

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALZEME BİLİMİ EĞİTİMİNDE
ÇOKLU ORTAMIN KULLANILMASI**

135820

**HAZIRLAYAN: HASAN AYDOĞAN
DANIŞMANI: Doç. Dr. ABDULLAH ÖZSOY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

ISPARTA, 2003

135820

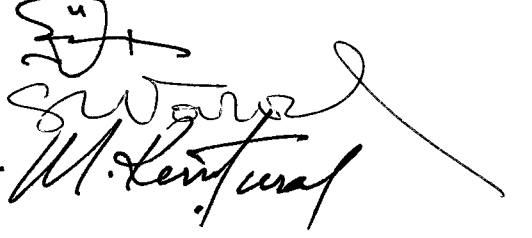
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI'nda
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Abdullah ÖZSOY

Üye : Doç. Dr. Remzi VAROL

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Resit USAL




ONAY

Bu tez 08/07/2003 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

12/09/2003

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

Enstitü Müdürü



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
TEŞEKKÜR.....	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ EĞİTİM.....	3
2.1. Bilgisayar Destekli Eğitimin Yararları.....	3
2.2. Çoklu Ortam.....	4
2.2.1. Uygulama Alanları ve Avantajları.....	4
2.2.2. Çoklu Ortam Uygulaması Geliştirme Araçları.....	5
2.2.3. Eğitsel Çoklu Ortam Uygulamasının Hazırlanması.....	6
2.3. Kaynak Özetleri.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Ders Notu Oluşturulması.....	11
3.2. Sunu Hazırlanması.....	12
4. DERS NOTLARI.....	13
4.1. Giriş.....	13
4.1.1. Malzeme Seçimi.....	18
4.1.2. Malzeme Biliminin Geleceği.....	20
4.1.3. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	21
4.2. Atomik Yapı ve Atomlararası Bağlar.....	22
4.2.1. Atomik Yapının İncelenmesi.....	22
4.2.2. Atomik Kütle Birimi, Atomik Ağırlık.....	22
4.2.3. Elektronlar.....	23
4.2.4. Periyodik Tablo.....	25
4.2.5. Bağ Enerjileri ve Yükleri.....	25
4.2.6. Bağ Çeşitleri.....	28

4.2.6.1. İyonik Bağlar.....	28
4.2.6.2. Kovalent Bağlar.....	29
4.2.6.3. Metalik Bağlar.....	31
4.2.6.4. İkincil Bağlar (Van der Walls).....	31
4.2.7. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	32
4.3. Kristal Yapılar ve Yapı Kusurları.....	33
4.3.1. Katıların Türleri.....	33
4.3.2. Kristal Yapılar.....	33
4.3.2.1. Yüzey Merkezli Kübik Kristal Yapıları.....	34
4.3.2.2. Hacim Merkezli Kübik Kristal Yapıları.....	35
4.3.2.3. Sıkı Düzenli Hegzagonal Yapılar.....	36
4.3.3. YMK ve SDH Yapıların Karşılaştırılması.....	37
4.3.4. Yoğunluk Hesaplamaları.....	38
4.3.5. Polimorfizm ve Alotropi.....	38
4.3.6. Tek Kristalli ve Çok Kristali Malzemeler.....	39
4.3.7. Anizotropi.....	40
4.3.8. Kristalsız (Amorf) Katılar.....	40
4.3.9. Kusurlar.....	41
4.3.9.1. Noktasal Kusurlar.....	42
4.3.9.2. Çizgisel Kusurlar.....	45
4.3.9.3. Yüzeysel Kusurlar.....	46
4.3.9.4. Hacimsel Kusurlar.....	47
4.3.10. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	47
4.4. Difüzyon.....	48
4.4.1. Ara Difüzyon ve Kendiliğinden Difüzyon.....	48
4.4.2. Difüzyon Mekanizmaları.....	49
4.4.3. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	51
4.5. Metallerin Mekanik Özellikleri	52
4.5.1. Metallerin Mekanik Özellikleri.....	52
4.5.2. Sertlik.....	55
4.5.3. Deformasyon.....	56
4.5.4. Dislokasyon Hareketinin Yönü.....	57

4.5.5. Dislokasyonlar Arası Etkileşim.....	58
4.5.6. Kayma Düzlemleri.....	58
4.5.7. Çok Kristalli Malzemelerin Plastik Deformasyonu.....	59
4.5.8. Hatalar	62
4.5.9. Darbe Deneyi.....	64
4.5.10. Yorulma Deneyi.....	65
4.5.11. Sürünme Deneyi.....	65
4.5.12. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	66
4.6. Faz Diyagramı.....	67
4.6.1. Tanımlar.....	67
4.6.2. Mikroyapı.....	67
4.6.3. Denge ve Yarı Kararlı Durumlar.....	68
4.6.4. Faz Diyagramı.....	68
4.6.4.1. İkili İzomorf Sistemler.....	69
4.6.5. Faz Diyagramının Yorumu.....	70
4.6.6. Kaldıraç Kuralı.....	70
4.6.7. İzomorf Alaşımlarda Dengeli Soğutmada Mikro Yapının Değişimi	71
4.6.8. İzomorf Alaşımlarda Dengesiz Soğutmada Mikro Yapının Değişimi....	72
4.6.9. İkili Ötektik Sistemler.....	74
4.6.10. Ötektik Alaşımların Mikro Yapısının Değişimi.....	75
4.6.11. Ara Fazlı Faz Diyagramları.....	79
4.6.12. Metaller Arası Bileşikli Faz Diyagramı.....	79
4.6.13. Ötektoid Reaksiyonu.....	81
4.6.14. Peritektik Reaksiyonlar.....	81
4.6.15. Demir–Sementit (Fe–Fe ₃ C) Faz Diyagramı.....	82
4.6.16. Demir – Karbon Alaşımlarındaki Mikro Yapının Gelişimi	83
4.6.17. Hipoötektoid Çeliklerin Mikro Yapısı.....	84
4.6.18. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	85
4.7. Metallerdeki Faz Dönüşümleri.....	86
4.7.1. Faz Dönüşüm Kinetiği.....	86
4.7.2. Faz Dönüşüm Oranı.....	87
4.7.3. Aşırı Isıtma ve Aşırı Soğutma.....	88

4.7.4. İzotermal Dönüşüm Diyagramları.....	88
4.7.5. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	94
4.8. Metal Alaşımlarının Isıl İşlemleri.....	95
4.8.1. Yumuşatma Tavı.....	95
4.8.2. Normalizasyon (Normalleştirme) Tavı.....	97
4.8.3. Küreleştirme Tavı.....	99
4.8.4. Gerginlikleri Giderme Tavı.....	100
4.8.5. Sertleşebilirlik.....	101
4.8.6. Çökelme (Yaşlandırma) Sertleşmesi.....	103
4.8.7. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	105
4. 9. Seramikler.....	106
4.9.1. Geleneksel Seramikler.....	107
4.9.2. İleri Teknoloji Seramikleri.....	107
4.9.3. Seramiklerdeki Bağlar.....	108
4.9.4. Seramiklerin Kristal Yapıları.....	108
4.9.5. Silikatlar.....	111
4.9.6. Seramik Türleri.....	112
4.9.6.1. Geleneksel Seramikler.....	112
4.9.6.2. İleri Teknoloji Seramikleri.....	114
4.9.7. Seramiklerin Özellikleri.....	114
4.9.7.1. Mekanik Özellikler.....	114
4.9.7.2. Elektriksel Özellikleri.....	115
4.9.8. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	115
4.10. Polimer Yapıları, Uygulamaları ve İşlemleri.....	116
4.10.1. Polimerler.....	116
4.10.2. Hidrokarbon Molekülleri.....	117
4.10.3. Polimer Molekülleri.....	118
4.10.4. Polimer Moleküllerinin Kimyası	119
4.10.5. Moleküler Ağırlık.....	120
4.10.6. Moleküler Şekil.....	121
4.10.7. Moleküllerin Yapısı.....	122
4.10.8. İzomerizm.....	123

4.10.8.1. Stereo İzomerizm.....	123
4.10.8.2. Geometrik İzomerizm.....	124
4.10.9. Kopolimerler.....	124
4.10.10. Polimer Kristalleri.....	124
4.10.11. Gerilme – Deformasyon Davranışı.....	128
4.10.12. Yarı Kristalli Polimerlerin Deformasyonu.....	128
4.10.13. Yarı kristalli Polimerlerin Plastik Deformasyonu.....	129
4.10.14. Mekanik Özellikleri Etkileyen Faktörler.....	130
4.10.15. Termoplastik ve Termoset Polimerler.....	131
4.10.16. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	137
4.11. Kompozitler.....	138
4.11.1. Kompozit Malzemelerde Yapı Bileşenleri.....	139
4.11.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	140
4.11.2.1. Fiber (Lifli) Kompozitler.....	141
4.11.2.2. Levhalı Kompozitler.....	142
4.11.2.3. Partikül Kompozitler.....	143
4.11.2.4. Dolgu Kompozitleri.....	144
4.11.2.5. Tabaka Yapılı Kompozitler.....	146
4.11.2.6. Plastik (Polimerik) Kompozitler.....	146
4.11.2.7. Güçlendirilmiş Plastiklerde Kullanılan Karbon Lifleri.....	147
4.11.2.8. Plastik Reçineleri Güçlendirmede Kullanılan Aramid Lifleri.....	148
4.11.2.9. Liflerle Güçlendirilmiş Plastik Kompozit Malzemelerde Kullanılan Matris Malzemeleri.....	149
4.11.3. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	154
4.12. Malzemelerin Özellikleri	155
4.12.1 Malzemelerin Elektriksel Özellikleri ve Temel Kanunlar.....	155
4.12.1.1. Katılardaki Enerji Band Yapıları.....	155
4.12.1.2. Enerji Band Yapıları ve İletkenlik.....	156
4.12.1.3. Metal İletkenliği İçin Malzeme Seçimi.....	157
4.12.1.4. Yarı İletkenlik.....	158
4.12.2. Manyetik Özellikler.....	161

4.12.3. Termal Özellikler.....	165
4.12.4. Optik Özellikler.....	169
4.12.4.1. Metallerin Optik Özellikleri.....	173
4.12.5. Korozyon	176
4.12.5.1. Korozyon Hücresi.....	176
4.12.5.2. Korozyonun Meydana Gelişi.....	178
4.12.5.3. Korozyon Türleri.....	181
4.12.5.4. Korozyonun Önlenmesi.....	183
4.12.6. Bölümle İlgili İnternet Adresleri.....	185
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	186
5.1. Sonuç.....	186
5.2. Öneriler.....	187
6. KAYNAKLAR.....	189
ÖZGEÇMİŞ.....	193

ÖZET

Bu çalışma lisans düzeyinde eğitim veren fakültelerdeki 'Malzeme Bilimi' dersinin bilgisayar yardımıyla çoklu ortam özellikleri kullanılarak anlatılması ve öğrenci başarısının artırılması için yapılmıştır.

Çalışmada önce, geniş bir literatür taraması yapılarak, öğrencilerin kullanabileceği ders notları oluşturulmuştur. Daha sonra dersin anlatılmasında kullanılmak üzere sunu hazırlanmıştır. Sunuda mümkün olduğunca fazla sayıda resim, şekil ve grafik kullanılmıştır. Ayrıca değişik animasyon görüntüleri sunuya eklenerek, daha da açıklayıcı olması sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Çoklu Ortam, Malzeme Bilimi, Bilgisayar Destekli Öğretim

ABSTRACT

This study is done as to discuss the 'Materials Science' by the help of computer based education and as to advance the student success at the faculties giving a four year curriculum.

After having completed a wide source scan, some useful notes for students were gathered. A slight show has been prepared where as many graphics, themes and pictures as possible were used in the aim of a more explained slight show and different types of animations had been attached to it before it was ready to be discussed.

KEY WORDS: Multimedia, Materials Science, Computer Assisted Instruction



TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın her aşamasında bana büyük destek veren, kaynaklarını, bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan tez danışmanı sayın Doç. Dr. Abdullah Özsoy'a içtenlikle teşekkür ederim.



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ADF	Atomsal dolgu faktörü
Akb	Atomik kütle birimi
BDE	Bilgisayar destekli eğitim
BSD	Brinel sertlik değeri
HMK	Hacim merkezli kübik
HRC	Rockwell C sertlik değeri
I	Akım şiddeti
MMKM	Metal matris kompozit malzemeler
R	Direnç
RSD	Rockwell sertlik değeri
SDH	Sıkı düzenli hegzagonal
SMKM	Seramik matrisli karma malzemeler
V	Elektriksel gerilim
YMK	Yüzey merkezli kübik

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 3.2.1.	Sunu görüntüsü.....	12
Şekil 4.1.1.	Yıllara göre, geliştirilen malzemelerin dayanımları.....	14
Şekil 4.1.2.	Malzeme optimizasyon döngüsü.....	15
Şekil 4.1.3.	Atom altı seviye, atomik seviye, mikroskobik yapı ve makroskobik yapı.....	15
Şekil 4.1.4.	a. Metallerden yapılmış değişik parçalar b. Yarı iletkenlerden yapılmış bir işlemci.....	16
Şekil 4.1.5.	a. Seramik uygulaması yapılmış bir içten yanmalı motor b. Seramik malzemelerden yapılmış değişik parçalar.....	17
Şekil 4.1.6	a. Polimer malzemelerden yapılmış değişik parçalar b. Cam elyafdan yapılmış golf sopası.....	18
Şekil 4.1.1.1.	Alüminyum ve magnezyumun farklı kristal yapıları ve uygulanan kuvvet karşısında kopma şekilleri.....	19
Şekil 4.1.1.2.	a. Alüminyumdaki dış tane sınırlarının dislokasyonu b. Tane sınırlarındaki serbest kayma kusurları.....	19
Şekil 4.1.1.3.	Değişik malzeme gruplarının özellikleri.....	19
Şekil 4.1.1.4.	Malzemenin özelliklerine etki eden faktörler.....	20
Şekil 4.2.3.1.	a. Atomun yapısı b. Quantum sayıları ve enerji düzeyleri.	23
Şekil 4.2.4.1.	Periyodik tablonun okunuşu.....	25
Şekil 4.2.5.1.	Atomların itme, çekme ve denge durumları.....	25
Şekil 4.2.6.1.1.	İyonik bağ.....	28
Şekil 4.2.6.1.2.	Na ve Cl iyonlarının iyonik bağla bağlanmaları sonucunda NaCl bileşiğinin oluşumu.....	29
Şekil 4.2.6.2.1.	a. Metan molekülündeki kovalent bağın şematik gösterimi b. Elmasın yapısı.....	30
Şekil 4.2.6.2.2.	Katı polietilenin spagetti benzeri yapısının 2 boyutlu şematik gösterilmesi.....	30
Şekil 4.2.6.3.1.	İyon çekirdeklerinin valans elektronlarından oluşan bir elektron bulutuyla kuşatılması.....	31

Şekil 4.2.6.4.1.	Van der Walls bağlarını oluşumu.....	32
Şekil 4.2.6.4.2.	a. Sudaki hidrojen bağlarının moleküler seviyedeki simülasyonu b. Buzun kristal yapısı.....	32
Şekil 4.3.2.1.	Kristal kafes yapılarında birim hücre.....	33
Şekil 4.3.2.1.1.	Yüzey merkezli kübik kristal yapısı ve birim hücresi ve küpün kenar uzunluğu.....	34
Şekil 4.3.2.1.2.	Sıkı düzenli bir düzlem yığını.....	35
Şekil 4.3.2.2.1.	Hacim Merkezli Kübik Kristal Yapıları ve birim hücrenin kenar uzunluğu.....	35
Şekil 4.3.2.3.1.	Sıkı Düzenli Hegzagonal yapının birim hücresi ve birim hücredeki atomların düzeni.....	36
Şekil 4.3.3.1.	Sıkı düzenli atomların bir kısmı; (ABCABCABC...) b. Sıkı düzenli atomik düzen için AB yığın sırası (ABABAB....).....	37
Şekil 4.3.3.2.	a. YMK yapıda yığın sıraları b. SDH yapıda yığın sıraları	37
Şekil 4.3.5.1.	Karbonun değişik şekilleri.....	39
Şekil 4.3.6.1.	Çok kristalli malzemelerde tane sınırları.....	39
Şekil 4.3.6.2.	a. Nano kristalli katının atomistik modeli b. Çok kristalli bir tane yapısının tavlama simülasyonu.....	40
Şekil 4.3.8.1.	a. Amorf yapıya sahip SiO ₂ 'nin şematik resmi b. Amorf yapının simülasyonu.....	40
Şekil 4.3.9.1.	Çok kusurlu bir çoklu kristalin şematik resmi.....	41
Şekil 4.3.9.2.	Kusurların belirlenme işlemleri.....	41
Şekil 4.3.9.1.1.	Nokta kusurlar.....	42
Şekil 4.3.9.1.2.	Değişik nokta kusurları.....	43
Şekil 4.3.9.1.3.	a. Yeralan atom kusurunun şematik gösterimi b. Frenkel ve Schottky kusurları.....	44
Şekil 4.3.9.2.1.	a. Kenar dislokasyonunun şematik gösterimi b. Basit bir kübik kristalde vida dislokasyonu.....	45
Şekil 4.3.9.3.1.	a. Kafes yapıları aynı, fakat yönlenmeleri farklı olan taneler b. Kenar dislokasyonları tarafından oluşturulan küçük açılı tane sınırı.....	46

Şekil 4.3.9.3.2.	İkiz sınırı.....	47
Şekil 4.3.9.4.1.	Kısa lazer sinyaliyle aydınlatılmış melanın tanesindeki mikro çatlakların kümesi.....	47
Şekil 4.4.1.	a. Difüzyon olayı başlamadan önce b. Difüzyon olayı başladıktan sonraki konum.....	48
Şekil 4.4.1.1.	a. Yüksek sıcaklıktaki ısıl işlemde önce ve sonra bakır - nikel difüzyon çifti b. Difüzyon çiftindeki Cu ve Ni atomlarının yerlerinin şematik gösterimi c. Bakır ve nikelin konsantrasyonu.....	49
Şekil 4.4.2.1.	Boşluk difüzyonu.....	49
Şekil 4.4.2.2.	Arayer difüzyonu.....	50
Şekil 4.4.2.3.	Difüzyon akısı.....	50
Şekil 4.4.2.4.	Difüzyon sırasında atomların birbirlerini sıkıştırarak geçmesi için gerekli aktivasyon enerji seviyeleri.....	51
Şekil 4.5.1.1.	Malzemelere uygulanan yük çeşitleri.....	52
Şekil 4.5.1.2.	Kayma ve burulma.....	53
Şekil 4.5.1.3.	Gerilme-gerinme eğrisi ve plastik şekil değiştirme.....	54
Şekil 4.5.1.4.	Üst ve alt akma noktaları.....	54
Şekil 4.5.1.5.	Tokluk değerinin hesaplanması.....	55
Şekil 4.5.2.1.	Sertlik ölçümünde kullanılan değişik uçlar.....	56
Şekil 4.5.3.1.	Plastik deformasyon.....	56
Şekil 4.5.3.2.	Dislokasyonlar.....	57
Şekil 4.5.4.1.	Dislokasyonda hareket yönü a. Kenar dislokasyonu b. Vida dislokasyonu c. Bir kenar dislokasyonun etrafındaki bölgede gerilme ve sıkışma bölgeleri.....	57
Şekil 4.5.5.1.	Dislokasyonlar arası etkileşimler.....	58
Şekil 4.5.6.1.	Kayma düzlemleri.....	59
Şekil 4.5.7.1.	a. Çok kristalli bir bakır numunenin yüzeyindeki kayma hatları b ve c. Çok kristalli bir metalde plastik deformasyon.....	59
Şekil 4.5.7.2.	Dislokasyon mekanizmalarının bazılarının yok edilmesi..	60
Şekil 4.5.7.3.	Toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi.....	61

Şekil 4.5.7.4.	Atomik düfüzyon yoluyla oluşan tane büyümesinin şematik gösterimi.....	62
Şekil 4.5.8.1.	Oluşan bir çatlağın yayılması sonucu, bir petrol tankerinin ortadan ayrılmasının fotoğrafı.....	63
Şekil 4.5.8.2.	a. Gevrek ve sünek malzemelerin absorbe edebildikleri enerjiler b. Çok sünek c. Kısmen sünek d. Gevrek kırılma	63
Şekil 4.5.8.3.	Sünek malzemelerde çatlağın oluşması ve yayılması a. Boyun verme b. Boşluk teşkili c. Boşluğun bir çatlak şekline dönüşmesi d. Çatlağın yayılması d. Kırılma.....	64
Şekil 4.5.9.1.	Darbe deneyi.....	64
Şekil 4.5.10.1.	Yorulma deneyinin yapılışı.....	65
Şekil 4.5.11.1.	Sürünme deneyinin yapılışı.....	66
Şekil 4.6.2.1.	% 4 C içeren Fe alaşımının mikro yapısı.....	68
Şekil 4.6.4.1.	a. Denge ve yarı kararlı durum b. H ₂ O için buz, su ve buharın bulunduğu, basınç ve sıcaklığa bağlı tipik bir diyagram.....	69
Şekil 4.6.4.1.1.	a. Faz diyagramı b. Cu ve Ni'nin faz diyagramı.....	69
Şekil 4.6.4.1.2.	Faz diyagramında erime noktaları.....	70
Şekil 4.6.6.1.	Kaldıraç kuralının uygulanması.....	71
Şekil 4.6.7.1.	İzomorf alaşımlarda dengeli (çok yavaş) soğutmada mikro yapının değişimi.....	72
Şekil 4.6.8.1.	İzomorf alaşımlarda dengesiz soğutmada mikro yapının değişimi.....	73
Şekil 4.6.8.2.	Cu ve Ni bileşiminin bileşime göre çekme gerilmesi ve %uzama grafikleri.....	73
Şekil 4.6.9.1.	Bakır gümüş faz diyagramı.....	74
Şekil 4.6.9.2.	Kurşun-kalay faz diyagramı.....	75
Şekil 4.6.9.3.	Katı çözümleri sınırlı ikili ötektik faz diyagramı.....	75
Şekil 4.6.10.1.	a. Farklı bileşimlerdeki sıvı kurşun – kalay sisteminin soğutulması b. Kurşun-kalay bileşiminde α ve β fazlarının oluşması.....	76

Şekil 4.6.10.2.	Kurşun-kalay alaşımının ötektik sıcaklığın üstündeki ve altındaki mikro yapıların şematik gösterimi.....	77
Şekil 4.6.10.3.	a. Kurşun-kalay sistemindeki ötektik yapının teşkilinin şematik gösterimi b. Kurşun-kalay alaşımının ötektik bileşiminin mikroskop görüntüsü.....	77
Şekil 4.6.10.4.	Kurşun kalay alaşımı için dengeli mikro yapıların şematik gösterimi.....	78
Şekil 4.6.10.5.	a. Ağırlıkça %50 kurşun ve %50 kalaydan oluşan kurşun - kalay alaşımının mikroskop görüntüsü b. Kurşun-kalay faz diyagramında mikro bileşenlerin miktarları.....	79
Şekil 4.6.11.1.	Cu ve Zn bileşiminin faz diyagramı.....	80
Şekil 4.6.12.1.	Metaller arası bileşikli faz diyagramı.....	80
Şekil 4.6.13.1.	Cu – Zn bileşiminde ötektoid reaksiyon.....	81
Şekil 4.6.14.1.	Peritektik reaksiyon sonucu oluşan faz.....	82
Şekil 4.6.15.1.	Demir–sementit (Fe–Fe ₃ C) faz diyagramı.....	82
Şekil 4.6.16.1.	Demir karbon alaşımının ötektik sıcaklığın altında ve üstündeki mikro yapısının şematik gösterimi.....	83
Şekil 4.6.16.2.	a. Ötektoid çeliklerdeki perlitin mikro yapısı. b. östenitten perlite dönüşümün şematik gösterimi	84
Şekil 4.6.17.1.	a. Hipoötektoid bileşimin mikro yapısı b. Hipoötektoid alaşımların kısımları.....	85
Şekil 4.7.1.1.	a. Sabit sıcaklıkta, katı durum dönüşümünün zaman logaritmasına karşı tepki veren bölümünün çizilmesi b. Çekirdek kararlılığı.....	86
Şekil 4.7.2.1.	Saf bakır için sabit sıcaklıkta ve zaman fonksiyonuna göre yeniden kristalleşme yüzdesi.....	87
Şekil 4.7.3.1.	Demir karbon alaşımı için ötektoid (%0,76 C) bileşimin zamana bağlı dönüşümü.....	88
Şekil 4.7.4.1.	Zamanın logaritmasına karşı dönüşüm yüzdesini gösteren izotermal dönüşüm diyagramı.....	89

Şekil 4.7.4.2.	İzotermal ısıtım işlem eğrisi (ABCD) de yerleştirilmiş ötektoid demir karbon alaşımı için izotermal dönüşüm diyagramı.....	89
Şekil 4.7.4.3.	a. Kaba perlit b. İnce perlitin mikroskop görüntüleri.....	90
Şekil 4.7.4.4.	a. Beynitin mikro yapısı b. Demir karbon alaşımı için izotermal dönüşüm diyagramı.....	90
Şekil 4.7.4.5.	a. Küreleştirilmiş mikro yapıya sahip bir çeliğin mikroskop görüntüsü b. Martenzitin mikro yapısı.....	91
Şekil 4.7.4.6.	Demir karbon alaşımı için izotermal dönüşüm diyagramı	92
Şekil 4.7.4.7.	a. İnce perlitten oluşmuş mikro yapıya sahip çeliğin karbon konsantrasyonuna göre basma ve çekme dayanımları ile Brinell sertlik değerinin değişimi b. Süneklik ve izod etki enerjisinin karbon konsantrasyonuna göre değişimi.....	93
Şekil 4.7.4.8.	Temperleme süresine göre sertliğin değişimi.....	93
Şekil 4.7.4.9.	Temperlenmiş martenzitin mikro yapısı.....	94
Şekil 4.7.4.10.	Östenit dönüşümün şeması.....	94
Şekil 4.8.1.1.	Tavlama işleminin şematik gösterimi.....	95
Şekil 4.8.1.2.	Alaşımız çeliklere uygulanan işlemler için ısıtım aralıkları.....	96
Şekil 4.8.1.3.	a. Yumuşatma tavisine tabii tutulan ötektoid altı çeliklerde b. Ötektoid üstü çeliklerde oluşan tipik iç yapılar.....	96
Şekil 4.8.1.4.	% 0.2 karbon içeren çeliğin tavlama işlemi sırasında iç yapısında meydana gelen değişimler.....	97
Şekil 4.8.2.1.	Yumuşatma tavisine ve normalleştirme tavisine işlemleri sonucu elde edilen perlitik yapılar arasındaki fark.....	98
Şekil 4.8.3.1.	Küreleştirme yapılmış mikroyapı.....	100
Şekil 4.8.5.1.	Jominy deneyinin yapılarının şematik gösterimi.....	101
Şekil 4.8.5.2.	a. Jominy deneyinin yapıları b. Deney çubuğu.....	102
Şekil 4.8.5.3.	Jominy deneyi sonucu elde edilen, sertliğin su verilen uçtan uzaklığa göre değişimini veren sertleşebilirlik eğrisi.....	102

Şekil 4.8.5.4.	Silindirik çelik çubukların radyal sertlik profilleri a. 1040 ve 4140 çeliği b. 4140 çeliğinin sertlik değerlerinin çapa göre değişimi.....	103
Şekil 4.8.6.1.	Çökeltme sertleşmesi sonucu, malzemenin kristal geometrisindeki değişimin şematik olarak gösterilmesi....	104
Şekil 4.8.6.2.	Çözülme ve çökeltme aşamalarını içeren çökeltme sertleştirme işleminin şematik gösterilmesi.....	104
Şekil 4.8.6.3.	Çökeltme sertleşmesi sırasında gerilme kuvvetinin değişimini gösteren eğriler.....	105
Şekil 4.9.1.	Seramik aşındırıcılar.....	106
Şekil 4.9.2.1.	Atmosfere giren bir mekiğin ısınan yüzeyleri.....	107
Şekil 4.9.4.1.	Kararlı seramiklerin kristal yapıları.....	109
Şekil 4.9.4.2.	Değişik koordinasyon numarasına göre seramiklerin geometrik şekilleri.....	109
Şekil 4.9.4.3.	a. NaCl'nin b. Sodyum klorür'ün kristal yapısı.....	110
Şekil 4.9.4.4.	a. Çinko bileşiklerinin b. Flüorit'in(CaF ₂) kristal yapısı....	111
Şekil 4.9.5.1.	SiO ₄ ⁴⁻ dörtyüzlüsünün yapısı.....	111
Şekil 4.9.6.1.1.	SiO ₂ 'nin yapısı.....	112
Şekil 4.9.6.1.2.	Soda-kireç camını kristal yapısı.....	113
Şekil 4.9.6.2.1.	Benzinli motorlarda kullanılan bir buji.....	114
Şekil 4.10.1.1.	İpek elyaf.....	116
Şekil 4.10.2.1.	Doymuş hidrokarbon moleküllerinin örnekleri.....	117
Şekil 4.10.2.2.	a. C atomları arasındaki ikili ve üçlü bağlar b. Bütan ve izobütanın molekül dizilişleri.....	117
Şekil 4.10.2.3.	Çeşitli polimer yapıları.....	118
Şekil 4.10.3.1.	Polimer molekülü.....	118
Şekil 4.10.4.1.	a. Başlatma reaksiyonu b. Hızlı yayılma.....	119
Şekil 4.10.4.2.	Sonlandırma.....	119
Şekil 4.10.4.3.	a. Politetrafloretülenin yapısı b. Polivinil kloridin yapısı...	119
Şekil 4.10.4.4.	a. Polipropilenin yapısı b. Bifonksiyonel ve trifonksiyonel yapılar.....	120
Şekil 4.10.5.1.	Moleküler ağırlık ve polimer miktarının değişimi.....	121

Şekil 4.10.6.1.	Moleküler şekil.....	121
Şekil 4.10.6.2.	a. Tekli C-C bağları etrafında dönebilen polimer zincir bağları b. Moleküler zincirler.....	121
Şekil 4.10.7.1.	Doğrusal, dallandırılmış, çapraz bağlı, ağ polimer yapıları.....	122
Şekil 4.10.8.1.	Bütan ve izobütanın molekül dizilişleri.....	123
Şekil4.10.8.1.1	a. İzostatik b. sindiotaktik c. ataktik konfigürasyonlar.....	123
Şekil4.10.8.2.1	Geometrik izomerizm.....	124
Şekil 4.10.9.1.	Kopolimer çeşitleri.....	124
Şekil 4.10.10.1	Polimer kristalleri.....	125
Şekil 4.10.10.2	Kristalli ve amorf bölgeler.....	125
Şekil 4.10.10.3	Polietilen.....	126
Şekil 4.10.10.4	Zincir uzunluğu ve kristal kalınlığı.....	126
Şekil 4.10.10.5.	Küreselleştirilmiş yapı.....	127
Şekil 4.10.10.6.	Polietilenin küreselleştirilmiş yapısının mikroskop görüntü fotoğrafı.....	127
Şekil 4.10.10.7.	Kristal, jel ve sıvı yapılarının gösterilmesi.....	127
Şekil 4.10.11.1.	Gerilme – deformasyon davranışı.....	128
Şekil 4.10.12.1.	Yarı Kristalli Polimerlerin Deformasyonu.....	129
Şekil 4.10.13.1.	Yarı kristalli polimerlerin plastik deformasyonu.....	130
Şekil 4.10.14.1.	a. Kristalleşme b. Cam geçişi.....	131
Şekil 4.10.15.1	t_a 'da yük uygulanmış ve t_r 'de serbest bırakılmıştır.....	132
Şekil 4.10.15.2.	Farklı polimer yapıları için gevşeme modülünün sıcaklığa bağlı değişimi.....	133
Şekil 4.10.15.3.	Elastomerler.....	134
Şekil 4.10.15.4.	Vulkanizasyon.....	134
Şekil 4.10.15.5.	Vulkanizasyon işlemi ve gerilme-gerinme grafiği.....	135
Şekil 4.10.15.6.	Polimerlerin kırılması.....	136
Şekil 4.10.15.7.	Polimerizasyon.....	136
Şekil 4.11.1.	Cam fiber.....	139
Şekil 4.11.1.1.	Fiber takviyeli kompozitlerin enine kesitinde arafaz ve arayüzeylerin görünümü.....	140

Şekil 4.11.2.1.1.	Karbon fiberin mikro yapısı.....	141
Şekil 4.11.2.1.2.	Değişik tipte fiber kompozitlere örnekler.....	142
Şekil 4.11.2.3.1.	Sermet ve dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlar arasındaki yapısal farklılık.....	144
Şekil 4.11.2.4.1.	Dolgu tipi kompozitlerde iskelet yapıları.....	145
Şekil 4.11.2.4.2.	Alüminyum alaşımından petek çekirdeğe alüminyum yüzeyler yapıştırılarak üretilen petekli katmer panel.....	146
Şekil 4.11.2.7.1.	Sıcaklığa göre çekme dayanımının değişimi.....	147
Şekil 4.11.2.7.2.	Yaklaşık 6000 kadar karbon lifinden oluşan bir lif tutamının fotoğrafı.....	148
Şekil 4.11.2.8.1.	Aromatik poliamidin kimyasal birimi.....	149
Şekil 4.11.2.9.1.	Yönlenmiş liflere sahip, cam lifli, polyester reçineli bir kompozit malzemenin kesiti.....	149
Şekil 4.11.2.9.2.	Tek yönlü ve çok yönlü kompozit katmanları.....	150
Şekil 4.11.2.9.3.	Beş katlı, iki yönlü karbon lifi-epoksi kompozit malzemenin mikro fotoğrafı.....	151
Şekil 4.11.2.9.4.	a. 12.5 µm çapında bir volfram tel çekirdek etrafındaki 100 µm çapında bor lifçik b. Bir alüminyum alaşımı-bor kompozit malzemesi kesitinin mikro-fotoğrafı.....	151
Şekil 4.11.2.9.5.	Metal matrisli kompozitleri güçlendirmede kullanılan silisyum karbür tek kristallerinin mikrofotografı.....	152
Şekil 4.11.2.9.6.	Bir seramik matrisli malzemede güçlendirici liflerin çatlak ilerlemesini önlemesinin şematik gösterimi.....	154
Şekil 4.12.1.1.	Elektriksel iletkenlik ölçümünde kullanılan aygıtın şematik gösterimi.....	155
Şekil 4.12.1.2.1.	Yalıtkan ve yarı iletkenlerdeki band yapıları.....	156
Şekil 4.12.1.2.2.	Cu ve Mg' in band yapıları.....	157
Şekil 4.12.1.4.1.	Yarı iletkenlik.....	158
Şekil 4.12.1.4.2.	P'nin Si kafesindeki durumu.....	159
Şekil 4.12.1.4.3.	Verici durumda oluşturulan boşluk valans bağından uzaktadır ve hareketsizdir.....	160
Şekil 4.12.1.4.4.	B'nin Si kafesindeki durumu.....	160

Şekil 4.12.1.4.5.	İletkenliğin oluşturulması.....	161
Şekil 4.12.1.4.6.	Yarı iletken malzemelerden yapılmış işlemci birimi.....	161
Şekil 4.12.2.1.	Akım geçirilen bir telde meydana gelen manyetik kuvvet hatlarının şematik gösterimi.....	162
Şekil 4.12.2.2.	Mıknatısların iki farklı kutupları birbirini çekmesi.....	162
Şekil 4.12.2.3.	Manyetik momentin oluşumu.....	163
Şekil 4.12.2.4.	Manyetik alana karşı akı yoğunluğunun ferromanyetik, paramanyetik ve diamanyetik malzemeler için şematik gösterimi.....	163
Şekil 4.12.2.5.	Diamanyetik malzemelerin atomik dipol konfigürasyonu	164
Şekil 4.12.2.6.	Paramanyetik malzemelerin atomik dipol konfigürasyonu	164
Şekil 4.12.2.7.	Ferromanyetik malzemelerin atomik dipol konfigürasyonu.....	165
Şekil 4.12.3.1.	a.Atomik titreşimin şematik gösterimi b. Sabit hacimde ısı kapasitesinin sıcaklığa göre değişimi.....	166
Şekil 4.12.3.2.	Atomlar atomlar arasındaki mesafeye göre bağ enerjisinin değişimi.....	166
Şekil 4.12.3.3.	Bakır-çinko alaşımının bileşime göre termal iletkenliği....	167
Şekil 4.12.3.4.	Bazı seramik malzemelerin sıcaklığa göre ısı iletkenlikleri.....	168
Şekil 4.12.4.1.	Fotonlarla elektronların etkileşmesi ve fonon oluşumu.....	169
Şekil 4.12.4.2.	Elektromanyetik dalgalar ve ışık dalgaları spektrumu.....	170
Şekil 4.12.4.3.	Işık dalgasının yansımaları ve kırılması.....	172
Şekil 4.12.4.4.	Saydam bir ortamdan ışığın geçişi.....	173
Şekil 4.12.4.1.1.	Yakut lazeri ve xenon flaş lambasının şematik diyagramı	174
Şekil 4.12.4.1.2.	Fiber optiğin kesiti.....	175
Şekil 4.12.5.1.1.	Korozyon hücresi.....	177
Şekil 4.12.5.2.1.	Hidrojen redüksiyonu için H'nin katodun yakınlara dağılımı.....	179
Şekil 4.12.5.4.1.	Katodik koruma.....	184

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 4.2.3.1.	Ana quantum sayısının gösterdiği enerji kabukları ve elektron sayıları.....	24
Çizelge 4.2.4.1.	Periyodik tablo.....	26
Çizelge 4.2.4.2.	Elektronegatiflik tablosu.....	27
Çizelge 4.5.7.1.	Önemli metallerin yaklaşık yeniden kristalleşme sıcaklıkları.....	61
Çizelge 4.8.2.1.	Çeliklerin yumuşatma ve normalleştirme tavlama uygulanması durumlarındaki mekanik özellikleri.....	99
Çizelge 8.6.1.	X Ni Co Mo 18 75 çeliğinin çökelme setleşmesi esnasında mekanik özelliklerinin değişmesi.....	105
Çizelge 9.3.1.	Elektronegatiflik tablosu.....	108
Çizelge 4.12.1.3.1.	Bazı malzemelerin elektriksel iletkenliği.....	158
Çizelge 4.12.5.2.1.	Metallerin elektromotif kuvvet serisi.....	181

1. GİRİŞ

Süratle gelişen teknoloji, beraberinde getirdiği bilgi patlaması, yaşadığımız çağın en belirgin özelliği olmuştur. Bu durum, toplumların hızlı gelişime ve değişime ayak uydurmalarını zorunlu hale getirmiştir. Toplumların gelişiminde eğitimin önemi büyüktür.

Günümüzde, insan yaşamında etkili hale gelen teknoloji, doğal olarak eğitimi de etkilemektedir. Eğitimde teknolojik olanaklardan en geniş anlamda yararlanabilmek gelişen eğitim teknolojisi ile mümkündür (Alkan, 1998).

Geleneksel öğretme-öğrenme ortamları, kalabalık sınıflar, zaman ve mekan sınırlılığı öğrencilerin öğrenme sürecine etkin katılımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tür sorunları gidermek için kullanılan yöntemlerden birisi de eğitimde bilgisayarın kullanılmasıdır. Bilgisayarın eğitim kalitesini artırmak amacıyla kullanılan bir araç olarak devreye girdiği, bilgisayar destekli eğitimde (BDE) bilgisayarın etkili olarak kullanılması, yöntemin başarısıyla doğrudan bağlantılıdır .

Bu çalışmanın genel amacı, lisans düzeyinde eğitim veren fakültelerdeki ‘Malzeme Bilimi’ dersinin bilgisayar yardımıyla çoklu ortam özellikleri kullanılarak anlatılması ve öğrenci başarısının artırılmasıdır.

Malzeme Bilimi dersinin etkin bir şekilde işlenebilmesi için malzeme laboratuvarına ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat çoğu üniversitede ya laboratuvar bulunmamakta ya da donanım bakımından eksik olarak bulunmaktadır. Böyle durumlarda da öğrenci konuyu anlamakta zorluk çekmektedir. Ayrıca donanım bakımından eksiksiz bir laboratuvar olsa dahi, çoklu ortam kullanılarak işlenen ders sayesinde öğrenci laboratuvara gitmeden önce konuyla ilgili bir ön bilgiye sahip olacaktır. Bunun yanına Malzeme Bilimi konularının resim ve animasyonlarla öğrenciye aktarılması eğitimin daha kolay, anlaşılır ve kalıcı olmasını sağlayacaktır. Böylece öğrenci başarısı yükselecektir.

Ayrıca ders ile ilgili grafik, şekil vb. 'lerinin ders sırasında tahtaya çizilmesi oldukça fazla zaman almaktadır. Bu durum; sınırlı olan ders süresini olumsuz olarak etkilemektedir. Bunun yanında tahtaya çizilen şekiller ne kadar düzgün olursa olsun, bilgisayarda çizilenler kadar düzgün, açıklayıcı ve anlaşılır olamaz. Bilgisayarda çizilen şekiller renklendirilerek daha da anlaşılır hale getirilebilir.

Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda ders notları oluşturulması yer almaktadır. Ders notları oluşturulmasında geniş bir literatür taraması yapılmıştır. Bu dökümanlar incelenerek ders notu oluşturulmasında kullanılmıştır. Oluşturulan bu notlar tezin dördüncü bölümünde yer almaktadır.

İkinci kısımda ise ders konularının anlatılmasında kullanılacak, renkli resim, grafik ve animasyonlardan oluşan bir sununun yapılması bulunmaktadır. Sunular hazırlanırken genelde bilgisayar programcılık kısmına girilmemiş, değişik araştırmalarda elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Çünkü programcılık uzmanlık isteyen bir konudur.

Araştırma; fakültelerde lisans seviyesinde okutulan 'Malzeme Bilimi' dersinin temel konularıyla sınırlandırılmıştır.

2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ EĞİTİM

Bilgisayarlar; eğitim çağındaki insanların niteliğini olumlu yönde artıracak ve etkileyecek, öğrencilerin derslerde dikkatini artıracak, daha verimli öğrenmeye yardımcı olacak, yaratıcılığı ve başarıyı artıran ve dersleri ilginç yapan araçlardır. Bilgisayar destekli eğitim denildiğinde ise “bilgisayar teknolojisinin eğitimde kullanılması” anlaşılmaktadır. Burada bilgisayar öğretmenin yerini alan değil, öğretmene yardımcı olan bir sistemdir.

2.1. Bilgisayar Destekli Eğitimin Yararları

Bilgisayar nasıl kullanılırsa kullanılsın, diğer araç-gereçlere ve öğretim yöntemlerine seçenek değildir. Ancak bilgisayar destekli eğitimde bilgisayar, diğer öğretim teknikleri ile etkileşim içinde kullanılabilir. Bu olanak da eğitim-öğretimin kalitesini artırmaktadır. Bilgisayar destekli eğitimin yararları şöyle özetlenebilir:

1. Bilgisayar destekli eğitim, öğrencilerin sürekli etkin olmasını sağlar. Geleneksel yöntemlerle, normal sınıf ortamında yürütülen öğretme-öğrenme etkinliklerinde, öğrencileri sürekli etkin kılmak oldukça zordur. Buna karşılık, bilgisayar destekli eğitimde her öğrenci çok daha etkin olabilmektedir.
2. Laboratuvar ortamı gerektiren bazı deney çalışmaları tehlikeli yada pahalı olduğundan veya laboratuvar olmaması nedeniyle yapılamamaktadır. Bilgisayar destekli eğitimde ise, bilgisayara kolayca uygulanabilen benzeşim yöntemleri ile bu tür deneyler kolaylıkla yapılabilen ve gerekli bilgiler sağlanabilmektedir.
3. Bilgisayar destekli öğretimde çizimler, resimler, şekiller, sorular ve diğer gereçler, öğrencilere sırası geldikçe sunulmaktadır. Ekrandaki bu görüntülemelerde renk ve ses faktöründen de yararlanılmakta, böylece öğrencilerin dersi izlerken başka konular düşünmeleri önlenerek dikkat düzeyleri oldukça yüksek tutulabilmektedir.

4. Bilgisayarın eğitimde kullanılması, öğretmene öğrenci sorunlarıyla daha çok ilgilenebilme ve işini daha verimli yapabilme olanağı sağlar (Gürcan, 1996).

2.2. Çoklu Ortam

Çoklu ortam uygulamaları ses, video, görüntü ve yazılı metinlerin bir konuyu açıklamak için birlikte kullanılmasıyla oluşur. Çoklu ortam kelimesinin İngilizce karşılığı multimedia, Latince çok anlamına gelen multi ve bir şeyin yayılmasını sağlayan ortam anlamındaki media kelimelerinden oluşmuştur. Medya günümüzde yaygın olarak yazılı, sözlü, görüntülü iletişim araçlarının tümüne verilen bir ad olarak kullanılmaktadır. Çoklu ortam uygulamaları da aynı şekilde değişik veri tiplerinin bir fikri, bir olayı, yeri veya konuyu açıklamak için bilgisayar ortamında kullanılmasıdır (Forcier, 1999).

2.2.1. Uygulama Alanları ve Avantajları

Çoklu ortam uygulamaları eğitim, pazarlama, bilgi aktarımı, tanıtım, bilgisayar oyunları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özel bir konuyu veya basit bir bilgisayar simülasyon programını, bir animasyon zincirini veya bir matematik hesaplama paketini öğreten ayrıntılı bir etkileşimli bilgisayar programı sınıfta çoklu-ortamı oluşturabilir (Özer vd., 2001). Bu ortam, öğrenciler için olduğu gibi öğretmenler için de farklı avantajlar sağlar. Çoklu-ortam modülleri konuları daha anlaşılır yapmak suretiyle dersleri hareketlendirip, onları daha ilgi çekici hale getirmek ve öğrencilerin dikkatlerini çekmek üzere önemli bir öğretim unsuru olarak kabul edilir. Zor olan, hatta fiziksel olarak görülmesi mümkün olmayan kavramlar çoklu-ortam kullanılarak daha açık bir şekilde modellenilebilir. Bir elektron, bir elektromanyetik alan veya kimyasal bir reaksiyon, çoklu-ortam modelleri kullanılarak kolaylıkla gösterilebilir. Çoklu-ortam, derslere daha iyi kontrol ve daha avantajlı hazırlanma sağlamasından dolayı öğretmene yardım edebilir (Turan, 2002). Belirli bir sınıfta çoklu-ortam kullanımındaki ilk adım, çoklu-ortam sunumlarından çok faydalı olacak konuları seçmektir. Bunlar klasik yollar ile haberleşmesi zor olan konular olabilir. Böylece, açıklaması daha kolay olacak ve gösteriler başarılı olduğu zaman

öğrencilerin anlaması daha kolay olacaktır. Çoklu-ortam modüllerinin hazırlanması zaman alır ve programların özel bir dinleyiciye, daha zor kavramları göstermek için dikkatli bir şekilde tasarlanması gerekir. Fakat bu programlar sadece eğlendirmek için kullanılmamalıdır. Sunum, başarılı bir şekilde öğrencilerin dikkatini çeker ancak öğretilmesi için konular üzerine odaklanılmamış ise bu durum tüm uygulamalarda çoklu-ortamın etkisini düşürür (Çetiner vd. 2002).

2.2.2. Çoklu Ortam Uygulaması Geliştirme Araçları

Çoklu ortam uygulamalarının hazırlanması için genel amaçlı veya özel olarak bu amaç için geliştirilmiş programlar kullanılabilir. Bu programları dört kategoriye ayrılabilir:

1. Programlama araçları
2. Sunum araçları
3. Basit etkileşimli yazılımlar
4. Karmaşık etkileşimli yazılımlar

Programlama Araçları: Bu araçlar C/C++, Visual Basic, Delphi gibi programlama dillerinden oluşurlar. Çoklu ortam uygulamalarının hazırlanmasında bu yöntem seçildiğinde içerik üzerinde azami kontrol sağlanabilir. Buna karşılık bu araçları kullanabilmek önemli ölçüde programlama deneyimi gerektirir. Diğer geliştirme araçları genellikle bu diller kullanılarak üretilmişlerdir.

Sunum Araçları: Bunlar Aldus Persuasion, Microsoft Powerpoint gibi sunum araçlarından oluşurlar. Grafik özellikleri olan ses ve video verileri de dahil edilebilen kelime işlemciler de bu gruba girerler. Özellikle yazılı metin ve basit grafik kullanılan uygulamalar için oldukça kullanışlıdır. Öğrenilmeleri oldukça kolay yazılımlardır (Bitter vd., 1999).

Basit Etkileşimli Yazılımlar: Bu araçlar etkileşimli yazılımlar üretilmesi için kullanılırlar. Sunumlarda genellikle düğmeler kullanılabildiği için uygulamanın değişik kısımlarına ulaşabilmek için hypertext de kullanılabilir. IBM firmasının

eğitim yazılımları için geliştirdiği “Likway” ve Macromedia firmasının “Authorware” yazılımını bunlara örnektir.

Karmaşık Etkileşimli Yazılımlar: Bu araçlar en güçlü çoklu ortam geliştirme yazılımlarıdır. Kontrol elemanları programlama dilleri kullanılarak eklenebilir ve bu sayede ortamın daha etkili kontrolü sağlanabilir. Macromedia firmasının geliştirmiş olduğu “Flash” programı en çok kullanılan yazılımdır. Bunun yanında GIF animasyonlar için de Adobe Image Ready, Alchemy Mindworks' GIF Construc, Macromedia Fireworks, Ulead Web Razor Pro programları kullanılabilir (Çalışkan, 2002).

2.2.3. Eğitsel Çoklu Ortam Uygulamasının Hazırlanması

Genel olarak çoklu ortam sistemi; kaynaklardan veri girişi, uygulama, geliştirme ve geliştirilen ürünün çıktı araçlarına kaydedilmesi fonksiyonlarını yerine getirmesi gerekir. Veri girişi, verileri yakalama, sıkıştırma, işleme, görüntüleme ve saklama aşamalarını içermektedir. Geliştirme aşaması yazarlık sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler çoklu ortam verilerini bir arada kullanıp, senkronize ederler (Sarı, 2003) .

Bu ortamda önemli bir veri olarak değerlendirilen metin, temel formatta (sade metin) yada bir kitap ve dergide bulunabileceği biçimde (zengin metin) kullanılmaktadır. Grafik ve durağan görüntüler, çizimler, fotoğraflar, resimler, 2 ve 3 boyutlu grafikleri içerir. Elle çizilemeyen görüntüler bir sayısallaştırma aracı ile bilgisayara aktarılırken, grafikler bilgisayar ortamında oluşturulmaktadır. Durağan görüntülerin arka arkaya gösterilmesi ile elde edilen hareketli görüntüler ise bilgisayarda sentez edilmektedir. 2 ve 3 boyutlu animasyonlar video kaynaklarıyla aktarılmakta yada doğrudan bilgisayar ortamında geliştirilmektedir. Metin, ses, görüntü gibi birbirine eş olmayan elemanların entegrasyonunu sağlayan çoklu ortam sisteminde geliştirilecek bir ürünün başarısı ürünün etkileşimine, bu farklı medyaların desteğine, tasarımcılar ve alanlar arasındaki işbirliğine bağlıdır.

Eğitsel çoklu ortam hazırlanırken bilgilerin düzenlenmesi, diğer ortamlara göre daha farklıdır. Çünkü bilgi diziliminin bir yapı içerisinde organizasyonu gereklidir. Bir elektronik ansiklopediden farklı olarak yığınlar arasında köprü sayısı daha az sayıda olmalıdır. Çoklu ortamlar ilk bakışta basit bir bilgi sunum ortamı olarak algılanabilir. Metin, ses, resim ve filmlerin birlikte veya ayrı ayrı sunulabilmesi olanağının pedagojik olarak algılanarak tasarımı yapılacak yazılımda öğrenci etkinliğine yoğunlaştırılmalıdır. Kullanılacak resim, renk, ve ses özellikleri için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

Resim ve Grafikler: Resimler veya görsel malzemeler bilgi sunumunda yoğun olarak kullanılabilir. Zor konuların anlaşılmasını sağlamak için görsel malzemeler yazılımda yer almalıdırlar. Görsel malzemenin yazılım içinde kullanımı özenle gerçekleştirilmelidir. Resim ve grafik kullanımında şu hususlara dikkat edilmelidir:

1. Görsel malzeme çok yoğun ve gereksizce kullanılıp öğrenciyi yormamalı ve dersi anlamadaki bilişsel akışı engellememelidir.
2. Metinleri ve sesleri destekleyici ve tamamlayıcı görsel malzeme ayrıntıyla verilmelidir.
3. Süreç ve yöntemlerin ifade edilmesinde hareketli resimler, canlandırmalar kullanılarak öğrencinin dikkati çekilmelidir.
4. Çoklu ortamda ses-resim, metin-resim ve canlandırma-diyagram veya film-diyagram gibi bilgi ifade eşlemeleri yapılırken işlenen bilginin somut veya soyut olup olmadığına bakılarak öğrenci için en uygun eşleşmenin hangisi olacağına karar verilmelidir (Odabaşı, 1994).

Renk: Bilgisayarların zengin renk işleme ve sunma kapasiteleri eğitsel yazılımları etkili kılabilecek bir özellik olarak yazılımlarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Fakat bunlar doğru kullanılmadığında ve çok sayıda renk kullanıldığında renklerin eğitsel etkisi azalabilir. Ayrıntıların gösterilmesinde, ipucu vermede, önemli kavramları öne çıkarmada ve öğrenci dikkatini çekmede, renklerin kullanılması etkili olabilir. Yazılımlarda renk kullanımına ilişkin öneriler şunlardır:

1. Bir ekranda en çok altı değişik renk kullanılmalıdır.
2. Buton, ikon ve köprüler için renk kullanılarak ilişkiler belirtilebilir.

3. Bir yazılım boyunca renk kullanımı işlev ve ton bakımından tutarlı olmalıdır.
4. Önemli ve Ekran zeminlerinde gri tonlar veya pastel renkler seçilmelidir. kritik bilgiler için parlak renkler kullanılmalıdır.
5. Yazıların okunabilirliğini ve algılanabilirliğini artırmak için zemin ve metinlerde zıt renkler seçilmelidir.
6. Kırmızı-yeşil ve sarı-eflatun gibi birbirlerini tamamlayan renk eşleşmelerinden kaçınılmalıdır.
7. Çok parlak renklerin kullanımından kaçınılmalıdır.

Ses: Çoklu ortamların potansiyel özelliklerinden biri de sesin ve müziğin, metin ve görsel materyallerle birlikte veya tek başına kullanılmasıdır. Yazılım içinde verilecek mesaj ve seçeneklerin sözel olarak da ifade edilmesi öğrencinin ders akışını daha iyi takip etmesini sağlayabilir. Bir dil söyleminin konuşma formatında grafik yönelimli yazılımlara entegre edilmesinde aşağıda sıralanan prensiplere uyulmalıdır (Akpınar, 1999):

1. Yazılımı hazırlanacak bilgilerin bir kavramsal analizi yapılmalıdır.
2. Diğer bilgi gösterim biçimleri ile sözel söylemin birlikte yada bunların birbirlerinden bağımsız olarak ifade edilip edilmeyeceğine karar verilmelidir.
3. Ses ve konuşma doğal olarak dikkat çekme için oldukça yararlıdır. Anahtar kavram ve süreçlerin seslendirilmesi tekrarlanabilir olmalıdır. Bu olanağın yazılımlara entegre edilmesi bugünün teknoloji ile oldukça kolaydır.
4. Seslendirilen cümleler algılamayı zorlaştıracak kadar uzun olmamalıdır. Öğrenci düzeyine uygun olan ders programında öngörülen kavram ve konular yalın bir dille ifade edilmelidir.
5. Hem bay, hem de bayan sesleri kullanılmalıdır.

2.3. Kaynak Özetleri

Özellikle bilgisayar destekli eğitim alanında yapılmış oldukça fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun yanında çoklu ortam ile ilgili çalışmalara da ulaşılmıştır. Fakat ülkemizde bugüne kadar Malzeme Bilimi ile ilgili çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışma bir ilk olmaktadır. Bunun yanında yurt dışında yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Bununla ilgili Clark, McMahan vd. ile Voller vd.'nin makalelerine ulaşılmıştır. Bu makaleler incelenmiş ve yapılan çalışmalar hakkında bilgi edinilmiştir (Clark, 1998; McMahan vd, 1998; Voller vd. 1998).

Bunlara ek olarak Yılmaz vd. 'nin demir sementit ikili denge diyagramının bilgisayarda modellenmesi ile ilgili bir çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada Delphi bilgisayar yazılım programı kullanılarak demir sementit ikili denge diyagramı ile üzerindeki faz oranları, mikro yapıları ve kristal kafeslerini gösteren bir bilgisayar modellemesi yapılmıştır (Yılmaz vd. 2002).

Gürcan, fen öğretiminde bilgisayarın alıştıırma-tekrar ve ders sunu aracı olarak kullanılan biçimlerinde bilgisayar destekli işbirliğine dayalı öğrenme uygulaması ile bilgisayar destekli eşli ve bireysel öğrenme uygulamalarının etkililiğini belirlemek amacıyla bir araştırma gerçekleştirmiştir. Araştırmada ilköğretim Fen Bilgisi 8. sınıf “Yerkürenin Katmanları” ve “Yerkürenin Oluşumu ve Kütleler” konularının öğretilmesinde başarı ve öğrenilenlerin kalıcılığı test edilmiştir. Araştırma sonucunda bilgisayarın ders sunu aracı olarak kullanılmasında bilgisayar destekli işbirliğine dayalı öğretim uygulaması ile bilgisayar destekli eşli ve bireysel öğretim uygulamaları arasında öğrenimin başarısını etkileme yönünde anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Ancak öğrenmede kalıcılığı sağlamada bilgisayar destekli öğretim uygulamasının daha etkili olduğu saptanmıştır (Gürcan, 1996).

Dinç ise “Kullanıcı Merkezli Çoklu Ortam Tasarım Esaslarına Dayanarak Bir Eğitim CD'sini Hazırlanması” adlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada matematik konulu eğitim CD'si tasarımı yapılmıştır. Kullanıcıların uygulama içinde dolaşmaları için yön bulma düğmeleri tasarlanmıştır. 3 boyutlu animasyonlar ve yön bulma düğmesi

3D Studio Max yazılımında oluşturulmuştur. Daha sonra yazılım Lingo programlama dili ile etkileşimli hale getirilip CD-ROM'a kayıt edilerek sunuma hazır hale getirilmiştir (Dinç, 2000).

TED Ankara kolejinde, Kantar tarafından, 8. sınıf Fen Bilgisi dersinde çoklu ortam kullanımının öğrencilerin başarı ve tutumları üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada geleneksel öğretim planlamasından farklı olarak bir Fen Bilgisi konusu sistematik öğretim modeli kullanılarak planlanmış ve öğrenme ortamına çoklu ortam dahil edilmiştir. Kullanılan öğretim ortamının, Fen Bilgisi derslerinde öğrencilerin erişim ve tutumları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırma bir Fen Bilgisi öğretmeni tarafından, 2000-2001 öğretim yılı I. döneminde, TED Ankara Koleji Vakfı İlköğretim Okulu 8. sınıfları arasından seçilen iki sınıfa uygulanmış, öğretim dört hafta devam etmiştir. Kontrol grubunda dersler geleneksel biçimde düz anlatım ve laboratuvar çalışmaları şeklinde işlenirken, deney grubunda ders işlenişi bilgisayar destekli, uygun yazılım programlarının kullanılabilceği elektronik sınıfta işlenmiştir. Daha sonra her iki gruba da test uygulanmıştır. Her iki grubun ortalamaları karşılaştırıldığında deney grubu lehine bir artış görülmüştür (Kantar, 2002).

Ayrıca Malzeme Bilimi kitapları incelenmiştir. Ülkemizde yayınlanmış kitapların yanında yabancı dilde yazılı kaynaklarda gözden geçirilmiştir. Bu noktada en çok William D. Callister'in "Fundamentals of Materials Science and Engineering" ve "Materials Science and Engineering" adlı kitaplarından faydalanılmıştır. Ayrıca internet üzerinden araştırma yapılarak, yurt dışındaki Virginia, Tennessee, Ohio State, Budapeşte, British Columbia, Florida, Texas, Kansas, Pennsylvania, North Carolina State, Notre Dame, Oxford, Cambridge, Monash, National Chung Hsing vb. üniversitelerin Malzeme Bilimi dersi, ders notlarına ulaşılmıştır. Bu notların hepsi incelenerek, konuların uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu noktada özellikle Virginia Üniversitesinin ders notlarının uygun olduğu tespit edilmiş ve daha çok bu notlardan yararlanılmıştır. Bunlara ek olarak internet üzerinde bulunan, malzeme bilimiyle ilgili siteler araştırılarak, çeşitli resim, görüntü ve notlar temin edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda öğrencilere verilebilecek ders notu hazırlanmıştır. İkinci kısımda bilgisayar ile hazırlanmış resimler, tablo, şekiller ve hareketli görüntülerden oluşan sunu bulunmaktadır.

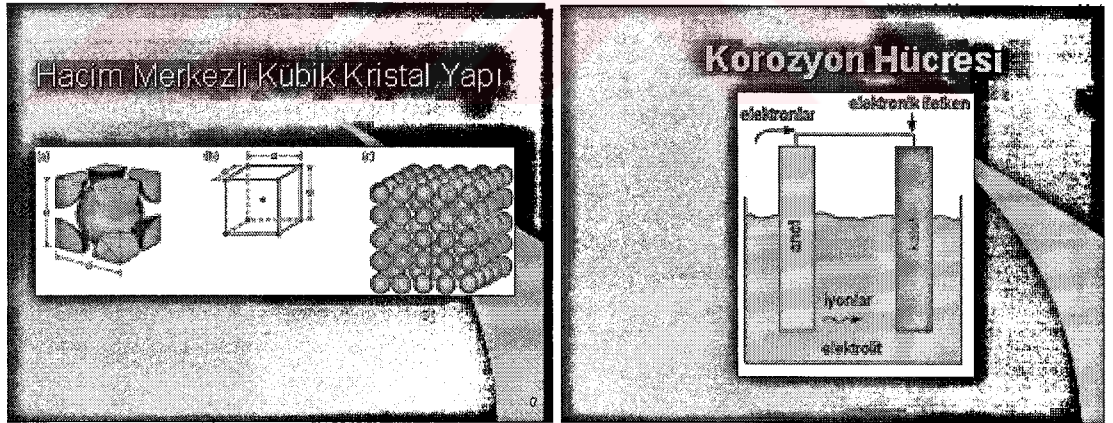
3.1. Ders Notu Oluşturulması

Ders notu hazırlanırken önce kaynak araştırması yapılmıştır. Ülkemizde son zamanlarda yayınlanmış bulunan Malzeme Bilimi konularıyla ilgili kitaplar gözden geçirilmiştir. Yapılan incelemelerde yayınlanan kitapların çoğunun fakültelerin müfredat konularına uymadığı, bazı konularda yüzeysel bilgiler verildiği, bazı konularda ise çok fazla ayrıntıya girildiği görülmüştür. Bunun yanında çoğu kitabın yabancı bir dildeki kaynaktan çeviri yapıldığı gözlemlenmiştir. Çeviri kitaplarda genellikle siyah beyaz baskı kullanılmıştır. Bu olay da bazı şekillerin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu noktada Türkçe kaynak sıkıntısı bulunduğu görülmüştür.

Yabancı dilde yayınlanan kitapların renkli baskı olması nedeniyle pek çok şekil kolayca anlaşılabilir. Bu nedenle yabancı dilde, özellikle İngilizce olarak yazılmış kaynaklar araştırılmıştır. İnternet üzerinden yapılan araştırmalar sonucu temin edilen, Amerika'daki Virginia, Tennessee, Ohio State, British Columbia, Florida, Texas, Kansas, Pennsylvania, North Carolina State, Notre Dame, İngiltere'deki Oxford, Cambridge, Avustralya Monash, Macaristan Budapeşte, Çin National Chung Hsing üniversitelerinin ders notları bu noktada faydalı olmuştur. Ayrıca İngilizce yayınlanmış malzeme kitapları temin edilmiş ve incelenerek bir ders içeriği oluşturulmuştur. Daha sonra bu yabancı kaynaklar tercüme edilmiştir. Konuların daha kolay anlaşılabilmesi için mümkün olduğunca fazla sayıda şekil kullanılmıştır. Şekillerin bir kısmı Autocad, Paint, Photoshop gibi çizim programlarıyla çizilmiş, bir kısmı ise internet üzerindeki sitelerden ve değişik kitaplardan temin edilmiş, yazıları Türkçe'ye çevrilerek kullanılmıştır. Şekillerin renkli olmasına dikkat edilmiştir.

3.2. Sunu Hazırlanması

Ders notu hazırlandıktan sonra sunu çalışmasına başlanılmıştır. Sunu hazırlanırken programcılık kısmına girilmemiştir. Çünkü bu oldukça detaylı bir konudur ve daha çok bilgisayar uzmanlarının işidir. Çalışmada daha çok internet üzerindeki mevcut şekil, görüntü, animasyon ve video görüntüleri temin edilerek, gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra sunuya eklenmiştir. Sunu hazırlanırken Microsoft firmasının 'Powerpoint 2002' sunu programı kullanılmıştır. Sunu hazırlanırken, mümkün olduğunca az sayıda yazı ve fazla sayıda şekil kullanılmaya dikkat edilmiştir. Yazıların ve şekillerin öğrenciler tarafından rahatça görülebilecek büyüklükte olmasına dikkat edilmiştir. Şekillerin çoğu Photoshop ve Paint gibi programlarla renkli olarak hazırlanmıştır. Böylece şekiller daha da anlaşılır hale gelmiştir. Sunuda mümkün olduğunca fazla sayıda animasyon kullanılmaya çalışılmış, fakat öğrencinin dikkatini dağıtmayacak kadar da sade olmasına çalışılmıştır. Aynı slayttaki renklerin birbirleriyle uyumlu olması ve dörtten fazla sayıda renk kullanılmamasına çalışılmıştır (Şekil 3.2.1).



Şekil 3.2.1. Sunu görüntüsü

4. DERS NOTLARI

Bu bölümde hazırlanan ders notları yer almaktadır. Ders notları 12 bölümden oluşmuştur. Bu bölümler aşağıda sıralanmıştır.

4.1. Giriş

Bu bölümde malzeme biliminin tarihsel perspektifi, malzeme biliminin ne olduğu, malzemelerin sınıflandırılması hakkında temel bilgilere yer verilmiştir.

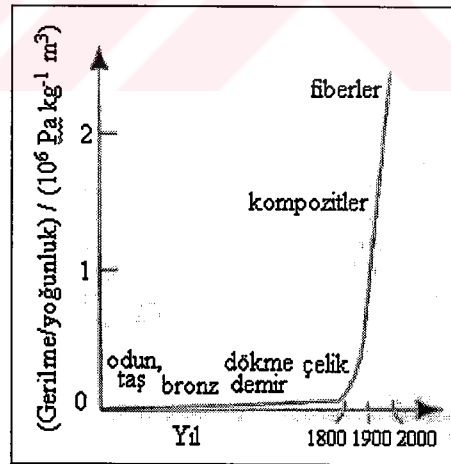
Genel olarak, ihtiyaç duyulan maddelere “malzeme” denilmektedir. Teknik anlamda ise mühendislik uygulamalarında kullanılan katı maddelere “malzeme” adı verilmektedir. Uygarlığın başlangıcından beri malzemeler enerji ile birlikte insanın yaşama standardını yükseltmek için kullanılmıştır. Her dönemin teknolojisi ve bir anlamda uygarlığı, o dönemde kullanılan malzemelerle sınırlıdır. Tarih öncesi yaşanan taş, bronz ve demir çağları buna bir örnektir. Dolayısıyla malzeme kullanıldığı çağa adını verecek kadar önemlidir (Savaşkan, 1999).

Oldukça yaygın olarak kullanılan malzemelere örnek olarak ağaç, beton, tuğla, plastik, cam, lastik, alüminyum, bakır ve kağıt gösterilebilir. Aslında çevremize dikkatle baktığımızda çok daha fazla malzeme türünün olduğu görülür. Ayrıca yeni malzemeler elde etmek veya mevcut olanları geliştirmek için sürekli araştırma ve geliştirmeler yapılmaktadır. Örneğin, makine mühendisleri jet motorlarını daha verimli çalıştırabilmek için daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek malzemeler aramaktadırlar. Elektronik mühendisleri ise elektronik aletlerin daha hızlı ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi için yeni malzemeler arayışı içindedirler (www.metal.sakarya.edu.tr, 2002). Elektrik mühendisleri iyi bir performans için devrenin tamamlanmasını, yalıtkanların çok zor şartlar altında bile yüksek voltaja dayanmasını, inşaat mühendisleri ve mimarlar estetik ve sağlam yapılar yapmayı, otomotiv alanında çalışan mühendisler hafif, sağlam ve dayanıklı malzemeleri, havacılık ve uzay sanayinde çalışan mühendisler özellikle atmosferdeki sürtünme

neticesinde ortaya çıkan yüksek sıcaklıklara dayanabilecek, hafif ve sağlam malzemeleri üretmeyi isterler (Erdoğan, 1998).

İnsanlar kullanacakları malzemelere yakın ilgi ve özen gösterirler. Yapacakları bir makine, bir köprü, bir elektrikli araç vb. için kullanacakları malzemelerin özelliklerini bilmek isterler. Yapılacak işe uygun malzeme seçmek, malzemeleri bilmekle olur. Malzeme seçimi yapılırken malzemenin temin kolaylığı, biçimlendirilebilme özelliği, üretim işlerine uygunluğu, fiziki, mekanik ve teknolojik özellikleri, ekonomik olup olmadığı ve korozyona karşı direnci dikkate alınmalıdır (Sürenkök, 1982).

Tarihsel Perspektif: İnsanların yaklaşık iki milyon yıl önce, Taş Devrinde; taştan aletler yapmaya başlamasıyla Malzeme Bilimi başlamıştır. Bu devirde kullanılan doğal malzemeler ise taş, odun, kil, deri vb. idi. Yaklaşık 5000 yıl önce Uzak Doğu'da, bir alaşım olan bronzun tanınmasıyla Taş Devri sona ermiştir. Bronz dövülebilir, değişik şekillerde dökülebilir, alaşımlarla sertleştirilebilir.



