

ORTOTİK PLASTİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ, OKSİDATİF VE MEKANİK YIPRANMALARI

Haydar ALTINKAYNAK

Ankara Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, haltinkaynak@ankara.edu.tr

ÖZET

Plastikler; sağlam, hafif, hijyenik, kolay işlenir olmaları gibi üstün özellikleri sebebiyle günümüzde geleneksel malzemelere göre aranır ortez üretim malzemeleri olmuşlardır. Plastikler, sıcaklık, basınç, mekanik ve kimyasal metotlarla şekillendirilebilen organik, polimerik maddelerdir. Yapılarına göre homopolimer ve kopolimer olarak sınıflandırılırlar. Katılım ve yoğuşma polimerizasyonu ile üretilirler. Katılım polimerizasyonu ile elde edilen plastikler termoplastik, yoğuşma polimerizasyonu sonucu elde edilen plastikler termoset plastiklerdir. Yapı bakımından plastikler amorf, kısmi-kristalin/kristalin olmak üzere iki fiziksel halde bulunurlar. Ortotik polimerlerin çoğu, amorf ve kristal bölgeleri örgülerinde birlikte bulundurlar. Tam kristal polimerler serttir, ısıtıldıklarında camsı geçiş göstermezler belli bir sıcaklıkta erirler. Poliolefin ailesine ait ve ortez üretiminde en çok kullanılan en önemli plastikler; yüksek yoğunluklu polietilen (PEHD), düşük yoğunluklu polietilen (PELD) ile izotaktik, ataktik ve syndiotaktik molekül zincirlerine sahip polipropilenlerdir. Plastiklerde yorulma çok değişik etkenlerden kaynaklansa da ortotik plastiklerde, genelde mekanik ve kimyasal (oksidatif) yıpranma şeklinde yoğunlaşmakta ve yıpranma; işleme, çalışma ve çevre etkisi ile oluşmaktadır. Plastik ortezler üretildikten sonra şekil değiştirmemeli, üretim ve kullanım sürecinde çatlak ve çizgisel çatlaklar önlenmelidir. Plastik ortezler; yüklemeye uygun cinsten ve kalınlıkta boyutlandırılarak yüksek periyotlu titreşimler önlenmeli, plastik ortez tasarımında şekil kararlılığı sağlanmalı ve olumsuz çevresel faktörler için önlem alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Ortez, Termoplastik, Termosetplastik

ABSTRACT

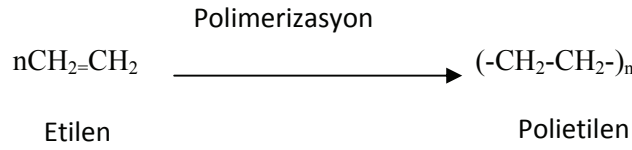
Plastics have become favorite materials in manufacturing of orthosis compared to conventional materials today due to their distinctions such as being durable, light, hygienic and easily machinable. Plastics are organic polymeric materials that can be shaped by heat, pressure, mechanical and chemical methods. They are classified as homopolymers and copolymers structurally. They are manufactured through addition and condensation polymerization. Plastics obtained through addition polymerization are thermoplastics, and plastics obtained through condensation polymerization are thermoset plastics. Plastics exist in two physical states structurally, being amorphous and semi-crystalline/crystalline. Most of orthotic polymers have amorphous and crystalline regions together in their networks. Fully crystalline polymers are rigid; they do not show glass transition when they are heated and they melt at a certain temperature. The most important plastics belonging to polyolefin family which are most widely used in manufacturing of orthosis are polyethylene high-density (PEHD), polyethylene low-density (PELD) and polypropylenes having isotactic, atactic and syndiotactic molecular chains. Although fatigue in plastics arises from many different factors, it is generally in the form of mechanical and chemical (oxidative) degradation in orthotic plastics, and the degradation occurs due to machining, working and environmental effects. Plastic orthoses must not deform after they are manufactured, and cracks and linear cracks must be avoided during manufacturing and use. High-period oscillations must be prevented by sizing plastic orthoses with a thickness and type suitable for loading, shape stability must be ensured in the design of plastic orthoses and measures must be taken against adverse environmental factors.

