

POLİAMİD DÜZ DİŞLİLERİN DAYANIMINA YAY İLE
OLUŞTURULAN GERİLMELERİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS

Abdullah KOÇAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2010

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİAMİD DÜZ DİŞLİLERİN DAYANIMINA YAY İLE OLUŞTURULAN
GERİLMELERİN ETKİSİ**

Abdullah KOÇAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2010

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN danışmanlığında,
Abdullah KOÇAK tarafından hazırlanan
Poliamid Düz Dişlilerin Dayanımına Yay İle Oluşturulan Gerilmelerin Etkisi
başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca

...../...../.....

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Tez Danışmanı Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Üye Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Üye Doç. Dr. Yılmaz YALÇIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.
Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ONAY SAYFASI	i
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. DİŞLİ ÇARKLAR VE YAYLAR	7
3.1 Dişli Çarklar	7
3.1.1 Dişli çarkların ana boyutları	9
3.2 Düz Dişli Çarklar İçin Mukavemet Hesapları	11
3.2.1 Lewis eşitliği	13
3.2.2 Diş dibinden kırılmaya göre modül hesabı	15
3.2.3 Dişli çark malzemesinin yüzey basıncı hesabı	16
3.3 Yay Malzemeleri ve Hesapları	20
3.4 BS 6168 Standardına Göre Eğilme Gerilmesi Hesabı	23
4. PLASTİK DİŞLİLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	26
4.1 Plastik Dişli Çark Malzemeleri	27
4.1.1 Akrilonitril-bütadien stiren (ABS)	27
4.1.2 PC/ABC	27
4.1.3 Polyamid (Naylon)	27
4.1.4 POM-Derlin (Asetal-Polioksimetilen)	28
4.1.5 Kestamid (Cast Poliamid)	28
4.1.6 Polikarbonat	29
4.2 Dişli Yapımında Kullanılan Plastiklerin Özellikleri	29
4.3 Plastik Dişli Çarkların Kullanım Kriterler	31

4.4 Plastik Dişli Çarklar İçin Malzeme Çiftleri.....	32
4.5 Metal ve Plastik Dişli Çarkların Üretim Yöntemleri.....	33
4.6 Plastik Dişli Çarkların Hasar Mekanizmaları.....	34
4.6.1 Plastiklerin yorulması.....	35
4.6.1.1 Çatlağın oluşmasına bağlı olan yorulma.....	37
4.6.1.2. Isıl yorulma (Yumuşama hasarı).....	39
4.6.2 Plastiklerin viskoelastik davranışı.....	41
4.6.2.1 Plastiklerin sürünmesi.....	41
4.6.2.2 Plastiklerde gerilme gevşemesi.....	42
4.6.3 Plastiklerde Aşınma.....	43
4.6.4 Polimerlerin Kırılması.....	44
4.6 Plastik Dişli Çarkların Mukavemetlerini Arttırmak İçin Öneriler.....	45
4.6.1 Boyutsal değişiklikler.....	45
4.6.2 Malzemeye dayalı değişiklikler.....	46
4.7 Öngerilmenin Etkisi.....	47
5. MATERYAL METOT.....	49
5.1 Numunelerin Hazırlanması.....	49
5.2 Takviye Yaylar.....	50
5.3 Numunelerin Enjeksiyon Kalıplanması.....	50
5.4 Malzemenin Belirlenmesi.....	51
5.5 Deney Cihazı.....	52
5.6 Deney Cihazında Kullanılan Test Aparatı	54
6. BULGULAR.....	55
6.1 BS 6168'e Göre Yapılan Hesaplamalar.....	55
6.2 Deneylerin Yapılması.....	57
6.2.1 Statik kopma deneyleri.....	57
6.2.2 Yorulma deneyleri.....	58
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
8. KAYNAKLAR.....	66
9. ÖZGEÇMİŞ.....	69

10. EKLER.....	xii
Ek-1 Takviyeli Numunede 5,5 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi.....	xii
Ek-2 Takvisiz Numunede 5,5 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi.....	xii
Ek-3 Takvisiz Numunede 6,5 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi.....	xiii
Ek-4 Takviyeli Numunede 6,5 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi.....	xiii
Ek-5 Takviyeli Numunede 4 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi.....	xiv
Ek-6 Deneyleri TamamlananTakviyeli ve Takviyesiz Numunelerin Bir Kısımı.....	xiv
Ek-7 Statik Kopma Deneyleri Yapılmış Takviyeli ve Takviyesiz Numuneler.....	xv

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİAMİD DÜZ DİŞLİLERİN DAYANIMINA YAY İLE OLUŞTURULAN GERİLMELERİN ETKİSİ

Abdullah KOÇAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Plastik dişli çarkların sessiz çalışması, kendi kendine yağlama özelliği, korozyon direnci vb. özellikler nedeniyle çelik dişli çarklara göre üstünlükleri mevcuttur. Plastik dişli çarkların düşük yük taşıma kapasitesi, düşük ısı iletim katsayısı, diş yüzeyinde oluşan hasarlar gibi dezavantajları bulunmaktadır. Dişli çarkların kullanımlarındaki en büyük problem yorulma dayanımlarının düşük olmasıdır. Son yıllarda en çok tercih edilen plastik dişli çark malzemesi poliamiddir.

Enjeksiyon kalıplama öncesi 1,2 mm tel çapına sahip 7 sarımdan oluşan ve dış çapı 4.8 mm olan metal yaylar ön gerilme oluşturulmasında kullanılmış, kalıplama sonrası yaylar serbest bırakılmıştır. Deneylerde yay takviyeli ve takviyesiz olmak üzere 2 farklı numune kullanılmıştır. Numunelere statik kopma ve yorulma deneyleri yapılmış, BS 6168 standartlarına göre yapılan hesaplamalar ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak düşük yüklemelerde yay takviyesinin yorulma ömrünü uzattığı, buna karşılık yüksek yüklemelerde yay takviyesinin malzeme üzerinde negatif etkisinin olduğu belirlenmiştir.

2010, 69 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Yay takviyesi, Statik kopma, Yorulma dayanımı, Poliamid düz dişli çarklar

ABSTRACT

Post Graduate Thesis

EFFECT OF SPRING CAUSED TENSIONS TO THE RESISTANCE OF POLYAMYDE SPUR GEARS

Abdullah KOÇAK

Afyon Kocatepe University,

Institute for the Natural and Applied Sciences

Machine Education Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Plastic spur gears have superiorities compared to metal ones, due to their plastic substance, the feature of self lubrication, resistance against corrosion etc. The small capacity of carriage of plastic spur gears, the small number of their thermal conductivity, and damages occurring on their surfaces are their disadvantages. The biggest problem during usage of spur gears is their low fatigue strength. The most commonly preferred plastic spur gear in the last years is polyamyde.

Metal springs, consisting of an external diameter of 4.8 mm with a wire diameter of 1,2 mm and 7 windings, had been used by creating pretensioning, and the springs had been released after moulding. In the experiments, two different samples were used, of which one was with spring reinforcing and the other one without spring reinforcing. Experiments regarding statical rupture and fatigue had been undertaken, the results were compared with the calculations in accordance with BS 6168 standards, and it was observed, that the results were positive. Eventually, it was determined, that spring reinforcement expanded the life span of fatigue, although it has negative effects on substance in high loadings .

2010, 69 Pages

Keywords: Spring reinforcement, Statical rupture, fatigue strength, Polyamyde spur gears

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince, 107M603 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında bursiyer olarak çalışmamı sağlayan ve çalışmalarım süresince desteğini ve yardımlarını esirgemeyerek, bilgi birikimleriyle beni yönlendiren, Sayın Yrd. Doç. Dr. Hilal CAN SAYILGAN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamda her türlü desteğini esirgemeyen, hem bilimsel hem de kişisel yönlerini örnek aldığım ve onunla çalışmanın bir zevk olduğuna inandığım değerli hocam, danışmanım Sayın Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aynı zamanda araştırmalarım ve çalışmalarım esnasında yardımını esirgemeyen, ilgi ve alakasıyla bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, Sayın Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince manevi desteğini hiçbir zaman üzerimden esirgemeyen ve desteğiyle başarılarımda benden daha fazla hak sahibi olan sevgili aileme minnettarım.

Abdullah KOÇAK

KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	Akrilonitril/bütadien/stiren
LCP - SKP	Sıvı kristalli polimer
PA	Poliamid
PBT	Polibutilentereftalat
PE	Poliäten
PEEK	Poliether-etherketon
PET	Poliätilentereftalat
PMMP	Polimetilmetakrilot
POM	Polioksimäten
PP	Polipropilen
PPO	Polifenileoksit
PS	Polistiren
PSU	Polisülfonlar
PU	Poliüretan
PVC	Polivinilklorür

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 Kremayer dişlinin temel boyutları	10
Şekil 3.2 Diş üzerine etkiyen kuvvetler	11
Şekil 3.3 Dişte çalışma esnasında oluşan gerilmeler	13
Şekil 3.4 Kuvvetin temel dairesi üzerinden etkidiğinin kabul edilmesi	15
Şekil 3.5 İki silindirin temasında yüzey basıncı ve silindir merkezine doğru gerilme dağılımı	18
Şekil 3.6 Kremayer dişli ile düz dişlinin teması	19
Şekil 3.7 Yayların şematik olarak gösterimi ve temel büyüklükleri	22
Şekil 4.1 Enjeksiyon kalıplama makinesi	34
Şekil 4.2 Yorulmada yükün zamanla değişimi	36
Şekil 4.3 Yorulma için yüklemde özel durumlar	37
Şekil 4.4 Çeşitli plastiklerin Wöhler eğrileri	38
Şekil 4.5 Sabit genlikte değişken tekrarlanan yorulma gerilme aralığı	40
Şekil 4.6 Plastiklerin şekil değiştirme mekanizması	42
Şekil 4.7 Gerilme gevşemesi	43
Şekil 4.8 Plastiklerde çatlak oluşumu ve ilerlemesi	45
Şekil 4.9 Dişlide öngerilmenin toplam gerilmeye etkisi	48
Şekil 5.1 Modül 6 dişlinin boyutları	49
Şekil 5.2 Modelize edilmiş numunenin boyutları	49
Şekil 5.3 Yay ve pimler	50
Şekil 5.4 Enjeksiyon kalıplamada kullanılan kalıplar	51
Şekil 5.5 Poliamid 6'dan üretilmiş numuneler	51
Şekil 5.6 Poliamid 6'nın zincir halkası	52
Şekil 5.7 Deney cihazı ve ona bağlı olan test aparatı	53
Şekil 5.8 Numuneleri deney cihazına bağlamak için kullanılan aparat	54
Şekil 5.9 Test aparatını Instron marka çekme deneyi cihazına bağlanmış hali	54
Şekil 6.1 BS 6168 standardında verilen hesaplamaları yapmak için tasarlanan program	55
Şekil 6.2 Takviyesiz numunelerin eğme deneyi	57
Şekil 6.3 Takviyeli numunelerin eğme deneyi	58
Şekil 6.4 Hatalı üretilmiş numuneler	59
Şekil 6.5 Takviyeli ve takviyesiz numunelerden elde edilen deney sonuçları	61

Şekil 6.6 Logaritmik ekseninde takviyeli ve takviyesiz numunelerin deney sonuçları.....	62
Şekil 6.7 Takviyeli numunelerde ömür artışı.....	62
Şekil 6.8 Takviyeli numunede 4,8 kN gerilme genliğinde yük tekrar sayısına göre pozisyon değişimi.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1 Dişli çark çeşitleri.....	8
Çizelge 3.2 Yay tellerinden bazılarının minimum kopma mukavemeti.....	20
Çizelge 4.1 Dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri.....	29
Çizelge 4.2 Dişli yapımında kullanılan plastiklerin bazı fiziksel özellikleri.....	30
Çizelge 5.1 DIN 17223/84 normunda B sınıfı 1.0600 malzeme numaralı yaylık çelik tel.....	50
Çizelge 5.2 Dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri.....	52
Çizelge 6.1 BS 6168 standardından elde edilen çeşitli teğetsel kuvvete göre sınır çevrim sayısı.....	56
Çizelge 6.2 Statik kopma değerleri.....	57
Çizelge 6.3 Takviyeli ve takviyesiz numunelerle yapılan yorulma deneyleri.....	60

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 gereklidir.

Dişlilerde malzeme seçimi yapılırken yaygın olarak çelik, dökme demir, bronz kullanılmasına rağmen özellikle büro makineleri, küçük ev aletleri, gıda endüstrisi vb. sessiz çalışma gerektiren yerlerde gürültüsüz çalışma yanında hafif, korozyona dayanıklı, üretimi kolay ve seri üretimin ekonomik olması nedeniyle plastik malzemeler seçilmektedir. Plastik dişli çarklarda düşük sürtünme katsayıları aşınmayı minimuma indirmeye yardım eder. Plastik dişliler, ayrıca kendinden yağlamalı özelliklere sahip olmaları nedeniyle yağlama yapılmadan çalışabilirler (Can, 2004).

Plastik dişlilerin üretimi için kullanılan enjeksiyon kalıplama yöntemi hızlı ve ekonomiktir. Plastik dişliler genellikle son işleme ihtiyaç duyulmaksızın döküm haliyle kullanılabilirler. Buna karşılık aynı miktardaki güç iletimi için plastik dişliler metal dişlilere göre daha büyük boyutlarda olmalıdır.

Birbirini tahrik eden dişli çark çiftinde, tahrik eden diş dibinde dönme yönünde çeki ve diğer tarafta ise bası eğilme gerilmeleri oluşur. Bu değişken gerilme malzemenin belli bir devir sayısından sonra hasara uğramasına neden olur. Dişlilerde, belli bir devir sayısı yorulma limiti ve bu devir sayısına karşılık gelen gerilme de yorulma dayanımı olarak adlandırılır. Ancak plastik malzemelerin viskoelastik davranışları nedeniyle plastik malzemelerden yapılmış dişlilerin hasar mekanizmalarında yorulma yanında sürünme de etkilidir (Kohan, 1995).

Yay takviyesi ile öngerilme oluşturulmasına dair literatürde yer alan polipropilen dişliler konusundaki çalışma dışında yok denecek kadar az çalışma bulunmaktadır. Ancak polipropilen dişli malzemesi olarak kullanılmamaktadır. Ayrıca deneyler 0,75 Hz frekanslı Tequipment SM 100 yorulma da yapabilen çekme deney cihazında

gerçekleştirildiği için plastik dişlilerin hasar mekanizmalarından olan ısı yorulmasının etkisi gözlenememiştir. Bu çalışmada polipropilen numunelerde denenmiş olan plastik dişlilere enjeksiyon kalıplama öncesi çekilip kalıplama sonrası bırakılan yay takviyesinin sonuçları incelenmiştir (Can, 2004). Matriks malzeme olarak plastik dişli malzemesi olarak en çok kullanılan plastik türlerinden biri olan poliamid 6 alınmıştır.

Düz dişlilerin kalıp maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle kremayer dişlinin bir diş modelenmiştir.

BS 6168 Metal olmayan düz dişliler (Non-metallic spur gears) standardına göre diş dibinden kırılmaya bağlı eğilme gerilmesi hesabı yapılmıştır.

Tez kapsamında poliamid düz dişlilere yay takviyesi ve öngerilme yapılmasının ömür değerlerine etkisi incelenmiştir. Öngerilme oluşturmak için, enjeksiyon kalıplama öncesi 4 mm çekilen 1,2 mm tel çapına sahip 7 sarımlı yaylar, enjeksiyon kalıplama sonrası serbest bırakılmıştır. Sonuç olarak yüksek yüklerde takviye malzeme kullanımının negatif etki gösterdiği, ancak düşük yüklemeler için ise takviye malzeme kullanımı ile yorulma ömrünün uzadığı tespit edilmiştir. Sonuçlar BS 6168 standardına göre yapılan teorik hesaplamalarla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Yapılan tez 107M603 numaralı TÜBİTAK projesi ile paralel yürütülmüş, tez öğrencisi bu TÜBİTAK projesinde bursiyer olarak çalışmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Plastik dişlilerin düşük dayanım değerlerini arttırmak için literatürde yapılmış çalışmalar boyutsal değişiklikler ve malzemeye dayalı değişiklikler şeklinde iki ana başlık altında toplanabilir (Can, 2004).

Boyutsal Değişiklikler:

Boyutsal değişiklikler, dişlinin temel büyüklüklerinin değiştirilmesi ya da tamamen profilin değiştirilmesi şeklinde olabilir. Plastik dişlilerin ömrünü arttırmak 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 de diş dibi kalınlığı değiştirilebilmektedir. Silecek motoru tasarımında dişli profili değiştirilerek yorulma dayanımının arttığı belirlenmiştir. Plastik dişli çarkın dişleri daha kalın ve daha geniş olarak düşünülerek dişli kutusunun %50 daha fazla moment taşıması sağlanmıştır (Bırley, 1988).

Diş modifikasyonunun temas anında dişe gelen yüklere göre, temas çizgisi boyunca kalınlığın artırılması prensibine göre yapılan çalışmada diş boyunca ısının düştüğü ve ısı yorulmanın ortadan kalktığı belirlenmiştir (Düzcükoğlu, 2009-1).

Poliamid dişlilerde havalandırma kanalları açılarak yapılan çalışmada dişte oluşan sıcaklıkların düşürüldüğü ve ısı yorulmanın oluşmadığı bulunmuştur (Düzcükoğlu, 2009-2).

Malzemeye Dayalı Değişiklikler

Malzemeye dayalı değişiklikler ise yüksek dayanımlı malzeme seçilmesi ya da takviye malzeme kullanımı şeklindedir.

Yüksek Dayanımlı Malzeme Seçimi

Dayanımı daha yüksek bir malzemenin kullanılması ile yorulma dayanımında artış gözlenmektedir. Ancak bu çoğu zaman fiyat artışını da beraberinde getirmektedir (Can, 2004).

SKP (sıvı kristalli plastik) dişliler enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilmiş, dişli ömrü, dişlerdeki aşınma, diş profili değişimleri ölçülerek, poliasetal dişlilerin aynı şartlarda test edilmesi ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır (Tsukamoto, 1995-1). Dişlilerde kullanıldıklarında mükemmel performans gösteren yüksek mekanik dayanımlı MC poliamidin (naylonun) ömür, aşınma deneyleri yapılmıştır. Naylonun diğer bir çeşidi olan MXD 6 naylon için de eğme yorulması deneyleri gerçekleştirilmiştir (Tsukamoto, 1996, Tsukamoto, 1989). Poliimid dişliler ile yapılan deneyler bu dişlilerin yüksek sıcaklık ortamlarında mükemmel özellikler gösterdiklerini ortaya koymuştur. Bu dişlilerin üretim maliyetlerinin fazla olması nedeniyle yüksek dayanım, iyi bir ısı dayanımı ve ekonomik olan aramidlerle yapılan dişlilerle aynı deneyler yapılarak bu iki malzemeye ait tasarım verileri tanımlanmıştır. Deneyler iki atmosferik çevrede oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir (Tsukamoto, 1993, Tsukamoto, 1995-2).

Takviye Malzeme Kullanımı

Takviye malzeme kullanımı farklı bir plastiğin ana malzemeye takviyesi ve farklı malzemenin takviyesi şeklinde olduğu belirlenmiştir. %50 poliasetal ve %50 poliüretan içeren malzemeden yapılmış dişlilerin poliasetal dişlilerden daha düşük gürültülü çalışmasına rağmen dayanım açısından bir artış sağlanmamıştır (Tsukamoto, 1995-3). Poliamid 6 ve SKP oluşan kompozitin düşük yüklemelerde iyi performans gösterdiği, optimum SKP oranı, ergiyik için optimum sıcaklık bulunmuştur (Krukawa, 1999). %30 SKP içeren poliamid 6'ya epoksi ilavesi ile asetal dişlilere göre 1,2 katlık dayanım artışı tespit edilmiştir. %10 dan daha fazla oranda başka bir plastikte takviye edilen poliamidin gürültüyü azalttığı ancak diş aşınması ve ömürlerinin azaldığı belirlenmiştir (Tsukamoto, 1991). Politetrafloretillen (PTFE) takviyesi yapılan poliamid 66 ve poliasetalin aşınma ve sürtünme performanslarının takviyesiz polimerlere göre daha

üstün olduğu belirlenmiştir. PTFE takviyesi kullanımıyla takviyesiz poliamid 66'da görülen yüzey kırılması engellenmekte ve sürtünme düşmektedir (Rao, 1998).