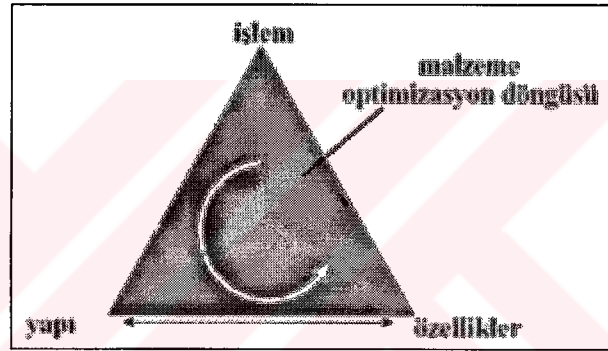
Şekil 4.1.1. Yıllara göre, geliştirilen malzemelerin dayanımları (Zhigilei, 2002)

Yaklaşık 3000 yıl önce Demir Devri başlamıştır ve günümüze kadar devam etmektedir. Sağlam ve ucuz bir malzeme olan demir ve çeliğin kullanımı insanların hayatını şiddeti bir şekilde değiştirmiştir. Gelişmiş Malzemeler Devri, Demir Devrinin başından sonuna, yarı iletkenler, polimerler, kompozitler vb. gibi pek çok

yeni malzemeler tanınmıştır. Malzemelerin performansı, işlenmesi, özellikleri ve yapıları arasındaki ilişkilerin anlaşılmasıyla yeni malzemeler zeki bir şekilde dizayn edilmeye başlanmıştır (Lee, 2002).

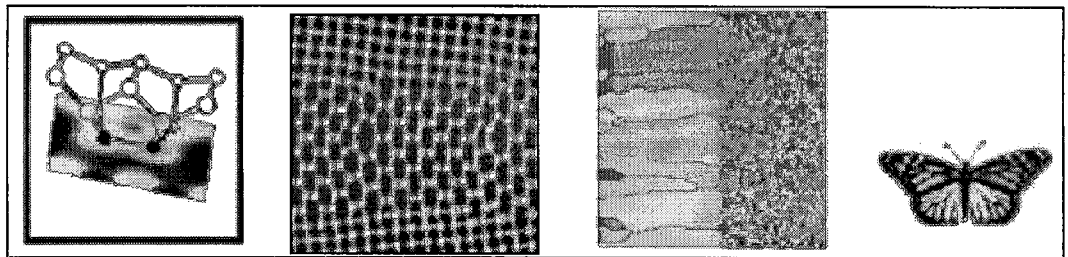
Yapı–kompozisyon–özellikler ilişkilerinin daha iyi anlaşılması, malzemelerin özelliklerinde dikkate değer ilerlemelere yol açmıştır. Gerilme–yoğunluk oranındaki heyecan verici ilerleme, dış malzemelerinden tenis raketlerine kadar yeni ürünlerin geniş bir çeşitliliğini beraberinde getirmiştir.

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği: Malzeme Bilimi; malzemelerin performansı, özellikleri, yapıları ve işlemleri arasındaki ilişkilerin araştırılmasıdır.



Şekil 4.1.2. Malzeme optimizasyon döngüsü (Zhigilei, 2002)

Atomlar arası etkileşimi tanımlanan yalnız atomların elektronik yapısı “atom altı seviye”, malzemelerdeki farklı özelliklere sahip olabilen aynı atomların düzenlenmesi “atomik seviye”, malzemelerin mikroskopla tanımlanabilen küçük tanelerinin düzenlenmesi “mikroskobik yapı”, çıplak gözle görülebilen elementlerin yapısı “makroskobik yapı” olarak adlandırılır (Şekil 4.1.3.).



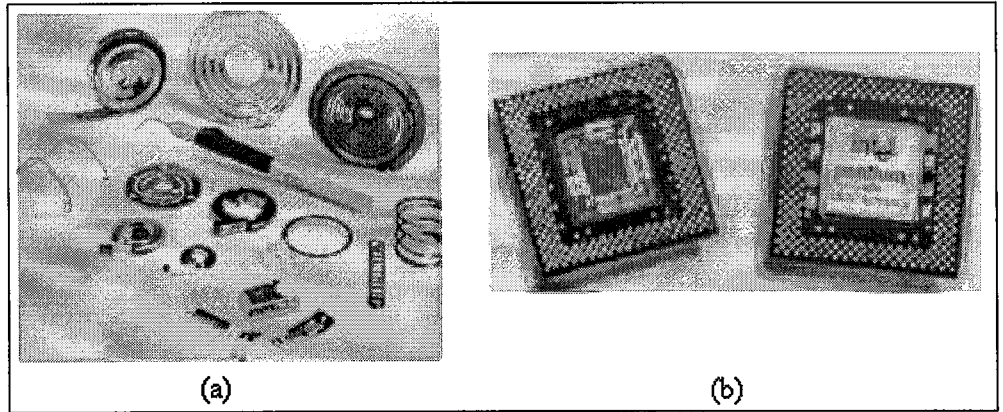
Şekil 4.1.3. Soldan sağa; atom altı seviye, atomik seviye, mikroskobik yapı ve makroskobik yapı (Zhigilei, 2002'den değiştirilerek alınmıştır)

Malzemelerin Özellikleri: Özellikler çevre ve dış kuvvetlere cevap verecek malzeme yoludur. Bunlar şöyle açıklanabilir:

Mekanik özellikler mekanik yüklere, gerilmelere vb.'ne cevap verir. Elektriksel ve manyetik özellikler elektriksel ve manyetik alan, iletkenlik vb.'ne cevap verir. Isısal özellikler ısı transferi ve ısı kapasitesiyle ilgilidir. Optik özellikler ışığın yayılması ve iletimi ile emilmesini içerir. Kimyasal denge ise çevreyle temastaki korozyon direncidir.

Malzeme Çeşitleri: Malzemeler atomlarına ve atomlar arası bağlarına göre sınıflandırılırlar.

- 1. Metaller:** Alüminyum, bakır, çinko, demir ve nikel gibi saf metaller ile bir metalin diğer elementlerle oluşturduğu çelik (Fe-C), pirinç (Cu-Zn) ve bronz (Cu-Sn) gibi alaşımlar olup, imalat sanayinde en çok kullanılan malzemelerdir. Valans elektronları atomlardan ayrılmıştır ve iyonlarla beraber yapışık olan elektron denizinde yayılmıştır. Güçlü, esnek, ısı ve elektrik iletkenliği iyidir. Kovalent bağlara sahiptirler. Şekil 4.1.4.a'da metallere yapılmış değişik parçalar gösterilmektedir.

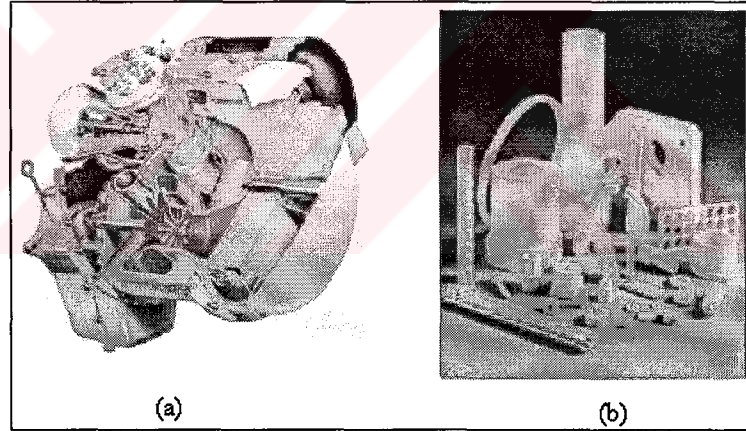


Şekil 4.1.4.a. Metallerden yapılmış değişik parçalar (Callister, 2000) b. Yarı iletkenlerden yapılmış bir işlemci (Zhicilei, 2002)

- 2. Yarı İletkenler:** Kovalent bağa sahiptirler. Elektronlar atomlar arası paylaşırılmıştır. Silisyum (Si) ve germanyum (Ge) yarı iletkenlere örnektir.

Şekil 4.1.4.b'de yarı iletkenlerden yapılmış olan ve bilgisayarlarda kullanılan işlemciler görülmektedir.

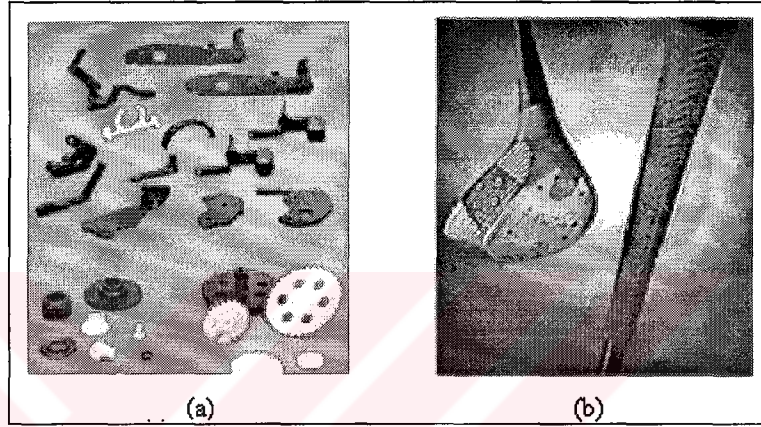
- 3. Seramikler:** Genellikle metallerle metal olmayan elementlerin oluşturduğu karışımlardır. Cam, tuğla, beton, porselen gibi malzemeler seramiklerin bir örneğidir. Seramiklerin ısı ve elektrik iletkenlikleri oldukça düşüktür. Bu nedenle iyi bir yalıtkan malzemesidir. Bu özelliğinden dolayı yanmalı motorlarda da ısı yalıtkan malzemesi olarak kullanılmaya çalışılmaktadır. Şekil. 4.1.5.a'da seramik uygulaması yapılmış bir yanmalı motor ve seramik malzemelerden yapılmış değişik parçalar görülmektedir. Seramiklerin iyi bir ısı ve elektrik yalıtkanı olmasına karşılık süneklikleri, şekillendirilebilirlikleri ve darbe dayanımları zayıftır. Bunun sonucu olarak yapı ve yük taşıma uygulamalarında metallerden daha az kullanılır.



Şekil 4.1.5.a. Seramik uygulaması yapılmış bir içten yanmalı motor (Shackelford, 1998) b. Seramik malzemelerden yapılmış değişik parçalar (Zhigilei, 2002)

- 4. Polimerler:** Temelde karbonun hidrojen, oksijen, azot gibi metal olmayan elementlerle oluşturduğu büyük moleküllü organik bileşiklerdir. Polimerlerin ısı ve elektrik iletkenlikleri ile dayanımları düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda kullanılamazlar. Ağaç, deri ve kauçuk doğal polimerlerdir. Polyester, polietilen ve polivinilklorür (PVC) yapay polimerlerdir. Şekil 4.1.6.a'da polimer malzemelerden yapılmış değişik parçalar görülmektedir.

5. Kompozitler: Kompozitler en az iki malzemeden üretilirler. Böylece bir malzemeden elde edilemeyen özelliklere sahip olurlar. Betonarme (beton+çelik), cam lifleriyle kuvvetlendirilmiş plastik (plastik+cam lifleri) kompozit malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Kompozitlerle hafif, sağlam, sünek ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler elde edilebilir. Şekil 4.1.6.b’de bir kompozit madde olan cam elyaf görülmektedir.



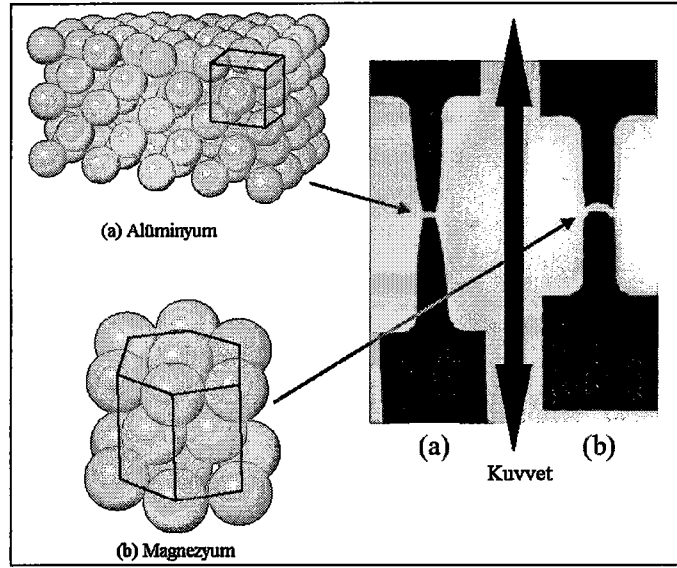
Şekil 4.1.6.a. Polimer malzemelerden yapılmış değişik parçalar b. Cam elyafdan yapılmış golf sopası (Zhigilei, 2002)

6. Bio Malzemeler: Bu malzemeler değişik yaralanmalarda insan vücuduna yerleştirilebilirler. Dokularla uyumludurlar ve zehirli maddeler üretmezler.

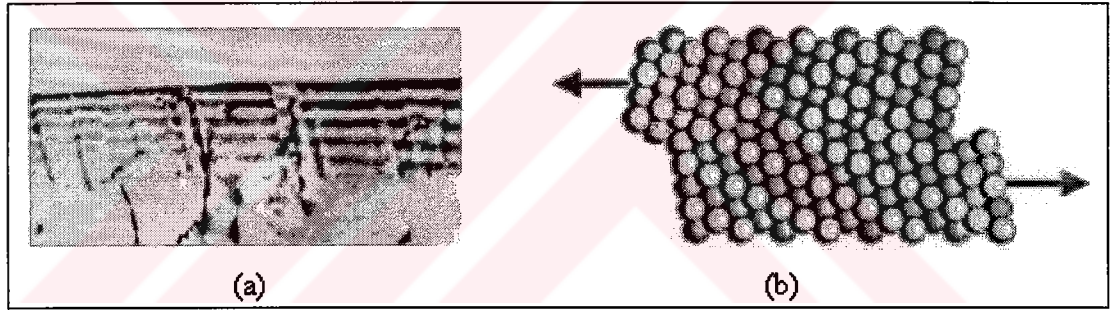
4.1.1. Malzeme Seçimi

Farklı malzemeler farklı kristal yapıya ve bunun sonucunda da farklı özelliklere sahiptirler. Şekil 4.1.1.1’de alüminyum ve magnezyumun farklı kristal yapıları ve uygulanan kuvvet karşısında kopma şekilleri gösterilmektedir.

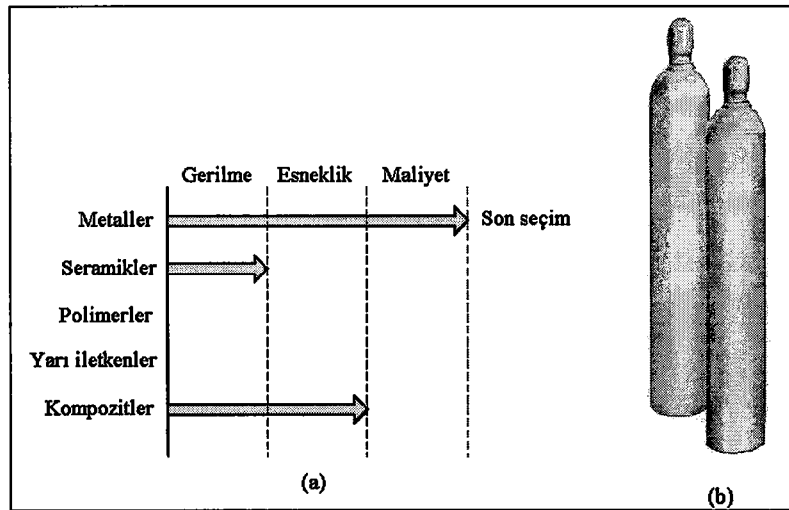
Aynı şekilde farklı malzemeler farklı mikro yapıya sahip olmalarından dolayı farklı özellik gösterirler. Şekil 4.1.1.2.a’da alüminyumdaki dış tane sınırlarının dislokasyonu görülmektedir. Şekil 4.1.1.2.b’de ise tane sınırlarındaki serbest kayma kusurları görülmektedir.



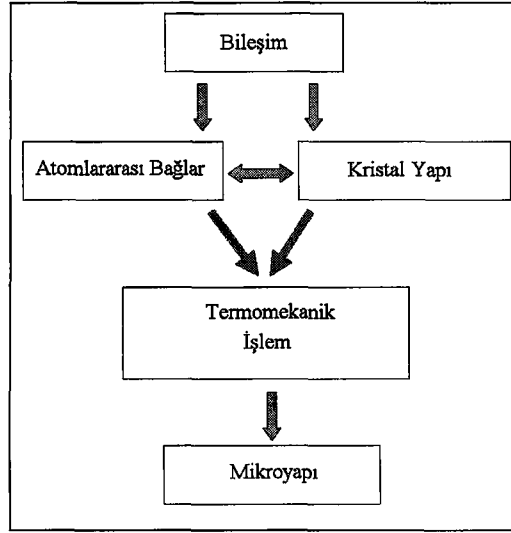
Şekil 4.1.1.1. Alüminyum ve magnezyumun farklı kristal yapıları ve uygulanan kuvvet karşısında kopma şekilleri (Zhigilei, 2002)



Şekil 4.1.1.2.a. Alüminyumdaki dış tane sınırlarının dislokasyonu b. Tane sınırlarındaki serbest kayma kusurları (Zhigilei, 2002)



Şekil 4.1.1.3. Değişik malzeme gruplarının özellikleri



Şekil 4.1.1.4. Malzemenin özelliklerine etki eden faktörler

Süper plastik deformasyon tane sınırları boyunca düşük kayma gerilmesi içerir. Bu; malzeme biliminin sahip olduğu sınırlı bilgiye göre karmaşık bir işlemdir ve günümüz araştırmalarının konusudur. Malzeme özelliklerini; malzemenin bileşimi, atomlararası bağlar, kristal yapısı ve mikro yapısı belirler.

4.1.2. Malzeme Biliminin Geleceği

İstenen belli özelliklere sahip bir malzeme tasarlamak, doğrudan doğruya bizim atom yapıları hakkındaki bilgimize bağlıdır. Geleceğin malzemelerinden birisi nano malzemelerdir. Elektronik parçalar için yaygın olmayan özelliklere sahip, 1 ile 100 nanometre arasındaki bir uzunluğa sahip, mikro yapıdaki malzemeler yapılabilecektir. Bir diğer malzeme akıllı malzemelerdir. Bunlarla kendi kendine üzerlerindeki buzları temizleyebilen uçak kanatları, depremde kendilerini dengede tutabilen binalar inşa etme vb. gibi projeler gerçekleştirilebilecektir. Aynı şekilde bir diğeri de çevre dostu malzemelerdir. Bunlarla da doğada kendi kendine yok olabilen plastikler, gelişmiş nükleer atık işlenmesi üretilebilecektir. Bunları yaparken doğadan pek çok şey öğrenmemiz gerekecek. Örneğin kabuklular ve biyolojik ağır dokular, son derece gelişmiş laboratuvar üretimi seramikler kadar güçlü olabilir. Yumuşakçalar yaşam uyumlu yapışkan üretirler ki, biz nasıl çoğaldıklarını bilmiyoruz.

Yüksek depolama yoğunluğuna sahip ve hafif ağırlıktaki bataryalar, 2500 C°'de çalışabilen türbin kanatları, oda sıcaklığındaki süper iletkenler, oldukça yüksek duyarlılığa sahip kimyasal algılayıcılar (yapay burun), ütü gerektirmeyen pamuk gömlekler geleceğin ürünleri olabilir (Zhigilei, 2002).

4.1.3. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://www.eng.monash.edu.au/uicee/gjee/vol6no1/LeeFM.pdf>

<http://www.matse.psu.edu/matse81/Spring%202003/LectureNotes>

<http://web.utk.edu/~prack/mse201>

<http://surphy.fat.bme.hu/pub/MaterSci>

<http://www.people.virginia.edu/~lz2n/mse209>



4.2. Atomik Yapı ve Atomlararası Bağlar

Bu bölümde atomların yapısı, elektronlar, protonlar, nötronlar, periyodik tablo ve atomlar arası bağlar incelenecektir.

4.2.1. Atomik Yapının İncelenmesi

$$\text{Atom} = \text{çekirdek (protonlar ve nötronlar)} + \text{elektronlar}$$

Yükler; Elektronlar ve protonlar aynı büyüklükteki negatif ve pozitif yüklere sahiptirler, $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb. Nötronlar elektriksel olarak nötrdür. Kütleler; proton ve nötronlar aynı kütleyle sahiptirler ($1,67 \times 10^{-27}$ kg.). Elektronların kütleleri çok daha küçüktür ($9,11 \times 10^{-31}$ kg) ve atomik kütle hesaplamalarında ihmal edilebilir.

$$\text{Atomik Kütle (A)} = \text{protonların kütlesi} + \text{nötronların kütlesi}$$

Protonlar elementin kimyasal kimliğini belirler. Protonların sayısı atom numarasına(Z) eşittir. Nötronlar ise izotop numarasını belirler.

4.2.2. Atomik Kütle Birimi, Atomik Ağırlık

Atomik kütle birimi (akb) atomik ağırlığın ifade edilmesinde sık sık kullanılır. 1 akb 6 proton (Z=6) ve 6 nötrona (N=6) sahip ve son derece yaygın olan karbon izotopunun atomik kütlelerinin 1/12'si olarak tanımlanır.

$$M_{\text{proton}} \approx M_{\text{nötron}} 1,66 \times 10^{-24} \text{ g} = 1 \text{ akb}$$

^{12}C atomunun atomik kütlesi 12 akb'dir.

Bir elementin atomik ağırlığı, doğal olarak meydana gelen izotop atomlarının atomik kütle ağırlıklarının ortalamasıdır. Karbonun atomik ağırlığı 12,011 akb'dir. Atomik ağırlık her mol kütlelerinde sık sık belirtilir. 1 mol madde miktarı atomların akb'deki atomik kütlelerine eşit gramdaki kütleyle sahiptir (Karbonun 1 molü 12 gram kütleyle sahiptir). 1 moldeki atomların sayısı Avagadro sayısı olarak adlandırılır. Avagadro sayısı $N_{\text{av}}=1 \text{ gram} / 1 \text{ akb}$

Örnek: Demirin atomik ağırlığı = 55,85 akb/atom = 55,85 g/mol

Her cm^3 'deki atomların sayısı, n , malzemeler için d yoğunluğunu (g/cm^3) ve M atomik kütlelerini (g/mol) verir. Aşağıda değişik örnekler verilmiştir.

$$N = N_{av} \times d / M$$

Grafit (karbon) için: $d=2,3 \text{ g/cm}^3$ $M=12 \text{ g/mol}$

$$n = 6 \times 10^{23} \text{ atom/mol} \times 2,3 \text{ g/cm}^3 / 12 \text{ g/mol} = 11,5 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3$$

Elmas (karbon) için: $d=3,5 \text{ g/cm}^3$ $M=12 \text{ g/mol}$

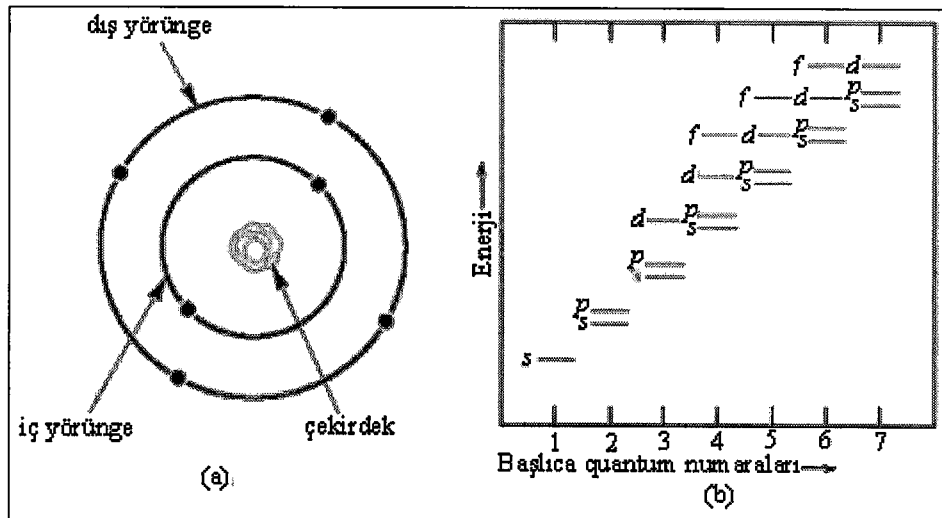
$$n = 6 \times 10^{23} \text{ atom/mol} \times 3,5 \text{ g/cm}^3 / 12 \text{ g/mol} = 17,5 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3$$

Su (H_2O) için: $d=1 \text{ g/cm}^3$ $M=18 \text{ g/mol}$

$$n = 6 \times 10^{23} \text{ molekül/mol} \times 1 \text{ g/cm}^3 / 18 \text{ g/mol} = 3,3 \times 10^{22} \text{ molekül/cm}^3$$

4.2.3. Elektronlar

Elektronlar çekirdeğin etrafında, 0,05-2 nm. yarıçapındaki yörüngelerde bulunurlar. Şekil 4.2.3.1.a'da bu durum gösterilmektedir. Bu şekil mini bir gezegen sistemine benzer görünmektedir.



Şekil 4.2.3.1.a. Atomun yapısı b. Quantum sayıları ve enerji düzeyleri (Callister, 2000)

Fakat quantum mekaniği bize bu benzerliğin doğru olmadığını söylemektedir. Elektronlar hareketleri dairesel yörüngelerde değildir, fakat donuk yörüngelerdedir. Aslında, onların nasıl hareket ettiğini söyleyemeyiz, fakat sadece çekirdekten biraz uzaklıkta bulunduğunu muhtemelen söyleyebiliriz. Sadece bilinen elektronların kabukları yada yörüngeler yoğunluğa izin verebilir. Kabukları büyüklüğü ile ilgili olabilen kabuklar quantum numarası n ile tanımlanır, $n=1$ en küçük, $n=2,3$ daha geniştir. İkincil quantum numarasını l , her kabuktaki alt kabuklar tanımlar. Quantum numaraları Schrodinger'in denkleminin çözümünden meydana çıkar. Pauli dışlama prensibine göre bir atomun birden fazla elektronu aynı quantum sayılarına sahip olamaz. En dıştaki kabuğu doldurmuş elektronlar valans elektronlarıdır ve onlar bağlardan sorumludurlar. Elektronlar quantum seviyelerini artan enerjilerine göre doldururlar.

Çizelge 4.2.3.1. Ana quantum sayısının gösterdiği enerji kabukları ve elektron sayıları (Callister, 2000)

Ana Quantum N. n.	Altkabuklar	Durum Numaraları	Elektronların sayısı	
			Her Altkabuk	Her Kabuk
1 ($l=0$)	s	1	2	2
2 ($l=0$)	s	1	2	8
2 ($l=1$)	p	3	6	
3 ($l=0$)	s	1	2	18
3 ($l=1$)	p	3	6	
3 ($l=2$)	d	5	10	
4 ($l=0$)	s	1	2	32
4 ($l=1$)	p	3	6	
4 ($l=2$)	d	5	10	
4 ($l=3$)	f	7	14	

4.2.4. Periyodik Tablo

Aynı kolondaki elementler (elementsel grup) benzer özellikleri paylaşmışlardır. Grup numaraları bağlar için mevcut elektronların sayısını göstermektedir (Çizelge 4.2.4.1.).

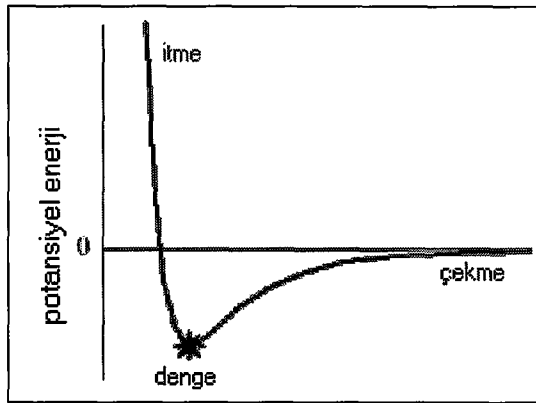
26	Atom numarası
Fe	Sembol
55,85	Atomik ağırlık

Şekil 4.2.4.1. Periyodik tablonun okunuşu

Elektronegatiflik elektron kabul etmek için ne kadar istekli olduğunun bir ölçüsüdür. Bir elektronlu altkabuklar düşük elektronegatifli, bir elektronu eksik altkabuklar yüksek elektronegatiflidir. Elektronegatiflik, tabloda soldan sağa gidildikçe artmaktadır (Çizelge 4.2.4.2.).

4.2.5. Bağ Enerjileri ve Yükleri

Denge durumunda bulunan bir atom çiftinin merkezleri arasındaki uzaklığa atomlararası uzaklık denir. Denge durumu, atom çiftine etki eden çekme ve itme kuvvetlerin eşit olduğu durum demektir.



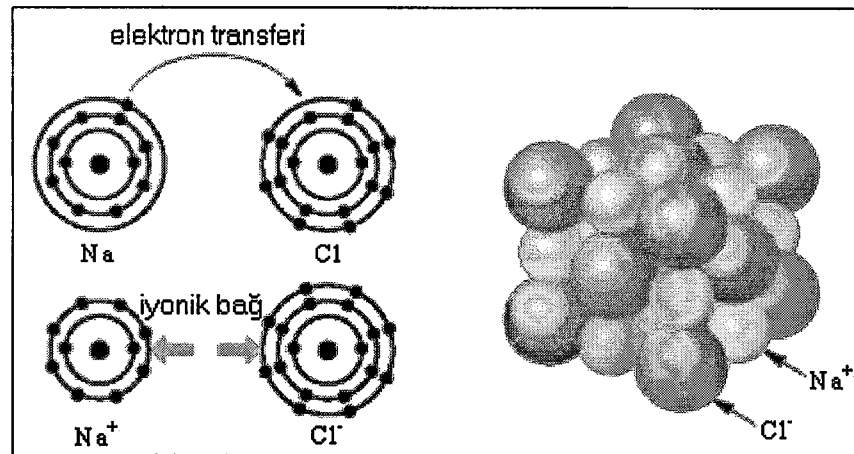
Şekil 4.2.5.1. Atomların itme, çekme ve denge durumları

4.2.6. Bağ Çeşitleri

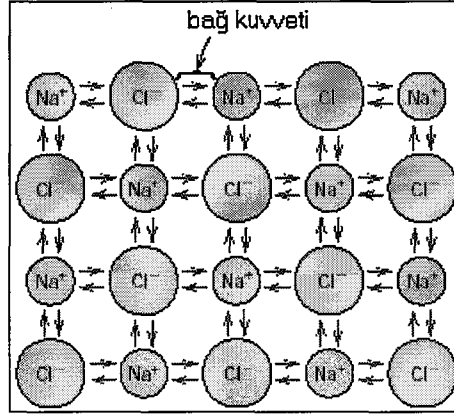
Birincil bağlarda e^- transfer edilir yada paylaşılır. (100-1000 KJ/mol yada 1-10 eV/atom). İkincil bağlarda ise e^- transfer edilmez ve paylaşılır.

4.2.6.1. İyonik Bağlar

Bu bağ metal atomları ile metal olmayan elementlerin atomları arasında oluşur. Metal olmayan element atomlarının dış kabuklarında bulunan elektron sayısı, metal atomlarının dış kabuklarında bulunan elektron sayısından daha yüksektir. Yani, metal olmayan element atomları metal atomlarından daha fazla valans elektronuna sahiptir (Neilson, 2002). Örneğin; dış kabuğunda 7 tane elektron bulunan klor (Cl) atomu, bu kabuğunu doldurmak veya kararlı bir dış kabuk oluşturmak için bir elektronu rahatlıkla kabul eder. Klor bir elektron alınca elektron sayısı proton sayısından bir fazla olacağından, -1 yüklü negatif iyon (Cl^-) haline geçer. Klor atomları, bir metal olan sodyum (Na) atomları ile yan yana geldiğinde, dış kabuğunda bir valans elektronu bulunan Na atomlarından Cl atomuna elektron transferi olur. Bu durum, pozitif Na^+ iyonları ile negatif Cl^- iyonları arasında kuvvetli bir elektrostatik çekim oluşturur. Sonuçta, yemek tuzu olarak bilinen sodyum klorür ($NaCl$) bileşiği meydana gelir. İyonik bağın oluşumu şematik olarak şekil 4.2.6.1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2.6.1.1. İyonik bağ (Callister, 2003)



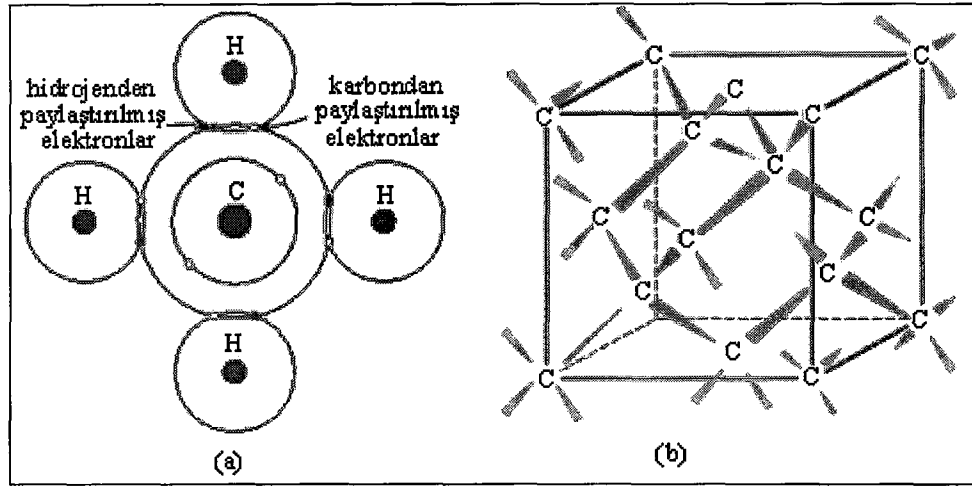
Şekil 4.2.6.1.2. Na ve Cl iyonlarının iyonik bağla bağlanmaları sonucunda NaCl bileşiğinin oluşumu (Callister, 2000)

İyonlaşma sonucunda meydana gelen elektrostatik çekimle oluşan iyonik bağ oldukça kuvvetlidir. İyonik bağ ile bağlanan malzemelerde elektronlar sıkıca tutulduğundan, bu malzemelerin elektriksel iletkenliği, serbest elektron bulutuna sahip metalik malzemelerin iletkenliğinden çok daha düşüktür.

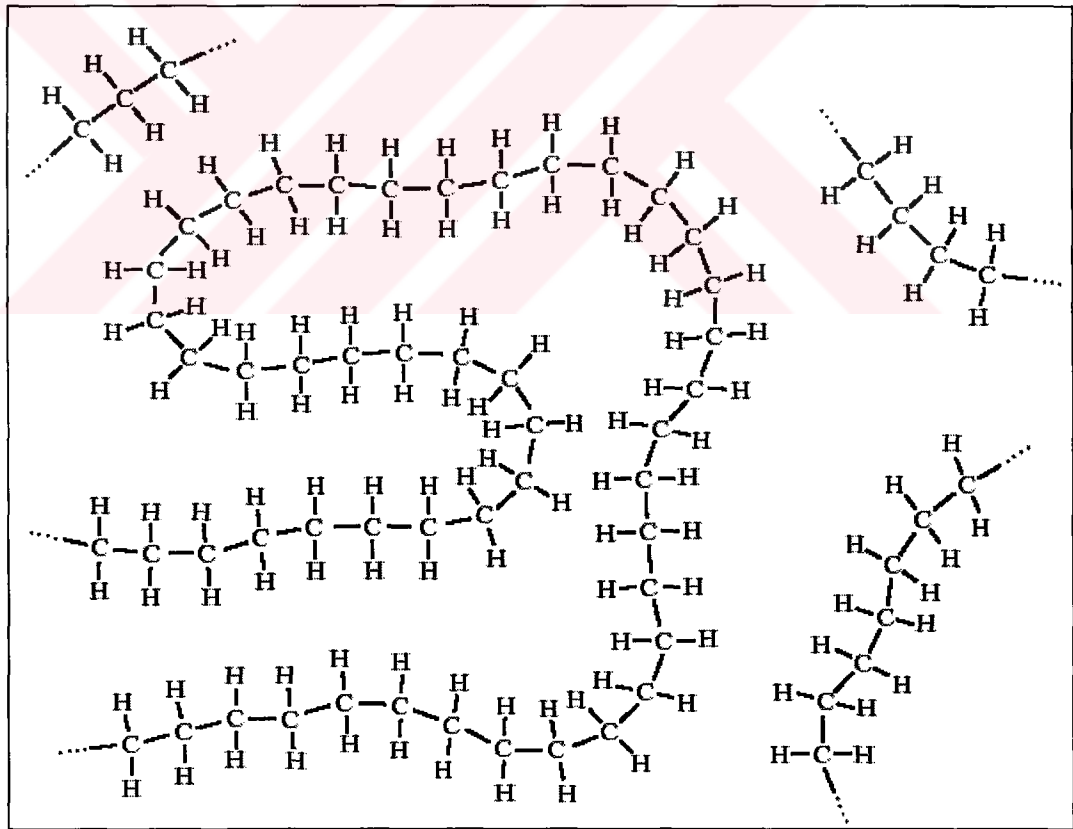
4.2.6.2. Kovalent Bağlar

Bu bağın en önemli özelliği, elektronların sıkıca tutulması ve komşu atomlar tarafından eşit olarak paylaşılmasıdır. Bazı element atomları bir veya iki elektronunu komşu atomlarla paylaşarak daha kararlı bir yapı oluştururlar. Kovalent bağlar çok sağlam olmalarına rağmen, bu şekilde bağlanmış maddeler zayıf süneklik ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Şekil 4.2.6.2.1.a'da Cl_2 molekülünün kovalent bağla oluşumu görülmektedir. Cl atomunun son yörüngesinde 7 elektron bulunmaktadır. İki Cl atomu yan yana gelerek son yörüngelerindeki atomları ortak kullanırlar ve Cl_2 meydana getiriler.

Birbiriyle kovalent bağlı olan atomlardan oluşan bir sistemin potansiyel enerjisi sadece atomlar arasındaki mesafeye bağlı değil, aynı zamanda bağlar arasındaki açığa da bağlıdır.



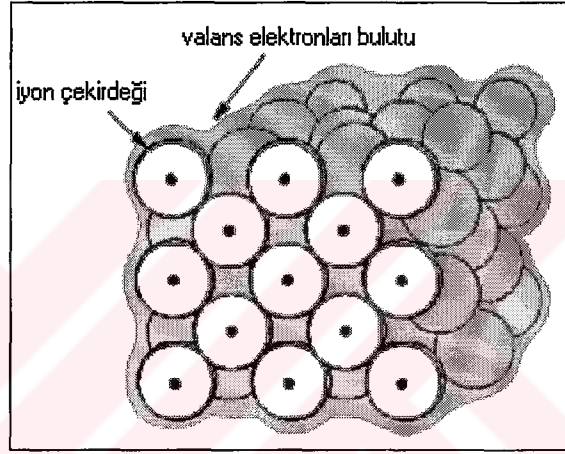
Şekil 4.2.6.2.1.a. Metan molekülündeki kovalent bağın şematik gösterimi b. Elmasın yapısı. Her C atomu diğer dört C atomuyla, 4'lü kovalent bağ yapmaktadır (Callister, 2000)



Şekil 4.2.6.2.2. Katı polietilenin spagetti benzeri yapısının 2 boyutlu şematik gösterilmesi (Mills, M., 2002)

4.2.6.3. Metalik Bağlar

Düşük valansa sahip metalik elementler atomları kuşatan bir elektron bulutu oluşturmak için valans elektronlarını bırakırlar. Metalik bağlar yönsüzdürler; atomları birlikte tutan elektronlar tek bir konumda sabit değillerdir. Metalik bağ ile bağlı malzemeler, serbest elektronlara sahip olduklarından elektriği ve ısıyı iyi iletirler. Şekil 4.2.6.3.1’de iyon çekirdeklerinin valans elektronlarından oluşan bir elektron bulutuyla kuşatılması görülmektedir.

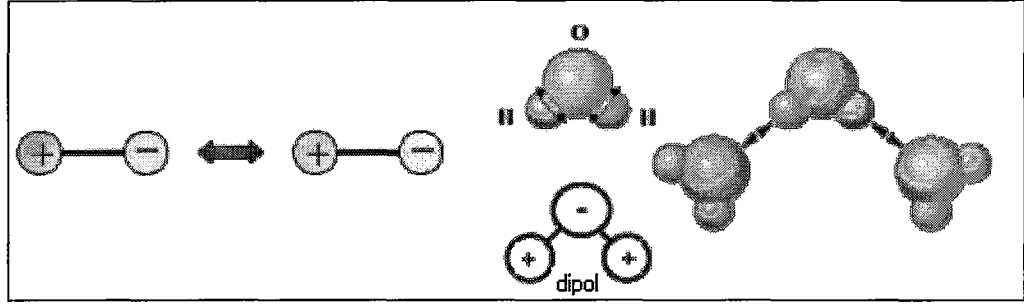


Şekil 4.2.6.3.1. İyon çekirdeklerinin valans elektronlarından oluşan bir elektron bulutuyla kuşatılması (Callister, 2003)

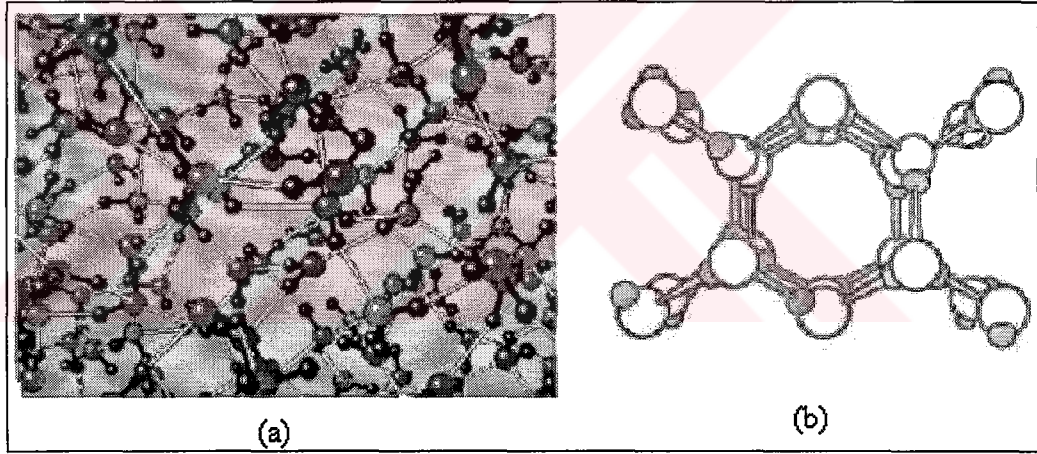
4.2.6.4. İkincil Bağlar (Van der Waals)

Van der Waals bağları moleküller veya atom gruplarını zayıf elektrostatik çekimlerle birbirlerine bağlarlar ve oldukça zayıf bağlardır. Su, plastik ve seramik moleküllerinde sürekli kutuplaşma meydana geldiğinden, molekülün bir bölümü pozitif olarak yüklenirken, diğer bölümü negatif olarak yüklenir. Bir molekülün pozitif yüklü bölgesi ile başka bir molekülün negatif yüklü bölgesi arasında meydana gelen elektrostatik çekim nedeniyle iki molekül gevşek olarak birbirine bağlanır. Bu durum şekil ...’da görülmektedir. Örneğin basit bir su molekülünde hidrojen atomları oksijen atomuna, birbirleriyle 104,5 derecelik açı yapan bağlarla bağlanmışlardır. Bu durum, hidrojen zengin tarafta pozitif bir kutup, diğer uçta ise negatif bir kutup oluşmasına neden olur. Böylece, moleküller arasında bir elektrostatik çekim kuvveti

meydana gelir ve bu kuvvet Van der Walls bağlarını oluşturur. Van der Walls bağlarının oluşumu şekil 4.2.6.4.1’de görülmektedir. Sıvı bir sudaki hidrojen bağlarının moleküler seviyedeki simülasyonu şekil 4.2.6.4.2’da görülmektedir. Moleküller birincil bağlarla içten, ikincil bağlarla da birbirlerine bağlıdır.



Şekil 4.2.6.4.1. Van der Walls bağlarını oluşumu (Callister, 2003)



Şekil 4.2.6.4.2.a. Sudaki hidrojen bağlarının moleküler seviyedeki simülasyonu
b. Buzun kristal yapısı (Zhigilei, 2002)

4.2.7. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://www.people.virginia.edu/~lz2n/mse209>

<http://benz.nchu.edu.tw/~imtech/course/me/Ch02%20-%20Atomic%20Bonding.pdf>

http://www.metal.sakarya.edu.tr/malzeme_bilgisi_1/index.htm

<http://www.webelements.com/webelements/support/media/pdf/periodic-table.html>

<http://enterprise.is.tcu.edu/~rneilson/Chem1113/Notes/>

<http://www.matse.psu.edu/matse81/Spring%202003/LectureNotes/>

4.3. Kristal Yapılar ve Yapı Kusurları

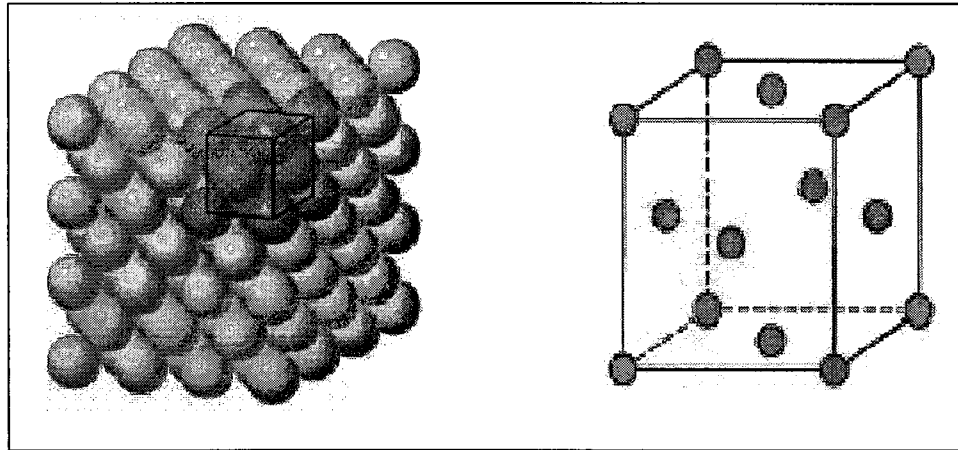
Bu bölümde birim hücre, kristal yapı ve çeşitleri, katıların türleri, katılardaki bozukluklar, dislokasyonlar hakkında bilgi verilecektir.

4.3.1. Katıların Türleri

Kristalli malzemelerde atomlar bir periyodik sırada kendi kendilerini düzenlerler. Tek kristalli malzemelerde atomlar malzemenin bütün uzantılarının üzerinde tekrarlanırlar yada bir periyodik sıradadırlar. Çok kristalli malzemeler çok küçük kristallerden yada tanelerden oluşmuşlardır. Amorf yapıya sahip malzemelerde ise sistematik bir atomik düzen yoktur.

4.3.2. Kristal Yapılar

Kristal yapı malzemelerde atomlar üç boyutlu olarak, belirli bir düzene göre dizilerek bir hacim kafesi oluştururlar. Kristal kafes yapılarından bahsedilirken, atom dizilişlerinin kürelerle gösterilmesi konunun anlaşılmasını kolaylaştıracaktır. Kristal yapı malzemelerin hacim kafesini oluşturan, basit geometrik şekillere birim hücre, atom veya atom gruplarının bulunduğu yerlere de kafes noktası denilir. Şekil 4.3.2.1 'da birim hücre gösterilmektedir. Birim hücre kristal yapılarının en küçük birimidir. Birim hücrelerinin tekrarlanması sonucu bütün kristal yapı oluşturulmaktadır.

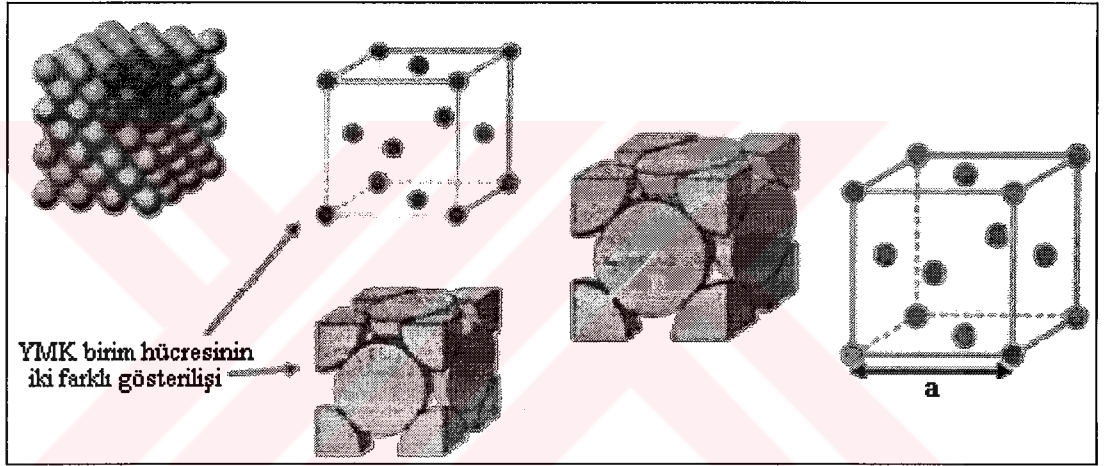


Şekil 4.3.2.1. Kristal kafes yapılarında birim hücre (Zhigilei, 2002)

Metal malzemeler çok özel durumlar dışında, daima kristal yapıya sahiptirler. Metallerde en çok yüzey merkezli kübik (YMK), hacim merkezli kübik (HMK) ve sıkı düzenli hegzagonal (SDH) yapılara rastlanılır.

4.3.2.1. Yüzey Merkezli Kübik Kristal Yapıları

Yüzey merkezli kübik kristal yapısı ve birim hücresi şekil 4.3.2.1.1'de şematik olarak gösterilmektedir. Birim hücrenin her köşesinde ve yüzeylerin merkezlerinde birer tane atom bulunmaktadır. Cu, Al, Ag, Au bu tip kristal yapıya sahiptirler.

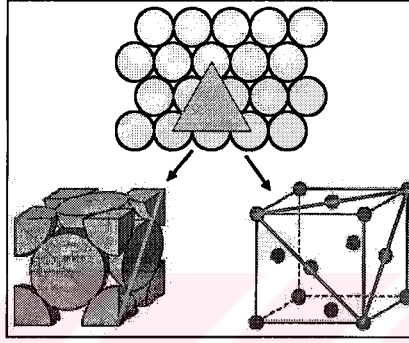


Şekil 4.3.2.1.1. Yüzey merkezli kübik kristal yapısı, birim hücresi ve küpün kenar uzunluğu (Zhigilei, 2002)

Küreler yada iyon çekirdekleri şekil 4.3.2.1.1'de görüldüğü gibi başka bir yüzey köşegenine boydan boya dokunmaktadır. Küpün kenar uzunluğu: $a = 2R\sqrt{2}$ 'dir.

Bir atoma temas eden veya en yakın konumda bulunan komşu atomların sayısına "koordinasyon sayısı" denir. Bu sayı atomların ne kadar sıkı paketlendiklerini ve hangi yoğunlukta dizildiklerini gösterir. Yüzey merkezli kübik kristallerin koordinasyon numarası 12'dir. Her bir hücredeki atom sayısı 4'tür. Çünkü 6 yüzey atomu iki hücre tarafından ($6/2=3$), 8 köşe atomu ise 8 hücre tarafından ($8/8=1$) paylaşılmaktadır.

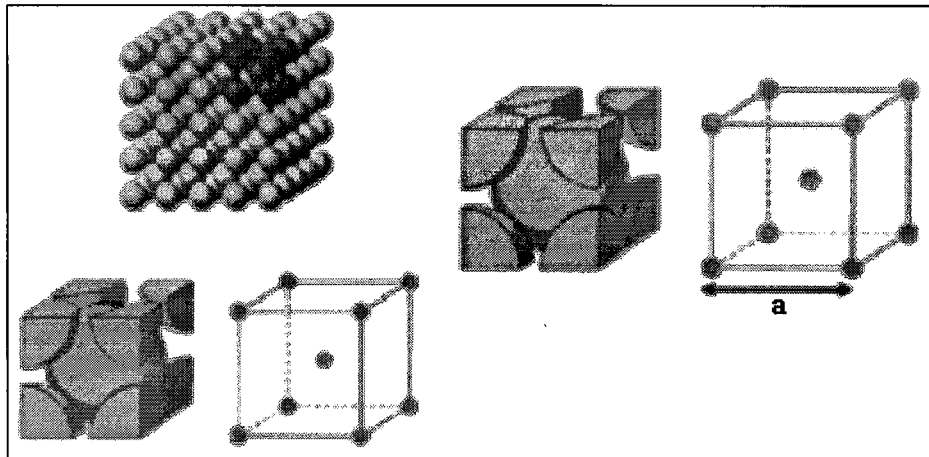
Atomsal dolgu faktörü (ADF) kristal kafes yapısındaki doluluk oranını göstermektedir ve birim hücredeki atomların toplam hacminin, birim hücrenin hacmine bölünmesiyle bulunur. Yüzey merkezli kübik kristal kafes yapılarında ADF en fazla 0.74 olabilir. Yüzey merkezli kübik kristal kafes yapılarında birim hücredeki köşe ve yüzey atomları eşittir. YMK kristal yapısı şekil 3.2.1.2.'de görüldüğü gibi sıkı düzenli bir düzlem yığını tarafından temsil edilebilir.



Şekil 4.3.2.1.2. Sıkı düzenli bir düzlem yığını (Rack, 2002)

4.3.2.2. Hacim Merkezli Kübik Kristal Yapıları

Bu tip kristal kafes yapılarında kübik birim hücrenin her köşesinde ve merkezinde birer tane atom bulunmaktadır. Bu yapı şekil 4.3.2.2.1'de görülmektedir. Cr, α -Fe, Mo bu tip kristal yapıya sahiptir.



Şekil 4.3.2.2.1. Hacim Merkezli Kübik Kristal Yapıları ve birim hücrenin kenar uzunluğu (Callister, 2000)

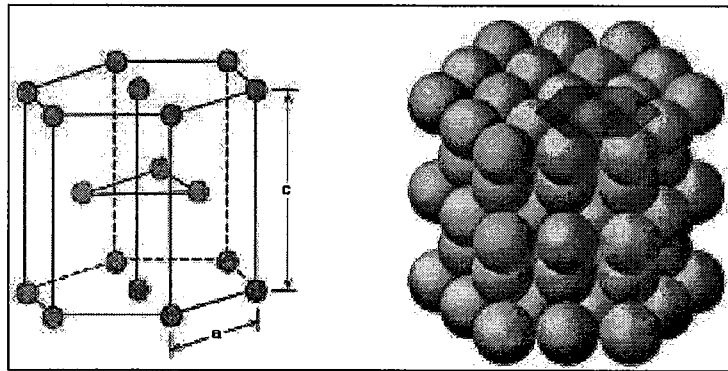
Küreler küpün köşegenleri boyuca bir diğer birim hücreye dokunurlar. Küpün kenar uzunluğu aşağıdaki formülle bulunur.

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

Bu tip yapıların koordinasyon numarası 8'dir. Her birim hücredeki atom sayısı $n=2$ 'dir. Çünkü köşelerdeki 8 atom 8 hücre tarafından paylaşılmaktadır ($8/8=1$), merkezdeki atom ise hiçbir hücreyle paylaşılmaktadır. Dolayısıyla $1+1= 2$ atom vardır. Atomsal dolgu faktörü 0,68'dir. Köşe ve merkez atomları eşittir.

4.3.2.3. Sıkı Düzenli Hegzagonal (SDH) Yapılar

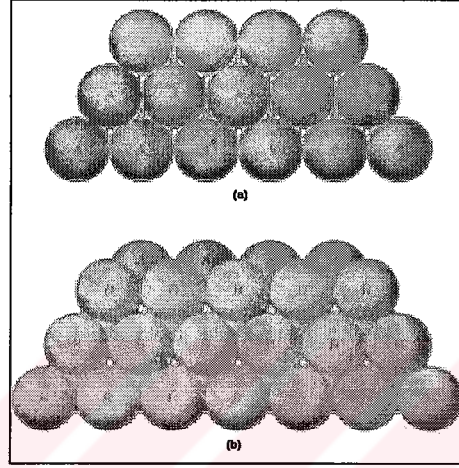
SDH yapılar metalik kristal yapılarında son derece yaygındır. Bu yapının birim hücresi ve birim hücredeki atomların düzeni şekil 4.3.2.3.1'de gösterilmektedir. Merkezde 1 atom ve bunu çevreleyen düzenli altıgen şeklindeki 6 atomdan meydana gelir. Birim hücresinin ortasında bulunan düzlemde (c eksenini) ise 3 tane ek atom daha bulunmaktadır. Cd, Mg, Zn, Ti bu tip kristal yapıya sahiptir. Bu tip kristal yapıların koordinasyon sayısı 12'dir. Her birim hücredeki atom sayısı 6'dır. Çünkü; orta düzlemdeki 3 atom, hiçbir diğer hücreyle paylaşılmamaktadır ($3 \times 1=3$), hegzagonal köşelerdeki 12 atom, 6 hücre tarafından paylaşılmaktadır ($12/6=2$), üst ve alt düzlemde bulunan 2 atom ise 2 hücre tarafından paylaşılmaktadır ($2/2=1$). Dolayısıyla her hücrede $3+2+1=6$ tane atom bulunmaktadır. Atomsal dolgu faktörü 0,74'tür. Birim hücrenin a ve c olmak üzere iki kafes parametresi vardır. c/a 'nın ideal oranı 1,633'dür.



Şekil 4.3.2.3.1. Sıkı Düzenli Hegzagonal yapının birim hücresi ve birim hücredeki atomların düzeni (Callister, 2000)

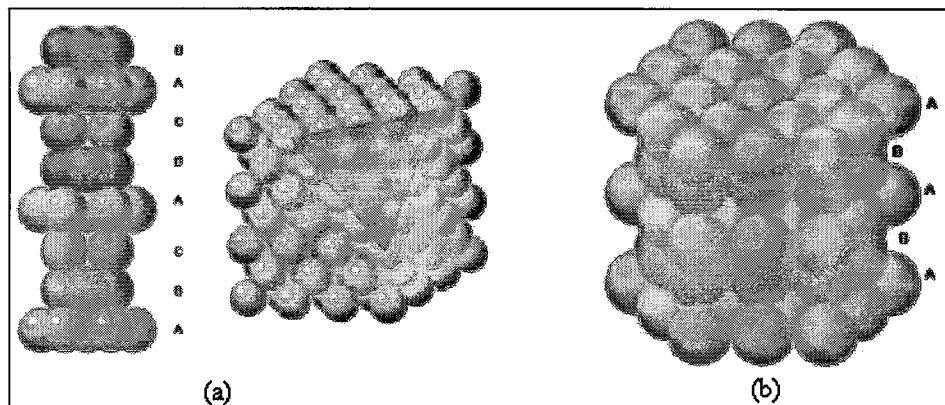
4.3.3. YMK ve SDH Yapıların Karşılaştırılması

Her iki kristal yapının mümkün olabilecek en yüksek atomik dolgu faktörü 0,74'dür. Her iki yapı da sıkı düzenli düzlem yığınlarından meydana gelebilir. İki yapı arasındaki fark, yığın sırasındandır (şekil 4.3.3.1).



Şekil 4.3.3.1.a. Sıkı düzenli atomların bir kısmı; A,B ve C pozisyonları gösterilmektedir (ABCABCABC...) b. Sıkı düzenli atomik düzen için AB yığın sırası (ABABAB....) (Callister, 2000)

YMK yapıda; üçüncü düzlem; ikinci düzlem tarafından kapatılmayan birinci düzlemin deliğinin üstüne yerleştirilmiştir. Bu konum şekil 4.3.3.2.a'da görülmektedir. SDH yapıda ise üçüncü düzlem şekil 4.3.3.2.b'de görüldüğü gibi direk olarak atomların birinci düzleminin üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3.3.2.a. YMK yapıda yığın sıraları b. SDH yapıda yığın sıraları (Zhigilei, 2002)

4.3.4. Yoğunluk Hesaplamaları

Bütün kristal yapı, birim hücrenin tekrarlanmasından meydana gelebileceğinden dolayı, kristalli malzemelerin yoğunluğu şu formülle hesaplanır:

$$\rho = \frac{(\text{birim hücrenin yoğunluğu}, n) \times (\text{bir atomun kütlesi}, M)}{(\text{Hücrenin hacmi}, V_c)}$$

Birim hücredeki atom sayısı:

$$n=2 \text{ (HMK)}$$

$$n=4 \text{ (YMK)}$$

$$n=6 \text{ (SDH)'dir.}$$

Bir atomun kütlesi $M =$ atomik ağırlık, A , amu (yada g/mol) periyodik tabloda verilmiştir. Kütleli amu'dan grama çevirmek için amu'daki atomik ağırlığın avagadro sayısına ($N_A = 6.023 \times 10^{23}$ atom/mol) bölünmesi gerekir.

Hücrenin hacmi;

$$V_c = a^3 \text{ (YMK ve HMK)}$$

$$a = 2R\sqrt{2} \text{ (YMK)}$$

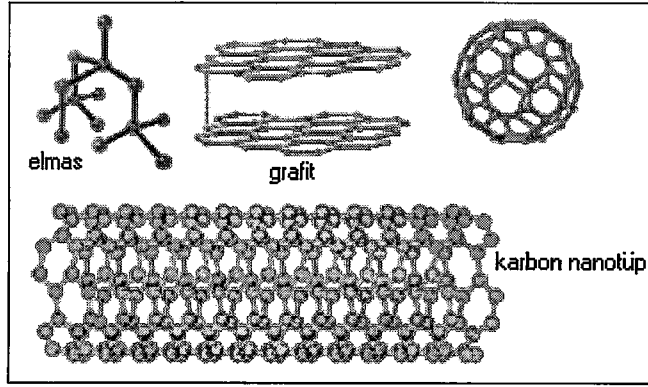
$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}} \text{ (HMK)}$$

Bu formüllerdeki $R =$ Atomik yarıçaptır. Dolayısıyla yoğunluk formülü:

$$\rho = \frac{nA}{V_c N_A} \text{ 'dir.}$$

4.3.5. Polimorfizm ve Alotropi

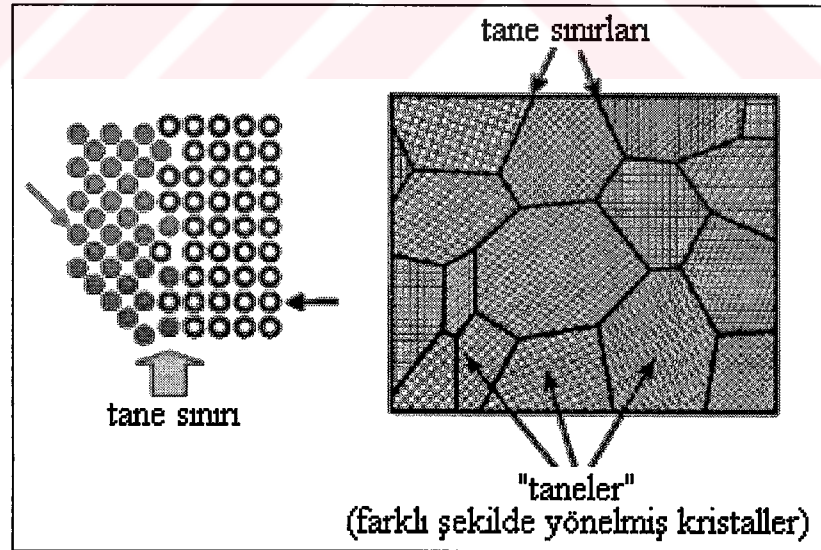
Bazı malzemeler birden fazla kristalli yapıya sahip olabilirler. Bunlar “polimorfizm” olarak adlandırılırlar. Eğer malzeme bir elementsel katı ise “alotropi” olarak adlandırılırlar. Alotropinin bir örneği karbondur. Çünkü karbon; elmas, grafit ve amorf karbon olarak bulunabilir. Karbonun değişik örnekleri şekil 4.3.5.1’de görülmektedir (Mills, 2002).



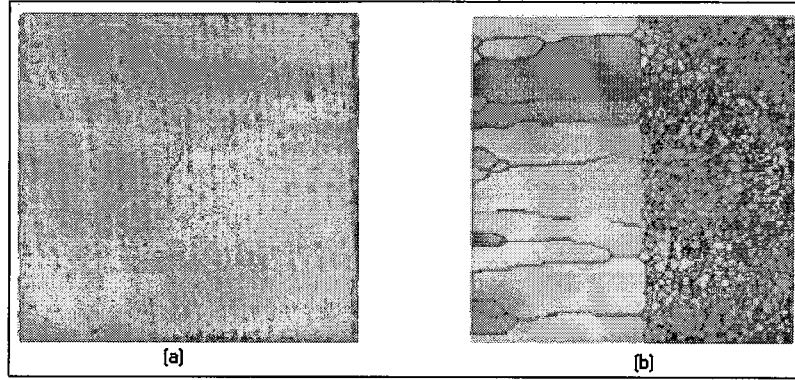
Şekil 4.3.5.1. Karbonun değişik şekilleri (Zhigilei, 2002)

4.3.6. Tek Kristalli ve Çok Kristali Malzemeler

Tek kristalli malzemelerde atomlar tüm malzemenin uzantılarının üzerinde tekrarlanır yada bir periyodik sıradadır. Çok kristalli malzemeler ise çok küçük kristallerden yada tanelerden oluşmaktadır. Taneler farklı kristalografik yönelime sahiptirler. Tanelerin bulunduğu bölgelerde uyuşmayan atomlar vardır (şekil 4.3.6.1). Bu bölgeler tane sınırları olarak adlandırılırlar.



Şekil 4.3.6.1. Çok kristalli malzemelerde tane sınırları (Zhigilei, 2002)



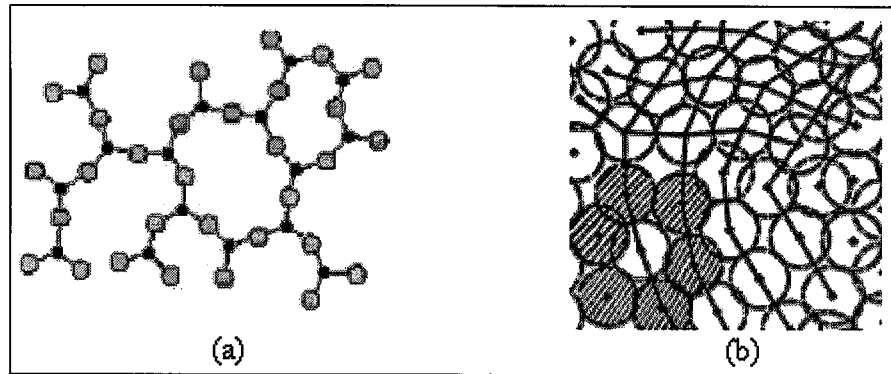
Şekil 4.3.6.2.a. Nano kristalli katının atomistik modeli b. Çok kristalli bir tane yapısının tavlama simülasyonu (Zhigilei, 2002)

4.3.7. Anizotropi

Bir kristalde düzlem ve doğrultulardaki atomik dizilimin farklı olmasından dolayı, özellikler de doğrultu ile değişir. Bir malzemenin özellikleri ölçüldüğü kristalografik doğrultuya bağımlı ise, bu malzeme anizotropiktir. Eğer özellikler kristalin bütün doğrultularında benzer ise malzeme izotropiktir.

4.3.8. Kristalsız (Amorf) Katılar

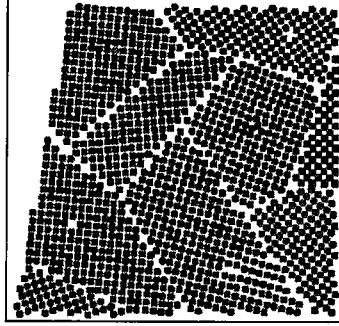
Amorf katılarda uzun menzilli bir düzen yoktur. Fakat amorf rasgele anlamında değildir, çoğu durumda biraz kısa menzilli bir şekil vardır. Şekil 4.3.8.1.a'da amorf yapıya sahip SiO_2 'nin şematik resmi b'de ise amorf yapının simülasyonu görülmektedir.



Şekil 4.3.8.1.a. Amorf yapıya sahip SiO_2 'nin şematik resmi b. Amorf yapının simülasyonu (Zhigilei, 2002)

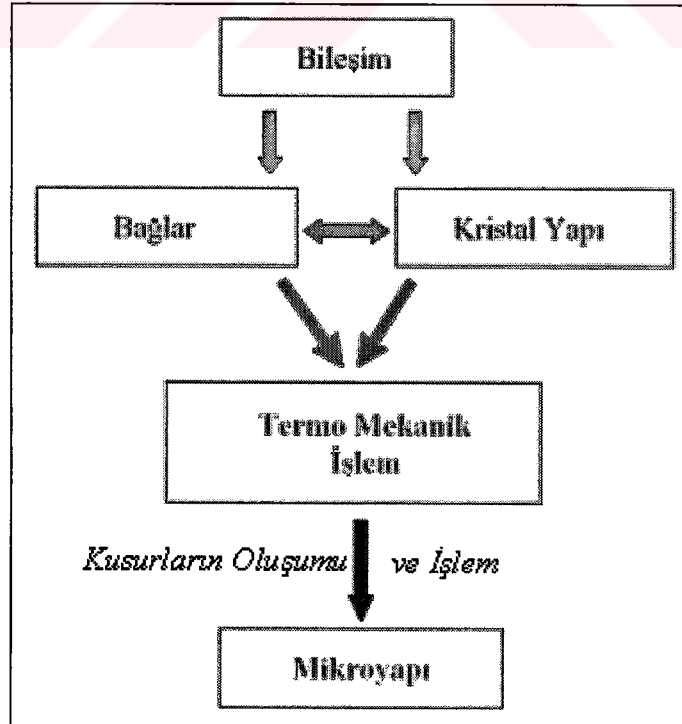
4.3.9. Kusurlar

Gerçekte kristaller asla mükemmel değildirler, onlarda daima kusurlar vardır. Şekil 4.3.9.1’de çok kusurlu bir çoklu kristalin şematik resmi görülmektedir.



