

**OTOMOBİL MOTOR ELEMANLARINDA
MALZEME SEÇİMİ**

Nazmi DEMİRTAŞ

**Y.Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Ruhi YEŞİLDAL**

**2012
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOBİL MOTOR ELEMANLARINDA MALZEME SEÇİMİ

Nazmi DEMİRTAŞ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM

2012

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

OTOMOBİL MOTOR ELEMANLARINDA MALZEME SEÇİMİ

Yrd. Doç. Dr. Ruhi YEŞİLDAL danışmanlığında, Nazmi DEMİRTAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma 10/09/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı'nda YÜKSEKLİSANS tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ruhi YEŞİLDAL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. K. Vefa EZİRMİK

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOBİL MOTOR ELEMANLARINDA MALZEME SEÇİMİ

Nazmi DEMİRTAŞ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ruhi YEŞİLDAL

Günümüzde en önemli problemlerden biri olan enerji tüketimi, nüfus artışına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak her geçen yıl daha da artmaktadır. Artan enerji taleplerini karşılamak amacıyla bir yandan yeni enerji kaynakları aranırken, diğer yandan mevcut enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması için çeşitli inceleme ve araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan bu araştırmalar özellikle, tüketim alanının geniş olduğu otomotiv sektörü üzerine yoğunlaşmıştır. Otomobiller her geçen gün artan sayıları ile en fazla enerji tüketen araçlardır. Enerji tüketimini azaltmanın en önemli yollarından biri, otomobillerde hafif malzemelerin kullanılmasıdır. Zira bir otomobilin ağırlığının büyük kısmını motor oluşturmaktadır. Bu yüzden özellikle motor ağırlığında yapılan herhangi bir iyileştirme, yakıt tüketimi açısından önemli faydalar sağlayacaktır. Alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi hafif metaller, yakıt tasarrufu sağlamada önemli rol oynamaktadır. Otomotiv sanayiinde kullanılan malzemelerin seçiminde sadece düşük ağırlık değil, aynı zamanda uygulamadaki şartlar da göz önüne alınmak zorundadır. Bu yüzden günümüz otomotiv sektörü, diğer malzemelerin de kullanılma ihtiyacını talep etmektedir. Bu talebin de büyük ölçüde gelecekte farklı tür kompozit malzemelerin karşılayacağı görülmektedir. Bu talebin de büyük ölçüde geliştirilecek farklı tür kompozit malzemelerin karşılayacak gibi görünmektedir. Bu çalışmada, bir Otto motoru ve elemanları, malzeme seçim diyagramları dikkate alınarak puanlama sistemi ile malzeme seçimi yapılmıştır.

2012, 73 sayfa

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, Motor, Hafif metaller, Malzeme Seçimi

ABSTRACT

MS Thesis

MATERIAL SELECTION FOR AUTOMOBILE ENGINE COMPONENTS

Nazmi DEMİRTAŞ

Atatürk University
Institute of Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ruhi YEŞİLDAL

Nowadays, consumption of energy, one of the most important problems, increases further every passing year in parallel with population growth and technological advancement. With the purpose of providing of increasing energy demands, on the one hand, while new energy resources are searched; on the other hand, various investigations and researches are carried out to use existing energy resources more productive. These researches especially focus on transport sector of which the consumption is extensive. The automobiles which increase in number each passing day are the most energy-consuming vehicles. One important way to reduce the energy consumption is to use light metals for automobiles. Because motor includes a large of part of total automobile mass. Therefore, any modification on especially motor weight will provide significant savings in terms of fuel economy. The light metals such as aluminum, magnesium and titanium play a significant role in decreasing fuel consumption. For the selection of materials used in automotive industry, it is required to be taken into account not only low weight, but also application conditions. Therefore, today's automotive sector also demands the need of using of other materials. A variety of composite materials being developed seem to meet this demand greatly. In this study, the material selection of an Otto motor and its components are carried out with scoring system taking into account material selection diagrams.

2012, 73 pages

Keywords: Automotive, Engine, Light Metals, Material Selection

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma boyunca her türlü yardım ve desteği ile beni sürekli gayretlendiren, bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ruhi YEŞİLDAL'a ve bana çalıŐmam esnasında yaptığı akademik katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL'e teşekkür ederim. Tezime katkılarından dolayı sınıf arkadaŐım Yunus SAYAN'a ve aynı zamanda manevi desteğini eksik etmeyen hocam Fahrettin BÜYÜKYILDIZ Hoca'ya ve sürekli yanımda olan aileme ve kardeŐlerime teŐekkürü bir borç bilirim.

Nazmi DEMİRTAŞ

Eylül 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1.Otomotiv Sektöründe Kullanılan Malzemeler.....	10
2.1.1.Demir esaslı alaşımlar.....	10
2.1.1.a. Dökme Demirler	10
2.1.1.b. Dökme Demirin Kimyasal Bileşimi	11
2.1.1.c.Beyaz/Adi Dökme Demir	11
2.1.1.d.Gri (Esmer) Dökme Demir	12
2.1.1.e. Küresel Grafitli Dökme Demirler	14
2.2.Çelik Alaşımlar.....	18
2.2.1.Alaşımsız (Sade Karbonlu) Çelikler.....	18
2.2.2.Alaşımlı Çelikler.....	19
2.2.2.a.Düşük Alaşımlı Çelikler	19
2.2.2.b.Yüksek Alaşımlı Çelikler	19
2.3.Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....	20
2.4.Magnezyum ve Magnezyum Alaşımları.....	27
2.5.Titanyum ve Titanyum Alaşımları.....	29
2.6.Nikel Alaşımları.....	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM	33
3.1.Malzeme Seçimi	33
3.2.Malzeme Seçimine Tesir Eden Karakteristikler	33
3.3.Malzeme Özelliklerinin Tanımı.....	34
3.4. Malzeme Seçim Faktörleri.....	37
3.5.Malzeme Seçim Diyagramları	37

3.5.1. Modül Yoğunluk Diyagramı.....	37
3.5.2. Mukavemet-Yoğunluk Diyagramı.....	38
3.5.3. Kırılma Tokluğu-Yoğunluk Diyagramı.....	39
3.5.4. Modül-Mukavemet Diyagramı.....	41
3.5.5. Spesifik Rijitlik Spesifik Mukavemete Diyagramı.....	42
3.5.6. Kırılma Tokluğu-Modül Diyagramı.....	43
3.6. İçten Yanmalı Motorların Yapısı Ve Geliştirilen Yeni Malzeme Teknikleri...	44
3.6.1. Motorda Bulunan Parçalar.....	44
3.6.2. Sabit Parçalar.....	44
3.6.2.a. Motor(Silindir) Bloğu.....	44
3.6.2.b. Supaplar.....	45
3.6.2.c. Segman.....	46
3.6.3. Hareketli Parçalar.....	47
3.6.3.a. Krank Mili.....	47
3.6.3.b. Piston.....	48
3.6.3.c. Piston Kolu.....	49
3.6.3.d. Piston pimi.....	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	52
4.1. Motor (Silindir) Bloğu.....	53
4.2. Supaplar.....	54
4.3. Segmanlar.....	57
4.4. Krank Mili.....	59
4.5. Piston.....	61
4.6. Biyel (Piston) Kolu.....	63
4.7. Piston pimi.....	65
5. SONUÇ.....	68
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER DİZİNİ

Al	Alüminyum
Mg	Magnezyum
Ti	Titanyum
Cu	Bakır
Mn	Mangan
Si	Silisyum
Zn	Çinko
Cl	Klor
O ₂	Oksijen
CO	Karbon monoksit gazı
CO ₂	Karbon dioksit gazı
°C	Santigrat derece
Ni	Nikel
Fe	Demir
V	Vanadyum
Kg	Kilogram
cm ³	Santimetreküp
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
m	Metre
sn	Saniye
J	Joule
K	Kelvin
F	Kuvvet
m	Kütle
A	Alan
g	Yer çekimi ivmesi
v	Hız
P	Basınç (kPa)
ρ	Yoğunluk (kg.m ⁻³)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2005 yılı itibariyle Amerika’da yapılan bir araştırmaya göre yakıt tüketimiyle araba ağırlığı arasındaki ilişki... ..	3
Şekil 2.1. Beyaz dökme demirin kırılma yüzeyi beyaz (parlak kristalite).....	12
Şekil 2.2. Gri dökme demirin iç yapısı	12
Şekil 2.3. KGDD’nin mikro yapısı	15
Şekil 2.4. Değişik tipteki dökme demirlerde karbon ve silisyum miktarları	16
Şekil 2.5. Çelik Türleri.....	18
Şekil 2.6. Alüminyum alaşım elementleri ve alaşım ailesi	23
Şekil 2.7. Ekstrüzyon ile üretilen alüminyum araba kasaları	26
Şekil 2.8. Titanyum alaşımlarının titanyum faz diyagramlarına etkisi.....	30
Şekil 2.9. Titanyum süngerinin üretimi için Kroll Prosesi.....	31
Şekil 2.10. Nikel alaşımlarının yaşlandırma sertleşmesi	32
Şekil 3.1. Malzeme seçimine etki eden karakteristikler.....	34
Şekil 3.2. Çeşitli mühendislik malzemeleri için E elastik modülün p yoğunluğuna karşı çizimi.	38
Şekil 3.3. Çeşitli mühendislik malzemeleri için mukavete (σ_f) karşı yoğunluk (ρ) diyagramı çizimi.	39
Şekil 3.4. Kırılma tokluğu, K _{1c} 'ye karşı yoğunluk, ρ ilişkisi.....	40
Şekil 3.5. Pek çok mühendislik malzemesi için Elastiklik modülü E'ye karşı (σ_f) mukavemet ilişkisi	41
Şekil 3.6. Çeşitli mühendislik malzemeleri için spesifik mukavemete (σ_f/ρ) karşı spesifik modül, E/p, ilişkisi	42
Şekil 3.7. Kırılma tokluğu, K _{1c} , elastiklik modülü, E grafiği	43
Şekil 3.8. Alüminyum döküm alaşım motor bloğu.....	45
Şekil 3.9. Kolben firmasının üretilen bir emme supabı	46
Şekil 3.10. Segman taşıyıcı resimleri.....	47
Şekil 3.11. Krank mili ve teknik resimi	48
Şekil 3.12. Al alaşım pistonlar	49
Şekil 3.13. Piston kolu	50

Şekil 3.14. Piston pimi	51
Şekil 4.1. CATIA programında çizilmiş motor resimleri	52
Şekil 4.2. Motor bloğu	54
Şekil 4.3. Emme supabı.....	57
Şekil 4.4. Segman.....	59
Şekil 4.5. Krank milli	61
Şekil 4.6. Piston	63
Şekil 4.7. Biyel kolu.....	65
Şekil 4.8. Piston pimi	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 2.2. Küresel grafit dökme demirin mekanik özellikleri	17
Çizelge 2.3. Bazı karbon (alaşım-sız) ve yüksek dayanım-düşük alaşım çelikleri için mekanik özellikler	19
Çizelge 2.4. Saf alüminyumun bileşimi	22
Çizelge 2.5. Çeşitli Al alaşımları, mekanik özellikleri ve kullanım yeri örnekleri.....	25
Çizelge 2.6. Saf magnezyumun fiziksel özellikleri.....	28
Çizelge 3.1. Tasarım için temel malzeme özellikleri	35
Çizelge 3.2. Malzeme seçim karakteristikleri	36
Çizelge 3.3. Motor bloğu malzemeleri.....	44
Çizelge 4.1. Motor bloğu malzemeleri ve puanlaması.....	53
Çizelge 4.2. Subab malzemeleri ve puanlaması.....	55
Çizelge 4.3. Emme ve egzoz valflerinde kullanılan X45CrSi93 ve Si ₃ N ₄ malzemelerinin mekanik ve ısı özellikleri.....	56
Çizelge 4.4. Segman malzemeleri ve puanlaması	57
Çizelge 4.5. Krank mili malzemeleri ve puanlaması	60
Çizelge 4.6. Piston malzemeleri ve puanlaması.....	62
Çizelge 4.7. Piston kolu malzemeleri ve puanlaması.....	64
Çizelge 4.8. Piston pimi malzemeleri ve puanlaması	66

GİRİŞ

İnsan, tarihin başlangıcından günümüze kadar geçen zaman içinde, fitratı gereği sonsuz ihtiyaçlara yüklü bir halde bulunmaktadır. İnsanın yaşadığı ortam içerisinde bu ihtiyaçları karşılayabilmek için birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir (Yardım 2005).

İnsanlık tarihinin önemli olduğu kabul edilen ilk gelişmelerden tekerleğin icadı ve ateşin bulunması gibi olaylar, daha sonraki gelişmelerin temelini oluşturmaktadır. Bu birlikteliğin neticesinde barutla hareketlendirilen ilk motordan, günümüzün en modern donanımlı taşıtlarının üretimine kadar geçen bir süreç yaşanmıştır.

İnsanlar MÖ 4000’li yıllardan itibaren, bir yerden bir yere gitmek veya bir şeyi bir yerden bir yere taşımak için tekerlekli arabalar yapılmıştır. Hayvansal gücün kullanıldığı bu arabalar zamanla geliştirilerek yerini 1769 yılında Fransa ordusu subaylarından Joseph Cougnot tarafından yapılan ve buharlı ilk otomobil olarak bilinen araca bırakmıştır (Georgano 1972). Zamanla otomotiv sanayi, ülkenin yük ve yolcu taşıma ihtiyacını karşılayacak karayolu taşıtlarını imal eden bir sanayi kolu olarak ortaya çıkmıştır. Otomotiv sanayi çok sayıda alt sektörü kapsamakla birlikte, en yaygın sektör otomobil sektörüdür. Otomobilin tarihi çok eski olmamasına rağmen, insanlar tarih boyunca otomobil benzeri araçları kullanmaya çalışmışlardır (Dumanlı 1978).

Otomotiv sanayi, Almanya ve Fransa öncülüğünde Avrupa’da doğmuş, ABD’de gelişmiştir. 100 yıldan uzun bir geçmişi olan otomotiv sanayi ağırlıklı olarak otomobil üretimi ile başlamıştır. I. Dünya Savaşı yıllarında otomotiv sanayi sektörü ticari araç üretiminde kullanılmıştır. Sektör ağırlıklı olarak otomobil üretimi ile sürekli bir gelişim göstermiştir (Bedir 2002).

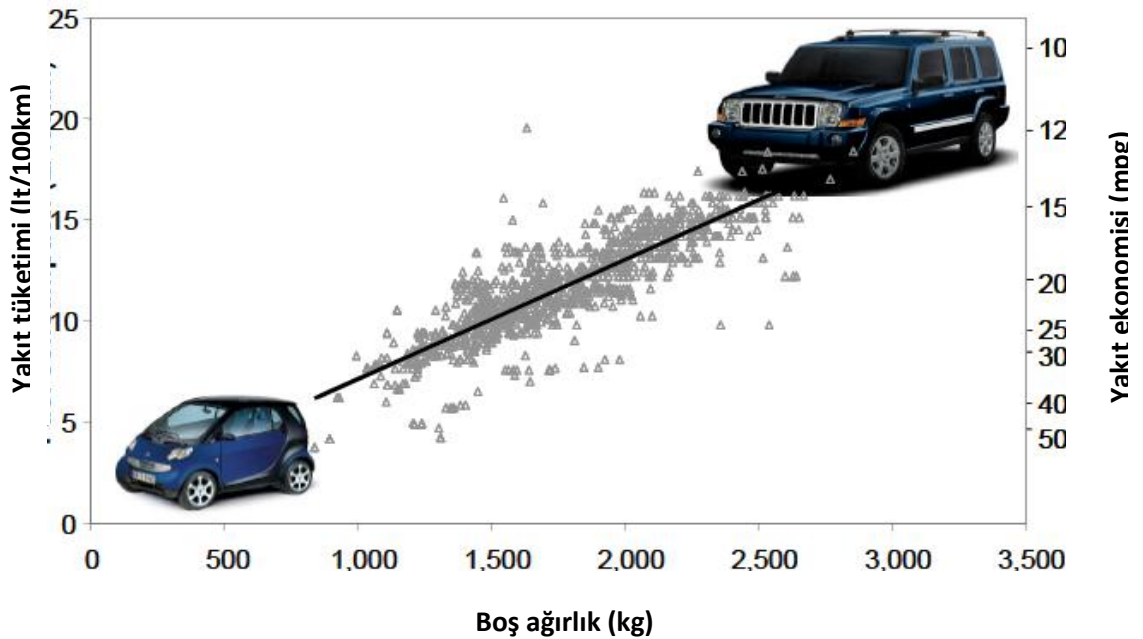
Önceleri insanların zaruri ihtiyaçlarına cevap veren otomobil, günümüzde insan hayatının bir parçası olmuştur. 1900'li yıllara gelindiğinde arabalar artık zaruri ihtiyaçların ötesinde insanların zevklerine de hitap eden bir araç olmuştur. İlk zamanlar siyah renkte üretilen otomobiller daha sonra farklı renklerle de üretilmeye başlanmıştır. 1960'lı yıllarda ise üretilen büyük arabalar adeta gücün bir simgesi olmuştur. İlk otomobillerin üretim aşamasında karşımıza çıkan modeller ile günümüz otomobilleri arasındaki fark bu konuda yapılan çalışmaların hızını ve otomobile verilen önemi anlatmaktadır ¹

Günümüzde, bir otomobil yaklaşık olarak 30.000 adet eleman ya da parçadan oluşmaktadır. Bu sayı 1950'li yıllarda %30 daha düşüktü. Ancak, insanların ihtiyaçlarına bağlı olarak günümüzde bu sayıya ulaşmıştır. Bir otomobilin herhangi bir elemanı ya da parçasının geliştirme safhasının ilk adımında, doğru malzemeyi seçmek hayati önem taşımaktadır, çünkü bir otomobilin niteliği ve maliyeti açısından kullanılacak malzemenin türü çok önemli bir rol oynar (Wilhelm 1993). Wilhelm (1993) bir otomobil malzemesinde istenen ihtiyaçları üç sınıfa ayırarak ele almıştır. Buna göre otomobil müşterileri tarafından istenen talepler, işlevsellik, kalite, güvenlik, maliyet, konfor ve görünümdür. Kanuni gereksinimler, yakıt tüketimi, emisyon, maksimum hız ve geri dönüşümdür. Malzeme ve elemanları hususundaki talepleri ise fonksiyon, dayanım, çevre ile uyumu ve maliyetin düşürülmesidir. 1950'lere kadar, otomobilde demir esaslı malzemelerin kullanılması baskın olarak devam etmiştir (Miller *et al.* 2000; Fındık 2008). Fakat zaman zaman dünyada ortaya çıkan savaşlar, petrol krizleri, çevreci grupların etkili eylemleri, hükümetleri daha hafif ve çevreci otomobillerin üretilmesi konusunda kanun ve yönetmelikler çıkarmaya zorlamıştır. Zira otomobiller en önemli enerji tüketicilerinden biri olup çevreye zararlı gazlar salıvermektedirler. Dolayısıyla otomobil fabrikaları, çevreyi daha az kirleten, küçük boyutlu ve hafif otomobil tasarımı ve imalatı yapma hususunda zorunlu kılınmıştır (Fındık 2006). Şöyle ki, bugün ve yakın gelecekte çevresel olarak, yakıt tüketiminin asgari seviyeye düşürülmesi, ağırlığın azaltılması,

¹www.obitet.gazi.edu.tr/download/Otomotiv_Sekturu_io.doc

taşıtlar tarafından salınan egzoz gazları ve malzemelerin üretimi ve geri dönüşümü sırasında salınan zararlı gazların azaltılması dikkate alınması gereken en önemli hususlar olarak ifade edilmektedir (Wilhelm 1993; Miller *et al.* 2000). Bu yüzden ilk iş olarak otomobillerde kullanılan çeliğin miktarı düşürülmüş ve buna bağlı olarak hafif metal ve alaşımları, seramikler ve plastiklerin kullanım miktarı artmıştır (Fındık 2006).