Ek malzeme takviyesi olarak en fazla takviye malzeme olarak karbon elyaf ve cam elyaf kullanılmaktadır. %30 karbon elyaf takviyeli poliamid, %35 cam elyaf takviyeli poliamid ve %35 cam elyaf takviyeli MoS₂ içeren poliamid ve takviyesiz poliamidden yapılmış dişliler belli test karakteristikleri altında deneye tabi tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda 20-45 Nm arasındaki momentlerin 10 milyon devirden fazla devir sayıları için plastik dişliler yoluyla iletilebileceği, yağlama şeklinin yorulma dayanımını oldukça etkilediği, cam elyaf takviyeli poliamid dişlilerin çelik dişlilerle eşlenmelerinde kabul edilemez aşınma oluştuğu, MoS₂ ilavesinin aşınmayı azalttığı ve karbon elyaf takviyesinin kabul edilebilir aşınmayla yüksek moment iletimine izin verdiği bulunmuştur. Naylon 6 dişlilerin karşılaştırmalı yorulma dayanımları incelenmiştir. Farklı takviyelerle enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş naylon 6 dişlilerin Wöhler eğrileri çeşitli yağlama durumları altında (kuru, gres, püskürtme ile yağlama) ve farklı eşleme kombinasyonları (plastik/plastik ve çelik/plastik dişliler) için belirlenmiştir (Crippa, 1995). Tsukamoto ve arkadaşları, poliasetal ana malzemeye cam elyaf, karbon elyaf ve potasyum titanat takviyeleri ile elde edilen kompozit dişlilerde diş aşınması, diş yüzeyindeki sıcaklık, diş profilinin değişimi ve gürültü seviyesini incelemişlerdir (Tsukamoto, 1993-2). Polikarbonat dişlilere çeşitli takviyeler ve poliasetale rijitliği arttırırken kaymayı düşüren talk takviyesi ile yorulma dayanımlarındaki değerlerin değişimi incelenmiştir (Gosavi, 1996, Tsukamoto, 1997).

Polipropilen matriks içerisine enjeksiyon kalıplama öncesi çekilip, enjeksiyon yapıp katılaşma gerçekleştikten sonra bırakılan yaylar ile diş dibinde belli miktarda öngerilme oluşturulması düşünülmüştür. Takviyeli ve takviyesiz olarak üretilmiş dişliler dakikada 45 devir yapan test cihazında deneye tabi tutulmuş ve aynı gerilme genliği altında öngerilmeli dişlilerde 30 kata kadar ömür artışı elde edilmiştir. Öngerilme verilmeksizin yapılan yay takviyesi ile statik kopma mukavemetinin %30'a kadar arttığı tespit edilmiştir (Can, 2004).

Plastiklerin çoğu, çatlağın yayılmasından değil; iç sürtünmeden meydana gelen ısı ve bu ısının dışarıya iletilmemesi nedeniyle malzeme bünyesinde oluşan yumuşama ile hasara

uğramaktadır. Plastiklerin viskoelastik özelliğinden dolayı değişken zorlamalarda gerilme ile şekil değiştirmeler aynı fazda değildir; şekil değiştirmeler gerilmelerin gerisinde kalmaktadır. Faz farkının değeri plastiklerin cinsine göre büyük ölçüde değişmektedir. Gerilme ile şekil değiştirme arasındaki faz farkının sonucu olarak her yük tekrarlanmasında, uygulanan mekanik enerjinin bir bölümü ısıya dönüştürülüp kaybolmaktadır. Bu kayıp histerezis kaybını

ifade etmektedir. Her yük tekrarlanmasında meydana gelen ısı histerezisinin büyüklüğü, uygulanan gerilmeye ve malzemenin kayıp uygunluğuna (J_2) bağlıdır. Plastikler düşük ısı iletkenliğine sahip olduklarından tekrarlanan yüklemelerde oluşan ısının büyük bir kısmı dışarıya iletilmemekte ve her yük tekrarlanmasında kalan ısılar toplanmaktadır. Malzemede ısının oluşumu, sıcaklığın belirli bir değere yükselmesinden sonra oluşan ısı; kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile dışarıya iletilen ısı ile eşitlenirse; ısı dengesi kurulur ve sıcaklık sabit kalır. Bu durumda sıcaklığın etkisi altında malzeme dayanımında ve rijitliğinde bir azalma meydana gelir; ancak malzeme düşük değişken gerilmeleri taşıyabilir. Oluşan ısı, dışarıya iletilen ısıdan daha büyük olduğunda sıcaklık devamlı artar. Sıcaklığın belli değerinde, malzeme özellikleri bozulur, yükü taşıyamaz hale gelir ve hasara uğrar. Buna *ısı yorulma veya yumuşama hasarı* denir. Yüksek kayıp uygunluğuna ($J_2 > 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$) sahip plastikler, ısı yorulma göstermektedirler. Bu gruba polipropilen, polietilen ve naylon girmektedir (Kohan, 1995).

Yay takviyesi ile öngerilme oluşturulmasına dair literatürde yer alan polipropilen dişliler konusundaki çalışma dışında yok denecek kadar az çalışma bulunmaktadır. Ancak polipropilen dişli malzemesi olarak kullanılmamaktadır. Ayrıca deneyler 0,75 Hz frekanslı Tequipment SM 100 yorulma da yapabilen çekme deney cihazında gerçekleştirildiği için plastik dişlilerin hasar mekanizmalarından olan ısı yorulmanın etkisi gözlenememiştir (Can, 2004). Bu çalışmada polipropilen numunelerde denenmiş olan plastik dişlilere enjeksiyon kalıplama öncesi çekilip kalıplama sonrası bırakılan yay takviyesinin sonuçları incelenmiştir. Matriks malzeme olarak plastik dişli malzemesi olarak en çok kullanılan plastik türlerinden biri olan poliamid 6 alınmıştır.

3. DİŞLİ ÇARKLAR VE YAYLAR

3.1 Dişli Çarklar

Dişli çark mekanizmaları, güç ve hareket iletim elemanı olarak kullanılır. Güç şekil bağına dayalı olarak iletilir. Dişli çark mekanizmaları, bir milden diğer bir mile hareket ve güç iletiminde; devir sayısını küçültüp büyütmek ve momenti değiştirerek iletmek için kullanılır.

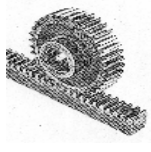
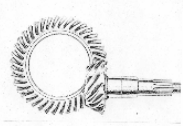
Bir dişli çark mekanizması, biri döndüren diğeri döndürülen çark olmak üzere en az iki çarktan oluşmaktadır. Bu iki dişliden küçük olanına Pinyon, büyük olanına Çark adı verilir (Rende H, 1997).

Eksenleri aynı düzlemde paralel olan iki mil arasında güç ve devir ileten çarklara silindirik veya alın dişli çarklar denir. Dişlerin yönü çark eksenine göre paralel ise düz silindirik çarklar olarak adlandırılır.

Silindirik düz dişli çarklar için ifade edilen temel kavramlar genel bir anlam taşımaktadır. Bu nedenle diğer dişli çarklar için de geçerlidir ve elde edilen denklemler az bir değişiklik ile diğer dişli çarklara da uygulanabilir.

Dişli çarklardan birisinin yarıçapı sonsuz ise bu tip dişliler düz kremayer olarak adlandırılır. Dişlerin yönü çark eksenine ile belli bir açıda ise helisel, birbirine dik düzlemlerde hareket ileten dişli çarklara da konik dişli çarklar denilmektedir (Çizelge 3.1) (Rende H, 1997).

Çizelge 3.1 Dişli çark çeşitleri (Can, 2004).

Dişli çark adı	Özelliği	
Silindirik düz	İki dişli çarkın eksenleri birbirine paralel ve diş eksenleri de aynı yönde	
Silindirik helis	İki dişli çarkın eksenleri birbirine paralel ve diş eksenleri çark eksenine göre eğik	
Ok	Dişli çark eğim açıları birbirine ters iki helis	
Kremayer	Dişli çarklardan birisinin yarıçapı sonsuz	
Konik	Dişli çarkların eksenleri birbirini kesiyor. Diş eksenleri çark ekseni ile aynı düzlemde ise düz konik , çark eksenine göre eğik ise helisel konik	
Hipoid	Konik dişli çark eksenleri birbirini kesmiyor	
Spiral	Dişli çark eksenleri aynı düzlemde değil	
Sonsuz vida	Dişli çark eksenleri uzayda birbirine dik	

3.1.1 Dişli çarkların ana boyutları

Üzerinde dişlerin bölümünün yapıldığı ve esas dişli çarkın büyüklüğünü belirleyen daire bölüm dairesidir. Bu daire üzerinde ölçülen ve bir diş kalınlığı ile bir diş arası boşluğu kapsayan uzunluğa diş adımı (p) veya hatve denir. Silindirik düz dişli çarklarda; Z ile dişli çarkın diş sayısı gösterilirse, taksimat dairesinin çapı;

$$\pi.d = Z.p \quad (3.1)$$

şeklinde yazılır. Burada, taksimat değerinin çapı,

$$d = \frac{p}{\pi} Z \quad (3.2)$$

dır. Adıma bağlı olarak modül,

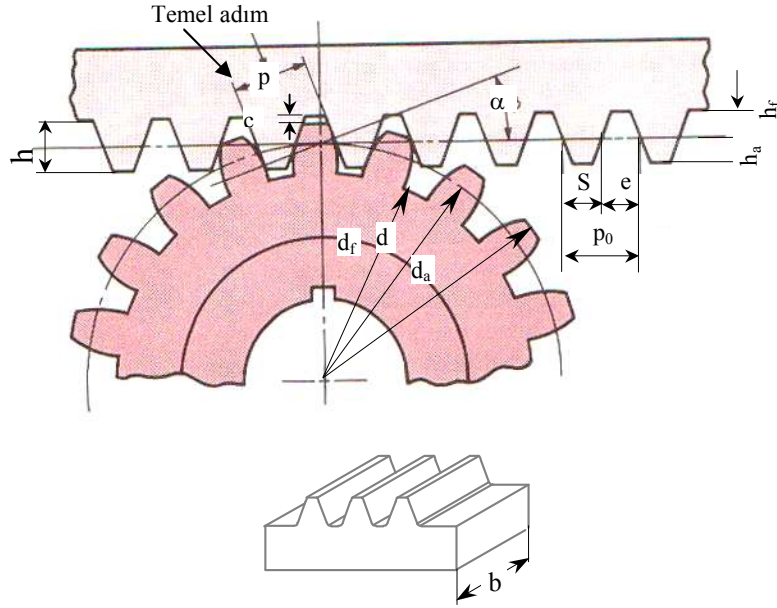
$$m = \frac{p}{\pi} \quad (3.3)$$

şeklinde olup bu değer “Eş. 3.2” de yerine yazılırsa,

$$d = m . Z \quad (3.4)$$

olur. Modül değerleri standartlaştırılmıştır. Standart olan modül dağılımına (Can, 2004) den ulaşılabilir.

Şekil 3.1’de kremayer dişlinin temel boyutları gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kremayer dişlinin temel boyutları (Rende H, 1997).

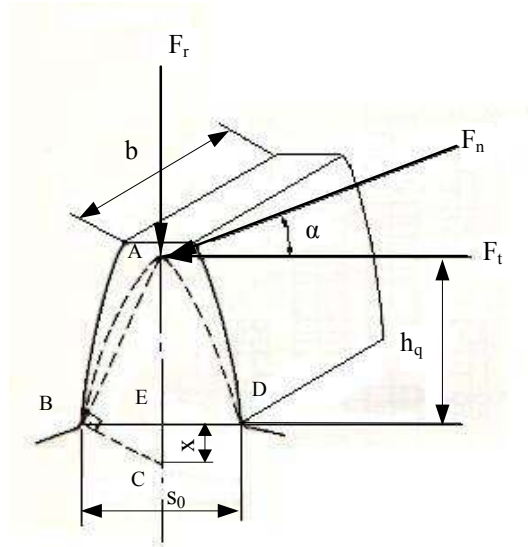
Şekil 3.1'deki diğer diş boyutları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Can, 2004).

d_a	: Diş üstü çapı	(mm)	$(d_a = d + 2.m)$
d_f	: Diş dibi çapı	(mm)	$(d_f = d + 2,5.m)$
d	: Taksimat dairesi çapı	(mm)	$(d = m.Z)$
h_a	: Diş başı yüksekliği	(mm)	$(h_a = m)$
h_f	: Taban yüksekliği	(mm)	$(h_f = 1,25.m)$
$h = (h_a + h_f)$	: Diş yüksekliği	(mm)	$(h = 2,25.m)$
$p = \pi. m$	: Taksimat, adım	(mm)	
s	: Diş kalınlığı	(mm)	$\left(s = \frac{p}{2} = \frac{\pi.m}{2} \right)$
e	: Dişler arasındaki boşluk	(mm)	
b	: Diş genişliği	(mm)	
c	: Diş dibi boşluğu	(mm)	$(c = 0,25.m)$
α	: Kavrama açısı		

Kremayer dişli çarklar, standart olarak 20° ve 14° kavrama açlarına sahip olarak üretilmektedir.

3.2 Düz Dişli Çarklar İçin Mukavemet Hesapları

Şekil 3.2’de görülen dişli çarkta kuvvet, dişin üstünden etki etmektedir. A noktasına etki eden F_n normal kuvveti sırasıyla teğetsel ve radyal bileşenleri olan F_t ve F_r kuvvetlerine ayrılır.



Şekil 3.2 Diş üzerine etkiyen kuvvetler (Can, 2004).

Ancak gerçekte dişe gelen F_n kuvvetini artıran veya azaltan etkiler vardır ki bu etkilerin de hesaba katılması gerekir. Bu etkiler şunlardır:

1. *İşletme faktörü (K_f)*: Dişli çarkın üzerinde bulunduğu makinenin darbeli çalışıp çalışmama şartlarına bağlı olarak F_n kuvveti artar.
2. *Hız faktörü (K_v)*: Çevresel hızın miktarı ve dişli imalat hatalarına bağlı olarak F_n kuvveti artar.

3. *Kuvvet dağılım faktörü (K_m)*: Diş boyunca kuvvetin dağılışı teorik olarak homojen kabul edilir. Dişli çarkın imalat hatası, yataklama hatası, diş genişliği gibi etkiler kuvvetin homojen dağılmasına mani olur.

4. *Kavrama oranı faktörü (K_ϵ)*: Yukarıda bahsedildiği gibi kavrama esnasında ancak belirli bir aralıkta F_n etki eder. Kavrama başlarken ve biterken daha küçük bir F_n etki eder. $K_\epsilon = 1$ alınır ise emniyetli hesap yapılmış olur.

Bu faktörlerin hepsi hesaba katıldığında bölüm dairesi üzerindeki temas anında diş zorlayan kuvvet

$$F_{nc} = F_n \cdot K_i \cdot K_v \cdot K_m \cdot K_\epsilon \quad (3.5)$$

olacaktır.

“Eş. 3.5”de;

F_{nc} : Temas anında diş zorlayan kuvvet (N)

K_i : İşletme faktörü

K_v : Hız faktörü

K_m : Kuvvet dağılım faktörü

K_ϵ : Kavrama oranı faktörü

olarak alınmaktadır.

Malzemenin emniyet gerilmesini de artıran ya da azaltan boyut faktörü, çentik faktörü, yüzey kalitesi faktörü gibi etkilerin düşünülmesi gerekir. Bu faktörler aşağıda verilmiştir.

Diş dibinin emniyetli dayanım değeri,

$$\sigma_{em} = \frac{K_b \cdot K_y \cdot K_s}{K_\phi} \sigma_{eDal} \cdot \frac{1}{S} \quad (3.6)$$

bağıntısı ile hesaplanır. “Eş. 3.6”de:

σ_{em} : Emniyet gerilmesi (MPa)

K_b : Boyut faktörü.

K_y : Yüzey kalitesi faktörü.

K_s : Sağlama faktörü.

K_ϕ : Çentik faktörü

σ_{eDal} : Dalgalı değişken eğme gerilmesi (MPa)

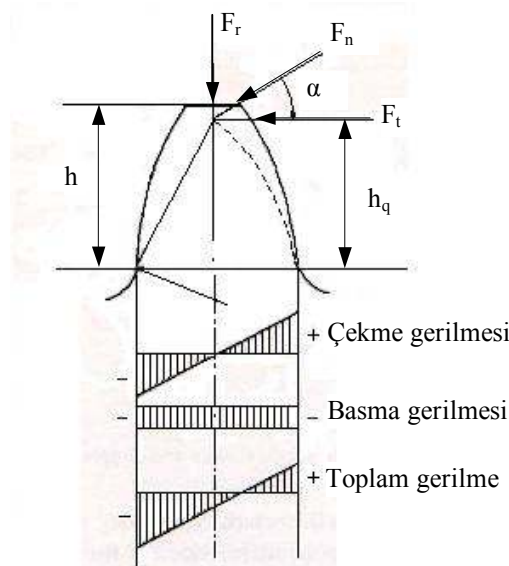
S: Emniyet katsayısıdır.

Emniyetli tasarım için $\sigma_{eDal} \leq \sigma_{em}$ olmalıdır (Rende H, 1997).

3.2.1 Lewis eşitliği

Dişlide en büyük zorlanma F_n kuvvetinin diş tepesine temas ettiği anda meydana gelir.

Dişlide meydana gelen gerilmeler Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Dişte çalışma esnasında oluşan gerilmeler (Rende H, 1997)

Diş dibinde, kesme, eğme ve basma gerilmeleri meydana gelir. Kesme gerilmesi yüzeyde sıfır olduğundan hesaba katılmaz. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi bası gerilmesi, eğilmeden dolayı meydana gelen çekiye çalışan normal gerilmeyi azaltmaktadır. Bundan dolayı bası gerilmesi hesaba katılmayabilir. Netice olarak diş sadece eğme gerilmesi zorluyor kabul edilebilir. Bu durumda meydana gelen eğme gerilmesi:

$$\sigma_e = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{F_t \cdot h_q}{\frac{b \cdot s_o^2}{6}} = \frac{6F_n \cdot \cos \alpha \cdot h_q}{b \cdot s_o^2} \quad (3.7)$$

ile hesaplanır.

“Eş. 3.7”’de;

M: Eğme momenti (Nmm)

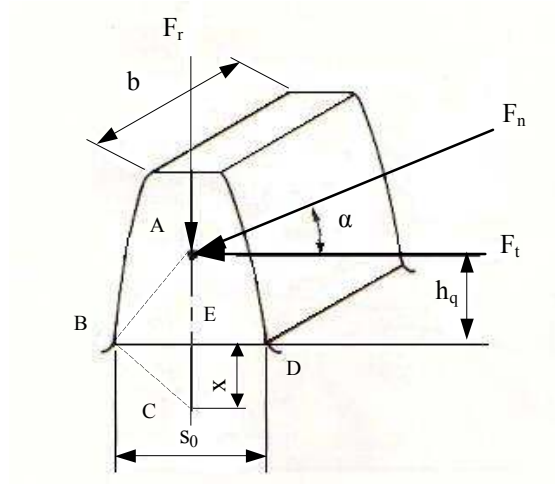
I: Atalet momenti (mm⁴)

h_q: Nominal yükseklik (mm)

s_o: Nominal kalınlık (mm)

şeklindedir.

Şekil 3.4’de kuvvetin temel dairesi üzerinden etkidiği varsayılmıştır. 2. diş temastan ayrılmış ve yük tamamen bu diş üzerine şekilde görüldüğü gibi etkimektedir. Bu durumda da Lewis eşitliği aynıdır. Lewis eşitliğinin bu şekli boyutları ve ağırlığı düşürecek, çünkü eğilme momenti için diş merkezi alındığı için gerçek gerilmeden daha küçük gerilme kullanılmaktadır (Rende H, 1997).



Şekil 3.4 Kuvvetin temel dairesi üzerinden etkidiğinin kabul edilmesi (Can, 2004).

“Eş. 3.7”nin pay ve paydası m ile çarpılır ve düzeltme faktörü (K_d)

$$K_d = \frac{6m \cdot \cos \alpha \cdot h_q}{s_o^2} \quad (3.8)$$

tanımı yapılır ise “Eş. 3.7”;

$$\sigma_e = \frac{F_n}{b \cdot m} \cdot K_d \quad (3.9)$$

şeklinde yazılır (Rende H, 1997).

3.2.2 Diş dibinden kırılmaya göre modül hesabı

Zorlamayı artıran etkileri de hesaba katarak “Eş. 3.10”deki diş dibinde meydana gelen eğme gerilmesi;

$$\sigma_e = \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot K_d \cdot K_i \cdot K_v \cdot K_m \quad (3.10)$$

olarak elde edilir.

Dişli zorlayan gerilme bağıntısında, zorlama gerilmesi yerine emniyet gerilmesi ve

$$\sigma = \frac{2M_b}{d_o} = \frac{2M_b}{m \cdot Z} \quad (3.11)$$

$$b = \psi_m \cdot m \quad (3.12)$$

Burada, ψ_m : genişlik katsayısıdır.