Şekil 4.3.9.1. Çok kusurlu bir çoklu kristalin şematik resmi

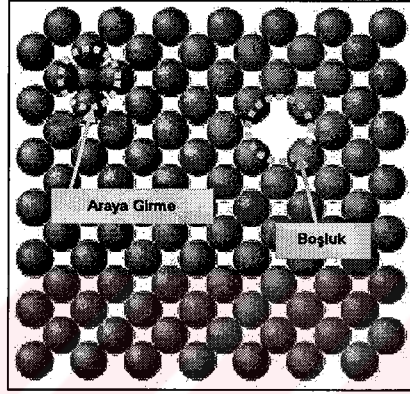
Kusurlar malzemelerin makroskopik özelliklerinde çok önemli bir etkiye sahiptirler. Şekil 4.3.9.2.’de kusurların belirlenme işlemleri görülmektedir. Kristal yapı kusurları geometrik bakımdan; noktasal, çizgisel, yüzeysel ve hacimsel kusurlar olmak üzere dört gruba ayrılırlar.



Şekil 4.3.9.2. Kusurların belirlenme işlemleri

4.3.9.1.Noktasal Kusurlar

Boşluk ve Araya Girme: Boşluk kusuru, şekil 4.3.9.1.1'da görüldüğü gibi atomun bulunması gereken yerde bulunmamasından kaynaklanır. Araya girme kusurunda ise bir atom normal kafes pozisyonunun dışında bir yerdedir. Araya giren atom diğer atomlarla aynı yada farklı bir atom olabilir.



Şekil 4.3.9.1.1. Nokta Kusurlar (Zhigilei, 2002)

Termal titreşimler sonucu şekillenen boşluğun denge numarası termodinamikten hesaplanabilir.

$$N_v = N_s \exp\left(\frac{Q_v}{k_B T}\right)$$

N_s =Düzenli kafes yer sayısı

k_B =Boltzman sabiti

Q_v =Mükemmel bir kristaldeki, boş kafes şekli için ihtiyaç duyulan enerji

T =Sıcaklık (Kelvin olarak)

Bu denklemi kullanırken, oda sıcaklığındaki bakırda her 10^{15} kafes atomunda bir boşluk olduğunu hesaplayabiliriz. Yüksek sıcaklıkta ise sadece erime noktası altında her 10.000 atom için bir boşluk vardır.

Oda sıcaklığında Cu'daki boşluk sayısı hesaplanırsa:

$$N_v = N_s \exp\left(\frac{Q_v}{k_B T}\right)$$

Boltzman sabiti $K_B=1.38 \times 10^{-23}$ J/atom-K= 8.62×10^{-5} eV/atom-K

Kelvin Sıcaklığı $T=27^\circ\text{C}+273=300\text{K}$

$k_B T= 300\text{K} \times 8.62 \times 10^{-5}$ eV/K = 0.026 eV

Boşluk teşkili için enerji $Q_v=0.9$ eV/atom

Düzenli kafes yer sayısı $N_s=N_A\rho/A_{\text{cu}}$

$N_A= 6.023 \times 10^{23}$ atom/mol

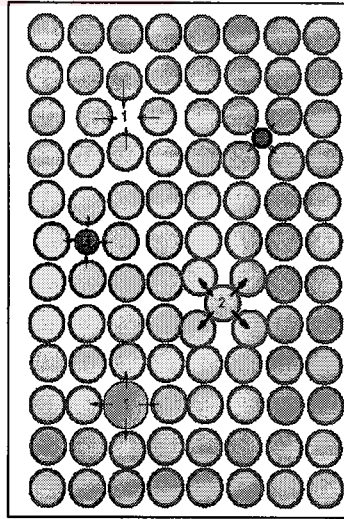
$\rho=8.4$ g/cm³

$A_{\text{cu}}=63.5$ g/mol

$$N_s = \frac{(6.023 \times 10^{23} \text{ atom/mol}) \times (8.4 \text{ g/cm}^3)}{63.5 \text{ g/mol}} = 8 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3$$

$$N_v = 8 \times 10^{22} \frac{\text{atom}}{\text{cm}^3} \exp\left(-\frac{0.9 \text{ eV/atom}}{0.026 \text{ eV/atom}}\right) = 7.4 \times 10^7 \text{ boşluk/cm}^3$$

Değişik nokta kusurları şekil 4.3.9.1.2'de görülmektedir. Bu şekilde, 1 rakamı ile gösterilen kusur; boşluk, 2 rakamı ile gösterilen kusur; kendiliğinden araya girme, 3 rakamı ile gösterilen kusur; farklı bir atomun araya girmesi, 4 ve 5 rakamları ile gösterilen kusur ise katkının değişmesidir.

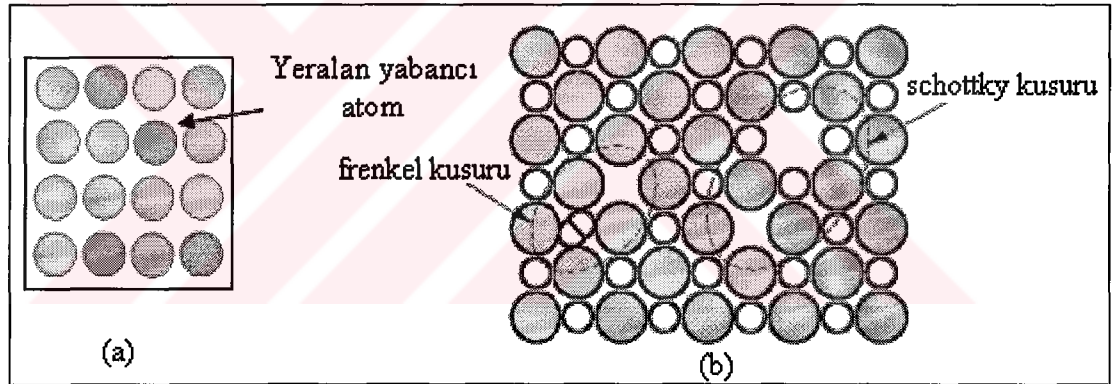


Şekil 4.3.9.1.2. Değişik nokta kusurları (Zhigilei, 2002)

Metallerdeki kendiliğinden araya girme de; kafesin çevresinde geniş bozukluklar oluşur. Kendiliğinden araya girme enerjisinin teşkili, boşlukla karşılaştırıldığında 3 kez daha geniştir. Farklı bir atomun araya girmesi ise farklı bir atomun araya girmesi

olayıdır. Gerçekte bütün katılar içinde farklı atomlar vardır. % 99.9999 gibi, çok yüksek oranda bir saflığı olan metallerde bile her 10^6 atomda bir katkı atomu vardır. Bu katkı isteyerek yada istemeyerek olabilir. Örneğin demire küçük miktarlarda karbon eklenmesiyle saf demirden daha dayanıklı olan çelik elde edilir. Silikona bor eklenmesiyle elektriksel özellikleri değiştirilir. Aynı şekilde metallerin karıştırılmasıyla alaşım elde edilir.

Yeralan Atom Kusuru: Bu kusur, katı çözelti içinde çözünen element atomlarının çözen elementin atomlarının yerini almasıyla meydana gelir. Yeralan katı çözeltisinin oluşması için çözen ve çözünen elementlerin atom boyutlarının birbirine yakın olması gerekir. Bu hata malzemenin kafes yapısında azda olsa, çarpılmaya neden olur. Bu hata şekil 4.3.9.1.3.a'da şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.3.9.1.3.a. Yeralan atom kusurunun şematik gösterimi b. Frenkel ve Schottky kusurları (Callister, 2003)

Frenkel ve Schottky Kusurları: Frenkel kusuru bir iyonun normal kafes konumundan bir arayer konumuna atlaması ile oluşan boş kafes noktası–arayer atomu çifti olup, radyasyona maruz kalan metallerde görülür. Bu hata şekil 4.3.9.1.3.b'de görülmektedir.

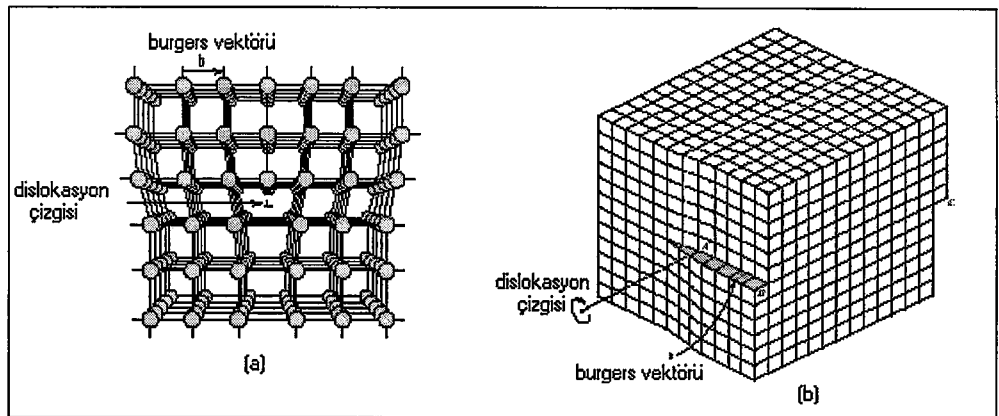
Schottky kusuru ise iyonik bağlarla bağlı malzemelerde meydana gelen boş nokta çiftidir. Kristal yapı içerisinde eşit elektriksel yükün korunması için kafesten bir anyon ile bir katyonun ayrılması gerekir. Bu durumda, şekil 4.3.9.1.3.b'de görülen Schottky kusuru oluşur.

4.3.9.2. Çizgisel Kusurlar

Çizgi biçiminde olan bu kusurlara örnek olarak dislokasyonlar gösterilebilir. Dislokasyon, bir kristalin mükemmel iki bölümü arasında yapı düzeni bozulmuş bir bölge anlamına gelir ve kristalin kaymış bölgesi ile kaymamış bölgesi arasında sınır oluşturan çizgisel hata olarak tanımlanabilir. Dislokasyonlar, kenar ve vida dislokasyonları olmak üzere başlıca iki gruba ayrılırlar. Kenar dislokasyonu, mükemmel bir kristale bir yarım atom düzlem veya tabakasının ilavesi ile oluştuğu gibi, mükemmel bir kristalden bir veya iki sıra atom tabakasının çıkarılması ile de oluşabilir. Mükemmel bir kristale bir yarım atom tabakasının eklenmesiyle oluşan kenar dislokasyonu şekil 4.3.9.2.1.a'da görülmektedir. Kenar dislokasyonu \perp simgesi ile gösterilir.

Bir dislokasyonun, dislokasyon çizgisi ve Burgers vektörü olmak üzere iki karakteristik büyüklüğü vardır. Fazlalık atom tabakasının kenarı dislokasyon çizgisi olarak adlandırılır. Burgers vektörü ise, hareket eden dislokasyonun hareket doğrultusunu ve miktarını gösterir.

Diğer dislokasyon türü de, ötelenmenin dislokasyon çizgisine paralel olması halinde meydana gelen vida dislokasyonudur. Vida dislokasyonunun hareketi veya Burgers vektörü dislokasyon çizgisine paraleldir. Basit bir kübik kristalde vida dislokasyonunun görünümü şekil 4.3.9.2.1.b'de görülmektedir.



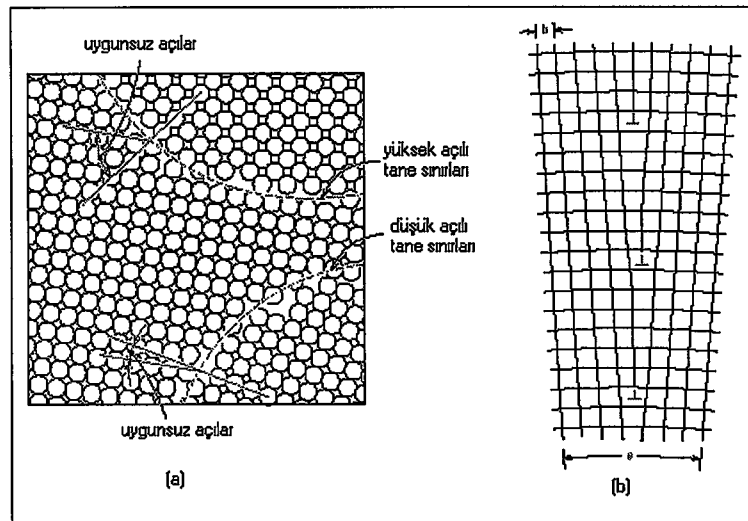
Şekil 4.3.9.2.1.a. Kenar dislokasyonunun şematik gösterimi b. Basit bir kübik kristalde vida dislokasyonu (Callister, 2000)

4.3.9.3. Yüzeysel Kusurlar

Yüzeysel kusurlar bir malzemeyi aynı kafes yapısına sahip, ancak farklı doğrultularda yönlenmiş değişik bölgelere ayıran yüzeylerden oluşur. Bu yüzeyler kesit üzerinde sınır biçiminde gözükür. Bunlara en belirgin örnek olarak tane sınırları, istiflenme kusurları ve ikiz sınırları gösterilebilir.

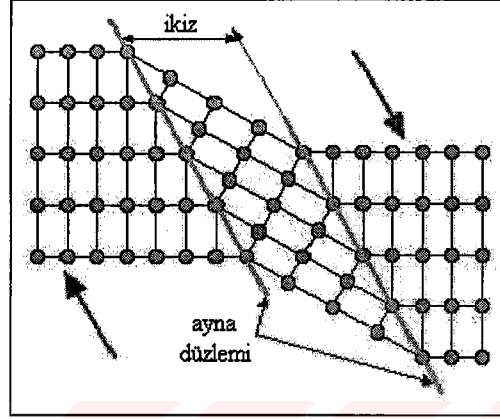
Tane Sınırları: Metal ve alaşımlar tanelerden oluşur. Malzemenin, aynı atom dizilişine sahip olan parçasına tane denir. Ancak, her tanedeki atomsal düzen ve yönlenme farklıdır. Şekil 4.3.9.3.1.a.'da kafes yapıları aynı, fakat yönlenmeleri farklı olan üç komşu tane görülmektedir. Tane sınırları taneleri birbirinden ayıran yüzeyler olup, içerisindeki atom dizilişleri düzgün olmayan dar bölgeliklerden oluşur ve bu bölgelerdeki atomlar kararlı bir düzene sahip değildir.

İki tane arasındaki açı 10° 'den küçük ise küçük açılı tane sınırı, 10° 'den büyük (genellikle $20-30^\circ$) ise büyük açılı tane sınırı söz konusu olur. Küçük açılı tane sınırları dislokasyonlar tarafından oluşturulur. Şekil 4.3.9.3.1.b'de dislokasyonlar tarafından oluşturulan küçük açılı bir tane sınırı görülmektedir. Kenar dislokasyonları tarafından oluşturulan küçük açılı tane sınırına eğme sınırı, vida dislokasyonları tarafından oluşturulan küçük açılı tane sınırına ise bükme sınırı denir.



Şekil 4.3.9.3.1.a. Kafes yapıları aynı, fakat yönlenmeleri farklı olan taneler b. Kenar dislokasyonları tarafından oluşturulan küçük açılı tane sınırı (Callister, 2000)

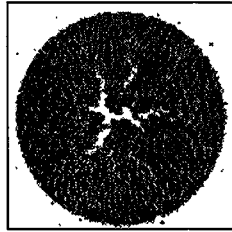
İKiz Sınırları: İfiz sınırı kristal kafes yapısındaki atom düzlemlerinin simetrik olarak farklı doğrultularda yönlencmeleri sonucunda birbirinin ayna görüntüsü şeklinde oluşan iki bölge arasındaki bir düzlem olarak tanımlanabilir. Şekil 4.3.9.3.2’de ikiz sınırı görölmektedir.



Şekil 4.3.9.3.2. İfiz sınırı

4.3.9.4. Hacimsel Kusurlar

Hacimsel kusurlar, genelde malzemelerin üretimi veya şekillendirilmesi sırasında meydana gelir. Şekillendirme sırasında en yaygın olarak döküm, biçimlendirme (dövme) ve kaynak kusurları görülür (Şekil 4.3.9.4.1).



Şekil 4.3.9.4.1. Kısa lazer sinyaliyle aydınlatılmış melanin tanesindeki mikro çatlakların kümesi (Zhgilei, 2002)

4.3.10. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

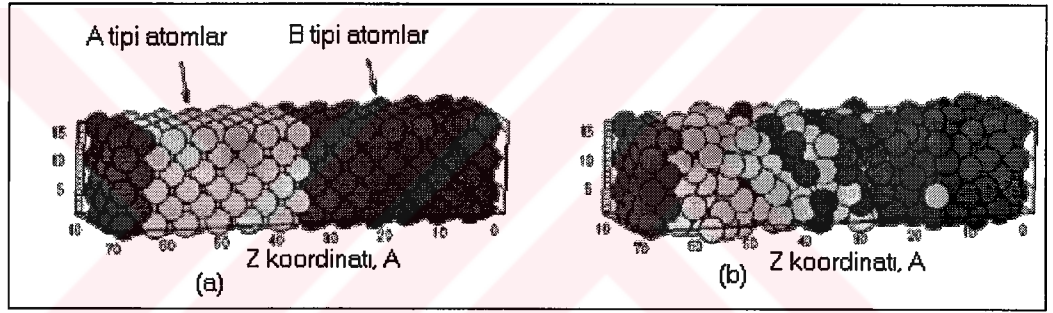
<http://www.people.virginia.edu/~lz2n/mse209>

<http://benz.nchu.edu.tw/~imtech/course/me/Ch02%20-%20Atomic%20Bonding.pdf>

4.4. Difüzyon

Bu bölümde difüzyon mekanizması, boşluk difüzyonu, arayer difüzyonu, difüzyon matematiği, kararlı durum difüzyonu (1. Fick kanunu), kararsız durum difüzyonu (2. Fick kanunu), difüzyonu etkileyen faktörler hakkında bilgi verilecektir.

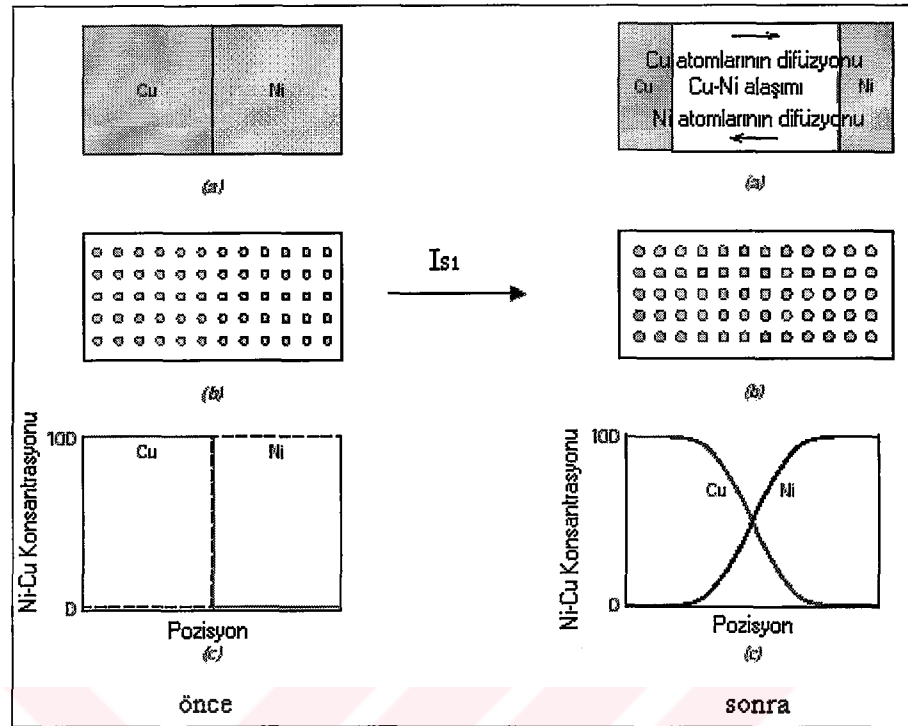
Difüzyon, atomların rastgele hareketlerinden kaynaklanan istatistiksel bir olaydır. Difüzyon sırasında atomlar zigzag çizdikleri gibi, tahmini güç olan yollarda da hareket edebilirler. Homojen olmayan malzemeler, difüzyon ile homojen olabilirler. Şekil 4.4.1'de difüzyon olayı görülmektedir. Bir aktif difüzyonun oluşabilmesi için, sıcaklık atomik hareket için gerekli enerji sınırının yeterince üstünde olmalıdır.



Şekil 4.4.1.a. Difüzyon olayı başlamadan önce b. Difüzyon olayı başladıktan sonraki konum (Callister, 2003)

4.4.1. Ara Difüzyon ve Kendiliğinden Difüzyon

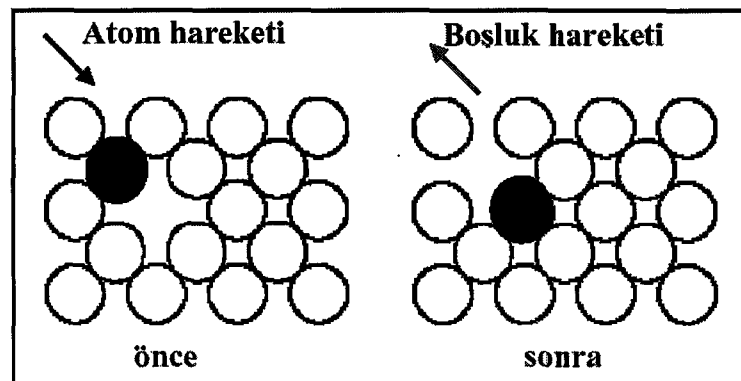
Kendiliğinden difüzyon bir bileşikli malzemelerdeki difüzyondur ve değişen pozisyondaki bütün atomlar aynıdır. Bu difüzyonun oluşumu şekil 4.4.1.1'de görülmektedir.



Şekil 4.4.1.1.a. Yüksek sıcaklıktaki ısıl işlemde önce ve sonra bakır - nikel difüzyon çifti b. Difüzyon çiftindeki Cu ve Ni atomlarının yerlerinin şematik gösterimi c. Bakır ve nikelin konsantrasyonu (Callister, 2000'den değiştirilerek alınmıştır)

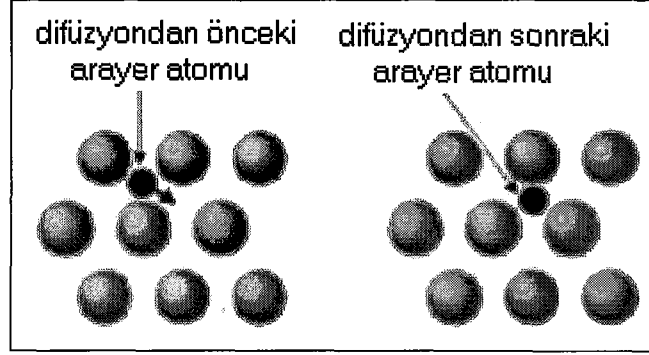
4.4.2. Difüzyon Mekanizmaları

Boşluk Difüzyonu: Bu difüzyon şekil 4.4.2.1'de şematik olarak gösterilmektedir. Burada çözünen elementin bir atomunun boş noktaya atlayarak sağa doğru yaptığı bir atom çapı uzunluğundaki hareketi görülmektedir. Boş nokta sola kayarak sıçrayan atomun yerini alır ve tekrar komşu atomlarla yer değiştirmeye hazır duruma gelir.



Şekil 4.4.2.1. Boşluk difüzyonu (Callister, 2003)

Arayer Difüzyonu: Arayer mekanizmasında bir atom normal konumundan arayer boşluğuna hareket eder ve boşalan nokta bir arayer atomu ile doldurulur (Şekil 4.4.2.2.).



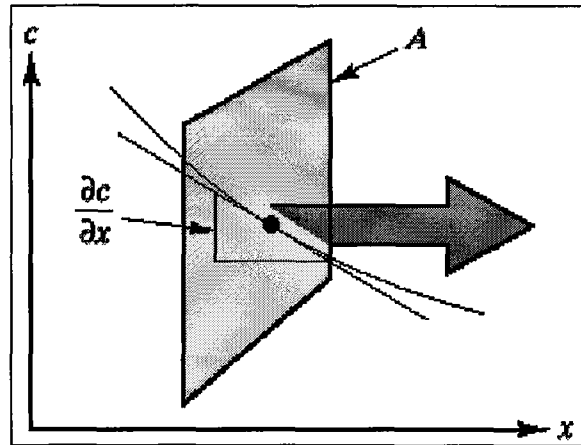
Şekil 4.4.2.2. Arayer difüzyonu (Zhigilei, 2002)

Kararlı Durum Difüzyonu (1. Fick Kanunu): 1. Fick kanunu; şekil 4.4.2.3’de görüldüğü gibi “x yönü boyunca difüzyon akısı konsantrasyon gradyanı ile orantılıdır” olarak tanımlanır.

D =difüzyon katsayısıdır

J =Alanlı düzlemi boydan boyya geçen atomların akısı

Difüzyonun, konsantrasyon gradyanını düşürdüğünden dolayı denklemde eksi işareti vardır.

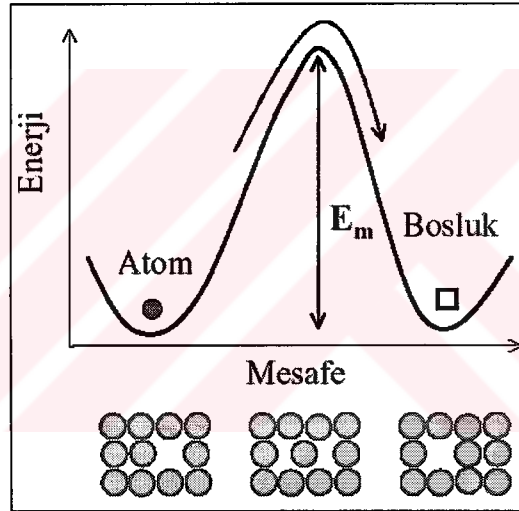


Şekil 4.4.2.3. Difüzyon akısı (Callister, 2003)

Kararsız Durum Difüzyonu (2. Fick Kanunu): Çoğu gerçek durumda, konsantrasyon profili ve konsantrasyon gradyanı zamanla değişmektedir. Konsantrasyon profilinin değişikliği “2. Fick kanunu” olarak adlandırılan, aşağıdaki denklemle belirtilir.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Difüzyon sırasında atomların birbirlerini sıkıştırarak geçmesi için yüksek bir enerji gereklidir. Bu enerji aktivasyon enerjisi Q 'dur. Genellikle yer alan atomların difüzyonu için, şekil 4.4.2.4'de görüldüğü gibi arayer atomlarından daha fazla aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyulur.



Şekil 4.4.2.4. Difüzyon sırasında atomların bir arayerden diğerine geçmesi için gerekli aktivasyon enerji seviyeleri (Rack, 2002)

4.4.3. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu>

<http://www.mse.ufl.edu>

<http://www.people.virginia.edu/~lz2n>

<http://www.cooper.edu/~jli/courses/notes.html>

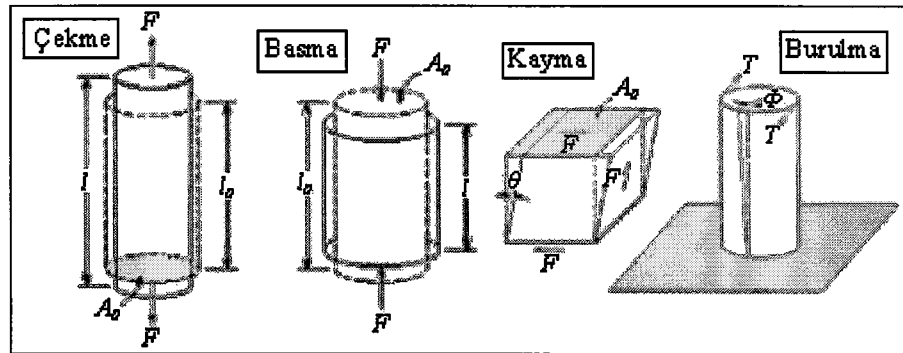
<http://web.utk.edu/~prack/mse201>

4.5. Metallerin Mekanik Özellikleri

Bu bölümde metallerin dış yüklerle nasıl karşılık verdiklerini, gerilme ve gerinme, çekme, basma, kayma, burulma gerilmeleri, elastik ve plastik deformasyon, akma gerilmesi, çekme gerilmesi, süneklik, tokluk, sertlik, dislokasyon ve plastik deformasyon, kuvvetlendirme mekanizmaları, toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi ile malzemelerin kırılması, gevrek ve sünek kırılma, darbeli kırılma deneyi, yorulma ve sürünme hakkında bilgi verilecektir.

4.5.1. Metallerin Mekanik Özellikleri

Pek çok parça ve uygulamalarda malzeme seçimi, parçalar için gerekli çalışma şartlarıyla malzemenin özellikleri karşılaştırılarak yapılır. Seçme işleminin ilk aşamasında, malzeme için gerekli önemli özellikleri belirlemek için çalışma şartlarının analizi gereklidir. Malzeme sağlam, rijit veya sünek mi olmalıdır? Malzeme büyük bir kuvvetin tekrarlı uygulamasına mı, yüksek sıcaklıkta büyük bir gerilme veya aşınma şartlarına mı maruz kalacaktır? Kullanılacak en uygun malzemenin seçimi için malzemelerin özelliklerine bakılmalıdır. Bu özellikler de değişik deneylerle elde edilebilmektedirler. Malzemeler çekme, basma, kayma ve burulma yüklerine maruz kalırlar. Şekil 4.5.1.1'de bu yükler görülmektedir.



Şekil 4.5.1.1. Malzemelere uygulanan yük çeşitleri (Callister, 2000)

Farklı ölçülerdeki numuneleri karşılaştırmak için, yük her birim alan için hesaplanır. Kuvvet gerilme ve ölçü işaretleri arasındaki mesafede gerinime çevrilebilirse, verilen

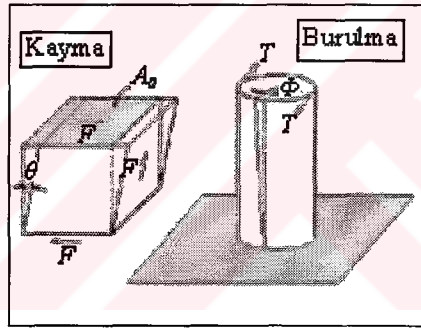
bir malzeme için, numunenin bütün şekil ve boyutlarına tek deneyin sonucu uygulanabilir. Mühendislik gerilme ve gerinimi;

mühendislik gerilmesi: mühendislik gerinimi:

formülleriyle hesaplanabilir. Burada F numunenin kesitine dik olarak uygulanan kuvvet, A_0 numunenin deney başlamadan önceki ilk kesit alanı, l_0 ilk boy, l deneyin sonundaki son boydur. Kayma gerilmesi ve gerinimi ise;

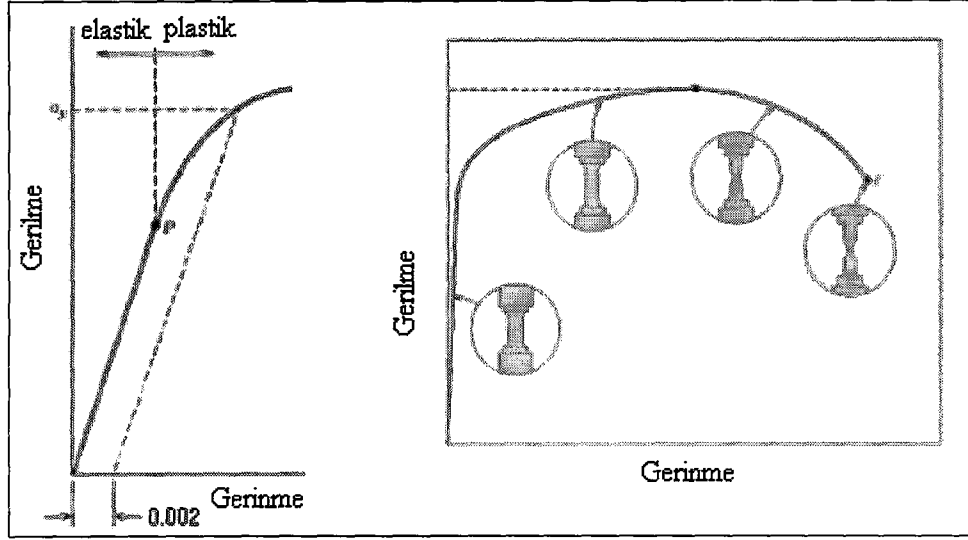
kayma gerilmesi: kayma gerinimi:

formülleriyle hesaplanabilir. θ gerilme açısıdır. Burulma saf kaymanın değişimidir. Bu durumdaki kayma gerilmesi uygulanan torkun bir fonksiyonudur. Kayma gerilmesi burulma açısıyla ilgilidir.



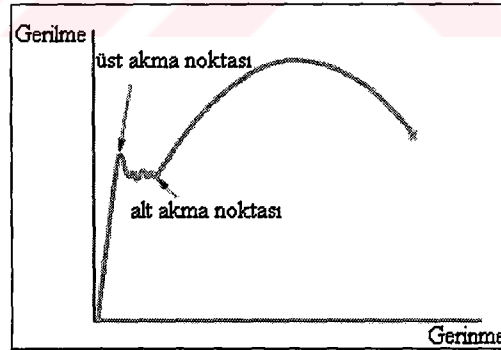
Şekil 4.5.1.2. Kayma ve burulma (Callister, 2000)

Elastik ve Plastik Şekil Değişirme: Kuvvet numuneye ilk uygulandığında, atomlar arası bağlar gerilir ve numune uzar. Kuvvet ortadan kaldırıldığında bağlar orijinal uzunluğuna ve numune ilk boyutuna geri döner. Şekil 4.5.2.1'de görülen gerilme-gerinme eğrisinin elastik kısmında oluşan metaldeki bu uzama eski haline dönebilir. Büyük kuvvetler uygulandığında malzeme plastik davranış gösterir. Gerilme arttığında dislokasyonlar hareket etmeye başlar. Kayma olur ve malzeme plastik (kalıcı) olarak şekil değiştirir. Kuvvet kaldırıldığında malzeme ilk boyutuna geri dönmez.



Şekil 4.5.1.3. Gerilme-gerinme eğrisi ve plastik şekil değiştirme (Callister, 2000)

Akma Dayanımı: Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit olmasına karşılık, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği bölgeye karşı gelen gerilme değeridir. Akmanın başladığı gerilme değerine üst akma sınırı, akmanın devam ettiği ortalama gerilmeye de alt akma sınırı adı verilir.

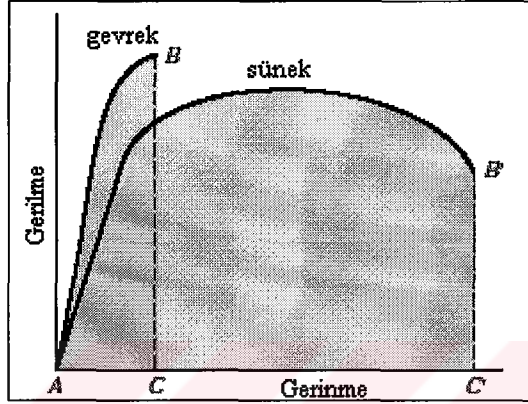


Şekil 4.5.1.4. Üst ve alt akma noktaları (Callister, 2003)

Çekme Dayanımı: Bir malzemenin kopmadan veya kırılmadan dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeridir.

Kopma Uzaması: Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama miktarıdır. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir.

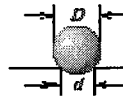

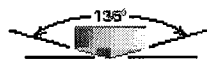

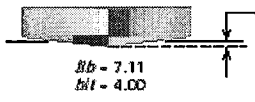
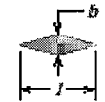
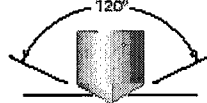


Tokluk: Malzemenin kırılıncaya kadar enerji absorbe etme yeteneğidir. Birim hacim başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanabilen tokluk, malzemenin kırılmaya karşı direncinin bir ölçüsü olarak kabul edilir. Genellikle gerilme eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Süneklikte olduğu gibi, tokluğun karşısı olarak da gevreklik deyimi kullanılır.



Şekil 4.5.1.5. Tokluk değerinin hesaplanması (Callister, 2000)

4.5.2. Sertlik

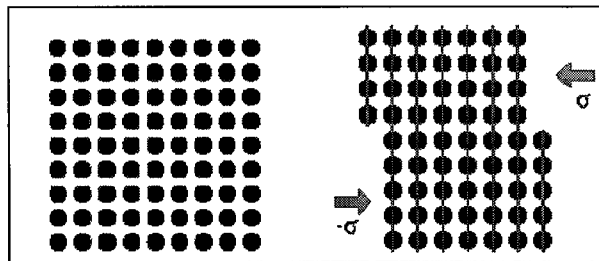
Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. 1'den 10'a kadar olan nitelikli bir Moh ölçeği; bir malzemenin bir başka malzemeye batma yeteneği ile belirlenir. Bu ölçekte talk 1, elmas ise 10 kabul edilmiştir. Değişik türde sertlik deneyleri bulunmaktadır (Rockwell, Brinell, Vickers gibi). Sertlik ölçümlerinde kuvvet uygulanarak, genellikle küre, koni yada piramit ile malzemenin yüzeyinde küçük bir çentik açılır. Oluşan çukurun derinliği yada büyüklüğü ölçülür. Şekil 4.5.2.1'de sertlik ölçümünde kullanılan değişik uçlar görülmektedir.

test	batacı uç	batacı uç şekli		yük	sertlik hesaplama formülü
		yan görünüş	üst görünüş		
Brinell	Çelik bilye			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Elmas piramit			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop	Elmas piramit			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell ve Yüzeyssel Rockwell	{ Elmas koni, Çelik bilye		 	60 kg 100 kg 150 kg 15 kg 30 kg 45 kg	Rockwell Yüzeyssel Rockwell

Şekil 4.5.2.1. Sertlik ölçümünde kullanılan değişik uçlar (Callister, 2000)

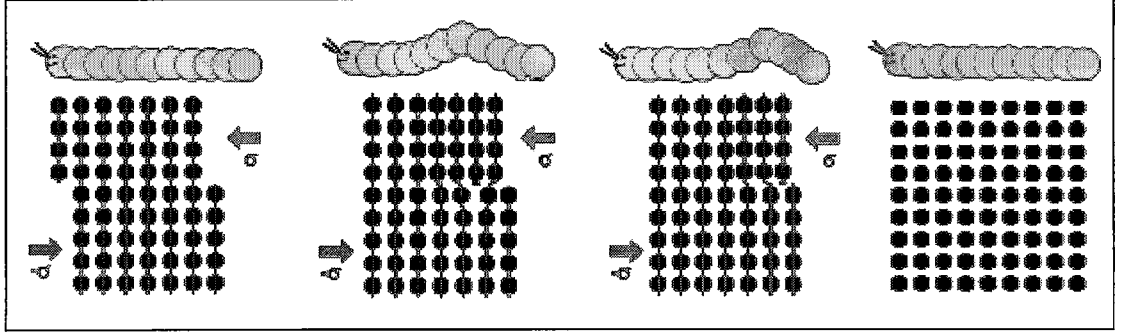
4.5.3. Deformasyon

Niçin metaller plastik deforme olmaktadır? Niçin plastik deformasyon özellikleri kimyasal bileşimde değişiklik olmaksızın dövülmeye çok geniş bir ölçüde değişebilmektedir? Niçin mükemmel kristallerin teorik gerilmelerinden çok küçük gerilmelerde plastik deformasyon oluşmaktadır?



Şekil 4.5.3.1. Plastik deformasyon (Zhigilei, 2002)

Bu sorular 1934'te Taylor, Orowan ve Polyani tarafından cevaplandırılmıştır; plastik deformasyon büyük sayıdaki dislokasyonların hareketinden dolayıdır. Dislokasyonlar mükemmel kristallerdekinden çok daha küçük gerilmelerde deformasyona izin verir (Zhigilei, 2002).

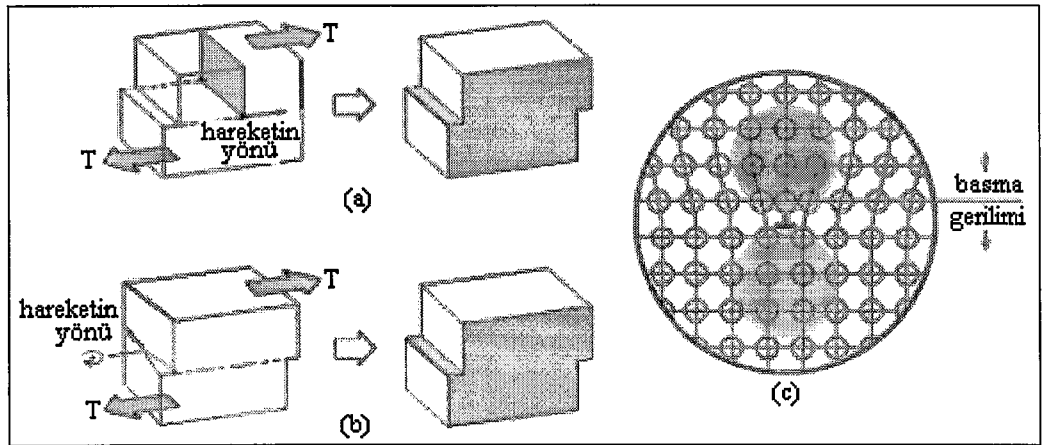


Şekil 4.5.3.2. Dislokasyonlar (Zhigilei, 2002)

Eğer kristalin üst yarısında düzlem kayarsa o zaman bağların küçük bir bölümü kırılır ve bu çok küçük bir kuvvete ihtiyaç duyar. Bir dislokasyonun boydan boya yayılmasının sebebi kristalin üst yarısının alt yarısına göre hareketidir (kayması). Fakat orta düzlemle eş zamanlı olarak bütün bağlar boydan boya kırılmaz. Çünkü çok daha büyük kuvvete ihtiyaç vardır. Kayma düzlemi, dislokasyon hareketinin kristalografik düzlemidir.

4.5.4. Dislokasyon Hareketinin Yönü

Kenar dislokasyonu doğrultusu uygulanan gerilmeye paralel hareket eder. Vida dislokasyonu ise uygulanan gerilmeye dik doğrultuda hareket eder. Bu durumlar şekil 4.5.4.1’de görülmektedir.

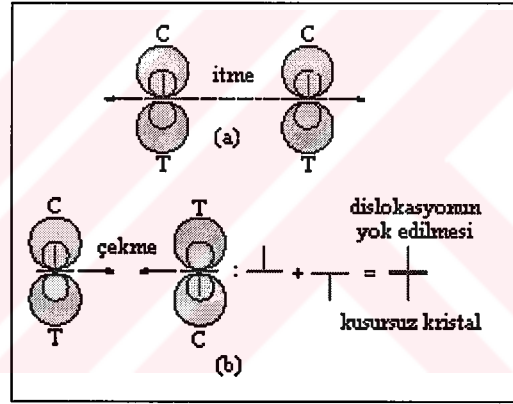


Şekil 4.5.4.1. Dislokasyonda hareket yönü a. Kenar dislokasyonu b. Vida dislokasyonu c. Bir kenar dislokasyonunun etrafındaki bölgede gerilme ve sıkışma bölgeleri (Callister, 2000)

Dislokasyonların karıştırılması için hareketin yönü uygulanan kayma gerilimine paralel ve dik arasında olmalıdır. Kafesin sıkıştırma, gerilme ve kayma gerilmeleri sonucu kenar dislokasyonu oluşurken, vida dislokasyonları yalnızca kayma gerilmesi sonucu oluşur.

4.5.5. Dislokasyonlar Arası Etkileşim

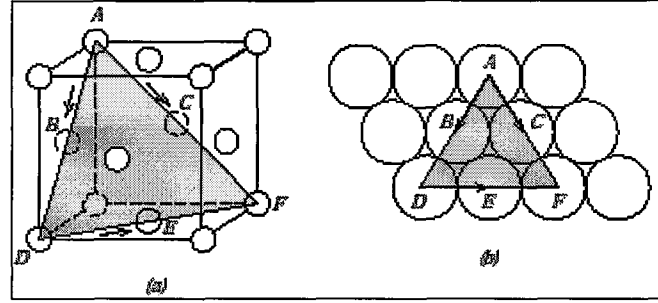
Dislokasyon etrafındaki gerilme alanının sebebi onların birbirlerini etkilemesidir. Onlar aynı düzlemde iken, eğer aynı işarete sahiplerse itilirler ve eğer karşıt işaretlere sahiplerse birbirlerini çekerler. Şekil 4.5.10.1'de dislokasyonlar arası etkileşimler görülmektedir.



Şekil 4.5.5.1. Dislokasyonlar arası etkileşimler

4.5.6. Kayma Düzlemleri

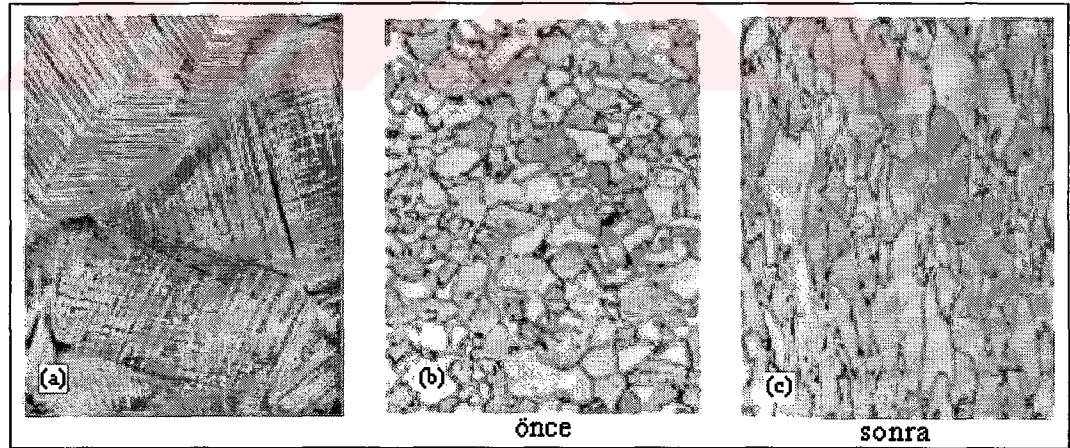
Tek kristallerde dislokasyonların hareket ettiği tercih edilmiş bir düzlem vardır (kayma düzlemi). Kayma düzleminde dislokasyon hareketi için tercih edilmiş kristalografik yön vardır (kayma yönü). Hacim merkezli ve yüzey merkezli kristal kafes sistemleri hegzagonal kafes sistemlerine göre daha çok kayma sistemlerine sahiptirler. Şekil 4.5.6.1'de kayma düzlemleri görülmektedir.



Şekil 4.5.6.1. Kayma düzlemleri (Callister, 2000)

4.5.7. Çok Kristalli Malzemelerin Plastik Deformasyonu

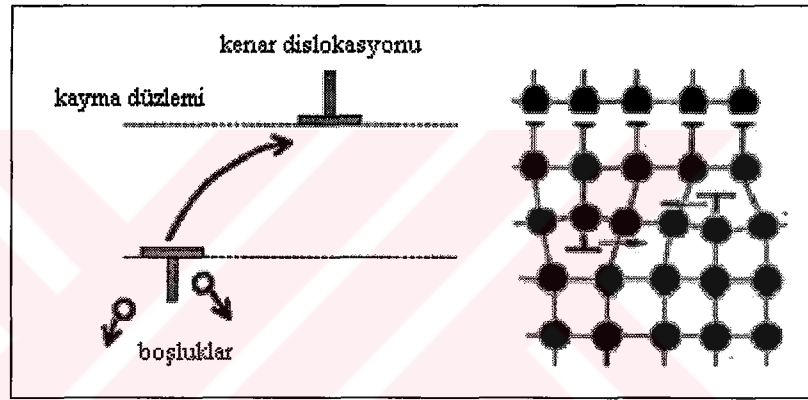
Uygulanan gerilime göre tane yönelimleri rasgeledir. Dislokasyon hareketi kayma düzlemi boyunca oluşur. Şekil 4.5.7.1.a'da çok kristalli bir bakır numunenin yüzeyindeki kayma hatları görülmektedir. Şekil 4.5.7.1.b ve c'de çok kristalli bir metalde plastik deformasyon sonucu, uygulanan gerilimin doğrultusu boyunca tanelerin uzaması görülmektedir.



Şekil 4.5.7.1.a. Çok kristalli bir bakır numunenin yüzeyindeki kayma hatları b ve c. Çok kristalli bir metalde plastik deformasyon sonucu, uygulanan gerilimin doğrultusu boyunca tanelerin uzaması (Callister, 2000)

Toparlanma: Yeniden kristalleşme sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda uygulanan bir ısıl işlem olup, bu işlem sonucunda malzemenin iç yapısında önemli bir değişim meydana gelmeden bazı özellikler değişebilir. Bu işlemin esas amacı, soğuk şekil değiştirme sırasında malzeme içerisinde oluşan iç gerilmeleri

gidermektir. Toparlanma işlemi sırasında, önce malzemedeki deformasyon sertleştirilmesi yada pekleşme miktarı hızlı bir şekilde azalır, ancak azalma oranı zamanla düşer. Toparlanma, dislokasyon sayısının azalmasından çok, dislokasyonların yeniden düzenlenmelerinden kaynaklanır. Dislokasyonların yeniden düzenlenmesi sonucunda oluşan alt tanelerin içindeki dislokasyonsuz bölgeler elektron hareketini kolaylaştırarak malzemenin elektrik iletkenliğinin eski değerine yaklaşmasına neden olur. düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bu işlem, piyasada gerilme giderme tavlama olarak da bilinir. Şekil 4.5.13.1’de dislokasyon mekanizmalarının bazılarının yok edilmesi gösterilmektedir.



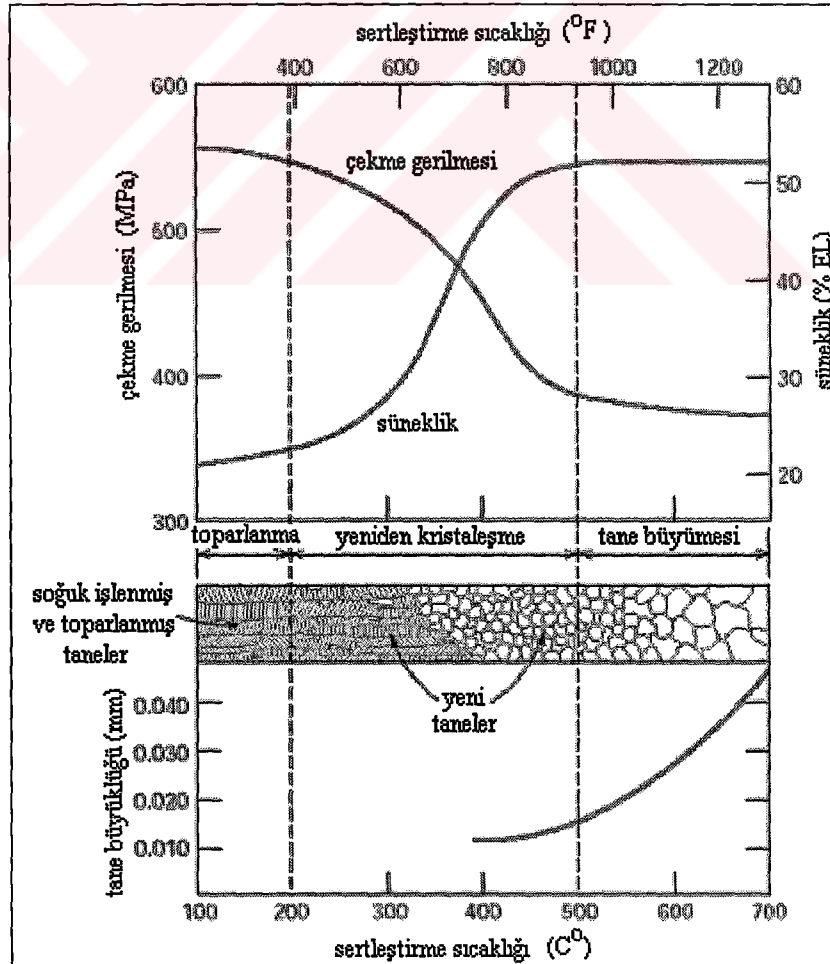
Şekil 4.5.7.2. Dislokasyon mekanizmalarının bazılarının yok edilmesi

Yeniden Kristalleşme: Yeniden kristalleşme çok az dislokasyon içeren yeni tanelerin çekirdeklenme ve büyümesi ile olur. Metal, yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerine ısıtıldığında, hızlı bir toparlanma ile kalıntı gerilmeler yok olur ve poligonlaşmış dislokasyon yapısı oluşur. Yeni taneler bu durumda poligonlaşmış alt tane sınırlarında çekirdeklenir ve dislokasyonların çoğu yok olur. Dislokasyonların sayısı büyük miktarda azaldığından yeniden kristalleşen metalin dayanımı düşerken yüksek bir sünekliğe sahip olur.

Tane Büyümesi: Yüksek tavlama sıcaklıklarında toparlanma ve yeniden kristalleşmenin her ikisi de hızlı bir şekilde gerçekleştiğinden yeniden kristalleşmiş ince taneler oluşur. Büyük miktara ulaşan tane sınır birim yüzey enerjisi, yüksek sıcaklıkta küçük taneli yapıyı dengesiz yapar. Bu enerjiyi azaltmak için nispeten

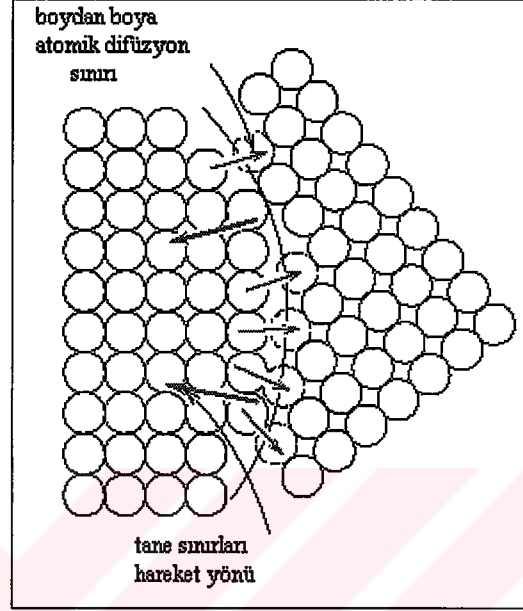
Çizelge 4.5.7.1. Önemli metallerin yaklaşık yeniden kristalleşme sıcaklıkları

Metal	Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (C°)
Kurşun	Oda Sıcaklığının Altında
Kalay	Oda Sıcaklığının Altında
Çinko	Oda Sıcaklığında
Mağnezyum	150
Alüminyum	150
Bakır	200
Demir	450
Çelik	600
Nikel	600
Molibden	900
Tungsten	1200



Şekil 4.5.7.3. Toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi (Callister, 2000)

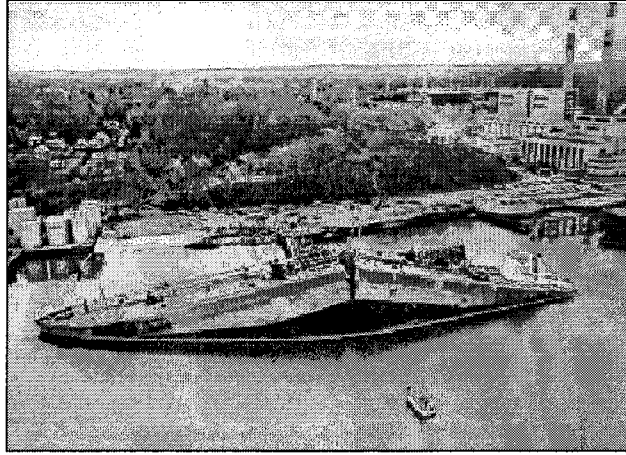
büyük tanelerin küçük taneleri yutmasıyla tane büyümesi başlar. Bu olay tane büyümesi olarak adlandırılır. Tane büyümesi hiçbir zaman arzu edilmez. Tane büyümesinin şematik gösterimi şekil 4.5.7.4’de görülmektedir.



Şekil 4.5.7.4. Atomik difüzyon yoluyla oluşan tane büyümesinin şematik gösterimi (Callister, 2000)

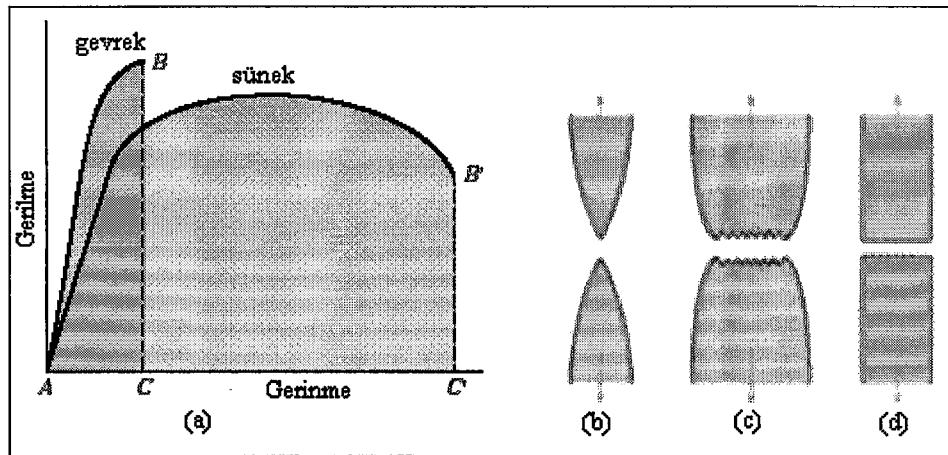
4.5.8. Hatalar

Kırılma: Kırılma; erime noktasının altındaki bir sıcaklıkta gerilmeden dolayı gövdenin parçalara ayrılmasıdır. Kırılma çatlak oluşmasıyla başlar ve çatlak yayılmasıyla devam eder. Kırılmadan önce malzemelerin plastik deformasyon geçirme yeteneğine bağlı olarak iki kırılma biçimi tanımlanabilir. Bunlar sünek ve gevrek kırılmadır. Sünek kırılma genellikle çok soğuk olmayan ortamlardaki metallerde meydana gelir. Çatlak önünde yoğun bir plastik deformasyon oluşur. Çatlak kararlıdır. Uygulanan gerilim artırılmadıkça çatlak yayılmasına direnir. Gevrek kırılma ise daha çok seramik, buz ve soğuk metallerde meydana gelir. Gevrek kırılmada küçük bir plastik deformasyon oluşur. Çatlak kararsızdır. Uygulanan gerilmede artma olmasa da çatlak büyük bir hızla yayılır. Çoğu uygulamada sünek kırılma tercih edilir.

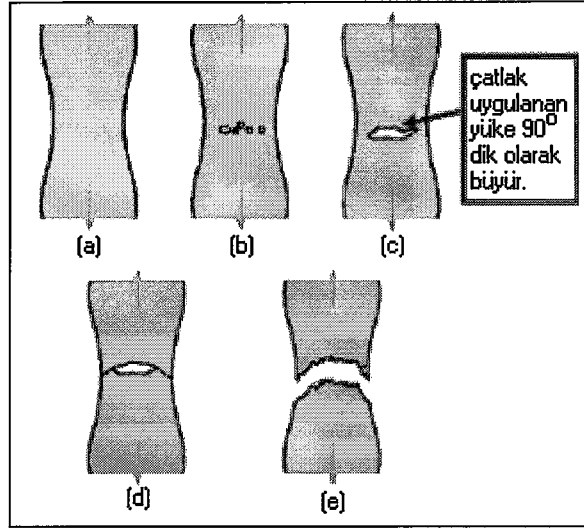


Şekil 4.5.8.1. Oluşan bir çatlakın yayılması sonucu, bir petrol tankerinin ortadan ayrılmasının fotoğrafı (Callister, 2000)

Sünek malzemeler kırılmadan önce geniş plastik deformasyona uğrarlar ve enerji absorbe ederler (tokluk). Gevrek malzemeler ise kırılmadan önce küçük bir plastik deformasyona uğrarlar ve az bir enerji absorbe ederler. Şekil 4.5.8.2'de gevrek ve sünek malzemelerin absorbe edebildikleri enerjiler ve değişik kırılma tipleri görülmektedir. b'da çok sünek kırılma gösterilmektedir. Bu tip kırılma oda sıcaklığında Pb, Au gibi yumuşak metallerde, yüksek sıcaklıkta ise diğer metallerde, polimerlerde ve camlarda görülmektedir. c'de gösterilen kısmen sünek kırılma, sünek metallerde görülür. d'deki gevrek kırılma ise soğuk metallerde ve seramiklerde meydana gelir. Sünek malzemelerde çatlakın oluşması ve yayılması şekil 4.5.8.3'de gösterilmektedir.



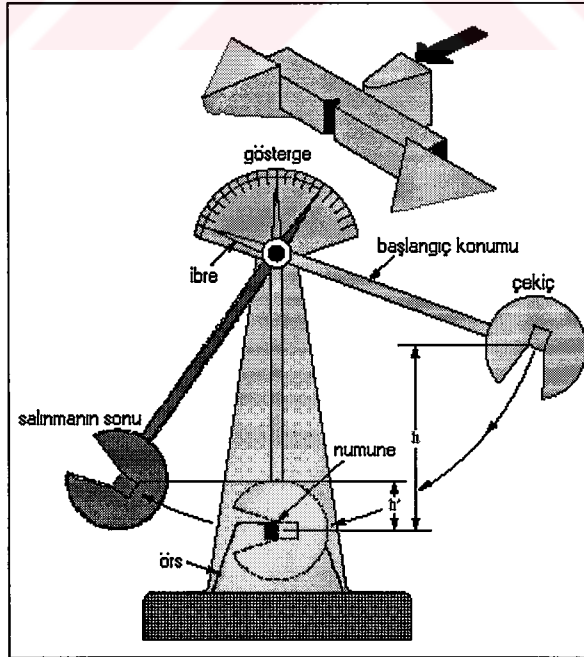
Şekil 4.5.8.2.a. Gevrek ve sünek malzemelerin absorbe edebildikleri enerjiler. Kırılma çeşitleri b. Çok sünek c. Kısmen sünek d. Gevrek kırılma (Callister, 2000)



Şekil 4.5.8.3. Sünek malzemelerde çatlak oluşması ve yayılması a. Boyun verme b. Boşluk teşkili c. Boşluğun bir çatlak şekline dönüşmesi d. Çatlağın yayılması e. Kırılma (Callister, 2000)

4.5.9. Darbe Deneyi

Ani darbelere karşı direnci iyi olan malzeme seçmek için malzemenin kopmaya karşı direncini ölçmek için yapılır. Numuneler çentikli veya çentiksiz olabilir. V çentikli

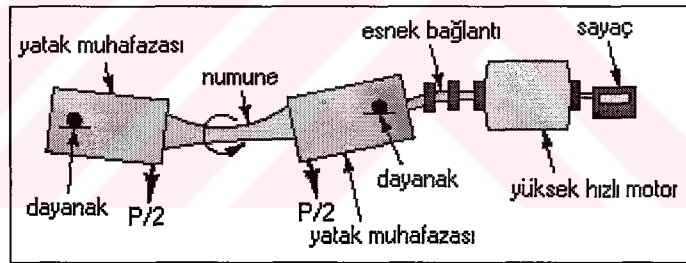


Şekil 4.5.9.1. Darbe deneyi (Callister, 2003'den değiştirilerek alınmıştır)

numuneler, malzemelerin çatlağın büyümesine karşı direncini iyi ölçerler. Deneyde h yüksekliğinden bırakılan sarkaç numuneye çarparak kırar ve daha sonra belli bir yüksekliğe çıkar. Sarkacın başlangıç ve son yükseklikleri arasındaki fark emilen enerjiyi gösterir.

4.5.10. Yorulma Deneyi

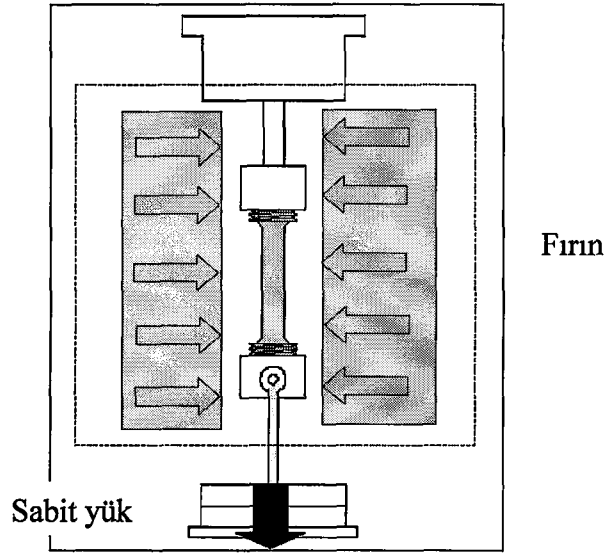
Akma dayanımının altında, çok sayıda tekrarlanan bir gerilmeye maruz kalan bir malzeme kopabilir. Bu olaya yorulma denmektedir. Yorulma dayanımını ölçmenin yaygın metodu şekil 4.5.10.1'de görülen dönen destekli kiriş deneyidir. Silindirik numunenin iki ucu yataklanır ve bir ucu motor tarafından bağlanma aparatına bağlanır. Daha sonra her iki uca eşit yük uygulanır ve numune döndürülür. bu esnada çevrim sayısı, gerilme ve süre not edilir. Bu işlem devam ettikten bir süre sonra parça kırılır.



Şekil 4.5.10.1. Yorulma deneyinin yapılışı

4.5.11. Sürünme Deneyi

Malzemeye yüksek sıcaklıkta gerilim uygulanırsa, gerilim akma dayanımının altında olsa bile malzeme gerilebilir ve sonunda kopabilir. Yüksek sıcaklıktaki plastik şekil değiştirme sürünme olarak tanımlanır. Malzemenin sürünme özelliklerini belirlemek için fırın içerisine yerleştirilen silindirik numuneye sabit gerilim uygulanır ve parça kopuncaya kadar devam eder. Bu arada zamana bağlı olarak gerinim ve uzama değerleri not edilir.



Şekil 4.5.11.1. Sürünme deneyinin yapılışı (Callister, 2003)

4.5.12. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://benz.nchu.edu.tw>

<http://www.people.virginia.edu>

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures>

<http://web.utk.edu/~prack/mse201/>

4.6. Faz Diyagramı

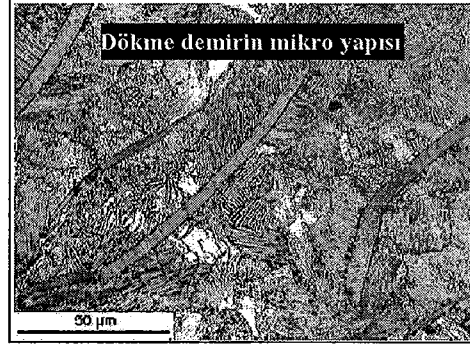
Bu bölümde faz diyagramıyla ilgili temel kavramlar ve tanımlar, fazlar ve mikro yapılar, ikili izomorf sistemler, ikili ötektik sistemler, ara fazlı ikili sistemler ile demir karbon sistemleri hakkında bilgi verilecektir.

4.6.1. Tanımlar

Kimyasal olarak tanınabilen türlere “bileşen” denir (karbon çeliğindeki Fe ve C, tuzlu sudaki H₂O ve NaCl gibi). Bir ikili alaşımda iki tane bileşen, üçlü alaşımda üç tane vb. bileşen vardır. “Faz” ise, düzenli fiziksel ve kimyasal karaktere sahip olan bir sistemin parçasıdır. Bir sistemdeki iki farklı faz farklı fiziksel ve kimyasal karakteristiklere sahiptirler (örneğin su ve buz) ve birbirlerinden belli faz sınırlarıyla ayrılmışlardır. Bir faz bir yada daha fazla bileşeni içerebilir. Tekli faz sistemleri “homojen”, iki yada daha fazla fazlı sistemler karışımlar yada “heterojen” olarak adlandırılırlar. Çözeltideki ev sahibi yada büyük bileşen “çözen”, küçük bileşen ise “çözünen” olarak adlandırılır. Bir fazlı bir bileşenin çözünmüş olan bileşenin maksimum miktarına “çözünürlük sınırı” denir (örneğin alkolün suda çözünürlüğü sınırsızken, şeker sınırlı bir çözünürlüğe sahiptir, yağ ise çözünemez). Katı fazlarda da aynı kavramlar geçerlidir. C, Fe’de sınırlı bir çözünürlüğe sahip iken, Cu ve Ni sınırsız bir katı çözünürlüğe sahiptirler.

4.6.2. Mikroyapı

Bir alaşımanın özelliği sadece fazın oranına bağlı değil, aynı zamanda mikroskobik seviyede yapısal olarak nasıl düzenlendiğine bağlıdır. Bu yüzden mikro yapı fazların sayısı, oranı ve boşluktaki düzenleriyle belirlenir. Şekil 4.6.2.1’de ağırlık olarak % 4 C içeren Fe alaışımının mikro yapısı gösterilmektedir. burada birkaç faz vardır. Uzun gri bölgeler grafit taneleridir. Matris hacim merkezli kübik Fe ve Fe₃C bileşiminin iyi bir şekilde karışımıdır. Faz diyagramı mikro yapıyı tahmin etmemize ve anlamamıza yardımcı olacaktır.



