

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAFİF METALLERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ YERİ
VE
UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ufuk ÖZDEMİR**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Malzeme ve İmalat YLP

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAFİF METALLERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ YERİ
VE
UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ufuk Özdemir
(503021317)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Turgut Gülmez (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şafak Yılmaz (İTÜ)
: Doç. Dr. Z. Vedat Doğan (İTÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Günümüzde ve gelecekte yakıt tasarrufu gereksinimi artmaya devam ettikçe otomotiv dünyasında çok önemli bir yere sahip olan ve olmayada devam edecek hafif metal uygulamalarının çeşitli örneklerini görme ve ilgili okuyuculara aktarma fırsatını bulduğum bu yüksek lisans tez çalışmasının oluşturulmasında, benden tavsiyelerini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ'e teşekkürlerimi arz ederim. Ayrıca çalışmalarım sırasında manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen eşime ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Çeşitli kaynaklardan yararlanılarak hazırlanan bu tez çalışmasının tüm okuyucularına faydalı olmasını dilerim.

Aralık 2009

Ufuk Özdemir
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	3
2.1 Alüminyumun Tarihçesi	3
2.2 Alüminyum Metali ve Üretimi.....	4
2.3 Alüminyum ve Alaşımları	6
2.3.1 Alüminyum	6
2.3.2 Alüminyum alaşımları	7
2.3.3 Alüminyum alaşımlarında ısıtıl işlem uygulamaları	9
3. MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI	11
3.1 Magnezyumun Tarihçesi	11
3.2 Magnezyum Metali ve Üretimi	12
3.3 Magnezyum ve Alaşımları.....	14
3.3.1 Magnezyum	14
3.3.2 Magnezyum alaşımları	14
3.3.3 Magnezyum ve alaşımlarının genel özellikleri	16
4. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI	19
4.1 Titanyumun Tarihçesi.....	19
4.2 Titanyum Metali ve Üretimi	20
4.3 Titanyum ve Alaşımları	21
4.3.1 Geleneksel titanyum alaşımları	22
4.3.1.1 α alaşımları	24
4.3.1.2 Yakın α alaşımları.....	24
4.3.1.3 $\alpha + \beta$ alaşımları	25
4.3.1.4 Yarı kararlı β alaşımları	25
5. HAFİF METALLERİN İMALATINDA YENİ TEKNOLOJİLER	27
5.1 Tikso kalıplama	27
5.2 Yüksek Basıncılı Döküm	30
5.3 Vakumlu Döküm	33
5.4 Sıkıştırılmalı Döküm (Squeeze Casting)	35
5.5 Alçak Basıncılı Döküm	36
5.6 Dolu Kalıba (Lost Foam) Döküm	38
6. HAFİF METALLERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE UYGULAMALARI.....	41
6.1 Otomotivde Neden Hafif Metaller	41

6.2 Hafif Metallerden Üretilmiş Otomobil Parçaları Uygulamaları.....	49
6.2.1 Aktarma organları ve motor uygulamaları	49
6.2.1.1 BMW Mg/Al alaşımı karter uygulaması	49
6.2.1.2 Alüminyum piston uygulaması	51
6.2.1.3 Titanyum egzost sistemleri	52
6.2.1.4 Titanyum valf yayları	53
6.2.2 Şasi uygulamaları	54
6.2.3 Gövde uygulamaları	57
6.2.3.1 Sac alüminyum kapama panelleri.....	59
6.2.3.2 İç trim parçaları	61
6.2.3.3 Uzay kafes uygulamaları.....	64
6.2.3.4 Monokok (monocoque) dizayn	64
6.2.3.5 Hibrit malzemeler konsepti	65
7. SONUÇ.....	67
KAYNAKLAR.....	69

KISALTMALAR

Al	: Alüminyum
Mg	: Magnezyum
Ti	: Titanyum
KYM	: Kübik yüzey merkez
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Zn	: Çinko
Cl	: Klor
O	: Oksijen
Ni	: Nikel
VW	: Volkswagen
SPH	: Sıkı düzenli hegzagonal
Fe	: Demir
V	: Vanadyum
Mpa	: Megapascal
HPDC	: High pressure die casting
Kg	: Kilogram
EAA	: European Aluminium Association
GM	: General Motor
YS	: Yield strength
cm³	: Santimetrekü
Mpa	: Megapascal
Gpa	: Gigapascal
cal	: Kalori
cm	: Santimetre
kp	: Kilogram-kuvvet
m	: Metre
sn	: Saniye
α	: Alfa
β	: Beta
J	: Joule
K	: Kelvin
°C	: Santigrat
F	: Kuvvet
m	: Kütle
A	: Alan
g	: Yer çekimi ivmesi
v	: Hız

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Saf alüminyumun bileşimi.	5
Çizelge 2.2 : Saf alüminyumun fiziksel özellikleri	7
Çizelge 3.1 : Saf magnezyumun fiziksel özellikleri.....	14
Çizelge 4.1 : Titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri	23
Çizelge 6.1 : Magnezyum alaşımlarının ve diğer malzemelerin ağırlıklarının karşılaştırılması	43
Çizelge 6.2 : Taşıt araçlarında kullanılan bazı alüminyum parçalar ve bunların şekillendirme yöntemleri	44

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Alümina eldesi.....	5
Şekil 2.2 : Alüminyum eldesi.....	5
Şekil 2.3 : Geri dönüşen alüminyumun uygulama sayısına bağlı olarak ortalama enerji ihtiyacı.....	6
Şekil 3.1 : Otomotiv sektöründe Mg kullanımının yıllara göre değişimi.....	12
Şekil 3.2 : Dow Prosesi.....	13
Şekil 3.3 : Alaşım elementlerinin manezyumun elektrik direncine etkisi.....	16
Şekil 4.1 : Titanyum süngerü üretimi için Kroll Prosesi.....	21
Şekil 4.2 : Titanyum alaşımlarının titanyum faz diyagramlarına etkisi.....	21
Şekil 4.3 : Vanadyum katılımına göre %6 alüminyum katkılı titanyumun değişimi.....	25
Şekil 5.1 : Tikso kalıplama prosesi adımları.....	28
Şekil 5.2 : Tikso kalıplama yöntemi ile üretilmiş parçalar.....	29
Şekil 5.3 : Tikso kalıplamanın üretimi etkileyecek parametreleri	30
Şekil 5.4 : Yüzey sıcaklığı ile ısı akışı ve film kalınlığı arasındaki varyasyonlar	31
Şekil 5.5 : a) Kapı iskeleti b) Hava giriş iskeleti c) Hava temizleyici kapak d) Fren ve debriyaj pedalı braketleri.....	32
Şekil 5.6 : a) Sıcak hazneli basınçlı döküm makinası b) Soğuk hazneli basınçlı döküm makinası ..	33
Şekil 5.7 : Vakumlu dökümün proses adımları.....	34
Şekil 5.8 : Sıkıştırılmalı döküm proses adımları.....	36
Şekil 5.9 : Sıkıştırılmalı dökümle üretilmiş otomobil parçaları.....	36
Şekil 5.10 : Alçak basınçlı döküm şematik gösterimi	37
Şekil 5.11 : Alçak basınçlı döküm örnekleri ve mekanik özellikleri	38
Şekil 5.12 : Dolu kalıba döküm proses akışı	38
Şekil 5.13 : Kum kalıba döküm ve dolu kalıba döküm şeması.....	40
Şekil 6.1 : Direnç kuvvetleri	42
Şekil 6.2 : Otomotivdeki alüminyum uygulamaları	43
Şekil 6.3 : VW ve Audi araçlarda magnezyum kullanımı ve ilerdeki potansiyeli.....	45
Şekil 6.4 : Magnezyum araştırma stratejisinin gelişme yönü	46
Şekil 6.5 : Dövme çelik, $\alpha+\beta$ titanyum alaşımları, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımı ve yüksek dayanımlı dövme magnezyum alaşımı arasında özgül özelliklerin karşılaştırılması.....	47
Şekil 6.6 : Titanyum maliyetinin alüminyum, magnezyum ve çelik ile karşılaştırılması	48
Şekil 6.7: Titanyumun otomobil üzerinde olası kullanım yerleri	48
Şekil 6.8: BMW'nin sınıfında en hafif olan altı silindirlili Mg/Al alaşımlı motoru	50
Şekil 6.9: BMW Mg/Al karterin kalıpta döküm makinesi	51
Şekil 6.10: BMW Mg/Al karteri ve yatağının birleştirilmiş gösterimi	51
Şekil 6.11: Alüminyum pistonun tikso kalıplama makinesi	52
Şekil 6.12: 2001 model Corvette Z06 titanyum egzost sistemi	53
Şekil 6.13: Ön takımında malzeme ve imalatın gelişimi.....	54

Şekil 6.14: 2006 Corvette Z06 magnezyum ön düzeni	55
Şekil 6.15: a) Magnezyum jant b) Alüminyum jant	56
Şekil 6.16: Aynı yay oranına sahip titanyum ve çelik süspansiyon yayları	57
Şekil 6.17: Otomotiv gövde yapılarında yıllara göre malzeme değişimi	58
Şekil 6.18: a)GM Chevrolet Corvette magnezyum tavan iskeleti b) Daimler-Chrysler SL Roadstar kapı içi paneli	58
Şekil 6.19: a) Alüminyum kapama parçalı 1909 model Ford Model T Touring Car. b) 1915 Model T alüminyum kaput	60
Şekil 6.20: Chevrolet Malibu Maxx alüminyum bagaj kapağı	60
Şekil 6.21: a) Robot kolu ile roller hemming prosesi b) Roller hemming prosesinde büküm işleminin gösterimi	61
Şekil 6.22: a) GM'in tek parça kontrol paneli kirişi b) Pontiac Bonneville'nin 5 kg'lık kontrol paneli kirişi	62
Şekil 6.23: Çelik tasarım ve hibrit tasarım gösterimi	62
Şekil 6.24: a) Koltuk iskeleti b) direksiyon kolunu braket b) direksiyon simidi d) ABS braket e) Pedal braket	63
Şekil 6.25: Jaguar XJ'nin monokok alüminyum tasarımı	65
Şekil 6.26: BMW 5 serisi alüminyum ön düzeni	65

HAFİF METALLERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ YERİ VE UYGULAMALARI

ÖZET

Yaşadığımız yüzyılda artarak devam eden ekolojik baskılar bütün dünyadaki otomobil üreticilerini yeni arayışlara ve araştırmalara yöneltmiştir. Bu arayışlarda ekolojik dengeyi bozan atık gazların miktarını azaltmak için, daha düşük yakıt tüketimi sağlayacak teknolojileri üretmek ve geliştirmenin yanı sıra, yakıtı daha az zarar verecek şekilde kullanmak diğer bir yöntemdir.

Daha az yakıt ile hareket edebilecek otomobil daha hafif olmalıdır. Otomobil endüstrisinde hafif malzeme kullanımı yakıt tüketimini azaltmak için kullanılabilecek en kolay yöntemdir. Kullanılabilecek malzemelerin aynı zamanda geri dönüşebilir olması gereklidir.

Alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif konstrüksiyon metalleri, otomotiv endüstrisinde yakıt tasarrufu için gerekli hafif malzeme seçiminde önemli potansiyel kullanım alanına sahiptirler. Otomotiv üreticileri bir yandan ekolojik dengenin korunmasını düşünürken, diğer yandan, bu amaçla ürettikleri malzemelerin ekonomik olmaları gereklidir. Dünyamızın iyileştirilmesinde motorlu araçlarda direk püskürtmeli dizel motorlar ve hafif taşıt üretimi önemli bir çözümdür. Otomotiv endüstrisinde güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden, büyük ve az yakıt tüketen otomobiller için hafif, fakat mukavemeti yüksek malzemelerin geliştirilmesi, otomobil üreticilerinin önemli problemi olmuştur.

Bu çalışmada, alüminyum, magnezyum ve titanyum hafif metallerinin çeşitli yönlerden incelemesi yapılmış, imalat yöntemleri araştırılmış ve otomotiv sektöründeki çeşitli uygulamaları gösterilmiştir. Çevresel gereklilikler ve dünya enerji kaynaklarını koruma adına, tüm dünya üreticileri için geçerli olan otomotivde yakıt tüketiminin azaltılması ve gelecekte diğerleri ile rekabet içerisinde yer alınabilmesi için nasıl bir yol izlenmesi konusunda bir fikir verilmeye çalışılmıştır.

LIGHTWEIGHT METALS AND ITS APPLICATIONS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

Increased ecological impressions in the recent years direct the automotive manufacturers to new researchs. In these researchs there are two options to reduce the amount of exhaust gases that disturb the ecological balance. First option is new technologies to provide low fuel consumption and second option is using fuel as less harmful.

Automobile should be lighter for lower fuel consumption. Using lightweight material is the easiest way to reduce the fuel consumption. On the other hand used materials should be also recyclable.

Lightweight construction materials as aluminium, magnesium, titanium have wide usage potential in automotive industry. Automotive manufacturers should think about not only ecological balance but also low-costed materials. Turbo diesel engines and lightweight vehicle manufacturing are good resolutions for better outcomes. Safe and confort automobiles with lightweight and durable resolutions are always an issue for the manufacturers.

In this study; aluminium, magnesium, titanium metarials have been investigated, manufacturing prosesses of these materials have been researched and some applications in automotive industry have been designated. By explicating the ultimate applications and technological developments, it is tried to give an idea about being competitive in the future within all manufacturers in that situation.

1. GİRİŞ

Çevreyi kirletmeden korumanın en etkili yollarından biri kara ve demiryolu taşımacılığında CO₂ emisyonunun azaltılmasıdır. Avrupa ve Kuzey Amerika'da otomobil üreticileri aldıkları bir kararla 2010 yılı itibariyle yakıt tüketimini %25 azaltmayı öngörmüşlerdir. Böylece CO₂ emisyonunda %30'luk bir azalma elde edilecektir [1].

Petrol Türevi yakıtların her geçen gün azalıyor olması ve araçların sebep olduğu CO₂ emisyonunun yeryüzünün global ısınması ile ilintilendirilerek en aza indirilmesi konusunda hükümetlerin ve dünya çapındaki bazı organizasyonların getirdiği ulusal ve uluslararası düzenlemeler otomotiv sektöründe ilk ve en başlıca önlem olarak araçların ağırlıklarının hafifletilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla, başta Kuzey Amerika ve Avrupa'daki otomotiv üreticileri olmak üzere, firmalar tasarımlarında daha hafif metallerin kullanımı yoluna gitmektedirler. Alüminyum ve alaşımları, magnezyum ve alaşımları ve titanyum ve alaşımları bu amaca hizmet edecek en uygun malzemelerdir. Bu elementlerin döküm parçalarının yanısıra levha ürünleri de, özellikle kaporta başta olmak üzere, yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır [2].

Alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif konstrüksiyon metalleri, otomotiv endüstrisinde yakıt tasarrufu için gerekli hafif malzeme seçiminde önemli potansiyel kullanım alanına sahiptirler. Otomotiv üreticileri bir yandan ekolojik dengenin korunmasını düşünürken, diğer yandan, bu amaçla ürettikleri malzemelerin ekonomik olması gereklidir. Otomotiv Endüstrisinde güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden, büyük olmakla birlikte az yakıt tüketen otomobiller yapmak için hafif, fakat mukavemeti yüksek malzemelerin geliştirilmesi, otomobil üreticilerinin önemli hedefi olmuştur [3].

2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1 Alüminyumun Tarihçesi

Yer kabuğunun bileşik halde yaklaşık %8'ini oluşturan alüminyum, demirdışı metaller içerisinde üretim miktarı açısından demirden sonra ikinci sırayı alır.

1807 yılında Sir Humprey Davy tarafından keşfedilen Alüminyum metal olarak ilk defa 1825 yılında H.Christian Oersted ve H.Saint Claire Deville'nin çalışmaları sonucu elde edilmiştir [4].

1886 yılı alüminyum sanayiinin doğum yılıdır. Bu yıl, ilginç bir şekilde Fransa'da Paul T. Herault ve Amerika'da Charlos Martin Hall birbirlerinden tamamen habersiz olarak alüminyumun elektrolizi için, aynı günlerde ve birbirlerinin aynısı olan bir patent yayınladılar. Bu panet bugün de bütün dünyada alüminyum elektroliz fabrikalarında kullanılan kriyolit içinde alüminanın elektrolizi yönteminin temel prensiplerini taşıyordu. Aynı yıl Almanya'nın Homoltingon şehrinde Deville'nin kimyasal yöntemi ile çalışan ilk alüminyum fabrikası kuruldu. 1887 de Avusturyalı Dr. Karl J. Bayer, alüminat çözeltisinin dekompozisyonu ve 1892'de ise boksitin sodyumhidroksit çözeltisi ilavesi ile yüksek basınç ve sıcaklık altında çözeltimesi patentini almıştır. Bu patent bugün bütün dünyada pek az değişimle veya kombine yöntemlerle çalışan "Bayer Yöntemi" diye adlandırdığımız yöntemin temel prensiplerini taşıyordu. Almanya'da Bayer Yöntemi ile çalışan ilk alüminyum fabrikası 1908-1914 yıllarında kuruldu.

Şu halde modern alüminyum sanayiinin doğuşu ancak 95 yıl evveline rastlamaktadır. Bu kadar kısa zamanda bir sanayi dalının bu derece hızlı gelişimi dikkatle izlenmesi gereken önemli bir olaydır [5].

2.2 Alüminyum Metali ve Üretimi

Hafif metaller sınıfından alüminyum, yumuşak ve demirden yaklaşık 3 kat daha hafif bir metaldir. Alaşımlama ile yoğunluğu önemli ölçüde değişmemekle birlikte, mukavemeti önemli ölçüde artmaktadır. Bu özelliklerinden ötürü alüminyum mukavemetinin ağırlığına oranı çok yüksektir ve bu onun en önemli özelliğidir. Bu önemli özelliğinin yanında yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olması, kolay işlenebilirlik, korozyona dayanım, soğuk ve sıcak şekillendirilebilirlik gibi özellikleri nedeniyle kullanım alanı çok geniştir.

Alüminyumun oksijenle çok şiddetli yanma eğilimi nedeniyle redüksiyonun karbonla yapılması mümkün değildir. Saf alüminyum üretimi genel olarak iki kademedeyi yapılıır.

1. Alüminyum oksidin elde edilmesi,
2. Metalik alüminyum üretimi için ergimiş metal elektrolizi ile oksitlerin redüksiyonu.

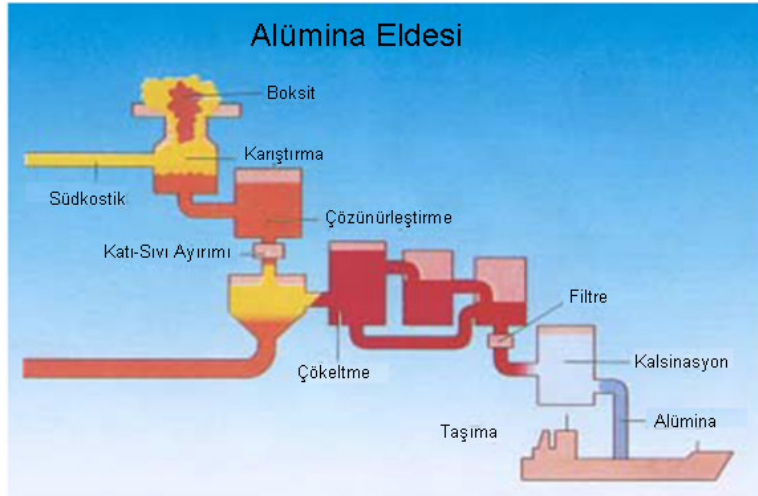
Bunların dışında termo mekanik işlemler olmasına rağmen, bu yöntemler teknolojik öneme sahip değildir.

Alüminyum üretimi üç ana kademedeyi yapılıır. Birinci aşama boksit madeninden Al_2O_3 elde edilemesidir. Bu aşama Bayer yöntemi olarak adlandırılan bir yöntemle gerçekleştirilir. Bayer yöntemi çeşitli madencilik aşamalarını içerir. Ancak aluminadan alüminyum üretimi ise 950-970 °C arasında alüminyum oksidin redüksiyonuna dayanır. Bu aşama Hall-Heroult yöntemi olarak bilinen bir indirgeme işlemi olan elektroliz aşamasıdır. Buradan çıkan alüminyum %99,5-99,9'dan daha fazla saf değildir. Saf alüminyum (%99,99) elde etmek için ayrıca rafinasyon işlemi uygulanmalıdır. Çizelde 2.1'de saf alüminyumun doğada bulunduğu bileşimleri gösterilmiştir [6].

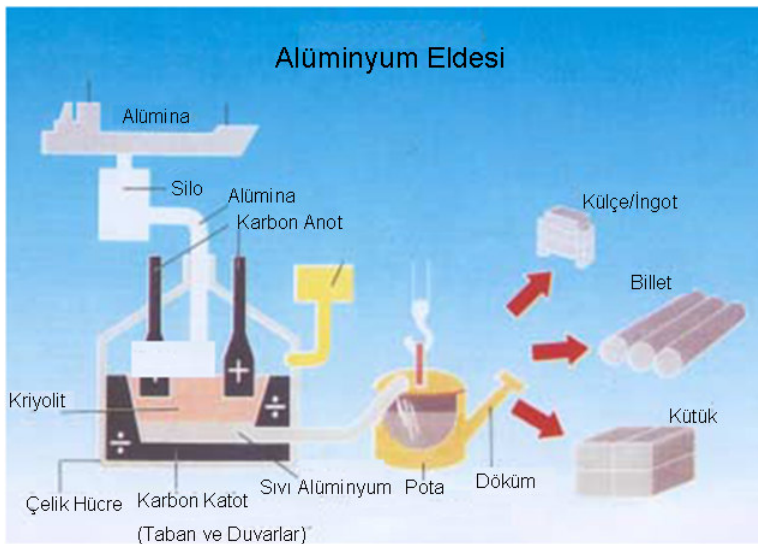
Çizelge 2.1 : Saf Alüminyumun Bileşimi

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

Şekil 2.1’de birincil alüminyum üretiminde uygulanan yöntemlerden alumina eldesi, Şekil 2.2’de ise alüminyum eldesi gösterilmiştir [7].

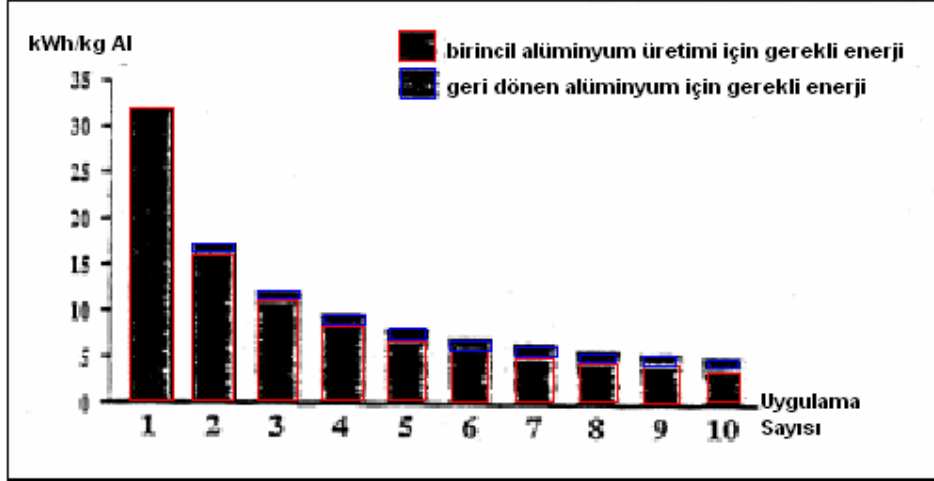


Şekil 2.1 : Alümina Eldesi [7]



Şekil 2.2 : Alüminyum eldesi [7]

Alüminyumun en önemli özelliği geri kazanılabilirliğidir. Bu özelliği ile alüminyum tükenmeyen bir kaynak olurken, ikincil üretimde inanılmaz ölçüde daha az enerjiye ihtiyacı vardır. Şekil 2.3’de geri dönüşen alüminyumun uygulama sayısına bağlı olarak ortalama enerji gereksinimi verilmiştir. Ergitme ve döküm için gerekli enerji alüminyum elektrolizi için gerekli olan enerjinin sadece %5-8’i kadardır [8].