“Eş. 3.10”da, “Eş. 3.11”ve “Eş. 3.7” değerleri yerine yazılıp düzenleme yapılarak m çekilir ise diş dibinden kırılmaya göre emniyet gerilmesi:

$$\sigma_{eDal} = \frac{2M_b \cdot K_i \cdot K_v \cdot K_m \cdot K_d}{\psi_m \cdot Z \cdot m^3} \leq \sigma_{em} \quad (3.13)$$

şeklinde elde edilir (Rende H, 1997).

3.2.3 Dişli çark malzemesinin yüzey basıncı hesabı

Çizgi veya nokta şeklinde temas eden yüzeylerde kontak yorulması meydana gelir. Bu tip yorulma önemli olarak, dişli çarklar, rulmanlı yataklar, tekerlekler ve kamlarda görülmektedir. İki yüzeyin nokta veya çizgi şeklinde temas etmesi durumunda Fizikçi H. Hertz bağıntılar geliştirmiştir (Gosavi, 1996, Tsukamoto, 1997).

F kuvvetinin genişlik (b) boyunca eşit olarak dağılmış olması ve iki silindirin temas etmesi durumunda, temas yüzeyi yarı genişliği:

$$a = \sqrt{\frac{2F}{\pi \cdot b} \cdot \frac{\frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\nu_2^2)}{E_2}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}}} \quad (3.14)$$

şeklinde verilmektedir (Tsukamoto, 1993-2). Burada;

a: Temas yüzeyi yarı genişliği (mm)

ν_1, ν_2 : Poisson oranları

E_1, E_2 : elastisite modülleri (GPa)

d_1, d_2 : Bölüm dairesi çapı (mm)

olarak tanımlanmaktadır.

Dişli çalışırken sürekli olarak temas noktası değişeceği için evolvent eğrisinin çapı da değişmektedir. Temel dairesi üzerinde temas durumundaki bölüm dairesi çapı d_1 ve d_2 olarak alınır.

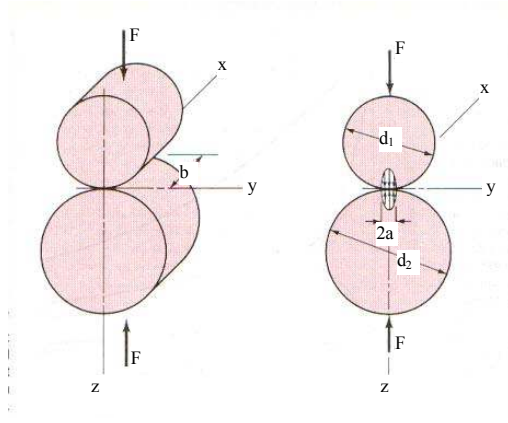
İki silindirin temas yüzeyinde oluşan maksimum basınç:

$$P_{\max} = \frac{2F}{\pi \cdot a \cdot b} \quad (3.15)$$

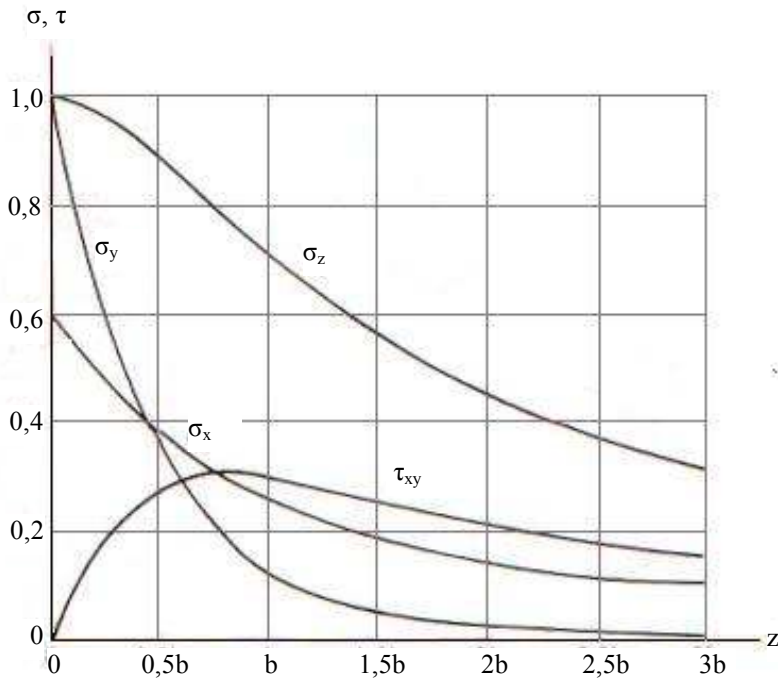
$P_{\max}$: Maksimum basınç (MPa)

olarak ifade edilmektedir (Tsukamoto, 1993-2).

Şekil 3.5’de iki silindirin temasında oluşan yüzey basıncı dağılımı ve silindir merkezine doğru gerilmelerin dağılımı verilmektedir. Maksimum kayma gerilmesi yüzey altında ve $\tau_{\max} = 0,3P_{\max}$ değerindedir. Yüzey altında oluşan kayma gerilmesi ile çatlaklar oluşur; çatlakların ilerlemesi ile pullanma şeklinde yorulma hasarları meydana gelir.



a

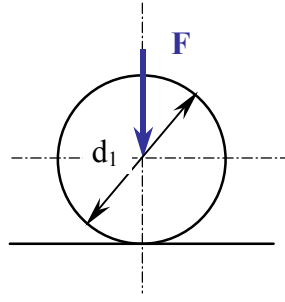


b

Şekil 3.5 İki silindirin temasında yüzey basıncı ve silindir merkezine doğru gerilme dağılımı (Tsukamoto, 1993-2).

- a) İki silindirin temas etmesi durumunda temas genişliği ($2a$) boyunca yüzey basıncı dağılımı
- b) Silindir merkezine doğru gerilmenin dağılımı

Kremayer dişlinin düz dişli ile teması Şekil 3.6'daki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.6 Kremayer dişli ile düz dişlinin teması (Tsukamoto, 1991).

Diş dibinden kırılmadaki P_{Dem} ,

$$P_{Dem} = \sqrt{\frac{2M_b \cdot K_i \cdot K_v \cdot K_m \cdot E}{\psi_m \cdot Z^2 \cdot m^3} \cdot \frac{i_{12} + 1}{i_{12}}} \leq P_{Dem} \quad (3.16)$$

bulunur.

“Eş. 3.16”de

P_{Dem} : Dişli malzemesinin temas yorulması için emniyetli yüzey basınç değeri (MPa)

i_{12} : Çevrim oranıdır.

Modül bağıntıları hem döndüren hem de döndürülen dişli çark için geçerlidir. Ancak ilk önce döndüren küçük dişli çark hasara uğrayacağı için hesaplar küçük dişli çarka göre yapılır.

Dişli çarkların boyutlandırılması zorlamanın durumuna ve yüzeyde oluşturacağı hasar şekline göre “Eş. 3.13” veya “Eş. 3.16” formüllerinden birine göre yapılır.

3.3 Yay Malzemeleri ve Hesapları

Plastik dişli çarkların mukavemet değerlerini artırmak amacıyla önerilen plastik dişli çark içerisine eklenecek olan yayların yaylık çelik tellerden yapılması uygundur. Adından da anlaşılacağı üzere yay çelikleri yay üretimine yönelik bir malzemedir. Yaylık teller istenen dış çapa göre kılavuzlar üzerine sarılarak plastik deformasyonla yay üretimi yapılır. İstenen sarım sayısı ve sarımlar arası açıklık sağlanabilir.

Yay çeliği tellerin kopma mukavemeti, telin çapına bağlıdır. Bunların elastisite modülleri 210000 N/mm^2 , kayma modülleri ise 83000 N/mm^2 'dir. Çizelge 3.2'de yay çeliği tellerin bazılarının kopma dayanımları verilmiştir (Tsukamoto, 1989).

Çizelge 3.2 Yay tellerinden bazılarının minimum kopma mukavemeti (Tsukamoto, 1989).

d (tel çapı) mm	Telin cinsine göre kopma mukavemeti (N/mm^2)				
	A	B	C	FD	VD
1,0	160	194	231	180	170
1,1	159	192	229	180	170
1,2	157	190	226	175	165
1,3	155	188	223	175	165
1,4	153	186	220	175	165
1,5	152	184	217	170	160
2,0	145	175	206	165	155
2,5	140	167	194	160	150
3,0	135	160	188	155	146
A : Soğuk çekilmiş tel B : Yağda temperlenmiş tel C : Piyano teli FD: Krom vanadyum teli VD: Krom silikon teli					

Yayların çeşitli isteklere göre üretilmiş basma yayları, çekme yayları, yaprak yaylar gibi pek çok türleri vardır. Yayın türüne göre değişen yay rijitlikleri belli formüller yardımıyla hesaplanır.

Yaylardaki temel prensip uygulanan yükle yer değiştirme arasında doğrusal bir bağıntı olduğudur. Yükün yer değiştirme miktarına oranı yayın rijitliğini vermektedir("Eş. 3.16").

$$F = k.x \quad (3.17)$$

"Eş. 3.17"'da;

F: Uygulanan kuvvet (N)

x: Yer değiştirme miktarı (mm)

k: Yayın rijitliği (N/mm)

şeklinde tanımlanmaktadır.

Çekme yaylarının rijitlikleri;

$$k = \frac{G.d^4}{8.D^3.i} \quad (3.18)$$

formülü ile bulunmaktadır.

"Eş. 3.18"'de;

k: Yayın rijitliği (N/mm)

G: Kayma modülü (çelikler için 83000 N/mm²)

d: Tel çapı (mm)

D: Yayın ortalama çapı (mm)

i: Yük altındaki sargı sayısıdır.

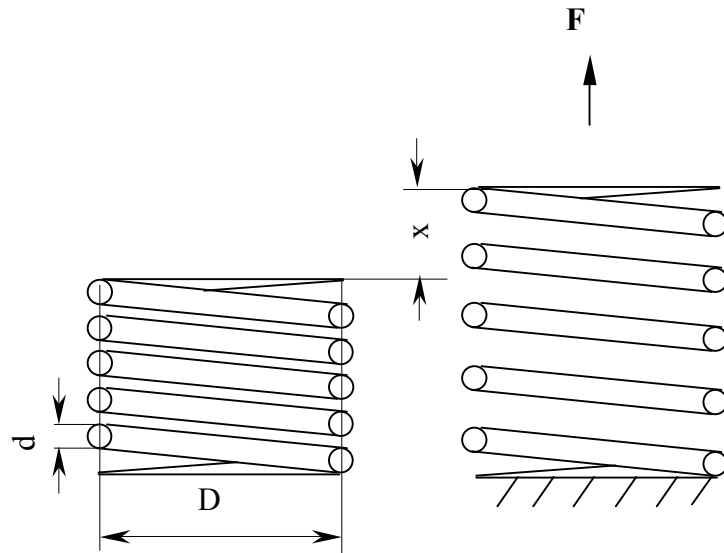
Çekme kuvveti ile zorlanan yaylar genellikle bir öngerilme ile imal edilir; yani serbest halde sargılar birbirine temas eder. Dış kuvvet tatbik edildiğinde ancak öngerilme kuvveti (F_0) aşıldığı durumda yay şekil değiştirmeye başlar.

Yayın uzamasında ön gerilme kuvvetinin göz önüne alınması gerekir, böylece uzama (δ);

$$\delta = \frac{8.D^3.i}{G.d^4}(F - F_0) \quad (3.19)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Tsukamoto, 1996, Tsukamoto, 1989).

Yayın şematik olarak gösterimleri ve temel büyüklükleri Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Yayların şematik olarak gösterimi ve temel büyüklükleri (Tsukamoto,1989).

3.4 BS 6168 Standardına Göre Eğilme Gerilmesi Hesabı

Polimer dişlilerin temel dairesi üzerinde oluşan ısıl yorulma olarak tanımlanan hasar, dişlinin temel dairesi üzerindeki temas noktasında yüksek bölgesel sıcaklık oluşumuna bağlı dayanımın düşmesi sonucu oluşan hasardır. Temel dairesi üzerindeki ısıl yorulmanın özellikle yağlamasız çalışan dişlilerde olduğu gözlenmiştir. Plastik dişlilerin hesaplarına ilişkin standartlarda temel dairesi üzerindeki hasar göz ardı edilmiş ve bu standartlar genellikle, plastik dişliler için yorulma hasarı niteliğindeki diğer üç hasar tipi olan diş dibinden kırılma, aşınma ve pullanmayı esas almışlardır. Cam takviyeli dişliler için çok az bilgi bulunmaktadır fakat gevrek hasar için çekme dayanımında artış olduğu çeşitli çalışmalarla belirlenmiştir. Ayrıca cam takviye malzeme ile aşınma öncelikli problemdir.

BS6168 standardında plastik dişlilerin diş dibinden kırılmaya göre hesaplamaları yapılırken sıcaklık ve yağlama etkisi göz önünde bulundurulmaktadır. Dönüştürülmüş temas oranı nem ve sıcaklığın değişimine göre hesaplanır (BS 6168, 1987).

$$S = \frac{\sigma_{F \lim}}{\sigma_{Fh}} \cdot Y_x \quad (3.20)$$

Y_x : Boyut faktörü (modüle göre belirlenir)

$\sigma_{F \lim}$: Wöhler diyagramından çevrim sayısı ve sıcaklığa göre elde edilen yorulma dayanımı

σ_{Fh} : Hesaplanan yorulma dayanımı

$S \geq 1,25$ olması istenir.

Hesapla yorulma dayanımının bulunması için;

$$\sigma_{Fh} = F_t \frac{Y_F Y_{\epsilon} K_A}{b.m} \quad (3.21)$$

formülü kullanılır. Burada;

b : Diş genişliği

m : Modül

K_A:Uygulama faktörü (devir düşürücü dişlilerin çalışma durumları)

Y_F: Eğilme için form faktörü

Y_ε : Eğilme için temas oranı faktörü olarak ifade edilmektedir.

$$Y_F = f(x) \quad (3.22)$$

x: Diş üstü modifikasyonu

$$x=0,02. (30-z_1) \quad (z_1+z_2<60 \text{ ise}) \quad (3.23)$$

$$Y_{\epsilon} = 0,2 + \frac{0,8}{\epsilon_{\alpha}} \quad (3.24)$$

$$\epsilon_{\alpha} = \frac{\sqrt{r_{a \min 1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a \min 2}^2 - r_{b2}^2} - a_w \cdot \sin \alpha_w}{\pi \cdot m \cdot \alpha_t} \quad (3.25)$$

ϵ_{α} : Dönüştürülmüş temas oranı

$r_{a \min}$: Kaliteye göre diş üstü minimum yarıçapı

r_b : Dönüştürülmüş temel dairesi yarıçapı

a_w : İşlem sırasında merkezler arası uzaklık

α_w : İşlem sırasında basınç açısı

α_t : 20° için

Dişli çalışırken yüzeyde ve gövdede oluşacak sıcaklık aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{136P_t\mu(1+u)}{z_2 + 5} \left\{ \frac{1,71 \cdot 10^4 K_a}{bz_1(vm_n)^{K_m}} + \frac{7,33K_b}{A} \right\} + 5 \quad (3.26)$$

Burada,

θ_0 : Çevre sıcaklığı (°C)

K_a : Yağlama faktörü (yüzey sıcaklığı ile gövde sıcaklığı hesaplanırken farklı değerler kullanılmaktadır)

K_b : Sürüş şekli (dişli kutusunun açık, kapalı veya kısmen kapalı olması) için düzeltme faktörü

K_m : Dişli malzemesi faktörü

A: Dişli kutusu yüzey alanı (m^2) dır (BS 6168, 1987).

(3.26)'de verilen formülle elde edilen sıcaklığa göre dişli malzemesinin Wöhler grafiğinden $\sigma_{F\lim}$ belirlenir. PA 66 ve PA 6 için maksimum çalışma sıcaklığı yağlamasız durumda 90 °C olarak verilmiştir. Sıcaklık hesabı ile hesaplanan hacim sıcaklığı diş dibinden kırılmaya göre hesapta, dış yüzey sıcaklığı ise temas gerilmesi hesabında kullanılır.

4. PLASTİK DİŞLİLER 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 metallerle 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 (Düzcükoğlu, 2009-1).

Plastik malzemeler oda sıcaklıklarında, dayanım değerleri AISI 8620lere oranla çok düşüktür, hafıftır, titreşim sönümleme kabiliyetleri yüksektir, görünüm olarak renklidirler, yalıtıkcıdır ve ısıya dayanımları düşüktür. Plastikler yalıtkan olmaları nedeniyle korozyona uğramazlar. Plastikler su emer, yani makro molekülleri arasına su girebilir. Su emme özelliği, dayanım değerleri ve diğer özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Genel olarak plastikler, kimyasallara karşı zayıftır ancak üreticiler çeşitli kimyasallara karşı dayanıklı plastikler geliştirmiştir. Plastiklerin özellikleri katkı maddeleri ile değiştirilebilmektedir (Düzcükoğlu, 2009-2).

Cam, karbon, aramid vb. gibi malzemelerle güçlendirilen plastik malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilerek, sanayide birçok alanda kullanılmaktadır (Crippa, 1995).

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 (Kurukawa, 1999).

4.1 Plastik Dişli Çark Malzemeleri

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 (Tsukamoto, 1991) .

4.1.2 ABC/PC

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 düşük olması birçok alanda kullanımını avantajlı kılmaktadır (Tsukamoto, 1995-2).

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 etkilenerek 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 (Krukawa, 1999).

4.1.4 POM-Derlin (Asetal-Polioksimetilen)

Asetal, sert, rijit, iyi nem, ısı ve çözücü dayanımına sahip bir mühendislik plastığıdır. 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. Polyamid grubuna nazaran, daha yüksek sıcaklık dayanım değerleri ve ölçü stabilizesine 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 (Krukawa, 1999).

4.1.5 Kestamid (Cast Polyamid)

Kimyasal yönden bir Nylon türü olmakla beraber belli ölçüde (crosslinked) çapraz bağlı moleküler yapısı nedeni ile üstün bazı özelliklere sahip bir Polyamid türüdür. Polyamidler 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. Ünlversal metal ve ağaç işleme tezgahlarında da kolaylıkla işlenebilmektedir (Can, 2004).

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 şartlarında çok iyidir. Genellikle polikarbonatlar asit, yağ ve gres yağ tarafından etkilenmezler; ancak 65 °C suda devamlı tutulduğunda yavaş yavaş gevrekleşirler (Tsukamoto, 1993).

4.2 Dişli Yapımında Kullanılan Plastiklerin Özellikleri

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

Çizelge 4.1 Dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri (Can, 2004).

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
Naylon 6/6	1130-1150	76-83	2,6-3,2	60-300	41-110	21,4-4,1
PBT	910	21-28	0,21-0,34	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 (çekme 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 (LCP)	1600	135 (çekme d)	15	4	125	
PEEK	1300	70 (çekme d)		50	110	3,9 (23 °C’de)
PP*	900-910	30-38	1,1-1,6	200-700	41-55	1,4-2,1

* Literatürde dişli malzemesi olarak kullanımı yoktur.

Polikarbonat ve polisülfonlar düşük yorulma dayanımına sahiptirler. Poliesterlerin dişli yapımı için uygun olmalarına rağmen polyamid ve poliasetale göre daha pahalı olmaları nedeniyle kullanımları daha azdır. Polyamid asetalle karşılaştırıldığında daha üstün özelliklere sahiptir, ancak polyamidin su emmesi kullanımını sınırlamaktadır. Polyamidin üretimi esnasında su içermesi oldukça düşük mekanik özelliklere sahip olmasına neden olur. Döküm sonrası oldukça düşük oranda su içermeleri dahi oldukça rijit ve gevrek olmalarına neden olur. Bununla birlikte normal şartlarda 23 °C ve %60 bağıl nem oranında PA 6/6'ya yaklaşık %3 oranında su bünyeye girerek çevresiyle dengeye ulaşacaktır. Su emilmesi rijitlik ve dayanımı düşürür, darbe performansını düzeltir. Boyutsal değişiklikler, dişliler ya da dar toleranslar gerektiren çeşitli nem ortamlarında çalışan her eleman için oldukça elverişsizdir. Asetal boyutsal olarak çok dayanıklıdır, mükemmel yorulma ve aşınma dayanımına sahiptir ve dişliler için sıkça kullanılır (Can, 2004).

Dişli yapımına uygun plastiklerin bazı fiziksel özellikleri de Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Dişli yapımında kullanılan plastiklerin bazı fiziksel özellikleri (Can, 2004).

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 6/6	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

* Crawford, R. J., 1987 den alınmıştır. Fiyatlar polipropilen baz alınarak verilmiştir. Tablodaki değerler ekstrüzyon kalıplama için geçerli değerlerdir.

