

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN OTOMATİK
ŞANZİMAN KUTUSU MALZEMESİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Makina Mühendisi Burak VARÜNER

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

İSTANBUL,2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. MAGNEZYUM ve ELDESİ	5
2.1 Magnezyumun Elde Edilmesi	5
3. MAGNEZYUM ve ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ, SINIFLANDIRILMASI.....	8
3.1 Magnezyum Alaşımlarının Standartlarla Gösterimi.....	9
3.2 Magnezyum ve Alaşımlarının Özellikleri.....	11
3.3 Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	14
3.3.1 Döküm Magnezyum Alaşımları	14
3.3.1.1 Mg-Al Döküm Alaşımları	14
3.3.1.2 Mg-Al-Zn Döküm Alaşımları	15
3.3.1.3 Mg-Zn-Zr Döküm Alaşımları.....	16
3.3.1.4 Mg-Zn-Nadir Toprak-Zr Döküm Alaşımları	16
3.3.1.5 Yüksek Sıcaklık Mg Döküm Alaşımları.....	16
3.3.2 Dövme Magnezyum Alaşımları	17
3.4 Mg ve Magnezyum Alaşımlarının Korozyonu ve Korozyon Önleme Yöntemleri	19
3.4.1 Korozyon Önleme Yöntemleri	20
3.4.1.1 Keronite Prosesi-PEO	21
3.4.1.2 Magnezyumun Akımsız Yöntemlerle Kaplanması	22
4. MAGNEZYUM ve ALAŞIMLARININ ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ ...	24
4.1 Magnezyum ve Alaşımlarının Döküm Yöntemleri ile Şekillendirilmesi	24
4.2 Magnezyum ve Alaşımlarının Talaşlı Şekillendirilmesi.....	26
4.3 Magnezyum ve Alaşımlarının Plastik Şekillendirilmesi	27
4.3 Magnezyum ve Alaşımlarının Birleştirme Yöntemleri	32

5.	OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE MAGNEZYUM ve MAGNEZYUM ALAŞIMLARI	36
5.1	Magnezyumun Otomotiv Sektöründeki Önemi	36
5.2	Magnezyumdan ve Alaşımından Üretilmiş Otomobil Parçaları	39
5.2.1	Magnezyumun Motor ve Transmisyon Parçalarında Kullanımı	41
5.2.2	Magnezyumun Gövde Elemanlarında Kullanımı	43
5.2.3	Magnezyumun Şasi Parçalarında Kullanımı	47
6.	Mg ALAŞIMLARINDAN OTOMOTİV PARÇALARI ÜRETİMİNDE YENİ TEKNOLOJİLER	51
6.1	Yarı Katı Metal İşleme Yöntemleri	51
6.1.1	Thixo Döküm	52
6.1.2	Thixo Kalıplama	53
6.1.3	Rheo Döküm	56
6.2	Sıkıştırma Döküm	57
6.3	Vakumlu Döküm	59
7.	TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN OTOMATİK ŞANZİMAN KUTUSU MALZEMESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ	61
7.1	Şanzıman Kutusu Tasarımı	61
7.1.1	Fonksiyonlar	62
7.1.2	Amaç	62
7.1.3	Kısıtlar	62
7.1.3.1	Gereksinimler	62
7.1.3.2	Özellikler	63
7.2	Kullanılabilecek Muhtemel Malzemeler ve Malzeme Seçimi	63
7.3	Magnezyum Alaşımı Seçimi	65
7.4	Şanzıman Kutusunun Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi	65
7.4.1	Al-Si-Cu Alaşım Malzemeli Şanzıman Kutusu	66
7.4.1.1	Al-Si-Cu Alaşım Malzemeli Şanzıman Kutusu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi	67
7.4.1.2	Gerilme Analiz Sonuçları	68
7.4.2	Mg-Al-Si(AS31) Alaşım Malzemeli Şanzıman Kutusu	69
7.4.2.1	Mg-Al-Si(AS31) Alaşım Malzemeli Şanzıman Kutusu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi	69
7.4.2.2	Gerilme Analiz Sonuçları	69
7.5	Uygulanan Deneyler	70
7.5.1	Yorulma Deneyi	70
7.5.2	Korozyon Deneyi	73
7.5.3	Korozyon Sonrası Mikroyapı İncelemesi	76
7.6	Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	78
8.	SONUÇ	80
	KAYNAKLAR	82
	ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGE LİSTESİ

E	Elastisite Modülü
σ	Gerilme Dayanımı
ε	Uzama
$\alpha\zeta$	Darbe Dayanımı
Re	Reynold Sayısı
pH	Çözeltinin Asitlik veya Bazlık Derecesi

KISALTMA LİSTESİ

VW	Volkswagen
PEO	Plasma Electrolytic Oxidation (Plazma Elektolitik Oksidasyon)
MMC	Metal Matris Composit (Metal Matrisli Kompozit)
MRI	Magnesium Research Institute (Magnezyum Araştırma Enstitüsü)
ECAP	Equal Channel Angular Processing (Eş Kanallı Açılı Şekillendirme Yöntemi)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzemeler Birliği)
AMC	Australian Magnesium Corporation (Avusturya Magnezyum Şirketi)
SPH	Sıkı Paket Hekzagonal
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
HV	Hardness Vickers (Vickers Sertliği)
CNC	Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol)
DCiV	Double Cap in Van (Uzun Şasi-2.Sıra Camlı)
SEM	Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration (Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi)
O.IN.KE	Obfern Imnersaturieren Nach Kalomel Elektrode (Referans Doymuş Kalomel Elektrod)
AKB	Atomik Kütle Birimi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Deniz suyundan magnezyumun ekstraksiyonu 7
Şekil 3.1	Al-Mg Faz diyagramı..... 8
Şekil 3.2	Magnezyum alaşımlarının özgül dayanımları 11
Şekil 3.3	Yanlış uygulamalar ve korozyon önleyici uygun tasarımlar..... 21
Şekil 3.4.	Keronite (PEO) prosesi 22
Şekil 4.1	ECAP Yönteminin şematik görünümü 30
Şekil 4.2	ECAP Yönteminde kullanılan kalıp 30
Şekil 4.3	ECAP'ın uygulama prensibi..... 31
Şekil 4.4	Dört Kez kalıplanmış malzemenin tane yapısı..... 31
Şekil 4.5	Sürtünme-karıştırma kaynak yönteminin prensibi 33
Şekil 4.6	Sürtünme-karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş AZ31 magnezyum alaşımı levhalar..... 33
Şekil 4.7	Esas metal ve kaynak bölgesinde çentik darbe deneyi sonrası yüzey yapıları 34
Şekil 5.1	Araç ağırlığındaki azalmayla elde edilecek yakıt tasarrufu 37
Şekil 5.2	Magnezyumun çelik ve alüminyuma göre sağladığı ağırlık kazancı 41
Şekil 5.3	Motor bloğu..... 41
Şekil 5.4	Kesik halde Mg-Al kompozit motor bloğu 42
Şekil 5.5	Silindir kapağı 43
Şekil 5.6	Ara şanzıman..... 43
Şekil 5.7	Magnezyum koltuk iskeleti 44
Şekil 5.8	Direksiyon simidi 46
Şekil 5.9	Land Rover gösterge paneli 46
Şekil 5.10	Kapı içlerinde AM60 47
Şekil 5.11	Motor oturma kazığı 48
Şekil 5.12	Jant 48
Şekil 5.13	Travers 48
Şekil 5.14a	Motor braketi..... 49
Şekil 5.14b	Transmisyon parçası 49
Şekil 5.15	Radyatör desteği 50
Şekil 6.1	Türbülanslı ya da düzlemsel olmayan akışta gaz sıkışması 52
Şekil 6.2	Thixo döküm yöntemi..... 53
Şekil 6.3	Thixo kalıplama üretim döngüsü..... 54
Şekil 6.4	Yarı-katı metal işleme yöntemiyle üretilmiş otomobil parçaları..... 54
Şekil 6.5	Yarı-katı metal işlemeyle üretilmiş parçalar 55
Şekil 6.6	Yarı-katı metal işlemeyle üretilmiş magnezyum koltuk iskeleti..... 55
Şekil 6.7	Rheo döküm 56
Şekil 6.8	Rheo konteyner prosesi..... 57
Şekil 6.9	AM60 Motor tutma braketi 57
Şekil 6.10	Sıkıştırma döküm teknolojisi işlem adımları 58
Şekil 6.11	Sıkıştırma Dökümle Üretilmiş Otomobil Parçaları 59
Şekil 6.12	Vakum zamanlaması..... 60
Şekil 6.13	Vakumlu dökümle üretilmiş parçalar 60
Şekil 7.1	Ticari aracın gelen görünüşü 61
Şekil 7.2	Dayanım-yoğunluk diyagramı 64
Şekil 7.3	Mevcut şanzıman kutusu (Al-Si-Cu)-Önden görünüş 66
Şekil 7.4	Mevcut şanzıman kutusu(Al-Si-Cu)-Arkadan görünüş 66
Şekil 7.5	Şanzıman kutusunun genel ölçüleri..... 67
Şekil 7.6	Mevcut şanzıman kutusunun modeli (mesh yapısı) 68

Şekil 7.7	Mevcut şanzıman kutusunun gerilme dağılımı	68
Şekil 7.8	AS31 Magnezyum alaşım malzemeli şanzıman kutusunun gerilme dağılımı	69
Şekil 7.9	Dairesel kesitli çekme numunesi	70
Şekil 7.10	Çekme deney cihazı	71
Şekil 7.11	Yaşlandırma sonucunda civata yük tutma kaybı yüzdeleri.....	72
Şekil 7.12	Test kabini.....	73
Şekil 7.13	AS31 HP'den imal edilmiş otomatik şanzıman kutusu kesiti korozyon testi sonrası görünümü	74
Şekil 7.14	A380'den imal edilmiş mevcut otomatik şanzıman kutusu kesiti korozyon testi sonrası görünümü.....	74
Şekil 7.15	AJ 52 Esaslı silindir kafası.....	75
Şekil 7.16	Emme manifoldu	75
Şekil 7.17	MRI 153 Plaka.....	75
Şekil 7.18	A380 Al Alaşımından imal şanzıman kutusunun korozyon sonrası mikroyapısı .	77
Şekil 7.19	AS31 Mg Alaşımından imal edilmiş şanzıman kutusunun korozyon sonrası mikroyapısı.....	77

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1	Magnezyum üretiminde kapasite artırımı planlanan yerler..... 2
Çizelge 2.1	Dünya magnezyum üretiminin yıllara göre değişimi..... 6
Çizelge 3.1	Magnezyuma ilave edilen bazı elementlerin etkileri 9
Çizelge 3.2	MRI -153 Yeni alaşımının kimyasal bileşimi..... 10
Çizelge 3.3	Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması..... 12
Çizelge 3.4	Bazı metal malzemelerin özgül sönümlenme kapasiteleri (%)..... 13
Çizelge 3.5	Mg-Al ve Mg-Al-Zn Alaşımaları için uygulamalar 15
Çizelge 3.6	Mg-Zn-Zr ve Mg-Zn-Nadir top-Zr alaşımalarının kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları..... 16
Çizelge 3.7	Yüksek sıcaklık magnezyum döküm alaşımaları. 16
Çizelge 3.8	Dövme magnezyum alaşımalarının kimyasal bileşimleri 17
Çizelge 3.9	%3-6 NaCl İçeren çözeltide farklı metallerin korozyon potansiyeli..... 19
Çizelge 4.1	Magnezyum alaşımaları ile döküm yöntemlerinin mukayesesi 26
Çizelge 5.1	AZ91 Mg alaşımı ile A380 Al alaşımının akma dayanımı,uzama ve darbe dayanımı yönünden kıyaslanması 38
Çizelge 5.2	İşlenebilirlik açısından bazı metallerin kıyaslanması 39
Çizelge 5.3	Çok kullanılan bazı Mg alaşımalarının özellikleri 43
Çizelge 5.4	Otomobil parçaları, alaşım çeşitleri, üretim yöntemleri ve ağırlıkları 44
Çizelge 5.5	Otomotiv endüstrisinde çok kullanılan bazı magnezyum alaşımalarının mekanik özellikleri 45
Çizelge 5.5	Yeni alaşımalar 49
Çizelge 5.7	Magnezyum alaşımalarından üretilmiş çeşitli parçalar..... 50
Çizelge 7.1	Şanzıman kutusu fonksiyonu 62
Çizelge 7.2	Şanzıman kutusu yapımında kullanılması muhtemel malzemelerin karşılaştırılması 64
Çizelge 7.3	Magnezyum Alaşımalarının Özellikleri..... 65
Çizelge 7.4	Magnezyum Alaşımaları 65
Çizelge 7.5	Yorulma testi sonuçları 71
Çizelge 7.6	Magnezyum alaşımalarının teknik özelliklerinin karşılaştırılması..... 72
Çizelge 7.7	A380 ve AS31 Alaşımalarının kimyasal bileşimleri 73
Çizelge 7.8	Magnezyum alaşımalarının korozyon performansı 76
Çizelge 7.9	Şanzıman kutusu malzemelerinin karşılaştırılması..... 78

ÖNSÖZ

Otomotiv endüstrisinde yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla yıllardan beri çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Otomobillerde yakıt tüketiminin % 60' ı otomobil ağırlığından kaynaklandığından ağırlığın azaltılması doğrudan yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Magnezyum, otomotiv endüstrisinde kullanılacak malzemeler arasında plastiklerle karşılaştırıldığında daha rijit ve daha çok geri dönüşümü mümkün, alüminyum ve çelik ile karşılaştırıldığında çok daha hafif ve yeterli dayanıma sahip bir malzeme olarak öne çıkmaktadır.

Magnezyum alaşımlarının, hafifliklerinin yanısıra, iyileştirilmiş korozyon davranışları, yüksek toklukları, iyi dökülebilirlik ve büyük ,ama ince kesitli parçaların dökülebilmesine imkan tanınması, otomotiv endüstrisindeki kullanım alanını genişletmiştir.

Yüksek lisans çalışmamda, her türlü olanağı sağlayarak beni her zaman destekleyen, değerli bilgilerinizi benimle paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam, Sayın Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmam sırasında benimle bilgilerinizi paylaşan ve yol gösteren Ford Otosan Araç Mühendisliği Müdürü Sayın Barış ŞENYENER'e, Araç Mühendisliği Müdür Yardımcısı Sayın Tekin SAYAN'a ,Ürün Geliştirme Teknik Koordinatörü Sayın Doç. Dr. Ali ÇINAR'a, Kuzey Amerika programında her türlü teknik desteği sağlayan Sayın Todd HAUGH ve Sayın David WARM'a ve tezimi yazarken bana eşsiz destek olan sevgili arkadaşım Sayın Türkan EDEGE'ye ve tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Benden maddi manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN OTOMATİK ŞANZİMAN KUTUSU MALZEMESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Burak VARÜNER
Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Günümüz dünyasında artık geleceğin teknolojik hedefleri çok önceden belirlenmekte, bu yönde uzun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, magnezyum ve alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak otomotiv endüstrisindeki uygulamaları araştırılmış, otomotiv dünyasındaki yeni yönelimlere bağlı olarak ülkemiz sanayisinin bu yeni gelişmeleri nasıl izlemesi gerektiği anlatılmıştır. Çevresel gereklilikler ve dünya enerji kaynaklarını koruma adına, otomotivde yakıt tüketiminin azaltılması yönünde kısıtlamalar getirilmiş ve hafif metallerin kullanımı artık bir slogan haline gelmiştir. Tüm dünya üreticileri için geçerli bu durum karşısında; uygulamalarda ve teknolojiye varılan noktalar irdelenerek, gelecekte rekabet içerisinde yer alabilmek için nasıl bir yol izlenmesi gerektiği konusunda bir fikir verilmeye çalışılmıştır.

Magnezyum, tüm konstrüksiyon metalleri içerisinde en hafif olanı olup, bir plastik kadar hafif aynı zamanda bir metal kadar da mukavemettir. Yüksek özgül dayanımı ve özgül rijitliği, iyi işlenebilirliği, dökülebilirliği ve bilinen yöntemlerle kaynaklanabilirliği bu malzemeyi otomotiv için cazip hale getirmektedir. Deniz suyunda % 0,13 oranında bulunması da elde edilebilirliği açısından artı bir durumdur. Magnezyum, dünyada özellikle otomobil endüstrisindeki potansiyeli ile dikkat çekmekte ve magnezyum üretiminde büyük kapasite artışları yaşanmaktadır. Büyük otomobil üreticileri magnezyum üretimi için yeni anlaşmalar ve yatırımlar yapmaktadır.

Çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan otomatik şanzıman kutusu malzemeleri incelenmiş, hafif ancak dayanımı yüksek malzemenin seçimi yapılmıştır. Ashby diyagramları, sonlu elemanlar analiz yöntemi korozyon testi ve yorulma dayanımı testleri dikkate alınarak, şanzıman kutusu için en uygun malzemenin AS31 magnezyum alaşımı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum, otomatik şanzıman kutusu, otomotiv endüstrisi.

MATERIAL IMPROVEMENT of AUTOMATIC TRANSMISSION HOUSING that USE in COMMERCIAL VEHICLES

Burak VARÜNER

Mechanical engineering, M.S. Thesis

In today's world, the technological targets of the future become obvious beforehand and long term studies are made on that way. In this study, applications of magnesium and its alloys in automotive industry as a design material are researched and the way of following the new developments in automotive world according to new trends are discussed. Because of environmental requirements and in the name of protecting the world energy resources, there are some restrictions in automotive industry about reducing down the fuel consumption and applications of light metals have become some kind of catchword. By explicating the ultimate applications and technological developments, it's tried to give an idea about being competitive in the future within all manufacturers in that situation.

Magnesium is the lightest of all design metals. It's light in weight just like a plastic material and also tough like a metal. It's high specific toughness and rigidity, good machinability, castability and weldability with known methods makes it attractive for automotive. The availability of magnesium in sea water at about % 0,13 percent is another positive side. Magnesium is attracting attention with its potential especially in automotive industry and there's increasing capacities for magnesium production. Huge automotive companies are making new agreements and investments for magnesium production.

Automatic transmission housing materials that use in automotive industry were studied, light but high strength material was selected in this study. The most appropriate material for transmission housing was defined as AS31 magnesium alloy by considering, ashby diagrams, finite element method, corrosion and wear strength tests.

Keywords: Magnesium, automatic transmission housing, automotive industry.

1. GİRİŞ

Otomotiv alanında yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında, taşıtlardan daha yüksek yakıt verimliliğinin elde edilmesi, enerji tüketiminin azaltılması ve hava kirliliğinin önlenmesi konularındaki çalışmalar önem kazanmaktadır. Dünya enerji kaynaklarının ve ekolojik dengenin korunması da dünya ülkelerinin gündemine girmiş olup, bunun için çok sistematik çalışmalar yapılmaktadır.

Yakıt tüketimini azaltmak için, otomotiv endüstrisinin mutlaka hafif, fakat aynı zamanda dayanımlı ve beklenen özellikleri güvenle karşılayan malzemeler kullanması zorunludur. Bu kapsamda özellikle otomobil üretiminde ağırlık azalması hedeflenmektedir. Çevreyi kirlilemeden korumanın en etkili yollarından biri kara ve demiryolu taşımacılığında CO₂ emisyonunun azaltılmasıdır. Avrupa ve Kuzey Amerika' da otomobil üreticileri aldıkları bir kararla 2010 yılı itibariyle yakıt tüketimini %25 azaltmayı öngörmüşlerdir. Böylece CO₂ emisyonunda da %30' luk bir azalma elde edileceği beklenmektedir.

Bir malzemenin konstrüksiyon malzemesi olarak kabul edilebilmesi için:

- Uygun tasarım özelliklerine sahip olması
- Üretilbilir olması
- Rekabetçi bir maliyetinin olması gereklidir (Kaya vd., 2002).

Bu özelliklere sahip, bir plastik kadar hafif, fakat bir metal kadar da dayanımlı olan malzeme magnezyumdur. Tüm konstrüksiyon metal malzemeleri içinde en hafif olan metal magnezyumdur.

Magnezyum dünyada özellikle otomobil endüstrisindeki potansiyeli ile dikkat çekmekte ve magnezyum üretiminde büyük kapasite artışları yaşanmaktadır. Büyük otomobil üreticileri magnezyum üretimi için yeni anlaşmalar ve yatırımlar yapmaktadır. Magnezyum, üretim sürecindeki problemleri çözüldüğü ve güvenilir bir malzeme olduğu takdirde geleceğin yüksek teknoloji malzemesi olarak konstrüksiyonlarda yerini alacaktır (Kandemir vd., 2003).

Gümüş beyazı rengindeki magnezyum metal alaşımları otomotivdeki en parlak yıllarını popüler 'VW Beetle' a borçludur. Türkçe'deki takma adıyla 'VW kaplumbağa', arkadan motorlu olduğu için arka aksa gereksiz yük bindirmemek amacı ile hafif magnezyum alaşımlarının kullanımını gerekli kılmıştı. 1980' lerin başlarına kadar 19 milyon dan fazla Beetle' da yaklaşık 480 bin ton magnezyum kullanılmıştır. Beetle'da sadece transmisyon gövdesi ve karterlerde kullanılan magnezyum parçalar 17 kg gelmekteyken, aynı parçaların

dökme demirden yapılması haline göre 50 kg.'lık bir ağırlık avantajı sağlanmıştır. Öte yandan 1976' ya kadar magnezyum fiyatları iki katına çıkarken rakibi alüminyumun fiyatında değişiklik olmamıştır. Bu yüzden, VW Beetle' daki uygulamaları her ne kadar devam etse de, magnezyum alaşımları bir süre için popülerliğini kaybetmiş ve yeniden ilgi odağı olması 1990' lı yılları bulmuştur (Kaya vd., 2002).

Magnezyum düşük yoğunluğu,yüksek özgül ısı kapasitesi ve yüksek ses absorpsiyonu sayesinde birçok sektörde kullanılabilir bir metaldir. Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe hafifliği dolayısıyla tercih edilir. Ancak bu koşulların sağlanabilmesi de kolay olmamış, alüminyuma göre daha maliyetli olmasından dolayı magnezyumun kabul görmesi uzun zaman almıştır.Düşen maliyetler neticesinde magnezyum da endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır.

Magnezyum , alüminyum ve demirden sonra en çok bulunan elementtir. Tuzlu su tortuları, tuz gölleri ve okyanusları baz alıp düşündüğümüzde ise magnezyum büyük bir farkla en çok bulunan metal haline gelir. 1 mil küp deniz suyunda 6 milyon ton magnezyum vardır ve Amerikan Araştırma Enstitülerine göre ise dünya üzerinde 330 milyon mil küp deniz suyu bulunmaktadır.

Magnezyum bol miktarda bulunan bir metal olmasına karşın az miktarlarda üretilmektedir. Yıllık magnezyum üretimi 550.000 metrik ton olmasına karşın, alüminyum üretimi 22.000.000 metrik tondur.

Magnezyum,cevher olarak dolomit ve magnezit adıyla sırasıyla $MgCO_3 \cdot CaCO_3$, $MgCO_3$ formunda mevcutken, deniz suyunda, tuzlu yer altı sularında ve yer üstü tuz çökeltilerinde klorür bileşiği şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan sadece deniz suyu bile aslında tükenmez bir kaynak olarak düşünülebilir. Deniz suyundaki % 0,13 oranında magnezyum bugünkü kullanım miktarları üzerinden hesaplandığında, sadece İsrail' deki Ölü Deniz' de yaklaşık 20.000 yıl dünyaya yetecek kadar magnezyum vardır.

1980' li yıllarda tüm dünyada magnezyum üretimi 200 bin ton iken 2005' de 500 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Gelecek döneme ait kısa vadeli kapasite artırımı çalışmaları ise bu üretim miktarını 2 katına çıkaracak yöndedir (Çizelge 1.1) (Kaya vd., 2002).

Çizelge 1.1 Magnezyum üretiminde kapasite artırımı planlanan yerler (Kaya vd., 2002)

Yer	Kapasite(ton/yıl)
Ölü Deniz İşletmeleri, İsrail	10000
Hydro Magnesium, İsveç	43000
İzlanda Magnezyum	50000

Noranda / Magnolia	58000
Avustralya Magnezyum	90000
Solikamsk, Rusya	20000
Kongo Cumhuriyeti	100000
<u>Fizibilite Çalışmaları Devam Eden Projeler</u>	
Minroc Mines, Kanada	50000
Gossan Resources, Kanada	15000
Antheus Project, Hollanda	50000
Solikamsk, Rusya	15000
Pibarra Magnesium, Batı Avustralya	50000
SAMAG, Güney Avustralya	52500
Golden Triangle Resources, Tazmania	80000
Golden Triangle Resources 2, Tazmania	80000
Mt. Grace Resources, Avustralya	50000
Crest, Tazmania	95000
<u>TOPLAM</u>	<u>923500</u>

Yıllık magnezyum üretimiyle ilgili rakamlarda farklı kaynaklara göre çelişkiler bulunmaktadır. Yıllık 500.000 tonluk rakam farklı kaynaklarca doğrulanmış bir değerdir. Iskartaların geri dönüşümünün hesaba katılmadığı belirtilen raporlara göre yıllık 900.000 ton seviyelerinde üretim vardır. Aynı verilerde Çin' in sadece 2004 yılında 438.000 ton üretim yaptığı ve bunun 250.000 tonunu ihraç ettiği belirtilmektedir.

Büyük otomotiv şirketlerinin yakın zamanda yapmış olduğu anlaşmaları incelediğinde Volkswagen' in İsrailde yaptığı yaklaşık 200 milyon \$ lık yatırım hemen göze çarpmaktadır. Volkswagen, Ölü Deniz İşletmeleriyle magnezyum üretimi için böyle bir anlaşma imzalamıştır. Bunun dışında Toyota' nın yeni Noranda projesi için Kanada' da yapmış olduğu yatırım vardır. Yine magnezyum üretimi için General Motors şirketi ve Ford Motor Company de Norsk Hydro ve Solikamsk Magnezyum ile uzun vadeli bir tedarik anlaşması imzalamıştır (Webb, 2005).

Magnezyum alaşımları hafif alaşım olarak rakibi olan alüminyum alaşımlarına kıyasla , hafiflikleri, yüksek özgül dayanım ve rijitlikleri, iyi sönümlenme, dökülebilme ve işlenebilme karakteristikleri sayesinde konstrüksiyon malzemesi olarak kendilerine farklı kullanım alanları bulabilmektedir. Magnezyum alaşımlarının korozyon, sürünme ve yorulma dirençleri ise genel olarak geliştirilmesi gereken özelliklerdir. Bunlar içerisinde yorulma direnci üzerinde daha fazla çalışılması gereken karakteristik olarak dururken, korozyon ve sürünme özellikleri

açısından başarılı bazı alaşımlar geliştirilmiş olup, otomotivde de kullanılmaktadır (Avedesian vd. 1999).

Çalışmada,otomobil aktarma organlarının iki önemli parçasından biri olan şanzıman kutusu malzemesi yapılan testler sonucunda AS31 magnezyum alaşımı olarak seçilmiştir. Böylece otomobil ağırlığından kaynaklanan yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenmektedir.Seçilen magnezyum alaşımından imal edilen şanzıman kutusu Türkiye’de üretim yapan bir otomobil firmasında ilk kez kullanılacaktır.

2. MAGNEZYUM ve ELDESİ

Günümüzde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde en düşük yoğunluğa sahip olan malzeme magnezyumdur. Magnezyumun 1.74 gr/cm^3 ' lük yoğunluğu, alüminyuma göre %33, demir ve çeliğe göre %75 daha düşüktür. Düşük yoğunluğundan kaynaklanan düşük eylemsizliği, hızlı hareket eden parçalar için bir avantajdır. Hafiflik aynı zamanda, imalat sırasında parçanın daha kolay taşınması ve bitmiş ürünün daha ucuza sevk edilmesi demektir. Magnezyum, yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzetilirken, bir metalin mekanik özelliklerine de sahiptir (Zeytin, 1999).

2.1 Magnezyumun Elde Edilmesi

Yer kabuğunda bulunan minerallerin % 2.7 kadarı magnezyum içerir. Ekonomik olarak kazanılabilir magnezyum minerali 11 ülkede 38 önemli yatakta 380 milyon ton olarak çıkarılmaktadır . Magnezyumun kazanıldığı,deniz suyu,mineral kayaçlar ve asbest olmak üzere üç temel kaynak bulunmaktadır.

Dünya üzerinde cevher olarak 2.528 milyar ton magnezit (MgCO_3) rezervi olduğu, potansiyel rezerv ile birlikte toplam 3.395 milyar ton,ülkemizde ise yaklaşık 160 milyon ton magnezit bulunduğu rapor edilmektedir.Türkiye'de magnezit yataklarının önemli bir bölümü Konya-Kütahya-Eskişehir üçgeninde bulunmakta olup, geri kalanı Erzincan, Çankırı ve diğer illerde dir.

Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) rezervi olarak da dünyada çok büyük yatakların olduğu bildirilmektedir. Türkiye ise dolomit rezervi bakımından sınırsız imkanlara sahiptir. Üçüncü önemli magnezyum hammaddesi ise asbest diğer bir deyişle magnezyum hidro silikattır. Dünya asbest rezervi 145 milyon ton olarak verilmektedir. Bu rezervin %60' dan fazlası Kanada ve Rusya' da bulunmaktadır. Türkiye asbest rezervi bakımından oldukça zengin bir ülke olup, ülkenin çeşitli bölgelerinde büyük asbest yatakları vardır. Deniz suyunda ise % 0.127 magnezyum metali bulunur. Dünya üzerindeki toplam deniz suyu miktarı 1.44×10^{18} ton olduğuna göre, deniz suyunda toplam 1.83×10^{15} ton magnezyum mevcuttur. Dünyadaki en büyük magnezyum yatakları şu şekilde dağılmıştır:

- Kuzey Amerika: ABD, Kanada
- Güney Amerika: Brezilya
- Avrupa: Norveç, Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Yunanistan, Türkiye, Rusya, Sırbistan

- Asya: Çin, Hindistan, K.Kore
- Okyanusya: Avustralya
- Afrika

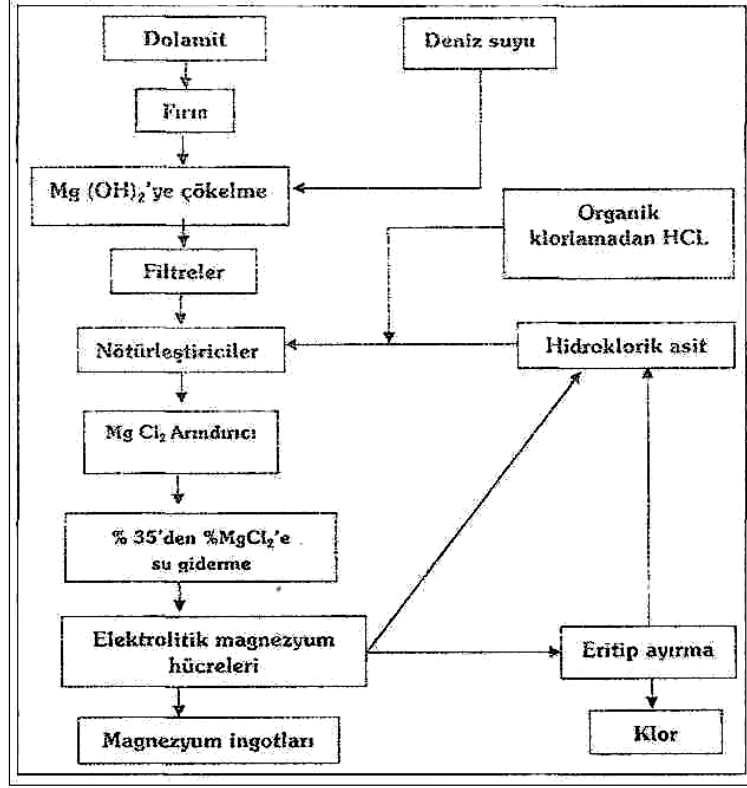
Tüm dünyada magnezyum üretimi 1986'da 322000 ton seviyesinde iken, günümüzde dünyadaki hızlı gelişmelere paralel olarak magnezyum üretimindeki artış hedeflerinin anormal boyutlara ulaştığı görülmektedir. 1998 yılında bir araştırma firması olan Roskill'in yayınladığı raporlar 2005 yılında 895.000 ton/yıl gibi rakamlardan söz etmekteydi (Zeytin, 1999).

Çizelge 2.1 Dünya magnezyum üretiminin yıllara göre değişimi (Zeytin, 1999)

YILLAR	ÜRETİM (TON)	YILLAR	ÜRETİM (TON)
1970	169.000	1988	334.000
1972	191.000	1990	360.000
1974	189.000	1995	294.000
1976	183.000	1997	333.000
1978	209.000	2000	436.000
1980	236.000	2003	481.000
1982	260.000	2005	550.000
1986	322.000	Roskill' in raporuna göre	
		1998	480.000
		2005	895.000

Magnezyumun eldesi, ergimiş magnezyum klorürün ($MgCl_2$) indirgenme prensibine göre elektrolizi, dolomitten kimyasal yollarla kalsinasyon, çökeltme ve klorinasyon yöntemleri ile veya doğrudan tuzlu sulardan magnezyum oksidin termal redüksiyonu ile yapılır.

Görüldüğü gibi magnezyum pek çok ekstraktif işlemlerle üretilebilmektedir. Bunlardan en eski ve halen en çok kullanılan metot ise, magnezyum klorürü metal magnezyum ve klor gazına dönüştüren bir elektrokimyasal prosestir. Dow kimyasal şirketinin dolomitten ve deniz suyundan magnezyumun ekstraktifi amacıyla elektrokimyasal işlemi için bir şematik akış diyagramı Şekil 2.1' de verilmiştir. Bu proseste dolomit ve deniz suyunda magnezyum, çözünmeyen magnezyum hidroksit olarak $[Mg(OH)_2]$ çökertilir. Magnezyum klorür üretmek için hidroklorik asitle işlemlendirilir ve magnezyum klorür, magnezyum metali ve klor gazına dönüştürülmesinde kullanılan elektriğin bulunduğu elektrolitik hücrelere verilir (Erdoğan, 2001).



Şekil 2.1 Deniz suyundan magnezyumun ekstraksiyonu (Erdoğan, 2001)

Dünyada toplam üretimin %75'i elektroliz tesislerinde, geri kalan %25'i silikotermik yöntemlerle yapılmaktadır. Magnezyum klorür redüksiyonunda, metalik magnezyum ve klorür ürün olarak ortaya çıkar. Magnezyum döküm ingotları şeklinde katı halde, klorür ise gaz halinde bulunur.

Magnezyumun üretildiği başka bir metot ise magnezyum oksidin silisyum ile redüksiyonudur (ısılı indirgeme metodu). Bu proseste ferrosilisyum katı halde magnezyum oksitle reaksiyona girer ve yüksek sıcaklık, düşük basınç koşullarında magnezyum gaz hale geçer, reaktörün soğutucularında magnezyum kristalleri kondanse olurlar. Bu kristaller ergitilip, ingotlar halinde dökülür.

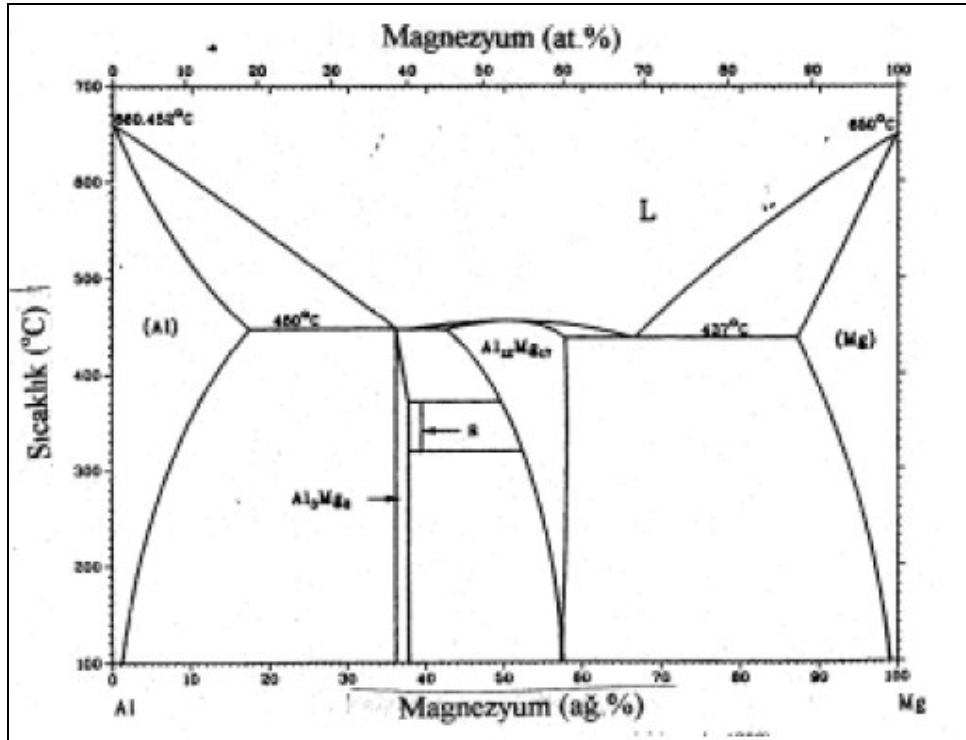
Magnezyum üretimi, düşük enerji maliyetinin olduğu ve/veya çok zengin yatakların bulunduğu bölgelerde yapılmaktadır. En büyük üretim bölgeleri İsrail, Avustralya, Norveç, Kanada, Çin ve Rusya' da bulunmaktadır. Bugün, Çin ve Rusya faktörünü göz önüne aldığımızda, değişik kaynaklara dayanarak yıllık 1 milyon tona yakın bir toplam üretimden bahsetmek mümkündür (Zeytin, 1999).

3. MAGNEZYUM ve ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ , SINIFLANDIRILMASI

Magnezyumun en önemli alaşım elemanları alüminyum, çinko, zirkonyum ve toprak alkaliler olarak sayılabilirler. Ama en geniş spektrum alüminyum ve çinko grubudur. Yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilen yeni magnezyum alaşımlarında nadir toprak metalleri kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de, magnezyumun alüminyum ile ikili faz diyagramı ve Çizelge 3.1' de magnezyuma ilave edilen bazı alaşım elementlerinin etkileri verilmiştir. (Zeytin, 1999)

Magnezyum alaşımları, $160-300 \text{ N/mm}^2$ çekme dayanımı, $80-190 \text{ N/mm}^2$ %0.2 akma dayanımı ve % 2-15 kopma uzamasına sahip alaşımlardır. Bu alaşımlar kara taşıtlarında, elektronik, bilgisayar ve spor gereçleri endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır. Geleneksel magnezyum alaşımları geçtiğimiz yüzyılda geliştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde, plastik ve fiberle takviye edilmiş kompozitlerde kullanılan alaşımları bulunmaktadır. Magnezyum ve alaşımlarının dayanımlarının artırılması alaşımlama, pekleşme, tane boyutu küçültülmesi ve çökeltme sertleşmesi ile sağlanır.

Magnezyum alaşımları elde edilebilirliği açısından da bir sıkıntı yaşanmamaktadır. Yerkabuğunun %2.7' si magnezyumdan oluştuğundan ve de özellikle deniz suyu % 0.13 oranında magnezyum bulunduğundan, elde edilebilirlik açısından bir problem yoktur.



Şekil 3.1 Al-Mg Faz diyagramı (Zeytin, 1999)

Çizelge 3.1 Magnezyuma ilave edilen bazı elementlerin etkileri (Zeytin, 1999)

Alaşım El.	Ergitme ve Döküm Özellikleri	Mekanik ve Teknolojik Özellikler	Korozyon Özelliklerine Etkisi
Ag		Yüksek sıcaklıkta çekme ve sürünme dayanımlarını iyileştirir.	Zararlıdır
Al	Dökülebilirliği iyileştirir	Katı ergiyik sertleştiricidir	Az etkili
Ca	Etkili tane incelticidir, ergimiş metalin oksidasyonunu önler.	Sürünme özelliklerini iyileştirir.	Zararlıdır
Fe	Magnezyum çelik kalıplarla çok yavaş reaksiyona girer.		Zararlıdır
Si	Dökülebilirliği artırır.	Sürünme özelliklerini iyileştirir.	Zararlıdır
Th	Mikroporoziteyi bastırır.	Yüksek sıcaklıkta çekme ve sürünme dayanımlarını iyileştirir.	
Zn	Ergimiş metalin akışkanlığını artırır.	Çökeltme sertleşmesi ortam sıcaklığında dayanımı artırır.	Az etkili
Zr	Etkili tane incelticidir.	Ortam sıcaklığında çekme iyileştiricidir.	Az etkili
Toprak Alkali	Dökülebilirliği iyileştirir	Yüksek sıcaklıklarda çökeltme sertleşmesini iyileştirir.	İyileştirir.

3.1 Magnezyum Alaşımlarının Standartlarla Gösterimi

Magnezyum alaşımları genellikle iki büyük harfi takip eden iki veya üç numara ile tanımlanır. Harfler, alaşımda iki ana alaşım elementi ile ilgilidir. İlk harf en yüksek konsantrasyonu, ikinci harf ikinci yüksek konsantrasyonu gösterir. Harfleri takip eden ilk numara, ilk harf elementinin ağırlıkça yüzdesi (yalnız iki numara varsa) ve ikinci numara da ikinci harf elementinin ağırlıkça yüzdesidir. A,B gibi harfler numaraları takip ederse bu, genellikle impurite(katışıklık) seviyelerinde alaşım için A, B gibi bir modifikasyonu gösterir.

- Örn:AZ91D
- Bu tanım magnezyum alaşımının nominal %9 alüminyum ve %1 çinko içerdiğini göstermektedir ve alaşım D modifikasyonudur (Erdoğan, 2001)

Magnezyum alaşımları ;

- AE Serisi : Magnezyum , alüminyum ve nadir toprak alaşımları-Örn:AE42
- AJ Serisi : Magnezyum , alüminyum ve stronsiyum alaşımları-Örn:AJ52 HP-(Yüksek Basınç)

- AM Serisi : Magnezyum , alüminyum ve mangan alaşımları-Örn:AM60B
- AS Serisi : Magnezyum , alüminyum ve silisyum alaşımları-Örn:AS31
- AZ Serisi : Magnezyum , alüminyum ve çinko alaşımları-Örn:AZ91D
- EQ Serisi : Magnezyum , nadir toprak* , gümüş ve bakır alaşımları-Örn:EQ21
- EZ Serisi : Magnezyum , nadir toprak ve çinko alaşımları-Örn:EZ33A
- HM Serisi : Magnezyum , toryum ve mangan alaşımları-Örn:HM21A
- HZ Serisi : Magnezyum , toryum ve zirkonyum alaşımları-Örn:HZ32A
- QE Serisi : Magnezyum , gümüş ve nadir toprak alaşımları-Örn:QE22A
- QH Serisi : Magnezyum , gümüş ve toryum alaşımları-Örn:QH21
- WE Serisi : Magnezyum , itriyum ve nadir toprak alaşımları-Örn:WE43
- ZC Serisi : Magnezyum , çinko ve bakır alaşımları-Örn:ZC71
- ZK Serisi : Magnezyum , çinko ve zirkonyum alaşımları-Örn:ZK11
- ZT Serisi : Magnezyum , çinko ve toryum alaşımları-Örn:ZT32

Bu standart gösterimlerden ayrı olarak Magnezyum Araştırma Enstitüsünün (MRI) geliştirmiş olduğu yeni alaşımlara ait gösterimler de mevcuttur.

Magnezyum Araştırma Enstitüsü yeni alaşımları 'MRI-1, MRI-2, MRI-3,.....MRI-230D' şeklinde tanımlamıştır. Her geçen gün keşfedilen yeni alaşım sayısı artmaktadır. Bu yeni alaşımlar temel alaşımların inovasyonu ile geliştirilmiştir. Örneğin, MRI-1'in temel alaşımı AM60 iken, MRI-2'nin temel alaşımı AM70'tir. Otomotiv endüstrisinde çok kullanılan MRI-153 alaşımının temel alaşımı ise AZ91'dir. MRI-153 magnezyum alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 3.2'de verilmiştir (Rausch ve Ziese, 2003).

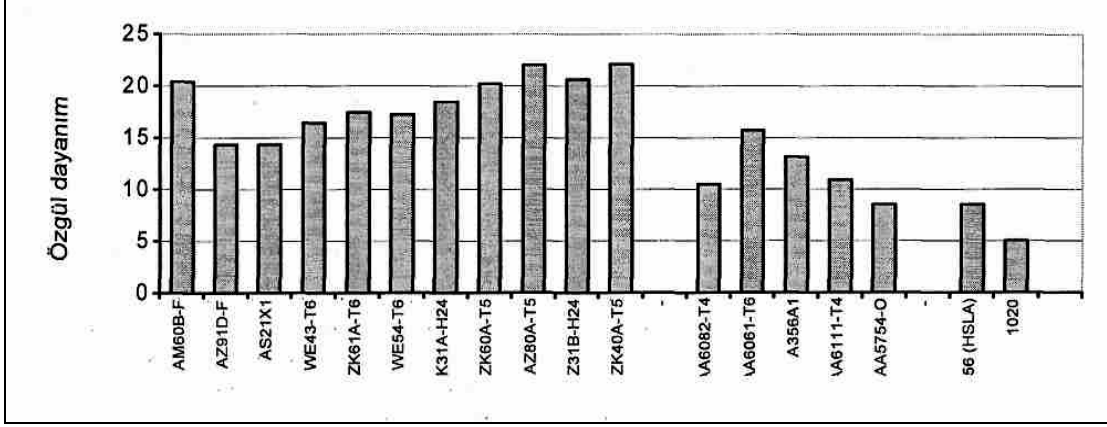
Çizelge 3.2 MRI -153 Yeni alaşımının kimyasal bileşimi(Rausch ve Ziese, 2003)

Alaşım	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Fe	Diğerleri
MRI-153	4.5-10	0.15-1.0	--	--	--	--	0.05-1.0 TRE, 0.01-0.2 Sr, 0.5 Ca

* Atom numarası 57 olan lantan ile atom numarası 71 olan lutesyum arasında yer alan lantanidler nadir toprak elementleri olarak isimlendirilirler.

3.2 Magnezyum ve Alaşımlarının Özellikleri

Malzemelerin özgül dayanım ve özgül rijitlik değerleri hafiflik istenen konstrüksiyonlar için önemlidir. Bir malzemenin özgül dayanım değeri ne kadar yüksek olursa, aynı zorlamayı karşılamada daha hafif olur. Magnezyum alaşımlarının dayanımları, alüminyum alaşımları kadar yüksek olmamakla birlikte özgül dayanım oranları daha yüksek olabilmektedir (Şekil 3.2).



Eğme ve burma zorlamasında özgül dayanım ($\frac{GPAxcm^3}{g}$) değerleri

Şekil 3.2 Magnezyum alaşımlarının özgül dayanımları (Kandemir vd., 2003)

Şekil 3.2 incelendiğinde, yapı malzemesi olarak kullanılan magnezyum alaşımlarının özgül dayanım ve özgül rijitlik değerlerinin alüminyum alaşımlarından yüksek, çeliğe göre ise 2 kat civarında olduğu görülür. Bunun sonucu olarak da magnezyum ve alaşımları, hafifliğin önemli olduğu hava ve kara taşıtlarında ve el aletleri gibi makine ve cihazlarda kullanılmaktadır.

Bugün düşük ağırlık kadar önemli olan geri dönüşebilirlik dünya hammadde ve enerji kaynaklarının korunması için malzeme seçiminde etken bir faktör haline gelmiştir. Avrupa komisyonu Avrupa otomobillerde kullanılacak malzemelerin 2015 yılına kadar % 95 geri dönüşebilir malzemelerden üretilmesi hedefini şart koşmuştur. Magnezyum geri dönüşüm prosesleri mevcut, aynı zamanda hurda değerine sahip bir malzemedir. Dökümden arta kalan parçalar, pres ıskartaları, ömrünü tamamlamış magnezyum parçalar ya da magnezyum talaşları aynı geri dönüşüm prosesi içinde sorunsuz olarak değerlendirilebilir. Farklı alaşım türlerinin bir arada ergitilmesi konusunda da bir problem yoktur. Yalnızca ömrünü tamamlayan parçalar üzerindeki civata, somun gibi elamanlar, ağırlıklarından dolayı bir taşıma problemine neden olabilirler. Demirin, ergiyik magnezyum içindeki düşük

çözünübilirliğinden dolayı bu elemanların herhangi bir kirlenmeye yol açması olası değildir (Avedesian vd., 1999).

Ayrıca magnezyum, dökülebilirlik ve talaşlı işlenebilirlik bakımından da alüminyuma göre önemli avantajlar sunmaktadır.

- Akıcılık;

Magnezyum akıcılığından dolayı çok kolay dökülebilir ve alüminyuma göre daha dar toleransları barındırabilir. Dökümden sonra çoğu zaman talaş kaldırmaya gerek kalmaz. Bu sayede ek işleme adımlarına olan gereksinim ortadan kaldırılarak, parça maliyeti düşürülebilir. Magnezyumun mükemmel işlenebilirliği yüksek kesme hızlarını ve büyük ilerlemeleri mümkün kılar. Alüminyuma kıyasla yaklaşık 4 kat yüksek işleme hızlarıyla çalışmak mümkündür. Bu sayede aynı iş, alüminyuma göre daha az maliyetle yapılabilir. Düşük kesme basınçları, yüksek ısı iletkenlik ve hızlı ısı dağılımı, alüminyuma göre 4-5 kat daha iyi bir takım ömrü sağlar. Pratikte verimliliği arttırabilmek için mümkün olduğunca yüksek hızlarda çalışması arzu edilir. Ancak yüksek hızlar kullanıldığında, özellikle ince talaşların tutuşma tehlikesi vardır.

0.025 mm' nin altındaki ilerlemeler ya da iş parçasına sürtünen kesici takımlar, talaşları tutuşturmaya yetecek miktarda ısı açığa çıkarabilirler. Kesici takım başına dakikada 15-19L/dk kesme sıvısı kullanımı oldukça iyi bir soğutma sağlar. İş parçası ya da tezgahın özelliğinden dolayı kesme sıvısının kullanımının uygun olmadığı durumlarda , kesme hızı 150m/dk değerinin altında olmalıdır (Avedesian vd., 1999).

Otomotiv endüstrisinde kullanılacak malzemeler arasında plastiklerle karşılaştırıldığında daha katı ve daha çok geri dönüşümü mümkün, alüminyum ve çelik ile karşılaştırıldığında çok daha hafif ve yeterli dayanıma sahip magnezyum metalinin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.3' de alüminyum ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.3 Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması (Zeytin, 1999)

Özellik(20 °C)	Magnezyum	Alüminyum
Atom numarası	12	13
Atom ağırlığı (akb)	24.3	26.98
Kafes tipi	SPH	YMK
Ergime noktası (°C)	650	659
Kaynama noktası (°C)	1103±8	2447

Yoğunluk (gr/cm ³)	1.738	2.699
Elektrik iletkenliği (m/ΩK)	22.2	37.6
Isıl iletkenlik (W/m.K)	154	222
Özgül ısı kapasitesi (J/kg.K)	1047	930
Ort. ısıl gen. kats. (μm/(m. °C))	(0-100°C)26	(0-100°C) 23.86
Elastisite modülü 10 ³ N/mm ²	44.5	69.6

- Sönümlenme Kapasitesi;

Sönümlenme kapasitesi, bir metalin titreşim enerjisini yutma ve metalsel yapılarda iletilen titreşimleri tutma özelliğini ifade eder. Malzeme yapısında dislokasyonların hareket etmesiyle, dislokasyonların birbirleriyle olan etkileşimleri ve dislokasyon yapısının karmaşıklığı artar. Bu da sönüm özelliğini iyileştirir. Tüm malzemeler için sönümlenme özelliği, bir noktada max. Değere ulaştıktan sonra azalmaktadır. (Xiuqing vd., 2006).

Magnezyum ve alaşımları, aynı ürün formundaki (döküm, dövme) diğer metallerle karşılaştırıldığında mükemmel sönümlenme kapasitesine sahiptir ve birçok uygulama için titreşim ve gürültüyü azaltabilirler. Kum döküm ürünler en yüksek sönümlenme kapasitesine sahipken, dövme ürünlerin sönümlenme kapasitesi düşüktür. Yüksek sönümlenme kapasitesi, parçada kalıcı uzamalara neden olan titreşimleri azaltır. Bununla beraber magnezyumun düşük yoğunluğu, daha az titreşen ve daha sessiz çalışan kalın parçaların da üretimini mümkün kılar (Avedesian vd., 1999)

Bazı metal malzemelerin yüzde olarak sönümlenme kapasiteleri diğer malzemelerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.4' de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Bazı metal malzemelerin özgül sönümlenme kapasiteleri (%) (Xiuqing vd., 2006)

MALZEME	UYGULANAN GERİLME DEĞERİ (MPa)				
	7MPa	14 MPa	20 MPa	25 MPa	35 MPa
Magnezyum Al.					
AM60A.B-F	5.33	13.33	24	35	52
AS21 A-F	16	33.33	48	53.33	60
AZ31B-F	1.04	1.57	2.04	2.38	2.72
AZ91A.B.D-F	2.67	5.33	12	16	29.33
HK31-T6	0.37	0.66	1.12	-	-
Alüminyum Al.					
355-T6	-	0.51	0.67	1	-
356-T6	0.3	0.48	0.62	0.82	1.2
Dökme Demir	-	5	12.2	14.2	16.5

- Sürünme Dayanımı;

Magnezyum alaşımları sürünme direnci açısından incelendiğinde, yüksek sıcaklıklarda akma ve çekme dayanımlarının düştüğü görülür. Sürekli yük altında yüksek sıcaklıklarda kullanılacak birçok parçanın tasarımı, müsaade edilebilecek en büyük deformasyona göre yapılmaktadır. Bu nedenle sürünme direnci ve gerilmeden dolayı, şekil değiştirme özellikleri önemlidir. Alüminyuma kıyasla sağladığı ağırlık avantajına rağmen, yüksek sıcaklıklarda azalan dayanım özellikleri, alüminyuma göre yüksek sıcaklık uygulamalarında daha geride kalmasına neden olmaktadır. Ancak bir otomobildeki max. çalışma sıcaklıkları düşünüldüğünde, 150 °C civarında çalışabilecek alaşımların olması yeterlidir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için magnezyum alaşımlarının gelişimi devam etmektedir.

- Yorulma Dayanımı;

Magnezyum alaşımlarının yorulma dayanımları diğer tüm metal alaşımları gibi, çekme dayanımı ile ilişkilidir. Fakat çekme dayanımı ile yorulma arasında tam bir oransal ilişki bulunmamaktadır. Bunun nedeni de dayanımı farklı miktarlarda arttıran mekanizmaların olmasıdır. Soğuk şekillendirme ve çökelme sertleşmesi ile magnezyum alaşımlarının yorulma dayanımları çok az arttırılırken, katı ergiyik mukavemetlenmesi daha iyi yorulma özellikleri sağlamaktadır.

3.3 Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Genelde magnezyum alaşımları döküm alaşımlar ve dövme alaşımlar olarak ikiye ayrılabilir. Magnezyum döküm alaşımları kum ve kalıba döküm alaşımları olarak, dövme alaşımlar ise şerit, plaka ekstrüzyonlar ve dövme olarak alt bölümlere ayrılabilir. Bazı alaşım ürünlerine ısıl işlem uygulanırken, diğerlerine uygulanmaz.

3.3.1 Döküm Magnezyum Alaşımları

Magnezyum akıcılık, besleyicilik, dayanım ve korozyon dirençlerinin iyileştirilmesi bakımından Al, Zn, Zr ve nadir toprak elementleri ile döküm yöntemiyle alaşımlandırılır.

3.3.1.1 Mg-Al Döküm Alaşımları

Alüminyum, magnezyum ile dayanımı, dökülebilirliği ve korozyon direncini iyileştirmek için alaşımlandırılır. Mg-Al faz diyagramından görüleceği üzere, alüminyum 437 °C de % 12,7

magnezyumda max. katı çözünürlüğe sahiptir ve çözünebilirlik oda sıcaklığında yaklaşık % 2' ye düşer. Uygun bir çözündürme, su verme ve yaşlandırma işlemiyle, dayanımı yüksek ve sünek alaşım sağlayan küçük tane yapılı çökeltinin oluşması beklenebilir.

Ancak durum bu şekilde gelişmez ve uyumsuz, kaba taneli bir çökelti üretilir. Bu çökelti de kuvvetli bir mukavemetleme etkisi üretmek için yeterince ince ve yoğun değildir(Erdoğan, 2001).

Ticari öneme sahip sadece birkaç Mg-Al alaşımı vardır. AM60 düşük ağırlık ve üstün süneklik özelliğiyle otomobil jantları için uygulama alanı bulur. Diğer uygulama örnekleri Çizelge 3.5' te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Mg-Al ve Mg-Al-Zn Alaşımları için uygulamalar (Erdoğan, 2001)

KALIP DÖKÜMLER					
Alaşım	% Al	% Mn	% Zn	Diğer	Uygulamalar
AM60B	6	0,13			Otomobil tekerlekleri
AS41A AZ91D	4,2 9	0,35 0,15	0,7	%1 Si 0,001 Ni max 0,005 Fe max	Otomobil motorları ve sürtünme dirençli ev eşyaları, arabalar için basınçlı döküm parçaları, çim kesme makinaları, zincir testereler, spor eşyaları iyi korozyon direnci
AM100A	10	0,1			Basınç sızdırmaz kum ve metal kalıba dökümler
AZ63A	6	0,15	3		Kum dökümler; iyi oda sıcaklığı dayanımı ve sünekliği
AZ81A	7,6	0,13	0,7		Tok sızdırmaz dökümler
AZ91E	8,7	0,26	0,7	0,001 Ni max 0,005 Fe max	Oda sıcaklığı dayanım ve sünekliği gerektiren kum ve metal kalıba dökümler
AZ92A	9	0,1	2		Basınç sızdırmaz kum ve metal kalıba dökümler; oda sıcaklığı dayanım ve sünekliği

3.3.1.2 Mg-Al-Zn Döküm Alaşımları

Mg-Al-Zn alaşımları, magnezyum alaşımları için, hafiflik, dayanım ve nispeten iyi korozyon direnci kombinasyonlarından dolayı endüstriyel öneme sahiptirler. Alaşımların çoğu kalıba dökümdür. Mg-Al alaşımlarına çinko ilavesi ile dayanım, katı ergiyik mukavemetlenmesi ve çökeltme sertleştirilmesi ile artar.