Otomobil endüstrisinde yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla yıllardan beri çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla araçlarda lastiklerde sürtünmenin azaltılması, araç ağırlığında azalma, motor ve transmisyon verimliliğinin artırılması, araç ön alanının küçültülmesi gibi konular çalışılmaktadır (Kazdal 1999). Örneğin arabadan azaltılan her 100 kg'lık ağırlık yakıt tüketiminde 0,35 litre/100 km yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Dolayısıyla yapılan yakıt tasarrufu sayesinde kilometre başına çıkan CO₂'de 9 gram azalma olmaktadır. Emisyonlarda buna eklendiğinde 10 grama kadar çıkmaktadır (European Aluminium Association 2006). Morita (1998) ise bir otomobilde %10'luk bir ağırlık azalmasının yaklaşık olarak %8-10 arasında bir yakıt tasarrufu sağladığını rapor etmiştir. Bu durum, araba kullanıcılarını doğrudan etkileyen önemli bir bulgudur. Şekil 1.1'de yakıt tüketimiyle araba ağırlığı arasındaki ilişki verilmektedir.



Şekil 1.1. 2005 yılı itibariyle Amerika'da yapılan bir araştırmaya göre yakıt tüketimiyle araba ağırlığı arasındaki ilişki (Bandivadekar 2008).

Hafif konstrüksiyon metalleri, otomotiv endüstrisinde yakıt tasarrufu için gerekli hafif malzeme seçiminde potansiyel olarak önemli kullanım alanına sahiptirler. Otomotiv üreticilerinin ürettikleri malzemelerin hem ekolojik dengeyi koruması, hem de ekonomik olması gerekmektedir. Bu yüzden emniyet ve konforla birlikte az yakıt tüketen otomobiller üretmek için hafif, fakat mukavemeti yüksek malzemelerin geliştirilmesi, otomobil üreticilerinin önemli hedefi olmuştur (Kazdal 1999; Miller *et al.* 2000). Fakat otomobil sektöründeki elemanların ve parçaların hafif metallerden üretilebilmesi çok kolay değildir. Bunun için yeni üretim teknikleri ve yeni alaşımların geliştirilmesi gereklidir.

Otomotiv sektöründe en yaygın kullanılan hafif metaller alüminyum, magnezyum ve titanyumdur. Bir otomobilde ağırlığı azaltmanın en iyi yollarından biri olarak çelik ve dökme demir yerine alüminyumun kullanımı alternatif bir yöntem olmuştur. Alüminyum birçok üstün özelliği ile çelik ve bakırla rekabet edebilecek güçtedir. Şöyle ki bu malzemeler, hafifliğinin yanı sıra, kolay şekillendirme, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek korozyon direnci, geri dönüşümünün kolay olması sunması nedeniyle otomotiv sektöründe vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir (Miller *et al.* 2000). Zira Bassi *et al.* (1999)'ın yayınladığı makalede, otomobil aksamında alüminyumun kullanım miktarının artışı çarpıcı bir şekilde ifade edilmiştir.

Avrupa Alüminyum Birliği (EAA) alüminyum üreticileri için en büyük kullanım sektörünün taşıma olduğunu bildirmektedir. Alüminyumun en yoğun kullanıldığı otomobil endüstrisinde araştırmalar yakıt tüketiminin azaltılması konusunda yoğunlaşmıştır. Oluşan hedeflere ulaşmak için iki önemli konu ile yoğun olarak uğraşmaktadır. İlki çalıştırma mekanizmasının iyileştirilmesi (4 ventil tekniği, dizel motorlarda direk enjeksiyon, motor ve çalıştırma mekanizmalarının optimizasyonu

gibi), ikincisi ise geleneksel motorlar yerine, özel hafif, konstrüksiyonların konulması ile araba boş ağırlığının azaltılmasıdır. Bu koşullarda, malzeme fiziksel ve mekanik özelliklerinin uygun olmaları gerekmektedir (Kazdal 2000).

Günümüzde bir otomobil üretiminde yaklaşık 20 kg magnezyum ve 125 kg alüminyum kullanılmaktadır. Hafif bir metal olan alüminyum, demirden yaklaşık 3 kat daha hafiftir. Magnezyum, yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzemektedir. Magnezyumun yoğunluğu, demir ve çeliğe göre yaklaşık 4 kat, alüminyuma göre ise yaklaşık 1,5 kat daha düşüktür. Fakat magnezyumun reaktif olması nedeni ile ve dökümle üretimindeki zorluklar ve korozyon direncinin düşük olması magnezyumun kullanım alanını sınırlamaktadır. Bu yüzden magnezyumun üretim prosesinin bu şartlar göz önüne alınarak optimum düzeye getirilmesi halinde ağırlık açısından çok iyi sonuçları sunacağı şüphesizdir. Şöyle ki son zamanlarda magnezyum kullanılarak üretilen otomobillerde %60'a kadar bir yakıt tasarrufu sağlanmıştır. 1936'da Volkswagen Beetle arabada kullanılarak otomotiv sektörüne giriş yapan magnezyuma olan talep 1980'li yıllarda iyice artış göstermiştir. Magnezyum malzemenin kullanımı üzerinde en çok Volkswagen Grubu şirketleri odaklanmıştır. Son yıllarda Daimler Chrysler (Mercedes Benz), BMW, Ford ve Jaguar otomobillerinde kullanıldığı dikkat çekmektedir (Willem 2011). VW Passat, Audi A4&A6'da şu an yaklaşık 14kg magnezyum malzeme kullanılmıştır. Magnezyum alaşımı malzeme olarak, genellikle AZ91D kullanılmakta ve alüminyuma göre %20-25 ağırlık kazancı sağlamaktadır. Cihaz panelleri, emme manifoldları, silindir kapakları gibi birçok elemanda AM50A&AM60B alaşımı kullanımı yaygındır. Ayrıca GM-Savana&Express panelvan da ise, 26kg magnezyum kullanılmıştır. Bugün yarış arabalarının dişli kutularında ise Elektron®21, Elektron®RZ5 (ZE41), Elektron®WE43 ve Elektron®WE54 alaşımları kullanılmaktadır.²

Titanyum, yer kabuğunda %0,6'lık oranda bulunmakta ve metaller arasında demir, alüminyum ve magnezyumdan sonra dördüncü sırada yer almaktadır. Titanyum

² <http://www.magnesium-elektron.com/markets-applications.asp?ID=7>

yoğunluğu $4,5 \text{ g/cm}^3$ olan hafif, mukavemet/ağırlık oranı yüksek, parlak ve korozyona karşı dirençli, grimsi bir geçiş metalidir. Titanyum, demir, alüminyum, molibden ve vanadyum gibi elementler ile alaşım oluşturabilir. Titanyumun otomotiv sektöründeki ilk uygulamaları 1980'li yıllarda yarış arabalarının motor parçalarında karşımıza çıkmıştır, daha sonra bu paralel de artış göstermeye başlamıştır (Sagara 1994).

Hafif metallerin kullanımı, günden güne hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir. Yeni üretim tekniklerinin ve yeni alaşımların geliştirilmesi ile bu oran daha da artacaktır. 1673-1680 yılları arasında fizikçi Huygens ve arkadaşı Papin, ilk defa barutla çalışan bir motor yapmayı başarmışlardır. Bu barutlu motorda, düşey konumlu, dökümle üretilen ağır bir piston kullandıkları için yakıtın yerleştirilmesi, yanması ve dışarıya atılması büyük bir sorun çıkarmıştır. Dolayısıyla motordan elde edilen güç de düşük olmuş ve bu yüzden bu motor üzerinde fazla bir çalışma yapılmamıştır (Yardım 2005). Otomobillerde ilk zamanlar piston yapımında gri dökme demirin yerini daha sonra, yumuşak dökme çelik ve krom nikelli çelik pistonlara bırakmıştır. Fakat bu malzemeler de ağırlık itibarıyla fazla oldukları için, tarihi süreç içerisinde daha hafif metal malzemelerden üretilebilmesi için çalışmalar yapılmış ve gelinen noktada bugün daha çok alüminyum alaşımı pistonlar kullanılmaktadır. Şöyle ki, pistonların neredeyse %100', silindir başlıklarının %75'i ve manifoldların ve aktarma organlarının %85'i alüminyum döküm malzemeden üretilmektedir. Piston segmanları ise genellikle çelik alaşımlarından, biyeller de çelik alaşımlarından presle dövülerek üretilmektedir ve esas şeklini bir takım seri işlemlere tabi tutularak almaktadır. Yine alüminyum döküm malzemelerine alternatif olarak son zamanlarda, otomobil aksamında yüksek yüklemelere maruz ve daha yüksek dayanım istenen kısımlarında dövme ile şekillendirilen alüminyum alaşımı malzemelerin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Örneğin ısı kalkanları, tampon destekleyicileri, hava yastığı muhafazaları, pnömatik sistemler, yağ karterleri, koltuk çerçevelerinde kullanılmaktadır (Miller *et al.* 2000).

Bir motorda bulunan ortak elemanlar, pistonlar, kam milleri, zamanlama zincirleri, supap (külbütör) kolları ve diğer parçalardır. Motor bloğu olarak bilinen silindir

bloğu, modern bir motorda bulunan parçaları bünyesinde bulundurarak muhafaza eden en güçlü motor elemanıdır. Şöyle ki, bir motorun toplam ağırlığının %20-25'ini teşkil eder. Bu yüzden bu motor bloğunun ağırlığının azaltılması göz önünde bulundurulması gereken en önemli hususlardan biridir (Sue 2002; Nguyen 2005).

İlk zamanlar, motor bloklarının çoğunluğu, düşük maliyet ve yüksek dayanımından dolayı dökme demir malzemedan yapılmasına rağmen (Nguyen 2005), günümüzde alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır. Hafif, ısı iletkenliği fazla ve işlenmesi kolay olan alüminyum silindir blokları, beygir gücü başına düşen motor ağırlığı azalmasıyla motorun kitlesel gücü ve verimliliğini arttırabilmektedir (Nguyen 2005; Cole *et al.* 1997; Miller *et al.* 2000). Şöyle ki, alüminyum motor bloğu dökme demirden yapılarına göre %66 hafifken, magnezyum blok ise %75 daha hafiftir. 2000 yılından buyana motor bloklarının neredeyse yarısı alüminyumdan üretilmektedir (Cole *et al.* 1997; Miller *et al.* 2000). 1970'li yıllardan sonra alüminyumdan daha hafif olan magnezyumun da otomobil üreticileri tarafından tercih edildiği dikkat çekmektedir. Yani, motor bloklarında kullanılan AMC-SC1 magnezyum alaşımı önemli avantajlar sağlamıştır. Yine son günlerde, gri dökme demire alternatif olarak ortaya çıkan sıkıştırılmış grafitli dökme demir magnezyum alaşımları gibi malzemeler düşük mukavemet/ağırlık oranı sağlamıştır (Nguyen 2005).

Önceleri, gri dökme demirden imal edilen krank milleri, günümüzde daha çok çelik ya da küresel (sfero) grafitli demirden imal edilmektedir. Fakat öte yandan hafif metallerin otomotiv sektörüne girişi ile krank mili uygulamalarında son zamanlarda titanyum malzemeleri özgül mukavemet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu malzemelerin gelecekte daha yüksek bir potansiyele sahip olacağı ifade edilmektedir Motorlar üzerinde hafif metallerin kullanımına yönelik ateşleme, soğutma, supap vb. gibi donanımlar üzerine de çalışmalar devam etmektedir.

Sonuç itibarıyla bugün hafif metaller otomotiv ve hava taşıtları gibi farklı uygulama alanlarında yapı elemanı olarak önemli avantajlar sağlarlar. Fakat öte yandan, tribolojik yüklemelerde hafif metallerin aşınma dirençleri düşük olup kullanım

ömürleri kısadır. Bu yüzden hafif metallerin aşınmaya karşı direncini artırmak amacıyla farklı yüzey işlemleri uygulanmaktadır (Wohle 2001).

Otomotiv endüstrisinde kullanılan polimer malzemelerin kullanımı çok eski tarihlere dayanmamaktadır. Lakin son 30 yıl içerisinde polimerlerin bu sektörde kullanımı artmaya başlamıştır. Polimer malzemeler, hafiflik, renklendirilebilme, korozyon direnci, tasarım esnekliği ve düşük maliyet gibi özellikleri sebebiyle otomobil üretiminde daha çok tercih edilmektedir (Szeteiova 2011). Bir arabada, 13 farklı polimer malzeme kullanılmaktadır. Bu polimerlerden sadece üçü bir arabada kullanılan toplam polimer miktarının %66'sına denk gelmektedir. Bu oranın %32'si, polipropilen (PP), %17'si poliüretan ve %16'sı da PVC'dir³. Bir arabada, tamponlarda PS, ABS, PC/PBT; koltuk kısmında PUR, PP, PVC, ABS, PA; gösterge panelinde PP, ABS, SMA, PPE, PC; yakıt sistemlerinde HDPE, POM, PA, PP, PBT; kasada PP, PPE, UP; alt kapak elemanlarında PA, PP, PBT; araba döşeme elemanlarında PP, ABS, PET, POM, PVS; elektrik elemanlarında PP, PE, PBT, PA, PVC; dış döşeme elemanlarında ABS, PA, PBT, POM, ASA, PP; ışıklandırma sisteminde PC, PBT, ABS, PMMA, UP; döşeme kumaşında PVC, PUR, PP, PE ve akışkan muhafazalarında PP, PE ve PA kullanılmaktadır (Szeteiova 2011).

Otomotiv sanayii, getirdiği katma değer, doğrudan ve dolaylı olarak istihdama katkısı ve teknolojik gelişmeye öncülük etmesi dolayısıyla ülkelerin kalkınmasında önemli bir rol oynamakta olup; demir ve çelik, lastik ve plastik, dokuma, cam, boya, elektrik ve elektronik gibi birçok sektörden girdi alması ve pazarlama, tamir, bakım ve yedek parça satışları, finansman ve sigortacılık hizmetlerinde yarattığı geniş iş hacmi nedeniyle de ekonomilerde sürükleyici bir özelliğe sahiptir. 1910'lu yıllarda ABD'de yaşanan bu gelişmeyle üretim maliyetinde sağlanan hızlı düşüş, talep artışına sebep olmuş ve otomotiv sanayiinde hızlı bir büyüme gerçekleştirilmiştir. Otomotiv ürünlerinde uluslararası çevre normlarına uygunluk, güvenlik, hafiflik, yakıt tasarrufu ve kompozit malzeme kullanımı öne çıkmaktadır (Bedir 1999). Kompozit malzemeler özellikle hafiflik ve mukavemet açısından üstün özellikler

³ <http://www.plasticsconverters.eu/organisation/division/automotive>

göstermeleri sebebiyle tercih edilmektedir. Otomotiv sektöründe, özellikle yarış arabalarında kullanılmak üzere geliştirilen kompozit malzemeler, 21. yy'da önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Kompozit malzeme üretiminde genellikle kullanılan malzemeler, invar, alüminyum, karbon fiber, çelik ve güçlendirilmiş silikon kauçuktur. Örneğin Formula 1,90'lı yıllarda karbon fiberlerle güçlendirilmiş plastik malzemeden üretilmiştir. Şöyle ki, otomobil üretimi açısından bakıldığında, kompozit malzemeler özellikle yüksek performans istenen yarış arabalarının üretiminde kullanılıp şu an gelinen noktada da bu malzemelerin genellikle karbon fiber esaslı olduğu dikkat çekmektedir ⁴

Sonuç olarak otomotiv sanayinde kullanılan çeliğin üstünlüğü devam etmesine karşın, neredeyse tüm otomotivlerde alüminyum, magnezyum, titanyum, plastik ve seramik gibi daha hafif malzemelerin kullanımı giderek artmakta ve buna bağlı olarak kullanılan yakıt miktarı azalmaktadır. Bunun sonucu olarak hava kirliliğinde düşüş sağlanmaktadır. Aracın hızı ve verimliliği artmaktadır (Fındık 2006).

Bu çalışmada, şu an gelinen noktada 4 silindirli Otto motorunda kullanılan tüm elemanlar için en iyi özellikler sergileyecek malzeme seçimleri yapılmış ve bunların sebepleri üzerinde durulmuştur.

⁴<http://www.thinkengineering.net/104/composite-materials-in-automotive-engineering/automotive-engineering/>

2. KURAMSAL TEMELLER

1.Otomotiv Sektöründe Kullanılan Malzemeler

Otomotiv sektöründe birçok malzeme kullanılmaktadır. Demir esaslı demir dışı polimerler ve kompozitler gibi. Bu bölümde demir esaslı ve demir dışı malzemeler üzerinde durulacaktır.

2.1.1. Demir esaslı alaşımlar

2.1.1.a. Dökme Demirler

Dökme demir ismi genel bir tanım olup geniş kapsamlı ve özellikleri çok farklı demir alaşımlarının tamamını kapsar. Dökme demir, sıcakta ve soğukta biçimlendirilmeye elverişli olmayıp döküldüğü şekilde kullanılan bir demir-karbon-silisyum alaşımıdır. Bileşiminde %4'e kadar karbon ve 3,5'e kadar silisyum bulunur.⁵

Dökme demir denince, %1.75 C (genelde %2-4'e kadar) içeren Fe-C alaşımı anlaşılmaktadır. Bunlar genellikle plastik şekil değiştirme ile değil, dökülerek veya talaş kaldırılarak şekillendirilirler. Dökme demirlerin talaş kaldırma miktarı C miktarına göre farklılık arz etmektedir. Grafit miktarı fazlaysa ve bu grafit lameller halinde ise, talaşlı imalat daha kolaydır (Avuncan 1998).Döküm endüstrisinin en yüksek tonaja sahip ürünü dökme demirlerdir. Dökme demirler çok geniş aralıkta değişen mukavemet, sertlik, işlenebilirlik, aşınma direnci, korozyon direnci ve diğer özelliklere sahip olabilirler. Dökme demirlerin iyi bir mühendislik malzemesi oluşu ve üretim maliyetinin düşük olması geniş kullanım sahasının olmasını ve devamlılığını sağlamaktadır (Çavuşoğlu 1992).

⁵http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf521MMI271.pdf

2.1.1.b. Dökme Demirin Kimyasal Bileşimi

Dökme demirlerin yapısına en çok etki eden elementler karbon ve silisyumdur. Karbon ve silisyum miktarlarının az veya çok olmasına demirler; gri dökme, beyaz dökme, temper dökme, küresel grafitli dökme demiri ve çelik dökümleri oluşturur. Dökme demirin özelliklerinde etkili olan en önemli unsurlar içerdiği karbon miktarı, Si ve Mn miktarı ve soğuma (katılaşma) hızı olarak sıralayabiliriz.

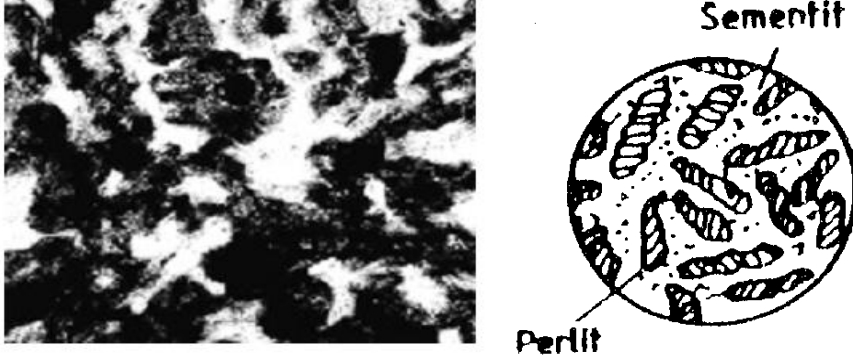
2.1.1.c. Beyaz/Adi Dökme Demir

Yüksek fırından elde edilen sıvı ham demirin; kalıplara dökülerek katılaşmasından elde edilen yarı-mamule pik denir. Pikin ergitme fırınlarında tekrar ergitilerek ve gerekirse bileşimini de değiştirmek suretiyle, belli bir modele göre önceden hazırlanmış bir kalıp içerisine dökülmesi ve kalıp boşluğunun şeklini alarak katılaşmasıyla meydana gelen malzemeye "dökme demir" denilir. Adî dökme demirlerde, grafit yapraklar halindedir. Bu grafitler yapı içerisinde kolları vasıtasıyla birleşip matriste bir devamsızlık yaratarak gerilim doğurucu bir rol oynarlar. Metal böylece zayıf ve gevrek olur. Demir metalürjisinde kullanılan yüksek fırında cevher, kömür ile beraber 1900°C civarında yakılmakta ve 1300°C'de çabuk soğuma sonucu beyaz font üretilir. Yavaş soğuma sağlanırsa esmer font elde edilir. Diğer bir deyişle en basit dökme demirdir. Beyaz dökme demirin özelliklerini kısaca şöyle sıralayabiliriz.