Şekil 2.3 : Geri dönüşen alüminyumun uygulama sayısına bağlı olarak ortalama enerji ihtiyacı [8].

2.3 Alüminyum ve Alaşımları

2.3.1 Alüminyum

Saf Alüminyumun özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. Alüminyumun metal özellikleri bir çok durumda onun ideal ve ekonomik bir malzeme olmasını sağlar. Bu özellikler; uygun mekanik özelliklerle birlikte düşük ağırlık, koku ve kimyasallara karşı dayanım ve hijyenik koşullar, yüksek ısı iletkenliği, parlama ve alev almazlık, magnetik nötralite, kolay şekillendirilebilme kabiliyeti, çok farklı yöntemlerle yüzey işlemleridir [6].

Çizelge 2.2 : Saf alüminyum fiziksel özellikleri

Kimyasal sembol	Al
Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26,98
Kafes yapısı	KYM
Yoğunluğu (20°C)	2,6989 gr/cm ³
Elastik modülü,E	7,2 x 10 ³ kp/mm ²
Kayma modülü,g	2,7 x 10 ³ kp/mm ²
Ergime sıcaklığı	660,24 °C
Ergime ısısı	94,6 cal/gr
Elektrik iletkenliği	37,74 m/Ohm.mm ²
Isı iletkenliği,λ	0,55 cal/cm.s.°C

Alüminyum elektrik ve ısı iletkenliği, bakıra göre daha azdır. Fakat özgül elektrik iletkenliği (elektrik iletkenliği / yoğunluk) ve özgül ısı iletkenliği (ısı iletkenliği / yoğunluk) değerleri karşılaştırıldığında bakırdan daha iyi olduğu görülür. Ayrıca bakıra göre de fiyatı daha düşüktür.

Korozif ortamlarda alüminyumun yüzeyi bir oksit tabakası ile kaplanarak, alüminyumun korozyona dayanıklılığını sağlar. Bu özelliğinden dolayı alüminyum pek çok korozif ortamda kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarının içindeki diğer elementler alüminyum ile galvanik pil oluşturmaya uygun olduklarından dolayı, korozyon açısından alüminyumun mümkün olduğu kadar saf olarak kullanılması tavsiye edilir. Fakat mekanik özelliklerindeki dayanım düşüklüğü nedeniyle uygulamalarda saf alüminyum kullanımı yaygın değildir.

Alüminyumun sıcak ve soğuk şekillendirilebilme kabiliyeti iyidir. Ekstrüzyon yöntemiyle çok karışık geometrik yapıya sahip alüminyum profiller üretilebilir. Kalınlığı birkaç mikrona ulaşılabilen folyolar üretilerek paketleme işlemlerinde kullanılabilir. Gıda endüstrisinde kullanılan paketleme folyoları saf alüminyumdan yapılır.

2.3.2 Alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikroyapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur.

Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük kısmına ısıtılma işlemi uygulanabilmektedir. Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırılma şu şekildedir [9].

1XXX: Saf Alüminyum. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Alüminyumun bu serisi; mükemmel korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, düşük mekanik özellikler ve mükemmel şekillenebilirlik özellikleriyle nitelendirilir. Tipik kullanım alanları; kimyasal malzemeler, reflektörler, ısı değiştirgeçleri, elektrik iletkenleri ve kapasitörleri, paketlenme folyoları, mimari uygulamalardır.

2XXX: Al-Cu alaşımları. Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir. Düşük karbonlu çeliğin özelliklerine ulaştığı ve hatta bazen geçtiği özellikleri çözeltiye alma ısıtılma işlemi ile sağlanabilir. Yaşlandırma işlemi ile de, akma dayanımında artma ve aynı oranda uzamada azalma elde edilir. Bu seri alüminyumun korozyon direnci diğer serilere göre daha düşüktür, bazı durumlarda taneler arası korozyona da meyillidir. 2XXX serisi, 150°C'ye kadar yüksek dayanım gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. 2219 serisi dışındakiler kötü kaynak kabiliyetine sahiptirler fakat bunun yanında bazı serileri çok iyi işlenebilirliğe sahiptir. En yaygın kullanımı 2024 serisi olup, yüksek mukavemet/ağırlık oranının önemli olduğu havacılık sektöründe yaygın şekilde kullanılmaktadır.

3XXX: Al-Mn alaşımları. Esas alaşım elementi mangandır. Isıl işleme uygun değildir fakat 1XXX serisinden %20 daha fazla dayanıma sahiptirler. Sadece sınırlı miktarda mangan kullanımına (%1,5'a kadar) izin verdiği için, mangan sadece bazı alaşımlarda ana element olabilir. Bunlardan 3 tanesi (3003, 3X04, 3105) orta dayanımda şekillendirebilirlik özelliği yüksek uygulamalarda kullanılır. Mutfak aletleri, içecek kutuları, sıvı tankları, mobilya ve mimari uygulamaları gibi yerlerde kullanılmaktadır.

4XXX: Al-Si alaşımları. Esas alaşım elementi silisyumdur. Silisyum %12 ye kadar olan kullanımı ile gevreklik oluşmadan erime noktasında belirgin bir azalma sağlar. Bu da 4XXX serisini, alüminyumun kaynağında kaynak teli ve lehiminde lehim malzemesi olarak kullanılmasını sağlar. Isıl genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlarıdır. 4032 serisi aşınma dayanımı özelliği ile dövme motor pistonları üretiminde tercih edilir. Diğer kullanım alanlar kaynaklı yapılar, levha üretimi ve otomobil parçaları üretimidir.

5XXX: Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar ancak süneklik azalır. Bu seri malzemeler deniz atmosferinde yüksek kaynak kabiliyetine ve yüksek korozyon direncine sahiptirler. Denizde korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır.

6XXX: Al-Mg-Si alaşımları. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Çoğu 2XXX ve 7XXX serileri kadar mukavemetli olmasa da, 6XXX serisi iyi şekillendirilebilme, kaynak kabiliyeti, işlenebilme ve korozyona karşı dayanım özelliklerine sahiptirler. Kullanım alanları; mimari uygulamalar, bisiklet gövdeleri, köprü parmaklıkları, kaynaklı yapılardır.

7XXX: Al-Zn alaşımları. Çinko esas alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.

8XXX: Bu seri alaşımlar 2XXX ve 7XXX için kullanılan alaşım elementleri dışındakilerin kullanılması ile olur. Demir ve nikel elektrik iletkenliğinden bir şey kaybettirmeden dayanımı arttırmak için eklenir ve bunlara örnek 8017'dir. Alüminyum-lityum alaşımı 8090 yüksek dayanım ve sertliğe sahiptir ve uydu uygulamaları için geliştirilmiştir [10].

2.3.3 Alüminyum alaşımlarında ısıt işlemler uygulamaları

Alüminyum alaşımlarına yapılan ısıt işlemler değişik şekillerde uygulanabilir ve uygulanan işlem TX sembolleri ile alaşım numarasının yanına yazılır. Bu işlemler şu şekilde ifade edilmektedir. O (tavlanmış), F (üretildiği gibi), H (sertleştirilmiş), T (ısıt işleme tabi tutulmuş).

T1: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

T2: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

T3: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

T4: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

T5: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış.

T6: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış.

T7: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış.

T8: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.

T9: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş.

T10: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış [11].

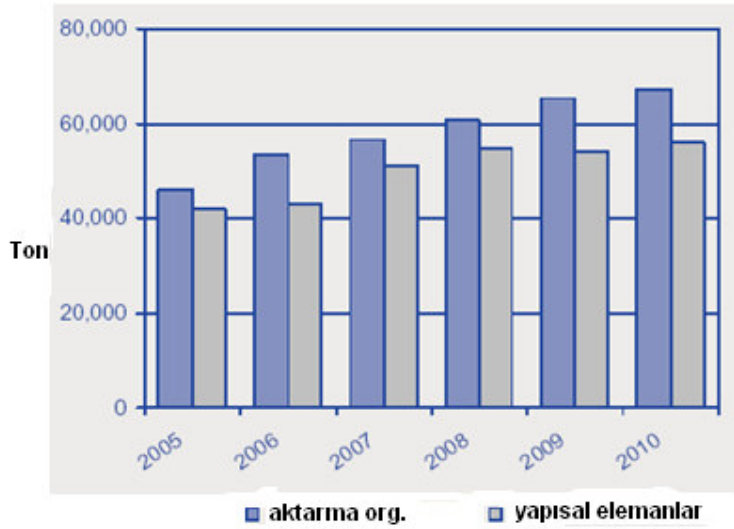
3. MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

3.1 Magnezyumun Tarihçesi

Magnezyum metali ilk olarak 1828 yılında Fransız bilimadamı Antoine-Alexander Bussy tarafından, magnezyum klorürü metalik potasyumun içine ekleyerek, elde edilmiştir. Elektrolitik indirgeme ile klorürden magnezyum eldesi ise ilk olarak 1833 yılında Michael Faraday tarafından bulunmuştur.

Ticari olarak üretimi 19. yüzyılın ortalarında Deville-Caron prosesi olarak bilinen, ısı verilmiş kapalı bir kap içinde potasyum kullanılarak magnezyum klorür indirgenmesi, yöntemi ile başlamıştır. 1852’de ise alman Robert Bunsen yaptığı küçük bir laboratuarda ergimiş klorürü elektrolize etmiştir ve 1886 da da bu prosesin biraz daha gelişmiş ile Almanya’da ticari olarak magnezyum üretimi başlamıştır. 1896’da aynı proses “Chemische-Fabrik, Griesheim-Elektron ve Aluminium and Magnesium Fabrik” ortaklığı tarafından yapılmaya başlandı ve 1914-1915’lere kadar dünya çapında tek önemli üretici onlar oldular [12].

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. Büyük otomotiv şirketlerinin yakın zamanda yapmış oldukları anlaşmaları incelediğimizde magnezyuma karşı talebin arttığını rahatça görebiliriz. Bu taleplerin artmasının başlıca sebepleri; çevresel gerekliliklerin artması sebebiyle otomobil üreticilerinin hafif araç üretme çabaları, yeni magnezyum alaşımlarının sürünme ve korozyon gibi olumsuzluklara da dirençli olması ve de fiyat olarak diğer rakip malzemeleriyle yakın seviyeye gelmesidir. Şekil 3.1’de yıllara göre aktarma organları ve gövde parçalarının kullanımlarını görebilirsiniz [13].



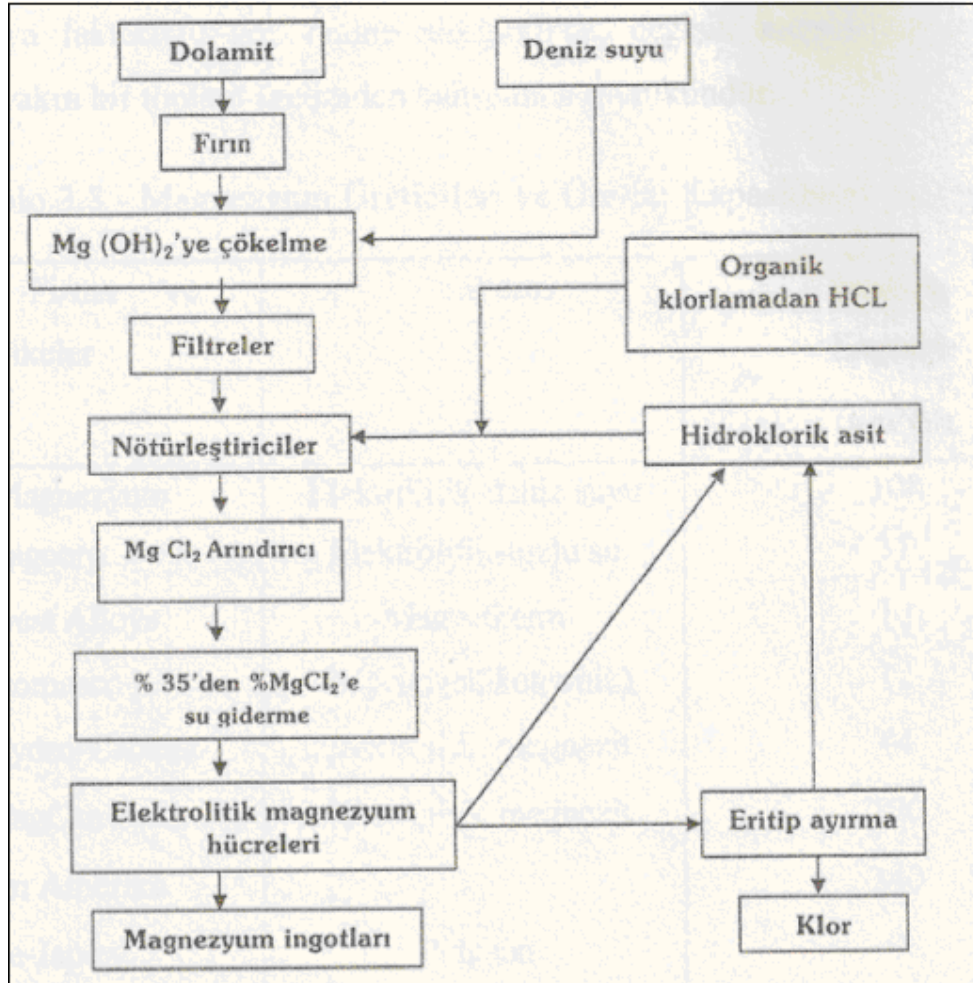
Şekil 3.1 : Otomotiv sektöründe Mg kullanımının yıllara göre değişimi [13]

3.2 Magnezyum Metali ve Üretimi

Magnezyum bütün yapı metallerinin en hafifidir. Yer kabuğunun %2,7'sini oluşturur. Magnezyumun doğada metal olarak bulunmamasına rağmen, magnezyum bileşiği yer kabuğuna dağılmıştır ve magnezyum cevheri bir çok ülkede bulunur. En genel cevher, karbonatlardır (dolomit ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) ve magnezit ($MgCO_3$)). Klorür karnalit ($MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$) Utah'daki Büyük Tuz Gölü'ndeki gibi, tuz tabakasında da bulunur. Magnezyumun en büyük kaynağı da okyanus suyudur. Okyanus sularının %0,13'ü magnezyumdan oluşur bu yüzden deniz suyu magnezyum için tükenmez bir kaynaktır.

Şu anda magnezyum metalini üretmek için iki temel proses vardır; magnezit veya deniz suyundan elde edilen ergimiş magnezyum klorürün ($MgCl_2$) elektrolizi ve karbonat cevherinden elde edilen demir silikon sayesinde magnezyum oksidin (MgO) sıcaklığının düşürülmesidir. Üçüncü proses ise serpentin cevherinden elde edilen ergimiş $MgCl_2$ 'nin elektrolizidir [12].

Dow kimyasal şirketinin dolomitten ve deniz suyundan magnezyumun elektrolizi amacıyla elektrokimyasal işlemi için şematik akış diyagramı Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu proseste dolomit ve deniz suyundan magnezyum, çözünmeyen magnezyum hidroksit olarak ($Mg(OH)_2$) çökertilir. Bunu takiben magnezyum klorür üretmek için hidroklorik asitle işlemlendirilir. $MgCl_2$, magnezyum metali ve klor gazına dönüştürmede kullanılan elektriğin bulunduğu elektrolitik hücrelere verilir [14].



Şekil 3.2 : Dow Prosesi [14]

3.3 Magnezyum ve Alaşımları

3.3.1 Magnezyum

Saf magnezyumun fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Magnezyumun saf olarak dayanımı azdır ve soğuk şekillendirme kabiliyeti düşüktür. Soğuk şekil değiştirme yoluyla dayanımı çok az yükseltilebildiğinden, alaşımları daha çok kullanılır [14]. Birincil magnezyum %99.8 minimum saflıktadır. Bu saflık çoğu kimyasal ve metalurjik kullanımlar için yeterlidir. Çoğu saf magnezyum birincil magnezyum gibi elektrolitik şekilde elde edilir. Saflığın çok yüksek derecede istendiği uygulamalarda, elektrolitik magnezyumun özel dereceleri mevcuttur. Silikotermik magnezyum magnezyum oksidin sıcaklık düşümüyle elde edilir. Yüksek saflıkta magnezyum birincil magnezyumun vakum altında sublime edilmesi ile üretilir.

Çizelge 3.1 : Saf magnezyumun fiziksel özellikleri

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

3.3.2 Magnezyum alaşımları

Magnezyum alaşımları alüminyum alaşımları kadar dayanımı yüksek olmamakla birlikte özgül dayanım (dayanım/ağırlık) oranları daha yüksek olabilmektedir. Bunun sonucu olarak magnezyum alaşımları hafifliğin önemli olduğu hava ve kara taşıt araçlarında ve el aletleri gibi makine ve cihazlarda kullanılmaktadır. Magnezyumun saf olarak dayanımı az ve soğuk şekillendirme kabiliyeti düşük olduğundan ve soğuk şekil değiştirme yoluyla da dayanımı çok az yükseltilebildiğinden, alaşımları daha çok kullanılır [15]. Magnezyumun fiziksel özelliklerini tabiki de içine katılan alaşım

elementlerinin miktarı belirler. Çoğu durumlarda da, bu miktar ile birlikte özelliğin ölçüldüğü sıcaklıktaki katı çözünürlük sınırı da önemlidir. Bu alaşım elementlerinden en önemlileri şu şekilde sıralanabilir.

Alüminyum: Magnezyum üzerinde en olumlu etkisi olandır. Bu element sertliği ve dayanımı artırır, katılaşma aralığını genişletir ve alaşımın daha kolay dökülmesini sağlar. %6 oranında alüminyumun katılması optimum bir dayanım ve tokluk verir.

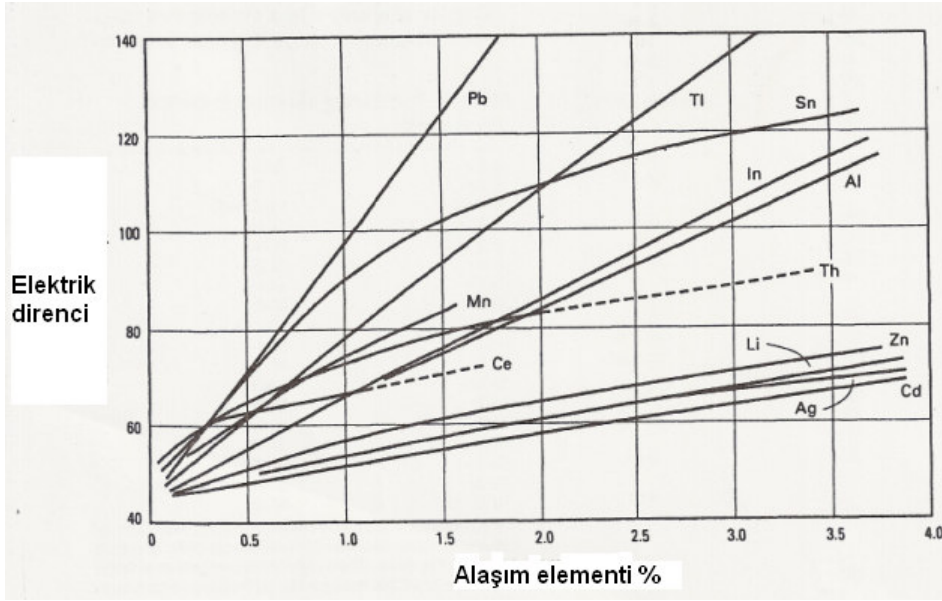
Çinko: Magnezyuma etkinliği açısından alüminyumdan sonra gelen elementtir. Çinko genelde alüminyum ile birlikte kullanılarak oda sıcaklığındaki dayanımı artırır fakat %7-10 arası alüminyumun olduğu alaşımlara %1 den fazla çinko katılması gevrekliği artırır. Çinko ayrıca zirkonyum ve toprak alkalileri ile de kombinasyon yaparak çökelme sertleşmesi oluşturur ve magnezyumun dayanımını iyileştirir. Ayrıca çinko, magnezyum alaşımlarının içinde bulunabilen demir ve nikelin korozyon etkilerinin de azalmasına yardımcı olur.

Zirkonyum: Magnezyum alaşımlarında güçlü bir tane boyutu etkisi vardır. Zirkonyum, çinko, toprak alkalileri, toryum veya bu elementlerin kombinasyonlarına, katı çözünürlük limitine kadar, tane küçülmesi açısından yardımcı olur. Bunun yanında alüminyum ve manganın olduğu alaşımlarda kullanılmaz çünkü bunlarla birlikte kararlı bileşikler oluşturur.

Toprak alkali metalleri: Magnezyuma mişmetal (%50 seryum ve geri kalan lantanum ve neodmiyum) veya didmiyum (%85 neodmiyum ve %15 praseodmiyum) olarak katılır. Toprak alkali metallerinin katılması yüksek sıcaklıklarda dayanımı artırır. Ayrıca kaynak çatlaklarının ve dökümdeki gözeneklenmenin azalmasını sağlar çünkü alaşımların katılaşma alanını daraltır.

Mangan: çekme dayanımına etkisi çok fazla değildir fakat akma dayanımını bir miktar artırır. En önemli etkisi demir ve diğer ağır metalleri uzaklaştırarak Mg-Al ve Mg-Al-Zn alaşımlarının tuzlu su direncini artırır [12].

Şekil 3.3’de magnezyuma katılan elementlerin yüzdesinin elektrik direnci ile grafiği görülmektedir.



şekil 3.3 : Alaşım elementlerinin manezyumun elektrik direncine etkisi [12]

3.3.3 Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının genel özellikleri

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir.

1. Metalik yapısal malzemelerin tümünden daha az yoğunluktadır.
2. Yüksek özgül dayanıma sahiptir.
3. İyi dökülebilirlik, yüksek basınçlı kalıp döküme uygundur.
4. Yüksek hızlarda torna ve freze ile işlenebilir.
5. Kontrol altındaki bir atmosferde iyi kaynak edilebilir.
6. Yüksek saflıkta kullanıldığında korozyon direnci iyidir.
7. Kolay üretilebilir.
8. Polimer malzemelerle karşılaştırıldığında; daha iyi mekaniksel özelliğe sahiptir, zamanla gevrekleşme özelliği daha düşüktür, daha iyi elektriksel ve ısıl iletkenlik özelliği vardır ve geri kazanımı mümkündür.

Magnezyum alaşımlarının dezavantajları ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Elastisite modülü düşüktür.
2. Soğuk şekillendirebilirlik ve tokluk sınırlıdır.
3. Yüksek sıcaklıklarda dayanım ve sürünme direnci sınırlıdır.
4. Katılaşma sırasında yüksek miktarda çekme olur.

5. Yüksek kimyasal aktiviteye sahiptir.

6. Bazı uygulamalarda korozyon direnci sınırlıdır [16].

Magnezyumda katışkılar düzeyini iyileştirerek (Fe, Ni, Cu azaltarak) korozyonu azaltmak için ilerlemeler olmasına rağmen, magnezyum diğer konstrüksiyon metallerine göre daha soy değildir. Bu yüzden diğer metallere göre negatif bir korozyon potansiyeline sahiptirler. Bunlardan, magnezyuma veya temas ettiği ve korozyon açısından magnezyuma zarar verecek malzemeye çeşitli kaplamalar yaparak korunma yoluna gidilebilir [14].

4. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI

4.1 Titanyumun Tarihçesi

Titanyum, 1791'de İngiltere'de amatör jeolog ve papaz olan William Gregor tarafından bir mineralde keşfedildi. Gregor, Manacan bölgesi yakınlarındaki bir akarsuda siyah kumlar buldu, kumların mıknatısla etkilendiğine dikkat etti ve böylece kumların içinde yeni bir elementin varolduğunu düşündü. Kumun analizi iki metal oksidin varolduğunu gösterdi, biri demir oksit (ki bu mıknatıstan etkilenmeyi açıklıyor) ve %45.25 oranında Gregor'ın tanımlayamadığı beyaz bir metal oksit. Gregor, tanımlayamadığı oksitin bilinen hiçbir elementin özelliklerine uymadığını farketti ve bulgularını Royal Geological Society of Cornwall'de ve Alman bilim dergisi Crell's Annalen 'de bildirdi.

Bundan bağımsız olarak Alman kimyager Martin Heinrich Klaproth 1795'de Macaristan'da rutil diye bilinen bir mineralde titanyum oksidi yeniden keşfetti. Klaproth oksidin yeni bir element içerdiğini buldu ve elemente titanyum ismini verdi. Gregor'ın daha önceki keşfini duyduğunda ondan bir miktar örnek elde etti ve bunun da titanyum içerdiğini doğruladı.

Titanyumu cevherlerinden çıkarmak zahmetli ve pahalı bir süreç gerektirir. Titanyumu karbonun varlığında normal biçimde ısıtarak ayırmak mümkün değildir, çünkü bu işlemin sonucu titanyum karbittir. Saf metalik titanyum (99.9%) ilk olarak Matthew A. Hunter tarafından 1910'da Hunter işleminde $TiCl_4$ ile sodyumun 700–800 °C'de ısıtılmasıyla hazırlandı.

Titanyum metali William Justin Kroll'un Kroll işleminde titanyum tetraklorid ile magnezyumu eritip metalin ticari anlamda kullanılabilir olduğunu kanıtladığı 1946'ya kadar laboratuvar dışında kullanılmadı. Daha verimli ve daha ucuz işlemler konusunda çalışmalar (örneğin; FFC Cambridge) devam etse de ticari üretim için halen Kroll işlemi kullanılmaktadır [17].

Titanyumun otomotiv sektöründeki uygulamaları yarış arabalarının motor parçaları ile 1980'li yılların başında başlamıştır ve daha sonra yavaş yavaş artmıştır [18].

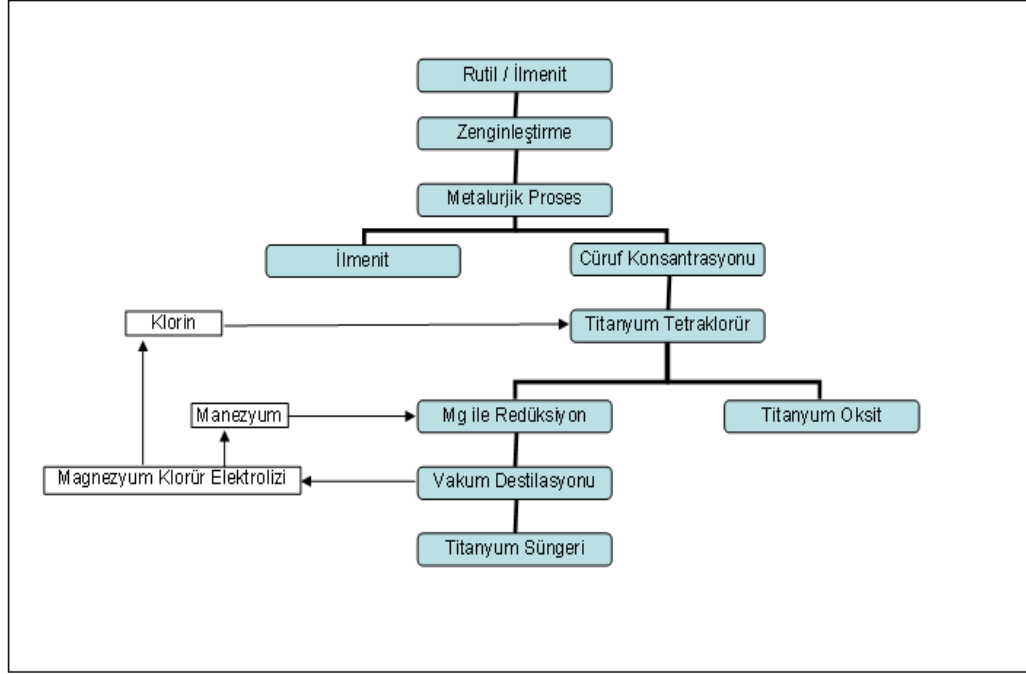
4.2 Titanyum Metali ve Üretimi

Titanyum %0,6 lık oranı ile yer kabuğunda metaller arasında demir, alüminyum, ve magnezyumdan sonra dördüncü, bütün elementler içinde de dokuzuncu sıradadır. Fakat buna rağmen bugün bile pahalılığını ve egzotik havasını kaybetmemiştir. Titanyumun büyük kısmı (%95) oksit olarak boya endüstrisinde beyazlatıcı veya dolgu malzemesi olarak kullanılır. Çoğu insan titanyumun oksit olarak günlük ihtiyaçlarımız içinde olduğunu bilmez. Titanyumun metal olarak kullanımının az olmasının sebebi oksitten arınmasının zor ve pahalı olmasıdır.

Titanyum yatakları çok geniştir. Titanyum oksit neredeyse bütün mineral, kum ve taşların bir parçasıdır. Ama asıl olarak rutil (TiO_2) ve ilmenit (FeTiO_3) kullanım için dikkate alınanlardır. Madencilik yapılabilecek yataklar Avustralya, Güney Afrika, Kanada, Norveç ve Ukrayna'da bulunur. Son zamanlarda kuzeydoğu Rusya ve Kazakistanda'da yeni yataklar bulunmuştur [19].

Titanyum metalinin işlenmesi dört büyük aşamadan oluşur. Titanyum cevherinin gözenekli bir form olan süngere redüksiyonu; süngerin veya sünger ve bir sertleştirme alaşımının bir külçe oluşturmak için eritilmesi; külçenin ham metal kütük, çubuk, levha, şerit ve boru gibi genel fabrika ürünlerine dönüştürüldüğü birinci fabrikasyon; ve fabrika ürünlerinden elde edilen son mamullerin ikinci fabrikasyonu.

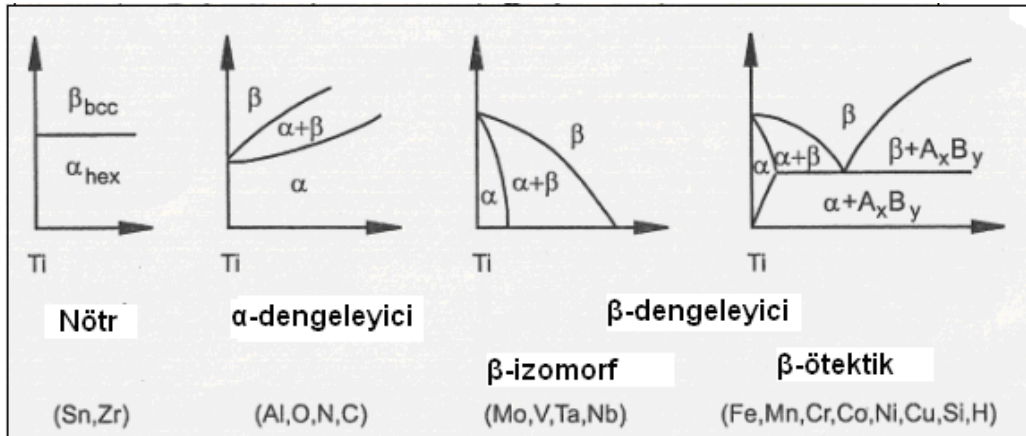
Metal, yüksek sıcaklıklarda oksijen ile reaksiyon verdiği için kendi dioksitinin redüksiyonu ile üretilemez. Bu yüzden titanyum metali ticari olarak, karmaşık ve pahalı bir yığın işleme yöntemi olan Kroll süreci ile üretilir (Titanyumun yüksek maliyeti, esas olarak metalin bir diğer pahalı metal olan magnezyumun feda edildiği işlem süreciyle bağlantılıdır). Kroll prosesinin gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir. Kroll sürecinde ilk olarak oksit, klorlama yöntemi ile klorüre dönüştürülür. Bu sayede klor gazı, karbonun varlığında TiCl_4 oluşması için akkor rutil veya ilmenite geçiş yapar [17].



Şekil 4.1 : Titanyum süngerı üretimi için Kroll Prosesi [19]

4.3 Titanyum ve Alaşımları

Titanyum sembolü Ti olan, 22 atom numaralı, 1660°C ergime sıcaklığına sahip yoğunluğu 4,5 g/cm³ olan hafif, parlak, korozyona karşı dirençli, grimsi geçiş metalidir. Titanyum, demir, alüminyum, vanadyum ve molibden gibi elementler ile alaşım yapabilir. Titanyum alaşımlarının titanyum faz diyagramlarına etkisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir [20].



Şekil 4.2 : Titanyum alaşımlarının titanyum faz diyagramlarına etkisi [19]

4.3.1 Geleneksel titanyum alaşımları

Günümüzde bilinen 100 titanyum alaşımından sadece 20-30 kadarı ticari boyutta kullanılmaktadır. Bunlardan da Ti-6Al-4V kullanımın %50'sini içerir. Diğer %20-30 kadarı da alaşımsız titanyumdur. Çizelge 4.1'de günümüzde kullanılan titanyum alaşımlarını ve önemli mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Alaşım	Bileşen (%)	T β (°C)	Sertlik (Hv)	E (Gpa)	YS (Mpa)	TS (Mpa)	% Uzama
α Titanyum Alaşımları							
Yüksek saflıkta Ti	99,98 Ti	882	100	100-145	140	235	5
1. Derece	cp-Ti: 0,2Fe, 0,18O	890	120		170-310	>240	24
4. Derece	cp-Ti: 0,5Fe, 0,40O	950	260	100-120	480-655	>550	15
6. Derece	Ti-5Al-2,5Sn	1040	300	109	827	861	15
Yakın-α Titanyum Alaşımları							
Ti-6-2-4-2-S	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si	995	340	114	990	1010	13
TIMETAL 1100	Ti-6Al-2,7Sn-4Zr-0,4Mo-0,4Si	1010	112	900-950	1010-1050	10-16	60-75
TIMETAL 685	Ti-6Al-5Zr-0,5Mo-0,25Si	1020	350	120	850-910	990-1020	6-11
TIMETAL 834	Ti-5,8Al-4Sn-3,5Zr-0,5Mo-0,7Nb-0,35Si-0,06C	1045	350	120	910	1030	6-12
$\alpha + \beta$ Titanyum Alaşımları							
Ti-6-4	Ti-6Al-4V	995	300-400	110-140	800-1100	900-1200	13-16
Ti-6-6-2	Ti-6Al-6V-2Sn	945	300-400	110-117	950-1050	1000-1100	10-19
Ti-6-2-2-2-2	Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0,25Si			110-120	1000-1200	1100-1300	8-15
Ti-6-2-4-6	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	940	330-400	114	1000-1100	1100-1200	13-16
Ti-17	Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	890	400	112	1050	1100-1250	8-15
Yarı kararlı β Titanyum Alaşımları							
SP 700	Ti-4,5Al-3V-2Mo-2Fe	900	300-500	110	900	960	8-20
Beta III	Ti-11,5Mo-6Zr-4,5Sn	760	250-450	83-103	800-1200	900-1300	8-20
Beta C	Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	795	300-450	86-115	800-1200	900-1300	6-16
Ti-10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	800	300-470	110	1000-1200	1000-1400	6-16
Ti-15-3	Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	760	300-450	80-100	800-1000	800-1100	10-10

4.3.1.1 α Alaşımları

α -alaşımları başta kimya sektöründe kullanılmıştı. Buradaki yüksek dayanıma karşın mükemmel korozyon ve şekil verilebilirlik davranışı ikinci plandaydı. Çeşitli ticari saf titanyum dereceleri ilk önce oksijenin içeriği ile değişir. Oksijen güçlü bir şekilde dayanımı arttırır ve aynı şiddetle de sünekliği düşürür. Üretim prosesi yoluyla demir ve karbon katışıkları alaşım içine gelirken, saf titanyumun dayanımına ulaşmak için sadece oksijen alaşıma katılır.

Saf titanyumun 1'den 4'e kadar olan dereceleri oda sıcaklığında 240 Mpa'dan 740 Mpa'a kadar çekme dayanımlarına sahiptir. 1. derece en az dayanıma sahip ve mükemmel soğuk şekil verme kabiliyetine sahiptir. 2. derece ise 390-540 Mpa arasında çekme dayanımına sahiptir ve en yaygın saf titanyum derecesidir. 3. derece bundan biraz daha fazla dayanıma sahip ve ince cidarlı, dayanıklı parçaların üretiminde kullanılır. 4. derece ise 740 Mpa çekme dayanımı ile en yüksek dayanıma sahip olanıdır. Yalnız kompleks parçaları ancak 300°C'lerde şekillendirilebilir.

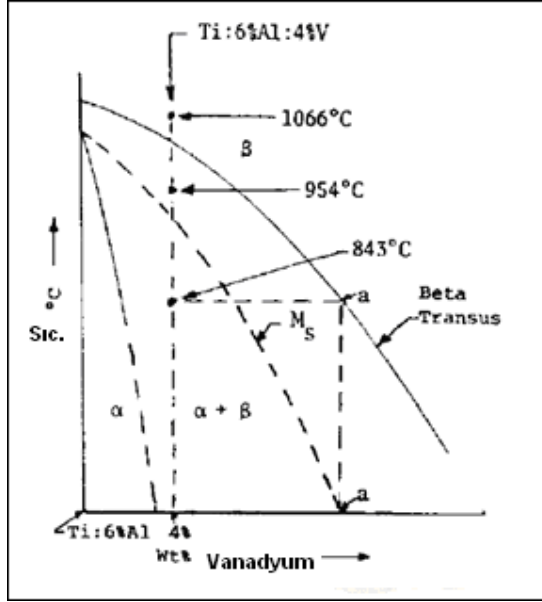
Yüksek korozyon dayanımı gerektiren uygulamalar için paladyum içeren 7. derece geliştirilmiştir fakat yüksek fiyatından dolayı genelde ona yakın olan 12. derece tercih edilir.

4.3.1.2 Yakın α alaşımları

Yakın α alaşımları yüksek sıcaklıklar için idealdir çünkü α alaşımlarının mükemmel sürünme dayanımı ile $\alpha + \beta$ alaşımlarının yüksek dayanımının bileşimidir. Çalışma sıcaklığı 500-550 °C civarlarındadır. İlk titanyum alaşımı Ti-8-1-1 özellikle yüksek sıcaklıklar için geliştirilmiştir. Yüksek alüminyum katışığının gerilme korozyonuna neden olmasından dolayı alüminyum katkısı maksimum %6 ile sınırlandırılmıştır. Ti-6-2-4-2 bu şekilde sınırlı alüminyum katışığına sahiptir. Daha sonra yapılan araştırmalar %0,1 silisyum katışığı ile de Ti-6-2-4-2'nin sürünme davranışının geliştiği görülmüş ve bu alaşıma da Ti-6-2-4-2-S denilmiştir. Silisyum yüksek sıcaklıklarda diskolasyonlar üzerine yerleşerek onların tırmanmasını ve deforme olmalarını engeller. Bundan sonra bütün yüksek sıcaklık titanyum alaşımları %0,5 silisyum ile alaşımlandırılmıştır.

4.3.1.3 $\alpha + \beta$ alaşımları

$\alpha + \beta$ alaşımları arasında en bilineni Ti-6Al-4V'dir. Bütün titanyum alaşımlarının %50'sinden fazlası bu bileşimdedir. Ti-6Al-4V'nin başarısının iki nedeni vardır. Birincisi, özelliklerinin dengeli olmasıdır. İkincisi ise, en çok üzerinde çalışılan ve test edilen titanyum alaşımı budur. Şekil 4.3'de %6 alüminyum katkılı titanyumun vanadyum katılımına göre değişimini göstermiştir. Diğer $\alpha + \beta$ alaşımları Ti-6-6-2 ve IMI 550 ise yüksek dayanım için geliştirilmiştir [19].



Şekil 4.3 : Vanadyum katılımına göre %6 alüminyum katkılı titanyumun değişimi [21]

4.3.1.4 Yarı kararlı β alaşımları

Son 20 yıldır yarı kararlı β alaşımlarının önemi gitgide artmıştır. Bu alaşımlar çok yüksek dayanım derecesi olan 1400 Mpa'nın üstüne kadar çıkabilirler. Kompleks mikroyapısı tasarımcılara hem yüksek bir dayanım hem de yüksek süneklik sağlar. [19].

5. HAFİF METALLERİN İMALATINDA YENİ TEKNOLOJİLER

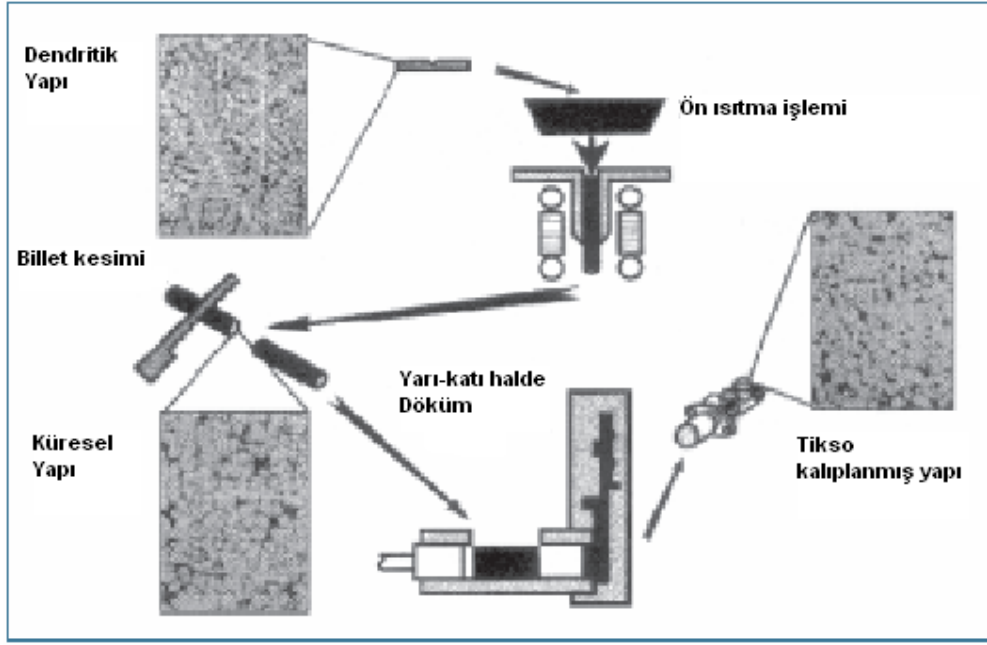
Çelik ve dökme demir gibi geleneksel malzemelerin yerini hafif metallerin alması ile özellikle fonksiyonel olarak güvenli olması gereken lokasyondaki (akson, süspansiyon kolları gibi) parçalarda problemler söz konusu olmuştur. Bunun nedeni hafif metallerin, mekanik özelliklerinin özellikle de tokluğunun geleneksel malzemeler ile karşılaştırıldığında düşük olmasıdır. Bu bakış açısı aşağıdakiler gibi çalışmaları teşvik etmiştir;

- ileri kalıplama ve birleştirme yöntemlerinin geliştirilmesi,
- ucuz maliyetli sac üretim prosesleri kurmak (sürekli döküm gibi),
- malzeme dayanım ve korozyon direncini geliştirmek,
- geri dönüşümü geliştirmek,
- yüksek kaliteli, yüksek dayanımlı yapısal dökümü geliştirmek.

Özellikle de son belirtilen çalışma ile ilgili, mekanik özellikleri artırmak ve yüksek kaliteyi yakalamak için, tikso kalıplama, vakumlu döküm, sıkıştırımlı döküm (squeeze casting), yüksek basınçta döküm, alçak basınçlı döküm gibi yöntemler geliştirilmiştir.

5.1 Tikso Kalıplama

Tikso kalıplama prosesi kalıp içine malzemenin yarı katı biçimde enjekte edilmesi ile oluşur. Malzemenin tiksotropik davranışı (zamanın ve kayma gerilmesinin artması ile vizkozitenin azalması) elde etmek için, malzemenin enjekte edilmeden önceki yapısı sıvı ötektik bölümler içine yayılmış katı küresel dendritlerden (reodöküm yapı) oluşmalıdır. Bu tip yapının oluşması için, elektromanyetik karıştırma, mekanik karıştırma ve tane inceltme uygulanan yöntemlerdir. Alüminyum için en yaygın olanı elektromanyetik olanıdır. Katılaşma sırasındaki karıştırma, küresel şekil ile katılaştıran dendriti kırar. Şekil 5.1’de tikso kalıplama prosesinin adımlarını görebilirsiniz.



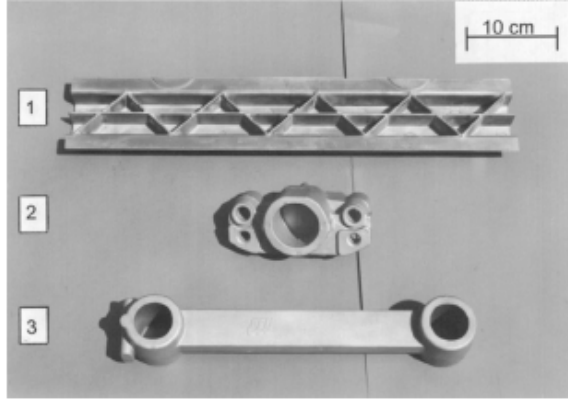
Şekil 5.1 : Tikso kalıplama prosesi adımları [22]

Şekil 5.1’de gösterildiği üzere, uzun katı billetler final parçanın kütlesine göre daha küçüklerine kesilir ve daha sonra yarı katı duruma tekrar ısıtılır ve kalıp içine enjekte edilir. Yarı katı metal kalıbın içine katmanlı bir şekilde akarak final parçanın porozite oluşmasını engeller. Bu nedenle, döküm parça gibi yüksek kaliteye ulaşmasının yanı sıra ısıtma işlemi mekanik özelliklerinin artırılması da mümkündür ki bu yüksek basınçlı dökümde (HPDC) mümkün değildir.

Tikso kalıplamanın diğer avantajları da, malzemenin erime noktasının 100°C altında yapılan bir işlem olduğundan dolayı, enerji kazancı, daha hassas parça toleransı, daha az işleme operasyon gereksinimidir [22]. Düşük operasyon sıcaklıkları kalıba etki eden termal şokları da düşürür ve kalıbın ömrünü uzatır. Erimiş metal yerine yarı-katı kullanılması kalıptan SF₆’nın oluşmamasını sağlar ve çalışanları ve çevre için güvenli olmuş olur [23].

Tikso kalıplama, dövme ve döküm gibi klasik üretim tekniklerinin alternatifi olarak önemli bir yer almaya başlamıştır. Bunun nedeni hafif otomotiv dizaynları için yüksek dayanıklı hafif metallerin üretim talebinin artması olmuştur. Tikso kalıplama dövme ve dökümle göre duvar kalınlıklarında ve duvar kalınlığı varyasyonlarında mühendisler için çok geniş dizayn seçenekleri sunar. Üretim maliyetleri ile yüksek kaliteli dökümle aynı seviyelerde olmakta, yüksek mekanik parça kalitelerine

ulaşılmakta ve böylece yüksek güvenlik gerektiren parçaların üretiminde kullanılması mümkün olmaktadır. Şekil 5.2’de tikso kalıplama yöntemi ile üretilmiş bazı parçaları görebilirsiniz.