4.3 Plastik Dişli Çarkların Kullanım Kriterleri

Plastik malzemelerden yapılan dişli çarklar özellikle büro makineleri, zaman ayarlı şalter vb. hassas cihazlarda büyük ölçüde kullanılmaktadır. Bunun yanında küçük ev aletlerinde iyi kayma özellikleri ve buna bağlı olarak bakım ihtiyacını ortadan kaldırması ve sessiz çalışmayı sağlaması bakımından geniş uygulama alanı bulmuştur (Can, 2004).

Plastik dişlilerin kullanılmasının en önemli sebepleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Enjeksiyonla döküm nedeniyle maliyet düşüklüğü,
- Enjeksiyon kalıplama işlemi sonrası talaş kaldırma işlemine gerek kalmaması, seri üretim imkanı,
- Düşük yoğunluk sonucu düşük ağırlık ve kütle,
- Parçaların üniform olması,
- Elastiklik nedeniyle darbe ve titreşimleri sönümleme,
- Doğal özellikleri nedeniyle az yağla veya yağsız çalışabilmeleri,
- Göreceli olarak düşük sürtünme katsayısına sahip olmaları,
- Korozyona dayanım, kaplamaya gerek kalmaması,
- Sessiz çalışma kabiliyetleri,
- Elastiklik nedeni ile toleransların metal dişlilere göre daha az kritik olması,
- Gövde ve diğer elemanların plastik yapılma eğiliminin gittikçe artması,
- Tek seferde üretilmesi, ön veya son işlemlere gerek kalmaması.

Metal dişli çarklara göre plastik dişli çarkların en önemli dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Düşük dayanım sınırı nedeniyle yük taşıma kapasitesinin düşük olması,
- Plastik dişlilerin, çok iyi işlenmiş metal dişlilerin aksine, her zaman aynı hassasiyette dökülememesi,
- Daha büyük ısı genleşme ve nem emme katsayıları nedeniyle plastik dişlilerin boyut kararsızlığının daha büyük olması,

- Sıcaklık arttıkça veya azaldıkça çalışma kabiliyetinin düşmesi (örneğin maksimum çalışma sıcaklığı yaklaşık 120 °C civarındadır),
- Doğru diş formunu ve doğru boyutları elde edene kadar yapılan ilk döküm maliyetinin yüksek olması,
- Bazı kimyasal maddelerden hatta bazı yağlardan olumsuz yönde etkilenmesi,
- Uygun olmayan döküm yöntem ve/veya teçhizatlarının artık gerilmeler meydana getirmesi sonucu diş dibinde hesap dışı fazla gerilmeler oluşması ve/veya dişin zamanla biçim değiştirmesi,
- Plastik malzeme maliyetinin, petrokimya fiyatlarına bağlı olması nedeniyle değişken olması ve metallere oranla daha hızlı artması.

4.4 Plastik Dişli Çarklar İçin Malzeme Çiftleri

Dişli çarklar çalışırken karşılıklı gelen dişler kavrama süresince birbiri üzerinde kaydıklarından sürtünme ve aşınma meydana gelir. Kayma hızı sabit değildir; kavrama başlangıcında maksimum, yuvarlanma noktasında sıfır ve kavramanın sonunda tekrar maksimum değer alır. Ortalama kayma hızı çevresel hızın yaklaşık olarak 1/5'i kadardır.

Plastik dişli çarklar montaj sırasında ya bir kere yağlanma fırsatı bulur veya yağsız olarak çalışmak zorunda kalır. Sınır sürtünme veya kuru sürtünme oluşması halinde oluşacak sürtünme ve aşınma miktarı üzerinde kullanılan malzeme çiftinin büyük etkisi vardır. Malzeme çifti oluşturulurken; düşük sürtünme, düzgün kayma, en az aşınma, sürtünmeden doğan ısıyı çabuk atabilmek için yüksek ısı iletkenlik amaçlanır (Tsukamoto, 1989).

Plastik dişli/çelik dişli çifti alındığında sürtünmeden doğan ısı metallerin iyi iletken olması sebebiyle daha kolay atılır. Yüzeyi sertleştirilmiş dişlilerde ortalama yüzey pürüzlülüğü 2 µm'den daha büyük olamayacağı için plastik dişlilerdeki aşınma daha az olacaktır. Özellikleri iyileştirilmiş asetale kopolimer dişliler, standart plastik dişlilere göre iyi kayma özelliklerine sahiptirler ve bu nedenle daha az aşınırlar. Plastik dişliler toplam çalışma süresi kısa olan mekanizmalarda çelik veya demir olmayan metallerden (bakır ve alüminyum alaşımları gibi) yapılmış dişlilerle eşleştirilebilir.

Asetal kopolimer/Polyamid ve Asetal kopolimer/Polibütilentereftalat eşleştirmeleri sınır ve kuru sürtünme hallerinde iyi kayma özelliklerine sahiptir. Plastik/çelik çiftine göre daha az sürtünme ve aşınma meydana gelir. Ancak aşırı ısınma ile dişin yan yüzeylerinde erime riski daha fazladır. Yüksek hızlı dişlilerde, plastik dişlilerin genellikle çelikle eşleştirilmeleri tavsiye edilir. Başka dişlilerle eşleştirme gerektiren büro makineleri gibi cihazlarda tribolojik özellikleri daha kötü olmasına rağmen aynı plastikten yapılmış dişliler kullanılmaktadır (Can, 2004).

4.5 Metal ve Plastik Dişli Çarkların Üretim Yöntemleri

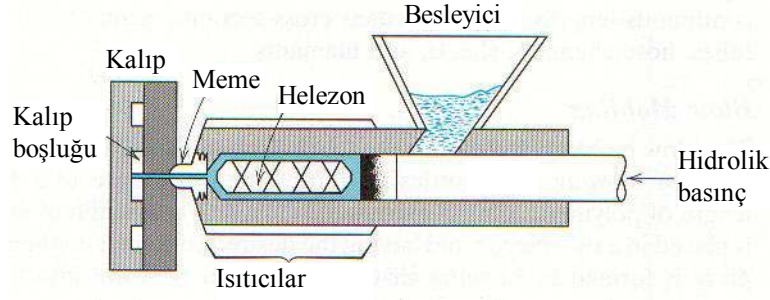
Dişli çarklar yapıldıkları malzemeye göre farklı şekillerde biçimlendirilebilirler. Genel olarak her malzeme için kullanılabilecek imal yöntemi talaşlı imalattır. Çelik dişlilerin seri imalatı için kullanılan yöntem sıcak dövme ile plastik şekillendirmedir.

Alüminyum, bronz, çelik ve keşamid (döküm poliamid) gibi malzemeler döküm yoluyla üretilebilir. Kalıp boşluğu uygun şekilde tasarlanmış kalıplara ergiyik malzemenin dökülmesi ile elde edilirler. Metalik malzemelerin seramik kalıplara dökümü düzgün yüzeyler elde edilmesi açısından önemlidir. Bronz gibi malzemeler ana hatlarıyla döküldükten sonra talaşlı imalat ile istenen ölçülere getirilir. Döküm yoluyla üretim seri imalata olanak tanınması bakımından ekonomiktir ve dişler kalıp içerisinde şekillendiriliyor olmaları nedeniyle son işleme gerek duyulmaz. Döküm yoluyla üretilen dişliler hareket iletimi ve düşük yük taşıyan oyuncak gibi yerlerde kullanılır. Diş yüzeylerinde oluşan pürüzlülük ise aşınmayı arttıran bir özelliktir (Rao, 1998).

Toz metaller, dişli şekli verilmiş metal kalıp boşluklarında preslenir ve dayanımlarını arttırmak için ısıtılma işlemi (sinterleme) uygulanır. Toz metaller kalıba döküm ile benzer özellikler gösterirler. Ancak bunların özellikleri çeşitli metal tozların karıştırılmasıyla kontrol edilebilir. Küçük boyuttaki dişlilerin üretiminde bu yöntem kullanılır (Crippa, 1995).

Metal olmayan poliamid, asetale gibi termoplastik dişliler enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilirler. Bu yöntemle elde edilen dişliler, düşük yükleri taşırlar. Başlangıçtaki kalıp

maliyeti yüksek olmasına karşın seri üretim için ekonomiktir (Can, 2004). Enjeksiyon kalıplama makinesi şematik olarak Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Enjeksiyon kalıplama makinesi (Can, 2004).

Polyamid gibi malzemeler, enjeksiyon kalıplama öncesinde yapılarında bulunan doğal nem nedeniyle kalıplama öncesi fırınlarda kurutulmalıdır. Besleyici içerisine granül halde konan malzeme helezon aracılığı ile kalıba doğru iletilirken ısıtıcılar ile ergiyik hale getirilir. Ergimiş malzeme kalıbı tamamen dolduracak ve gözenek oluşmayacak şekilde uygun basınçta kalıba basılır. Uygun bekleme süresi sonunda kalıp açılır ve içerisindeki malzeme uygun soğutma ortamında, genellikle suda belli bir süre tutularak soğutulur. Kalıp kapatılarak işlemler tekrarlanır. Termoplastik polimerler için işlem sırası oldukça kısa (10-30 saniye) olduğu için seri üretim oldukça kolaydır (Tsukamoto, 1996, Tsukamoto, 1989).

Dişliler üretim yöntemlerinden olan ekstrüzyon yöntemi ile üretim yapılırken; uzun çubuklardan şekillendirilir. İstenen ölçekte kesilen parçalar işlenir. Alüminyum ve bakır alaşımlarından yapılan dişliler bu yöntemle üretilebilir.

4.6 Plastik Dişli Çarkların Hasar Mekanizmaları

Dişli çarkların kullanımları esnasında veya henüz imalat aşamasında kullanılamayacak derecede hasara uğramalarına yol açan etkenler, hasar mekanizmaları olarak tanımlanmaktadır. Metal dişli çarkların en çok görülen hasar mekanizmaları; yüzey yorulması, aşınma, plastik deformasyon, kırılma şeklinde sınıflandırılabilir. Dişlilerin kullanılamaz hale gelmelerinde üretim sürecinde yapıda oluşan boşluklar, çatlaklar ve iç yapı homojenlikleri etkilidir. Üretim hataları nedeniyle dişli çark malzemesi beklenen

Çalışma periyodundan daha önce, çeşitli hasar mekanizmalarının etkisi altında ani olarak hasara uğrayabilir (Gosavı, 1996, Tsukamoto, 1997).

Plastik dişlilerin üretim hataları dışındaki hasar mekanizmaları yorulma, sürünme, aşınma ve plastik deformasyondur. Bu hasar mekanizmaları eşzamanlı oluştukları için hasara uğramış plastik dişlilerde; sürünme, yorulma ve plastik deformasyonu birbirinden ayırmak zordur.

4.6.1 Plastiklerin yorulması

Malzemenin sonsuz devir sayısında taşıyabileceği yk yorulma dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Dişlilerdeki değişken gerilme yorulmayı da beraberinde getirir. Değişken zorlamalar zamana göre maksimum ve minimum değerler arasında değişen zorlamalardır.

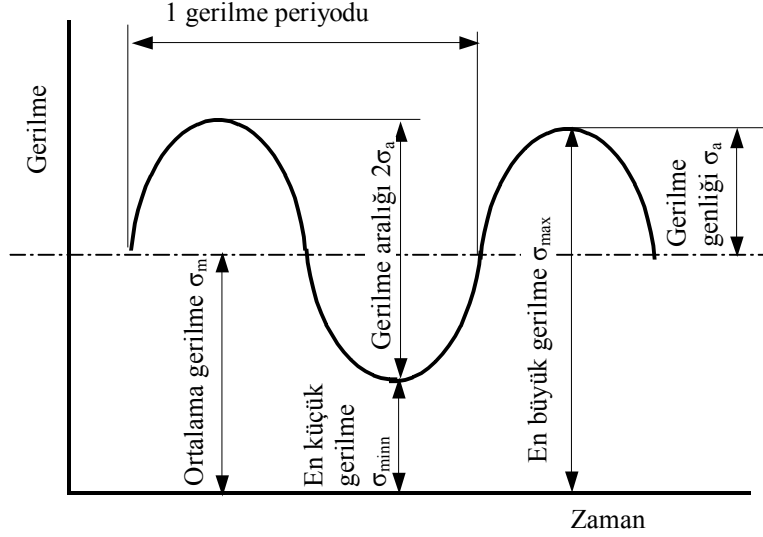
Plastiklerde yorulma, metallerdeki gibi gevrek kırılma şeklinde olup, bir çatlağın oluşması ve yayılması sonucunda oluşmaktadır. Ancak metallerin yorulması ile plastiklerin yorulması arasında önemli farklılıklar vardır. Metallerde genelde yorulma çatlağının yüzeyde oluşmasına karşın, plastiklerde kalıplama sırasında yüzeyde yorulma çatlaklarının yayılmasını sönümleyen bir koruyucu tabaka meydana gelmektedir. Genellikle plastiklerde; küçük boşluklar, yolluk noktaları gibi kalıplama hatalarında çatlak oluşmaktadır (Can 2004).

Metallerin yorulması ile plastiklerin yorulması arasındaki en önemli fark; plastiklerin viskoelastik özelliğinden dolayı, yüksek sönümleme ve düşük ısı iletkenliğinin sonucu oluşan ısının malzeme bünyesinde bir yumuşama meydana getirmesidir. Bu olaya ısıl yorulma veya yumuşama hasarı denilmektedir. Dolayısıyla plastiklerde çatlağın yayılmasına ve malzemenin yumuşamasına bağlı olarak iki çeşit yorulma vardır (Kohan, 1995).

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 gerilemeye maruz kaldığı zamana da bağlıdır. şöyle ki uzun süre gerilmelere

maruz kalan parçalar, kopma dayanımından daha küçük gerilmelerde ($\sigma < \sigma_K$) kopmaktadırlar (Can, 2004).

Malzemeye etki eden yükün zamanla değişimi yorulma için genel olarak Şekil 4.2'deki gibi gösterilir.



Şekil 4.2 Yorulmada yükün zamanla değişimi (Can, 2004).

Yorulma ile ilgili genel tanımlar aşağıda sıralanmıştır.

σ_{max} : En büyük gerilme (MPa)

σ_{min} : En küçük gerilme (MPa)

σ_m : Ortalama gerilme (MPa)

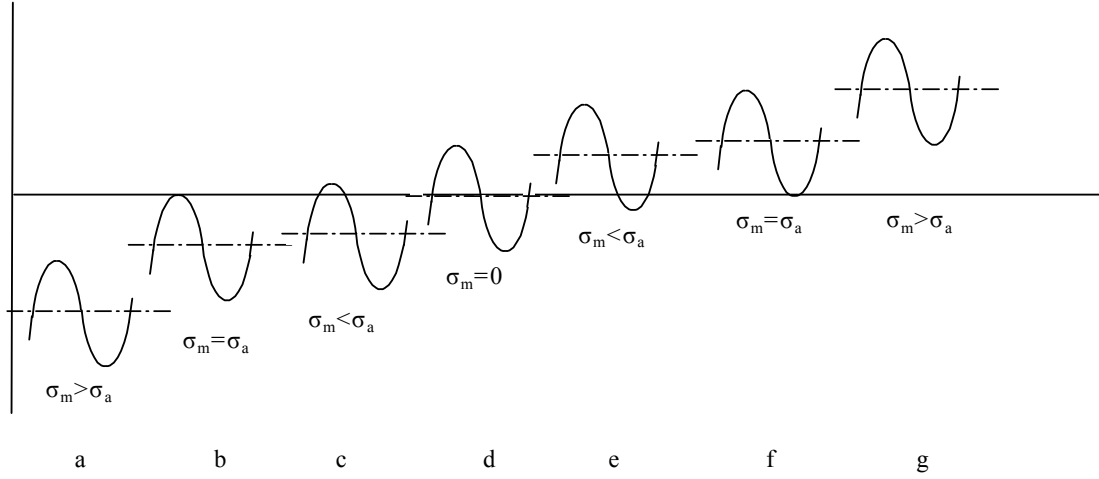
σ_a : Gerilme genliği (MPa)

$2\sigma_a$: Gerilme aralığı (MPa)

Yorulmada gerilme oranı olarak tanımlanan R, minimum gerilmenin maksimum gerilmeye oranıdır. Gerilme oranı (-1) ile (+1) arasında bir değerdedir. Yorulma için ($-1 \leq R < +1$), statik zorlama durumu için ise $R = +1$ geçerlidir (Can, 2004).

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (4.1)$$

Şekil 4.2'deki yükleme durumu için özel durumlar Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Yorulma için yüklemelerde özel durumlar (Can, 2004).

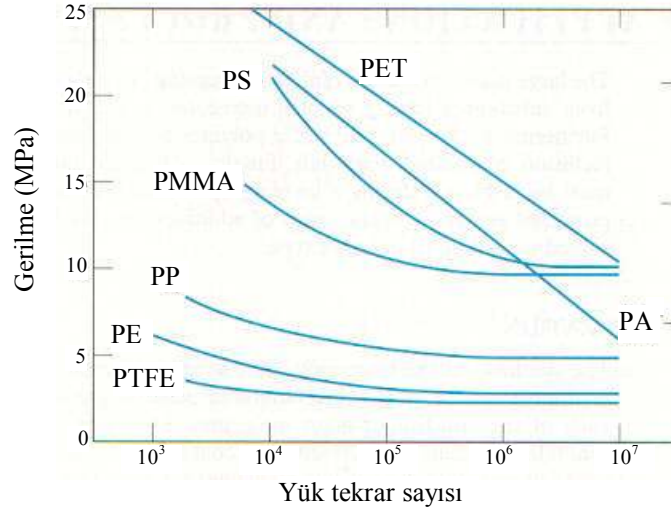
- Bası genel değişken ($R > 0$)
- Bası dalgalı değişken
- Bası tersine zorlanan değişken ($R < 0$)
- Tam değişken ($R = -1$)
- Çeki tersine zorlanan değişken ($R < 0$)
- Çeki dalgalı değişken ($R = 0$)
- Çeki genel değişken ($R > 0$)

Malzemenin sonsuz devir sayısında dayanabileceği gerilmeye yorulma dayanımı denmekte ve σ_Y olarak gösterilmektedir. Ortalama gerilmenin sıfır ($R = -1$) olması durumunda tam değişken yorulma dayanımı ($\sigma_Y = \sigma_D$) (Şekil 4.3.d), alt gerilmenin sıfır olması ($R = 0$, $\sigma_m = \sigma_a$) durumunda ise dalgalı değişken yorulma dayanımı ($\sigma_Y = \sigma_{Dal}$) (Şekil 4.3.f) şeklinde tanımlanmaktadır. Şekil 4.3’de üst gerilmenin sıfır olduğu durumda bası dalgalı değişken gerilme söz konusudur. Mukavemet hesaplarında genel olarak σ_D veya σ_{Dal} alınmaktadır. Yorulma eğrileri de mukavemet hesaplarında esas teşkil ettiği için genellikle $R = -1$ ve $R = 0$ durumlarına göre oluşturulmaktadır. Diğer önemli bir husus da yüklemenin şeklidir. Yüklemenin eğme, çeki-bası, çevresel eğme, ya da burma şeklinde olmasına göre farklı diyagramlar elde edilir (Can, 2004).

4.6.1.1 Çatlağın oluşmasına bağlı olan yorulma

Tüm malzemelerin yapısında çok küçük boşluklar, tane sınırı gibi malzemede süreksizlik oluşturan birtakım mikroskobik hatalar vardır. Yük altında bu hatalarda yerel gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Oldukça büyük yüklerde bu gerilme yığılmaları malzemenin mukavemet sınırını aşmakta ve hata yerinde bir çatlak oluşmaktadır. Değişken bir yükün etkisi altında yükün her tekrarlanmasında çatlak

büyümekte ve kesite yayılmaktadır. N ile ifade edile belirli bir yük tekrar sayısından sonra çatlağın yayılması dışında kalan kesit artık yükü taşıyamaz duruma gelmekte ve malzeme kopmaktadır. Bu en iyi şekilde σ -N (gerilme-yük tekrar sayısı) eksenlerinde oluşan Wöhler diyagramında temsil edilmektedir. Metallerde olduğu gibi plastiklerde de yorulma sınırı olan ve olmayan şeklinde iki çeşit eğri vardır (Şekil 4.4) (Can, 2004).



Şekil 4.4 Çeşitli plastiklerin Wöhler eğrileri (Can, 2004).

Örneğin naylonda (poliamid), σ gerilmeleri ile N yük tekrar sayısı arasında lineer bir bağıntı vardır. Yük tekrar sayısı büyüdükçe malzemenin kopmasına neden olan gerilme genliği azalmaktadır. PMMA ve PTFE’de ise başlangıçta N büyüdükçe, σ_a azalmakta; ancak yük tekrar sayısının belirli bir N_0 değerinden sonra sabit kalmaktadır (σ -N diyagramı apsise paralel olmaktadır). N_0 değerine karşılık gelen gerilme yorulma sınırıdır. Mühendislik hesapları için bu değer önemlidir ve uygun bir emniyet katsayısı alınarak;

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_D}{S} \quad (4.2)$$

eşitliğinden emniyet gerilmesi bulunarak plastik malzemelerden yapılan parçalar boyutlandırılır (Can, 2004).