- Yüksek aşınma ve yıpranma direnci
- Statik yükler karşısında dayanıklı ve sert
- Dinamik yüklere (darbelere) dayanıksız ve kırılğan
- İşlenmeye, döküm ve kalıp işlerine uygun değil

Yüksek sıcaklıktan oda sıcaklığına hızlı soğuma sonrası az miktarda C ve Si içeriği sebebiyle karbon serbest halde değil de, demirle bağlanmış kararsız/dengesiz demir-

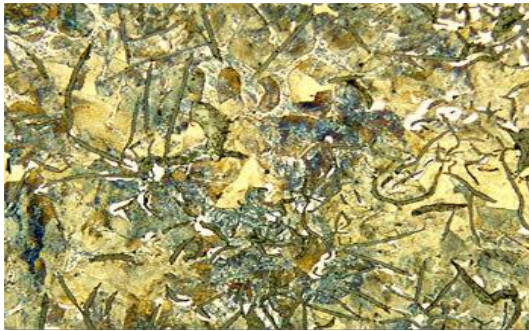
karbür şeklinde ortaya çıkar. Bu karbürler içerisinde adacıklar halinde sıkı perlitik bir mikro yapı vardır.



Şekil 2.1. Beyaz dökme demirin kırılma yüzeyi beyaz (parlak kristal)

2.1.1.d. Gri (Esmer) Dökme Demir

Gri (esmer) dökme demir kır lamelli yapraklı dökme demir diye de adlandırılır. Katılaştıktan sonra bileşimindeki karbonun büyük bir kısmı serbest grafit yaprakları(lamel-pul) hâlinde bulunan bir dökme demir çeşididir. Kırıldığı zaman yüzeyi isli gri görünüşlüdür. Grafitten dolayı rengi esmer olan bu dökme demire lamel grafitli dökme demir veya gri dökme demir denir.⁶



Şekil 2.2. Gri dökme demirin iç yapısı

Gri dökme demirin özellikleri;

⁶http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf521MMI271.pdf

- Süneklik düşük (%0,6), darbe direnci düşük,
- Buna bağlı olarak işlenebilirlik mükemmel,
- Mükemmel titreşim sönümleme kapasitesi,
- Korozyona dayanıklılık iyi,
- Aşınma özelliği mükemmeldir,
- Isıl iletkenlik yüksek,
- Perlit oranı arttıkça dayanımlar artar.

Gri dökme demirin başlıca uygulama alanları

- Motorlarda silindir blokları,
- Silindir gömlekleri,
- Fren kampanaları, debriyaj diskleri,
- Basınçlı boru bağlama parçaları,
- Yataklar,
- Ocak parçaları, ingot ve cam kalıplarıdır (Çavuşoğlu 1992).

Ferritik ana fazın hakim olduğu bir dökme demir yapısı elde edilmek isteniyorsa, dökme demir tavlansarak ana fazda kalan karbonun grafit yapraklar şeklinde dönüşüm sağlanır. Bu temper dökme demir adını alır. Temper dökme ise daha toplu, grafitlerin tecrit edilmiş şekilleri dolayısıyla yüksek mekanik mukavemet ve uzama verir. Fakat bu grafit şekli bir çok ısıl işlem gerektirmektedir, ayrıca da genellikle ince kesitli iş parçalarına uygulanabilmektedir.

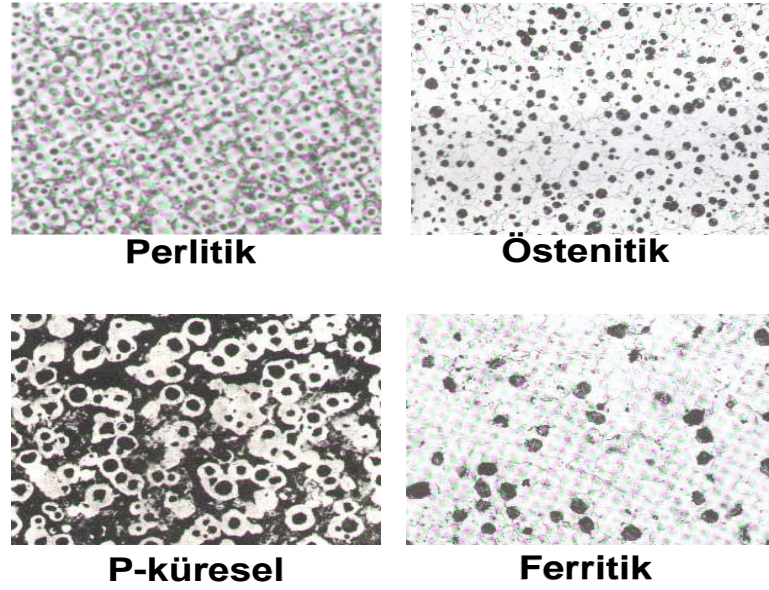
2.1.1.e.Küresel Grafitli Dökme Demirler

Küresel grafitli dökme demirler, %3,5-3,9 oranında karbon ve %1,8-2,8 oranında silisyum içeren üçlü Fe-C-Si alaşımlarıdır. Lamel grafitli dökme demirden farklı olarak KGDD'de grafit küre şeklindedir (Labrecque 1998).

Sıvı demirin katılaşması sırasında ergiyik halde iken, dökümden hemen önce Mg ve Cb ya da Nb eklenerek ergiyik demir içerisindeki O (oksijen) ve S (kükürt) ile tepkimeye girer. Yapıda küresel grafitler oluşur. Soğuma hızına bağlı olarak, ana faz genellikle ferritik ya da perlitik olur.

Küresel grafitli dökme demirlerin korozyon direnci, farklı korozif ortamlarda kır dökme demirin özelliklerine benzerdir. Yüksek sıcaklıklarda ise oksidasyon direnci bakımından, kır dökme demire göre üstünlük sağlar. Bu dökme demirlerin aşınma dirençleri de en iyi gri dökme demirinkine eşdeğer, aynı sertlikteki çeliğe göre önemli derecede üstündür. KGDD'nin dayanımı grafit dışındaki matris yapısına bağlıdır. Farklı cins KGDD'ler, normal gri dökme demirlere kıyasla 3-5 kez daha fazla dayanıma sahiptirler (Gül 1989).

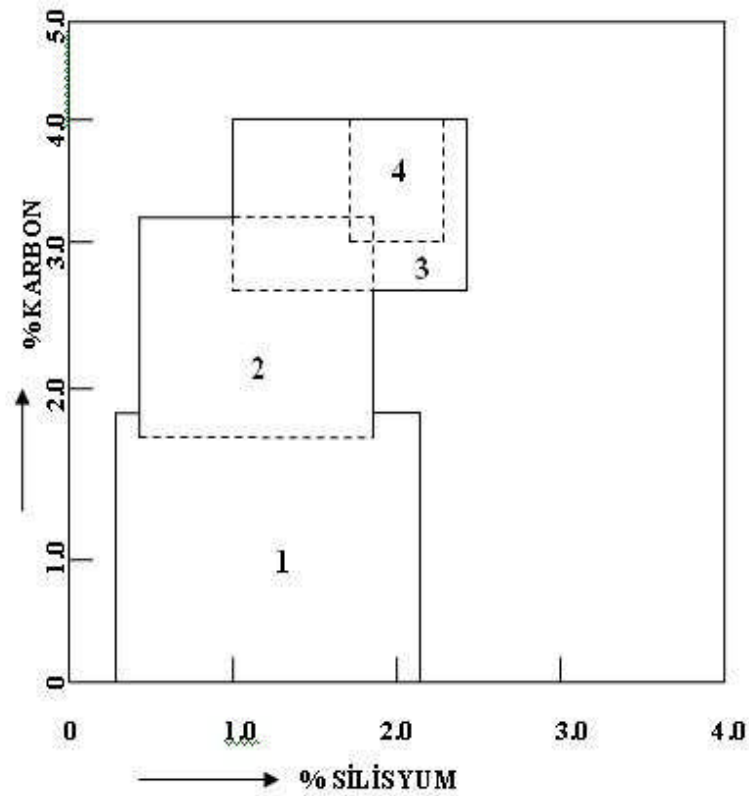
Küresel grafitli dökme demirlerin kullanım alanını genişleten bir başka sebep ise çeliğe uygulanan ısı işlemlere benzer işlemlerle istenilen mekanik özelliklere sahip olabilmesidir (Otomotiv ve Yan sanayi Sempozyumu 1985).



Şekil 2.3. KGDD'nin mikro yapısı

Küresel dökmede grafitler küreler halindedir. Bu sıvı kır dökme demire Mg veya Ce metal veya alaşımlarının pek az miktarda ilâvesi ile gerçekleştirilir. Küresel dökme demir son yirmi yılda gerçekleştirilmiş iyi evsafli bir malzeme olup, yüksek çekme ve akma mukavemetli, elâstisite modüllü, yüksek uzama ve kolay işlenebilme kabiliyetli ve korozyona mukavimdir. Ayrıca iş parçası boyut ve kesitleri için bir sınırlama yoktur. Birçok yerlerde, kır dökme, temper dökme, dövme çelik ve demir olmayan alaşımların yerini tutmaya başlamıştır⁷

⁷<http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/355.pdf>



- | | |
|---|---|
| 1. Çelik dökümler | 3. Gri dökme demir |
| 2. Beyaz dökme demirler
(Temper dökme demir) | 4. Küresel grafitli dökme demirler
(Nodular-Sfero) |

Şekil 2.4. Değişik tipteki dökme demirlerde karbon ve silisyum miktarları⁸

Ani sıcaklık değişimlerine karşı küresel grafitli dökme demirlerin gösterdiği direnç gri dökme demirden ve çoğu çelikten daha fazladır. Örneğin 760°C den soğuk suya daldırılan ince bir çelik parça muhtemelen çarpılacak, gri dökme demir ise çatlayacaktır. Aynı şartlarda küresel grafitli dökme demir parçasının bu sıcaklık değişimine rağmen, şekli bozulmadan karşılayabildiği bilinmektedir. Çeliklerde olduğu gibi küresel grafitli dökme demirlerin darbe direnci de sıcaklığa bağlı olup, yapı ve bileşim tarafından önemli derecede etkilenmektedir. Matris yapısı tamamen ferritik olan küresel grafitli dökme demirler en yüksek tokluğa sahip olanlardır. Tokluk derecesi, matriste artan perlit yüzdesi ile azalmaktadır (Gilbert 2003).

⁸http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf521MMI271.pdf

Çizelge 2.1. Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri (Forrest 2005)

Mikro yapı	Ferritik	Perlitik
Çekme Mukavemeti (Mpa)	370-550	650-750
Akma Mukavemeti (Mpa)	221-350	360-410
Sertlik (BSD)	120-170	240-255
Kopma Uzaması (%)	12-30	1-8

Küresel grafitli dökme demir, sünek veya nodüller grafitli dökme demir olarak da bilinmektedir. Gri dökme demirden daha iyi sinekliğe sahiptir.

Çizelge 2.2. Küresel grafit dökme demirin mekanik özellikleri (Iron 1967)

Küresel Dökme Demir Çeşidi	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Akma Sımn (Mpa)	Uzama (%)	Sertlik (kg/mm ²)
Perlitik	62 — 76	45 — 55	2 — 4	240 — 280
Yağda Su Verilmiş (850°C) Temperlenmiş (350°C)	84 — 92	71 — 84	1 — 2	450 — 500
Tavlanmış (850-900°C 2-4 saat) Ferritik (650-700°C 6-8 saat)	38 — 54	30 — 38	15 — 25	140 — 180
İğneli (%3 Ni, %1 Mo)	68 — 86	60 — 68	2 — 3	280 — 360
Ostenitik (%22 Ni)	38 — 46	22 — 29	10 — 27	140 — 200

Küresel grafitli dökme demir, gri dökme demirden başlıca avantajları;

- Düşük ergime derecesi,
- İyi akışkanlık ve dökülebilme,
- Mükemmel işlenebilme,
- İyi kesme mukavemeti ile,
- Çeliğin mühendislik yönünden avantajları olan ;
- Yüksek mukavemet,
- Süneklik,
- Sıcak işlenebilme,

Sertleşebilme özelliklerini birleştiren yeni bir malzemedir (Akman 2006).

2.2. Çelik Alaşimleri

Ya ikisi metal ya da biri metal diğeri ametal olan iki kimyasal elementin ergitilmesi sonucu elde edilen karışımlara alaşım denir.



Şekil 2.5. Çelik Çeşitleri

2.2.1. Alaşimsız (Sade Karbonlu) Çelikler

Alaşimsız (sade karbonlu) çelikler $\%0.03-1C+\%0.25-1Mn$ +diğer (Si, P, S,..) malzemelerden oluşur. Darbe dayanımı düşüktür. Yüksek sünekliğe sahiptir. Derinliğine sertleştirilemez, yani geniş parçalarda kesitin her tarafında homojen martenzitik bir yapı elde edilemez. Korozyon direnci zayıftır. Orta C'li çeliklerde tam martenzitik yapı için hızlı soğutmalıdır.

2.2.2. Alaşımli Çelikler

2.2.2.a. Düşük Alaşımli Çelikler

Alaşım miktarı %5 den küçük olan çeliklere düşük alaşımli çelikler, alaşım miktarı %5 den büyük olan çeliklere yüksek alaşımli çelikler denir. Çelikte en önemli alaşım elementi karbon 'dur. En az %0,2 oranında bulunması halinde ancak çeliğe sertleşme yeteneği kazandırır. Karbon oranı arttıkça, sertlik, akma ve çekme dayanımı artar (yalnız ötektoid üstü çeliklerde çekme mukavemeti düşer--%0.85'ten sonra sertlik sabitleşir) süneklik ve tokluk düşer. Soğuk ve sıcak deformasyon zorlaşır. Sebebi Fe_3C 'nin artmasıdır. Çeliğin ergime sıcaklığı ve östenit dönüşüm sıcaklığını düşürür. Talaş kaldırma özelliği kötüleşir. Kaynak edilebilme kabiliyeti azalır. Isıl iletkenliği ve özgül ağırlığı düşürür.

Çizelge 2.3. Bazı karbon (alaşımatsız) ve yüksek dayanım-düşük alaşım çelikleri için mekanik özellikler

AISI numarası	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Süneklik (%Uzama)
Karbon Çelikleri			
1010	325	180	28
1020	380	205	25
1040	605-780	430-585	33-19
1095	760-1280	510-830	26-10
Yüksek Dayanım-Düşük Alaşım Çelikleri			
4063	786-2380	710-1770	24-4
4340	980-1960	895-1570	21-11
6150	815-2170	745-1860	22-7

2.2.2.b. Yüksek Alaşımli Çelikler

Paslanmaz çelikler

Paslanmaz çeliklerin en önemli alaşım elementleri Cr ve Ni'dir. Paslanmaz çelikler genellikle dayanımları düşük, süneklikleri iyi, fakat düşük toklukta dırlar. Çok az Ni içerdikleri için ya da hiç ihtiva etmediklerinden dolayı ucuzdur. Yüksek sıcaklıkta

korozyon direnci iyidir. Korozyon özelliklerini daha da iyileştirmek için Al, Ti, Si, Mo, Nb katılarak iyileştirilebilir.

Takım Çelikleri

Takım çelikleri makinelerin kesme, delme, dövme, çekme, ekstrüzyon, haddeleme gibi üretim işlerini yapan parçalardır. Takım çeliklerinin kesme kenarının aşınmaya dayanıklı olması için sert olması gerekir. Aynı zamanda kırılma riskine karşı da tok olması istenir. Takım çelikleri C, Si, Mn, Cr, Co, Mo, Ni, V, W gibi elementlerle sertleşebilirliği artırılabilir. Oluşan metal karbürler ile de aşınma, sertlik ve yüksek sıcaklığa karşı direnci artırılabilir.

Takım çeliklerinde istenen özellikler

- Sertlik (bazen kızıl sertlik)
- Tokluk
- Aşınmaya dayanım
- Talaşlı işlenebilirlik
- Isıl işlem sonucunda boyutsal kararlılık
- Parlatılabilirlik
- Korozyon ve tufalleşmeye dayanım diye sıralayabiliriz.

2.3. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Yeryüzünde yaklaşık olarak %7,5 ile %8 arasında bulunmaktadır. Ancak saf halde değildir. Alüminyum rafine edilmesi en zor metallerden bir olmasına rağmen 100 yıldan fazla zamandır üretilmektedir. Alüminyum rafine edilmesi en zor metallerden biridir. Bunun nedeni, çok hızlı oksitlenmesi, oluşan bu oksit tabakasının çok kararlı oluşu ve demirdeki pasın aksine yüzeyden sıyrılmayıdır (Özcömert 2006).

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikro yapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısıl işlem uygulanabilmektedir⁹

Alüminyum doğada genellikle alüminyum silikat veya silikat alüminyumun sodyum, potasyum, demir, kalsiyum ve magnezyum gibi metallerle karışım halinde bulunmaktadır. Fakat hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Alüminyum alaşımları yüksek ısı, düşük yoğunlukları ve elektrik iletkenlikleri bazı ortamlarda korozyon özelliklerinin iyi olması yanında, döküm özellikleri iyi olan ve kolay eritilebilen malzemelerdir.

Alüminyum üretimi üç ana kademedeyi yapılır. Birinci asama boksit madeninden Al_2O_3 elde edilmesidir. Bu aşama Bayer yöntemi olarak adlandırılan bir yöntemle gerçekleştirilir. Bayer yöntemi çeşitli madencilik aşamalarını içerir. Ancak alüminadan alüminyum üretimi ise 950-970°C arasında alüminyum oksidin redüksiyonuna dayanır. Bu asama Hall-Heroult yöntemi olarak bilinen bir indirgeme işlemi olan elektroliz aşamasıdır. Buradan çıkan alüminyum %99,5-99,9'dan daha fazla saf değildir. Saf alüminyum (%99,99) elde etmek için ayrıca rafinasyon işlemi uygulanmalıdır. Çizelge 2.4'de saf alüminyumun doğada bulunduğu bileşimleri gösterilmiştir (Kazdal 2000).

⁹http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimlari.pdf

Çizelge 2.4. Saf alüminyumun bileşimi

Bileşen	%
Fe	0,0005-0,002
Cu	0.0005-0.002
Si	0.002-0.005
Zn	0.0005-0.002
Mg	iz
Al	Geri Kalan

Döküm ve ekstrüzyon ile çok karmaşık geometriye sahip profildeki parçalar rahatlıkla üretilebilir. Vites kutuları, motor blokları ve silindir kafaları kolaylıkla alüminyum döküm ile yapılır. Son yıllarda krank mili yataklarında alüminyum kullanılması, bu parçaların ömrünü önemli ölçüde artırmıştır. Saf alüminyumun akıcılığı (sıvı metal kalıp boşluğunu tam olarak doldurabilme özelliği) iyi değildir. Alüminyum oksit sıvı metalin yüzeyinde zar şeklinde bir kabuk oluşturur. Bu da sıvı metalin akıcılık özelliğini azaltır. Yani akıcılığı iyi değildir. Bu yüzden Si, Zn, Cu, Mn katılır.

Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılırken A harfi kullanılır.

1XX.X: Saf alüminyum. % 99.9 oranında alüminyum ihtiva eder.

2XX.X: Esas alaşım elementi bakırdır. Tüm döküm alaşımları arasında en yüksek mukavemete sahip alaşımdır. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır.

3XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur. Bakır ve magnezyum gibi başka alaşım elementleri de bulunabilir. Sanayide kullanılan döküm alaşımlarının % 90'ı 3XX.X serisidir.