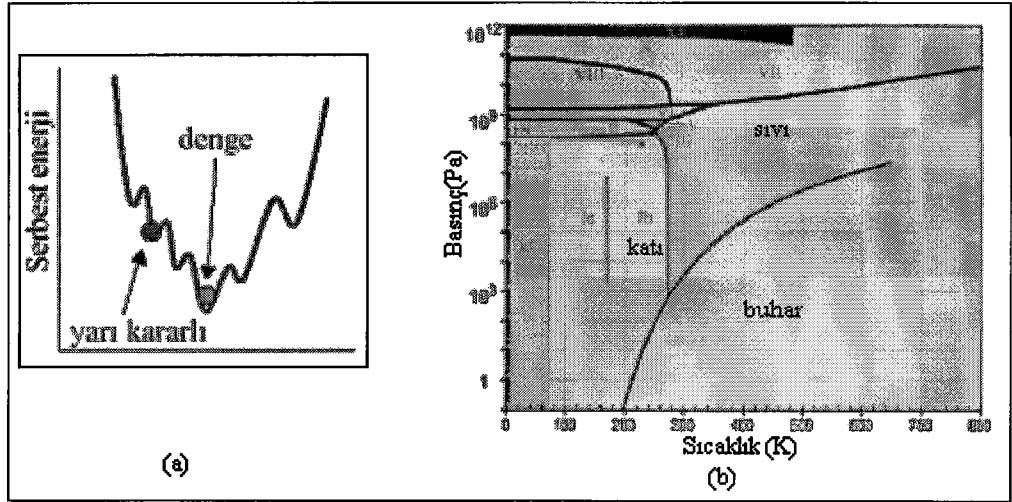
Şekil 4.6.2.1. % 4 C içeren Fe alaşımının mikro yapısı (Zhigilei, 2002)

4.6.3. Denge ve Yarı Kararlı Durumlar

Bir sistem eğer sabit sıcaklık, basınç ve bileşimde dengede ise sistem kararlıdır, zamanla değişmez. Denge yeterli bir zaman verilerek elde edilen bir durumdur. Fakat dengeye ulaşmak için zaman çok uzun olabilir denge için yol boyunca ki durum kararlı olarak görülebilir. Bu yarı kararlı durum olarak adlandırılır. Serbest enerji olarak adlandırılan termodinamik fonksiyonun minimumuna karşılık gelen termodinamikte ki denge, sistemin durumu olarak tanımlanır. Termodinamik bize şunu söyler: sabit basınç, sıcaklık ve bileşim şartları altında yön değişimi serbest enerjiye doğrudur. Termodinamik denge durumu minimum serbest enerjilidir. Yarı kararlı durumdaki bir sistem serbest enerjinin yerel minimumunu içerir. Şekil 4.6.4.1'de denge ve yarı kararlı durum gösterilmektedir.

4.6.4. Faz Diyagramı

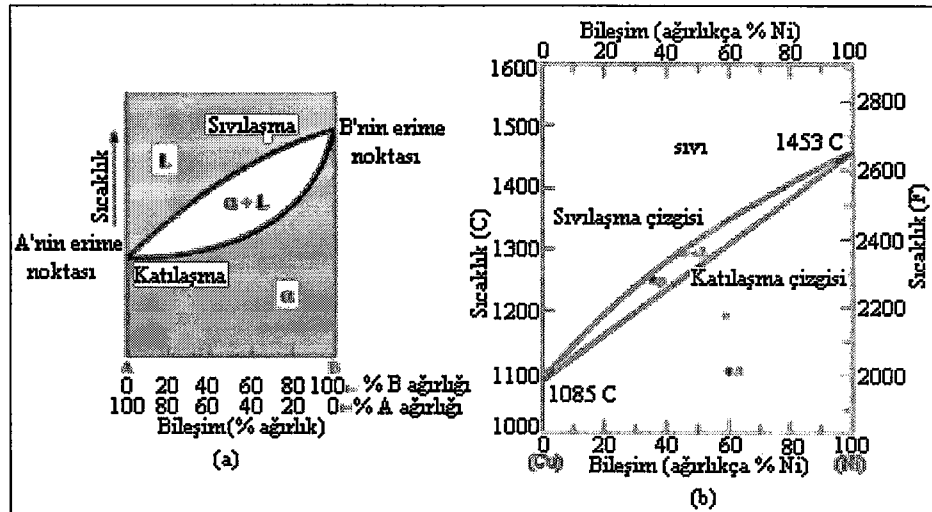
Faz diyagramı sıcaklık, basınç, bileşim ve diğer değişkenlerin bileşiminin grafiksel gösterimidir. Şekil 4.6.4.1'de H₂O için buz (katı), su (sıvı) ve buharın (gaz) bulunduğu, basınç ve sıcaklığa bağlı tipik bir diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.6.4.1.a. Denge ve yarı kararlı durum b. H₂O için buz, su ve buharın bulunduğu, basınç ve sıcaklığa bağlı tipik bir diyagram (Zhigilei, 2002)

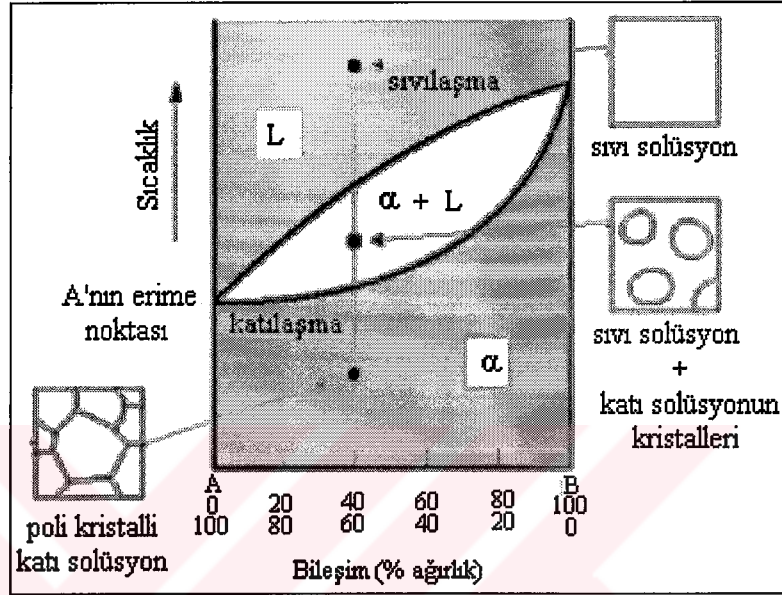
4.6.4.1. İkili İzomorf Sistemler

İzomorf sistem her iki bileşenin katı çözünlüğünün tamamlanmasıdır. Faz diyagramında, şekil 4.6.4.1.1.a'da görüldüğü gibi üç faz bölgesi tanımlanır. Bunlar sıvı, sıvı + katı ve katıdır. Sıvılaşma çizgisi sıvıyı, sıvı + katı'dan ayırır. Katılaşma çizgisi ise sıvı + katı'dan katıyı ayırır. Cu - Ni izomorf sistemlerin bir örneğidir (tamamlanmış çözünlük oluşur, çünkü Cu ve Ni'nin her ikisi de aynı yüzey merkezli kübik kafes kristal yapısı, elektronegatiflik ve valansa sahiptir.



Şekil 4.6.4.1.1.a. Faz diyagramı b. Cu ve Ni'nin faz diyagramı (Callister, 2003)

Bir bileşenli sistemde erime, iyi tanımlanmış erime sıcaklığında gerçekleşir. Çok bileşenli sistemde ise erime katılaşma ve sıvılaşma çizgilerinin arasındaki sıcaklık aralığının üzerinde gerçekleşir. Katı ve sıvı fazlar bu sıcaklık aralığında dengededir. Bu durum şekil 4.6.4.1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.6.4.1.2. Faz diyagramında erime noktaları (Callister, 2003)

4.6.5. Faz Diyagramının Yorumu

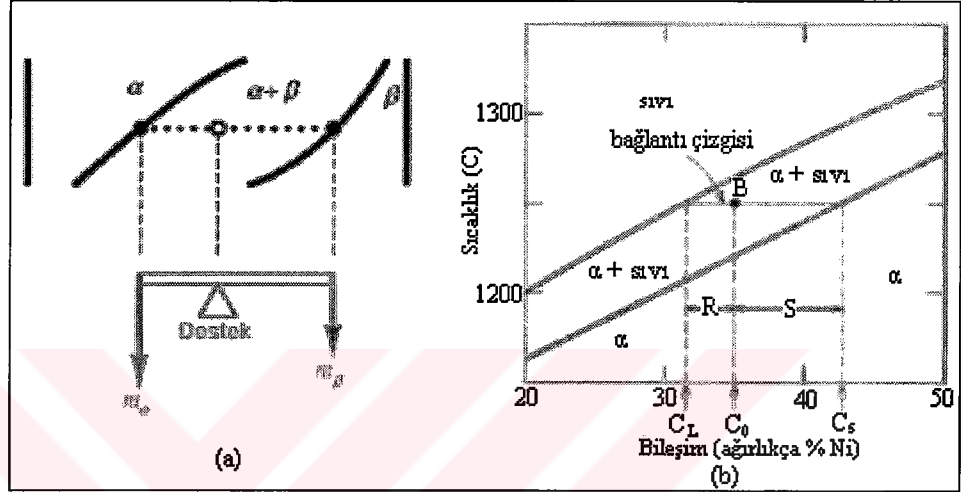
Faz diyagramını, verilen sıcaklık ve bileşim için mevcut fazlar, fazların bileşimi ve fazların oranlarını belirlenmesi için kullanabiliriz. İkili faz bölgesindeki bileşimin bulunması için önce diyagramda sıcaklık ve bileşim yerleştirilir. Sonra ikili faz bölgesinde izoterm yada bağ çizgisi çizilir. En sonda da faz sınırlarının kesişmeleri not edilir ve kesişmelerdeki bileşimler okunur. Katı ve sıvı fazlar bu bileşimlere sahiptirler.

4.6.6. Kaldıraç Kuralı

İkili faz bölgesindeki fazın miktarının hesaplanması için kaldıraç kuralı kullanılır. İlk önce diyagrama sıcaklık ve bileşim yerleştirilir. Daha sonra ikili faz bölgesinde izoterm yada bağ çizgisi çizilir. Sıvı veya katı miktarını hesaplamak için, orijinal

alaşımın bileşimi, bağ çizgisi desteği olan, şekil 4.6.6.1'deki gibi bir kaldıraç oluşturulur. Fazın miktarını hesaplamak için, hesaplanan fazın bulunduğu kısma zıt olan kaldıraç kolu, kaldıraçın toplam uzunluğuna (bağ çizgi toplam uzunluğu) bölünür. Kaldıraç kuralı şu şekilde yazılabilir:

$$\text{faz yüzdesi} = \frac{\text{fazın bulunduğu kısma zıt kaldıraç kolu uzunluğu}}{\text{bağ çizgisi toplam uzunluğu}} \times 100$$



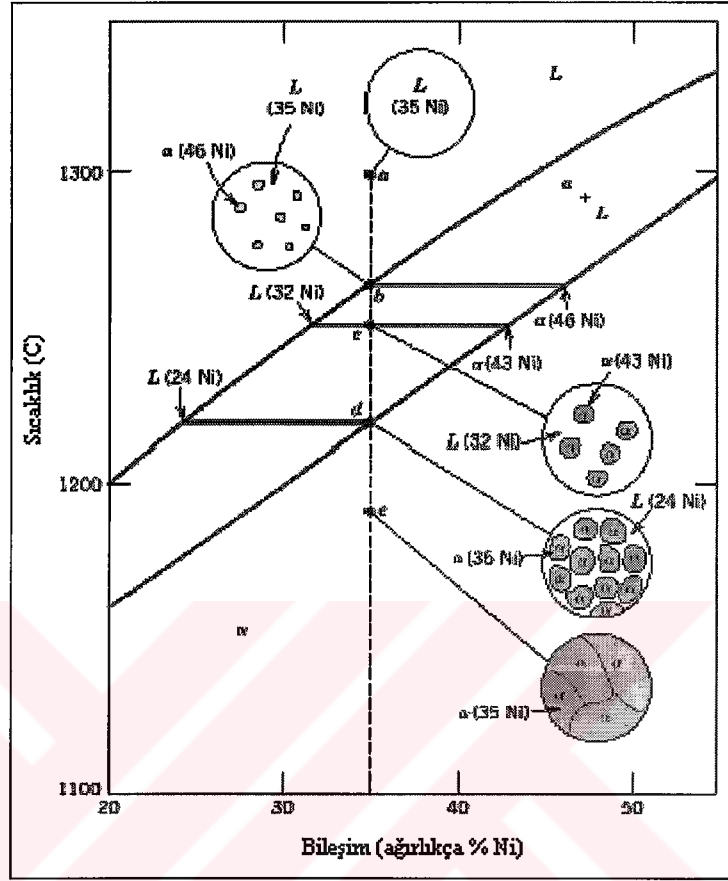
Şekil 4.6.6.1. Kaldıraç kuralının uygulanması (Callister, 2000)

İkili faz diyagramlarının herhangi iki faz bölgesinde kaldıraç kuralı kullanılabilir. Kaldıraç kuralı tek faz bölgesi içinde kullanılamaz. Tek fazlı bölgedeki fazın oranı %100 olduğu için, sonuç önemsizdir.

$$\begin{aligned} \text{Kütle oranı} = W_L &= \frac{S}{(R+S)} = \frac{C_a - C_0}{(C_a - C_L)} \\ &= \frac{R}{(R+S)} = \frac{(C_0 - C_L)}{(C_a - C_L)} \end{aligned}$$

4.6.7. İzomorf Alaşımlarda Dengeli (Çok Yavaş) Soğutmada Mikro Yapının Değişimi

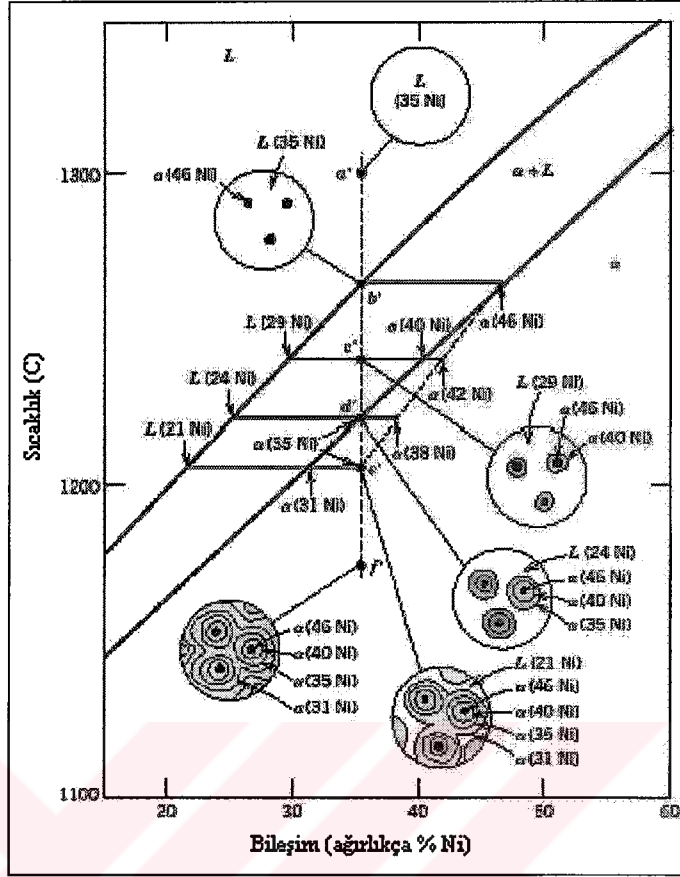
Katı + sıvı fazındaki katılaşma şekil 4.6.7.1'de görüldüğü gibi sıvılaşma çizgisinin üzerindeki soğutmada kademeli olarak oluşur. Katı ve sıvı bileşiminin değişimi soğutma esnasında kademeli olarak oluşur. Katı fazın çekirdekleri oluşuktan sonra, katılaşma çizgisindeki bütün sıvının tüketilmesi için büyürler.



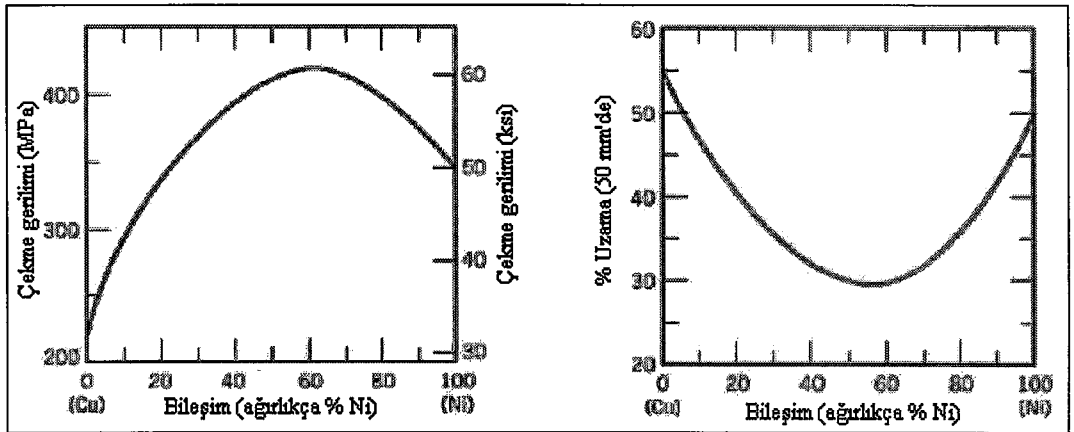
Şekil 4.6.7.1. İzomorf alaşımlarda dengeli (çok yavaş) soğutmada mikro yapının değişimi (Zhigilei, 2002)

4.6.8. İzomorf Alaşımlarda Dengesiz Soğutmada Mikro Yapının Değişimi

Bileşimsel değişiklikler katı ve sıvı fazda difüzyonu gerektirir. Katı durumdaki difüzyon çok yavaştır. Var olan tanelerin üzerinde katılaştıran yeni tabakalar dengeli bileşime sahiptirler. Bir kez katılaştıklarında onların bileşimi değişmez. Katı fazın bileşiminin belirlenmesi için bağ metodu kullanılamaz. Bağ metodu difüzyonun hızlı olduğu sıvı fazlar için kullanılabilir. Katı tanelerin ortalama Ni içeriği yüksektir. Katılma eğrisi sağa doğru değişir (Ni içeriği yükselir), düşük sıcaklıkta katılma tamamlanır. Tanelerin dış parçaları düşük erime bileşenlerinde (Cu) zenginleşir. Tane sınırlarının üzerinde ısıtılması ilk önce eritir. Bu da erken mekanik hataya yol açar. İzomorf alaşımların mekanik özellikleri ise şekil 4.6.8.2’de gösterilmektedir.



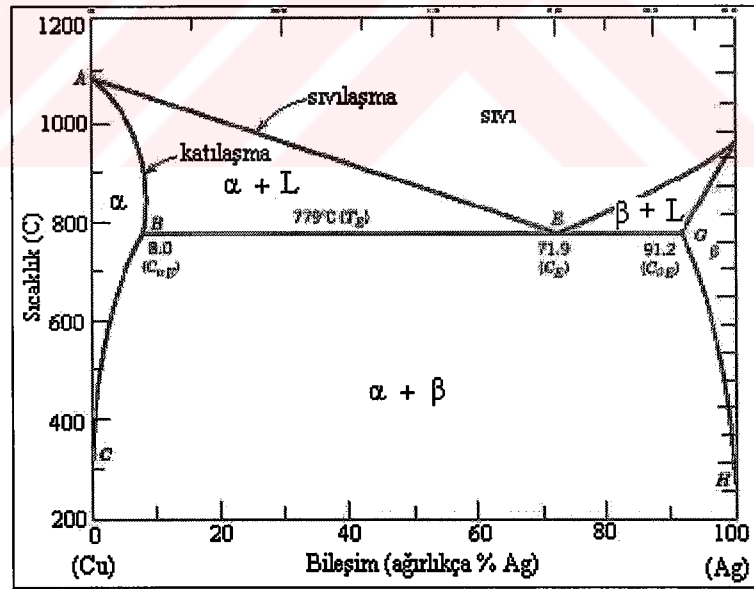
Şekil 4.6.8.1. İzomorf alaşımlarda dengesiz soğutmada mikro yapının değişimi (Zhigilei, 2002)



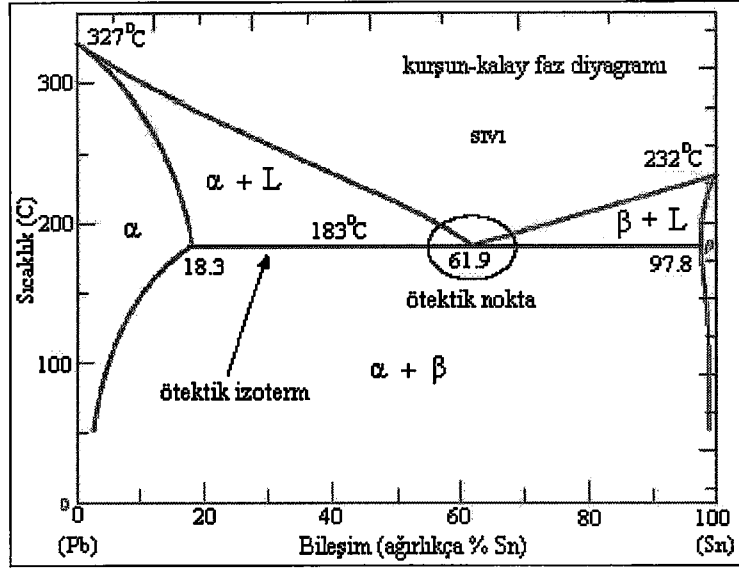
Şekil 4.6.8.2. Cu ve Ni bileşiminin bileşime göre çekme gerilmesi ve %uzama grafikleri (Callister, 2000)

4.6.9. İkili Ötektik Sistemler

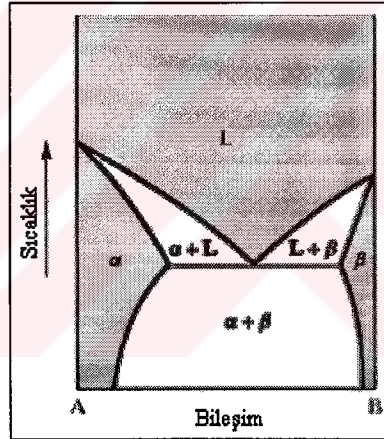
Üç tek fazlı bölgeler, α - Cu matrisindeki Ag'nin katı çözeltilisi, β - Ag matrisindeki Cu'nun katı çözeltilisi, L - sıvı, üç ikili faz bölgeleri $\alpha + L$, $\beta + L$, $\alpha + \beta$ 'dir. Solvus çizgisi katı bir çözeltilisi, katı çözeltili karışımından ayırır. Solvus eğrisi çözünürlük sınırını gösterir (Şekil 4.6.9.1). Ötektik sıcaklık ve ötektik bileşimde dengede olan sıvı ve ikili katı fazın birlikte bulunduğu noktaya "ötektik noktası" denir. Şekil 4.6.9.2'de ötektik noktası gösterilmektedir. Ötektik sıcaklıktaki yatay katılaşma çizgisine ise "ötektik izoterm" denir. Sıvı ve ikili katı fazın karışımı arasındaki geçişe "ötektik reaksiyon" denir (ötektik konsantrasyondaki $\alpha + \beta$). Ötektik alaşımların erime noktası, bileşenlerinkinden düşüktür (ötektik Yunanca'da kolay eriyen demektir). İkili fazların çoğunda, faz alanında denge olabilir. Üç fazlılarda (L, α , β) ise yalnızca ötektik izoterm boyunca birkaç noktada dengede olabilir. Tek faz bölgesi, ikili faz bölgesi tarafından ayrılır. Bu durum şekil 4.6.9.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.6.9.1. Bakır gümüş faz diyagramı (Callister, 2000)



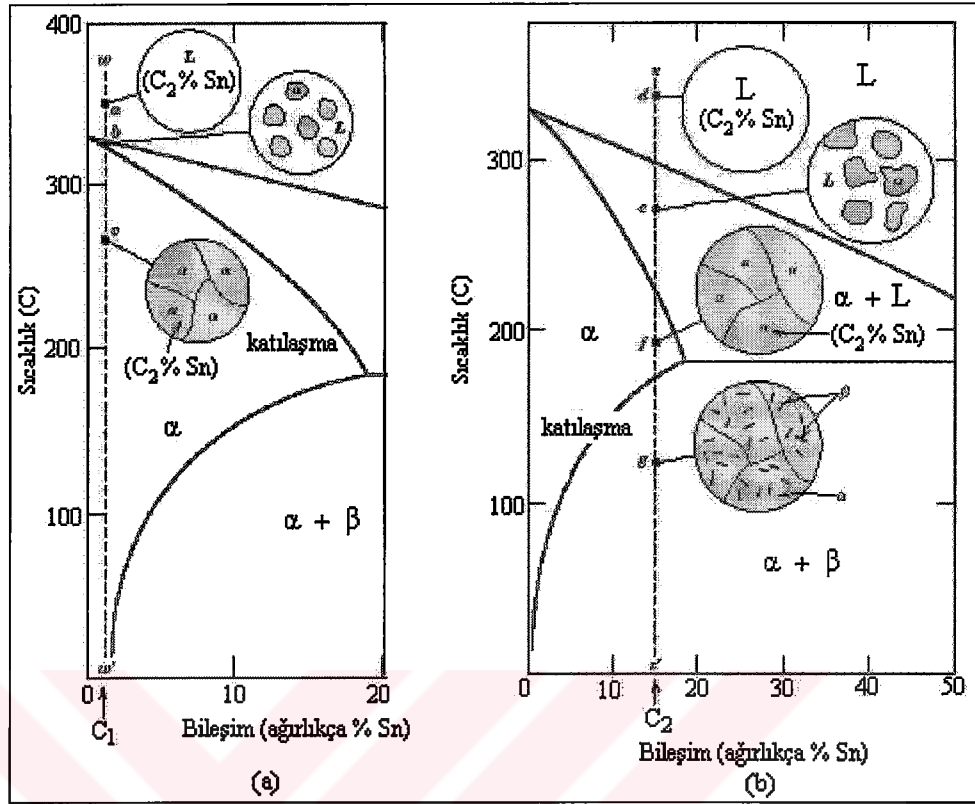
Şekil 4.6.9.2. Kurşun-kalay faz diyagramı(Callister, 2000)



Şekil 4.6.9.3. Katı çözeltili sınırlı ikili ötektik faz diyagramı

4.6.10. Ötektik Alaşımların Mikro Yapısının Değişimi

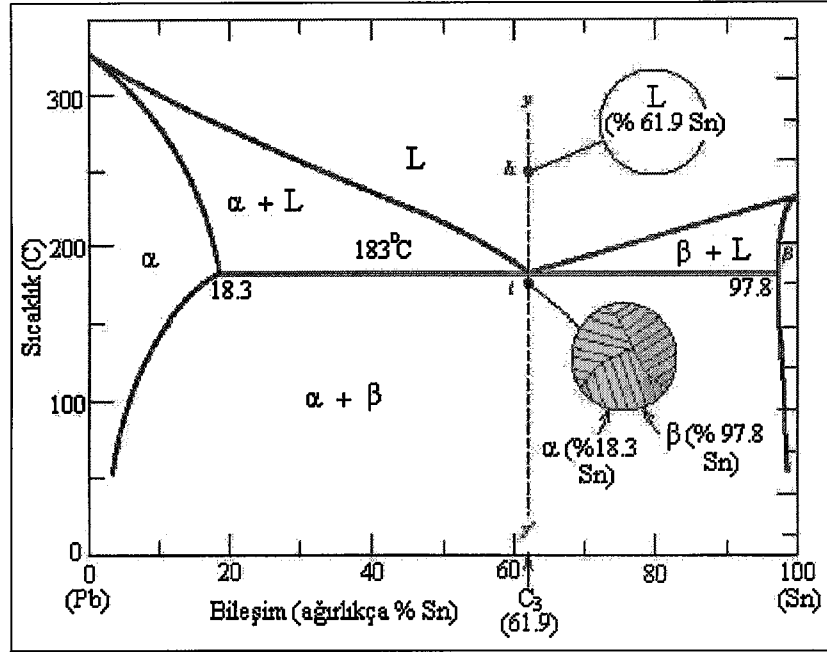
Farklı bileşimli yavaş soğutmada mikro yapının birkaç farklı tipi oluşabilir. Şekil 4.6.10.1.a'da görülen, farklı bileşimlerdeki sıvı kurşun-kalay sisteminin soğutulması incelendiğinde; alaşım kurşun bakımından zenginleştikçe (kalayın ağırlık olarak miktarı % 0-2), katılaşma işlemi izomorf alaşımlardaki gibi aynı biçimdedir. Ötektik sıcaklıktaki maksimum katı çözünürlüğü ve oda sıcaklığındaki çözünürlük sınırları arasındaki bileşim, α katı çözünürlüğündeki gibi, β fazı çekirdekleri şekil 4.6.10.1.b'deki gibi çözünme çizgisinin üstüne geçer.



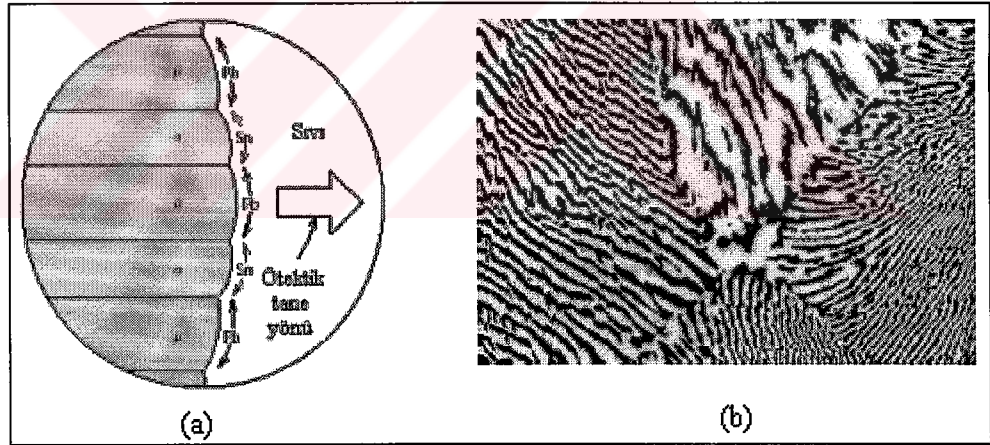
Şekil 4.6.10.1.a. Farklı bileşimlerdeki sıvı kurşun – kalay sisteminin soğutulması b. Kurşun-kalay bileşiminde α ve β fazlarının oluşması (Callister, 2000)

Şekil 4.6.10.2’de ise kurşun-kalay alaşımının ötektik sıcaklığın üstünde ve altındaki mikro yapıların şematik gösterimi görülmektedir. Ötektik sıcaklığın üstünde hiçbir değişiklik yoktur. α ve β fazlarına sıvı geçişi ötektik sıcaklıkta olmaktadır (ötektik reaksiyon).

α ve β fazlarının bileşimleri atomik difüzyonla Pb ve Sn atomlarının yeniden dağılmasını içeren ötektik reaksiyon çok farklıdır. Lamelli mikro yapıda α ve β fazlarının eşzamanlı teşkili sonucu oluşan yapı “ötektik yapı” olarak adlandırılır. Böyle bir yapının resmi şekil 4.6.10.3.b’de gösterilmektedir. Bu resimdeki koyu tabakalar α fazına ulaşan kurşun, açık renkli tabakalar ise kalaya ulaşan β fazlarıdır. Şekil 4.6.10.3.a’da ise kurşun-kalay sistemindeki ötektik yapının teşkili şematik olarak gösterilmektedir. Ötektik izoterm aralığında, fakat ötektik dışındaki bileşenlerde, primer α fazı şekil 4.6.10.4’de gösterildiği gibi $\alpha+L$ bölgesinde şekillenir. α ve β faz tabakalarını içeren ötektik yapı, ötektik izotermin üstünde kesişerek şekillenir.



Şekil 4.6.10.2. Kurşun-kalay alaşımının ötektik sıcaklığının üstündeki ve altındaki mikro yapıların şematik gösterimi (Callister, 2000)



Şekil 4.6.10.3.a. Kurşun-kalay sistemindeki ötektik yapının teşkilinin şematik gösterimi. Siyah oklar kurşun, renkli oklar kalay atomlarının difüzyon yönünü göstermektedir b. Kurşun-kalay alaşımının ötektik bileşiminin mikroskop görüntüsü (Callister, 2000)

Şekil 4.6.10.5.a'da ise ağırlıkça %50 kurşun ve %50 kalaydan oluşan kurşun-kalay alaşımının mikroskop görüntüsü görülmektedir. Buradaki koyu bölgeler primer faz, lamelli bölgeler ise ötektik yapıdır. Sıvıdan şekillenen ötektik mikro bileşenler ötektik bileşime sahiptir (%61 Sn). Mikro bileşenlerin relatif miktarının hesaplanırken, ötektik yapı (%61 Sn) ve primer fazın (%18,3 Sn) bağıl bölümünü bulmak için

kaldıraç kuralı uygulanır ve ayrı bir faz gibi ötektik işlem yapılabilir. Şekil 4.6.10.4'e bakarak hesaplama şöyle yapılabilir:

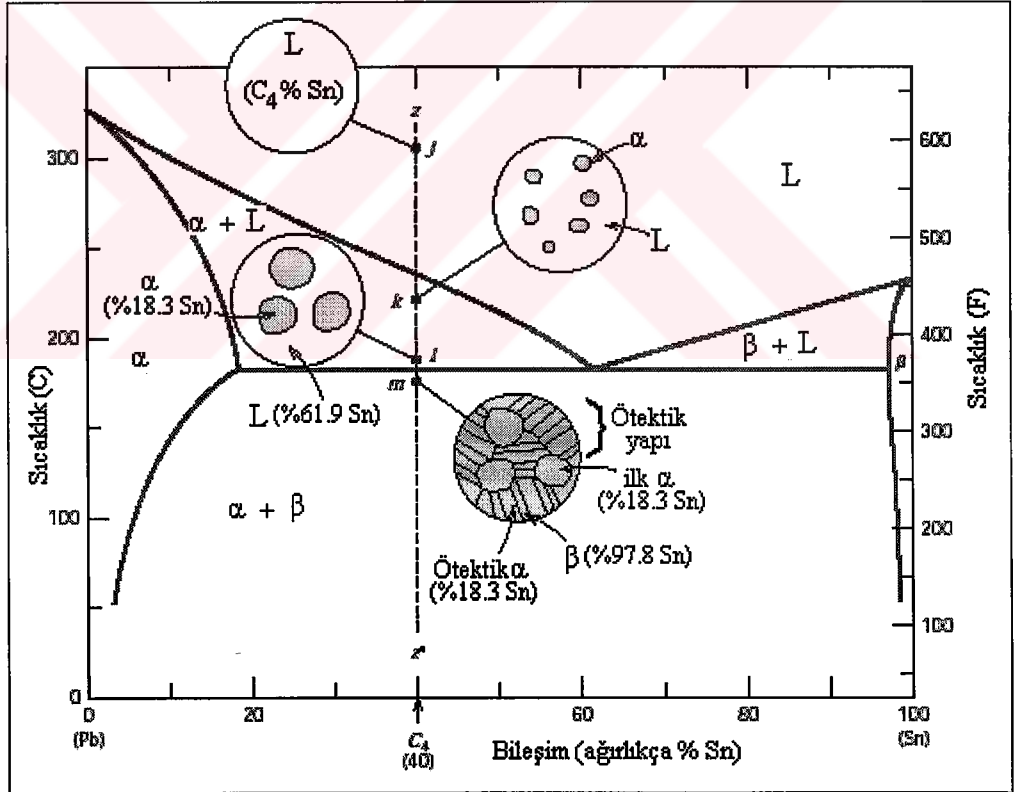
$$W_o = \frac{P}{(P+Q)} (\text{ötektik})$$

$$W_{\alpha'} = \frac{Q}{(P+Q)} (\text{primer})$$

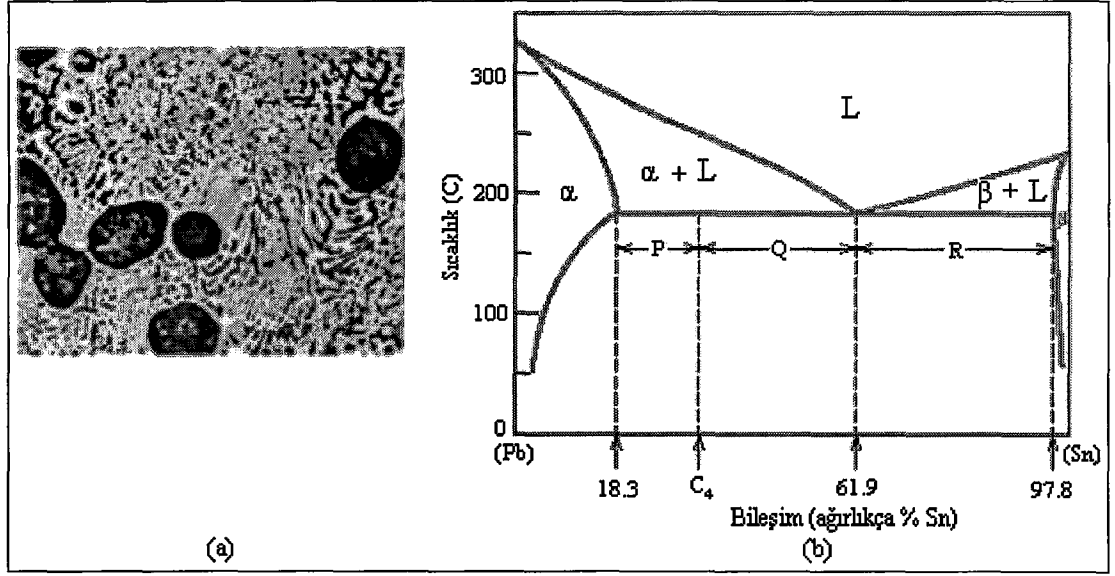
α fazının (ötektik ve primerin her ikisinin) toplam miktarını hesaplamak için önce, şekil 4.6.10.5.b'de görülen tüm $\alpha+\beta$ faz alanına boydan boyca kaldıraç kuralı uygulanarak α fazının bölümü belirlenir.

$$W_{\alpha} = \frac{(Q+R)}{(P+Q+R)} (\alpha \text{ fazı})$$

$$W_{\alpha'} = \frac{P}{(P+Q+R)} (\beta \text{ fazı})$$



Şekil 4.6.10.4. Kurşun kalay alaşımı için dengeli mikro yapıların şematik gösterimi (Callister, 2000)



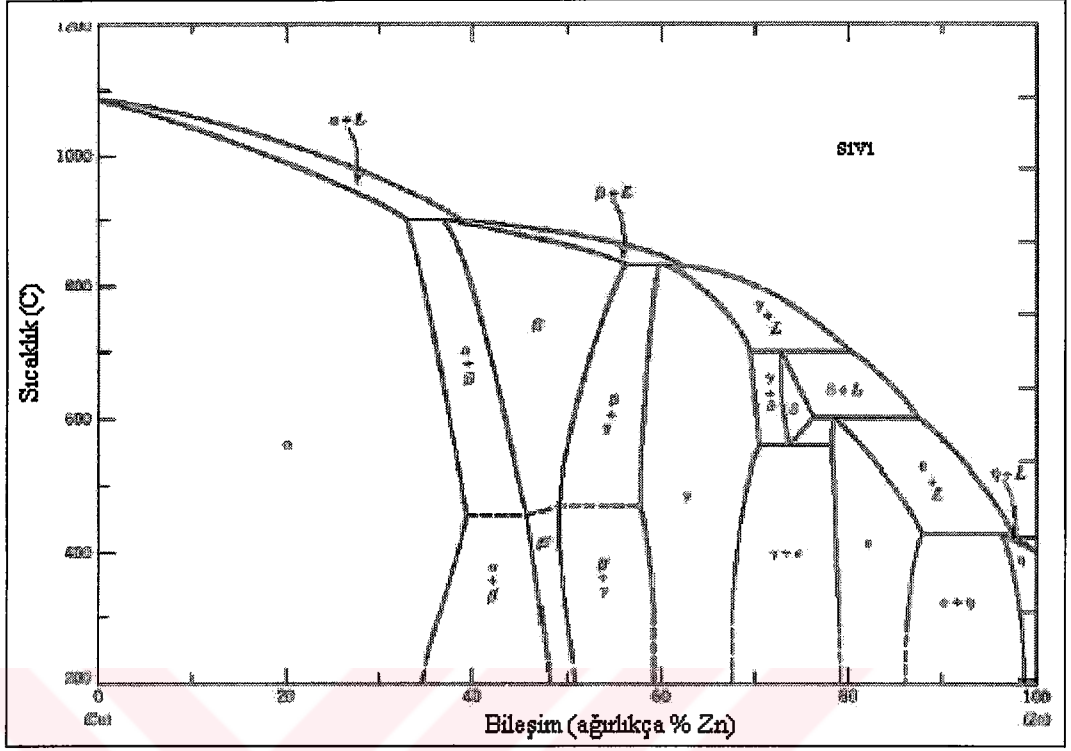
Şekil 4.6.10.5.a. Ağırlıkça %50 kurşun ve %50 kalaydan oluşan kurşun-kalay alaşımının mikroskop görüntüsü b. Kurşun-kalay faz diyagramında mikro bileşenlerin miktarları (Callister, 2000)

4.6.11. Ara Fazlı Faz Diyagramları

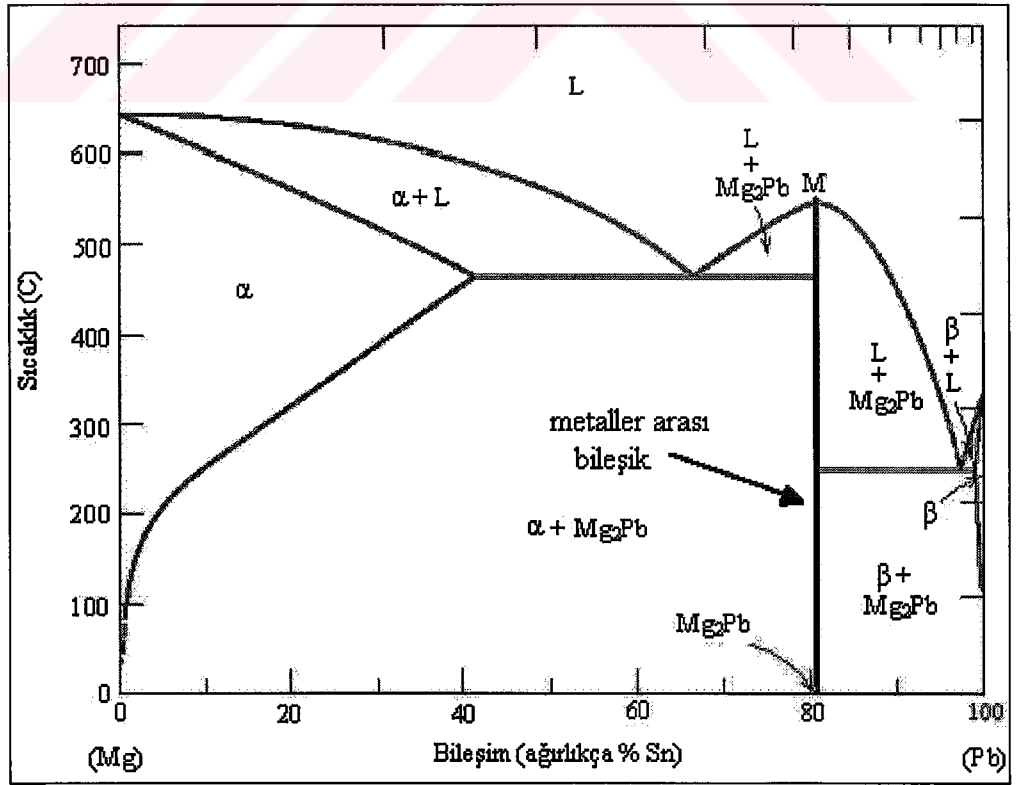
Buraya kadar incelenen ötektik sistemler yalnızca iki katı faza (α ve β) sahipti. Bu fazlar “terminal katı çözeltiler” olarak adlandırılırlar. Bazı ikili alaşım sistemleri ara katı çözeltilere sahiptir. Faz diyagramlarında bu fazlar bileşim uç noktalarından (%0 ve %100) ayrılırlar. Şekil 4.6.11.1’de gösterilen Cu ve Zn bileşiminde α ve η terminal katı çözeltilerdir, β , β' , γ , δ , ϵ ara katı çözeltilerdir.

4.6.12. Metaller Arası Bileşikli Faz Diyagramı

Bazı sistemlerde katı çözeltilere ek olarak, kesin kimyasal bileşimlere sahip metaller arası bileşikler bulunabilir. Kaldıraç kuralı kullanılırken, atomlar arası bileşikler herhangi bir diğer faz gibi işlem görür. Metaller arası bileşikler yaygın olmayan bir bölge gibi görülmürler, fakat şekil 4.6.12.1’de görüldüğü gibi dikey bir çizgi şeklindedirler.



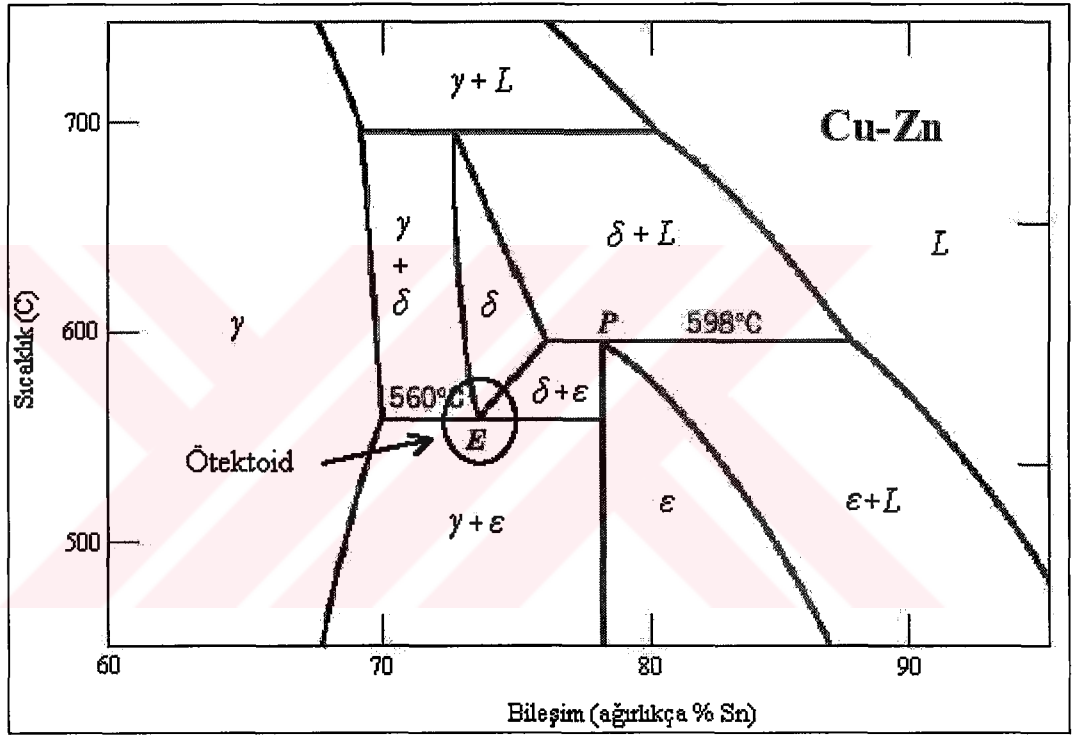
Şekil 4.6.11.1. Cu ve Zn bileşiminin faz diyagramı (Zhigilei, 2002)



Şekil 4.6.12.1. Metaller arası bileşikli faz diyagramı (Zhigilei, 2002)

4.6.13. Ötektoid Reaksiyonu

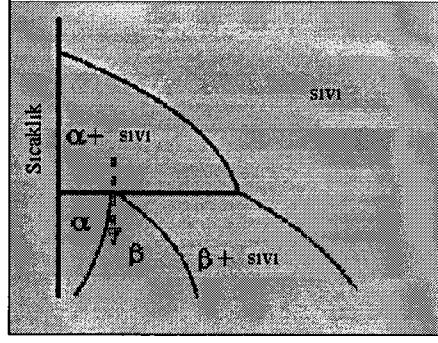
Ötektoid reaksiyon ötektik reaksiyona benzer, fakat bir katı fazdan iki yeni katı faz oluşur. Şekil 4.6.13.1’de gösterildiği gibi denge diyagramındaki ötektoid noktasında üç katı faz vardır. Soğutmanın üstünde bir katı faz diğer katı iki fazın içine geçer (şekil 4.6.13.1’de $\delta \leftrightarrow \gamma + \epsilon$). Faz diyagramında yatay bağ çizgisinin üstü V gibi gözükür.



Şekil 4.6.13.1. Cu – Zn bileşiminde ötektoid reaksiyon (Zhigilei, 2002)

4.6.14. Peritektik Reaksiyonlar

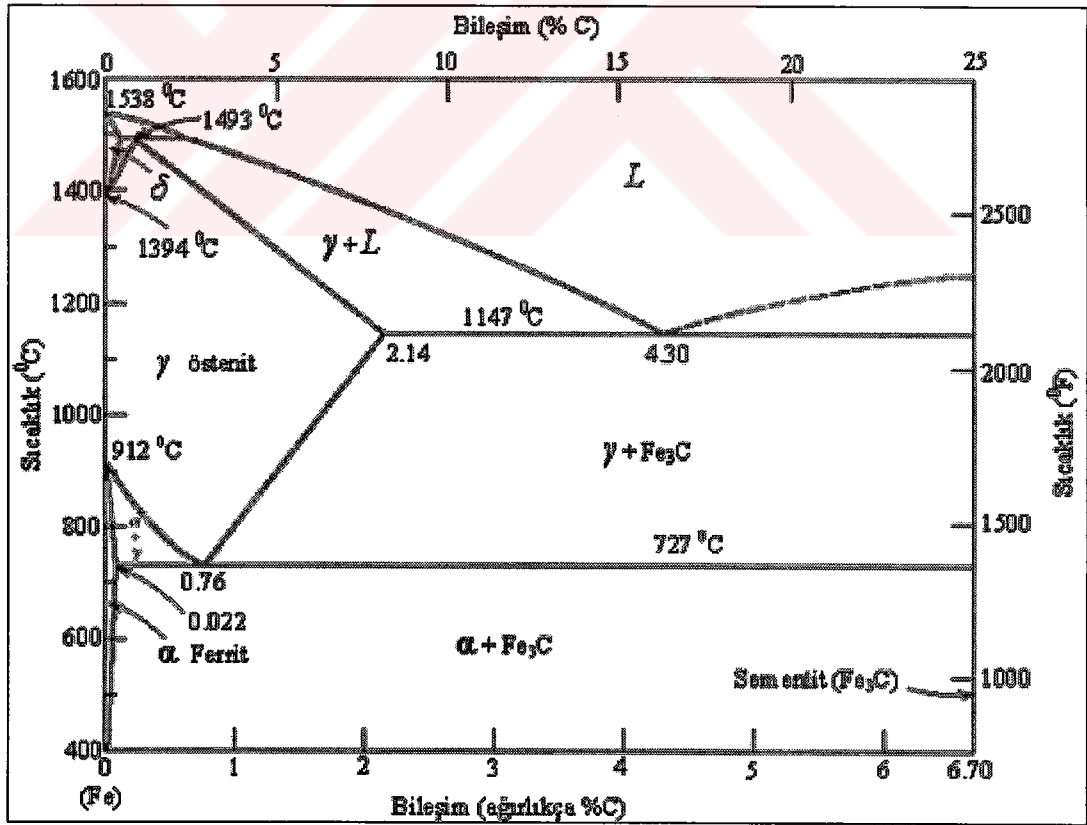
Bir sıvı ile bir katı fazın reaksiyona girmesi sonucunda yeni bir katı fazın oluşması olayına “peritektik reaksiyon” denir. Bu reaksiyon faz ürünleri gibi oldukça yavaştır, iki fazın arasındaki sınırdaki şekillenir, bundan dolayı onlardan ayrılır ve herhangi bir reaksiyonu yavaşlatır. Peritektik reaksiyon sonucu oluşan faz şekil 4.6.14.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.6.14.1. Peritektik reaksiyon sonucu oluşan faz (Zhigilei, 2002)

4.6.15. Demir–Sementit (Fe–Fe₃C) Faz Diyagramı

Çelik, demir (Fe) ve karbon (C) alaşımıdır. Fe–C faz diyagramı yeterince karışıktır. Şekil 4.6.15.1’de demir karbon faz diyagramı gösterilmektedir. HMK Fe’deki C’nin katı çözümlenmesi ferrittir (α). Ferrit oda sıcaklığındaki demirin kararlı şeklidir. C’nin buradaki maksimum çözünürlüğü % 0,022’dir. 912 °C’de östenit (γ) YMK’ye

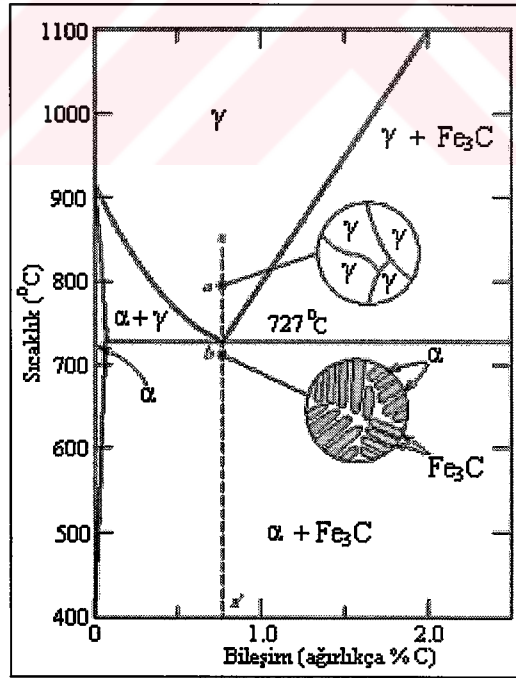


Şekil 4.6.15.1. Demir–sementit (Fe–Fe₃C) faz diyagramı (Zhigilei, 2002)

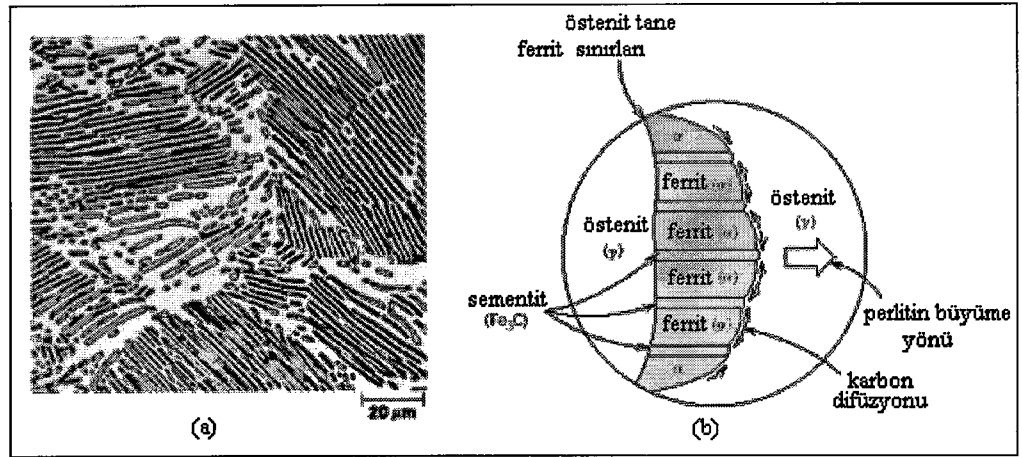
dönüşür. YMK Fe'deki C'nin katı çözümlenmesi östenittir (γ). Burada C'nin maksimum çözünürlüğü %2,14'tür. 1395 °C'de HMK ferrite (δ) dönüşür. Hızlı soğutma olmadıkça ötektik sıcaklığın altında (727 °C) kararlı değildir. HMK Fe'deki C'nin katı çözümlenmesi ferrittir (δ). α ferritiyle aynı yapıdadır. Yalnızca 1394 °C'nin üstünde kararlıdır. 1538 °C'de erir. Metaller arası bir bileşik olan Fe_3C (sementit) yarı kararlıdır. Diyagramda birde Fe-C sıvı çözümlenmesi vardır.

4.6.16. Demir – Karbon Alaşımlarındaki Mikro Yapının Gelişimi

Mikro yapı ısıl işlem ve bileşime (karbon içeriğine) bağlıdır. Şekil 4.6.16.1'de demir karbon alaşımlarının ötektik sıcaklığın altına ve üstündeki mikro yapısı şematik olarak gösterilmektedir. Ötektoid bileşim (%0,76 C) alaşım iken yavaşça soğutulursa perlit şeklini alır. İki fazın yapısı (α -ferrit ve Fe_3C -sementit) lamelli yada tabakalı şekilde oluşur. Bu yapı şekil 4.6.16.2.a'da gösterilmektedir. Şekil 4.6.16.2.b'de ise östenitten perlit dönüşümünün şematik gösterimi görülmektedir.



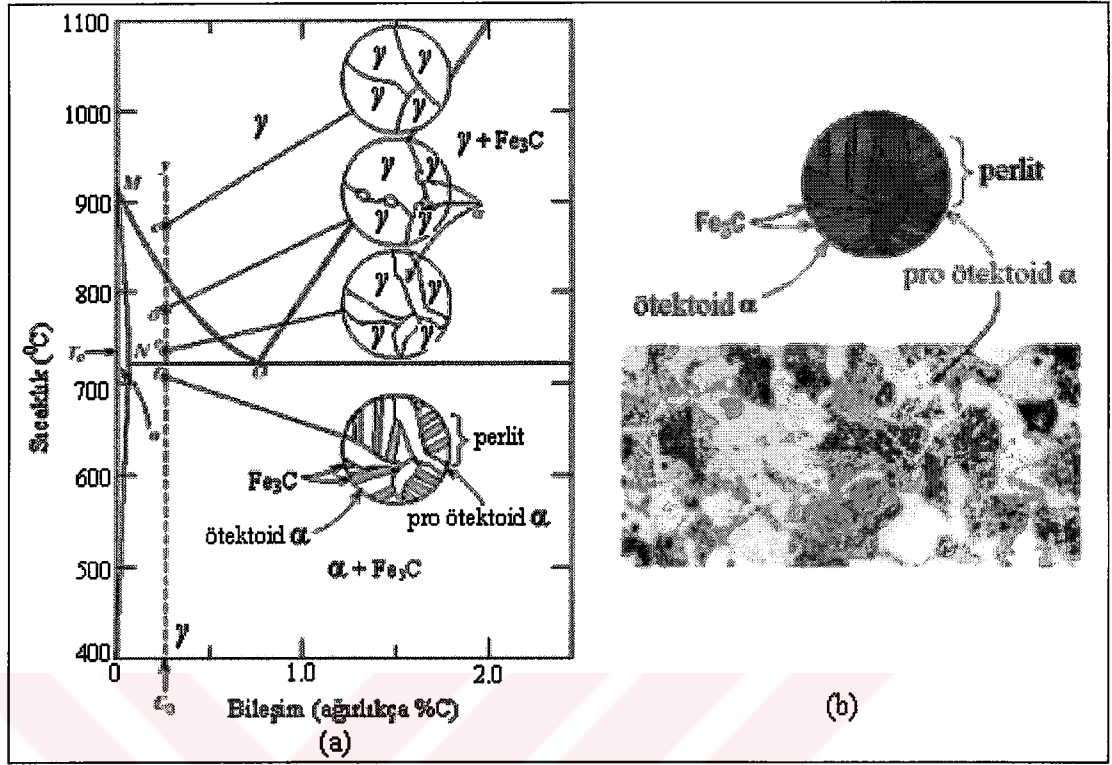
Şekil 4.6.16.1. Demir karbon alaşımlarının ötektik sıcaklığın altına ve üstündeki mikro yapısının şematik gösterimi (Callister, 2000)



Şekil 4.6.16.2. a. Ötektoid çeliklerdeki perlitin mikro yapısı. Koyu alanlar Fe_3C tabakaları, açık renkli fazlar ise α -ferrittir. b. östenitten perlite dönüşümün şematik gösterimi. Oklar karbon difüzyonunun yönünü göstermektedirler (Callister, 2000)

4.6.17. Hipoötektoid Çeliklerin Mikro Yapısı

Ötektoidin solundaki bileşimler hipoötektoid alaşımlardır. Şekil 4.6.17.1.a'da bu durum şematik olarak gösterilmektedir. Hipoötektoid alaşımlar proötektoid ferrit, Ötektoid ferrit ve sementit içeren ötektoid perlit içerirler. Bu kısımlar şekil 4.6.17.1. b'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.6.17.1.a. Hipoötektoid bileşimin mikro yapısı b. Hipoötektoid alaşımların kısımları (Zhigilei, 2002)

4.6.18. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://www.soton.ac.uk/~pasr1/index.htm>

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures>

<http://benz.nchu.edu.tw>

<http://www.people.virginia.edu>

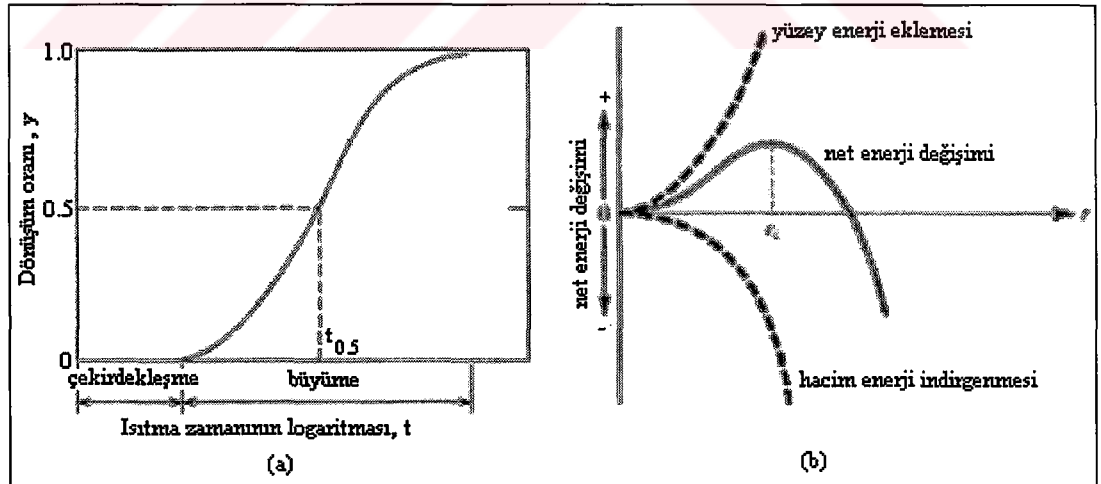
<http://www.soton.ac.uk/~pasr1/eutectic.htm#page1>

4.7. Metallerdeki Faz Dönüşümleri

Bu bölümde ısı işlem (zaman ve sıcaklık), mikroyapı, mekanik özellikler, faz dönüşüm kinetiği, çok fazlı dönüşümler, Fe-C alaşımlarındaki faz dönüşümleri, izotermal dönüşüm diyagramları, mekanik davranışlar ve temperlenmiş martenzit hakkında bilgi verilecektir.

4.7.1. Faz Dönüşüm Kinetiği

Faz dönüşümleri (mikro yapının değişmesi) üç kategoriye ayrılır. Bunların ilki mevcut fazların sayısı yada faz bileşimlerinde değişiklik olmamasına dayalı difüzyonlardır. Erime, saf metallerin katılaşması, allotropik dönüşümler ve yeniden kristalleşme buna örneklerdir. İkinci kategori mevcut fazların sayısı yada faz bileşimlerinde değişikliğe dayalı difüzyonlardır. Ötektoid dönüşümler buna bir örnektir. Üçüncü kategori ise difüzyonsuz faz geçişleridir. Burada, yapıdaki bütün atomların küçük yer değiştirmeleri ile yarı kararlı bir faz üretilir. Martenzitik dönüşümler buna bir örnektir.



Şekil 4.7.1.1.a. Sabit sıcaklıkta, katı durum dönüşümünün zaman logaritmasına karşı tepki veren bölümünün çizilmesi b. Çekirdek kararlılığı (Callister, 2000)

Faz dönüşümleri ani olarak meydana gelmez. Faz dönüşümlerine dayalı difüzyon oldukça yavaş olabilir ve son yapı genelde soğutma/ısıtma oranına bağlıdır. Çoğu faz dönüşümü bileşikte değişiklik içerir. Difüzyon yoluyla atomların yeniden dağılımı

gerekir. Faz dönüşümünde önce çekirdekleşme meydana gelir. Yeni fazın çekirdekleşmesi, yeni fazın kararlı küçük çekirdeklerinin teşkili demektir. Çekirdekler genelde tane sınırlarında şekillenirler. Daha sonra orijinal fazın pahasına yeni faz büyür. Şekil 4.7.1.1.a'daki diyagramda çekirdek teşkili ve büyüme gösterilmektedir. Çekirdek yalnızca, daha da büyüyerek sistemin enerjisini azaltması durumunda karardır. Şekil 4.7.1.1.b'de gösterildiği gibi $r > r_c$ ise çekirdek karardır.

4.7.2. Faz Dönüşüm Oranı

Dönüşüm oranı, tamamlanmak için ortada ilerleyen dönüşüm için zamanın tersi olarak tanımlanabilir. Formül olarak da şöyle gösterilebilir:

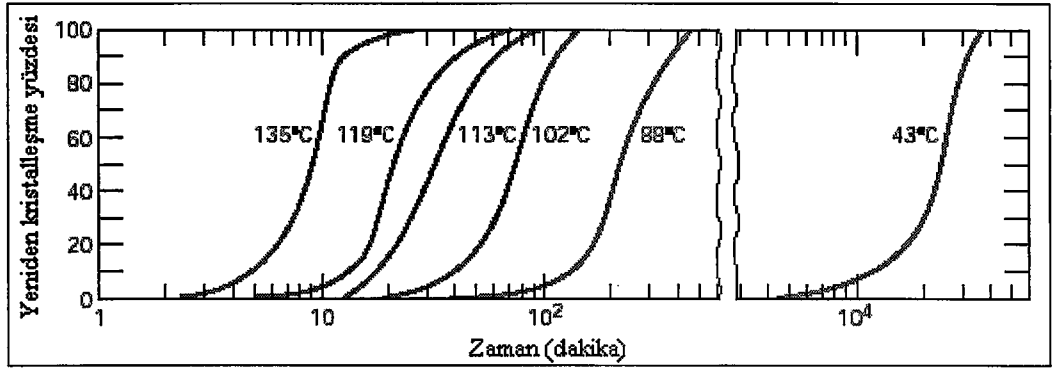
$$r = \frac{1}{t_{0.5}}$$

Şekil 4.7.2.1'de saf bakırın değişik sıcaklıklardaki yeniden kristalleşme yüzdesi gösterilmektedir. Arrhenius denkleminde göre, sıcaklıkla oran artar. İşlemin termal olarak harekete geçebilmesi için karakteristikler şöyle yazılabilir:

$$r = A \exp(-Q_A/kT) = A \exp(-Q_m/RT)$$

↑
her atom

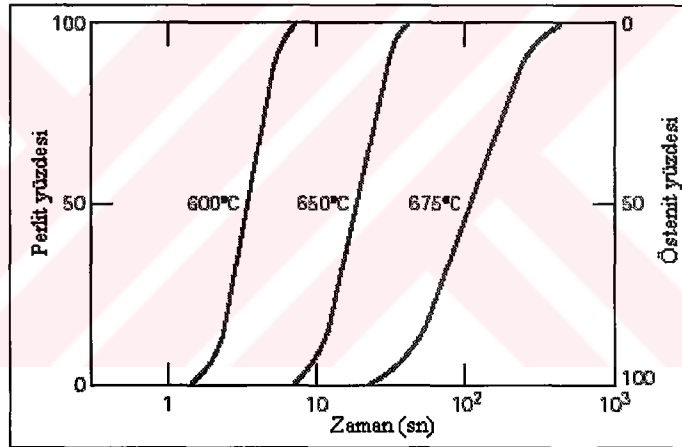
↑
her mol



Şekil 4.7.2.1. Saf bakır için sabit sıcaklıkta ve zaman fonksiyonuna göre yeniden kristalleşme yüzdesi (Callister, 2000)

4.7.3. Aşırı Isıtma ve Aşırı Soğutma

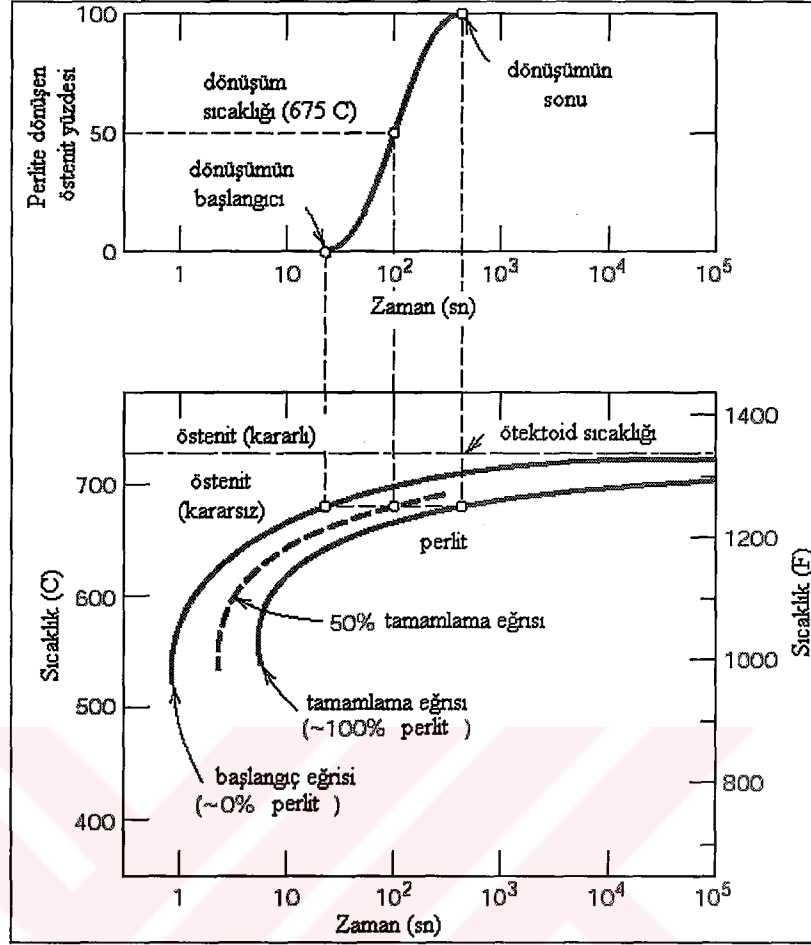
Denge durumuna doğru faz dönüşümü, faz diyagramı bileşim sıcaklığında bir faz sınırının üzerinde kesişerek eyleme geçirilir. Fakat denge yapısına geçiş zaman alır ve dönüşüm gecikir. Soğutma esnasında faz diyagramınca tahmin edilenden daha az bir sıcaklıkta dönüşüm meydana gelir. Buna “aşırı soğutma” denir. Isıtma esnasında faz diyagramınca tahmin edilenden daha büyük bir sıcaklıkta dönüşüm meydana gelir. Buna da “aşırı ısıtma” denir. Aşırı soğutma ve aşırı ısıtmanın derecesi ısıtma ve soğutma oranıyla artar. Yarı kararlı durumlar hızlı sıcaklık değişiminin bir sonucu olarak şekillenebilirler. Mikro yapı soğutma oranından kuvvetli bir şekilde etkilenir. Şekil 4.7.3.1’de demir karbon faz dönüşümüne zamanın etkisi gösterilmektedir.



