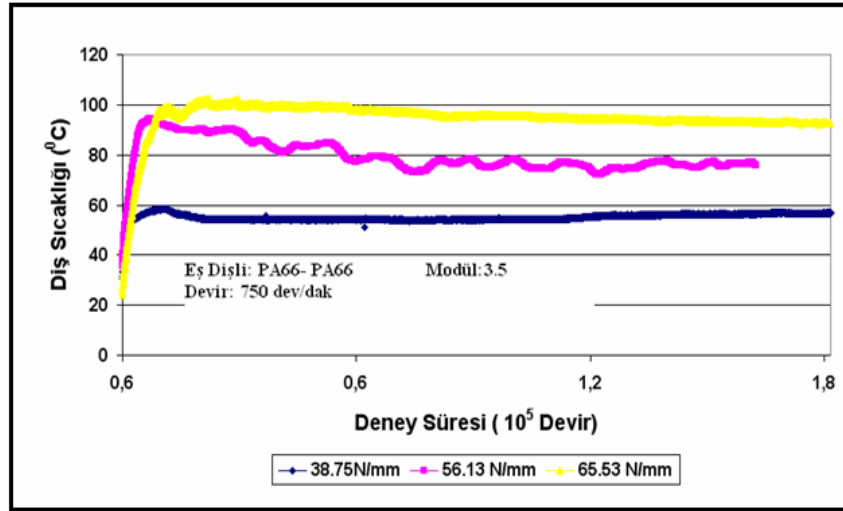
Ek.1.4. 74.32 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 PA66 GFR30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



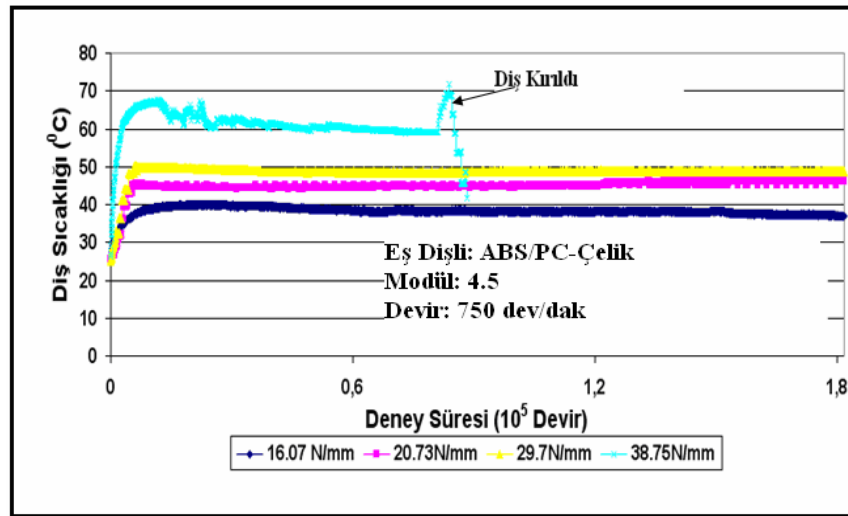
Ek.1.5. 91.89 N/mm diş yükünde farklı devirde modül 4.5 PA66 GFR30 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



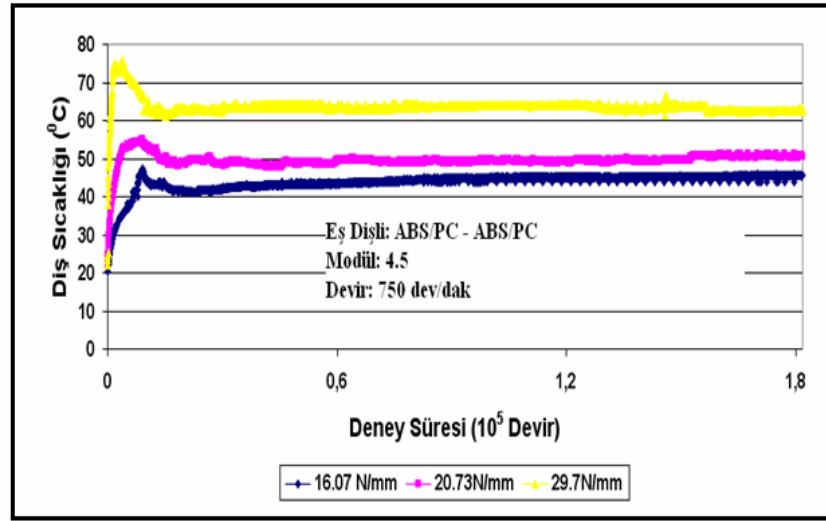
Ek.1.6. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 3.5 PA66-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