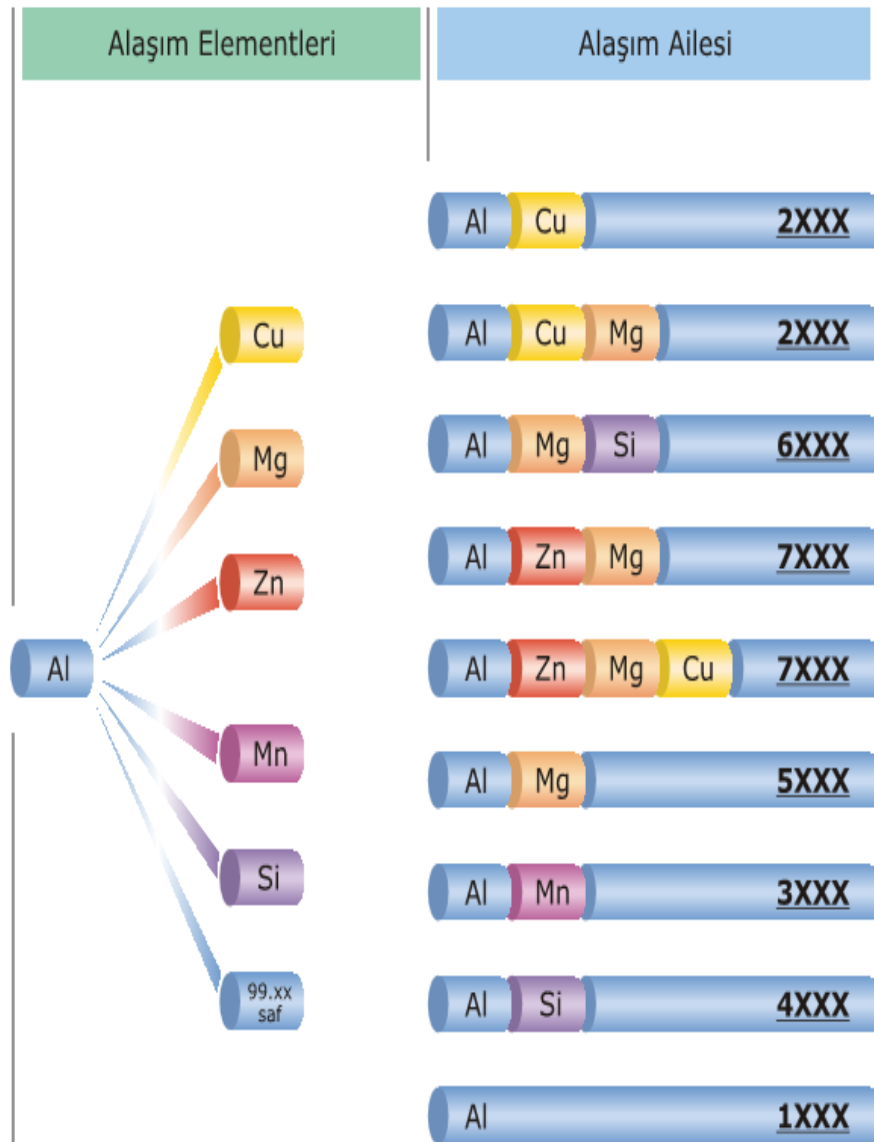
4XX.X: Esas alaşım elementi silisyumdur. Yüksek süneklik istenen alaşımlarda kullanılır.

5XX.X: Esas alaşım elementi magnezyumdur. Yüksek mukavemet ve korozyona karşı dirençli ortamlarda kullanılır. Deniz suyuna temas eden ortamlarda tercih edilir. Kaynaklanabilir ve işlenmesi kolay alaşımdır.

7XX.X: Esas alaşım elementi çinkodur. Mukavemeti yüksek ve ısı işlem görmeden de doğal yaşlanmaya yetenekli bir alaşım türüdür.

8XX.X: Esas alaşım elementi kalaydır. Kayganlık istenen durumlarda tercih edilir. 1XX.X, 5XX.X ve 8XX.X Dökme Alüminyum Alaşımları Isıl İşlem yapılamayan alaşımlardır.

2XX.X, 3XX.X, 4XX.X ve 7XX.X Dökme Alüminyum alaşımları ısıl işlem yapılabilen alaşımlardır (Eker 2008).



Şekil 2.6. Alüminyum alaşım elementleri ve alaşım ailesi

Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

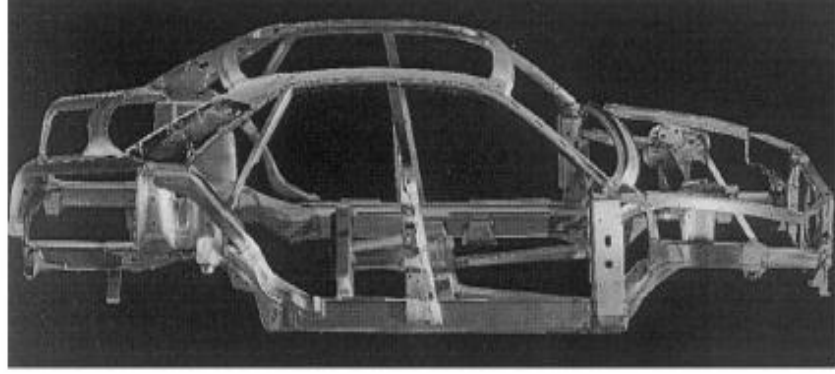
- 1XXX: Saf alüminyum. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır.
- 2XXX: Al-Cu alaşımları. Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir, yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- 3XXX: Al-Mn alaşımları. Esas alaşım elementi mangandır. Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.
- 4XXX: Al-Si alaşımları. Esas alaşım elementi silisyumdur. Termal genişleme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde kullanılmaktadır.
- 5XXX: Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar fakat süneklik azalır. Denizel korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır.
- 6XXX: Al-Mg-Si alaşımları. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır.
- 7XXX: Al-Zn alaşımlar. Bakır esas alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.
- 8XXX: Al-Li alaşımları: Esas alaşım elementi lityum olup, kalay eklentisinde yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir¹⁰

¹⁰http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alaşimlari.pdf

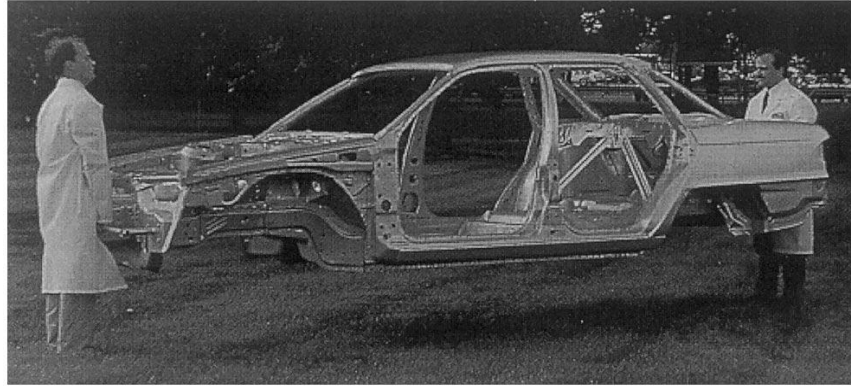
Çizelge 2.5. Çeşitli Al Alaşımları, mekanik özellikleri ve kullanım yeri örnekleri (DIN 1725)

Al-Alaşımları	Çekme muk.	Akma muk.	Kopma uzaması	Kullanım yerleri	
	N/mm ²	N/mm ²	A (%)		
Al 99.5	70	25	50	E-Teknik, Ekstrüzyon, Derin çekme parçaları, paketleme teknolojisi	
AlMn	100	40	22		
AlMg3	180	80	17	Cihazlar, Gemi ve taşıt tekniği, İnşaat ve gıda sanayii	
AlMgMn	180	80	17		
AlMgSi 1	320	260	10	İnşaat, Otomobil ve Gıda Endüstrisi, Makine konstrüksiyonu	
AlZnMg 1	360	280	10	Kara taşıtları ve diğer makine mühendisliği kons.	
AlCuMg 2	430	280	10	Uçak vd. makine müh. kons.	
AlZnMgCu 1,5	520	460	6	Uçak ve kara taşıtları, makine ve maden mühendisliği alanları	
G-AlSi 12	180	85	8	Karışık şekilli parçalarda ve yüksek dökülebilirlik beklentileri olan yerlerde	
G-AlSi 10 Mg	280	250	3		
D-AlCu 4 TiMg	380	290	6	Basit fakat yüksek mukavemetli döküm parçaların üretiminde: Uçak, taşıt, madencilik parçaları	
G-AlMg 5	D	190	110	6	Yüksek korozyon dayanımlı basit parçalar: Gemi inşaaı, Gıda sanayi ve inşaat sektörü
G-AlSi 12 CuNiMg	S1	70 (R _{p0,2/1000 h /200 cC})		Motor pistonları	

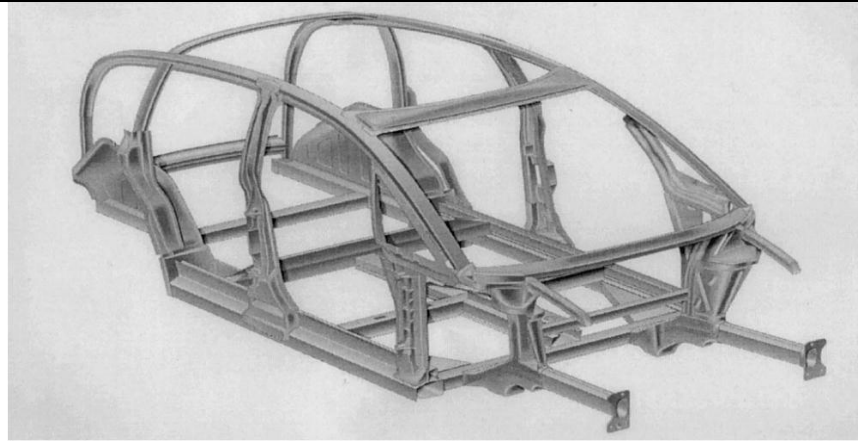
Alcoa-
Audi A8'de
(Scott 1995)



Alcan-Ford
AIV
(Miller *et al.*
2000)



Audi AL2
(Miller *et al.*
2000)



Şekil 2.7. Ekstrüzyon ile üretilen alüminyum araba kasaları

2.4. Magnezyum ve Magnezyum Alaşımları

Yeryüzünde demir ve alüminyumdan sonra en çok bulunan metaldir, fakat üretimi azdır. Kaynağı deniz suyudur. Tuzlu su tortuları, tuz gölleri ve okyanusları baz alıp düşündüğümüzde ise magnezyum büyük bir farkla en çok bulunan metal haline gelir. Saf magnezyum çoğunlukla birincil magnezyum gibi elektrolit ile elde edilir. Yüksek derecede saflığın istendiğı uygulamalarda, elektrolitik magnezyumun özel dereceleri vardır. Silikotermik magnezyum, magnezyum oksidin sıcaklığının düşümüyle elde edilir. Magnezyumun vakum altında süblime edilmesi ile yüksek saflıkta magnezyum birincil üretilir.

Magnezyumun 1.74 gr/cm^3 lük düşük yoğunluğu ve 650°C lik ergime sıcaklığı çelik gibi diğerkonstrüksiyon metallerine göre dökümde ve talaşlı imalatta önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Li alkali metal grubundandır ve yoğunluğu 0.534 gr/cm^3 tür. Bu kadar düşük yoğunluğa rağmen lityum içeren Mg ve Al alaşımlarının özgül E modülü çeliğe göre daha yüksektir (Zeytin 1999).

Magnezyum alaşımları alüminyum alaşımları kadar dayanımı yüksek olmamakla birlikte özgül dayanım (dayanım/ağırlık) oranları daha yüksek olabilmektedir. Bunun sonucu olarak magnezyum alaşımları hafifliğin önemli olduğu hava ve kara taşıt araçlarında ve el aletleri gibi makine ve cihazlarda kullanılmaktadır. Magnezyumun saf olarak dayanımı az ve soğuk şekillendirme kabiliyeti düşük olduğundan ve soğuk şekil değıştirme yoluyla da dayanımı çok az yükseltilebildiğinden, alaşımları daha çok kullanılır (Kandemir 2002).

Saf magnezyumun fiziksel özellikleri Çizelge 2.6'de gösterilmiştir. Magnezyumun saf olarak dayanımı azdır ve soğuk şekillendirme kabiliyeti düşüktür. Soğuk şekil değıştirme yoluyla dayanımı çok az yükseltilebildiğinden, alaşımları daha çok kullanılır (Atalay 2006).

Çizelge 2.6. Saf magnezyumun fiziksel özellikleri

<i>Kimyasal sembol</i>	Mg
<i>Atom numarası</i>	12
<i>Atom ağırlığı</i>	24,3
<i>Kafes yapısı</i>	SPH
<i>Yoğunluğu</i>	(20°C)1,738 gr/cm ³
<i>Ergime noktası</i>	650 °C
<i>Kaynama noktası</i>	1103 +- 8 °C
<i>Elastisite modülü</i>	44,5x10 ³ N/mm ²
<i>Özgül ısı kapasitesi</i>	1047 (J/kg.K)
<i>Elektrik iletkenliği</i>	22,2 m/Ohm.mm ²
<i>Termal iletkenlik</i>	154 (W/m.K)

Korozyon direnci zayıftır. Çok reaktiftir. Ergiyik haldeyken havayla temas ettiğinde şiddetli bir şekilde yanma özelliğine sahiptir. Pota içerisinde sıvı haldeyken her an tutuşabilir, hatta patlayabilir. Bu nedenlerden dolayı toz metalürjisine uygun değildir. Döküm sırasında da örtü eritkeni (koruyucu flaks) kullanılır. Kum kalıpta kum nemiyle bile oksitlenebilir.) Korozyona dirençli olması için kaplama yapılır. Mıknatıslanma özelliği yoktur. Sertliği düşüktür. Dolayısıyla alaşımlandırmak zorundadır. (Zn, Se, Al, Zr ve Li gibi elementlerle) Spesifik mukavemeti yüksektir. Al-Mg alaşımlarının yaşlandırılması ile Mg₁₇Al₁₂ çökeltisi oluşur ve sertleşir. Toryum ve Zirkonyum ile de yaşlandırılarak sertleştirilebilir. (Böylece 470°C'ye kadar kullanılabilirler)Li ile alaşımlanıp yaşlandırıldığında, mukavemet azalır, ama tokluk artar. Aşınmaya dayanıklı değildir. Aşınma direnci düşük olan Mg ve Al gibi metal matrislere, rijit partikül takviyesi yaparak veya grafit gibi yağlayıcı partiküller katılarak aşınma dirençleri artırılabilir. Ark kaynağı zordur, gaz altında kaynak yapılabilir. Titreşim (ses) sönümleme özelliği iyidir. (Kum kalıba) dökümle üretilenler, dövme ile üretilenlerden daha iyi sönümleyicidirler.

Magnezyum alaşımlarının başlıca uygulama alanları

- Motor bloğu,
- Yük araçlarının tekerlekleri,
- Direksiyon,
- Direksiyon göbeği,
- Biyel,

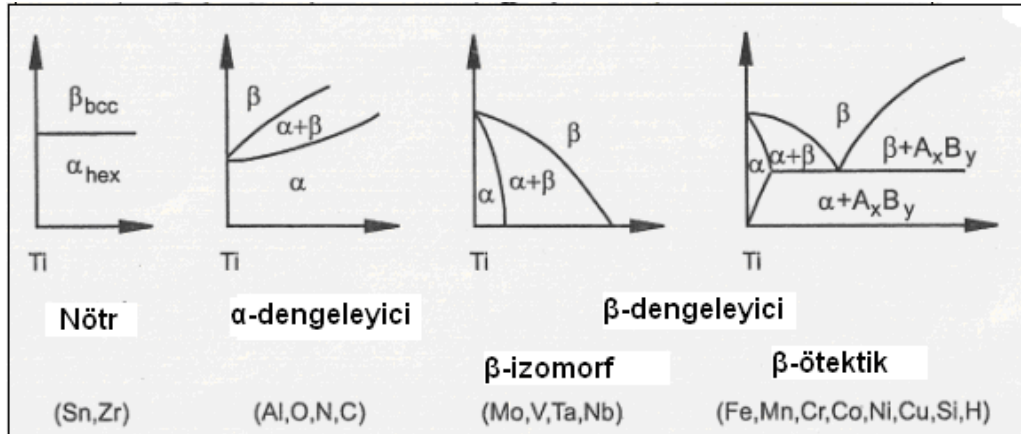
- Piston,
- Rotor,
- Motor karterleri,
- Yağ pompası karterleri,
- Tekerlek kapağı gibi parçalar magnezyum alaşımlarından üretilmektedir.

2.5.Titanyum ve Titanyum Alaşımları

En pahalı metallere biridir. Çünkü bileşiklerinden saf halde elde edilmesi zordur. Nispeten düşük yoğunluğa sahiptir. Al ve Mg'ninkinden yüksek, Zn, Ni, çelik ve Cu'dan düşüktür. Elektriksel olarak iletkenidir. En yüksek mukavemet/yoğunluk (Spesifik mukavemet) oranına sahip metallere biridir. Çeliğin yaklaşık yarısı kadar hafiflikle, bazı çelikler kadar dayanıklıdır. Bu yüzden uçak ve uzay sanayinde yaygın olarak (%80) kullanılmaktadır. Ergime derecesi çok yüksektir. Bu yüzden yüksek sıcaklık uygulamalarına çok elverişlidir (yüksek sıcaklık dayanımı). Şekillendirilebilirliği çok iyidir. Kolay işlenir ve dövülebilirler.

Titanyum yatakları çok geniştir. Titanyum oksit neredeyse bütün mineral, kum ve taşların bir parçasıdır. Ama asıl olarak rutil (TiO_2) ve ilmenit ($FeTiO_3$) kullanım için dikkate alınanlardır. Madencilik yapılabilecek yataklar Avustralya, Güney Afrika, Kanada, Norveç ve Ukrayna'da bulunur. Son zamanlarda kuzeydoğu Rusya ve Kazakistan'da da yeni yataklar bulunmuştur (Kandemir 2002) .

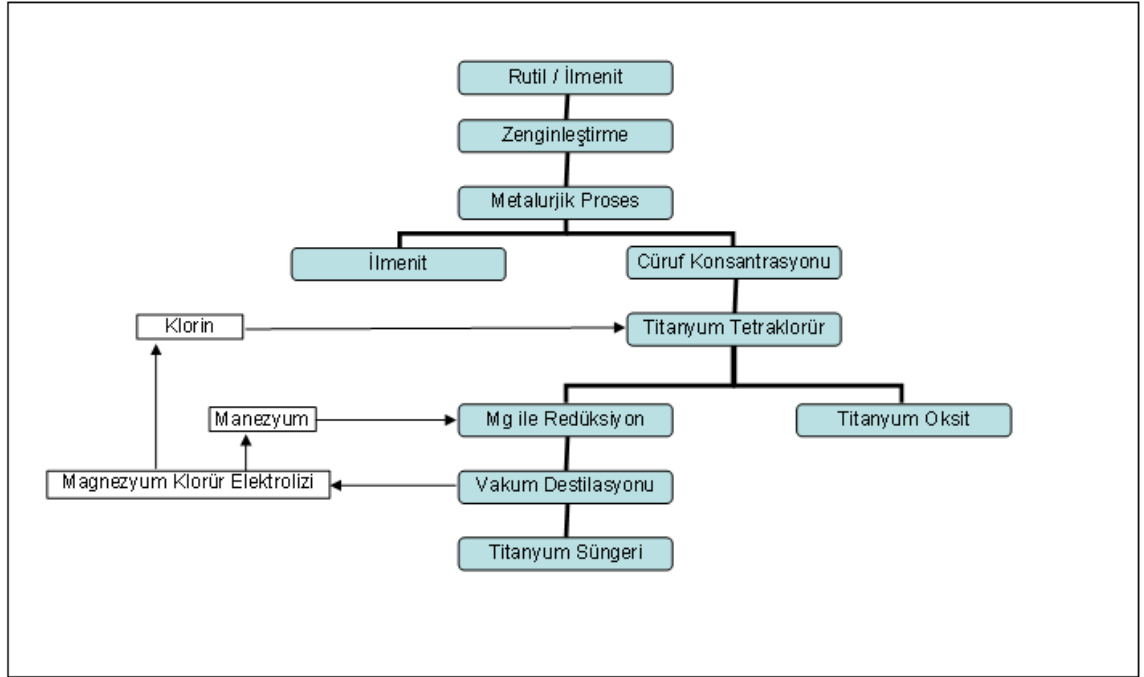
Titanyum sembolü Ti olan, 22 atom numaralı, $1660^{\circ}C$ ergime sıcaklığına sahip yoğunluğu $4,5 \text{ g/cm}^3$ olan hafif, parlak, korozyona karşı dirençli, grimsi geçiş metalidir. Titanyum, demir, alüminyum, vanadyum ve molibden gibi elementler ile alaşım yapabilir. Titanyum alaşımlarının titanyum faz diyagramlarına etkisi Şekil 8.2'de gösterilmiştir (Eker 2008).