“Eş. 4.2”de;

σ_{em} : Emniyet gerilmesi (MPa)

σ_D : Tam değişken yorulma dayanımı (MPa)

S: Emniyet katsayısıdır

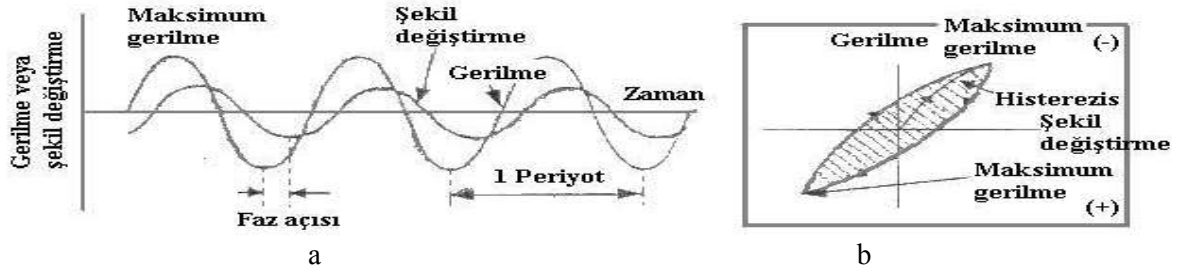
Kırılma mekaniğinde çatlak oluşumu ve ilerlemesi:

Kırılma, gerilme altında bir maddenin iki ya da daha fazla parçaya ayrılmasıdır. Malzemede kırılmayla oluşan hasarda önemli olan makroskobik hatalardır. Akma ile oluşan hasarlardaki gibi genel bir plastik deformasyon değil, hatalarla bağıntılı olarak yerel gerilme-şekil değiştirme alanları söz konusudur. Makroskobik hatalara örnek olarak malzeme yapısındaki boşluklar ve yorulma çatlakları verilebilir (Tsukamoto, 1991).

Çatlak içeren bir numune, gerilmeye maruz kaldığında çatlak geometrisi nedeniyle üç eksenli gerilmeler oluşur. Ancak çok ince numunede (levha şeklinde) x ve y yönlerinde gerilmeler mevcutken; z, yani kalınlık yönünde gerilme yoktur ($\sigma_z=0$). Çünkü bu yön serbesttir. Böyle bir geometride gerilmeler iki eksenli (düzlemsel) olduğundan *düzlem gerilme* hali mevcuttur. Kalın numunelerde numune yüzeylerinde yine düzlem gerilme hali oluşur ve numune üç boyutta deformasyona uğrar. z yönünde numune içine ilerledikçe üç eksenli gerilmeler ortaya çıkar. Ancak bu defa şekil değiştirme iki boyutludur; numune x-y düzleminde şekil değiştirir. Bunun da nedeni, numune içine ilerledikçe malzeme, z eksenli boyunca kendini çevreleyen malzeme tarafından tutulur ve z yönünde deformasyonu engellenir ($\epsilon_z=0$). Bu durumda da *düzlem şekil değiştirme* hali ortaya çıkar.

4.6.1.2 Isıl yorulma (Yumuşama hasarı)

Plastiklerin çoğu, çatlağın yayılmasından değil; iç sürtünmeden meydana gelen ısı ve bu ısının dışarıya iletilmemesi nedeniyle malzeme bünyesinde oluşan yumuşama ile hasara uğramaktadır. Plastiklerin viskoelastik özelliğinden dolayı değişken zorlamalarda gerilme ile şekil değiştirmeler aynı fazda değildir (Şekil 4.5.a); şekil değiştirmeler gerilmelerin gerisinde kalmaktadır. Faz farkının değeri plastiklerin cinsine göre büyük ölçüde değişmektedir. Örneğin kuvvetlendirilmemiş PTFE gibi yarı rijit termoplastikler için çok büyüktür.



Şekil 4.5 Değişken zorlamalara maruz kalan plastiklerde (Can, 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 4.5’de gösterilen bu olay histerezis kaybını ifade etmektedir. Her yük tekrarlanmasında meydana gelen ısı histerezisinin büyüklüğü, uygulanan gerilmeye ve malzemenin kayıp uygunluğuna (J_2) bağlıdır. Plastikler düşük ısı iletkenliğine sahip olduklarından tekrarlanan yüklemelerde oluşan ısıнын büyük bir kısmı dışarıya iletilememekte ve her yük tekrarlanmasında kalan ısılar toplanmaktadır (Can, 2004).

Malzemede ısıнын oluşumu, sıcaklığın belirli bir değere yükselmesinden sonra oluşan ısı; kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ile dışarıya iletilen ısı ile eşitlenirse; ısı dengesi kurulur ve sıcaklık sabit kalır. Bu durumda sıcaklığın etkisi altında malzeme dayanımında ve rijitliğinde bir azalma meydana gelir; ancak malzeme düşük değişken gerilmeleri taşıyabilir. Oluşan ısı, dışarıya iletilen ısıdan daha büyük olduğunda sıcaklık devamlı artar. Sıcaklığın belli değerinde, malzeme özellikleri bozulur, yükü taşıyamaz hale gelir ve hasara uğrar. Buna *ısıl yorulma veya yumuşama hasarı* denir.

Düşük kayıp uygunluğu ($J_2 < 0,4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$) değerlerine sahip plastiklerde, çatlak yorulması meydana gelmektedir. Çatlak yorulmasının oluşumu bu malzemelerde ısı oluşumunun az olmasına ve hemen hemen tümünün dışarıya iletilebilmesine bağlanmaktadır. Bu gruba polisüflon, PPO (polifenilenoksit), PVC (polivinilklorür), fenolik ve epoksiler girmektedir.

$J_2 = (0,4 \div 0,5) \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ değerlerine sahip plastikler hem çatlak hem ısıl yorulma göstermektedirler. Bu grubu PMMA (Polimetilmetakrilat), asetale, PET, alkid ve

polikarbonat gibi malzemeler oluşturmaktadır. Yüksek kayıp uygunluğuna ($J_2 > 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$) sahip plastikler, ısı yorulma göstermektedirler. Bu gruba polipropilen, polietilen ve naylon girmektedir (Can, 2004).

Plastik parçaların tasarımında malzemenin ısı 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.

4.6.2 Plastiklerin viskoelastik davranışı

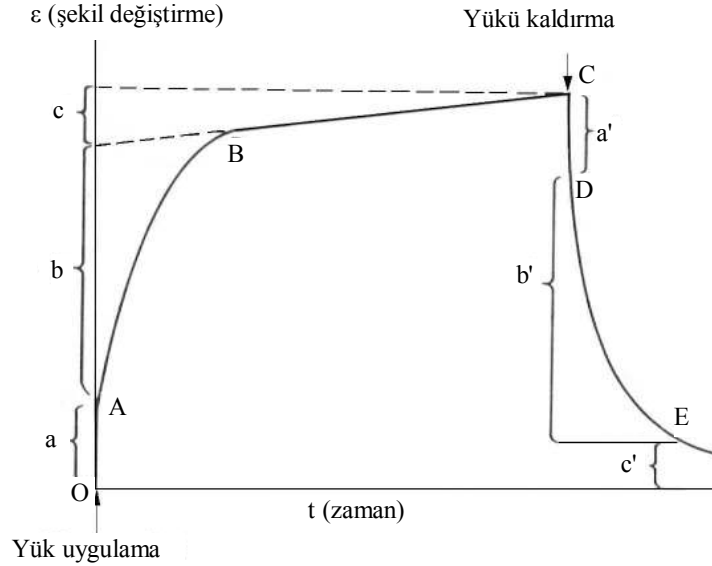
Plastikler belli bir kuvvet uygulandığında; hem elastik hem de plastik davranış gösterirler. Plastik deformasyonu, elastik kaymada daha çok viskoz akış ile olur. Viskoz akış, polimerdeki zincirlerin birbiri üzerinde kayması ile oluşur. Gerilme kalktığında, zincirler yeni pozisyonlarında kalır ve polimer kalıcı şekilde deforme olur.

Viskoelastik davranışta deformasyon, elastik deformasyon ve viskoz akış kombinasyonu ile olur. Viskoelastik davranış sürünme ve gevşeme (rölaksasyon) olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Sürünme, sabit bir gerilmenin etkisi altında, malzemenin sürekli olarak şekil değiştirmesi; gevşeme ise belirli bir şekil değiştirme halinde bulunan malzemede, gerilmelerin sürekli olarak azalması olarak ifade edilir (Birley, 1988).

4.6.2.1 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 denir.

Polimer malzemenin bir ucuna sabit yük uygulanarak işaretlenen iki noktanın yer değişimi ile elde edilen uzama, polimerin başlangıçtaki boyunun bir fonksiyonu şeklindedir. Sürünme olayı Şekil 4.6’da temsil edilmiştir (Can, 2004).

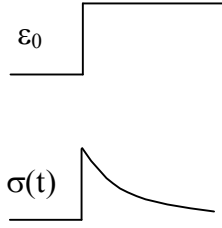


Şekil 4.6 Plastiklerin şekil değiştirme mekanizması (Can, 2004).

Elastik bir malzemeye σ gerilmesi uygulandığında, başlangıçta uzama uygulanan çekme gerilmesi ile hemen hemen ani olarak oluşur. Başlangıç deformasyonu Şekil 4.6’daki eğrinin OA parçasıdır ve şekilde a ile gösterilmiştir. 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 (Can, 2004).

4.6.2.2 Plastiklerde gerilme gevşemesi

Gerilme gevşemesi, sabit plastik deformasyon altında zamanla gerilmenin düşmesidir. Gevşemede malzemenin davranışı Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Gerilme gevşemesi (Can, 2004).

Sabit bir ε_0 şekil değiştirmede tutulan elastik bir malzemede gerilme sabit kalmakta iken Şekil 4.7’de gösterilen viskoelastik bir malzemede ise gerilme zamanla azalmaktadır.

Viskoelastik malzemelerin davranışı, gerilme ile şekil değiştirme arasında örneğin Hooke veya Newton kanununda olduğu gibi lineer veya lineer olmayan bir bağıntıya dayanarak incelenmektedir. Birinci duruma *lineer viskoelastisite teorisi*, ikincisine ise *nonlinear viskoelastisite teorisi* denilmektedir. Viskoelastik malzemelerin davranışını tayin etmek için çeşitli modeller teklif edilmiştir. Bunlardan en basiti bir yay ve bir sönümlleme elemanına (amortisöre) dayanmaktadır; yay malzemenin elastik özelliğini, sönümlleme elemanı ise viskoz özelliğini yansıtmaktadır (Can, 2004).

4.6.3 Plastiklerde Aşınma

Plastiklerin aşınması karmaşık ve hala tam olarak çözülememiş bir konudur. Genelde plastiklerde adhezyon, abrazyon, yorulma, korozyon gibi aşınma çeşitleri mevcuttur. Adhezyon aşınmasının açıklanmasında; malzeme yüzeylerinin ne kadar işlenirse işlensin, pürüzlü olmasından hareket edilmektedir. Buna göre temasta bulunan temas yüzeylerinin gerçek temas alanı (A_h), pürüzlük mertebesinde küçük ve kısmi alanlardan ibaret olup, temas yüzeyinin sınırlarını tayin eden geometrik alandan çok daha küçüktür. Yükün etkisi altında, pürüzlük seviyesinde oluşan bu küçük temas alanlarında, çok büyük basınçlar meydana gelmekte ve bazı temas alanlarında, mikroskobik seviyede kaynak bağları oluşmaktadır. İzafi hareket sırasında bu bağlar kopar. Bağların kopması için gereken kuvvet sürtünme kuvvetini temsil eder; bağların kopmasında meydana gelen malzeme kaybı ise adhezyon aşınmasını oluşturur. Adhezyon aşınması en yaygın aşınma çeşididir; bu nedenle pratikte aşınma denilince adhezyon aşınması anlaşılmaktadır (Rao, 1998).

Abrasyon aşınması, dışarıdan yüzeyler arasına giren toz, talaş vb. gibi sert parçacıkların etkisi altında, korozyon aşınması ise çevrede bulunan bazı maddelerle kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelen aşınma çeşididir. Yorulma aşınması, temas yüzeylerin yorulması sonucu oluşan aşınmadır (Rao, 1998).

Plastik malzemelerde en çok rastlanan aşınma tipi, esasen sürtünme olayını da açıklayan adhezyon aşınmasıdır. Ancak malzemenin sert parçacıkların bulunduğu ortamda çalışmasında abrazyon aşınması da görülebilir. Adhezyon aşınması, yüzey basıncı, kayma hızı ve sıcaklığa bağlıdır (Rao, 1998).

Naylon, kuru sürtünme koşullarında aşınma bakımından metallerden daha iyi davranmaktadır. Ayrıca plastiklerde, metallerde görülen ve adhezyon aşınmasının şiddetli bir şekli olan yenme olayı da meydana gelmez. Bunun yanı sıra plastikler su ile yağlanarak da çalışabilirler.

Plastiklerin aşınma davranışı PTFE, karbon elyafı, grafit tozu, molibdendisülfid gibi dolgu malzemeleri kullanılarak iyileştirilebilir (Rao, 1998).

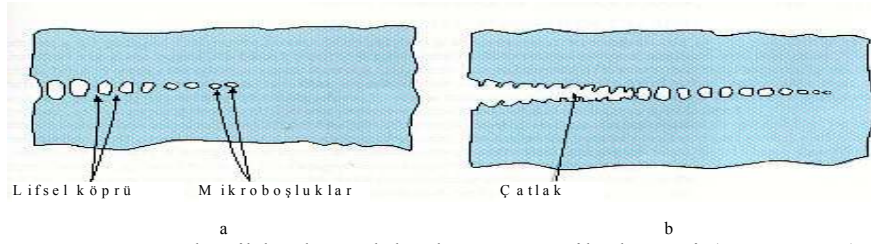
Adhezyon aşınması zamana bağlıdır. Adhezyon aşınması meydana gelen malzeme kaybı, parçanın fonksiyonunu önemli şekilde etkilemediği süre zarfında parça çalışabilmektedir. Ancak, aşınan malzemeden dolayı parçanın fonksiyonu etkilendiği halde parça hasara uğramış sayılmaktadır. Parçanın aşınmasına kadar geçen zamana ömür denmektedir (Rao, 1998).

Plastik dişlilerin çalışma şartlarına göre zamanla aşınması, sürünmesi, yorulması ve sıcaklık etkisinde boyutları değişecektir. Plastik dişliler tüm bu etkilerin süperpozisyonu sonucunda hasara uğrayacaktır (Rao, 1998).

4.6.4 Polimerlerin Kırılması

Polimerik malzemelerin kırılması, seramik ve metallerin kırılmasıyla aynı değildir. Genel olarak, termoset polimerik malzemelerin kırılma modu gevreklerdir. Termoplastik polimerler için sünek ve gevrek modlar mümkündür. Bu malzemelerin büyük bir

kısımında 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 faza ayrılma denmektedir. Ayrılmalarla bölgesel olarak yüksek oranda akan bölgelerde küçük ve birbirine temas etmeyen Şekil 4.8.a’da görülen mikroboşluklar oluşur (Kohan, 1995).



Şekil 4.8 Plastiklerde çatlak oluşumu ve ilerlemesi (Can, 2004).

- a. Mikroboşluk ve lifsel köprüler içeren ayrılma
- b. Çatlak oluşumu ile ayrılma yüzeyinin ötelenmesi

İki mikroboşluk arasındaki lifsel köprüler ve moleküler zincir düzenli hale gelir. Yeterli çekme yükü uygulandığında mikroboşlukların gelişimi ve açılmasıyla bu köprüler uzayarak kırılacak ve çatlakın başlangıç şekli oluşacaktır (Şekil 4.8.a). Ayrılma, statik kırılmadan farklıdır. Ayrılmanın gelişimi esnasında çatlama öncesi kırılma enerjisi depolanır ve polimerin kırılma tokluğu da artar (Can, 2004).

4.6 Plastik Dişli Çarkların Mukavemetlerini Arttırmak İçin Öneriler

Plastik dişlilerin mukavemetlerini arttırmak için boyutsal ya da malzemeye dayalı değişiklikler yapılabilir (Can, 2004).

4.6.1 Boyutsal değişiklikler

Dişlinin temel büyüklüklerinin değiştirilmesi ya da tamamen profilin değiştirilmesi şeklinde olabilir.

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 kalınlığı değiştirilebilir. A. W. Birley, R. J. Heath, M. J. Scott tarafından ekran temizleyici tasarımı için dişlilerin profillerinin değiştirilmesi ile yorulma dayanımının arttığı gözlenmiştir. Plastik çarkın dişleri daha kalın ve daha geniş olarak düşünülmüştür. Bu değişiklik dişli kutusu için %50 daha fazla momentin taşınmasını sağlamıştır (Can, 2004).

4.6.2 Malzemeye dayalı değişiklikler

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

Dayanımı daha yüksek başka bir plastiğin kullanımı ile mukavemet artışı sağlanabilir (Tablo 4.1). Ancak bu çoğu zaman beraberinde maliyet artışını da getirmektedir. Örneğin PEEK dayanım değerleri ve fiyatı asetale göre yüksektir. Fiyatın belirlenmesinde önemli bir etken de yoğunluk olarak öne çıkar.

Tsukamoto, N. ve arkadaşları dişliler için malzeme olarak % 50 poliasetal ve % 50 poliüretan içeren yeni plastik geliştirmiştir. Bu tip polimer alaşımlı dişlilerin poliasetal dişlilerden daha düşük gürültülü çalışmakla birlikte poliasetale göre dayanım açısından daha zayıftır (Tsukamoto, 1995-3).

Takviye malzeme kullanımıyla ilgili olarak Crippa, G. ve Davoli, P. tarafından yapılan çalışmada, %30 karbon elyaf takviyeli poliamid, % 35 cam elyaf takviyeli poliamid ve %35 cam elyaf takviyeli MoS₂ içeren poliamid ve takviyesiz poliamidden yapılmış dişliler belli test karakteristikleri altında deneye tabi tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları ile 20-45 Nm arasındaki momentlerin 10 milyon devirden fazla devir sayıları için plastik dişliler yoluyla iletilebileceği, yağlama şeklinin yorulma dayanımını oldukça etkilediği, cam elyaf takviyeli poliamid dişlilerin çelik dişlilerle eşlenmelerinde kabul edilemez aşınma olduğu, MoS₂ ilavesinin aşınmayı azalttığı ve karbon elyaf takviyesinin kabul edilebilir aşınmayla yüksek moment iletimine izin verdiği bulunmuştur (Crippa, 1995).

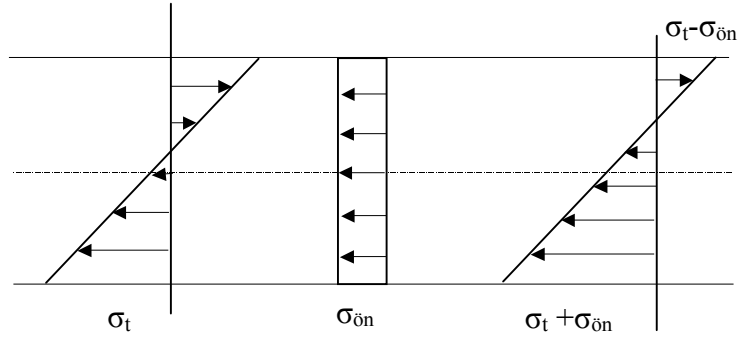
Poliamid 6 ve sıvı kristalli polimerden (LCP) oluşan kompozitin düşük yüklemeli dişli çark malzemesi için performansının yüksek olduğu belirlenmiştir. LCP tamamen aromatik kopoliester olarak bilinir. Matriks malzeme olarak poliamid 6'nın seçilme nedeni ise bunun mükemmel yorulma dayanımına sahip olmasıdır. Hacimce % 10-30 LCP eklenmiş poliamid 6'nın ekstrüzyonu çift vidalı itici ile 260-290 °C arasında gerçekleştirilmiştir. İşlem boyunca SKP (LCP) damlalarının liflendirilmesi ve PA 6 matriks içinde dağıtılması gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin enjeksiyonunda LCP liflerinin yumuşama sıcaklığının altındaki sıcaklık seçilmiştir. Optimum LCP oranı, ergiyik için optimum sıcaklık, ergiyiğin kalıp içerisinden geçtiğindeki yük gevşemesinin kontrolü ve az miktarda 3. bir bileşenin etkisi incelenmiştir. % 30 LCP içeren poliamid'e 2 fonksiyonlu epoksi ilavesi ile asetal (POM) dişlilerden yaklaşık 1,2 kat daha hafif yükleri taşıyabildiği bulunmuştur (Rao, 1998).