Magnezyum, yaklaşık % 10 dan fazla Al+Zn ile alaşımlandırılmaz çünkü alaşımın sünekliği, gevrek metaller arası bileşik oluşumu nedeni ile azalır.

3.3.1.3 Mg-Zn-Zr Döküm Alaşımları

Bu alaşımlar (ZK51, ZK61) sınırlı kullanıma sahiptir. Çünkü bunlar döküm sırasında mikro boşluk için hassastırlar ve yüksek çinko içeriklerinden dolayı kaynaklanamazlar. Uygulamalar çizelge 3.6'da toplu olarak verilmiştir.

3.3.1.4 Mg-Zn-Nadir Toprak-Zr Döküm Alaşımları

Bu alaşımlar (EZ33, ZE43) nispeten iyi dökülebilirliğe sahiptir. Nadir toprak elementlerinin ilavesi mikro boşlukları bastırma eğiliminde olduklarından dökülebilirlik iyileşir.

Çizelge 3.6 Mg-Zn-Zr ve Mg-Zn-Nadir top-Zr alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları (Erdoğan, 2001)

Alaşım	%Zn	%RE	%Zr	Uygulamalar
ZK51A	4,6		0,7	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
ZK61A	6,0		0,8	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
EZ33A	2,6	3,2	0,7	175-260 °C' de uygulamalar için basınç sızdırmaz kum ve metal kalıba dökümler
ZE41A	4,2		0,7	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
ZE63A	5,7	2,5	0,7	ZK alaşımlarının üzerinde iyileştirilmiş dökülebilirlik

3.3.1.5 Yüksek Sıcaklık Mg Döküm Alaşımları

Nadir toprak elementleri, gümüş ve itriyum içeren magnezyum döküm alaşımları 200-250 °C aralığındaki uygulamalar için geliştirilmiştir. Yaklaşık %4 itriyum içeren yüksek sıcaklık çekme özelliklerine sahip WE43 alaşımı da bu grubun en ümit verici alaşımıdır. 200 °C sıcaklığa uzun süre maruz kaldıktan sonra bile, yaklaşık 250MPa oda sıcaklığı çekme özelliğini koruyabilmektedir. En iyi çekme özellikleri -T6 temper alaşımını 525 °C de 8 saat çözündürme, 60 °C de su verme ve 250 °C de 16 saat yaşlandırma ısıl işlem uygulamakla elde edilir. Yüksek sıcaklık alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve uygulamaları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Yüksek sıcaklık magnezyum döküm alaşımları (Erdoğan, 2001)

Alaşım	% Ag	% Y	% RE	% Cu	% Zr	Uygulamalar

QE22A	2,5		2,2	0,08	0,7	200C ye yüksek sıcaklık kullanımı kum ve kalıcı
EQ21	1,5		2,1		0,6	
WE43		4	3,4		0,4	250C ye kadar yüksek sıcaklık kullanımları için kum ve metal kalıba dökümler, iyi korozyon direnci hava-motor parçaları; helikopter parçaları

Otomobil hareket ve güç aktarma organlarında kullanılan dişli kutusu, yağ pompası gövdesi, emme manifoldu gibi parçalar yüksek sıcaklıklar altında çalışmak zorundadır. Bu tür parçaların üretiminde sürünme direnci düşük alaşımların kullanılması durumunda; civatalı bağlantılar gevşeyecek ve yağ kaçağı olacak, gürültü ve titreşim artacaktır.

Magnezyum alaşımlarının sürünme direncini arttırmak için çalışmalar devam etmektedir. Magnezyum Araştırma Enstitüsü'nün (MRI-Magnesium Research Institute) yürüttüğü çalışmalarda, 150 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda sürünme dayanımı yüksek alaşımlar geliştirmek için çalışılmaktadır. Son zamanlarda geliştirilen Mg-Mn-Sc alaşımları yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi sürünme direnci göstermiştir. Çalışma sıcaklığı 300-350 °C seviyelerinde düşünülen bu alaşımlardan, MgSc6Mn1 alaşımı 350 °C de ve 30 MPa gerilme altında oldukça iyi bir sürünme dayanımına sahiptir ve WE43 alaşımından daha iyi performans vermektedir (Kandemir vd., 2003).

3.3.2 Dövme Magnezyum Alaşımları

Dövme magnezyum alaşımları haddelenmiş levha veya folyo, ekstrüzyon (çubuk, boru ve şekilli parçalar) ve yapısal uygulamalar için dövme mamuller olarak üretilir. Bu dövme magnezyum alaşımlarının en önemli avantajı düşük fiyat, yüksek dayanım ve sünekliktir ve döküm haline göre mekanik özellikler bakımından daha fazla alanda kullanılma özelliğine sahiptir. Tipik dövme alaşımlarının kimyasal bileşimleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Dövme magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri(Zeytin, 1999)

Alaşım	Al	Mn	Zn	Zr	Th	Si	Cu	Ni	Fe
AZ31B	2.5-3.5	0.20min	0.7-1.3			0.30	0.05	0.005	0.005

AZ31C	2.5-3.5	0.20min	0.6-1.4			0.30	0.10	0.03	
AZ61A	5.8-7.2	0.15min	0.4-1.5			0.30	0.05	0.005	0.005
AZ80A	7.8-9.2	0.15min	0.2-0.8			0.30	0.05	0.005	0.005
HM21A		0.35-0.80			1.5-5.0				
HM31A		1.2			2.5-3.5				
ZK11			1.3	0.7					
ZK31			3.0	0.7					

Dövme alaşımların başlıca kullanım yerleri şöyle özetlenebilir:

- AE42 ve AS serisi alaşımlar ile ZC63 alaşımı; 200 °C nin üzerindeki kullanım sıcaklıklarında, transmisyon elemanı ve motorlarda kullanılır.
- Yeni bir alaşım olan WE43 magnezyum alaşımı 300 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süreli çalışmalarda olumsuz etkileri azaltır ve yüksek korozyon direnci gösterir. Bu alaşım hava-deniz araçlarının motorlarında, transmisyon elemanı olarak ve yarış arabalarında kullanılır.
- AM serisi magnezyum alaşımları, yüksek toklukları ve enerji absorblama özellikleri bakımından özellikle direksiyon, tekerlek, otomobil koltuk iskeleti yapımında kullanılırlar.
- Magnezyum alaşımları için dayanım artırıcı bir yöntem de fiber sertleşmesidir. MMC (Metal Matrisli Kompozit) magnezyum alaşımları 350 °C nin üzerindeki kullanım sıcaklıklarında motor elemanı, örneğin piston üretiminde kullanılır (Zeytin, 1999)

TiC parçacıklarıyla takviye edilmiş ağırlıkça %8 TiC/AZ91 alaşımının mekanik özellikleri, AZ91 alaşımına göre iyileştirilmiştir. TiC takviyeleri tane inceltme ve dislokasyon yoğunluğunun artışıyla , mekanik özellikleri iyileştirir (Xiuqing vd., 2006)

3.4 Mg ve Mg Alaşımlarının Korozyonu ve Korozyon Önleme Yöntemleri

Magnezyum alaşımları sahip oldukları düşük yoğunluk, yüksek dayanım/ağırlık oranı, iyi dökülebilirlik gibi mekanik özelliklerle çoğu uygulama için çekici bir metal haline gelirken, kullanımını korozyon direnci sınırlar.

Saf magnezyum oda sıcaklığında havayla temas ettiğinde, yüzeyinde kısmi koruyucu özellikte magnezyum oksit ya da nem varlığına bağlı olarak magnezyum hidroksit tabaka oluşur. Tasarımlarda daha üstün dayanımları nedeniyle saf magnezyuma tercih edilen alaşımlarının en önemli dezavantajı, farklı bir metal ile temas ettiğinde ve bir elektrolitle ısıtıldığında galvanik korozyon için büyük eğilime sahip olmalarıdır. Magnezyumun alaşım miktarını azaltarak (Fe, Ni, Cu azaltarak) korozyonu azaltmak için ilerlemeler olmasına rağmen, magnezyum diğer konstrüksiyon metallerine göre daha anodiktir. Fe, Cu, Ni gibi elementler magnezyum alaşımlarında aktif katodik bileşenler olarak katılaştır ve korozyon hızının yükselmesine sebep olurlar. Yüksek oranda katışık içeren alaşımlara ısıtıl işlem uygulandığında, işlem sıcaklıklarının artması da korozyonu hızlandırır. %3-6 NaCl içeren çözeltideki galvanik serilere bakıldığında, magnezyum alaşımlarının diğer metallere göre belirgin olarak yüksek negatif bir korozyon potansiyeline sahip olduğu açıkça görülmektedir (Çizelge 3.9).

Oda sıcaklığında durgun damıtık suda, magnezyum alaşımları yüzeyinde koruyucu bir film oluşur. Fakat suda çözünen az miktarda tuz (özellikle de klorür ve ağır-metal tuzları) ilavesi ve çalkalama işlemi, bu koruyucu filmi etkisiz hale getirip korozyona neden olur. Damıtık su sıcaklığının artışı da korozyonu hızlandırıcı bir nedendir.(Zeytin, 1999; Avedesian vd., 1999)

Çizelge 3.9 %3-6 NaCl İçeren çözeltide farklı metallerin korozyon potansiyeli(Zeytin, 1999)

METAL	$V_{KORR.}(O.IN.KE)$
Mg	-1.73
Mg alaşımları	-1.67
Çinkosuz çelik	-1.14
Zn	-1.05
Kadmiyumlu çelik	-0.86
Al(%99.99)	-0.85
Al(%12Si)	-0.83
Çelik	-0.78
Dökme Demir	-0.78
Pb	-0.55
Sn	-0.50
Krom çeliği,aktif	-0.43
Piring(60/40)	-0.33
Cu	-0.22
Ni	- 0.14
Krom çeliği,passif	-0.13
Ag	-0.05
Au	+0.18

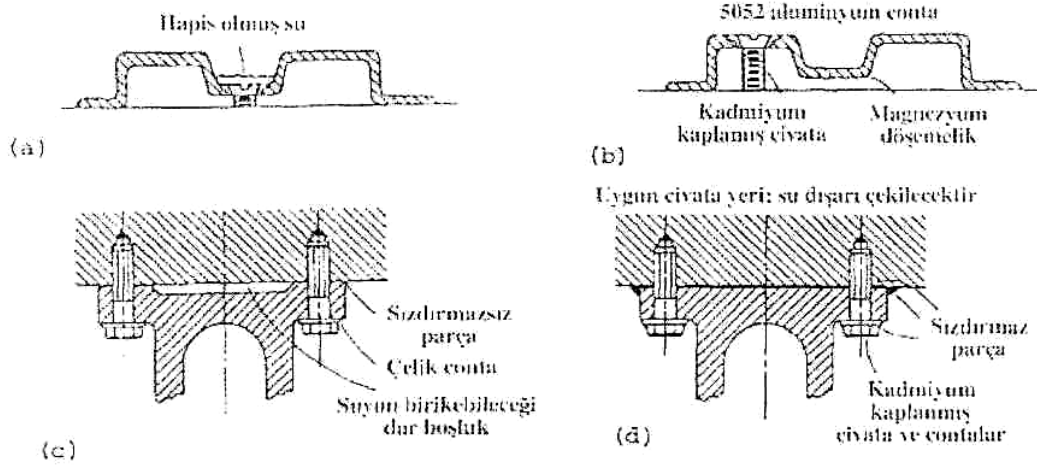
Klorür çözeltileri; magnezyum üzerindeki koruyucu tabakayı bozarak korozyona neden olurken, florür çözeltileri ise çözünmeyen magnezyum florür tabaka oluşturarak korozyonu engeller. Asidik ortamlarda magnezyum hızla korozyona uğrarken, yalnızca hidröflorik asit ortamında koruyucu tabaka oluşturulup, korozyon görülmez.

Kuru klor, iyot ve brom gazları çok önemsiz miktarda korozyona neden olurken, ortamda su buharının artışıyla korozyon hızı da artar. Uygulamada magnezyum alaşımları hem iç, hem de nemli dış ortamlarda kullanım yeri bulur. Dış ortamda kullanılacak parça tasarımında dikkat edilmesi gereken bazı kriterler vardır. Bunların uygulanmasının yanı sıra çeşitli kaplamalarla da magnezyumun korozyonu azaltılabilir.

3.4.1 Korozyon Önleme Yöntemleri

Korozyon oluşumunun derecesi temas şekline ve elektrolite bağlı olarak değişir. Galvanik korozyonunda en aktif bölgeler, örneğin otomobillerin atmosferle temasta olan dış yüzeyleridir. Bu tip bir korozyonu engellemek için aşağıdaki gibi çözümlere başvurulmalıdır:

- Galvanik seride birbirine yakın malzemeler tercih edilmelidir.
- Bakır, nikel, demir ve paslanmaz çeliklerle doğrudan teması önlenmelidir. Bu mantıkta magnezyumla temasta bir çelik cıvata, çinko veya kadmiyumla kaplanarak korozyon önlenabilir.
- Mümkünse izolasyonla metalik temas önlenmeli ve temas bölgelerinde elektrolit toplanması engellenmelidir.
- Vida başı gibi yüzeylerin mümkün olduğunca plastiklerle kaplanması veya kısa tutulması gereklidir.
- Islak bir ortamda kullanılan magnezyum ve benzer olmayan metal arasında ayırıcı plastik kullanılarak korozyon önlenabilir.
- Magnezyum ve benzer olmayan metali, elektrolitten izole etmek için bu iki metal dıştan boyanabilir. (Erdogan, 2001; Johannesson, 2003)



Magnezyum ve çelik arasında galvanik korozyonu azaltmak için tasarım düşünceleri a) bir montajda civatanın uygun olmayan yeri ; b) (a)'daki montaj için uygun civata yeri ; c) galvanik korozyon için zayıf tasarım; d) (c)'de gösterilenin üzerine uygun tasarım (After Handbook, 9th ed., vol. 13.ASM international , 1987.)

Şekil 3.3 Yanlış uygulamalar ve korozyon önleyici uygun tasarımlar (Erdoğan, 2001)

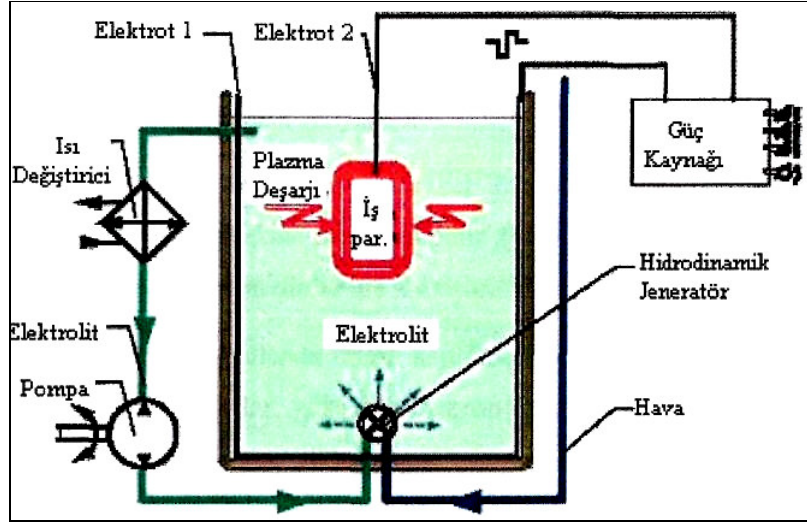
Yüksek saflıkta üretilip demir, bakır ve nikelden arındırılan alaşımların korozyon dayanımı daha iyidir. Bunun haricinde nikel kaplama ve kromatlama gibi yüzey işlemleriyle de magnezyum alaşımlarının korozyon dayanımında iyileştirme yoluna gidilmiştir.

Günümüzde çalışılan yeni kaplama teknikleri de mevcuttur. Kaplamalar sayesinde magnezyum yüzeyi daha etkisiz hale getirilerek pasivizasyon yoluyla galvanik korozyon engellenmektedir. Uygulanan tüm kaplamalar korozyon ve aşınmayı engellerken aynı zamanda rekabetçi bir maliyete ve uygun yapışma özelliklerine sahip olmalıdır. Bugün, Keronite adı verilen teknik gözde uygulamalardan biridir.

3.4.1.1 Keronite Prosesi – PEO

Adını bulucusu olan şirketten alan bu yöntem, Mg ve Al gibi hafif metallerin yüzey işlemleriyle ilgili yeni bir teknolojidir.Çevresel nedenlerle kaplama malzemesi olarak kullanılması yasak, kromdan arındırılmış, bir elektrolit banyosuna daldırılan iş parçası yüzeyinin, elektrolit banyodan geçirilen darbeli akım sayesinde magnezyum oksit tabakayla kaplanması işlemidir (Şekil 3.4).

Keronite prosesi ile, korozyon dayanımlı, sert, düzgün ve yoğun bir kaplama tabakası elde edilir.Elektron mikroskopuyla incelenen tabaka yapısının, homojen olarak dağılmış ince gözenekler halinde olduğu görülür. Bu gözenekler sayesinde, üzerine ilave olan boya vb. katmanın mükemmel şekilde yapışması sağlanır.



Şekil 3.4 Keronite (PEO) prosesi (DTI, 2004)

Cambridge Üniversitesinde yapılan testlerde, AZ91 alaşımı üzerine uygulanan Keronite kaplamayla, alaşımın ortalama 700 HV civarında bir sertlik değerine kavuştuğu görülmüştür. FIAT' in Keronite kaplı numuneleri çinko fosfat banyosuna daldırıp, ardından 750 saat tuz sprej testine tabi tutmasıyla, numuneler mükemmel korozyon direnci göstermiş ve en ufak bir korozyon belirtisine rastlanmamıştır.

Keronite prosesi otomotiv dünyasında hemen kabul görmüş ve seri üretim fizibilitesi olumlu olarak değerlendirilmiştir. $2m^2$ büyüklüğündeki yüzeylere kadar uygulanması mümkündür. Dakikada 1 ila 5 mikron arası kaplama yapılır. BMW' nin Keronite ile kapladığı magnezyum kaporta uygulamaları mevcuttur (DTI, 2004).

3.4.1.2 Mg ve Alaşımlarının Akımsız Yöntemlerle Kaplanması

Magnezyum ve alaşımlarının, korozyon dayanımlarını geliştirmek için akımsız kaplama yöntemleri üzerinde de çalışmalar vardır.

Uygulama; parçanın sıvı banyoya daldırılarak, otokatalitik biriktirme ile kaplanması şeklindedir. Kaplama malzemesi anot ya da katottan değil, redükleyiciden elektron alarak çökler. Elektriksiz yöntemde:

- 1- Kompleks geometrilerde dahi uniform kaplama kalınlığı elde edilir.
- 2- Kaplama kalınlığı kontrol edilebilir.
- 3- Isıl işlemlerle sert Cr mertebesine çıkılabilir.
- 4- Kaplama parça yüzeyine daha iyi yapışır.

Magnezyum alaşımları üzerine bu yolla nikel kaplama yapılabilir. Kaplama işlemi sonunda yzeyde bir Ni-P tabakası meydana gelir (%94,6 Ni , %5,4 P). Bu sayede parça da daha iyi aşınma ve korozyon direncine kavuşur.

Magnezyum alařımlarına uygulanan teflon kaplamalar da vardır. Adını geliřtiricisi olan Őirketlerden alan teflon kaplamalar, yzsek korozyon direncinin yanı sıra, dűřük sűrtűnme katsayısı dolayısıyla yzsek ařınma direncine sahip olup yaęlayıcı ۆzelliktedir. Kaplama alt tabakada bir reçine kaplama, ardından da ۆstűne yapılan teflon kaplama Őeklindedir. Alt tabakadaki reçine Őok ve titreřimleri absorbe etme ۆzellięine sahiptir. Teflon kaplamalar 380°C'ye kadar kullanım imkanı saęlamaktadır (Centro Ricerche FIAT, 2003; Li , 2004).

4. MAGNEZYUM ve ALAŞIMLARININ ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

Magnezyum genellikle diğer metallerin üretildiği yöntemlerle şekillendirilir. İmalat yönteminin seçiminde malzemeden beklenen optimum özellikler dikkate alınmalıdır. Bazı özel parçaların şekillendirilmesinde, özel imalat yöntemleri tercih edilebilir.

Magnezyum ve alaşımlarına uygulanan değişik şekillendirme yöntemleri mevcuttur. Alaşımlara basınçlı ve kum döküm gibi döküm yöntemlerinin yanı sıra, dövme, ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekillendirme yöntemleri de başarıyla uygulanabilmektedir. Magnezyum için en uygun şekillendirme yöntemi yüksek basınçlı kalıp döküm ve ekstrüzyon yöntemleridir.

4.1 Magnezyum ve Alaşımlarının Döküm Yöntemleri ile Şekillendirilmesi

Günümüzde magnezyum ve alaşımlarının döküm yöntemiyle şekillendirilmesinde basınçlı kalıp döküm tekniği hakim olmakla birlikte, kum döküm, hassas döküm, sürekli ve yarı sürekli kalıp döküm gibi diğer basınçlı ve basınçsız döküm yöntemleriyle de şekillendirilebilirler. Son zamanlarda basınçlı kalıp döküm alaşımlarının kullanımı artmıştır. Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve yüzey bitirme özellikleri, şekillendirilecek toplam döküm parça adedi ve alaşımların dökülebilirliği belirleyicidir. Dökümde kullanılabilecek çok fazla alaşım çeşidi mevcut olmasına rağmen, her alaşım her döküm yönteminde kullanıma uygun değildir.

Magnezyum döküm alaşımları genellikle, dışarıdan ısı uygulamalı bir çelik ($0,12C$) potada ergitilir. Çelik pota çok yaygın olarak kullanılır, çünkü magnezyum normal döküm sıcaklıklarında (magnezyum $650^{\circ}C$ de ergir) çelikle çok yavaş reaksiyona girer. Ergiyik magnezyum prosesi için yaygın uygulama metali aynı anda ergitme ve potadan dökmektir. Kalıptaki demir sıvı magnezyum alaşımı içinde daha az çözündüğünden, alaşımın kalıba yapışma eğilimi alüminyum alaşımlarına göre daha azdır. Buna bağlı olarak kalıp ömrü alüminyum parçalara kıyasla 2-3 kat daha fazladır.

Ancak ergiyik magnezyum ve alaşımları ,havada oksitlenme ve yanma eğilimindedirler ve bu nedenle ergiyik magnezyum yüzeyleri hava ile oksidasyondan korunmalıdır. Bugün çoğu modern dökümhaneler, hava-kükürt hekzaflorit gaz karışımı (SF_6) şeklinde bir örtüsüz proses kullanmaktadır (Zeytin, 1999).

Magnezyum ve alaşımlarının kum döküm yöntemiyle şekillendirilmesi çok fazla sayıda alaşıma uygulanabilmekte ve çok değişken boyutlarda parça elde edilebilmektedir. Ancak yöntem,

kalıp kumu ve ergiyik magnezyum metali arası reaksiyonlardan dolayı inhibitör kullanımını gerekli kılar. Yüksek adetlerde parça üretimi için uygunken, yüzey bitirme ve tolerans değerleri açısından çok iyi özellikler sağlanamaz.

Kum döküm yöntemiyle sağlanamayan bu özellikler hassas dökümle sağlanabilir. Ancak hassas döküm yönteminin hem parça başına maliyetleri, hem de ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir.

Magnezyum ve alaşımlarının sürekli kalıba döküm yöntemiyle şekillendirilmesinde, kalıbın tekrar kullanılabilmesi maliyetler açısından bir avantaj gibi gözükse de, kalıpların yüksek ilk yatırım maliyetlerinin amortismanı, bir kalıptan alınabilecek parça adediyle sağlanamayabilir. Yüzey bitirme ve boyutsal toleranslar açısından iyi sonuçlar alınırken, çok sayıda alaşım türüne uygulanabilir bir yöntemdir (Avedesian vd., 1999).

Magnezyum ve alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle şekillendirilmesi aşağıda verilen ekonomik avantajları sunar;

- Aynı başlangıç malzemesiyle daha fazla ürün elde edilebilmesi,
- Otomasyona uygunluğu yönüyle magnezyum basınçlı döküm yöntemi, yüksek hacimli üretimler için ideal bir yöntem olması,
- Alüminyum ve çeliğe kıyasla çoğu alaşımı yüksek akıcılığa sahip olması nedeniyle, ince cidarlı ve karışık parçaların dökümüne olanak sağlaması,
- Çeliğe göre üstün dökülebilirliği, parçaların birçok bileşenden ziyade, bütün olarak dökümüne olanak tanınması ve dolayısı ile montaj ve ıskarta maliyetlerinin düşürülmesini sağlaması,
- Alüminyum ve çinkoya kıyasla magnezyum alaşımlarının hacimsel öz ısısı daha düşük olması sebebiyle, dökümün daha hızlı soğuması, daha yüksek çalışma hızı ve daha az kalıp aşınmasına imkan verir.

Ayrıca,soğuma sırasında kızgın noktaları önlemek için üniform kesit kalınlığı,uygun parça çıkarma açıları,yuvarlak köşeler, takviye edilmiş ince kesitler, kaçınılan düz yüzeyler,mümkün olduğunca büyük yarıçap kullanımı bu yöntemin uygulanması esnasındaki tasarım gerekleri olarak sıralanabilir.

Magnezyum ve alaşımlarına uygulanan farklı döküm yöntemleri, elde edilen özellikler, üretilebilen parça boyutları, yüksek üretim hacmine uygunluk vb. yönlerden

karşılaştırıldığında, yöntemlerin birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri Çizelge 4.1' de gibi verilmiştir.

Çizelge 4.1 Magnezyum alaşımları ile döküm yöntemlerinin mukayesesi (Zeytin, 1999)

MUKAYESE EDİLEN ÖZELLİKLER	DÖKÜM YÖNTEMLERİ			
	Basınçlı Döküm	Kum Kalıba Döküm	Hassas Döküm	Sürekli Döküm
Uygun alaşım çeşitliliği	+	+	+	+
Değişken boyutlu parça üretilebilirliği	+	+	-	-
Yüzey bitirme özellikleri	+	-	+	+
Yüksek üretim hacmine uygunluk	+	+	-	-
Parça başına birim maliyetler	+	+	-	-
Hassas ölçü toleranslarının elde	+	-	+	+
İyi mekanik özelliklerin elde edilebilirliği	+	+	+	+
Karmaşık şekilli parça üretilebilirliği	+	-	+	-

Çizelge 4.1' den görüldüğü üzere, magnezyum ve alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle şekillendirilmesi, diğer döküm yöntemlerine kıyasla çok iyi sonuçlar vermektedir. Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde sıcak veya soğuk hazneli teknolojiler uygulanmaktadır.

Sıcak hazneli teknolojiye; enjeksiyon mekanizması, bekletme fırınının ergiyik magnezyum banyosuna daldırılır. Ergiyik metal de piston vasıtasıyla kalıba doğru itilir. Bu yöntemle nispeten küçük magnezyum alaşımı parçalar dökülürken, döküm makinaları biraz kompleks ve pahalıdır.

Soğuk hazneli basınçlı dökümde; metal el potaları ile doldurulur. Pistonlar da ergitme fırınından dağıtırlar. Yöntemin avantajı, sıvı metalin fırın içinden doğrudan silindirler vasıtası ile taşınması nedeniyle oksidasyondan korunmasıdır. Soğuk hazneli teknoloji, büyük et kalınlıklı parçalar için tercih edilir.

4.2 Magnezyum ve Alaşımlarının Talaşlı Şekillendirilmesi

Magnezyum, talaşlı şekillendirilmesi en kolay metallere biridir. Ayrıca alaşımları da kendi içinde şekillendirilebilirlik bakımından bir fark göstermezler. Tasarımlarda magnezyum öncelikle hafifliği nedeniyle tercih edilmesine rağmen, kolay şekillendirilebilirliği yüksek hacimli üretimler için büyük bir avantaj teşkil eder. Magnezyumun talaşlı şekillendirilmesinde alüminyum, nikel ya da dökme demire göre daha az güç ihtiyacı vardır.

Şekillendirme işlemi, düşük kapasiteli manuel tezgahlarda yapılabileceği gibi, yüksek kapasiteli otomasyon tezgahlarda da yapılabilir. Magnezyumun mükemmel

şekillendirilebilirliği, alüminyum ve titanyum gibi zor şekillendirilebilen metallere göre büyük avantajlar sağlar. Düşük kesme basınçları ve yüksek ısı iletkenliği, hızlı bir ısı dağılımı sağlar. Böylece kesici takım ömürleri uzar ve takım değiştirme zamanları azalır.

Şekillendirmede kullanılacak takım seçiminde, üretim hacmi belirleyici kriterdir. Karbon çeliği takımlar çoğu uygulamada yeterli olmasına rağmen, yüksek hacimli üretimler için karbür uçlu takımlar tercih edilir. Magnezyumun kesmeye karşı düşük direnci ve görece düşük ısı kapasitesi nedeniyle, kesici takımlar çevresel boşluk açısı büyük, talaş boşluğu fazla, takım ve talaş açısı küçük olacak biçimde seçilmelidir. Kesici takım yüzeyleri kesinlikle düzgün olmalıdır. Kesme basıncı, kesici takımın eğim açısından etkilenir. Bu açının artması, kesme basıncını düşürür.