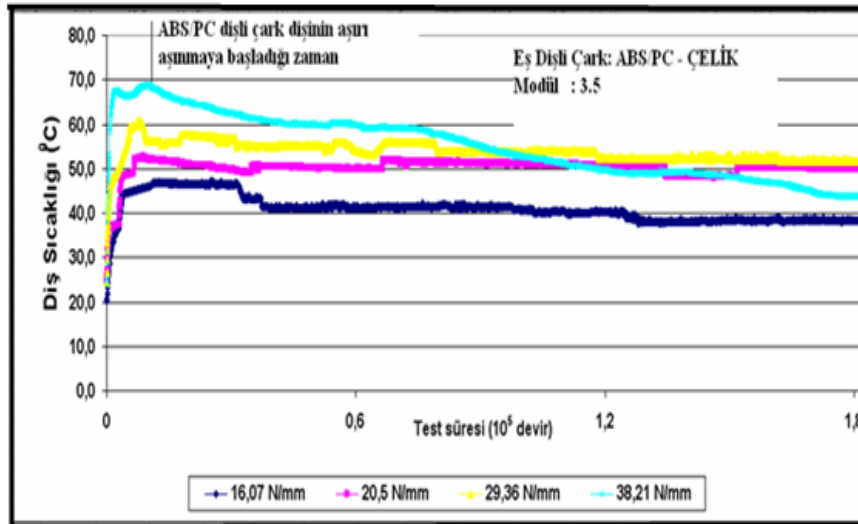
Ek-1.7. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 3.5 PA66-PA66 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



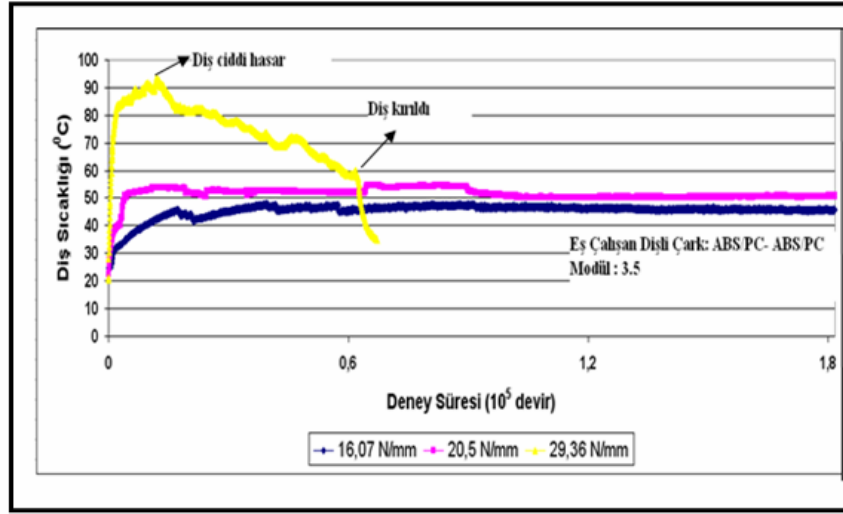
Ek-1.8. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 ABS/PC –AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