Keywords: Orthosis, Thermoplastic, Thermoset plastic

GİRİŞ

Plastikler, sağlam, hafif, kolay işlenebilir, hijyenik, istenilen rengin verilebildiği, mekanik özellikleri kullanılacağı yere göre geliştirilebilen, normal sıcaklıklarda katı, sıcaklık ve basınçla mekanik ve kimyasal metotlarla şekillendirilebilen, kalıplanan organik polimerik maddelerdir. Plastikler son yıllarda üretimsel ve çeşitlenme bakımından büyük gelişimler göstermektedir. Yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı protez-ortez üretim malzemeleri içinde önemli bir yer oluşturmakta ve mekanik özellikleri

iyileştirilmiş plastikler, metal ve ahşap gibi geleneksel malzemelerin yerini almaktadır. Polimerler monomerlerin polimerizasyonu sonucu elde edilirler (Şekil 1). Yapılarına göre homopolimer ve kopolimer olarak sınıflandırılırlar. Homopolimer tek bir monomerin tekrarlanması sonucu elde edilirken, kopolimer iki değişik monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Üç farklı cins monomerden oluşana da terpolimer denir. Örneğin polietilen etilenin polimerizasyonu sonucu elde edilen bir homopolimerdir.



Şekil 1: Etilenin polimerizasyonu

Stiren-butadien bir kopolimer ve ABS (akrilonitril-butadien-stiren) bir terpolimerdir. Polimerleşme sonucunda elde edilen ürünler amaç ve kullanım kolaylığı bakımından toz plastik, film, levha, blok yada değişik biçimlerde piyasaya sürülürler.

Polimerizasyon süreci iki ana grupta toplanır. Bunlar; "Katılım (Addition)" ve "Yoğuşma (Condensation)" polimerizasyonlarıdır. Katılım polimerizasyonu ile elde edilen plastikler termoplastikler olarak isimlendirilir. Termoplastikler sıcaklık uygulandığı zaman kristal-amorf durumuna bağlı olarak yumuşar ve camsı bir görünüm

alır ve kolayca biçimlendirilebilir hale gelirler. Termoplastikleri defalarca şekillendirmek mümkündür. Ancak her işlem sonucunda mekanik ve diğer bazı özelliklerinde düşmeler görülür. Yoğuşma polimerizasyonu ile elde edilen ürünler termoset plastiklerdir. Bu plastikler termoplastikler gibi defalarca biçimlendirilemezler. Termoset plastikler iki veya daha fazla tür monomerin özel koşullarda kimyasal tepkimeye (Şekil 2) girerek belirli sayılarda birleşmeleri ve ortamdan su (bazen de amonyak veya başka küçük bir molekül) ayrılarak bir polimer oluşturmalarıdır.

Monomer	Polimer	Monomer	Polimer	Monomer	Polimer
$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $	$ \left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right)_n $	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} $	$ \left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} \right)_n $	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} $	$ \left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right)_n $
$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} $	$ \left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_n $	$ \begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array} $	$ \left(\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array} \right)_n $	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{COOCH}_3 \end{array} $	$ \left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{COOCH}_3 \end{array} \right)_n $

Şekil 2. Plastiklerin imalatında kullanılan monomerler

Plastiklerin sert yumuşak olmalarını nitelendiren önemli bir kavramda “Kohezyon Enerjisi Yoğunludur”. Moleküllerin çekim enerjilerinin yoğun olduğu veya düşük olduğu oranlarda plastikler rijit veya yumuşak olabilmektedir. Bir bakıma kohezyon enerjisi yoğunluğu plastiklerin belirli mekanik özelliklerini tariflemektedir.