Şekil 2.8. Titanyum alaşımlarının titanyum faz diyagramlarına etkisi (Leyens 2003)

Metal, yüksek sıcaklıklarda oksijen ile reaksiyon verdiği için kendi dioksitinin redüksiyonu ile üretilemez. Bu yüzden titanyum metali ticari olarak, karmaşık ve pahalı bir yığın işleme yöntemi olan Kroll süreci ile üretilir (Titanyumun yüksek maliyeti, esas olarak metalin bir diğer pahalı metal olan magnezyumun feda edildiği işlem süreciyle bağlantılıdır). Kroll prosesinin gösterimi Şekil 9.2’de verilmiştir. Kroll sürecinde ilk olarak oksit, klorlama yöntemi ile klorüre dönüştürülür. Bu sayede klor gazı, karbonun varlığında $TiCl_4$ oluşması için akkor rutil veya ilmenite geçiş yapar¹¹

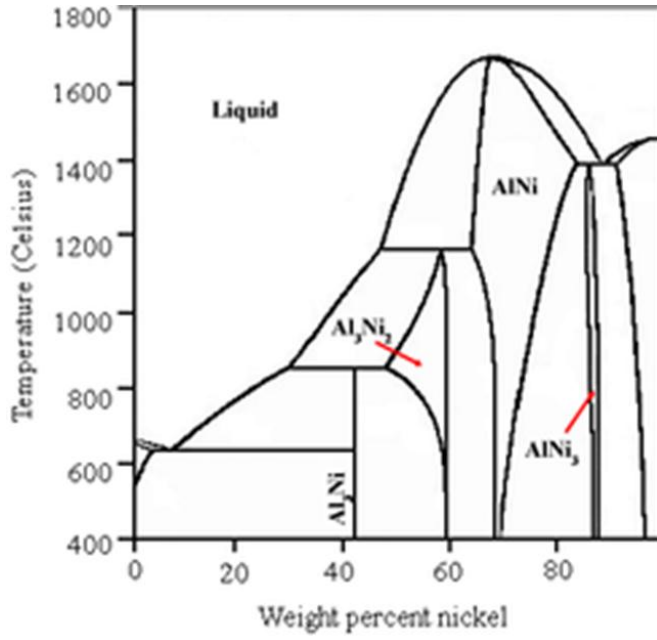
¹¹Url-2 <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum>>, alındığı tarih 01.11.2009.



Şekil 2.9. Titanyum süngeri üretimi için Kroll Prosesi (Leyens 2003)

2.6. Nikel Alaşımları

Yer'in yüzeyinde pek bol değildir; göktaşlarında saf halde bulunur. Çıkartıldığı maden ocaklarında başka madenlerle karışık haldedir. 1751'de İsveç'te keşfedilen nikel, İlkçağ'dan beri başka madenlerle alaşım halinde kullanılıyordu. En pahalı metallere biridir. Ti ve Mg'den sonra en pahalı metaldir. Bu yüzden kaplama yapılması daha uygundur. Çok parlak ve sert (862MPa) metaldir. Ergime derecesi 1453°C olan nikel, yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahiptir. Nikel alaşımları yaşlandırma ile sertleştirilebilir (Örneğin alüminyum ile yaşlandırılarak üretilen Duranikel).



Şekil 2.10. Nikel alaşımları yaşlandırma sertleşmesi

Şekillendirilebilirliği iyidir. Talaşlı imalatı kolaydır. Mıknatıslanma özelliği vardır. Dökülebilme özelliğine sahiptir. Korozyona çok dirençlidir. Kaplama olarak kullanılabilir. Asitlere karşı dirençlidir. Aşınmaya dayanıklıdır. Bunun yanı sıra nikel tek başına ya da diğer elementler ile farklı yöntemlerle birleştirilerek çok çeşitli kaplama türleri elde edilebilmektedir. Sert, aşınmaya dayanıklı, nemli atmosfer, tuzlu su ve asitlere dirençli, parlak, paslanmaz çelikten çok daha pahalıdır.

MATERYAL ve YÖNTEM

3.1.Malzeme Seçimi

Tasarım mühendisinin en önemli iki sorumluluğu, uygun malzemeleri seçmek ve tasarımla ilgili imalat işlemlerini bilmektir. Bir tasarımın hizmet ömrü boyunca gereksinimlerini karşılayacak malzemeleri seçilmesi büyük önem arz eder. Çok çeşitli malzeme arasından en uygun olanları seçerek malzeme adaylarını sınırlandırmak gerekir. Malzeme seçiminde daha önce sınanmış, davranışı yakinen bilinen malzemeleri seçmek tasarımcının kendini güvende hissetmesini sağlar. Ancak yüksek başarılı malzemelerin kullanılması tasarımların rekabet gücünü artıracığından tasarımcının malzemelerdeki gelişmeleri takip etmesi ve yani malzemelerin özelliklerine vakıf olması gerekmektedir. Dolayısıyla malzemeler konusunda uzman kişilere ve malzeme testleri ile ilgili kaynaklara ihtiyaç olacaktır (Fındık 2010) .

3.2. Malzeme Seçimine Tesir Eden Karakteristikler

Malzeme seçimine tesir eden dokuz adet karakteristikten söz edebiliriz.(Şekil 3.1) Bunlar statik, yorulma, hasar, ısı ve imalat özellikleri ile çevre şartları, sönüm özellikleri, anizotropi ve diğer özelliklerdir. Statik özellikler içerisinde mukavemet (kopma, akma, kesme vb), süneklik, sertlik ve malzeme özelliklerinden (elastik modül, yoğunluk, poisson oranı vb) söz edebiliriz. Yorulma özellikleri arasında ise korozyon yorulması, yüksek yük ve sınırlı ömür, düşük yük ve uzatılmış ömür ile sabit genlikli yük ve yorulma mukavemeti sayılabilir. Hasar analizinde ise kırılma tokluğu, akma gelişimi ve çatlak kararsızlığından bahsedebiliriz. Çevre şartlarından ise nem, sıcaklık, asitlik/alkalilik, tuz, amonyak, hidrojen hücumu ve nükleer tesiri saymak mümkündür. İmalat ile ilgili özelliklerden ise imal edilebilirlik, elde edilebilirlik, talaşlı imalat, kaynak, döküm, ısı işlem, şekil verebilme, sertleşme

kabiliyeti, minimum kullanım kalınlığı, bağlama teknikleri, kalite güvencesi gibi özellikler mevcuttur.



Şekil 3.1. Malzeme seçimine etki eden karakteristikler (Fındık 2010)

Isıl özellikler içerisinde ise lineer genişleme katsayısı ile ısıl şok direnci dikkat çekmektedir. Ayrıca titreşimleri sönümlenme özelliği ile anizotropiyi (özelliklerin yöne bağlı olması) ve diğer özellikleri (elektrik, manyetik, kimyasal ve korozyon özellikleri) saymak mümkündür (Fındık 2010).

3.3. Malzeme Özelliklerinin Tanımı

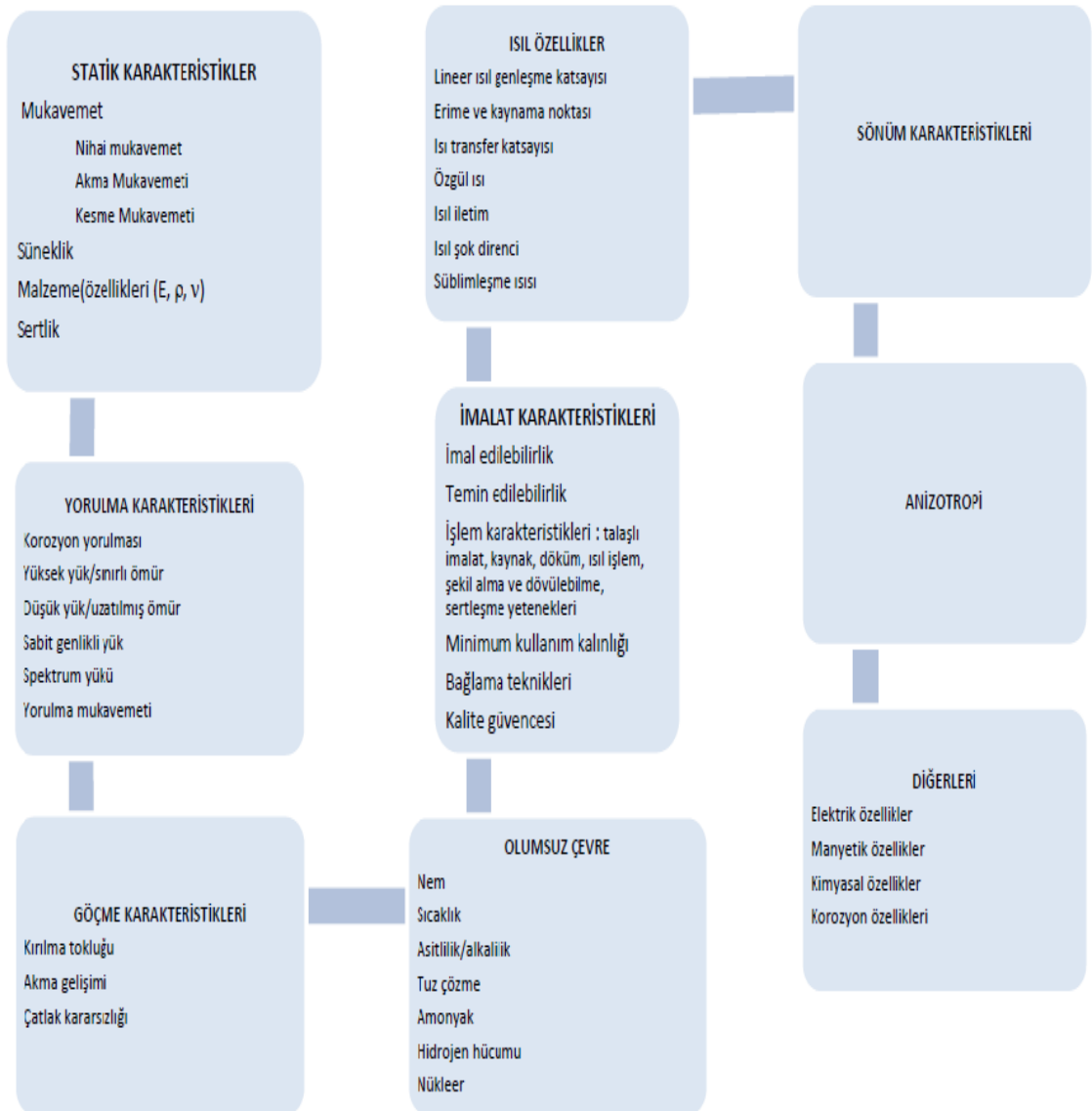
Her malzemenin kendine özgü bir karakteristiği yani özelliği vardır. Tasarımda istenen ise malzemelerin bu özelliklerinin bileşiminden istenen özelliklere sahip bir malzeme elde etmektir. Malzemelerin bu özellikleri akma mukavemeti, çekme mukavemeti, yoğunluk, uzama, sertlik yorulma sınırı kırılma tokluğu özgül ısı termal genişleme katsayısı gibi özellikler olup standart değerlere sahiptir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Tasarım için temel malzeme özellikleri (Asbhy 1996; ASM Engineered Materials Handbook 2004; ASM Handbooks 2004; ASTM Standarts 1988; Fındık 2010).

<i>Sınıf</i>	<i>Özellik</i>	<i>Sembol ve birim</i>
Genel	Yoğunluk	G (kg/m ² veya Mg/m ³)
	Fiyat	Cm (\$/kg)
Mekanik	Elastik modül (young, kayma, bulk)	E, G, K (GPa)
	Akma mukavemeti	CTy(MPa)
	En büyük mukavemet	ou(MPa)
	Basma mukavemeti	ac(MPa)
	Hasar mukavemeti	OT(MPa)
	Sertlik	H (Vickers)
	Uzama	M ⁿ)
	Yorulma sınırı	CTe(MPa)
	Kırılma tokluğu	K _{1c} (MPa.m ^{1/2})
	Tokluk	G _{1c} (kJ/m ²)
	Kayıp katsayısı (sönümleme kapasitesi)	n(-)
Termal	Ergime noktası	T _m (C veya K)
	Cam geçiş sıcaklığı	T _g (C veya K)
	Maksimum servis sıcaklığı	T _{max} (C veya K)
	Minimum servis sıcaklığı	T _{min} (C veya K)
	Termal İletkenlik	k (W/m.K)
	Özgül ısı	C _p (J/kg.K)
	Termal genleşme katsayısı	a(K-i)
	Termal şok direnci	ATs (C veya K)
Elektrik	Elektriksel direç	pe (Q.m veya uO.cm)
	Dielektrik sabit	M-)
	Arıza potansiyeli	Vb(10 ⁶ V/m)
	Güç faktörü	P(-)
Optik	Optik, saydam, yarısaydam, opak	Evet/hayır
	Kırılma indisi	n(-)
Ekonomik	Malzeme başına enerji/kg	E ₁ (MJ/kg)
	Malzeme başına CO ₂ /kg	, CO ₂ (kg/kg)
Çevresel direnç	Oksidasyon hızı	Çok düşük, düşük, orta, yüksek,
	Korozyon hızı	çok yüksek
	Aşınma hızı sabiti	Ka(MPa ¹)

Malzemenin uygunluğu bakımından ihtiyaç duyulan maksimum ve minimum gereksinimlerin tamamen belirlenmesinin tamamlanabilmesi için tasarıma yönelik malzeme seçim kriterlerinin iyi belirlenmesi önem arz eder. Malzeme tasarımında ihtiyaç duyulan gereksinimler malzemelerle ilgili birçok özellik ve karakteristiktan tasarımı ilgilendiren bölümlerin araştırılmasını gerektirir. Malzeme seçim özellikleri ve karakteristikleri aşağıda Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Malzeme Seçim Karakteristikleri (Fındık 2010)



3.4. Malzeme Seçim Faktörleri

Belirli bir uygulama için uygun malzemenin seçilmesinde göz önünde bulundurulması gereken çeşitli faktörler vardır:

- Elde edilebilirlik
- İmal edilebilirlik
- Tamir kabiliyeti
- Güvenilirlik
- Servis çevresi
- Uyumluluk
- Maliyet

3.5. Malzeme Seçim Diyagramları

Malzeme seçim diyagramları malzeme özellik diyagramları ve malzeme proses diyagramları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Malzeme özellik diyagramlarında verilen özelliklere en uygun malzeme seçiminde kullanılırken malzeme proses diyagramlarında ise daha çok malzemenin hangi yöntemle üretilebileceği hususunda yardımcı olmaktadır. Bu bölümde biz daha çok malzeme özellik diyagramları üzerinde duracağız.

3.5.1. Modül Yoğunluk Diyagramı

Modül-yoğunluk diyagramı, ağırlığın minimum olması gereken yerde malzeme seçim uygulamaları için genel probleme yardımcı olur. Yükleminin üç bilinen geometrisi ile ilgili rehber çizgileri diyagramda çizilmiştir (Fındık 2010).

3.6. İçten Yanmalı Motorların Yapısı ve Geliştirilen Yeni Malzeme Teknikleri

3.6.1. Motorda Bulunan Parçalar

3.6.2. Sabit Parçalar

3.6.2.a. Motor(Silindir) Bloğu

Silindir bloğu üst karterle birlikte motorun gövdesini meydana getirir. Pistonlara yataklık eder ve silindirleri oluşturur ve diğer motor parçalarını da üzerinde bulundurur.

Motor bloğunda silindir bloğu ve kapağı bulunur. Silindir kapağı silindiri üst taraftan gaz sızdırmaz bir şekilde kapatır. Burada yanma odası, su kanalları, buji takma vidası supap yatak ve kılavuzları, emme-egzoz gaz supap yuvaları yer alır. Silindir, silindir kapağı ile birlikte yanma odasını oluşturur, yanma basıncını karşılar, pistonu yataklık yapar ve yanma ısısının dışarıya atılmasını sağlar. Silindirler bir blok halinde silindir bloğunda toplanmışlardır. Silindir bloğu çift cidarlıdır ve içinden kanalla geçer. Genellikle silindir bloğu ve krank kutusunun üst kısmı bir tek parçadan oluşur. Bu yapıyı silindir bloğu ismi verilir. Çizelge 3.3’de silindir kapağı ve silindir bloğunda aranan özellikler ile bu parçalar için kullanılan aday malzemeler gösterilmiştir (Study 1995; Fındık 2008).

Çizelge 3.3. Motor bloğu malzemeleri (Fındık 2008)

Motor bloğu	
Silindir kapağı	Silindir bloğu
Alüminyum döküm alaşımı GkAlSi12CuNiMg	<ul style="list-style-type: none"> • İyi dökülebilir • Yüksek sıcaklık dayanımı • İyi ısı iletimi • Hafiflik
	Yaprak grafitli dökme demir GG-25 <ul style="list-style-type: none"> • Yeterli dayanım • Yüksek aşınma dayanımı • Titreşimleri söndürme • Yapıda rijitlik • Korozyona dayanım



Şekil 3.8. Alüminyum döküm alaşımli motor bloğu (Hieu Nguyen 2005)¹²

3.6.2.b.Supaplar

İçten yanmalı motorlarda emme supabı ve egzoz supabı olmak üzere iki farklı tipte supap kullanılır. Emme supabı olarak da adlandırılan supaplar silindirlere taze hava/yakıt karışımının alınmasını sağlar. Bu işlem sırasında emme portu açılıp kapatılarak sağlanır. Egzoz supabı olarak adlandırılan diğer supap ise yanmış gazların silindir dışına atılmasını sağlar.

Supap sisteminin görevi gaz değişimini, emme supabı üzerinde taze gazların giriş başlangıcı ve giriş sonunu, egzoz supabı üzerinden yanmış gazların çıkış başlangıcı ve çıkış sonunu kontrol etmektir. Supaplar yüksek derecede mekanik, termik ve kimyasal zorlamayla çalışırlar. Emme supabı 550° C' a varan çalışma sıcaklıklarına erişir. Egzoz supabı da 800° C'yi geçen sıcaklıklara kadar ısınır. Egzoz supabı ayrıca yüksek düzeyde kimyasal korozyonla karşı karşıyadır. İlave olarak darbe şeklinde devamlı mekanik zorlama ile supap sapında, ucunda ve yuvasında da aşınmalar meydana gelir (Fındık 2008).

¹² "Anatomy of an Engine – the New Northstar V8," [Online], 7 April 2005-last visited, Available: http://www.autospeed.com/cms/A_1569/article.html. "In Search of Light-Weight Components," [Online], 6 April 2005-last update, Available: <http://www.moderncasting.com/archive/WebOnly/1102/AL1102.asp>. "Past pics'o'the month," [Online], 6 April 2005-last update, Available: <http://www.geocities.com/peterwood73/index.html>.

C, Cr, Si, Mn ve Ni alaşım elemanları yardımı ile iyi kayma özelliği, yüksek ısı dayanımı, aşınma dayanımı, yanmaya karşı direnç ve iyi ısı iletimi özellikleri elde edilir. İçi boş supaplar kısmen, 100° C' da eriyen sodyum ile doldurulur. Supap hareketi esnasında sap içerisinde aşağı yukarı sallanır ve ısıyı supap tabanından çeker (Study 1995; Fındık 2008).



Şekil 3.9. Kolben firmasınınca üretilen bir emme supabı

3.6.2.3.Segman

Segmanlar piston başında bulunur ve silindir cidarlarına belli bir basınç uygulayarak, silindir ile piston arasında sızdırmazlık sağlayıp, zamanların meydana gelmesini sağlar. Segmanlar silindir cidarındaki fazla yağı sıyrarak, pistonla silindir arasında ince bir yağ filminin oluşumunu sağlayarak hem silindirlerin yağlanmasını sağlarlar hem de motorun yağ yakmasını önlerler.

Segman kısaca içten yanmalı motorlarda, sıkıştırma ve yanma basıncını sağlamak için pistonla silindir arasındaki boşluğu kapatan (pistonun yan tarafındaki oyuklara geçirilen) ve silindir yüzeyine yüksek hızdaki kompresyonu tutabilecek yağı, sağlayan parçalardır. Segmanlar ayrıca, ısıyı kontrol eden ve bunu silindir duvarına ileten elemanlardır. Bu işlemi yanmanın sonucunda ortaya çıkan ısıyı, mekanik enerjiye çevirerek yaparlar. Halka biçiminde de olan segmanlar kesik, ağız şeklinde bir biçimleri vardır (Crane 1984; Ashby1992; Fındık 2010).

Segmanlardan istenen özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Mukavemeti yüksek olmalı
- Korozyon direnci yüksek olmalı

- Kolay şekil verilebilmeli
- Isıl mukavemeti yüksek olmalı (max. 600°C'ye maruz kalır)
- Titreşimi sönümlemeli (yüksek kayıp faktörü)
- Aşınma dayanımı yüksek (aşınma oranı düşük) olmalı
- Ucuz olmalı (Fındık 2010)



Şekil 3.10. Segman taşıyıcı resimleri

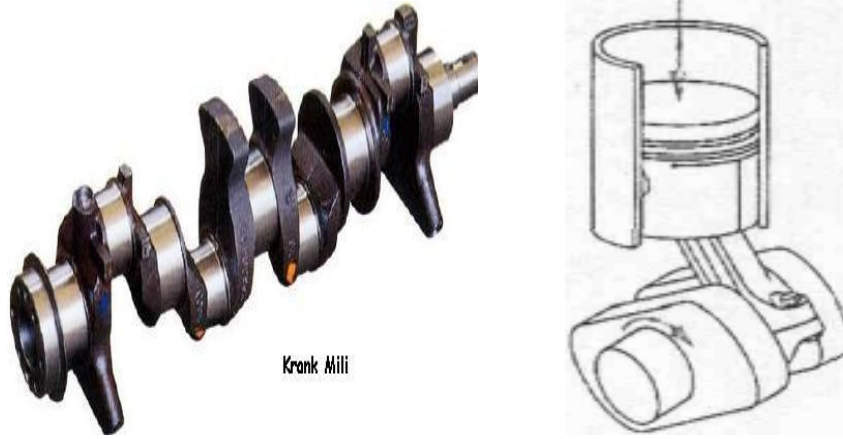
3.6.3. Hareketli Parçalar

3.6.3.a. Krank Mili

Krank milleri pistondan aldığı doğrusal hareketi, biyel yardımı ile dairesel harekete çeviren ve bu hareketi volan ve kavramaya ileten parçadır.

Krank milleri bükme, burulma, aşınma ve dönme titreşimleri maruz kalır. Piston ve kütle kuvvetleri krank mili üzerindeki biyel kolunu etkileyip bükerek. Krank mili malzemenin elastikliği nedeniyle piston kuvveti tarafından burulur. Krank milinin bütün yataklarında aşınma meydana gelir. Darbe şeklinde krank miline etki eden piston kuvveti krank milini burar. Vites boşta iken kuvvet kalkınca, krank mili eski haline döner. Böylece dönme titreşimleri meydana gelir. Belli bir devir sayısında piston kuvvetinin neden olduğu titreşimleri üst üste binerler. Bu motorun çok düzensiz çalışmasına yol açar. Hatta titreşimler krank milini kırabilir (Fındık 2008).

Krank mili malzemesinden istenen özellikleri kısaca şöyle sıralanabiliriz. Yüksek dayanıma sahip olmalı, sünekliği çok iyi olmalı ve iyi bir aşınma dayanımına sahip olması gerekir. Ayrıca krank milleri bükülmeye ve burulmaya maruz kaldıkları için krank millerinin bükülme ve burulma dayanımlarının yüksek olmaları gerekir. Yatakların da aşınmaya karşı dayanıklı olmaları gerekmektedir.



Şekil 3.11. Krank mili ve teknik resimi

3.6.3.b. Piston

Piston silindir içindeki gaz veya hava basıncı ile hareket eden elemandır. Pistonun motor içinde üç ana görevi vardır. Bunlar; güç iletimi, sızdırmazlık ve pompa görevidir. Burada piston için malzeme seçimi problemi irdelenecektir (Crane 1984; Ashby 1992; Fındık 2010).

Pistonlar genel olarak sıcaklık, basınç, kütle kuvvetleri ve sürtünmelere maruz kalır. **Basınç:** Piston tabanı 40-60 bar yüksek yanma basıncı ile şiddetli olarak zorlanır. Pistona etki eden kuvvetler pistonu deforme eder. **Sıcaklık:** Yanma odasında sıcaklıklar 2500°C'a kadar çıkar. Bir benzin motorunun pistonundaki sıcaklıklar yük altında iken, piston eteğinde 120°C'a çıkar. Piston tabanının ısıl genişmesi yüksek sıcaklık ve malzeme yığılması dolayısıyla piston tabanında piston eteğine göre daha büyüktür. **Kütle Kuvvetleri:** Her darbeye piston durgun halden azami hıza yükselir ve yeniden frenlenir. Pistonun hızlandırılması ve yavaşlatılması esnasında açığa

çıkan kütle kuvvetleri motorun dik yönde titreşimine yol açarlar, kütle momentleri de ağırlık merkezi etrafında döndürmeye çalışırlar. Kütle kuvvetleri dengelenmezlerse titreme ve gürültüye yol açarlar (Fındık 2008).



Şekil 3.12. Alüminyum alaşımlı pistonlar (Röhrle 1995).

Pistondan istenen özellikler, ya da pistonun otomobilin yanma odasında kullanıldığı zaman ondan icra etmesi gereken özellikler şöyle sıralanabilir:

- Isıl mukavemeti yüksek olmalı
- Dayanımı yüksek olmalı
- Aşınma dayanımı yüksek (aşınma oranı düşük) olmalı
- Korozyon direnci yüksek olmalı
- Kolay şekil verilebilmeli
- Ucuz olmalı (Fındık 2010).

3.6.3.c.Piston Kolu

Piston kolları pistonla krank milini mafsallı olarak birbirine bağlar. Pistondan aldığı yanmış gaz basıncı etkisi ile silindirde yaptığı doğrusal hareketi, krank milinde dairesel hareket haline dönüşmesine yardım eder.

Biyel kolundaki zorlama çeşitlerine bir göz atacak olursak temel olarak basınç ve çekme, flambaj (burkulma) ve bükülmeye maruz kaldığını söyleyebiliriz.

Basınç ve çekme: Yüksek piston kuvveti biyel kolunun doğrultusunda büyük basınç kuvvetleri meydana getirir. Yüksek piston kütle kuvveti çekme kuvvetine yol açar.

Flambaj: Biyel kolunun uzunluğu flambaj (burkulma) tehlikesini ortaya koyar. Bükölme: Biyel kolunun sarkaç hareketinin sebep olduğu merkezkaç kuvvetleri şafta bükölme etkisi yapar (Fındık 2010).

Piston kolundan istenen özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Dayanımı yüksek olmalı
- Aşınma dayanımı yüksek (aşınma oranı düşük) olmalı
- Korozyon direnci yüksek olmalı
- Kolay şekil verilebilmeli
- Ucuz olmalı



Şekil 3.13. Piston kolu

3.6.3.4. Piston pimi

Piston pimleri, pistonla, biyeli birbirine mafsallı olarak bağlar. Böylece pistonun başında meydana gelen gaz basıncı sonucu oluşan piston kuvvetini biyel yardımıyla krank miline iletir. Biyel kolundaki piston pimi burçları ile pistondaki pim yuvaları arasında bağlantı görevi yapar. Piston pimi küçük silindirik bir parça olmasına karşın büyük bir basınç altında çalıştığı için, özellikle basınca ve aşınmaya dayanıklı olmalıdır. Piston pimi bükölmeyle maruz kalır. Bunun nedeni; gaz kuvveti, kütle

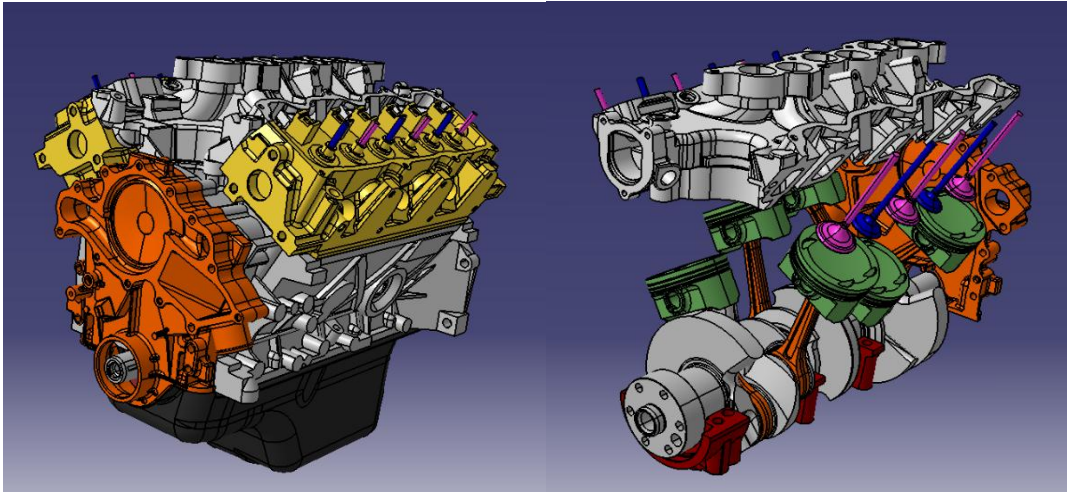
kuvveti, farklı yönlerden gelen darbeleri yüklemeler, yıpranma yüksek yüzey basıncı altında kayma hareketleri ve kötü yağlanma şartlarında oluşur. Piston piminden istenen özellikleri kısaca şöyle sıralanabiliriz. Yüksek dayanıma sahip olmalı. Malzemenin bükme dayanımının yüksekliğinin yanı sıra akma özelliğinin de iyi olması gerekir. Piston piminin üst yüzeyinin aşınmaya dayanıklı olması gerekir. Piston piminin sert bir yüzeye ve sünek bir içyapıya sahip olması gerekir.



Şekil 3.14. Piston pimi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Gününüzde en önemli problemlerden biri enerjidir. Otomobiller ise en büyük enerji tüketicisidir. Bu enerji tüketimini azaltmak için otomobillerin ağırlığını azaltmak gerekir. Enerji tüketimini azaltmanın en iyi yolu ise otomobillerde kullanılan dökme demir ve çelik yerine geçebilecek ve neredeyse aynı özellikleri sağlayan hafif metaller ve alaşımlar kullanmaktır. Bunun yanında dökme demir ve çelik bazen istediğimiz özellikleri karşılamakta yetersiz kalıyorlar. Tasarımda istenen ise diğer metal malzemelerin özelliklerinden yararlanıp istediğimiz özelliklere sahip yeni malzemeler geliştirmektir. Böylelikle daha iyi özelliklere sahip malzemeler elde edilmiş olur. Şekil 4.1’de seçimi yapılan motorun, Şekil 4.2’de silindir bloğu, Şekil 4.3’te supap, Şekil 4.4’te segman, Şekil 4.5’de krank mili, Şekil 4.6’da piston, Şekil 4.7’de piston kolu ve Şekil4.8’de piston piminin CATIA çizimleri verilmiştir.



Şekil 4.1. CATIA programında çizilmiş motor resimleri

4.1. Motor (Silindir) Bloğu

Motor bloğundan istenen özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir. Materyal ve yöntemde belirtilen özellikler göz önünde bulundurarak motor bloğu için şu malzemeleri aday olarak gösterebiliriz:

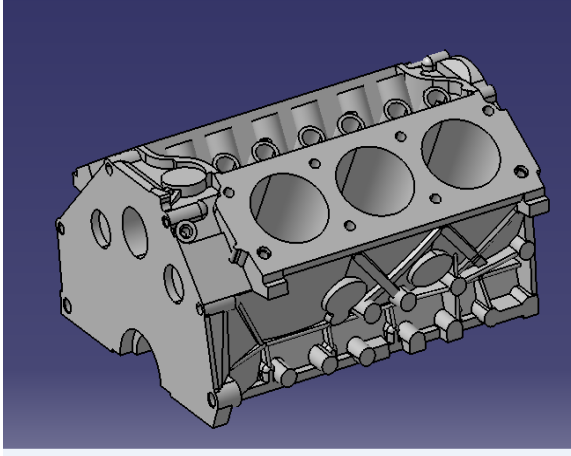
- Çelik alaşımları
- Dökme demir
- Al- alaşımı
- Ni-alaşım
- Ti-alaşım

Çizelge 4.1. Motor bloğu malzemeleri ve puanlaması

Özellik/Malzeme	Çelik alaşımları	Dökme demir (DD)	Al-alaşımı	Ni-alaşımı	Ti-alaşımı
Isıl mukavemet (MPa)	800 (8p)	600 (7p)	400 (5p)	900 (10p)	700 (8p)
Dayanım (MPa)	600 (7p)	200 (4p)	400 (6p)	900 (10p)	900 (10p)
Aşınma oranı (m ² /N)	10 ⁻¹³ (9p)	10 ⁻¹⁴ (10p)	10 ⁻¹² (8p)	10 ⁻¹³ (9p)	10 ⁻¹³ (9p)
Korozyon direnci	orta (6p)	İyi (8p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)
Kolay şekil verme	++ (6p)	+++ (8p)	++++ (10p)	++ (6p)	++ (6p)
Fiyat/Birim hacim (Mg/m ³)	20 (9p)	6 (10p)	20 (9p)	150 (2p)	200 (1p)
Toplam Puan	45p	47p	48p	47p	44p

Çizelge 4.1. incelendiği zaman, motor bloğu malzemesi olarak 48 puanı alan Al alaşımı kullanılır. Çünkü Al alaşımı maliyet, kolay şekil verme, hafiflik ve diğer özellikler açısından en uygun malzemedir. Ardından dökme demir ile Ni-alaşımları gelmektedir. Bunların yanında çelik ve Ti alaşımından da söz edebiliriz. Ancak bu aday malzemeler diğerlerine göre daha pahalı olduğu için bu malzemeler motor bloğu üretiminde kullanılmaz. Alüminyuma karar verdikten sonra alüminyum alaşımları içerisinde en uygun olana karar veririz. Motor bloğu karmaşık bir parça olduğu için döküle bilirliliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca aşınma direnci ve korozyon

dayanımının yüksek olması gerekir. Bunu en iyi sağlayan malzeme 4XXX serisi Al-Si alaşımlarıdır. Silisyumun alüminyuma kattığı en büyük özellik akıcılıktır. Böylece parça rahatça dökülebilir. Silisyum miktarı arttıkça ısıl genleşme azalır, yıpranma azalır, işlenebilme ve şekil verilme azalır.



Şekil 4.2. Motor bloğu

Motor bloğu karmaşık bir parça olduğu için dökülebilirliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca aşınma direnci ve korozyon dayanımının yüksek olması gerekir. Bunu en iyi sağlayan malzeme %18 silisyum 4XXX serisi Al-Si alaşımlarıdır.

4.2. Supaplar

Materyal ve yöntemde belirtilen özellikleri de göz önünde bulundurarak supaplar için şu malzemeleri aday olarak gösterebiliriz:

- Paslanmaz çelik
- Al alaşımları
- Ti alaşımları
- Ni alaşımları

Çizelge 4.2. Subab malzemeleri ve puanlaması

Özellik/Malzeme	Paslanmaz çelikler	Al-alaşimleri	Ti- alaşimleri	Ni- alaşimleri
Korozyon	Pekiyi (10p)	İyi (8p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)
Isıl mukavemet (MPa)	800 (9p)	400 (5p)	600 (7p)	900 (10p)
Elastik modülü (GPa)	200 (10p)	70 (3p)	100 (5p)	190 (10p)
Kırılma tokluğu (MPa m ^{1/2})	100 (10p)	30 (2p)	100 (10p)	100 (10p)
Kayıp katsayısı	10 ⁻³ (8p)	10 ⁻³ (8p)	10 ⁻⁴ (6p)	10 ⁻⁴ (6p)
Şekil verilebilme	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)	İyi (8p)	Pekiyi (10p)
Fiyat/Birim hacim (MG/m ³)	25 (10p)	15 (10p)	200 (5p)	150 (4p)
Toplam Puan	67p	46p	51p	60p

Çizelge 4.2. incelendiğinde subablar için en uygun malzeme 67 puan olan paslanmaz çelikler seçilir. Daha sonra da 60 puan ile Ni-alaşimleri ikinci olarak düşünülebilir. Ti-alaşimleri ise 51 puan ile üçüncü sırada yer alabilir. Ardından da gelen Al-alaşimleri gelmektedir. Özetle, supaplar için en uygun malzeme paslanmaz çeliklerdir. Subablar, motorda çok güç şartlar altında çalışan bir parçadır. Özellikle egzoz supapları basınç altında devamlı yüksek sıcaklıklarda çalışırlar. Bu güç şartlar altında olmasına rağmen supaplar, eğilip, bozulmadan ve yanmadan görevlerine devam etmeleri gerekir. Bu nedenle egzoz supapları, kırılmaya, korozyona, eğilmeye ve aşınmaya dayanıklı, içinde yüksek oranda krom, nikel, silikon ve diğer bazı katıkların bulunduğu çelik alaşımlarından veya stellite denilen, yüksek ısıya dayanıklı, özel çelik alaşımlarından yapılır.

Emme supabı: Yüksek alaşımlı krom silisyum çeliği X45CrSi93

Egzoz supabı: Yüksek alaşımlı krom mangan çeliği X53CrMnNi219

Egzoz supapları iki metalli supap olarak yapılır. Baş Cr-Mn çeliğinden (yüksek sıcaklık dayanımı), sapı da Cr-Si çeliğinden (iyi kayma özellikleri) yapılır (Staudy 1995; Fındık, 2008).

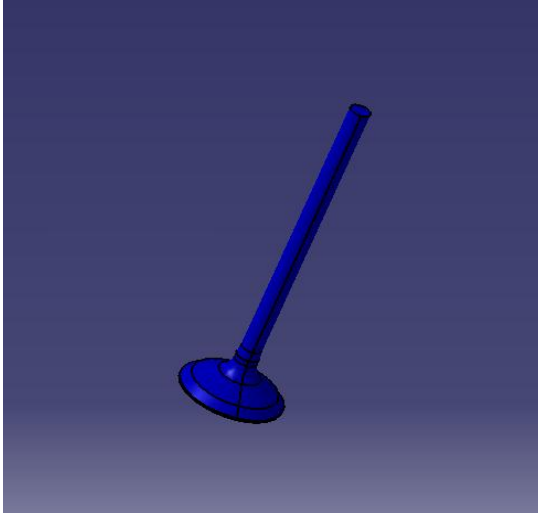
Motor valflerinin yüzeyleri, 500-800°C sıcaklığa maruz kaldığı yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerin seçilmesi gereklidir (Bharath *et al.* 2008).

Son zamanlarda emme ve egzoz valflerinde kullanılmak üzere X45CrSi93 malzemeye alternatif olarak seramik Si₃N₄ malzeme geliştirilmiş ve yorulma testleri yapılmıştır. Çizelge 4.3.'te bu iki malzemenin mekanik ve ısıl özellikleri karşılaştırılmıştır (Sonsino 2003).