Şekil 5.2 : Tikso kalıplama yöntemi ile üretilmiş parçalar [24]

1 numarada gösterilen nervürlü çatı kesiti 2,5-3mm arası duvar kalınlığına sahiptir. Bu tipik bir ince cidarlı yapı malzemesi örneğidir. Distorsiyonlara neden olan ısı işlem uygulanmadan yüksek çekme ve kopma gerilmesi elde edilebilmiştir. 2 numarada gösterilen ise fren silindiri yuvasıdır. Burada tikso kalıplama kalın cidarda porozite oluşumunun önlenmesini sağlar ki diğer döküm yöntemleri ile bu mümkün değildir. 3 numarada süspansiyon bağlantısı vardır ve 6-25 mm arası duvar kalınlığını tikso kalıplama ile elde etmek mümkündür [24].

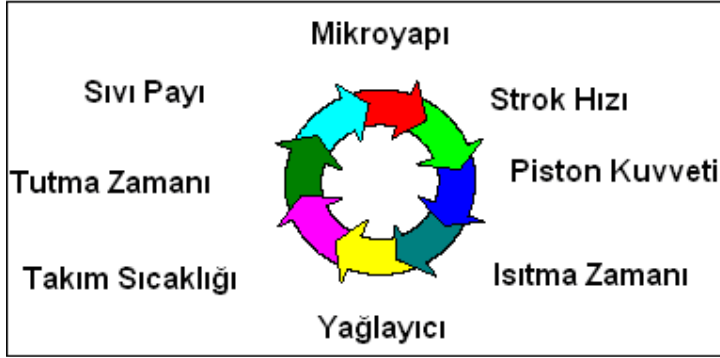
Tikso kalıplamayı kalıpta döküm ile karşılaştırsak avantajları;

- daha az sıcaklık daha uzun kalıp ömrüne olanak verir,
- kısa proses döngüleri ve otomasyon sonuçları daha yüksek verimlilik verir,
- daha az enerji ihtiyacı vardır,
- daha az kendini çekme ve mikro porozite,
- kalıba katmanlı akış gaz ve poroziteyi uzaklaştırır.

Dezavantajları ise;

- yüksek maliyetli olması ve sınırlı sayıda hammaddeye uygulanması,
- özel ve pahalı ekipmanı olmasıdır (kalıp, transfer sistemleri, özel ısıtma istemleri gibi).

Tikso kalıplama yapan imalat mühendisleri Şekil 5.3’de verilen sekiz parametreye dikkat etmelidirler [25].



Şekil 5.3 : Tikso kalıplamanın üretimi etkileyecek parametreleri [25]

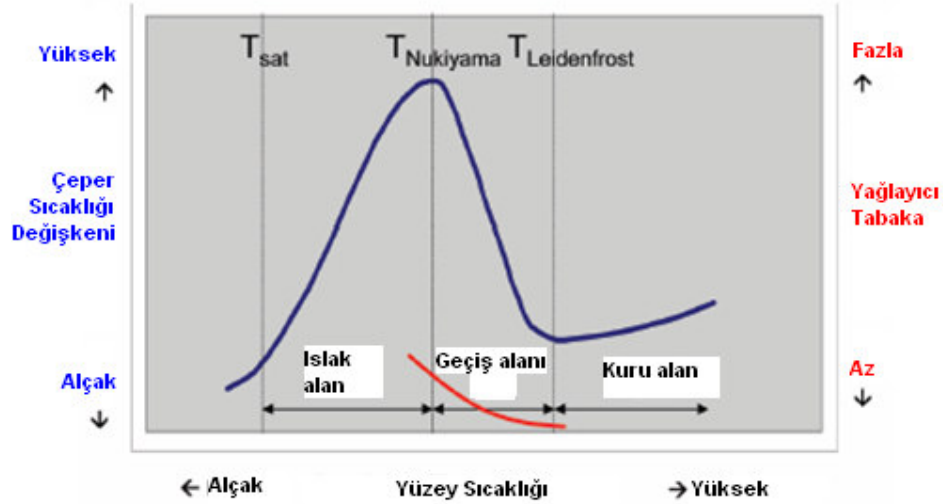
5.2 Yüksek Basıncılı Kalıpta Döküm

Yüksek basınçlı döküm, alüminyum ve magnezyum gibi metallerde karmaşık yapıli mekanik parçaların üretimi için bilinen bir yöntemdir. Bu yöntemle hızlı ve ölçüsel olarak düzgün şekilde parça üretmek mümkündür. Yüksek basınçlı kalıpta döküm uygulamaları, otomotiv endüstrisindeki hızlı üretim talebinin artması ile paralel olarak artmıştır.

Otomotiv üreticilerinin daha büyük ve karmaşık parçaların üretiminde bu yöntemleri kullanması ile dökümcüler daha zor şartlarla karşı karşıya kalmışlardır. Basit parçalarda düşük ve kolay kontrol edilebilir olan sıcaklık, karmaşıklık ve boyut arttıkça zorlaşır. Kalıbın içini soğutma ve kalıbın bütün parçalarının sıcaklığını yeterli bir şekilde kontrol etmek bu zorluğu getirir. İlk başlarda kalıp yüzey sıcaklığı püskürtmeden önce 250-350 °C iken büyük parçalarda bu sıcaklık 400 °C'lere kadar çıkar. Kalıbın soğutma bölgeleri ise bu durumlarda 200 °C'lerde olur. Bu durum belirli bölgelerde sıcak noktaların gelişimine yol açar ki bunlarda lehim problemleri oluşturur. Problemlerin giderilmesi püskürtülen yağlayıcının miktarı ile sağlanabilir fakat bu da proses zamanlarını ve maliyetleri arttırır. Bu durum Leidenfrost etkisi ile ilgilidir [26].

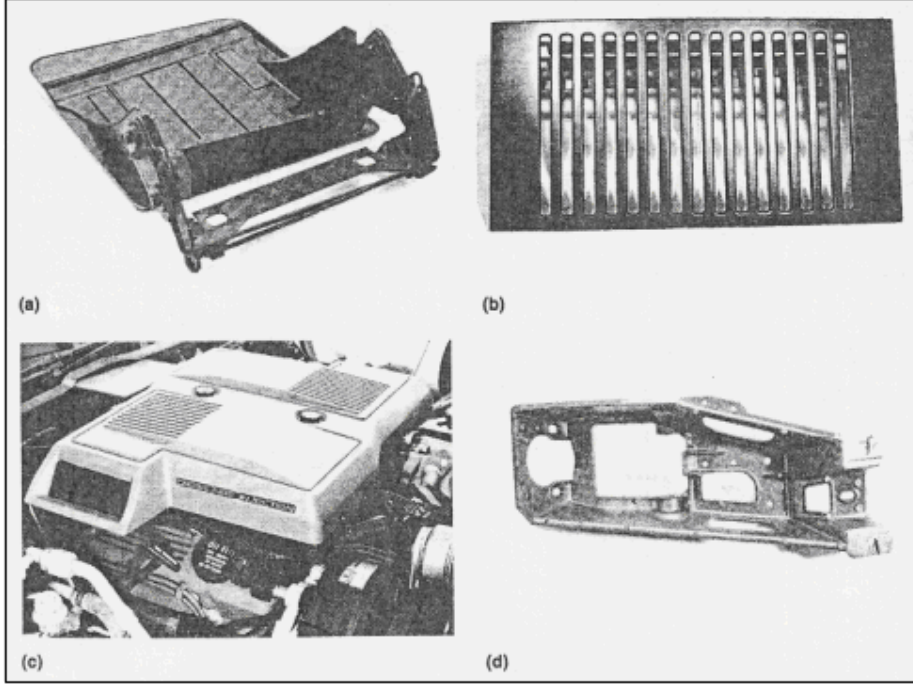
Leidenfrost etkisi kalıpta dökümcülerce çok iyi bilinen bir olaydır. Su, kaynama sıcaklığının önemli derecede üstündeki bir yüzeye püskürtüldüğünde metal yüzeyiyle temas etmez. Bunun gibi su damlacığının su buharı üstüne düşmesi yüzeyi ıslatmaz. Bu nedenle kalıp yağlayıcılarının aktif malzemeleri kalıp yüzeyine yapışmaz. Su ya

da su bazlı yağlayıcıların metal yüzeyine temas edebildiği en yüksek sıcaklık Leidenfrost sıcaklığıdır. Günümüzde yüksek performanslı yağlayıcılar bu sorunlara hitap etmek için iki ayrı yaklaşım göstermektedir. Birincisi, Leidenfrost sıcaklığını yükseltmeye çalışmasıdır. Bunu, daha yüksek sıcaklıklarda yüzeyi yağlayarak, film oluşumunu daha erken başlatarak ve daha kısa püskürtme süresine izin verilerek sağlamaktadır. İkinci yaklaşım ise, kalıp yüzeyinde film oluşumunu hızlı bir şekilde ve yüksek sıcaklıklarda yapacak malzemelerin yağlara katılmasıdır. Şekil 5.4’de suyun soğuma eğrisi gösterir ki soğutma oranı en yüksek değerine Nukiyama noktası denilen yerde ulaşır. Leidenfrost sıcaklığının artması ile de film oluşma süresi artar. Yalnız film oluşumu yüksek sıcaklıklarda yavaş ise, Leidenfrost sıcaklığının artması ile kazanılan avantaj kaybedilebilir. Diğer başka Leidenfrost sıcaklığına etki eden faktörler, spreyin püskürtme uzaklığı ve açısı, basınç olarak sayılabilir [26].



Şekil 5.4 : Yüzey sıcaklığı ile ısı akışı ve film kalınlığı arasındaki varyasyonlar [26]

Kalıpta dökme Şekil 5.5’de gösterilen parçaların yüksek sayıda üretimleri için kullanılabilir. Çoğu magnezyum alaşımı döküm parçalar da bu yöntemle üretilir. Yüksek kalıp yatırımı, yüksek üretim hacimleri ile amortize edilebilir. Proses, yüksek otomasyon derecelerinde hızlı üretim kabiliyetine sahiptir.



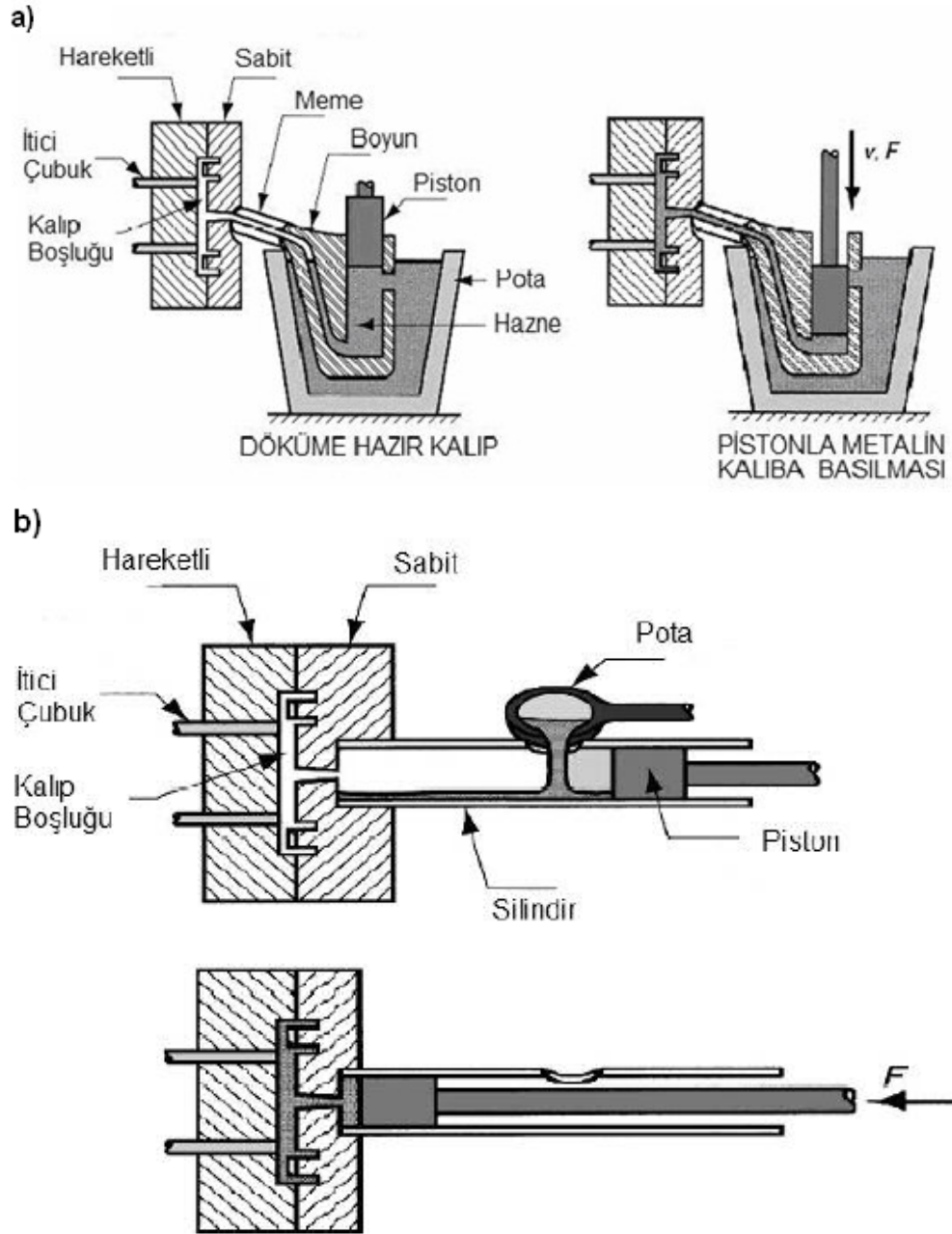
Şekil 5.5 : a) Kapı iskeleti b) Hava giriş ızgarası c) Hava temizleyici kapağı d) Fren ve debriyaj pedali braket [12]

Magnezyum alaşımlarında kalıpta döküme göre aşağıdaki avantajları sağlar.

- Çoğu magnezyum alaşımlar yüksek akıcılıktadır ki bu karışık ve ince cidarlı parçaların dökümüne olanak verir.
- Magnezyum dökümü çabuk soğur ve bu da daha az proses zamanları ve daha az kalıp aşınımı sağlar.
- Magnezyum yoğunluğu azdır bu da yüksek giriş basıncını daha rahat elde edilmesini sağlar.
- Magnezyum alaşımları hızlı bir şekilde işlenebilir.

Yukarıdaki özelliklere birde magnezyumun ağırlığının çok düşük olması eklenince otomotiv sektöründe kullanımını çok ideal kılmıştır [12].

Basınçlı döküm makinaları Şekil 5.6'da gösterildiği gibi sıcak ve soğuk hazneli olmak üzere ikiye ayrılır. İlk gösterilen sıcak hazneli basınçlı döküm makinaları çinko, kalay, kurşun gibi malzemeler ile sınırlıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda eriyen ve bu nedenle döküm makinasının çalışan parçaları ile sürekli temasta olması sakıncalı olan alaşımlar ise (alüminyum ve magnezyum alaşımları gibi) soğuk hazneli makinalarda dökülür [27].



Şekil 5.6 : a) Sıcak hazneli basınçlı döküm makinası b) Soğuk hazneli basınçlı döküm makinası [27]

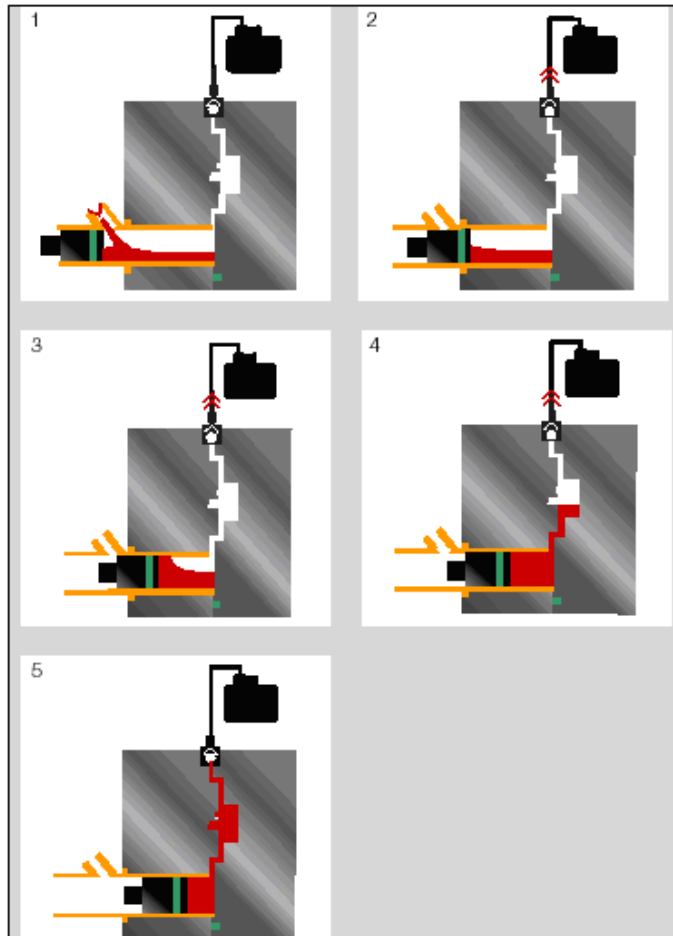
5.3 Vakumlu Döküm

İnce ve orta incelikte yapısal otomotiv parçalarından, iyi kaynak edilebilme, yüksek mekanik dayanım özellikleri beklenir. Bunları sağlamak için de yüksek yapısal kalite gereklidir. Vakum döküm, gaz gözenekliliğinin oluşumunda kesin bir düşüm yaratır çünkü gaz kalıptan uzaklaştırılır. Kullanılan alaşıma bağlı olarak, istenilen değerler

vakum dökümde başka bir ısıtılma işlemi gerek kalmadan elde edilir. Fakat ısıtılma işlemi gerekirse, bu nihai üründe giderilemeyecek olan küçük gaz gözenekleri sebebiyle oluşan yüzey çatlaklıklarına sebebiyet verir. Uygun bir vakum dökme prosesi için gerekli olanlar aşağıdakilerdir.

- Vakum ekipmanı yüksek performansa sahip olmalı ve kalıp ve tabanca kompleksinin yüksek proses güvenliği için sıkıca sızdırmazlığı sağlanmalıdır.
- Hız ve basınç doğru bir şekilde kontrol edilebilir olmalıdır.
- Diğer etki edebilecek faktörler, ergimiş metal besleme yeri, kalıp sıcaklık kontrolü, yağlama sistemi iyi kalitede olmalıdır.

Proses Şekil 5.7’de de gösterildiği üzere şu şekilde olmaktadır. Arı ve gazdan arınmış metal düşük bir türbülansla yolluğa doldurulur, itici besleme deliğini geçince kalıp içinden boşaltma başlar. Vakum uygulandıkça metalin kalıba dolması sırasında gaz oluşumu engellenir [28].



Şekil 5.7 : Vakumlu dökümün proses adımları [28]

Vakumun zamanlaması da proseste 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 oluşturur [14].

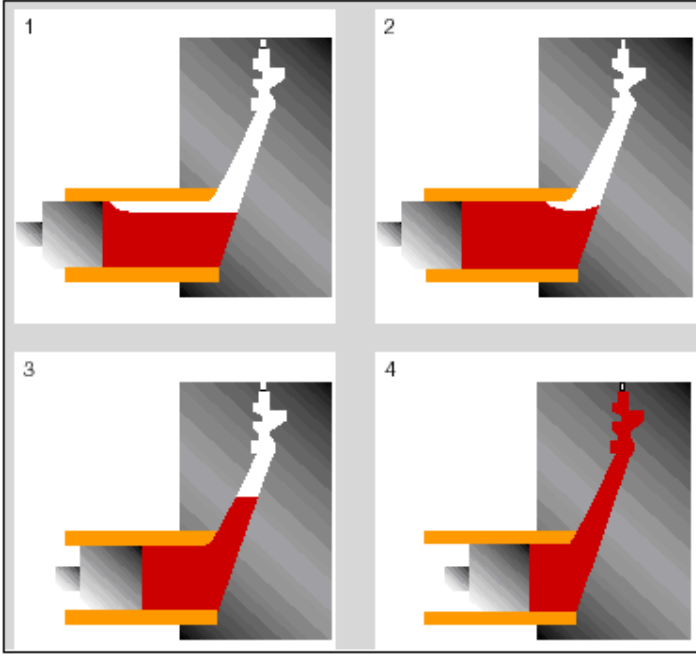
5.4 Sıkıştırılmalı Döküm (Squeeze Casting)

Sıkıştırılmalı döküm yöntemi, metal bir kalıp içerisine yerleştirilen, ön ısıtma yapılmış, seramik fiber veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekle, kuvvet yardımıyla sıvı metalin emdirilmesi ve böylece sıkıştırılan sıvı metale yüksek basınç uygulanarak katılaştırılması işlemidir [29].

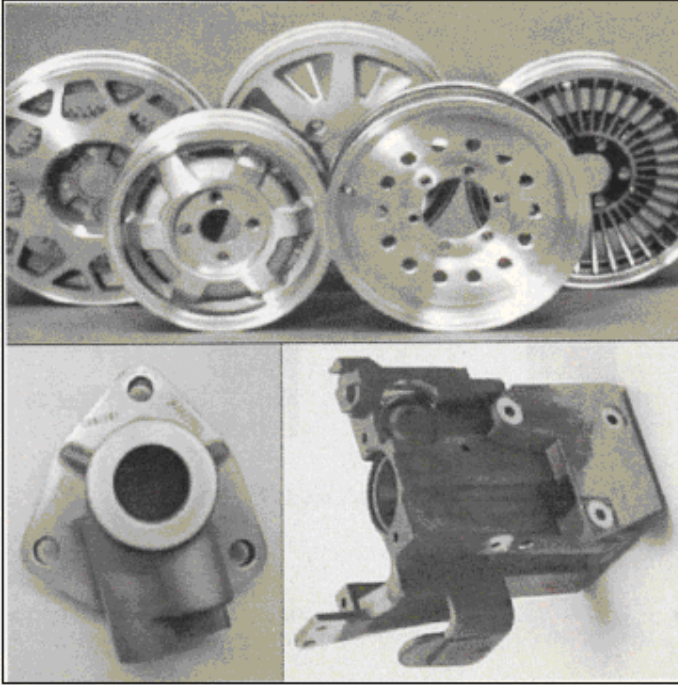
Proses, oldukça kalın cidarlı yüksek mekanik özellikli malzemelerin üretiminde kullanılır. Yüksek güvenlik gerektiren otomotiv parçaları bunlardandır. Döküm malzemeleri kaynak edilebilir ve ısıl işlem uygulanabilir. Net ölçüde üretilebilirler. Standart kalıpta döküm ile üretilmesi çok zor veya imkansız alüminyum alaşımı parçaların üretiminde kullanılır.

Şekil 5.8’de prosesin adımlarını görebilirsiniz. Burada termal olarak iyileştirilmiş yolluk, özel olarak ön ısıtma yapılmış ve yüksek dereceli ergimiş metal ile az türbülanslı şekilde doldurulur. İlk enjeksiyon için hesaplanan hız bütün havanın yolluk dışına çıkmasını sağlar. Özel giriş ve havalandırma sistem tasarımı, dökümün havadan arınmış bir şekilde oluşmasını sağlar. Sonuçta, kuvvetli basınç sayesinde çok yoğun ve homojen bir yapı oluşur [28].

Döngü zamanları, yavaş doldurma hızı ve katılma 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 kullanılmaktadır. Şekil 5.9’da bu yöntemle üretilmiş otomobil parçaları bulunabilir [14].