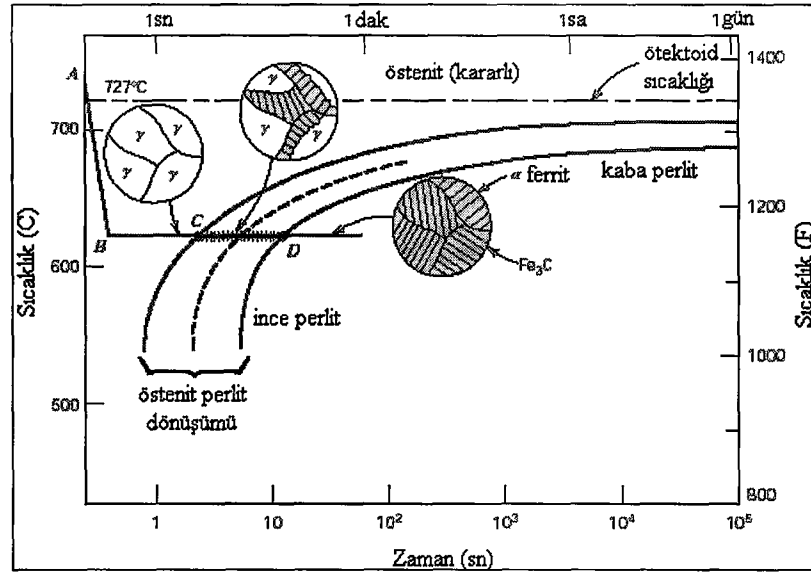
Şekil 4.7.3.1. Demir karbon alaşımı için ötektoid (%0,76 C) bileşimin zamana bağlı dönüşümü (Callister, 2000)

4.7.4. İzotermal Dönüşüm Diyagramları

Perlitteki ferrit ve sementit tabakalarının kalınlığı yaklaşık 8:1’dir. Mutlak tabaka kalınlığı dönüşümün sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık yükseldikçe tabaka kalınlığı da artar. Farklı sıcaklıklardaki S şeklindeki eğriler izotermal dönüşüm diyagramının oluşturulmasında kullanılır. İzotermal dönüşüm diyagramları, izotermal dönüşüm içindir. Dönüşümün meydana gelmesinden önce malzeme verilen sıcaklığa hızlı bir şekilde soğutulur ve o sıcaklıkta bekletilir. Düşük sıcaklıkta dönüşüm daha çabuk meydana gelir ve tane büyümesi azalır. Ötektikten başka bileşimlerde pro ötektoid

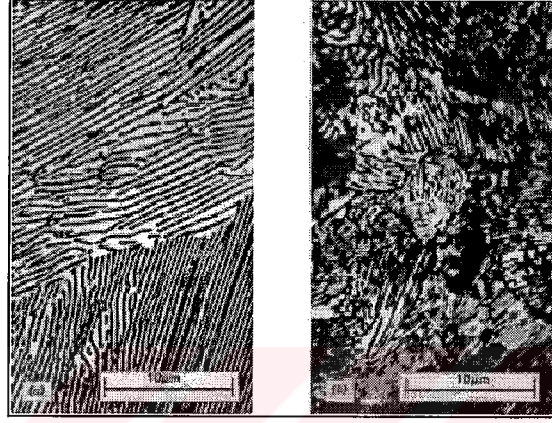


Şekil 4.7.4.1. Zamanın logaritmasına karşı dönüşüm yüzdesini gösteren izotermal dönüşüm diyagramı (Callister, 2000)



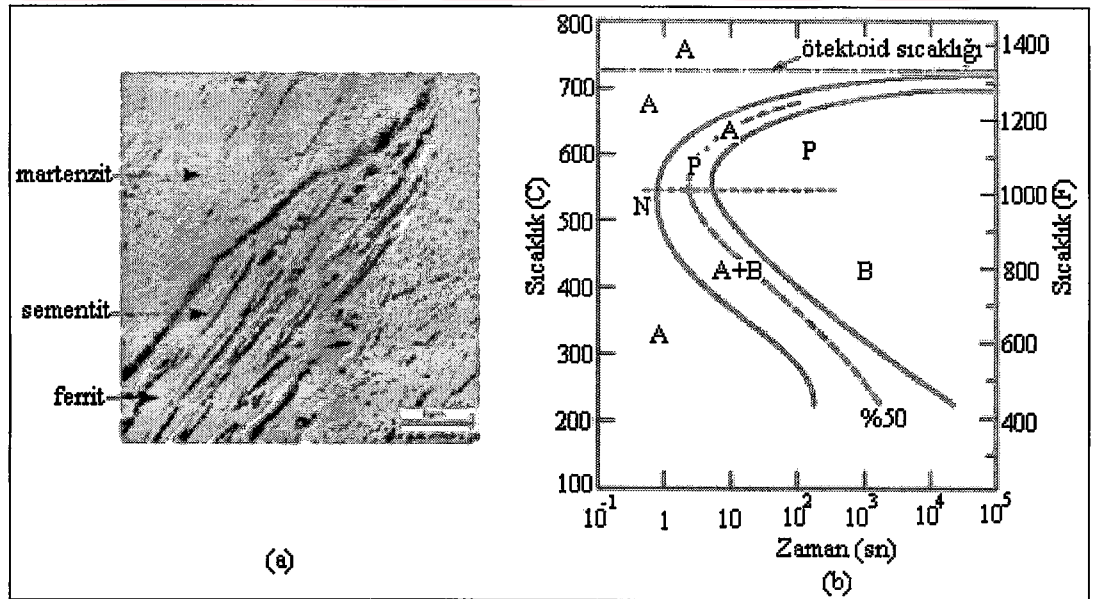
Şekil 4.7.4.2. İzotermal ısıtım eğrisi (ABCD) de yerleştirilmiş ötektoid demir karbon alaşımı için izotermal dönüşüm diyagramı (Callister, 2000)

faz perlitte beraber bulunur. Buna “kaba perlit” denir. Düşük sıcaklıktaki yavaş difüzyon ince taneli mikro yapıya yol açar. Buna da “ince perlit” denir. Şekil 4.7.4.2’de östenitin perlitte dönüşüm öncesi, dönüşüm esnası ve sonrasındaki mikro yapılar gösterilmektedir. Kaba ve ince perlitin mikroskop görüntüsü şekil 4.7.4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7.4.3.a. Kaba perlit b. İnce perlitin mikroskop görüntüleri (Callister, 2000)

Beynit Mikro Yapısının Oluşumu: Eğer dönüşüm sıcaklığı yeterince düşükse (≤ 540 °C) ince perlitten ziyade beynit şekillenir. Beynitin mikro yapısı şekil

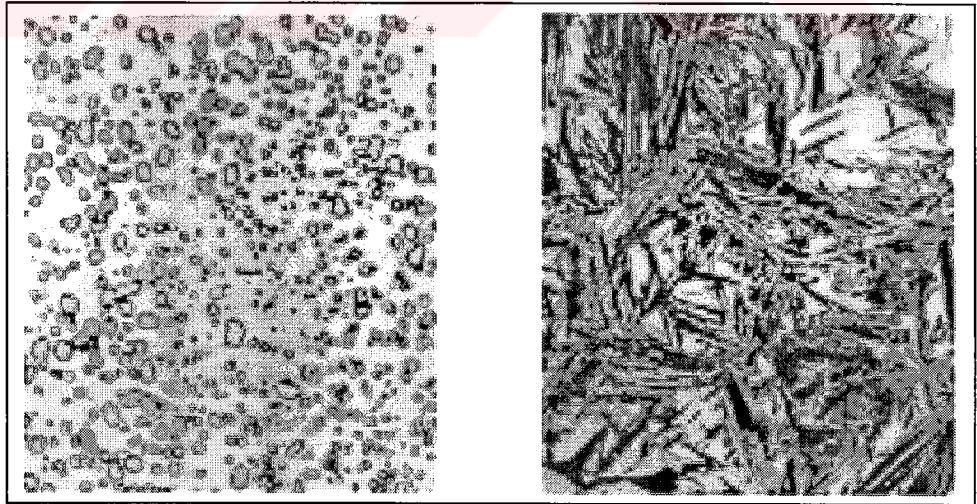


Şekil 4.7.4.4.a. Beynitin mikro yapısı b. Demir karbon alaşımı için izotermal dönüşüm diyagramı. A-P’de östenit perlitte, A-B’de östenit beynite dönüşmektedir (Zhigilei, 2002)

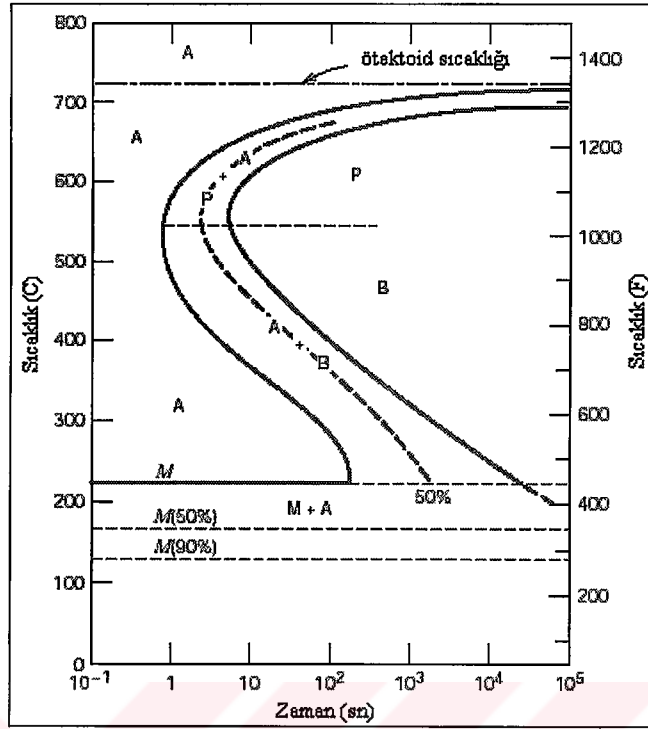
4.7.4.4.a'da, beynitin dönüşümü ise şekil 4.7.4.4.b'de gösterilmektedir. Beynit bölgesindeki dönüşüm oranı çekirdekleşmeden ziyade, mikro yapı büyüklüğüyle kontrol edilir.

Küreleştirme: Ötektoid sıcaklığının hemen altındaki bir sıcaklığa ısıtılmasıyla perlitik yada beynitik mikro yapının sertleştirilmesi “küreleştirme” denilen yeni bir mikro yapının oluşmasına yol açar. Bunlar şekil 4.7.4.5.a'da gösterildiği gibi, ferrit matrisindeki sementit kürelerdir. Sementit ve ferritin relatif miktarları yada bileşimi bu dönüşümde değişmez. Yalnızca sementitin şekli değişir.

Martenzit: Östenit hızla oda sıcaklığına soğutulursa martenzit şekillenir. Gerekli düşük sıcaklığa ulaşıldığında şekillenme hemen hemen ani olarak oluşur. Östenit-martenzit difüzyon içermezler. Termal olmayan aktivasyona ihtiyaç duyarlar. Atermal dönüşüm olarak adlandırılır. Martenzit yarı kararlıdır. Şekil 4.7.4.5.b'de martenzitin mikro yapısı gösterilmektedir. Şekil 4.7.4.6'da ise östenit, beynit, martenzit ve perlitin bulunduğu kısımları gösteren izotermal dönüşüm diyagramı gösterilmektedir. Martenzit şekillenmesinin miktarı yalnızca sıcaklığa bağlıdır.



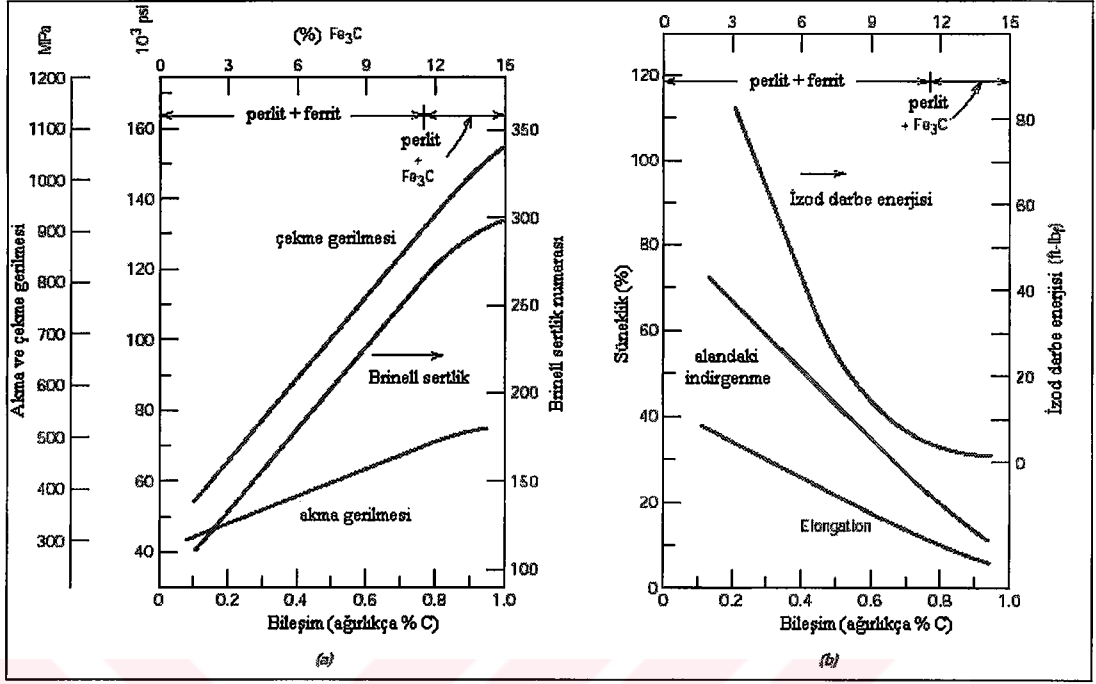
Şekil 4.7.4.5.a. Küreleştirilmiş mikro yapıya sahip bir çeliğin mikroskop görüntüsü
b. Martenzitin mikro yapısı (Zhigilei, 2002)



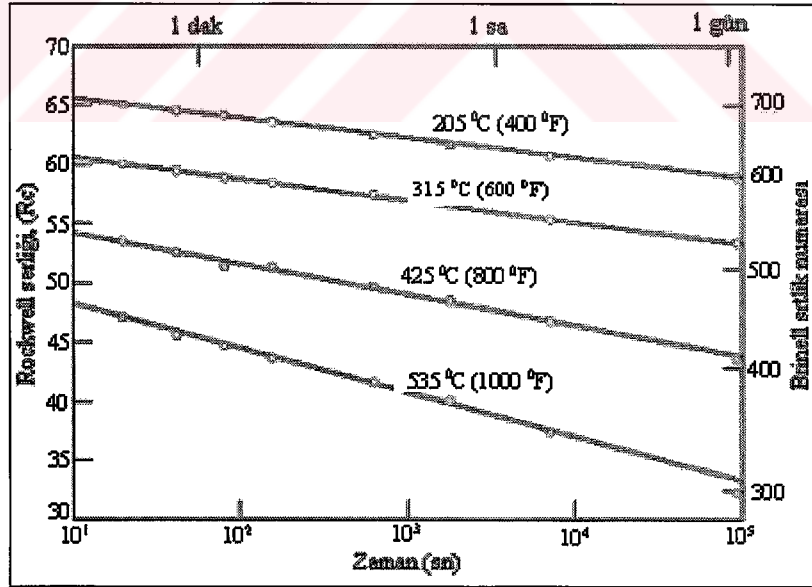
Şekil 4.7.4.6. Demir karbon alaşımı için izotermal dönüşüm diyagramı. A östenit, B bey nit, M martenzit, P perlit (Callister, 2000)

Demir Karbon Alaşımlarının Mekanik Davranışları: Sementit ferritten daha sert ve kırılgandır, dolayısıyla sertleştirme yapınca sementit artar. Farklı mikro yapıların gerilme ve sertliği mikro yapıların büyüklüğü ile ters orantılıdır. İnce perlitli malzemeler, kaba perlitli malzemelere göre daha serttirler. Bey nit ise perlitten daha serttir. Martenzit sert, dayanımlı ve çok kırılgandır. Bu durumlar şekil 4.7.4.7'deki diyagramlarda ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

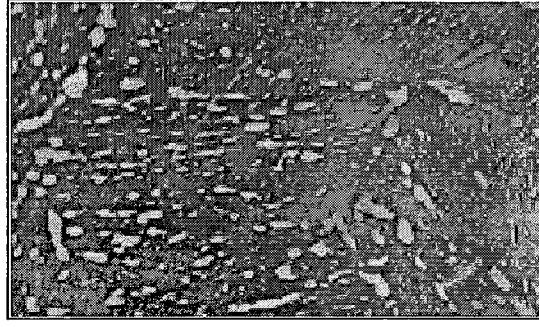
Temperlenmiş Martenzit: Martenzit çok kırılgandır. Bu nedenle pratik uygulamalar için işlem görmelidir. Bu işlem, bir süre için 250-650 °C 'ye ısıtılarak yapılır. Böylece ferrit matrisinde iyi bir şekilde dağılmış ve aşırı derecede ince sementit taneleri olan temperlenmiş martenzit üretilir. Temperlenmiş martenzit, düzenli martenzite göre daha az serttir, fakat sünekliliği artmıştır.mekanik özellikler sementitin partikül boyutuna bağlıdır. Daha az geniş partikülün anlamı, daha az sınır bölgesi, daha sünek malzeme demektir. Şekil 4.7.4.8'de karbon çeliğinin temperleme süresine göre sertliğinin nasıl değiştiği gösterilmektedir. Şekil 4.7.4.9'da da temperlenmiş martenzitin mikroskop görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 4.7.4.7.a. İnce perlitten oluşmuş mikro yapıya sahip çeliğin karbon konsantrasyonuna göre basma ve çekme dayanımları ile Brinell sertlik değerinin değişimi b. Sünelik ve izod etki enerjisinin karbon konsantrasyonuna göre değişimi

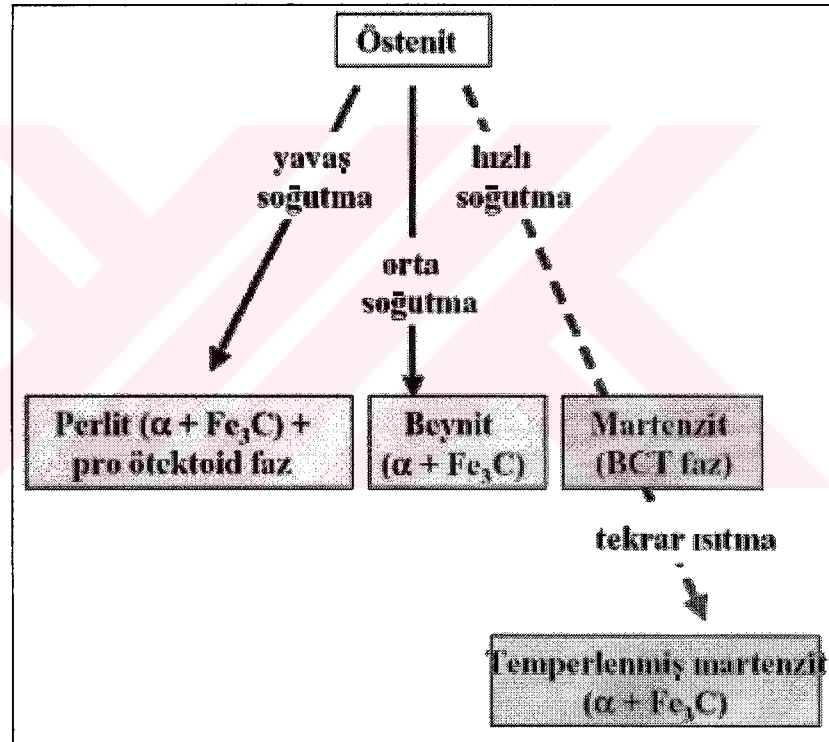


Şekil 4.7.4.8. Temperleme süresine göre sertliğin değişimi (Callister, 2000)



Şekil 4.7.4.9. Temperlenmiş martenzitin mikro yapısı (Callister, 2000)

Östenit Dönüşüm Şeması:



Şekil 4.7.4.10. Östenit dönüşümün şeması. Düz çizgiler difüzyonsal dönüşüm, kesik çizgiler difüzyonsuz martenzit dönüşümdür

4.7.5. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://www.soton.ac.uk/~pasr1/index.htm>

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures>

<http://www.soton.ac.uk/~pasr1/eutectic.htm#page1>

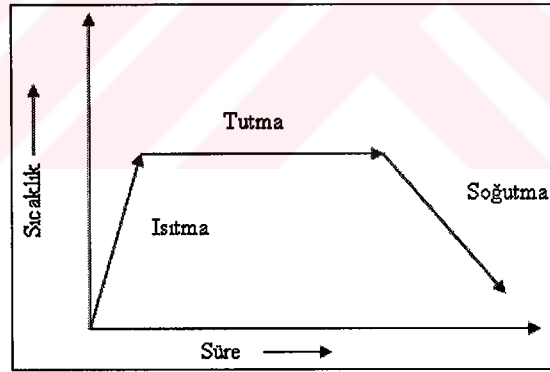
<http://www.people.virginia.edu>

4.8. Metal Alaşımalarının Isıl İşlemleri

Genel anlamda ısıl işlem, metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırma amacıyla, katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Çeliklere uygulanan bütün ısıl işlemler, östenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler (Anık vd., 1993)

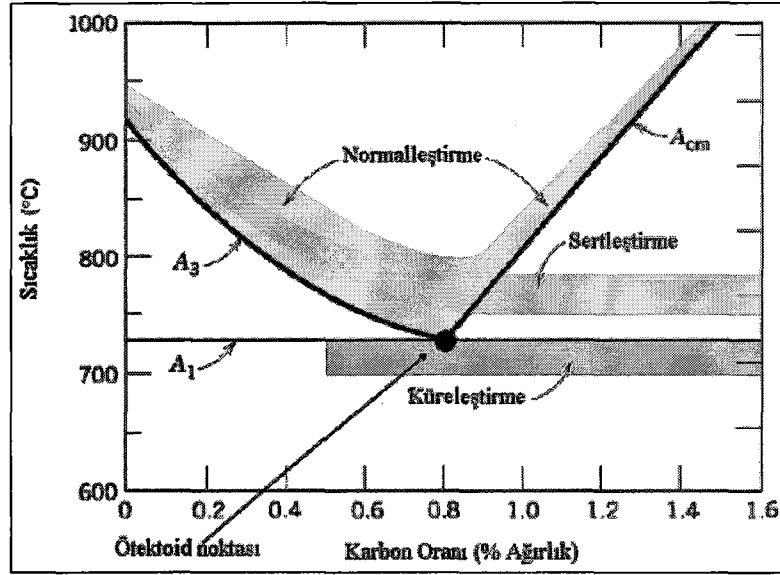
4.8.1. Yumuşatma Tavı

Genel anlamda istenilen yapısal, fiziksel ve mekanik özellikleri elde etmek ve talaş kaldırmayı ve soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla metal malzemelerin uygun sıcaklıklara kadar ısıtılıp, gerekli değişiklikler sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta tutulması ve sonradan yavaş bir şekilde soğutulmasına tavlama denir. Şekil 4.8.1.1'de tavlama işleminin bölümleri şematik olarak gösterilmiştir.



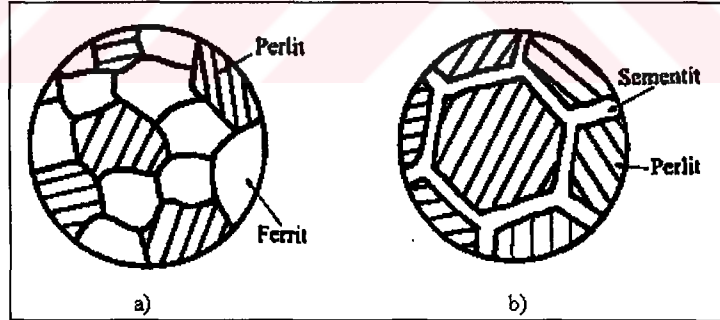
Şekil 4.8.1.1. Tavlama işleminin şematik gösterimi

Yumuşatma tavı sertliği azaltmak, talaş kaldırmayı kolaylaştırmak veya döküm ve dövme parçalarındaki iç gerilmeleri gidermek amacıyla, ötektoid altı çelikleri A_3 (Şekil 4.8.1.2), ötektoid üstü çelikleri A_1 çizgilerinin üzerindeki belirli sıcaklıklara kadar ısıtıp, iç yapılarını östenite dönüştürdükten sonra fırın içerisinde tutarak çok yavaş bir şekilde soğutulmasıdır.



Şekil 4.8.1.2. Alaşımsız çeliklere uygulanan yumuşatma, normalizasyon, küreleştirme ve sertleştirme işlemleri için ısıl işlem aralıkları

Diyagramda A_1 alt kritik sıcaklık değeridir. A_1 çizgisinin altında ostenit yoktur. A_3 ve A_{cm} ise üst kritik sıcaklık değeridir. Bu çizginin üstünde malzeme tamamen ostenittir.

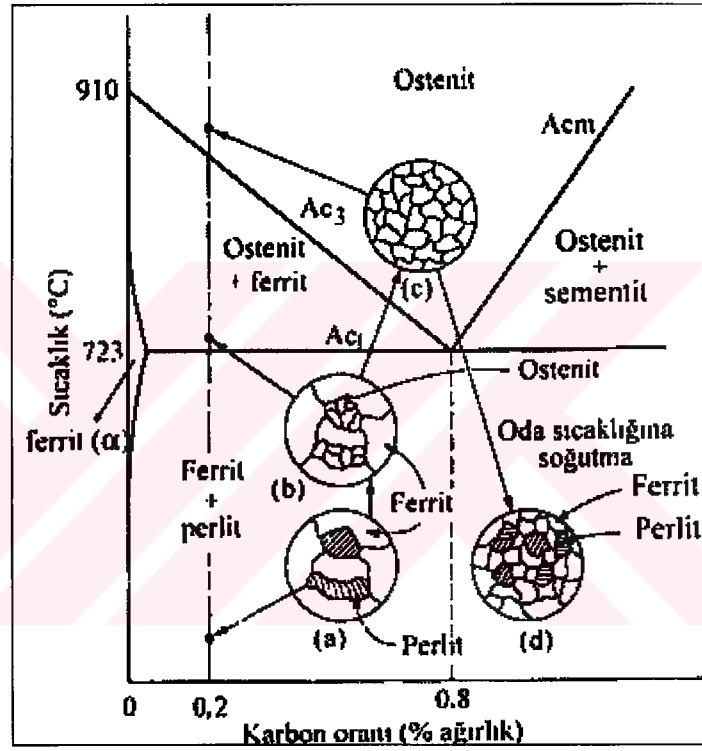


Şekil 4.8.1.3.a. Yumuşatma tavına tabii tutulan ötektoid altı çeliklerde b. Ötektoid üstü çeliklerde oluşan tipik bir iç yapıların şematik resmi (Savaşkan, 1999)

% 0.2 C içeren iri taneli ötektoid altı bir çelik parçanın tanelerinin tavlama işlemi ile nasıl incelmesini görelim. Tavlama işlemi esnasında çeliğin iç yapısında meydana gelen değişimler şekil 4.8.1.4'de gösterilmektedir. İşlemin değişik safhalarında çelik parçada meydana gelen iç yapılar şöyledir:

- a) İlk yapı iri ferrit ve perlit tanelerinden oluşmaktadır.

- b) A_1 çizgisini hemen üzerindeki bir sıcaklıkta perlit ince taneli ostenite dönüşmektedir. Ferrit ise yapıda aynen kalmaktadır.
- c) A_3 çizgisinin üzerindeki sıcaklıkta yapı tamamen ince taneli ostenite dönüşmektedir.
- d) Parça oda sıcaklığına soğutulduğunda, ince ferrit taneleri ile küçük perlit bölgelerinden oluşan bir iç yapı meydana gelmektedir.



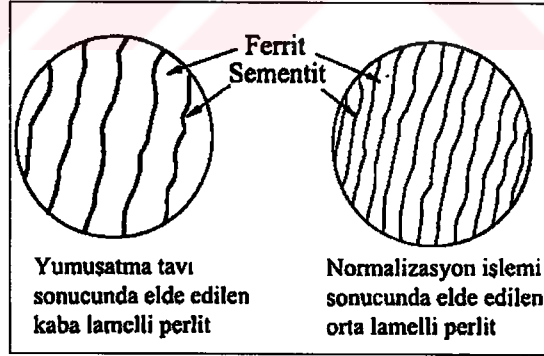
Şekil 4.8.1.4. % 0.2 karbon içeren çeliğin tavlama işlemi sırasında iç yapısında meydana gelen değişimler (Savaşkan, 1999)

4.8.2. Normalizasyon (Normalleştirme) Tavı

Dövülmüş, haddelenmiş, dökülmüş ve çekilmiş çelik ile kaynak edilmiş iş parçalarının kaynak bölgesinin çevresi yüksek sıcaklıktan etkilenerek iri tane yapısına bürünür. Yüksek sıcaklıkta bekletmede iri taneli yapının oluşmasına neden olur. İri taneli çelik yapısı şekil değiştirmeden kopar. Bu nedenlerden dolayı, biçimlendirilmeden önce, ince taneli yapısı olan çeliklerin, biçimlendirme işlemi sonrası eski hallerine, ince taneli yapıya dönmeleri istenir. Normalleştirme tavı, çeliğin ince taneli yapısına geri dönmesini sağlar (Şahin, 1995).

Normalleştirme tavlı genelde tane küçültmek, homojen bir iç yapı elde etmek ve mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri A_3 , ötektoid üstü çelikleri A_{cm} sıcaklıklarının yaklaşık 40-50 °C üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtılıp, tavlandıktan sonra fırın dışında sakin havada soğutulması işlemidir. Normalleştirme tavlının belli başlı amaçları; tane küçültmek, homojen bir iç yapı elde etmek, ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak, çeliklerin işleme özelliklerini iyileştirmek, mekanik özellikleri iyileştirmek, yumuşatma tavlı uygulanmış çeliklerin sertlik ve mukavemetlerini artırmak şeklinde sıralanabilir.

Normalleştirme tavlında, parçanın havada soğutulması nedeniyle nispeten yüksek soğuma hızı elde edilir. Genelde soğuma hızı arttıkça ostenitin dönüşüm sıcaklığı düşer ve daha ince perlit yapısı elde edilir. Bu nedenle, normalleştirme tavlı uygulanan çelikte, yumuşatma tavlı işlemi yapılmış çeliğe göre daha ince ve yüksek oranda perlit meydana gelir. Yumuşatma tavlı ve normalleştirme tavlı işlemleri uygulanarak elde edilen perlitik yapılar arasındaki fark şekil 4.8.2.1'de görülmektedir.



Şekil 4.8.2.1. Yumuşatma tavlı ve normalleştirme tavlı işlemleri sonucu elde edilen perlitik yapılar arasındaki farkın şematik gösterimi (Savaşkan, 1999)

Normalleştirme tavlı uygulanmış çelikler, yumuşatma tavlı gören çeliklere göre daha ince ve daha yüksek oranda perlitik yapı içerirler. Bu nedenle normalleştirme tavlı uygulanmış çeliklerin sertlik ve mukavemetleri, yumuşatma tavlı uygulanmış çeliklerin değerlerinden daha yüksektir. Çizelge 4.8.2.1'de bazı çeliklerin yumuşatma ve normalleştirme tavlaları uygulanması durumlarındaki mekanik özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.8.2.1. Çeliklerin yumuşatma ve normalleştirme tavlari uygulanması durumlarındaki mekanik özellikleri (Savaşkan, 1999)

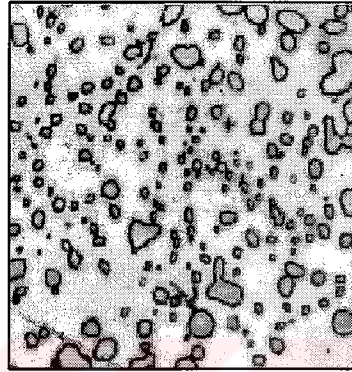
İşlem	Karbon oranı (%)	Akma mukavemeti (N/mm ²)	Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)	Sertlik (BSD)
Yumuşatma tavlari	0,01	124	283	47	90
	0,20	148	407	37	115
	0,40	303	517	30	145
	0,60	338	667	23	190
	0,80	359	793	15	220
	1,00	359	745	22	195
	1,20	352	703	24	200
	1,40	345	683	19	215
Normalleştirme tavlari	0,01	179	310	45	90
	0,20	310	441	35	120
	0,40	352	586	27	165
	0,60	414	752	19	220
	0,80	483	924	13	260
	1,00	690	1048	7	295
	1,20	690	1055	3	315
	1,40	662	1021	1	300

4.8.3. Küreleştirme Tavlari

Küreleştirme tavlari, çelikleri A₁ sıcaklık çizgisi civarında uzun süre tuttuktan ve bu bölgede salınımlı olarak tavladıktan sonra, yavaş bir şekilde soğutma ile karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesi işlemidir. Tavlannmış durumdaki ötektoid üstü çelikler iç yapılarında sert ve gevrek sementit tanelerinin bulunması nedeniyle işlenmeye elverişli değildir. Bu tür çeliklerin işlenmesini kolaylaştırmak ve sünekliğini artırmak amacıyla küreleştirme tavlari uygulanır. Küreleştirme tavlari aşağıda sıralanan yöntemlerin birisinin uygulanmasıyla gerçekleştirilir:

- Çelik malzeme A₁ çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklıkta (örneğin 700 °C) uzun süre (15-25 saat) tavlannır.
- Çelik malzeme, düşük kritik sıcaklık çizgisinin (A₁) hemen altında ve üstündeki sıcaklıklar arasında ısıtılıp soğutulur, yani salınımlı olarak tavlannır.
- Malzeme, A₁ kritik sıcaklık çizgisinin üzerindeki bir sıcaklıkta tavlandıktan sonra ya fırında çok yavaş soğutulur, ya da A₁ çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklıkta uzunca bir süre tutulur.

Küreleştirme tavlama sonucunda, ferritik bir matris ile bunun içerisinde dağılmış durumda bulunan küre biçimindeki karbürlerden oluşan bir iç yapı elde edilir. Söz konusu yapı şekil 4.8.3.1’de görülmektedir. Küreleştirme tavlama sonunda çeliğin sertliği azalır. Fakat sünekliği artar. Küreleştirme tavlama uygulanması ile ötektoid üstü çelikler işlenmeye elverişli hale gelirler (Serfiçeli,2000).



Şekil 4.8.3.1. Küreleştirme yapılmış mikroyapı (Zhigilei, 2002)

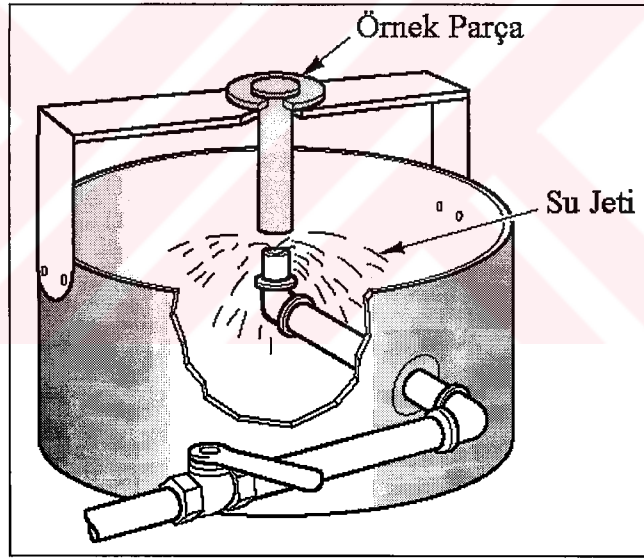
Küreleştirme tavlama daha çok yüksek karbonlu çeliklere uygulanır. Düşük karbonlu çeliklere nadiren küreleştirme tavlama uygulanır. Çünkü bu tür çelikler küreleştirme tavlama sonunda çok yumuşak olurlar ve bu aşırı yumuşama talaşlı işlem sırasında bazı zorluklar doğurur (savaşkan).

4.8.4. Gerginlikleri Giderme Tavlama

Dökülmüş veya sıcak dövülmüş parçalar, genellikle düzensiz soğurlar. Isıl işlemler sırasında meydana gelen düzensiz soğuma sonucu iç gerilmeler oluşur. Böyle bir malzeme kullanılırsa, bazı diğer gerilmelerin de etkisiyle çatlamlar oluşur. Döküm, kaynak, ve soğuk şekil verme işlemlerinden kaynaklanan iç gerilmeleri azaltmak amacıyla, metalik malzemeleri dönüşüm sıcaklıklarının altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtma ve sonra yavaş bir şekilde soğutulması işlemine “gerginlikleri giderme tavlama” denir. Çelik malzemeler 540 °C ile 630 °C sıcaklıkları arasında gerginlikleri giderme tavlama tabii tutulurlar. Bu sıcaklıkta yaklaşık olarak 4 saat süre ile tavlantırlar. Soğutma işlemi ise parçanın bütün kısımları aynı sıcaklıkta kalacak şekilde, yani çok yavaş olarak yapılır.

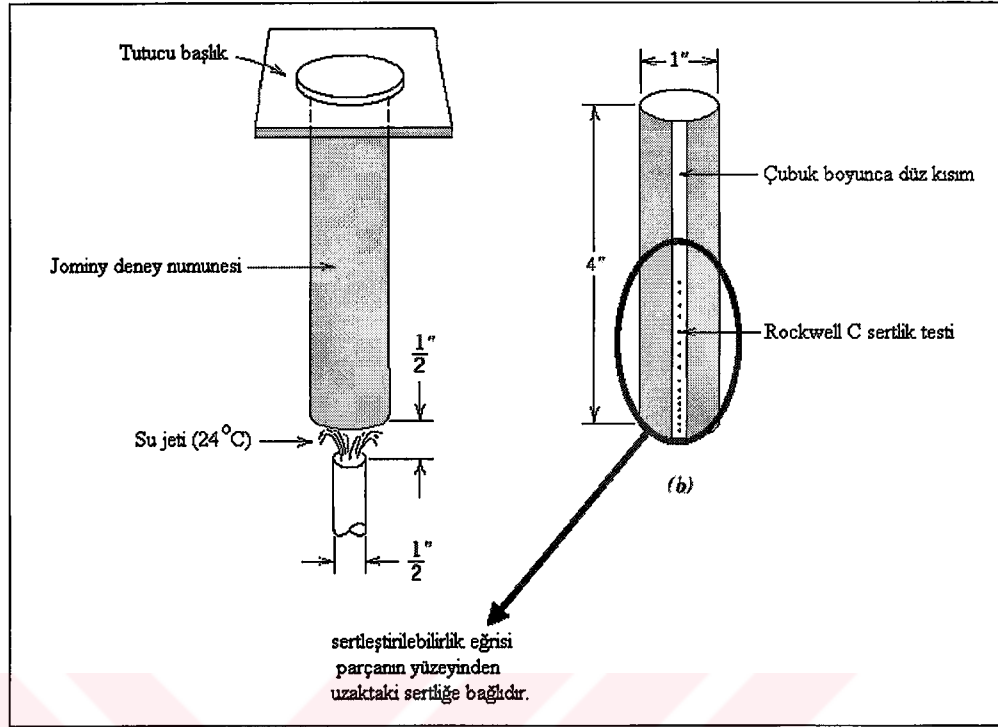
4.8.5. Sertleşebilirlik

Sertleşebilirlik demir karbon alaşımlarının martenzit biçimlendirilmesiyle sertleştirilebilme yeteneğidir. Sertleşebilirlik sertlik değildir. Yüksek sertleştirilebilirliğin anlamı numune hacminin başından sonuna yüksek martenzitli ürün için alaşımların yeteneğidir. Sertleşebilirliğin ölçüsü “Jominy Deneyi” ile belirlenir. Bu deneye “uçtan su verme yöntemi” de denilir. Bu deney için 1” çapında ve 4” uzunluğundaki, yuvarlak çubuk biçimindeki numune, östenitleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak tavlınır. Fırından alınan örneğe, bir ucundan özel bir su püskürtme aletiyle su verilir. Su vermek için kullanılan alet standartlaştırılmıştır. Su verme işleminden 10 dakika sonra örnek alınır ve taşlanarak birbirine paralel iki yüzey elde edilir. Daha sonra numunenin, su verilen uçtan belli mesafelerdeki sertliği

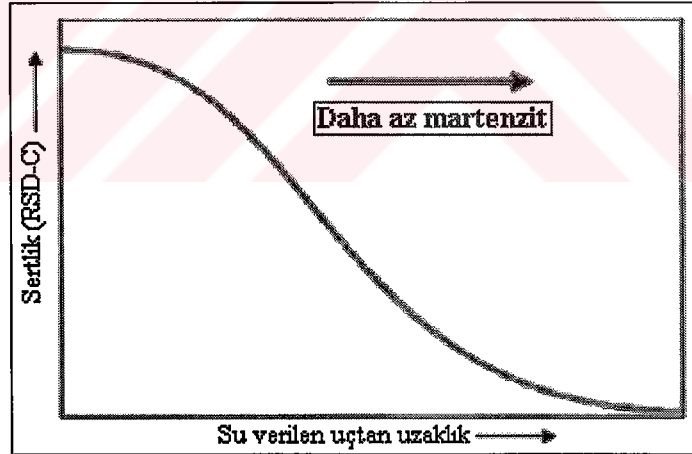


Şekil 4.8.5.1. Jominy deneyinin yapılışının şematik gösterimi (Callister, 2003)

Rockwell C cinsinden ölçülür. Bulunan sonuçlardan yararlanılarak numunenin sertliğinin su verilen uçtan uzaklığa göre değişimini gösteren eğri çizilir. Deneyin yapılışı ve numunenin özellikleri şekil 4.8.5.1 ve 4.8.5.2’de gösterilmektedir. Şekil 4.8.5.3’de ise sertleşebilirlik eğrisi görülmektedir. Jominy numune çubuğu üzerindeki her bir nokta farklı soğuma hızına sahiptir. Bütün çeliklerin ısı iletkenlikleri aynı kabul edilirse, bu soğuma hızı her çeşit çelik için aynı olur.

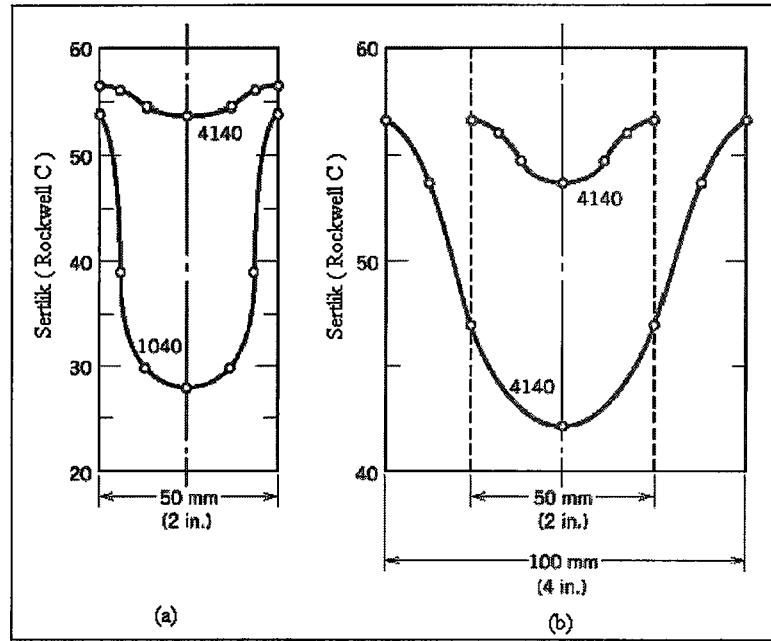


Şekil 4.8.5.2.a. Jominy deneyinin yapılışı b. Deney çubuğu (Callister, 2000)



Şekil 4.8.5.3. Jominy deneyi sonucu elde edilen, sertliğin su verilen uçtan uzaklığa göre değişimini veren sertleşebilirlik eğrisi (Callister, 2000)

Sertleşme yeteneği her ne kadar sertlik değişimi ile ifade edilirse de, aslında sertlik malzemenin iç yapısına bağlıdır. Sertleşme kabiliyetini gösteren sertlik değişimi söz konusu çelikte meydana gelen yapısal değişimden kaynaklanmaktadır. Soğutma oranı numune parçanın yüzeyindeki ısının atılmasına bağlıdır. Şekil 4.8.5.4'de değişik çaplara sahip 1040 ve 4140 çeliğinin sertlik profilleri görülmektedir.

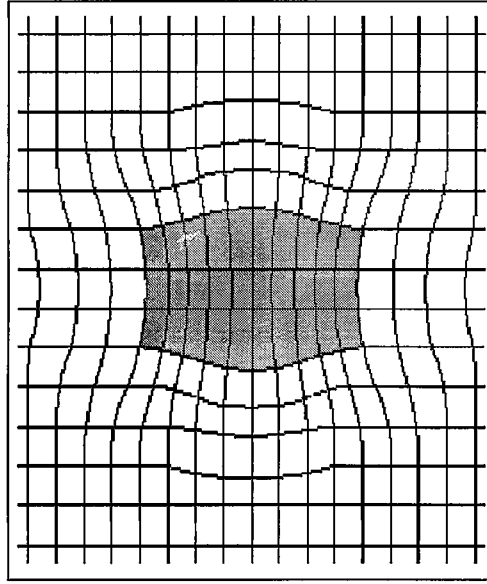


Şekil 4.8.5.4. Silindirik çelik çubukların radyal sertlik profilleri a. 1040 ve 4140 çeliği b. 4140 çeliğinin sertlik değerlerinin çapa göre değişimi (Callister, 2000)

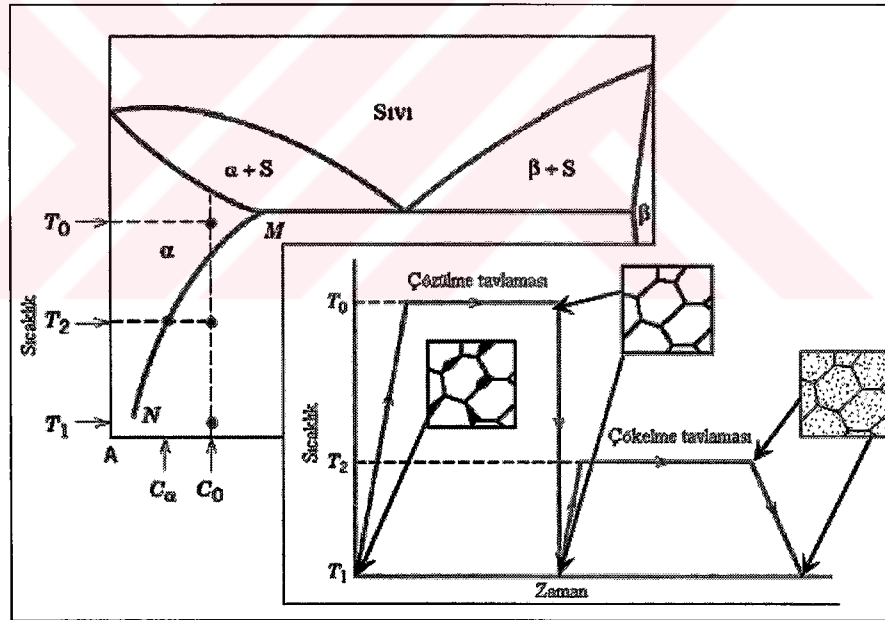
4.8.6. Çökme (Yaşlandırma) Sertleşmesi

Çökme sertleşmesi ile martenzit teşekkül ettirilmeden akma sınırı ile sıcağıdaki mukavemet yükselir. Ayrıca alaşımların manyetik sertliği de artar. Çökme sertleşmesi ilk önce alüminyum alaşımları üzerinde keşfedilmiş ve ardından çeliğe de uygulanmaya başlanmıştır. Çözülme ve çökme aşamalarından oluşan sertleşme işlemi şekil 4.8.6.1 ve 4.8.6.2’de şematik olarak gösterilmektedir.

Çökme sertleşmesi için, uygun bileşimdeki bir alaşım (C) tek fazlı (α) bir yapı elde etmek amacıyla T_0 sıcaklığına kadar ısıtılır ve alaşımdaki bütün fazların tek faz içerisinde çözümleri sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta bekletilir. Bu işleme çözülme işlemi denir. Çözülme işleminden sonra alaşım hızla soğutularak (su verme) aşırı doymuş α katı çözümleri elde edilir. Ancak aşırı doymuşluk kararsız bir durumdur. Aşırı doymuş katı çözümlerin kararlı hale getirilebilmesi için çökme işlemi uygulanır. Çökme işlemi ya oda sıcaklığında yada oda sıcaklığı ile katılma çizgisi arasındaki bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Oda sıcaklığında yapılan çökme “doğal çökme (doğal yaşlandırma)”, oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yapılan çökme ise “yapay çökme (yapay yaşlandırma)” denilir.

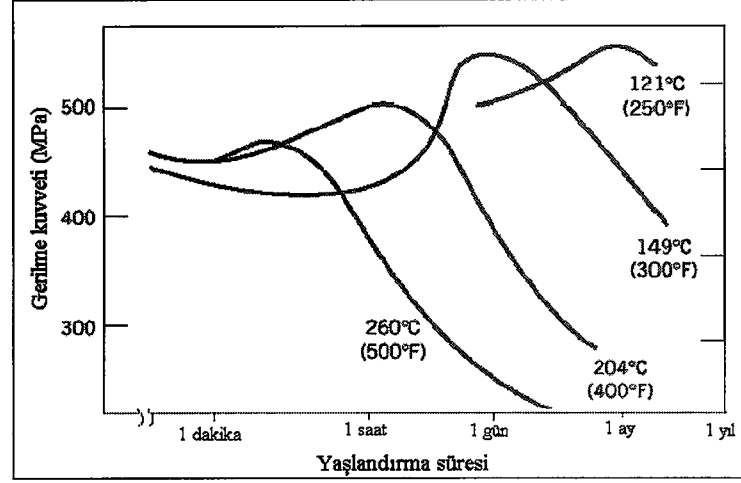


Şekil 4.8.6.1. Çökeltme sertleşmesi sonucu, malzemenin kristal geometrisindeki değişimin şematik olarak gösterilmesi (Callister, 2003)



Şekil 4.8.6.2. Çözülme ve çökeltme aşamalarını içeren çökeltme sertleştirme işleminin şematik gösterilmesi (Zhigilei, 2002)

Gerilme kuvvetinin değişik yaşlandırma sıcaklıklarındaki yaşlanma süresine göre değişimini gösteren eğriler şekil 4.8.6.3'de görülmektedir. Çizelge 4.8.6.1'de X Ni Co Mo 18 75 çeliğinin çökeltme sertleşmesi esnasında mekanik özelliklerinin değişmesi görülmektedir.



Şekil 4.8.6.3. Çökeltme sertleşmesi sırasında gerilme kuvvetinin değişik yaşlandırma sıcaklıklarındaki yaşlanma süresine göre değişimini gösteren eğriler (Callister, 2000)

Çizelge 8.6.1. X Ni Co Mo 18 75 çeliğinin çökeltme setleşmesi esnasında mekanik özelliklerinin değişmesi (Savaşkan, 1999)

Özellikler	Çözündürme tavlaması yapılmış, soğutulmuş	Çökeltme sertleşmesi yapılmış
Sertlik(HRC)	30	50
Çekme mukavemeti (kp/mm ²)	100	180
0,2 uzama sınırı (kp/mm ²)	80	175
Uzama (%)	12	10
Büzülme (%)	70	50
Akma sınırları oranı	0,8	0,97

4.8.7. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures>

<http://vims.ncsu.edu/Contents/Ch.12/Chapter12TOC.html>

<http://benz.nchu.edu.tw>

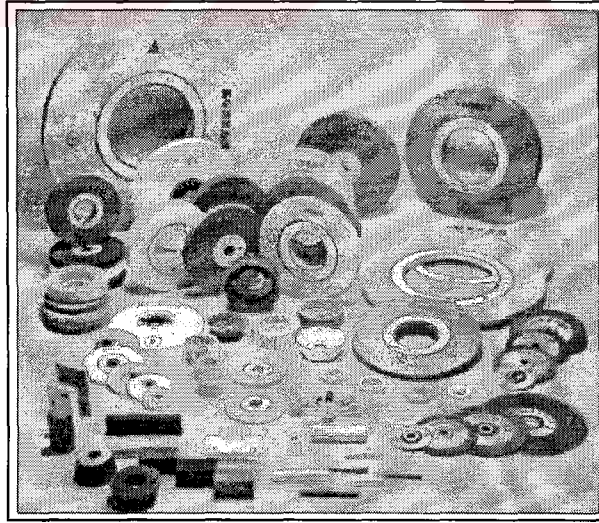
<http://www.people.virginia.edu>

4. 9. Seramikler

Bu bölümde seramiklerin yapısı ve özellikleri, kristal yapıları, silikat seramikler, karbon ve seramiklerdeki kusurlar hakkında bilgi verilecektir.

Topraktan yapıldıktan sonra pişirilmiş eşyalara genel olarak “seramik” adı verilir. Seramikler metal ve metal olmayan elementlerden oluşan anorganik bileşiklerdir. İyonik ve kovalent bağ yapısına sahiptirler. Genellikle sert, kırılğan, ergime derecesi yüksek, ısı ve elektrik iletkenliği oldukça düşük, yüksek basma dayanımına sahip malzemelerdir. Optik olarak opaklardır. Seramiklerin iyi bir ısı ve elektrik yalıtkanı olmasına karşılık süneklikleri, şekillendirilebilirlikleri ve darbe dayanımları zayıftır. Bunun sonucu olarak yapı ve yük taşıma uygulamalarında metallere daha az kullanılır (Uğuz, 2002).

Seramik malzemeler çanak, çömlek yapımı, tuğla, kiremit, ısı ve elektrik yalıtkanı, aşındırıcı, porselen olarak adlandırdığımız yemek kapları üretimi vb. gibi geniş bir alanda kullanılmaktadırlar. Şekil 4.9.1’de seramik aşındırıcılar görülmektedir.



Şekil 4.9.1. Seramik aşındırıcılar

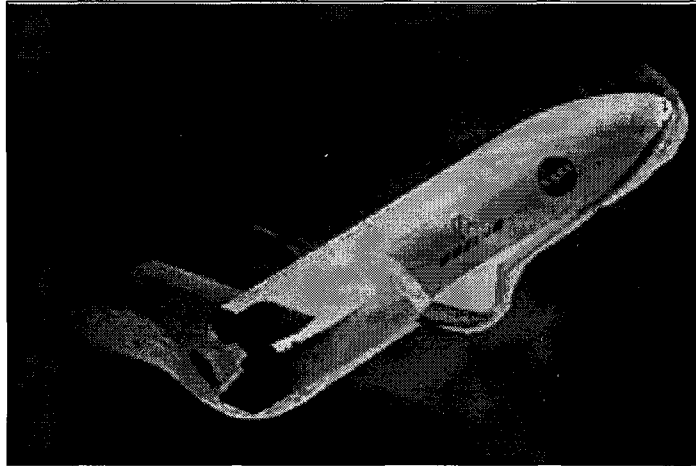
Seramik malzemeler genellikle; geleneksel seramikler ve ileri teknoloji seramikleri olmak üzere iki grupta ele alınırlar.

4.9.1. Geleneksel Seramikler

Geçmişten günümüze kadar geçen süre içerisinde, insanların ihtiyaçlarını karşılamak için yaptıkları ve ana maddesi toprak olan seramikler “alışılmış seramikler” olarak adlandırılırlar. Alışılmış seramiklerin ana bileşenleri kil, silika ve feldspattır. Cam, tuğla, kiremit, fayans, elektrik izolatörü, porselen vb. üretiminde kullanılırlar.

4.9.2. İleri Teknoloji Seramikleri

Alışılmış seramiklerden farklı olarak olağanüstü fiziksel, mekanik ve elektronik özelliklere sahip olan seramiklere “ileri teknoloji seramikleri” adı verilmektedir. Bunlara yeni yada teknik seramikler, mühendislik seramikleri adı da verilir. Yüksek mukavemet, rijitlik ve sertlik, aşınmaya, kimyasal etkilere ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık gibi üstün özellikleri nedeniyle, son yıllarda özellikle havacılık ve uzay sanayinde sıkça kullanılmaktadırlar. Uzaya gönderilen mekiklerin dünyaya geri dönüşünde, atmosfere girdiklerinde sürtünme neticesinde, yüzeyleri oldukça fazla ısınır. Şekil 4.9.2.1’de mekiğin ısınan yüzeyleri gösterilmektedir. Mekiğin bu ısıya dayanabilmesi için, yüzeyleri seramik parçalarla kaplanır. Böylece mekik dünyaya inebilir. Bazı seramikler ise sahip oldukları yarı iletkenlik, manyetik ve süper iletkenlik özelliklerinden dolayı elektronik ve bilgisayar sanayinde kullanılmaktadırlar (Serfiçeli, 2000).



Şekil 4.9.2.1. Atmosfere giren bir mekiğin ısınan yüzeyleri (<http://mediaarchive.ksc.nasa.gov>, 2003)

4.9.3. Seramiklerdeki Bağlar

Atomların kimyasal bağlarda ne kadar elektronu kabul edebileceğini gösteren ölçüye “elektronegatiflik” denilmektedir. Bir elektronlu alt kabuklar düşük elektronegatifli, bir eksik elektronlu alt kabuklar yüksek elektronegatiflidirler. Elektronegatiflik tabloda soldan sağa doğru artmaktadır (Çizelge 4.9.3.1).

Çizelge 9.3.1. Elektronegatiflik tablosu (Callister, 2000’den değiştirilerek alınmıştır)

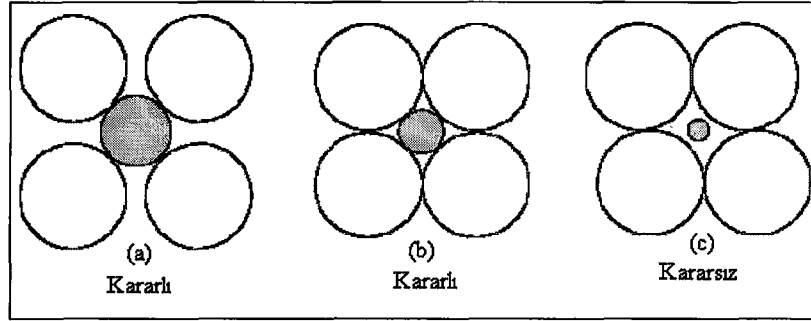
IA																	0
1	2											13	14	15	16	17	18
H	He											B	C	N	O	F	Ne
2.1	1.0											2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	-
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
0.9	1.2											1.5	1.8	2.1	2.5	3.0	-
11	12	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII			IB	IIB						
Na	Mg						26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0.9	1.0	1.3	1.6	1.8	1.8	1.5	1.8	1.8	1.8	1.9	1.6	1.8	1.8	2.0	2.4	2.8	-
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	1.8	1.5	1.8	1.8	1.8	1.9	1.6	1.8	1.8	2.0	2.4	2.8	-
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	1.9	2.2	2.2	2.2	1.9	1.7	1.7	1.8	1.9	2.1	2.5	-
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
0.7	0.9	1.1-	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.2	2.2	2.4	1.9	1.9	1.8	1.9	2.0	2.2	-
87	88	89-															
Fr	Ra	Ac-No															
0.7	0.9	1.02															

Seramiklerdeki atomik bağlar iyonik ve kovalent bağlarla karışıktır. İyonik karakterlerin derecesi katyon ve anyonlar arasındaki elektronegatiflik farkına bağlıdır.

4.9.4. Seramiklerin Kristal Yapıları

Seramiklerde kristal yapılarına etki eden bazı özellikler vardır. Bunlardan birisi her bir iyondaki elektrik yükünün büyüklüğüdür. Yük dengesi kimyasal formülü belirler. Örneğin Ca^{2+} ve F^- ‘nin bileşimi CaF_2 ‘dir. Kristal yapıya etki eden diğer bir faktör de katyon ve anyonların relatif büyüklükleridir. Katyonlar en yakın ve karşı anyonların mümkün olan en fazla sayısını isterler. Kararlı seramiklerin kristal yapılarında anyonlar bir katyonu şekil 4.9.4.1’de görüldüğü gibi, temas edecek

şekilde çevrelerler. Bu temasın korunabilmesi için, kritik yada minimum katyon - anyon yarıçap oranı (r_c/r_A) ve belirli koordinasyon numarası vardır.



Şekil 4.9.4.1. Kararlı seramiklerin kristal yapıları

Koordinasyon Numarası	r_c/r_A	Geometri
2	<0.155	
3	0.155-0.225	
4	0.225-0.414	
6	0.414-0.732	
8	0.732-1.0	

Basit geometrik analizlerle geometrik oran belirlenebilir.

$\cos 30^\circ = 0.866$
 $= R/(r+R)$
 \downarrow
 $r/R = 0.155$

Şekil 4.9.4.2. Değişik koordinasyon numarasına göre seramiklerin geometrik şekilleri (Zhigilei, 2002)

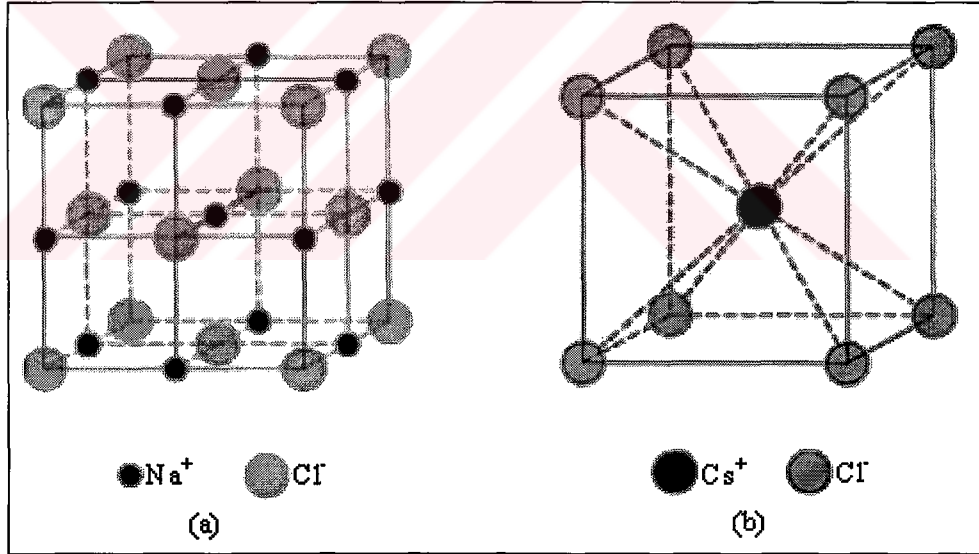
Kaya tuzunun kristal yapısını incelendiğinde;

NaCl yapısı: $r_c = r_{Na} = 0.102 \text{ nm}$, $r_A = r_{Cl} = 0.181 \text{ nm} \Rightarrow r_c/r_A = 0.56$ olur.

Kararlı geometri için tablodan koordinasyon numarası 6'ya bakarız. Şekil 4.9.4.3.a'da NaCl'nin kristal yapısı görülmektedir. Yüzey merkezli kübik kafesin köşelerinde ve yüzey merkezlerinde birer Cl^- iyonu, kenar ortalarında ve küpün merkezinde birer Na^+ iyonu bulunur. MgO ve FeO' da bu tür kristal yapıya sahiptir. Sezyum klorür'ün kristal yapısı ise şöyledir:

$$r_c = r_{Cs} = 0.170 \text{ nm}, r_A = r_{Cl} = 0.81 \text{ nm} \Rightarrow r_c/r_A = 0.94$$

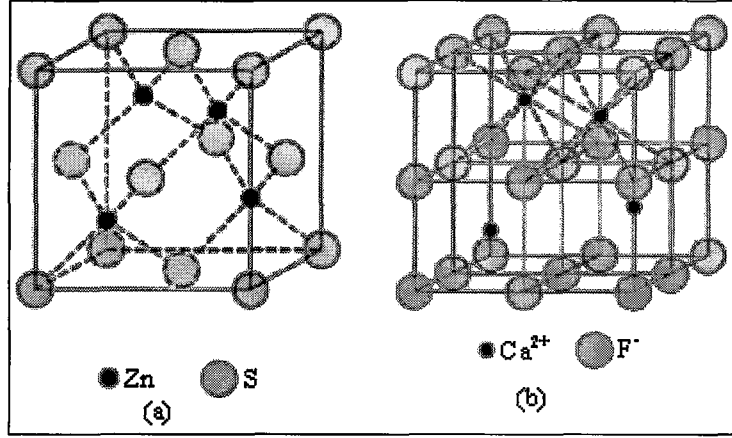
Kararlı geometri için tablodan koordinasyon numarası 8'e bakarız. Şekil 4.9.4.3.b'de sezyum klorür'ün kristal yapısı görülmektedir. Hacim merkezli kübik kafesin köşelerinde birer tane Cl^- iyonu, küpün merkezinde ise bir tane Cs^+ iyonu bulunmaktadır (<http://surphy.fat.bme.hu>, 2002).



Şekil 4.9.4.3.a. NaCl'nin kristal yapısı b. Sezyum klorür'ün kristal yapısı

Çinko bileşiklerinin kristal yapısı ise şekil 4.9.4.4.a'da görülmektedir. Bu bileşiklerde kovalent bağlar hakimdir. Koordinasyon numarası 4'tür. ZnS, ZnTe ve SiC' de bu tür kristal yapıya sahiptir. Flüorit'in(CaF_2) kristal yapısı ise şekil 4.9.4.4.b'de gösterilmektedir.

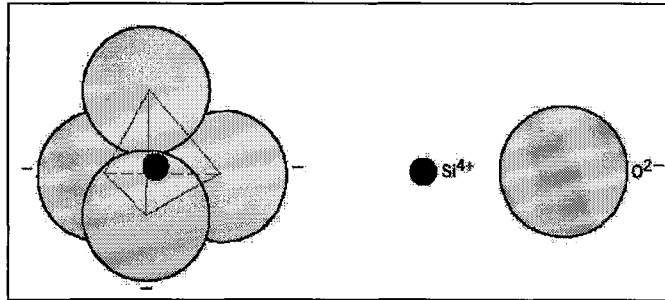
CaF_2 : $r_c = r_{\text{Ca}} = 0.100 \text{ nm}$, $r_A = r_{\text{F}} = 0.133 \text{ nm} \Rightarrow r_c / r_A = 0.75$ olur. Kararlı geometri için tablodan koordinasyon numarası 8'e bakılması gerekir.



Şekil 4.9.4.4.a. Çinko bileşiklerinin kristal yapısı b. Flüorit'in(CaF_2) kristal yapısı

4.9.5. Silikatlar

Her yerde bolca bulunmaları ve ucuzlukları nedeniyle seramiklerin büyük çoğunluğu çeşitli türde silikatlar içerirler. Beton, tuğla, kiremit, cam ve porselen gibi malzemelerin temel bileşenleri silikatlardır. Silikatların temel yapı bireyi, şekil 4.9.5.1'de görülen SiO_4^{4-} dörtyüzlüsüdür. Bu dörtyüzlünü merkezinde bir silisyum atomu, köşelerinde ise birer tane oksijen atomu bulunur. Si ve O atomları arasındaki bağ kovalent türde olup oldukça kuvvetlidir. Köşelerdeki oksijen atomları ya komşu dörtyüzlüsünün Si atomları ile bir çift elektron paylaşarak yada bir metal atomundan bir elektron alarak valans elektronlarını sayısını 8'e tamamlarlar. Böylece çok kararlı bir yapıya sahip olurlar (Roberts, 2002).



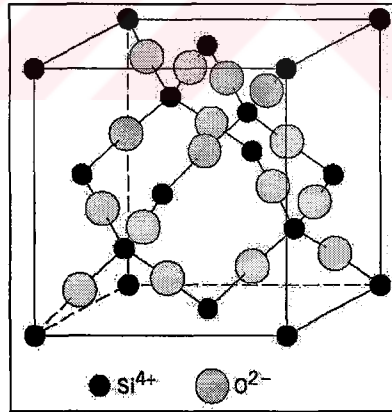
Şekil 4.9.5.1. SiO_4^{4-} dörtyüzlüsünün yapısı

4.9.6. Seramik Türleri

4.9.6.1. Geleneksel Seramikler

Geleneksel seramikler camlar ve pişmiş ürünler olarak ikiye ayrılırlar. Cam genel anlamda ergimiş haldeki amorf yapısını koruyarak katılaştan inorganik cisim olarak tanımlanabilir. Çok sert ve gevrek olan camların basma mukavemeti yüksek, çekme mukavemeti düşüktür. Yüzlerce cam türü bulunmakla beraber en önemlileri silis camı, soda kireç camı(pencere camı), kurşunlu cam ve bor-silikat camıdır.