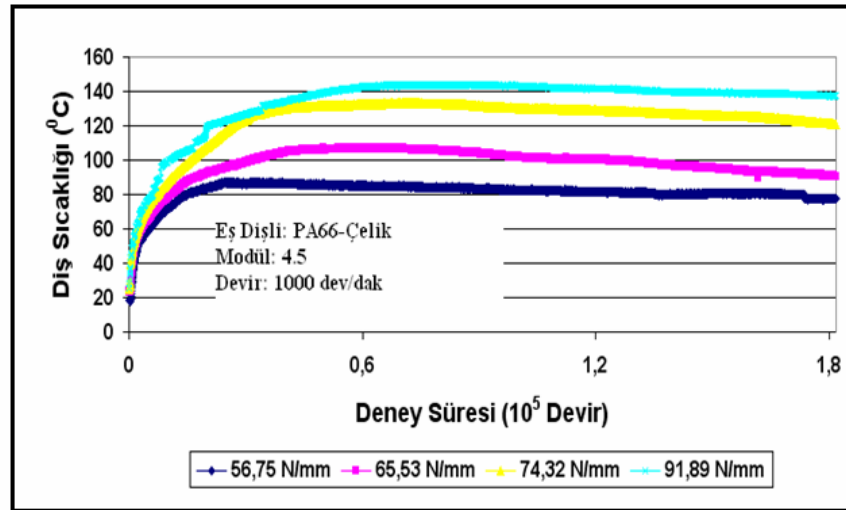
Ek-1.9. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 ABS/PC-ABS/PC diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



Ek-1.10. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 3.5 ABS/PC-AISI 8620 diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.



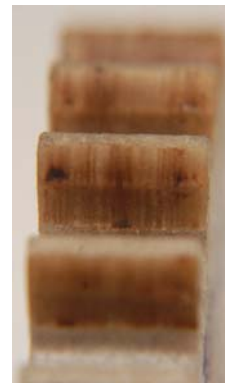
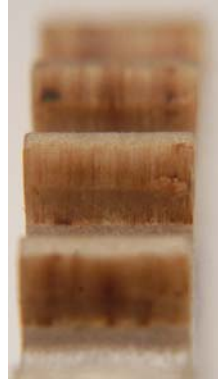
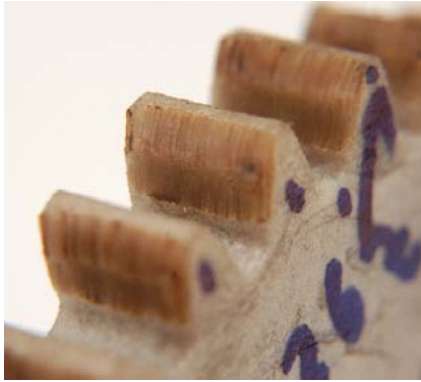
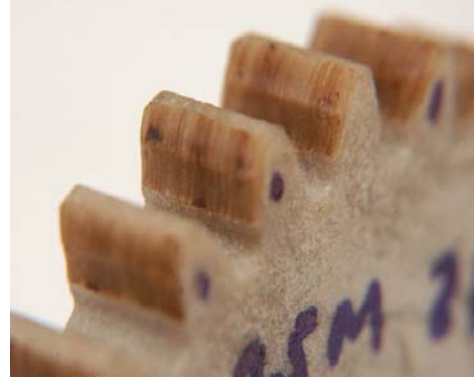
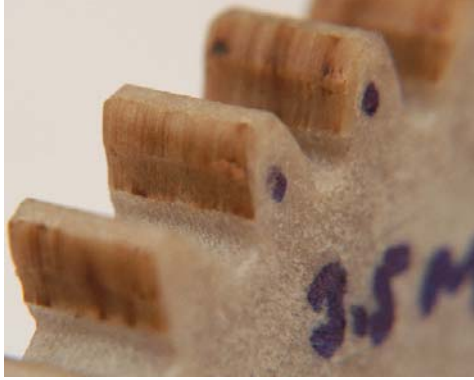
Ek-1.11. 750 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 3.5 ABS/PC-ABS/PC diş çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