Kopolimer ve homopolimerlere belirli amaçlar için katılan dolgu ve takviye maddeleri onların değişik ve iyileştirilmiş mekanik özellikler kazanmalarını sağlar. Örnek olarak cam fitil elyaf ve çoraplar, karbon fitil bant elyaf ve çoraplar, aramid fitil ip ve kumaşlar katıldıkları plastiğin çekme dayanımını artırılması, boyut kararlılığının iyileştirilmesi gösterilebilir, ayrıca yine plastiklere mikroorganizmalara karşı koruyucu, koku oluşumunu ve renk solmasını önleyici anti bakteriyel etki yapan gümüş iyonları, pekiştirici ve dayanım artırıcılar, plastikleştiriciler, anti statikler, köpük yapıcılar, kaydırıcılar, ultraviyole ışınım dengeleyiciler gibi birçok dolgu maddesi katılarak kullanılacağı yere göre çok değişik nitelikler kazandırılabilir.

POLİOLEFİNLER

Poliolenin homopolimerleri, propilen butilen ve metil penten gibi monomerlerden elde edilir. Bunun yanı sıra penten ve heksen monomerlerinden poliolefin kopolimerleri oluşturulur. Poliolefin ailesine ait ve ortez üretiminde en çok kullanılan en önemli plastikler polietilen ve polipropilendir; bunların yanı sıra etilen-vinil asetat, ionomer, poliallomar, polibutilen ve polimetil penten gibi plastiklerde vardır. Poliolefinlerin çekme eğilme ve darbe mukavemeti gibi mekanik özellikleri ve kullanım sıcaklıkları kristalinite derecesine bağlı olarak oldukça farklıdır. Ancak elektriksel ve kimyasal özellikler bu aileyi oluşturan plastikler için pek değişmez.

POLİETİLEN

Polietilen plastikler arasındaki en basit molekül yapısına sahiptir. Ortez üretiminde çok sık kullanılır. Çok değişik özellikleri vardır. Genellikle polietilen tok, çok iyi elektriksel ve kimyasal özellikleri, düşük sürtünme katsayısı, sifıra yakın nem emme özelliği olan ve kolay işlenebilen bir

termoplastiktir. Çalışma sıcaklığı $-4,5^{\circ}$ ile 90° arasındadır. Polietilenler yoğunluk bakımından PEHD, PELD ikiye ayrılrsa da aslında orta ve çok yüksek yoğunluklu polietilen çeşitleri de vardır. Örneğin; PE 500 yüksek molekül ağırlığına sahip çok sağlam ve darbelere dayanıklıdır. Derin çekmede şekil değiştirme direnci yüksektir. PE 1000 ultra yüksek molekül ağırlığına sahip, oldukça sağlam, şekillendirildikten sonra şeklini koruyabilen üstün mekanik özelliklere sahip termoplastiktir. Ayrıca kimyasal işleme elde edilen ve termoset olan çapraz bağlı polietilen çeşidi de vardır.

POLİPROPİLEN

Düşük yoğunluklu bir termoplastik olan polipropilen tabii olarak yarı saydam ve süt beyaz rengindedir. Polipropilen kendine özgü hafifliği yüksek sağlamlık derecesi ile dikkat çeker. Yüksek esneklik ve iyi bir sertliğe sahip olması kullanım alanını genişletir. Çok iyi boyanma kabiliyeti vardır. Genellikle malzemenin sınırlı ısıl kimyasal ve elektriksel özellikleri ve orta derecede mukavemeti vardır. Bu özellikleri takviye maddeleri ile iyileştirilebilir. Genellikle polipropilen; enjeksiyon, ekstrüzyon, derin çekme, üfleme yöntemleriyle şekillendirilmektedir. Propilen ve etilenin kopolimerizasyonu ile kırılma dayanımı artırılmış termoplastikler mevcuttur. Polipropilenden yapılan ortezler profilleştirme elemanları ile daha düşük kalınlıklara çekilerek daha hafif ve sağlam ortezler yapılabilmektedir.

