

**MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARININ KONSTRÜKSİYON
MALZEMESİ OLARAK OTOMOTİVDE KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Ozan ATALAY
(503041216)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Turgut GÜLMEZ
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Şafak YILMAZ (İ.T.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Yakın gelecekte otomotiv dünyasında çok önemli bir yere kavuşması beklenen magnezyum ve hafif metal uygulamalarının türlü örneklerini görme ve ilgili okuyuculara aktarma fırsatını bulduğum bu yüksek lisans tez çalışmasının meydana getirilmesinde, benden tavsiyelerini esirgemeyen sevgili hocam **Yrd. Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ**' e ve tez içeriğinin zenginleştirilmesine katkıda bulunan sevgili jüri üyelerine teşekkürlerimi arz ederim. Ayrıca İTÜ'deki öğrenim dönemim boyunca yetişmemde emeği geçen ve bu noktaya gelmemde katkıları olan tüm öğretim üyelerine, fabrika ziyaretim sırasında bana yardımcı olan TOFAŞ personeline ve benden maddi-manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Çeşitli kaynaklardan yararlanılarak hazırlanan bu çalışmanın okuyuculara faydalı olmasını dilerim.

Haziran, 2006

Ozan ATALAY

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ	1
2. MAGNEZYUMUN KISA GEÇMİŞİ	2
2.1. Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	4
3. TASARIM ve MAGNEZYUM METALİ	5
3.1. Tasarıma Uygunluk Açısından Magnezyum ve Alaşımları	5
3.1.1. Magnezyumun korozyonu	13
3.1.1.1. Keronite prosesi - PEO	14
3.1.1.2. Magnezyumun akımsız yöntemlerle kaplanması	15
3.2. İmal Edilebilirlik Açısından Magnezyum Alaşımları ve İmalat Yöntemleri	16
3.2.1. Magnezyum metali üretimi ve üretim yöntemleri	16
3.2.2. Magnezyum alaşımları ile imalat yöntemleri	19
3.2.2.1. Magnezyum alaşımları ile döküm yöntemleri	19
3.2.2.2. Magnezyum alaşımları ile talaşlı imalat	22
3.2.2.3. Magnezyum alaşımları ile plastik şekillendirme	23
3.3. Rekabetçi Maliyetli Magnezyum Alaşımları	27
3.3.1. Mg-Al döküm alaşımları	29
3.3.2. Mg-Al-Zn döküm alaşımları	30
3.3.3. Mg-Zn-Zr döküm alaşımları	30
3.3.4. Mg-Zn-nadir toprak-Zr döküm alaşımları	30
3.3.5. Yüksek sıcaklık Mg döküm alaşımları	31
4. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE MAGNEZYUM UYGULAMALARI	33
4.1. Otomotivde Neden Magnezyum?	33
4.1.1. Taşıt ağırlığının azaltılmasının önemi	33
4.2. Magnezyum ve Alaşımlarından Üretilmiş Otomobil Parçaları	36
4.2.1. Magnezyumun motor ve transmisyon parçalarında kullanımı	38
4.2.2. Magnezyumun yapısal elemanlarda kullanımı	43

4.3. Mg Alaşımlarından Otomotiv Parçaları Üretiminde Yeni Teknolojiler	54
4.3.1. Yarı-katı metal işleme yöntemleri	54
4.3.1.1. Thixo döküm	55
4.3.1.2. Thixo kalıplama	57
4.3.1.3. Rheo döküm	59
4.3.2. Sıkıştırma döküm	60
4.3.3. Vakumlu döküm	62
4.4. TOFAŞ Ziyareti	64
5. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	70

KISALTMALAR

VW	: Volkswagen
PEO	: Plasma Electrolytic Oxidation
MMC	: Metal Matris Kompozit
MRI	: Magnesium Research Institute
ECAP	: Equal Channel Angular Processing
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AMC	: Australian Magnesium Corporation
GMC	: Genaral Motors Company
MPI	: Meridian Magnesium Products of Italy
SPH	: Sıkı Paket Hekzagonal
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik

TABLO LİSTESİ

<u>Sayfa No</u>		
Tablo 2.1.	Magnezyum üretiminde kapasite artırımı planlanan yerler	3
Tablo 3.1.	Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması.....	8
Tablo 3.2.	Mg ve Al alaşımları ile dökme demirin özgül sönümleme kapasiteleri.....	9
Tablo 3.3.	Tasarıma uygunluk açısından magnezyum.....	12
Tablo 3.4.	Dünya magnezyum üretiminin yıllara göre değişimi.....	17
Tablo 3.5.	Magnezyum alaşımları ile döküm yöntemlerinin mukayesesi.....	21
Tablo 3.6.	Magnezyuma ilave edilen bazı elementlerin etkileri.....	28
Tablo 3.7.	Mg-Al ve MgAl-Zn alaşımları için uygulamalar.....	30
Tablo 3.8.	Mg-Zn-Zr ve Mg-Zn-Nadir top-Zr alaşımlarının kimyasal komp. ve uygulamaları.....	31
Tablo 3.9.	Yüksek sıcaklık magnezyum döküm alaşımları.....	31
Tablo 4.1.	İşlenebilirlik açısından bazı metallerin karşılaştırılması.....	36
Tablo 4.2.	Daimler-Chrysler' in çalıştığı alaşımların özellikleri.....	39
Tablo 4.3.	Çok kullanılan bazı Mg alaşımlarının özellikleri.....	43
Tablo 4.4.	Otomobil parçaları, alaşım çeşitleri, üretim yöntemleri ve ağırlıkları.....	45
Tablo 4.5.	Otomotiv endüstrisinde çok kullanılan bazı Mg alaşımlarının mekanik özellikleri.....	45
Tablo 4.6.	Yeni alaşımlar.....	50
Tablo 4.7.	Magnezyum alaşımlarından üretilmiş çeşitli parçalar.....	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1	: Aynı ağırlıktaki beş metal silindirin yoğunluk sıralaması.....	5
Şekil 3.2	: Magnezyum alaşımlarının özgül dayanım ve özgül rijitlikleri.....	6
Şekil 3.3	: A357, WE43A ve AZ91E' nin yorulma karakteristiği.....	10
Şekil 3.4	: %3-6 NaCl içeren çözeltide farklı metallerin korozyon potansiyeli.....	11
Şekil 3.5	: Yanlış uygulamalar ve korozyon önleyici uygun tasarımlar.....	13
Şekil 3.6	: Keronite (PEO) prosesi.....	14
Şekil 3.7	: Deniz suyundan magnezyumun ekstraksiyonu.....	18
Şekil 3.8	: ECAP' ın uygulama prensibi	26
Şekil 3.9	: 4 kez kalıplanmış malzemenin tane yapısı	26
Şekil 3.10	: Al-Mg faz diyagramı.....	27
Şekil 3.11	: Mg-Zn faz diyagramı	28
Şekil 4.1	: Araç ağırlığındaki azalmayla elde edilecek yakıt tasarrufu.....	34
Şekil 4.2	: Magnezyumun çelik ve alüminyuma göre sağladığı ağırlık kazancı.....	38
Şekil 4.3	: AS31HP vites kutusu.....	39
Şekil 4.4	: AZ91HP emme manifoldu.....	39
Şekil 4.5	: Motor bloğu.....	40
Şekil 4.6	: Kesik halde Mg-Al kompozit motor bloğu.....	42
Şekil 4.7	: Transmisyon kutusu.....	42
Şekil 4.8	: Silindir kapağı	42
Şekil 4.9	: Ara şanzıman.....	43
Şekil 4.10	: Mercedes Roadstar koltuk iskeleti.....	44
Şekil 4.11	: Koltuk çerçevesi.....	44
Şekil 4.12	: Direksiyon simidi.....	46
Şekil 4.13	: Tekerlekler.....	46
Şekil 4.14	: Land Rover gösterge paneli.....	47
Şekil 4.15	: Travers.....	48
Şekil 4.16	: Kapı içlerinde AM50.....	48
Şekil 4.17	: AM50 iç bagaj kapağı.....	49
Şekil 4.18	: Motor oturma kızıağı.....	49
Şekil 4.19	: Motor braketleri.....	50
Şekil 4.20	: Transmisyon parçası.....	50
Şekil 4.21	: Chrysler koltuk iskeleti sırt kısmı.....	51
Şekil 4.22	: Chrysler tutma braketleri.....	51
Şekil 4.23	: Direksiyon kolunu braketleri.....	52
Şekil 4.24	: Orta konsol.....	52
Şekil 4.25	: Radyatör desteği.....	53
Şekil 4.26	: Düzlemsel yada türbülanslı olmayan akışta gaz sıkışması.....	55
Şekil 4.27	: Thixo döküm yöntemi.....	56
Şekil 4.28	: Thixo kalıplama üretim döngüsü.....	57

Şekil 4.29	: Yarı-katı metal işleme yöntemiyle üretilmiş otomobil parçaları.	57
Şekil 4.30	: Yarı-katı metal işlemeyle üretilmiş parçalar.....	58
Şekil 4.31	: Yarı-katı metal işlemeyle üretilmiş magnezyum koltuk iskeleti.	58
Şekil 4.32	: Rheo döküm.....	59
Şekil 4.33	: Rheo-konteyner prosesi.....	60
Şekil 4.34	: AM60 motor tutma braketi.....	60
Şekil 4.35	: Sıkıştırma döküm teknolojisi işlem adımları.....	61
Şekil 4.36	: Sıkıştırma dökümle üretilmiş otomobil parçaları.....	62
Şekil 4.37	: Vakum zamanlaması.....	63
Şekil 4.38	: Vakumlu dökümle üretilmiş parçalar.....	63
Şekil 4.39	: FIAT-Marea torpido traversi.....	64
Şekil 4.40	: Araç üzerine montaj esnasında parçanın görünümü.....	64

SEMBOL LİSTESİ

E	: Malzemenin elastisite modülü
V_{Korr}	: Korozyon potansiyeli
GP	: Tane içerisindeki mukavim bölge
T	: Temper
F	: Döküm koşulları

MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARININ KONSTRÜKSİYON MALZEMESİ OLARAK OTOMOTİVDE KULLANIMI

ÖZET

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. Günümüz dünyasında artık geleceğin teknolojik hedefleri çok önceden belirlenmekte, bu yönde uzun çalışmalar yapılmaktadır. 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 teknolojide 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 olanıdır. Bu malzeme bir plastik kadar hafif aynı zamanda bir metal kadar da mukavemetlidir. 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.

APPLICATIONS OF MAGNESIUM AND ITS ALLOYS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY AS A DESIGN MATERIAL

SUMMARY

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. In today's world, the technological targets of the future become obvious beforehand and long term studies are made on that way. 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. Big automotive companies are making new agreements and investments for magnesium production.

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 kazanmıştır. Zaten 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 güvenilir malzeme kullanması zorunludur. Bu kapsamda özellikle otomobil üretiminde ağırlıktan azalma sloganı haline gelmiştir.

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 itibarıyla yakıt tüketimini %25 azaltmayı öngörmüşlerdir. Böylece CO₂ emisyonunda da %30’ luk bir azalma elde edilecektir.

Tüm konstrüksiyon metalleri içinde en hafif olan metal magnezyumdur. Bu malzeme bir plastik kadar hafif, fakat bir metal kadar da mukavemetlidir. Bir malzemenin konstrüksiyon malzemesi olarak kabul edilebilmesi için:

- Uygun tasarım özelliklerine sahip olması
- Üretilebilir olması
- Rekabetçi bir maliyetinin olması gereklidir.

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. [3,4]

2. MAGNEZYUMUN KISA GEÇMİŞİ

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.[1]

Magnezyum uygun karakteristikleri 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. Devamında düşen maliyetler neticesinde magnezyum da endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır. [2]

Magnezyum yeryüzündeki en hafif konstrüksiyon malzemesidir. Ayrıca alüminyum ve demirden sonra en çok bulunan yapı metalidir. 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.

Hemen her gün elimizi değdiğimiz cinsten metaller kadar karşımıza çıkmasa da magnezyum, doğada son derece yaygın olarak bulunmaktadır. Cevher olarak dolomit ve magnezit adıyla sırasıyla $MgCO_3.CaCO_3$, $MgCO_3$ 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.(Tablo 2.1)[1]

Tablo 2.1 - Magnezyum Üretiminde Kapasite Artırımı Planlanan Yerler [1]

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
Fizibilite Çalışmaları Devam Eden Projeler	
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, Tazmanya	80000
Golden Triangle Resources 2, Tazmanya	80000
Mt. Grace Resources, Avustralya	50000
Crest, Tazmanya	95000
TOPLAM	923500

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 incelediğimizde 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 Ford' un Avustralya Queensland fabrikasında ve Toyota' nın yeni Noranda projesi için Kanada' da yapmış olduğu yatırımlar vardır. Yine magnezyum üretimi için General Motors şirketi de Norsk Hydro ve Solikamsk Magnezyum ile uzun vadeli bir tedarik anlaşması imzalamıştır. [13]

2.1 Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

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

ABD' de 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 seviyelerinde alaşım için A, B gibi bir modifikasyonu gösterir.

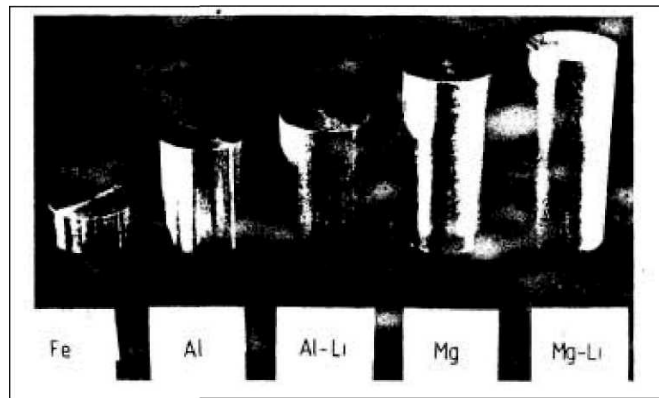
- Örnek: AZ91D
- Bu tanım magnezyum alaşımının nominal %9 alüminyum ve %1 çinko içerdiğini göstermektedir ve alaşım D modifikasyonudur. [6]

3. TASARIM ve MAGNEZYUM METALİ

3.1 Tasarıma Uygunluk Açısından Magnezyum ve Alaşımları

Günümüzde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde magnezyum en hafif olanıdır. Hafiflik bakımından en büyük rakibi de alüminyumdur. Magnezyum, yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzetilirken, bu malzeme bir metalin mekanik özelliklerine sahiptir. 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.