Magnezyum, genellikle bir kesme sıvısı kullanılmadan şekillendirilebilir. Magnezyumun iyi ısı iletkenliğinden dolayı soğutma sıvısının sağladığı, soğutucu ve yağlayıcı özelliklere her zaman ihtiyaç duyulmaz. Kesme sıvılarına; derin sondaj işlemlerinde yağlama amacıyla, ya da çok yüksek kesme hızlarında soğumayı sağlamak için ihtiyaç duyulabilir. Kuru işleme daha temiz ve düşük maliyetli ürünler verir. Ancak kuru işleme sırasında, talaşların kesme bölgesinden güvenli bir şekilde uzaklaştırılmasına dikkat edilmelidir. Şayet kesme sıvısı kullanılırsa, soğumanın sağlanmasının yanı sıra talaşların tutuşma ihtimali de önlenmiş olur. Özellikle çok ince talaşların sıvı içerisinde tutulmadığı durumda, tutuşma ihtimalleri vardır. Çekme ve derin delik delme operasyonlarında talaşların tıkanmaya yol açma olasılığı da vardır. Bu durumlarda kullanılan kesme sıvıları talaşın uzaklaştırılmasına yardımcı olurlar

Kesme parametreleri serbest olarak seçilebildiğinden ve talaşlar iyi kırıldığından yüzey bitirme tek operasyonla sağlanır. Magnezyumun şekillendirilmesi sırasında talaş oluşumu alaşım kompozisyonu ve ilerleme hızından etkilenirken, bu durum çoğu metal için kesme hızıyla ilişkilidir (Avedesian vd., 1999).

4.3 Magnezyum ve Alaşımlarının Plastik Şekillendirmesi

Şekillendirmede magnezyumu demir, bakır ya da alüminyumdan ayıran en büyük fark çalışma sıcaklığıdır. Magnezyumun SPH yapısından dolayı, magnezyum alaşımlarına uygulanabilir plastik deformasyon miktarı sınırlıdır. Bu nedenle çoğu magnezyum alaşımları yüksek sıcaklıklarda ılık veya sıcak şekillendirme ile plastik olarak deforme edilir. Dövme magnezyum alaşımları haddelenmiş levha veya folyo, ekstrüzyon ürünü (çubuk, boru ve şekilli) parçalar ve yapısal uygulamalar için dövme mamuller olarak üretilir.

Plastik şekillendirme esnasında magnezyum parçaların alüminyum ve çelikten farklı olarak, bükme operasyonu sonrası boylarının kısaldığı görülür. Bu durum, parça ekseninin büküm yerine doğru hafifçe kaymasından kaynaklanır. Çok ince sac kalınlıklarında bu durum fark edilemezken, kalınlıklar arttıkça mutlaka göz önünde bulundurulması gerekir (Avedesian vd., 1999).

Plastik şekillendirmede dikkat edilmesi gereken bir nokta da, magnezyum alaşımlarının sahip olduğu yüksek ısı genleşme katsayısıdır. 260°C sıcaklıkta magnezyum, çeliğin 2 katından fazla ısı genleşme katsayısına sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda dökme demir ya da takım çeliği kalıplarla şekillendirme sırasında, iş parçası ve kalıp malzemesi arasında genleşmeden doğan farklılıklar mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi halde parça kalıba sıvanmakta ve kalıptan çıkarma esnasında zorluklar yaşanmaktadır.

Magnezyum parçaları genelde tek operasyonda çekme işlemiyle elde edilebilirler. Yüksek sıcaklıklarda tek operasyonla elde edilen parçalar sayesinde, ek tavlama işlemlerinden, ilave kalıp maliyetlerinden ve de zamandan kazanç elde edilmiş olur. Yüksek sıcaklıkta şekillendirilen parçalar, daha az geri yaylanmaya maruz kalmaları sebebiyle soğuk şekillendirilen parçalara oranla nominal değerlere daha yakındır.

Döverecek şekillendirme, alaşımların katılaşma sıcaklığının yaklaşık 55°C altında yapılır. Genellikle hidrolik veya düşük hızda mekanik presler kullanılır. Çatlama ihtimalinden dolayı yüksek hızda dövme tercih edilmez. Parçanın mekanik özellikleri, dövme sırasında oluşan pekleşme ile ilişkilidir. Uygun özellikler için mümkün olduğunca düşük sıcaklıklarda dövme gereklidir. Ancak çok düşük sıcaklıklar da, çatlamaya neden olabilir.

Tane boyutları dövme işlemi sırasında sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Yaygın uygulama, her adımda sıcaklığı 15-20 °C azaltmaktır. Bu sayede dövme sıcaklıklarında tane büyümesi önlenmiş ve daha iyi mekanik özellikler elde edilmiş olur. Soğumada alaşımlar, dövme sıcaklıklarından su verilerek soğutulur. Bu uygulama da yeniden kristalleşmeyi ve tane büyümesini önler (Avedesian vd., 1999; Doege ve Dröder, 2001).

Dövme esnasında parçanın yanı sıra kalıbın da ısıtılması gerekir. Magnezyum alaşımları ısıyı iyi iletmediğinden, soğuk kalıpla temas ettiğinden sıcaklıkları hızla düşeceğinden çatlama ihtimali vardır. Bu nedenle kalıplar da iş parçası ile hemen hemen aynı sıcaklık değerlerine ısıtılmalıdır.

Plastik şekillendirilecek ingot malzeme mutlaka temiz olmalı, yüzeyinde kir, nem, yağ ve yabancı madde içermemelidir. Aynı şekilde kalıplar, zımbalar ve form blokları temiz olmalı, kalıp elemanları gerekirse çözücülerle temizlenmelidir.

Magnezyum ve alaşımlarının ekstrüzyonu ılık ya da daha yüksek sıcaklıklarda yapılabilir. Alaşımlar hidrolik preslerde çubuk, tüp ve çeşitli şekillerde profiller oluşturmak üzere şekillendirilir. Magnezyum ve alaşımları için ekstrüzyon sıcaklığı 300-450°C arasında değişmektedir. Çalışma sıcaklığı, alaşıma ve arzu edilen şekle göre belirlenir. Şekillendirme kullanılan kalıplar genellikle alaşımlı çelikten imal edilir. Kalıplar sürekli temiz koşullarda tutulmalıdır. Ekstrüzyon ürünü parçalar da mekanik parlatma veya dekapaj çözeltileri ile temizlenebilir. Dövme operasyonuna benzer şekilde, ekstrüzyon kalıpları da iş parçasının soğumasını önlemek için, iş parçasına benzer sıcaklık değerlerine ısıtılmaz. Şekillendirmede oluşan ısı soğutma ile giderilmez ve alaşımın katılma sıcaklığı aşırsa, sıcak kırılma görülür.

Ekstrüzyon ürünleri; dökümün ekonomik olmadığı, ya da sac ve plakalarla ekstrüzyon ürünlerinin birleştirilebildiği durumlarda tercih edilir. Magnezyum alaşımlarından yapısal parçaların şekillendirilmesinde, aynen alüminyum ve bakırda olduğu gibi ekstrüzyon yöntemi haddelemeye tercih edilmektedir (Avedesian vd., 1999).

Sac ve plaka haddesinde kullanılacak magnezyum kütük malzemeler bir ön ısıtma operasyonuna tabi tutulur. Ardından yine ön ısıtmaya tabi tutulmuş hadde topları arasından geçirilerek, levha haline getirilirler. Levha ve hadde topları arasındaki temas süresi oldukça kısadır. Arada yağlama ihtiyacı olmazsınız levhalar her geçişte yaklaşık 6mm kadar inceltirler. Ancak son geçişten sonra hadde toplarının yağlanması gerekir.

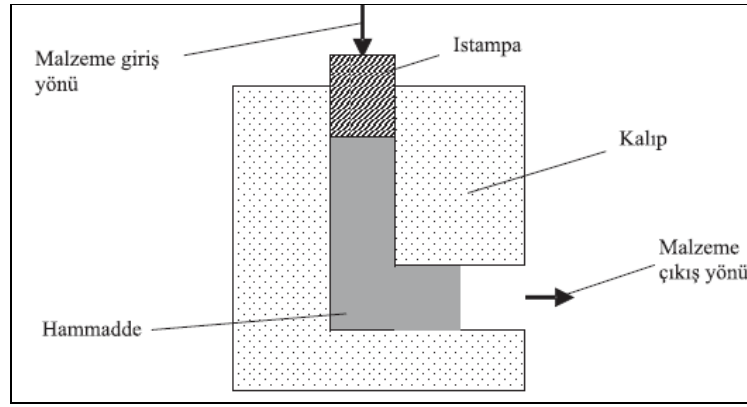
Sac ve plakalar genelde Mg-Al-Zn alaşımlarından haddelenir. AZ31B alaşımı, sac ve plaka için yoğun olarak kullanılan alaşımdır ve 100 °C nin üzerine kadar kullanılabilir. HK31A ve HM21A alaşımları 315-345 °C sıcaklıklarda kullanım için uygundur. Sac ve plaka ürünlerde kesit kalınlıkları konstrüksiyonun toplam ağırlığını fazla etkilemeden arttırılabilir. Böylece parçaya rijitlik kazandırılmış olur(Avedesian vd., 1999).

Eş kanallı açılı şekillendirme yöntemi (ECAP- Equal Channel Angular Processing), magnezyum alaşımlarının düşük sıcaklıklarda da şekillendirilmesine olanak veren ve ince taneli malzeme eldesinde kullanılan etkili bir yöntemdir. Tekrar edilen ECAP uygulamalarında parçanın boyuna eksenini etrafında döndürülerek uygulamalara devam edilmesi, farklı deformasyon doğrultularının oluşumuna olanak sağlar ve bu doğrultular da mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde etkilidir.

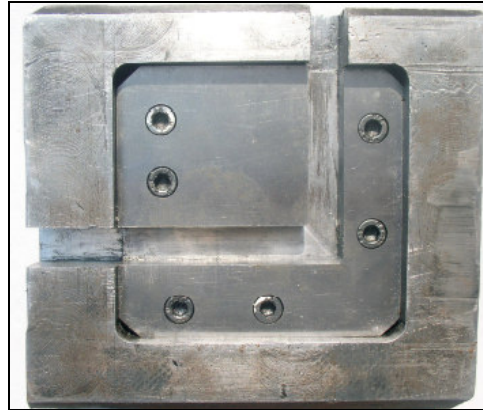
Yöntem malzemenin kesme eksenini boyunca güçlü bir plastik gerilmeye maruz bırakılması şeklindedir. Parça ECAP kalıbı içerisinde preslenirken, ardışık preslemeler esnasında döndürüldüğünde kristal yapıda farklı çarpılmalar ortaya çıkar. Yani kristal yapının kesme

karakteristikleri ardışık kalıplamalar ile değişiklik gösterir ve her kalıplamada farklı kesme düzlemleri aktive edilmiş olur.

ECAP şekillendirme yönteminde, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi birbirini 90 açı ile kesen iki eşit boyutlu kanal bulunmaktadır. Hammadde istenen kanalın bir tarafından bir ıstampa ile basınç uygulanarak bastırılıp boyutları değişmeden diğer ucundan çıkartılır. Bu sırada malzeme kayma deformasyonuna uğramaktadır. ECAP yöntemi, iş parçasının kalıpta doğru rotada kolaylıkla döndürebilmesi için çapı 20 mm yi aşmayan kare çubuklar için uygundur.

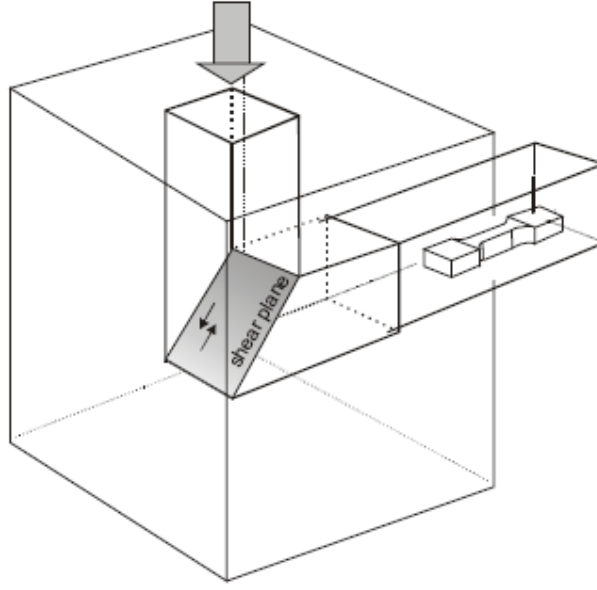


Şekil 4.1 ECAP Yönteminin şematik görünümü (Şahin vd., 2005)



Şekil 4.2 ECAP Yönteminde kullanılan kalıp (Şahin vd., 2005)

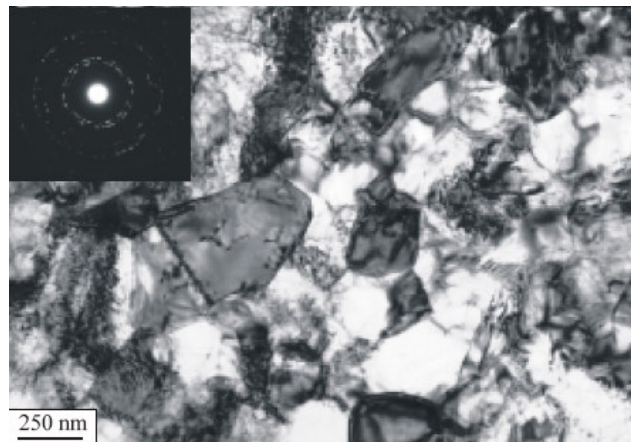
Aynı parçayı tekrarlı olarak kalıplamak parçaya yüksek dayanım sağlarken, aynı zamanda yüksek süneklik değerleri de elde edilir. Halbuki klasik yöntemlerinde artan dayanımla süneklik düşerken, ECAP ile tane boyutu nano-mertebelere indiğinden süneklik artar. Her proseste tane yapısı biraz daha küçülür. Şekillendirme öncesi ECAP uygulamaları, magnezyum alaşımlarının düşük sıcaklıklarda da şekillendirilebilmelerine olanak sağlar.



Şekil 4.3 ECAP'ın uygulama prensibi (Hashimoto, 2004)

AZ31 dövme alaşımlarının 380-400°C sıcaklıklarda ekstrüzyonla 19mm çapında çubuklar haline getirildikten sonra 100-200°C sıcaklıklarda yapılan ECAP uygulamalarında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.:

- 100°C gibi düşük sıcaklıklarda AZ31 alaşımlarına başarıyla uygulanmıştır.
- Tanelerin 100°C sıcaklıkta 4 kez kalıplandıktan sonra yaklaşık 250 nm boyutlarına incelendiği görülmüştür. Başlangıçta homojen olmayan tane büyüklüğü dağılımı, devam eden kalıplamalar sonucunda homojen hale gelmiştir.
- Şekil 4.4'te 100°C de yapılan uygulamada, 4 kez kalıplanan numunenin HV sertliğinin %28 oranında arttığı görülmektedir (Hashimoto, 2004).



Şekil 4.4 Dört Kez kalıplanmış malzemenin tane yapısı (Hashimoto, 2004)

4.4 Magnezyum ve Alaşımlarının Birleştirme Yöntemleri

Saf magnezyum 650°C'da ergir. Alaşımları ise alaşım içeriğine göre 483...600°C arasında ergir. Kaynak ya da lehimleme sırasında magnezyum ısınsa da rengi değişmez. Bu yüzden metalin ergime noktasına gelip gelmediği kolay gözlenemez.

Çeliğe nazaran yüksek ısı iletkenliği, ergitme kaynağı için fazla ısı verilmesini gerektirir. Büyük parçalarda ön ısıtma gereklidir. Yüksek elektrik iletkenliğinden dolayı ise çelikle mukayese edilirse yüksek akımlar gerekecek ve direnç kaynağında kaynak süresi kısa tutulacaktır. Kaynak değişkenlerinin de daha keskin kontrolleri gerekecektir.

Magnezyum alaşımları havayla temas edince hemen yapışkan ve kolay giderilemez bir oksit filmi oluşturur. Ergitme kaynağında magnezyum parça ve ilave metalin uygun birleşmesi ve lehimlemenin veya yapıştırmanın iyi olması için bu oksit film takip edilmelidir. Temizleyici maddelerde, soy gaz atmosferlerindeki koruyucu gaz arkıyla veya mekanik ya da kimyasal yöntemlerle oksit filmi giderilmeye çalışılır (Avedesian vd.,1999).

Magnezyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyeti aşağıda belirtilen iki olay ile açıklanabilir.

1) Yüzeyde, magnezyum oksit oluşması, metal ve alaşımlarının, kaynağa elverişli olmamasına sebep olmaktadır. Bunun varlığı, dikişinin devamlı olmasını sağlayacak erimiş damlacıkların, bağ oluşturmaya engel olmaktadır. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için, magnezyum oksiti eriten ve temizlenmesi kolay olan bir cüruf oluşturan özel bir örtü kullanılır.

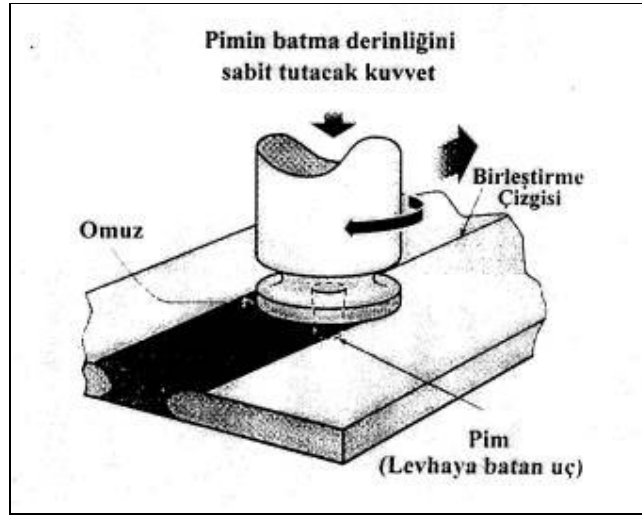
2) Bazı alaşımlarda kaynak esnasındaki ısıl çevrim, ana katı çözelti içinde bulunan bileşenlerin, erimiş bölge veya esas malzemede çökmesine sebep olmaktadır. Bu çökme, mekanik özellikleri ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı azaltmaktadır.

Dövme alaşımlar; koruyucu gaz altında kolaylıkla kaynak edebilirler. Isıl işlem görmemiş alaşımlara elle kaynak yapıldığı zaman, mukavemetleri, kaynak yapılmamış aynı alaşıma göre daha düşük olmaktadır. Bilindiği gibi kaynak yerinde üç ayrı bölge oluşur. Ergime bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), ısıdan etkilenmemiş bölge yani değişikliğe uğramayan bölge. Isıl işlem görmüş alaşımlarda, tel halinde çekilebilirlik özelliği düşmektedir. Kaynaktan sonra çökeltme sertleşmesi yapılırsa dayanıklılık artar (Avedesian vd.,1999).

Magnezyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde,günümüzde adından sıkça söz ettiren sürtünme-karıştırma kaynağı geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

Sürtünme-karıştırma kaynağında, kaynak edilen parçalar ergimezler bu yüzden yöntem katı faz kaynağı olarak adlandırılır. Bu kaynak yöntemi alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek

devirde dönen omuzlu bir pimin daldırılarak kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir. Kaynak edilecek parçalar öncelikle sabit bir yüzey üzerine yerleştirilir. Yöntemin uygulama aşaması iki farklı şekilde olabilir (Şekil 4.5). Parçaların hareketi söz konusu olabileceği gibi, takımın dönme ve ilerleme hareketi de mümkün olmaktadır. Pim, malzemelere temas ettiğinde sürtünme kaynağındaki duruma benzer bir durum oluşarak temas noktasında ısı, sürtünmenin de etkisiyle hızla artar ve malzemelerin plastik değişimine neden olur. Bu değişim malzemelerin akışını sağlar ve birleşme olayı gerçekleşir (Kaluç ve Bozduman, 1998).



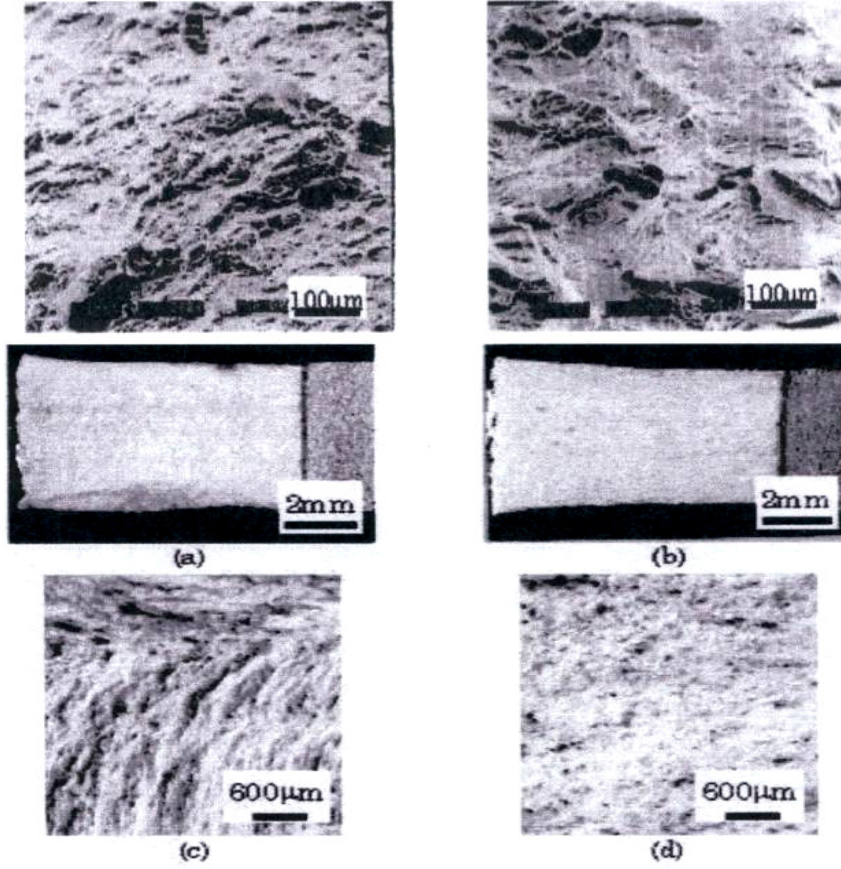
Şekil 4.5 Sürtünme-karıştırma kaynak yönteminin prensibi (Kaluç ve Bozduman, 1998)

Sürtünme-karıştırma kaynak yönteminde pahalı ekipmana, ilave tel kullanımına, koruyucu gaza ihtiyaç duyulmaması, temiz ve çevreci bir kaynak yöntemi olması yöntemin magnezyum ve alaşımlarına uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Şekil 4.6 'da sürtünme-karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş AZ31 magnezyum alaşımı görülmektedir.



Şekil 4.6 Sürtünme-karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş AZ31 magnezyum alaşımı levhalar (Kaluç ve Bozduman, 1998)

Magnezyum alaşımlarının (AZ31) sürtünen eleman ile kaynak yönteminde kaynak bölgesinde çeşitli mikroyapılar oluşmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Esas metal ve kaynak bölgesinde çentik darbe deneyi sonrası yüzey yapıları (Kaluç ve Bozduman, 1998)

Sürtünen eleman ile birleştirme kaynak bağlantılarında oluşan kaynak bölgesinde tipik bir soğan halkaları biçimine rastlanmaktadır ve kaynak metalinin biçimi çok değişken olarak oluşmaktadır ve bu biçim kaynak edilen alaşım türüne, kaynak işlem parametrelerine bağlıdır. Karmaşık biçimli kaynak metalinin uzantısı, kaynağın üst yüzeyine doğru olup çok sık ortaya çıkar ve omuzlu takımın kenarlarına doğru uzar. Kaynak metalinin çapı, takım ucunda bulunan pimin çapından çok az büyük olmasına karşın omuz çapından bir hayli dar olarak oluşur. Oluşan kaynak nüfuziyetlidir ancak bu parça kalınlığına ve pim derinliğine bağlı olarak değişir

Bu kaynak yönteminde kaynak bölgesi dört farklı bölgeden oluşmaktadır.

A BÖLGESİ : Kaynak işlemlerinden etkilenmeyen bölgedir. Esas metal olup hadde yapısındadır.

B BÖLGESİ : Artık kaynak gerilmeleri ve, ısı değişimleri gibi etkilerle özelliklerin değişebileceği bir bölgedir. Yaşlanmış veya mekanik yaşlandırılmış alaşımlarda bu bölge sert değildir.

C BÖLGESİ : Plastik deformasyon gözlenir. Termomekanik olarak etkilenme söz konusudur. Bu etkileşimde yeniden kristalizasyona neden olmaktadır.

D BÖLGESİ : Kaynak metalidir. Kaynak metalinin mikroyapısında da alaşım türü, ısı işlem, tane boyutu ile beraber bir değişim olabilmektedir. Kaynak metalinin boyutları nüfuziyete etki eder.

5. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE MAGNEZYUM ve MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

Günümüzde magnezyum alaşımlarına olan en büyük ilgi otomotiv sektöründen gelmektedir. Magnezyumun otomotiv için cazip olmasının başlıca nedeni, hafif magnezyum alaşımlarının kullanımı ile araç ağırlığının azaltılabilecek olmasıdır (Zeytin, 1999).

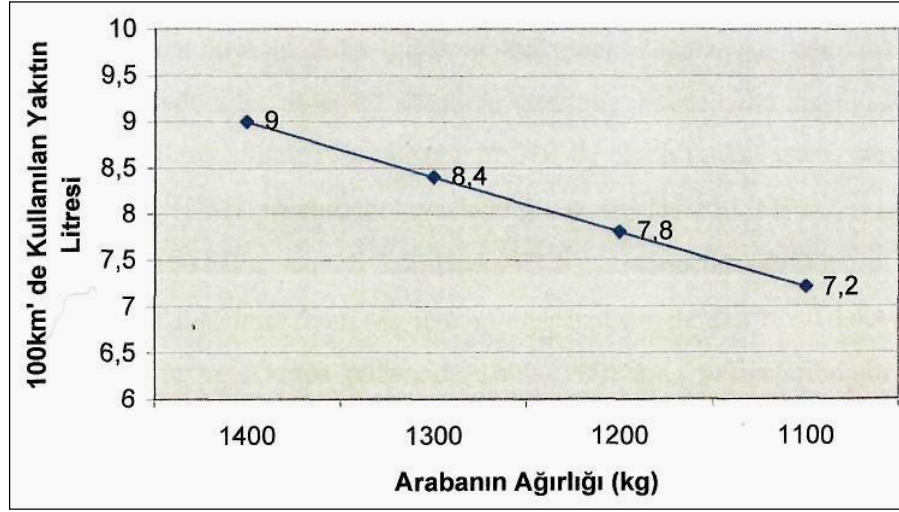
5.1.Magnezyumun Otomotiv Sektöründeki Önemi

Belirli bir eleman için, magnezyum kullanımı temel olarak, parçanın ne tip etki ve yükler altında çalışacağı, belirli sıcaklık ve ortam koşulları altında mukavim olabilmesi için ne gibi gereksinimlere ihtiyaç duyulduğunun bilinmesine bağlıdır.

Araç tasarımında güç, emniyet ve konfor içeren diğer bütün taleplerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu taleplerin yerine getirilmesi de araç ağırlığını arttırmaktadır. 1960' lı yıllardan, 2000'li yıllara geldiğimizde hava yastıkları, klima, hayat koruyucu önlemler, büyüyen araç ebatları, artan günlük ihtiyaçlar vb. sebeplerle araç ağırlıkları artmıştır.

Otomobil endüstrisinde yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla yıllardan beri çok yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Otomobillerde yakıt tüketiminin % 60' ı otomobil ağırlığından kaynaklandığından ağırlığın azaltılması doğrudan yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bu amaçla araçlarda lastiklerde sürtünmenin azaltılması, araç ağırlığında azalma, motor ve transmisyon verimliliğinin artırılması, araç ön alanının küçültülmesi gibi yaklaşımlarla çalışılmaktadır. Örneğin bunlardan en önemlisi olan araç ağırlığında yaklaşık 50 kg' lık bir azalma, litrede 80-200 metrelik bir yakıt tasarrufu sağlamaktadır (Zeytin, 1999).

Şekil 5.1' de, günümüzde kullanılan orta üst sınıftaki bir sedan arabada hafif malzemelerin kullanımıyla yakıttan elde edilen tasarrufun 100km. de 0,6 litre olduğu görülmektedir. Dolayısıyla emisyonunda da % 20' lik bir azalma meydana gelmektedir.



Şekil 5.1 Araç ağırlığındaki azalmayla elde edilecek yakıt tasarrufu (Kandemir vd., 2003)

Tüketiciye daha fazla fayda sağlama amacıyla kullanılan hafif konstrüksiyon, aerodinamikliği sağlayarak ve motor verimliliğini artırarak yakıt tüketimini azaltmaktadır. Otomotiv sektöründe alınan kararlar doğrultusunda, yakıt tüketiminin 2010 yılı itibariyle % 25 azaltılması hedeflenmiştir. Bunun sonucu olarak, CO₂ emisyonu azaltılacak ve dünyadaki sınırlı petrol kaynakları korunmuş olacaktır. Artık yakıt tüketimi 3 litre/100 km olan otomobiller mevcuttur. Zaten yakın gelecekteki standartlar ve çevre ile ilgili yasalar araba üreticilerini 40-100 kg. magnezyum alaşımını kullanmaya zorlayacaktır. (Kalmbach, 2005)

Magnezyumu otomotivde çekici kılan diğer bir önemli faktör ise kolay şekillendirilebilmesidir. Aynı ağırlıktaki başlangıç malzemesinden, parça boyutu sabit kalmak şartı ile elde edilebilecek basınçlı döküm ürünü sayısı çinko için 1, alüminyum için 2.5, magnezyum için ise 3.75 dir. Bu noktada basınçlı döküm yöntemiyle magnezyum üretiminin, son yıllarda otomotiv sektörü için yapılan tüm magnezyum üretiminin de büyük bir kısmını oluşturduğu belirtilmelidir.

Magnezyum ve alaşımlarını otomotiv sektöründe kullanışlı hale getiren diğer avantajları ise:

- Magnezyumun , ısı kapasitesi daha düşük olduğu için basınçlı dökümde daha hızlı işlem yapılabilmekte (küçük parçalarda 250 basım/saat) ve alüminyuma kıyasla % 40 ile 50 daha fazla ürün alınabilmektedir. Bu da yüksek üretim hızına ihtiyaç duyulan otomotiv sektörü için çok önemlidir.

- Magnezyum alaşımlarının hafif alaşım olarak rakibi alüminyum alaşımlarıdır. Genelde alüminyuma kıyasla daha düşük dayanım, değerlerine sahip olsalar da

kıyaslanabilir seviyededirler. Basınçlı dökümle üretilmiş magnezyum alaşımı AZ91 ve aynı yöntemle üretilmiş alüminyum alaşımı A380 ile mekanik özellikler yönünden karşılaştırılması Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 AZ91 Mg alaşımı ile A380 Al alaşımının akma dayanımı,uzama ve darbe dayanımı yönünden kıyaslanması

	AZ91	A380
σ	150 MPa	160 MPa
ε	% 3	% 3,5
$\alpha\varsigma$	2.7 J	3 J

Genel olarak malzeme fiyatı Mg için eşdeğer malzemelerden % 35 daha fazladır. 2005 de fiyatlar Çin ve Avrupa pazarında 1600-1900\$/ton seviyelerindedir. Ancak yüksek hızlarda ve yekpare üretim kolaylığı sağladığı için hacimsel bazda düşünüldüğünde uygun denilebilecek fiyatlara sahiptir.

- Fe, Cu ve Ni' den arındırılmış yüksek saflıktaki magnezyum alaşımlarının korozyon direnci yüksektir. ASTM B-117 tuz sprej testinde bu direnç, soğuk haddelenmiş çelik ile kıyaslandığında, bunlara denk olduğu görülür.

- Mükemmel sönümlene kapasitesiyle birçok uygulama için titreşim ve gürültüyü azaltabilirler. Bu uygulamalardan biri de titreşime duyarlı elektronik ekipmanların bağlandığı montaj bloklarında yapılan titreşim testleridir.

- Magnezyumun elastik enerji absorblama karakteristiği, iyi darbe dayanımı ve çökme direnci sağlar.

- Bilinen kaynak yöntemleri ile veya perçinleme yoluyla birleştirmeye uygundur.

- İşlenebilirliği iyidir ve kuru olarak da işleme yapılabilir. Talaşlı işlenmesi konvansiyonel, düşük hacimli bir bir tezgahda olabileceği gibi, yüksek kapasiteli bir CNC tezgahda da olabilir. Çünkü kesme karakteristikleri istenildiği gibi seçilebilmekte ve talaşların kırılması konusunda herhangi bir sorun yaşanmamaktadır. Gerektirdiği güç bakımından işlenebilirliğin diğer bazı metallerle mukayesesi Çizelge 5.2' deki gibidir.

Magnezyum çok reaktiftir fakat, uygulanacak kaplamalarla veya sadece doğal olarak oluşumuna izin verilen magnezyum oksit veya magnezyum sülfat tabakaları sayesinde koruma sağlanabilir. Alaşımlar, kromatlama veya nikel kaplama gibi koruyucu veya dekoratif amaçlı çeşitli yüzey işlemlerine tabi tutulabilmektedir (Kaya vd., 2002).

Çizelge 5.2 İşlenebilirlik açısından bazı metallerin kıyaslaması (Kaya vd., 2002)

Metal	Gereken Göreceli Güç
Mg Alaşımları	1
Al Alaşımları	1,3
Pirinç	2,3
Dökme Demir	3,5
Yumuşak Çelik	6,3
Ni Alaşımları	10

5.2 Magnezyum ve Alaşımlarından Üretilmiş Otomobil Parçaları

Magnezyum, bugün Avrupa'da en çok Alman üreticiler tarafından kullanılmaktadır. Magnezyum kullanımı da Volkswagen fabrikalarının tarihi ile başlar. Volkswagen arabalarının ilk geliştirme çalışmalarında magnezyum, motor ve vites kutularında arka tekerleklerden tahrik alan kara taşıtlarının toplam ağırlığını ve arka aks yüklemelerini düşürmek için denenmiştir. Daha sonraları ise magnezyum alaşımlarının ekonomik avantajları giderek önem kazanmıştır. Bugüne kadar uygulamalar, daha çok yüksek fiyatlı otomobillerde ve spor araç sektörlerinde olmuştur.

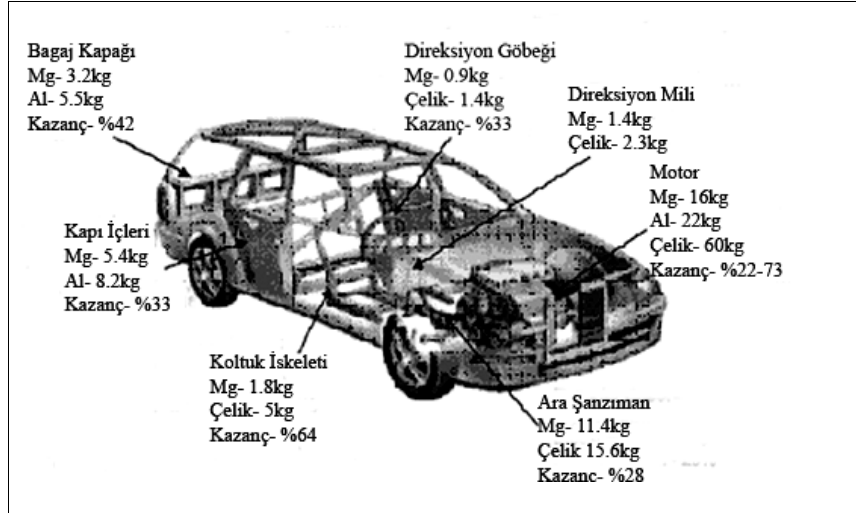
Günümüzde magnezyum alaşımlarının otomotiv sektöründe kullanıma girdiği veya potansiyel kullanım alanı olarak görülebilecek iki ana grup vardır. Bunlardan birincisi magnezyum alaşımlarının halen kabul gördüğü şasi elemanları, dahili parçalar ve kaporta elemanları gibi yapısal elemanlar olup, bu uygulamalarda magnezyum alaşımları dayanım, süneklik, yorulma ve darbe dirençlerinin yeterli olmaları nedeniyle iş görebilirler. Örnek olarak koltuk iskeleti, direksiyon ve direksiyon kolunu bileşenleri, ayna yuvaları, jantlar, süspansiyon kolları, iç konsol, bagaj kapağı, gösterge paneli, fren ve debriyaj pedalları verilebilir.

İkinci bir grup uygulama da, motor grubu ve transmisyon komponentlerinden oluşur. Birinci grubun özelliklerinin yanında, yüksek sıcaklıklar için sürünme ve korozyon dayanımı da gerektiren bu parçaların mevcut uygulamaları olmasına rağmen, alaşımları da gelişme sürecine devam etmektedir.

Otomobillerde magnezyumun kullanıldığı diğer parçaları listelersek:

- Jantlar
- ABS fren destek ve tutma braketi
- Geçme hava yastığı tutucuları
- Debriyaj gövdesi
- Koltuk yükselticisi
- Koltuk kızakları
- Orta konsol
- Kapı içi koruyucu kirişler
- Jant göbeği
- İç kapı kolları
- Kol dayama yerleri
- Kapı kilidi gövdeleri
- Motor destek braketi
- Endüksiyon sistemi yuvası
- Karter taban kısmı
- Silindir kapağı
- Yanma odaları
- Gösterge paneli destek kirişi
- Şanzıman gövdesi
- Emme manifoldu
- Far mesnedi
- Açılır tavan iskeleti
- Ventil
- Hava Filtresi
- Soğutma peteği
- Araç ön paneli
- Travers
- Kaporta

Otomobillerde kullanılan ön panel çelik ve plastik teknolojisi ile üretildiğinde 25-30 kg ve yaklaşık 60 parçadan oluşurken, magnezyum kullanılarak üretilen parça tek bir parçadır ve ağırlığı yalnızca 10 kg' dır. Bu sadece çok çarpıcı tek bir örnektir. Otomobilin her bir parçası böylesi uygulamalar için uygundur. Şekil 5.2 bir otomobilin değişik kısımlarında magnezyum kullanımıyla elde edilen ağırlık kazancını göstermektedir (Kaya vd., 2002; Web site, 2008)



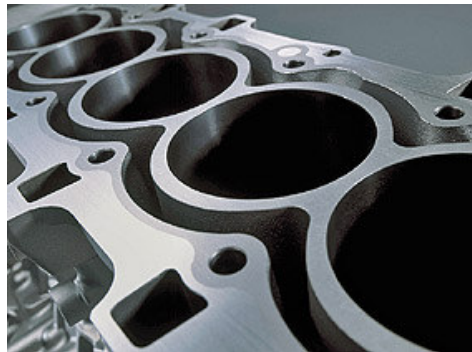
Şekil 5.2 Magnezyumun çelik ve alüminyuma göre sağladığı ağırlık kazancı(Web site, 2008)

5.2.1 Magnezyumun Motor ve Transmisyon Parçalarında Kullanımı

Dişli kutuları, emme manifoldları, karterler, yağ pompası vb. gibi yüksek sıcaklıklarda çalışan parçaların üretimi için Mg alaşımları bir potansiyel oluşturmaktadır.

İçten yanmalı motor bloklarında alüminyum, yüksek sıcaklıklara dayanımı ve yüksek mekanik gerilmeleri karşılayabilmesi nedeniyle yaklaşık 50 yıldır kendine yer bulmaktadır. Günümüzde ise dökme demirin yerini almaya başlamıştır. Ancak, alüminyum motor bloğu dökme demirden yapılabildiğine göre % 66 hafifken, magnezyum blok ise % 75 daha hafiftir. Daha hafif olmasının yanında yüksek şok ve çökme dayanımı vardır. Ayrıca alüminyuma göre ses ve titreşimi daha iyi sönmeler.

Araçların en ağır parçası motorları ve motorun da ağırlıkça % 20-25' i motor bloğu olduğundan, buradaki çalışma koşullarında fonksiyonelliğini koruyabilecek bir malzeme geliştirmek yıllardan beri otomotiv üreticilerinin değişmeyen hayali olmuştur. Bu sayede yakıt tüketimi ve gaz emisyonunda azalmaya gidilebilir.(Web site, 2008)



Şekil 5.3 Motor bloğu (Kaya vd., 2002)

Güncel örneklere bakıldığında, VW'in yüksek mekanik ve termal özellikleri olan AMC-SC1 alaşımını Lupo' nun motor bloğunda kullandığı görülmekte olup 3 silindire sahip bu dizel motor bloğu 14 kg ağırlığındadır ve alüminyum versiyonundan % 25 hafiftir.

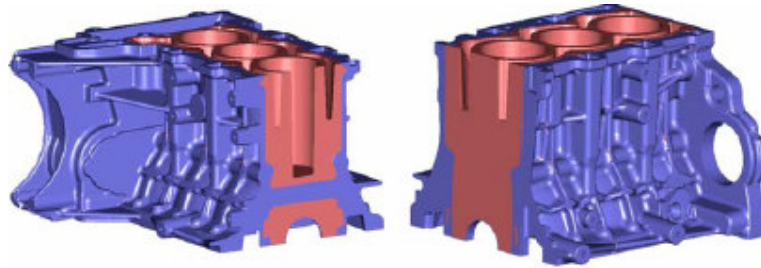
Audi' nin V8 Quattro modelinde de, motor bloğunda kullanılan magnezyum sayesinde araç diğer 8 silindirli benzerlerine göre 5 kg hafiflemiştir.

5 Mart 2005' de piyasaya çıkan 6. nesil BMW6 Serisinde de daha hafif altı silindirli magnezyum-alüminyum kompozit motor blok kullanılmıştır. Serinin zirvesindeki model olan BMW 6.30i' de yer alan sıralı altı silindirli motor, önceki modeline göre 27 bg (20 kW) gibi önemli bir artışla 258 bg'lik (190 kW) bir motor gücü sunmaktadır. Bu özellikler; yeni 3 litrelik 161 kg ağırlığındaki bu motoru, segmentindeki en güçlü ve en hafif altı silindirli motor haline getirmiştir.

Minimum ağırlığı hedefleyen BMW, ilk defa yüksek kapasiteli seri üretimler için bu özel motorda, alüminyuma göre ağırlığı %30 daha az olan magnezyum kullanmıştır. Magnezyum özellikle karterde, krank mili yatağında ve silindir kapağında kullanılırken, iç kısımda alüminyum kullanılmıştır. AJ62 alaşımı kullanılan motor (Şekil 5.4); dökülebilirlik, sürünme direnci, korozyon direnci ve minimum ön gerilme kaybı özelliklerinin muhteşem bir kombinasyonudur (Fent, 2005).

Almanya'da 2000 yılına kadar kabaca 1 milyon dev kamyon üretildiği düşünülmüş ve bunların ara şanzımanlarında ortalama 7 kg magnezyum alaşımı kullanıldığı bildirilmiştir (Şekil 5.6).

2002' de VW Passat ve Audi A4 - A6 için günde 600 adet manuel şanzıman yine basınçlı döküm AZ91D alaşımından üretilmiş, aynı şanzıman Çin' de üretilen VW Santana modelinde de kullanılmıştır. Manuel şanzımanlarda 125 °C nin altında olan çalışma sıcaklıkları otomatik şanzımanlarda daha yüksektir. Ford Motor Company de AZ91D alaşımından yaptığı silindir kapağını araçlarında kullanmıştır. Magnezyum alaşımı silindir kapağı 1.15 kg ağırlığındadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.4 Kesilmiş halde Mg-Al kompozit motor bloğu (Fent, 2005)

Yarış arabalarında da süper sıcaklık özellikleriyle bilinen WE54 alaşımları kullanılmaktadır. Formula-1 arabalarının çoğunun motor parçalarında yerini almıştır. WE54 katkıli pistonların, zorlu yarış koşullarında gelecekte de önemli katkılar sağlaması beklenmektedir (DTI, 2004).



Şekil 5.5 Silindir kapağı (DTI, 2004)



Şekil 5.6 Ara şanzıman (DTI, 2004)

5.2.2 Magnezyumun Gövde Elemanlarında Kullanımı

AZ91D, AM50, AM60B ve AS41B, otomotiv sektöründe çok kullanılan alaşımlar olup karakteristikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 - Çok kullanılan bazı Mg alaşımlarının özellikleri (Avedesian vd., 1999)

Alaşım	Karakteristik Özellikleri
AZ91D	Mükemmel dökülebilirlik, iyi dayanım
AM50	Mükemmel süneklik, yüksek enerji absorblama kapasitesi
AM60B	AM50' ye benzer, daha iyi dayanım
AS41B	İyi dayanım, iyi dökülebilirlik, 150 C de iyi sürünme direnci

Günümüzün uygulama örnekleri arasında, Mercedes' in Roadstar modelinde kullandığı basınçlı dökümle üretilmiş AM20 ve AM50 alaşımli koltuk iskeletleri verilebilir. Magnezyum iskelet 8.4 kg iken, aynı koltuk çelik ile yapıldığında 35 kg gelmekte ve 20 ila 30 zımbalama ve kaynak işlemi gerektirmektedir. Şekil 5.7'de magnezyum koltuk parçasının örneği verilmiştir. Devamında Çizelge 5.4' de ise otomotivde çok kullanılan bazı magnezyum alaşımli parça örnekleri ve üretim yöntemleri, Çizelge 5.5 ' te ise bazı alaşımların mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.7 Magnezyum koltuk iskeleti (Avedesian vd., 1999)

Araç koltuklarının çok yüksek güvenilirliğe sahip olması gereklidir. Koltuk kızıakları aşırı eğme ve burulma dayanımına sahip olmalıdır. Çünkü bu parçalar birbirine açılı olarak yerleştirilmiş profillerle birleştirilirler. Karakteristik özellikleri yüksek dayanım, optimum deformasyon davranışı ve düşük parça ağırlığıdır (Zeytin, 1999; Kaya vd., 2002).

Çizelge 5.4 - Otomobil parçaları, alaşım çeşitleri, üretim yöntemleri ve ağırlıkları (Kaya vd., 2002)

Parça	Alaşım	Ağırlık	Üretim Şekli
Direksiyon simidi	AM60	0,8 kg	Soğuk hazneli bas. dök.
Koltuk arkası ve koltuk altlığı	AM60B	1,6 kg	Soğuk hazneli bas. dök.
Pedal	AZ91B	0,65 kg	Soğuk hazneli bas. dök.
Far ve Kapı Desteği	AZ91D	0,37 kg	Soğuk hazneli bas. dök.
Kilit yuvası	AM60	0,3 kg	Sıcak hazneli bas. dök.

Çizelge 5.5 - Otomotiv endüstrisinde çok kullanılan bazı magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri (Kaya vd., 2002)

Özellik	Birim	AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Çekme Dayanımı	MPa	200 (230)	225 (240)	210 (230)	190 (210)	215 (240)	175 (220)	230 (230)
Akma Dayanımı	MPa	140 (160)	130 (130)	125 (125)	90 (90)	140 (140)	110 (120)	145 (145)
Basma Akma Dayanımı	MPa	160	130	125	90	140	110 (106)	145
Kırılma Uzaması	%	5 (7)	8 (13)	10 (15)	12 (20)	6 (15)	9 (13)	10 (11)
Elastik Modül (Çekme)	GPa	45	45	45	45	45	45	45
Elastik Modül (Kayma)	GPa	17	17	17	17	17	17	17
Brinell Sertlik		70	65	60	45	60	55	60
Darbe Dayanımı, Charpy (Çentiksiz)	J	6 (9)	17 (18)	18 (18)	18 (18)	4 (16)	5 (12)	5 (12)

*Parantez içindeki değerler basınçlı dökümle elde edilmiş test parçalarıyla ölçülmüştür.

Otomobillerde ağırlıktan azalma konusunda, üzerinde en çok çalışılması gerektiği kabul edilen parça direksiyon simididir. Bunun nedeni direksiyon simidinin içinde bir hava yastığı olacak şekilde dizayn edilmiş olmasıdır. Bu nedenle de direksiyon simidinin ağırlığı azaltılmalıdır.

Japonya' da direksiyon simidi AM60HP magnezyum alaşımlarından üretilmektedir. Bu alaşım sağlamlığı ve şok enerjileri absorbe etme özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ağırlık yine burada da baskın rol oynayan en önemli faktördür. Soğuk hazneli basınçlı dökümle üretilen bu parça 0.8 kg gelmektedir.



Şekil 5.8 Direksiyon simidi (DTI, 2004)

Gösterge paneli, AM50 veya AM60B Magnezyum alaşımından imal edilirse 12 kg, çelikten imal edilirse 18 kg gelmektedir. Ayrıca birleştirme ve dizayn kriterleri de göz önüne alındığında magnezyum kullanımının daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır. Örnek verilirse gösterge paneli dizaynında iyileştirme yapıldığında magnezyum alaşımı gösterge paneli 25 ayrı parçanın birleşmesi ile oluşurken, çelik tablo 67 ayrı parçanın birleşmesi ile oluşmaktadır. 2004 yılında Kuzey Amerika'da yalnızca gösterge paneli uygulamalarında yıllık 25.000 ton magnezyum kullanılmıştır.



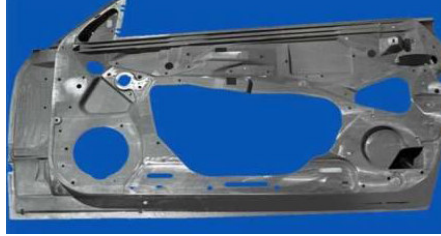
Şekil 5.9 Land Rover gösterge paneli (DTI, 2004)

Araçların ön panellerinden bahsedecek olunursa, yıllardır çelik ve alüminyumdan yapılan tampon başlı başına bir teknoloji olmuştur. Ancak aynı enerjiyi absorbe edecek karakterde ve rekabetçi bir maliyete sahip magnezyumu tampon yapımında kullanmak da, daha hafif bir araç için atılmış bir adımdır.

Araç ağırlığına paralel artan enerji ihtiyacı, enerji tüketimiyle paralel artan CO2 emisyonu ve

araçların ön kısmındaki elverişsiz ağırlık dağılımı ancak magnezyumdan yapılmış daha hafif parçalarla sağlanabilmektedir (Li, 2004).

Magnezyum alaşımları kaporta elemanları içinde de kendilerine kullanım yeri bulmuşlardır. Volvo' nun kapı içlerinde AM60 alaşımını kullandığı başarılı uygulamaları vardır. Bu parça 5.5 kg ağırlığında olup, çelikten imal edilmiş benzerine göre % 45 hafiftir.



Şekil 5.10 Kapı içlerinde AM60 (Volvo Car Corporation, 2003)

Magnezyum alaşımları ile iç bagaj kapağı gibi karmaşık ve ince kesitlerin de magnezyum alaşımlarından döküldüğü görülmektedir. VW Lupo' nun AM50 alaşımından basınçlı dökümle üretilmiş iç bagaj kapağı 2.7 kg ağırlığındadır ve çelik versiyonundan % 40 daha hafiftir.

Ancak magnezyum alaşımlarından üretilen saclar kaporta panellerinde istenen mekanik özellikler, korozyon direnci ve yüzey kalitesi ihtiyaçlarını karşılamaktan uzaktır. Bu yüzden sac üretimi geliştirilmelidir. İyi bir yüzey kalitesi için saclar 220 °C nin üzerinde haddelenmemeli ve mekanik özellikleri akma sınırı 160 MPa , çekme dayanımı 250 MPa' dan, uzama % 20' den büyük olmalı ve 1500 mm genişliğinde üretilebilmelidir.

5.2.3 Magnezyumun Şasi Parçalarında Kullanımı

Magnezyumun şasi elemanlarında kullanımı için de çalışmalar vardır. Süspansiyon parçaları, motor oturma kızıağı vb. gibi emniyet gerektiren parçaların üretimi konusunda magnezyum alaşımlarından yararlanmak amaçlanmıştır. Bu parçalarda yüksek dayanım ve sünekliğin yanı sıra, korozif ortamda değişen gerilmeler altında yüksek bir yorulma dayanımının bir arada olması gereklidir (Kandemir vd., 2003).



Şekil 5.11 Motor oturma kazığı (Centro Ricerche FIAT, 2003)

Otomobillerde jant havalandırması ile fren kızaklarına hava iletimi sağlanır, bu da duruş emniyetini artırır. Jantlarda magnezyum hem sıcak mukavemeti, hem de düşük ağırlığı nedeniyle tercih edilir. Magnezyum hafifliğinden dolayı tekerleklerde de kullanılır. Honda Prelude modelinde basınçlı dökümle üretilmiş AM60B alaşımli jantlar kullanılmaktadır. Her bir jant 5.9 kg' dır (Zeytin, 1999)



Şekil 5.12 Jant (Centro Ricerche FIAT, 2003)

Magnezyum, % 12' nin üzerinde plastik deformasyon kabiliyeti ile travers yapımında kullanılabilir. Magna Steyr isimli Alman şirketi AZ31B alaşımını ekstrüzyonla üreterek bir travers imal etmiştir. Test sonuçları da göstermektedir ki, magnezyum ile alaşımlandırılmış bir travers ile alüminyuma göre ağırlıkta % 24 azalmanın yanı sıra, benzer çarpma karakteristikleri ve sönümlenme kapasitesi elde edilebilmektedir.



Şekil 5.13 Travers (Centro Ricerche FIAT, 2003)

Avrupada otomobil üreticileri Ar-Ge çalışmalarının çok masraflı olmasından dolayı, bir araya gelerek çeşitli projeler yürütmüşlerdir. Mg-CHASSIS bunlardan biridir. Geliştirilmesi hedeflenen düşük maliyetli basınçlı döküm alaşımlarında:

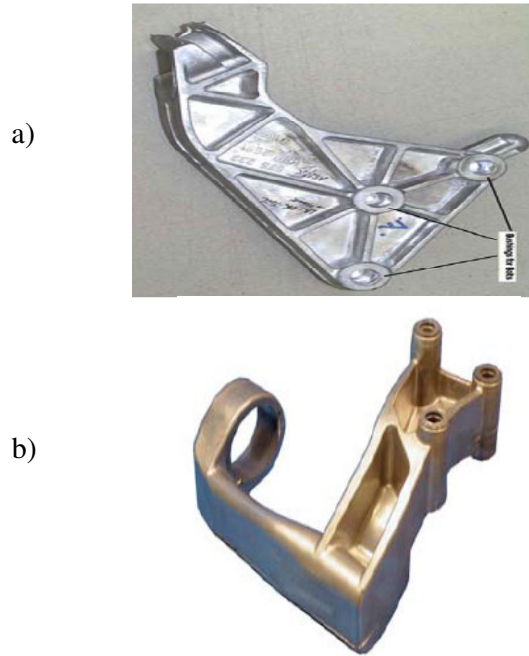
- Basınçlı döküm A380 ile karşılaştırılabilir dayanım.
- AZ91D' den daha iyi yorulma dayanımı, uzama ve darbe direnci
- Yine AZ91D' ye benzer veya daha iyi dökülebilirlik ve korozyon direnci gereklidir.

Yapılan denemelerde aşağıdaki alaşımlar istenen sonuçları sağlamıştır.

Çizelge 5.6 Yeni alaşımlar (Rausch ve Ziese, 2003)

	Temel Alaşım	İlave			Çekme Day.(MPa)	% Uzama	Darbe Day. (J)
		%RE	%Ca	%Sr			
MRI-1	AM60	1,5	0,3	0,4	258	16	12
MRI-2	AM70	1,00	0,2	*	280	12	12
MRI-3	AM80	1,00	0,2	*	270	7	7
MRI-4	AM70	A	0,45	0,7	278	10	11

Geliştirilen bu alaşımlardan uygulama örnekleri olarak yüksek basınçlı döküm motor braketi ve pres döküm transmisyon elemanı verilebilir (Rausch ve Ziese, 2003).



Şekil 5.14 a) Motor braketi b) Transmisyon parçası (Rausch ve Ziese, 2003)

Magnezyum alaşımları radyatör desteğinde de kullanım yeri bulmaktadır. Ford' un bu konuda AM50A alaşımından örnekleri (Şekil 5.15) vardır. AM50A alaşımı radyatör desteği yalnızca 6 kg ağırlığındadır.Çizelge 5.7'de magnezyum alaşımlarından üretilmiş bazı parçaları göstermektedir.



Şekil 5.15 Radyatör desteği (Li, 2004)

Çizelge 5.7 Magnezyum alaşımlarından üretilmiş çeşitli parçalar (Avedesian vd., 1999)

Şirket	Parça	Araç	Alaşım
Ford	Debriyaj yuvaları, yağ karteri, direksiyon kolonu Manuel transmisyon kutusu gövdesi	Ranger	AZ91HP
General Motors	Valf kapakları, hava filtresi, debriyaj pedalı Fren pedalı, debriyaj pedalı Direksiyon kolonu braketleri	Corvette Pontiac Pontiac	AZ91HP AZ91D AZ91D
Chrysler	Destek braketleri, Yağ karteri Direksiyon kolonu Destek braketleri, Yağ karteri	Jeep LH Viper	AZ91HP AM60B AJ62
Mercedes-Benz	Koltuk iskeleti	500 SL	AM20/50
Alfa-Romeo	Çeşitli bileşenler (45kg)	GTV	AZ91B
Porsche AG	Çeşitli bileşenler (5 3 kg) Tekerlekler (7,44kg)	911 944 Turbo	AZ91D
Honda	Silindir Kapakları Tekerlekler (5.9kg)	City Prelude	AZ91D AM60B
Toyota	Direksiyon simidi Silindir bloğu, yağ pompası, kam mili kapağı	Lexus Quad4	AM60B ZE41A

6. MAGNEZYUM ALAŞIMLARINDAN OTOMOTİV PARÇALARI ÜRETİMİNDE YENİ TEKNOLOJİLER

Günümüzde magnezyum alaşımlarından üretilen parçaların çoğu geleneksel yüksek basınçlı kalıba döküm yöntemleri kullanılarak üretilmektedir. Büyük boyut ve et kalınlığına sahip parçalar için soğuk hazneli proses tercih edilirken, küçük boyutlu ve nisbeten daha ince kesitli parçalar için de sıcak hazneli döküm prosesi tercih edilmektedir.

Geleneksel basınçlı kalıp döküm yöntemi; yüksek hacimli, verimli ve düşük maliyetli üretimler için çok uygun olmasına rağmen , gözenek oluşumu konusu parça kalitesini sınırlayıcı en önemli problem olarak durmaktadır. Bu nedenle yöntem, özellikle yüksek güvenlik isteyen uygulamalarda sıkıntılar yaratmaktadır.

Gözeneklerin oluşumu:

- Ergiyik metalin kalıba doldurulması sırasında gaz sıkışması,
- Ergiyik içinde çözünmüş gazlardan dolayı sıkışma,
- Katı halde madde yoğunluğunun sıvı hale göre fazla olmasından yani kendini çekmeden kaynaklanabilir.

Gözenekler ,ürünlerin çekme dayanımının ve uzama özelliklerinin zayıflamasına neden olur. Ayrıca otomotiv uygulamalarında önemli olan emniyet,konfor,güvenirlilik gibi bazı anahtar karakteristiklerin de etkilenmesine neden olduğundan, bazı yeni teknolojiler geliştirme konularında çalışmalar yapılmaktadır. Magnezyum alaşımlarıyla kullanılacak olan bu yeni teknolojilerin, hassas ve daha performanslı ürünler vermesinin yanında, geleneksel basınçlı dökümle maliyetler ve verimlilik anlamında rekabetçi olmaları da hedeflenmiştir (Vinarcik, 1989; Kleiner vd., 2002).

6.1 Yarı-Katı Metal İşleme Yöntemleri

Yüksek hassasiyette parçalar imal etme yöntemlerinden biri, yarı-katı metal işleme tekniğidir. Bu teknik, geleneksel basınçlı döküm yöntemlerine göre daha düşük gözeneklilik, ısıl işlem kolaylığı, ve daha iyi mekanik özellikler gibi birtakım avantajları da beraberinde getirir. Ayrıca bu yöntem sayesinde daha karmaşık geometride parçaların dökümü kolaylaşır ve kalıpların ekonomik ömrü de uzar (Fan, 2005).

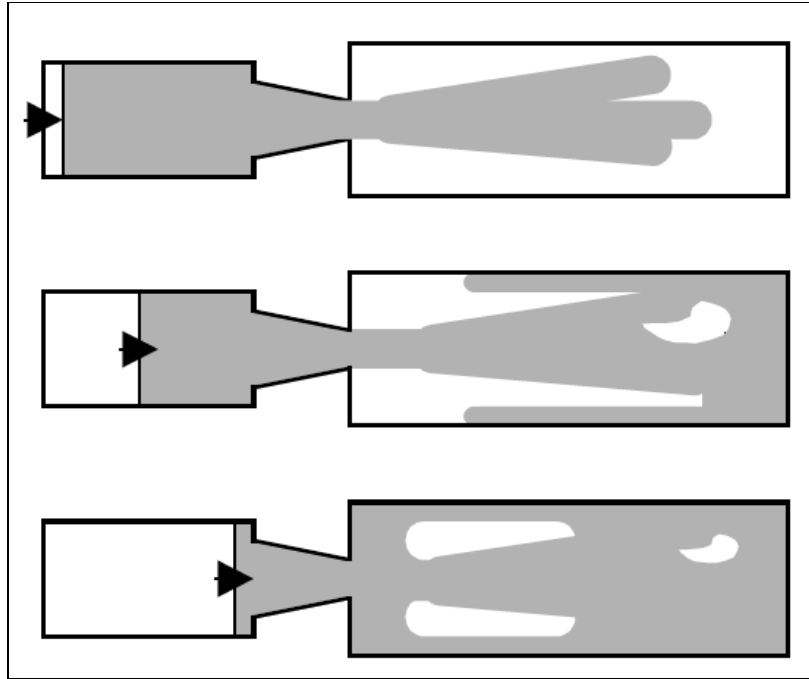
Metalin kalıba enjeksiyonu sırasında ortaya çıkan yüksek hızlar , malzemenin türbülanslı akışına ve devamında sıkışmış gazların da katkısıyla gözeneklere neden olmaktadır. Eğer ergiyik metalin viskozitesi arttırılabilirse, 'Re' sayısı düşecek ve metal akışı düzlemsel hale

gelecektir. Bu da sıkışan gazların minimize edilerek gözenekliliğin önlenmesini ya da en azından bir miktar azaltılmasını sağlar.

Bu şekilde daha viskoz bir ergiyik kullanma fikri, yarı-katı metal işleme yönteminin temelini oluşturmaktadır. Bu teknoloji de 2 alt kategoriye ayrılarak incelenebilir. Bu yöntemler yarı-katı metalin elde edilmiş şekline göre birbirlerinden ayrılırlar (Vinarcik, 1989).

- Thixo Döküm

- Rheo Döküm



Şekil 6.1 Türbülanslı ya da düzlemsel olmayan akışta gaz sıkışması (Vinarcik, 1989)

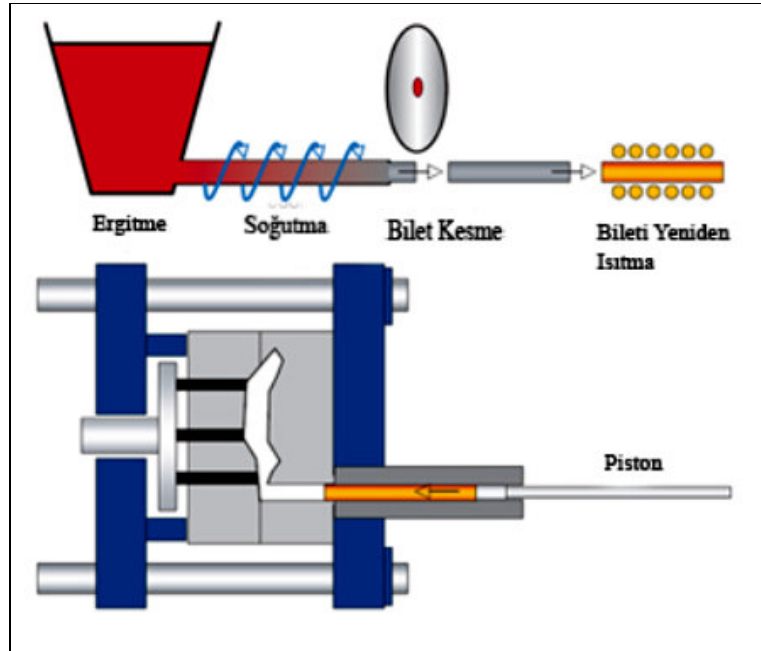
6.1.1 Thixo Döküm

Bu yöntem parça bütünlüğü ve performansını iyileştirmesine karşın, yüksek maliyetleri ve esnek olmaması sebebiyle çok kabul gören bir yöntem değildir. Proses adımları metalin ergitilmesinin ardından soğutulması, biletler halinde kesilmesi ve ardından kesilen biletlerin yeniden ısıtılarak basınçlı dökümle şekillendirilmesinden oluşur. Malzeme yarı-katı halde enjekte olduğundan kendini çekme riski azaltılmış olur.

Thixo döküm yönteminin en önemli özelliği, dökümdeki kaba ve dendritik iç yapı oluşumunun , ergiyik metale uygulanan elektromanyetik karıştırma işlemiyle ortadan

kalkması ve onun yerine daha ince taneli, dövme haline benzer bir iç yapı elde edilmesidir (Vinarcik, 1989).

Ergiyik metale bir ön işlem gibi uygulanan bu karıştırma işlemi, yüksek maliyetinden dolayı yöntemin yaygınlaşmasını önleyen en büyük engeldir. Ayrıca kalıba basılarak şekillendirilecek malzemenin sürekli aynı kalitede üretilebilir olması gereklidir. Bu da yöntemin kullanımını sınırlayan diğer bir dezavantajdır. Bugüne kadar yapılan uygulamalarda thixo-kalıplama yöntemi ile daha başarılı sonuçlar alınmıştır (Fan, 2005).



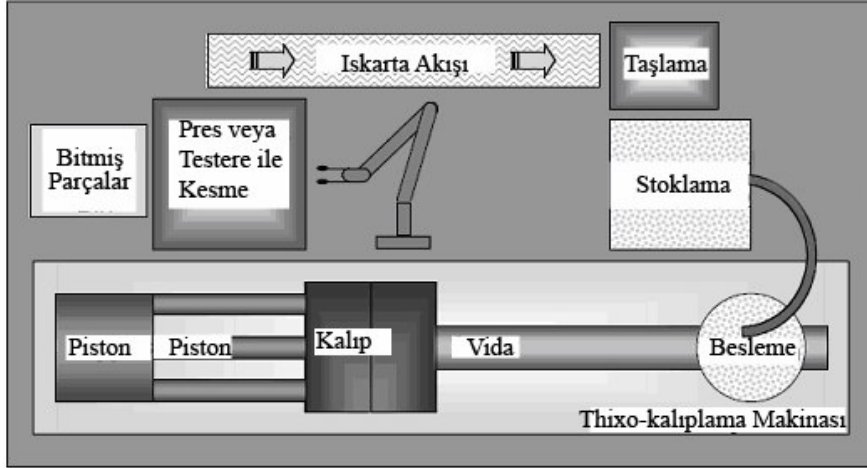
Şekil 6.2 Thixo döküm yöntemi (DTI, 2004)

Thixo döküm yöntemi yüksek basınç altında yapıldığından ince-kesitli parçaların da rahatlıkla dökülmesini sağlar. Ayrıca ürünün düşük gaz içeriği sayesinde kaynaklanabilirliği iyileşir. Yüksek basınçlı kalıp döküm ve alçak basınçlı kalıp döküm yöntemlerinin özelliklerini bir arada barındıran üstün bir döküm yöntemidir. Araç gövdesinde eklem bölgesi birleşme yerlerinde kullanılan thixo dökümle üretilmiş parçalar mevcuttur (Nobuhiro vd., 2001).

6.1.2 Thixo Kalıplama

Kesme, ayırma vb. pres operasyonlarından çıkan ıskartalar ve diğer magnezyum talaşları, basit vidalı bir enjeksiyon kalıp makinasına beslenerek, sıvı-katı bölgeye ısıtılır. Ardından vida mekanizması sayesinde kalıba enjekte edilerek yeni parçalar üretilir. Yöntem, esnek bir

yöntem olup sıvı-katı malzeme oranının değişmesiyle farklı iç yapılar elde edilebilir (Şekil 6.3) (Vinarcik, 1989).

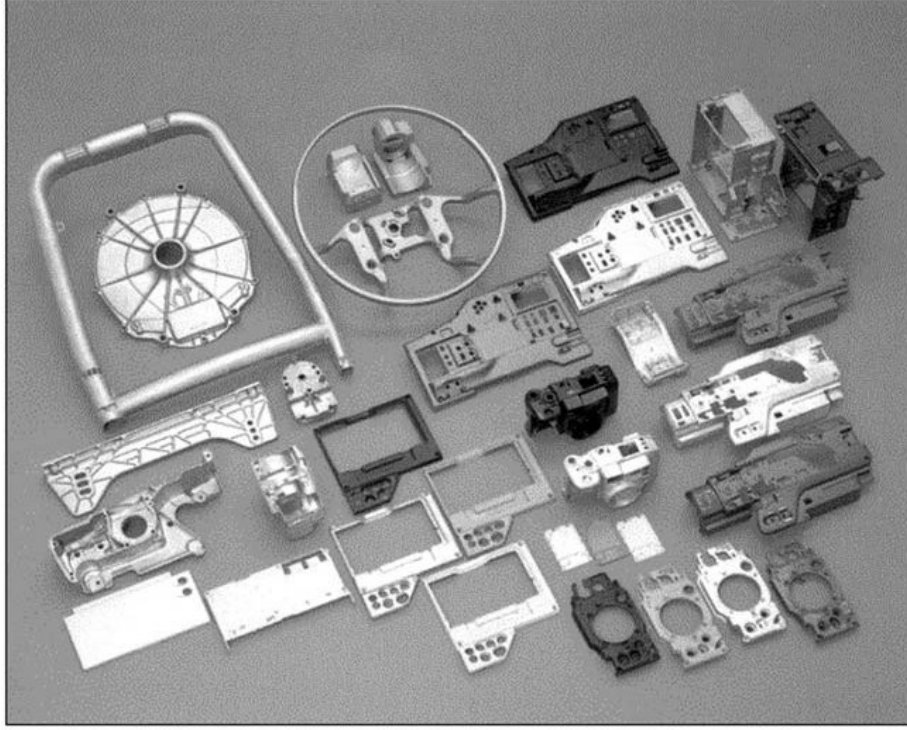


Şekil 6.3 Thixo kalıplama üretim döngüsü (Vinarcik, 1989)

Thixo Yarı-Katı metal işleme teknolojiyle üretilen parçalara örnek verecek olursak:



Şekil 6.4 Yarı-katı metal işleme yöntemiyle üretilmiş otomobil parçaları-Rölantı muhafazası,direksiyon mafsalı (Vinarcik, 1989)



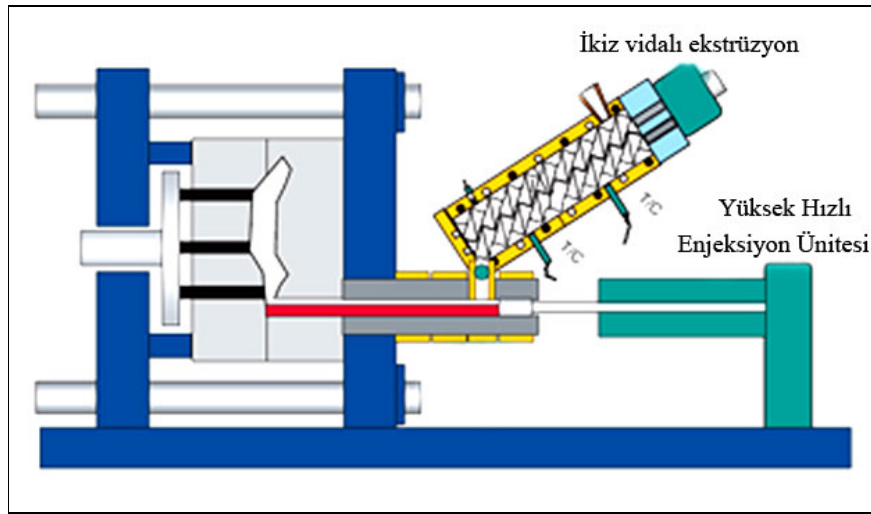
Şekil 6.5 Yarı-katı metal işlemeyle üretilmiş parçalar-Gövde braketleri,direksiyon simidi (Vınarcık, 1989)



Şekil 6.6 Yarı-katı metal işlemeyle üretilmiş magnezyum koltuk iskeleti (Vınarcık, 1989)

6.1.3 Rheo Döküm

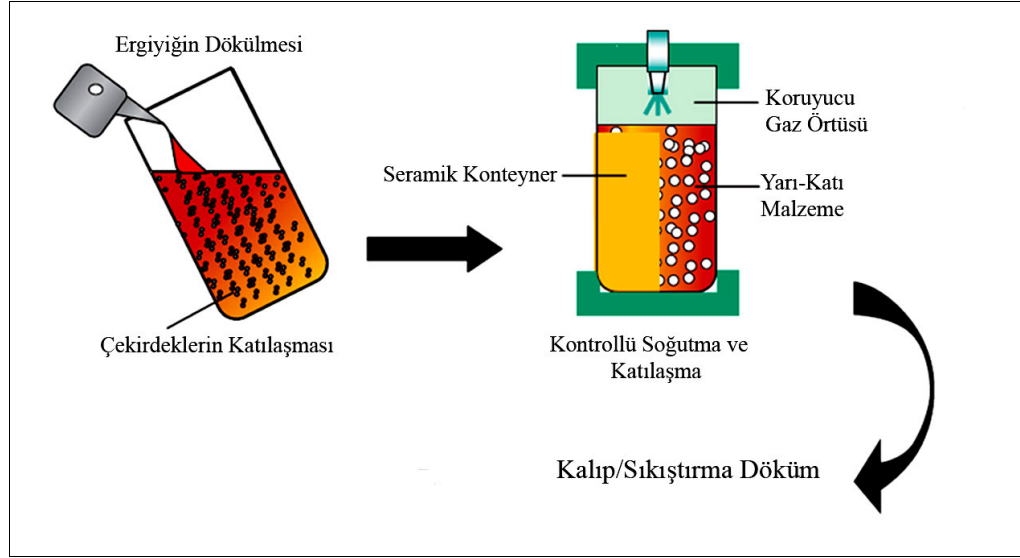
Son yıllarda thixo-döküm yönteminin ekonomik ve teknik zorluklarının önüne geçebilmek için rheo-döküm yöntemleri araştırma ve geliştirme çalışmalarında popüler hale gelmiştir. Rheo döküm sistemi, ikiz vidalı bir ekstrüzyon ünitesinden ve soğuk hazneli basınçlı döküm makinasından oluşmaktadır. İkiz vidalı ünite sayesinde ergiyik malzeme, yoğun turbülans ortamında ve yüksek kesme kuvvetleri altında yüksek kalitede yarı-katı malzeme haline getirilir. Bu yöntemde işlem başlangıcında ergiyik malzemenin kullanılması, thixo-dökümdeki gibi standart kalitede bilet üretimini gereksiz kılmaktadır (Fan, 2005).



Şekil 6.7 Rheo döküm (DTI, 2004)

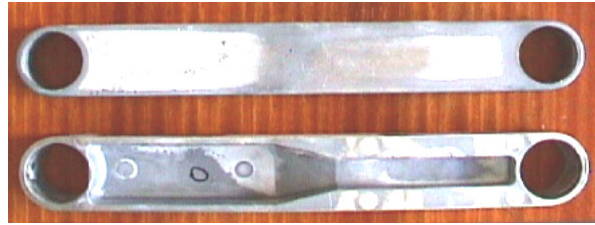
Rheo döküm yönteminin özel bir şekli olan rheo-konteyner yöntemi, ergiyik metalin koruyucu gaz atmosferi altında bir konteynere dökülmesi ve kontrollü soğutma işlemiyle yarı-katı malzemenin elde edilmesi şeklindedir. Ergiyik; yüksek soğuma oranlarını önlemek için, sıvılaşıma sıcaklığına çok yakın bir sıcaklıkta konteynere dökülür. Yine yarı-katı bölgedeyken, bir basınçlı döküm makinesine transfer edilerek şekillendirme yapılır.

Thixo dökümdeki gibi sürekli bilet üretimi ve bunların yeniden ısıtılmasını gerektirmez. Daha kaliteli ürünler verir, büyümeye açık bir yöntemdir (DTI, 2004).



Şekil 6.8 Rheo konteyner prosesi (DTI, 2004)

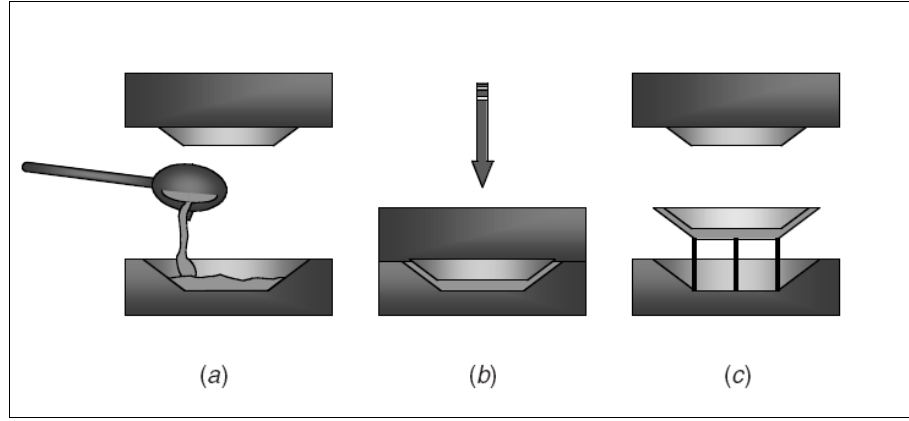
Rheo dökümle üretilen motor tutma braketleri Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 AM60 Motor tutma braketleri (Centro Ricerche FIAT, 2005)

6.2 Sıkıştırma Döküm

Dövme ve döküm yöntemlerini bir arada içeren yeni bir teknolojidir. Sıvı metalin bir dövme kalıbı içerisinde, baskı altında şekillendirilmesi esasına dayanır. Öncelikle sıvı metal, kalıbın açık pozisyonunda dövme kalıbına dökülür. Ardından kalıp kapatılarak, sıvı metalin kalıp içinde hareketi ve boşlukları doldurması sağlanır. Katılaşma esnasında kalıbın malzeme üzerinde bir dövme etkisi yaratmasından dolayı, dövme yapıya benzer yapı elde edilir. Buna göre kaba, dendritik bir yapı yerine, daha ince taneli bir yapı elde edilmiş olur. Katılaşma tamamlandıktan sonra parça kalıptan çıkarılır.

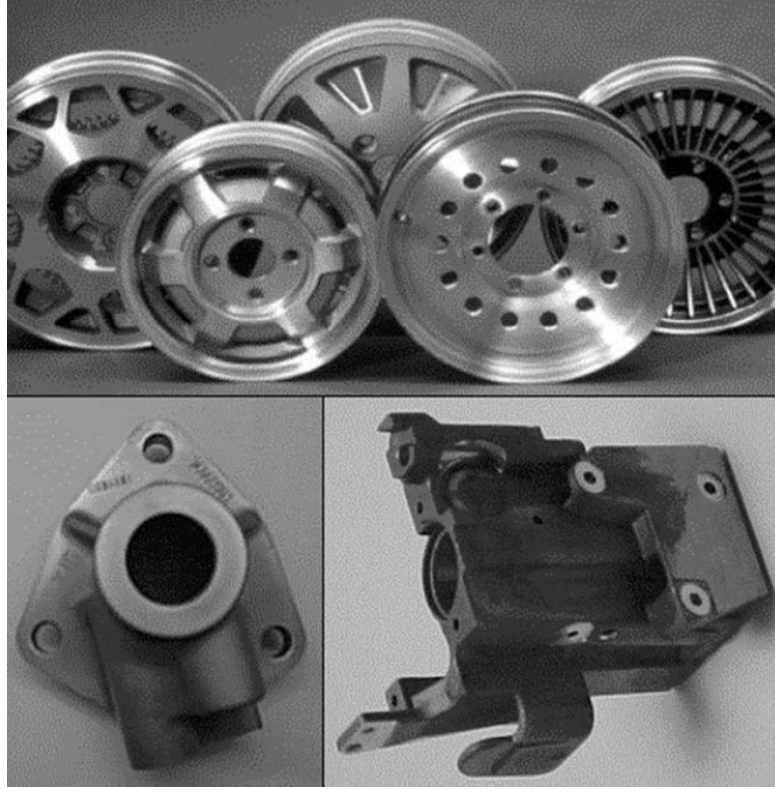


Şekil 6.10 Sıkıştırma döküm teknolojisi işlem adımları (Vinarcik, 1989)

Döngü zamanları, yavaş doldurma hızı ve katılaşıma göz önüne alındığında geleneksel basınçlı döküme göre biraz daha uzundur. İşlem sonunda iyileştirilmiş mekanik özellikler ve azaltılmış gözeneklilik elde edilir. Bu yöntemle üretilen parçalar çok farklı alanların yanında otomotivde de kullanılmaktadırlar. Pistonlar, motor braketleri ve direksiyon kolunu gövdeleri magnezyum uygulama örnekleri olarak verilebilir (Vinarcik, 1989).

Alaşımın akma ve çekme dayanımları döküm koşullarıyla çok önemli oranda değişirse de, alaşımın sünekliği seçilen döküm yöntemi ve alaşımın alüminyum içeriğinden oldukça etkilenmektedir. Alüminyum içeriğindeki artış, uzama miktarının azalmasına neden olmaktadır.

Benzer alaşımların aynı kalıpta, fakat thixo döküm ya da sıkıştırma döküm gibi farklı döküm yöntemleri kullanılarak dökülmesiyle, çok farklı mikroyapılar elde edilir. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş ve çok ince dağılmış β -fazı içeren Mg alaşımları daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Özellikle alaşımların süneklik değerleri açısından yarı-katı metal işleme yöntemleriyle üretilen alaşımlardan çok daha iyi performans gösterirler (Kleiner vd., 2002).

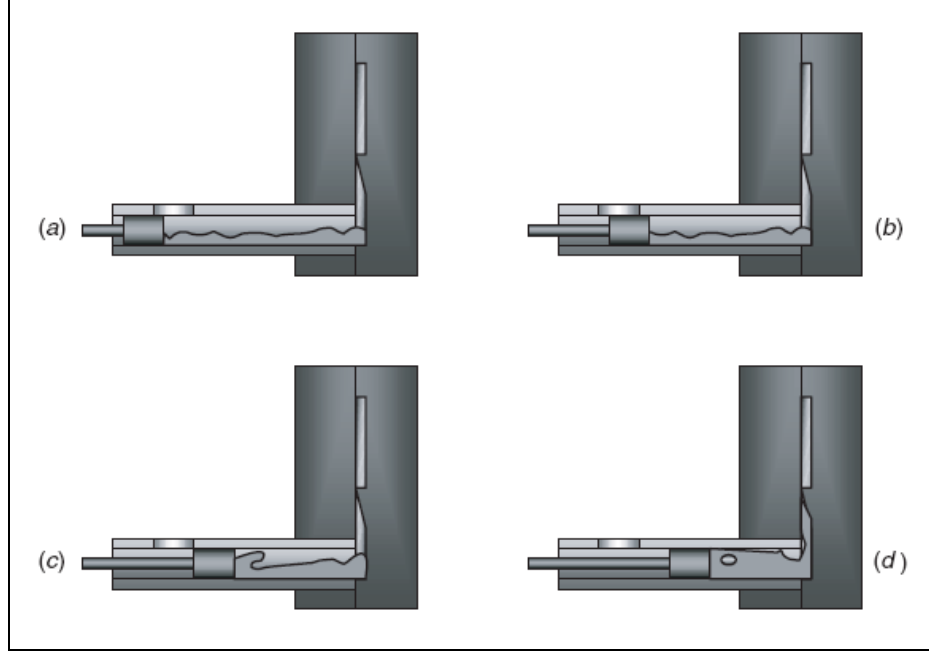


Şekil 6.11 Sıkıştırma Dökümle Üretilmiş Otomobil Parçaları-Jantlar,kontrol kolları (Vinarcik, 1989)

6.3 Vakumlu Döküm

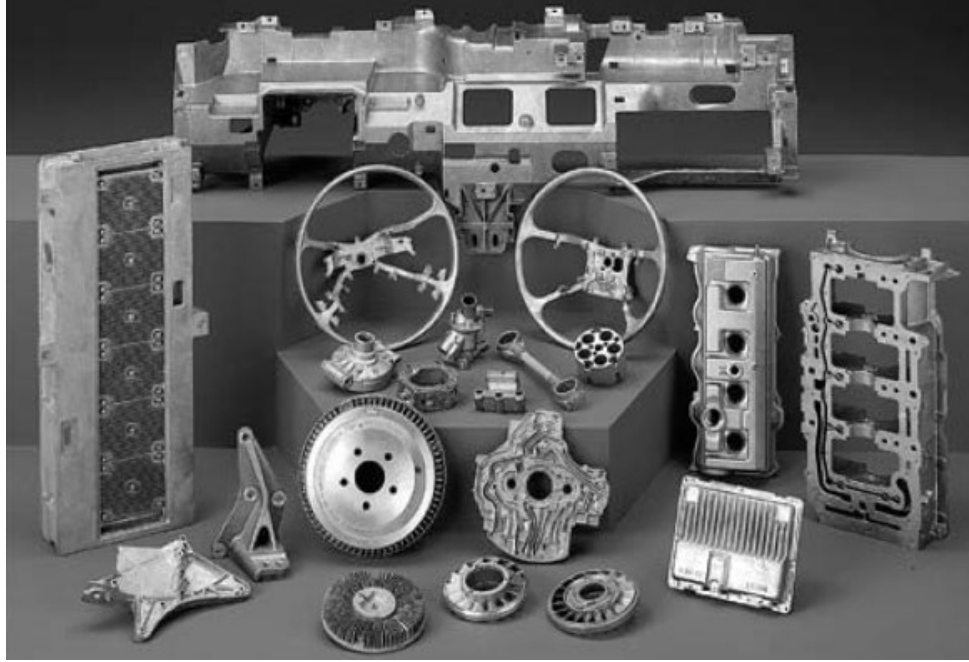
Kalıp boşluğunda veya sıvı metal yolunda sıkışmış gazların vakumla emilerek ortamdaki uzaklaştırılması esasına dayanan bir teknolojidir. Vakumun uygulanma süresi ne kadar fazlaysa, o kadar fazla gazın ortamdaki uzaklaştırılması sağlanır.