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

4.7 Öngerilmenin Etkisi

Çelik mil ve dişlilerde sementasyon (karbürleme) işlemi ile yüzeyde oluşturulan sert tabakanın bası iç gerilmesi oluşturarak bu dişlilerin yorulma dayanımlarını ve ömürlerini arttırdıkları bilinmektedir. Nitrüleme, bilye bombardımanı gibi işlemlerde de yüzeyde oluşturulması hedeflenen sert tabakanın etkisi aynıdır.

Dönen eğmeye maruz bir mil, merkezine göre simetrik şekilde çeki eğme gerilmesi ($+\sigma_e$) ve bası eğme gerilmesine ($-\sigma_e$) maruz kalmaktadır. Dişlilerde ise dişin merkezine göre bir simetri oluşmaktadır. 8620 (21CrNiMo2) çeliğinden yapılmış sementasyon işlemi uygulanmış milde oluşan bası gerilmesi 600 MPa olarak bulunmuştur. Dişlilerde yorulma çatlaklarının çeki bölgesinde başladığı düşünüldüğünde çeki bölgesindeki gerilmenin düşürülmesi yorulma dayanımı ve ömrü arttıracaktır. Dişliye öngerilme verilmesinin etkisi Şekil 4.9'da gösterilmiştir (Can, 2004).



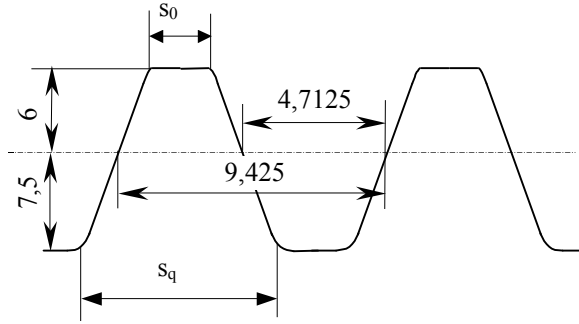
Şekil 4.9 Dişlide öngerilmenin toplam gerilmeye etkisi (Can, 2004).

Plastik dişlilerin ısıt işlemlerle yüzeylerinde bası gerilmesi oluşturulması mümkün olmadığı için diş dibi kesitinde yay ya da tel kullanımıyla bası öngerilmesi oluşturulmasının çelik dişlilerde sementasyon, nitrürasyon, bilye bombardımanı gibi işlemlerle elde edilen sert tabaka ile aynı etkilere sahip olması düşünülebilir. Öngerilmeli beton çelikleri, beton matriks içerisinde önce çekilip daha sonra bırakılarak kolonlarda bası gerilmesi oluşturulmaktadır (Can, 2004).

5. MATERYAL VE METOT

5.1 Numunelerin Hazırlanması

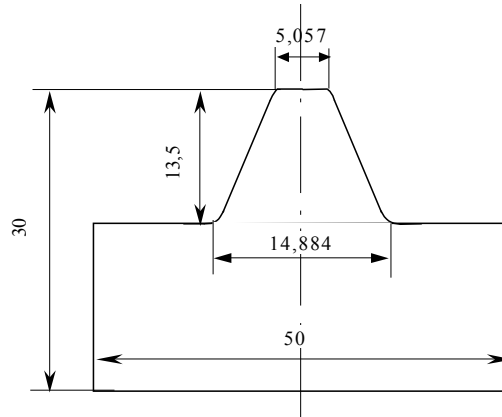
Dişli üretiminde öncelikle boyutlar belirlenmiştir. Plastik düz dişli çarkların kalıp maliyetlerinin daha yüksek ve öngerilme verilecek olan tellerin merkezlenmesi problemi nedeniyle çalışmada kremayer dişli çark tercih edilmiştir. Kremayer dişlide artan diş sayısı ile kalıbın parça sayısı artacağı için dişli modellenirken tek diş alınmıştır. Dişin büyüklüğü modüle bağlıdır ve kullanılacak dişlinin modülü 6 seçilmiştir. Modül 6 için dişli boyutları Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Modül 6 dişlinin boyutları (Can, 2004).

Şekil 5.1’den benzer üçgenler teoremi ile diş üstü kalınlığı (s_0) 5,057 mm ve nominal diş dibi kalınlığı (s_q) da 14,884 mm olarak bulunur.

Deneylerde kullanılan modellenmiş kremayer dişlinin boyutları Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Modelize edilmiş numunenin boyutları (Can, 2004).

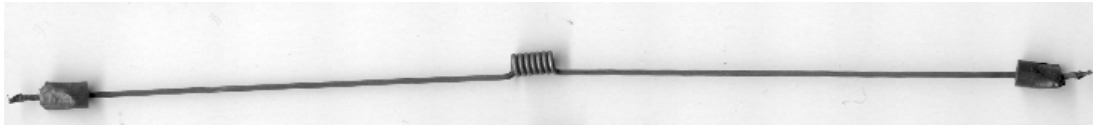
5.2 Takviye Yaylar

Deney numuneleri içine DIN 17223/84 (TS2500-1, EN 10270 SM) standartlarına uygun olarak üretilmiş B sınıfı 1.0600 malzeme numaralı yaylık çelik tellerden 1,2 mm kalınlığındaki tel 7 sarım olarak sardırılmış ve 200 °C’de tavlannmıştır. Tellerin kopma mukavemeti üretici tarafından yapılan testlerde 1920 – 2160 N/mm² olarak belirlenmiştir. Tellerin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 DIN 17223/84 normunda B sınıfı 1.0600 malzeme numaralı yaylık çelik tel

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %
0,70-1,00	En çok 0,35	0,30-1,00	En çok 0,025	En çok 0,025	En çok 0,12

Yayların kalıp içerisinde gerilmesini sağlamak için uçlarına tekstil makine sanayinde kullanılan dış çapı 4,8 mm, iç çapı 1,25 mm olan pimler kaynatılmıştır. Pimler dış dibine sarımlar gelecek şekilde sarım bitiminden 75 mm mesafede sabitlenmiştir (Şekil 5.3).

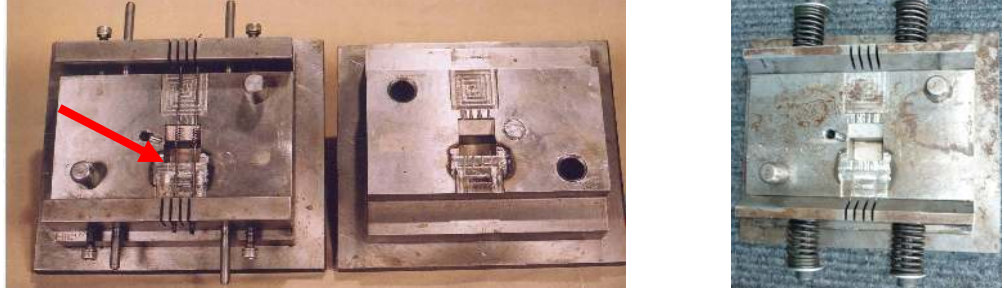


Şekil 5.3 Yay ve pimler

Yayların 4 mm çekilmesi ile her bir yayda 111,16 N luk bası kuvvetinin ve dolayısıyla 0,996 N/mm²’lik bir öngerilme bası gerilmesinin oluşması sağlanmıştır. Ancak yaylar tamamen geri gitmeyeceği için sistemde oluşacak öngerilme daha düşük değerde olacaktır.

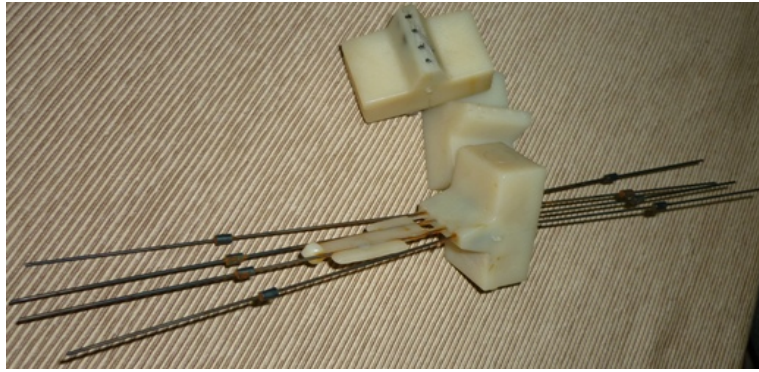
5.3 Numunelerin Enjeksiyon Kalıplanması

Kalıbın ilk halinde gerdirme işlemi kalıbın üst tarafındaki vidaların çevrilmesi ile yapılmaktaydı. Ancak vidaların çevrilmesi ile her seferinde aynı germe miktarının hassas olarak sağlanmasındaki güçlük nedeniyle sistem otomatik olarak 4 mm açılacak hale getirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Enjeksiyon kalıplamada kullanılan kalıplar

Deneylerde kullanılacak numuneler Denizli’de bir sanayi atölyesinde enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilmiştir. Polyamid 6 granül ile üretim gerçekleştirilmiştir. Yaylar kalıplama öncesi 4 mm çekilerek her bir yayda 111,16 N’luk öngerilme oluşturulmuştur. Takviyesiz 100, takviyeli 120 numune oluşturulmuştur. Şekil 5.5’de numune grupları gösterilmiştir.



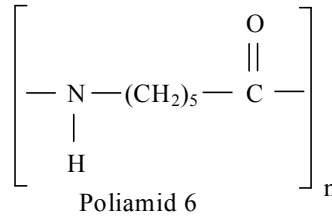
Şekil 5.5 Poliamid 6’dan üretilmiş numuneler

5.4. Malzemenin Belirlenmesi

Çalışmada matriks malzeme olarak plastik dişli malzemesi olarak en çok tercih edilen termoplastik olan poliamid 6 seçilmiştir.

Poliamidin en önemli dezavantajı su emme özelliğinin yüksek olmasıdır, bu poliamid özelliklerini ve boyutsal kararlılığını etkiler. Cam takviyesi bu problemi düşürür ve mükemmel dayanım değerleri ile birlikte darbeye dayanım getirir. En düşük kristalinite derecesine sahip olan poliamid 6, en kolay işlenebilen poliamidir. Poliamidin çok iyi yorulma dayanımı, iyi sürünme dayanımı, düşük sürtünme katsayısı ve oldukça iyi darbe dayanımı (kristalinitite derecesine bağlı), iyi kimyasal dirençleri ve elektrik

özellikleri vardır. Polimerizasyon sırasında kontrol edilebilen kristalinite derecesi naylonun rijitliğini, dayanımını ve ısıya karşı dayanıklılığını etkiler. Genellikle düşük kristalinite derecesi tokluğu, uzamayı ve darbe dayanımını yükseltir, fakat çekme dayanımı ve rijidliği azaltır. Şekil 5.6’da poliamid 6’nın zincir halkası verilmiştir. Çizelge 5.2’de ise dişli malzemesi olarak kullanılan poliamid 6’nın mekanik özellikleri verilmiştir (Can, 2004).



Şekil 5.6 Poliamid 6’nın zincir halkası (Can, 2004).

Çizelge 5.2 Dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli mekanik özellikleri (Can, 2004).

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekmede elastisite modülü (GPa)	Çekmede kopma uzaması (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilmede elastisite modülü (GPa)
Poliamid 6	1120-1140	62-90	1,4-2,8	100-320	34-97	2,8
Poliamid 6/6	1130-1150	76-83	2,6-3,2	60-300	41-110	21,4-4,1

Önemli bir poliamid çeşidi, kestamid (cast poliamid)olarak da adlandırılan dökülebilen naylondur. Birçok plastik ısıнын etkisi altında ve atmosfer basıncında döküm kalıbını doldurmak için yeterli derecede sıvı halini alamazlar. Bu nedenle bunlara şekil vermek için yüksek basınç gerekmektedir. Bu plastiklere ısı ve yüksek basıncın bir arada bulunduğu ekstrüzyon veya enjeksiyon yöntemleri uygulanır. Ancak bazı plastikler, atmosfer basıncında dökülebilen sıvı kıvamında bulunabilirler. Dökülebilen poliamid, poliamid 6 monomerlerinden elde edilir; bu monomerlerden çok karışık ve ağırlıkları yüzlerce kilograma varan parçalar dökülür (Kohan, 1995).

5.5 Deney Cihazı

Enjeksiyon kalıplama ile üretimi gerçekleştirilen model dişin deney cihazına bağlanması için aparat yapılmıştır.

Numunelerin deney cihazına bağlanmaları için tasarlanan aparatta numune pabuçlar ile bağlanmıştır. Rijitliği sağlamak amacıyla 25 mm kalınlığındaki çelik levhalardan kutu şeklinde bir tasarım yapılmıştır. Eş dişli olarak modül 6 diş sayısı 18 olan, sementasyon çeliğinden düz dişli kullanılmıştır ve numuneye paralel olacak şekilde bir de kremayer dişli kullanılarak bir çalışma sistemi oluşturulmuştur. Numuneye paralel olacak şekilde yerleştirilen bu kremayer dişli ıslah çeliğinden yapılmış ve tam sertleştirme işlemi uygulanmıştır.

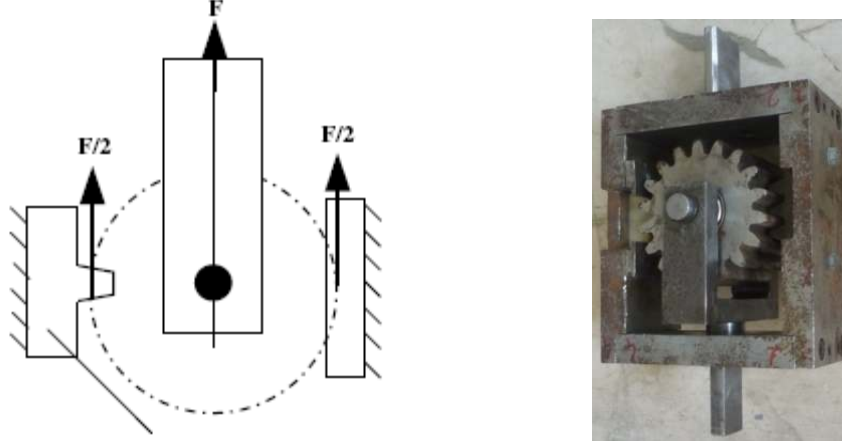
Deneyle, Instron marka çekme deney cihazında yapılmıştır. Sistem, silindire yağ pompalanması ile silindirin yukarı-aşağı hareket etmesi prensibine göre çalışmaktadır. Çek valf ile uygulanan basınç ve buna bağlı olarak maksimum yük değiştirilebilmektedir. Sistem, belli bir basınç oranının üzerinde yükü tekrarlamakta ve bu basınç değerinin altında statik çekme yapmaktadır. Tekrarlanan yükün alt ve üst sınırı, kontrol ünitesindeki düğmelerle değiştirilebilmektedir. Silindir üzerinde bulunan strain-gageler yardımıyla o anda uygulanan yük, yük ölçere aktarılarak dijital olarak gösterilmektedir. Şekil 5.7' de deney cihazı ve ona bağlanan test aparatı gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Deney cihazı ve ona bağlı olan test aparatı

5.6 Deney Cihazında Kullanılan Test Aparatı

Numuneleri deney cihazına bağlamak için yardımcı aparat tasarlanmıştır. Aparat ile birlikte kuvvetin dağılımı ve aparata ait resim Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8 Numuneleri deney cihazına bağlamak için kullanılan aparat

Üretilen plastik dişliler test aparatına pabuçlar vasıtasıyla bağlanır. Bu pabuçlara bağlı olan dişlilerin deney esnasında hareketini önlemek için vidalar yardımıyla sıkıştırılır. Test aparatını Instron marka çekme deneyi cihazına bağlanmış hali Şekil 5.9’ da verilmiştir.



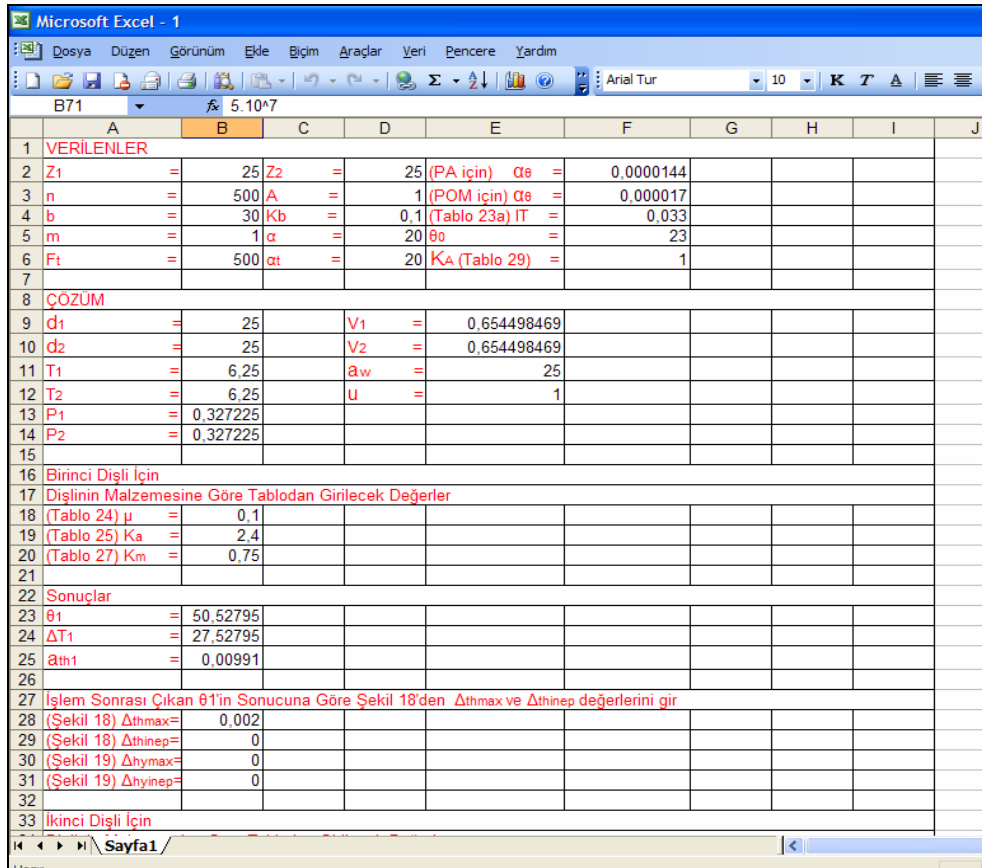
Şekil 5.9 Test aparatını Instron marka çekme deneyi cihazına bağlanmış hali

6. BULGULAR

6.1 BS 6168'e Göre Yapılan Hesaplamalar

BS 6168 standardında verilen hesap yöntemine göre, PA66 için yapılan hesaplarla çeşitli yüklemelerde dişli kutusu açık, çalışma esnasında nem de bir değişiklik olmadığı kabul edilerek 4 farklı teğetsel kuvvete göre hesap yapılmış ve Çizelge 6.1'deki sonuçlar elde edilmiştir. PA66 için hesap yapılmasının nedeni ilgili standartta bu malzeme için Wöhler eğrisinin yapılmış olmasıdır. PA66'nın PA 6'dan farkı daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmasıdır.