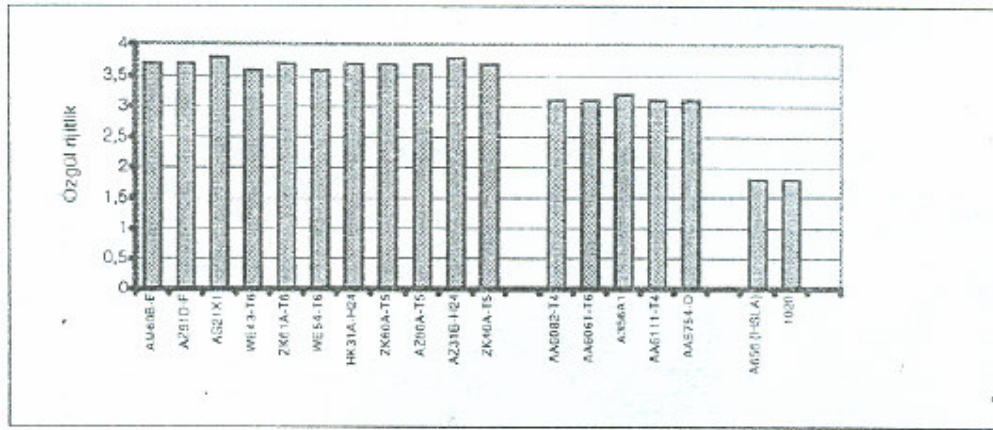
Magnezyumun 1.74 gr/cm^3 lük düşük yoğunluğu ve $650 \text{ }^\circ\text{C}$ lik ergime sıcaklığı çelik gibi diğer konstrüksiyon metallerine göre dökümde ve talaşlı imalatla önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Şekil 3.1' den görüleceği üzere magnezyumun lityum elementi ile yaptığı alaşım süper hafif bir alaşımdır (1.3 gr/cm^3). Li alkali metal grubundandır ve yoğunluğu 0.534 gr/cm^3 tür. Bu kadar düşük yoğunluğa rağmen lityum içeren Mg ve Al alaşımlarının özgül E modülü çeliğe göre daha yüksektir. Şekil 3.1 'de Fe, Al, Al-Li, Mg ve Mg-Li alaşımlarının aynı ağırlıkta yoğunluklarının değişimi verilmiştir. [4]



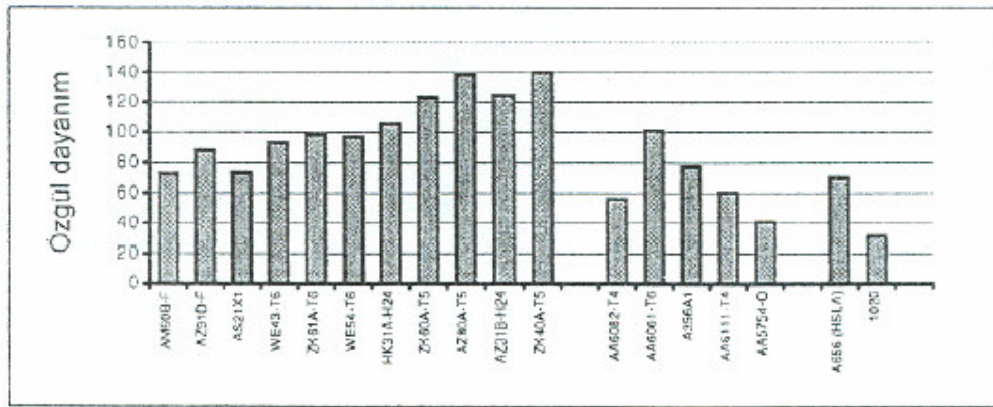
Şekil 3.1 - Aynı Ağırlıktaki Beş Metal Silindirin Yoğunluk Sıralaması [4]

Magnezyum alaşımlarının dayanımları, alüminyum alaşımları kadar yüksek olmamakla birlikte özgül dayanım oranları daha yüksek olabilmektedir.

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. Bir malzemenin özgül rijitlik dayanımı ne kadar büyük olursa, o kadar çok rijit (az esneyebilir) olur. Mesnetler arası mesafesi uzun olan miller gibi elemanlarda, milin çökme miktarının az olması için, özgül rijitlik değerinin yüksek olması istenir iken, yaylar gibi darbeli yüklemeler altında çalışan elemanlar için özgül rijitlik değeri düşük olsun istenir (Şekil 3.2).



Eğme ve burma zorlamasında özgül rijitlik ($\frac{\text{GPa} \cdot \text{cm}^3}{\text{g}}$) değerleri



Çekme zorlamasında özgül dayanım ($\frac{\text{MPa} \cdot \text{cm}^3}{\text{g}}$) değerleri

Şekil 3.2 - Magnezyum Alaşımlarının Özgül Dayanım ve Özgül Rijitlikleri [3]

Üstteki şekiller incelendiğinde, yapı malzemesi olarak kullanılan magnezyum alaşımlarının özgül dayanım ve özgül rijitlik değerlerinin alüminyum alaşımlarından yüksek, çeliğe göre ise 2 kat civarında olduğu görülür. Bu özellik, magnezyum alaşımlarının yapı malzemesi olarak kullanılmasında büyük bir avantaja sahip olduğunu göstermektedir. Bunun sonucu olarak da magnezyum, 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 cıvata, somun gibi elemanlar, ağırlıklarından dolayı bir taşıma problemine neden olabilirler. Demirin ergiyik magnezyum içindeki düşük çözünürlüğünden dolayı, bu elemanların herhangi bir kirlenmeye yol açması olası değildir. [7]

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

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 çalışmak arzu edilir. Ancak yüksek hızlar kullanıldığında, özellikle ince talaşların tutuşma tehlikesi

vardır. 0.025mm' nin altındaki ilerlemeler ya da iş parçasına sürtünen kesici takımlar, talaşları tutuşturmayaya 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.[5,7]

Otomotiv endüstrisinde kullanılabilecek 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 Tablo 3.1' de alüminyum ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.1 - Saf Magnezyum ve Alüminyumun Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması [4]

Özellik(20 °C)	Magnezyum	Alüminyum
Atom numarası	12	13
Atom ağırlığı	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

Sönümlleme kapasitesi, bir metalin titreşim enerjisini yutma ve metalsel yapılarda iletilen titreşimleri tutma özelliğini ifade eder. Magnezyum ve alaşımları mükemmel sönümlleme kapasitesine sahiptir ve birçok uygulama için titreşim ve gürültüyü azaltabilirler. Malzeme yapısında dislokasyonların hareket etmesiyle, dislokasyonların birbirleriyle olan etkileşimleri ve dislokasyon yapısının karmaşıklığı artar. Bu da sönüm özelliğini iyileştirir. Tüm malzemeler için sönümlleme özelliği, bir noktada max. değere ulaştıktan sonra azalmaktadır. Magnezyum ve alaşımlarının

yüzde olarak sönümleme kapasiteleri diğer malzemelerle karşılaştırmalı olarak Tablo 3.2’ de verilmiştir. [3,31]

Tüm magnezyum alaşımları, aynı ürün formundaki (döküm, dövme) diğer metallerle karşılaştırıldığında mükemmel sönümleme kapasitesine sahiptir. Kum döküm ürünler en yüksek sönümleme kapasitesine sahipken, dövme ürünlerin sönümleme kapasitesi düşüktür. Yüksek sönümleme 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. [7]

Tablo 3.2 – Mg ve Al Alaşımları ile Dökme Demirin Özgül Sönümleme Kapasiteleri (%) [3]

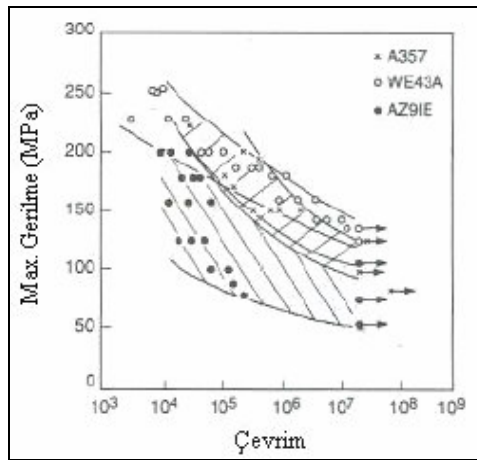
MALZEME	UYGULANAN GERİLME DEĞERİ (MPa)				
	7 MPa	14 MPa	20 MPa	25 MPa	35 MPa
Magnezyum Al.					
AM60 A,B-F	5.33	13.33	24	35	52
AS21 A-F	16	33.33	48	53.33	60
AZ31B-F	1.04	1.57	2.04	2.38	2.72
AZ91A,B,D-F	2.67	5.33	12	16	29.33
HK31-T6	0.37	0.66	1.12	-	-
Alüminyum Al.					
355-T6	-	0.51	0.67	1	-
356-T6	0.3	0.48	0.62	0.82	1.2
Dökme Demir	-	5	12.2	14.2	16.5

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 yapılır. 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 olur [3,7]. Ancak bir otomobildeki max. çalışma sıcaklıkları düşünüldüğünde, 150 °C civarında çalışabilecek alaşımların olması yeterlidir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için magnezyum alaşımlarının gelişimi devam etmektedir. İlerleyen bölümlerde bu alaşımlara yer verilecektir.

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 eriyik mukavemetlenmesi daha iyi yorulma özellikleri sağlamaktadır. A357 alüminyum alaşımı, AZ91E ve WE43A magnezyum alaşımının yorulma karakteristiğinin mukayesesi Şekil 3.3’ deki gibidir. Alaşımdaki bir yorulma çatlağının başlangıcı, tercihli yönlendirilmiş tanelerdeki kayma veya mikro gözeneklerin varlığı ile ilişkilidir.

A357 alüminyum alaşımı, düşük çevrimli yorulmada AZ91E magnezyum alaşımına göre daha iyi performans gösterirken, WE43A magnezyum alaşımı ile benzer özelliklere sahiptir. AZ91E’ nin düşük çevrimli yorulma özellikleri, düşük dayanımı ve gözeneklilikten dolayı zayıftır. Yüksek çevrimli yorulmada ise WE43A magnezyum alaşımı, A357 alüminyum alaşımından daha iyi performans göstermektedir. Yüksek çevrimli yorulma dayanımı öncelikle yüzey koşullarından etkilenir. Sivri çentikler, küçük yarıçaplar ve korozif ortam yorulma dayanımını azaltır. Bir döküm parçasının pürüzlü yüzeyleri işlemeyle giderilerek, yorulma dayanımı iyileştirilebilir. Döküm parçaların kalın kesitlerinde, 75mm çapından büyük ekstrüzyon çubuklarda ve büyük dövme parçalarda, mikro gözeneklilik daha fazla olduğundan, bu parçalar daha düşük yorulma özellikleri gösterirler.[7]



Şekil 3.3 – A357, WE43A ve AZ91E’ nin Yorulma Karakteristiği [7]

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 ıslatıldığında galvanik korozyon için büyük eğilime sahip olmalarıdır. Magnezyumun katışkı düzeyini iyileştirerek (Fe, Ni, Cu azaltarak) korozyonu azaltmak için ilerlemeler olmasına rağmen, magnezyum diğer konstrüksiyon metallerine göre daha anodiktir. Fe, Cu, Ni gibi katışkılar magnezyum alaşımlarında aktif katodik bileşenler olarak katılaşıp ve korozyon hızının yükselmesine sebep olurlar. Yüksek oranda katışkı 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 (Şekil 3.4).

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. [4,7]

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
Pirinç(60/40)	-0.33
Cu	-0.22
Ni	- 0.14
Krom çeliği,passif	-0.13
Ag	-0.05
Au	+0.18

Şekil 3.4 - %3-6 NaCl İçeren Çözeltide Farklı Metallerin Korozyon Potansiyeli [4]

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 hidroflorik 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. [7] 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.

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

Magnezyum alaşımları, hafif alaşım olarak rakibi olan alüminyum alaşımlarına kıyasla tasarım gerekleri bakımından incelendiğinde üstün ve zayıf yönleri Tablo 3.3' deki gibidir:

Tablo 3.3 – Tasarıma Uygunluk Açısından Magnezyum

Özellik	Mevcut Durum
Hafiflik	+
Özgül Dayanım	+
Özgül Rijitlik	+
Geri dönüşüm	+
İşlenebilirlik	+
Dökülebilirlik	+
Sönümlene	+
Elde Edilebilirlik	+
Korozyon Öz.	-
Sürünme Direnci	-
Yorulma Direnci	-
Tutuşma	-

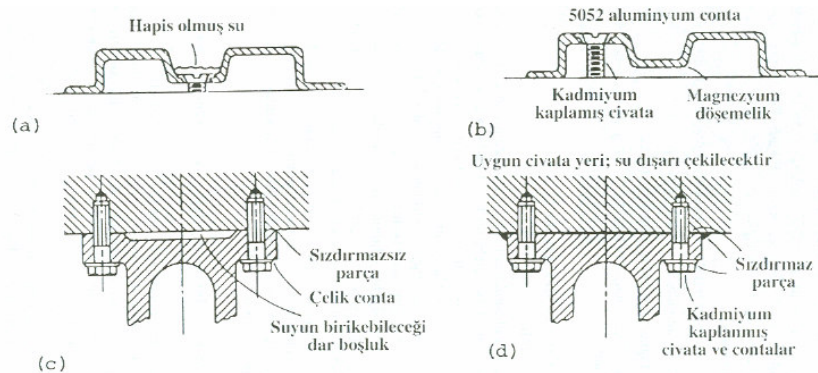
Magnezyum alaşımları hafiflikleri, yüksek özgül dayanım ve rijitlikleri, iyi sönümlene, dökülebilme ve işlenebilme karakteristikleri sayesinde konstrüksiyon malzemesi olarak kendilerine farklı kullanım alanları bulabilmektedir. Alaşımların korozyon, sürünme ve yorulma dirençleri ise genel olarak geliştirilmesi 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. Bu bölümün devamında magnezyumun korozyonu ile ilgili daha ayrıntılı bilgilere yer verilecektir.

3.1.1 Magnezyumun Korozyonu

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

1. Galvanik seride birbirine yakın malzemeler tercih edilmelidir.
2. Bakır, nikel, demir ve paslanmaz çeliklerle doğrudan teması önlenmelidir. Bu mantıkta magnezyumla temasta bir çelik cıvata, çinko veya kadmiyumla kaplanarak korozyon önlenabilir.
3. Mümkünse izolasyonla metalik kontak önlenmeli ve kontak bölgelerinde elektrolit toplanması engellenmelidir.
4. Vida başı gibi yüzeylerin mümkün olduğunca plastiklerle kaplanması veya kısa tutulması gereklidir.
5. Islak bir ortamda kullanılan magnezyum ve benzer olmayan metal arasında ayırıcı vinil halka kullanılarak korozyon önlenabilir.
6. Magnezyum ve benzer olmayan metali, elektrolitten izole etmek için bu iki metal dıştan boyanabilir. [6,22]



Magnezyum ve çelik arasında galvanik korozyonu azaltmak için tasarım düşünceleri (a) bir montajdan civatanın uygun olmayan yeri, (b) (a)'daki montaj için uygun cıvata yeri; (c) galvanik korozyon için zayıf tasarım; (d) (c)'de gösterilenin üzerine uygun tasarım (After Handbook, 6th ed., vol. 13. ASM international, 1987.)

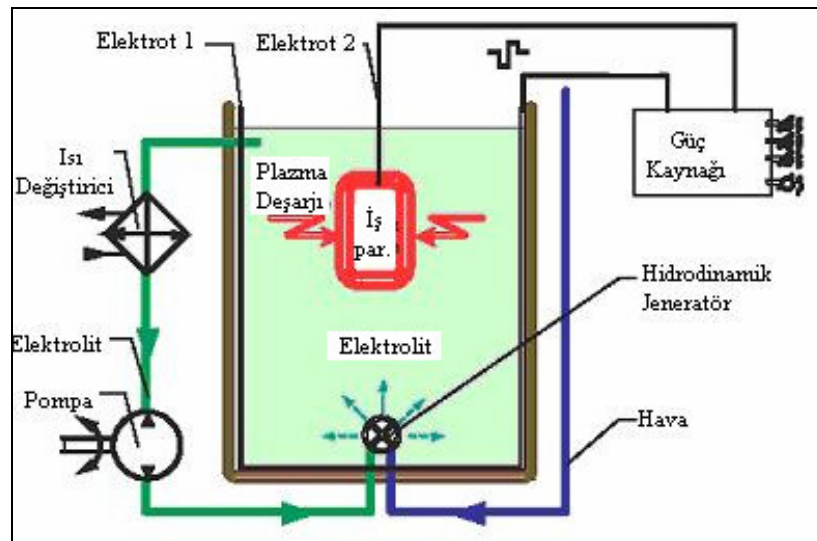
Şekil 3.5 - Yanlış Uygulamalar ve Korozyon Önleyici Uygun Tasarımlar [6]

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 pasivasyon 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.