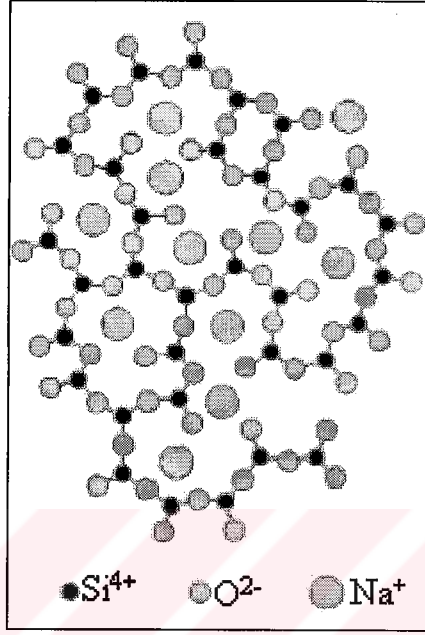
Silis Camı: Yüksek oranda silis (SiO_2 , ergime sıcaklığı 1710°C) içeren bu camın ergime sıcaklığı yüksek, ısıl genişleme katsayısı düşük olduğundan ısı şokuna dayanıklıdır. Sıcaklığa dayanıklı cam eşya üretiminde kullanılırlar. Silisin kristal yapısı şekil 4.9.6.1.1'de gösterilmektedir. Silikat dörtyüzlülerinin ara oksijen atomları ile oluşturdukları sürekli bir kovalent ağına sahiptirler. Genel olarak amorf yapıdadırlar (Ambrose, 2002).



Şekil 4.9.6.1.1. SiO_2 'nin yapısı (Zhigilei, 2002)

Soda-Kireç Camı (Pencere Camı): Silise soda (Na_2O) ve kireç (CaO) katıldığında Si-O bağlarının sürekliliği bozulur ve ergime sıcaklığı $650 - 815^\circ\text{C}$ civarına düşer. Viskozitesinin de azalması nedeniyle işlenmesi kolaylaşır. CaO aynı zamana camın suya ve kimyasal maddelere karşı direnci artırır ve sertliğini yükseltir. Bu camın ısıl genişleme sayısı yüksek ve ısıl iletkenliği düşük olduğundan ısı şokuna dayanmaz, kolaylıkla kırılır. Genellikle pencere camı, şişe ve ucuz cam eşya üretiminde

kullanılır. Tipik bileşimi; %70 SiO₂ + %15 Na₂ + %10 CaO'dur. Soda-kireç camını kristal yapısı şekil 4.9.6.1.2'da görülmektedir.



Şekil 4.9.6.1.2. Soda-kireç camının kristal yapısı (Zhigilei, 2002)

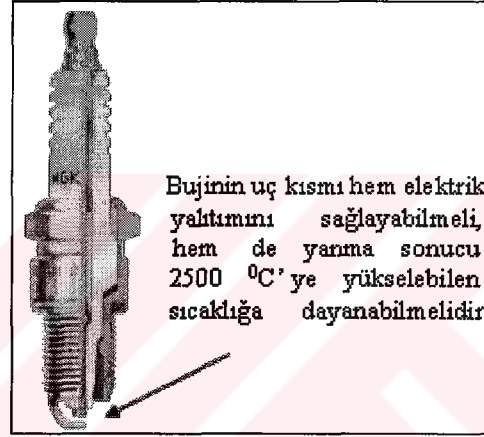
Kurşunlu Cam: Silise kireç (CaO) yerine kurşun oksit (PbO) katılırsa camın ışığı kırma ve yayma özeliği yüksek olur. Parlak ve parıldayan bir görünüme sahip olduğundan halk dilinde kristal denilen cam eşya üretiminde kullanılırlar.

Bor-Silikat Camı: Silise bor oksit (B₂O₃) katılırsa kuvvetli kovalent bağlar sürekliliğini korur. Bor-silikat camının ısıl genleşme katsayısı, pencere camını yarısı kadardır. Kimyasal etkilere ve yüksek sıcaklığa dayanıklı bu camın ısıl şok direnci de çok yüksektir. Laboratuvar aletleri ve ateşe dayanıklı cam eşya üretiminde kullanılan bu cam türüne endüstride “pyrex” de denir.

Pişmiş Kül Ürünleri: Porselen, fayans ve tuğla gibi geleneksel seramiklerin hepsi kilden yapılmışlardır. Kil, yeryüzünde bulunan taşların hava akımları nedeniyle aşınması sonucu meydana gelir. En önemli kil türü kaolendir. Kaolen Al₂(Si₂O₅)(OH₄) tabakalı yapıya sahiptir. Kilden üretilen refrakter malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve iyi ısı yalıtımı sağlarlar.

4.9.6.2. İleri Teknoloji Seramikleri

Alümina (Al_2O_3), zirkonya (ZrO_2), silisyum nitrür (Si_3N_4) ve bor karbür (B_4C) gibi ileri teknoloji seramikleri, gerek yapı seramikleri olarak (takım malzemeleri, motor parçaları, buji izolatörü vb.), gerekse de fonksiyonel seramikler olarak (piyezoelektrik ve dielektrik malzemeler, optik kablolar, süper iletkenler, vb.) yaşantımıza büyük ölçüde girmiştir. Şekil 4.9.6.2.1’de bujilerde kullanılan seramik kısımlar görülmektedir.



Şekil 4.9.6.2.1. Benzinli motorlarda kullanılan bir buji (www.bosch.com.tr, 2002)

Üretimleri büyük dikkat ve hassasiyet gerektiren bu seramikler oldukça pahalıdırlar. Ergime sıcaklıkları $2000^{\circ}C$ 'in üzerindedir. Kırılma tokluğu yüksek, aşınmaya karşı dayanıklıdırlar. Birçok avantajlarının yanında seramiklerin kırılğan olması çalışmaları büyük ölçüde bu yöne kaydırmıştır.

4.9.7. Seramiklerin Özellikleri

4.9.7.1. Mekanik Özellikler

Seramikler genelde çok sert ve gevrekler. Basma mukavemetleri çok yüksek olmakla beraber, çekme mukavemetleri çok düşüktür. Kaymaya karşı dirençleri çok yüksektir. Aşınmaya karşı dayanıklıdırlar. Ayrıca bazı seramikler çok sert olduklarından aşındırıcı malzeme olarak da geniş ölçüde kullanılmaktadırlar.

4.9.7.2. Elektriksel Özellikleri

Seramikler genellikle yalıtkan ve dielektrik malzemelerdir. Elektriği iletmezler, fakat elektrik alanına tepki gösterirler. Elektriksel alanda oluşan kutuplaşma nedeniyle yzeylerinde bzyk olđude elektron depo edebilirler. Yksek dielektrik özelliğine sahip seramikler kondansatör üretiminde kullanılırlar. Bazı seramikler (Fe_3O_4 ve NiO gibi) yarı iletkenlik özelliğine sahiptirler.

4.9.8. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://users.ox.ac.uk/~roberts/sgrgroup/lectures/introceram/>

<http://surphy.fat.bme.hu/pub/MaterSci/>

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures>

<http://benz.nchu.edu.tw>

<http://www.people.virginia.edu>

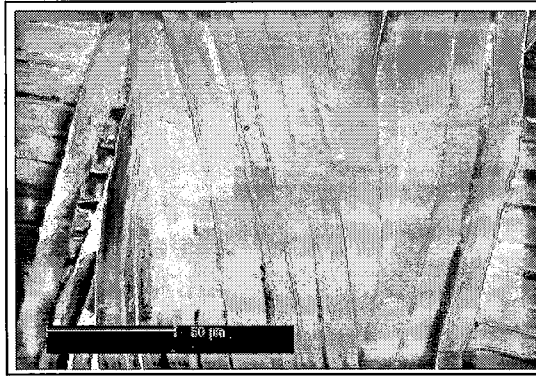
4.10. Polimer Yapıları, Uygulamaları ve İşlemleri

Bu bölümde hidrokarbon ve polimer molekülleri, polimer moleküllerinin kimyası, moleküler ağırlık ve şekli, moleküler yapı ve konfigürasyonları, kopolimerler ile polimer kristalleri hakkında bilgi verilecektir.

4.10.1. Polimerler

Polimerler $10.000 - 1.000.000 \text{ (g.mol)}^{-1}$ moleküler ağırlığa sahip çok büyük organik moleküllerdir. Bu çok büyük molekülleri elde etmek için küçük moleküllerin birleştirilme işlemine “polimerizasyon” denilmektedir. Polimerler selüloz yada DNA gibi doğal, yada naylon veya polietilen gibi sentetik olabilirler.

Polimerler hafif, korozyon dirençli, elektriksel yalıtıcılar, ancak genelde düşük çekme dayanımına sahiptirler. Yüksek sıcaklıklarda kullanımları uygun değildir. Polimerler oyuncak, ev eşyası, kaplamalar, boyalar, yapıştırıcılar, otomobil lastikleri üretimi vb. pek çok alanda kullanılırlar. İpek böceği tarafından kozada üretilen ipek elyaf şekil 4.10.1.1’de görülmektedir.

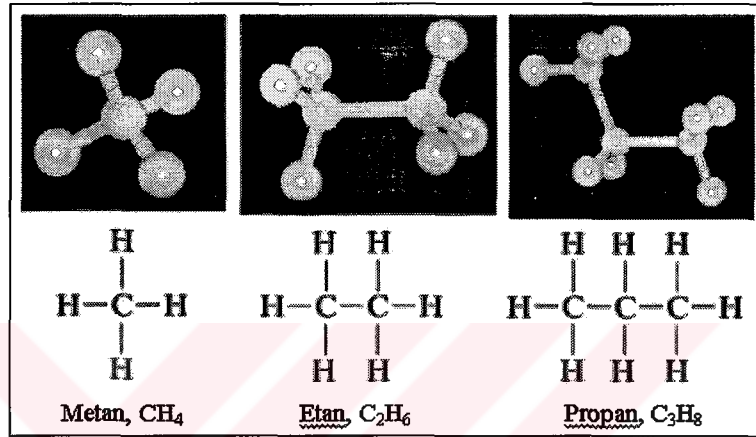


Şekil 4.10.1.1. İpek böceği tarafından kozada üretilen ipek elyaf (Zhigilei, 2002)

Günümüzdeki önemli araştırmaların pek çoğu polimerlerdeki problemleri kapsamaktadır. Canlı organizmlar temelde polimerize edilmiş amino asitler (proteinler), nükleik asitler (RNA ve DNA) ve diğer polimerlerden oluşmuştur.

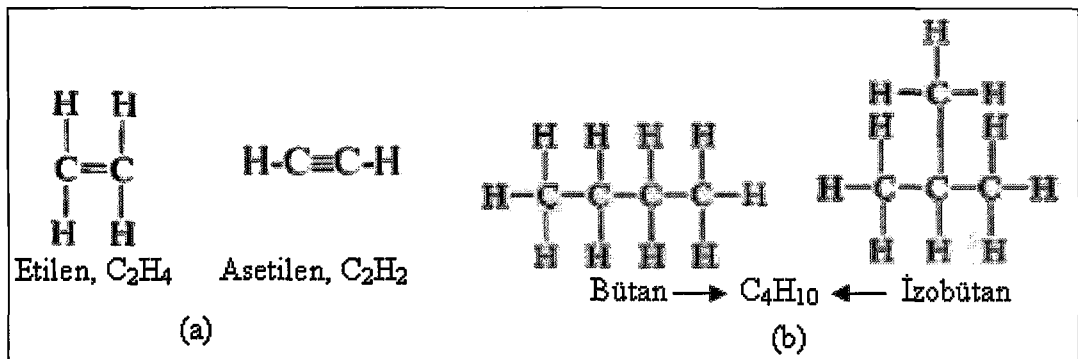
4.10.2. Hidrokarbon Molekülleri

Çoğu polimerler organikler ve hidrokarbon moleküllerinden oluşturulmuşlardır. Her C atomu bağlara paylaştırılmış dört e⁻ 'ye sahiptir. Her H atomu bir bağlanan e⁻'ye sahiptir. Doymuş hidrokarbon moleküllerinin örnekleri şekil 4.10.2.1'de görülmektedir.



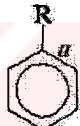

Şekil 4.10.2.1. Doymuş hidrokarbon moleküllerinin örnekleri (Zhigilei, 2002)

C atomlarının arasında, şekil 4.10.2.2.a'da görüldüğü gibi ikili ve üçlü bağlar olabilir (iki yada üç elektron çiftinin paylaşılması). Bu bağlar doymamış bağlar olarak adlandırılırlar. Doymamış moleküller çok reaktiftirler.



Şekil 4.10.2.2.a. C atomları arasındaki ikili ve üçlü bağlar b. Bütan ve izobütanın molekül dizilişleri

İzomerler, farklı dizilişteki aynı atomların oluşturduğu moleküllerdir. Şekil 4.10.2.2.b'de görüldüğü gibi bütan ve izobütan buna bir örnektir.

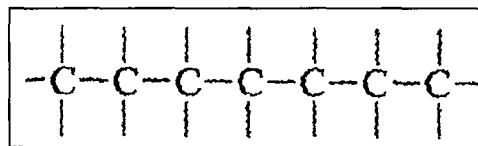
Aile	Karakteristik Birim	Temsilci Bileşik	
Alkoller	$R-OH$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H \end{array}$	Metil alkol
Eterler	$R-O-R'$	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H-C-O-C-H \\ & \\ H & H \end{array}$	Dimetil ether
Asidler	$\begin{array}{c} OH \\ \\ R-C \\ \\ O \end{array}$	$\begin{array}{c} H & OH \\ & \\ H-C-C \\ & \\ H & O \end{array}$	Asetik asit
Aldehidler	$\begin{array}{c} R \\ \\ C=O \\ \\ H \end{array}$	$\begin{array}{c} H \\ \\ C=O \\ \\ H \end{array}$	Formaldehit
Aromatik hidrokarbonlar			Fenol

Şekil 4.10.2.3. Çeşitli polimer yapıları

Organik grupların çoğu polimer molekülleri içermektedir. Şekil 4.10.2.3'de R radikalleri temsil etmektedir. Organik bir atom grubu, kimyasal reaksiyon sırasında kimliğini korur (örneğin CH_3 , C_2H_5 , C_6H_5).

4.10.3. Polimer Molekülleri

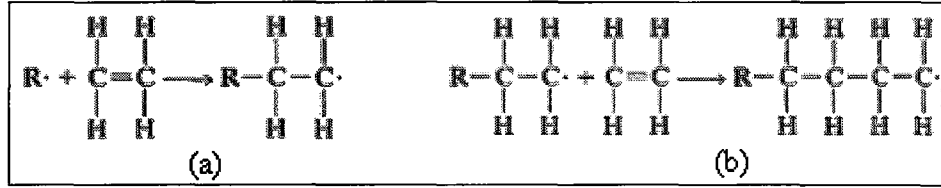
Polimer molekülleri çok geniştir ve "makro moleküller" olarak adlandırılırlar. Polimerlerin çoğu C atomlarının bir omurga gibi dizilişyle, esnek ve uzun zincirlerden oluşurlar (Şekil 4.10.3.1.). Bir polimer zincirinde tekrarlanan birim ("birim hücre") "mer" olarak adlandırılır. Yalnız tek mer "monomer" olarak adlandırılır (Erdoğan, 1998).



Şekil 4.10.3.1. Polimer molekülü

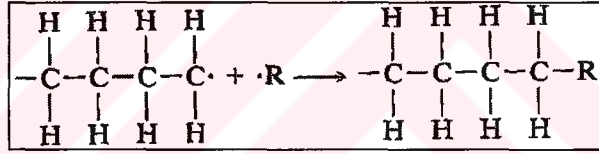
4.10.4. Polimer Moleküllerinin Kimyası

Etilen (C_2H_4) oda sıcaklık ve basıncında gaz haldedir. (\cdot)' lar eşleşmemiş elektronları göstermektedir. Polimerizasyon başlatma reaksiyonu, hızlı yayılma ve sonlandırma aşamalarıyla oluşur. Hızlı yayılmada ~ 1000 mer ünitesi 1-10 ms. 'de yayılır.



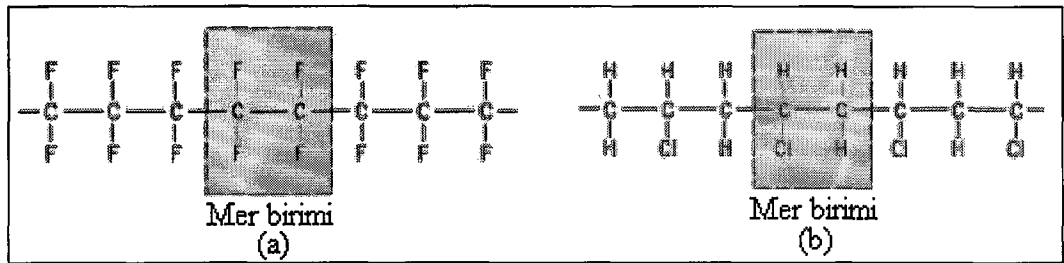
Şekil 4.10.4.1.a. Başlatma reaksiyonu b. Hızlı yayılma

Sonlandırmada, tek aktif bağlı diğer türler yada karşılaşmanın başlamasıyla sonlandırılan aktif zincir yada birbiriyle buluşan iki aktif zincir sonlandırılır.

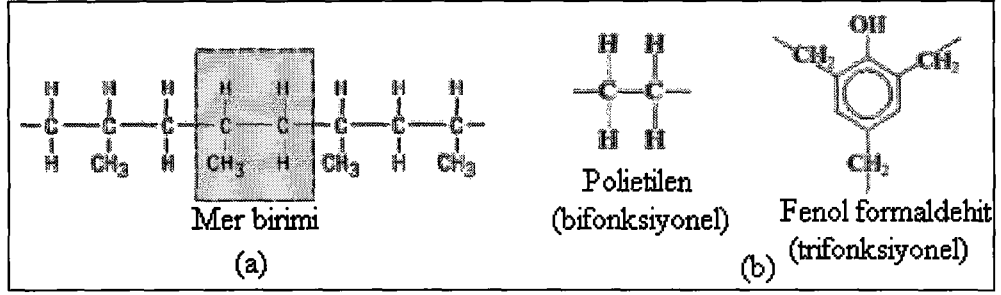


Şekil 4.10.4.2. Sonlandırma

Polietilendeki hidrojen atomları yerine konulursa teflon olarak bilinen politetrafloretilen (PTFE) oluşturulur. Cl atomlu polietilende her dördüncü hidrojen atomunun yerine konulmasıyla polivinil klorid (PVC) oluşturulur. CH_3 metil gruplu polietilende her dördüncü hidrojen atomunun yerine konulmasıyla polipropilen oluşturulur.



Şekil 4.10.4.3.a. Politetrafloretilenin yapısı b. Polivinil kloridin yapısı (Callister, 2000)



Şekil 4.10.4.4.a. Polipropilenin yapısı b. Bifonksiyonel ve trifonksiyonel yapılar

Bütün merlerin aynı olduğu moleküller “homopolimer” olarak adlandırılırlar. Mevcut mer türlerinin birden daha fazla olduğu moleküller “kopolimer” olarak adlandırılırlar. Diğer merlerle bağlanmak için iki aktif bağa sahip olan mer üniteleri “bifonksiyonel” olarak adlandırılırlar. Diğer merlerle bağlanmak için üç aktif bağa sahip olan mer üniteleri “trifonksiyonel” olarak adlandırılırlar.

4.10.5. Moleküler Ağırlık

Son moleküler ağırlığı (zincir uzunluğu) polimerizasyon adımları olan başlatma, yayılma, sonlandırmanın relatif oranları tarafından kontrol edilir. Polimerizasyon esnasında makromoleküllerin teşkili moleküler ağırlık ve zincir uzunluğunun dağılımında sonuçlanır. Ortalama polimer zincir boyunu ifade etmenin bir diğer yolu zincirdeki mer ünitesinin ortalama numarası olan polimerizasyon derecesidir. Moleküler ağırlıkla birlikte erime / yumuşama sıcaklığı artmaktadır (~ 100.000 g/mol'e kadar) (Stat, 2002).

$$\overline{M}_n = \sum x_i M_i \quad \overline{M}_w = \sum w_i M_i \quad \overline{M}_n = \text{ortalama numara}$$

$$\overline{M}_w = \text{ortalama ağırlık}$$

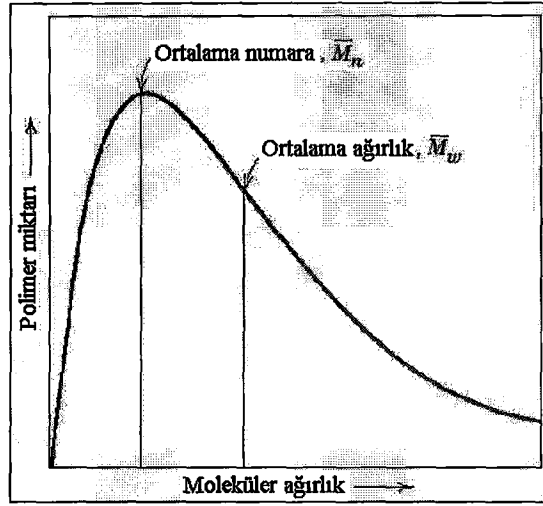
$$n_m = \frac{\overline{M}_n}{m}$$

$$n_w = \frac{\overline{M}_w}{m}$$

$W_i = i$ zincir uzunluğunun ağırlık bölümü

$X_i = i$ zincir uzunluğunun numara bölümü

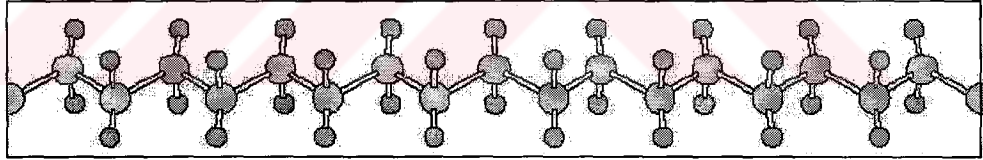
$\overline{m} =$ mer moleküler ağırlığı



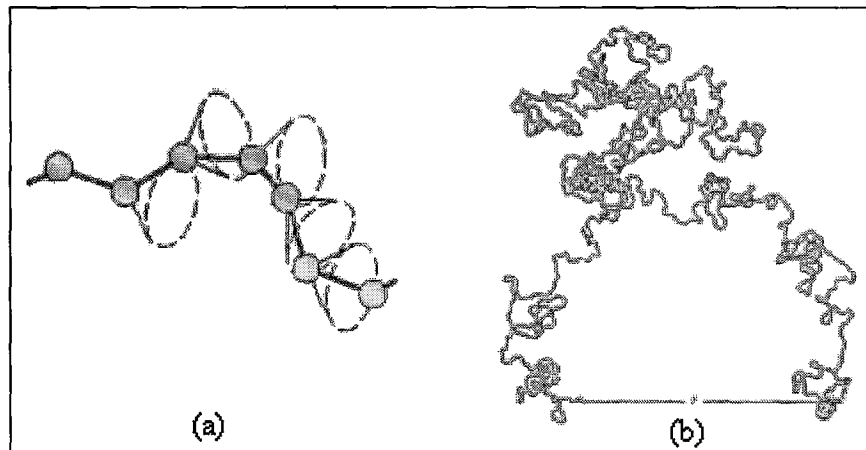
Şekil 4.10.5.1. Moleküler ağırlık ve polimer miktarının değişimi (Callister, 2000)

4.10.6. Moleküler Şekil

Tek bağlı karbon atomları arasındaki açı yaklaşık 109° 'dir. Polimer molekülündeki karbon atomlarının şekli zigzag bir desenededir (şekil 4.10.6.1). Tekli C-C bağları etrafında dönebilen polimer zincir bağları arasındaki 109° 'lik açı korunur (ikili ve



Şekil 4.10.6.1. Moleküler şekil (Rack, 2002)

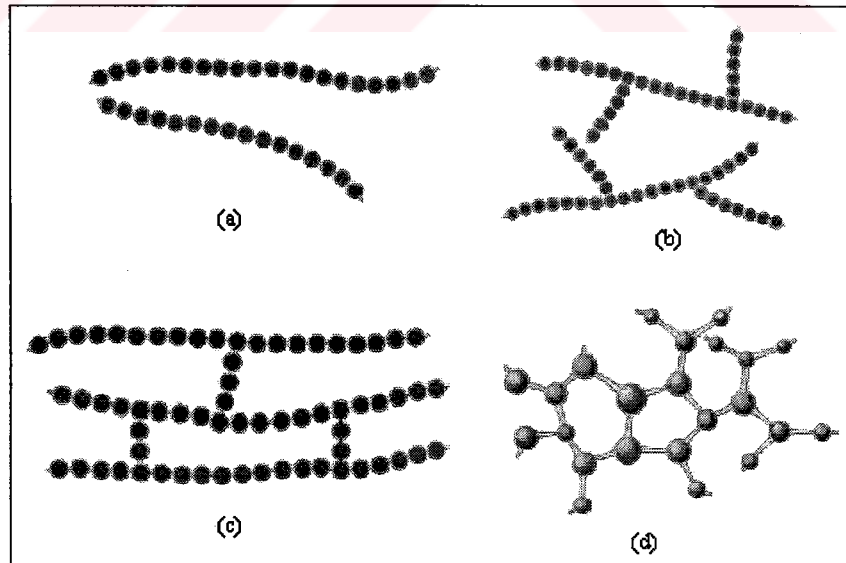


Şekil 4.10.6.2.a. Tekli C-C bağları etrafında dönebilen polimer zincir bağları
b. Moleküler zincirler (Callister, 2000)

üçlü bağlar oldukça rijittir). Rasgele dolaşanlar ve sarımlar spagetti yapısındaki gibi karışıklığa sebep olur. Moleküler zincirler şekil 4.10.6.2.b’de görüldüğü gibi bükülmüş, sarımlı ve dolaşmış olabilir. Komşu zincirler birbirine sarımlı ve dolaşmış olabilir. Kauçuğun geniş elastik uzantısı bu sarımlı zincirlerin çözümüne uymaktadır. Mekanik ve termal karakteristikler zincirlerin yeteneğine bağlıdır.

4.10.7. Moleküllerin Yapısı

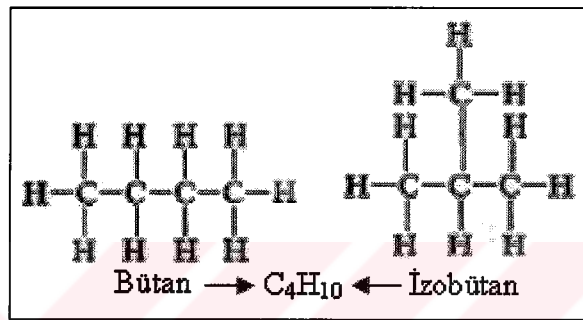
Polimer malzemelerin fiziksel karakteristikleri sadece moleküler ağırlığa ve şekline değil, aynı zamanda molekül yapısına da bağlıdır. Molekül yapıları doğrusal, dallandırılmış, çapraz bağlı ve ağ polimerler olmak üzere dört çeşittir. Doğrusal polimerlerde zincirler arasında “van der Waals” bağları vardır. Polietilen ve naylon buna örnektir. Dallandırılmış polimerlerde doğrusal polimerlerde karşılaşılan düşük yoğunluk, zincir paketleri verimliliği azaltılmıştır. Çapraz bağlı polimerlerde zincirler kovalent bağlarla bağlanmıştır. Zincirler arasındaki kovalent bağ şekilleri sık sık atom yada molekül eklemeyi başarırlar. Pek çok kauçuk bu yapıya sahiptir. Ağ polimerlerde ise trifonksiyonel merlerden üç boyutlu ağlar yapılmıştır. Reçine ve fenolformaldehit buna bir örnektir.



Şekil 4.10.7.1.a. Doğrusal b. Dallandırılmış c. Çapraz bağlı d. Ağ polimer yapıları (Rack, 2002)

4.10.8. İzomerizm

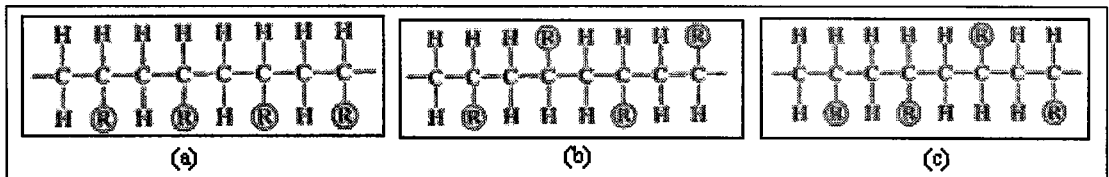
Aynı düzendeki hidro karbon bileşiklerinin farklı atomik düzenlemeye sahip olabilmesine “izomerizm” denir. Fiziksel özellikler izomerik duruma bağlıdır (örneğin normal bütanın kaynama sıcaklığı $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, izobütanınki ise $-12.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. İzomerizmin stereo izomerizm ve geometrik izomerizm olmak üzere iki tipi mümkündür.



Şekil 4.10.8.1. Bütan ve izobütanın molekül dizilişleri

4.10.8.1. Stereo İzomerizm

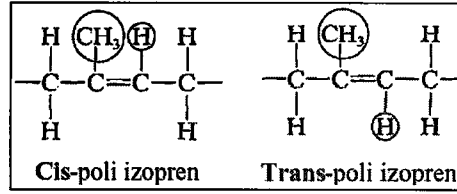
Bu tipte atomlar birbirlerine aynı düzende bağlıdırlar, fakat farklı uzaysal düzenlemeye sahiptirler. İzostatik, sindiotaktik ve ataktik konfigürasyon olmak üzere üç çeşidi vardır. İzostatik konfigürasyonda bütün kenar gruplarındaki R'ler zincirin aynı kenarındadır. Sindiotaktik konfigürasyonda kenar gruplarındaki R'ler zincirin değişik kenarlarındadır. Ataktik konfigürasyon R gruplarının yönelimi zincir boyunca rasgeledir.



Şekil 4.10.8.1.1. a. İzostatik b. sindiotaktik c. ataktik konfigürasyonlar

4.10.8.2. Geometrik İzomerizm

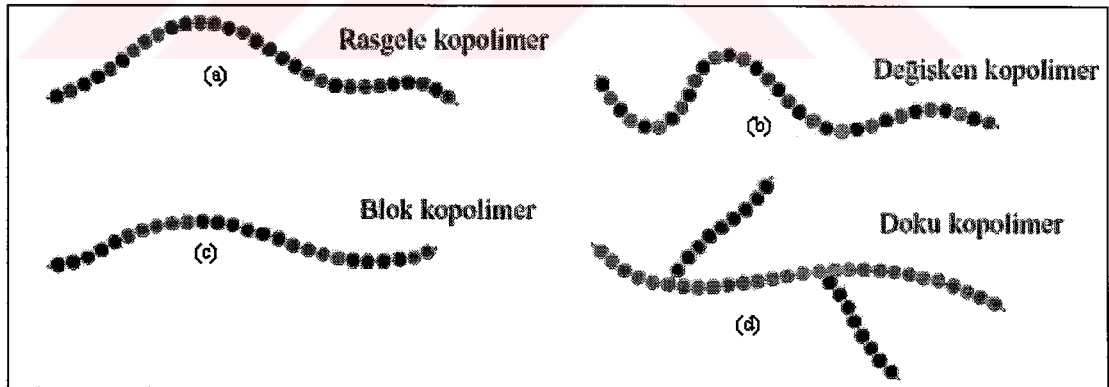
Dikkate alınan iki karbon atomu zincirde bir çift bağ ile bağlanmıştır. H atomu yada radikal R, bu iki atoma zincirin aynı kenarında (cis yapısı) yada zincirin karşı tarafında (trans yapısı) bağlanmış olabilir.



Şekil 4.10.8.2.1. Geometrik izomerizm

4.10.9. Kopolimerler

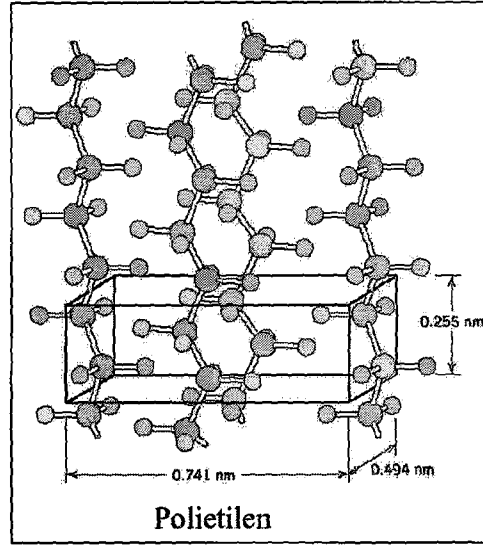
Kopolimerler farklı merlerden oluşturulmuşlardır. En az iki farklı tip merden oluşan polimerlerdir. Fark merlerin düzenlenmesindedir. Sentetik kauçuklar kopolimerdirler.



Şekil 4.10.9.1. Kopolimer çeşitleri (Zhigilei, 2002)

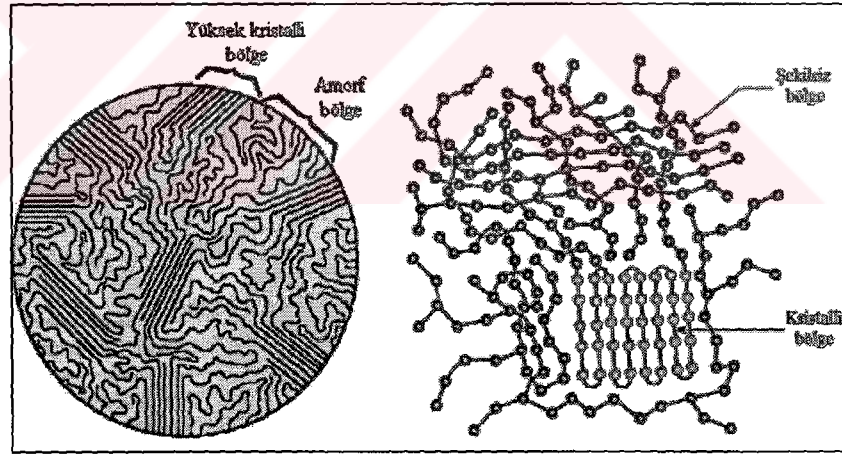
4.10.10. Polimer Kristalleri

Polimer kristallerindeki atom dizilişleri metal yada seramiklerdekinden çok daha karmaşıktır (birim hücreler geniş ve karmaşıktır).



Şekil 4.10.10.1. Polimer kristalleri (Zhigilei, 2002)

Polimer molekülleri amorf malzemelerde dağıtılmış kristalli bölgelerle genelde kısmen kristaldirler (yarı kristalli).



Şekil 4.10.10.2. Kristalli ve amorf bölgeler (Zhigilei, 2002)

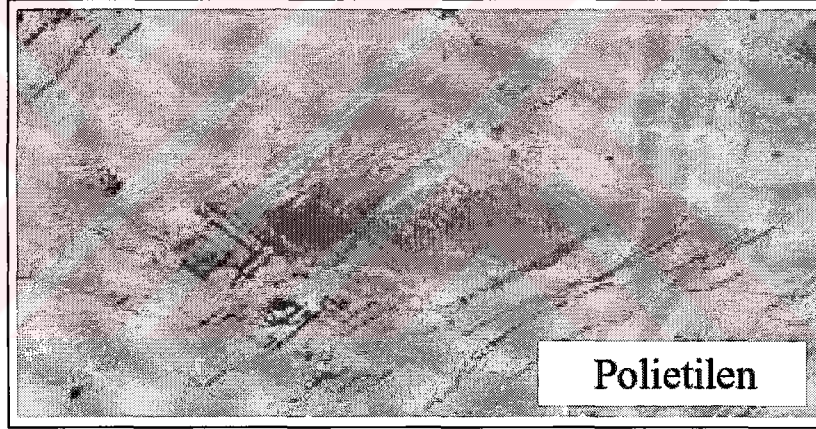
Kristallilik derecesi şöyle belirlenir:

- Katılma esnasındaki soğutma oranı: Bir kristal yapısında zincirlerin hareket etmesi ve sıraya konması için zamana ihtiyaç vardır.
- Mer Karmaşıklığı: Kristalleşme karmaşık yapılarda pek uygun değildir. Polietilen gibi malzemelerde ise kademeli olarak daha kolaydır.
- Zincir Konfigürasyonu: Doğrusal polimer kristalleşmesi göreceli olarak kolaydır. Dallar kristalleşmeyi engeller. Ağ polimerleri hemen hemen

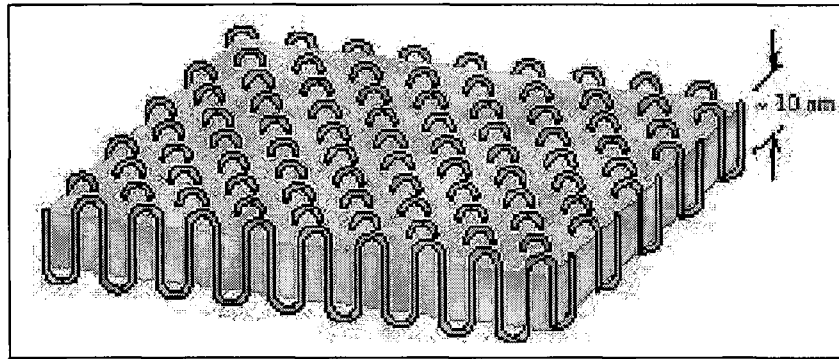
karmaşık amorf, çapraz bağlı polimerler ise hem kristalli hem de amorf olabilirler.

- d. İzomerizm: İzotaktik, sindiotaktik polimerlerin kristalleşmesi göreceli olarak kolaydır. Geometrik düzenlilik zincirlerin birbirlerine geçmelerine izin verir. Ataktik polimerlerin kristalleşmesi ise zordur.
- e. Kopolimerizm: Eğer mer düzenlemesi çok düzenliyse kristalleşme kolaydır. Blok rasgele ve doku tipleriyle karşılaştırıldığında daha kolay kristalleşebilir.

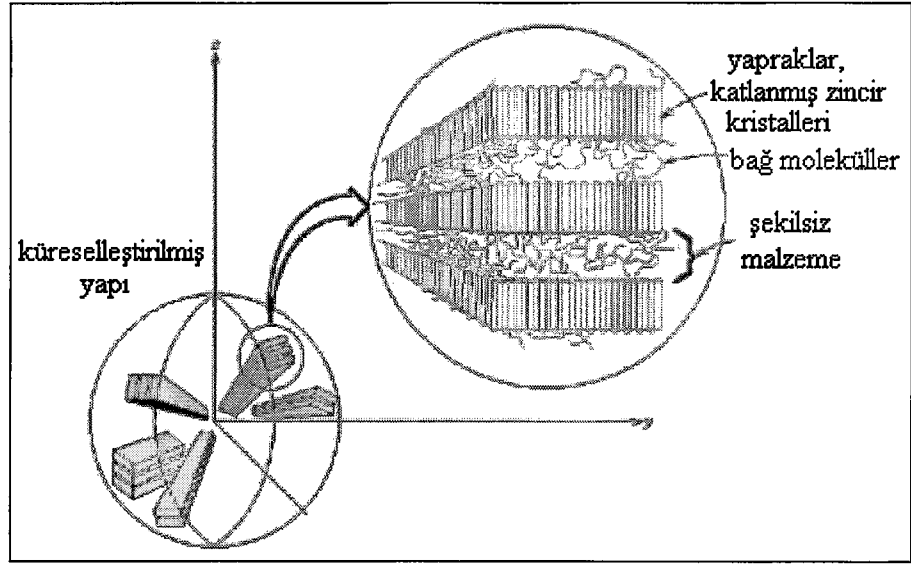
Daha çok kristalleşme yüksek yoğunluk, yüksek gerilme, ısı ile yumuşama ve erimeye karşı yüksek direnç demektir. Ortalama zincir uzunluğu kristalin kalınlığından çok daha büyüktür. Yapraklı kristallerin bir araya toplanmasıyla ~10 nm kalınlığında, amorf malzeme tarafından ayrılarak küreselleşme meydana gelir.



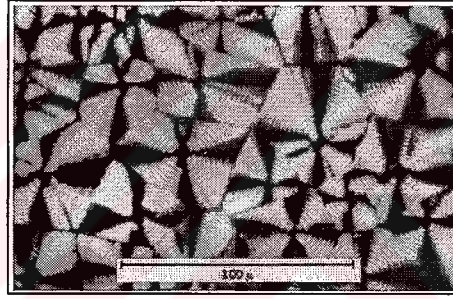
Şekil 4.10.10.3. Polietilen (Zhigilei, 2002)



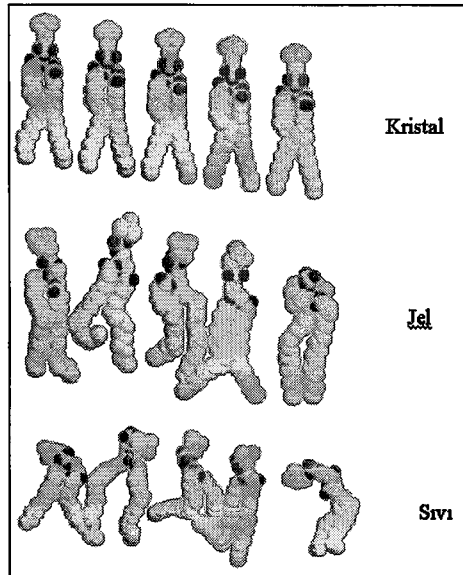
Şekil 4.10.10.4. Zincir uzunluğu ve kristal kalınlığı (Zhigilei, 2002)



Şekil 4.10.10.5. Küreselleştirilmiş yapı (Callister, 2000)



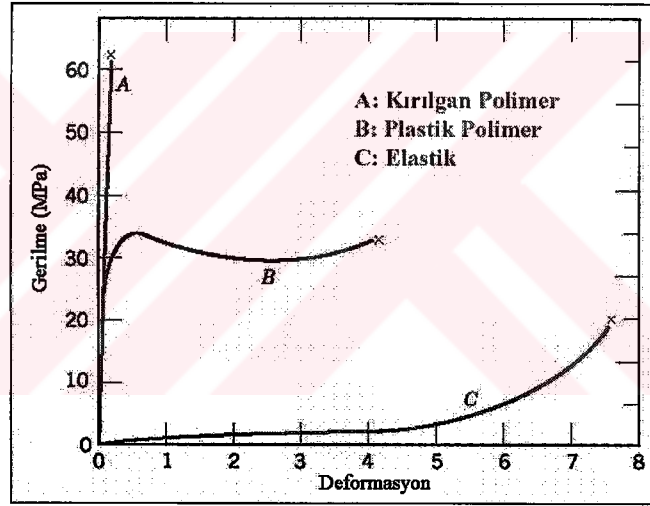
Şekil 4.10.10.6. Polietilenin küreselleştirilmiş yapısının mikroskop görüntü fotoğrafı (Zhigilei, 2002)



Şekil 4.10.10.7. Kristal, jel ve sıvı yapılarının gösterilmesi (Zhigilei, 2002)

4.10.11. Gerilme – Deformasyon Davranışı

Polimer malzemelerdeki gerilme-deformasyon davranışı metallerin davranışına benzemektedir. Şekil 4.10.11.1’de gösterilen grafikteki (A) eğrisi kırılğan, (B) eğrisi plastik ve (C) eğrisi de elastik malzemeleri göstermektedir. Polimerlerin elastiklik modülleri ~ 10 MPa–4 GPa arasındadır. Metallerde ise ~ 50–400 GPa arasındadır. Polimer malzemelerin çekme dayanımı ~ 10–100 MPa arasında iken metallerde bu değer yüzlerce MPa’den başlayıp, birkaç GPa’a kadar çıkmaktadır. Uzama polimer malzemelerde bazı durumlarda % 1000’lere kadar çıkabilmekte iken metal malzemelerde % 100’den küçük olmaktadır. Eğer sıcaklık artırılırsa elastiklik modülü azalır, çekme dayanımı indirgenir, süneklik artar.



Şekil 4.10.11.1. Gerilme – deformasyon davranışı (Callister, 2000)

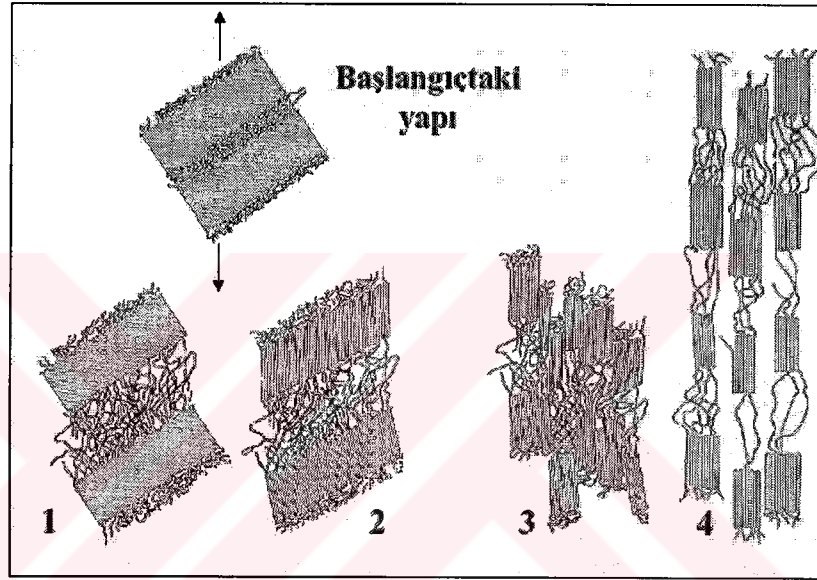
4.10.12. Yarı Kristalli Polimerlerin Deformasyonu

Yarı kristalli polimerlerde kristalli bölgeler amorf malzemeler tarafından ayrılmışlardır.

Elastik Deformasyon: Elastik deformasyonun temel mekanizması uygulanan kuvvetin yönündeki molekül zincirlerinin uzamasıdır. Elastiklik modülü amorf bölge, kristalli bölge ve mikro yapı tarafından tanımlanır.

Plastik Deformasyon: Plastik deformasyon kristalli ve amorf bölgeler arasındaki etkileşim ile tanımlanır ve kısmen ters yüz edilebilirler. Plastik deformasyonun aşamaları şunlardır:

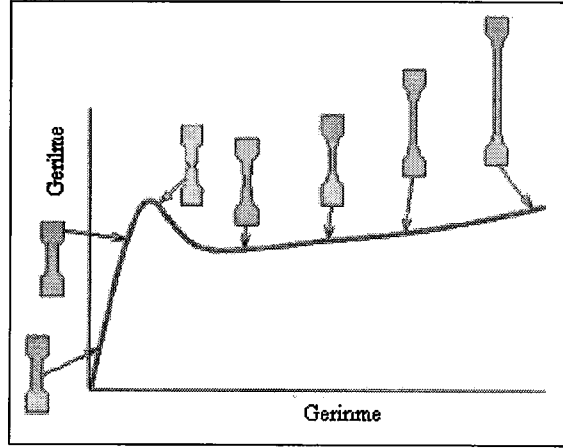
1. Amorf bağ zincirlerinin uzaması
2. Yapraklı kristal hatlarının gerilme eksenine doğru eğilmesi
3. Kristalli blok parçaların ayrılması
4. Kristalli bölgelerin ve amorf bölgelerin gerilme eksenine boyunca uzaması



Şekil 4.10.12.1. Yarı Kristalli Polimerlerin Deformasyonu (Zhgilei, 2002)

4.10.13. Yarı Kristalli Polimerlerin Plastik Deformasyonu

Makroskopik deformasyon boyun vermeyi içerir. Boyun bölgesinde kuvvet artması ve zincirlerin sıraya dizilmesi deformasyonu oluşturur. Bunun neticesinde numunenin boyunca boyun oluşur. Deformasyonun olduğu yer, sünek metallere farklı olarak başlangıçtaki boyun bölgesinde sınırlandırılmıştır.



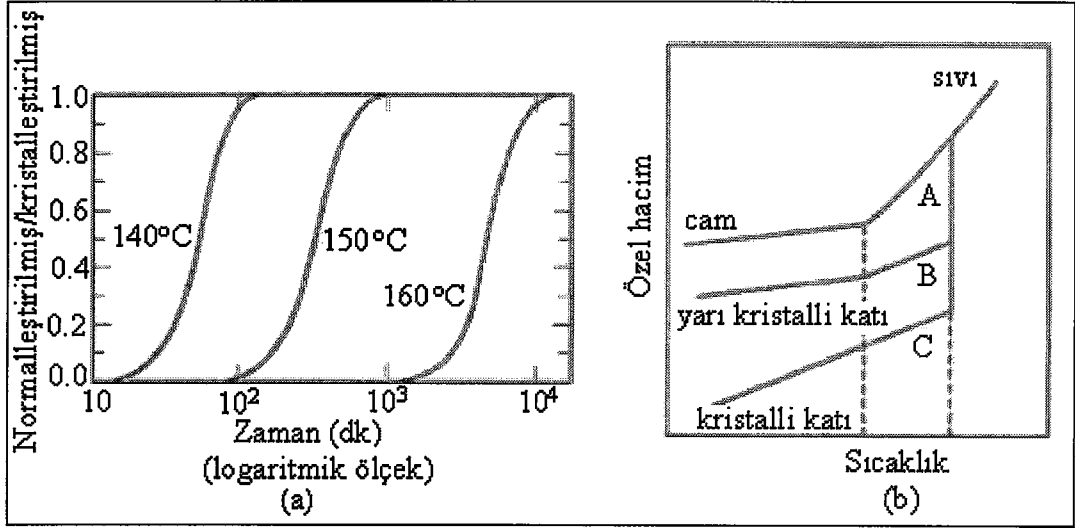
Şekil 4.10.13.1. Yarı kristalli polimerlerin plastik deformasyonu (Callister, 2000)

4.10.14. Mekanik Özellikleri Etkileyen Faktörler

- Sıcaklık ve deformasyon oranı.
- Zincir karışıklıkları, atomlar arası güçlü bağlar (van der Waals, çapraz bağlar) dayanımı artırır.
- Isıl işlem kristal büyüklüğünde ve düzeninde değişiklik.
- Çekme dayanımı moleküler ağırlıkla artar – karışıklık etkisi.
- Yüksek kristallik derecesi–güçlü sekonder bağlar–güçlü ve çok kırılğan malzeme

Kristalleşme: Normal olarak kristal polimerler, amorf veya camsı polimerlere göre yüksek yoğunluklara ve iyileştirilmiş mekanik özelliklere sahiptir. Basit zincirler ve yavaş soğuma hızları kristalleşmeyi teşvik ederler. Deformasyon ayrıca zincirleri doğrultarak ve sıraya koyarak tercihli bir yönelme oluşturur ve kristalleşmenin derecesini artırır. Bu, polimerlerde pekleşmenin eşitlenmesine neden olur.

Cam Geçişi: Polimerler, sıvıların molekül yapı karakteristiklerinin karıştırıldığı sıcaklığın üzerinde tutularak soğutulduğunda (viskozitesi arttırıldığında) rijit katılar olmaktadır. Yarı kristal polimerlerin erime davranışı saf amorf malzemelerin ve kristalli malzemelerin arasında orta seviyededir.



Şekil 4.10.14.1.a. Kristalleşme b. Cam geçişi

Cam geçiş sıcaklığı erime sıcaklığının 0.5 ve 0.8'i arasındadır. Erime sıcaklığı ısıtılma oranıyla artmaktadır ve lamellerin kalınlığı ile malzemelerin tarihine bağlıdır. Erime ara zincir bağlarının kırılmasını içerir, bundan dolayı cam ve erime sıcaklığı şunlara bağlıdır:

- Zincir sertliği (örneğin tek bağlara karşı çift bağlar)- rijit zincirler yüksek erime sıcaklığına sahiptirler.
- Molekülün büyüklük/ağırlığı-molekül ağırlığı artırıldıkça artar.
- Büyüklik, kenar gruplarının şekli, kenar dallanmalar, çapraz bağlar, bozukluk, vb.

Aynı molekül karakteristiklerinin artırılması ve erime ve cam geçiş sıcaklıklarının her ikisinin de düşürülmesi gerekmektedir. Erime ve cam geçiş sıcaklıkları ve polimer özellikleri molekül ağırlığına bağlıdır.

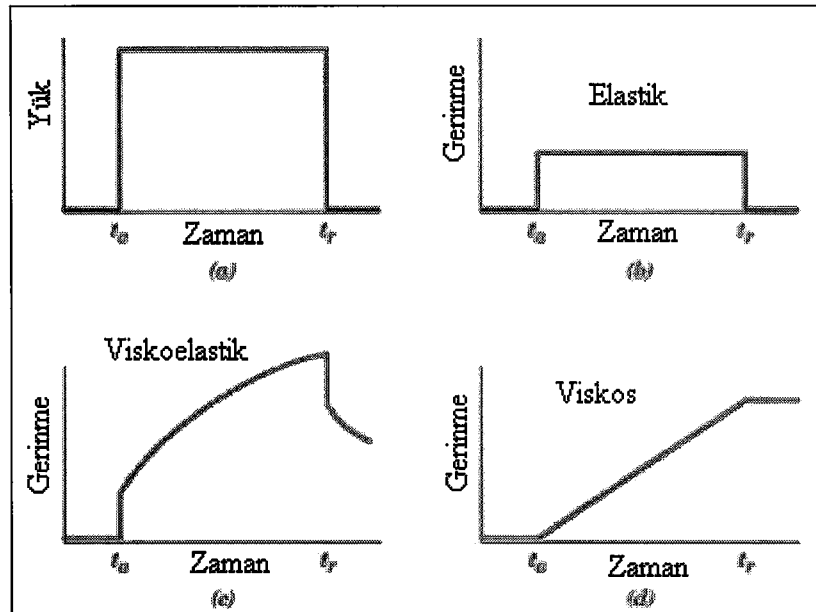
4.10.15. Termoplastik ve Termoset Polimerler

Termoplastik Polimerler (Termoplastikler): Termoplastik polimerler miktar itibariyle en büyük plastik grubu temsil ederler. Termoplastikler oda sıcaklığında serttirler. Sıcaklığın artması ile elastik hale gelirler ve ısıtmaya devam edilmesi halinde yumuşak plastik ve en sonunda sıvı hale gelirler. Isıtılmış plastik kitlenin

soğutulmasıyla sıvı, yumuşak ve elastik durumu takip ederek sert plastik malzeme durumuna dönüşürler. Termoplastikler sıcakta şekillendirilebilir ve kaynak edilebilirler. Bu plastikler ısıtılma esnasında yumuşadıklarından, termoplastikler olarak adlandırılırlar. Plastiklerin ısıtılması ancak belirli bir sınır değerine kadar mümkündür. Çünkü bu sıcaklığın aşılması halinde termoplastikler bozulurlar.

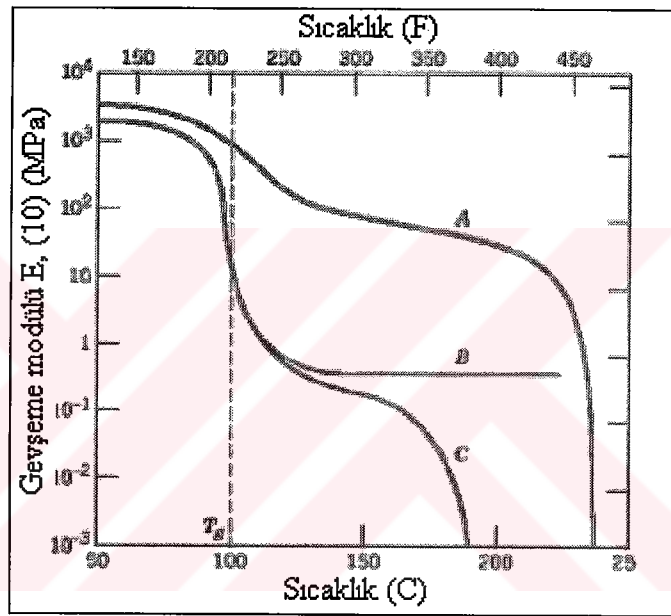
Termoset Polimerler (Termosetler): Bu tip polimerler ısıtıldıklarında sürekli sertleşirler. Tipik olarak termoset polimerleri ilk olarak çizgisel zincirleri üretmekle, daha sonra üç boyutlu bir iskelet yapısı oluşturmak için zincirleri çapraz bağlanmakla oluşturulur. Bir yoğunlaşma reaksiyonu orijinal zincirlerin veya çapraz bağlanma zincirlerinin oluşumunu gerektirebilir. Genellikle termoset polimer malzemeler iki kısım sıvı reçinede elde edilir. İki kısım karıştırıldığında çapraz bağlanma reaksiyonu başlar.

Vizkoelastiklik : Amorf Polimerler, düşük sıcaklıktaki cam, orta seviye sıcaklıktaki kauçuk, yüksek sıcaklıktaki sıvı vizkos; düşük sıcaklıklarda küçük deformasyonlardaki elastik deformasyon. Deformasyon yük uygulandığında aniden oluşur ve ters çevrilebilir.



Şekil 4.10.15.1. t_a 'da yük uygulanmış ve t_r 'de serbest bırakılmıştır (Callister, 2000)

Yüksek sıcaklıklarda vizkos davranışı, deformasyon zamana bağlıdır ve ters çevrilemez. Orta seviyedeki sıcaklıklarda vizkoelastik davranış. Ani elastik deformasyonu, deformasyona bağlı vizkos zamanı takip eder. Vizkoelastik davranış deformasyon oranı tarafından belirlenir. Vizkoelastiklik vizkoelastik gevşeme modülü tarafından karakteriz edilmektedir. Gerilme moleküler rahatlama işlemi nedeniyle zamanla azalır. Gevşeme modülü $E_r(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon}$ formülüyle hesaplanabilir. E_r aynı zamanda sıcaklık fonksiyonudur.



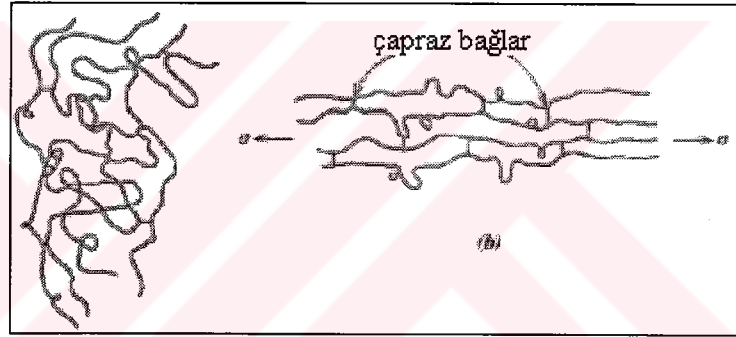
Şekil 4.10.15.2. Farklı polimer yapıları için gevşeme modülünün sıcaklığa bağlı değişimi (Callister, 2000)

Farklı polimer yapıları için gevşeme modülünün sıcaklığa bağlı değişimi şekil 4.10.18.2’de gösterilmektedir. Şekilde A: Geniş olarak kristalli izotaktik polistiren. Cam geçiş bölgesi amorf malzemenin küçük bir miktarıyla sınırlandırılmıştır. B: Hafifçe çapraz bağlı ataktik polistiren. Ayrışma sıcaklığına uzatılan kayışimsı bölge: erime yok. C: Amorf polistreni göstermektedir.

Vizkoelastik Sürünme: Polimerlerin çoğu zamana bağlı sabit yük altındaki deformasyona duyarlıdır. Sürünme oda sıcaklığında ve düşük gerilmeler altında önemli olabilir. (akma mukavemetinin altında). Sürünme testinin sonuçları zamana bağlı sürünme modülü tarafından tanımlanmıştır. $E_c(t) = \frac{\sigma_0}{\epsilon(t)}$

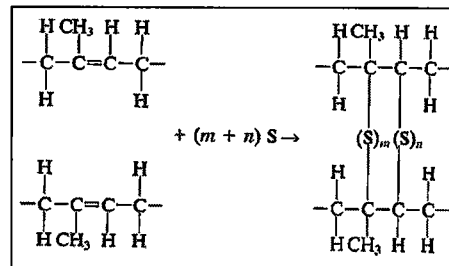
Elastomerler: Elastomerler çok yüksek kuvvetlerle deforme olabilirler ve yük ortadan kalktığında bir yay gibi orijinal boyutuna geri dönerler. Bu davranış ilk önce doğal kauçukta gözlenmiştir. Polimerlerin elastomerik olabilmek için aşağıdaki birkaç kriterle buluşması gerekmektedir:

- Kristalleşme direnci (elastomerler amorfurlar).
- Göreceli olarak serbest zincir dönmeleri (Gerilmesiz elastomerler sarılmış, bükülmüş yapıya sahiptirler. Deformasyon esnasında çözülürler).
- Çapraz bağların kesin derecesi (vulkanizasyon ile elde edilir). Bu derece plastik deformasyon derecesini artırır.
- Sıcaklık cam geçiş sıcaklığının üzerindedir (T_{cam} altında elastomerler kırılgan olmaktadır).



Şekil 4.10.15.3. Elastomerler (Zhigilei, 2002)

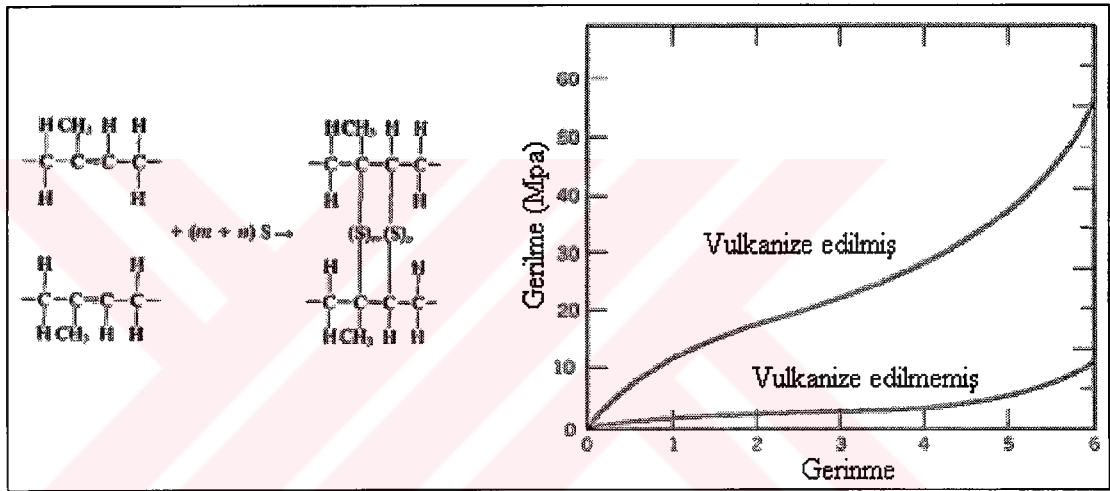
Vulkanizasyon: Elastomerik davranış için gerekenlerden bir tanesi çapraz bağlardır. Bu da vulkanizasyon ile elde edilebilir. Vulkanizasyon geri dönüştürülemez bir kimyasal reaksiyondur. Genellikle yüksek sıcaklıkta yapılır ve genellikle sülfür bileşiklerinin eklenmesini içerir. Çift bağlı karbonla sülfür atomlarının bağları çapraz bağlı köprü şeklindedir ve zincirdeki omurgadır.



Şekil 4.10.15.4. Vulkanizasyon

Vulkanize edilmemiş kauçuk yumuşaklığından dolayı problem olmaktaydı. Bu durumu ortadan kaldırmak için değişik yollar arandı ve değişik kimyasallarla kauçuklar işlendi. Nihayet 1839'da Charles Goodyear tesadüfen sülfür kaplanarak ısıtılan kauçuğun ısıtma ve soğutma altında güçlü ve dengeli olduğunu buldu.

Elastomerik malzemeler termoset polimerlerdir. Çünkü çapraz bağlıdır. Elastiklik modülü, çekme mukavemeti, oksidasyon dayanımı vulkanizasyonla artmaktadır. Çapraz bağların sayısı E'nin büyüklüğüyle orantılıdır. Çok fazla çapraz bağ gerilme yeteneğini azaltır.

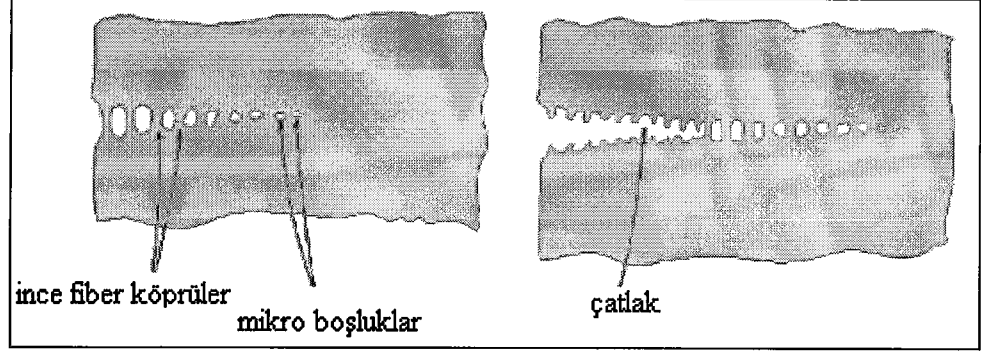


Şekil 4.10.15.5. Vulkanizasyon işlemi ve gerilme-gerinme grafiği

Polimerlerin Kırılması: Polimerlerin kırılma mukavemetleri seramik ve metallerle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Termoset plastiklerde kırılma oldukça kolay olmaktadır. Kırılma gerilme konsantrasyonunda başlamaktadır (kazıma, çentik vb.). Kırılma esnasında kovalent bağlar bölünür. Termoplastik polimerlerde sünek ve kırılma kırılmanın her ikisi de mümkündür. Kırılma kırılma düşük sıcaklıklarda, yüksek deformasyon oranlarında ve gerilme konsantrasyonlarında tercih edilmektedir. Sıcaklığın artırılması ile sık sık kırılmalardan süneklığe geçiş olmaktadır.

Camsı termoplastiklerin kırılmasında çatlaklık genellikle malzemenin boyunca ilerler. Oluşan çatlaklık akma bölgesiyle sınırlandırıldığında, mikro boşlukların dizilişi birbirine bağlanmış bir şekil alır. Boşluklar arasındaki molekül zincirlerinin

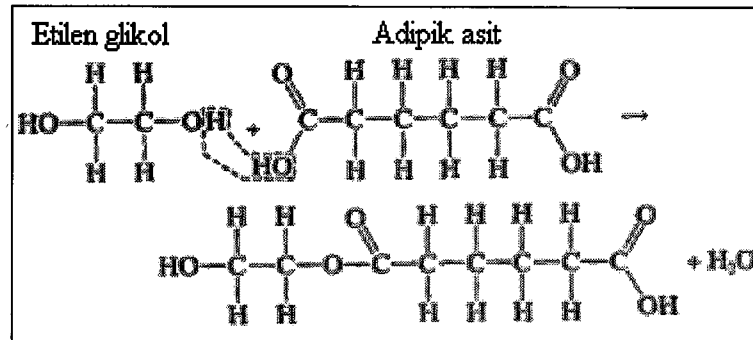
şekli ince elyaf köprülerine yöneliktir. Yeterince yüksek çekme yüklerinde bu köprüler uzar ve kırılır ve çatlak yayılması sağlanır. Çatlak kırılma enerjisini emer ve kırılma şiddetini artırır.



Şekil 4.10.15.6. Polimerlerin kırılması (Zhigilei, 2002)

Polimerizasyon: Polimerizasyon yağ yada kömür gibi ham malzemelerden yüksek polimerlerin sentezidir. Polimerizasyon şu aşamalardan oluşur:

1. Ekleme polimerizasyonu(zincir-reaksiyon), monomer ünitesi bağlanır. Üç tane belirgin sahne vardır:balangıç, yayılma ve sonlandırma.
2. Polimerizasyon yoğunlaşması, mer ünitesinin üretilmesi adım adım moleküller arası kimyasal reaksiyonlar ile, genellikle küçük ürünle ortadan kaldırılır. Polimerizasyon eklenmesinden önemli bir ölçüde daha yavaştır. Genellikle çapraz bağlı ve ağ polimer biçiminde şekillenebilen üç fonksiyonlu molekül biçimindedir.



Şekil 4.10.15.7. Polimerizasyon

4.10.16. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://www.matse.psu.edu/matse81/Spring%202003/LectureNotes/>

<http://web.utk.edu/~prack/mse201/>

<http://surphy.fat.bme.hu/pub/MaterSci/>

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures>

<http://benz.nchu.edu.tw>



4.11. Kompozitler

Kompozit malzemeler, şekil ve kimyasal bileşimleri farklı, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla sayıda makro bileşenin kombinasyonundan oluşan malzemelerdir. İki malzeme orijinal malzemelerden elde edilemeyen bir özellik kombinasyonunu elde etmek için birleştirilerek kompozitler üretilir. Kompozit malzemeler makro ölçüde heterojen karakterli yapıya sahiptirler. İç yapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı alaşımlar makro ölçüde homojen olmalarına karşılık mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir. Alaşımlı malzemeler ile kompozit malzemelerin birbirinden ayırt edilebilmesi için, tanımlamadaki farklılıklara dikkat edilmesi gerekir. Kompozit malzemelerde yapı bileşenlerinin makro boyutta oldukları kabul edilmektedir. Özellikle son yıllarda, günlük yaşantımızda ve değişik mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan malzemelerden biri plastiklerdir. Çok geniş bir uygulama alanına sahip olan bu malzemeler; düşük yoğunlukları, hammaddelerinin nispeten ucuz olması, değişik kitle üretim teknikleriyle ve düşük bir maliyetle şekillendirilebilmeleri, ürünlerde arzu edilen renklerin kazanılabilmesi gibi özellikleri ile tanımlanabilirler.