Şekil 5.8 : Sıkıştırılmalı döküm proses adımları [28]



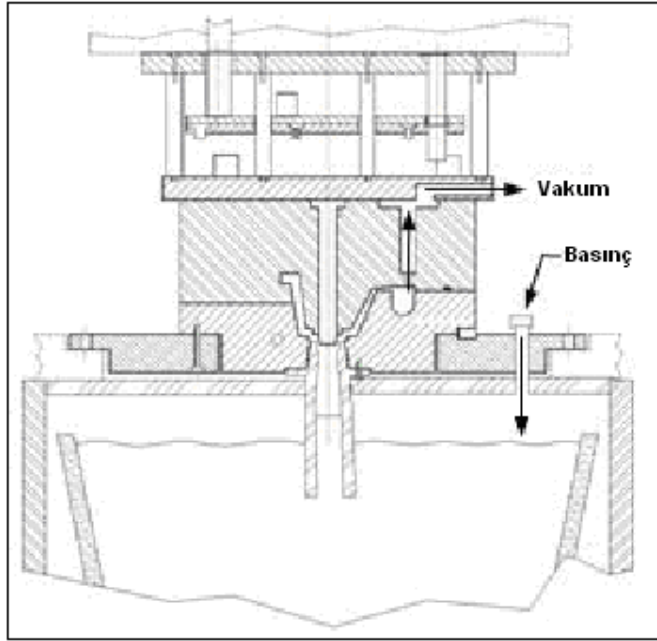
Şekil 5.9 : Sıkıştırılmalı dökümle üretilmiş otomobil parçaları [14]

5.5 Alçak Basıncı Döküm

Alçak basınçlı döküm vakum ve basıncı kullanarak erimiş alüminyumun çelik kalıba dolmasıyla olan düşük basınçlı bir sürekli döküm yöntemidir. Alçak basınçlı döküm makinaları dikey bir hidrolik pres ve makinanın alt merdanesine bağlanmış çelik

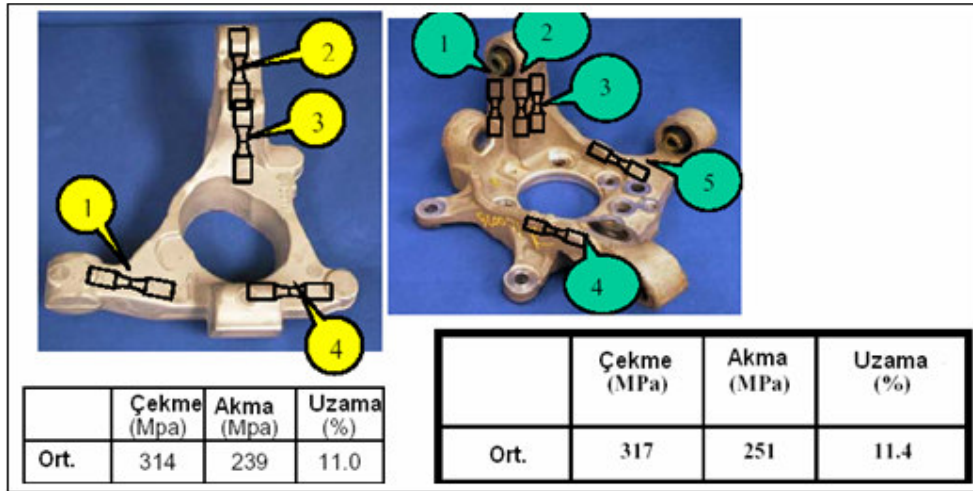
kalıptan oluşur. Metal, potalı fırından kalıp haznelerine doldurma tüpleriyle transfer edilir. Ergimiş metal banyosunun yüzeyi ile dibi arasındaki mesafe 10cm seviyelerindedir. Bu kısa mesafede ergimiş metalin pota fırınında geri dalgalanmasını azaltır ve pota fırınında oksit oluşumu da en aza iner. Proseste net/brüt metal veriminin %95'lere kadar ulaştığı görülür.

Kalıba bağlanmış çeşitli oranlardaki vakum sistemleri kalıp içindeki bütün gazları dışarı iter ve döküm boyunca durgun ve oksit sürüklenmesi olmadan bir dolumun olmasını sağlar. Daha sonra ergimiş metal yüzeyine basınç uygulanır ve bu doldurma tüpleri sayesinde kalıp haznelerinde metal itilir. Kalıp hazneleri dolunca basınç, katılaşma sırasında devam ettirilir ve yoğun bir döküm yapısı sağlanır. Çoklu su soğutma devreleri de hızlı, gelişmiş ve yukarıdan aşağıya doğru katılaşma sağlar ve bu düşük proses zamanlarında neredeyse gözeneksiz döküm özelliği verir. Şekil 5.10'da alçak basınçlı dökümün şematik gösterimini görebilirsiniz.



Şekil 5.10 : Alçak basınçlı dökümün şematik gösterimi [30]

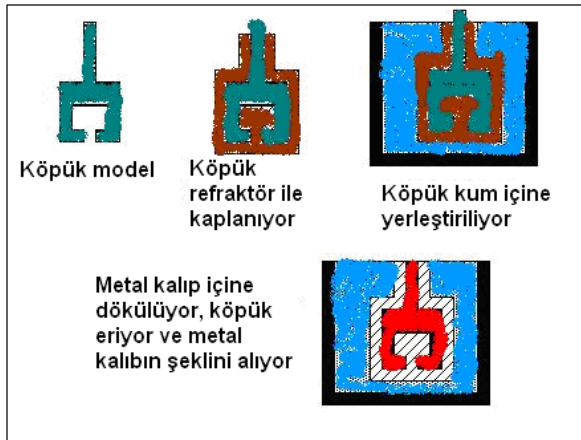
Alçak basınçlı döküm prosesi devamlı gelişimiyle mekanik özelliklerde kararlı bir yapıda olduğunu kanıtlamıştır. Bu gelişme ile birlikte en iyi döküm yöntemlerinden biri olan sıkıştırılmalı döküm ile yarışabilecek hale gelmiştir. Şekil 5.11'de bazı parçalardan alınmış test örneklerinden çıkan ortalama değerleri görülebilir [30].



Şekil 5.11 : Alçak basınçlı döküm örnekleri ve mekanik özellikleri [22]

5.6 Dolu Kalıba (Lost-Foam) Döküm

Köpük esaslı malzemelerden yapılmış modellerin kullanıldığı metal döküm uygulamalarında döküm işleminin geliştirilmesi fırsatı yaratılmıştır. Dolu kalıba döküm yöntemi alüminyum, bronz, pirinç, dökme demir ve çelik esaslı döküm parçalarının üretilmesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Şekil 5.12’de bu yöntemin basit şematik proses akışını görebilirsiniz.



Şekil 5.12 : Dolu kalıba döküm proses akışı [31]

Dolu kalıba döküm işleminin şu anda en yaygın kullanımında köpük modeller bağlayıcı içermeyen kum içerisine yerleştirilerek kum sıkıştırılır. İşlemin devamında ise ergimiş metal bu köpük model üzerine dökülerek döküm işlemi tamamlanır. Dolu kalıba döküm teknolojisinde döküm uygulaması sırasında kullanılan köpük modeller polisteren ve polimetilmetakrilattan yapılmaktadır.

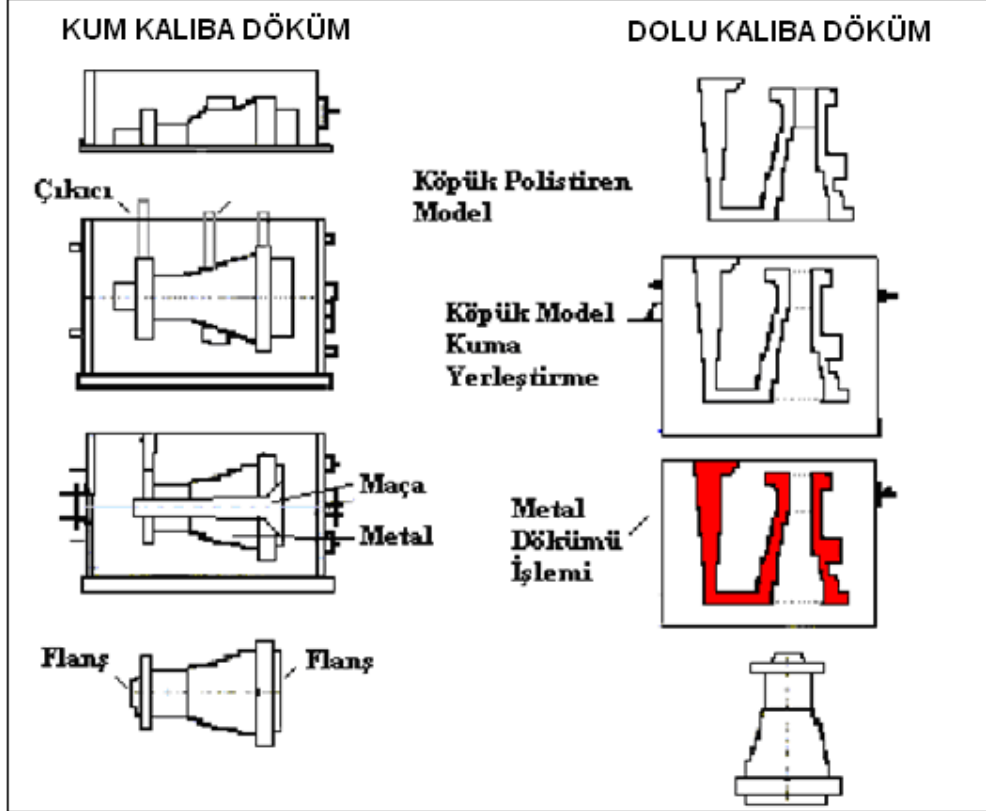
Köpük modellerin yapımı temel olarak iki basamaklı bir süreçtir. İlk aşamada bünyesinde % 5-8 ağırlığında pentan gazı içeren polisteren taneleri alınarak bunlar ön şişirme işleminden geçirilerek gerekli hedef yoğunluğa getirilir. Önşişirilen polisteren taneleri işlemiden sonra soğutularak kararlı hale getirilirler. Kararlaştırma işleminden geçmiş olan önşişirilmiş polisteren taneleri ikinci aşamada arzu edilen model şekillerini alması amacıyla genelde alüminyum esaslı malzemeden yapılmış olunan kalıplarda şekillendirilerek köpük model yapımı tamamlanır. Kalıplama işlemi sırasında taneler kalıp içerisine verilen basınçlı su buharı ile öncelikle şişirilir ve tanelerarasında kalan boşluklar kapanarak, tane yüzeylerinin birbirlerine kaynamaları sağlanır.

Klasik döküm yöntemi ile karşılaştırıldığında dolu kalıba döküm yönteminin avantajları şunlardır.

- Genel olarak basit bir uygulama sistemine sahiptir.
- Ayırma çizgisi sınırlaması tamamen ortadan kalkmıştır.
- Maça kullanımı mevzu bahis değildir ve maça kullanımından dolayı kaynaklanan yüzey kalitesindeki olumsuzluklar ve döküm hataları bu yöntem ile ortadan kalkmıştır.
- Bağlayıcı içermeyen kumun kullanımı ile kum hazırlama işlemleri basit hale gelmiştir ve kum harcama miktarı oldukça azalmıştır.
- Döküm sonrası parçanın temizlenmesinde sadece ince refrakter tabakasının uzaklaştırılması gerekmektedir ki bu sayede parça temizleme maliyetlerinde %80'e varan tasarruflar elde edilmektedir.
- İşçilik maliyetleri diğer usullere göre çok düşük seviyelerde kalmaktadır, sistem bir bütün olarak otomatikleşmiş üretim akış hattına sahiptir.
- Bu yöntemle üretim yapan dökümhaneler süratle farklı malzemelerin ve parçaların dökümünü yapabilmektedir ki bu müşteri taleplerinin en kısa sürede karşılanması için büyük avantaj sağlamaktadır.
- Tasarım mühendisi büyük esneklik içinde çalışabilmektedir. Bu sayede özellikle ürün araştırma ve geliştirme uygulamalarının en önemli kısmı olan prototip çalışmaları zaman yitirilmeden uygulanabilir hale gelmiştir.

- Bu yöntemle çok dar toleranslarda dahi ürün üretimi yapılabilmektedir.
- Ulaşılan yüzey kalitesi hassas döküm yöntemi ile yaklaşık aynı kalitededir.
- Genel yatırım ve işletim maliyetleri klasik yöntemlere göre çok düşük seviyede kalmaktadır.

Şekil 5.13’de dolu kalıba döküm üretim yönteminin kum kalıba döküm yöntemi ile karşılaştırılmasını görebilirsiniz [31].



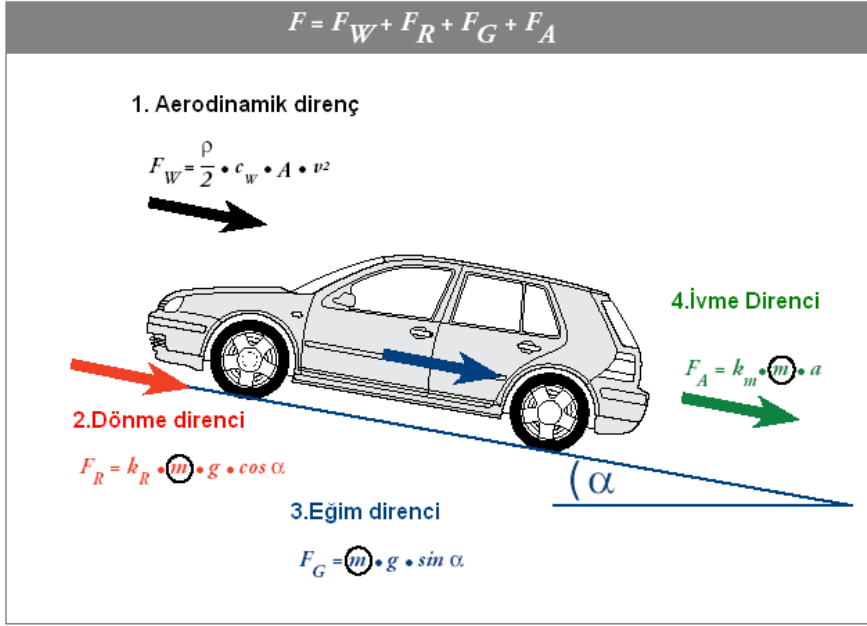
Şekil 5.13 : Kum kalıba döküm ve dolu kalıba döküm şeması [31]

6. HAFİF METALERİN OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ UYGULAMALARI

6.1 Otomotivde Neden Hafif Metaller

Avrupa Alüminyum Birliği (EAA) alüminyum üreticileri için en büyük kullanım sektörünün taşıma olduğunu bildirmektedir. Alüminyumun en yoğun kullanıldığı otomobil endüstrisinde araştırmalar yakıt tüketiminin azaltılması konusunda yoğunlaşmıştır. Oluşan hedeflere ulaşmak için iki önemli konu ile yoğun olarak uğraşmaktadır. İlki çalıştırma mekanizmasının iyileştirilmesi (4 ventil tekniği, dizel motorlarda direk enjeksiyon, motor ve çalıştırma mekanizmalarının optimizasyonu gibi), ikincisi ise geleneksel motorlar yerine, özel hafif, konstrüksiyonların konulması ile araba boş ağırlığının azaltılmasıdır. Bu koşullarda, malzeme fiziksel ve mekanik özelliklerinin uygun olmaları gerekmektedir [6].

Yukarıdaki yaklaşım temel alındığında otomobillerin ağırlığı, üzerinde durulması gereken önemli bir konudur. Arabadan azaltılan her 100 kg'lık ağırlık yakıt tüketiminde 0,35 litre/100 km yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Dolayısıyla yapılan yakıt tasarrufu sayesinde kilometre başına çıkan CO₂'de 9 gram azalma olur. Emisyonlarda buna eklendiğinde 10 gramlara kadar çıkar. Bu durum, araba kullanıcılarını doğrudan etkileyen önemli bir bulgudur. Şekil 6.1'de ağırlığın azaltılması ile etkilenen birimler açıkça görülmektedir [32].

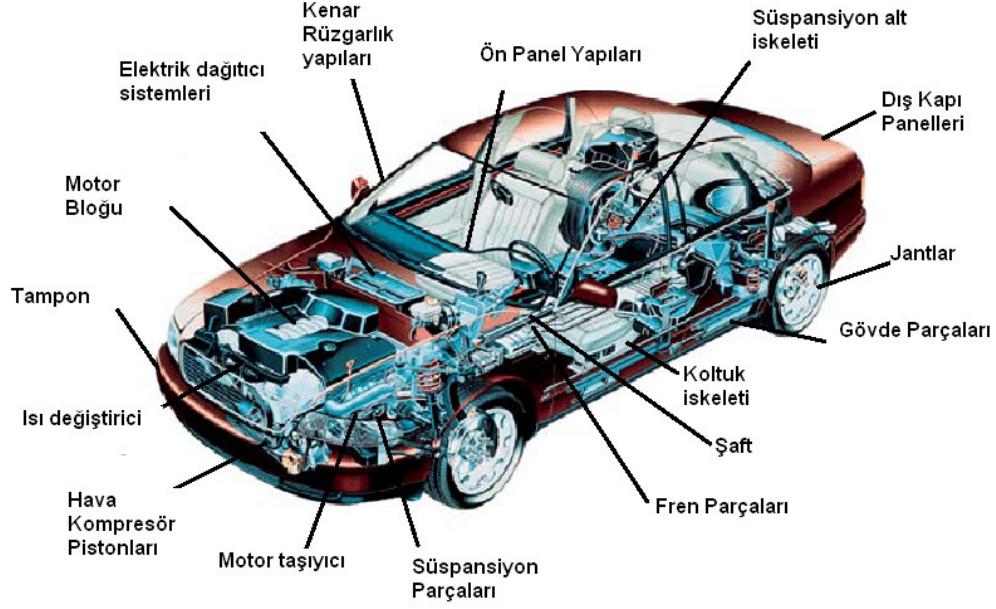


Şekil 6.1 : Direnç kuvvetleri [32]

Hafif metal kullanmanın yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu azalmasından başka getirdiği diğer avantajlar da şu şekilde sıralanabilir.

- Araç dinamiği açısından iyileşme sağlanır. Hafif araçları kontrol etmek daha kolaydır. Aracı hafifletmek, aracın dengesini geliştirerek ağırlık merkezini aşağı çeker.
- Sürme performansı iyileşir. Aktarma organlarında güç/ağırlık oranını arttırmak ivmeyi artırır. Birde, tekerlekler gibi süspansiyon sisteminin taşımadığı parçaların ağırlığının azaltılması sürme konforunu artırır.
- Güvenliği artırır. Özellikle ağırlığın azalması fren mesafelerinin düşmesini sağlar.
- Rakipler ile mücadelede, özellikle motor sporlarında, avantaj sağlar.
- Nihayetinde de hepsi bir araya gelince karlılığı artırır [32,33].

Şekil 6.2’de otomobilde kullanılan alüminyum parçalarının kullanım yerlerini görebilirsiniz [32].



Şekil 6.2 : Otomotivdeki alüminyum uygulamaları [32]

Çizelge 6.1’de ise alüminyumdan üretilmiş bazı parçaların şekillendirme yöntemleri ve tipik ağırlıkları verilmiştir [34].

Çizelge 6.1 : Taşıt araçlarında kullanılan bazı alüminyum parçalar ve bunların şekillendirme yöntemleri [34]

Parça	Şekillendirme Yöntemi	Ağırlık(kg)
Kasa	Döküm, ekstrüzyon hidroform, levha	130-180
Gövde paneli	Levha	50-70
İç yüzey levhaları	Levha	50-70
Motor bloğu ve silindir kapağı	Döküm	60-80
Emme manifoldu	Döküm	10
Pistonlar	Döküm	
Transmisyon kutusu	Döküm	2-5
Diferansiyel kutusu	Döküm	2
Jantlar	Döküm	40030
Fren parçaları	Döküm	1
Süspansiyon parçaları	Döküm, ekstrüzyon hidroform	30-50
Yakıt tankı	Levha	5
Radyatör	Ekstrüzyon, levha	44105
Klima kondenseri	Ekstrüzyon, levha	5

Magnezyumun ise temel karakteristiği alüminyumdan %35 daha hafif olmasıdır.

Ağırlığın azalması sonucu yakıt tüketiminde ve CO₂ emisyonunda azalma elde

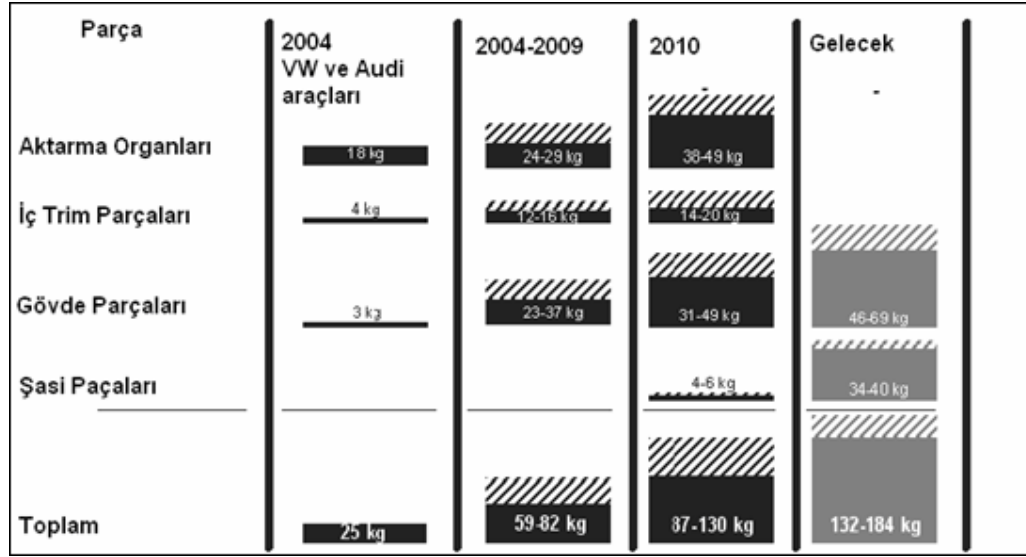
edilecektir. Yakın gelecekte standartlar ve çevre ile ilgili yasalar araba üreticilerini 40-100 kg magnezyum alaşımını kullanmaya zorlayacaktır. Bazı motor parçalarında çelik ve alüminyum alaşımlarının yerine magnezyum alaşımlarının kullanılmasıyla çeliğe göre 48,5 kg ve alüminyuma göre 19,5 kg ağırlık azalacaktır. Böylece her 100 km'de çeliğe göre 0,25 litre alüminyuma göre 0,1 litre yakıt tasarrufu elde edilecektir. Çizelge 6.2'de magnezyum alaşımlarının ve diğer malzemelerin ağırlık karşılaştırmaları görülebilir [15].

Çizelge 6.2 : Magnezyum alaşımlarının ve diğer malzemelerin ağırlıklarının karşılaştırılması [15].