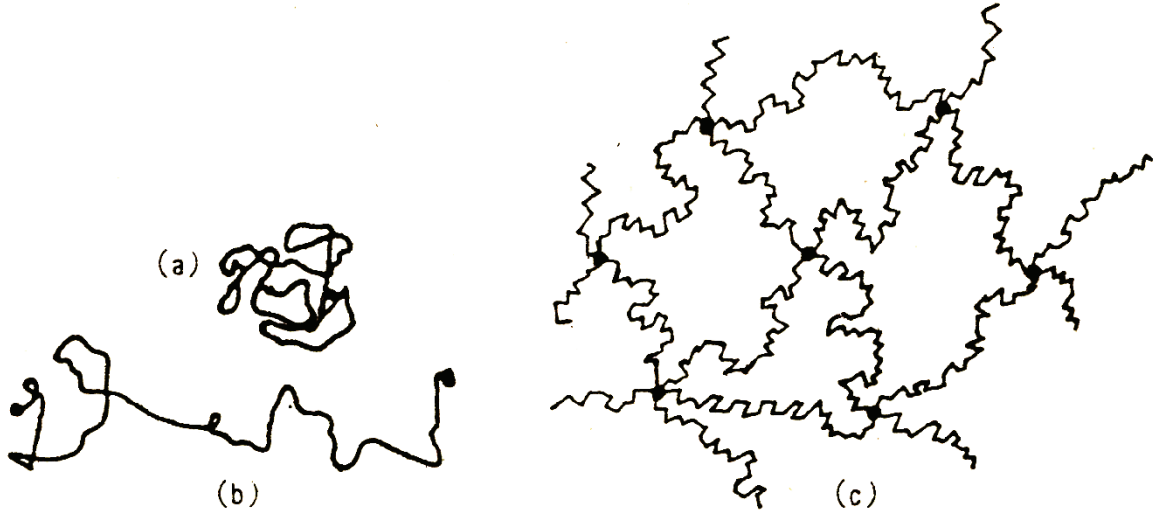
PLASTİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Plastiklerin mekanik davranışları incelenirken birkaç husus ele alınır. Birinci husus plastiklerin mekanik davranışlarının malzemenin yapı ve fiziksel haline bağlı olmasıdır. Yapı bakımından plastikler amorf ve kısmi kristalin/kristalin olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Fiziksel hal bakımından amorf polimerler; Tg camı duruma geçiş sıcaklığına bağlı olarak; camı durumda ($T < T_g$); lastik gibi ($T > T_g$) ve viskoz sıvı halinde bulunabilirler.

İkinci husus, plastiklerde meydana gelen şekil değiştirmeler, T gerilmelerin yanı sıra sıcaklık (T) ve şekil değiştirme hızına bağlıdır.

(E^*) $E=(T.T.E^*)$ olarak ifade edilir. Üçüncü bir husus ise plastiklerin aynı zamanda hem elastik hem viskoz davranış gösterdikleri yani visko elastik malzemeler olduklarıdır. Buna bağlı olarak bu malzemelerde normal sıcaklıklarda dahi sünme ve gevşeme (röleksasyon) olayları görülür. Yukarıdaki

hususlar esasen malzemenin molekül ağırlığına (zincir uzunluğuna), molekül zincirlerinin lineer, dallanmış veya çapraz bağlı olmalarına (Şekil 3) ve molekül zincirlerinin stereo düzenine (izotaktik, syndiotaktik, ataktik) bağlıdır.