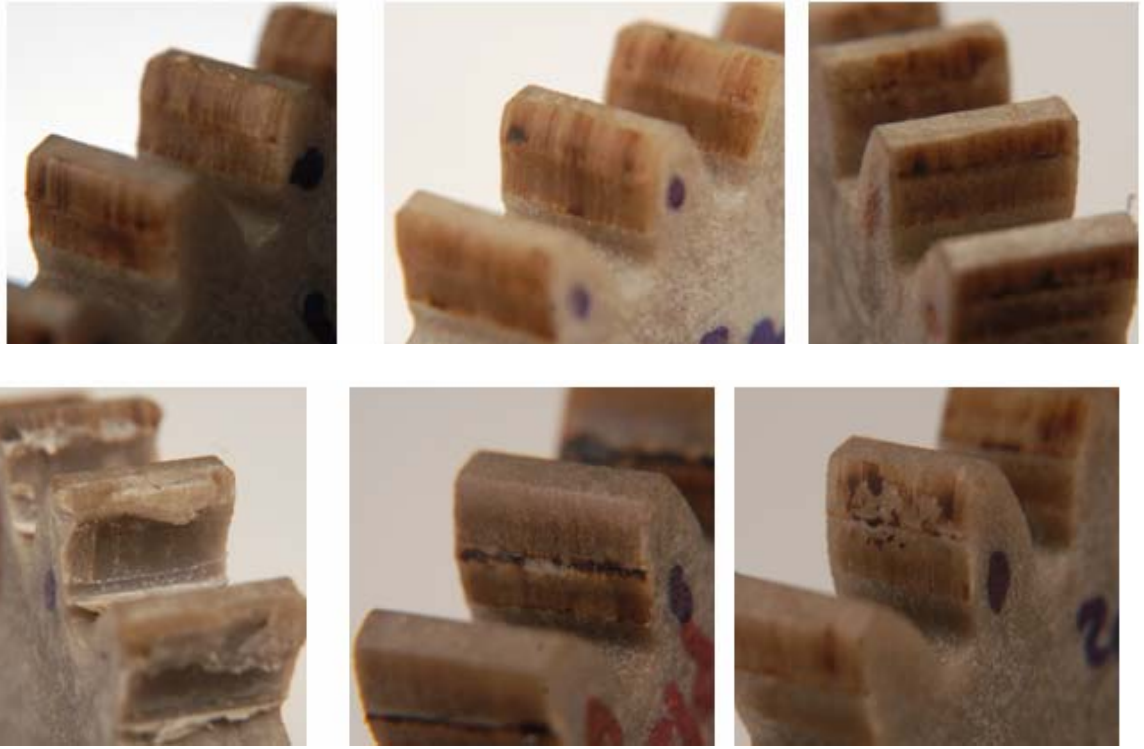


Ek-1.12. 1000 dev/dakikada farklı diş yüklerinde modül 4.5 PA66-AISI 8620 dişli çark diş yüzey sıcaklığındaki değişim.