	Motor Bloğu		Dişli kutusu + Debriyaj	Karter	Jant		Motor Kızağı	
	Dökme Demir	Al Alaşımı			Çelik	Al Alaşımı	Çelik	Al Alaşımı
Geleneksel çözüm (kg)	32	23,5	21,5+5	3	36	23	25	17,5
Magnezyum alaşımı (kg)	19	19	15+3	2	18	18	15	15
Azalan ağırlık (kg)	13	4,5	6,5	1	18	5	10	2,5
Azalma (%)	40	19	30	33	50	22,5	40	30

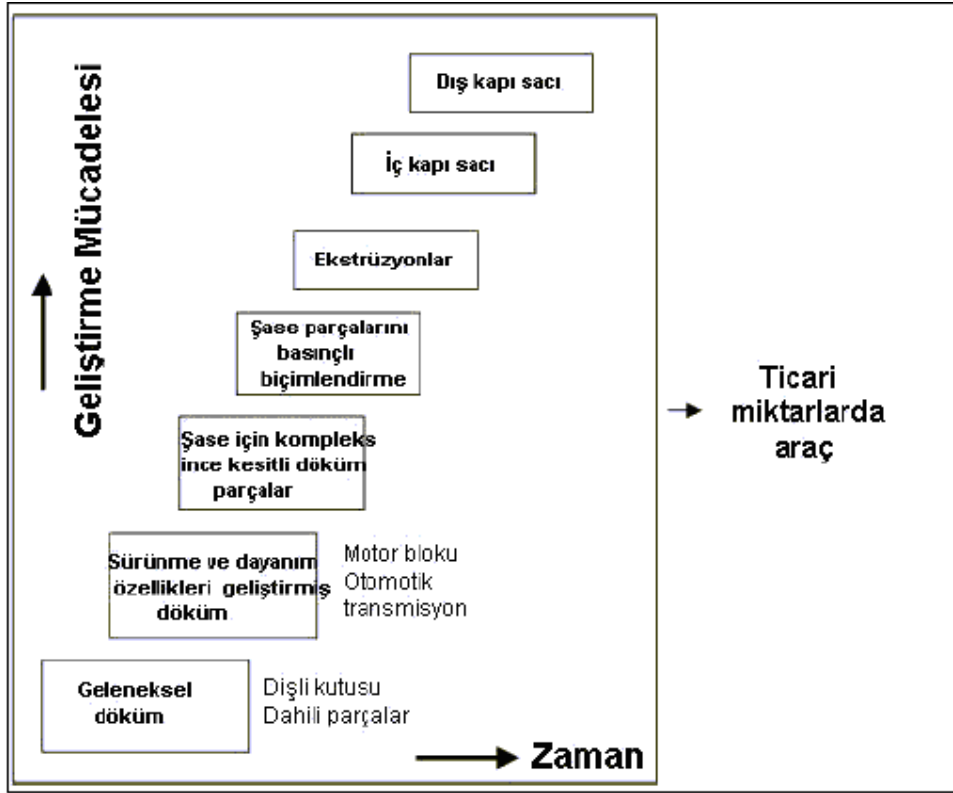
Magnezyumun otomobilde kullanımı, yapısal ürünlerin kalıpta dökme yöntemi ile sınırlıdır çünkü malzemenin yüksek maliyeti kalıpta döküm yönteminin düşük maliyeti ile amorti edilir. Magnezyumun geniş ölçekli ticari uygulamalarında, kullanılacak yüksek sayıda üretimi yapacak teknikler daha az malzeme maliyeti gereksinimi duyar. Örneğin son zamanlarda yapılan analizler şunu göstermektedir ki 400.000 yıllık üretimdeki bir parçanın toplam maliyetinin %84'ünü magnezyum oluşturmaktadır. Otomotiv endüstrisine göre, magnezyumun alüminyum ile hammadde fiyatı olarak mücadele etmesi için oran 1,9:1 olmalıdır [35].

Magnezyumun kullanımında çeşitli problemler vardır fakat zaman içinde çözülmektedir ve magnezyum alaşımlarının otomotivde kullanılması için daha büyük potansiyeller oluşmaktadır. Şekil 6.3'de, VW tarafından yapılan bir değerlendirmede magnezyumun gelecekte kullanılma potansiyeli aktarma organları, iç trim, gövde ve şasi açısından, gösterilmektedir. Burada görüleceği gibi uzun vadede tahmin edilen toplam ağırlığın %2'inden %15'ine doğru bir artış vardır. Diğer ana otomobil üreticilerinde de benzer oranlar sözkonusudur. 2020'ye kadar Ford araç başına 113 kg toplamda 870.000 ton magnezyum kullanımını hedeflemektedir [36].



Şekil 6.3 : VW ve Audi araçlarda magnezyum kullanımı ve ilerdeki potansiyeli [36]

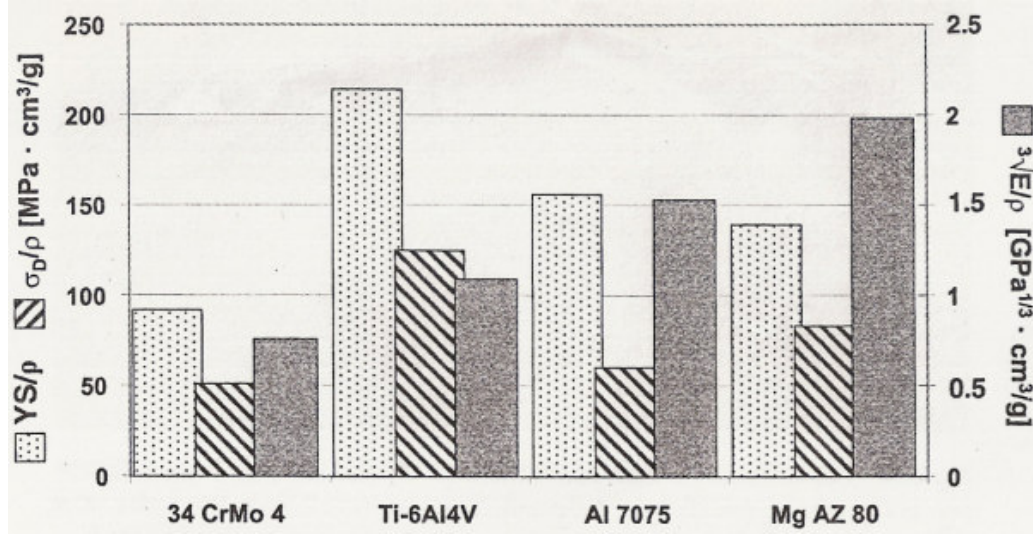
Magnezyum alaşımlarından farklı otomotiv parçaları için tasarlanan çeşitli üretim yöntemleri Şekil 6.4’de gösterilmiştir. Üretim yöntemleri olarak; tıksa döküm ve sıcak metal işleme yöntemlerini (ekstrüzyon, haddeleme, dövme v.b.) kullanarak araçlarda kullanılan bu parçaları üretmeyi amaçlamaktadır. Kısa dönemde hala elde edilebilen geleneksel ve özel döküm yöntemlerini geliştirmek, orta vadede ise yeni alaşımlarla ve yeni yöntemlerle dövme alaşım teknolojilerini geliştirmek hedeflenmektedir [15].



Şekil 6.4 : Magnezyum araştırma stratejisinin gelişme yönü [15]

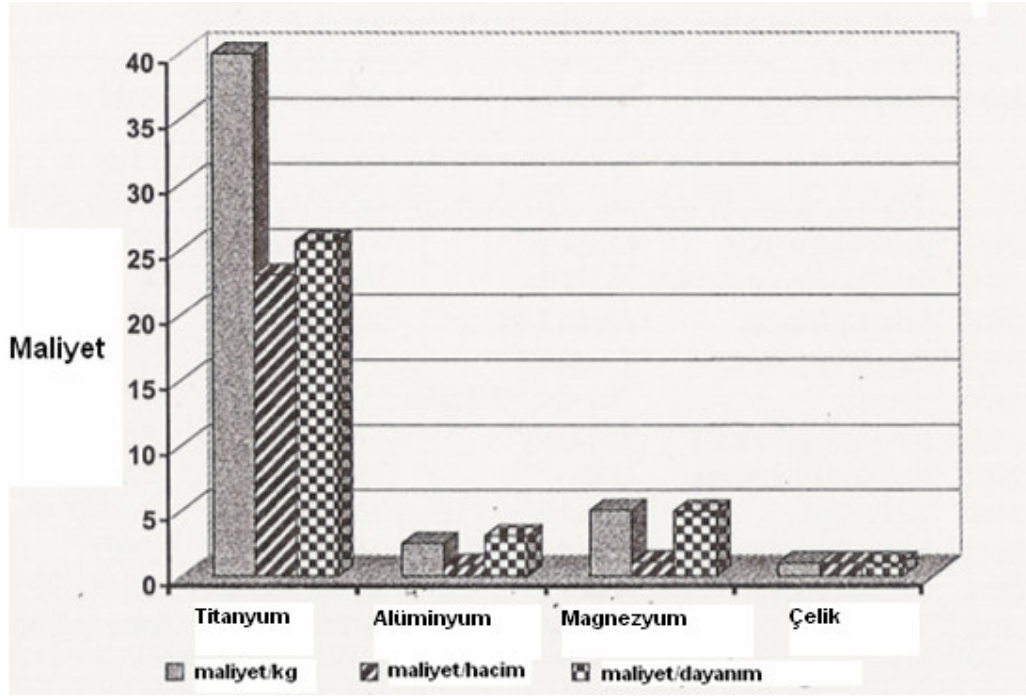
Gelecekte otomotiv sektöründe alternatif malzemelerin kullanılması sürecinde, fonksiyonel ve ağırlık avantajlarını birlikte elde etmek için bir element çok önemlidir ki bu da titanyumdur. Titanyum ve titanyum alaşımlarının 1950’lerden beri olan endüstriyel üretimi, yüksek özgül dayanımı, yüksek elastik enerji absorbe etme kapasitesi ve mükemmel korozyon dayanımı nedeniyle otomobil üreticileri için çok çekici olmuştur. Bu süreçte titanyumun otomotiv üretiminde kullanıldığı en önemli örnek GM firmasının 1956 “Firebird” modelidir. Bu prototip sadece titanyum parçalarından değil komple bir titanyum gövdesinden oluşmaktaydı. Fakat bu malzeme birçok avantajına rağmen her zaman maliyet engeline takılmıştır. Aynı zamanda buna karşılık olarak da güvenlik ve verimin gelecek otomobil jenerasyonlarında artan talepleri, çoğu parçalar için pahalı malzemelerin kullanımını arttırmıştır. Şekil 6.5’de titanyumun diğer bazı malzemeler ile özellikleri açısından karşılaştırılmasını görebilirsiniz. Burada kullanılanlar $\alpha+\beta$ titanyum alaşımı Ti-6Al-4V, ısıtılmış çelik 34CrMo4, yüksek dayanımlı AlZnMg alaşımı Al7075 ve yüksek dayanımlı magnezyum dövme alaşımı AZ80’dir. Çizgili şekiller Young modülünü, noktalar yorulma dayanımının yoğunluğa oranını göstermektedir. Burada görünen, titanyum alaşımının açık olarak maksimum dayanım ve maksimum

yorulma ömrü açısından önde olduğudur. Eğer parçanın iyi bir elastik dayanımda olması isteniyorsa özgül Young modülünün Al ve Mg'ye göre düşük olmasından dolayı titanyum daha aşağı seviyelerdedir. Bu sebeplerden dolayı burulma ve eğilme dayanımı gerektiren hafif yapılarda alüminyum veya magnezyum, şasi ve aktarma organları parçalarında ise titanyum tercih edilir.



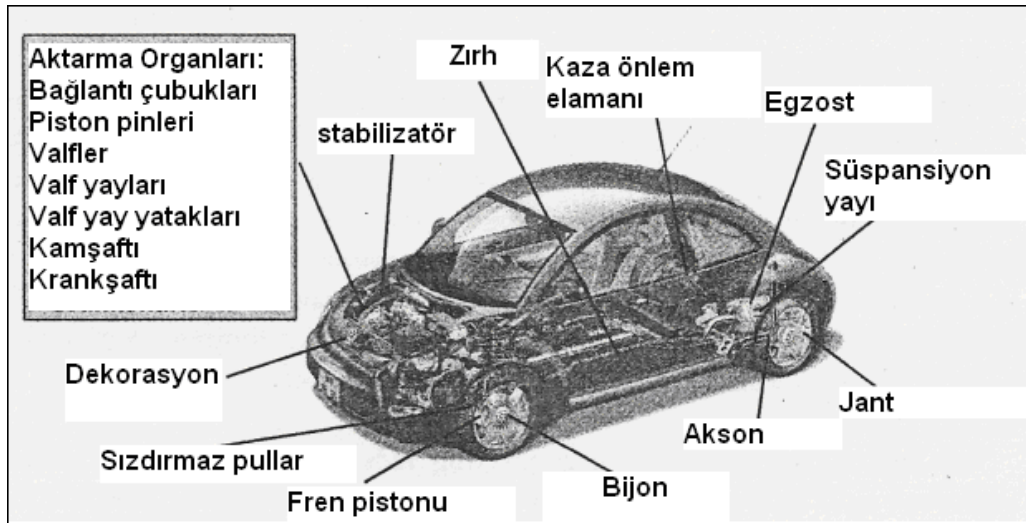
Şekil 6.5 : Dövme çelik, $\alpha+\beta$ titanyum alaşımları, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımı ve yüksek dayanımlı dövme magnezyum alaşımı arasında özgül özelliklerin karşılaştırılması [19]

Şekil 6.6'da ise şu gösterilmektedir ki titanyum kullanımı, ancak teknik olarak avantajı çok istisnai olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Çünkü fiyatı alternatif malzemelerine göre çok yüksektir [19].



Şekil 6.6 : Titanyumun maliyetinin alüminyum, magnezyum ve çelik ile karşılaştırılması [19]

Şekil 6.7'e ise titanyumun otomotiv sektöründe kullanılabileceği olası yerler gösterilmektedir. Titanyumun çeliğin yerini alması için en geniş kullanımda olabileceği yerler motordaki valf yayları, motorun dönen parçalarından bağlantı çubukları ve ağırlığın önemli olduğu süspansiyon parçalarıdır.



Şekil 6.7 : Titanyumun otomobil üzerinde olası kullanım yerleri [19]

Otomotivde titanyum kullanmanın problemlerinden ilki ise malzeme fiyatlarının nasıl düşürüleceğidir. İkincisi, üst limit sıcaklığının nasıl yükseltileceğidir. Üçüncüsü

ise aşınma direncini artırma işlemi , şekillendirme ve diğer üretim yöntemlerinin yüksek maliyetleridir [18].

6.2 Hafif Metallerden Üretilmiş Otomobil Parçaları Uygulamaları

6.2.1 Aktarma organları ve motor uygulamaları

Dişli kutuları, emme manifoldu, karterler, silindir üst kapağı, yağ pompası gövdesi, vites kutusu, motor bloğu, piston uygulamalarında magnezyum ve alüminyum malzemeleri; egzost sistemleri, valf ve valf yayları, krank mili uygulamalarında da titanyum malzemeleri kullanım potansiyeli olan metallerdir.

Alüminyumun ilk yüksek sayıda kullanımı ısı değiştiricileridir ve Volkswagen marka otomobilin 1974 model Golf'ü ile birlikte pazara girmiştir. Burada bakır yerine alüminyum kullanılması ile yalnız ağırlık azalmasında değil maliyette de avantaj sağlanmıştır. Daha sonra da ısı değiştiricileri uygulamaları motor soğutma, yağ soğutma, turbo şarjı gibi yerlerde de kullanılmıştır ve günümüzde ısı değiştiricilerin %95'inde alüminyum kullanılmaktadır.

Alüminyum silindir kapakları neredeyse bütün modern otomobillerde bulunur ve çoğu yeni geliştirilmiş benzinli motorların blokları alüminyumdan yapılmaktadır. Bunun nedeni; alüminyum, ince cidarlı üretim sağlamak için çeşitli değişik döküm yöntemlerine uygundur ve mükemmel ısı iletkenliği sayesinde bloğun çabuk ısınmasını sağlar [38].

Magnezyumun aktarma organları uygulamaları düşük sıcaklığa maruz kalan uygulamalar ile sınırlıdır. VW Passat ve Audi A2 ve A6 modellerinde manuel vites kutuları magnezyumdan imal edilmiştir. Dodge Viper ve Ford F-150'nin ise kam kapakları iyi ses absorbe etme özelliğinden yararlanmak için magnezyumdan yapılmıştır [36].

6.2.1.1 BMW Mg/Al alaşımı karter uygulaması

Motor için daha hafif bir uygulama denildiğinde ilk önce akla gelen tek parça olarak en ağır komponent olan karteri hafifletmektir. Şekil 6.8'de gösterilen BMW'nin Mg/Al alaşımı, sınıfında dünyada en hafif olan altı silindirli motorudur.

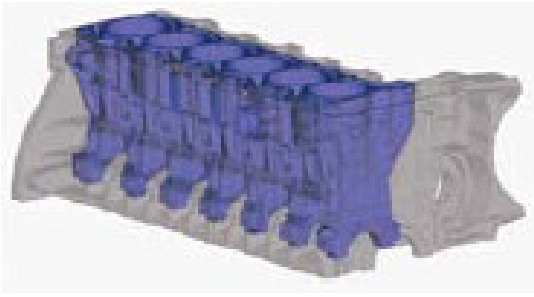


Şekil 6.8 : BMW'nin sınıfında en hafif olan altı silindirli Mg/Al alaşımlı motoru [40]

BMW son yıllarda ürettiği bu altı silindirli motorunda Mg/Al karteri kullanmıştır ki bu, magnezyumun yüksek sıcaklığa maruz kaldığı ilk önemli uygulamasıdır. Bu uygulama aslında su soğutmalı motor için dünyanın ilk kompozit Mg/Al karteridir ve ağırlık olarak aynı tip alüminyum kartere göre %24 daha hafiftir. Magnezyumun özelliklerinden dolayı böyle bir kullanım için bu tip bir parçayı yapmak aslında hiç de kolay değildir. Magnezyum %30 daha az yoğunluğa sahiptir ve aynı oranda da elastiklik modülü düşüktür. Bunun yanında magnezyum, harekete maruz kalan yüzeylerin olduğu parçalar için uygun değildir. Magnezyumun diğer bir tasarım kısıtlaması getiren özelliği de, özellikle 120°C'in üstündeki sıcaklıklardaki düşük sürünme direncidir ki bu silindir blokları ve karterde istenmez. Bu zıtlıkların hepsi magnezyumun diğer bazı malzemeler ile akılcı bir şekilde kombinasyonu ile aşılabılır. Hareketli silindir yüzeyleri, soğutma suyu devresi, krank mili yatağı ve bağlantı elemanları ve silindir kafası saplamaları, insert(ılave) denilen ayrı bir malzemenin katılması ile oluşturulur. İlave, süper ötektik alüminyum alaşımıdır ve kalıpta döküm prosesi ile magnezyum ile yeniden dökülür. Şekil 6.8'de BMW'nin Mg/Al alaşımı karterinin döküldüğü dünyanın en büyük kalıpta döküm makinesini görülmektedir. İlave, kartere önemli ölçülerde rijitlik ve dayanım katarken, magnezyum da maksimum derecede ağırlık azaltılmasına erişim sağlar. Şekil 6.9'da karterin, yatağı ile basınçlı bir şekilde birleştirilmiş halini görülmektedir [39].



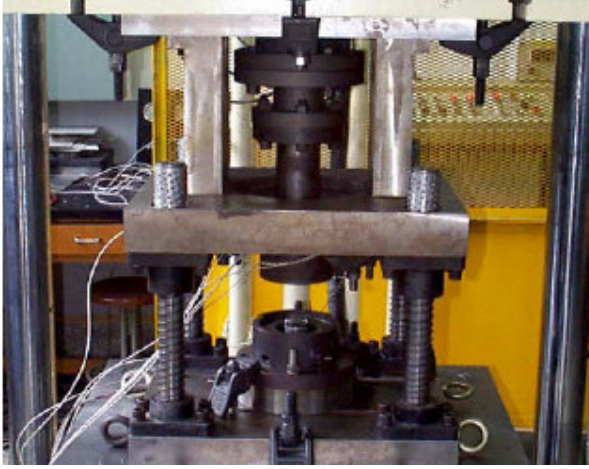
Şekil 6.9 : BMW Mg/Al karterin kalıpta döküm makinesi [40]



Şekil 6.10 : BMW Mg/Al karteri ve yatağının birleştirilmiş gösterimi [40]

6.2.1.2 Alüminyum piston uygulaması

Otomotiv endüstrisinde, motor performansını arttırmak ve motor ağırlığını azaltmak için alüminyum motor pistonları kullanılmaktadır. Kalıpta dökme, sıkıştırılmalı dökme, sıcak dövme genelde piston üretiminde kullanılır. Bunların içinden de kalıpta döküm önemli bir üretim yüzdesini içermektedir. Bu yöntemde malzeme tamamen eridiği için, çıkan parçada homojen olmayan bir katılaşma olur ve parçanın bütünlüğü zarar görür. Sıcak dövmede ise dayanımı iyi parça elde edilebilir fakat bu yöntemde de yüksek şekillendirme kuvvetleri ve sınırlı geometri çeşitliliği söz konusudur. Bahsedilen geleneksel yöntemlerdeki zayıflıkları gidermek için tikso kalıplama yöntemi etkili bir üretim yöntemi olarak kaşımıza çıkar. Şekil 6.11’de alüminyum pistonun üretildiği tikso kalıplama makinesini görebilirsiniz [41].



Şekil 6.11 : Alüminyum pistonun tikso kalıplama makinesi [41]

Alüminyum pistonların üretiminde ana alaşım elementi silisyumdur. Silisyumun bu üretim için, operasyon sıcaklığında tamamıyla alüminyum içinde çözüldüğü oran %12'dir. Çoğu alüminyum pistonlar motorda demir silindirler içinde hareket eder. Benzinli motorlarda 300 °C'e çıkan sıcaklıklarda alüminyumun genleşmesi demire göre daha çok olacağından dolayı soğuk durumda alüminyum pistonlar silindire boşluklu geçmiş durumda olmalıdır. Silisyumun eklenmesi pistonların genleşme özelliğini düşürüğünden dolayı daha sıkı geçmeli tasarımlar yapılabilmektedir ve alüminyumun daha az sıcaklığı absorbe etmesi için yalıtıcı görevi görmektedir. Silikon eklemenin diğer bir avantajı ise pistonları daha sert yapar ve silindirlerin kuru olduğu ve pistonların soğuk olduğu ilk çalışma durumunda ya da fazla yüksek çalışma sıcaklıklarındaki hallerde sürtünmeden doğacak sorunları engeller. Silisyum katmanının dezavantajı ise bazı oranlarda pistonları gevrek duruma getirmesi ve olası çatlama problemlerine yol açmaktadır [42].

6.2.1.3 Titanyum egzost sistemleri

Titanyumun otomotiv sektöründe kullanıldığı en cazip yerlerin başında egzost sistemleri gelir. Parçada iyi bir hafifletme sağlar. Örneğin Golf'te hesaplanana göre, motor hacmine bağlı olarak 7-9 kg arası bir hafifleme sağlanmaktadır. Diğer bir etkisi ise parçanın ömründe önemli bir artım olmaktadır. Birleşik Devletler'de çevre kuruluşları egzost sistemlerinde 100.000 mil garanti sağlanmasını istemektedirler. Titanyumun egzost sisteminde ilk kullanıldığı yer 2001 yılında Kuzey Amerika marketine üretilen Corvette Z06 modelidir. Şekil 6.12'de 2001 model Corvette Z06'nın titanyum egzostunu görebilirsiniz [19, 43].



Şekil 6.12 : 2001 model Corvette Z06 titanyum egzost sistemi [43]

Günümüzde yüksek kaliteli egzost sistemleri genelde 304 ve 400 serisi paslanmaz çelikten yapılır. Titanyum sadece sıcaklığın çok fazla yükselmediği sistemlerde alternatif olarak düşünülebilir. Motor egzost sistemindeki gaz sıcaklığı 900 °C'nin üstünde olabileceği uygulamalarda titanyum sadece, sıcaklığın benzinli motorlarda maksimum 750-800 °C'e çıktığı katalitik değiştiricinin arkasında kullanılır. Dizel motorlarda ise sıcaklık daha düşüktür ve susturucuda maksimum 600 °C'e kadar çıkar [19].