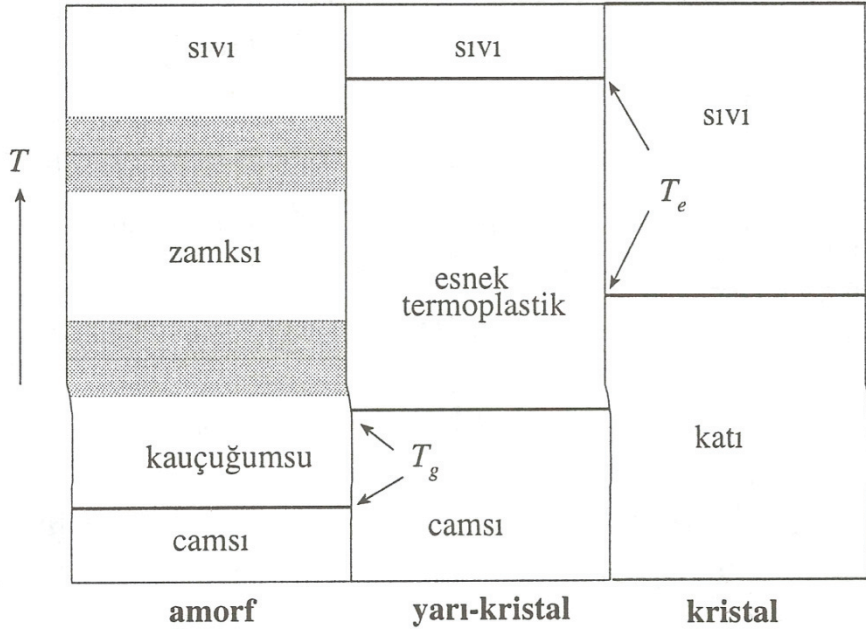
Şekil 3. Amorf polimerlerin yapısı: (a) Yumaklanmış lineer yapı; (b) Uzamış bağımsız zincir; (c) Çapraz bağlı yapı.

POLİMERLERİN ISIL ÖZELLİKLERİ

Polimer zincirleri, polimer örgüsü içerisinde düzenlenebilir şekilde istiflenerek kristal yapıda bölgeler oluşturabilmektedir. Normalde polimerlerden son ürünler yapılırken uygulanan işlemler sırasında da belli düzeyde kristalleşme gözlenebilir.

Ancak bu aşamada tüm polimer zincirlerinin bir düzen içerisinde paketlenerek TAM KRİSTAL bir yapı vermesi beklenemez. Bu nedenle çeşitli amaçlar için kullanılan ortotik polimerlerin çoğu amorf ve kristal bölgeleri birlikte örgülerinde bulundurlar. (yarı kristal) Yarı-kristal polimerlerinin genel örgüsü amorf faz içine gömülmüş kristal bölgelerden oluşan bir sisteme benzetilir. Tamamen amorf polimerlerde vardır. Polimerlerin ısı karşısındaki davranışı kristal, yarı kristal ya da amorf olması ile yakından ilişkilidir. Amorf polimerler yeterince düşük sıcaklıklarda sert ve kırılındır (cam gibi) böyle bir polimer ısıtıldığında camsı geçiş sıcaklığı (T_g) denilen bir sıcaklıkta yumuşayarak kauçuk özellikleri gösterirler. Polimerin camsı geçiş sıcaklığı üzerinde

ısıtılması sürdürülürse polimer kauçuğumsu davranışı bırakarak zamk görüntüsü üzerinden yeterince yüksek sıcaklıklarda sıvı halini alırlar. Ancak; kauçuğumsu zamksı ve sıvı davranış değişiklikleri arasında kesin sıcaklık değerleri yoktur. Geçişler derecelidir. Örneğin amorf bir madde olan cam camsı geçiş sıcaklığına kadar ısıtıldığında yumuşamaya başlar biraz daha yüksek sıcaklıklarda kolayca şekillendirilebilir hal alır. Yarı-kristal polimerlerde amorf ve kristal bölgeler birlikte bulunur. Bu polimerler camsı geçiş sıcaklıkları altında amorf polimerler gibi kırılındır. Kırılmalık özelliklerini camsı geçiş sıcaklığına kadar korurlar. Camsı geçiş sıcaklığı geçildiğinde belli derecede yumuşaklık kazanmakla birlikte kristal yapılarından dolayı esnek termoplastik davranışa geçerler. Erime sıcaklığına kadar (T_e) termoplastik özelliklerini değiştirmezler ve erime sıcaklığında kristal yapıları yıkılarak viskoz bir sıvı vererek erirler. Tam kristal polimerler serttir camsı geçiş göstermezler belli bir erime sıcaklığında erirler (Şekil 4).