3.1.1.1 Keronite Prosesi – PEO

Adını bulucusu olan şirketten alan bu yöntem, Mg ve Al gibi hafif metallerin yüzey işlemleriyle ilgili yeni bir teknolojidir. Kromdan arındırılmış (çevresel nedenlerle kaplama malzemesi olarak kullanılması yasak) bir elektrolit banyosuna daldırılan iş parçası yüzeyinin, elektrolit banyodan geçirilen darbeli akım sayesinde magnezyum oksit tabakayla kaplanması işlemidir. Bu metotla korozyon dayanımlı, sert, düzgün ve yoğun bir kaplama tabakası elde edilir. Tabaka elektron mikroskopuyla incelendiğinde, homojen olarak dağılmış ince gözenekler halinde olduğu görülür. Bu gözenekler sayesinde, üzerine ilave olan boya vb. katmanın mükemmel şekilde yapışması sağlanır.



Şekil 3.6 - Keronite (PEO) Prosesi [15]

Cambridge Üniversitesinde yapılan testlerde, AZ91 alaşımı üzerine uygulanan Keronite kaplamayla , alaşımın ortalama 700 HV civarında bir sertlik değerine kavuştuğu görülmüştür. FIAT’ ın 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. [15]

3.1.1.2 Magnezyumun Akımsız Yöntemlerle Kaplanması

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. Bu sebeple 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 olarak 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 yüzeyde bir Ni-P tabakası meydana gelir (%94,6 Ni, %5,4 P). Bu sayede parça da daha iyi aşınma ve korozyon direncine kavuşur.

Magnezyum alaşımlarına uygulanan teflon kaplamalar da vardır. Adını geliştiricisi olan şirketlerden alan AI kaplamalar, yüksek korozyon direncinin yanı sıra, yüksek aşınma direncine sahip ve yağlayıcı özelliktedir. Kaplama alt tabakada bir reçine kaplama, ardından da üstüne yapılan teflon kaplama şeklindedir. [20,21]

3.2 İmal Edilebilirlik Açısından Magnezyum Alaşımları ve İmalat Yöntemleri

3.2.1 Magnezyum Metali Üretimi ve Üretim Yöntemleri

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 üç temel kaynak bulunmaktadır.

1- Deniz suyu 2- Mineral kayaçlar 3- Asbest

Dünya üzerinde cevher olarak 2.528 milyar ton magnezit ($MgCO_3$) rezervi olduğu, potansiyel rezerv ile birlikte toplam 3.395 milyar 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. Ülkemizde yaklaşık 160 milyon ton magnezit bulunduğu rapor edilmektedir.

Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) rezervi olarak da dünyada çok büyük yatakların olduğu bildirilmektedir. Türkiye ise dolomit rezervi bakımından sınırsız imkanlara sahiptir. Üçüncü önemli magnezyum hammaddesi ise asbesttir (magnezyum hidro silikat). 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

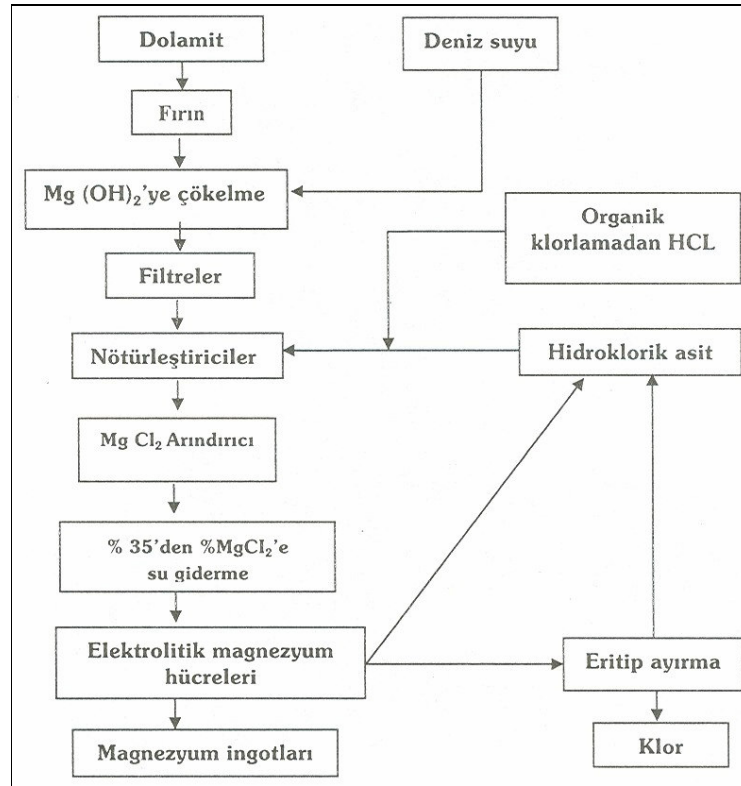
Tüm dünyada magnezyum üretimi 1986'da 322000 ton seviyesinde iken, günümüzde dünyadaki hızlı gelişmelere paralel olarak magnezyum üretimindeki artış hedeflerinin anormal boyutlara ulaştığı görülmektedir. 1998 yılında bir araştırma firması olan Roskill'in yayınladığı raporlar 2005 yılında 895.000 ton/yıl gibi rakamlardan söz etmekteydi. [4]

Tablo 3.4 - Dünya Magnezyum Üretiminin Yıllara Göre Değişimi [4]

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

Magnezyum metali magnezit veya dolomit cevherlerinden elde edilir. Örneğin tuz depozitlerinden, doğal yeraltı ve yapay tuzlu sulardan ya da deniz suyundan üretilir. Asbest ise yine önemli bir magnezyum kaynağıdır. Magnezyum üretimi ergimiş magnezyum klorürün ($MgCl_2$) indirgenme prensibine göre elektrolizi, dolomitten kimyasal yollarla kalsinasyon, presipitasyon (çökeltme) ve klorinasyon yöntemleri ile veya doğrudan tuzlu sulardan magnezyum oksidin termal redüksiyonu ile yapılır.

Görüldüğü gibi magnezyum pekçok ekstraktif işlemlerle üretilebilmektedir. Bunlardan en erken 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 3.7' de şekilde verilmiştir. Bu proseste dolomit ve deniz suyunda magnezyum, çözünmeyen magnezyum hidroksit olarak $[Mg(OH)_2]$ çökertilir. Bunu takiben magnezyum klorür üretmek için hidroklorik asitle işlemlendirilir. Ardından magnezyum klorür, magnezyum metali ve klor gazına dönüştürülmesinde kullanılan elektriğin bulunduğu elektrolitik hücrelere verilir. [6]



Şekil 3.7 – Deniz Suyundan Magnezyumun Ekstraksiyonu [6]

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 (ısı 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. [4]

3.2.2 Magnezyum Alaşımları ile İmalat Yöntemleri

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 alaşımlarına uygulanan değişik imalat 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.

3.2.2.1 Magnezyum Alaşımlarının Döküm Yöntemleri

Günümüzde magnezyum alaşımlarının döküm yöntemiyle üretiminde basınçlı kalıp döküm tekniği hakim olmakla birlikte, kum döküm, hassas döküm, sürekli ve yarı sürekli kalıp döküm gibi diğer basınçlı ve basınçsız döküm yöntemleriyle üretilebilirler. Son zamanlarda basınçlı kalıp döküm alaşımlarının kullanımı artmıştır. Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve yüzey bitirme özellikleri, üretilecek 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 karbon (<0,12C) potada ergitilir. Çelik pota çok yaygın olarak kullanılır, çünkü magnezyum normal döküm sıcaklıklarında (magnezyum 650°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 uzundur.

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 (SF₆) şeklinde bir örtüsüz proses kullanmaktadır. [4]

Magnezyum alaşımlarının kum döküm yöntemiyle üretimi 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 alaşımlarının sürekli kalıba döküm yöntemiyle üretiminde, 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. [7]

Magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle üretimi diğer yöntemlerin sunamayacağı ekonomik avantajlar sunar. Magnezyum basınçlı döküm yöntemiyle üretildiğinde; alüminyum ve çinkoya kıyasla avantajlarından biri, aynı başlangıç malzemesiyle daha fazla ürün elde edilebilmesidir. Otomasyona uygunluğu yönüyle magnezyum basınçlı döküm yöntemi, yüksek hacimli üretimler için ideal bir yöntemdir.

Alüminyum ve çeliğe kıyasla çoğu alaşımı yüksek akıcılığa sahiptir, bu da ince cidarlı ve karışık parçaların dökümüne olanak sağlar. Çeliğe göre üstün dökülebilirliği, parçaların birçok bileşenden ziyade, bütün olarak dökümüne olanak tanır. Bu da montaj ve ıskarta maliyetlerinin düşürülmesini sağlar.

Alüminyum ve çinkoya kıyasla magnezyum alaşımlarının hacimsel öz ısısı daha düşüktür. Bu da dökümün daha hızlı soğuması, daha yüksek çalışma hızı ve daha az kalıp aşınması demektir. Ayrıca,

- Soğuma sırasında kızgın noktaları önlemek için üniform kesit kalınlığı
- Uygun parça çıkarma açıları
- Yuvarlak köşeler, takviye edilmiş ince kesitler, kaçınılan düz yüzeyler

- Mümkin olduğunca büyük yarıçap kullanımı bu yöntemin uygulanması esnasındaki tasarım gerekleri olarak sıralanabilir.

Magnezyum 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 Tablo 3.5’ deki gibidir.

Tablo 3.5 – Magnezyum Alaşımları ile Döküm Yöntemlerinin Mukayesesi

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 edilebilirliği	+	-	+	+
İyi mekanik özelliklerin elde edilebilirliği	+	+	+	+
Karmaşık şekilli parça üretilebilirliği	+	-	+	-

Tablo 3.5’ den görüldüğü üzere, magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle üretimi diğer döküm yöntemlerine kıyasla çok iyi sonuçlar verir. Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü için sıcak veya soğuk hazneli teknolojiler uygulanmaktadır.

Sıcak hazneli teknolojide enjeksiyon mekanizması, bekletme fırınının ergiyik magnezyum banyosuna daldırılır. Ergiyik metal de piston vasıtasıyla kalıba doğru itilir. Bu yöntemle nisbeten küçük magnezyum alaşımı parçalar dökülürken, döküm makinaları biraz kompleks ve pahalıdır. Soğuk hazneli basınçlı dökümde ise 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.

3.2.2.2 Magnezyum Alaşımları ile Talaşlı İmalat

Magnezyum işlemesi en kolay metallerden biridir. Ayrıca alaşımları da kendi içinde işlenebilirlik bakımından bir fark göstermezler. Magnezyum tasarımlarda öncelikle hafifliği nedeniyle tercih edilmesine rağmen, iyi işlenebilirliği yüksek hacimli üretimler için büyük bir avantaj teşkil eder. İşlemede alüminyum, nikel ya da dökme demire göre daha az güç ihtiyacı vardır.

İşleme, düşük kapasiteli manuel tezgahlarda yapılabileceği gibi, yüksek kapasiteli otomasyon tezgahlarda da yapılabilir. Magnezyumun mükemmel işlenebilirliği, alüminyum ve titanyum gibi zor işlenebilen metallere göre büyük avantajlar sağlar. Düşük kesme basınçları ve yüksek ısıl iletkenliği, hızlı bir ısı dağılımı sağlar. Böylece kesici takım ömürleri uzar ve takım değiştirme zamanları azalır.

İşlemede 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 ısıl 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 işlenebilir. Magnezyumun iyi ısıl 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 işlenmesi sırasında talaş oluşumu alaşım kompozisyonu ve ilerleme hızından etkilenirken, bu durum çoğu metal için kesme hızıyla ilişkilidir. [7]

3.2.2.3 Magnezyum Alaşımları ile Plastik Şekillendirme

Şekillendirmede magnezyumu demir, bakır ya da alüminyumdan ayıran en büyük fark çalışma sıcaklığıdır. Magnezyumun SPH yapısından dolayı, magnezyum alaşımlarına uygulanabilir soğuk 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.

Sıcak şekillendirilecek kütük 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. Talaşlı işleme sırasında talaşların tutuşma tehlikesi varken, plastik şekillendirme esnasında magnezyumun tutuşma ihtimali daha azdır. Magnezyum parçaları genelde tek kalemde 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, soğuklara göre nominal değerlere daha yakındır. Çünkü daha az geri yaylanmaya maruzdurlar.

Soğuk şekillendirme esnasında magnezyum parçaların alüminyum ve çelikten farklı olarak, bükme operasyonu sonrası boylarının kısaldığı görülür. Bu durum, parça ekseninin gergin büküm yerine doğru hafifçe kaymasından kaynaklanır. Çok ince sac kalınlıklarında bu durum fark edilemezken, kalınlıklar arttıkça mutlaka göz önünde bulundurulması gerekir. Soğuk şekillendirilen parçaya son bir ütüleme operasyonu yapılması gerekiyorsa, parçanın yorulma dayanımının düşük olmasından dolayı yüksek sıcaklıkta yapılmasında fayda vardır. [7]

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.

Döverecek şekillendirme alaşımlarının 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.

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

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. [7,33]

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 ısıtılmadık. Şekillendirmede oluşan ısı soğutma ile giderilmez ve alaşımın katılaşma 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. [7,34]

Sac ve plaka haddesinde kullanılacak magnezyum kütük malzemeler bir ön ısıtma işlemine 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 olmazsınızın levhalar her geçişte yaklaşık 6mm kadar inceltirilirler. Ancak son geçişten sonra hadde toplarının yağlanması gerekir.

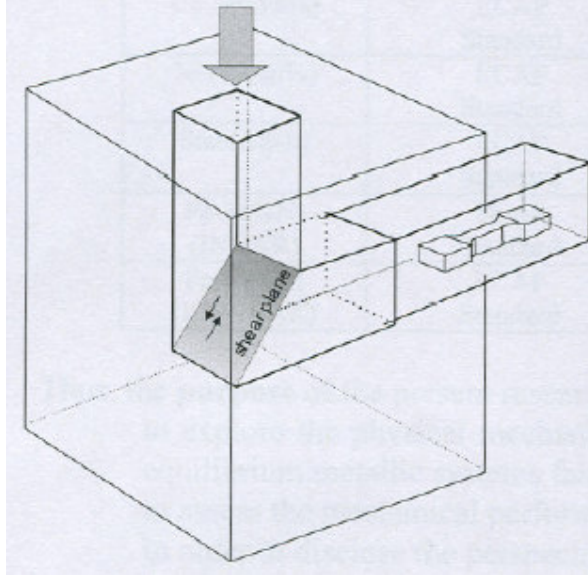
Sac ve plakalar genelde Mg-Al-Zn alaşımlarından haddelenir. AZ31B alaşımı, sac ve plaka için yoğun olarak kullanılan alaşımdır ve 100 °C' nin üzerine kadar kullanılabilir. HK31A ve HM21A alaşımları 315-345 °C sıcaklıklarda kullanım için uygundur [6]. Sac ve plaka ürünlerde kesit kalınlıkları konstrüksiyonun toplam ağırlığını fazla etkilemeden arttırılabilir. Böylece parçaya rijitlik kazandırılmış olur. [7]

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.