Vakumun zamanlaması da proste oldukça önemlidir. Metalin döküldüğü boşluk kapatılmadan vakum uygulanması, dışarıdan da gazların emilimine neden olur. Boşluk kapandıktan hemen sonra vakum uygulanmaması halinde , gazlar sıvı metal içinde sıkışarak dalga tepeleri şeklinde görüntüler oluştururlar (Vinarcik, 1989).



Şekil 6.12 Vakum zamanlaması (Vinarcik, 1989)

Bu yöntemle üretilen otomobil parçalarına ait örnekler Şekil 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.13 Vakumlu dökümle üretilmiş parçalar-Gösterge paneli,silindir bloğu (Vinarcik, 1989)

7. TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN OTOMATİK ŞANZİMAN KUTUSU MALZEMESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Ülkemizde üretilmekte olan ticari araçlarda halen A380 Al alaşımından imal edilmiş şanzıman kutusu kullanılmaktadır.Çalışmada, şanzıman kutusu malzemesinin ağırlığını hafifleterek,yakıt tasarrufunu maksimuma çıkarmak amacıyla,Al alaşımı yerine en uygun magnezyum alaşımı seçimi hedeflenmektedir.



Şekil 7.1 Ticari aracın genel görünüşü (Ford Otosan, 2008)

Otomotiv endüstrisinin emniyet ,konfor, güvenilirlik gibi isteklerinin ve ihtiyaçlarının yanısıra çevresel faktörler de çalışmada göz önünde bulundurulacaktır. Çözümler arasından en uygununa ulaşmak için uygulamada öncelikle çalışmanın amacı olan en hafif ama dayanıklı şanzıman kutusu malzemesini belirlemek için malzeme seçim kriterleri spesifik ve ayrıntılı olarak incelenecektir. Bunun ardından aracın şanzıman kutusunun dayanım analizi yapılarak ,seçilen malzemenin korozyon ve yorulma dayanımı açısından gereklilikleri karşılayıp karşılamadığı üzerinde durulacaktır.

7.1 Şanzıman Kutusu Tasarımı

Şanzıman kutusu tasarımına, parçanın fonksiyonu,amacı ve kısıtlarınının belirlenmesi ile başlanacaktır.Şanzıman kutusunda iyileştirme yapılmasının başlıca nedeni ,ağırlığı minimuma indirerek yakıt tasarrufu sağlamaktır.

7.1.1 Fonksiyonlar

Şanzıman kutusunun temel fonksiyonu "şanzıman dişlilerinin muhafaza edilmesi ve bu bölgenin dış etkenlerden korunması"dır (Çizelge 7.1). Bu fonksiyon şanzıman kutusunun, dişlileri tork konvertörü ile tamamen kavraması ile sağlanmaktadır.Şanzıman kutusu ve tork konventörü bir organı meydana getirmektedir.

Çizelge 7.1 Şanzıman kutusu fonksiyonu (Ford Otosan, 2008)

Temel Fonksiyon	Şanzıman dişlilerinin muhafaza edilmesi ve bu bölgenin dış etkenlerden korunması.
Fonksiyonun Sağlanması	Şanzıman kutusunun dişlileri koruması
Fonksiyonu Sağlayan Organ	Şanzıman kutusu ve tork konventörü
İncelenecek parça	Şanzıman kutusu

7.1.2 Amaç

Tasarımın fonksiyonları çerçevesinde istenilen tasarımın yapılmasının amacı şu şekilde verilebilir:

- Düşük Özgül ağırlık
- Yüksek Korozyon Dayanımı
- İşlenebilirlik
- İyi geri dönüştürülebilme
- Yüksek elatisite modülü
- Yüksek dinamik dayanım

7.1.3 Kısıtlar

Şanzıman kutusu tasarımında kısıtlar; standartlar ile belirlenen 'gereksinimler' ve standartların dışında kalan ve müşteri memnuniyetini hedefleyen 'özellikler' olmak üzere iki bölümde toplanabilir.

7.1.3.1 Gereksinimler

Otomotiv endüstrisi, insan sağlığı ve hayatı ile direk ilişkili bir sektör olduğu için bu sektöre yönelik yapılan birçok tasarımda ve malzeme değişikliğinde isteğe bağlı olmayan bazı gereklilikler vardır. Bu gereklilikler çoğu parça ve sistem için standartlar ile belirlenmiştir.

- 150 °C'ye kadar yüksek akma dayanımı
- Yüksek kopma uzaması
- 150 °C'de gevrekleşmeme
- Yüksek aşınma dayanımı(Dişli parçaları ile sürtünmeden dolayı)
- İyi korozyon dayanımı
- Geri dönüştürülebilme
- 140 – 150 °C arasında minimum cıvata yük tutma kaybı
- Yüksek dinamik gerilmelere dayanım (240NM'ye kadar)
- Rijitlik

7.1.3.2 Özellikler

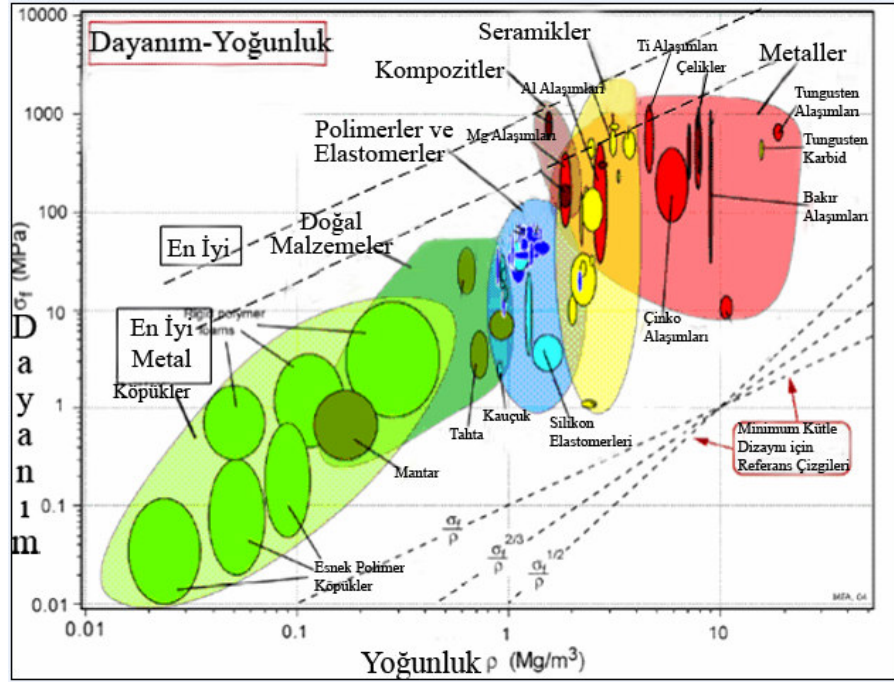
Şanzıman kutusu için belirlenen; standartlar ve şartnameler dışında kalan fakat kullanıcıya ve üreticiye fayda sağlayan özellikler şunlardır:

- Hafiflik
- Kolay montaj-demontaj
- Servis edilebilme
- Aracın ömrü boyunca dayanıklılık
- Düşük seviyede ses meydana getirme
- Düşük Maliyet

7.2 Kullanılabilecek Muhtemel Malzemeler ve Malzeme Seçimi

İstenilen malzeme özellikleri paralelinde, Ashby'nin hazırlamış olduğu Dayanım-Yoğunluk diyagramına göre(Şekil 7.2) kullanılabilecek muhtemel malzemeler şunlardır:

- Alüminyum
- Magnezyum
- Çelik
- Titanyum



Şekil 7.2 Dayanım-yoğunluk diyagramı (Avedesian vd.,1999)

Şanzıman kutusu yapımında kullanılması muhtemel malzemeler; hafiflik, korozyon direnci, yüzey işleme, elastiklik modülü, dinamik dayanım, geri dönüştürülebilirlik, şekillendirilebilirlik ve fiyat yönünden karşılaştırılmıştır (Çizelge 7.2).Karşılaştırmada '+' pozitif özellik olarak belirtilmiştir.

Çizelge 7.2 Şanzıman kutusu yapımında kullanılması muhtemel malzemelerin karşılaştırılması (Ford Otosan, 2008)

	Magnezyum	Çelik	Alüminyum	Titanyum
Düşük özgül ağırlık	+++	--	++	+
Korozyon dayanımı	-	-	++	+
Yüzey işleme	++	-	++	+
Elastisite modülü	+	++	+	+
Dinamik dayanım	+	++	+	+++
İşlenebilirlik	+++	+	++	+
Geri Dön.	+	+	+	+
Fiyat	-	++	-	~

Çizelge 7.2 ve Şekil 7.2'deki dayanım-yoğunluk diyagramındaki 'en iyi metal' çizgisinden alınan veriler neticesinde, bu uygulama için en uygun malzemenin magnezyum alaşımları olduğu görülmektedir.

7.3 Magnezyum Alaşımı Seçimi

İstenilen malzeme özellikleri ve gereksinimlerine göre şanzıman kutusunda kullanılacak muhtemel magnezyum alaşımlarının belirlenebilmesi için döküm koşullarındaki çekme,akma ve % uzama miktarları ise Çizelge 7.3’de gösterilmiştir.Muhtemel magnezyum alaşımları ise Çizelge 7.4’de gösterilmiştir.

Hat seviyesi şanzıman kutusu malzemesi Al alaşımlarından biri olan A380 alaşımıdır.

Çizelge 7.3 Magnezyum Alaşımlarının Özellikleri (Druschitz vd., 2002)

Alaşım	Döküm Koşullarında		
	Çekme Day. (MPa)	Akma Day.(MPa)	% Uzama
AZ91 HP	200-230	115-125	2,0-3,0
AS31 HP	195-220	120-145	6,0-7,5
AJ52 HP	190-210	110-130	5,0-6,0
MRI 153	210-225	140-150	6,0-7,0
AlSi9Cu3(A380)	205- 235	155-170	0,5-2,5

Çizelge 7.4 Magnezyum Alaşımları (Fent, 2005)

Alaşım
AZ 91 HP: GD-Mg Al 9 Zn 1
AS 31 HP: GD-Mg Al 3 Si 1
AJ 52 HP: GD-Mg Al 4,5 Sr 2
MRI 153: GD-Mg Al 8 Ca 1 Sr
A 380: GD-Al Si 9 Cu 3 Fe

En uygun iki magnezyum alaşımının AS31 HP(Mg-Al-Si) ve MRI 153(Mg-Al) olduğu çizelgeden anlaşılmaktadır.Fakat MRI 153 alaşımının korozyon performansı AS31 HP alaşımından daha düşük olması şanzıman kutusu için kullanımını sınırlandırmaktadır.

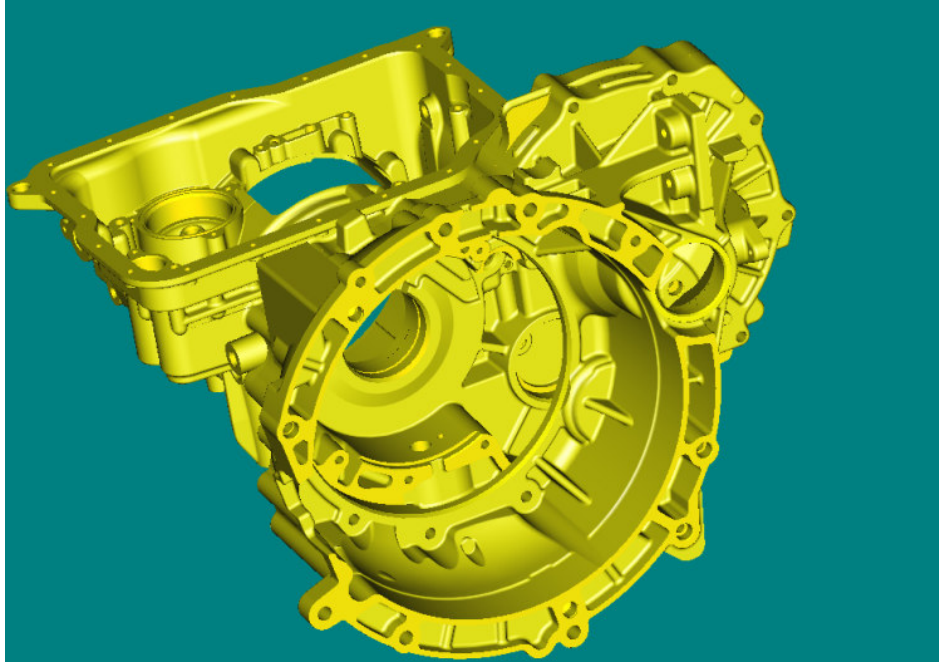
7.4 Şanzıman Kutusunun Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi

Kullanılması düşünülen Mg alaşımının ,tasarım esnasında belirlenen amaç ve kısıtları karşılayıp karşılamadığını belirlemek için sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi yapılmıştır.

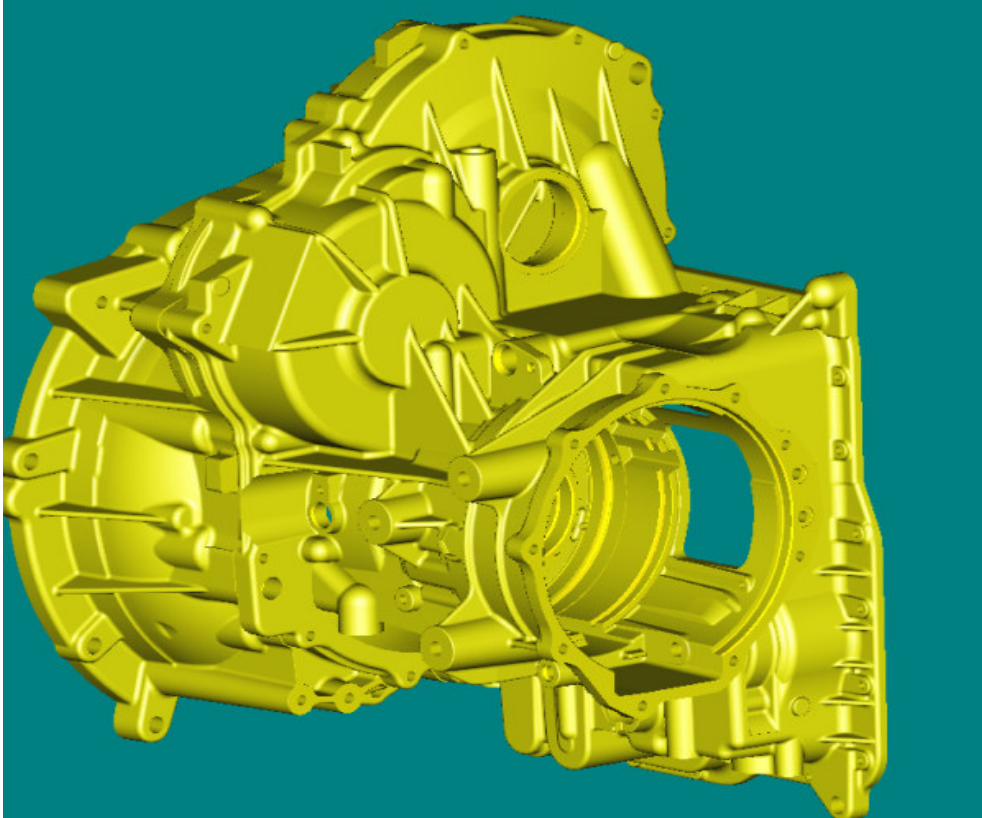
7.4.1 Al-Si-Cu Alaşım Malzemeli Şanzıman Kutusu

Mevcut şanzıman kutusu, Al-Si-Cu alaşımı olan A380 malzemesinden 640X800X740 boyutlarında imal edilmekte olan şanzıman kutusunun ölçüleri Şekil 7.5’te, önden ve arkadan

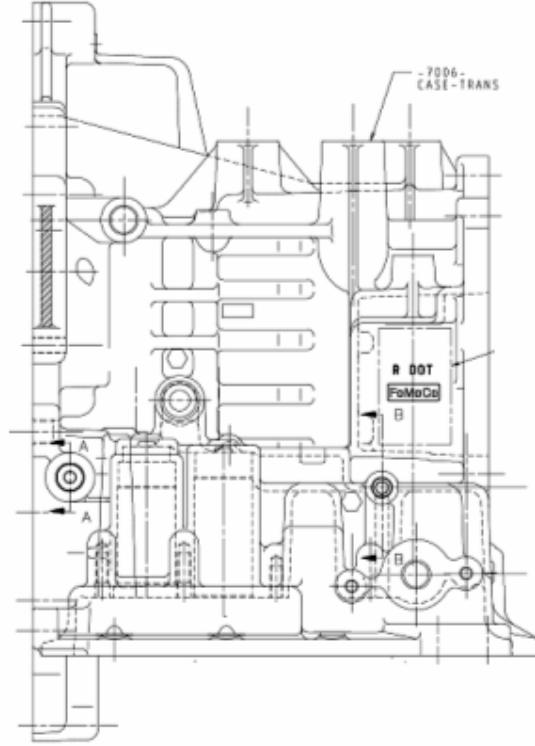
görünüşleri ise Şekil 7.3 ve 7.4'te verilmiştir.Mevcut şanzıman kutusu bağlantı elemanları orta karbonlu galvanizli çelikten (ISO 4762) imal edilmiştir.



Şekil 7.3 Mevcut şanzıman kutusu (Al-Si-Cu)-Önden görünüş (Ford Otosan, 2008)



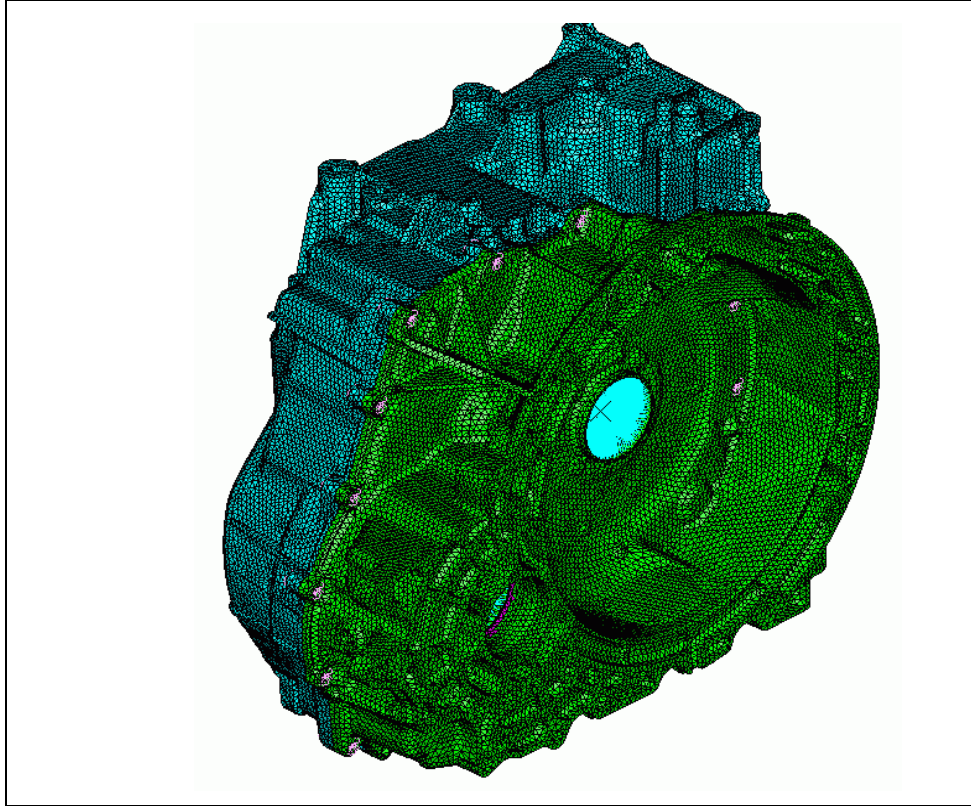
Şekil 7.4 Mevcut şanzıman kutusu(Al-Si-Cu)-Arkadan görünüş (Ford Otosan, 2008)



Şekil 7.5 Şanzıman kutusunun genel ölçüleri (Ford Otosan, 2008)

7.4.1.1 Al-Si-Cu Alaşım Malzemeli Şanzıman Kutusu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi

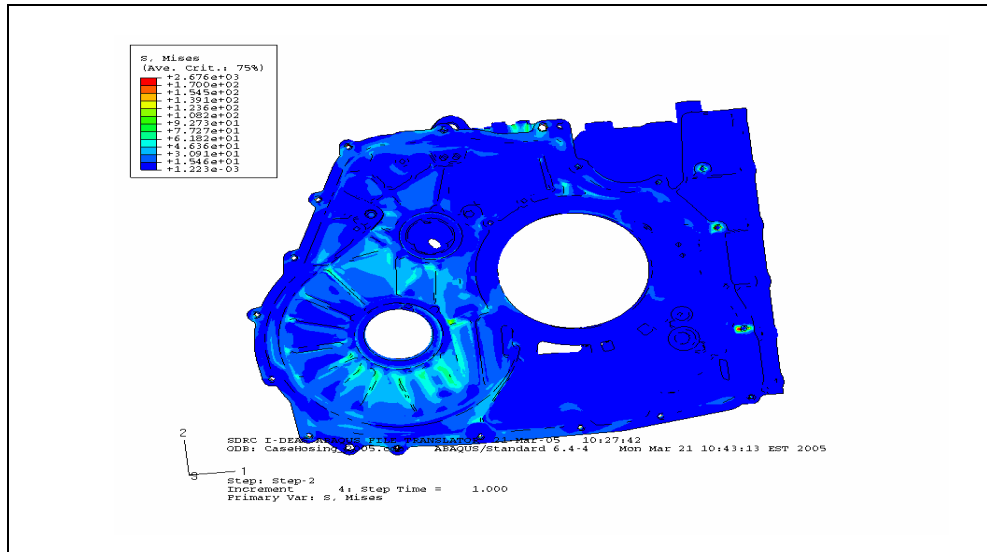
Mevcut şanzıman kutusunun sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi HyperMesh-2007 analiz programında yapılmıştır(Şekil 7.6). Bu analizde, şanzıman kutusunun araç gövdesine askı civataları vasıtasıyla bağlandığı bölgeler sabit kabul edilmiştir. Analiz şanzıman kutusunun tork konvertörü ile birleştiği deliğin iç çeperlerine uygulanmıştır. Şanzıman kutusunun deliğinin iç çeperlerine 6000N 'luk araç hareket yönünde kuvvet uygulanmıştır. Uygulanan bu kuvvet ve uygulama noktaları 00.00-R-853 no'lu Ford speğinde belirtilmiştir.



Şekil 7.6 Mevcut şanzıman kutusunun modeli (mesh yapısı) (Ford Otosan, 2008)

7.4.1.2 Gerilme Analiz Sonuçları

Analiz sonucunda bulunan en yüksek gerilme değeri 164.3 N/mm^2 'dir. Şanzıman kutusunun imal edildiği malzeme olan AISi9Cu3'nin akma sınırı 170 N/mm^2 'dir. Bu sebeple 164.3 N/mm^2 gerilme değeri emniyetli bir değerdir (Çizelge 7.3).



Şekil 7.7 Mevcut şanzıman kutusunun gerilme dağılımı (Ford Otosan, 2008)

7.4.2 Mg-Al-Si(AS31) Alaşım Malzemeli şanzıman Kutusu

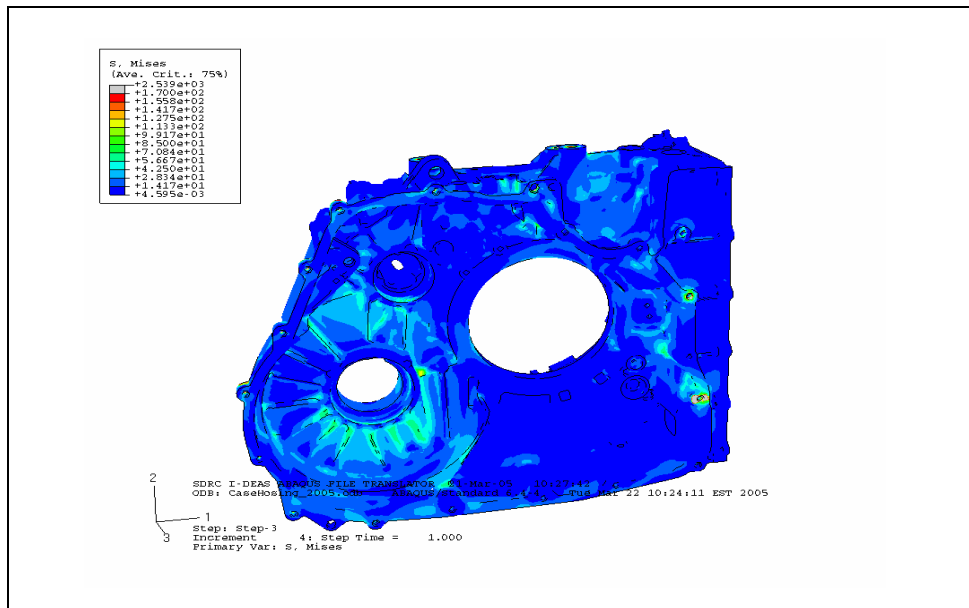
Ağırlık azaltımını sağlamak amacıyla şanzıman kutusunun malzemesi bir magnezyum alaşımı olan AS31(Mg-Al-Si) 'dan imal edilmek istenmektedir.Tasarım olarak mevcut şanzıman kutusunun aynısı kullanılmıştır.Bağlantı elemanları ise ağırlık kazanımını sağlayacak şekilde ve cıvata ylık tutma kaybını en aza indirmek amacıyla akma gerilmesi 350MPa olan 6056 Al alaşımı seşilmiştir.

7.4.2.1 Mg-Al-Si(AS31) Alaşım Malzemeli şanzıman Kutusunun Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Gerilme Analizi

Mg alaşımı şanzıman kutusunun sonlu elemanlar analizi, aynı şekilde HyperMesh-2007 analiz yazılımında yapılmıştır. Bu analizdeki tüm kuvvetler ve sınır şartları Al alaşımı şanzıman kutusunun analiz özellikleri ile aynıdır.

7.4.2.2 Gerilme Analiz Sonuçları

Analiz sonucunda bulunan en yüksek gerilme değeri 130.4 N/mm^2 'dir. Bu gerilme Al alaşımı şanzıman kutusu analizinde olduğu gibi,şanzıman kutusunun delik çeperine yakın bölgesinde oluşmuştur (şekil 7.7). Bu şanzıman kutusunun imal edildiği malzeme olan AS31 magnezyum alaşımının akma sınırı 145 N/mm^2 'dir. Bu sebeple 130.4 N/mm^2 gerilme değeri emniyetli bir değerdir (izelge 7.3).



şekil 7.8 AS31 Magnezyum alaşım malzemeli şanzıman kutusunun gerilme dağılımı (Ford Otosan, 2008)

7.5 Uygulanan Deneyler

Aracın öngörülen 15 yıllık veya 150000 km'lik ömrü boyunca, şanzıman kutusunun dayanıklılığını belirlemek için yorulma ve korozyon testleri uygulanır.

7.5.1 Yorulma Deneyi

Farklı Mg alaşımlarına uygulanan sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan gerilme analizi sonucunda AS31 HP (yüksek basınçlı döküm) magnezyum alaşımının şanzıman kutusu malzemesi bakımından yeterli şartları sağladığı belirlenmiştir. Şanzıman kutusunun gerçek şartlar altında ne gibi davranışlar sergilediğini incelemek için yorulma işlemi uygulanmıştır. Ford Otosan'da yorulma işlemi 'yaşlandırma' olarak tabir edilmektedir. Yorulma işlemi diğer aday magnezyum alaşımlarına da karşılaştırma yapabilmek amacıyla uygulanmıştır. Yorulma işlemi, malzemenin belirli bir süreç sonucundaki performansının anlaşılabilmesi için belirli koşullar altında bekletme işlemidir.

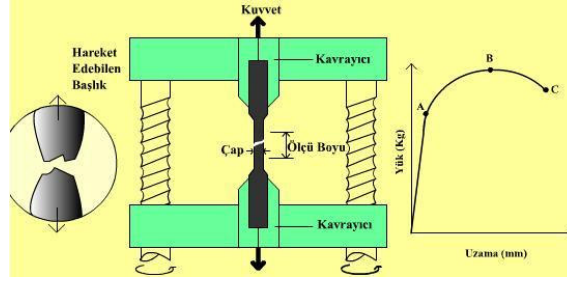
Ulusal Yüksek Karayolu Güvenlik İdaresi (NHTSA) 'nın Part 567 No'lu Federal test prosedürüne göre, 10'ar adet AS31 alaşım malzemeli ve A380 alaşım malzemeli şanzıman kutuları 150 °C'de 2000 saatlik yorulma işlemine tabi tutulduktan sonra 10°C ila 35°C aralığındaki ortam sıcaklığında çekme deneyi uygulanmıştır.

Yorulma işlemine tabi tutulan Mg alaşımından yapılmış şanzıman kutusunun çekme ve akma dayanımları ile % uzama değerleri, mevcut durumda kullanılmakta olan Al alaşım malzemeli şanzıman kutusunun dayanım ve % uzama değerleriyle karşılaştırılması amacıyla çekme deneyi yapılmıştır.

Şanzıman kutularından hazırlanan toplam uzunluğu 210 mm, kalınlığı 2,8 mm, genişliği 26 mm olan dairesel kesitli çekme numuneleri (Şekil 7.9), çekme deney cihazının çenelerine sıkıştırılarak, 10°C ila 35°C aralığındaki ortam sıcaklığında kopana kadar kuvvet uygulanmasıyla çekme deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.10).



Şekil 7.9 Dairesel kesitli çekme numunesi (Erdoğan,2001)



Şekil 7.10 Çekme deney cihazı (Erdoğan,2001)

150 °C’de 2000 saatlik yorulma işlemi sonrasında; oda sıcaklığında uygulanan çekme deneyi sonucunda numunelerden elde edilen çekme ve akma dayanımı ile % uzama değerleri Çizelge 7.5’de verilmiştir.

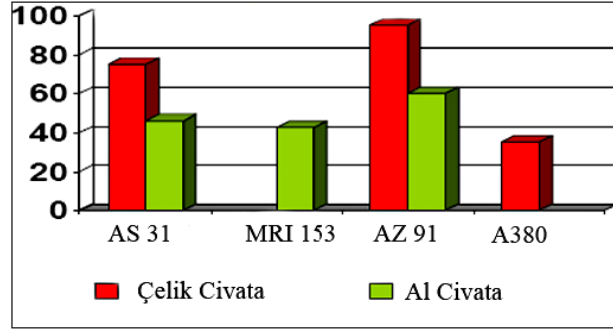
Çizelge 7.5 Yorulma testi sonuçları (Ford Otosan, 2008)

Alaşım	150 °C’de 2000 Saat Yorulma ile		
	Çekme Day. (MPa).	Akma Day.(MPa)	% Uzama
AZ91 HP	210-225	140-185	0.5-1.5
AS31 HP	200-225	125-150	4.5-6.0
AJ52 HP	210-220	125-135	4.0-5.0
MRI 153	225-235	140-150	2.0-3.0
AISI9Cu3	230-240	205-225	0.5-1.0

Çizelgeden 7.5’ten de anlaşıldığı üzere AS 31 magnezyum alaşımının 150 °C’de iyi bir çekme ve akma sahip olmakla beraber % 4,5 -% 6.0 oranında uzamaya sahiptir.

Şanzıman kutusu malzemesinden istenilen bir diğer gereksinim ise 140°C – 150 °C arasında minimum cıvata yük tutma veya diğer bir deyişle ön gerilme kuvvet kaybıdır(Şekil 7.11).Ön gerilme kuvveti,titreşimli ve darbeli ortamlarda cıvatanın otoblokaj yani sürtünme ile kendini kilitlemesi olayını sağlayabilmek için cıvataya önceden kazandırılmış gerilmedir.

Cıvata yük tutma (ön gerilme) kuvveti, yüksek dinamik gerilmelere dayanımı sağlayabilmek amacıyla 120 NM olarak tatbik edilmiştir.



Şekil 7.11 Yorulma sonucunda civata yük tutma (ön gerilme) kuvveti kaybı yüzdeleri (Ford Otosan, 2008)

150 °C’de 2000 saatlik yorulma işlemi sonucunda AS 31 magnezyum alaşımı kullanılan şanzıman kutusundaki çelik cıvatanın oda sıcaklığında ön gerilme kuvveti torkmetre ile ölçüldüğünde Şekil 3.9’da verilen galvanik serideki yüksek potansiyel fark nedeniyle, 96 NM lik yani %80’e yakın kuvveti kaybı olduğu görülmüştür. Fakat aynı yorulma işlemi Al cıvata ile uygulandığında bu kayıp, galvanik serideki düşük potansiyel fark nedeniyle (Şekil 3.9) yarı yarıya azalmaktadır. Al civatanın kullanılması ayrıca ağırlık yönünden de çeliğe nazaran %68 ‘lik bir avantaj sağlamaktadır.

Çizelge 7.6’da AS 31 magnezyum alaşımının ve diğer alaşımların yaşlandırma öncesi ve sonrasındaki davranışlarını göz önünde bulundurarak yapılan sıralama görülmektedir. Mevcut durumdaki şanzıman kutusu malzemesi A380 , bir çok açıdan AS31 magnezyum alaşımı ile aynı özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Fakat çalışmanın amacı ağırlık azaltımını hedeflediğinden dolayı AS31 magnezyum alaşımı şanzıman kutusu malzemesi olarak kullanımında avantaj sağlamaktadır. Çizelge 7.7’de A380 ve AS31 alaşımlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 7.6 Magnezyum alaşımlarının teknik özelliklerinin karşılaştırılması (Ford Otosan, 2008)

Mg/Al Alaşımı	Akma Dayanımı	Dinamik Dayanım	150 °C’de cıvata yük tutma değeri	Aşınma Dayanımı
AZ 91 HP	Çok iyi	Orta	Kötü	İyi
AS 31 HP	İyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi

AJ 52 HP	İyi	İyi	Kötü	Kötü
MRI 153 HP	Çok iyi	İyi	Çok İyi	Kötü
A380	Çok iyi	İyi	İyi	İyi

Çizelge 7.7 A380 ve AS31 Alaşımlarının kimyasal bileşimleri

Alaşım	Al	Mn	Zn	Ti	Mg	Si	Cu	Ni	Fe
A380	Temel	0.50	1.0	0.20	0.30	7.5-9.0	3 - 4	0.20	1.00
AS31	3.1	0.35	0.7-1.3	-	Temel	1.2	0.05	0.005	0.005

7.5.2 Korozyon Deneyi

Şanzıman kutusu istenilen malzeme özellikleri bakımından iyi bir korozyon dayanımı göstermelidir.Şanzıman kutusu korozyon testi ASTM-B117 standardına uygun şekilde yapılmıştır.ASTM B117 tuz sprej testi korozyon testleri arasında otomotiv sektöründe en çok kullanılma özelliğine sahiptir.Bu test gerçek koşullarla karşılaştırma bakımından mükemmel bir özellik taşır.Tuz sprej testi özel olarak hazırlanmış kabinlerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.12 Test kabini (Ford Otosan, 2008)

Tuz sprej testinde,sürekli ,direk püskürtülmeyen pH'ı 6.7 olan %5 konsantrasyonlu tuzlu su(NaCl) solüsyonu kullanılmıştır.Şanzıman kutusu, kabin içerisine yerleştirilmeden önce,kabin sıcaklığı 35°C'ye(±2°C) iklimlendirilerek, 12ml /saat tuzlu su çözeltisi püskürtecek şekilde ayarlanmıştır.Solüsyon rezervuardan filtrele nozüller yardımıyla taşınmıştır.Kabin

içerisindeki sıcak hava ile solüsyon karşılaştıklarında korozif etkili spreyci ortaya çıkar. Bu spreyci bağıl nem oranı %100 dır.

Otomotiv sektöründe parçalar korozyon testine tabi tutulurken ,araç üzerindeki pozisyonları göz önünde bulundurularak test kabineye yerleştirilir. Bu uygulamada şanzıman kutusu yatay pozisyonda araç üzerinde bulunduğundan dolayı ,kabin içerisine de bu pozisyonda yerleştirilmiştir. Kabin içerisine mevcut durumda kullanılmakta olan şanzıman kutusu ile AS31 magnezyum alaşımı aralarına spreyci perdesi koyularak yerleştirilmiştir.

Tuz spreyci testinin süresi 24'er saatlik 30 çevrim olmak üzere toplam 720 saat olarak belirlenmiştir. Bu süre şanzıman kutusunun 15 yıllık ömrüne eş değer bir korozyon etkisi yaratmaktadır. Korozyon testi sonucunda elde edilen verilere göre AS31 (Mg-Al-Si) alaşımı çok iyi seviyede korozyon dayanımı gösterirken A380 Al alaşımı iyi seviyede korozyon dayanımı göstermiştir.

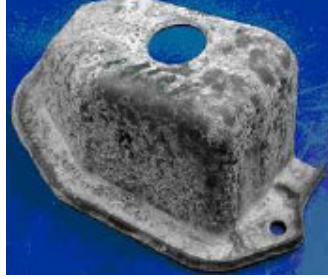


Şekil 7.13 AS31 HP'den imal edilmiş otomatik şanzıman kutusu kesiti korozyon testi sonrası görünümü

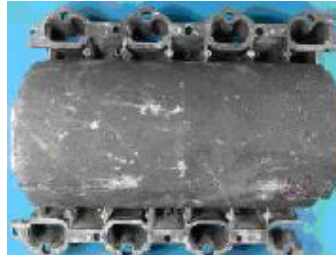


Şekil 7.14 A380'den imal edilmiş mevcut otomatik şanzıman kutusu kesiti korozyon testi sonrası görünümü

Deneeye tabi tutulan diğer magnezyum alaşımlarının yorulma işleminden önceki koşullarının yeni kullanılacak olan AS31 magnezyum alaşımına göre zayıf kalmasından dolayı (Şekil 7.3) ve mühendislik yaklaşımıyla, kalıp maliyetleri de düşünülerek, diğer tüm alaşımları test etmenin maliyeti yüksek bir oranda arttıracakđı belirlendiği için prototip parça üretimi yapılmamıştır. Ancak fikir sahibi olunması bakımından Mg alaşımlardan üretilen ve korozyon testlerine tabi tutulan parçaların korozyon sonrası görüntüleri Şekil 7.15 , 7.16 ve 7.17’te verilmiştir.



Şekil 7.15 AJ 52 Esaslı silindir kafası (Johannesson, 2003)



Şekil 7.16 AZ 91 Emme manifoldu (Centro Ricerche FIAT, 2003)



Şekil 7.17 MRI 153 Plaka (DTI, 2004)

Şekil 7.15 , 7.16 ve 7.17’den de anlaşıldığı gibi yüzeyde oluşan korozyon, alaşım elementlerine (Ni, Fe, Cu-Negatif ; Al, Si-Pozitif) bağlıdır.

Magnezyum alaşımlarının korozyon performansı izelge 7.8’de gösterilmiştir. Korozyon performansı, Amerikan Ulusal Trafik Yolu Güvenliği İdaresi (NHTSA)’nin Part 541 no’lu regulasyonuna göre yüzeydeki max kabarcık derinliği 25.2 mikrometre baz alınarak

belirlenmiştir. AS31 magnezyum alaşımında korozyon derinliği 16.8 mikrometre iken,A380 alüminyum alaşımında bu değer 20.2 mikrometre olarak ölçülmüştür.

Çizelge 7.8 Magnezyum alaşımlarının korozyon performansı- (Ford Otosan, 2008)

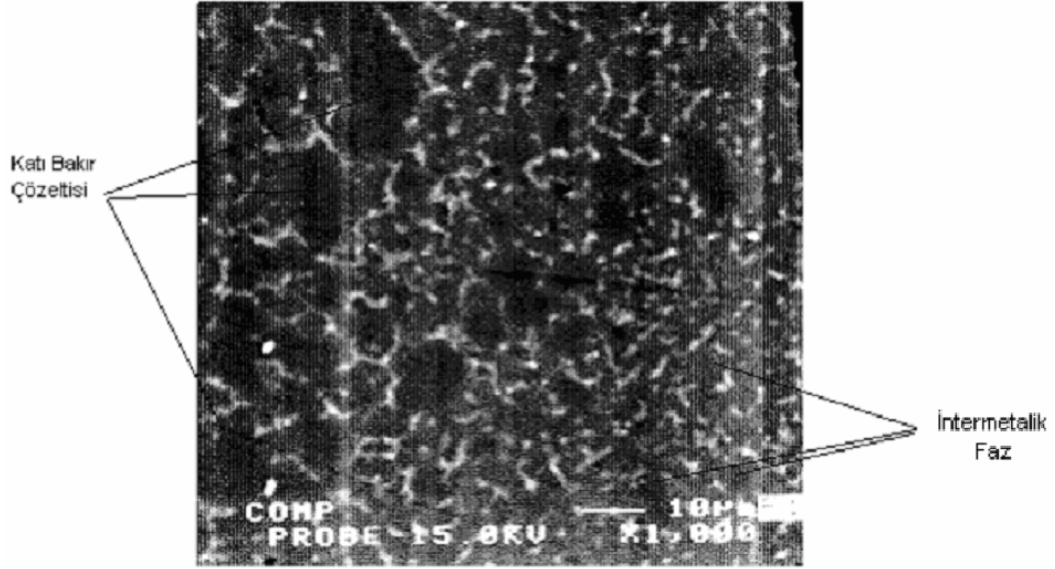
Mg/Al Alaşımı	Korozyon Performansı
AZ 91 HP	İyi
AS 31 HP	Çok İyi
AJ 52 HP	Kötü
MRI 153 HP	İyi
A380	Orta

7.5.3 Korozyon Sonrası Mikroyapı İncelemesi

ASTM B117'ye göre yapılan tuz spre testi sonrası, mevcut otomatik şanzıman kutusu (A380) ve Mg Alaşımı şanzıman kutusu (AS31) marka yapıları incelenmiştir.

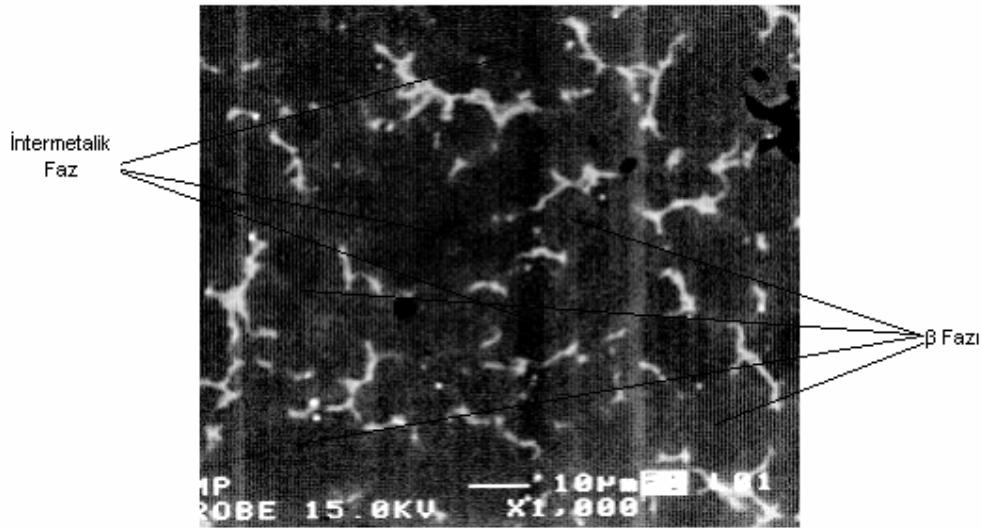
A380 Alüminyum alaşımında Al ve Cu arasında meydana gelen galvanik etkiden dolayı korozyon hasarının yüksek seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir.Korozyonun yüksek seviyelerde meydana gelmesinin sebebi Al ile Cu arasındaki yüksek potansiyel farktır.Al anodik davranış gösterir.Cu ise aktif katodik bileşen olarak katılarak korozyon hızının artmasına neden olmuştur.

A380 Alüminyum alaşımının korozyon sonrası mikroyapısı SEM mikroskobu ile incelendiğinde,katı bakır çözeltisi ile ikinci faz alüminyumun temasları sonucu,galvanik hücrelerin meydana geldiği ve tüm yüzey boyunca yayıldığı görülmüştür (Şekil 7.18).



Şekil 7.18 A380 Al Alaşımından imal edilmiş şanzıman kutusunun korozyon sonrası mikroyapısı(Ford Otosan, 2008)

AS31 Magnezyum alaşımında ,Mg-Al arasında, α taneleri arasında meydana gelen intermetalik faz(β -Mg₁₇Al₁₂) ,korozyon direncini arttırmıştır. β fazının bileşikte fazla miktarda bulunması korozyonun taneler arasındaki ilerlemesini de zayıflatmıştır.AS31 alaşımında,yüzeydeki β fazının fazlalığı ,merkeze oranla 10 kat daha fazla olduğu için yüzelsel korozyon direnci de yüksek olmaktadır (Şekil 7.19).



Şekil 7.19 AS31 Mg Alaşımından imal edilmiş şanzıman kutusunun korozyon sonrası mikroyapısı(Ford Otosan, 2008)

7.6 DeneY Sonuçlarının Karşılaştırılması

Alüminyum (A380) malzemeden imal edilen şanzıman kutusu ile AS31 Magnezyum alaşımdan imal edilen şanzıman kutusunun en büyük gerilme, toplam ağırlık, toplam işçi maliyeti, toplam malzeme maliyeti ve toplam maliyet açısından karşılaştırılması Çizelge 7.9’da verilmiştir.

Çizelge 7.9 Şanzıman kutusu malzemelerinin karşılaştırılması

	A380	AS31	Oran- Al/Mg
En büyük gerilme / Akma sınırı (Mpa)	164.3/170	130.4/145	%78
Toplam ağırlık (kg)	8.4	5.3	%37
Toplam işçilik Maliyeti (EURO)	67	72	%-6.9
Toplam malzeme maliyeti (EURO)	44	53	%-16.9
Toplam maliyet (EURO)	111	125	%-11.2

Ağırlık azaltımı bu çalışmanın ana hedefidir. Yeni alaşım, mevcut alaşımın sağladığı mekanik özelliklerden vazgeçmeden $((8.4-5.3) \times 100) / 8.4 = \%37$ civarında hafifletme sağlamıştır. 3,1 kg ağırlık azaltımı şanzıman kutusu için çok önemli bir değerdir. Mg alaşımlı şanzıman kutusu Kuzey Amerika araçlarında kullanılacaktır. Ticari araçlarda aracın toplam ağırlığının azaltımı faydalı yükü arttırdığı için bu ağırlık azaltımının önemi bir kat daha artmaktadır.

Magnezyum alaşımı şanzıman kutusundaki toplam malzeme maliyeti alüminyum alaşımlı olanından $((44-53) \times 100) / 53 = \%16.9$ daha fazladır. Fakat gerçekleştirilen ağırlık kazanımı ve kalıbın uzun ömrü bunu tolere etmektedir.

Bunun yanında bir tek şanzıman kutusu bakımından toplam maliyet incelendiğinde $((111-125) \times 100) / 125 = \%11.2$ lik bir kayıp olmaktadır. Fakat toplam üretim adedi göz önüne alındığında magnezyum şanzıman kutusundan 120.000 adetlik miktar bu oranı tersine çevirmektedir. Bu özellik maliyet hesabına katılmamış olmakla birlikte magnezyum alaşımlı şanzıman kutusu lehine bir başka noktadır.

Yorulma deneyi sonucunda ise (Çizelge 7.5), AS31 magnezyum alaşımı, 150 °C’de 200-225 MPa’lık akma dayanımı ile mevcut durumda kullanılmakta olan alüminyum alaşım malzemeli şanzıman kutusunun dayanım değerini karşılamaktadır. DeneY sonucunda elde edilen veriler ışığında, AS31 magnezyum alaşım malzemeli şanzıman kutusu, % 4.5-6.0 ‘lık uzama miktarıyla diğer alaşımlara göre daha iyi bir performans sergilemektedir (Çizelge 7.5).

Yaşlandırma deneyi sonrası civata yük tutma (ön gerilme) kuvveti kaybı, AS31 magnezyum alaşım malzemeli şanzıman kutusunda çelik civata yerine alüminyum civata kullanıldığında yarı yarıya azaltılmakla beraber, % 68 oranında da ağırlıktan tasarruf sağlanmaktadır (Şekil 7.11).

Aracın 15 yıllık ömrüne eşdeğer korozyon deneyi sonucunda,AS31 magnezyum alaşım malzemeli şanzıman kutusunun yüzeyinde 16.8 mikrometrelık kabarcık derinliği oluşurken, alüminyum alaşım malzemeli şanzıman kutusunda 20.2 mikrometrelık kabarcık derinliğinin oluşması,AS31 magnezyum alaşımının, şanzıman kutusu malzemesi olarak tercih edilmesini sağlamaktadır.

8. SONUÇ

Günümüz otomotiv dünyasının küresel rekabet ortamında yaşanan gelişmeler, tüm ülkeleri ve üreticileri aynı anda etkilemektedir. Bu sert rekabet piyasası içinde ayakta kalmanın tek geçer yolu da, bu gelişmeleri tüm dünya ile birlikte izlemek ve zamanı geldiğinde de uygulamak için gerekli bilgi birikimi ve teknik altyapıya sahip olmaktır.

Otomotiv alanında yürütülen araştırma ve geliştirme çalışmaları içerisinde enerji tüketiminin ve CO₂ kirliliğinin azaltılması çalışmaları büyük yer tutmaktadır. Magnezyum alaşımları özgül dayanım ve özgül rijitlik değerleri açısından alternatif olduğu diğer malzemelerle mukayese edildiğinde daha yüksek değerlere sahiptir. Basıncılı döküm, sürekli kalıp döküm, kum döküm, ekstrüzyon ve dövme gibi çeşitli üretim yöntemleriyle karışık şekilli parçaların üretimi kolaydır. Bu özelliklerinden dolayı magnezyum otomotiv alanında hafif malzeme olarak kullanılma potansiyeli yüksektir.

Çalışmada şanzıman kutusu malzemesi için yapılan deneyler sonucunda Mg alaşımının seçimini öne çıkaran başlıca özellikler şöyle sıralanabilir:

1. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen gerilme analizinde ,AS31 magnezyum alaşım malzemeli şanzıman kutusuna 6000N'luk kuvvetin araç hareket yönünde iç çeperlere uygulanmasıyla ,gerçek ortam koşulları hakkında ne gibi davranışlar göstereceği önceden belirlenmekte ve böylelikle ekonomik ürün-geliştirme gerçekleştirilmektedir.Gerilme analizi sonucunda elde edilen en yüksek gerilme değeri 130.4 N/mm² olup AS31 magnezyum alaşımının akma sınırı olan 145 N/mm² için emniyetli bir değerdir.Bu sonuç ,AS31 magnezyum alaşımının şanzıman kutusu kullanımında uygulanması gereken deneylerin koşulları için fikir vermektedir.

2. Yorulma deneyi, aracın güvenliği açısından hayati öneme sahip olan cıvata yük tutma (ön gerilme) kuvveti kaybı hakkında da bilgi vermektedir.Civataların yük tutma kapasitesi çelik cıvata yerine, Al cıvata kullanılması yoluyla yaklaşık %50 oranında artırılabilirdiğini ortaya koymuştur.Civataların yük tutma kapasitesinin artması,aracın daha yüksek beygir güçlerini sağlayabilecek bir şanzıman dişlilerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Yapılan yorulma deneyi, AS31 magnezyum alaşım malzemeli şanzıman kutusunun 150 °C'de 200-225 Mpa çekme dayanımı ve %4.5-6.0 uzama miktarının olduğunu ortaya çıkarmakta ve bunun sonucunda ise şanzıman dişlilerinin oluşturduğu dinamik hasarı minimumda tutmayı başardığı gözlemlenmektedir.Dinamik gerilmelerin

oluşturduğu hasarın minimuma indirgenmesi, müşteri beklentilerini ortaya çıkaran konfor açısından da büyük önem taşımaktadır.

3. Uygulanan korozyon deneyi, aracın 15 yıllık veya 150000 km'lik ömrü boyunca şanzıman kutusunun 25.2 mikrometrelik kabarcık derinliğinin çok altında bir değer olan 16.8 mikrometrelik derinlik oluştuğunu ortaya çıkarmıştır. AS31 magnezyum alaşımının korozyon sonrası mikroyapısında meydana gelen intermetalik faz (β - $Mg_{17}Al_{12}$) korozyon direncini arttırmaktadır. AS31 magnezyum alaşımında korozyon direncinin yüksek olması çalışmanın ikinci hedefi olan dayanıklılığın sağlandığını ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışmasında magnezyum metali ve alaşımlarının karakteristiklerinden ve özellikle de otomotiv için kullanıldığında avantaj sağlayacak yönlerinden bahsedilmiş ve halen uygulanmakta olan güncel örneklerine yer verilerek otomatik şanzıman kutusu malzemesinin innovasyonu ele alınmıştır .Bu çerçevede tez içeriği ile yürütülen geliştirme çalışmalarının ne yönde ilerleyeceği ve nasıl izlenmesi konusunda da bir fikir verilmektedir. Türkçe literatürde bu konuda fazla kaynak olmadığından, bu tez çalışmasının böyle bir boşluğu kapatma adına faydalı olduğu da söylenebilir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, otomotiv sektöründe magnezyumdan şasi ve gövde parçaları imalatı konularına devam edilebilir.

KAYNAKLAR

Kandemir, K., Can, A. Ç. ve Ahmet T., (2003), “ Otomotiv Endüstrisi İçin Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Potansiyeli”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 1: 37-45.

Kaya, A. A., Özdoğru, E. F., Abanoz, D., ve Yiğit, S., (2002), “ Otomotivde Magnezyum Alaşım Uygulamaları”, OTEKON02 Otomotiv Teknolojileri Kongresi,24-26 Haziran, Bursa, 41-46.

Webb, D., (2005), “ Magnesium Supply and Demand 2004”, The 62nd Annual World Magnesium Conference,22-24 May. 2005, Berlin.

Zeytin, H. K., (1999), Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği, Marmara Araştırma Merkezi, Kocaeli.

Erdoğan, M., (2001), Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri:Demir Dışı Alaşımlar, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Avedesian, M. M., Baker, H. ve Shao Z., (1999), ASM Speciality Handbook, Magnesium and Magnesium Alloys, ASM International Materials Park, United States of America.

Doege, E. ve Dröder, K., (2001), “ Sheet Metal Forming of Magnesium Wrought Alloys-Formability and Process Technology”, Journal of Materials Processing Technology, 115:14-19.

Hashimoto, S., (2004), Development of Multifunctional Nanomaterials by ECAP Method, Imat-Eng., Osaka.

Xiuqing, Z., Lihua, L., Naiheng, M. ve Haowei, G., (2006), “Mechanical Properties and Damping Capacity of Magnesium Matrix Composites, Composites Part A” Applied Science and Manufacturing, A: 201-216.

Johannesson, B., (2003), Corrosion of Magnesium, Technological Institute of Iceland Report,Iceland.

DTI., (2004), Magnesium Alloys and Processing Technologies for Lightweight Transport Applications, Global Watch Mission Report, U.K.

Centro Recherche FIAT, (2003), Development of New corrosion and Abrasion Resistant Coatings for the Protection of Magnesium Parts, NANOMAG Prject Report, Orbassano.

Li, N., (2004), “ Automotive Magnesium Applications and Life Cycle Environmental Assesment”, The 3rd International Conference on SF6 and The Enviroment, 1-3 Dec. 2004,Michigan.

Rausch, G. Ve Ziese, A., (2003), Advanced Manufacturing Technology for Automotive Chassis Components Through Extensible and Sustainable Use of Mg-Alloys,Mg Chassis Project Report, Orbassano.

Kalmbach, R., (2005), “ Magnesium Opportunities in the Automotive Industry”, The 62nd Annual World Magnesium Conference,22-24 May. 2005, Berlin.

Web Site,(2008), www.magnesium.com,

Fent, A., (2005), Aluminium/Magnesium Composite Crankcase, BMW Landshut Plant Report, Germany.

Volvo Car Corporation, (2003), R&D in Forming and Materials of Volvo Cars Body Components,Workshop in Turin Report, Turin..

Vinarcik, E. J., (1989), High Integrity Die Casting Process, John Wiley & Sons, New York.

Kleiner, S., Beffort, O., Wahlen, A. Ve Uggowitz, P. J., (2002), “ Microstructure and Mechanical Properties of Squeeze Cast and Semi-Solid Cast Mg-Al Alloys”, Journal of Light Metals, 2: 277-280.

Fan, Z., (2005), “ Development of the Rheo-Diecasting Process for Magnesium Alloys”, Material Science &Engineering,A413-414:72-78.

Nobuhiro, S., Takeyoshi, N., Teruyuki, O., Morio, K., Eiji, M. Ve Takashi, I., (2001), “ The Development of Joint Parts for Automobile Body by Thixocasting”, JSAE Review ,22:29-38.

Centro Ricerche FIAT, (2005), Rheocasting:An innovative & Ecological Process for Light and Cost Effective Applications in Different Industrial Sectors,Rheo-Light Project Report, Torino.

Şahin, M., Akata, E.H., Özel, K., (2005), “Soğuk Şekil Verilmiş Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi” Mühendis ve Makina Dergisi 573: 24-31

Kaluç, E.,Bozduman, B.,(1998), “Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynak Yöntemi” Makina Magazin Dergisi 27: 54-61

Druschitz, A., Showalter, E. R., McNeill, J.B., White D.L., (2002), “Evaluation of Structural and High Temperature Magnesium Alloys” SAE Technical Paper Series ,80 :1-14

Ford Otosan, (2008), Transit Connect Kuzey Amerika Projesi Program Yönlendirme Raporu, Ford Otomotiv San. Ve Tic. A.Ş. (yayımlanmamış).

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	03.09.1984	
Doğum yeri	Eskişehir	
Lise	1998-2002	Eskişehir Anadolu Lisesi
Lisans	2002-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2007-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı Kurumlar

2005-2006	Standard Profil A.Ş.
2006-2007	Bosch Otomotiv San. Ve Tic. A.Ş.
2007-Devam ediyor	Ford Otomotiv San. Ve Tic. A.Ş. Ürün Geliştirme Mühendisi