Şekil 4. Amorf, Yarı-Kristal ve Kristal maddelerde ısı geçişler

PLASTİKLERDE YORULMA

Özellikle alt ekstremite ortezlerinde sık rastlanan materyal yorgunluğuna bağlı kırılmalar konusunda yapılan araştırmalarında gösterdiği gibi plastiklerde yorulma olayı metallerde olduğu gibi gevrek kopma şeklinde olup, bir çatlak oluşması ve yayılması sonucu olarak meydana gelmektedir. Ancak; metallerin yorulması ile plastiklerin yorulması arasında önemli farklılıklar vardır. Birincisi metallerde genellikle yorulma çatlaklarının yüzeylerinde oluşmasına karşın plastiklerde kalıplama sırasında yüzeylerde yorulma çatlaklarının yayılmasını sönmleyen bir koruyucu tabaka meydana gelmektedir. Genellikle burada çatlak cidarların içinde ve en çok çizgi küçük boşluklar yolluk noktaları gibi kalıplama, haddeleme çekme hatalarından oluşmaktadır. Bununla beraber en önemli fark; plastiklerin viskoelastik özelliklerinden dolayı, yüksek sönmleme ve düşük ısı iletkenliğinin sonucu olarak oluşan ısının, malzeme bünyesinde bir yumuşama meydana getirmesidir. Dolayısıyla plastiklerde çatlakın

yayılması ve malzemenin yumuşamasına bağlı iki çeşit yorulma söz konusudur.

İŞLEME, ÇALIŞMA VE ÇEVRE ETKİSİ ALTINDA PLASTİKLERİN YIPRANMASI

Yıpranma mikromoleküllerin ana zincirinde kopmalar oluşturan bir reaksiyondur. Kimyasal bağın çeşidine (kovalent veya iyonik) bağlı olarak polimerlerde; radikal iyonik ve iyono radikal olmak üzere üç çeşit yıpranma mekanizması meydana gelir. Yıpranma, molekül zincirlerinde meydana getirdiği kopmalarla esasen zincir uzunluklarını kısaltmaktadır. Plastiklerin birçok özellikleri molekül zincirlerinin uzunluğuna bağlı olduklarından yıpranma bu özelliklerinin azalmasına veya yok olmasına neden olmaktadır. Zincirdeki bağ kopmasına neden olan olaya göre yıpranma fiziksel ve kimyasal olabilir. Fiziksel yıpranma termik, mekanik, fotokimyasal ve iyonizasyon-radyasyon gibi olayların etkisi altında meydana gelir. Kimyasal yıpranma ise kimyasal

ajanların etkisi altında oluşan yıpranmadır. Bu gruba giren en önemli yıpranma oksidasyon, çözülme yumuşama ve gerilme çatlamaştır.