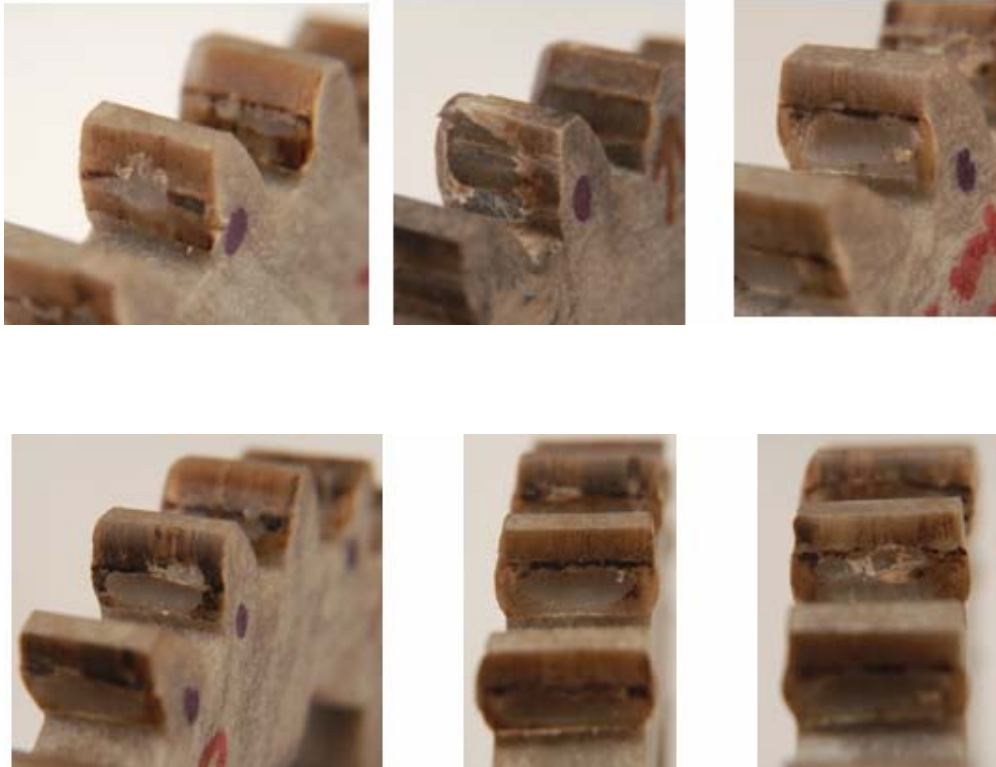
EK-2

PA66-AISI 8620 ve PA66-PA66, ABS/PC-AISI 8620 ve ABS/PC-ABS/PC, PA66 GFR 30 + %2-AISI 8620 (modül 4.5 ve modül 3.5) Çeşitli Dişli Hasarları



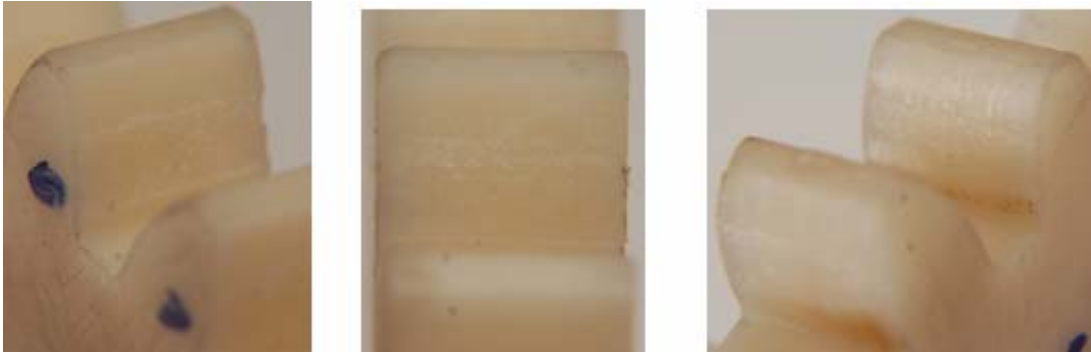
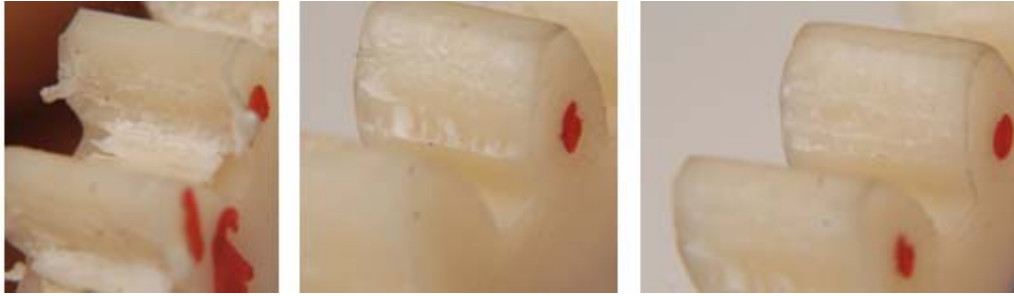


EK 2.1 Farklı devir ve diş yükünde PA 66 GFR 30 Modül 4.5 ve 3.5 Dişli çark dişinde meydana gelen aşınma hasar örnekleri





Ek.2.2 PA 66 GFR 30 Dişli çark dişinde meydana gelen termal hasar örnekleri



EK 2.3 Farklı devir ve diş yükünde ABS/PC Dişli çark dişinde meydana gelen aşınma hasar örnekleri