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

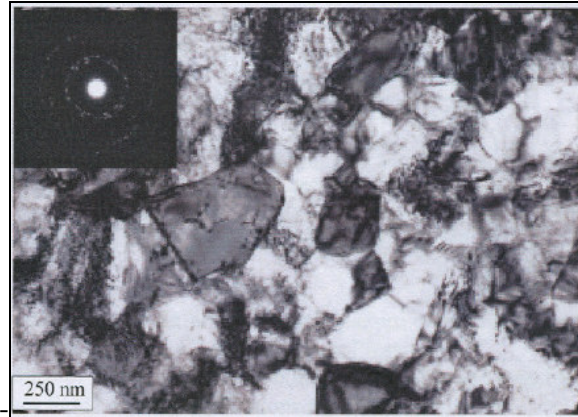
ECAP uygulamaları, magnezyum alaşımlarının düşük sıcaklıklarda da şekillendirilebilmelerine olanak sağlar. [8,9]



Şekil 3.8 - ECAP' ın Uygulama Prensibi [9]

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 250nm boyutlarına incelendiği görülmüştür. Başlangıçta homojen olmayan tane büyüklüğü dağılımı, devam eden kalıplamalar sonucunda homojen hale gelmiştir.
- 100°C' de yapılan uygulamada, 4 kez kalıplanan numunenin HV sertliğinin %28 oranında arttığı görülmüştür. [30]

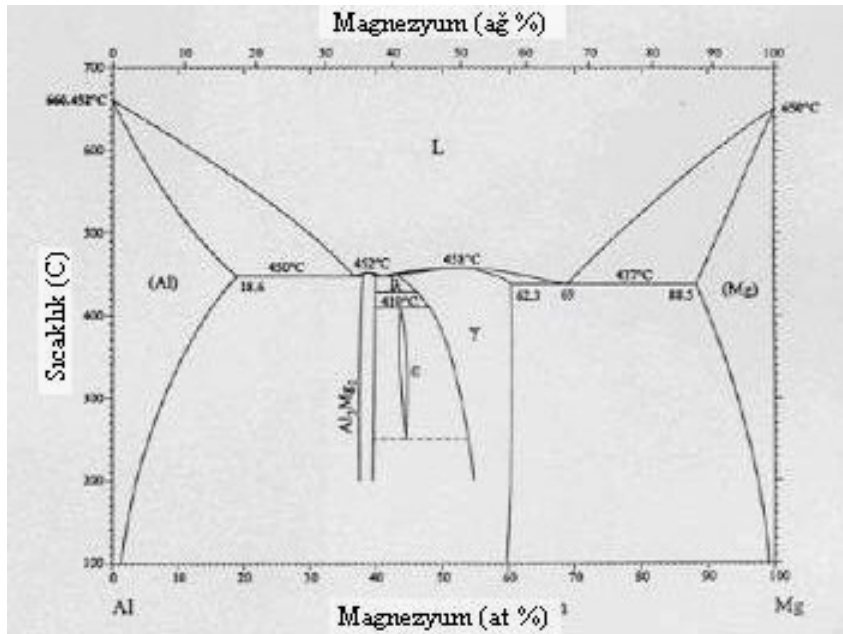


Şekil 3.9 – 4 Kez Kalıplanmış Malzemenin Tane Yapısı [9]

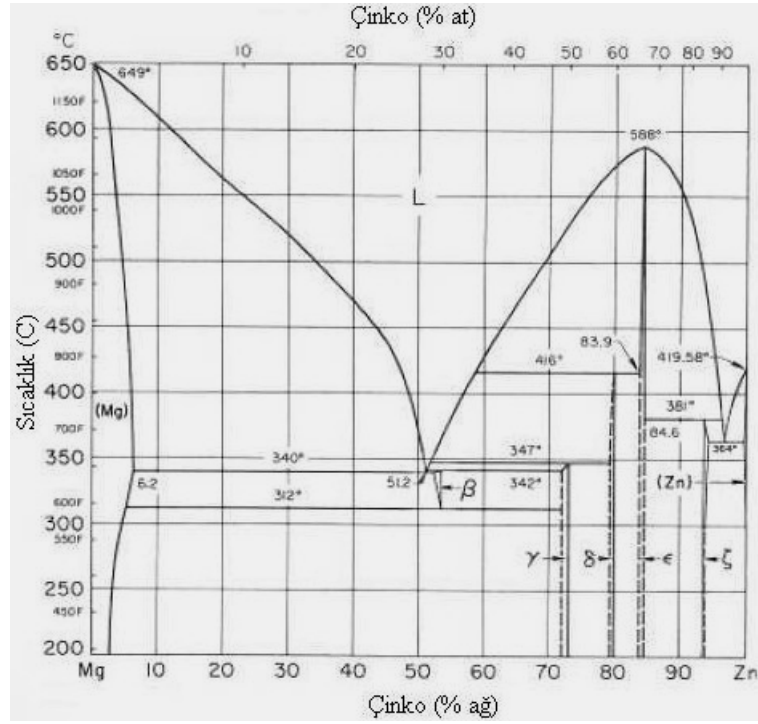
3.3 Rekabetçi Maliyetli Magnezyum Alaşımları

Magnezyum alaşımları, 160-300 N/mm² çekme dayanımı, 80-190 N/mm² %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. Bugün, plastik ve fiberle güçlendirilmiş plastiklerle birlikte kullanılan alaşımları yine gündemdedir. Dayanımlarının artırılması alaşımlama, pekleşme, tane boyutu küçültülmesi ve çökeltme sertleşmesi ile sağlanır.

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. Aşağıda, magnezyumun alüminyum ve çinkoyla ikili faz diyagramları ve Tablo 3.6' da magnezyuma ilave edilen bazı alaşım elementlerinin etkileri verilmiştir. [4]



Şekil 3.10 - Al-Mg Faz Diyagramı [7]



Şekil 3.11 - Mg-Zn Faz Diyagramı [7]

Tablo 3.6 - Magnezyuma İlave Edilen Bazı Elementlerin Etkileri [4]

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 eriyik 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.		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.	iyileştirir.

Alaşımlar hakkında genel olarak:

- AE42 alaşımları, AS serisi alaşımlar ve ZC63 200 °C' nin üzerindeki servis koşullarında 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 dayanımı gösterir. Bu alaşım hava-deniz araçlarının motorlarında, transmisyon elemanı olarak ve yarış arabalarında kullanılır.
- Magnezyum alaşımlarından AM serisi alaşımlar yüksek toklukları ve enerji absorblama özellikleri bakımından özellikle direksiyon, tekerlek, otomobil koltuk iskeleti yapımında kullanılırlar.
- Magnezyum alaşımları için mukavemet artırıcı bir yöntem de fiber sertleşmesidir. MMC (Metal Matris Kompozit) magnezyum alaşımları 350 °C' nin üzerindeki servis sıcaklıklarında motor elemanı, örneğin piston üretiminde kullanılır. [4]

TiC parçacıklarıyla takviye edilmiş 8 ağırlık %TiC/AZ91 alaşımının mekanik özellikleri, AZ91 alaşımına göre iyileştirilmiştir. TiC takviyeleri tane inceltme ve dislokasyon yoğunluğunun artışıyla , mekanik özellikleri iyileştirir. [31]

3.3.1 Mg-Al Döküm Alaşımları

Alüminyum, magnezyumla dayanımı, dökülebilirliği ve korozyon direncini iyileştirmek için alaşımlandırılır. Mg-Al faz diagramından görüleceği üzere, alüminyum 437 °C de % 12,7 magnezyumda max. katı eriyebilirliğe sahiptir ve eriyebilirlik oda sıcaklığında yaklaşık % 2' ye düşer. Uygun bir çözündürme, su verme ve yaşlandırma işlemiyle, sağlam ve sünek alaşım sağlayan ince bölünmüş çökeltinin oluşması beklenebilir.

Ancak durum bu şekilde gelişmez ve uyumsuz, kaba taneli GP-bölge oluşumsuz bir çökelti üretilir. Bu çökelti de kuvvetli bir mukavemetleme etkisi üretmek için yeterince ince ve yoğun değildir.

Çinko ilaveleri, yaşlandırma sertleştirilmiş çökeltiyi inceltmekle Mg-Al alaşımlarının dayanımı oldukça iyileştirilebilir. Ticari öneme sahip sadece birkaç Mg-Al alaşımı

vardır. AM60 düşük ağırlık ve üstün süneklik özelliğiyle otomobil tekerlekleri için uygulama alanı bulur. Diğer uygulama örnekleri Tablo 3.7’ de verilmiştir.

Tablo 3.7 - Mg-Al ve Mg-Al-Zn Alaşımları için Uygulamalar [6]

KALIP DÖKÜMLER					
Alaşımlar	% 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

3.3.2 Mg-Al-Zn Döküm Alaşımları

Mg-Al-Zn alaşımları, magnezyum alaşımları için, hafif ağırlık, dayanım ve nisbeten iyi korozyon direnci kombinasyonlarından dolayı ana endüstriyel öneme sahiptirler. Alaşımların çoğu kalıp dökümdür. Mg-Al alaşımlarına çinko ilavesi katı eriyik mukavemetlenmesi ve çökelme sertleşmesi ile dayanımı artırır.

Magnezyum yaklaşık % 10 dan fazla Al+Zn ile alaşımlandırılmaz veya alaşımların sünekliği gevrek metaller arası bileşiklerin oluşumundan dolayı aniden azalır.

3.3.3 Mg-Zn-Zr Döküm Alaşımları

Bu alaşımlar (ZK51, ZK61) sınırlı kullanıma sahiptir. Çünkü bunlar döküm sırasında mikroboşluk için hassastır ve yüksek çinko içeriklerinden dolayı kaynaklanamazlar. Uygulamalar tabloda verilmiştir.

3.3.4 Mg-Zn-Nadir Toprak-Zr Döküm Alaşımları

Bu alaşımlar (EZ33, ZE43) nisbeten iyi dökülebilirliğe sahiptir. Nadir toprak elementlerinin ilavesi mikroboşlukları bastırma eğilimindedir. Bu sayede dökülebilirlik iyileşir.

Tablo 3.8 - Mg-Zn-Zr ve Mg-Zn-Nadir Top-Zr Alaşımlarının Kimyasal Komp. ve Uyg. [6]

Alaşımlar	% Zn	% RE	% Zr	1.1.1.1.1.1 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

3.3.5 Yüksek Sıcaklık Mg Döküm Alaşımları

Nadir toprak elementleri, gümüş ve yitrium içeren magnezyum döküm alaşımları 200-250 °C aralığındaki uygulamalar için geliştirilmiştir. Yaklaşık %4 yitrium 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 ısıtma işlemi uygulamakla elde edilir. Aşağıda yüksek sıcaklık alaşımlarının kimyasal kompozisyonları ve uygulamalarını içeren bir tablo verilmiştir.

Tablo 3.9 – Yüksek Sıcaklık Magnezyum Döküm Alaşımları [6]

Alaşımlar	% Ag	% Y	% RE	% Cu	% Zr	Uygulamalar
QE22A	2,5		2,2		0,7	200C' ye yüksek sıcaklık kullanımı kum ve kalıcı
EQ21	1,5		2,1	0,08	0,6	kalıp dökümler; uçak motor parçaları, helikopter gövdeleri, füzeler, yarış arabası parçaları
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 kötü alaşımların kullanılması durumunda; civatalı bağlantılar gevşeyecek ve yağ kaçağı, gürültü ve titreşim artacaktır.

Magnezyum alaşımlarının sürünme direncini arttırmak için çalışmalar devam etmektedir. Magnesium Research Institute (MRI) ‘nın 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 verir. [3]

4. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE MAGNEZYUM UYGULAMALARI

4.1 Otomotivde Neden Magnezyum?

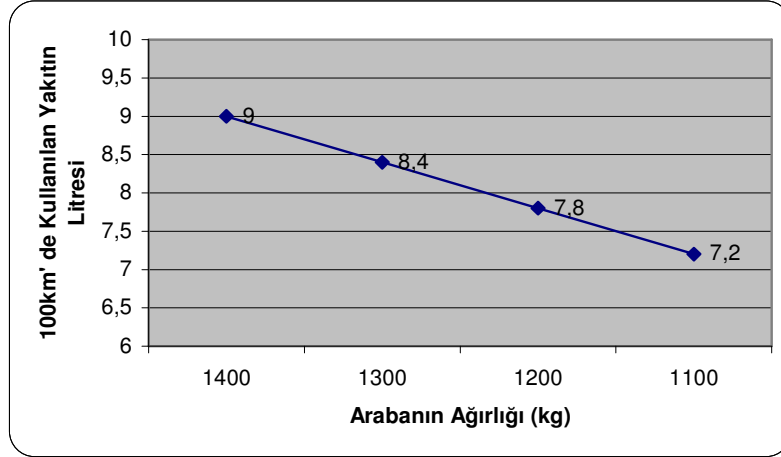
Belirli bir eleman için magnezyum kullanımı temel olarak, parçanın ne tip etki ve yükler altında çalışacağını, belirli sıcaklık ve ortam koşulları altında mukavim olabilmesi için ne gibi sonuç gereksinimlere ihtiyaç duyulduğunun bilinmesine bağlıdır. Bunlara ek olarak güvenlik, konfor, ağırlık, maliyet, üretilebilirlik ve çevresel güvenlik gibi birçok farklı gereksinim vardır. 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. Otomobillerde yakıt tüketiminin % 60' ı otomobil ağırlığından kaynaklandığından ağırlığın azaltılması doğrudan yakıt tasarrufu sağlamaktadır. [4]

4.1.1 Taşıt Ağırlığının Azaltılmasının Önemi

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. 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. [4]

Farklı bir kaynaktan alınan ve Şekil 4.1’ de görülen bir bilgiye göre de günümüzde kullanılan orta üst sınıftaki bir sedan arabada hafif malzemelerin kullanımıyla yakıttan elde edilen tasarruf 100km. de 0,6 litredir. Dolayısıyla emisyonunda da % 20’ lik bir azalma olacaktır.



Şekil 4.1 – Araç Ağırlığındaki Azalmayla Elde Edilecek Yakıt Tasarrufu [3]

Tüketiciye daha fazla fayda sağlama amacıyla kullanılan hafif konstrüksiyon, aerodinamikliği sağlayarak ve motor verimliliğini arttırarak 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. [3,11]

Magnezyumu otomotivde çekici kılan diğer bir önemli faktör ise imal edilebilirliğinin kolay olmasıdır. 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.

Magnezyumu otomotivde kullanılmaya iten diğer avantajlar 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 mukavemet. değerlerine sahip olsalar da kıyaslanabilir seviyededirler. Basıncılı dökümle üretilmiş magnezyum alaşımı AZ91 ve aynı yöntemle üretilmiş alüminyum alaşımı Al 380 ile akma mukavemeti, süneklik ve darbe mukavemeti (DM) yönünden kıyaslandığında: $\sigma_{Mg} = 150 \text{ MPa}$, $\epsilon_{Mg} = \% 3$, $DM_{Mg} = 2.7 \text{ J}$ $\sigma_{Al} = 160 \text{ MPa}$, $\epsilon_{Al} = \% 3.5$, $DM_{Al} = 3 \text{ J}$ sonuçları görülür.

- Genel olarak malzeme fiyatı Mg için eşdeğer malzemelerden % 60 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, A380 veya soğuk haddelenmiş çelik ile kıyaslandığında, bunlara denk olduğu görülür.

- Mükemmel sönümleme 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 mukavemeti ve çökme direnci sağlar.

- Bilinen kaynak yöntemleri ile veya perçinleme yoluyla birleştirmeye uygundur.

- İşlenebilirliği iyidir ve kuru olarak da işleme yapılabilir. Talaşlı imalatı 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. Gerekirdiği güç bakımından işlenebilirliğin diğer bazı metallerle mukayesesi Tablo 4.1' 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. [1]

Tablo 4.1 – İşlenebilirlik Açısından Bazı Metallerin Kıyaslaması [1]

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. Zaten 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.

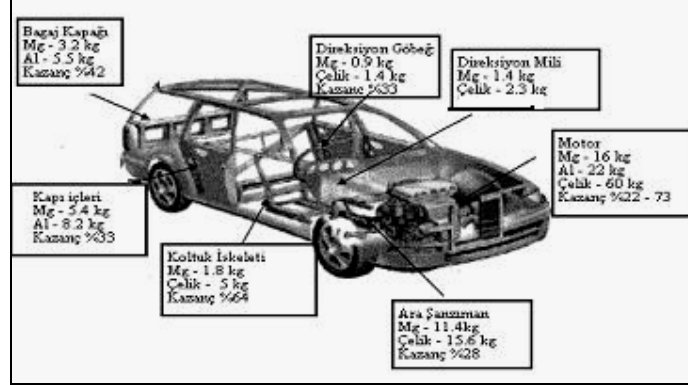
Günümüzde magnezyum alaşımlarının otomotiv sektöründe kullanıma girdiği veya potansiyel kullanım alanı olarak görülebilecek iki ana grup vardır. Bunlardan birincisi magnezyum alaşımlarının halen kabul gördüğü yapısal elemanlar olup (şase elemanları, dahili parçalar ve kaporta elemanları); bu uygulamalarda magnezyum alaşımları mukavemet, süneklik, yorulma ve darbe dirençlerinin yeterli olmaları nedeniyle iş görebilirler. Örnek olarak koltuk iskeleti, direksiyon ve direksiyon kolonu 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:

- Tekerlekler
- ABS fren destek ve tutma braket
- Geçme hava yastığı tutucuları
- Debriyaj gövdesi
- Koltuk yükselticisi
- Koltuk kızakları
- Orta konsol
- Kapı içi koruyucu kirişler
- Tekerlek göbeği
- İç kapı kolları
- Kol dayama yerleri
- Kapı kilidi gövdeleri
- Motor destek braketleri
- 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 4.2 bir otomobilin değişik kısımlarında magnezyum kullanımıyla elde edilen ağırlık kazancını göstermektedir. Konunun devamında farklı uygulama örneklerine yer verilecektir. [1,2]



Şekil 4.2 - Magnezyumun Çelik ve Alüminyuma Göre Sağladığı Ağırlık Kazancı [2]

4.2.1 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.

Daimler-Chrysler şirketinin Mercedes A, C,E, M, S, SL ve SLK sınıfları için geliştirmiş olduğu bir 7-G otomatik vites kutusu bulunmaktadır. Tasarımdan 150°C'

de: - İyi akma dayanımı, süneklik ve % kopma uzaması

- Aşınma dayanımı ve iyi korozyon özellikleri

- Minimum ön gerilme kaybı göstermesi beklenmektedir.

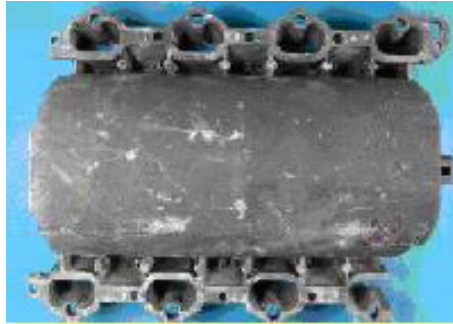
Tablo 4.2 – Daimler-Chrysler’ in Çalıştığı Alaşımların Özellikleri [10]

Alaşım	Döküm Koşullarında			150 C’ de 2000 Saat Yaşlandırma ile		
	Çekme Day. (MPa)	Akma Day.(MPa)	% Uzama	Çekme Day. (MPa).	Akma Day.(MPa)	% Uzama
AZ91 HP	200-230	140-160	2.0-3.0	210-225	140-185	0.5-1.5
AS31 HP	180-220	105-125	6.0-7.5	200-225	125-150	4.5-6.0
AJ52 HP	205-215	110-120	6.0-7.0	210-220	125-135	5.5-6.5
MRI 153	240-250	140-150	6.0-7.0	225-235	140-150	2.0-3.0
AlSi9Cu3	220-295	155-180	0.5-2.5	265-290	205-225	0.5-1.0

1 hafta boyunca $T \leq 120^{\circ}\text{C}$ olmak üzere iklim testine ve 24’ er saatlik 6 tuz spre y testine maruz bırakılan AS31HP ve AZ91HP alaşımlarından yapılmış parçalar mükemmel korozyon dayanımı göstermiştir. Parçalarda bağlantı elemanı olarak kullanılan alüminyum civatalar sayesinde de 150°C ‘ de bile kapama kuvvetleri rahatça karşılanmıştır.



Şekil 4.3 – AS31HP Vites Kutusu [10]



Şekil 4.4 – AZ91 HP Emme Manifoldu [10]

Bu testler sonunda ürün özelliklerine ve çevresel yükümlülüklerle bağlı kalarak geliştirilen AS31 HP alaşımı her koşulda gösterdiği iyi akma dayanımı, süneklik, korozyon ve aşınma direncinin yanı sıra; geri dönüşüm, dökülebilirlik ve iyi işlenebilir özelliklerinden dolayı vites kutusu imalatında tercih edilmiştir. Üstteki şekilden de görüldüğü üzere AZ91 HP alaşımı da basınçlı dökümle imal edilmiş emme manifoldu yapımında kullanılmaktadır.[10]

İçten yanmalı motor bloklarında alüminyum, yüksek sıcaklıklara dayanımı ve yüksek mekanik gerilmeleri karşılayabilmesi nedeniyle yaklaşık 50 yıldır kendine yer buluyordu. Günümüze yaklaştıkça da dökme demirin yerini almaya başladılar. Ancak, alüminyum motor bloğu dökme demirden yapıldığına 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 sönümler.

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 oto üreticilerinin değişmeyen hayali olmuştur. Bu sayede yakıt tüketimi ve gaz emisyonunda azalmaya gidilebilir. [2]



Şekil 4.5 – Motor Bloğu [2]

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

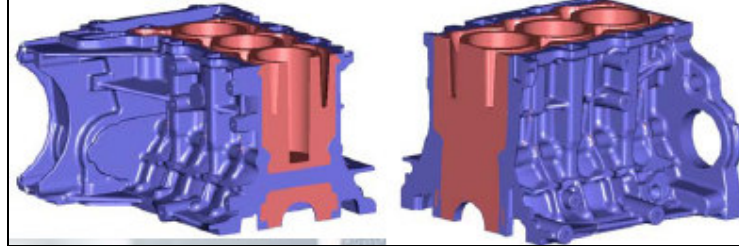
Audi' nin V8 Quattro modelinde de, motor bloğunda kullanılan magnezyum sayesinde araç diğer 8 silindirli benzerlerine göre 5 kg hafiflemiştir.

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.

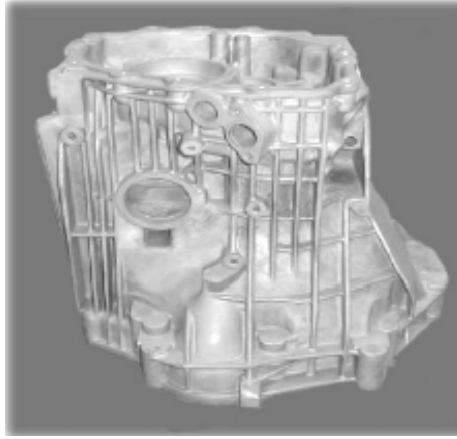
Minimum ağırlığı hedefleyen BMW, ilk defa yüksek kapasiteli seri üretimler için bu özel motorda, alüminyuma göre ağırlığı %30 daha az olan magnezyum kullanmıştır. Magnezyum özellikle karterde, krank mili yatağında ve silindir kapağında kullanılırken, iç kısımda alüminyum kullanılmıştır. AJ62 alaşımı kullanılan motor (Şekil 4.6); dökülebilirlik, sürünme direnci, korozyon dayanımı ve minimum ön gerilme kaybı özelliklerinin muhteşem bir kombinasyonudur.[26]

Almanyada 2000 yılına kadar kabaca 1 milyon dev kamyon üretildiği düşünülmüş ve bunların ara şanzımanlarında ortalama 7 kg magnezyum kullanıldığı bildirilmiştir. (Şekil 4.9)

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. Zaten VW 1996' dan beri, Golf ve Passat modellerini manuel vitesli versiyonlarında magnezyum alaşımlarını kullanarak üretmektedir. Manuel şanzımanlarda 125 °C' nin altında olan çalışma sıcaklıkları otomatik şanzımanlarda daha yüksektir. Ford Motor Company de AZ91D alaşımdan yaptığı transmisyon kutusu ve sübap kapağını araçlarında kullanmıştır. Magnezyum alaşımı bu parçalardan transmisyon kutusu 9.1 kg iken, sübap kapağı da 1.15 kg ağırlığındadır. (Şekil 4.7)



Şekil 4.6 – Kesik Halde Mg-Al Kompozit Motor Bloğu [26]



Şekil 4.7 – Transmisyon Kutusu [14]

Yarış arabalarında da süper sıcaklık özellikleriyle bilinen WE54 alaşımları kullanılmaktadır. Formula-1 arabalarının çoğunun motor parçalarında yerini almıştır. WE54 katkılı pistonların, zorlu yarış koşullarında gelecekte de önemli katkılar sağlaması beklenmektedir. [2]



Şekil 4.8 - Silindir Kapağı [15]



Şekil 4.9 – Ara Şanzıman [15]

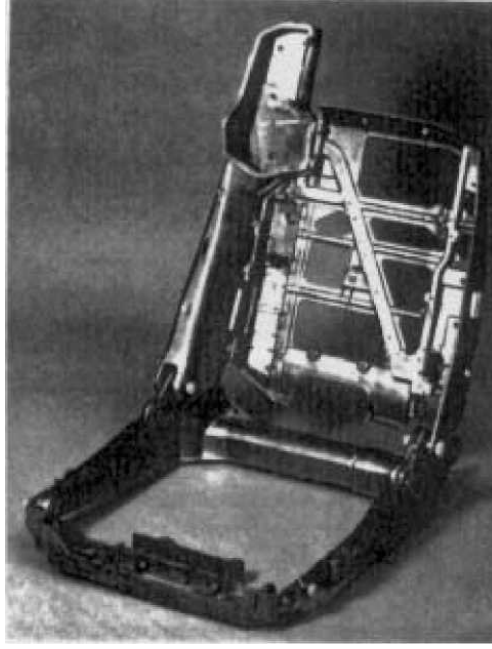
4.2.2 Magnezyumun Yapısal Elemanlarda Kullanımı

AZ91D, AM50, AM60B ve AS41B, otomotiv endüstrisinde çok kullanılan alaşımlardandır. Bunların karakteristiklerine göz atılacak olursa:

Tablo 4.3 – Çok Kullanılan Bazı Mg Alaşımlarının Özellikleri [7]

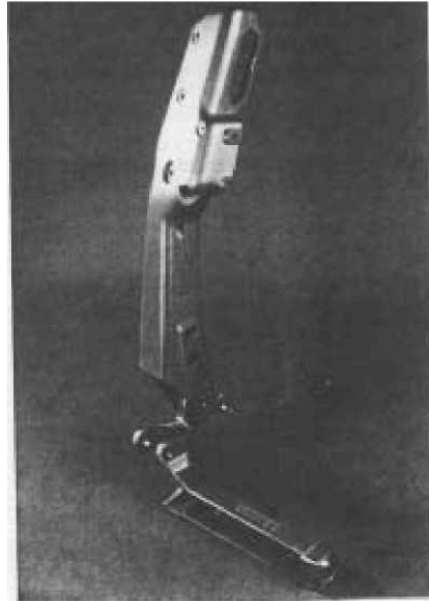
Alaşım	Karakteristik Özellikleri
AZ91D	Mükemmel dökülebilirlik, iyi dayanım
AM50	Mükemmel süneklik, yüksek enerji absorblama kapasitesi
AM60B	AM50'ye benzer, daha iyi dayanım
AS41B	İyi dayanım, iyi dökülebilirlik, 150 C' de iyi sürünme direnci

Günümüzün uygulama örnekleri arasında, Mercedes' in Roadstar modelinde kullandığı basınçlı dökümle üretilmiş AM20 ve AM50 alaşımlı 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 4.10 ve 4.11' de magnezyum koltuk parçalarının örnekleri verilmiştir. Devamında Tablo 4.4' de ise otomotivde çok kullanılan bazı magnezyum alaşımlı parça örnekleri ve üretim yöntemleri, Tablo 4.5 ' te ise bazı alaşımların mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.10 – Mercedes Roadstar Koltuk İskeleti [7]

Araba 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 mukavemet, optimum deformasyon davranışı ve düşük parça ağırlığıdır. [1,4]



Şekil 4.11 – Koltuk Çerçevesi [4]

Tablo 4.4 - Otomobil Parçaları, Alaşım Çeşitleri, Üretim Yöntemleri ve Ağırlıkları [1]

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.

Tablo 4.5 – Otomotiv Endüstrisinde Çok Kullanılan Bazı Magnezyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri [1]

Özellik	Birim	AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Çekme Mukavemeti	MPa	240 (250)	225 (240)	210 (230)	190 (210)	215 (240)	175 (220)	230 (230)
Akma Mukavemeti	MPa	160 (160)	130 (130)	125 (125)	90 (90)	140 (140)	110 (120)	145 (145)
Basma Akma Mukavemeti	MPa	160	130	125	90	140	110 (106)	145
Kırılma Uzaması	%	3 (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 Mukavemeti, 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.



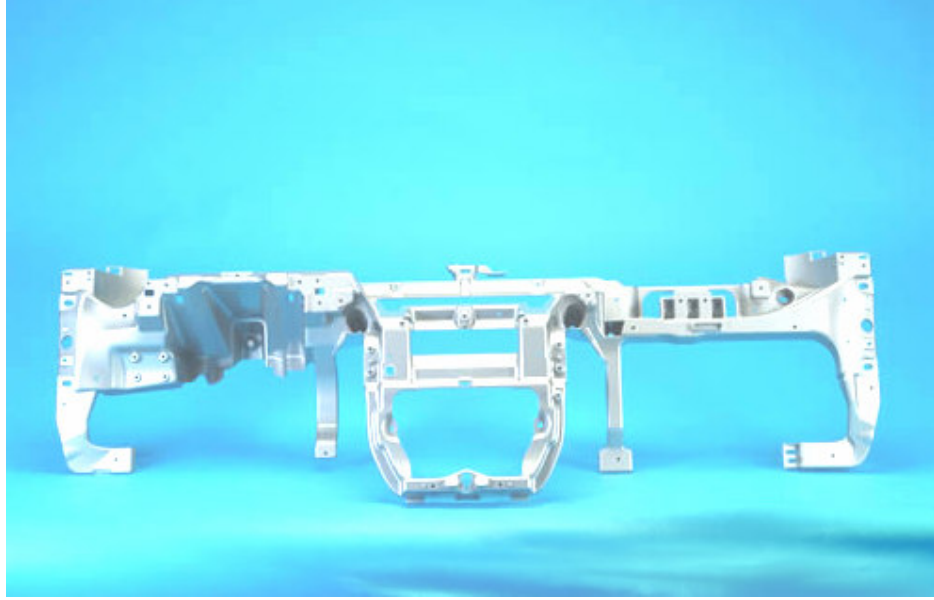
Şekil 4.12 – Direksiyon Simidi [15]

Otomobillerde tekerlek 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 alaşımlı tekerlekler kullanılmaktadır. Her bir tekerlek 5.9 kg' dır. [4]



Şekil 4.13 – Tekerlekler [21]

Gösterge panelinde kullanılan magnezyuma baktığımızda ülkemizde de satılan Opel Vectra ve Land Rover araçlar iyi birer örnektir. AM50 veya AM60B alaşımlı gösterge paneli magnezyumdan yapılırsa 12 kg, çelikten yapılırsa 18 kg gelmektedir. Ayrıca birleştirme ve dizayn kriterleri de gözönüne alındığında magnezyum daha ekonomiktir. Magnezyum gösterge paneli 25 parçadan oluşurken, çelik tablo 67 parçadır. 2004 yılında Kuzey Amerikada yalnızca gösterge paneli uygulamalarında yıllık 25.000 ton magnezyum kullanılmıştır.



Şekil 4.14 – Land Rover Gösterge Paneli [17]

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

- Araç ağırlığına paralel artan enerji ihtiyacı
- Enerji tüketimiyle paralel artan CO₂ emisyonu
- Araçların ön kısmındaki elverişsiz ağırlık dağılımı ancak magnezyumdan yapılmış daha hafif parçalarla çözülebilirdi. [2]



Şekil 4.15 – Travers [2]

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 yanısıra, benzer çarpma karakteristikleri ve sönümleme kapasitesi elde edilebilmektedir.

Magnezyum alaşımları kaporta elemanları içinde de kendilerine kullanım yeri bulmuşlardır. Mercedes' in kapı içlerinde AM50 alaşımını kullandığı başarılı uygulamaları vardır. Bu parça 4.5 kg ağırlığında iken, çelikten imal edilmiş benzerine göre % 45 hafiftir.



Şekil 4.16 – Kapı İçlerinde AM50 [14]

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



Şekil 4.17 – AM 50 İç Bagaj Kapağı [14]

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.

Magnezyumun şase 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, korozi ortamda değişen gerilmeler altında yüksek bir yorulma dayanımının bir arada olması gereklidir. [3]



Şekil 4.18 – Motor Oturma Kızıağı [17]

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:

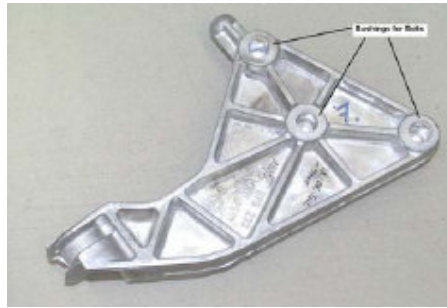
- Basınçlı döküm A380 ile karşılaştırılabilir dayanım.
- AZ91D' den daha iyi yorulma dayanımı, uzama ve darbe direnci
- Yine AZ91D' ye benzer veya daha iyi dökülebilirlik ve korozyon direnci gereklidir.

Yapılan denemelerde aşağıdaki alaşımlar istenen sonuçları sağlamıştır.

Tablo 4.6 – Yeni Alaşımlar [16]

	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	*	0,45	0,7	278	10	11

Geliştirilen bu alaşımlardan uygulama örnekleri olarak yüksek basınçlı döküm motor braketleri ve pres döküm transmisyon elemanı verilebilir. [16]

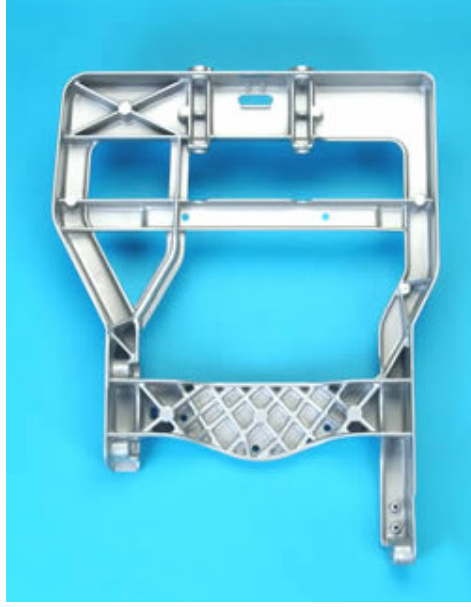


Şekil 4.19 – Motor Braketi [16]

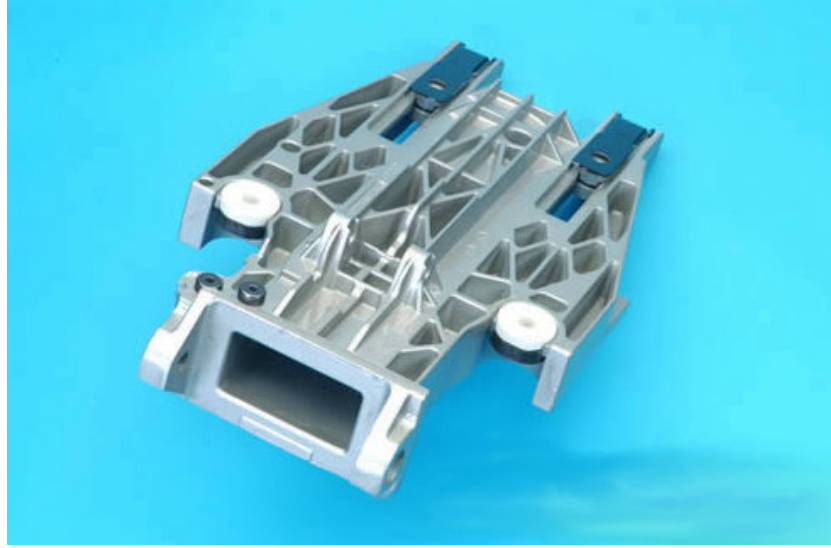


Şekil 4.20 - Transmisyon Parçası [16]

MPI (Meridian Magnesium Products Of Italy), magnezyum alaşımlarından korozyon dirençli parça tasarımı ve imalatında uzman bir şirkettir. Grubun ürettiği magnezyum alaşımlı bazı otomobil parçaları şunlardır:



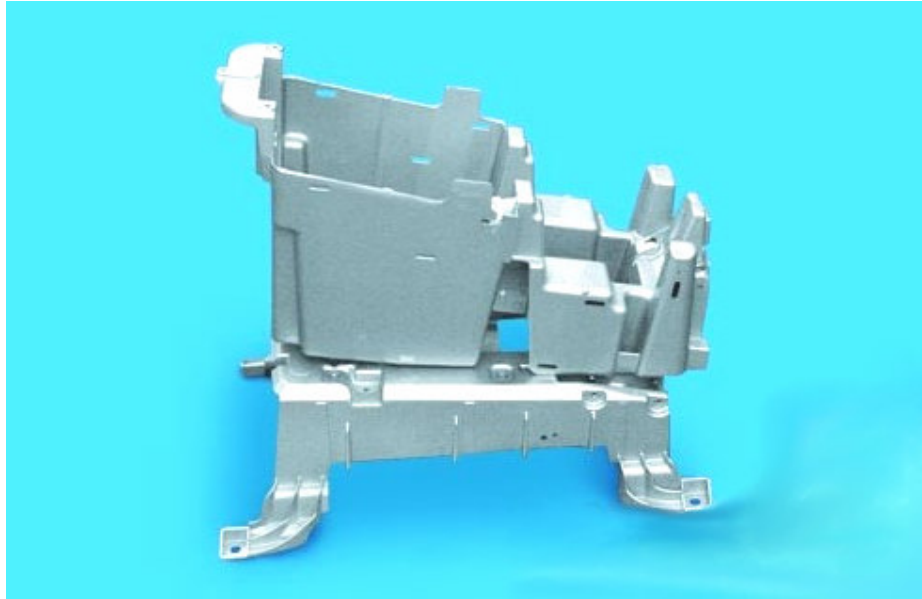
Şekil 4.21 – Chrysler Koltuk İskeleti Sırt Kısım [17]



Şekil 4.22 – Chrysler Tutma Braketi [17]



Şekil 4.23 - Direksiyon Kolonu Braketi [17]



Şekil 4.24 – Orta Konsol [17]

Magnezyum alaşımları radyator desteğinde de kullanım yeri bulur. Ford' un bu konuda AM50A alaşımından örnekleri (Şekil 4.25) vardır. AM50A alaşımı radyatör desteği yalnızca 6 kg ağırlığındadır. Tablo 4.7 de magnezyum alaşımlarından üretilmiş bazı parçaları göstermektedir.



Şekil 4.25 – Radyatör Desteği [14]

Tablo 4.7 – Magnezyum Alaşımlarından Üretilmiş Çeşitli Parçalar [7]

Şirket	Parça	Araç	Alaşım
Ford	Debriyaj yuvaları, yağ karteri, direksiyon kolonu	Ranger	AZ91HP
	Manuel transmisyon kutusu gövdesi	Bronco	AZ91D
General Motors	Valf kapakları, hava filtresi, debriyaj pedalı	Corvette	AZ91HP
	Fren pedalı, debriyaj pedalı	Pontiac	AZ91D
	Direksiyon kolonu braketleri	Pontiac	AZ91D
Chrysler	Destek braketleri, Yağ karteri	Jeep	
	Direksiyon kolonu	LH	
	Destek braketleri, Yağ karteri	Viper	
Mercedes-Benz	Koltuk iskeleti	500 SL	AM20/50
Alfa-Romeo	Çeşitli bileşenler (45kg)	GTV	AZ91B
Porsche AG	Çeşitli bileşenler (53kg)	911	AZ91D
	Tekerlekler (7,44kg)	944 Turbo	
Honda	Silindir Kapakları	City	AZ91D
	Tekerlekler (5.9kg)	Prelude	AM60B
Toyota	Direksiyon simidi	Lexus	AM60B
	Silindir bloğu, yağ pompası, kam mili kapağı	Quad 4	ZE41A

4.3 Mg Alaşımlarından Otomotiv Parçaları Üretiminde Yeni Teknolojiler

Günümüzde magnezyum alaşımlarından üretilen parçaların çoğu geleneksel yüksek basınçlı kalıp 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:

- Eriyik metalin kalıba doldurulması sırasında gaz sıkışması
- Eriyik içinde çözünmüş gazlardan dolayı sıkışma
- Katı halde madde yoğunluğunun sıvı hale göre fazla olmasından kaynaklanabilir (katılaşma çekmesi).

Gözenekler ürünlerin çekme dayanımının ve uzama özelliklerinin kötüleşmesine neden olur. Ayrıca otomotiv uygulamalarında önemli olan bazı anahtar karakteristiklerin de etkilenmesine neden olduğundan, bazı yeni teknolojiler geliştirme konularında çalışmalar yapılmaktadır. Magnezyum alaşımlarıyla kullanılacak olan bu yeni teknolojilerin, yüksek bütünlükte ve daha performanslı ürünler vermesinin yanında, geleneksel basınçlı dökümle maliyetler ve verimlilik anlamında rekabetçi olmaları da hedeflenmiştir. [19,29]]

4.3.1 Yarı-Katı Metal İşleme Yöntemleri

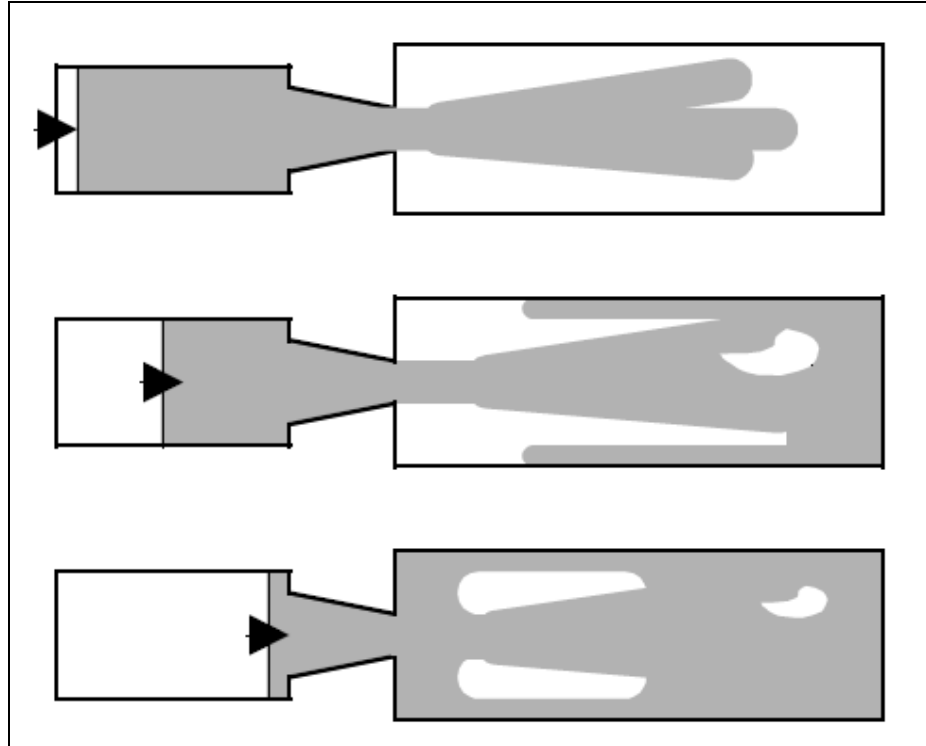
Yüksek bütünlükte parçalar üretme yöntemlerinden biri, yarı-katı metal işleme tekniğidir. Bu teknik, geleneksel basınçlı döküm yöntemlerine göre daha düşük gözeneklilik, ısıl işlem kolaylığı, ve daha iyi mekanik özellikler gibi birtakım avantajları da beraberinde getirir. Ayrıca bu yöntem sayesinde daha karmaşık geometride parçaların dökümü kolaylaşır ve kalıpların ekonomik ömrü de uzar. [27]

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 eriyik kullanma fikri, yarı-katı metal işleme yönteminin temelini oluşturmaktadır. Bu teknoloji de 2 alt kategoriye ayrılarak incelenebilir. Bu yöntemler yarı-katı metalin elde ediliş şekline göre birbirlerinden ayrılırlar. [19]

-Thixo Döküm

- Rheo Döküm



Şekil 4.26 – Türbülanslı ya da Düzlemsel Olmayan Akışta Gaz Sıkışması [19]

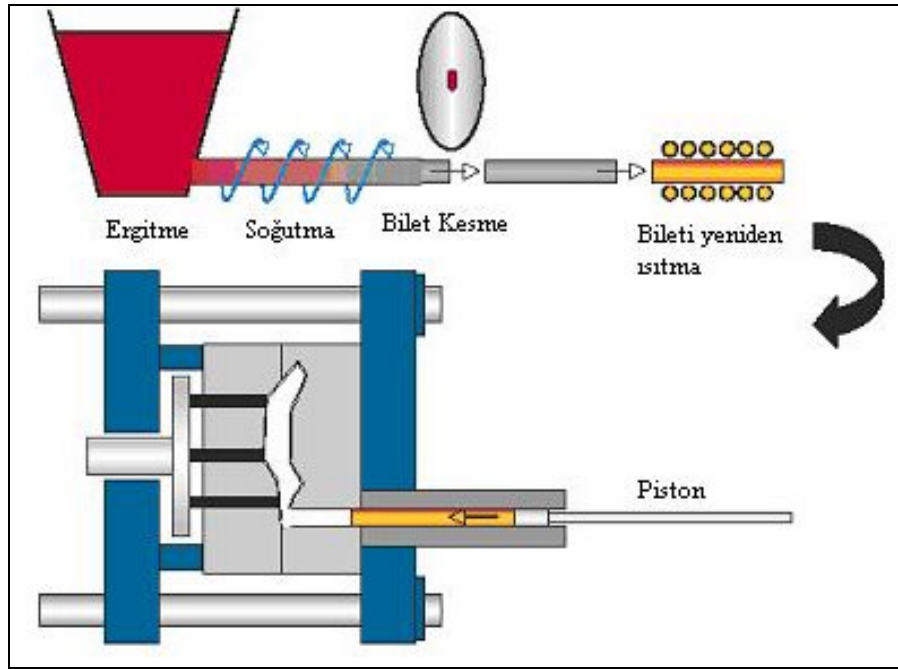
4.3.1.1 Thixo Döküm

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 katılaşma çekmesi 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. [19]

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. [27,32]

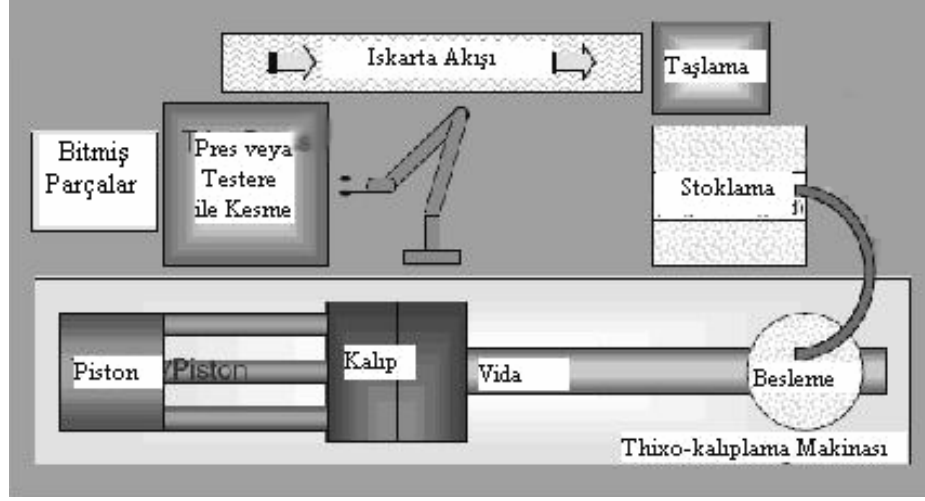


Şekil 4.27 - Thixo Döküm Yöntemi [15]

Thixo döküm yöntemi yüksek basınç altında yapıldığından ince-kesitli parçaların da rahatlıkla dökülmesini sağlar. Ayrıca ürünün düşük gaz içeriği sayesinde kaynaklanabilirliği iyileşir. Bu anlamda yöntem, yüksek basınçlı kalıp döküm ve alçak basınçlı kalıp döküm yöntemlerinin özelliklerini bir arada barındıran üstün bir döküm yöntemidir. Araç gövdesinde eklem bölgesi denilen birleşme yerlerinde kullanılan thixo dökümle üretilmiş parçalar mevcuttur. [28]

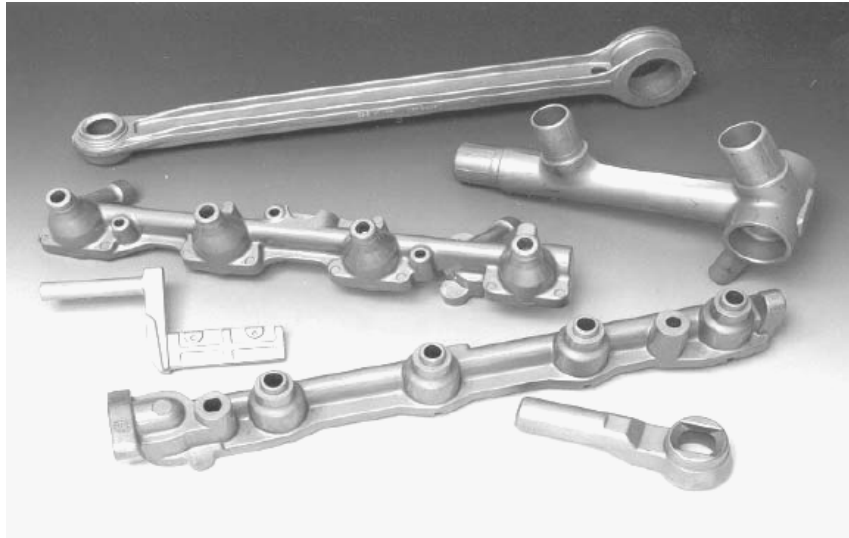
4.3.1.2 Thixo Kalıplama

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 4.28) [19]

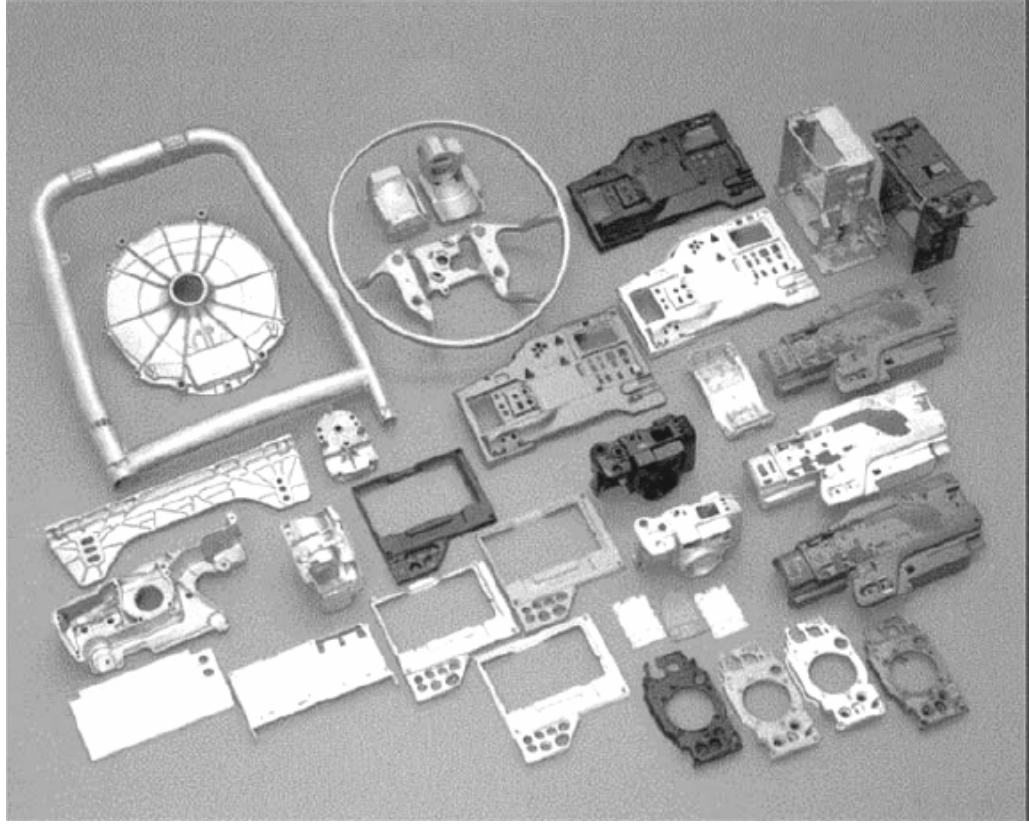


Şekil 4.28 – Thixo Kalıplama Üretim Döngüsü [19]

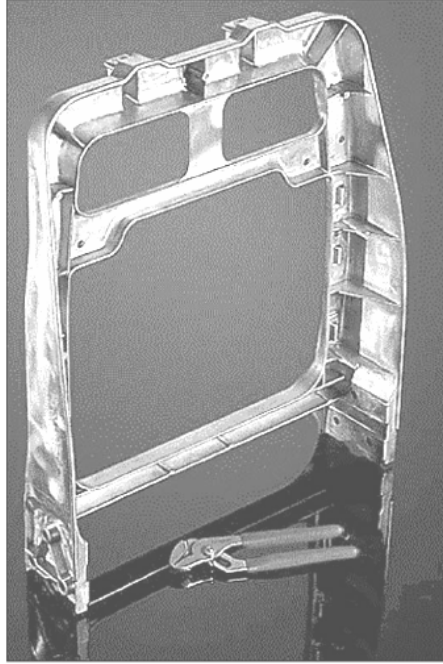
Thixo Yarı-Katı metal işleme teknolojiyle üretilen parçalara örnek verecek olursak:



Şekil 4.29 – Yarı-Katı Metal İşleme Yöntemiyle Üretilmiş Otomobil Parçaları [19]



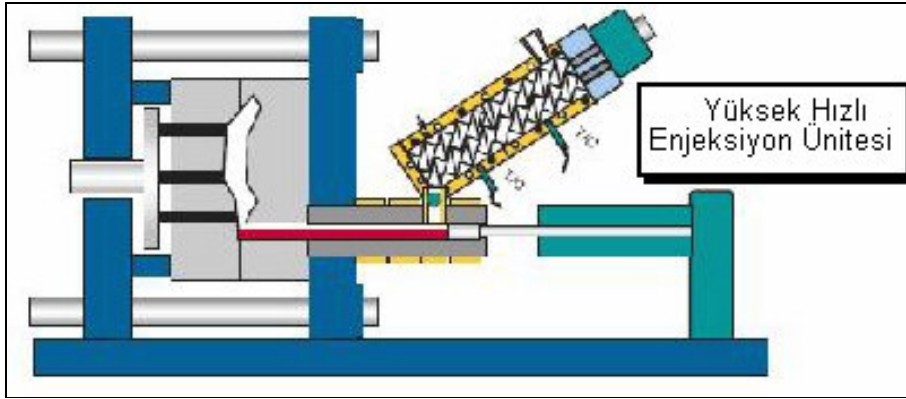
Şekil 4.30 – Yarı-Katı Metal İşlemeyle Üretilmiş Parçalar [19]



Şekil 4.31– Yarı-Katı Metal İşlemeyle Üretilmiş Magnezyum Koltuk İskeleti [19]

4.3.1.3 Rheo Döküm

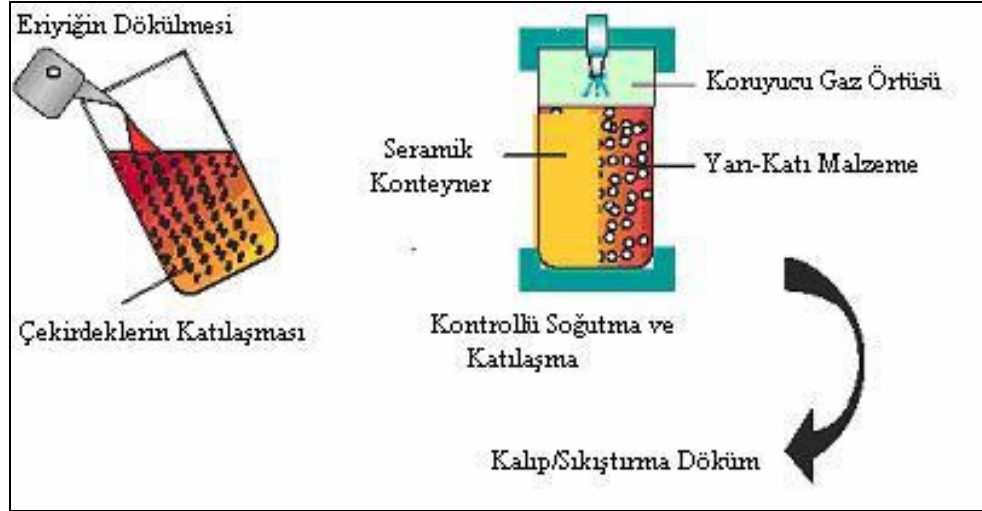
Son yıllarda thixo-döküm yönteminin ekonomik ve teknik zorluklarının önüne geçebilmek için rheo-döküm yöntemleri araştırma ve geliştirme çalışmalarında popüler hale gelmiştir. Rheo döküm sistemi, ikiz vidalı bir ekstrüzyon ünitesinden ve soğuk hazneli döküm makinasından oluşur. İkiz vidalı ünite sayesinde ergiyik malzeme, yoğun türbülans ortamında ve yüksek kesme kuvvetleri altında yüksek kalitede yarı-katı malzeme haline getirilir. Bu yöntemde işlem başlangıcında eriyik malzemenin kullanılması, thixo-dökümdeki gibi standart kalitede bilet üretimini gereksiz kılar. [27]



Şekil 4.32 – Rheo Döküm [15]

Rheo döküm yönteminin özel bir şekli olan rheo-konteyner yöntemi, eriyik 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. [15]



Şekil 4.33 – Rheo Konteyner Prosesi [15]

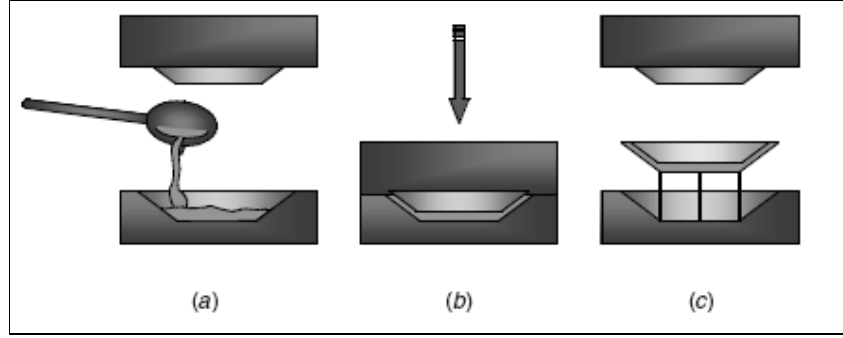
Rheo dökümle üretilen magnezyum parçaları:



Şekil 4.34 – AM60 Motor Tutma Braketleri [18]

4.3.2 Sıkıştırma Döküm (Squeeze Casting)

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.