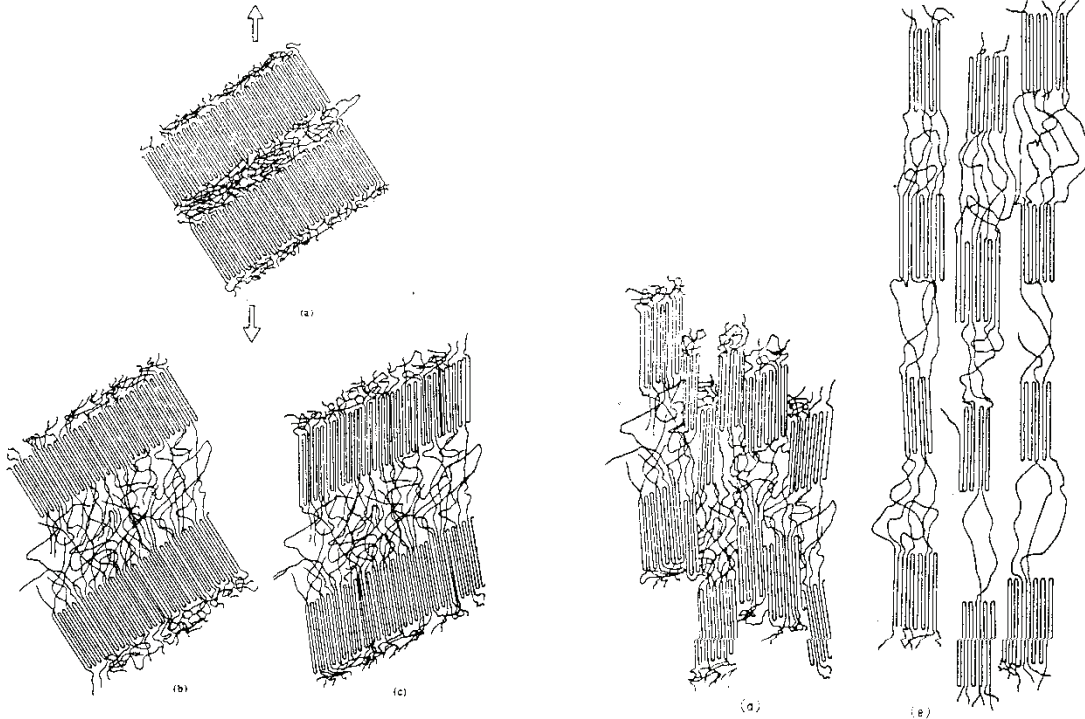
OKSİDATİF YIPRANMA

Oksidatif yıpranma, havada bulunan oksijen ve ozon gibi oksidantların etkisi altında meydana gelen yıpranmadır. Sıcaklığında mevcut olduğu bir ortamda ısıl yaşlanma adını taşıyan bir yıpranma çok daha çabuk oluşmaktadır. Plastiklerin oksidatif yıpranmaya direnci malzemenin yapısında ve özellikle makromolekülde kolayca oksitlenebilen grupların bağların bulunmasına bağlıdır. Oksitlenebilen karbon zincirli makromoleküller bileşikler doymamış hidrokarbonlardır. Ana zincirde bulunan çift bağlar, yan zincirlerin çift bağlarından oksidasyona daha elverişlidirler. Bu nedenle lineer polienler oksidatif yıpranmaya maruz kalırlar; dallanmış polienler ise yıpranmazlar fakat üç boyutlu yapılar oluştururlar. Polietilen, polisitiren gibi karbon-zincirli doymuş polimerler oksidasyona karşı daha dirençlidir. Oda sıcaklığında bu malzemeler

havada bulunan oksijen etkisiyle yıpranmazlar ancak yüksek sıcaklıkların mevcut olduğu ortamlarda yıpranırlar. Ayrıca polimerlerin yapısına klor ve florun girmesi oksitlenmeye karşı direnci artırır.

MEKANİK YIPRANMA

Tüm yıpranmalarda olduğu gibi burada da molekül zincirlerinin kopması yapı içerisindeki enerjinin istatistikî olarak değişmesine bağlıdır (Şekil 5). Bu değişme işleme ve kullanma sırasında daha aktif hale getirilmekte ve zincir kopmaları meydana gelmektedir. Mekanik yıpranmalara neden olan önemli bir etken de yüksek frekanslı titreşimlerdir. Bu titreşimler çok yoğun bir alan ve zincir kopmasına neden olan çok yüksek ultrasonik basınç meydana getirmektedir. Kopma sonucu oluşan makro radikaller esas yapı ile kimyasal reaksiyona girerek yıpranmayı karakterize eden alçak molekül ağırlıklı dallanmış ve çapraz bağlı polimerler meydana getirirler. Bu şekilde mekanik etki kimyasal reaksiyona dönüştürülmektedir.