Çizelge 4.3. Emme ve egzoz valflerinde kullanılan X45CrSi93 ve Si₃N₄ malzemelerinin mekanik ve ısıl özellikleri (Sonsino 2003)

Properties	Si ₃ N ₄ (GPSN ^a)	X45CrSi93 (AISI HNV3)
Density ρ	3.24–3.25 g/ccm	7.70 g/ccm
Young's modulus E	290–310 GPa	190 GPa
Poisson constant μ	0.27	0.30
Bending strength R_b	20 °C: 100–1300 MPa 1000 °C: 850–950 MPa	20 °C: 880–1030 MPa 800 °C: 70 MPa
Weibull modulus m	15–22	–
Hardness HV10	1200–1400	–
Fracture toughness K_{IC}	8–10 MPa m ^{1/2}	–
Thermal elongation coefficient α	20–100 °C: 1.9×10^{-6} K ⁻¹ 20–1000 °C: 3.2×10^{-6} K ⁻¹	20–100 °C: 1.3×10^{-5} K ⁻¹ 20–700 °C: 1.4×10^{-5} K ⁻¹
Specific thermal capacity λ	20 °C: 20 W/m K 1000 °C: 13 W/m K	20 °C: 21 W/m K
Thermo-shock parameter $R_1 = \frac{R_b(1-\mu)}{\alpha E}$	1060 K	–

^a GPSN: gas pressure sintered silicon nitride.



Şekil 4.3. Emme supabı

Emme supapları egzoz supaplarına oranla ısı yönünden daha uygun şartlarda çalıştığı için (emme 550°C, egzoz 800°C'ye kadar), bunların yanma, korozyon ve aşınma olasılığı daha az olduğundan, stellite göre daha ucuz olan krom nikel, çelik alaşımlarından yapılıır. Yüksek alaşımlı krom silisyum çeliği X45CrSi93 (Bharath *et al.* 2008; Bocanegra-Bernal 2010; Voorwald *et al.* 2011)

4.3. Segmanlar

Materyal ve yöntemde belirtilen özellikleri de göz önünde bulundurarak segmanlar için şu malzemeleri aday olarak gösterebiliriz:

- Kır dökme demir
- Çelik alaşımları
- Al alaşımları
- Ti alaşımları

Çizelge 4.4 Segman malzemeleri ve puanlaması

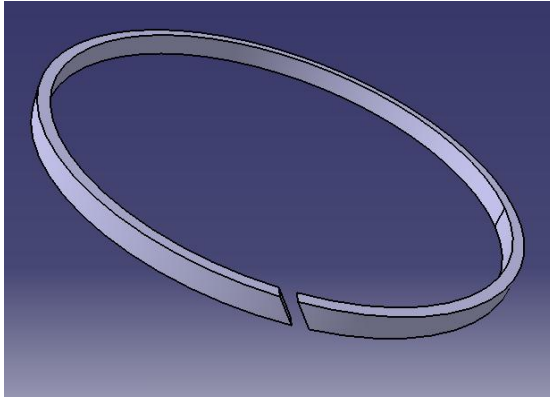
Özellikler/Malzeme	KDD	Çelik Alaşımı	Al- alaşımı	Ti -alaşımı
Mukavemet (MPa)	200 (5p)	600 (8p)	200 (5p)	700 (10p)
Korozyon direnci	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)	İyi (8p)	İyi (8p)
Kolay şekil verme	+++ (10p)	+++ (10p)	++ (6p)	+++ (8p)
Kayıp katsayısı	10^{-2} (10p)	10^{-4} (6p)	10^{-3} (8p)	10^{-3} (8p)
Aşınma oranı (m^2/N)	10^{-14} (10p)	10^{-14} (10p)	10^{-12} (6p)	10^{-13} (8p)
Fiyat/Birim hacim (Mg/m ³)	6 (10p)	30 (8p)	10 (9p)	200 (2p)
Toplam Puan	65p	62p	44p	52p

Çizelge 4.4. incelendiğinde en uygun segman malzemesinin 65 puan ile (KDD) olduğu görülmektedir. Bu malzemenin en yüksek puanı almasının sebebi, segmanlardan istenen özelliklerin biri hariç diğerlerinden tam puan almasıdır. KDD segmanının mukavemeti orta bir değer verirken, çelik alaşımlı segmanın ise titreşimi sönümleme (kayıp faktörü) kapasitesinin orta bir değer göstermesidir. Ardından gelen segman aday malzemelerinden Ti-alaşımları pahalı olmaları ve üretimlerinin kolay olmaması nedeni ise düşük puan almıştır. Özet olarak, özellikle kompresyon segmanları için en uygun malzeme kır dökme demir (KDD) malzemesidir. Kır dökme demirler arasında en uygun segman malzemesi ısıl işlem görmüş, alaşımlı gri dökme demir, GOE 32-F14 dür. Segmanlar genellikle gri dökme demirden yapıldığı gibi, çelik alaşımlarından yapılanları da vardır. Bu malzemeler iyi bir sürtünme yüzeyi teşkil ettiği gibi, motorda meydana gelen, yüksek sıcaklık ve yüksek basınca karşı koyarak uzun zaman esnekliklerini kaybetmeden görevlerini başarı ile yapmaktadırlar. Kompresyon segmanlarının alışma zamanını kısaltmak, aynı zamanda çabuk aşınmayı önlemek ve segmanların iyi yağlanması sağlamak için segman yüzeyleri kadmiyum, kalay, krom, demir oksit, molibden, nikel, fosfat veya siyah manyetik oksitle kaplatılabilir.

Piston halkaları (segmanlar), esasen dinamik ve tribolojik yükler altında karmaşık gerilmelere maruzdur. Dolayısıyla 200-300°C'lerde yüksek dayanım gösteren malzemelerin kullanılması gerekir. Ayrıca ısıl iletkenlik ve ısıl genişleme gibi termo fiziksel özellikler, segmanların performansında önemli faktörlerdir. Piston halka malzemelerinin karakteristiklerini belirleyen özelliklerden diğerleri de, korozyon direnci ve mikro kaynak oluşumuna olan dirençtir¹³ Tüm bu şartlar göz önüne alındığında, piston halkalarında dökme demirler, dökme ve dövülmüş çelikler, dökme ve dövme alüminyum alaşımları kullanılır. Alüminyum alaşımlarının ısıl iletkenliği dökme demirinkinin yaklaşık üç katıdır. Bu nedenle alüminyum alaşımı sıcaklığa dökme demire göre daha az duyarlıdır. Alüminyumun yoğunluğu dökme demirin üçte biridir. Dökme demir segmanlar, alüminyum alaşımı segmanlara göre daha dayanıklıdır. Sıcaklık arttıkça alüminyum alaşımı segmanların dayanımı hızlı

¹³ (http://www.federalmogul.com/korihandbook/en/section_41.htm)

bir şekilde azalırken, dökme demirde böyle bir durum gözlenmez. Ayrıca dökme demirin aşınma dayanımı alüminyum alaşımlarına göre daha yüksektir. Alüminyumun termal genişleme katsayısı dökme demirinkinin iki katıdır, bu yüzden alüminyum alaşımı pistonlar, silindir cidarı ile segman arasında daha fazla açıklık gerektirir. Bu durumlar göz önüne alındığında genellikle segman malzemesi olarak gri dökme demirler kullanılır. Fakat segmanların seçiminde etkili olan diğer bir faktör piston hızı olduğu için 6m/s'nin altındaki düşük hızlarda dökme demir segmanların, 6m/s'nin üzerindeki hızlarda ise alüminyum alaşımı segmanların daha çok tercih edildiği unutulmamalıdır (Bhandari 2010). Bunun haricinde dökme demir ve alüminyum alaşımlarına alternatif olarak geliştirilen bazı malzemeler de vardır. Bunlar GOE 61-18% Cr-Steel (martenizitik paslanmaz çelik), GOE 52-KV1 temper dökme demir ve GOE 44 küresel dökme demirdir¹⁴Yeni geliştirilen bu malzemelerin mukavemet ve elastisite modülleri daha yüksektir. Fakat üretim olarak maliyetleri yüksek olduğu için henüz gri dökme demir kadar yaygın bir kullanıma ulaşmamışlardır.



Segmanlar motorda meydana gelen, yüksek sıcaklık ve yüksek basınca karşı koyarak uzun zaman esnekliklerini kaybetmeden görevlerini başarı ile yapmaları beklenmektedir Bunun için en uygun segman malzemesi ısı işlem görmüş, alaşımlı gri dökme demir, GOE 32-F14 dür.

Şekil 4.4. Segman

¹⁴ (http://www.federalmogul.com/korihandbook/en/section_41.htm)

4. 4. Krank Mili

Materyal ve yöntemde belirtilen özellikleri de göz önünde bulundurarak krank mili için şu malzemeleri aday olarak gösterebiliriz:

- Çelik alaşımları
- Kır dökme demir
- Al alaşımları
- Ti alaşımları
- Ni alaşımları

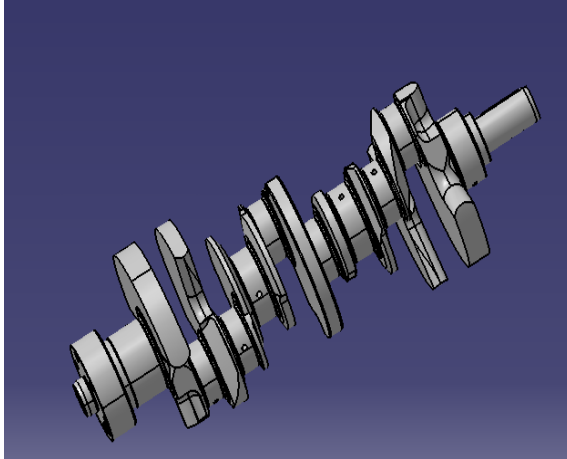
Çizelge 4.5. Krank mili malzemeleri ve puanlaması

Özellik/Malzeme	Çelik Alaşımı	KDD	Al-alaşımı	Ni-alaşımı	Ti-alaşımı
Mukavemet (MPa)	800 (9p)	200 (3p)	400 (5p)	900 (10p)	900 (10p)
Kayıp katsayısı	10^{-4} (6p)	10^{-2} (10p)	10^{-3} (8p)	10^{-3} (6p)	10^{-3} (8p)
Aşınma oranı (m^2/N)	10^{-14} (8p)	10^{-14} (10p)	10^{-12} (6p)	10^{-13} (8p)	10^{-13} (8p)
Korozyon direnci	Pekiyi (10p)	İyi (8p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)
Kolay şekil ver	+++ (10p)	+++ (10p)	+++ (10p)	++ (6p)	++ (6p)
Fiyat/Birim hacim (Mg/m^3)	20 (8p)	6 (10p)	20 (8p)	150 (3p)	200 (1p)
Toplam Puan	51p	51p	47p	43p	43p

Çizelge 4.5. incelendiğinde en uygun krank mili için en uygun malzeme 51 puan ile (KDD) ve çelik alaşımı olduğu görülmektedir. Bu iki malzemenin en yüksek puan almalarının sebebi, krank milinden istenen özellikleri en iyi şekilde sağlamalarıdır. Krank millerinin imal edilmesinde kullanılan yöntemlerden birisi dövme işlemidir. Genellikle krank millerinin dövülerek yapılmasında düşük alaşımlı ıslah çeliği kullanılır. Dökme krank milleri ise genelde küresel grafitli dökme demirden imal edilirler. Bu malzemenin kullanılmasındaki en önemli etken özellik olarak çeliğe

benzemesi ve bunun yanı sıra daha düşük maliyettir. Bu gibi sebeplerden dolayı günümüzde kullanımı çok yaygındır. Yüksek uzama özelliği sayesinde çelik malzemenin yerine aday gösterilen küresel grafitli dökme demir (GGG 40.3) uygundur. demir (GGG 40.3) malzemesinde bulunan katkı maddeleri (%C 3,1-3,4) (%Si 1,9-2) (%Mn0,15) (%P0,03) (%Mg0,02-0,03) (%S0,015) olarak sıralanabilir. Ardından gelen krank mili aday malzemelerinden Al-alaşımı aşınma oranının yüksek olması ve Ti-alaşimleri ve Ni-alaşımı ise pahalı olmaları ve üretimlerinin kolay olmaması nedeni ise düşük puan almıştır.

Krank milleri için en yaygın olarak kullanılan malzemeler, alaşımız (40C8, 45C8, 50C4) ve alaşımlı (16Ni3Cr2, 35Ni5Cr2, 40NiCr3Mo6) çeliklerdir. (Bhandari 2010).



Şekil 4.5. Krank milli

Krank milli küresel grafitli dökme demirden imal edilirler. Bu malzemenin kullanılmasının en önemli nedeni çeliğe benzemesi ve daha düşük maliyete sahip olmasıdır. Yüksek uzama özelliği sayesinde çelik malzemenin yerine aday gösterilen küresel grafitli dökme demir (GGG 40.3) uygundur.

4.5. Piston

Materyal ve yöntemde belirtilen özellikleri de göz önünde bulundurarak piston pimleri için şu malzemeleri aday olarak gösterebiliriz:

- Dökme demir
- Çelik alaşimleri
- Al alaşimleri
- Ti alaşimleri
- Ni alaşımla

Çizelge 4.6. Piston malzemeleri ve puanlaması (Fındık 2010)

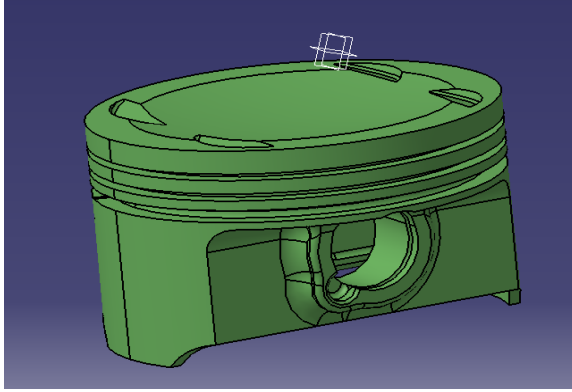
Özellik/Malzeme	Çelik alaşımı	Dökme demir (DD)	Al- alaşımı	Ni-alaşımı	Ti-alaşımı
Isıl mukavemet (MPa)	800 (8p)	600 (7p)	400 (6 p)	900 (10p)	700 (8p)
Dayanım (MPa)	800 (8p)	300 (5p)	400 (6p)	900 (10p)	900 (10p)
Aşınma oranı (m ² /N)	10 ⁻¹³ (8p)	10 ⁻¹⁴ (10p)	10 ⁻¹² (7p)	10 ⁻¹³ (8p)	10 ⁻¹³ (8p)
Korozyon direnci	İyi (8p)	İyi (8p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)
Kolay şekil ver	+++ (10p)	+++ (10p)	+++ (10p)	++ (7p)	++ (7p)
Fiyat/Birim hacim (Mg/m ³)	20 (9p)	6 (10p)	20 (9p)	150 (3p)	200 (1p)
Toplam Puan	51p	50p	48p	48p	44p

Çizelge 4.6. incelendiğinde piston malzemesi için en uygun malzeme 51 puan ile çeliktir. Çünkü çeliğin düşük maliyeti kolay şekil verme ve diğer özellikleri açısından en uygun malzeme olduğu görülmektedir. Ardından dökme demir gelmektedir. Buna karşın Al alaşımları puanlamada üçüncü sırada gelmesine rağmen kullanımı günümüzde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bunun temel sebebi dayanım ve ısıl mukavemet gibi özellikleri iyileştirmek için bazı elementler ilave edilmesidir. Dört zamanlı benzin motorlarının pistonları genellikle için % 12 silisyum içeren Al-Si alaşımları kullanılır. En sık kullanılan piston alaşımı ise AlSi 12 CuNi' dir. Silisyum miktarı arttıkça ısıl genleşme azalır, yıpranma azalır, işlenebilme ve şekil verilme azalır. Buna karşın silisyum alüminyumun genleşme katsayısını düşürür, sertliğini artırır. Uçak ve otomobil endüstrisinde ve genleşme katsayısının düşük olmasından dolayı pistonların yapımında geniş ölçüde kullanılır.

Ni ve Ti alaşımlarından da söz edebiliriz. Ancak bu aday malzemeler diğerlerine göre daha pahalı oldukları için bu iki malzeme piston üretimin de pek kullanılmaz. Ancak ileride maliyetler düşürülürse bu malzemelerin kullanımı daha da yaygınlaşır. Çünkü bu malzemelerin en büyük dezavantajı maliyettir

Ötektik Al-Si alaşımları, Ni, Cu ve Mg vd. gibi bazı ana alaşım elementleri içerir ve bu elementler çok karmaşık morfolojiye sahip Mg₂Si, Al₂Cu, Al₅Cu₂Mg₈Si₆, Al₃Ni,

Al_3CuNi ve Al_7Cu_4Ni gibi farklı metallerarası bileşikler oluştururlar (Tung *et al.* 2004; Belov 2005; Zeren 2007; Zhang *et al.* 2011). Karmaşık mikroyapı özellikleri, mükemmel döküm özelliği, iyi abrazyon ve korozyon direnci (Vadim 2007; Zhang *et al.* 2011), yüksek ısıl iletkenlik, yüksek mukavemet/ağırlık oranı (Eswara *et al.* 2000; Joyce *et al.* 2003; Moffat *et al.* 2005; Qian *et al.* 2006) ve düşük ısıl genleşme katsayısı gibi mükemmel özellikler sunarlar (Liu *et al.* 2005; Song *et al.* 2009). Bu alaşımlar, bu nedenle jant alaşımı (Liao *et al.* 2002; Yu *et al.* 2007) ve piston uygulamaları (Wang *et al.* 2003) gibi otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılır (Tung *et al.* 2004).



Piston malzemesi olarak motorlarda pistonları genellikle %12 silisyum içeren Al-Si alaşımları kullanılır. En sık kullanılan piston alaşımı ise AlSi 12 CuNi'dir.

Şekil 4.6. Piston

4.6. Biyel (Piston) Kolu

Materyal ve yöntemde belirtilen özellikleri de göz önünde bulundurarak piston kolu için şu malzemeleri aday olarak gösterebiliriz:

- Çelik alaşımları
- Al alaşımları
- Mg alaşımları

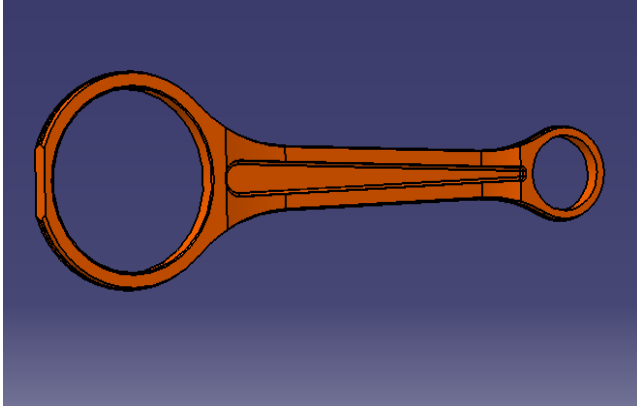
Şimdi aday olarak gösterilen bu malzemeleri biyel (piston) kolundan istenen özelliklerin ışığı altında puanlama yaparak değerlendirelim aday malzemeleri sütunlara ve istenen özellikleri de satırlara yazdıktan sonra, bu bölümde incelenen

malzeme seçim diyagramlarını kullanarak aday malzemelerin değerlerini bulalım. Sonuçlar Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Piston kolu malzemeleri ve puanlaması

Özellik/Malzeme	Çelikler	Al-alaşimleri	Mg-alaşimleri
Dayanım (MPa)	500 (10p)	200 (7p)	200 (7p)
Kırılma tokluğu (MPa m ^{1/2})	60 (10p)	25 (5p)	15 (3p)
Korozyon direnci	Orta (6p)	İyi (8p)	İyi (8p)
Şekil verilebilme	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)	İyi (8p)
Fiyat/Birim hacim (Mg/m ³)	20 (10p)	20 (10p)	25 (8p)
Toplam Puan	46p	40p	34p

Çizelge 4.7. incelendiğinde piston kolu malzemesi için en uygun malzeme 46 puan ile çeliktir. Çeliğin düşük maliyeti kolay şekil verme ve diğer özellikleri açısından en uygun malzeme olduğu görülmektedir. Ardından Al alaşimleri gelmektedir. üçüncü sırada ise Mg alaşimleri gelmektedir. Biyeller pistonlar gibi genellikle çelik alaşımlarından yapılır. Biyeller presle dövülerek dizi işlemlere tabi tutularak imal edilirler. En yaygın olarak da alaşımı ıslah çeliği kullanılır. Islah çeliği, %0,35-0,6C içeren kaliteli bir asal çeliktir. Piston kollarının yapımında kullanılan ıslah çeliğinin temel özelliği darbe ve tokluk dayanımının yüksek olmasıdır. Bu özelliklere sahip çeliğin oluşturulması için çeliğe yüksek oranda molibden ve Krom ilave edilir. Krom sertlik, tokluk ve yüksek sıcaklık dayanımı artırır. Korozyona ve aşınmaya karşı direnç için kullanılır. (örnek: %18Cr katılan östenitik paslanmaz çelik) Ve sertleşebilirliği artırır. Molibden sertleşebilirliği, aşınmaya ve yüksek sıcaklığa dayanımı (yüksek hız ya da sıcak iş çeliklerinde olduğu gibi) artırır.