BS 6168 standardında verilen hesaplamaları yapmak için Excel' de bir program hazırlanmış ve hesaplamalar yapılırken bu programdan yararlanılmıştır. Programın bir kısmının örneği Şekil 6.1' de verilmiştir.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	VERİLENLER									
2	Z ₁	=	25	Z ₂	=	25	(PA için) α _s	=	0.0000144	
3	n	=	500	A	=	1	(POM için) α _s	=	0.000017	
4	b	=	30	K _b	=	0.1	(Tablo 23a) IT	=	0.033	
5	m	=	1	α	=	20	θ ₀	=	23	
6	F _t	=	500	α _t	=	20	K _A (Tablo 29)	=	1	
7										
8	ÇÖZÜM									
9	d ₁	=	25	V ₁	=	0.654498469				
10	d ₂	=	25	V ₂	=	0.654498469				
11	T ₁	=	6.25	a _w	=	25				
12	T ₂	=	6.25	u	=	1				
13	P ₁	=	0.327225							
14	P ₂	=	0.327225							
15										
16	Birinci Dişli İçin									
17	Dişlinin Malzemesine Göre Tablodan Girilecek Değerler									
18	(Tablo 24) μ	=	0.1							
19	(Tablo 25) K _a	=	2.4							
20	(Tablo 27) K _m	=	0.75							
21										
22	Sonuçlar									
23	θ ₁	=	50.52795							
24	ΔT ₁	=	27.52795							
25	Δth ₁	=	0.00991							
26										
27	İşlem Sonrası Çıkan θ ₁ 'in Sonucuna Göre Şekil 18'den Δth _{max} ve Δth _{inep} değerlerini gir									
28	(Şekil 18) Δth _{max}	=	0.002							
29	(Şekil 18) Δth _{inep}	=	0							
30	(Şekil 19) Δh _{ymax}	=	0							
31	(Şekil 19) Δh _{yinep}	=	0							
32										
33	İkinci Dişli İçin									

Şekil 6.1 BS 6168 standardında verilen hesaplamaları yapmak için tasarlanan program

Çizelge 6.1 BS 6168 standardından elde edilen çeşitli teğetsel kuvvete göre sınır çevrim sayısı

m	z	n	d	F _t	V	M _b (Nm)	P	F
6	17	500	102	1000	2,670354	51	2,670157	1
				1500	2,670354	76,5	4,005236	2
				1700	2,670354	86,7	4,539267	3
				2000	2,670354	102	5,340314	4

A m ²	(V _m) ^{KM}	Gövde sıcaklığı °C açık sürüş	açık gövde Δ _{th}	r _{th}	a _w	a _{th}	a _{wmax}	F
0,1	8,0083	62,55482	0,0026	0,1326	102	0,094844	102,0878	1
		79,83223	0,0032	0,1632		0,133967	102,0792	2
		86,74319	0,0042	0,2142		0,149616	102,1146	3
		97,10964	0,0054	0,2754		0,17309	102,1523	4

α _w	ε _α	Y _F	x=0,26 Y _F	σ _H	σ _{lim}	Devir sayısı	F
20,13488	1,501604	0,732764	2,51	10,21798	15,02644	10 ⁹	1
20,12183	1,502836	0,732327		15,31784	22,52623	10 ⁶	2
20,1759	1,497734	0,73414		17,4032	25,59294	2x10 ⁵	3
20,23341	1,49231	0,736082		20,5285	30,18897	55000*	4

* Wöhler eğrisi 10⁵ çevrimden itibaren verildiği için eğri uzatılarak yaklaşık bulunan değerdir.

Standartta verilmiş Wöhler eğrisinde minimum 100000 devir için değer verilmiştir. 1700 N'luk teğetsel kuvvet için 200000 devir yorulma ömrüdür. Standarda göre PA dişlinin maksimum gövde sıcaklığı 90 °C olmalıdır. 1300 N luk teğetsel kuvvette 10⁶ devir standarda göre güvenilirdir. 2000 N'luk teğetsel kuvvet için ise 100000 devire ulaşılamadığı hesaplanmıştır. 2000 N'luk teğetsel kuvvet için 100000 devirden daha az bir çevrim sayısı muhtemeldir. Eğri uzatılarak 2000N'luk teğetsel yük için 55000 civarında bir ömür değeri bulunmuştur.

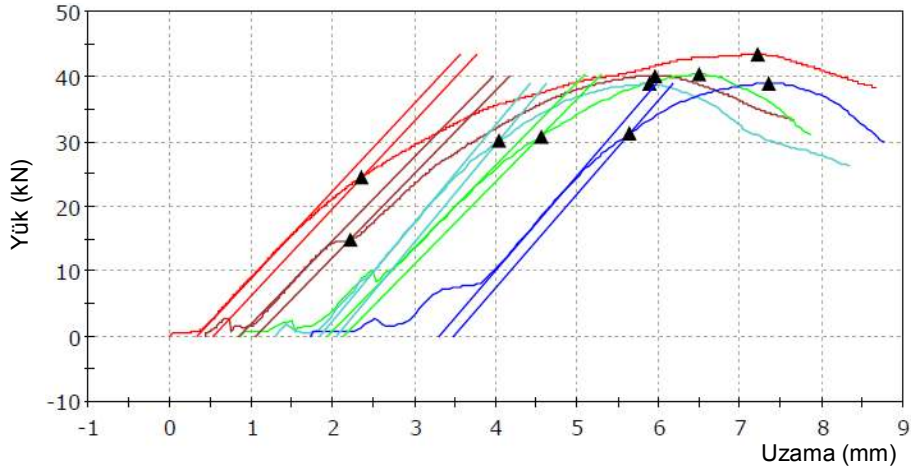
6.2 Deneylerin Yapılması

6.2.1 Statik kopma deneyleri

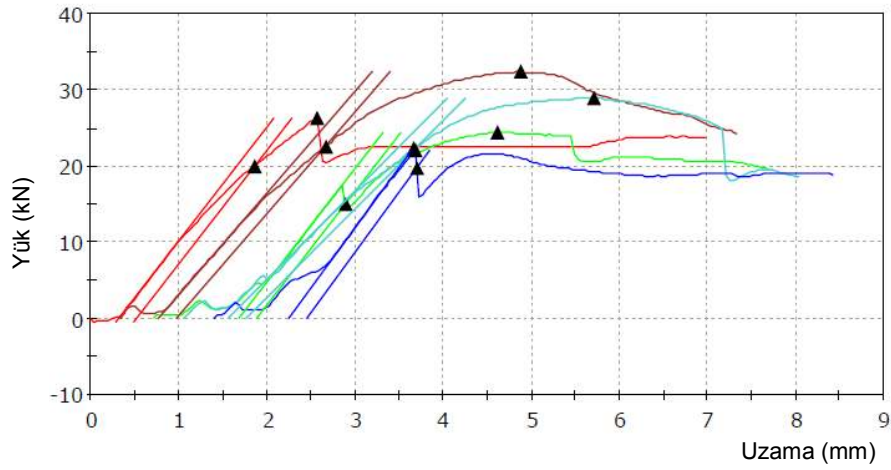
Deneyler, Instron marka çekme deney cihazında yapılmış, ilerleme hızı 2 mm/dakika olarak seçilmiştir. Öncelikle tek yükleme ile numunenin hasara uğradığı gerilmeler belirlenmiştir. Statik kopmaya neden olan kuvvet değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir. Statik kopma değerleri ile elde edilen çekme grafikleri Şekil 6.2’de takviyesiz, Şekil 6.3’de ise takviyeli numuneler için verilmiştir.

Çizelge 6.2 Statik kopma değerleri

Takviyesiz		Takviyeli	
Maksimum yük (kN)	Maksimum yükteki uzama (mm)	Maksimum yük (kN)	Maksimum yükteki uzama (mm)
43,44724	7,21548	26,39770	2,58119
40,16605	5,53374	32,35472	4,54357
40,32665	5,62518	24,42045	3,91850
38,86610	4,58318	28,94602	4,66438
38,98774	5,62603	22,02840	2,29210



Şekil 6.2 Takviyesiz numunelerin eğme deneyi



Şekil 6.3 Takviyeli numunelerin eğme deneyi

Statik kopma sonuçları ve şekiller incelendiğinde takviye malzeme kullanımının çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Buradaki düşüşün nedeni, poliamidin daha sert ve daha ağır bir malzeme olması nedeniyle, yayların kesit kalınlığını azaltmasının sonucudur.

6.2.2 Yorulma deneyleri

Yorulma deneyleri $R=0$ çeki dalgalı değişken durumunda %25 pozisyon değişimi ile sabitlenerek 10 Hz frekansta (600 devir/dakika) gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında yayların dış dibine gelmemiş olması, yayların dış profilinden taşmış ya da çıkmış olması ve malzemenin homojen olarak dağılmadığı takviyeli ve takviyesiz numunelerde (Şekil 6.4) daha düşük sonuçlar elde edildiği için bu numunelerle deney yapılmamıştır. Takviyesiz numunelerden 19, takviyeli numunelerin ise 24 adedi sorunlu çıkmıştır. Takviyesiz numuneler için 5 kN'luk yükün üstünde, takviyeli numuneler için de 4kN'luk yükün üzerindeki yüklemelerde çok düşük çevrim sayılarında hasar oluşmuştur. Bu nedenle 400 yük tekrar sayısının altındaki sonuçlar ihmal edilmiştir. Bu nedenle takviyeli numunelerde 4 kN üzerindeki yükteki deney sonuçları ile takviyeli numuneler için 5 kN üzerindeki deneylerin sonuçları çizelgede verilmemiştir. Deneylere başlarken çeşitli ilerleme hızı, pozisyon ya da kuvvet değişimine göre sabitleme durumlarında deneyler gerçekleştirildiği için 12 numune kullanılmıştır. Bir karşılaştırma niteliği taşımadığı için bu 12 adet numuneye ait veriler ve 400 çevrim sayısının altında sonuç bulunan toplam 45 numuneye ait veriler çizelgede yer almamaktadır.



Şekil 6.4 Hatalı üretilmiş numuneler

Takviyesiz ve takviyeli numuneler için gerilme genliğine göre yük tekrar sayıları Çizelge 6.3'de verilmiştir. Her bir gerilme genliği değeri için en az 3 deney yapılmıştır. Deneyler statik kopmanın olduğu değerden başlanarak uygulanan maksimum kuvvetin kademeli olarak azaltılması ile yapılmıştır. Sisteme gerilme genliğine karşılık gelen kuvvet ve ortalama yük girilmiştir. $R=0$ durumunda minimum yük sıfır, ortalama gerilme de gerilme genliğine eşittir.

Çizelge 6.3 Takviyeli ve takviyesiz numunelerle yapılan yorulma deneylerin elde edilen cycle değerleri

Gerilme (MPa)	Yük (kN)	Takviyesiz	Takviyeli	Gerilme (MPa)	Yük (kN)	Takviyesiz	Takviyeli
60,97	5	635		35,06	2,875	5058	4020
		689				4976	3802
		635				7684	4584
		662				6922	3638
		637				4786	3583
54,88	4,5	991		33,54	2,75	8796	13242
		1017				10243	6531
		963				5822	7042
		908				6968	8345
		963				7543	26993
48,78	4	1044	853	32,02	2,625	6325	8334
		1208	498			12314	6259
		1236	471			8223	18706
		1235	607			7072	11228
		1344	744			13439	11883
42,68	3,5	1195	580	30,49	2,5	17997	9999
		2012	1044			9289	18871
		2137	1072			14339	14593
		2055	1727			26652	61457
		2108	990			39358	78941
39,93	3,25	2164	1754	29,88	2,45	31527	52014
		1945	1235			30371	45943
		2862	1644			36342	88012
		3412	1372			29573	131714
		2974	923			35839	146917
38,11	3,125	4123	1908	29,27	2,4	37787	236711
		3846	2273			33068	138388
		4017	880			48761	270279*
		4651	1836			62092	256978*
		4785	1754			155213	281513*
36,58	3	4430	3147	24,39	2	149647	265959*
		3775	2164			135813	290301*
		3801	3420			160485	281727*
		3173	1481			* %25 pozisyon değişimi sağlanmamıştır.	
		3942	1945				
		4287	2792				
		8087	3664				

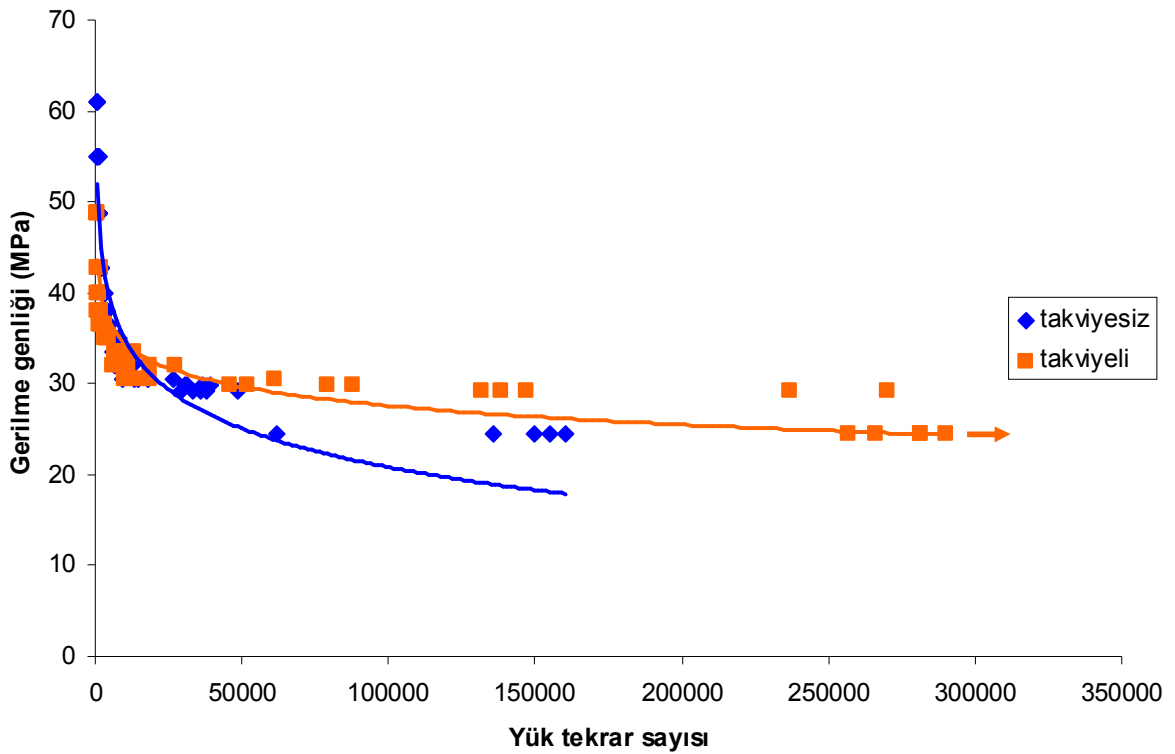
Deney sonuçları BS 6168 standardına göre yapılan hesaplamalara göre daha yüksek gibi görünse de BS 6168 standartlarında alınan yük teğetsel kuvvet, deneysel çalışmalarda verilenler ise toplam yüküdür. 2,4 kN luk toplam yük 2,26 kN teğetsel yüküdür.

Takviye yay kullanımı statik kopma değerlerinde olduğu gibi yorulma deneylerinde yüksek gerilme genliklerinde beklenin aksi yönde bir etki göstermiş, ömür değerlerini

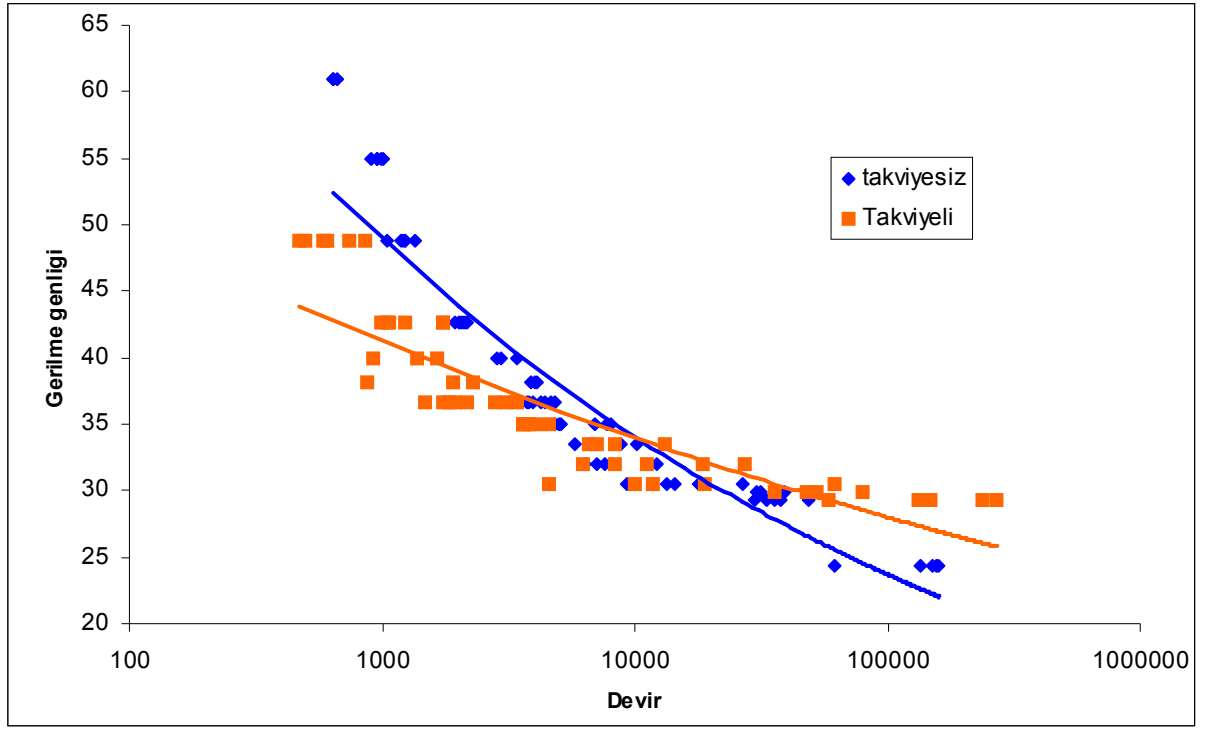
kısaltmıştır. Gerilme genlikleri düştükçe ömür değerlerinde yay takviyesinin olumlu etkisi söz konusudur. 2,4 kN luk yükte takviyeli numunelerde takviyesiz numunelere göre 4 kattan fazla ömür bulunmuştur.

Deneyler Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Mesai saatleri içerisinde gerçekleştirilen deneylerde 2 kN'luk yükte gün boyu çalıştırılan takviyeli numunelerde %25'lik pozisyon değişimi oluşmadığı için gün sonunda deneyler sonlandırılmıştır. Şekillerde 2 kN'luk yük için takviyeli numunelerde bulunan değerler sonrası sağ tarafa konulan ok işareti deneyin henüz tamamlanmadığının ifadesi olarak kullanılmıştır.

Elde edilen deney sonuçları grafiksel olarak Şekil 6.5'de aynı eksen takımında, Şekil 6.6'da ise yük tekrar sayısının logaritmik olarak gösterilmesi ile verilmiştir.

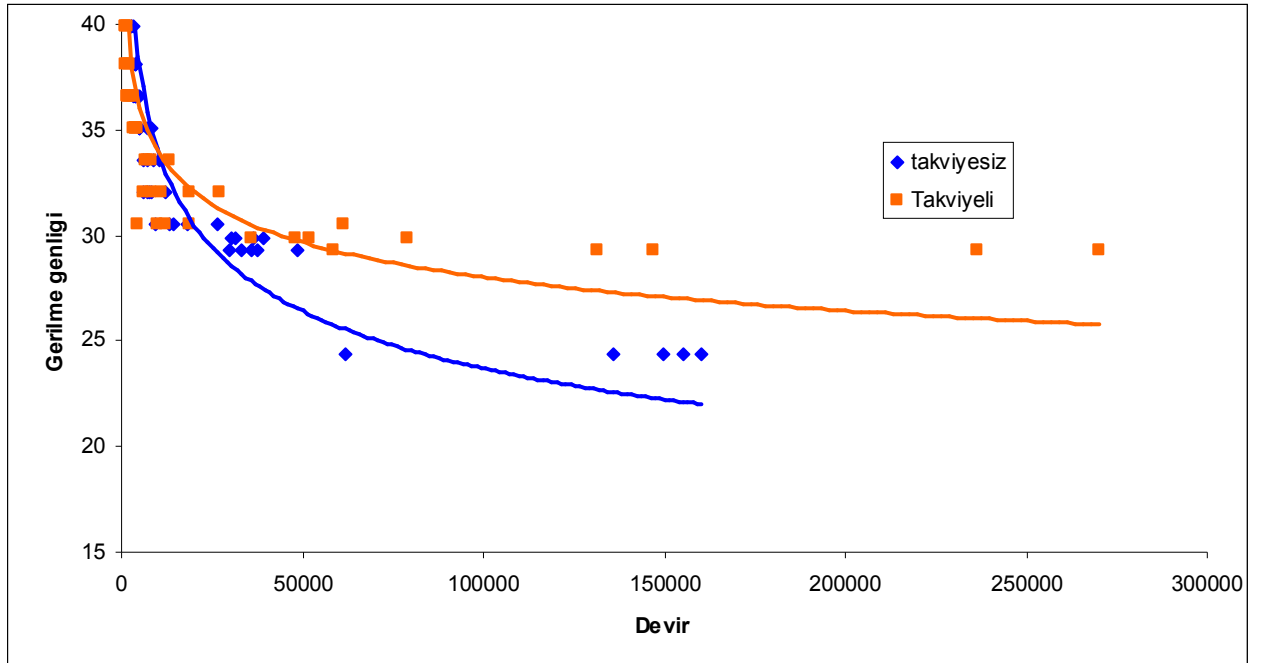


Şekil 6.5 Takviyeli ve takviyesiz numunelerden elde edilen deney sonuçları



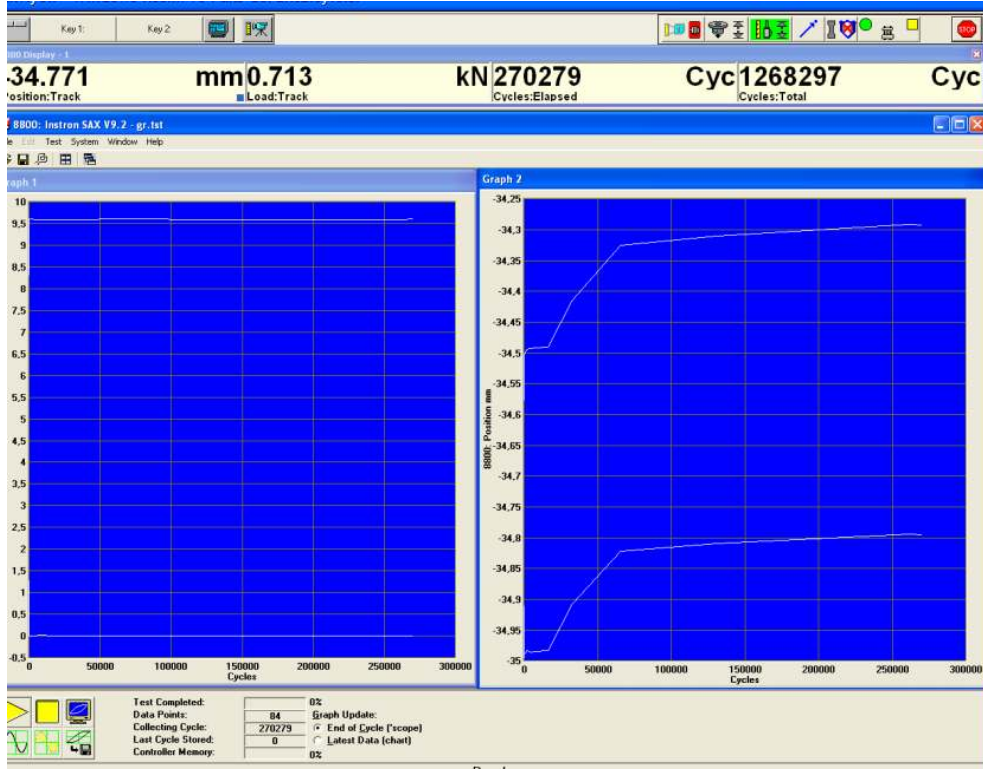
Şekil 6.6 Logaritmik eksenlerde takviyeli ve takviyesiz numunelerin deney sonuçları

Gerilme genliği değeri düştükçe yorulma ömrü takviyesiz numunelere göre artan bir katsayı ile artmaktadır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Takviyeli numunelerde ömür artışı

4,8 kN'luk yükte deney sırasında takviyeli numunede elde edilen pozisyon değişimi grafiği Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.8 Takviyeli numunede 4,8 kN gerilme genliğinde yük tekrar sayısına göre pozisyon değişimi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Statik kopma sonuçları ve şekiller incelendiğinde takviye malzeme kullanımının çekme dayanımı değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Buradaki düşüşün nedeni, poliamidin daha sert ve daha ağır bir malzeme olması nedeniyle, yayların kesit kalınlığını azaltmasının sonucudur.

2000 N'luk teğetsel kuvvet uygulandığında BS 6168 standardına göre takviyesiz numunede elde edilen yük tekrar sayısı 55000 civarındadır. Yapılan yorulma deneyleri ile takviyesiz numunelerde ortalama 56539 devir bulunmuştur. Deneyler ve BS6168 standardına göre yapılan hesaplamalarla uyumludur.

Gerçekleştirilen deneylerde de statik kopma deneylerinde ve yüksek gerilme genliğindeki yorulma deneylerinde 2,75 kN'dan daha büyük teğetsel kuvvet etkidiğinde takviyesiz numunelerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Düşük teğetsel kuvvetler için ise takviyeli numunelerde giderek artan bir ömür artışı bulunmuştur.

Tez kapsamında yapılan numunelerin büyük kısmında homojen malzeme dağılmaması, yayların numunenin dışına çıkması gibi sorunlar olduğu için düşük gerilme genliklerinde deneyler gerçekleştirilememiştir. Yüksek gerilme genliklerinde numunelerde ısı oluşsa da yumuşama hasarı ya da ısı yorulma gözlemlenmemiştir. Buna yüksek gerilme genliğinde çalışılması kadar yorulma deneylerinin pozisyonun %25'i kadar değişiminde sonlandırılmış olmasındandır.

Yay takviyeli numunelerin takviyesiz numunelere göre, yüksek gerilme genliği değerlerinde yük tekrar sayılarının düşmesine neden olduğu, 2,5 kN'luk yüke (30,49 MPa eğilme gerilmesine) kadar takviyesiz numunelerin daha iyi performans gösterdikleri ancak 2,5 kN'luk yükten itibaren takviye yay kullanımının olumlu etkisinin olduğu görülmektedir. Düşen gerilme genliklerinde ömür artışının daha yüksek olacağı açıktır.

BS6168 standardında da Wöhler eğrisinin 100000 devir sayısından alınması nedeniyle sonraki yapılacak çalışmalarda teğetsel yük olarak 2 kN ve altındaki yükleme durumlarında deneyler gerçekleştirilebilir.

Sert malzemeler yerine polietilen gibi daha yumuşak malzeme türlerinde daha olumlu sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir. Ayrıca yaylara pimler kaynatılırken ölçünün hassas olması ve yayların tam olarak diş dibine gelmelerinin sağlanması dikkat edilmelidir.

Yapılan tez, yürütücülüğünü Yrd. Doç. Dr. Hilal CAN SAYILGAN' ın yaptığı 107M603 numaralı T B TAK projesi ile paralel yürütülmüş, tez  ğrencisi bu T B TAK projesinde bursiyer olarak çalışmıştır.

8. KAYNAKLAR

Birley, A. W., Heath, R. J., Scott, M. J., 1988, Plastics Materials Properties And Applications, 2nd Edition, Chapman And Hall, New York, Pp: 117-120

BS 6168:1987 Non-metallic spur gears, British Standard Institution

Can, H., 2004, Öngerilmeli Plastik Dişli Çark Tasarımı, (Doktora Tezi), *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Crippa, G., Davoli, P., 2009-2, Comparative Fatigue Resistance Of Fiber Reinforced Nylon 6 Gears, Journal Of Mechanical Design, Transactions Of The Asme, 117 (1): 193-198 (1995)

Düzcükoğlu, H. Study On Development Of Polyamide Gears For Improvement Of Load-Carrying Capacity, Tribology International, 42, 1146-1153

Düzcükoğlu, H., 2009-1, Pa 66 Spur Gear Durability Improvement With Tooth Width Modification, Materials And Design 30, 1060–1067

Gosavi, V.P., Chikate, P.P., 1996, Comparison Of Static And Dynamic Performance Of Polycarbonate Filled And Unfilled Gears, Materials For The New Millennium Proceedings Of The Materials Engineering Conference, New York, 338-347

Kohan, M. I., 1995, Nylon Plastics Handbook, Hanser Publication, Munich, 30-45

Kurokawa, M., Uchiyama, Y., Nagai, S., 1999, Performance Of Plastic Gear Made Of Carbon Fiber Reinforced Poly-Ether-Ether-Ketone, Tribology International, 32 (9): 491-497

Rao, M., Hooke, C.J., Kukureka, S.N., Liao, P., Chen, Y.K., 1998, Effect Of Ptfе On The Friction And Wear Behavior Of Polymers İn Rolling-Sliding Contact, Polymer Engineering And Science, 38 (12): 1946-1958

Rende, H., 1997, “Dişli Çarklar”, Makine Elemanları Cilt II, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul, 1- 20

Tsukamoto, N., Maruyama, H., Ikuta, T., 1991, Study On Development Of Low Noise Gears (Silencing Effect And Operation Characteristics Of Nylon Gears Filled With Plasticizers), Jsme International Journal, Series 3: Vibration, Control Engineering, Engineering For Industry, 34 (1): 114-120

Tsukamoto, N., Maruyama, H., Koba, T., 1993-1, Operating Characteristics Of Super Engineering Plastic Gears (1st Report, Polyimide Gears), Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, 59 (557): 238-245

Tsukamoto, N., Maruyama, H., 1995-1, Matsumoto, T., Study On Liquid Crystal-Polymer Gears Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, 61 (590): 4082-4087

Tsukamoto, N., Maruyama, H., 1993-2, Mimura, H. Development Of Polyacetal Gears Emitting Low Noise (1st Report, Two Kinds Of Polyacetal Gears Filled With Different Additives), Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, 59 (558): 240-247

Tsukamoto, N., Maruyama, H., Mimura, H., 1996, Study On Nylon Mxd 6 Gears Filled With Glass Fibers Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, 62 (593): 298-305

Tsukamoto, N., Maruyama, H., Nishida, N., 1995-2, Operating Characteristics Of Super Engineering Plastic Gears (2nd Report, Aramid Gears), Nippon Kikai Gakkai

Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, 61 (592): 4785-4792

Tsukamoto, N., Maruyama, H., Nishida, N., 1989, Term Of Life And Wear Of Plastic Intermediate Gears Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, 55 (512): 1053-1060

Tsukamoto, N., Maruyama, H., Mimura, H., 1995-3, Polymer Alloy Gears (Polymer Alloy Gears Consisting Of Polyacetal And Polyurethane), Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen / Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, 61 (581): 245-252

Tsukamoto, N., Mimura, H., 1997, Uzuka, K., Study On Polyacetal Gears Filled With Talc Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, 63 (610): 2118-2125

9- ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdullah KOÇAK

Doğum Yeri : Sincanlı

Doğum Tarihi : 22-06-1984

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gazi Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü
(Afyonkarahisar) (1998 – 2001)

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine
Eğitim Bölümü (Otomotiv Öğretmenliği) 2004– 2008

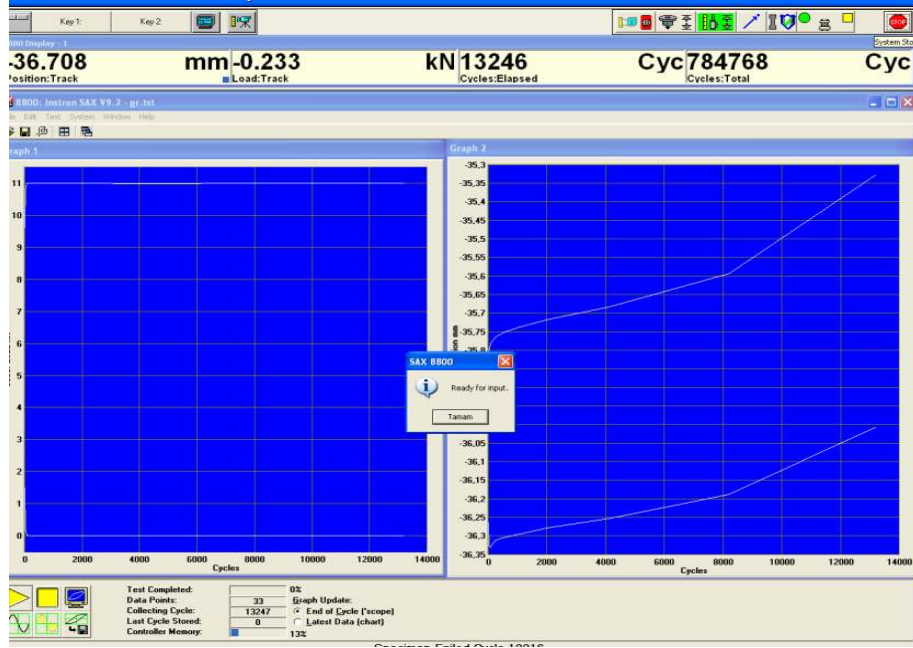
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

TÜBİTAK PROJESİ Pamukkale Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü

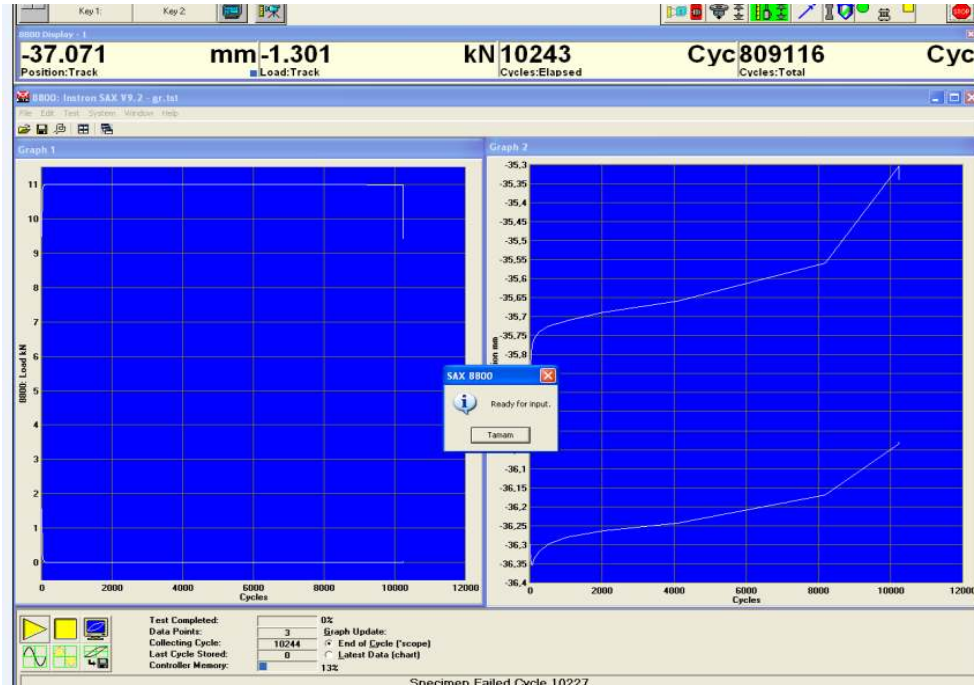
Proje Asistanlığı: 2009-2010

10. EKLER

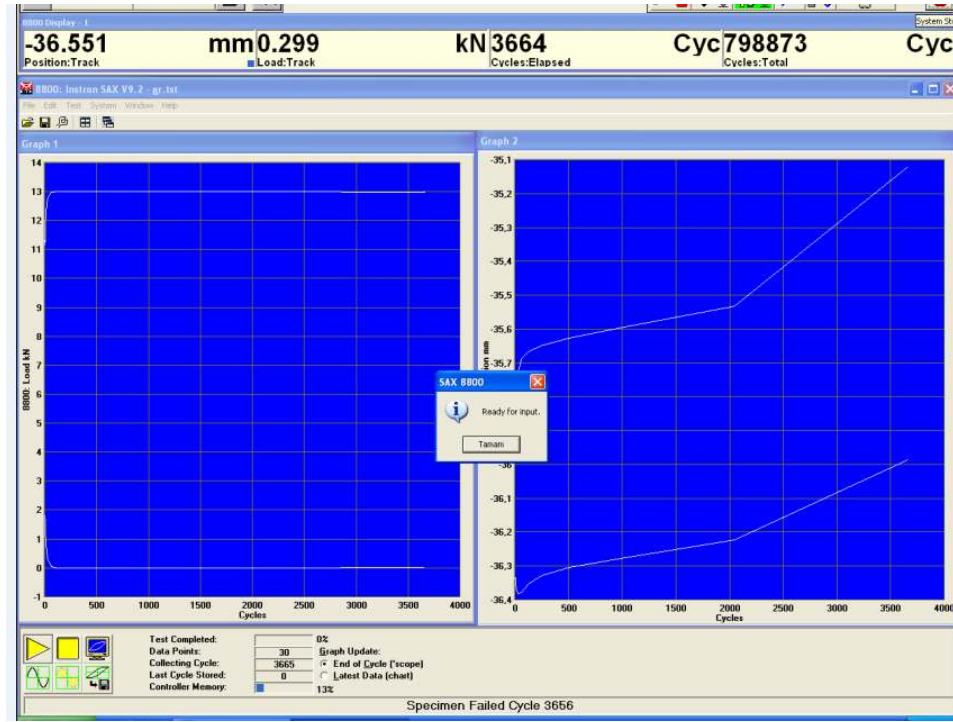
Ek-1 Takviyeli Numunede 5,5 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi



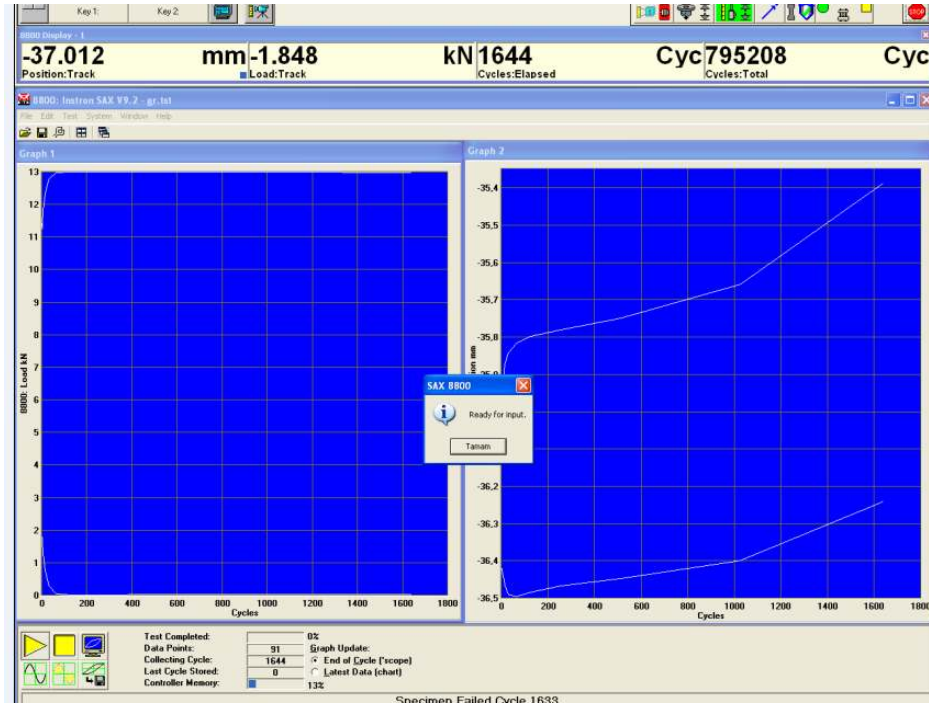
Ek-2 Takvisiz Numunede 5,5 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi



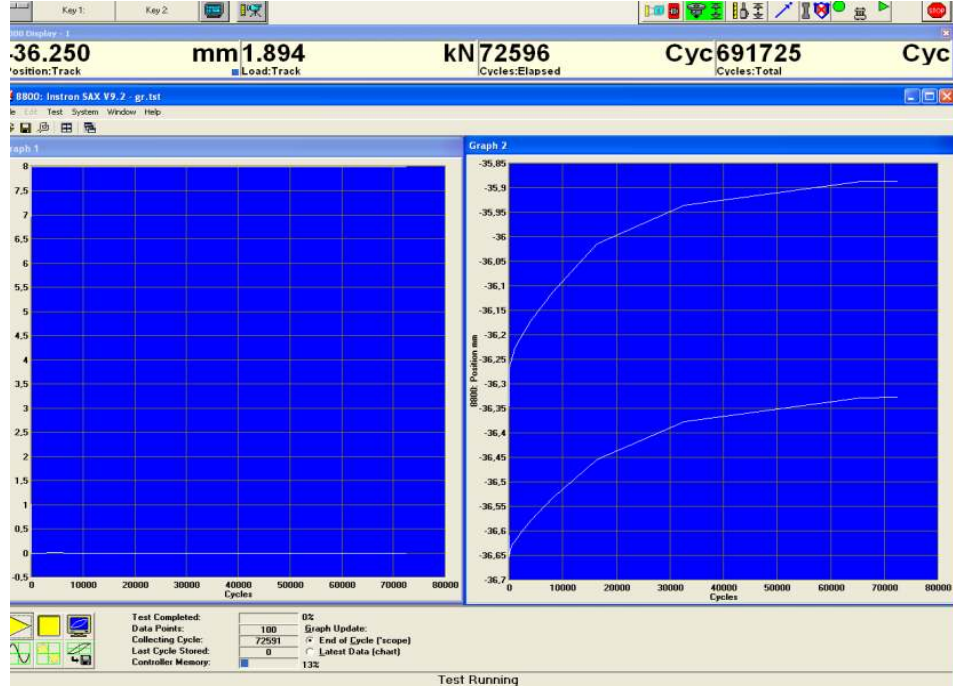
Ek-3 Takvisiz Numunede 6,5 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi



Ek-4 Takviyeli Numunede 6,5 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi



Ek-5 Takviyeli Numunede 4 kN Gerilme Genliğinde Yük Tekrar Sayısına Göre Pozisyon Değişimi



Ek-6 Deneyleri Tamamlanan Takviyeli ve Takviyesiz Numunelerin Bir Kısımı



Ek-7 Statik Kopma Deneyleri Yapılmış Takviyeli ve Takviyesiz Numuneler