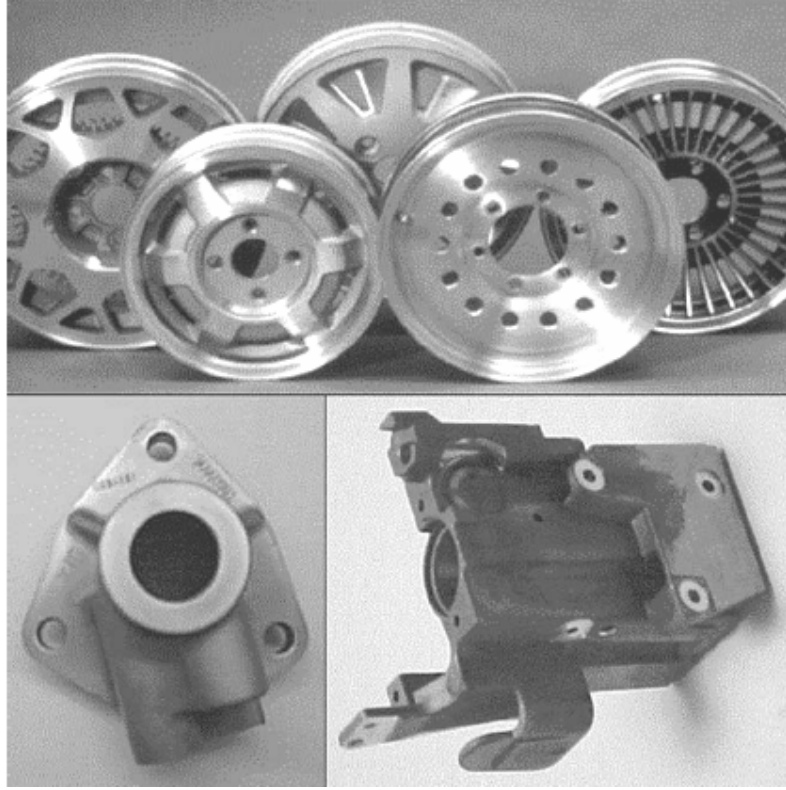
Şekil 4.35 – Sıkıştırma Döküm Teknolojisi İşlem Adımları [19]

Döngü zamanları, yavaş doldurma hızı ve katılaşma 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. [15,19]

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

Çoğu ticari magnezyum alaşımı ağırlıkça %2-9 alüminyum içerir. Bu ikili alaşımın faz diagramına bakıldığında 437 °C ötektik sıcaklığında ağırlıkça max %12.9 alüminyumun çözündüğü görülür. Burada denge koşulları altında Mg-Al döküm alaşımları tek fazlı α -Mg katı eriyik şeklinde katılaşırlar. Daha fazla soğutma, α taneleri içinde β -fazlarının çökmesine neden olur. Bu gevrek β -fazlarının varlığı, hatta miktarı, şekli ve mikroyapı içindeki dağılımları Mg-Al döküm alaşımlarının mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

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. [29]

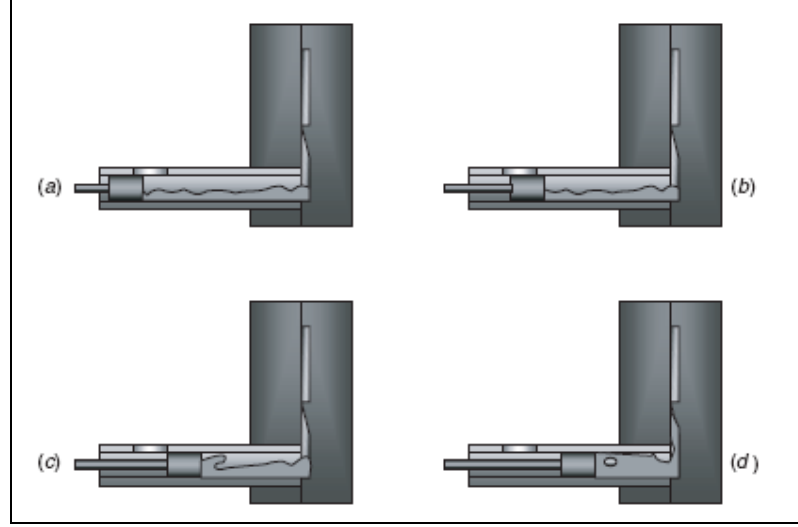


Şekil 4.36 – Sıkıştırma Dökümle Üretilmiş Otomobil Parçaları [19]

4.3.3 Vakumlu Döküm

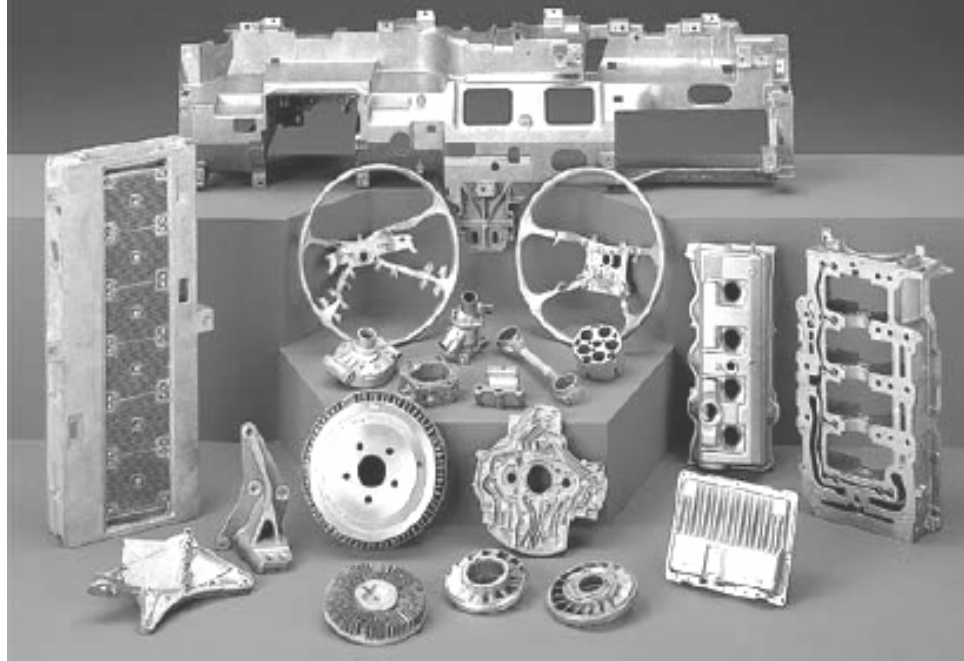
Kalıp boşluğunda veya sıvı metal yolunda sıkışmış gazların vakumla emilerek ortamdan uzaklaştırılması esasına dayanan bir teknolojidir. Vakumun uygulanma süresi ne kadar fazlaysa, o kadar fazla gazın ortamdan uzaklaştırılması sağlanır.

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. [19]



Şekil 4.37 – Vakum Zamanlaması [19]

Bu yöntemle üretilen otomobil parçaları:



Şekil 4.38 – Vakumlu Dökümle Üretilmiş Parçalar [19]

4.4 TOFAŞ Ziyareti

TOFAŞ' ın halen seri üretimine devam ettiği Marea modelinde, torpido traversi AM grubu alaşımlardan yapılmaktadır. AM60B serisinin iyi dökülebilirlik ve şekillendirilebilirlik özelliği sayesinde, bu parçada magnezyum alaşımları tercih edilmiştir. Şekil 4.39 ve 4.40 da parça tek başına iken ve araç üzerine montaj esnasındaki hali görülmektedir.



Şekil 4.39 – FIAT-Marea Torpido Traversi [25]



Şekil 4.40 – Araç Üzerine Montaj Esnasında Parçanın Görünümü [25]

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

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.

Bugün teknoloji hızla ilerlemektedir ve otomotiv endüstrisi için getirilmiş kısıtlama ve yükümlülükler, gelecekte ülkemiz dahil tüm otomotiv üreticilerinin zorlayacak konular olarak durmaktadır. Otomotiv alanında yürütülen araştırma ve geliştirme çalışmaları içerisinde enerji tüketiminin ve CO₂ kirliliğinin azaltılması çalışmaları büyük yer tutmaktadır. Bunu sağlamanın yollarından biri de dayanımı yüksek ağırlığı düşük malzemelerin kullanılmasıdır. 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 otomotiv alanında hafif malzeme olarak kullanılma potansiyeli yüksektir.

Bu amaçla geliştirilen malzemeler içinde ön plana çıkan magnezyumun, gelecekte otomotiv endüstrisinde kullanımı daha da kaçınılmaz hale gelecektir. 2005 Berlin Dünya Magnezyum Konferansı verilerine göre 2010 yılında orta sınıf sedan arabalarda ortalama 24 kg magnezyum kullanılacağı öngörülmektedir. Bu sebeple parça üretiminde, kısa dönemde halen elde edilebilen magnezyum alaşımlarını ve döküm yöntemlerini geliştirmek, orta vadede yarı-katı döküm ve sıkıştırma döküm gibi özel döküm yöntemlerini geliştirmek, uzun vadede ise yeni alaşımlar ve yeni yöntemlerle dövme alaşım teknolojilerini geliştirmek hedeflenmektedir. Bu sayede kısa dönemde motor, şanzıman ve iç bileşenler; daha sonraları da sac metal ve ekstrüzyon bileşenlerinin kullanımı yaygınlaşacaktır. Dolayısıyla

Ülkemizde de bu çalışmaların bir an önce başlaması ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Batının önemli tedarikçileri olan Çin ve Rusya da bu yeni etkileşimler içinde yerini alacaktır. Özellikle Çin, 2010'a kadar yaklaşık % 7-9 istikrarlı büyüme, çevreyle dost araçlar geliştirme ve araç fiyatlarını düşürme hedefindedir. Bu da magnezyum tedarigi için Çin' i yine önemli bir noktaya getirmektedir. Doğal kaynakları içinde önemli miktarda magnezyuma sahip olan ancak bunları direkt magnezyum metali üretimi için kullanamayan ülkemizin, belki ileride bu parçaları kendisinin üretmesi sözkonusu olacaktır. Bu durum hem yerli sanayimizin gelişmesi hem de dışa bağlı krizlerin aşılması için atılabilecek çok önemli bir adımdır. Tamamen ithalata yönelim durumunda bile, magnezyum esaslı hurdaların ülkemizde değerlendirilmesi yine önemli bir konu olarak durmaktadır.

Kısaca ele alınacak olursa, 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 verilmiştir. FIAT, RENAULT kuruluşların lisansı altında otomobil üreten ülkemiz için elbette ki bu uygulamaların yaygınlaşması, bu şirketlerin uygulamalara daha fazla yer vermesiyle mümkün olacaktır. Bu çerçevede tez içeriği ile, yürütülen geliştirme alıştırmalarının 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. Tez içerisinde halen fizibilite onay çalışmaları devam eden kaplama teknikleri ve kaynak yöntemlerine yer verilmemiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, NANOMAG projesi kapsamında Avrupa otomobil üreticileri ile faaliyetleri yürütülen bu kaplama tekniklerine ve MAGJOIN projesi kapsamındaki birleştirme yöntemleri konularına devam edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kaya, A. A., Özdoğru, E. F., Abanoz, D., Yiğit, S., Yücel, O.** 2002. Otomotivde Magnezyum Alaşım Uygulamaları, *OTEKON02 Otomotiv Teknolojileri Kongresi* , Bursa, 24-26 Haziran, s. 41-46.
- [2] **Web Site,** www.magnesium.com, 2006.
- [3] **Kandemir, K. ve Can, A. Ç.,** 2003. Otomotiv Endüstrisi İçin Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Potansiyeli, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1, 37-45.
- [4] **Zeytin, H. K.,** 1999. Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği, Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, Kocaeli.
- [5] **Çakır, M. C.,** 1999. Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Rota Ofset Matbaacılık ve Ambalaj Sanayi A.Ş, Bursa.
- [6] **Erdoğan, M.,** 2001. Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri , *Demir Dışı Alaşımlar*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [7] **Avedesian, M. M. and Baker, H.,** 1999. ASM Speciality Handbook, *Magnesium and Magnesium Alloys*, ASM International Materials Park, United States of America.
- [8] **Krallics, G., Horvath, M., Fodor, A.,** 2004, Influence of ECAP Routes on Mechanical Properties of a Nanocrystalline Aluminium Alloy, *Periodica Politechnica Ser. Mech. Eng.*, **48**, 145-150.
- [9] **Hashimoto.,** 2004. *Development of Multifunctional Nanomaterials by ECAP Method*, Imat-Eng., Osaka.
- [10] **Barth, Rückert, Achten ,** 2005. Daimler-Chrysler Operation and Production Experiences of the New 7 G-Tronic Magnesium Transmission Case, *The 62nd Annual World Magnesium Conference*, Berlin, Germany, May 22-24.
- [11] **Kalmbach, R.,** 2005. Magnesium Opportunities in the Automotive Industry, *The 62nd Annual World Magnesium Conference*, Berlin, Germany, May 22-24.

- [12] **Centro Ricerche FIAT**, 2005. Light weight engine construction through extended and sustainable use of Mg-alloys, MgEngine Project report, Torino, Italy.
- [13] **Webb, D.**, 2005. Magnesium Supply and Demand 2004, *The 62nd Annual World Magnesium Conference*, Berlin, Germany, May 22-24.
- [14] **Li, N.**, 2004. Automotive Magnesium Applications and Life Cycle Environmental Assessment, *The 3rd International Conference on SF₆ and the Environment*, Michigan, USA, December 1-3.
- [15] **DTI.**, 2004. Magnesium alloys and processing technologies for lightweight transport applications, Global watch mission report, U. K.
- [16] **Rausch, G. and Ziese, A.**, 2003. Advanced manufacturing technology for automotive chassis components through extensible and sustainable use of Mg-alloys, MgChassis Project report, Orbassano, Italy.
- [17] **Meridian Magnesium Products Corp.**, 2006. Magnesium parts for automotive applications, Meridian products report, Italy.
- [18] **Centro Ricerche FIAT**, 2005. Rheocasting: an innovative & ecological process for light and cost effective applications in different industrial sectors, Rheo-Light Project report, Torino, Italy.
- [19] **Vinarcik, E. J.**, 1989. High Integrity Die Casting Processes. John Wiley & Sons, New York.
- [20] **Li, J., Shao, Z., and Zhang, X.**, 2005. The electroless nickel-plating on magnesium alloy using NiSO₄.6H₂O as the main salt, *Surface coating & Technology*, **200**, 3010-3015.
- [21] **Centro Ricerche FIAT**, 2003. Development of new corrosion and abrasion resistant coatings for the protection of magnesium parts, NANOMAG Project report, Orbassano, Italy.
- [22] **Johannesson, B.**, 2003. Corrosion of magnesium, Technological institute of Iceland report, Iceland.
- [23] **Volvo Car Corporation**, 2003. R&D in forming and materials of Volvo cars body components, Workshop in Turin report, Sweden.
- [24] **Centro Ricerche FIAT**, 2003. New materials and manufacturing technologies for future lightweight vehicles , Workshop report, Orbassano, Italy.
- [25] **TOFAŞ**, 2006. Fabrika ziyareti.

- [26] **Fent, A.**, 2005. Aluminium/magnesium composite crankcase , BMW Landshut Plant report, Germany.
- [27] **Fan, Z.**, 2005. Development of the Rheo-Diecasting Process for Magnesium Alloys, *Material Science & Engineering*, **A413–414**, 72-78.
- [28] **Nobuhiro, S., Takeyoshi, N., Teruyuki, O., Morio, K., Eiji, M., Takashi, I.**, 2001. The Development of Joint Parts for Automobile Body by Thixocasting, *JSAE Review*, **22**, 29-38.
- [29] **Kleiner, S., Beffort, O., Wahlen, A. and Uggowitzer, P.J.**, 2002. Microstructure and Mechanical Properties of Squeeze Cast and Semi-Solid Cast Mg-Al Alloys, *Journal of Light Metals*, **2**, 277-280.
- [30] **Xia, K., Wang, J.T., Wu, X., Chen, G. and Gurvan, M.**, 2005. Equal Channel Angular Pressing of Magnesium Alloy AZ31, *Material Science & Engineering*, **A410–411**, 324-327.
- [31] **Xiuqing, Z., Lihua, L., Naiheng, M. and Haowei, G.**, 2006. Mechanical Properties and Damping Capacity of Magnesium Matrix Composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **A**, in press.
- [32] **Kim, J., Shin, K., Kim, K. and Jung, W.**, 2003. Microstructure and Mechanical Properties of a Thixocast Mg-Cu-Y Alloy, *Scripta Materialia*, **49**, 687-691.
- [33] **Doege E., Dröder K.**, 2001. Sheet Metal Forming of Magnesium Wrought Alloys - Formability and Process Technology , *Journal of Materials Processing Technology*, **115**, 14-19.
- [34] **Hsiang H., Liang Kuo J.**, 2003. An Investigation on the Hot Extrusion Process of Magnesium Alloy Sheet, *Journal of Materials Processing Technology*, **140**, 6-12.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Eskişehir’ de doğdu. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla; Altıparmak İlkokulu ve Bursa Anadolu Lisesinde tamamladı. 2000 yılında Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde başladığı lisans öğrenimini Haziran 2004’ de tamamlayarak mezun oldu. Eylül 2004’de İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda başladığı yüksek lisans öğrenimine halen devam etmekte ve aynı zamanda otomotiv yan sanayiinde faaliyet gösteren Emarc-Çelik Automotive Components A.Ş.’ de proje mühendisi olarak görev yapmaktadır.