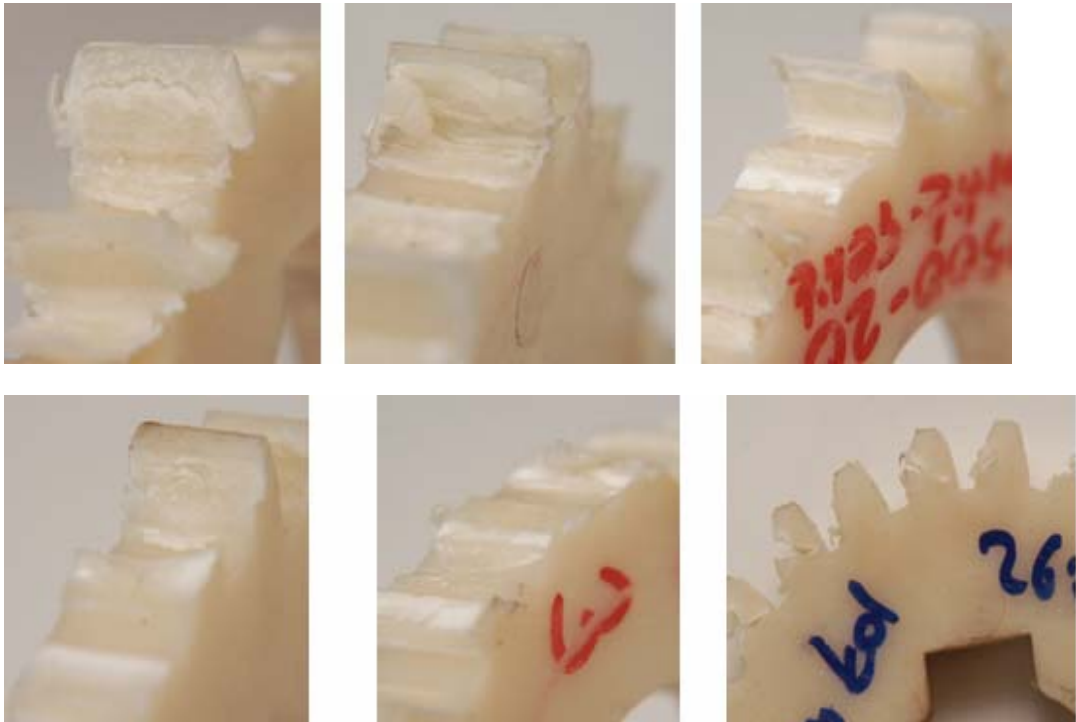


Ek.2.4 ABS/PC Dişli çark dişinde meydana gelen termal hasar örnekleri





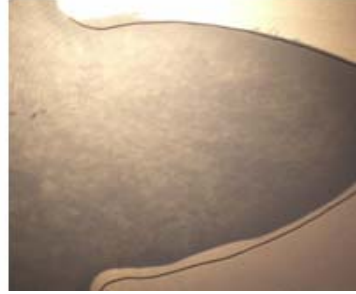
Ek.2.5 PA 66 GFR 30 Dişli çark dişinde meydana gelen diş kırılma hasar örnekleri



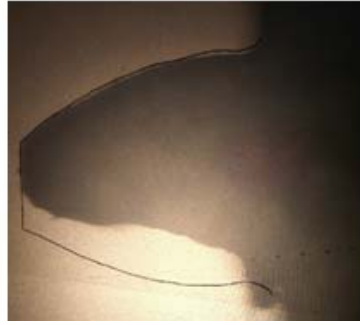
Ek.2.6 ABS/PC Dişli çark dişinde meydana gelen diş kırılma hasar örnekleri

EK.3.

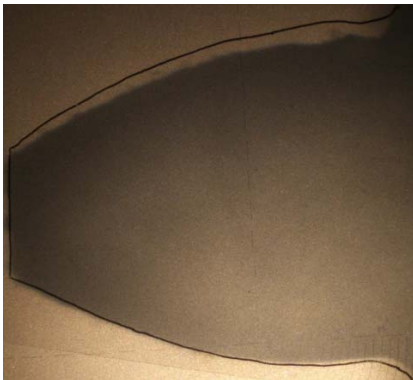
Diş profilinde meydana gelen aşınma derinliği

**a)****b)**

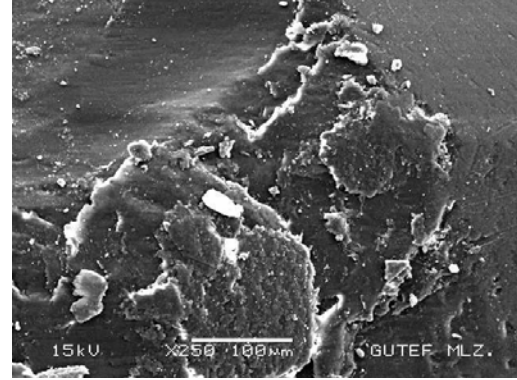
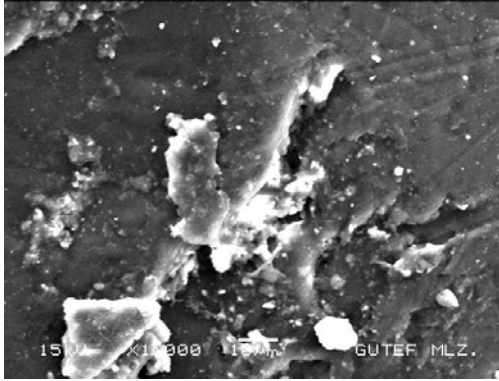
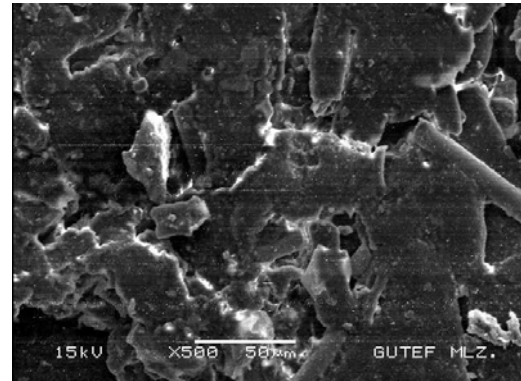
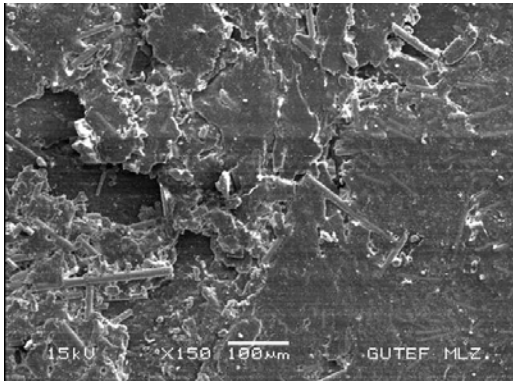
Ek 3-1 PA66 GFR30 –AISI 8620 eş dişli 750 dev/dak modül 4.5, a) 65,32 N/mm diş yükü, b) 74,32 N/mm diş yükü

**a)****b)**

Ek.3.2. PA66 GFR 30- PA66 GFR 30 eş dişli 1000 dev/dak modül 4.5, a) 65,53 N/mm diş yükü, b) 74,32 N/mm diş yükü

**a)****b)**

Ek.3.3. PA66 GFR 30- AISI 8620 eş dişli 750 dev/dak modül 3.5, a) 65,53 N/mm diş yükü, b) 38,75 N/mm diş yükü

EK-4**1. Çeşitli SEM Görüntüleri****Ek.4.1. ABS/PC-ABS/PC Çalışmalarının Çeşitli Sem Görüntüleri****Ek.4.1. PA 66 GFR 30 Çalışmalarının Çeşitli Sem Görüntüleri**

Ek.5**Tablo Ek.5.1.** Farklı yük ve devirlerde PA66 GFR30 ve ABS/PC dişli malzemesinde oluşan ağırlık kaybı

PA66-PA66 (Modül 4.5)			
Fn/b (N/mm)	750-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
39.18	0.1692	0.7687	1.2671
56.75	0.773	1.1226	2.00
65.53	1.598	2,4298	Diş kırıldı

PA66-PA66 (Modül 3.5)			
Fn/b (N/mm)	750-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
38.75	0,0126	0,568	0,9901
56.13	0,229	0,2185	Diş kırıldı
65.53	0,4049	0,6625	Diş kırıldı