Titanyumu egzost sistemindeki en önemli rakipleri 304 ve 400 serisi paslanmaz çelikleri ile karşılaştırdığımızda, titanyum ömür olarak 12-14 yıl gibi bir garanti verirken paslanmaz çelik ise 7 yıl sonra değişim ister. Bu durum çelik ve titanyum arasındaki fiyat farkını uzun vadede bir miktar olumlu tarafa çevirir. Ayrıca ortalama 20 kg olan egzost sisteminde titanyum kullanılması ile %40-50'lere varan hafifleme olmakta ve bu da yakıt tüketimine 0,04lt / 100 km gibi bir avantaj sağlamaktadır [44].

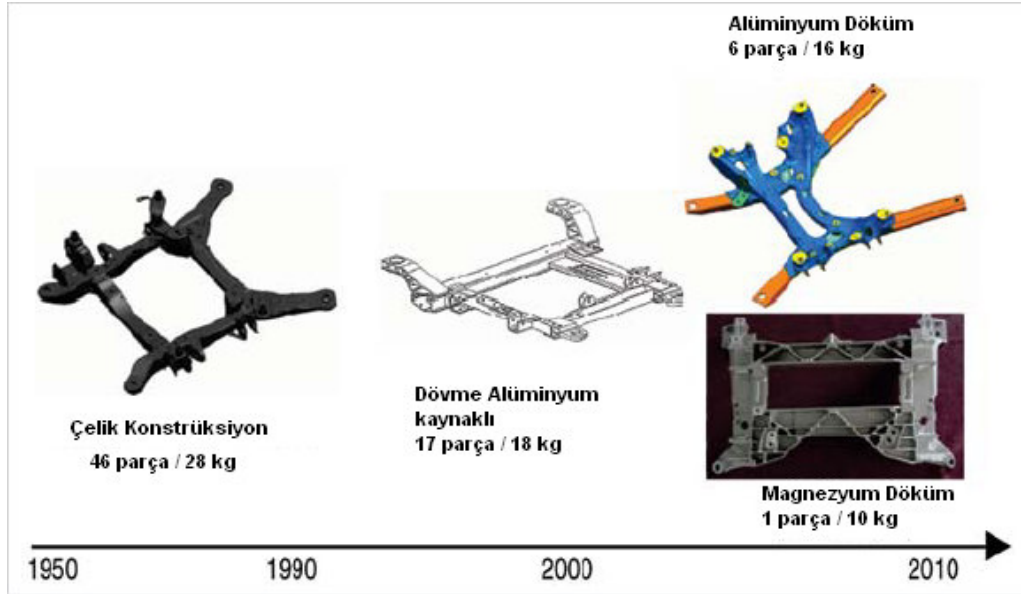
6.2.1.4 Titanyum valf yayları

Titanyum yayları çelik yaylara göre daha küçüktür ve %60-70 daha hafiftirler. Titanyum valflerinin ve valf başlıklarının da birleşimiyle birlikte yüksek motor hızlarında yay hareketi için daha az kuvvet gerekir. Hafif olduğundan dolayı daha hızlı valf hareketine olanak verir ve daha yüksek dakika başına düşen çevrim sayısı elde edilir. Daha hafif yaylarla daha az yay kuvvetlerinin uygulanması, motorun toplam mekanik sürtünmesinin %20-25'ini oluşturan valf sisteminin sürtünmesini azaltır. Motor kuvvetini düşürmeden sürtünmeyi azaltmak, motor verimini geliştirir, daha az gürültü ve yakıttan tasarruf sağlar. Titanyumun zayıf olan aşınma direncini

yüzey işleme ile arttırmak valf uygulamalarının başarılı bir şekilde olması için gereklidir [43].

6.2.2 Şasi uygulamaları

Hafif ve verimli şasi uygulamaları sürüş, yol tutma, gürültü ve titreşim gibi özellikleri iyileştirmek için çok önemlidir. Şekil 6.13’de son yıllarda yeni alüminyum/magnezyum alaşımlarının ve imalat teknolojilerinin nasıl ön takımda performansı, üretilebilirliği ve ağırlığı iyileştirdiği görülmektedir.

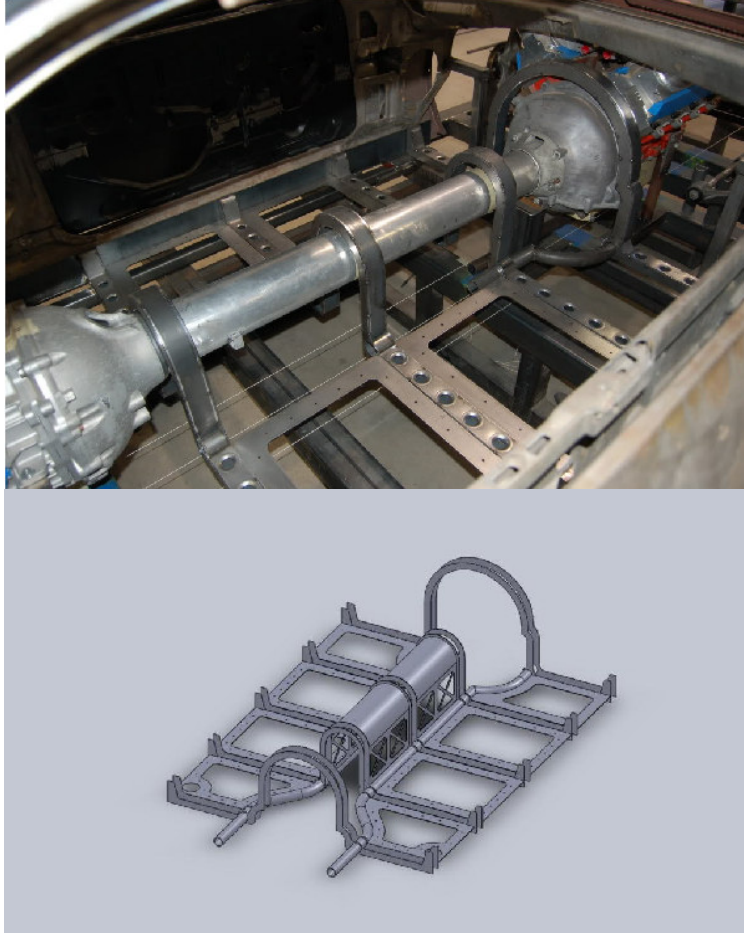


Şekil 6.13 : Ön takımda malzeme ve imalatın gelişimi [45]

İlk dövme alüminyum ön takımı GM tarafından 1999 yılında Chevy Impala modelinde kullanılmıştır. Bu komple, 15 haddelenmiş parçadan ve iki kalıpta basılmış parçadan oluşmaktaydı ve 18 kg'dı. Buna karşılık gelen çelik yapı ise 46 parçadan oluşmakta ve 28 kg gelmekteydi. Bu kompleks alüminyum parçaları birbirine kaynatmak için gelişmiş bir alüminyum robot kaynağı kullanılmıştır ve 40 robotun oluşturduğu 4 kaynak alanında bu işlem yapılmıştır.

Sonraki gelişmeler ise ince cidarlı, delikli alüminyum döküm teknolojilerini içermektedir ve bu sayede ön takım tasarımları daha verimli ve daha az kaynak gerektiren tasarımlar olmuştur. Delikli döküm ve hadde parçalarının birbirlerine kaynatılarak oluşturulduğu ön takıma örnek Cadillac CTS'dir. Bu uygulamada ince cidarlı (4mm), delikli döküm parçalar alçak basınçlı döküm ile üretilmiştir. Bu teknik yüksek adetler için otomatik olarak yapılmaktadır.

Hafif metaller için diğ er bir önemli üretim yöntemi olan kalıpta döküm yöntemiyle üretilmiş Corv tte Z06'nın ilk tek parça magnezyum  n takımında ağırlık sadece 10,5 kg'dı. Yani alüminyum  n takıma göre %35 ağırlık avantajı sağlanmıştır. şekil 6.14'de Corv tte Z06'nın magnezyum  n düzeni görülmektedir [45].



şekil 6.14 : 2006 Corv tte Z06 magnezyum  n şasesi [45]

Alüminyum jantların sektördeki yükselişi 35-40 yıl öncesine kadar dayanır. Düşük basınçlı döküm, dövme, döndürerek dövme, pres herbiri ayrı avantajlar sağlayan jant imalat yöntemleridir. Alüminyum jantların yüksek kaliteli taarımı ağırlık hafifletmesiyle de birleşince otomobiller için %100 bir seçenek olurlar [38].

Jantların magnezyum uygulamalarının kullanımı Porche ve Corv tte gibi spor markalarda görülebilir fakat daha yüksek maliyet ve korozyon problemleri sebebiyle yüksek adetli imalatlarda tercih edilmemektedir. Fakat son yıllara geliştirilen daha az maliyetler, yüksek korozyon için kaplamalar ve daha yüksek dayanımlı ve ömürlü yeni magnezyum alaşımları, magnezyumun bu tip kullanımlarını arttırmıştır. şekil 6.15'de magnezyum ve alüminyum jantları ayrı olarak görülmektedir [36,45].



Şekil 6.15 : a) Magnezyum jant b) Alüminyum jant [38]

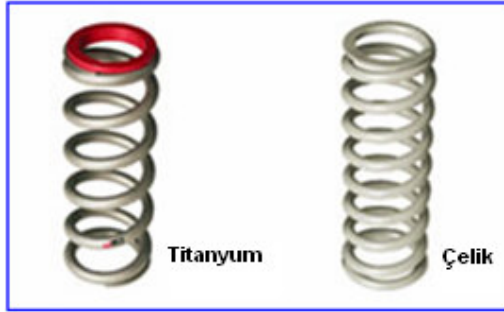
Titanyumun şasi parçası olarak en ilgi çekici kullanımı süspansiyon yaylarıdır. Şaside titanyum kullanımının görüldüğü ilk uygulama ise, korozyon probleminden dolayı, alüminyum kaliperli Volkswagen otomobillerinin fren hortumu bağlantılarında 1998’den beri kullanılan sızdırmaz contadır. Burada somun sıkıldığında uğradığı deformasyonla gerekli sızdırmazlığı sağlayan 1. derece CP titanyum kullanılmıştır. Yine korozyon direnci için Mercedes-Benz S sınıfında 2. derece CP titanyumu fren kaliperi pimleri için kullanmıştır. Kullanılmasının nedeni, bu pimlerin döküm fren kaliperleri tarafından tamamen sarılması ve bir daha çıkarılamayacağı için de araç ömrü boyunca kullanılması gerekliliğidir. Fren pedi taşıyıcı tablalarının da korozyon dirençleri, hafiflikleri ve düşük ısı iletkenliği özellikleri nedeniyle 4. derece CP titanyumdan yapılmaları önerilir.

Şaside hafif metallerin kullanımı ağırlık azaltmasından başka diğer bazı avantajlarda sağlar. Jantlar, frenler, aks yayları gibi süspansiyon edilmeyen kütlelerin (unsprung masses) ağırlığının azalması direk sürüş konforunu olumlu yönde etkiler. Çoğu şasi parçaları titanyum için uygundur fakat maliyeti ve dövme olarak üretilmesinin zorluğu handikaplarıdır [19].

Titanyum süspansiyon yayları ağırlık ve hacim olarak önemli bir fırsat yaratır. Tipik helisel yay tasarımında titanyum, çelik ile karşılaştırıldığında ağırlıkta %70'lere

varan hafifleme olur (4,12 kg'dan 1,36 kg'a). Şekil 6.16'da aynı yay oranına sahip (5,4 kg/mm) titanyum ve çelik süspansiyon yayları görülmektedir [43].

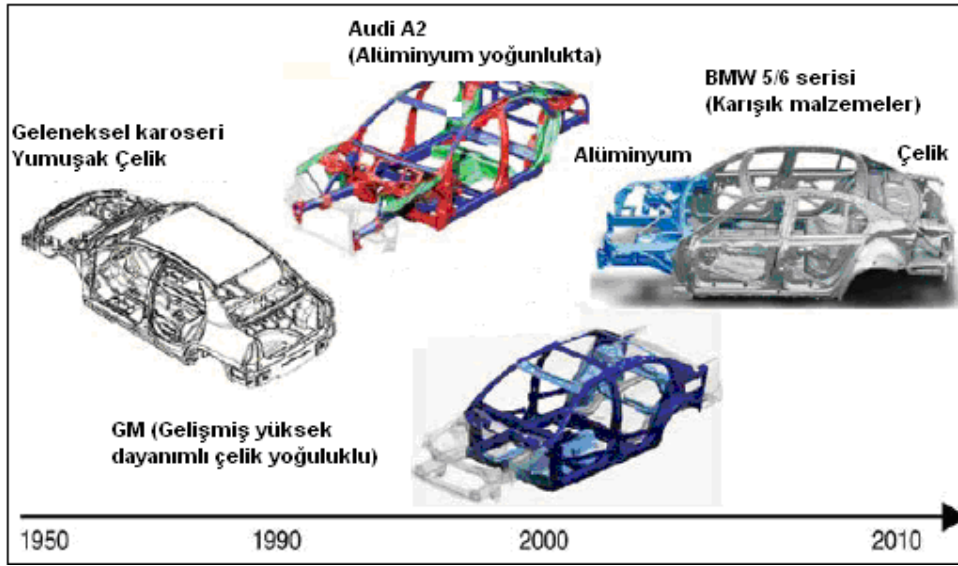
Titanyum süspansiyon yaylarının kullanıldığı ilk uygulama 1999 yılında Lupo FSI modelinin arka süspansiyonundadır. Otomatik soğuk sarma makinasında sarılan yay teli, yaşlandırılmış ve bilya püskürtme uygulanmıştır. Bu uygulamada, diğer beta alaşımlarla karşılaştırıldığında maliyet avantajı olan TIMETAL LCB (Low-cost beta, T,-4,5Fe6,8Mo-1,5Al – Az maliyetli beta) kullanılmıştır. Bu alaşımda, 1350 MPa'lara varan çekme dayanımı ve mükemmel bir uzama özellikleri vardır [19].



Şekil 6.16 : Aynı yay oranına sahip titanyum ve çelik süspansiyon yayları [43]

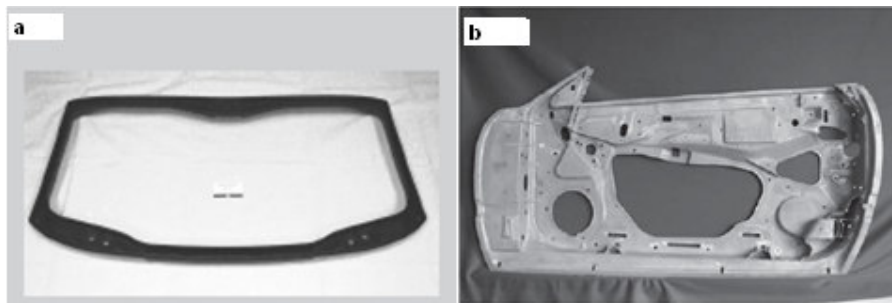
6.2.3 Gövde uygulamaları

50 yılı aşkın süredir binek otomobillerinin iskeletinin imalatı, bütünüyle yumuşak çelik sactan çeşitli farklı malzemelerin kullanımına doğru kaymaktadır. Şekil 6.17'de bu geçişi yıllara göre görülmektedir. Tabiki imalat teknolojilerinin gelişmesi bu geçişi olanaklı kılmıştır. 1990'larda alüminyum, vakumlu kalıpta dökmenin, ekstrüzyonun ve kaynak teknolojilerinin ve bunların yanında AURAL-2 ve Magsimal 59 gibi özel döküm alüminyum alaşımların gelişimiyle Audi A8/A2, Acura NSX ve Jaguar XJ gibi araçlarda kullanılmıştır [45].



Şekil 6.17 : Otomotiv gövde yapılarında yıllara göre malzeme değişimi [45]

Magnezyumun otomotiv dış gövde uygulamalarında kullanımı çok sınırlıdır. GM C5 Corvette modelinde kalıpta döküm prosesi ile üretilmiş tek parça tavan iskeletini kullanmıştır. Avrupalı otomobil üreticileri, özellikle de Volkswagen, gövde panelleri uygulamasında ince cidarlı magnezyum kullanımına öncülük etmektedirler. Magnezyum kapı içi ve bagaj kapağı kullanımları Volkswagen Lupo'da 3lt/100km avantaj sağlamaktadır. Kapı içi paneli uygulamalarına bir diğer örnek de Daimler-Chrysler'de SL Roadster modelidir. Bütün bu uygulamalar kalıpta dökümdür, sac veya dövme uygulaması değildir. Buna rağmen Volkswagen'in 1-litre-Auto modeli gösterir ki dövme magnezyumu otomobil gövdesinde kullanmanın potansiyeli vardır. Bütün uzay kafesi (space frame) magnezyum döküm ve dövme üretimlerden oluşmaktadır. Şekil 6.18'de GM Chevrolet Corvette magnezyum tavan iskeletini ve Daimler-Chrysler SL Roadstar magnezyum kapı içi panelini görülmektedir [36, 46].



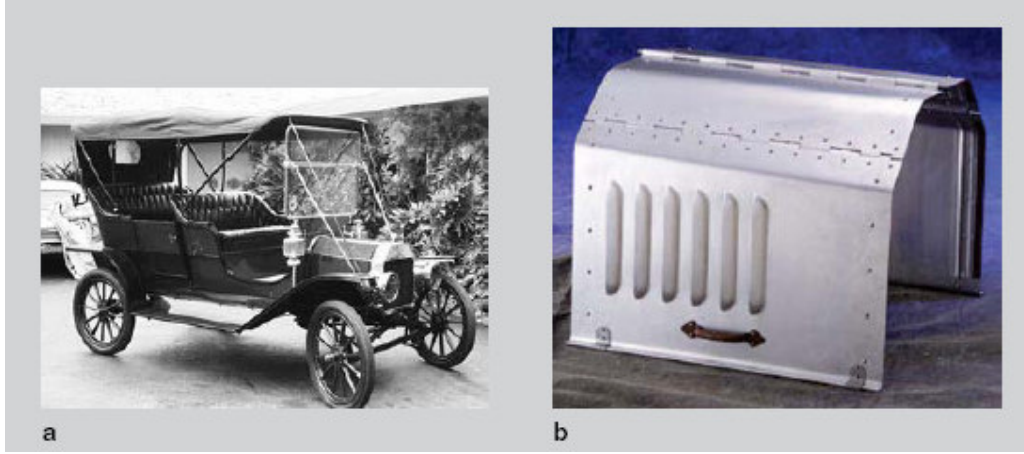
Şekil 6.18 : a) GM Chevrolet Corvette magnezyum tavan iskeleti b) Daimler Chrysler SL Roadstar kapı içi paneli [36].

Titanyumun gövde uygulamalarına örnek Nissan TRI-X modelidir. Titanyum burada dört bölgede kullanılmıştır. Bunlar; kapı dış paneli, yan kapı eşiği kaplaması, ön tampon altı, arka tampon olarak sıralanabilir. Bu parçalar yüksek ağırlık ve korozyon avantajı için kullanılmıştır [18].

6.2.3.1 Sac alümiyum kapama panelleri (closures)

Kaput, kapılar, bagaj kapağı ve çamurluk gibi araç kapama panelleri mükemmel dayanım ve şekil verilebilme özelliğinden dolayı tipik olarak soğuk haddelenmiş çelikten yapılırdı. Bu özellikler düşük maliyet ile de birleşince bu malzemeyi yüksek adetli üretimlerde çok uygun hale getiriyordu. Hafif ağırlıklı alüminyum sacın ise bu tür parçalarda kullanımı geçmiş 30 yıldan beri devamlı artmıştır. Alüminyum sac, aynı çelik kapama ile karşılaştırıldığında %35-50 arası kütle azalmasına olanak sağlamaktadır. Fakat buna rağmen döküm parçalardaki kullanım başarı ve yüzdesini sac alüminyum yakalayamamıştır ki bunun en önemli sebepleri çeliğe göre iki üç kat daha maliyetli oluşu ve çok daha düşük şekil verilebilme özelliğine sahip olmasıdır. Kapı gibi karmaşık sac yapıların alüminyumdan üretimi birçok parçanın birleştirilmesi ile yapılabilir çünkü alüminyum karmaşık şekiller için kalıpta basılamaz.

Bu zorluklara rağmen sac alüminyum otomotiv sektöründe uzun bir geçmişe sahiptir. 1909 Model T Touring Car alüminyum paneller yapılmıştı ve birçok T modellerinde alüminyum kaput kullanılmıştı. Şekil 6.18'de bunu görebilirsiniz. Bu devirlerde kapama parçası olarak kullanılan alüminyum iyi şekil verilebilen fakat düşük dayanımlı 1XXX ve 3XXX serileriydi. Burada ana tema üretim adetlerinin çok az olmasıydı. Araç üretim adetlerinin artması ile bu tür parçalarda çeliğe doğru kayma olmuş ve alüminyumun tekrar gündeme gelmesi süperplastik şekillendirme, hızlı plastik şekillendirme, hidro şekillendirme, yuvarlamalı kıvrıma gibi yöntemlerin geliştirilmesi ile olmuştur.



Şekil 6.19 : a) Alüminyum kapama parçalı 1909 model Ford Model T Touring Car b) 1915 Model T alüminyum kaput [45]

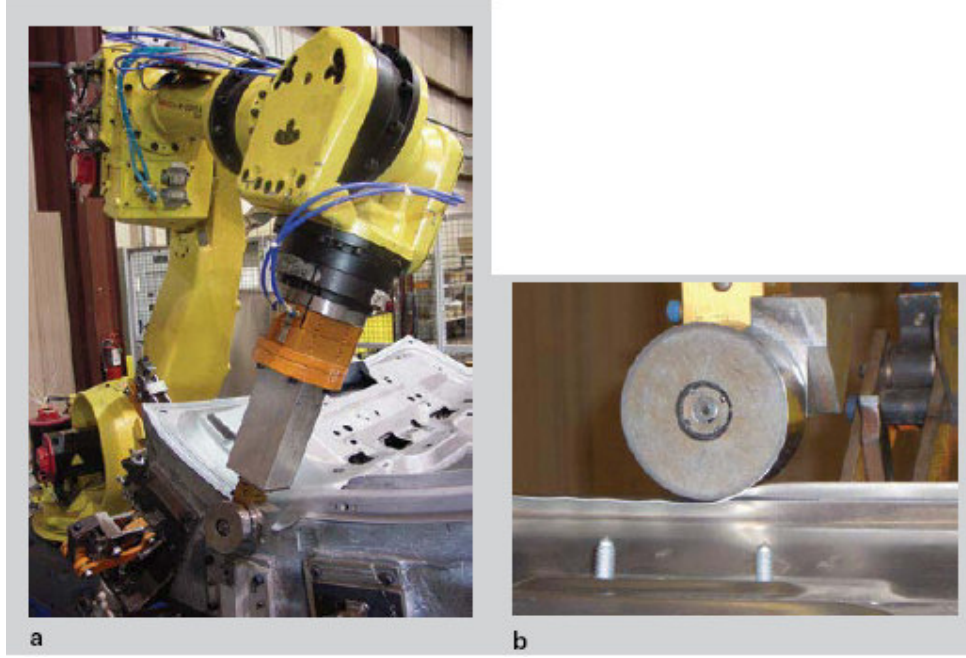
Hızlı plastik şekillendirme GM tarafından bulunmuştur ve Chevrolet Malibu Maxx ve Cadillac STS modellerinin bagaj kapaklarının imalatında kullanılmıştır. Bu teknolojinin geliştirilmesinin amacı, ölçüsel olarak doğru ve maliyet olarak da otomotiv üretim adetleri için uygun bir üretim sağlamaktır. Şekil 6.19’da Chevrolet Malibu Maxx alüminyum bagaj kapağını görebilirsiniz.