Kısaca PVC olarak tanınan polivinilklorür, teflon olarak bilinen politetraflörüretilen, naylon olarak tanıdığımız poliamidler, epoksi reçineleri, polyesterler bu tür malzemelere örnek gösterilebilir. Plastik tür malzemelerin mukavemet rijitlik ve ergime sıcaklıklarının düşük olması kullanım alanlarını sınırlayan başlıca etkenlerdir. Plastiklerin yukarıda özetlenen avantajlarından yararlanmak, arzu edilmeyen özelliklerini gidermek veya düşük düzeylerde tutabilmek için kompozit malzeme şeklinde dizayn edilmeleri mümkündür. Bunun için cam, grafit, asbest, mika, selüloz veya metallere yararlanılabilir. Örneğin cam fiberler (lifler) polyesterlerin pekiştirilmesinde çok kullanılan bir malzemedir. Cam, fiberler halinde üretildiğinde yüksek mukavemet ve rijitlik özellikleri gösterir. Ancak fiberlerin tek başlarına kullanım alanları ısı yalıtım gibi uygulamalarla sınırlıdır. Cam fiberler, polyester reçinelerle kombine olduğunda, iki malzemenin faydalı özelliklerini tek bir

malzemede toplamak mümkün olmaktadır. Şekil 4.11.1'de cam fiberler gösterilmektedir. Plastiğin düşük yoğunluğu (hafifliği), cam fiberlerin yüksek mukavemeti, mukavemet/yoğunluk oranı (spesifik mukavemet) yüksek olan bir malzemeyi meydana getirir. Malzemenin yüksek bir sertliğin yanı sıra, yüksek tokluk özelliğine de sahip olması ve darbe enerjilerini absorbe etmesi istenebilir. Yüksek sertlikteki malzemelerle, yumuşak, tok malzemelerin kompozit malzeme şeklinde tasarımları bu tür uygulamalar için de bir çözüm yolu olabilir. Zırhlı araçlar bunlara örnek olarak gösterilebilir. Yüksek sertlik ve mukavemetteki çelik saçlarla yumuşak, tok bir özelliğe sahip saçlar kaynakla birleştirildiğinde, dıştaki sert tabaka zırhın delinmesini önlerken, içerideki yumuşak tabaka deforme olarak darbe enerjisini absorbe eder. Örneklerden anlaşılacağı gibi kompozit malzemelere "ısmarlama malzeme" gözü ile bakılabilir. Yapı bileşenlerinin farklı karakteristik özellikleri, kompozit malzeme yapısında bütünleşir. Bu nedenle kompozitin sahip olduğu özelliklerin tümünü tek bir yapı bileşenlerinde görmek mümkün değildir (Stat, 2002).

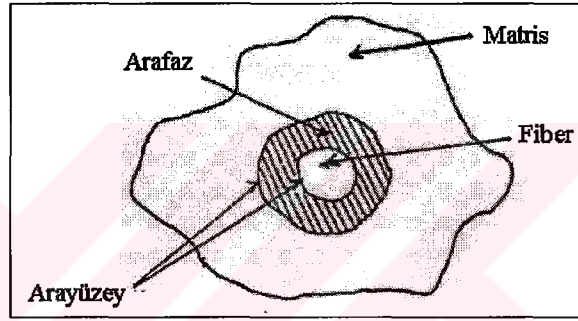


Şekil 4.11.1. Cam fiber

4.11.1. Kompozit Malzemelerde Yapı Bileşenleri

Kompozit malzemeler metalik, organik veya inorganik esaslı yapı bileşenlerinin kombinasyonundan oluşur. Mümkün kombinasyonlarında herhangi bir sınırlama olmamakla beraber yapı bileşenlerinin sahip olabilecekleri geometrik şekiller sınırlıdır. Matris, fiberler, partiküller, levhalar, tabakalar başlıca yapı bileşenleridir. Hacim bileşeni olan matrisin esas fonksiyonları; fiber, partikül, levha gibi diğer yapı bileşenlerinin kendi bünyesinde dağılmasını sağlamak, bu bileşenler arasında

bağlayıcı bir faz etkisi göstermek, malzemeye gelen gerilmeleri pekiştirici faza iletmek ve kompozit malzemenin uygun tekniklerle şekillendirilmesini sağlamaktır. Fiberler, partiküller, levhalar, tabakalar kompozitin iç yapısını oluşturan bileşenlerdir. Kompozit malzemeler en az iki yapı bileşeninden meydana geldiğinden bileşenler arasında sınır oluşturan bir ara yüzey mevcuttur. Bazı kompozitlerde yapı bileşenleri arasında ara faz olarak adlandırılan ayrı bir bölge görülebilir. Plastiklerin pekiştirilmesinde kullanılan cam fiberler üzerine uygulanan kaplama malzemeleri bir ara faz olarak kabul edilebilir. Bu ara faz cam fiberlerle ve plastik matrisle ayrı ayrı birer ara yüzey oluşturur (Şekil 4.11.1.1.).



Şekil 4.11.1.1. Fiber takviyeli kompozitlerin enine kesitinde arafaz ve arayüzeylerin görünümü

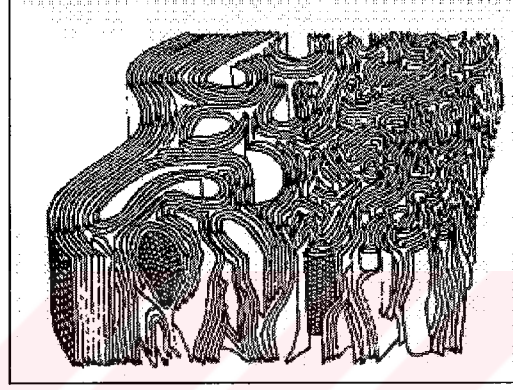
Arafazı meydana getiren sadece kaplama tabakaları değildir. Yapı bileşenlerinin birbiri içinde düşük oranlarda çözünmeleri sonucu ortaya çıkan katı eriyik bölgeleri veya bileşenleri arasındaki reaksiyonla oluşan kimyasal bileşikler de birer arafazdır.

4.11.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler yapı bileşenleri ve matris malzemesinin türüne göre iki grupta incelenirler. Yapı bileşenlerine göre: Fiber kompozitler, partikül kompozitler, levha kompozitler, dolgulu (veya kafes) kompozitler ve tabaka yapıli kompozitler olarak sıralanırlar. Matris malzemesinin türüne göre ise: Polimerik kompozitler, metalik kompozitler ve seramik kompozitler şeklinde sıralanırlar.

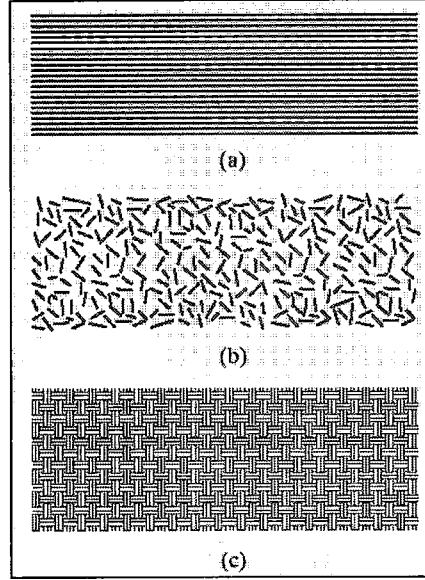
4.11.2.1. Fiber (Lifli) Kompozitler

Mühendislikte kullanılan malzemelerin pek çoğu fiber (lif) şeklinde üretildiklerinde mukavemet ve rijitlikleri, kütle halindeyken gösterdikleri değerlerin çok üstünde değerler alabilir. Örneğin karbon fiberlerin çekme mukavemeti kütle halindeki grafitten 50 kat, rijitliği ise 3 kat daha yüksektir. Şekil 4.11.2.1.1'de karbon fiberin mikro yapısı gösterilmektedir. Fiberler yapı içerisinde bir uçtan diğer bir uca



Şekil 4.11.2.1.1. Karbon fiberin mikro yapısı (Rack, 2002)

kadar uzanan sürekli fiberler, uzun fiberlerin değişik boyda kesilmesi ile elde edilen süreksiz fiberler veya elyaflar, çeşitli dokuma ve örgüler, keçeler şeklinde kullanılmaya elverişlidirler. Fiber uzunluğu mekaniksel özelliklerin yanı sıra kompozit üretiminde işlem seçimini etkiler. Sürekli fiberlerle çalışmak genelde daha kolay olmakla beraber tasarım serbestliği süreksizlere göre çok daha sınırlıdır. Kompozit malzemenin mukavemet ve rijitliğinin alabileceği en düşük ve en yüksek değerlerle, aradeğerler pekiştiricilerin yönlendirilmesine bağlıdır. Fiberlerle tek boyutlu, iki boyutlu (düzlemsel) veya üç boyutlu bir pekiştirme yapılabilir. Bir boyutlu (Tek yönlü) pekiştirme durumunda kompozitin mukavemet ve modülü fiber eksenine yönünde maksimum değerini alır. Düzlemsel pekiştirmede mukavemet ve modül her bir yönde farklıdır. Üç boyutlu pekiştirme durumunda ise kompozit malzeme büyük ölçüde izotropik özellikler gösterir. Sürekli fiberler süreksizlerden daha iyi yönlendirme göstermelerine karşılık, süreksiz fiberlerin kullanılması çoğu zaman daha pratik olmakta ve daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 4.11.2.1.2. Değişik tipte fiber kompozitlere örnekler a. Tek yönlü pekiştirilmiş sürekli fiber kompozit b. Rastgele yönlenmiş süreksiz fiber kompozit c. Örgü formunda fiberlerle pekiştirme (Callister, 2003)

4.11.2.2. Levhalı Kompozitler

Kompozit malzeme terminolojisinde küçük boyutlu, genişlik/kalınlık oranı yüksek olan film veya düz levhasal şekilli partiküller levha; bunların uygun bir matris veya bağlayıcı faz ile oluşturdukları yapılarda levha kompozitler olarak adlandırılır. Levhaların birbirine paralel sıralanmaları durumunda kompozit malzeme, levha düzlemi içinde her yönde eşit mekaniksel özellikler gösterir. Levha kompozitlerin mekaniksel ve fiziksel özellikleri levhaların paralel sıralanmasına ve konsantrasyonuna bağlı olarak önemli ölçülerde değişebilir. Örneğin metalik bir matris içerisinde birbiri ile temas edecek oranda cam veya mika levhaları yer aldığı ısı ve elektriksel direnç artarken, polimerik matris içindeki alüminyum veya gümüş levhaları ısı ve elektriksel iletkenliği artırır. Plastiklerin pekiştirilmesinde kullanılan cam levhalar, cam fiberlere göre bazı üstünlüklere sahiptirler. Bunlar; levhalar kendi düzlemleri içinde büküldüklerinde eğme rijitlikleri daha yüksektir, levha düzlemi içinde üniform mekaniksel özellikler gösterirler, düzlemsel şekilleri nedeniyle daha yüksek hacim oranlarında kullanılabilirler, levha üretimi fiber ve kumaş üretimine göre daha ucuzdur, levha kompozitlerin labirent şeklindeki yapıları nedeniyle nem, buhar ve sıvıların yapıya girmeleri daha zordur.

Metalik levhalar sıvı ve gaz geçirgenliğini önlemek, korozyon direncini arttırmak, ısıl ve elektriksel iletkenliği yükseltmek veya dekoratif bir özellik kazandırmak amacıyla uygun bir matrisle beraber kullanılırlar. Levha halinde kullanılabilecek metaller azdır. Alüminyum ve gümüş, levha üretiminde ilk kullanılan metallerdir.

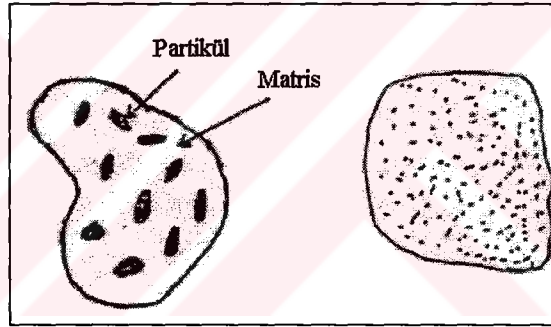
4.11.2.3. Partikül Kompozitler

Partikül kompozitler, bir veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen çok küçük mikroskobik partiküllerin matris fazı ile oluşturdukları malzemelerdir. Partikül takviyeli kompozitleri fiber ve levha kompozitlerden ayırt eden karakteristik özellikleri, partiküllerin matris içerisinde tamamen rastgele dağılması ve bu nedenle malzemenin izotropi özellik göstermesidir. Partikül takviyeli kompozitler sermetler ve dispersiyonla sertleştirilmiş alaşımlar şeklinde iki grup içinde toplanabilir.

Sermetler: Sermetler, seramik ve metal fazlarının karışımından oluşurlar. Seramikler genel olarak yüksek sıcaklık dirençleri, yüksek ergime sıcaklıkları, ısıl kararlılıkları ve elastik davranışları ile tanımlanabilirler. Metaller ise genelde sünek malzemelerdir. Bu iki bileşenin kombinasyonu ile faydalı özelliklerini birlikte kazanmak mümkündür. Sermet kompozitleri oksit veya karbür esaslı olabilirler. Oksit esaslı sermetlerde metal veya seramik fazdan herhangi biri partikül, diğeri matris bileşenini oluşturabilir. Böylece, özelliklerin servis koşullarına bağlı olarak değiştirilmesi mümkündür. Örneğin %28 Al_2O_3 - %72 Cr içeren sermetin ısıl sok direnci, bileşenlerin hacim oranları %72 Al_2O_3 - %28 Cr şeklinde değiştirildiğinde önemli derecede artarken 25°C'deki elastik modülü yaklaşık %90 oranında düşer. Oksit esaslı sermetler, işlenmesi zor olan malzemelerin yüksek hızla kesilmesinde kullanılan takım malzemelerinde önemli ölçüde kullanılırlar. Karbür esaslı sermetler, metalik bir bağlayıcı faz (matris) ile karbürlerin kombinasyonundan oluşur. Karbürler çok sert, gevrek, aşınmaya karşı yüksek direnç gösteren, ergime sıcaklıkları yüksek malzemelerdir. Karbür partikülleri metalik bir yapı içinde yer aldıklarında bu özelliklerinin yansısı belirli ölçülerde tokluk özelliği de gösteren kompozitler elde edilir. Bu tür kompozitler sert metallerin kesilmesi, delinmesi,

işlenmesi için ideal malzemelerdir. Tungsten karbür, krom karbür, titanyum karbür ye bor karbür en çok tanınan karbürlerdir. Bağlayıcı olarak kobalt ye alaşımları kullanılır.

Dispersiyonla Kuvvetlendirilmiş Alaşımlar: Dispersiyonla kuvvetlendirmede prensip sert inert ve refrakter karakterli, birkaç mikron boyutundaki partikülleri sünek bir yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıtmaktır. Disperse faz olarak genellikle yüksek ergime sıcaklıkları, ısıl kararlılıkları ve metalik sistemler de düşük çözünürlükleri nedeniyle oksitler kullanılır. Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlarla sermet kompozitleri arasındaki fark, partiküllerin boyut ve hacim oranları ile ilgilidir. Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlarda partikül boyutu mikrometre düzeyinde olup hacim oranları %3-5'i aşmaz. Disperse olan fazın mukavemet üzerindeki etkisi esas olarak, dislokasyon hareketlerini önlemeleri şeklindedir.



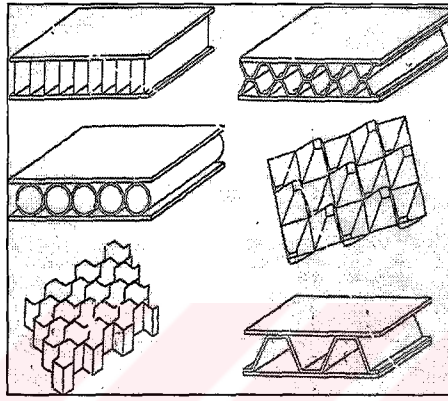
Şekil 4.11.2.3.1. Sermet ve dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlar arasındaki yapısal farklılık

Metal-Oksit dispersiyonlarının yanısıra metal-metal metal-plastik, metal-seramik ve metal dışı-metal dışı dispersiyonları da vardır. Çelik ve bakır esaslı alaşımlar içerisinde kurşun, epoxy reçinesi içerisinde alüminyum, grafit içerisinde bakır dispersiyonları ile, alüminyumoksit-zirkonyumoksit, grafit-zirkonyum karbür kompozitleri endüstrinin çeşitli dallarında kullanılan kompozitlerdir.

4.11.2.4. Dolgu Kompozitleri

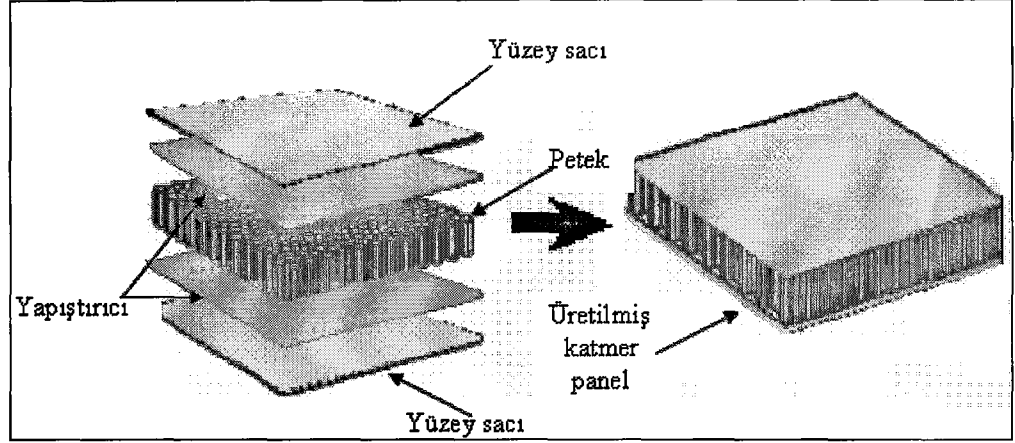
Dolgu tipindeki kompozitler, adından da anlaşılacağı gibi, üç boyutlu sürekli bir matris malzemesinin yine üç boyutlu dolgu maddesi ile doldurulması veya

emdirilmesi ile oluşan malzemelerdir. Matris çeşitli geometrik şekillere sahip bir iskelet veya şebeke yapısındadır. Düzgün petekler, hücreler veya süngere benzeyen gözenekli yapılar arasında metalik, organik veya seramik esaslı dolgu maddeleri yer alabilir. Bu tür kompozitler sandviç kompozitleri olarak da bilinirler. Optimum özelliklere sahip kompozitlerin üretimi için birbiri içinde çözünmeyen, kimyasal reaksiyon vermeyen bileşenlerin seçilmesi gerekir.



Şekil 4.11.2.4.1. Dolgu tipi kompozitlerde iskelet yapıları

Petek ve hücreli şekilli yapılarda bileşenler arasındaki bağ, gözenekli yapılara göre genellikle daha zayıftır. Petek ve hücreli şekilli metalik matrisler seramik ve polimerik matrislerle kombine edilebilir. Günümüzde kullanılan doldurulmuş türdeki kompozitlerin önemli bir bölümünde gözenekli yapıya sahip matrisler kullanılır. Matrisin üretimi sırasında oluşan bu düzensiz yapıdaki gözenekler metalik, seramik veya polimerik malzemelerle doldurulur. Örneğin, toz metalürjisi tekniği ile üretilen parçalarda, gözenekler arasına düşük ergime sıcaklığına sahip metaller filtre edilip doldurulduğunda ısı sok direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı artırılabilir. Gözenekli yapıdaki tungsten içerisine sızdırılan bakır veya gümüşten oluşan kompozitler bunlara tipik örnek olarak gösterilebilir. Alüminyum petek yapılar, alüminyum alaşımından yüzey sacları alüminyum alaşımından peteklere yapıştırılarak yapılmaktadır (Şekil 4.11.2.4.2.). Böyle bir tasarım, eğilmez, kuvvetli ve hafif bir katmer panel elde edilmesini sağlar.



Şekil 4.11.2.4.2. Alüminyum alaşımından petek çekirdeğe alüminyum yüzeyler yapıştırılarak üretilen petekli katmer panel

4.11.2.5. Tabaka Yapılı Kompozitler

Tabaka yapılı kompozitler, farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşurlar. Tabakaları bir araya getirmedeki amaç, değişik fiziksel, mekaniksel veya kimyasal özelliklerin kazanılmasına yönelik olabilir. Metaller üzerine uygulanan metalik, organik veya seramik kaplamalar; cam-plastik-cam tabakalarından oluşan kompozitler, kağıt üzerine kaplanmış plastik kompozitleri, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle elde edilen yapılar bu tür kompozitlere örnek olarak gösterilebilirler. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliğinin, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direncinin, çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

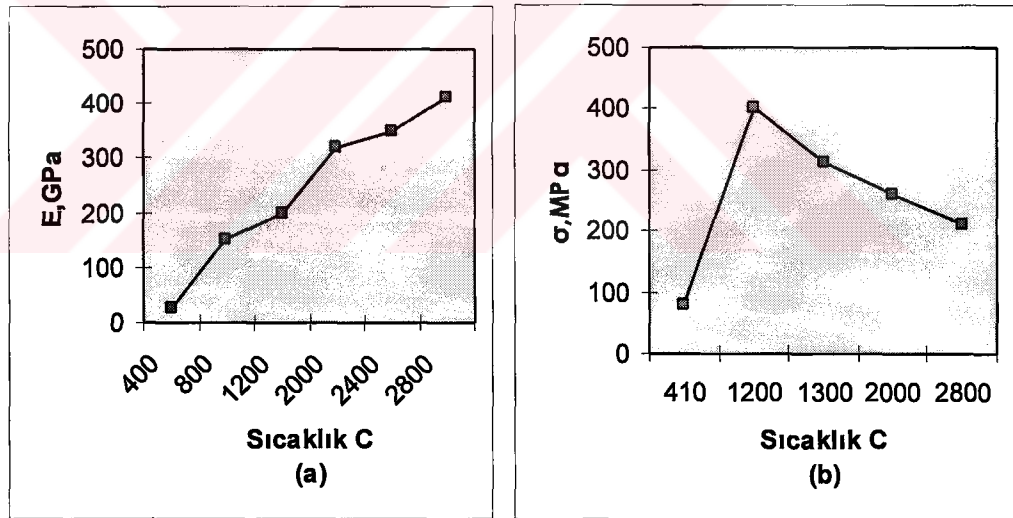
4.11.2.6. Plastik (Polimerik) Kompozitler

Plastik malzemeleri güçlendirmek için başlıca üç tür lif kullanılır: cam, aramid (aramid lif, çok kuvvetli bir molekül yapısına sahip aromatik poliamid polimer lifidir) ve karbon. Cam en çok kullanılan güçlendirme lifidir ve en ucuzudur. Yüksek dayanıma ve düşük yoğunluğa sahip aramid ve karbon lifler, yüksek maliyetlerine rağmen hava-uzay sanayii başta olmak üzere geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Cam lifiyle güçlendirilmiş kompozit malzemeler şu özelliklere sahiptir; yüksek dayanım-ağırlık oranı, iyi boyutsal kararlılık, sıcağa, soğuğa, neme ve aşınmaya iyi dayanım, iyi elektriksel yalıtım, kolay üretim ve şekillendirme ve nispeten düşük maliyet.

4.11.2.7. Güçlendirilmiş Plastiklerde Kullanılan Karbon Lifleri

Epoksi reçineler gibi karbon lifler kullanılarak güçlendirilmiş reçine matrisli plastikler hafiflik, yüksek dayanım ve yüksek eğilmezlik (esneklik modülü) gibi özellikleri bir arada bulundurlar. Karbon lifleriyle güçlendirilmiş; plastik kompozit malzemelerin bu özellikleri, özellikleri hava-uzay sanayisinde kullanılmalarına yol açmıştır. Karbon liflerinin ne yazık ki yüksek olan maliyetleri, bunların otomobil sanayi benzeri birçok sanayi dalında kullanılabilmesini engellemiştir.

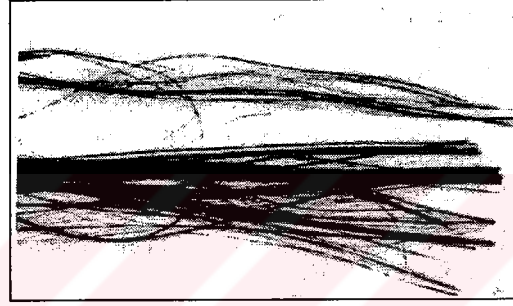


Şekil 4.11.2.7.1. Sıcaklığa göre çekme dayanımının değişimi

Bu kompozit malzemelerdeki karbon lifleri, öncü adı verilen başlıca iki hammaddeden üretilirler: poliakronitril (PAN) ve katran. PAN öncü malzemeden üretilen karbon liflerinin çekme dayanımları 2.34 ile 3.17 GPa arasında ve esneklik modülleri 193 ile 413 GPa arasında değişir. Şekil 4.11.2.7.1.a'dan görülebileceği gibi kavurma sıcaklığı arttıkça PAN liflerinin çekme esneklik modülü de 413 GPa'ya kadar yükselir. PAN liflerinin çekme dayanımları, 1200 °C'a kadar kavurma sıcaklığı

artıkça artar, sıcaklık daha fazla yükseldiğinde, şekil 4.11.2.7.1.b’de görüldüğü gibi düşer. Yüksek kavurma sıcaklıklarında çekme dayanımındaki düşüşün malzeme içindeki veya yüzeyinde oluşan artan sayıdaki kusurlardan kaynaklandığına inanılmaktadır.

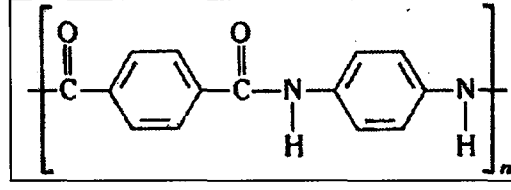
Genel olarak, liflerin modülleri artıkça çekme dayanımları düşer veya tersi olur. Karbonlaştırılmış veya grafitleştirilmiş PAN liflerinin yoğunlukları $1.7-2.1 \text{ gr/cm}^3$ civarında, son çapları ise $7-10 \text{ }\mu\text{m}$ civarındadır.



Şekil 4.11.2.7.2. Yaklaşık 6000 kadar karbon lifinden oluşan bir lif tutamının fotoğrafı

4.11.2.8. Plastik Reçineleri Güçlendirmede Kullanılan Aramid Lifleri

Aramid lif, aromatik poliamid lif ailesine verilen bir genel addır. 1972’de Du Pont tarafından Kevlar adı altında piyasaya sürülmüş olup, günümüzde Kevlar 29 ve Kevlar 49 ticari cinsleri bulunmaktadır. Düşük yoğunlukta, yüksek dayanımdaki Kevlar 29, mermi çarpmasına karşı koruyucularda, ip ve kablo yapımında kullanılmaktadır. Kevlar 49 ise düşük yoğunlukta olup, yüksek dayanım ve modüle sahiptir. Kevlar 49, hava-uzay sanayisinde, denizcilikte, otomobil ve diğer sanayi dallarında kullanılan kompozit malzemeleri güçlendirici lifler olarak kullanılabilir özelliklere sahiptir. Kevlar polimer zincirinin tekrar eden kimyasal birimi Şekil 8’de gösterilen aromatik poliamidin kimyasal birimidir. Hidrojen bağı polimer zincirini çapraz bağlar. Böylece, bir araya getirilmiş lifler, uzunlamasına güçlü, enlemesine zayıftır.

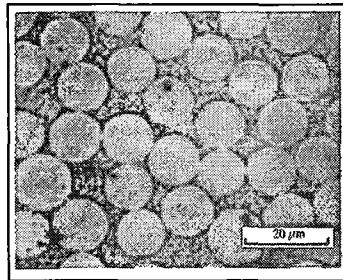


Şekil 4.11.2.8.1. Aromatik poliamidin kimyasal birimi

4.11.2.9. Liflerle Güçlendirilmiş Plastik Kompozit Malzemelerde Kullanılan Matris Malzemeleri

Liflerle güçlendirilmiş; plastiklerin iki önemli matris plastik reçinesi doymamış; polyester ve epoksi reçineleridir. Doymamış polyesterler, liflerle güçlendirilen plastiklerde yaygın olarak kullanılan matrisdir. Bu malzemelerin uygulama alanları olarak tenke gövdelerini, bina panellerini, otomobil yapı panellerini, uçakları ve çeşitli ev eşyaları gösterilebilir. Epoksi reçineler daha pahalı olmakla birlikte polyester reçinelerden daha iyi dayanıma sahiptir ve olgunlaştırmadan sonra düşük büzülme gösterir. Epoksi reçineler karbon ve aramidle güçlendirilmiş kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan matris malzemesidir.

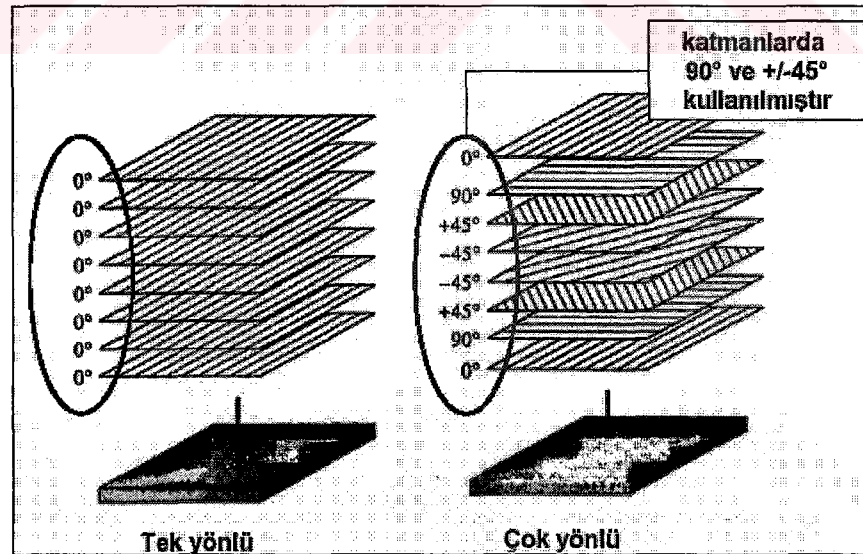
Cam Liflerle Güçlendirilmiş Polyester Reçineleri: Cam liflerle güçlendirilmiş plastik malzemelerin dayanımı, büyük çaptaki malzemedeki cam miktarına ve cam liflerin dizilimine bağlıdır. Liflerin birbirine paralel olduğu durumlarda, cam liflerinin miktarı ağırlıkça %80'e kadar çıkarak çok yüksek dayanımda bir kompozit malzeme elde edilebilmektedir.



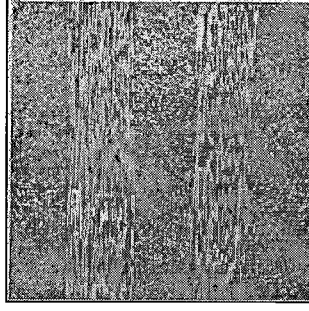
Şekil 4.11.2.9.1. Yönlenmiş liflere sahip, cam lifli, polyester reçineli bir kompozit malzemenin kesiti

Şekil 4.11.2.9.1, yönlenmiş cam lifli polyester reçinesinden kompozit malzemenin kesitinin resmini göstermektedir. Cam liflerin paralel diziliminden uzaklaşmaları durumunda cam lifli kompozit malzemenin dayanımı düşer.

Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Epoksi Reçineleri: Karbon lifli kompozit malzemelerde, karbon lifler dayanım ve kuvveti, taşıyıcı matris ise liflerin dizilimini sağlar ve darbe dayanımına katkıda bulunur. Epoksi reçineler, karbon lifler için en çok kullanılan matris malzemeleridir, fakat bazı özel uygulamalarda poliamidler, polifenilen sülfürler veya polisülfonlar da kullanılır. Karbon liflerinin başlıca üstünlükleri düşük yoğunlukla birlikte çok yüksek dayanıma ve esneklik modülüne sahip olmalarıdır. Bu nedendir ki ağırlığı azaltmanın önemli olduğu hava-uzay uygulamalarında karbon lifli karma malzemeler metallerin verimi olmaktadır. Mühendislik tasarımlı parçalarda kullanılan karbon lifli epoksi malzemeler katmanlı olduğundan, isteğe bağlı olarak farklı yönlerde farklı dayanımlar elde edilebilmektedir. Şekil 4.11.2.9.3, beş katmanlı iki yönlü karbon-epoksi kompozit malzemesinin olgunlaştırmadan sonraki mikro fotoğrafını göstermektedir (<http://surphy.fat.bme.hu>, 2002).



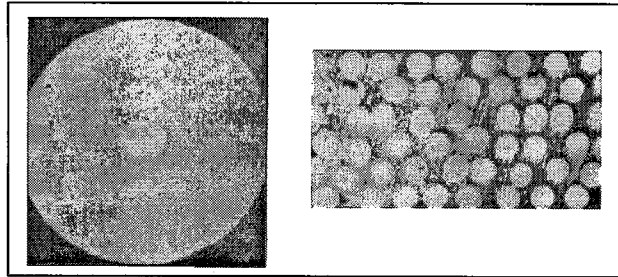
Şekil 4.11.2.9.2. Tek yönlü ve çok yönlü kompozit katmanları (Kalpakjian, 2002)



Şekil 4.11.2.9.3. Beş katlı, iki yönlü karbon lifi-epoksi kompozit malzemenin mikro fotoğrafı

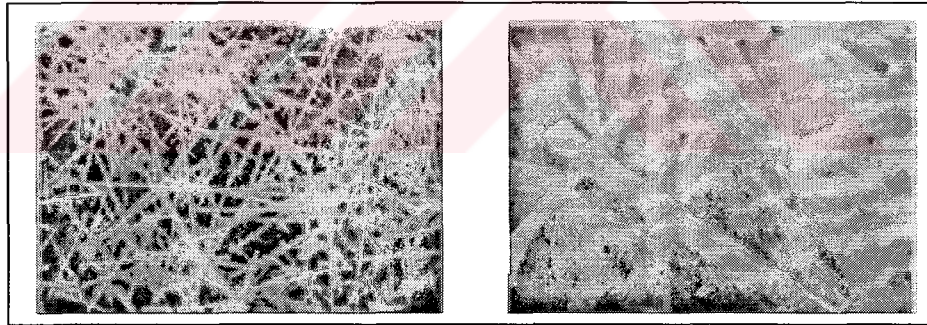
Metal Matris Kompozit Malzemeler (MMKM): Genel olarak, güçlendirme durumuna göre, metal matrisli malzemeler üç ana guruba ayrılır. Bunlar; sürekli lifliler, süreksiz lifliler ve parçacıkla güçlendirilenlerdir.

Sürekli Liflerle Güçlendirilen MMKM'ler: Sürekli lifler, MMKM'lere en yüksek eğilmezlik (çekme modülü) ve dayanımı sağlar. İlk geliştirilen MMKM'ler, bor lifleriyle güçlendirilmiş alüminyum alaşımlarıdır. Bu kompozit malzemelerde kullanılan bor lifleri, volfram telden altlık üzerine bor kimyasal buharının yığılmasıyla elde edilmektedir. Şekil 4.11.2.9.4 sürekli B lifli, alüminyum alaşımından bir kompozit malzemenin kesitini göstermektedir. Hacimce % 51 B katmakla, 6061 alüminyum alaşımının çekme dayanımı 310 MPa'dan 1417 MPa'ya, çekme dayanımı ise 69 MPa'dan 231 GPa'ya yükselmektedir. Al-B kompozit malzemelerinin uygulama alanına bir örnek olarak uzay mekiğinin gövde yapı elemanlarını verebiliriz. MMKM'lerde kullanılan diğer sürekli güçlendirici malzemeler silisyum karbür, grafit, alümina ve volfram lifleridir.



Şekil 4.11.2.9.4.a. 12.5 µm çapında bir volfram tel çekirdek etrafındaki 100 µm çapında bor lifçik b. Bir alüminyum alaşımı-bor kompozit malzemesi kesitinin mikro-fotoğrafı

Parçacıklarla ve Süreksiz Liflerle Güçlendirilmiş MMKM'ler: Parçacıklarla ve süreksiz liflerle güçlendirilmiş çok çeşitli kompozit malzeme geliştirilmiştir. Bu malzemeler güçlendirilmemiş malzemelere göre daha yüksek dayanım, daha yüksek eğilmezlik ve daha iyi boyutsal kararlılığa sahiptir. Parçacıklarla güçlendirilmiş MMKM'ler, yaklaşık 3 ile 200 μm çapında düzensiz şekilli alümina ve silisyum karbür parçacıkları katılarak yapılan düşük maliyetli MMKM alüminyum alaşımıdır. Bazen bir ön kaplama yapılan parçacıklar, erimiş alüminyum alaşımıyla karıştırılarak daha sonraki üretim işlemlerinde kullanılacak kütükler halinde dökülür. Süreksiz liflerle güçlendirilen MMKM'ler, büyük çapta, toz metalürjisi veya eriyik emdirme yöntemiyle üretilmektedir. Toz metalürjisi yönteminde, yaklaşık 1 ile 3 μm çapında ve 50 ile 200 μm uzunluğunda, şekil 4.11.2.9.5'de gösterildiği gibi iğne şeklindeki silisyum karbür özlifleri metal tozlarıyla karıştırılmakta, sıcak preslemeyle sıkıştırıldıktan sonra istenen şekle ulaşılmakta veya dövülmektedir. Kullanım yerlerine örnek olarak füze kılavuz parçalarını ve yüksek performanslı otomobillerin pistonlarını gösterilebilir.



Şekil 4.11.2.9.5. Metal matrisli kompozitleri güçlendirmede kullanılan silisyum karbür tek kristallerinin mikrofotografı. Özlifler 3 μm çapında ve 200 μm uzunluğundadır

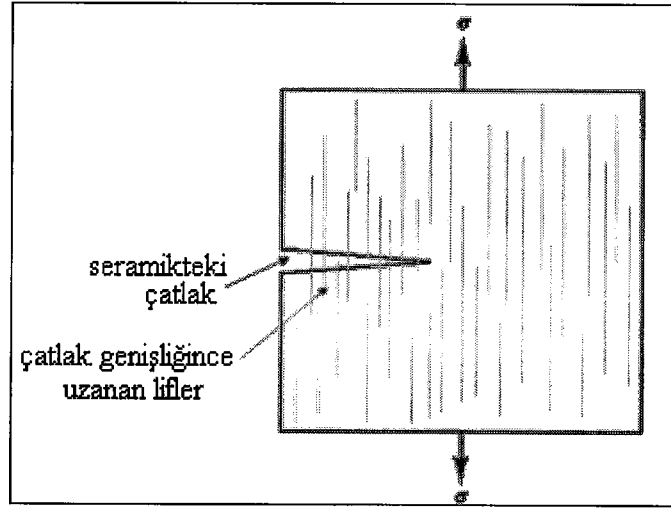
Seramik Matrisli Karma Malzemeler (SMKM): Son yıllarda geliştirilen seramik kompozit malzemeler güçlendirilmemiş seramik matrisin dayanım ve tokluk gibi mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. Güçlendiricinin cinsine göre üç türü bulunmaktadır: sürekli lifliler, süreksiz lifliler ve parçacıklarla güçlendirilenler.

Sürekli Liflerle Güçlendirilen SMKM'ler: SMKM'lerde genellikle iki tür lif kullanılmaktadır. Bunlar; silisyum karbür ve alüminyum oksittir. Seramik matrisli

karma malzemeyi yapmak için, SiC lifleri hasır halinde örülmekte, daha sonra kimyasal buhar yığıma yöntemiyle matris, lifli hasırın gözeneklerine doldurulmaktadır. Bir diğer yöntemde ise SiC lifleri cam-seramik malzemeyle sarılmaktadır. Bu malzemelerin kullanılma yerleri olarak, ısı değiştirme tüplerini, ısıya karşı koruyucuları ve yüksek sıcaklıktaki yenimli ortamda çalışan parçaları gösterebiliriz.

Süreksiz Liflerle (Özlü) ve Parçacıklarla Güçlendirilen SMKM: Seramik özlifler tek fazlı seramiklerin kırılma tokluğunu önemli ölçüde artırır. Alüminaya %20 SiC özlifi katılması, alümina seramiğin tokluğunu 4.5 MPa \sqrt{m} değerinden 8.5 MPa \sqrt{m} değerine yükseltir. Seramik matrisli kompozit malzemelerin üç ana mekanizmayla toklaştığına inanılmaktadır ve bunların üçü de güçlendiricilerin seramikte çatlak ilerlemesini engellemesine bağlıdır. Bu mekanizmalar şöyle özetlenebilir:

- a) **Çatlak Saptırma:** Çatlak bir güçlendiriciye rastladığında yön değiştirmek zorunda kaldığından hareket etmesi zorlaşmakta, çatlağın hareketi için daha yüksek gerilmelere ihtiyaç olmaktadır.
- b) **Köprü oluşturma:** Lifler ve özlifler çatlak üzerinde bir köprü oluşturarak malzemenin bir arada kalmasına yardımcı olmakta, dolayısıyla çatlağın ilerlemesi için daha yüksek gerilmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum şekil 4.11.2.9.6'da gösterilmektedir.
- c) **Lif çıkması:** Liflerin veya özliflerin çatlayan anafazdan dışarı çekilmesi için gereken sürtünme enerjisi, enerji yutmakta ve çatlağın ilerlemesi daha fazla gerilme gerektirmektedir.



Şekil 4.11.2.9.6. Bir seramik matrisli malzemede, köprü oluşturma ve lif çıkması enerjisinin soğurulması etkisiyle, güçlendirici liflerin nasıl çatlak ilerlemesini önlediğinin şematik gösterimi (Callister, 2003)

4.11.3. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://surphy.fat.bme.hu/pub/MaterSci/>

<http://www.engr.ku.edu/~rhale/ae510/websites/katz.pdf>

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures>

<http://mil-17.udel.edu/>

<http://benz.nchu.edu.tw>

<http://www.people.virginia.edu>

<http://web.utk.edu/~prack/mse201/>

4.12. Malzemelerin Özellikleri

4.12.1 Malzemelerin Elektriksel Özellikleri ve Temel Kanunlar

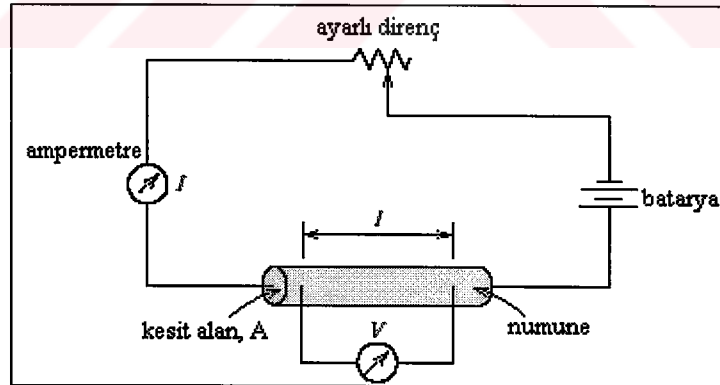
İletken bir malzemeye V elektrik gerilimi uygulanırsa, malzemedan I büyüklüğünde bir akım geçer. Akımın büyüklüğü uygulanan gerilimle doğru, malzemenin direnciyle ters orantılıdır. Bu da ohm kanunuyla belirtilir. Ohm kanununun bilinen genel yapısı şöyledir:

$$V=IR$$

Burada V gerilim (volt, V), I akım (amper, I) ve R ise akıma karşı gösterilen dirençtir(ohm, Ω). Malzemelerin direncini etkileyen en önemli faktör malzemelerin elektriksel iletkenlikleridir.

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{l}{\sigma A} \quad \sigma = \frac{l}{\rho}$$

Bu formülde l iletkenin boyu (m), A iletkenin kesit alanı (m^2), ρ iletkenin öz direnci (ohm.m), σ ise elektriksel iletkenlik (ohm.m)⁻¹ olup direncin tersidir. Malzemelerin elektriksel iletkenliğinin ölçümü şekil 4.12.1.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.12.1.1. Elektriksel iletkenlik ölçümünde kullanılan aygıtın şematik gösterimi

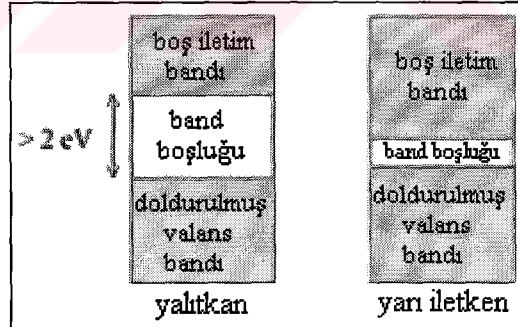
4.12.1.1. Katılardaki Enerji Band Yapıları

Atomlar beraberce bir katı şekline gelirken, onların valans elektronları Coulomb yükleri nedeniyle birbirleriyle ve çekirdekle etkileşirler. Buna ek olarak iki özel quantum mekanik etkisi meydana gelir. İlk olarak Alman fizikçi Heisenberg'in

belirsizlik prensibine göre elektronlar küçük hacimlere zorlanarak, onların enerjileri artırılır ki bu da terfi olarak adlandırılır. İkinci etki, Avusturyalı fizikçi Pauli'nin dışlama prensibine göre aynı enerjiye sahip olabilmeleri için elektronların sayısı sınırlandırılır. Bu etkilerin sonucunda atomlar katı bir şekilde iken, atomların valans elektronları geniş elektron enerji bandları şeklini alır. Bandlar, elektronların olmadığı boşluklarla ayrılmışlardır.

4.12.1.2. Enerji Band Yapıları ve İletkenlik

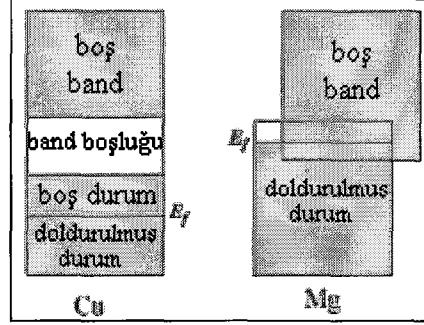
Fermi Enerjisi (E_F) bandtaki muhtemel enerji seviyelerinin yarısının gerçekte elektronlar tarafından doldurulduğu enerjidir. 0 K'da en yüksek değerine ulaşmaktadır. İletkenlik Bandı kısmen dolu yada boş enerji bandıdır. Valans Bandı kısmen yüksek yada tamamen doludur. Yarı iletken ve yalıtkanlarda valans bandı doludur ve Pauli'nin dışlama prensibine göre daha fazla elektron eklenemez. Elektronların bir elektrik alanında enerji kazanabilmeleri elektriksel iletkenliğin gereğidir. Bu malzemelerde mümkün değildir. Çünkü elektronlar yasaklanmış band çukuruna terfi ettirilirlir.



Şekil 4.12.1.2.1. Yalıtkan ve yarı iletkenlerdeki band yapıları (Callister, 2000)

Yarı iletken ve yalıtkanlarda elektronlar E_F üstündeki iletkenlik durumlarını bulmak için iletkenlik bandı band çukuru arasında atlayabilir. Yeterince küçük dalga boylarındaki ışınlamadan yada ısıdan gelebilecek atlama için enerjiye ihtiyaç duyulur. Yarı iletkenler ve yalıtkanlar arasındaki fark; yarı iletkenlerdeki atomların olağan sıcaklıklarda, yalıtkanların ulaşamadığı iletkenlik bandına ulaşabilmesidir. Bir elektron iletkenlik bandına terfi ettirildiğinde valans bandındaki bir çukurdan

ayrılarak iletken katılır. Çukurlar metallerde iyi bir şekilde vardır fakat yarı iletken ve yalıtkanlarda daha önemlidir. Metallerde en yüksek band kısmen doldurularak kaplanmış yada bandlar üst üste binmiştir. İletkenlik elektronların iletkenlik durumuna zorlanmasıyla oluşmaktadır. Bir elektriksel alan tarafından sağlanan enerji pek çok elektronu iletkenlik durumuna uyarmak için yeterlidir ki bu da yüksek iletkenliktir.



Şekil 4.12.1.2.2. Cu ve Mg' in band yapıları (Callister, 2000)

Atomik bağların ilişkileri şöyledir: Yalıtkanlarda valans elektronları güçlü iyonik bağlarla, kısmen de kovalent bağlarla bireysel olarak sıkıca bağlanmıştır. Yarı iletkenler çoğunlukla biraz güçsüz kovalent bağlarla bağlıdır. Metaller ise valans elektronları “elektron gazı” şeklindedir ve hiçbir iyonla bağlı değildir. Malzemelerin direnci (ρ) Matthiessen kanunuyla tanımlanır.

$$\rho_{\text{toplam}} = \rho_{\text{termal}} + \rho_{\text{katkı}} + \rho_{\text{deformasyon}}$$

ρ_{termal} termal titreşimden, $\rho_{\text{katkı}}$ katkılardan, $\rho_{\text{deformasyon}}$ ise deformasyondaki hataları içerir.

4.12.1.3. Metal İletkenliği İçin Malzeme Seçimi

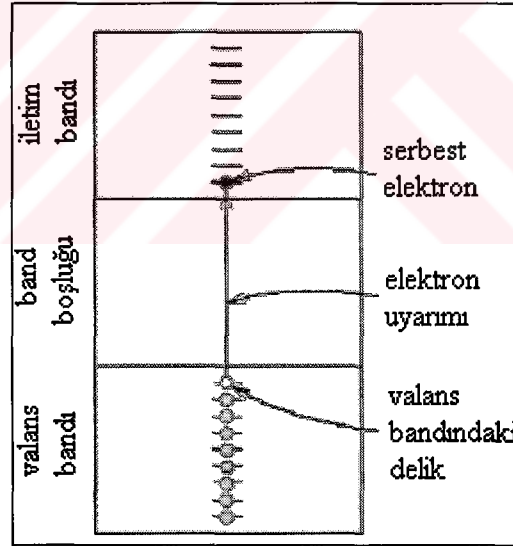
Gümüş elektrik iletkenliği bakımından, düşük direncinden dolayı en iyi iletkenlerden birisidir. Fakat yüksek fiyatı nedeniyle kısıtlı kullanılabilir. Son derece yaygın olarak kullanılan iletken bakırdır. Ucuz, bol, yüksek elektrik iletkenliği olmasına karşın, yumuşak olması sebebiyle mekanik gerilmenin önemli olduğu uygulama yerlerinde kullanılamazlar. Ağırlığın önemli olduğu yerlerde ise alüminyum kullanılır. Alüminyumun korozyon direnci daha fazladır. Isıtma elementlerinin

yüksek sıcaklık oksidasyonu için düşük iletkenliğe (yüksek direnç) sahip olması gerekmektedir. Böyle yerlerde nikel–krom alaşımları kullanılmaktadır. Çizelge 4.12.1.3.1’de bazı malzemelerin elektriksel iletkenliği gösterilmektedir.

Çizelge 4.12.1.3.1. Bazı malzemelerin elektriksel iletkenliği

Metal	Elektriksel İletkenlik $[(\Omega\text{-m})^{-1}]$
Gümüş	6.8×10^7
Bakır	6.0×10^7
Altın	4.3×10^7
Alüminyum	3.8×10^7
Demir	1.0×10^7
Pirinç (70 Cu – 30 Zn)	1.6×10^7
Platin	0.94×10^7
Paslanmaz çelik	0.2×10^7

4.12.1.4. Yarı İletkenlik



Şekil 4.12.1.4.1. Yarı iletkenlik (Callister, 2000)

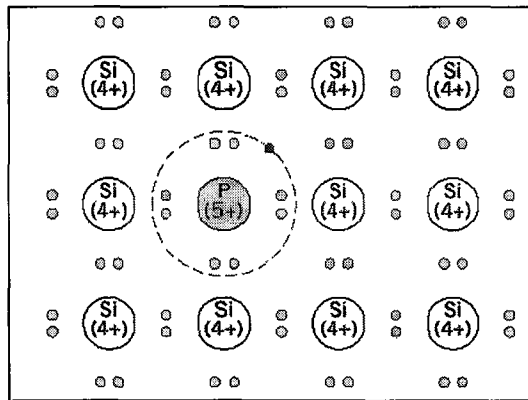
İntrensek yarı iletkenlerde elektriksel iletkenlik saf malzemenin elektronik yapısı tarafından belirlenir. Ekstrensek yarı iletkenlerde ise elektriksel iletkenlik katkı atomları tarafından belirlenir. İntrensek yarı iletkenlerde iletim bandındaki elektronların sayısı sıcaklıkla üssel artar.

C malzeme sabiti, E_g ise çukur band genişliğidir. Bir elektron iletken banda terfi ettirildiğinde valans bandındaki boşluktan ayrılır. Elektriksel bir alanda elektronlar ve boşluklar karşı yönde hareket ederler ve iletkenliğe katılırlar. İntrensek yarı iletkenlerin iletkenliliği metallere farklı olarak sıcaklıkla artar.

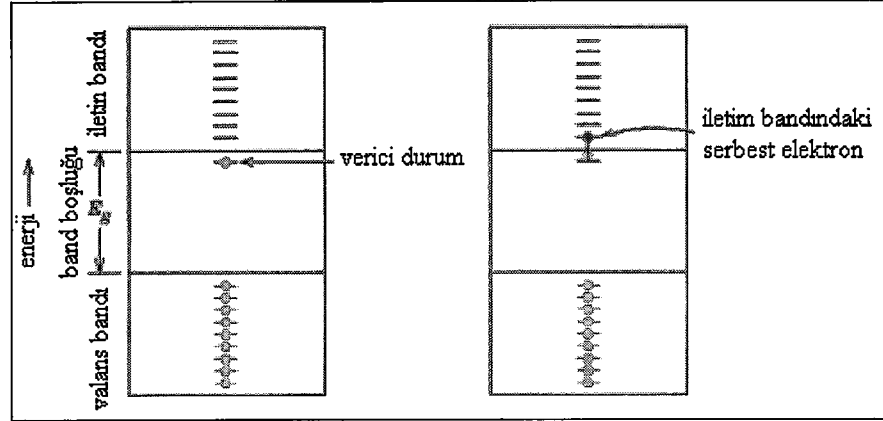
Ekstresek yarı iletkenlerde elektriksel iletkenlik katkı atomları tarafından belirlenir. Ekstresek yarı iletkenler, intrinsek yarı iletkenlerden farklı olarak boşluk ve elektronların farklı konsantrasyonuna sahip olabilirler. Eğer $p > n$ ise p tipi, eğer $n > p$ ise n tipi olarak adlandırılırlar.

N tipi ekstresek yarı iletkenlerde her atomun yarı iletken matrisinden çok daha fazla valans elektronuna sahip olduğu elektron taşıyıcıları katkı seçenekleri tarafından fazla üretilmiştir. Örneğin beş valans elektronlu fosfor Si kafesindeki bağda kullanılan dört elektron için bir elektron vericidir. P atomunun beşinci dış elektronu verici durumunda, zayıf bağlıdır ve kolayca iletken banda terfi ettirilebilir. Periyodik tablonun V ve VI kolonundaki elementler IV kolonundaki elementler (Si ve Ge) için vericidirler.

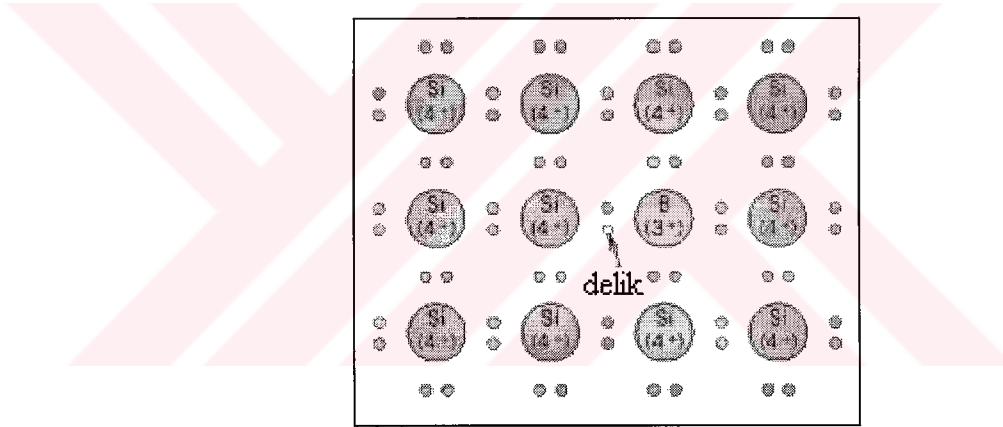
P tipi ekstresek yarı iletkenlerde her atomun matrisden birkaç valans elektronuna sahip olduğu fazla boşluklar katkı seçenekleri tarafından üretilmiştir. Komşulu bir bağ tamamlanmamıştır ve katkı atomuna bir çukur gibi zayıfça bağlanmış görülebilir. Periyodik tablonun III kolonundaki elementler (B, Al, Ga), IV kolonundaki yarı iletkenler için (Si ve Ge) vericidirler.



Şekil 4.12.1.4.2. P'nin Si kafesindeki durumu (Callister, 2000)

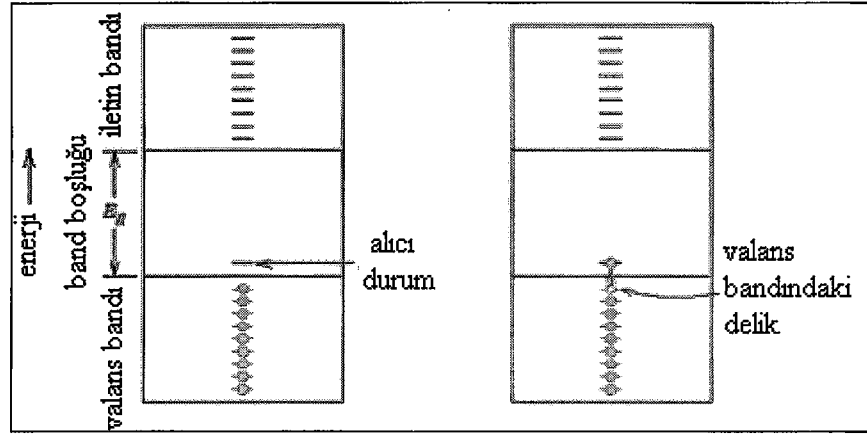


Şekil 4.12.1.4.3. Verici durumda oluşturulan boşluk valans bağından uzaktadır ve hareketsizdir. İletkenlik temel olarak verici elektronlarla olmaktadır



Şekil 4.12.1.4.4. B'nin Si kafesindeki durumu (Callister, 2000)

Boşluğa uyan enerji durumları valans bandının üstüne yakındır. Bir elektron kolaylıkla boşluğun gerisinden ayrılarak valans bandından tamamlanmış bir banda zıplayabilir. İletkenlik temel olarak boşluklar tarafından oluşturulur (Şekil 4.12.1.4.5). Silisyum ve germanyum yarı iletken olarak pratik uygulamalara sahip yegane elementlerdir. Buna karşın pek çok sayıda bileşik aynı etkiye sahiptir. Yarı iletken malzemeler kullanılarak, diyot, transistor, gibi devre elemanlarının yanında, bilgisayarlarda kullanılan işlemciler de yapılmaktadır. Şekil 4.12.1.4.6'da bilgisayarlarda kullanılan işlemci görülmektedir.



4.12.1.4.5. İletkenliğin oluşturulması (Callister, 2000)



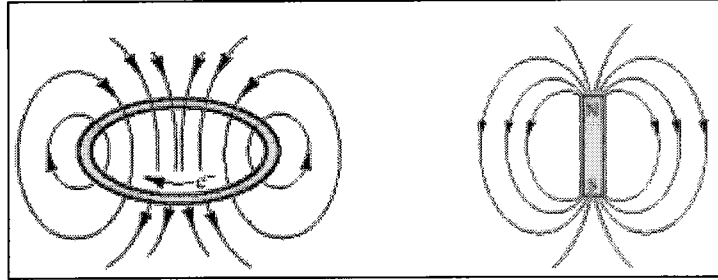
Şekil 4.12.1.4.6. Yarı iletken malzemelerden yapılmış işlemci birimi (Zhigilei, 2002)

4.12.2. Manyetik Özellikler

İletken bir telden akım geçirilirse, iletkenin etrafında manyetik alan meydana gelir. Manyetik alanda sayısız manyetik kuvvet hatlarının olduğu kabul edilir. Bu kuvvet hatları hiçbir şekilde birbirlerini kesmezler. Şekil 4.12.2.1’de akım geçirilen bir telde meydana gelen manyetik kuvvet hatlarının şematik gösterimi verilmiştir.

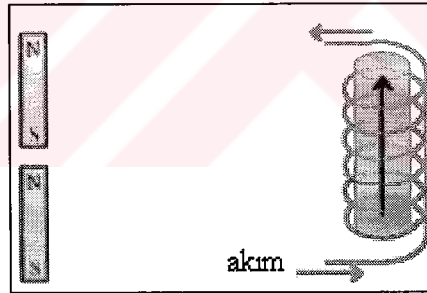
Bir manyetik malzeme elektrik akımı geçişi olmaksızın manyetik alan meydana getirebilir. Şekil 4.12.2.1’de görülen çubuk mıknatıs buna bir örnektir. Kuvvet hatlarının yönü N kutbundan S kutbuna doğrudur. Mıknatısların kuzey (N) ve güney (S) olmak üzere iki kutbu vardır. İki farklı mıknatısın aynı kutupları karşı karşıya getirilirse birbirlerini iterler. Farklı kutuplar karşı karşıya gelirse de birbirlerini çekerler(Şekil 4.12.2.2). Üzerinden akım geçen bir iletken, çember şeklinde

kıvrılarak bir bobin haline getirilirse iletkenin etrafındaki bütün kuvvet hatları bobin merkezinden geçerler.



Şekil 4.12.2.1. Akım geçirilen bir telde meydana gelen manyetik kuvvet hatlarının şematik gösterimi ve bir çubuk mıknatısta manyetik alanının oluşumu (Callister, 2003)

Bobinin içinden geçen kuvvet hatları, daimi mıknatıslarda olduğu gibi N ve S kutuplu bir mıknatıs meydana getirirler. Bu manyetik alanın şiddet, akım şiddeti ve sarım sayısı ile doğru orantılıdır.

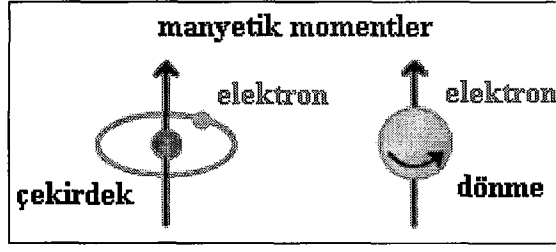


Şekil 4.12.2.2. Mıknatısların iki farklı kutupları birbirini çekmesi ve bobinden akım geçirilmesi sonucu oluşan manyetik alanın yönü

Manyetik Kutup Çiftleri ve Manyetik Momentler: Bir atomda her elektron iki manyetik momente sahiptir. Bir manyetik moment basit olarak elektronla ilgili manyetik alanın şiddetidir. Bohr manyeton aşağıdaki eşitlikle bulunur.

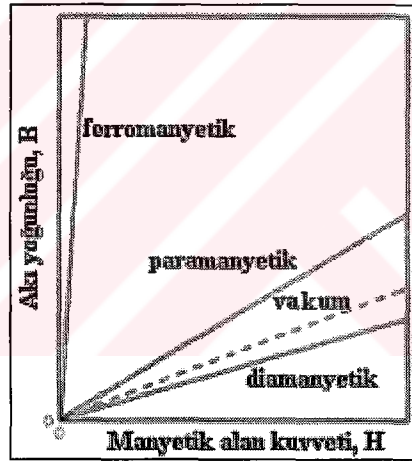
$$\text{Bohr manyeton} = \frac{qh}{4\pi m_e} = 9.27 \times 10^{-24} \text{ A.m}^2$$

Burada q elektron üzerindeki yük, h Planck sabiti ve m elektron kütlesidir. Manyetik momentler, çekirdeğin etrafında elektronların yörünge hareketlerinden ve elektronların kendi eksenleri etrafında dönmelerinden dolayıdır (Şekil 4.12.2.3).



Şekil 4.12.2.3. Manyetik momentin oluşumu

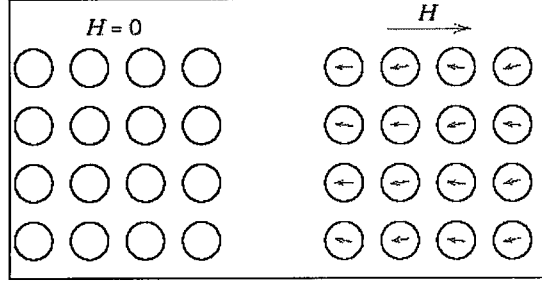
Uygulanan bir manyetik alana atomun tepkisi manyetik kutup çiftlerin her atomun alana tepkisiyle nasıl temsil edildiğine bağlıdır. Çoğu geçiş elementleri manyetik momentlerin birbirlerini iptal edecek şekilde davranırlar. Buna karşın nikel, demir ve kobalтта bir manyetik alan, bütün manyetik kutup çiftlerin manyetik alanla hizaya gelmesine neden olur ve istenen bir alan etkisi büyümesini meydana getirir.



Şekil 4.12.2.4. Manyetik alana karşı akı yoğunluğunun ferromanyetik, paramanyetik ve diamanyetik malzemeler için şematik gösterimi (Callister, 2000)

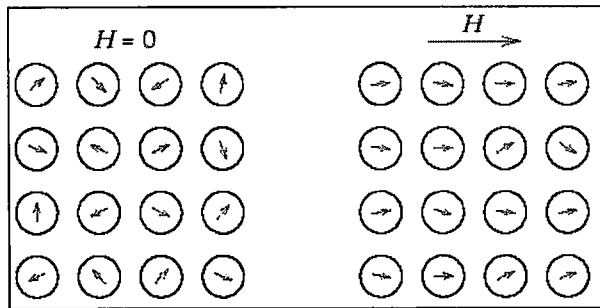
Dimanyetik Davranış: Herhangi bir atom üzerine bir manyetik alan etkiğinde yörünge elektronlarından dolayı manyetik momenti etkilemekle bütün atomlar için bir manyetik kutup çifti oluşur. Bu kutup çiftleri manyetik alana karşı koyarak manyetikliğin sıfırdan daha az olmasına neden olur. Bu davranış diamanyetizm olarak adlandırılır, nispeten yaklaşık 0.99995 geçirgenlik sağlar. Diamanyetik davranış, manyetik malzemeler veya cihazları uygulamaları için önemli değildir. Bir manyetik alan olmaksın ve bir manyetik alanla birlikte diamanyetik malzemeler için atomik dipol konfigürasyonu şekil 4.12.2.5'de gösterilmektedir. Dış bir manyetik

alanın yokluğunda hiçbir dipol yoktur, manyetik alan olduğunda dipoller eyleme geçirilerek alan yönüne karşı hizaya sokulur.



Şekil 4.12.2.5. Diamanyetik malzemelerin atomik dipol konfigürasyonu (Callister, 2000)

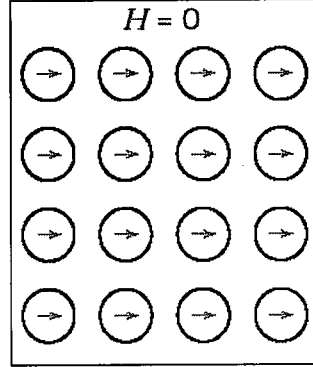
Paramanyetiklik: Malzemeler, çift olmayan elektronlara sahip olduğunda net bir manyetik moment, her atomla ilgili elektron dönüşünden dolayıdır. Manyetik alan uygulandığında kutup çiftleri alanla hizaya gelerek pozitif bir manyetikleşmeye neden olur. Buna karşın kutup çiftleri etkileşmediği için, kutup çiftlerini hizaya getirmek amacıyla oldukça büyük bir manyetik alan gereklidir. Paramanyetiklik olarak adlandırılan bu etki sadece yüksek sıcaklıklarda etkilidir. Nispi geçirgenlik yaklaşık 0.01'den daha azdır. Bir manyetik alan olmaksın ve bir manyetik alanla birlikte paramanyetik malzemeler için atomik dipol konfigürasyonu şekil 4.12.2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.12.2.6. Paramanyetik malzemelerin atomik dipol konfigürasyonu (Callister, 2000)

Ferromanyetiklik: Ferromanyetik davranış 3d seviyesindeki (demir, nikel ve kobalt) veya 4f seviyesindeki (gadolinium) doldurulmamış enerji seviyelerinden dolayıdır. Ferromanyetik malzemelerde kalıcı çift olmayan kutup çiftleri uygulanan

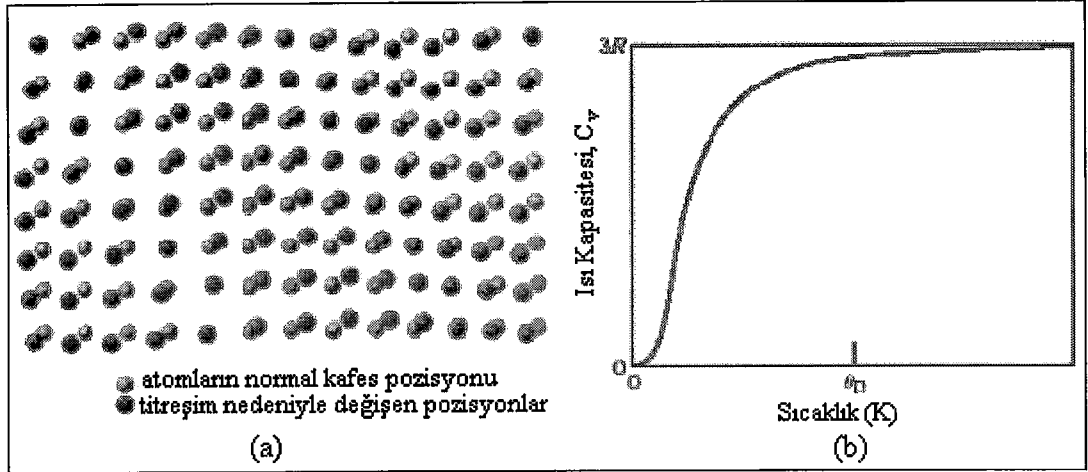
manyetik alanla hizaya gelir. Uygulanan alanın çok büyük bir büyüklüğü, yüksek bir nispi geçirgenlik sağlayan küçük manyetik alanlar için bile üretilir.