PA66-AISI 8620 (Modül 4.5) (BORLU)			
Fn/b (N/mm)	75-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
56.75	0.0154	0,2887	0,7915
65.53	0.5643	0,7304	1,9884
74.32	0.8790	1,4027	2.0142
91.89	1.2314	Diş kırıldı	Diş kırıldı

ABS/PC-ABS/PC (Modül 4.5)			
Fn/b (N/mm)	750-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
16.07	0,9964	1,4909	1,9561
20.73	1,9344	2,3993	2.9834
29.7	2,4267	3,0277	Diş kırıldı

ABS/PC-ABS/PC (Modül 3.5)			
Fn/b (N/mm)	750-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
16.07	0,8425	1,8641	2,3171
20.5	1,6558	2,0122	Diş Kırıldı
29.36	Diş kırıldı	Diş kırıldı	Diş kırıldı

ABS/PC-AISI 8620 (Modül 4.5)			
Fn/b (N/mm)	750-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
16.07	0,7062	1,2895	1.5980
20.73	0.9768	1.5693	1.9845
29.7	1.2431	2.0683	Diş kırıldı
38.75	Diş kırıldı	Diş kırıldı	Diş kırıldı

ABS/PC-AISI 8620 (Modül 3.5)			
Fn/b (N/mm)	750-NET (gr)	1000-NET (gr)	1500-NET (gr)
16.07	0,7062	1,2895	1.5980
20.73	0.9768	1.5693	1.9845
29.7	1.2431	2.0683	Diş kırıldı
38.75	Diş kırıldı	Diş kırıldı	Diş kırıldı

EK-6

Tablo 6.3. ABS/PC'nin mekaniksel özellikleri

Türü	Standartları	Parametre Değerleri	Birim	Değerler
Özgül Ağırlığı	ASTM D792	-	g/cm ³	1.14
Kalıp Çekme Oranı	ASTM D955		%	0.5-0.8
Akma Dayanımı	ASTM D638	-	Kg/cm ²	570
			MPa	56
Boyca Uzama (sünme)	ASTM D638	-	%	>100
Bükme Dayanımı	ASTM D790	-	Kg/cm ²	840
			MPa	82
Bükme Modülü	ASTM D790	-	Kg/cm ²	22000
			MPa	2155
			10 ³ x psi	315
IZOD Etkisi Dayanımı	ASTM D256	23°C, Çentik Açılmış	Kg.cm/cm	60
			j/m	590
			Ft.lb/in	11
IZOD Etkisi Dayanımı	ASTM D256	-30 °C, Çentik Açılmış	Kg.cm/cm	45
			j/m	440
Rockwell Sertliği	ASTM D785	R-Ölçeği	-	114
Erime Akış İndeksi	ASTM D1238	250 °C 2.16kgf	g/10 min	7
Isıl Hata Sıcaklığı	ASTM D648	1.82 Mpa	°C	113

Tablo 6.4. Polyamid 66' nın mekaniksel özellikleri

	Birimi	DIN Standardı	Değer
Özgül Ağırlık	g/cm ³	53479	1,14
Servis Sıcaklığı	0 °C	53461	100
Ergime Noktası	0 °C	-	220
Termal Uzama	1/K*10 ⁵	53752	6-10
Çekme Dayanımı	N/mm ²	53455	60-70
Çekme Uzaması	%	53455	-
Kopma Dayanımı	N/mm ⁵	53455	80
Kopma Uzaması	%	53455	>50
Darbe Dayanımı	Kj/m ²	53453	-
Çentik Darbe Dayanımı	Kj/m ²	53453	4-25
Elastiklik Modülü	N/mm ²	53452	3000
Su Emme	%	53495	9-10
Hacimsel Direnç	W x cm	53482	>10 ¹⁶
Yüzeysel Direnç	W	53482	>10 ¹³
Dielektrik Dayanımı	KV/mm	53481	70-100
Aşınma (Islak Kum Test?)	%	58836	-
Shore	Skala D	53505	85
Rockwell	Skala	-	M85
Bilya Çentiği 358/30	N/mm ²	53456	70-150