Şekil 4.7. Biyel kolu

Biyel kolu piston gibi genellikle çelik alaşımlarından yapılır. En yaygın olarak da alaşımı ıslah çeliği (Ünal 1982) kullanılır. Islah çeliği, %0,35-0,6C içeren kaliteli bir asal çeliktir. Biyel kolu malzemesi olarak Ck35 uygundur.

Biyel kolu üretiminde birçok firma^{15,16} tarafından bar şeklinde Ck35¹⁷ çelik malzeme üretilebilmektedir. 150ksi'lik bir akma dayanımına (Mott 2003) sahip olan Ck35 malzemenin biyel kollarında tercih edilmesinin altında iyi mekanik özellikler ve düşük maliyet yatmaktadır.

4.7. Piston pimi

Materyal ve yöntemde belirtilen özellikleri de göz önünde bulundurarak piston pimleri için şu malzemeleri aday olarak gösterebiliriz:

- Dökme demir
- Çelik alaşımları
- Al alaşımları
- Ti alaşımları
- Mg alaşımları

¹⁵ <http://au.alibaba.com/products/aisi-1035-carbon-steel-round-forgings.html>

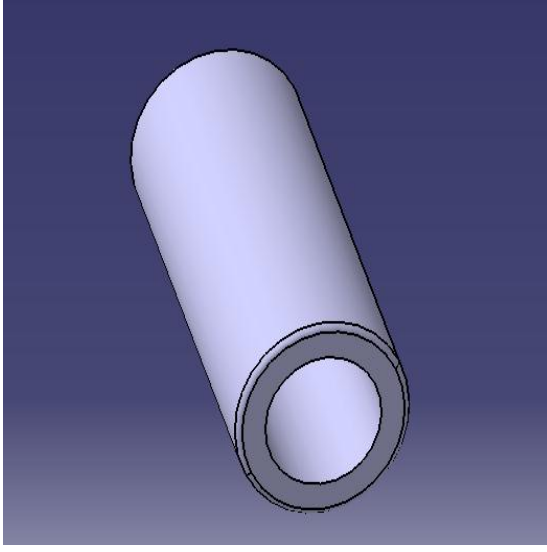
¹⁶ http://scftg.en.alibaba.com/product/521663484-213042043/S35C_C35_Steel_AISI_1035.html

¹⁷ <http://www.metalravne.com/selector/steels/ck35.html>

Çizelge 4.8. Piston pimi malzemeleri ve puanlaması

Özellik/Malzeme	Çelik alaşımları	Dökme demir (DD)	Al- alaşımı	Mg-alaşımı	Ti-alaşımı
Dayanım (MPa)	800 (9p)	300 (4p)	400 (5p)	400 (5p)	900 (10p)
Aşınma oranı (m ² /N)	10 ⁻¹³ (9p)	10 ⁻¹⁴ (10p)	10 ⁻¹² (8p)	10 ⁻¹² (8p)	10 ⁻¹³ (9p)
Korozyon direnci	İyi (9p)	İyi (8p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)	Pekiyi (10p)
Kolay şekil ver	+++ (10p)	+++ (10p)	+++ (10p)	+++ (10p)	++ (7p)
Fiyat/Birim hacim (Mg/m ³)	20 (8p)	6 (10p)	20 (8p)	25 (7p)	200 (1p)
Toplam Puan	45p	42p	41p	40	37p

Çizelge 4.8. incelendiğinde piston pimi malzemesi için en uygun malzeme 45 puan ile çelik alaşımlarıdır. Çünkü çeliğin düşük maliyeti kolay şekil verme, sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzeye, sünek bir içyapıya sahip olması gerekir. Bu açıdan bakıldığında en uygun malzeme olduğu görülmektedir. Çelik alaşımları arasında bir seçim yaparsak bu özellikleri en iyi sağlayan çelikler ise sementasyon çeliği veya azotlanmış (nitrülenmiş) çeliklerdir. Sementasyon çeliği %0,1-0,2 arasında C içeren alaşımsız veya alaşımlı kaliteli çeliktir. Piston pimleri için uygun olan sementasyon çeliği 15Cr3 (%0.15C ve %0.75Cr). Azotlanmış çelik ise krom, alüminyum, molibden ve vanadyum gibi alaşım elementlerinden teşekkül eder. Ardından dökme demir gelmektedir. Daha sonra Al alaşımları Mg ve Ti alaşımları olarak sıralayabiliriz. Ancak bu aday malzemeler diğerlerine göre daha pahalı ve düşük dayanımlı oldukları için bu malzemeler piston üretimin de pek kullanılmaz.



Şekil 4.8. Piston pimi

Piston pimi malzemesi olarak çelik kullanılır. Düşük maliyeti kolay şekil verme, sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzeye, sünek bir içyapıya sahip olmasından dolayı tercih edilir. Piston pimleri için uygun olan sementasyon çeliği 15Cr3 (%0.15C ve %0.75Cr) /DIN 1.7015 dir. Bindumadhavan *et al.* (2000) de bu malzemenin kullanımı ve özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik ayrıntılı bilgiler vermişlerdir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, CATIA çizim programında bir Otto motoruna ait temel elemanların resimleri çizilmiş ve her bir motor elemanının malzeme seçimi “malzeme seçim diyagramları” göz önüne alınarak yapılmıştır. Buna göre, motor silindir bloğu karmaşık bir parça olduğu için döküle bilirliliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca aşınma direnci ve korozyon dayanımının yüksek olması gerektiğinden dolayı %18 silisyum 4XXX serisi Al-Si alaşımlı malzeme seçilir.

Subablar kırılmaya, korozyona, eğilmeye ve aşınmaya dayanıklı olması gerektiğinden dolayı içinde yüksek oranda krom, nikel, silikon ve diğer bazı katıkların bulunduğu çelik alaşımlarından yüksek alaşımlı krom silisyum çeliği X45CrSi93 malzeme seçilir.

Segmanlar motorda meydana gelen, yüksek sıcaklık ve yüksek basınca karşı koyarak uzun zaman esnekliklerini kaybetmeden görevlerini yerine getirmesi beklenir. Bunun için en uygun segman malzemesi ısı işlem görmüş, alaşımlı gri dökme demir, GOE 32-F14 malzeme seçilir.

Krank milleri bükme, burulma, aşınma ve dönme titreşimleri maruz kalır. Bunun için yüksek dayanıma sahip, sünekliği çok iyi ve iyi bir aşınma dayanımına sahip olması gerekir. Bundan dolayı küresel grafitli dökme demir (GGG 40.3) malzeme seçilir.

Pistonlar genel olarak sıcaklık, basınç, kütle kuvvetleri ve sürtünmelere maruz kalır. Bunun için pistonlar ısı mukavemeti yüksek ve aşınma dayanımı yüksek (aşınma oranı düşük) olmalı. Bundan dolayı piston malzemesi olarak %12 silisyum içeren Al-Si alaşımlı AlSi 12 CuNi malzeme seçilir.

Biyel kolları ise genel olarak basınç ve çekme, flambaj (burkulma) ve bükülmeye maruz kalır. Bunun için biyel kollarının dayanımı yüksek, korozyon direnci yüksek, aşınma oranı ise düşük olmalı. Bundan dolayı biyel kolu malzemesi olarak Ck35 malzeme seçilir.

Piston pimi küçük silindirik bir parça olmasına karşın büyük bir basınç altında çalıştığı için, özellikle basınca ve aşınmaya dayanıklı olmalıdır. Piston pimi gaz kuvveti, kütle kuvveti, farklı yönlerden gelen darbeli yüklemeler, yıpranma yüksek yüzey basıncı altında kayma hareketleri ve kötü yağlanma şartlarında bükülmeye maruz kalır. Bunun için malzemenin bükme dayanımının yüksekliğinin yanı sıra akma özelliğinin de iyi olması gerekir. Yani üst yüzeyinin aşınmaya dayanıklı olması, sert bir yüzeye ve sünek bir içyapıya sahip olması gerekir. Bundan dolayı piston pimleri için uygun olan sementasyon çeliği 15Cr3 (%0.15C ve %0.75Cr) malzeme seçilir.

KAYNAKLAR

- Akman, C., 2006. GG 22 lamel grafitli dökme demirden üretilen motor silindir gömleklerinin CNC torna tezgahında işlenebilirliğinin incelenmesi Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Ashby, M.F., 1992. *Material Selection in Mechanical Design*, Pergamon Press Ltd., Oxford.
- Ashby, M.F., and Cebon D., 1996. *Case Studies in Material Selection*, Granta Design.
- Ashby, M.F., and Jones, D.R.H., 1996. *Engineering Materials 1, and Introduction to their Properties and Applications*, 2nd edition, Pergamon Press, Oxford, U.K.
- ASM Engineered Materials Handbook., 2004. "Testing and characterisation of polymeric materials", ASM International, Metals Park, OH, USA.
- ASM Handbooks, volume 8, 2004. "Mechanical testing and evaluation" ASM International, Metals Park, Ohio, USA.
- ASTM Standarts 1988, Vol.08.01 and 08.02 Plastics; 1989 Vol.04.02 Concrete; 1990 Vols.01.01 to 01.05 Steels; Vol.02.01 Copper alloys; Vol.02.03 Aluminum alloys; Vol.02.04 Non-ferrous alloys; Vol.02.05 Coatings; Vol.03.01 Metals at high and low temperatures; Vol.04.09 Wood; Vols.09.01 and 09.02 Rubber, :American Society for Testing Materials, 1916 Race Steel, Philadelphia, PA USA.
- Avuncan, G., 1998. Talas Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar, Makine Takım Endüstrisi A.Ş. Mavi Tanıtım ve Pazarlama Ltd.Sti. İstanbul, 19-37, 51-55, Kocaeli.
- Bandivadekar, A., Bodek K., Cheah L., Evans C., Groode T., Heywood J., Kasseris E., Kromer M., Weiss M., 2008. *On the Road in 2035: Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions* Laboratory for Energy and the Environment, Report No. LFEE 2008-05 RP, Massachusetts Institute of Technology.
- Bassi, C., Bloeck M., Raiber R., 1999. Erleichterter einsatz von aluminiumkarosserieblech im automobil-grossserien durch trockenschmierstoffe, in: Proc. of Arbeitskreis Aluminium Automobil-Das Umformen von Aluminium im Automobilbau, Bad Nauheim, Germany, 20–21 p. 92–105.
- Bhandari, V. B., 2010. *Design Of Machine Elements 3E*, Third Edition, New Delhi: Tata McGraw-Hill ©, 3. baskı pp. 854, 856, 880.
- Bedir, A., 1999. Gelişmiş Otomotiv Sanayilerinde Ana-Yan Sanayi İlişkileri ve Türkiye'de Otomotiv Yan Sanayiinin Geleceği Uzmanlık tezi İktisadi .
- Bedir, A., 2002. Türkiye'de Otomotiv Sanayii Gelişme Perspektifi, DPT, s.2.
- Belov, NA., Eskin, DG., Avxentieva, NN., Constituent phase diagrams of the Al–Cu–Fe–Mg–Ni–Si system and their application to the analysis of aluminum piston alloys. *Acta Mater* 2005;53:4709–22.
- Bindumadhavan, U., Makesh, S., Gowrishankar, N., Waha, H. K., Prabhakar, O., 2000. Aluminizing and subsequent nitriding of plain carbon low alloy steels for piston ring applications. *Surface and Coatings Technology* 127, 252-259.
- Crane, F.A.A., and J.A.Charles., 1984. "Selection and Use of Engineering Materials", The Garden City Press Ltd.

- Cole, G., 1997. A. Glove, R. Jeryan, G. Davies, *Steel World* 2 (1) 75–83.
- Çavuşoğlu, E.N., 1992. *Döküm Teknolojisi 1*, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya - Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul. 245, 289-416.
- Dumanlı, R., 1978. *Türkiye’de Otomotiv Sanayinin Durumu, Yapısal Özellikleri ve Sorunları*, Ankara: DPT Yayınları, s.23.
- Eker, A.A., 2008. “Al ve alaşımları ders notları”, Yıldız Teknik Üniversitesi Ders Notları, 1-16.
- Eker A.A., 2008. *Demirdışı Metal ve Alaşımları, Malzeme 2 Ders Notları*.
- Eswara Prasad., N., Vogt, D., Bırlıngmaier, T., Wanner, A., Arzt E., 2000. High temperature, low cycle fatigue behavior of an aluminium alloy (Al-12Si-CuMgNi). *Materials Science and Engineering A*, 276: 283–287.
- European Aluminium Association Report, 2006. *Sustainability of the European Aluminium Industry, Aluminium in Cars*.
- Fındık, F., 2006. “Aluminua Powdered Alloys”, Center for Advanced Vehicular Systems, Mississippi State University.
- Fındık, F., 2008. *Malzeme Seçimi ve Uygulamaları*. Sakarya Yayıncılık, Sakarya.
- Fındık, F., 2010. *Malzeme Ve Tasarım Bilgisi*. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Forrest, R.D., 2005. “Some Factors Affecting the Mechanical Properties of Ductile Iron”, BCIRA, Report 1755.
- Georgano, G.N., 1972. “Transportation Through The Ages”, J.M.Dent&Sons Ltd, s.21, İngiltere.
- Gilbert, G.N.J., 2003. “An Introduction to the Mechanical Properties of Nodular Cast Iron” BCIRA, Report 1649.
- Gül, F., 1989. “Küresel Grafitli Dökme Demirde Malzeme ve Proses Parametrelerinin Küre Dağılımına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-120.
- Joyce, M R., 2003. Styles C M, Reed P A S. Elevated temperature short crack fatigue behavior in near eutectic Al-Si alloys. *International Journal of Fatigue*, 25: 863–869.
- Kandemir, K. ve Çetin, A., 2002. *Otomotiv Endüstrisi için Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Potansiyeli*.
- Kazdal Zeytin, H., 1999. *Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Kullanım ve Geleceği*. TÜBİTAK-OSD.
- Kazdal Zeytin, H., 2000. *Alüminyum Alaşımları Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları ve Geleceği*.
- Labrecque, C. And Gagne, M., 1998. Ductile iron: fifty years of continuous development. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 37(5), 343-378.
- Leyens, C., Peters, M., 2003: *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*, Titanium and Titanium Alloys, 231-233-468-469-478.
- Liao, H, Sun Y, Sun G., 2002. Correlation between mechanical properties, amount of dendritic α -Al phase in as-cast near-eutectic. Al-11.6% Si alloys modified with strontium. *Mater Sci Eng A* 335:62–6.
- Liu, XF., Qiao, JG., Wu, YY., Liu XJ., Bian, XF., 2005. EPMA analysis of calcium-rich compounds in near eutectic Al-Si alloys. *J Alloys Compd* 388:83–90.
- Materials Handbook*, 1992. ASM Handbook, v.20, ASM International.
- Miller, W.S., Zhuang, L. Bottema, J., Wittebrood, A.J., De Smet, P., Haszler, A., Vieregge A., 2000. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry *Materials Science and Engineering. A* 280 37–49.

- Moffat, A J., Barnes, S., Mellor ,B G., Reed P A S., 2005. The effect of silicon on long crack fatigue behavior of aluminium-silicon piston alloys at elevated temperature. *International Journal of Fatigue*, 27: 1564–1570.
- Morita, A., 1998. Aluminium alloys for automobile applications, in: Proc. of ICAA-6, Toyohashi, Japan, 5–10 July, in: *Aluminium Alloys*, vol. 1, pp. 25–32.
- Mott Robert, L., 2003. *Machine Elements In Mechanical Design*, 4th Edition.
- Nguyen, H., 2005. *Manufacturing Processes and Engineering Materials Used in Automotive Engine Blocks* April 8.
- Otomotiv ve Yan sanayi Sempozyumu, 1985. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 115-120.
- Özcömert, M., 2006. “Otomotiv endüstrisinde alüminyum”, İstanbul Ticaret Odası Eğitim Notları, İstanbul, 3-6.
- Qian, L., Toda H., Nishido, S., Kobayashi, T., 2006. Experimental and numerical investigations of the effects of the spatial distribution of α phase on fracture behavior in hypoeutectic Al-Si alloys. *Acta Materialia*, 54: 4881–4893.
- Ravi Bharath, R., Ramanathan, R., Sundararajan B., Bala Srinivasan P., 2008. Optimization of process parameters for deposition of Stellite on X45CrSi93 steel by plasma transferred arc technique *Materials and Design*. 29 1725–1731.
- Röhrle, M. D., 1995. *Pistons for internal combustion engines – fundamentals of piston technology*, MAHLE GmbH. Verlag Moderne Industrie. Landsberg/Lech, Germany. p. 70.
- Sagara, M., Takamaya, I., Nishida, T., 1994. Application of Titanium for Automotive Use in Japan. *Nippon Steel Technical Report*, No. 62.
- Scott, C.E., 1995. *Materiaux and Techniques* 10–11 21–27.
- SG Iron, 1967. *Properties and Applications* International Nickel Mond Co. London.
- Song, XG., Bian XF., Zhag JX., Zhang J., 2009. Temperature-dependent viscosities of eutectic Al–Si alloys modified with Sr and P. *J Alloys Compd* 479:670–3.
- Sonsino, C.M., 2003. Fatigue design of structural ceramic parts by the example of automotive intake and exhaust valves, *International Journal of Fatigue* 25 107–116.
- Stady, W., 1995. “Motorculukta Metal Tekniği” ,MEB Yayını, Ankara.
- Sue, K., 2002. “Diet of Australian metal lightens cars and pollution,” Media release, 14 October.
- Szeteiova, K., 2011. *Automotive Materials Plastics In Automotive Markets Today*.
- Tung, S.C., and McMillan, M.L., 2004. Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future. *Tribology International* 37 ,517–536.
- Ünal, A., 1982. Dayanım ve Kesit Aralıklarına Göre Alaşımli Islah Çeliklerinin Gruplandırılması, *Mühendis ve Makine*, 24, 4-14.
- Vadim, Z.S., 2007. Nikolai B.A, Michael G.V. *Casting aluminum alloys*. Amsterdam: Elsevier Science, 327–376.
- Voorwalda, H. J. C., Coisse, R. C., Cioffi, M. O. H., 2011, Fatigue Strength of X45CrSi93 stainless steel applied as internal combustion engine valves *Procedia Engineering* 10,1256–1261.
- Wang, G.Q., Bian XF, Wang WM, Zhang JY. 2003 Influence of Cu and minor elements on solution treatment of Al–Si–Cu–Mg cast alloys. *Mater Lett* 57: 4083–7.

- Wilhelm, M., 1993. Materials used in automobile manufacture - current state and perspectives.
- Willem, J., 2011. van der Wiel Future of Automotive Design & Materials Trends and Developments in Design and Materials.
- Wohle, J., 2001. A. Gebauer-Teichmann, K.-T. Rie, Comparison of radio frequency and pulsed-d.c. plasma CVD of Ti-C-N-H and Zr-C-N-H layers at low temperature, Surface and Coatings Technology 142-144, 661-664.
- Yardıı, M.H., 2005. Motor Teknolojisi. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Yu, LN., Liu, XF., 2007. Ding HM. A new nucleation mechanism of primary Si by peritectic-like coupling of AlP and TiB₂ in near eutectic Al-Si alloy. J Alloys Compd 432:156-62.
- Zeren, M., 2007. The effect of heat-treatment on aluminum-based piston alloys. Mater. Des;28:2511-7.
- Zeytin, H. K., 1999. Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği, Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, Kocaeli.
- Zhang, G., Zhang, J., Li, B., Cai, W., 2011. Characterization of tensile fracture in heavily alloyed Al-Si piston alloy. Progress in natural science: materials international 21, 300-380.

ÖZGEÇMİŞ

1985'te Adıyaman'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adıyaman'daki farklı okullarda tamamladı. 2005 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2009 yılında mezun oldu. Ağustos 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kondisyon ve İmalat Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.