Şekil 4.12.2.7. Ferromanyetik malzemeler için dış bir manyetik alanın yokluğunda bile var olacak olan atomik dipollerin karşılıklı hizaya sokulmasının şematik gösterimi (Callister, 2000)

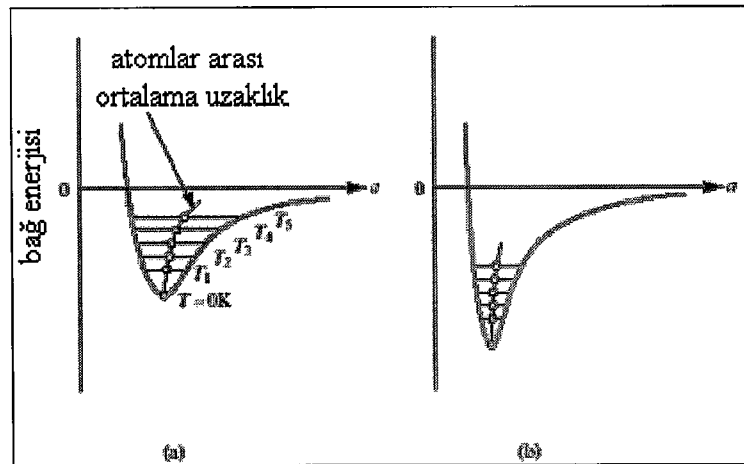
4.12.3. Termal Özellikler

Isı Kapasitesi: Isı kapasitesi, ısı iletkenlik, ısı genleşme ve ısı iletim durumunda elektronlarla enerji transferini içeren ısı özellikler atomik titreşimle etkilenirler. Titreşim bir enerji veya enerjinin dalga boyu özelliği olarak ifade edilebilir. Şekil 4.12.3.1.a'da atomların titreşim hareketleri şematik olarak gösterilmektedir. Atomlar mutlak sıfırda minimum enerjiye sahiptirler. Ancak malzemeye ısı verildiğinde atomlar ısı enerji kazanırlar ve belirli bir genlikte ve frekansta titreşirler. Bu titreşim fonon olarak adlandırılan elastik bir dalga üretir. Malzemeler fononları kazanarak veya kaybederek ısı kazanırlar veya kaybederler. Malzemenin bir molunun sıcaklığını bir derece yükseltmek için gerekli enerjiye "ısı kapasitesi" denir. Malzemenin belirli bir ağırlığının veya malzeme kütesinin sıcaklığını bir derece yükseltmek için gerekli enerjiye "özgül ısı" denir. Şekil 4.12.3.1.b'de sabit hacimde ısı kapasitesinin sıcaklığa göre değişimi grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.12.3.1.a. Atomik titreşimin şematik gösterimi b. Sabit hacimde ısı kapasitesinin sıcaklığa göre değişimi (Zhigilei, 2002)

Isıl Genleşme: Bir atom ısı enerji kazanırsa, titreşime başlar ve büyük bir atomik çapa sahipmiş gibi davranır. Atomlar arasındaki mesafe ve malzemenin bütün boyutları artar. Isıl genleşmenin doğrusal katsayısı atomik bağların dayanımı ile ilgilidir. Atomları denge durumundan hareket ettirmek için malzemeye enerji vermek gerekir. Gerekli enerji seviyesi atomlar arasındaki bağın kuvvetli veya zayıf olmasına göre değişir. Bu durum şekil 4.12.3.2’de gösterilmektedir.

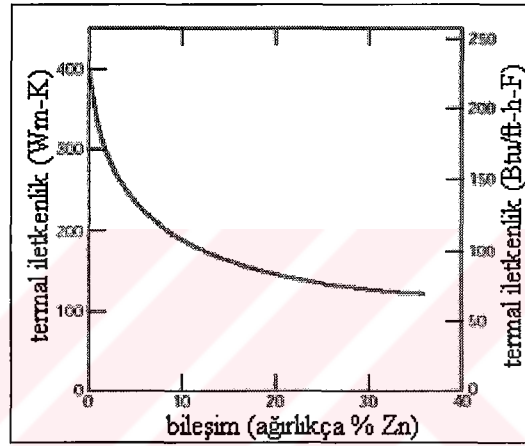


Şekil 4.12.3.2.a. Atomlar arasında zayıf bağa sahip bir katının b. atomlar arasında kuvvetli bağa sahip bir katının, atomlar arasındaki mesafeye göre bağ enerjisinin değişimi (Callister, 2003)

Isıl İletkenlik: Isıl iletkenlik, ısının bir malzeme boyunca transfer hızıdır. Valans elektronları iletim bandına kolaylıkla tahrik edilirse, ısı enerji elektronlarla transfer

edilir. Transfer edilen enerji miktarı tahrik edilen elektronların sayısına ve hareketliliğine bağlıdır.

- a) **Metallerde Isıl İletkenlik:** Elektronik katkılar metaller ve alaşımların ısı enerji iletkenliğinde hakim faktördür. Çünkü valans bandı tamamen dolmamıştır. Ancak ısı iletkenlik aynı zamanda kafes hatalarına, mikro yapıya ve metallerin işlemlerine bağlıdır. Bu nedenle soğuk şekillendirilmiş katı eriyik mukavemetlendirilmiş

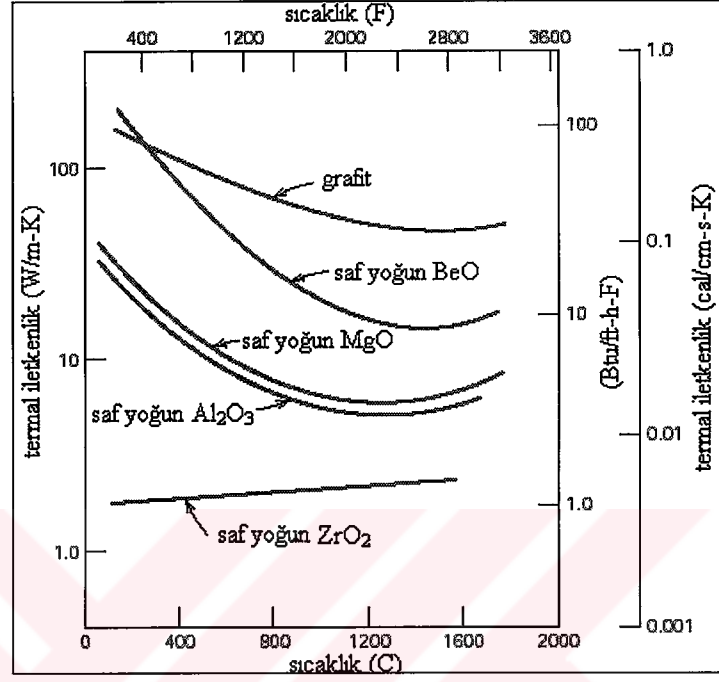


Şekil 4.12.3.3. Bakır-çinko alaşımının bileşime göre termal iletkenliği

metaller ve iki fazlı alaşımlar benzerleri olan hatasızlara göre daha düşük iletkenlik sergilerler. Şekil 4.12.3.3'de bakır çinko alaşımının ısı iletkenliği gösterilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda metallerin hareketliliğinin ve ısı iletkenliğinin azalması beklenir. Buna karşın yüksek sıcaklık aynı zamanda elektronların enerjisini artırır ve kafes titreşimi ile ısının transfer olmasına izin verir. Metallerde genellikle ısı iletkenlik başlangıçta sıcaklıkla azalır, hemen hemen sabitleşir, daha sonra hafifçe yükselir.

- b) **Seramiklerde Isıl İletkenlik:** Seramiklerde veya yalıtkan malzemelerde ısı transferinden kafes titreşimleri veya fononlar sorumludurlar. Bu malzemelerde enerji aralığı, yüksek sıcaklıklarda hariç; pek çok elektronun iletim bandına tahrik edilmesi için çok büyüktür. Normal olarak seramikler yüksek sıcaklıklarda yüksek enerji fononlarından ve bazı elektronik

katkılarından dolayı yüksek ısıl iletkenliğe sahiptirler. Şekil 4.12.3.4'de bazı seramik malzemelerin termal iletkenlikleri gösterilmektedir.

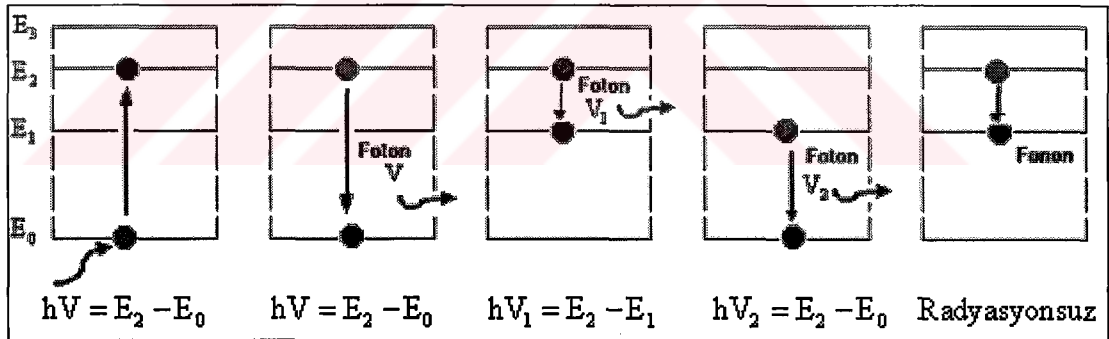


Şekil 4.12.3.4. Bazı seramik malzemelerin sıcaklığa göre ısıl iletkenlikleri (Callister, 2000)

4.12.4. Optik Özellikler

Optik özellikler elektromanyetik dalgalarla malzemelerin elektronları arasında etkileşme sonucu oluşurlar. Elektromanyetik dalgalar eşzamanlı değişken elektriksel ve manyetik alan niteliğindedirler. Bu dalgalar veya fotonlar malzemelerdeki elektron bulutunda yük dağılımını değiştirir, iyonlarla ve elektriksel kutuplarla etkileşirler.

Elektromanyetik Dalgalar: Bir elektrona çarpan fotonun (ışın demeti) enerjisi, atomun çevresindeki karakteristik enerji düzeyleri farkına eşit ise elektron aktive edilerek bir üst enerji düzeyine yükseltilir ve foton enerjisinin tamamını vererek yok olur. Yüksek enerji düzeyinde (elektronu yörüngesinden çıkarması için gerekli olan enerji miktarı) kararsız konumda olan elektron tekrar temel düzeye geri döner. Bu dönüş Şekil 4.12.4.1'de gösterildiği gibi koşullara bağlı olarak bir veya birkaç aşamada olabilir.

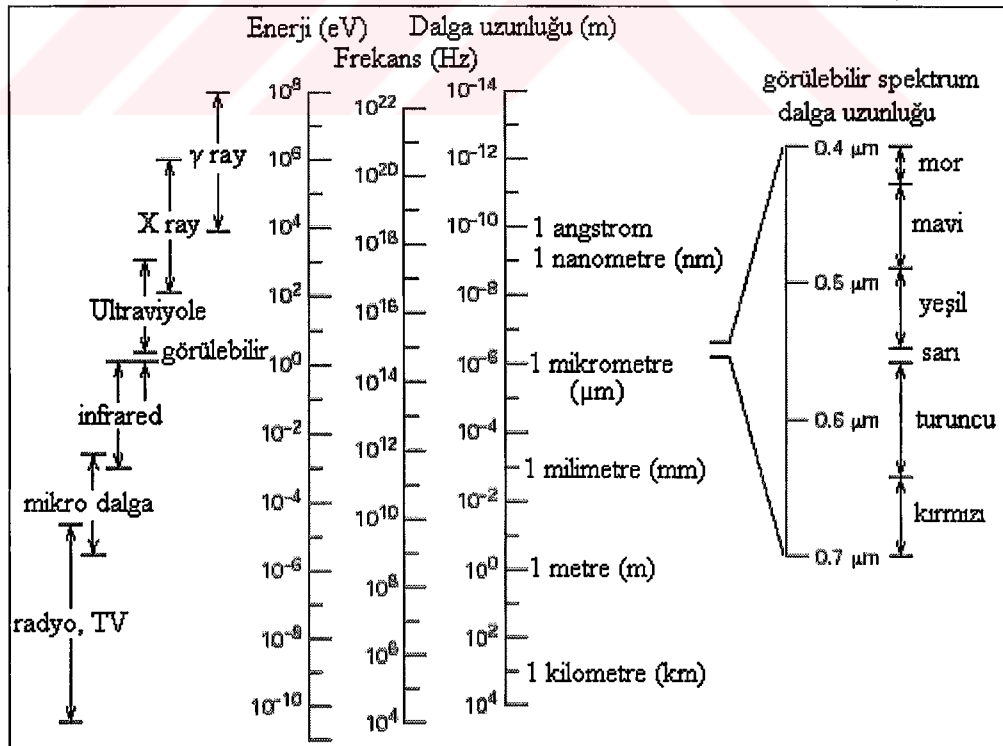


Şekil 4.12.4.1. Fotonlarla elektronların etkileşmesi ve fonon oluşumu

Bir atomun elektron yapısında E_0 , E_1 , E_2 , E_3 enerji düzeylerinin bulunduğu ve bir elektronun başlangıçta E_0 temel düzeyini, işgal ettiği kabul edildiğinde; bu elektrona çarpan fotonun enerjisi $h\nu = E_2 - E_0$ değerine eşitse elektron E_2 düzeyine yükselir. Elektron E_2 'den E_0 'a doğrudan dönebilir, bu durumda uyarıcı fotonla eşdeğer karakterde $h\nu = E_2 - E_0$ enerjili bir foton yayılır. Bu dönüş aşamalı olabilir. İlk aşamada E_2 'den E_1 'e iner ve $h\nu_1 = E_2 - E_1$ enerjili bir foton, ikinci aşamada E_1 'den E_0 'a iner ve çevreye, $h\nu_2 = E_1 - E_0$ enerjili bir başka foton yayılır. Burada görüldüğü gibi çevreye ν , ν_1 , ν_2 frekanslı üç ayrı foton yayılma olasılığı vardır. Bu fotonlar malzemelerin

karakteristik değerleridir. Bunların enerjileri, dalga boyları ve frekansları ölçülerek malzemenin türü ve hatta bileşimi saptanabilir. Elektromanyetik dalgaların oluşumu için ısı enerjiden de yararlanılabilir. Isıl enerji etkisinde kinetik enerjileri artan elektronlar üst enerji düzeyine yükselirler. Bu elektronlar tekrar geri dönerken sıcaklığa bağlı olarak değişik frekansta foton yayarlar. Bu fotonlar pirometrik yolla analiz edilerek cismin sıcaklığı saptanabilir. Elektronların kademeli dönüşlerinde bazı kademeler radyasyon, yani foton yaymadan atlanabilir. Bu durumda enerji foton yerine fonon oluşumu yolu ile ısı enerjisi halinde yayılır.

Elektromanyetik dalgaların dalga boyları, Şekil 4.12.4.2.'de görüldüğü gibi geniş bir spektruma yayılırlar. Spektrumun bir ucunda çok uzun dalga boylu enerji dalgaları, diğer ucunda çok kısa dalga boylu γ ışınları bulunur. Görünen ışık dalgaları $(4-7) \times 10^{-5}$ cm gibi çok dar bir bölge içindedir. Elektromanyetik dalgalar havada ışık hızı (3×10^{10} cm/sn) ile yayıldığından dolayı frekanslarını elde etmek için bu hız dalga boyuna bölünür. Buna göre tüm radyasyon dalgalarının frekansları 10^2 ile 10^{20} Hz arasında bulunur.



Şekil 4.12.4.2. Elektromanyetik dalgalar ve ışık dalgaları spektrumu (Callister, 2000)

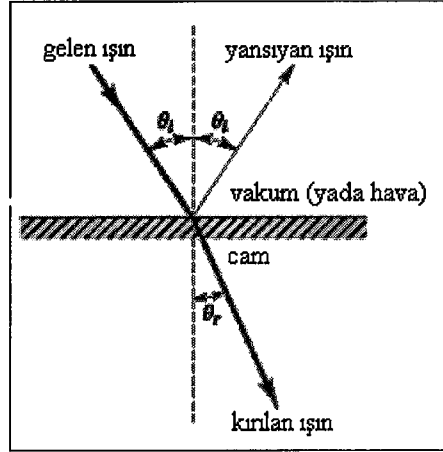
Görünen ışık dalgaları spektrumu, Şekil 4.12.4.2.'de görüldüğü gibi, belirli dalga boylarına sahip değişik renkleri içerir. En uzun dalga boylu kızıl ışık (7×10^{-5} cm) bir uçta, en kısa dalga boylu mor ışık (4×10^{-5} cm) diğer uçtadır. Bu renk dalgalarının tümü bir arada bulunursa görünen ışığın rengi beyaz olur. Kızıl ışığın altında gözle görülmeyen düşük enerjili kızıl altı ışınları, mor ışığın ötesinde yine gözle görülmeyen yüksek enerjili mor ötesi ışınları bulunur.

Eğer gelen fotonun enerjisi mevcut elektron düzeyleri farkına eşit değilse, elektronlar yükseltilemez. Bununla beraber fotonlarla atomlar arasında etkileşme olur. Burada söz konusu gelen fotonun $h\nu$ enerjisi Şekil 4.12.4.1'deki örnekte gösterilen E_1-E_0 , E_2-E_0 , E_3-E_0 veya diğer olası enerji düzeyleri farkına eşit olmaması halidir. Bu durumda elektromanyetik özellikli foton, cisim içinde ilerlerken elektriksel yüklü parçacıkları etkileyerek kendi frekansında titreştirirler, ancak enerji düzeylerini değiştirmezler. Elektrik yüklü parçacıklar elektronlar, iyonlar ve elektriksel kutup çiftleri olabilir. Bunların içinde en önemli olan elektronların titreşmeleridir. Titreşen elektron her yöne uyarıcı dalga frekansında radyasyon saçar. Saçılan radyasyonun şiddeti uyarıcı dalganın dalga boyuna ve atomun elektron yapısına bağlıdır. Elektronların aşamalı geri dönüşlerinde bazı basamaklarda radyasyon yayılamayabilir. Bu durumda enerji fononlara dönüşerek kütlede ısı enerjisi olarak yayılabilir. Gelen dalgalar gerek emme-yayma süreci sonucu, gerekse uyarılmış elektron titreşimi sonucu olsun daima yansıma, kırılma ve emilmeye maruz kalırlar.

Yansıma: Yansıma malzeme yüzeyine çarpan ışık dalgalarının geriye doğru yayılmasıdır. Yansıma oranı R , yansıyan ışığın şiddeti I 'nin malzemenin yüzeyine gelen ışığın şiddeti I_0 'a oranıdır.

Valans bandı kısmen boş olan metaller yüzeye gelen fotonları kuvvetle emerler, aktive olmuş elektronlar hemen geri dönerek emdikleri enerjiyi tekrar fotonlar halinde çok az kayıpla yayarlar. Bu nedenle özellikle yüzeyleri düzgün metallerde yansıma oranı çok yüksek olup %100'e yakındır. Gazlarda, sıvılarda ve saydam katılarda emme oldukça azdır, yansıma oranı düşüktür. Bu tür cisimlerde R yansıma oranı n kırılma indisine bağlıdır. $R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \cdot 100$

Bu bağıntıdan görüldüğü gibi kırılma indisi arttıkça yansımaya oranı da artar. Cam'ın kırılma indisi 1,51 , yansımaya oranı %10-10, elmasta ise kırılma indisi 2,417 ve yansımaya oranı %17'dir, bu nedenle parlaklı görünür.



Şekil 4.12.4.3. Işık dalgasının yansıması ve kırılması (Callister, 2003)

Kırılma: Saydam bir malzemenin yüzeyine gelen dalganın bir kısmı yansır, bir kısmı da kırılarak malzeme içinde ilerler. Gelen dalganın hızı ile kırılan dalgaların hızları farklı olduğundan aralarında faz farkı doğar. Işığın boşlukta yayılma hızı C 'nin malzeme içinde yayılma hızı V 'ye oranına kırılma indisi denir ($N=C/V$). Kırılma indisi n_1 olan ortamda ışığın hızı V_1 ve ışık demetinin ortamın normali ile yaptığı açı ϕ_1 , kırılma indisi n_2 olan ortamda V_2 hızı ile yayılırken normale yaptığı açı ϕ_2 olursa, bu büyüklüklerin oranları arasında aşağıdaki bağıntılar mevcuttur.

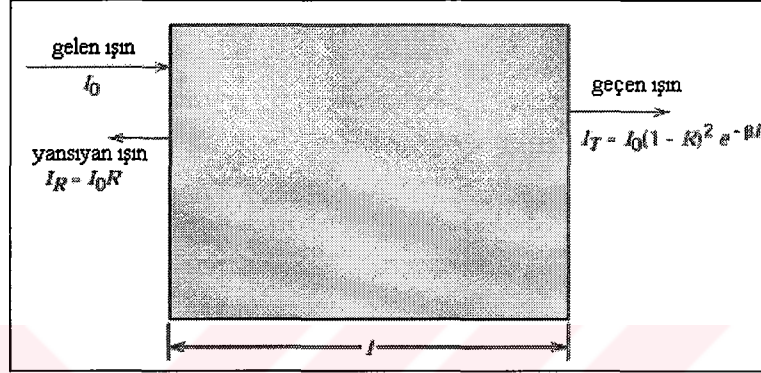
$$V_1 n_1 = V_2 n_2 = C$$

$$V_1 \sin \phi_2 = V_2 \sin \phi_1$$

Burada C ışığın boşlukta yayılma hızıdır. Bir ortamın kırılma indisi ve ışığın normale yaptığı açı biliniyor ise ışığın ortamda yayılma hızı hesaplanabilir. Kırılma indisi gelen dalgaların enerjisine ve yayıldığı ortamın yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek enerjili dalgalar malzeme içindeki elektronlar ve elektriksel kutup çiftleri ile daha şiddetli etkileşeceğinden hızlarında azalma daha büyük olur. Buna göre saydam bir ortama giren ışık demetinde yüksek enerjili mor ışınlar daha çok, düşük enerjili kırmızı ışınlar ise daha az saparlar. Ortamın yoğunluğu büyük olursa ve yüksek atom numaralı elemanlar içerirse elektron yoğunluğu büyük, dolayısıyla ışık dalgaları ile etkileşme daha şiddetli olur ve böylece kırılma indisi artar. Düşük yoğunluklu cam

içine atomsal ağırlığı büyük Pb katılırsa kırılma indisi artar. Bu özellikten yararlanılarak ışığı daha çok kıran, daha parlak görünen kristal camlar üretilmektedir.

Emme: Işık dalgaları malzeme içinden geçerken elektronik etkileşme nedeni ile emilir ve kütle içinde ilerledikçe şiddeti azalır.



Şekil 4.12.4.4. Saydam bir ortamdan ışığın geçişi. Ortamda ışığın bir kısmının absorbe edilmesinin yanında ön ve arka yüzde yansımaya vardır (Callister, 2000)

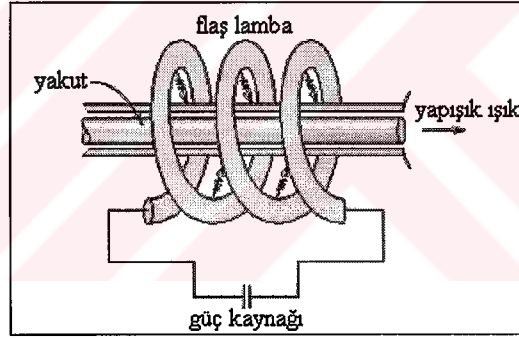
Burada α malzemelerin ışığı emme katsayısıdır. Buna göre $I = I_0 e^{-\alpha x}$ elde edilir. Cismin yüzeyine gelen I_0 şiddetinde ışığın $I_0 R$ kadar kısmı yüzeyden yansır ve içeriye $(I - R)$ kadar girer. Ortamdan çıkmadan önce yine IR kadar yansır ve geri $(1 - R)$. I kadar kalır. Sonunda cisimden çıkan ışığın şiddeti; $I = (1 - R)^2 I_0 e^{-\alpha d}$ olur. Belirli bir malzeme için yansımaya oranı R ile emme katsayısı gelen dalganın frekansına ve malzeme ile etkileşmesine bağlıdır. Opak malzemelerde yansımaya oranı R ve emme katsayısı α büyüktür. R yansımaya oranı metallerde %100 iken camda %5 kadardır.

4.12.4.1. Metallerin Optik Özellikleri

Metallerde R yansıtma oranı ile emme katsayısı büyüktür, dolayısıyla ışığı kuvvetle emip yansıtırlar. Valans bandında Fermi düzeyi civarındaki elektronlar en düşük enerjili radyo dalgaları dahil mor ötesi bölgeye kadar olan geniş alandaki elektromanyetik dalgaları emerek geçirmezler. Yüksek enerji kazanarak serbest hale geçen bazı elektronlar iyonlara çarparak kafes titreşimleri oluştururlar. Fononlar halinde yayılan bu titreşimler ısı şeklinde bir miktar enerji kaybına neden olurlar.

Kuvvetli emme ve yansıtma özelliğine sahip metallere tümü opak ve ışığı geçirmez. Ancak çok ince metal filmler ($0,1 \mu\text{m}$) ışığı bir miktar geçirebilir. Metallerde görülen renklerin görünüşü ışık dalgaları spektrumunun seçimli emilmesinden kaynaklanır. Örneğin altın yeşilin üstündeki fotonları emer, onun altındaki ışık dalgalarını yansıtır, dolayısıyla sarı-kırmızı görünür. Gümüş görünüşteki bölgedeki tüm fotonları yansıtır, ancak morötesi ışınları emer, bu nedenle rengi beyazdır.

Lazerler: Lazer eş frekanslı, eş zamanlı paralel monokromatik ışık dalgaları yayan kaynak anlamına gelir. Çok yüksek enerjiye ve spektral aralığa sahip lazer ışınları tıpta, endüstride, çok duyarlı boyut ölçmede ve iletişim alanlarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

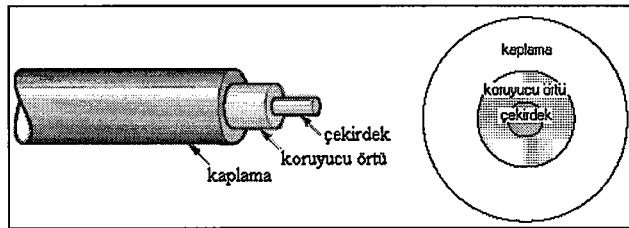


Şekil 4.12.4.1.1. Yakut lazeri ve xenon flaş lambasının şematik diyagramı (Callister, 2000)

İlk geliştirilen ve en yaygın olarak kullanılan lazer malzemesi %0,5 Cr_2O_3 içeren tek Al_2O_3 kristalidir. Şekil 4.12.4.1.1'de görülen silindirik şeklindeki kristalin iki ucu parlatılarak biri tam, diğeri aralıklı olarak gümüşle kaplanır. Kristalin çevresinde sabit dalga boylu ışık dalgaları yayan xenon gazlı bir deşarj tüpü bulunur. Al_2O_3 kristali içinde katı eriyik halinde bulunan Cr^{3+} iyonlarının valans altı elektronlarının bazıları çevredeki ışık lambasından yayılan fotonlara aktive edilerek üst enerji düzeyleri yükseltilir. Genelde aktive edilen kararsız durumdaki elektronların geri dönüşü rasgeledir ve zamanla dönüşleri bir rölaksasyon fonksiyonuna uyar. Ancak lazerlerde durum farklıdır. Daha önce $h\nu$ enerjili fotonla aktive edilerek E1 den E2 enerji düzeyine yükseltilmiş olan elektron daha sonra yine $h\nu$ enerjili bir başka

fotonun uyarılması ile geri ve dönerken $h\nu$ enerjili yeni bir foton yayar. Uyarıcı fotonla aynı frekanslı eş zamanlı yeni foton birlikte yayılmaya devam ederler. Kristal içinde ileri geri yansiyarak yayılırken bu olaylar zincirleme devam eder. Çok kısa bir süre içinde (10^{-8} sn) eş zamanlı foton seli oluşur ve kristalin aralıklı kaplanmış ucundan dışarı çıkarak bir doğru boyunca yayılır. Aynı fazda ve çok sayıda monokromatik ışık dalgalarının üst üste binmesi sonucu çok kısa sürede çok büyük enerji doğar. Bir lazer kaynağından çıkan ışık dalgaları bir mercek ile odaklanılarak çok uzaklara bir doğru boyunca yayılmaları sağlanabilir. Aya gönderilen bir lazer ışını demetinin 2 mm çaplı olduğunu belirtmek bu olaya bir örnektir. Odaklanmış lazer ışınları ile çok kısa sürede 10^8 w/cm² gibi çok yüksek enerji yoğunluğu sağlanabilir. Metalürjide bu yüksek enerjiden ergitme işlemlerinde yararlanır. Katı kristaller uyarım süresinde çok ısındıklarından ancak kısa bir süre halinde uyarılabilirler. Katı lazer malzemeleri yerine gaz ve sıvı halindeki malzemeler kullanılabilir. Bunlarda verimin düşük olmasına karşın ısınma sorunu yoktur. Ayrıca (p-n) yarı iletken çiftlerinden oluşan dipol lazerler sürekli kullanılmaya elverişlidir.

Optik Fiberler: Yeni geliştirilmiş iletim sistemlerinde modüle edilmiş ışık dalgaları optik fiberler yardımı ile çok uzak mesafelere kadar bilgi iletilebilmektedir. Optik fiberler 60 μ miknatıs çaplı saf cam lifleridir. İçlerinde ışığı emecek yabancı elemanların bulunmaması ve yüzeylerin kusursuz olması gerekir. Yüzey kusurlarının ışığı dağıtma etkisini önlemek için yüksek kırılma indisli cam çekirdek düşük kırılma indisli camla kaplanır. Bu durumda ışık dalgaları iç yansıma ile kayıp vermeden çok uzaklara iletilebilir. Lazerlerle elde edilecek görünen ışık dalgaları spektruma içinde yaklaşık 10^8 ayrı radyo veya TV kanalı ile bilgi iletimi sağlanabilir. Diğer taraftan demet halinde çok sayıda optik fiberler yardımı ile karışık ve erişilmesi güç yerlerde görüntü elde edilebilir. Özellikle bu tür aygıtlar tıpta büyük kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 4.12.4.1.2. Fiber optiğin kesiti (Callister, 2003)

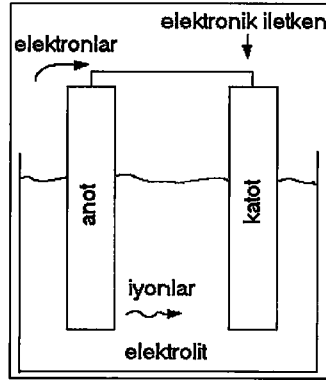
4.12.5. Korozyon

Metallerin hemen hemen hepsi doğada bileşik halinde bulunurlar. Bu bileşiklerden ilave malzeme, enerji, emek ve bilgi kullanmak suretiyle metal veya alaşım üretilir. Üretilen metal ve alaşımların ise tekrar kararlı durumları olan bileşik haline geri eğilimleri yüksektir. Bu nedenle, metaller içinde buldukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek önce iyonik duruma, sonrada ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar. Böylece kimyasal değişime veya bozunuma uğrarlar. Sonuçta metallerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliklerinde istenmeyen bazı değişiklikler meydana gelir ve bu değişiklikler bazı zararlara yol açar. Hem metal malzemelerin bozunma reaksiyonuna, hem de bu reaksiyonun neden olduğu zarara “korozyon” adı verilir. Genel anlamda ise ortamın kimyasal ve elektrokimyasal etkilerinden dolayı metalik malzemelerde meydana gelen hasara “korozyon” denir.

Korozyon esasında metalik malzemelerin içinde buldukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucunda, dışarıdan enerji vermeye gerek olmadan, doğal olarak meydana gelir. İçinde su bulunan ortamlarda meydana gelen korozyona “sulu ortam korozyonu” denilir. Atmosferde, toprak altında, su içerisinde veya her türlü sulu kimyasal madde içerisinde meydana gelen korozyon buna örnek olarak gösterilebilir. Yüksek sıcaklıklarda gaz ortamlarında metalik malzemelerde meydana gelen korozyona ise “kuru veya yüksek sıcaklık korozyonu” denir. Kazanların alevle veya sıcak gazlarla temas edilen bölgelerinde meydana gelen korozyonda bu tip korozyona örnek olarak verilebilir.

4.12.5.1. Korozyon Hücresi

Sulu ortamlarda elektron verme (oksidasyon) ve elektron alma (redüksiyon) şeklinde meydana gelen reaksiyonlara “elektrokimyasal reaksiyonlar” denilir. Su içinde, atmosferde ve toprak altında meydana gelen bütün korozyon reaksiyonları elektrokimyasal reaksiyonlardır. Korozyon olayı şekil 4.12.5.1.1’de görülen korozyon hücresi yardımıyla daha iyi açıklanabilir.



Şekil 4.12.5.1.1. Korozyon hücresi

Korozyonun meydana gelebilmesi için korozyon hücresi çevriminin kesintisiz çalışması gerekir. Yani anottaki kimyasal değişim sonucunda meydana gelen metal iyonlarının çözeltiliye geçmesi sırasında açığa çıkan elektronlar, elektronik iletken vasıtasıyla katoda taşınırlar. Metallerde elektron hareketi ile elektrik akımının yönü birbirine terstir. Akım birim zamanda hareket eden elektronların bir ölçüsü olduğu için aynı zamanda anotta meydana gelen kimyasal değişimin de miktarını gösterir. Katot yüzeyinde harcanan elektronlar, oksijenin (O_2) hidroksil (OH) iyonu haline dönüşmesine neden olur. İyonların sulu çözelti içerisindeki hareketi sayesinde anot ile katot arasında elektrik akımı meydana gelir. Pozitif yüklü iyonlar katoda, negatif yüklü iyonlarda anoda giderler. Böylece, hücre çevrimi tamamlanmış olur.

Korozyon hücresinden geçen akıma “korozyon akımı” denir. Korozyon hücresinde anot reaksiyonunun, yani korozyon hızı ile katot reaksiyonunun hızı birbirine eşittir. Sulu ortamda redüklenecek, yani elektron harcayacak madde yoksa korozyon da meydana gelmez. Çünkü anotta açığa çıkan elektronlar harcanamaz. Başka bir deyişle katodik olay yoksa, anodik reaksiyon yani korozyon da olmaz. Ayrıca; anot ile katot bölgeleri arasında elektronik bağın olmaması, yani elektronların taşınmaması, anot ile çözelti veya katot ile çözelti arasındaki temasın engellenmesi veya sistemde sulu iletkenin bulunmaması durumlarında da korozyon meydana gelmez.

Korozyon hızı veya metalin çözünmesi, karşıt reaksiyon yani redüksiyon reaksiyonunun hızı ile orantılıdır. Çözelti içinde redüklenecek madde miktarı düşük

ise korozyon hızının artma tehlikesi yoktur. Örneğin; deniz suyunda metallerde meydana gelen korozyon çözünmüş oksijen oranı ile orantılıdır, dolayısıyla deniz suyundaki korozyon hızı metalin cinsine göre pek fazla değişmez. Korozyona neden olan en önemli katodik etken, sulu ortamda çözünmüş oksijen gazının redüksiyonudur. Bunu hidrojen iyonunun redüksiyonu izler. Asit ortamlarındaki hidrojen iyonu oranı, çözünmüş oksijen iyonu oranından çok daha fazladır. Bu nedenle asidik çözeltilerdeki hidrojen iyonu redüksiyonu önemli bir katodik olaydır. Ayrıca, sulu çözeltilerde redüklenebilen diğer iyonlar da katodik reaksiyona neden olabilirler.

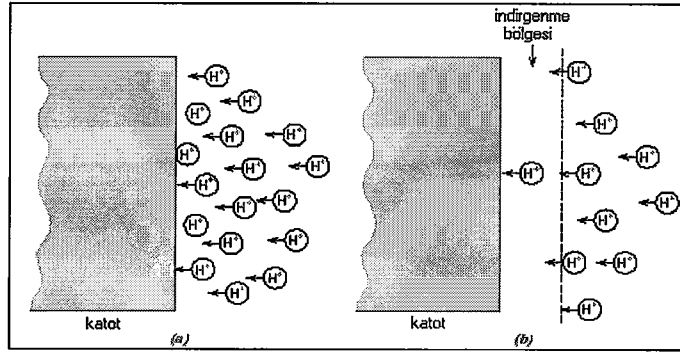
4.12.5.2. Korozyonun Meydana Gelişi

Korozyon birbiri ile elektriksel ve elektrolitik teması olan ve aralarında potansiyel farkı oluşan iki metalik bölge veya nokta arasında meydana gelir. Bu bölge veya noktalardan potansiyel bakımından daha asil olanın yüzeyinde katodik reaksiyon meydana gelir, daha aktif olan diğer bölge veya nokta ise çözünür. Potansiyel farkının oluşum nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- a) Metal veya alaşımın yapısal, kimyasal, mekanik veya ısıl farklılıklar gösteren bölgeleri arasında potansiyel farkı oluşabilir.
- b) Farklı iki metal veya alaşımın birbirlerine temas etmesi nedeniyle potansiyel farkı oluşabilir.
- c) Ortamın katodik olarak redüklenebilen bileşenlerinin, metalin değişik bölgelerinde farklı oranlarda bulunması potansiyel farkı oluşturabilir.

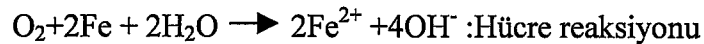
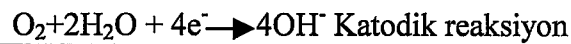
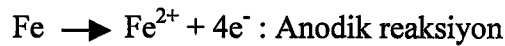
Demirde korozyon olayı şöyle meydana gelmektedir. Sıradan bir demir parçası hidroklorik asit (HCl) çözeltisi içerisine daldırıldığında hidrojen kabarcıkları oluşur. Demirde bulunan enklüzyonlar, yüzey pürüzlülüğü, yerel gerilmeler, tane yönelmesi veya ortamda meydana gelen değişimler nedeniyle demir parçasının yüzeyinde çok sayıda anot ve katot bölgeleri oluşur. Anot bölgesindeki pozitif yüklü demir atomları parçanın yüzeyinden ayrılarak pozitif iyonlar halinde sıvı çözeltiliye geçerken, negatif yüklü elektronlar metal (demir) içinde kalırlar. Söz konusu elektronlar, çözeltiliden metal yüzeyine ulaşan pozitif hidrojen iyonlarını karşılayarak, onları nötrleştirirler.

Nötr hale gelen bazı atomların bir araya gelmeleri sonucunda hidrojen gazı oluşur. Bu işlem devam ettikçe, demir anot bölgesinde oksitlenir ve korozyona uğrar.



Şekil 4.12.5.2.1. Hidrojen redüksiyonu için H'nin katodun yakınlıklarına dağılımı a. Düşük redüksiyon oranı ve yüksek konsantrasyon b. Yüksek redüksiyon oranı ve düşük konsantrasyon (Callister, 2000)

Parçanın katot olan bölgeleri ise hidrojenle kaplanır. Çözünen metal miktarı, uygulanan gerilim ile metalin direncine bağlı olan hareketli elektron sayısı veya akım şiddeti ile doğru orantılıdır. Korozyonun devam edebilmesi için anot ve katotdaki korozyon ürünlerinin giderilmesi gerekir. Bazı durumlarda, hidrojen gazı katotda çok yavaş birikir ve metal yüzeyinde oluşan hidrojen tabakası korozyon reaksiyonunu yavaşlatır. Katodik polarizasyon olarak bilinen bu olay şekil 4.12.5.2.1'de şematik olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte; elektrolitte çözünen oksijen, metal yüzeyinde biriken hidrojenle tepkimeye girerek su oluşturur ve böylece korozyonun devam etmesi sağlanır. Anot ve katotda meydana gelen reaksiyon ürünlerinin zaman zaman karşılaşp, yeni reaksiyonlara girmeleri sonucunda gözle görülebilir pek çok korozyon ürünü oluşabilir. Demirin korozyonunda, hücre reaksiyonunu oluşturan anodik ve katodik reaksiyonlar aşağıdaki gibi yazılabilir.



Hücre reaksiyonunun sol tarafında yer alan bileşenlerin enerjisi veya serbest enerjileri toplamı (ΔG_{sol}), sağ tarafındakilerin enerjisinden ($\Delta G_{\text{sağ}}$) fazla ise reaksiyon

soldan sağa kendiliğinden gelişir ve sonuçta demir çözünerek, oksijen redüklenir. Bu olay, suyun yüksekte alçağa veya ısının sıcaktan soğuğa doğru doğal akışına benzer biçimde meydana gelir. Hücre reaksiyonunun iki tarafı arasındaki enerji farkı korozyon hücresinin enerjisini verir ve bu enerjinin değeri negatiftir. Bu durum, aşağıdaki formül yardımıyla gösterilebilir.

$$\Delta G_{kor} = \Delta G_{sağ} - \Delta G_{sol} \quad (\Delta G_{sol} > \Delta G_{sağ})$$

Enerji farkı ($\Delta E_{hücre}$) :

$$\Delta E_{hücre} = \frac{-\Delta G_{kor}}{n.F} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Bu bağıntıdaki $\Delta E_{hücre}$ korozyon hücresinde alınıp verilen elektron sayısını gösterir, F ise Faraday sabitidir. Korozyon hücresine ait enerjinin veya hücre potansiyelinin bir kısmı anodik reaksiyonun, bir kısmı katodik reaksiyonun belirli bir hızla gelişmesi için, bir bölümü de sistemin direncini yenmek için harcanır. Sistemin direnci ne kadar yüksek ise harcanacak enerji de o kadar fazla olur ve toplam enerjiden anodik ve katodik reaksiyonlara harcanan pay da azalır, yani korozyon yavaşlar. Korozyon hızının bu şekilde azaltılması, uygulamada yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Anodik ve katodik reaksiyonların enerji ve gerilim farkları da benzer şekilde hesaplanabilir. Redüksiyon olarak yazılan reaksiyonların hesap yöntemiyle bulunan potansiyel farkları en yüksek pozitiften (en asil) en düşük negatife (en aktif) doğru sıralanarak metallerin “elektromotif kuvvet serisi” elde edilir. Bu seride, hidrojen iyonunun redüksiyon potansiyeli sıfır kabul edilir.

Söz konusu seride artı (+) yönde veya asil olan bir metal ile eksi (-) yönde yani bunun üstünde yer alan başka bir metalle temas etmesi durumunda, (+) yöndeki metalin yüzeyinde redüksiyon reaksiyonu meydana gelir ve (-) yöndeki metal ise korozyona uğrar. Ancak, teorik olarak mümkün olan bu olay pratikte meydana gelmeyebilir. Bu nedenle metallerin hesapla bulunan teorik potansiyelleri yerine kullandıkları ortamda, örneğin deniz suyunda veya toprak altında ölçülerek bulunan potansiyelleri sıralamaya tabi tutulur. Bu şekilde elde edilen seriye “galvanik seri” adı verilir. Bu seriler uygulamadaki korozyon tahminlerinde daha gerçekçi sonuçlar verir.

Çizelge 4.12.5.2.1. Metallerin elektromotif kuvvet serisi (Savaşkan, 1999)

Elektrot reaksiyonu	Standart elektrot potansiyeli	Elektrot reaksiyonu	Standart elektrot potansiyeli
$K=K^++e$	-2,922	$Co=Co^{++}+2e^-$	-0,277
$Ca=Ca^{++}+2e$	-2,87	$Ni=Ni^{++}+2e^-$	-0,250
$Na=Na^++e$	-2,712	$Sn=Sn^{++}+2e^-$	-0,136
$Mg=Mg^{++}+2e$	-2,34	$Pb=Pb^{++}+2e^-$	-0,126
$Be=Be^{++}+2e$	-1,70	$1/1 H_2=H^++e^-$	-0,000
$Al=Al^{3+}+3e$	-1,67	$Cu=Cu^{++}+2e^-$	0,345
$Mn=Mn^{++}+2e$	-1,05	$Cu=Cu^++e^-$	0,522
$Zn=Zn^{++}+2e$	-0,762	$Ag=Ag^++e^-$	0,800
$Cr=Cr^{3+}+3e$	-0,71	$Pd=Pd^{++}+2e^-$	0,83
$Ga=Ga^{3+}+3e$	-0,42	$Hg=Hg^{++}+2e^-$	0,854
$Fe=Fe^{++}+2e$	-0,440	$Pt=Pt^{++}+2e^-$	1,2
$Cd=Cd^{++}+2e$	-0,402	$Au=Au^{3+}+3e^-$	1,42
$In=In^{3+}+3e$	-0,340	$Au=Au^++e^-$	1,68
$Ti=Ti^++e$	-0,336		

4.12.5.3. Korozyon Türleri

Metal ve alaşımlarda değişik korozyon türlerine rastlanır. Bu malzemelerde görülen belli başlı korozyon türleri; homojen korozyon, galvanik korozyon, çukurcuk korozyonu, aralık korozyonu, taneler arası korozyon ve gerilmeli korozyon şeklinde sıralanabilir.

Homojen dağılımlı korozyon en yaygın görülen bir korozyon türü olup, metal yüzeyinde çok sayıda olan ve birbirine yakın konumda bulunan mikroanot ve mikrokatot bölgeleri arasındaki elektrokimyasal etki ile meydana gelir. Katot ve anot bölgelerinin sürekli yer değiştirmeleri nedeni ile metal yüzeyi homojen olarak korozyona uğrar ve korozyon hızının hemen hemen her yerde sabit olduğu kabul edilir. Bu tür korozyon genelde atmosfere açık yerlerde veya homojen ortamlarda bulunan alaşımsız çelikler, az alaşımlı çelikler, çinko, galvanizli çelikler ve belirli ölçüde de bakır ve bakır alaşımlarında görülür. Homojen dağılımlı korozyon diğer korozyon türlerinden daha fazla metal kaybına yol açar. Ancak, bu korozyonun hızı basit deneylerle belirlenebildiğinden korozyon ortamına bırakılan parçaların

ömürlerine ilişkin tahminlerde bulunulabilir. Bu nedenle homojen dağılımlı korozyondan fazla korkulmaz. Bu korozyon yüzey kaplama, katodik koruma veya korozyon önleyici madde kullanmak suretiyle kontrol edilebilir.

Galvanik Korozyon, korozyon ortamında birbirine temas eden farklı türden metal veya alaşımların temas yüzeylerinde meydana gelir. Bu korozyonda aktif olan metalde korozyon hızlanırken daha soy olan metallerin korozyonu yavaşlar veya tamamen önlenir. Örneğin; deniz suyu ortamında pirinç malzemelerle temas eden çelik vidalarda veya bir su ısıtıcısındaki bakır ve çelik boruların bağlantı yerlerinde bu tür korozyon meydana gelir.

Çukurcuk Korozyonu, metal malzeme yüzeyinin çok dar bölgelerinde çukurcuk (pit) oluşumuna neden olan bir korozyon türüdür. Korozyon ile oluşan çukurcukların büyüklüğü ve sıklığı malzeme ve ortama göre değişir. Çukurcuk korozyonu sonucunda meydana gelen toplam malzeme kaybı, homojen dağılımlı korozyon sonucunda meydana gelen malzeme kaybından çok daha azdır. Ancak, çukurcuk korozyonuna uğrayan parçalar kısa zamanda delinerek kullanılmaz hale gelebilir. Ayrıca, çukurcukların diplerinde meydana gelen gerilme yığılması malzemenin çatlamasına yol açabilir. Metal malzemelerde bozunuma yol açması, yaygın olması ve kontrolünün zor olması gibi nedenlerden dolayı çukurcuk korozyonu en tehlikeli korozyon türlerinden biri olarak kabul edilir.

Aralık Korozyonu, malzeme veya malzemelerden üretilen çeşitli sistemlerde bulunan dar aralık veya bölgelerden meydana gelen korozyon türüdür. Aralığı oluşturan eleman veya parçaların her ikisinin de metal olması gerekmez. Parçalardan biri lastik veya cam olabilir. Bu korozyon; malzemelerde bulunan çatlaklarda kir ve tufal tabakalarının altında veya makine parçalarının montajında giderilmeyen dar bölge ve aralıkların içinde başlar. Göz önünde bulunmayan bölgelerde meydana geldiği için kolayca fark edilmeyebilir. Bu korozyon, aralık içerisindeki elektrolitte oksijenin az olması nedeniyle meydana gelir. Bu korozyonda elektrolit kılcallık etkisi ile aralığın içine girer. Korozyon, aralığın içinde ve dışında oksijen reaksiyonu ile başlar ve aralığın içindeki oksijeni tamamen tüketir. Aralığın dışı hava ile temasta olduğundan burada bulunan elektrolit oksijen bakımından daha zengindir. Ancak, elektrolit

aralığın hava almasını yani oksijenin aralığa girmesini engeller. Bu durumda elektrolit içerisindeki oksijen oranında farklılık meydana gelir. Aralık dışında kalan bölge oksijeni bol olduğundan katot, aralık içinde kalan bölge ise oksijeni az olduğundan anot görevi yapar. Bu nedenle söz konusu aralık korozyona uğrar.

Taneler Arası Korozyon, korozyon olayının malzemenin tane sınırlarına yakın bölgelerinde yoğunlaşması sonucunda ortaya çıkan bir bozunma türüdür. Bu korozyon, metal veya alaşımların tane sınırlarıyla diğer bölgeleri arasında bir gerilim farkının meydana gelmesi durumunda ortaya çıkar. Bu tip korozyon, bir katı çözelti içerisinde bir fazın çökmesi sonucunda meydana gelir. Tane sınırlarındaki çökmenin hızlı olması nedeniyle tane sınırlarına yakın bölgeler çökeltiyi oluşturan element bakımından fakirleşir. Bu durum tane sınırları ile diğer bölgeler arasında bir gerilim farkı oluşturur. Bunun sonucunda tane sınırları tercihli olarak korozyona uğrar. Bu tip korozyon daha çok östenitik paslanmaz çelikler ve alüminyum – bakır alaşımlarında görülür. Bu korozyon sonucunda taneler bütünlük ve şekillerini korurken taneler arasındaki bağ bozunuma uğrar.

Gerilmeli Korozyon, gerilme ve korozyon etkisiyle metal malzemelerde meydana gelen bozunma olarak tanımlanabilir. Bu korozyon tane sınırlarında çatlak oluşturarak, malzemelerin dayanımını azaltır. Bozunma parça yüzeyinde bulunan çatlaklarda veya gerilme yığılmasına yol açan diğer geometrik düzgünlüklerde başlar. Gerilmeli korozyonun en belirgin özelliği, kimyasal ve mekanik etkilerin birbirini destekler nitelikte olmasıdır. Gerilmeli korozyon, korozif ortamda bulunan korozyona duyarlı malzemelerde çekme gerilmesi etkisiyle çatlak oluşması ve ilerlemesi şeklinde meydana gelen bir olaydır.

4.12.5.4. Korozyonun Önlenmesi

Korozyonu önlemek veya korozyondan korunmak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları; saf metal kullanımı, alaşım elementi katma, ısıl işlem, uygun tasarım, katodik koruma, korozyon önleyici (inhibitör) kullanımı ve yüzey kaplama şeklinde sıralanabilir.

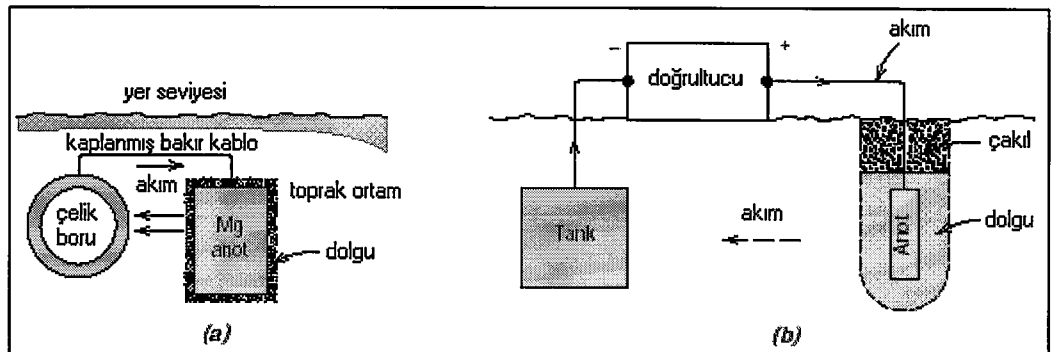
Saf Metal Kullanımı: Çoğu uygulamalarda saf metal kullanılarak, homojen olmayan kısımlar en aza indirilir ve böylece çukurcuk (pitting) korozyonu büyük ölçüde engellenir. Dolayısıyla parçanın veya elemanın korozyona karşı direnci artırılır.

Alaşım Elementi Katma: Alaşım elementi katmak suretiyle bazı metallerin korozyon direnci artırılabilir. Bazı alaşım elementleri malzemenin yüzeyinde gözeneksiz oksit filmleri oluşturarak veya oluşmasına yardım ederek malzemenin korozyon direncini artırır. Örneğin; bakır alaşımlarına katılan mangan ve alüminyum, paslanmaz çeliğe katılan molibden ve alüminyuma katılan magnezyum bu malzemelerin korozyon dirençlerini artırır.

Isıl İşlem: Döküm parçalarının çoğunda segregasyon meydana gelir. Bu parçalara homojenizasyon, çözüldürme veya stabilizasyon gibi ısıl işlemler uygulamak suretiyle iç yapıları homojen hale getirilir ve böylece korozyon dirençleri artırılır.

Uygun Tasarım: Parçanın korozyon ortamıyla temasını en aza indirmek için uygun tasarım yapılmalıdır. Elektromotif seride birbirine uzak olan elementler arasında temastan kaçınılmalıdır. Eğer bu başarılmazsa galvanik korozyonu önlemek için plastik veya kauçuk kullanılarak metal malzemelerin teması önlenmelidir.

Katodik Koruma: Katodik koruma normal olarak, elektriksel temas durumunda



Şekil 4.12.5.4.1.a. Yer altındaki bir boru hattının magnezyum anot kullanılarak katodik korunması b. Yer altındaki bir tankın etkilenen akım kullanılarak katodik korunması (Callister, 2000)

korozyona uğrayan metalin galvanik seride kendisinden daha yukarıda yer alan metal ile birleştirilmesi sonucunda sağlanır. Yer altındaki borular, gemi gövdeleri ve buhar kazanları gibi yapılar bu yöntemle korunurlar. Yeraltındaki boruların korunması için anotlar borudan 2,4 – 3,0 m uzağa gömülür. Anotların her biri kollektör kabloya bağlanır ve bu da boru hattına lehimlenir. Akım anottan toprağa gönderilerek, boru hattında toplanır ve kollektör kablo vasıtasıyla anoda geri döner.

Korozyon Önleyicisi (İnhibitör) Kullanımı: Korozyon önleyicileri, korozif etkiyi azaltmak veya önlemek için korozyon ortamına katılan maddelerdir. Bu maddeler çoğu durumlarda metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturarak korozyonu önlerler. Otomobil radyatörlerinde kullanılan antifriz karışımının içine katılan inhibitör buna bir örnektir.

Yüzey Kaplama: Yüzey kaplamaları; metal kaplamalar ve metal olmayan kaplamalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Metal Kaplamalar sıcak daldırma, elektrokaplama, difüzyon ve mekanik kaplama gibi yöntemlerle yapılır. En çok kullanılanları galvanizasyon (çinko kaplama), alüminyum kaplama, kadmiyum kaplama, krom kaplama, nikel kaplama ve bakır kaplamadır.

Metal Olmayan Kaplamalar, boya ve organik maddeler içeren metal olmayan diğer kaplamalar, esas olarak parça yüzeylerinin korunması ve görünümlerinin iyileştirilmesi için kullanılır. Boya malzeme yüzeyinde koruyucu bir film oluşturur ve bu film çatlamadığı veya soyulmadığı sürece metal malzemeyi korozyondan korur (Savaşkan, 1999).

4.12.6. Bölümle İlgili İnternet Adresleri

<http://www.mayahtt.com/tlabs/props.htm>

<http://benz.nchu.edu.tw>

<http://users.ox.ac.uk/~roberts/sgrgroup/lectures/introceram/>

<http://www.cooper.edu/~jli/courses/notes.html>

<http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures>

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Bu çalışmanın amacı çoklu ortam özellikleri kullanılarak Malzeme Bilimi dersinin özellikle yüz yüze eğitimdeki kalitesini artırmaktır. Ayrıca derste çoklu ortamın kullanılması ile gerekli ders süresi kısıllacaktır. Çünkü şekil ve grafiklerin tahtaya çizilmesi için zaman harcanmayacaktır. Bunun yanında her şekil ve grafiği tahtaya çizmek hem zor, hem de bilgisayarda çizilene göre daha karmaşık olacaktır. Bu tür şekillerin bilgisayarda tasarlanması ile, değişik renk, font ve boyut imkanlarına sahip olunabilecektir.

Çoklu ortam son yıllarda yepyeni bir öğretim ve eğitim ortamı olma yolundadır. Eğitimdeki rolü pasif, ezberci eğitim yerine, aktif katılımlı öğrenime ağırlık vermesidir. Bir eğitim felsefesi olarak aktif öğrenimin, eleştirel ve yorumsal düşünmeyi aşıladığı bilinmektedir.

Çoklu ortam görsel-işitsel araçların birleşimi ve animasyon video oyunları ile iletişim eğlence işlevi boyutunda yer almaktadır. Uygulamaların bilgi verici olduğu kadar eğlendirici olması, insanda keyif ve doyum sağlayarak öğrenme ortamını sunmaktadır.

Çalışmada önce öğrencilerin kullanabileceği ders notları oluşturulmuştur. Şekillerin ve grafiklerin hazırlanmasında çok büyük özen gösterilmiştir. Şekillerin çoğu, Autocad, Paint, Photoshop vb. programlar kullanılarak bilgisayarda çizilmiştir. Bir kısım şekil ise, değişik kaynaklardan temin edilerek kullanılmıştır. Yabancı kaynaklardan elde edilen şekiller üzerindeki yazılar, Türkçe'ye çevrilerek bilgisayarda yeniden düzenlenmiştir.

Ders notlarının oluşturulması kısmı oldukça fazla zaman almıştır. Öncelikle geniş bir literatür taraması yapılmış, özellikle yabancı dildeki pek çok kaynak incelenmiştir. Bilhassa Amerika ve İngiltere'deki değişik üniversitelerin ders notları temin edilerek

incelenmiştir. Bu noktada özellikle Virginia Üniversitesi ders notları esas alınmıştır. Bu notlardaki metin ve şekiller tercüme edilerek, ders notlarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Ülkemizde ise sadece Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, metal Eğitimi Bölümü'ne ait web sayfasında kapsamlı ders notları bulunmuştur.

Hazırlanan ders notlarındaki her kısmın sonuna, faydalı olabilecek, konuyla ilgili internet adresleri eklenmiştir. Bu adresler kullanılarak daha da ayrıntılı bilgiye ulaşmak mümkün olabilecektir. Fakat çoğu sitenin dilinin İngilizce olması sebebiyle, öğrenciler için bir algılama probleminin olması söz konusudur.

Sunu hazırlanırken özellikle Powerpoint bilgisayar programlarından faydalanılmıştır. Şekil ve grafiklerin mümkün olduğunca renkli düzenlenmesine çalışılmıştır. Bu noktada da Photoshop, paint vb. programlar kullanılmıştır. İnternet üzerinden temin edilmiş bulunan değişik animasyon görüntüleri sunuya eklenerek, daha da açıklayıcı olması sağlanmıştır. Fakat ayrı bir uzmanlık olması sebebiyle programcılık kısmına fazla girilmemiştir.

Sunulardaki animasyonlar laboratuvar imkanı olmayan veya sınırlı imkana sahip olan üniversitelerde kullanılarak öğrenciler için daha açıklayıcı olabilir. Hatta laboratuvar imkanı olan üniversiteler için de bir ön bilgi amacıyla öğrencilere gösterilebilir.

Hazırlanan bu çalışmadaki ders notları ve sunular bir CD'ye kaydedilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu CD çoğaltılarak öğrencilere verilebilir. Böylece öğrenciler istedikleri zaman ve yerde bu konulara çalışabilirler.

5.2. Öneriler

Yapılan bu çalışma her ne kadar yüz yüze eğitim için düşünülmüşse de hazırlanan notlar uzaktan eğitim alanında da kullanılabilir. Hazırlanan notlar ve sunu görüntüleri, bir web sayfasında yayınlanarak, öğrencilerin kullanımına sunulabilir. Böylece hem yüz yüze eğitimde, hem de uzaktan eğitimde kullanılabilir. Yüz yüze eğitimde kullanıldığında, öğrenciler katılmadıkları yada tekrar etmek istedikleri bir

dersi, istedikleri her hangi bir zaman ve internet erişimli bir bilgisayarın olduğu her hangi bir yerden ulaşarak, çalışabileceklerdir. Bu da öğrenci başarısını ve kalitesini artıracaktır.

Ayrıca yapılan bu çalışma çok daha değişik animasyonlarla geliştirilebilir. Böyle bir çalışma için, bilgisayar programcılık uzmanının da bulunduğu bir ekip oluşturulmalıdır. Bu ekip Macromedia Flash vb. gibi değişik animasyon programlarını kullanarak, çeşitli deney ve simülasyonlar hazırlayabilirler. Hazırlanan animasyonlarla öğrencilerin değişik malzeme özellik ve deneylerini bilgisayar ortamında görmeleri sağlanabilir. Böylece öğrenciler görerek, anlayarak öğrenme imkanına sahip olabilirler. Bu şekilde hazırlanan çalışmalar da hem yüz yüze eğitimde, hem de uzaktan eğitimde kullanılarak kalitenin artırılmasına katkıda bulunabilir.

Ayrıca çoklu ortamla yapılan eğitim-öğretim uygulamasının öğrenci başarısı ve öğrenmenin kalıcılığı açısından etkililiği araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akpınar, Y., 1999. Bilgisayar Destekli Öğretim ve Uygulamalar. Anı Yayıncılık, 236 s. Ankara,
- Alkan, C., 1998. Eğitim Teknolojisi. Anı Yayıncılık, 225 s. Ankara.
- Ambrose, J.R., 2002. http://www.mse.ufl.edu/~jambr/EMA3010/class_notes.htm.
Alındığı Tarih: 28.10.2002.
- Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., 1993. Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi. Birsen Yayınevi, 352 s. İstanbul.
- Bhadeshia, H., 2002. <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2002/chiao.ppt>.
Alındığı Tarih: 01.11.2002.
- Bitter, G.G., Pierson, M.E., 1999. Using Technology In The Classroom, 4th Edition, Allyn And Bacon, 315 p. Boston.
- Callister, W.D., 2000. Fundamentals Of Materials Science And Engineering/An Interactive. John Wiley And Sons, Inc. 524 p. New York.
- Callister, W.D., 2003. Materials Science And Engineering An Introduction. John Wiley And Sons, Inc. 820 s. New York.
- Clark, D., 1998. Developing, Integrating, and Sharing Web-Based Resources for Materials Education. Jom-e. 50 (5),
- Çalışkan, S., 2002. Uzaktan Eğitim Web Sitelerinde Animasyon Kullanımı.
Alındığı Tarih: 29.10.2002.
http://aof20.anadolu.edu.tr/bildiriler/sabahattin_caliskan.doc.
- Çetiner, M.H., Gencil, Ç., Erten, Y.M., 2002. Alındığı Tarih: 29.10.2002. İnternete Dayalı Çoklu Ortam Uygulamaları.
<http://inet-tr.org.tr/inetconf5/tammetin/gencil-egit.doc>.
- Dinç, N., 2000. Kullanıcı Merkezli Çoklu Ortam Tasarım Esaslarına Dayanarak Bir Eğitim CD'sinin Hazırlanması. Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Sanatta Yeterlilik Tezi. 74 s. Eskişehir.
- Erdoğan, M., 1998. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt 1-2. Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. 364s, 347s. Ankara.
- Felder, R., 2002. <http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-1988.pdf>. Alındığı Tarih: 01.12.2002.
- Forcier, R.C., 1999. The Computer As An Educational Tool, Upper Sandle River, Merrill, 383 p. New Jersey

- Gürcan, A., 1996. Fen Öğretiminde Bilgisayar Destekli İşbirliğine Dayalı Öğrenme Yönteminin Öğrenci Başarısına Etkisi. Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Doktora Tezi, 178 s. Eskişehir.
- Hale, R., 2002. <http://www.engr.ku.edu/~rhale/ae510/websites/katz.pdf>. Alındığı Tarih: 26.10.2002.
- Index Of Pub Matersci. 25.11.2002. <http://surphy.fat.bme.hu/pub/MaterSci/>.
- Kalpakistan, S., 2002. <http://www.nd.edu/~manufact/pdfs/Ch08.pdf>. Alındığı Tarih: 17.10.2002.
- Kantar, Z.S., 2002. 8.Sınıf Fen Bilgisi Dersinde Çoklu Ortam Kullanımının Öğrencilerin Başarı ve Tutumlarına Etkileri. Alındığı Tarih: 10.11.2002. http://www.tedankara.k12.tr/kolej_hakkında/egitim2001_7.html.
- Kulaksız, Ö., Çakır, Ö., Ulusoy, O., 1995. Metal Meslek Bilgisi. Ajans-Türk Matbaacılık Sanayi A.Ş. 534 s. Ankara.
- Lee, F.M., 2002. Materials Science And Engineering Educatio İn Taiwan: A Core Course And A Cornerstone. Global J. Of Engng. Educ.6(1), 53-58. Australia.
- Li, J., 2002. <http://www.cooper.edu/~jli/courses/notes.html>. Alındığı Tarih: 16.12.2002.
- Malzeme Bilgisi. 21.10.2002. http://www.metal.sakarya.edu.tr/malzeme_bilgisi_1/index.htm.
- McMahon, C., Weaver, R. Woods, S. 1998. Multimedia Tutorials for an Introductory Course On The Science Of Engineering. Jom-e. 50 (5).
- Mills, M., 2002. http://www.mse.eng.ohio-state.edu/mse205/lectures/chapter1/index_chap1.htm. Alındığı Tarih: 28.10.2002.
- Mills, M., 2002. <http://www.osu.edu/mse/mse205/>. Alındığı Tarih: 29.12.2002.
- Motorlu Araç Yedek Parçaları ve Aksesuarları. 29.12.2002.http://www.bosch.com.tr/tr/products/car_equip/products/index.htm.
- Nasa/Kennedy Space Center Multimedia Galery. 06.02.2003. <http://mediaarchive.ksc.nasa.gov/photodetail.cfm?MediaID=18228>.
- Neilson, R., 2002. <http://enterprise.is.tcu.edu/~rneilson/Chem1113/Notes/>. Alındığı Tarih: 12.12.2002.
- Odabaşı, F., 1994. Yabancı Dilde Dilbilgisi Öğrenmede Bilgisayar Destekli Öğrenme Yönteminin Öğrenci Başarısına Etkisi. Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Doktora Tezi, 110 s. Eskişehir.

- Özer, Ş., Öztürk, S., 2001. Teknoloji Eğitimi ve Çoklu Ortam. Politeknik Dergisi. 4(2), 39-44. Ankara.
- Rack, P.D. 2002. <http://web.utk.edu/~prack/mse201/>. Alındığı Tarih: 29.10.2002.
- Roberts, S., 2002. <http://users.ox.ac.uk/~roberts/sgrgroup/lectures/introceram>. Alındığı Tarih: 11.10.2002.
- Safoğlu, R.A., 1998. Malzeme Bilimine Giriş. Birsen Yayınevi. 272 s. İstanbul.
- Sarı, E., 2003. Alındığı Tarih: 10.01.2003.
<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~sadi/dersler/ebb/ebb467-guz2000/elif.html>.
- Savaşkan, T., 1999. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Derya Kitabevi, 284 s. Trabzon.
- Serfiçeli, Y.S., 2000. Malzeme Bilgisi. Milli Eğitim Basımevi, 304 s. İstanbul.
- Shackelford, J.F., 1998. Introduction To Materials Science For Engineers. Prentice Hall, 670 p. Europe.
- Stat, P., 2002. <http://www.matse.psu.edu/matse81/Spring%202003/LectureNotes/>. Alındığı Tarih: 15.10.2002.
- Şahin, S., 1995. Motorculukta Metal Tekniği. Ajans-Türk Matbaacılık Sanayi A.Ş. 322 s. Ankara.
- Turan, U., 2003. Alındığı Tarih: 10.01.2003.
<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~sadi/dersler/ebb/ebb467-guz2000/ugurt-p.html>.
- Uğuz, A., 2002. <http://www.geocities.com/agahuguz/endicer.html>. Alındığı Tarih: 03.04.2002.
- Voller, V.R., Hoover, S.J., Watson, J.F., 1998. The Use Of Multimedia İn Developing Undergraduate Engineering Courses. Jom-e. 50 (5).
- Warren, A., 2002. <http://www.soton.ac.uk/~pasr1/index.htm>. Alındığı Tarih: 09.11.2002.
- Warren, A., 2002. <http://www.soton.ac.uk/~pasr1/eutectic.htm#page1>. Alındığı Tarih: 09.11.2002.
- Winter, M. J., 2002. <http://www.webelements.com/webelements/support/media/pdf/periodic-table.html>. Alındığı Tarih: 25.12.2002.
- Yılmaz, R., Vatansever, F., Uzun, H., 2002. Fe-F₃C İkili Denge Diyagramının Bilgisayarda Modellenmesi. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (1). 135-141.

Zhigilei, L.V., 2002. <http://www.people.virginia.edu/~lz2n/articles/PRB97.pdf>.
Alındığı Tarih: 24.12.2002.

Zhigilei, L.V., 2002. <http://www.people.virginia.edu/~lz2n/mse209/>. Alındığı Tarih:
24.12.2002.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan AYDOĞAN

Doğum Yeri : Eskişehir

Doğum Yılı : 1972

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1986 – 1989 Eskişehir Motor Meslek Lisesi

Lisans 1990 – 1994 Gazi Üniversitesi. Teknik Eğitim Fakültesi

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

1994 – Burdur Endüstri Meslek Lisesi, Motor Bölümü Öğretmeni