Şekil 5. Kısmi kristalin plastiklerde şekil değiştirme kademeleri.

YIPRANMAYA KARŞI ÖNLEMLER

- Plastikler gevrek veya sünek kopma gösterirler. Gevrek kopmada ortez şekil değiştirmez. Sünek kopmada şekil değiştirir. Plastik malzeme kullanılacağı yere ve amaca uygun seçilmelidir.
- Plastik ortezlerin üretimi veya kullanımı sırasında oluşan çatlaklar herhangi bir gerilmeye bağlı çizgisel çatlaklar ise sadece çekmeye bağlı oluşur.
- Üretim aşamasında çatlamaya sebep olacak boşluk ve çizik oluşumu önlenmeli, kullanım anında gerilme yığılmalarını önleyici eklemler veya elastik bölgeler oluşturulmalıdır.
- Statik ve dinamik yüklemeye uygun cins ve kalınlıkta seçilmeyen plastik amacı destekleyemez. Şekil değiştirerek veya kırılarak sistemi etkisizleştirir. Plastikler yüklemeye uygun cins ve boyutta seçilmelidir.
- Olumsuz çevresel faktörler plastiklerde birden çok yıpranmaya neden olabilmektedir. Plastik ortezler ısı ve ışık ile doğrudan temas etmemelidir. Kan, ter gibi fizyolojik sıvılardan korunmalıdır.
- Ortezin şekil kararlılığı şüpheli olduğu durumlarda tahrik bölgelerinde profilleştirmeler yapılarak rijitlik sağlanmalıdır.
- Gerilme konsantrasyonu olan (ayak, ayak bileği bölgesi v.b.) bölgeler sürtünme ve çarpışmalardan korunmalıdır.
- Mekanik yıpranmalara neden olan en önemli etkende yüksek periyotlu titreşimlerdir. Yüksek yoğunluklu polietilende, bir AFO günde bir maksimumla minimum yük arasında yaklaşık 2000 defa zıt yönde hareket eder. Bu yıpranma yönündeki tahrik gücü; sönümleme tertibatı, eklem veya profilleştirme gibi tedbirler ile önlenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Akkurt, S. , Plastik Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1991.
2. Sacak, M., Polimer Kimyası, Gazi Kitapevi, Özbaran Ofset Matbaacılık, Ankara, 2008.
3. Yaşar, H. , Plastikler Dünyası, TMMOB Yayın No:142, Arzu Ofset, Ankara, 1992.
4. Pişkin, E. , Polimer Teknolojisine Giriş, İnkılâp Kitapevi, İstanbul, 1987.
5. Crawford, R.J., Plastics and Rubbers; Engineering Design and Applications, MEP, London, 1985.
6. Kaya, F., Plastik Katkı Maddeleri ve İşletme Metotları, Zafer Matbaası, İstanbul, 1983.
7. Swanson, R., S., Plastics Technology., McKnight Publishing Company, 1965, Çeviren: Bağcı, M., Erci, G., Karabay, M., Akbaş, A., Plastik Teknolojisi, M.E.B. (E.T.Y.Ö.O.) Yayını, Yayın No:6, Ankara.
8. Onaran, K., Malzeme Bilimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1991.
9. William F.Smith, Principles of Materials Science and Engineering, McGraw-Hill Inc., 1991.
10. Wilton H.Bunch, Atlas of Orthotics, The C. V.Mosby Company, Toronto, 1985.
11. Bortram Goldberg, M.D., Atlas of Orthoses and Assistive Devices, Mosby-Year Book Inc., USA, 1997.