Şekil 6.20 : Chevrolet Malibu Maxx alüminyum bagaj kapağı [45]

Otomotivde alüminyumun kullanılmasında şekil verilebilirliğinin az olması, dış panel ve iç paneli kıvrıp birbiri ile birleştirirken önemli bir handikaptır. Yuvarlamalı kıvrıma imalat teknolojisi ile bu handikap giderilmiştir. Üretim robotik bir üretimdir ve robot kolunun ucundaki dönen takım ile alt ve üst panelin birleştirilmesi için mekanik şekil verme ve birleştirme sağlanmaktadır. Makinaya verilen program ile operasyon hız ve kuvveti çok daha iyi kontrol edilebildiği için alüminyum hasara

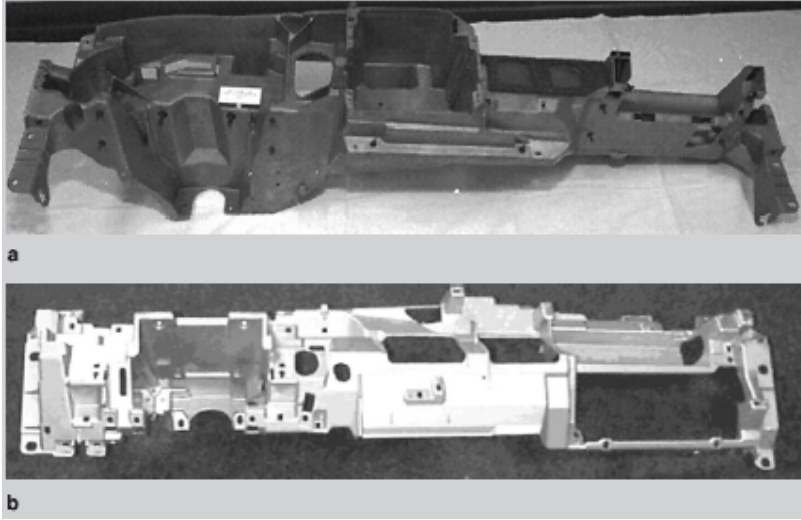
uğramadan birleşme işlemi yapılabilir. Şekil 6.20’de otomobil bagaj panelinin yuvarlamalı kıvrırma yöntemi ile birleştirilme prosesini görebilirsiniz [45].



Şekil 6.21 : a) Robot kolu ile roller hemming prosesi b) Roller Hemming prosesinde büküm işleminin gösterimi [45]

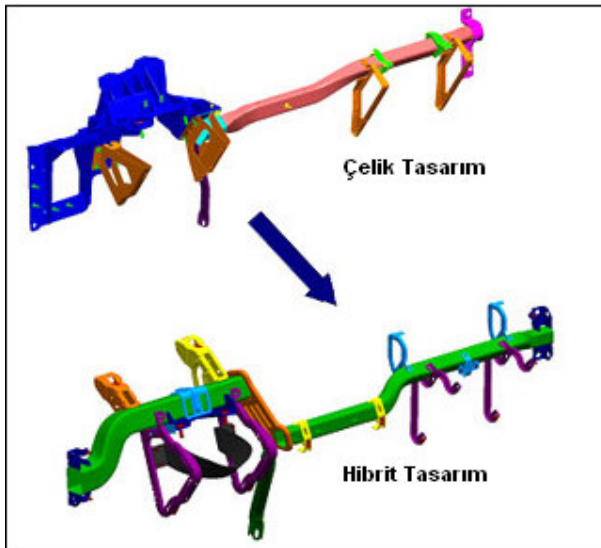
6.2.3.2 İç yapı parçaları

Kontrol paneli (instrument panel-IP) kirişi en önemli iç gövde parçasıdır. Geleneksel çelik sac tasarımı 30 parçadan oluşmaktaydı. 1996 yılında GM dünyanın en büyük kalıpta dökülmüş magnezyum parçasını, yani GMC Savana ve Chevrolet Epress Van modelinin tek parça kontrol paneli kirişini üretmiştir. Bu tasarım çelik ile karşılaştırıldığında, 18,2 kg’dan 12,3 kg’a inen bir ağırlık avantajının yanısıra, kaza durumlarına karşı iyileşme, titreşimde azalma ve tek parça olmasından dolayı da maliyette avantaj sağlamıştır. Son yıllardaki GM modellerinde daha da iyi kontrol paneli tasarımları yapılmış ve orta büyüklükteki otomobillerde kiriş ağırlığı 5 kg’a kadar düşmüştür. Şekil 6.22’de, a’da ilk üretilmiş tek parça, b’de ise Pontiac Bonneville’nin 5 kg’lık magnezyum kontrol paneli kirişini görebilirsiniz.



Şekil 6.22 : a) GM'in ilk tek parça kontrol paneli kirişi b) Pontiac Bonneville'nin 5 kg'lık kontrol paneli kirişi [45]

Magnezyumun borulu tasarımı da kontrol paneli imalatları için son yıllarda kullanıma sunulmaktadır. Buradaki hibrit kontrol panelinde boru magnezyum kalıpta döküm parçaları ile birlikte kullanılmıştır ve borulu çelik tasarımına göre %55 tek parça magnezyum kalıpta dökülmüş tasarımına göre %30 daha hafiftir ve aynı sağlamlığa sahiptir. Şekil 6.23'de üstte gösterilen çelik tasarım alttaki ise hibrit tasarımıdır [45].

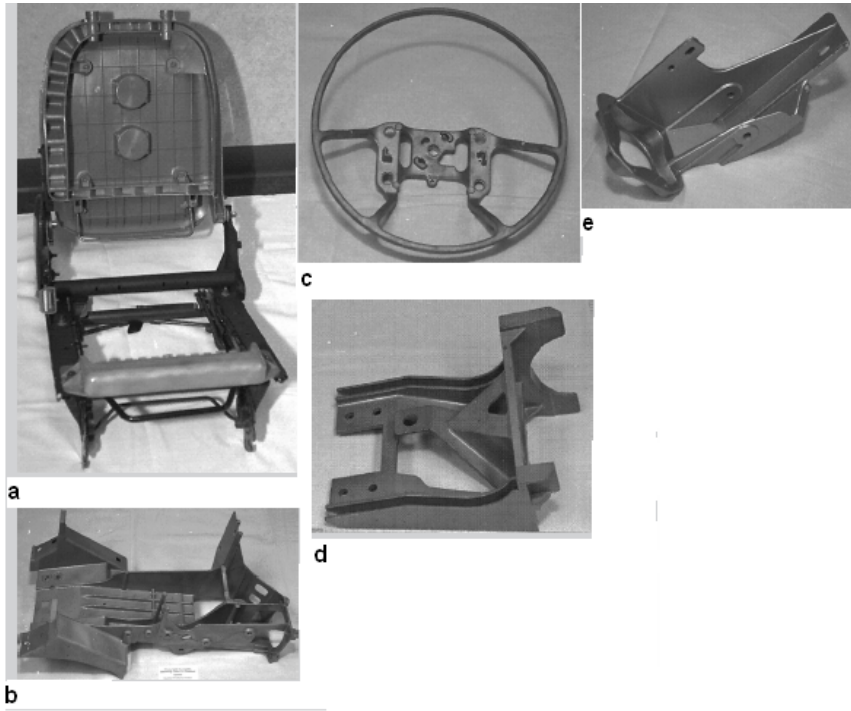


Şekil 6.23 : Çelik tasarım ve hibrit tasarım gösterimi [38]

Magnezyumun özellikle iç yapı parçalarında kullanımının yaygın olmasının sebebi galvanik korozyon probleminin daha az düzeyde olmasıdır. Kontrol paneli kirişi uygulamasından başka direksiyon simidi ve koltuk iskeleti uygulamaları da

yaygındır. Magnezyum koltuk iskeleti kullanımı Almanya’da Mercedes tarafından SL Roadstar modelinde üç noktalı emniyet kemeri ile birleştirilmiş bir şekilde uygulanmıştır. Bu koltuk iskeleti, iki parçası koltuğun arka iskeletini, üç tanesi de alt kısmını oluşturacak şekilde toplam beş parçadan oluşmaktaydı ve toplam ağırlığı 8,5 kg, et kalınlıkları 2-20 mm arasında değişken şekildeydi. Kalıpta dökülen magnezyumda yüksek süneklikteki AM50 ve AM20 alaşımları aynı zamanda yüksek dayanım, rijitlik, düşük ağırlık ve maliyet sağlamaktaydı. Son yıllardaki örnek bir uygulama da Alfa Romeo 156’nın iki parçalı koltuk iskeletidir. Günümüzdeki kalıpta dökülmüş koltuk iskeletleri et kalınlıkları 2 mm kadar inceliktedir [36, 46].

Otomobillerde ağırlıktan azalma konusunda üzerinde en çok çalışılması gerektiği kabul edilen parça direksiyon simididir. Bunun nedeni direksiyon simidi içinde bir hava yastığı olacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Bu nedenle de direksiyon simidinin ağırlığı azaltılmalıdır. Japonya’da direksiyon simidi AM60HP magnezyum alaşımlarından üretilmektedir. Bu alaşım sağlamlığı ve darbeleri absorbe etme özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ağırlık yine burada da en önemli faktördür. Soğuk hazneli basınçlı dökümle üretilen bu parça 0,8 kg ağırlığındadır. Şekil 6.24’de içinde direksiyon simidi ve koltuk iskeletinde olduğu magnezyum araç içi parçaları uygulamaları görülmektedir [14].



Şekil 6.24 : a) Koltuk iskeleti b) Direksiyon kolunu braket c) Direksiyon simidi d) ABS braket e) Pedal braket [14]

6.2.3.3 Uzay kafes uygulamaları

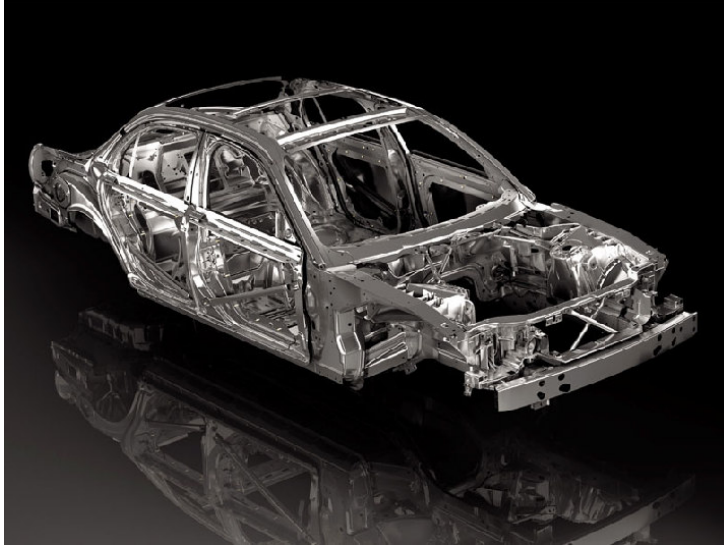
Otomotivde ilk uzay kafes uygulaması Audi ve Alcoa ortak çalışması ile yapılmıştır. Uzay kafes çeşitli yarı metallerin akıllı bir şekilde birleşimidir.

İlk jenerasyon için (Audi A8) düğüm noktaları olarak değişik profiller ve geometriler için genelde döküm kullanılırdı. Burada döküm parçaların kullanımının bir avantajı da parçaya bazı kaburgalar atılarak parça dayanımını arttırmanın mümkün olmasıydı ve böylece daha hafif yapılara olanak sağlanıyordu. Ekstrüzyondan çıkmış parçalar ister düz ister bükümlü olsun daha sonradan işleniyordu. Uzay kafeslerde genelde ekstrüzyondan çıkmış veya döküm parçalar kullanılıyordu. Birleşim açısından %75 gibi bir kısmıel ile yapılırdı. Bunun iki nedeni; parçaların ölçüsel olarak doğrulukları yeterli hassaslıkta değildi ve üretim adetleri ekipman yatırımı yapmak için düşük idi.

İlk jenerasyonun olumlu tecrübelerinden sonra, ikinci jenerasyon daha yüksek sayıda üretimler ile geliştirildi. Bu, sadece A8 üstüne eklenmiş bir çalışma değil tamamen yeni bir tasarımıdır. Yüksek adetler için birleşme robotik hale getirildi ve hassas toleranslar elde edildi. MIG yerine lazer kaynak kullanılması kaynak hızını arttırarak, parçanın maruz kaldığı ısıyı düşürmüş ve çarpıklaşma olmadan parçaların geometrisini korumasını sağlamıştır. İlk jenerasyondaki döküm düğüm noktaları kullanımı azalmış ve boyut olarak artmıştır. Yan ve ön yapı gibi kaza (Crash) ile ilgili yerlerde kullanılmıştır [38].

6.2.3.4 Monokok (Monocoque) dizayn

Jaguar XJ modeli ile tamamen alüminyumdan oluşan monokok dizaynı yapmış ve bu sayede çeliğe göre %60 seviyelerinde dayanım kazanmıştır. Bu kazanımın esas nedeni yapııştırma ve perçinleme kombinasyonunun geliştirilmesidir. %40 oranında da ağırlık avantajı sağlar. Şekil 6.25’de Jaguar XJ’nin monokok alüminyum karoser tasarımı görülmektedir [38].



Şekil 6.25 : Jaguar XJ'nin monokok alüminyum tasarımı [38]

6.2.3.5 Hibrit malzemeler konsepti

Birleştirilebilirlik ile ilgili taraftan bakıldığında alüminyum kullanımı çok iyidir fakat yüzey işleme, korozyon ve tamir de diğer önemli tasarım değişkenleridir. Bazı girişimler karoser uygulamalarında çeşitli değişik malzemeleri kullanmak için yapılmıştır. Mesela Mercedes CL Coupe buna örnek gösterilebilir fakat üretim adetleri düşüktür. Buna en iyi örnek ise BMW'nin 2003 yılında yaptığı BMW 5 serisidir ki alüminyum ön düzen haricinde diğer karoseri çelikten imal edilmiştir. Bu uygulamayı şekil 6.26'da görebilirsiniz. Bu kullanımın iki avantajı vardı; ilki genel olarak ağırlığı 75 kg seviyelerinde düşürmesi, ikincisi ise arka ve ön yapı arasındaki ağırlık dengesinin bu sayede gelişmiş olması ile viraj alma yeteneğini arttırmasıydı [38].



Şekil 6.26 : BMW 5 serisi alüminyum yapısı [38]

7. SONUÇ

Otomobiller en büyük enerji tüketicisidir. Bugün teknoloji hızla ilerlemektedir ve otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş kısıtlamalar ve yükümlülükler, gelecekte ülkemiz dahil tüm otomotiv üreticilerini zorlayacak konular olarak durmaktadır. Otomotiv alanında yürütülen araştırma geliştirme çalışmaları içerisinde enerji tüketiminin ve CO₂ kirliliğinin azaltılması çalışmaları büyük yer tutmaktadır. Bunu sağlamanın yollarından biri de dayanımı yüksek, ağırlığı düşük malzemelerin kullanılmasıdır.

Ağırlığı azaltmak için bir otomobilde çelik ve dökme demir yerine ikame edilmeye çalışılan en önemli malzemelerin başında alüminyum gelir. Alüminyum günümüz için üretim ve diğer tüm imalat değişkenleri bilinen, bir çok uygulama alanında başarı ile kullanılan, artık vazgeçilmez bir malzemedir. Yerine geçtiği çelikle karşılaştırılabilecek özelliklere sahiptir. Yeni üretim tekniklerinin ve yeni alaşımların geliştirilmesi ile bir otomobilin neredeyse tüm parçalarında kullanılabilecek potansiyele sahiptir.

Magnezyum alaşımları ise 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 yöntemleri ile karışık şekilli parçaların imalatı kolaydır. Bu özelliklerinden dolayı otomotiv alanında hafif malzeme olarak kullanılma potansiyeli yüksektir. Günümüzde orta sınıf sedan araçlarda magnezyum kullanımı ortalama 20 kg'dır.

Titanyum alaşımları ise yüksek adetlerde üretime sahip bazı parçalarda yüksek hafiflik avantajı ve yüksek dayanım özelliği ile ön plana çıkar. Tabi ki bu metalin kullanımı için birtakım problemlerin çözülmesi gereklidir. Bunlardan biri de son yıllardaki maliyet azalmasına rağmen hala yüksek olan fiyatıdır. Yalnız malzemede değil imalat süreçlerinde de yapılacak iyileştirmeler ile titanyum ileride otomotiv sektöründe kullanım alanı daha fazla geniş bir malzeme olarak yerini alacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Aghion E., Bronfin B., Eliezer D.**, 2001: The Role of Magnesium Industry in Protecting the Environment. *Journal of Materials Processing Technology*, 117
- [2] **Dünder M., İtel C., Akkurt S.**, 2007: Otomotiv Sektöründe Kullanılmak Amacıyla Sürekli Döküm Tekniğiyle Üretilmiş 5XXX Serisi Al-Mg Alaşımlarının Mekanik Karakterizasyonu.
- [3] **Kazdal Zeytin, H.**, 1999: Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Kullanım ve Geleceği. TÜBİTAK-OSD.
- [4] **Devlet Planlama Teşkilatı.**, 1995: Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Ana Metal Sanayileri Özel İhtisas Komisyonu Demirdışı Metaller Alt Komisyonu Alüminyum Çalışma Grubu raporu.
- [5] **TMMOB.** Alüminyum Raporu.
- [6] **Kazdal Zeytin, H.**, 2000: Alüminyum Alaşımları Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları ve Geleceği.
- [7] **Talsad Raporu.** Alüminyum Endüstrisinde Çevre Sorunları.
- [8] **Kvande, H.**, 1999: Environmental Improvements in Aluminium Production Technology, *Light Metal Age*, 44
- [9] **Eker Akdoğan, A.**, 1998: Al ve Al Alaşımları, Malzeme 2 Ders Notları.
- [10] **Budgen, N.F.**, 1947: Aluminium and its alloys.
- [11] **Url-1** <[http:// www.capalex.co.uk/heat_treatment.html](http://www.capalex.co.uk/heat_treatment.html)>, alındığı tarih 31.10.2009
- [12] **Avedesian, M., Baker, H.**, 1999: *Magnesium and Magnesium Alloys*, 3-66.
- [13] **IMA Annual Conference Berlin**, 2005: Magnesium Supply and Demand.
- [14] **Atalay, O., Tez**, 2006: Magnezyum ve Alaşımlarının Konstrüksiyon Malzemesi Olarak Otomotivde Kullanımı.
- [15] **Kandemir, K., Can Çetin, A.**, 2002: Otomotiv Endüstrisi için Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Potansiyeli.
- [16] **Mordike, B. L., Ebert, T.**, 2001: Magnesium Properties-Potential. *Materials Science and Engineering*, 37.
- [17] **Url-2** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum>>, alındığı tarih 01.11.2009.
- [18] **Sagara, M., Takamaya, I., Nishida, T.**, 1994: Application of Titanium for Automotive Use in Japan. *Nippon Steel Technical Report*, No. 62.

- [19] **Leyens, C., Peters, M.**, 2003: Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications, *Titanium and Titanium Alloys*, 19-21-231-233-468-469-473-475-477-478.
- [20] **Eker Akdoğan, A.**, 2008: Demirdışı Metal ve Alaşımları, Malzeme 2 Ders Notları.
- [21] **Smith, F., W.**, 1981: Structure and Properties of Engineering Alloys. McGraw-Hill Publishing Co.
- [22] **Fuganti, A., Cupito, G.**, 2000: Thixoforming of Aluminium Alloy for Weight Saving of a Suspension Steering Knuckle. *Metallurgical Science and Technology*, Vol. **18**, No. 1.
- [23] **Lisiecki, B., Collot, J.**, 1998: Mechanical Study of Thixoforming Magnesium Parts. SAE Technical Paper Series, **980085**. *International Congress and Exposition*, Detroit, Michigan.
- [24] **Hirt, G., Cremer, R., Witulski, H., Tinius, C.**, 1997: Lightweight Near Net Shape Components Produced by Thixoforming. *Materials & Design* Volume **18** Numbers 4/6.
- [25] **Siebert, K., Leiber, R.**, 1998: Thixoforming of Aluminum. SAE Technical Paper Series, **980456**. *International Congress and Exposition*, Detroit, Michigan.
- [26] **Natesh, G.**, 2007: Magnesium Die Casting. Lubrication Technology and Trends. *Die Casting Engineer*.
- [27] **Prof., Dr., Aran, A.**, 2007: Döküm Teknolojisi. İmal Usulleri Ders Notları. İTÜ Makine Fakültesi.
- [28] **Buhler.** Buhler Processes, Standart Die Casting Processes.
- [29] **Şahin, İ., Eker Aydoğan, A.**, 2009: Ultrasonik Test Yöntemi Yardımıyla SiCp Takviyeli Kompozit Malzemelerin Elastiklik Modülünün Belirlenmesi. *Mühendis ve Makine*, Cilt **50**, Sayı 595.
- [30] **Borns, R., Whitacre, D.**, 2005: Optimizing Designs of Aluminium Suspension Components Using an Integrated Approach. SAE Paper **05M-2**.
- [31] **Sarıdikmen, H., Kuşkonmaz N.**, 2002: Dolu Kalıba (Harcanabilen Modelle) Döküm Yönteminin Teknolojik ve Ekonomik incelenmesi.
- [32] **European Aluminium Association Report**, 2006: Sustainability of the European Aluminium Industry, *Aluminium in Cars*.
- [33] **Christlein, J.**, 2006: Future of Light Metals in the Automotive Industry – Challenges and Opportunities. Audi AG.
- [34] **Özcömert, M.**, 2006: Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum.
- [35] **Das, S.**, 2003: Magnesium for Automotive Applications: Primary Production Cost Assessment. *JOM*, Vol. **55**, No. 11.
- [36] **Blawert, C., Hort, N., Kainer, K., U.**, 2004: Automotive Applications of Magnesium and its Alloys. *Trans. Indian Inst. Met.* Vol. **57**, No. 4.
- [37] **Yıldırım, H.**, 2006: Alüminyum Malzemenin Otomotiv Sektöründeki Uygulamaları.

- [38] **Zengen, K., H.**, 2004: Aluminium – The Light Heavyweight in Automotive, European Aluminium Association.
- [39] **Fischersworring-Bunk, A., Landerl, C., Fent, A., Wolf, J.**, 2006: The New BMW Inline Six-cylinder Composite Mg/Al Crankcase.
- [40] **Mg Showcase Issue**, 2007. International Magnesium Association.
- [41] **Choi, I., J., Park, H., J., Kim, H., J., Kim, K., S., Kim, H., Y., Lee, H., J.**, 2006: A Study on Manufacturing of Aluminum Automotive Piston by Thixoforging. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , Vol. **32**, No. 3-4.
- [42] **Url-3** <http://en.wikipedia.org/wiki/Hypereutectic_piston> alındığı tarih 29.11.2009
- [43] **Peacock, D.**, 1997: *Materials World*, Vol. **5**, No. 10.
- [44] **Norgate, T., E., Wellwood, G.**, 2006: The Potential Applications for Titanium Metal Powder and their Life Cycle Impact, Titanium: Recent Developments. *JOM*, Vol. **58**, No. 9.
- [45] **Taub, A., I., Krajewski, P., E., Luo, A., A., Owens, J., N.**, 2007: The Evolution of Technology for Materials Processing Over the Last 50 Years: The Automotive Example. *JOM*, Vol. **59**, No. 2.
- [46] **Luo, A., A.**, 2002: Magnesium: Current and Potential Automotive Applications, *JOM*, Vol. **54**, No. 2.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ufuk Özdemir

Doğum Yeri ve Tarihi: Zonguldak – 06.07.1980

Adres: Atatürk mah. 39. sok. Değirmendere Konakları A Blok Daire:4
Gölcük/Kocaeli

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi