



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAFİF METAL ALAŞIMLARIYLA OTOMOTİV GÖVDE
PARÇALARININ ŞEKİLLENDİRİLMESİ**

Erkan AYBARAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAFİF METAL ALAŞIMLARIYLA OTOMOTİV GÖVDE
PARÇALARININ ŞEKİLLENDİRİLMESİ**

Erkan AYBARAZ

Yrd.Doç.Dr. Gültekin KARADERE
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAFİF METAL ALAŞIMLARIYLA OTOMOTİV GÖVDE
PARÇALARININ ŞEKİLLENDİRİLMESİ**

Erkan AYBARAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 20 / 10 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği
ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Gültekin KARADERE Prof.Dr. Emin GÜLLÜ Prof.Dr. Adem DOĞANGÜN
Danışman

ÖZET

Bu çalışmanın ilk bölümünde endüstride en çok tercih edilen hafif ağırlıklı metal alaşımları olan alüminyum ve magnezyum alaşımlarının tanımlanması ve sınıflandırılması yapılmıştır. Sonrasında bu tür alaşımlı sacların otomobillerde motor kaputu, kapılar, bagaj kapakları gibi kısımlarda kullanım alanları olduğu görülmüştür. Bir sonraki bölümde kullanılan alüminyum ve magnezyum alaşımlı saclarla oluşturulan otomobil gövde uygulamaları ile yeni tür otomobil gövdesi olan uzay çatı gövde yapıları incelenmiştir. Uzay çatı gövdelerinin avantajları ile dezavantajları araştırılmış, yeni nesil gövdelerde alüminyum alaşımlarının otomobil gövdelerinde kullanım miktarları tespit edilmiştir.

Hafif ağırlıklı metal alaşımları oda sıcaklığında düşük şekillendirilebilirlik gösterdiğinden bu metaller için ileri şekillendirme süreçlerine gereksinim duyulmaktadır. İleri şekillendirme yöntemleri olarak 3 yöntem incelenmiştir. Bunlardan birinci pot çemberi kuvvet kontrolüdür. Klasik bir derin çekme kalıbı dişi göbek, erkek göbek ve pot çemberinden oluşmaktadır. Pot çemberi kuvvet kontrolü için ayrı ayrı kontrol edilebilen azot silindirleri, hidrolik ve yastık silindirleri vb. çeşitli metotlar kullanılarak alüminyum sacların şekillendirilebilirliğinin arttırılabildiği görülmüştür. İkinci şekillendirme yöntemi ise ılık şekillendirmedir. Bu yöntemde derin çekme kalıbında dişi göbek ve pot çemberi yaklaşık 250°C ısıtılır. Pot çemberinin üzerine konan sac presin kapanmasıyla öncelikli olarak dişi göbek ile pot çemberi arasında ısıtılır. Sonrasında su ile soğutulan erkek göbek sacı şekillendirir. Bu yöntemle sac parçaların çekme oranlarının çok daha yukarılara çekilebildiği görülmüştür. Bir diğer şekillendirme yöntemi ise sac hidro şekillendirmedir. Bu yöntemde ise derin çekme kalıbında erkek veya dişi göbek yerine akışkan sıvının geçmesiyle sac şekillendirilmektedir. Yine bu yöntemle de derin formlara sahip hafif metal alaşımlı sacların yırtıksız ve kırıştırmadan üretimlerinin gerçekleştirilebildiği incelenmiştir.

Tezin son bölümünde şekillendirilmiş alüminyumlu ve magnezyumlu sac parçaların birleştirilme yöntemlerine yer verilmiştir. Alüminyumun kaynak yapıldığında akma mukavemetinin %50 ye yakın özelliğini kaybetmesi bu tür alaşıma sahip parçaların birleştirilmesinde yapıştırarak birleştirme, kendinden delmeli perçinleme, zımbalı perçinleme gibi alternatif yöntemlerin kullanılmaya çalışıldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Pot çemberi kuvvet kontrolü, ılık şekillendirme, sac hidro şekillendirme, kalıp

ABSTRACT

In this study, firstly aluminum and magnesium as lightweight metal alloys defined and classified. Following in automobiles this kind of sheet alloy's usage area such as hood, doors, and trunk lids is seen. In next chapter body applications which use aluminum and magnesium alloys sheet and space frame body applications investigated. Advantages and disadvantages of space frame bodies investigated and in new generation bodies' aluminum usage rate evaluated.

Lightweight metal alloys show low formability in room temperature. For this alloys advanced forming processes using. As advanced forming processes 3 methods investigated. First one of this is blank holder force control. Conventionally deep drawing die is comprised with blank holder, die and punch. For blank holder force control different methods are using like nitrogen cylinders, cushion pins and with this methods formability of aluminum sheets increased is seen. Second forming method is warm forming. In this method blank holder and die are heated approximately 250 C°. Blank is put on the blank holder and when die is closed blank is heated. Then punch which is cooled by water forms the sheet. With this method drawing ratio can be raised. Another forming method is sheet hydro forming. In this process in deep drawing die or punch replace with fluid liquid. Also with this method formability of lightweight metal alloy sheets can be form without cracking and wrinkling.

In the last part of thesis formed aluminum and magnesium sheet part's joining processes are given. Yield strength of aluminum in the ratio of % 50 gets lost during welding. Because of this, for this kind of alloys part's joining process adhesive bonding, self-riveting piercing and pierced riveting selected.

Key Words: Blank holder force control, warm forming, sheet hydro forming, die

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAY SAYFASI.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Giriş.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1. Giriş.....	6
3.2. Otomobillerde En Çok Tercih Edilen Alaşımlar.....	7
3.2.1. Alüminyum Ve Alaşımları.....	7
3.2.1.1. Alüminyumun Özellikleri.....	7
3.2.1.2. Alüminyumun Sınıflandırılması.....	8
3.2.1.3. Alüminyumun Temper İşaretleri.....	8
3.2.1.4. Alüminyumun Isıl İşlem Alt Bölümleri.....	9
3.2.1.5. Alüminyum Dövme Alaşımları.....	9
3.2.2. Magnezyum Ve Alaşımları.....	10
3.2.2.1. Magnezyumun Özellikleri.....	11
3.2.2.2. Magnezyumun Kısa Geçmişi.....	13
3.2.2.3. Magnezyumun Sınıflandırılması.....	13
3.2.2.4. Magnezyum Metali Ve Tasarım.....	14
3.3. Alüminyum Sacların Otomobillerdeki Kullanım Alanları.....	14
3.3.1. Giriş.....	14
3.4. Hafif Metal Alaşımları Kullanılarak Otomobil Gövdelerinin Oluşturulması.....	23
3.4.1. Giriş.....	23
3.4.2. Gövde Mimarisi.....	25

3.4.3. Uzay Çatı Teknolojisi.....	27
3.4.3.1. Uzay Çatı Teknolojisinin Avantajları.....	28
3.4.4. Gövde Uygulamaları İçin Alüminyum Alaşımları.....	29
3.4.5. Alüminyum Gövdelerin Üretimdeki Avantajları.....	33
3.4.6. Alüminyum Gövdelerin Üretimdeki Dezavantajları.....	33
3.4.7. Alüminyumlu Gövde Tiplerine Örnekler.....	34
3.5. Şekillendirme Yöntemleri.....	36
3.5.1. Giriş.....	36
3.5.2. Pot Çemberi Kuvvet Kontrolü.....	37
3.5.2.1. Pot Çemberi Kuvvet Kontrol Stratejileri.....	42
3.5.2.2. Pot Çemberi Kuvveti Çalışma-Şekillendirme Pencere... ..	46
3.5.3. Ilık Şekillendirme.....	48
3.5.3.1. Magnezyumun Ilık Şekillendirilmesi.....	51
3.5.3.2. İleri Geliştirme Gereksinimleri.....	52
3.5.3.3. Servo Pres Ve Kinematığı.....	52
3.5.3.4. Kalıp Tasarımı.....	53
3.5.3.5. Yağlayıcılar.....	56
3.5.3.6. Açınım Sacının Isıtılması.....	56
3.5.4. Sac Hidro Şekillendirme.....	57
3.5.4.1. Oda Sıcaklığında Sac Hidro Şekillendirme Sistemi.....	58
3.5.4.2. Zimba İle Sac Hidro Şekillendirme (SHŞ-Z).....	59
3.5.4.3. Dişi İle Sac Hidro Şekillendirme (SHŞ-D).....	61
3.5.4.4. Sac Hidro Şekillendirme Avantajları Ve Dezavantajları.....	62
3.5.4.5. Sac Hidro Şekillendirme – Süreç Çeşitlilikleri.....	63
3.5.4.6. Sac Hidro Şekillendirme Presleri.....	67
3.5.4.7. Kalıp Tasarımı.....	70
3.6. Sacları Birleştirme Yöntemleri.....	70
3.6.1. Punta Direnç Kaynağı Yöntemi.....	71
3.6.2. Clinching (Büzdürme) Teknolojisi.....	73
3.6.2.1. Büzdürme İşlemi Detayları.....	74
3.6.2.2. Büzdürme Teknolojisi Kullanım Örnekleri.....	74
3.6.3. Perçinler.....	75
3.6.3.1. Konvansiyonel Perçin Teknolojisi.....	76
3.6.3.2. Kendinden Delmeli Perçin Teknolojisi.....	77
3.6.3.3. Zımbalı Perçin Teknolojisi.....	78

VII

3.6.4. Alüminyumların Yapıştırarak Tutturulması.....	79
3.6.4.1. Yapıştırarak Tutturmanın Sınıflandırması.....	80
3.6.4.2. Avantajları.....	80
3.6.4.3. Dezavantajları.....	81
3.6.4.4. Yapıştırarak Birleştirme Yapısı.....	81
3.6.4.5. Alüminyumun Yapıştırarak Tutturulmasına Bir Örnek... 82	
3.6.5. Kenar Bükerek Kenetleme Teknolojisi.....	83
3.6.5.1. Roller Kenetleme.....	83
3.6.5.2. Avantajları.....	84
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	85
KAYNAKLAR.....	89
EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	96
TEŞEKKÜR.....	97

KISALTMALAR DİZİNİ

ÇNK	Çok nokta kontrollü
AÖN	Alt ölü nokta
ÜÖN	Üst ölü nokta
SHŞ-Z	Zımba ile saç hidro şekillendirme
SHŞ-D	Dişi ile saç hidro şekillendirme
LDH ₀	Çekme yükseklik limiti
FLD	Form verme limit diyagramı
PÇK	Pot çemberi kuvveti
PÇY	Pot çemberi yer değiştirmesi
A/HSS	Yüksek mukavemetli çelik
CPF	Center for precision forming
USCAR	United states council for automotive research llc
SE	Sonlu eleman

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Dövme alüminyum alaşım grupları.....	10
Çizelge 3.2. Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması.....	11
Çizelge 3.3. Tasarıma uygunluk açısından magnezyum.....	12
Çizelge 3.4. Avrupa’da araç hafifletme çalışmaları.....	15
Çizelge 3.5. Kuzey Amerika’da alüminyum sacların kullanım alanları.....	16
Çizelge 3.6. Japonya’daki otomobillerin açılır-kapanır panellerinde alüminyum örnekleri.....	18
Çizelge 3.7. Alüminyumlu sacların otomotiv panellerindeki gelişim tarihi.....	20
Çizelge 3.8. Çelik ve alüminyumun özellikleri.....	24
Çizelge 3.9. Uzay çatılı gövde.....	25
Çizelge 3.10. Kabuk gövde.....	26
Çizelge 3.11. Gövdelerin birleştirme performanslarındaki durumları.....	26
Çizelge 3.12. Gövde yapılarının bileşen sayısına göre karşılaştırılması.....	27
Çizelge 3.13. A 8 ve AL 2 uzay çatı tasarımlarının karşılaştırılması.....	30

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1.	Direnç kuvvetleri..... 6
Şekil 3.2.	Otomotivdeki alüminyum sac parçaları..... 14
Şekil 3.3.	Gövde panellerinde alüminyum uygulaması örneği..... 19
Şekil 3.4.	Audi A8 de Al gövde ve yarı malzeme dağılımı..... 21
Şekil 3.5.	S – sınıfı Mercedes’te kullanılan alüminyum parçalar..... 21
Şekil 3.6.	Batı Avrupa’da araç başına alüminyumun ortalama kullanımı..... 22
Şekil 3.7.	Avrupa’daki bazı araçlarda alüminyumun kullanım oranları..... 22
Şekil 3.8.	Yüksek müşteri taleplerinin etkisi..... 23
Şekil 3.9.	Kabuk ve uzay çatılı gövde uygulamaları..... 25
Şekil 3.10.	Uzay çatı..... 27
Şekil 3.11.	Audi ikinci nesil gövde ve yarı malzeme dağılımı..... 28
Şekil 3.12.	Alcoa – Audi A8 alüminyum ekstrüzyonlu uzay çatılı gövde mimarisi... 29
Şekil 3.13.	Alcan-Ford yoğun alüminyum kullanılmış olan sac monokok mimarisi... 29
Şekil 3.14.	Tamamı alüminyum ekstrüzyonlu gövde yapısından oluşan Audi..... 30
Şekil 3.15.	Ferrari F360 aracının alüminyum ekstrüzyonlu uzay çatılı gövde yapısı... 31
Şekil 3.16.	Plymouth Prowler’de yapılan uzay çatı konseptli gövdelere örnekler..... 32
Şekil 3.17.	Plymouth Prowler’de yapılan uzay çatı konseptli bir araç..... 32
Şekil 3.18.	Alüminyumdan yapılmış bir gövde örneği..... 34
Şekil 3.19.	Audi uzay çatı tekniği kullanılan gövde örnekleri..... 34
Şekil 3.20.	Jaguar - XJ , tamamında alüminyum kullanılan ilk monokok şasi..... 35
Şekil 3.21.	Audi A8 uzay çatı gövdesi..... 35
Şekil 3.22.	Yeni Audi TT gövdesi..... 35
Şekil 3.23.	Alüminyum alaşımları ve yumuşak çeliğin gerilim - uzama eğrisi..... 36
Şekil 3.24.	Alüminyum sac ve yumuşak çeliğin çekme limit yüksekliği ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki..... 37
Şekil 3.25.	Çok noktalı yastık ünitesinin preste bağlantı şematiği..... 38
Şekil 3.26.	Çok noktalı yastık ünitesinin kalıpta bağlantı şematiği..... 39
Şekil 3.27.	Optimum pot çemberi kuvveti..... 40
Şekil 3.28.	Farklı sac kalınlıkları ve sac kalitesindeki malzemelerin aynı kalıpta sadece PÇK değiştirilmesiyle basım sonuçları..... 40
Şekil 3.29.	Çekme sürecinde çekme oranının azaltımı..... 41
Şekil 3.30.	Dikdörtgen bir kalıpta hidrolik silindirler kullanarak pot çemberi kuvvet kontrol kullanımı..... 42

Şekil 3.31.	Pot çemberi kuvvet kontrol stratejileri.....	43
Şekil 3.32.	Zımba yer değiştirmesiyle pot çemberi kuvveti ilişkisi.....	44
Şekil 3.33.	Kesit boyunca kalınlık değişimi.....	44
Şekil 3.34.	Slaytın alt ölü noktasında pozisyonu mekanik stoperlerle tanımlanan bir ÇNK üniteli pres tablası.....	45
Şekil 3.35.	ÇNK ünitesi kullanan benzer bir pres konseptini.....	46
Şekil 3.36.	PÇK çalışma penceresi.....	46
Şekil 3.37.	PÇK şekillendirme penceresi.....	47
Şekil 3.38.	PÇK şekillendirme penceresinin 3 temel türü.....	48
Şekil 3.39.	Ilık şekillendirme kalıp sistematiği.....	49
Şekil 3.40.	Malzeme ısısı ile uzama oranının akış gerilimine etkisi.....	50
Şekil 3.41.	Dikdörtgen kap yüksekliği.....	51
Şekil 3.42.	AIDA servo mekanik pres mekanizmaları.....	53
Şekil 3.43.	Ilık şekillendirme kalıbı şematik görünüşü ve ölçülendirilmesi.....	53
Şekil 3.44.	Kalıpta ılık şekillendirme süreci.....	54
Şekil 3.45.	Servo pres koç hareketi.....	54
Şekil 3.46.	Aida servo preste ılık şekillendirme kalıbının görünüşü.....	55
Şekil 3.47.	110 ton Aida servo pres.....	55
Şekil 3.48.	Fikstürün üst görünüşü.....	57
Şekil 3.49.	Deneyin şematik görünüşü.....	57
Şekil 3.50.	Sıvı ortamı kullanılarak şekillendirmenin sınıflandırması.....	58
Şekil 3.51.	Sac hidro şekillendirme sisteminin elemanları.....	58
Şekil 3.52.	Zımba ile sac hidro şekillendirme prosesinin şematigi.....	59
Şekil 3.53.	Bir yarıküresel zımba ile sac hidro şekillendirme süre şematigi.....	60
Şekil 3.54.	Hidro mekanik derin çekme süreci şematigi.....	61
Şekil 3.55.	Dişi ile sac hidro şekillendirme prosesinin şematigi.....	62
Şekil 3.56.	Esnek sistemin elemanları.....	64
Şekil 3.57.	Çift açınımlı sac hidro şekillendirme ve çift açınımlı sac hidro şekillendirme yöntemiyle üretilmiş bazı otomotiv parçaları.....	65
Şekil 3.58.	SHŞ-Z yöntemini germe ve derin çekme kombinasyonu ile kullanarak kompleks parçaların daha az operasyonla şekillendirilmesi.....	66
Şekil 3.59.	Kauçuk–kalıp veya kauçuk şekillendirme prosesi.....	67
Şekil 3.60.	Müller Weingarten in kısa kurs silindiri kullanarak yaptığı ardışık operasyonlu SHŞ-Z presi.....	68
Şekil 3.61.	SHŞ-Z kısa kurs presi.....	69

Şekil 3.62.	LFU'daki yatay SHŞ-D presi şematiği.....	70
Şekil 3.63.	Alaşım özellikleri ile yüzey işleme metotları arasındaki ilişki.....	71
Şekil 3.64.	Punta kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi.....	72
Şekil 3.65.	Clinching (büzdürme) işlemi uygulanmış parça.....	73
Şekil 3.66.	Clinching (büzdürme) işleminin prensibi.....	74
Şekil 3.67.	125 adet büzdürme (clinching) birleştirmeli BMW 3 serisi açılır tavanı...75	
Şekil 3.68.	Büzdürme birleştirmeli alüminyum motor kaputu Audi A6.....	75
Şekil 3.69.	Kontra kilitli perçinleme.....	76
Şekil 3.70.	Kör perçinleme.....	77
Şekil 3.71.	Kendinden delmeli perçinleme detayı.....	77
Şekil 3.72.	Kendinden delmeli perçinleme işlem adımları.....	78
Şekil 3.73.	Zımbalı perçin teknolojisinin prensibinin açıklaması.....	78
Şekil 3.74.	Bir zımbalı perçin birleştirmenin kesiti.....	79
Şekil 3.75.	Alüminyumun yapıştırılarak birleştirilmesi.....	79
Şekil 3.76.	DIN 8580 ve DIN 8593 normuna göre imalat sürecinde yapıştırarak birleştirmenin sınıflandırılması.....	80
Şekil 3.77.	Yapıştırarak birleştirme yapısı.....	81
Şekil 3.78.	Lotus firmasının alüminyum yapıştırma metodu ile ürettiği Elise model şasisi.....	82
Şekil 3.79.	Kenar kıvrırma işleminin genel görünüşü.....	83
Şekil 3.80.	Alüminyum için alternatif kenar bükme tasarımları.....	84
Şekil 3.81.	Bir robotlu roller kenar bükerek kenetleme örneği.....	84

SİMGELER DİZİNİ

Al	Aluminyum
Mg	Magnezyum
Si	Silisyum
MPa	Megapascal
F_w	Aerodinamik direnç
F_R	Kayma direnci
F_G	Eğim direnci
F_A	Hızlanma direnci
m	Kütle
v	Hız
a	İvme
α	Eğim
g	Yer çekimi ivmesi
k	Cisimle hava arasındaki direnç kat sayısı
A	Aracın dik kesit alanı
ρ	Havanın yoğunluğu
C_w	Araç direnç katsayısı
lbs	Libre
CO ₂	Karbondioksit
DP	Çift fazlı
BH	Fırında sertleşen
DR ₁	İlk çekme oranı
d _o	Açınım sacı
d _p	Erkek zımba genişliği
DR ₂	Sonraki çekme oranı
d ₁	Çekilmiş sac genişliği
F _{BH}	Pot çemberi kuvveti
F _p	Zımba kuvveti
P _e	Akışkan basıncı
t	Sac kalınlığı

1. GİRİŞ

Otomobil endüstrisinde ortalama araç ağırlıkları müşterilerin artan lüks, konfor, performans ve güvenlik beklentileriyle yeni modellerde artmaya devam edeceğinden ağırlık azaltımı ayrıntılı olarak önem kazanmaktadır. ABS sistemleri, hava yastıkları gibi güvenlik özellikleri ve artan gövde güvenlik yapıları araç ağırlık artışında pay sahibidir. Her ne kadar, otomobil şirketleri tasarım ve aktarma organları verimliliğiyle buna cevap verseler de bu çoğalan geliştirmeler henüz daha ortalama ağırlık azaltımında büyük miktarlara olanak sağlamamaktadır. Bu sağlandığında, hafif ağırlıklı malzemelerin kullanımlarında ciddi bir artış olacaktır. Pratik olarak %10 luk ağırlık azaltımı yaklaşık olarak yakıt ekonomisinde % 5.5 lik gelişmeye eşit olmaktadır. Bir önemli gerçekte, ağırlık azaltımı yakıt verimliliğinde dalgalanma etkisine sahiptir. Örneğin, ağırlık azaltımı üreticiye, aynı araç performansını daha küçük motorla geliştirmeye olanak sağlar ve bu daha küçük motorda daha küçük transmisyon ve daha küçük yakıt tankı kullanımına olanak sağlar. Bu dalgalanma etkisiyle, muhtemel % 10 luk araç ağırlık azaltımı sonucu % 8 – 10 luk yakıt ekonomisini geliştirilir. (Miller, Zhuang, Bottema, Wittebrood, Smet, Haszler, Vieregge 2000)

Müşteriler, yaya güvenliği için daha güçlü ve rijit gövdeler konusunda daha fazla özen göstermektedirler. Bu geri dönüş, araç performansı için daha güçlü motor ve aktarma organları gerektirmekte. Daha güçlü motor, daha ağır şasi gereksinime ihtiyaç duymakta ve bu da daha büyük yakıt tankı ve araç gövdesinde daha yüksek rijitlik gerektirmekte. Sonuç olarak, tüm otomobil sınıflarında her bir yeni model daha ağır olmakta. (Carle, Blount 1999)

Bu süreçten kaçış için araç üreticileri hafif ağırlıklı kavramlara geçmek üzere aksiyon almaları yönünde zorlanmaktadır. Araç gövdeleri bir aracın toplam ağırlığının %25 ini oluşturmakta ve bu süreci değiştirmek yönünde imkan sunmakta. Hafif metaller, araç gövdelerini hafifletmek için iyi fırsat vermekte. Otomotiv endüstrisindeki alüminyum ve magnezyum gibi metallerin kullanışlarındaki artış, geliştirme amacı için burada hala daha büyük fırsatlar olduğunu göstermekte. Tahminler, 2000 yılından sonra alüminyumun toplam araç ağırlıklarında %6 dan %10 a çıkacağı yönünde. Şimdilerde genel uygulama alanları şasi ve iskelet parçalarındadır. (Carle, Blount 1999)

Ağırlık azaltımı hedefini yakalayabilmenin yollarından biri de; yüksek mukavemete karşı düşük ağırlık oranlarıyla alüminyum ve magnezyum gibi hafif ağırlıklı alaşımlardır. Fakat oda sıcaklıklarında düşük şekillendirilebilirliklerinden dolayı ileri düzeyde şekillendirme süreçlerine gereksinim duyulmaktadır. (Kaya 2008)

Alüminyum ve magnezyum alaşımları en çok kullanılan çelik ve polimer gibi malzemelerin yerine yüksek mukavemetlerine karşı düşük ağırlık oranlarıyla ağırlık azaltımında

büyük bir potansiyel sunmaktadırlar. Mühendislik uygulamalarında Al ve Mg alaşımlarının seçilmesindeki diğer önemli faktör diğer mühendislik malzemelerine karşı termal özellikleri, sönümlenme kapasitesi, yorulma özellikleri, ölçüsel kararlılığı ve kolay işlenebilirliğe sahip olmasındandır. Al ve Mg un yanı sıra ağırlık azaltımı, yüksek mukavemetli çelik, paslanmaz çelik gibi çeliklerle ve bunların ileri şekillendirme süreçleriyle de sağlanabilir. (Kaya 2008)

Konvansiyonel gövde parçaları çekme kalitesindeki çeliklerin preslenmesi prosesi ile yapılmaktadır. Alüminyum alaşımları, magnezyum alaşımları gibi hafif ağırlıklı malzemeler, gövde uygulamalarında konvansiyonel çeliklerle karşılaştırıldıklarında yüksek mukavemetlerine karşın düşük ağırlık oranlarıyla seçim alternatifleri sunmaktadırlar. Bununla birlikte, hafif ağırlıklı malzemeler konvansiyonel çeliklere oranla düşük şekillendirilebilirlikleri ve farklı özellikleriyle presleme prosesinde gövde parçalarının üretimi için son derece önemli fırsat vermektedir. Hafif ağırlıklı alaşımdan şekillendirilmiş parçadaki geri yaylanma (geri dönüş-spring back) konvansiyonel çeliğe göre daha fazladır ve buda aracın toplanmasında zorluk çıkartır. Bununla birlikte, hafif ağırlıklı malzemeler gövde uygulamalarında kullanılması sığ parçalarla kısıtlıdır ve bu bir üretim sınırı getirmektedir. (Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan 2007)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Giriş

Otomotivde kullanılan hafif metal alaşımlı sacların şekillendirilmesi konusu endüstride yeni bir konu olduğundan literatür çalışmaları sınırlı olup genellikle dar kapsamda çalışmalar olarak kalmaktadır. Özellikle ülkemizde bu alanda çalışan firmalar olmadığından bir bilgi birikimi henüz oluşmamıştır. Konu hakkında bilgilere uluslararası yayın yapan üniversite ve araştırma merkezleri ile yurtdışındaki otomobil firmalarından ulaşılmıştır.

Sakurai (2008) yaptığı araştırmada Japonya’da ilk kez 1985 yılında Mazda RX-7 modelinde alüminyum alaşımlı sac gövde panelinde (motor kaputu dış sacı) uygulandığını inceledi. O zamandan bu yana, 1990’ların başlarına kadar alüminyum panellerin, daha çok spor ve lüks sedanlar da kullanıldığını Honda Motor’un ise dünyada ilk kez tüm gövdesi alüminyum olan NSX i sunduğunu saptamıştır. Sakurai araştırmasında Audi’nin ilk kez 1992 yılında tamamı alüminyum gövdeli uzay çatı aracı A8’i sunduğunu ve bu alüminyum panellerin otomobiller için kullanımında önde gelenlerden biri olduğunu incelemiştir.

Ducker Araştırma şirketi (1999) tarafından yayınlanan 1999 Kuzey Amerika Otomotiv ve Hafif Kamyon Üreticileri Alüminyum içerik raporuna göre, tüm otomotiv uygulamalarında kullanılan alüminyumun %75’ini aktarma organları ve eşanjörler oluşturmaktadır. 1999 model yılı için, Kuzey Amerika’da kullanılan otomotiv alüminyumunun miktarı toplam 1.723.651 tondur.

Ducker’ın raporuna göre, binek araç ve hafif kamyon içeriklerinin %61,9’u, motor blokları, silindir başları ve manifoldlar gibi döküm aktarma organlarından oluşmakta. Diğer %13, alüminyum radyatör gibi eşanjörler tarafından kullanılmakta. Diğer uygulamalar ise tekerlek, iç ve dış trim parçaları, şasi ve süspansiyonlar; şasi kolları, açılır-kapanır paneller, daha ziyade motor kaputları ve gövde yapıları, en çokta radyatör desteklerini kapsayan ekstrüzyonlardır.

Alüminyum derneği (1999) ortalama bir Kuzey Amerika’lı aracın %75’i döküm olmak üzere 113 kg alüminyum içerdiğini tahmin etmektedir. Halen daha büyük oranda yüksek mukavemetli çelik sacın gövde ve açılır-kapanırlarda kullanılmakta iken gövde yapımında kullanılan alüminyum sac ise % 2 ’ nin altında kalmaktadır.

Sakurai’nin (2008) araştırmasına göre alüminyum alaşımlı sacların şekillendirilebilmesi, çelik saclara göre, düşük uzamaları, n-değerleri, r-değerleri ve elastisite modüllerinden dolayı daha azdır. Çelik sacla şekillendirilebilen bir geometri, alüminyum alaşımları ile yırtmadan, kırışmasız ve geri dönüşsüz şekillendirilemeyebilir. Bu sebeple,

alüminyum alaşımlı sacların tasarımıda düşük dereceli serbestlikleriyle form vermede kısıtlar getirdiğini saptamıştır.

Carle ve Blount (1999) yaptıkları araştırmada araç endüstrisinin müşterilerin artan güvenlik ve performans talepleri karşısında çok önemli ağırlık problemi ile karşı karşıya geldiğini saptamışlardır. Tüm sınıflardaki tam donanımlı araçların daha lüks ve konforlu olmasına yol göstericiliği yaptığını şimdilerde ise küçük araçların bile sık sık hidrolik direksiyon ve havalandırma sistemlerini standart olarak kullandığını ortaya koymaktadırlar. Müşteriler, yolcu güvenliği için daha fazla dikkat göstermekte ve daha güçlü, rijit gövdelere önem vermekteler. Bu sırayla, aracın performansını sağlamak amacıyla, daha güçlü motor ve aktarma organları gerektirmektedir. Daha güçlü motor, daha ağır şasi ve yine daha büyük yakıt tankı ile beraberinde daha yüksek rijitlikte araç gövdesi gerektirmektedir. Carle ve Blount sonuç olarak, tüm otomobil sınıfında her bir yeni modelin daha ağır olduğunu tespit etmişlerdir.

CPF ile USCAR konsorsiyumu (2004) birlikte pot çemberi kuvvetinin nümerik optimizasyon tekniğini geliştirdiler. Bununla birlikte düzgün parça için pot çemberi kuvvetinin çok nokta yastıklı sisteminde başarılı uygulama tahmininde a) boşluk/konum ve zaman/kursta sürekli PÇK , b) zaman/kurs ve sürekli boşluk/konum değişkenli PÇK , c) boşluk/konum ve sürekli zaman/kurs değişkenli PÇK , d) boşluk/konum ve zaman/kurs değişkenli PÇK çok noktalı yastık sistemi tek nokta yastık sistem/azot silindirleri gibi dört farklı tür geliştirdiler. Geliştirilen yöntem bir otomobil parçasının (en arka tek kapı iskeleti) AA 6111-T4 alüminyum alaşımından 1.0mm, DP500 malzemesinden 0.8 mm ve BH210 çelikten 0.8 mm malzemelerinde PÇK tahmininde kullanıldı.

Benzer çalışma BH210 ve DP500 çelik sacları içinde yapıldı. Geliştirilen kuvvet profilleri denemelerde aynı kalıbı kullanıp herhangi bir değişiklik yapmadan farklı saclarda denendi. Parçanın üç farklı malzeme ve kalınlıkta kalıpta herhangi bir değişiklik yapmadan sadece PÇK uygulanan yastık tijlerini değiştirerek elde edildiği gözlemlendi. En arka kapı iskelet sacının Al 6111-T4 kalitesinden birden çok kez basılmasına karşın konvansiyonel tek nokta sistemle elde edilemediğine dikkat edilmelidir. Bu çok nokta yastık sistemiyle konvansiyonel kalıpcılıkla otomobil gövde panellerinin hafif ağırlıklı malzemelerle şekillendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Padmanabhan, Oliveira, Alves, Menezes (2008) yaptıkları çalışmada derin çekmede pot çemberi kuvveti ile ilgili bir optimizasyon stratejisi ortaya koymuşlardır. Bu stratejide, ilk olarak kırışıklık oluşuncaya kadar çok düşük bir kuvvet uygulanır. İkinci aşamada malzeme akış özelliklerine orantılı olarak kuvvet zımba yer değiştirilmesiyle orantılı olarak artırılmakta. Önerilen değişkenli pot çemberi kuvveti şeması parça kalitesini büyük ölçüde geliştirdi. Bu çalışma modifiye edilmiş kırışıklık eğiliminde olan sacta gerekli olan pot çemberi kuvvetini

belirleyip uygulama yaklaşımı hakkındadır. Kırıksıklık yüksekliği optimum pot çemberi kuvvetinin kararlaştırılmasında en büyük etkidir. Derin çekme simulasyon prosesi esnasında pot çemberinin yer değiştirmesi sürekli değerlendirilmekte ve uygun pot çemberi kuvveti uygulanmakta. Derin çekme simulasyonları dairesel bir kap örneği kullanılarak SE kodlarıyla yapıldı. Beş farklı zımba yer değiştirmesi ile optimum gerekli pot çemberi kuvveti doğrulandı. Bu yöntemle basit ve uygulaması kolay olan özellikle zımba radyüsü gibi kritik yerlerde kalınlık dağılımı sonuçlarında önerilen strateji çok iyi sonuçlar vermektedir.

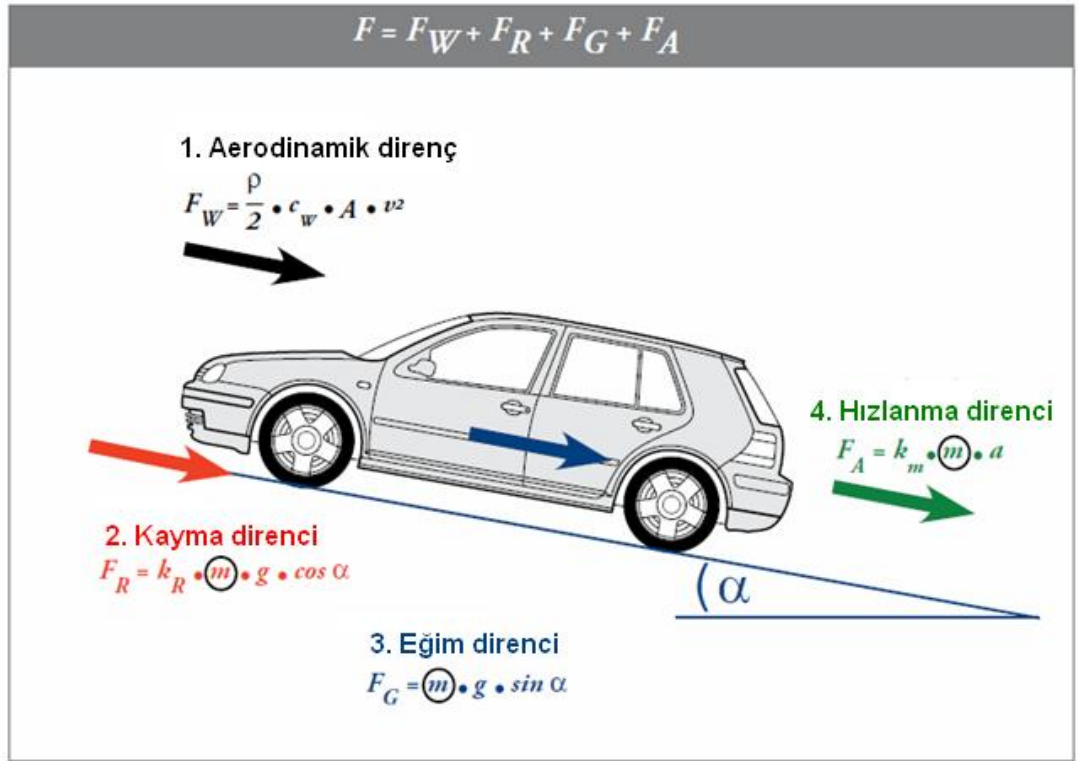
Bolt, Lamboo ve Rozier (2001) yaptıkları çalışmada bir alüminyum alaşımını farklı ısı değerlerine ısıtıp çekme yüksekliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre, alüminyum alaşımından (5754-O), oda sıcaklığında (20 C°), 100 C°, 175 C°, 250 C° çekilmiş dikdörtgen konik bir kap davranışları deneysel olarak analiz edilmiştir. Maksimum kap yüksekliği, sürtünme olmadan sağlanmış ve bu şekilde karşılaştırılmıştır. Bu kapların yükseklikleri; 35mm, 38 mm, 38mm ve 60mm sırasıyla 20 C° derece, 100 C°, 175 C° ve 250 C° ısıları içindir. Bu çalışmanın sonucunda, 20 C° ve 175 C° kap yüksekliklerinin sadece 3mm çekme yüksekliğini arttırabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, 250 C° de ise kap yüksekliği büyük bir artış göstererek 60 mm ye çıktığını saptamışlardır.

Müller Weingarten firması (1999) zımba ile sac hidro şekillendirme yöntemini kullanarak 3500 ton basınca sahip hidrolik presler ürettiler. Bu preslerde otomobil gövde parçalarının üretimlerinin yapılabildiğini tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Giriş

Araç ağırlığı direkt olarak yakıt tasarrufunu etkilemektedir. Çünkü aerodinamik direnç dışında bir aracı hareket ettirebilmek için enerjiye gerek vardır ve bu da ağırlığıyla direkt orantılıdır. (Şekil 3.1.) Bu yüzden araçlarda hafifletme çalışmalarına gidilmektedir. Araçlarda hafifletme konusuna gelindiğinde ise alüminyum ve magnezyum alaşımlarına sahip parçalardan oluşan gövdelerin kullanımları söz konusu olmaktadır. Burada öncelikle bu alaşımların tanımlanması ve sınıflandırılması yapılacaktır.



Şekil 3.1. Direnç kuvvetleri

Kaynak : European Aluminum Association, Aluminum in cars, 2008

Bir yolcu aracında ortalamada 100 kg lık kütle kazancı :

- 100 km de 0.35 litre yakıt
- Araç egzozundan km başına 9 gram CO₂

Yakıt üretim ve tedarikini de ekleyecek olursak bir yolcu aracında 100 kg lık kütle kazancı:

- Km başına 10 gram CO₂ kazancı anlamına gelmektedir. (European Aluminum Association, 2008)

3.2. Otomobillerde En Çok Tercih Edilen Alaşımalar

Otomobil endüstrisinde en çok tercih edilen alaşımların başında alüminyum ve magnezyum alaşımları gelmektedir. Bu alaşımlar düşük yoğunluklarıyla ön plana çıkmaktadırlar. 2.7 gr/cm^3 ile çeliğin üçte biri yoğunluğa sahip alüminyum ile yine 1.74 gr/cm^3 yoğunluk ile çeliğin dört buçukta biri yoğunluğa sahip magnezyum alaşımlarının kullanımları söz konusudur.

3.2.1. Alüminyum Ve Alaşımları

Alüminyumun, yerkabuğundaki yaklaşık olarak %8 civarındaki içeriğiyle oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına karşın, varlığı 1808 yılında İngiliz Sir Humphry Davy tarafından tespit edilmiş ve ticari anlamda üretim teknolojisi ancak 1886 yılında Paul Louis Toussaint Héroult (Fransa) ve Charles Martin Hall (ABD) tarafından, aynı anda geliştirilmiştir ve Hall - Héroult adını alan bu temel proses günümüzde halen kullanılmaktadır. (Mathers 2002)

Alüminyumun sahip olduğu özelliklerin birleşimi onu son derece faydalı bir mühendislik malzemesi haline getirir. (Smith 2001) Yüksek saflıkta rafine alüminyumdan, en kompleks alaşımlara kadar; fiziksel ve mekanik özelliklerdeki geliştirilebilen çeşitlilik olağanüstüdür, bu nedenle alüminyumun kullanım alanları oldukça geniştir. (Anonim 2004) Alüminyum yaklaşık 110 yıl gibi kısa bir sürede, demir-çelikten sonra, çağımızın en çok kullanılan ikinci metali olmuştur. (Anonim 2004)

Avrupa Alüminyum Birliği alüminyum üreticileri için en büyük kullanım sektörünün taşımacılık olduğunu bildirmektedir. Burada özellikle otomobiller, hava taşıtları ve gemi sektörü en önemli kullanım alanlarıdır.

3.2.1.1. Alüminyumun Özellikleri

Periyodik cetvelin III-A gurubunda bulunan ve atom numarası 13, atom ağırlığı 26.89 ve +3 değerlikli bir element olan alüminyumun $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'taki yoğunluğu 2.7 gr/cm^3 , ergime noktası 659.8°C , kaynama noktası 2450°C , ısınma ısısı 0.224 Cal/gr (1000°C 'ta), erime ısısı 400 Cal/gr , $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'taki elektriksel iletkenliği bakırın %65'i, ısıl iletkenliği 0.5, ışık yansıtılabilirliği %90 olup; bu özellikler alaşım elementleri katılarak büyük ölçüde değiştirilebilmektedir. (Anonim 2004)

Düşük yoğunluğu nedeniyle, alüminyum özellikle taşıt parçaları yapımında tercih edilir. Saf haldeki alüminyumun düşük dayanımına rağmen, alaşımlandırma ile dayanımı 690 Mpa'ya kadar çıkarılabilir. Böylece demire yakın bir dayanım elde edilerek, bu özellikten ödün vermeden aracın ağırlığını azaltmak ve yakıt tüketimini düşürmek, buna karşın yük kapasitesini arttırmak mümkün olmaktadır. (Anonim 2004)

Alüminyumu diğer metallere avantajlı kılan bir diğer özelliği, yüzeyinde meydana gelen sağlam oksit filmi nedeniyle, doğal ortamların çoğuna karşı iyi bir korozyon direnci göstermesidir. (Anonim 2004)

3.2.1.2. Alüminyumun Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarını iki ana kategoride incelemek mümkündür. Dövme alaşımları ve döküm alaşımları. Her kategorinin kendi içinde sınıflandırılması, malzeme özelliklerinin geliştirilmesinin ana mekanizmasına dayanır. Birçok alaşım, faz çözünürlüğüne bağlı ısıtılma yanıt verir. Bu işlemler çözeltili alma, su verme, ve yaşlandırmayı içerir. Hem döküm, hem de dövme alaşımları için, bu tür alaşımlar ısıtılma işlemi uygulanabilir olarak nitelendirilmektedir.

Diğer dövme alaşımlarının çoğunun özelliklerinin geliştirilmesi, genellikle çeşitli tavlama prosedürlerinin takip ettiği, mekanik operasyonlar vasıtasıyla soğuk işlenmesine dayanır. Bazı döküm alaşımları da ısıtılma işlemine cevap vermezler ve bunlar ya döküldüğü şekilde ya da, çözeltili alma veya çökeltmenin etkilerini sağlamayan bir modifikasyon uygulanmış halde kullanılır. Bu tür alaşımlara genel olarak ısıtılma işlemi uygulanamaz alaşımlar denilmektedir. (Anonim 2004)

Alüminyum alaşımları için temper işaretleri alaşım tasarımlarını takip eder ve bir tireyle ayrılır (örneğin, 1100-O). Ana temper işleminin alt grubu, harfle belirtilen ana temperi izleyen ek rakamlar ile belirtilir (örneğin, 1100-H14).

3.2.1.3. Alüminyumun Temper İşaretleri

F – Üretildiği gibi. Deformasyon sertleştirmesinin miktarı üzerinde bir denetim yok; mekanik özellikler sınırlaması yok.

O – Tavllanmış ve yeniden kristalleşmiş. En düşük dayanım ve en yüksek süneklik için temperlenmiş.

H – Deformasyon sertleştirmesi yapılmış (aşağıda verilen alt bölümler kısmına bakınız).

T – F ve O' dan başka kararlı temperler için ısıtılma işlemi görmüş (alt bölümler için aşağıya bakınız). (Anonim 2004)

3.2.1.4. Alüminyumun Isıl İşlem Alt Bölümleri

T1 – Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış.

T2 – Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış.

T3 – Çözündürme uygulanmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal olarak yaşlandırılmış.

T4 – Çözündürme uygulanmış ve doğal olarak yaşlandırılmış.

T5 – Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş ve yapay olarak yaşlandırılmış.

T6 – Çözündürme uygulanmış ve yapay olarak yaşlandırılmış.

T7 – Çözündürme uygulanmış ve aşırı yaşlandırma ile kararlı hale getirilmiş.

T8 – Çözündürme uygulanmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış.

T9 – Çözündürme uygulanmış, yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş.

T10 – Fabrikasyon sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış. (Anonim 2004)

3.2.1.5. Alüminyum Dövme Alaşımları

Dövük halde üretilen alüminyum alaşımları (yani sac, levha, darçıkım, çubuk, tel) içerdikleri ana alaşım elementlerine göre sınıflandırılır. A.B.D. Alüminyum Derneği'ne göre bu alaşımları tanımlamak için dört rakamlı bir işaret kullanılır. İlk rakam belirli alaşım elementlerini içeren alaşım grubunu belirtir. Son iki rakam alüminyum alaşımını tanımlar veya 1xxx serisi için alüminyumun saflığını belirtir. İkinci rakam başlangıçtaki alaşım üzerinde yapılan değişiklikleri veya katışık sınırlarını belirtir. Çizelge 3.1.de bu alaşım grupları görülmektedir. (Anonim 2004)

Otomotiv alanında yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında, taşıtlardan daha yüksek yakıt verimliliğinin elde edilmesi, enerji tüketiminin azaltılması ve hava kirliliğinin önlenmesi konularındaki çalışmalar önem kazanmıştır. Zaten dünya enerji kaynaklarının ve ekolojik dengenin korunması da dünya ülkelerinin gündemine girmiş olup, bunun için çok sistematik çalışmalar yapılmaktadır. Yakıt tüketimini azaltmak için, otomotiv endüstrisinin mutlaka hafif, fakat aynı zamanda güvenilir malzeme kullanması zorunludur. Bu kapsamda özellikle otomobil üretiminde ağırlıktan azalma slogan haline gelmiştir. (Anonim 2004)

Çizelge 3.1. Dövme alüminyum alaşım grupları

Alaşım grubu	Alaşım elementleri ve Yaşlandırılabilirlik
1xxx	En az %99.00 içeren saf alüminyum Yaşlandırılmaz
2xxx	Ana alaşım elementi bakır olan, özellikle magnezyum gibi başka elementlerde içerebilen alaşımlar Yaşlandırılabilir
3xxx	Ana alaşım elementi mangan olan alaşımlar Yaşlandırılmaz
4xxx	Ana alaşım elementi silisyum olan alaşımlar Mg varsa Yaşlandırılabilir
5xxx	Ana alaşım elementi magnezyum olan alaşımlar Yaşlandırılmaz
6xxx	Ana alaşım elementleri magnezyum ve silisyum olan alaşımlar Yaşlandırılabilir
7xxx	Ana alaşım elementi çinko olan, bakır, magnezyum, krom ve zirkonyum gibi elementler de içerebilen alaşımlar Yaşlandırılabilir
8xxx	Kalay ve bazı lityum bileşimlerini de içeren çeşitli bileşimlerdeki alaşımlar
9xxx	Kullanılmayan dizi

Kaynak: Anonim 2004

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 da % 30' luk bir azalma elde edilecektir. (Anonim 2004)

3.2.2. Magnezyum Ve Alaşımları

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

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

Magnezyum dünyada özellikle otomobil endüstrisindeki potansiyeli ile dikkat çekmekte ve magnezyum üretiminde büyük kapasite artışları yaşanmaktadır. Büyük otomobil üreticileri magnezyum üretimi için yeni anlaşmalar ve yatırımlar yapmaktadır. Magnezyum, üretim sürecindeki problemleri çözüldüğü ve güvenilir bir malzeme olduğu takdirde geleceğin yüksek teknoloji malzemesi olarak konstrüksiyonlarda yerini alacaktır. (Atalay 2006)

3.2.2.1. Magnezyumun Özellikleri

Periyodik cetvelin II-A gurubunda bulunan ve atom numarası 12, atom ağırlığı 24.3 ve +2 değerlikli bir element olan magnezyumun 20 °C'teki yoğunluğu 1.74 gr/cm³, ergime noktası 650 °C, kaynama noktası 1103 ±8 olup, çelik gibi diğer konstrüksiyon metallerine göre dökümde ve talaşlı imalatta önemli kolaylıklar sağlamaktadır.

Çizelge 3.2. Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik (20°C)	Magnezyum	Alüminyum
Atom numarası	12	13
Atom ağırlığı	24.3	26.98
Kafes tipi	SPH	YMK
Ergime noktası (°C)	650	659
Kaynama noktası (°C)	1103 ±8	2447
Yoğunluk (gr/cm ³)	1738	2699
Elektrik iletkenliği (m/ΩK)	22.6	37.6
Isıl iletkenlik (W/m.K)	154	222
Özgül ısı kapasitesi (J/kg.K)	1047	930
Ort.ısı gen. Kats (µm/m.°C)	(0-100°C)26	(0-100°C)23.86
Elastisite Modülü 10 ³ N/mm ²	44.5	69.6

Kaynak: Atalay, Magnezyum ve alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak otomotivde kullanımı, 2006

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

Otomotiv endüstrisinde kullanılabilen malzemeler arasında plastiklerle karşılaştırıldığında daha katı ve daha çok geri dönüşümü mümkün, alüminyum ve çelik ile karşılaştırıldığında çok daha hafif ve yeterli dayanıma sahip magnezyum metalinin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.2. de alüminyum ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

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

Çizelge 3.3. Tasarıma uygunluk açısından magnezyum

Özellik	Mevcut Durum
Hafiflik	+
Özgül dayanım	+
Rijitlik	+
Geri dönüşüm	+
İşlenebilirlik	+
Dökülebilirlik	+
Sönümleme	+
Elde edilebilirlik	+
Korozyon Öz.	-
Sürtünme direnci	-
Yorulma direnci	-
Tutuşma	-

Kaynak: Atalay, Magnezyum ve alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak otomotivde kullanımı, 2006

Magnezyum alaşımları hafiflikleri, yüksek özgül dayanım ve rijitlikleri, iyi sönümleme, dökülebilme ve işlenebilme karakteristikleri sayesinde konstrüksiyon malzemesi olarak kendilerine farklı kullanım alanları bulabilmektedir. Alaşımların korozyon, sürtünme ve yorulma dirençleri ise genel olarak geliştirilmesi gereken özelliklerdir. Bunlar içerisinde yorulma direnci üzerinde daha fazla çalışılması gereken karakteristik olarak dururken, korozyon ve sürtünme

özellikleri açısından başarılı bazı alaşımlar geliştirilmiş olup, otomotivde de kullanılmaktadır. (Atalay 2006)

3.2.2.2. Magnezyumun Kısa Geçmişi

Magnezyum uygun karakteristikleri sayesinde birçok sektörde kullanılabilir bir metaldir. Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe hafifliği dolayısıyla tercih edilir. Ancak bu koşulların sağlanabilmesi de kolay olmamış, alüminyuma göre daha maliyetli olmasından dolayı magnezyumun kabul görmesi uzun zaman almıştır. Devamında düşen maliyetler neticesinde magnezyum da endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır. (Atalay 2006)

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

Magnezyum bol miktarda bulunan bir metal olmasına karşın az miktarlarda üretilmektedir.

3.2.2.3. Magnezyumun Sınıflandırılması

Genelde magnezyum alaşımları döküm alaşımlar ve dövme alaşımlar olarak ikiye ayrılabilir. Magnezyum döküm alaşımları kum ve kalıp döküm alaşımları olarak, dövme alaşımlar ise şerit, plaka ekstrüzyonlar ve dövmeler olarak alt bölümlere ayrılabilir. Bazı alaşım ürünlerine ısıtma işlemi uygulanırken, diğerlerine uygulanmaz. ABD’ de magnezyum alaşımları genellikle iki büyük harfi takip eden iki veya üç numara ile tanımlanır. Harfler, alaşımda iki ana alaşım elementi ile ilgilidir. İlk harf en yüksek konsantrasyonu, ikinci harf ikinci yüksek konsantrasyonu gösterir. Harfleri takip eden ilk numara, ilk harf elementinin ağırlıkça yüzdesi (yalnız iki numara varsa) ve ikinci numara da ikinci harf elementinin ağırlıkça yüzdesidir. A,B gibi harfler numaraları takip ederse bu, genellikle impurite seviyelerinde alaşım için A, B gibi bir modifikasyonu gösterir.

- Örn: AZ91D

- Bu tanım magnezyum alaşımının nominal %9 alüminyum ve %1 çinko içerdiğini göstermektedir ve alaşım D modifikasyonudur. (Atalay 2006)

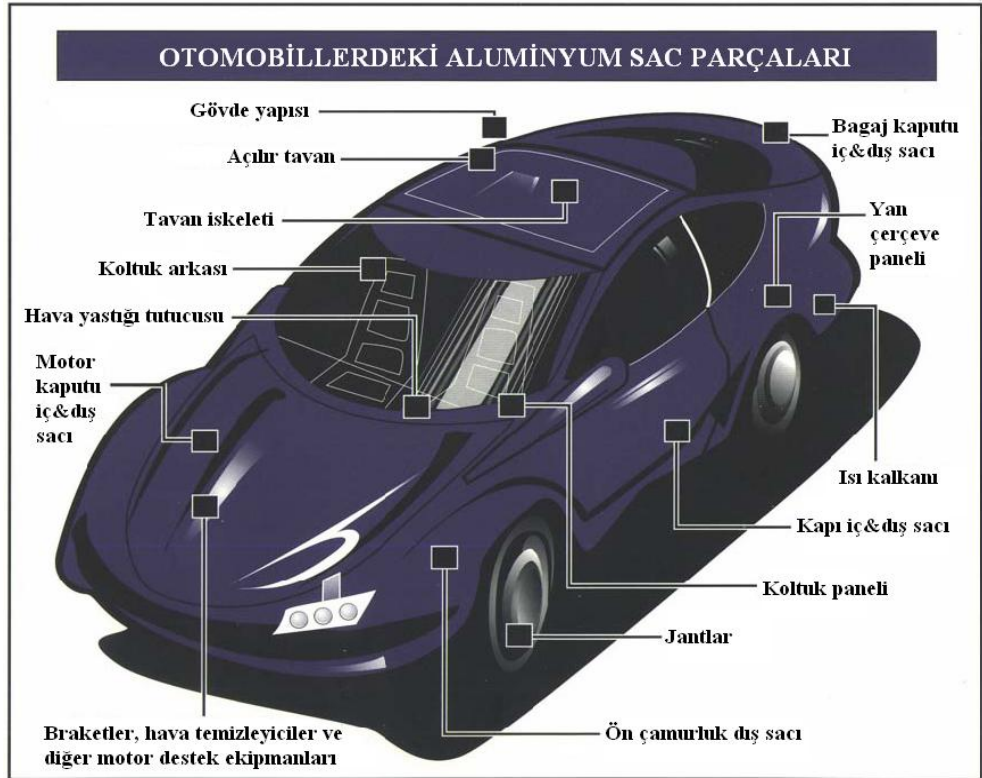
3.2.2.4. Magnezyum Metali Ve Tasarım

Günümüzde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde magnezyum en hafif olanıdır. Hafiflik bakımından en büyük rakibi de alüminyumdur. Magnezyum, yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastıklere benzetilirken, bu malzeme bir metalin mekanik özelliklerine sahiptir. Magnezyumun 1.74 gr/cm³' lük yoğunluğu, alüminyuma göre %33, demir ve çeliğe göre %75 daha düşüktür. Hafiflik aynı zamanda, imalat sırasında parçanın daha kolay taşınması ve bitmiş ürünün daha ucuza sevk edilmesi demektir.

3.3. Alüminyum Sacların Otomobillerdeki Kullanım Alanları

3.3.1. Giriş

Bu bölümde Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya ekseninde araçlarda alüminyum alaşımli sacların nerelerde kullanıldığını incelenmektedir. Daha sonra araçlarda kullanılan alüminyum parçalara yer verilmiştir.








Şekil 3.2. Otomotivdeki Alüminyum sac parçaları

Kaynak: Aluminum Association At3, Aluminum for automotive body sheet panels, 1998

Çizelge 3.4. de Avrupa’da araç hafifletme çalışmalarından bir kesit verilirken, Çizelge 3.5. de Kuzey Amerika’da alüminyum sacların kullanım alanları, Çizelge 3.6. da ise Japonya’daki otomobillerin açılır-kapanır panellerinde alüminyum örnekleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Avrupa’da araç hafifletme çalışmaları

Alüminyum Uygulaması	Alüminyum Oranı	Alüminyum Oranı			Alüminyum Kullanım Sebepleri
		Avrupa	K.Amerika	Asya	
Motor Kaputları		18%	8%	3%	Ağırlık Azaltımı Sürücü Dinamikleri Yaya güvenliği
Çamurluklar		4%	1%	< 1%	Ağırlık Azaltımı Yaya güvenliği
Kapılar & Bagaj kaputu		2%	1%	< 1%	Ağırlık Azaltımı Sürücü Dinamikleri
Gövde ön burun		2%	0%	2%	Ağırlık Azaltımı Yaya güvenliği Ön aks yükü
Tavanlar (Açılır tavanlar dahil)		< 1%	0%	< 1%	Ağırlık Azaltımı Sürücü Dinamikleri

Artan Karmaşıklık

Kaynak : European Aluminum Association, Aluminum in cars, 2008

Çizelge 3.5. Kuzey Amerika’da alüminyum sacların kullanım alanları

ARAÇ	PARÇA(LAR)	ALAŞIM	NET PARÇA AĞIRLIĞI
GM EV1	GÖVDE YAPISI	5754	200 Pounds
OLDSMOBILE AURORA	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	23 Pounds
BUICK RIVIERA	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	23 Pounds
BUICK PARK AVENUE	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	25 Pounds
BUICK LESABRE	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	20 Pounds
CADILLAC DEVILLE	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	23 Pounds
CADILLAC SEVILLE	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	23 Pounds
PONTIAC BONNEVILLE	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	21 Pounds
OLDSMOBILE ANTHEM	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	20 Pounds
OPEL SINTRA	M.KAPUT PANELİ	6111	6 Pounds
OPEL SINTRA	M.KAPUT İSKELETİ	2008	11 Pounds
OLDSMOBILE SILHOUETTE	M.KAPUT PANELİ	6111	6 Pounds
OLDSMOBILE SILHOUETTE	M.KAPUT İSKELETİ	2008	11 Pounds
PONTIAC TRANS SPORT	M.KAPUT PANELİ	6111	6 Pounds
PONTIAC TRANS SPORT	M.KAPUT İSKELETİ	2008	11 Pounds
CHEVROLET VENTURE	M.KAPUT PANELİ	6111	6 Pounds
CHEVROLET VENTURE	M.KAPUT İSKELETİ	2008	11 Pounds
CHEVROLET/GMC SUBURBAN	EN ARKA KALKAN KAPI PANELİ	6111	15 Pounds
CHEVROLET/GMC SUBURBAN	EN ARKA KALKAN KAPI İSKELETİ	5182	9 Pounds
CHEVROLETTAHOE	EN ARKA KALKAN KAPI PANELİ	6111	15 Pounds
CHEVROLETTAHOE	EN ARKA KALKAN KAPI İSKELETİ	5182	9 Pounds

GMC DENOLI	EN ARKA KALKAN KAPI PANELİ	6111	15 Pounds
GMC DENOLI	EN ARKA KALKAN KAPI İSKELETİ	5182	9 Pounds
PLYMOUTH PROWLER	GÖVDE YAPISI	5454	165 Pounds
PLYMOUTH PROWLER	GÖVDE YAPISI	6022	20 Pounds
PLYMOUTH PROWLER	M.KAPUTU PANELİ VE İSKELETİ	6022	42 Pounds
PLYMOUTH PROWLER	KAPI PANELİ VE İSKELETİ	6022	15 Pounds
PLYMOUTH PROWLER	TAVAN PANELİ VE İSKELETİ	6022	28 Pounds
CHRYSLER CONCORDE	M.KAPUTU PANELİ	6111	7.5 Pounds
CHRYSLER CONCORDE	M.KAPUTU İSKELETİ	6022	7.5 Pounds
CHRYSLER LHS	M.KAPUTU PANELİ	6111	7.5 Pounds
CHRYSLER LHS	M.KAPUTU İSKELETİ	6022	7.5 Pounds
LINCOLN LS (DEW 98)	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	21 Pounds
LINCOLN LS (DEW 98)	ÇAMURLUKLAR	6111	3 Pounds
LINCOLN LS (DEW 98)	TAVAN PANELİ VE İSKELETİ	6111	13 Pounds
LINCOLN TOWN CAR	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	23 Pounds
FORD F150 TRUCK	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	22.7 Pounds
FORD F250	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	22.7 Pounds
FORD RANGER	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	18.7 Pounds
FORD EXPEDITION	M.KAPUT PANELİ VE İSKELETİ	6111	22.7 Pounds

Kaynak: Aluminum Association At3, Aluminum for automotive body sheet panels, 1998

Ford Kuzey Amerika'da Nisan 2010 tarihi itibariyle aşağıda modelleri belirtilen araçlarda yılda 40 milyon Lbs. den fazla alüminyum gövde sacı kullanmakta. Bunlar :

- Lincoln Town : Motor Kaputu
- Lincoln LS : Motor Kaputu, Çamurluklar, Bagaj Kaputu

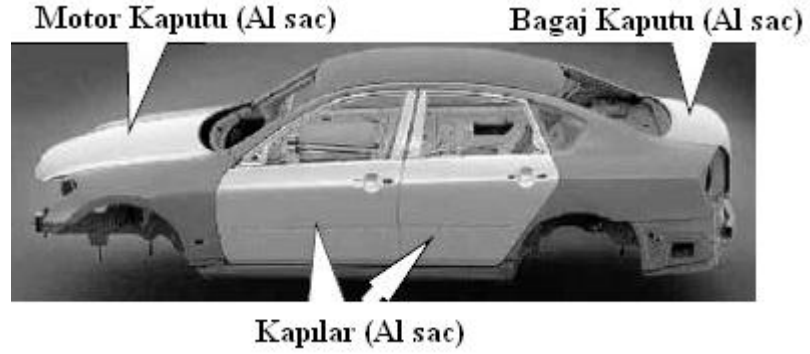
- Ranger : Motor Kaputu
- F Serisi : : Motor Kaputu
- Expedition : Motor Kaputu (Sherman 2000)

Çizelge 3.6. Japonya'daki otomobillerin açılır-kapanır panellerinde alüminyum örnekleri

Araç üreticisi	Model	Uygulanan parçalar
TOYOTA	CROWN	Motor Kaputu
	CROWN MJ	Motor Kaputu
	PRIUS	Motor Kaputu, Arka Kapı
TOYOTA (LEXUS)	LS	Motor Kaputu
	GS	Motor Kaputu
	SC	Motor Kaputu, Tavan
	IS	Motor Kaputu
DAIHATSU	COPEN	Motor Kaputu, Tavan
NISSAN	FUGA	Motor Kaputu, Kapı, Bagaj Kapağı
	CIMA	Motor Kaputu, Bagaj Kapağı
	SKYLINE	Motor Kaputu
	STAGEA	Motor Kaputu
	FAIRLADY Z	Motor Kaputu
SUBARU	LEGACY	Motor Kaputu, Arka kapı
	INPRESSA	Motor Kaputu
	FORESTER	Motor Kaputu
MAZDA	RX-8	Motor Kaputu, Arka kapı
	ROADSTER	Motor Kaputu, Bagaj kapağı
HONDA	LEGEND	Motor Kaputu, Bagaj kapağı, Ön çamurluk
	S2000	Motor Kaputu
MITSUBISHI	LANCHER	Motor Kaputu, Tavan, Bagaj Kapağı
	EVO.	
	PAJERO	Motor Kaputu
	AUTORUNDER	Tavan

Kaynak : SAKURAI, The Latest Trends in Aluminum Alloy Sheets for Automotive Body Panels, 2008

Japonya’da ilk kez 1985 yılında Mazda RX-7 modelinde alüminyum alaşımlı sac gövde panelinde (motor kaputu dış sacı) uygulandı. O zamandan bu yana, 1990 ların başlarına kadar alüminyum paneller, daha çok spor ve lüks sedanlar da kullanıldı. Honda Motor Ltd, dünyada ilk kez tüm gövdesi alüminyum olan NSX i sundu. Daha sonra, ekonomideki çöküş, alüminyum panellerin yeni modellerdeki uygulamasını azalttı, fakat 1999 da dünya çapında çevre sorunları yeniden alüminyum panellerin kullanılmasına sebep oldu. Çizelge 3.6. 2006 yılında Japonya’da alüminyum paneller kullanan araç modellerinin listesini vermekte. Çok yakın geçmişte, alüminyum paneller, daha geniş olarak çeşitli modellerde Toyota Crown, Toyota Prius, Subaru Legacy, Nissan Fuga (Infiniti M35/M45 Şekil 3.3.) ve Nissan Skyline (Infiniti G35) kullanıldı. Bir çok alüminyum paneller motor kaputları için kullanıldı. En son modeller, alüminyum panelleri bagaj kapağı, arka kapılar ve tavanlar içinde kullanmakta. (Sakurai 2008)



Şekil 3.3. Gövde panellerinde Alüminyum uygulaması örneği Nissan Fuga

Kaynak : Sakurai, The Latest Trends in Aluminum Alloy Sheets for Automotive Body Panels, 2008

Avrupa’da otomotivde alüminyumun kullanımı 2000-2002 yılları arasında keskince arttı. Alüminyum alaşımlı paneller şimdilerde, her yıl 2.5 milyondan fazla araçta kullanılmakta. Renault Clio, yüksek üretim miktarına sahip bir model ve motor kaput paneli alüminyum alaşımdan yapılıyor ve her ay yaklaşık 40.000 araç üretiliyor. Yüksek üretim miktarına sahip modellere diğer örnekler, Mercedes-Benz E serisi ve BMW 5 serisi dir ve her iki model ayda 20.000 den fazla araç üretmektedir. Ayrıca, alüminyum alaşımlı panellerin kullanımı bu araçlarda büyümekte. Örneğin BMW 5 serisi, alüminyum gövdesi, panelleri ile ön direğin tamamı alüminyumdandır. Audi 1992 yılında tamamı alüminyum gövdeli uzay çatı yapılı aracı A8’i sundu ve bu alüminyum panellerin otomobiller için kullanımında önde gelenlerden biri olarak sayıldı. (Sakurai 2008)

Çizelge 3.7. alüminyum alaşımlı sacların otomotiv panellerindeki gelişim tarihini göstermekte. Japonya’da Al-Mg alaşımlarına çok az Zn eklenmesiyle alüminyum alaşımlı saclar

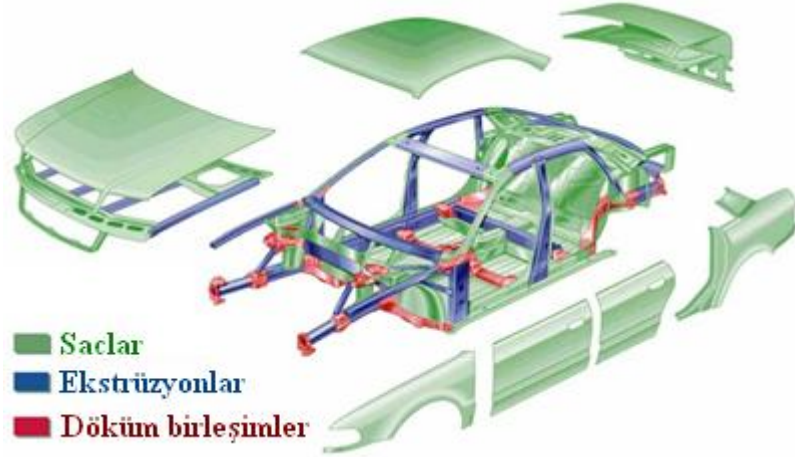
1985 yılında ilk kez kullanılmaya başlandı. Aşağı yukarı aynı zamanda Avrupa Birliği'nde ve Birleşik Devletlerde herhangi bir 2000 serisi (Al-Cu) alaşım veya 6000 serisine (Al-Mg-Si) çok az Cu eklenmesiyle alaşım istenen amaçta kullanıldı. Bugünlerde, gereksinimlerle otomotiv panelleri farklılaşmakta, 6000 serisi (Al-Mg-Si) alaşımlar, 5000 serisi (Al-Mg) alaşımlarının bazıları hariç tüm dünyada büyük bir çoğunlukla kullanıldı. Bu malzeme özellikleri gereksinimleri için şimdi sadece mukavemet ve şekillendirilebilmeyi değil, korozyon direnci, kenetleme şekillenebilirliği, yüzey karakteristikleri ve kaynaklanabilirliği de kapsamalı. (Sakurai 2008)

Çizelge 3.7. Alüminyumlu sacların otomotiv panellerindeki gelişim tarihi

	1985 – 1990	1990 – 1998	1999 - 2005
JAPONYA	*Al-Mg serisi alaşım *Yüksek mukavemet *Yüksek şekillendirilirlilik	*Al-Mg serisi alaşım AA5022, AA5023 *Al-Mg-Si serisi alaşım *Yüksek fırınlanabilirlik *Yüksek şekillendirilebilirlik	*Al-Mg-Si serisi alaşım *Yüksek fırınlanabilirlik *Yüksek şekillendirilebilirlik *Kenetleme *Al-Mg Serisi alaşım
A.B.D. & A.B.	*Al-Cu serisi alaşım AA2036, AA2008 *Al-Mg-Si serisi alaşım AA6009, AA6010	*Al-Mg-Si serisi alaşım AA6022, AA6016 *Al-Mg-Si serisi alaşım AA6111	*Al-Mg-Si serisi alaşım AA6022, AA6016

Kaynak: Sakurai, The Latest Trends in Aluminum Alloy Sheets for Automotive Body Panels, 2008

Ducker Araştırma şirketi tarafından yayınlanan 1999 Kuzey Amerika Otomotiv ve Hafif Kamyon Üreticileri Alüminyum içerik raporuna göre, tüm otomotiv uygulamalarında kullanılan alüminyumun %75'ini aktarma organları ve eşanjörler oluşturmaktadır. 1999 model yılı için, Kuzey Amerika'da kullanılan otomotiv alüminyumunun miktarı toplam 1,723,651 tondur. (<http://www.findarticles.com> 2010)



Şekil 3.4. Audi A8 de Al gövde ve yarı malzeme dağılımı

Kaynak : <http://www.keytometals.com> 2010

Ducker'ın raporuna göre, binek araç ve hafif kamyon içeriklerinin %61.9'u, motor blokları, silindir başları ve manifoldlar gibi döküm aktarma organlarından oluşmaktadır. Diğer %13, alüminyum radyatör gibi eşanjörler tarafından kullanılmaktadır. Diğer uygulamalar, tekerlek, iç ve dış trim parçaları, şasi ve süspansiyonlar; şasi kolları, açılır-kapanır paneller, daha ziyade gövde yapıları (Şekil 3.4.) ve motor kaputları (Şekil 3.5.) en çokta radyatör desteklerini kapsayan ekstrüzyonlardır. (<http://www.findarticles.com> 2010)

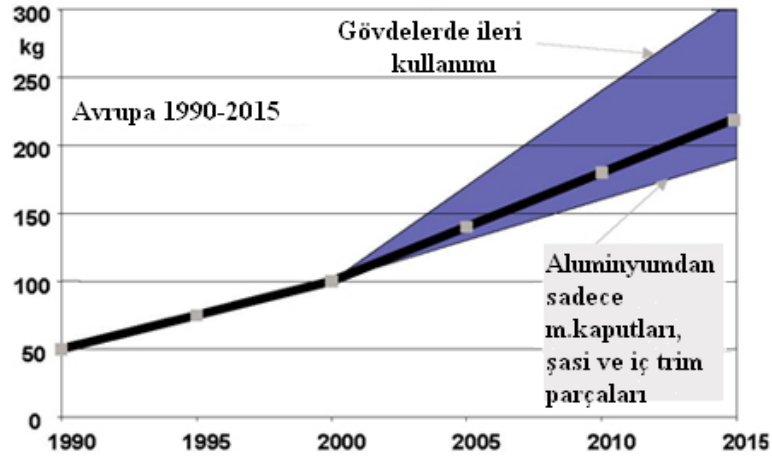


Şekil 3.5. S – sınıfı Mercedes'te kullanılan alüminyum parçalar

Kaynak : <http://www.keytometals.com> 2010

Aluminyum derneği, ortalama bir Kuzey Amerika'lı aracın %75'i döküm olmak üzere 113 kg aluminyum içerdiğini tahmin etmektedir. Halen daha büyük oranda yüksek mukavemetli çelik sacın gövde ve açılır-kapanırlarda kullanılmakta iken gövde yapımında kullanılan aluminyum sac ise % 2 'nin altında kalmaktadır. (<http://www.findarticles.com> 2010)

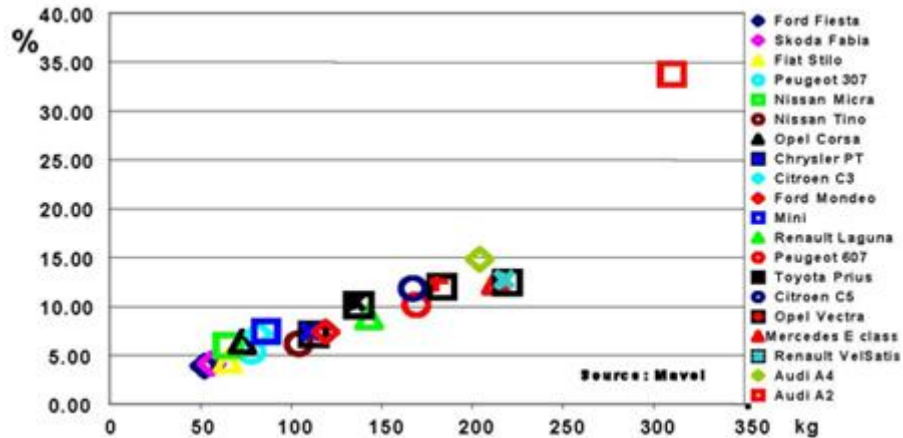
Avrupa otomotiv endüstrisinin, dünya çapında teknik olarak en ileri ve en yenilikçi olduğu bilinmektedir. Son on yılda bilinen sebeplerden dolayı konstrüksiyonlarda ve otomobil tasarımında modifiyeli aluminyumun kullanımı artmıştır veya yeni alaşımlar geliştirilmiştir. (<http://www.findarticles.com> 2010)



Şekil 3.6. Batı Avrupa'da araç başına aluminyumun ortalama kullanımı

Kaynak : <http://www.keytometals.com> 2010

Son on yıl boyunca, Avrupa otomotiv endüstrisinde binek araçlarda aluminyum kullanımı miktarı iki katından fazlasına çıkarıldı ve (Şekil 3.6.) gelecek yıllarda bundan daha da fazla olacaktır.



Şekil 3.7. Avrupa'daki bazı araçlarda aluminyumun kullanım oranları

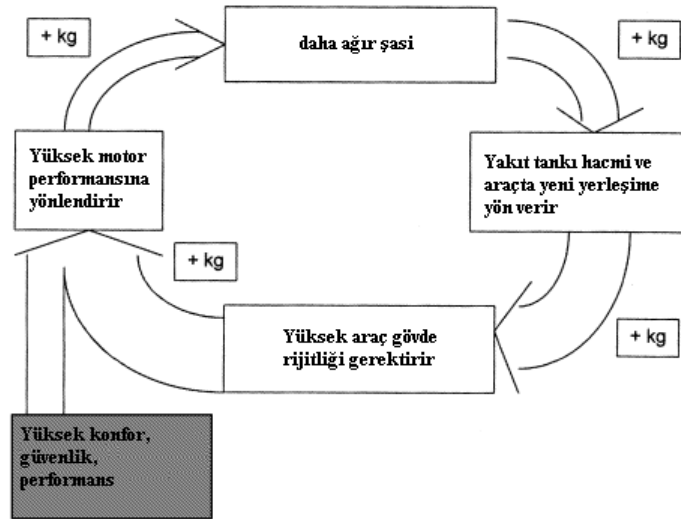
Kaynak : <http://www.keytometals.com> 2010

2000 yılında batı Avrupa'da 59 kg ı motor parçaları, 11 kg ı yapısal parçalar, 6 kg ı şasi uygulamaları ve 5 kg ı gövde parçaları olmak üzere (21 kg ı diğerleri) ortalama 102 kg lık alüminyum kullanıldı. Gelecek on yılda, mevcut gelişmelere göre Avrupa'daki binek araçlarda bu malzemenin yeni nesil modeller ve yenilikçi alüminyum konseptlerle iki katından daha fazla kullanılacağı hesaplanmaktadır. Daha detaylı bir analiz Şekil 3.7. de gösterilmektedir. (<http://www.keytometals.com> 2010)

3.4. Hafif Metal Alaşımları Kullanılarak Otomobil Gövdelerinin Oluşturulması

3.4.1. Giriş

Araç endüstrisi müşterilerin artan güvenlik ve performans talepleri karşısında çok önemli ağırlık problemi ile karşı karşıya gelmektedir. Bu trend, tüm sınıflardaki tam donanımlı araçların daha lüks ve konforlu olmasına yol göstericiliği yapmaktadır. Şimdilerde, küçük araçlar bile sık sık hidrolik direksiyon ve havalandırma sistemlerini standart olarak kullanmakta. Müşteriler, yolcu güvenliği için daha fazla dikkat göstermekte ve daha güçlü, rijit gövdelere önem vermekteler. Bu sırayla, aracın performansını sağlamak amacıyla, daha güçlü motor ve aktarma organları gerektirmektedir. Daha güçlü motor, daha ağır şasi ve yine daha büyük yakıt tankı ile beraberinde daha yüksek rijitlikte araç gövdesi gerektirmektedir. Sonuç olarak, tüm otomobil sınıfında her bir yeni model (Şekil 3.8.) daha ağır olmakta. (Carle, Blount 1999)



Şekil 3.8. Yüksek müşteri taleplerinin etkisi

Kaynak: Carle, Blount, The suitability of aluminium as an alternative material for car bodies,

Bu kötü çemberden kaçmak için araç üreticileri hafif ağırlıklı konseptlere doğru bir aksiyon almaları konusunda zorlanmaktalar. Araç gövdeleri bir aracın toplam ağırlığının % 25 ini oluşturmaktadır ve bu çemberi kırmak için uygun bir yoldur. Hafif metallerin, kararlı bir şekilde gövde ağırlıklarını azaltmak konusunda gelecek vaat ettikleri görülmektedir. Otomobil endüstrisinde alüminyum ve magnezyum gibi metallerin kullanımındaki artış geliştirmeler için hala geniş bir faaliyet alanı bulunduğunu göstermektedir. Şimdilerde, genel uygulama alanları şasi ve açılır-kapanır sac parçalardadır. Audi A8, Honda NSX veya Lotus Elise gibi bazı araç üreticileri, araç gövdelerini bile tamamen alüminyumdan tasarlamaktadırlar. (Carle, Blount 1999)

Gövde, büyük miktarlarda alüminyum kullanımı ile ağırlık azaltımına azami olanak sağlamakta. Son gelişmeler, çeliğin yerine alüminyum kullanımı ile gövdelerde %50 ye varan ağırlık kazanımı sağlanabileceğini göstermektedir. Diğer azaltım fırsatları da eklendiğinde toplam araç ağırlığının %20-30 arasında azaltılabileceği sonucunu çıkartmaktadır. (Miller, Zhuang, Bottema, Wittebrood, Smet, Haszler, Vieregge 2000)

Çizelge 3.8. Çelik ve alüminyumun özellikleri

	Çelik	Alüminyum Alaşımı (AlMgSi)
Elastisite modülü (N/mm ²)	190,000 - 220,000	60,000 - 80,000
Çekme mukavemeti (N/mm ²)	290 - 470	260 - 350
Yoğunluk (kg/dm ³)	7.85	2.7

Kaynak: Carle, Blount, The suitability of aluminium as an alternative material for car bodies, 1999

Alüminyum bazı özellikleri itibariyle, gövde uygulamalarını (çizelge 3.8.) ilgi çekici yapmaktadır. Alüminyumun sac metal panel ve ekstrüzyonlu kesitlerin mukavemeti çelik gövdeli panellerle yaklaşık olarak aynıdır. Bunun anlamı, panelde kalıcı bir deformasyon sağlayabilmek veya kırmak için aynı kuvvet uygulanmalıdır. (Carle, Blount 1999)

Bununla birlikte, alüminyumun rijitliği bu tür çelikten düşüktür. Bu, bir dereceye kadar alüminyumun elastisite modülünün çeliğin üçte biri olmasındandır. Alüminyum'daki etki, çelikteki aynı kuvvete maruz kaldığında daha yüksek elastik deformasyona sahiptir. Bu parçaların, artan duvar kalınlıkları, fazla çeşitli form ve şekil verilmesi, optimize edilmesiyle, kesitleriyle ve panellerin deformasyon davranış etkisiyle dengelenebilir ve bu yüzden kaza esnasında araç gövdesinin enerji absorbe kabiliyetiyle etki eder. (Carle, Blount 1999)

Böyle olunca, çeliği alüminyum panellerle basit şekilde alüminyumun tüm avantajlarından faydalanmadan yer değiştirmek en uygun çözüm değildir. Alüminyumun hafif ağırlıklı bir malzeme olarak tüm avantajlarından faydalanacak şekilde bir yol izlenmelidir. Ekstrüzyonlu profiller, saclar veya dökümler şeklinde çeşitli alaşımlar olarak temin edildiğinden bu yana araç gövde uygulamalarında geniş imkanlar sunmaktadır. Bu nedenle, yeni tasarım ve montaj metotları geliştirilmesiyle aynı anda daha çok malzeme özellikleriyle birlikte gerçek avantajlar getirebilmektedir. (Carle, Blount 1999)

3.4.2. Gövde Mimarisi

Gövde yapılarında kullanılan ana alternatif teknolojiler iki başlık altında toplanabilir. (şekil 3.9.) Bunlardan birincisi kabuk gövde, ikincisi ise uzay çatılı gövdedir. Kabuk ve uzay çatılı gövdelerin çelik, alüminyum ve kompozitten oluşlarına göre birleştirme türleri ile bileşen miktarları çizelge 3.9. ve çizelge 3.10. da verilmektedir.



Şekil 3.9. Kabuk ve uzay çatılı gövde uygulamaları

Kaynak: Anonim

Çizelge 3.9. Uzay çatılı gövde

Çelik	Alüminyum
<ul style="list-style-type: none"> * Direnç kaynağı, CO₂ kaynağı, Yapısal birleştiriciler * Azaltılmış sayıda profilli ve kalıplanmış parçalar (~ 100) 	<ul style="list-style-type: none"> * Gövde çerçevesinde CO₂ kaynağı, tutturma, direnç, büzme, perçinleme * Azaltılmış sayıda profilli, ekstrüzyonlu, döküm ve kalıplanmış parçalar

Kaynak: Anonim

Çizelge 3.10. Kabuk Gövde

Çelik	Aluminyum	Kompozit
* Direnç punta kaynağı	* Direnç kaynağı	* Tutturma ve Civatalama
* Yüksek sayıda bileşen (400 den fazla)	* Diğer teknolojiler (Ark kaynağı, Yapısal yapıştırıcılar, büzdürme, perçinler)	* Düşük sayıda bileşen (20 den 50 ye)
	* Yüksek sayıda kalıplanmış bileşen	* Alt gruplarında entegre olmuş bileşenler
	* Döküm bileşenler	

Kaynak: Anonim

Çizelge 3.11 de gövdelerin birleştirme performanslarındaki durumları, çizelge 3.12. de ise gövde yapılarının bileşen sayısına göre karşılaştırılması verilmektedir.

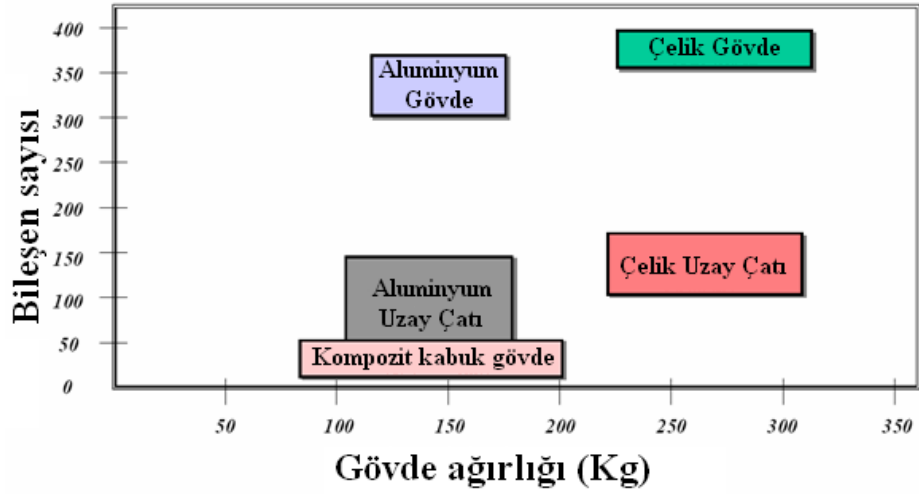
Çizelge 3.11. Gövdelerin birleştirme performanslarındaki durumları

	Direnç kaynağı	CO ₂ Kaynağı	Lazer kaynağı	Yapıştırıcılar	Civatalar	Büzdürme	Perçinleme
Çelik Kabuk Gövde	++++	+	+	++	++	+	-
Aluminyum Gövde	++	+	++	++++	+++	++	++++
Kompozit Kabuk Gövde	-	-	-	++++	+++	-	-
Çelik Uzay Çatı	++	+++	+++	++	+	+	-
Aluminyum Uzay Çatı	+	+++	+++	+++	+++	+	++++

+ dan ++++ daha iyi duruma geliyor

Kaynak: Anonim

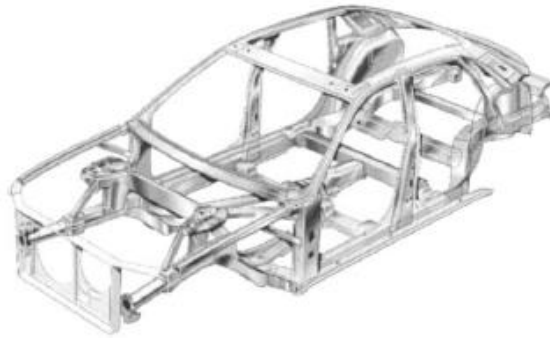
Çizelge 3.12 Gövde yapılarının bileşen sayısına göre karşılaştırılması



Kaynak: Anonim

3.4.3. Uzay Çatı Teknolojisi

Birçok yıldan sonra araştırma aktiviteleri sonucu uzay çatı konsepti, alüminyumlu araç uygulamaları konusunda son 10 yılda gelecek vaat eden bir yaklaşım olduğu ortaya çıkmıştır. Bir uzay çatı, temelde, kapalı, düz veya şekilli kesit ekstrüzyonlardan meydana (Şekil 3.10.) gelmektedir.



Şekil 3.10. Uzay Çatı

Kaynak: Carle, Blount, The suitability of aluminium as an alternative material for car bodies, 1999

Ekstrüzyonlar, direkt olarak veya döküm elemanlar yardımıyla gövdeye birleştirilmektedir. Uzay çatı, ekstrüzyonlu kesitlerde herhangi bir kaynak dikişi bulundurmadığından rijitlikte bir kayba neden olmadan her türlü istenilen ölçülerde, maksimum

rijitlikte ve burulma direncinde üretime izin verir. Döküm kesitler, genelde yüksek gerilimli köşelerde ekstrüzyonları uygun ve etkili bağlamayı sağlamak için kullanılmaktadır. Döküm kesitler, destek kirişlerinde gövde birleşim noktalarındaki rijitliği sağlayabilmek için her türlü formda tasarlanabilir. (Carle, Blount 1999)

3.4.3.1. Uzay Çatı Teknolojisinin Avantajları

Audi'nin geliştirdiği uzay çatı teknolojisinin ikinci nesil gövde uygulamaları A2 modelinde kullanılmaktadır. (Şekil 3.11.)

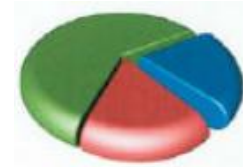
- Tasarım olarak:

- o Amaca daha uygun kuvvet iletim davranışı (örneğin çarpmalarda)
- o Rijitlik dağılımının daha anlamlı olması, bu şekilde eğilme ve burulma rijitliklerinin artırılması

- o Cihazların bağlanması için tanımlanmış arakesit konumları
- o Daha az parça

- İmalat açısından:

- o Parçalardaki ön imalat yeterliklerinin yükselmesi
- o Basit geometrili üstün parçalar
- o Daha iyi tolerans telafisi
- o Daha uygun maliyetli takımlar



Şekil 3.11. Audi ikinci nesil gövde ve yarı malzeme dağılımı

Kaynak : Çavdar, Otomobillerde hafif yapılar ve yeni malzemeler, 2006

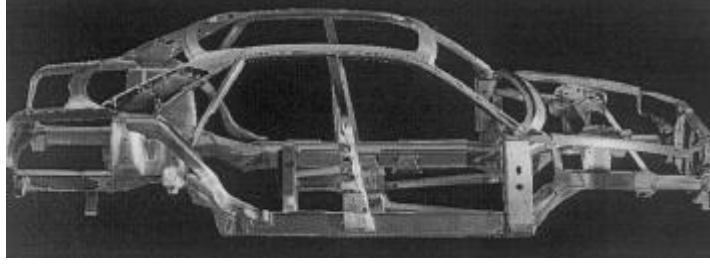
- Montaj açısından

- o Daha sabit, hücrelerin arasındaki açıklıklar montaj olayını daha kolaylaştırır
- o Daha basit montaj operasyonları

- Onarım açısından:
 - o Daha kolay deęiřtirebilme için daha iyi arakesitler mevcut
 - o Atölyede çalışma için kalifiye eleman ihtiyacı var
- Gerçekleme:
 - o Tipik küçük seri imalatlar için uygun. (Çavdar 2006)

3.4.4. Gövde Uygulamaları İçin Alüminyum Alaşımları

şimdiye kadar, alüminyumun otomotiv endüstrisindeki büyümesi döküm motorlarda kullanımı, transmisyon ve dişli uygulamaları ve ısı eşanjörleri ile oldu. Alüminyumun maliyeti ve değişmeyen fiyatı büyük ölçekli sac uygulamalarında kullanımı konusunda en büyük engel olarak kalmakta. Alüminyum endüstrisi, gelecek büyümesi ve bu çabayı desteklemek için önemli kaynaklarla birlikte otomotiv endüstrisini hedeflemekte.



şekil 3.12. Alcoa – Audi A8 alüminyum ekstrüzyonlu uzay çatılı gövde mimarisi

Kaynak: Miller, Zhuang, Bottema, Witttebrood, Smet, Haszler, Vieregge, Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, 2000

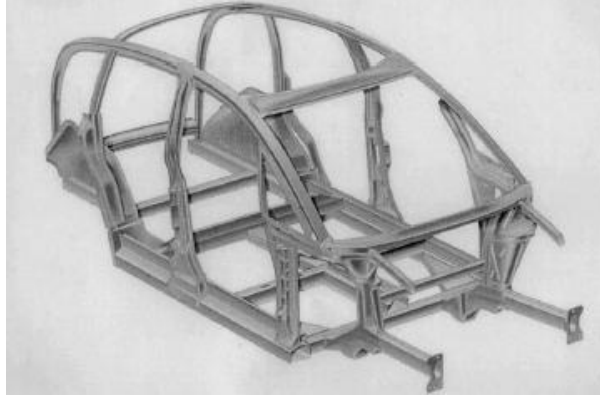


şekil 3.13. Alcan – Ford yoğun alüminyum kullanılmış olan sac monokok mimarisi

Kaynak: Miller, Zhuang, Bottema, Witttebrood, Smet, Haszler, Vieregge, Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, 2000

Burada iki çeşit farklı form felsefesine sahip alüminyum kullanımı söz konusudur. Birinci olarak, ekstrüzyonlu uzay çatı Alcoa-Audi A8 örnek gösterilebilir. (şekil 3.12.) Diğeri geleneksel sac mimarisinde yoğun olarak en çok çelik gövdede kullanılan alüminyum ağırlıklı

Alcan-Ford aracıdır (şekil 3.13.). Her bir türün faydası vardır. Uzay çatı bazı kalıpları elimine ederek düşük kalıp maliyetine olanak sağlarken, geleneksel saç mimarisi kurulu proseslerle düşük parça maliyetlerine olanak sağlamaktadır. Bu iki tür için güncellenen örnekler, Ford P2000 ve Audi AL2'dir. Her ikisi de gövde de yaklaşık % 40 ağırlık azaltımı prensibini sağlayabilmiştir. Audi A8 için geliştirilen ekstrüzyonlu uzay çatının düşük hacimli üretimler için en uygun olduğuna inanılmaktadır. (Miller, Zhuang, Bottema, Wittebrood, Smet, Haszler, Vieregge 2000)



Şekil 3.14. Tamamı alüminyum ekstrüzyonlu gövde yapısından oluşan Audi AL2

Kaynak: Miller, Zhuang, Bottema, Wittebrood, Smet, Haszler, Vieregge, Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, 2000

Çizelge 3.13. A 8 ve AL 2 uzay çatı tasarımlarının karşılaştırılması

	A 8 (249 kg)	A 2 (153 kg)
Sac	71%	71%
Dökümler	15%	8%
Profiller	14%	21%
Düz	49%	84%
2D	34%	8%
3D	17%	8%
Punta kaynağı	500	Yok
Büzdürme	178	Yok
Kendinden Delmeli Perçin	1100	1500
MIG	70 mt.	20 mt.
Lazer	Yok	55 mt.

Kaynak: Miller, Zhuang, Bottema, Wittebrood, Smet, Haszler, Vieregge, Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, 2000

AL2’de birkaç alüminyum (Şekil 3.14.) döküm bağlantı bulunmaktaydı, bunlar, A8’de yoğun şekilde direkt yapıştırma ile yer değiştirdiler. AL2’deki alüminyum ekstrüzyonlar olabildiğince düzgün şekillerde yapıldı. A8 ve AL2 modelleri arasındaki bir karşılaştırma çizelge 3.13. de yapılmaktadır. Bu üretim maliyetini azaltma ve yüksek gelir düzeyli üretim miktarlarında yapılan çabayı göstermekte. Bu, otomotiv şirketlerinin alüminyumla daha fazla çalıştığını ve düşük genel maliyetle tasarımı basitleştirme sonuçlarını açıklamaktadır.

Aşağıdaki birkaç örnek alüminyumun araçlarda yoğun olarak alüminyum gövde komponentlerinin çalışmalarını vermektedir:

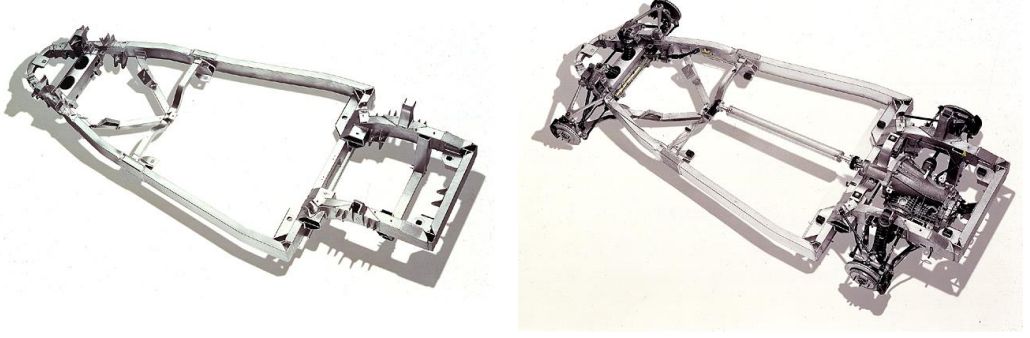
1. Audi A8’de alüminyumun yoğun olduğu uzay çatıya sahip araçla gövde ağırlığı %40 azaltılmaktadır. 375 kg lık alüminyum komponentin 125 kg ını sac ürünler, 70 kg ını ekstrüzyonlar, 150 kg ını dökümler ve 40 kg ını diğer alüminyum formlar almaktadır.
2. Ford AIV kalıplanmış bir alüminyum gövde yapısına sahiptir. Gövde ve dış panellerle geleneksel çelik modele göre 145 kg gövde yapısı ve 53 kg açılır-kapanır panellerle birlikte 200 kg daha hafiftir. Toplam alüminyum kullanımı 270 kg dır ve toplam ağırlık azaltımı 320 kg dır.
3. Honda NSX de kalıplanmış gövde yapısı ve dış panellerle birlikte 210 kg ağırlığında alüminyuma, yaklaşık 100 kg alüminyum şasi komponentlerine ve 130 kg diğer güç ve aktarma organları komponentlerine sahiptir.
4. Başka birkaç şirkette yoğun alüminyum prototip gövdeler ve/veya konsept araçlar oluşturmuşlardır. Chrysler, Reynolds Metal ile birlikte geleneksel Lite’ye göre 270 kg daha hafif Neon Lite yapmıştır. Renault ve Lotus birlikte çelik araca oranla %30-50 arası daha düşük ağırlıkta Spider tasarlamış ve yapmışlardır. Diğer örnekler, Jaguar XJ 220, GM-EV1 vb. (Miller, Zhuang, Bottema, Wittebrood, Smet, Haszler, Vieregge 2000)



Şekil 3.15. Ferrari F360 aracının alüminyum ekstrüzyonlu uzay çatılı gövde yapısı

Kaynak : Kleiner, Geiger, Klaus, Manufacturing of Lightweight Components by Metal Forming

Otomotiv uygulamalarında ekstrüzyonlar kullanılmaya başlandı. Özellikle düşük üretim miktarına sahip araçlarda veya prototiplerde gövdeler uzay çatılı alüminyum ekstrüzyondan yapılmakta (Şekil 3.15.). Bunun sebeplerinden biri de ekstrüzyonun mükemmel kesit tasarımı sunması. Tavan kuşağı, ön şasi kolları gibi konvansiyonel derin çekmeyle üretilen parçalara oranla düz profillerin kalıp maliyeti daha ekonomiktir. (Kleiner, Geiger, Klaus)



Şekil 3.16. Plymouth Prowler’de yapılan uzay çatı konseptli gövdelere örnekler

Kaynak : <http://www.psc.edu> 2010

Birleşik Devletlerde alüminyum teknolojisini başarı ile kullanan ilk şirket olan Prowler şirkettir. Dünyanın lider alüminyum şirketi Alcoa alüminyumun ne yapabileceğini A8 den bildiğinden Prowler’a geliştirme konusunda yardımcı oldu. Her iki araç alüminyum iskelete sahip “uzay çatı” ve buna alüminyum gövde panelleri (Şekil 3.16.) birleştiriliyor. (<http://www.psc.edu> 2010)



Şekil 3.17. Plymouth Prowler’de yapılan uzay çatı konseptli bir araç

Kaynak : <http://www.psc.edu> 2010

Alüminyum ekstrüzyonlar oldukça karmaşık profillerin şekilleri izin verilen hafif ağırlıklı tasarım ile entegre edilmiş fonksiyonlar sağlayabilir. Avrupa’da bütün yeni ve esnek araç konseptleri (örneğin; uzay çatı, Şekil 3.17.) ve kompleks yapısal gövdeler (örneğin, şasi

parçaları, kolları, çarpışma parçaları, air-bag ler vb.) alüminyum ekstrüzyonlar kullanarak geliştirildi. Kompleks tasarım ve fonksiyonel uyum için yüksek potansiyeli yüksek üretim miktarlarında maliyeti en uygundur. Ekstrüzyonlar, şasi kolları, çarpışma parçaları ve kutularda uygulanmaktadır, bunlar, alüminyum ekstrüzyonları için büyük bir pazardır. Lider bir tedarikçi olarak Hydro Alüminyum yapıları Avrupa’da yılda 6 milyon oranında sadece şasi kolları ve crash box lar üretmekte. (<http://www.keytometals.com> 2010)

3.4.5. Alüminyum Gövdelerin Üretimdeki Avantajları

Alüminyum parçalar tasarımdaki üstün özellikleriyle, daha önceden bahsedildiği gibi ekstrüzyonlar ve dökümler gibi çeşitli dizayn çözümlerinde her türlü yakın şekilde bulunabilir. Bir döküm, birkaç çelik panelden oluşan yakıt depo kapağı gibi, kompleks bir parçanın yerine geçebilir. Bu nedenle, parçaların % 50 ye kadar azaltılması gerçekleştirilebilir. Bu tasarım ve imalat prosesinin her aşamasında tasarım, konstrüksiyon ve üretimin daha az parça ile uğraşılmasından dolayı daha kolay yapar.

Daha az parça daha az kalıp ve aparat demektir ve bu da imalatı daha az karmaşık yapar ve çalışma yerinden kolay bir şekilde makul kazanç sağlar ve giderleri azaltır. (Carle, Blount 1999)

3.4.6. Alüminyum Gövdelerin Üretimdeki Dezavantajları

Düşük uzaması ve akma limitleriyle sacların kolayca yırtılabileceğinden kendisini kalıplama için zorlaştırmaktadır. Bu kalıp tasarımda ve üretiminde hesaba katılması gereken bir durumdur. Örneğin, kapılarla bagaj kaputunda bükme radyüsü ve kıvrımların modifiyesini gerektirmektedir. Sacların yüksek esnekliği de tekil parçalarla tüm araç gövdesini kalıplama esnasında toleranslar içerisinde tutmayı zorlaştırmaktadır.

Kaynaktaki proses parametrelerinin kapsamı çok limitlidir. Çok sıkı kontrol edilmezlerse, kaynak dikişleri deliklere form vermeye çalışır. Ek olarak, punta kaynakları çatlakları büyötmeye meyillidir ve sonrasında mukavemetini düşürür.

Ayrıca, düzensiz ısı etkisiyle alüminyum ekstrüzyonlar ve döküm kesitlerin önceden kestirilemeyen şekilde davranmasıyla kaynak prosesi sonrası gövdeyi toleranslar içerisinde tutmak zordur. Isı büyümesi çelikten bir miktar daha büyüktür, bu nedenle daha yüksek kuvvetlerle başa çıkabilmek için tüm fikstürler daha sağlam ve dayanıklı üretilmelidir.

Kaynak yapılabilir bir yüzey oluşturmak için kapsamlı asitleme işlemi gereklidir. Boya için de yüzey finışı değerlidir ve çok fazla zaman ve bilgi gerektirmektedir saclar çelik

panellerdeki muadillerine göre çok kolay çizilmeye eğilimlidir ve sacların yüzeyleri form dalgalarına duyarlıdır.

6000 serisi alüminyum alaşımları tipik olarak uzay çatılar için seçilmektedir ve istenen mukavemete ulaşabilmek için ısıtılma işlemi gerektirmektedir. Boya atölyesinde konvansiyonel ısı yeteri kadar yüksek olmadığından kurutma prosesinde yeterli değildir. Bu nedenle, araç gövdelerini 30 dakikada 210 ° C dereceye kadar ısıtarak alüminyum alaşımlarını sertleştirmek için ek bir ısıtılma hattı kurulması gereklidir. Bu, imalatta kaynak prosesine negatif etki edeceğinden önceden yapılamaz.

Kontak korozyonu çok önemli bir rol oynamaktadır, bu alüminyumun korozyonunu hızlandırdığından perçinler, vidalar ve diğer çelik parçalar kaplanmalıdır. Aksi halde, araç gövdesindeki delikler neme maruz kaldığında korozyon kaçınılmaz olur. (Carle, Blount 1999)

3.4.7. Alüminyumlu Gövde Tiplerine Örnekler

Bazı alüminyumlu gövdelere örnekler aşağıdaki Şekiller 3.18-3.19-3.20-3.21-3.22 lerde verilmektedir.



Şekil 3.18. Alüminyumdan yapılmış bir gövde örneği

Kaynak : European Aluminum Association, Aluminum in cars, 2008



Şekil 3.19 Audi uzay çatı tekniği kullanılan gövde örnekleri

Kaynak : Anonim



Şekil 3.20. Jaguar - XJ , tamamında alüminyum kullanılan ilk monokok şasi

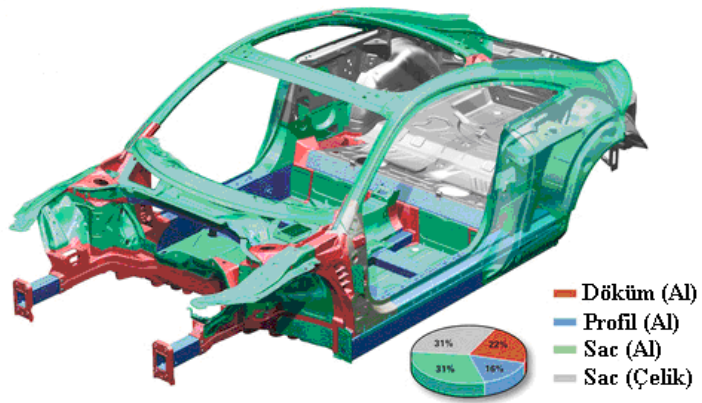
Kaynak : Anonim



Şekil 3.21 Audi A8 uzay çatı gövdesi

Kaynak : Anonim

Yeni Audi TT



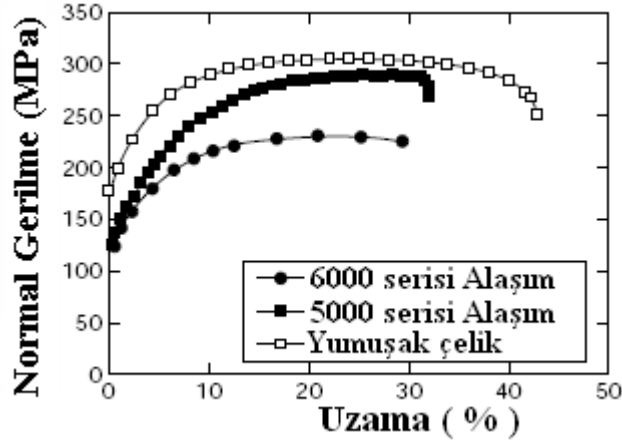
Şekil 3.22. Yeni Audi TT gövdesi

Kaynak : <http://luxvelocity.typepad.com> 2009

3.5. Şekillendirme Yöntemleri

3.5.1. Giriş

Aluminyum alaşımlı sacların şekillendirilebilmesi, çelik saclara göre, düşük uzamaları, n-değerleri, r-değerleri ve elastisite modüllerinden dolayı daha azdır. Çelik sacla şekillendirilebilen bir geometri, aluminyum alaşımları ile yırtmadan, kırışmasız ve geri dönüşsüz şekillendirilemeyebilir. Bu sebeple, aluminyum alaşımlı saclar tasarımda düşük dereceli serbestlikleriyle form vermede kısıtlar getirebilir. (Sakurai 2008)



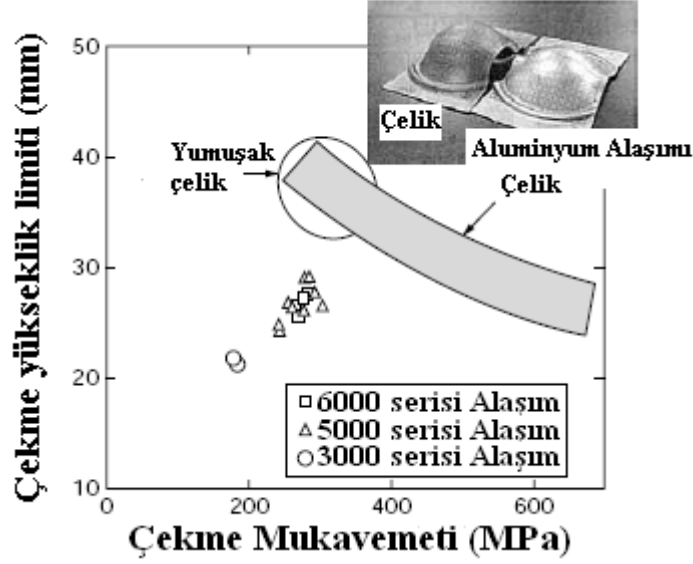
Şekil 3.23. Aluminyum alaşımları ve yumuşak çeliğin gerilim - uzama eğrisi

Kaynak : Sakurai, The Latest Trends in Aluminum Alloy Sheets for Automotive Body Panels, 2008

Aluminyum alaşımlı saclar, çelik saclarla kıyaslandığında, hemen hemen yumuşak çeliklere eşdeğer gerilme dayanımı ile çekme dayanımı göstermekte, ama uzamaları çok daha küçüktür. Şekil 3.23. otomotiv panellerinde kullanılan tipik aluminyum alaşımlı sacların (5000 ve 6000 serisi) gerilme-uzama eğrisini göstermekte. Yumuşak çelik içinde bir eğri vardır. Şekilden görülebileceği gibi, aluminyum alaşımları maksimum yüklemekten sonra çelikte kıyasladığımızda önemli derecede daha küçük uzamaya (bu dar uzama olarak adlandırılır) ulaşmakta. Dar uzamadaki farka, aluminyum alaşımı ve çelik arasındaki farklı şekillendirilebilmenin sebep olduğu düşünülmektedir. (Sakurai 2008)

Şekil 3.24. aluminyum alaşımları ve çelikler arasındaki çekme yükseklik limiti ile çekme mukavemetini göstermekte. Çekme yükseklik limiti dörtgen düz bir sacın küresel başlı bir zımba kullanarak preste şekillendirmesinde çatlağın oluştuğu yüksekliğe verilen addır.

Çatlak bölüm şekil değiştirme düzlemi civarındadır. Sonuçlar, alüminyum alaşımlı sacların gerilebilirliğinin çelik sacların altında olduğunu belirtmektedir. (Sakurai 2008)



Şekil 3.24. Alüminyum sac ve yumuşak çeliğin çekme limit yüksekliği ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki

Kaynak : Sakurai, The Latest Trends in Aluminum Alloy Sheets for Automotive Body Panels, 2008

3.5.2. Pot Çemberi Kuvvet Kontrolü

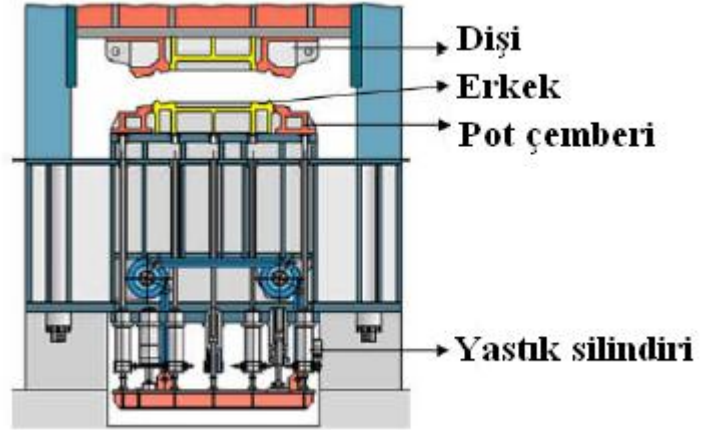
Kalıpcılıkta, şekillendirilmiş parçanın kalitesi form verme süresince dişi boşluğuna ne kadar malzeme çekildiği ile belirlenir. Fazla malzeme akışı kırışıklığa neden olurken, az malzemede parçada yırtılmaya sebebiyet vermektedir. Dişi boşluğuna malzeme akışına pot çemberi kuvveti (PÇK) etkili olmaktadır ve açınım şekli kalıp ile sacın arasındaki sürtünme durumuna göre verilmektedir.

Konvansiyonel olarak PÇK pot çemberi yüzeyinden direkt uygulanmaktadır ve form verme sürecinde sürekli tutulur. Fakat malzeme akışı kalıp çevresi boyunca aynı değildir. Metal düz kenarlardan kolayca akarken köşelerde ise bu durum sınırlıdır. Bu yüzden, pot çemberi kuvvetini kullanırken malzeme akışının düzenli olması için süzdürme çubukları tercih edilir. Süzdürme çubukları geometrisi ve ebatları genellikle pres deneme çalışmalarında belirlenmektedir. Üretim süresince çizme aşınması (A/UHSS için) ve yapışkanlı aşınma (alüminyum alaşımları için) sürtünme ortamında süzdürme çubuk geometrisinde değişikliğe sebep olmaktadır. Bundan dolayı, uygun parça üretimi için kalıpların çeşitli frekanslarda bakıma

alınması gereklidir. Süzdürme çubukları deneme esnasında çalışılan sac rulosuna göre sonlandırılması gerekmekte ve yine değişik gelen rulolara göre çalışılması gerekmektedir. Bu yüzden, kalıp deneme çalışmalarında süzdürme çubuklarından dolayı rulodan birçok hurda verilmesine neden olur. Dolayısıyla, uzun süreli çalışmalarda kalıptaki aşınma ve yırtılmalarla, gelen rulonun özelliğine bağlı olarak bu süreç yeteri kadar çok sağlıklı olmamaktadır.

Derin çekme sürecinde malzemenin akışının kontrolü pot çemberi kuvveti ve süzdürme çubukları ile yapılarak bize malzeme özelliklerindeki değişikliklere karşı müdahale için izin verir. Pot çemberi kuvvetini değiştirerek rulodan ruloya veya parçadan parçaya oluşan kalıp bakım sıklığını değiştirebilir. Fakat bu pot çemberinde farklı noktalarda farklı pot çemberi kuvveti uygulanmasını gerektirir.

Modern presler bazıları bireysel çalışabilen silindirlerle olmak üzere çok noktalı yastık sistemli olarak tasarlanmaktadır (şekil 3.25.) . Farklı kuvvetler uygulamak için silindirler tekil olarak programlanabilirler. Şimdilerde kurs esnasında değişkenli pot çemberi kuvveti uygulayabilmek için kalıp alt veya üst gövdeleri hidrolik veya nitrojen silindirlerle yapılmakta. (Şekil 3.26.) Bu yüzden daha iyi malzeme akışını sağlamak için PÇK farklı yerlerde farklı kurslarla çeşitlendirilmekte ve böylece malzemelerin şekillendirilebilirlikleri (özellikle hafif ağırlıklı düşük şekillendirilebilirlikli malzemeler) arttırılmaktadır. Benzer teknoloji paslanmaz lavaboların şekillendirilmesinde de çokça kullanılmaktadır.



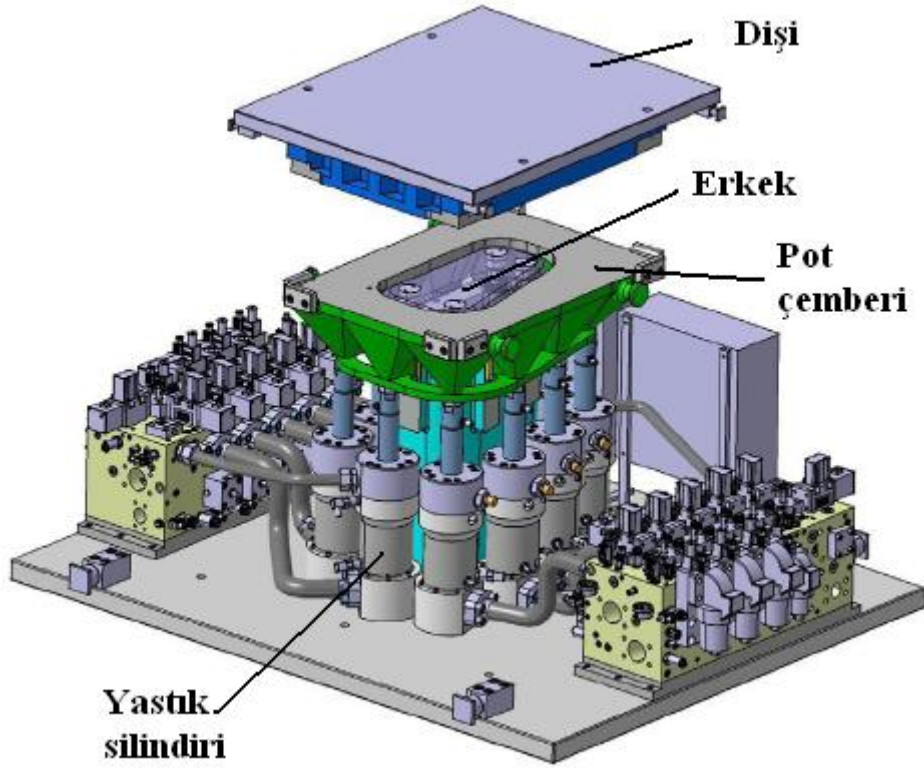
Şekil 3.25. Çok noktalı yastık ünitesinin preste bağlantı şematığı

Kaynak : Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan, New technologies to form light weight automotive components, 2007

Fakat bu imkân otomotiv üretimi için gözden geçirilmekte. Bunun nedenleri:

- a) kalıp denemesinde her bir tij mili için uygulanacak PÇK ne kadar olacağı tahmin zorluğu
- b) konvansiyonel sac malzemeler mevcut metotla sürekli pot çemberi kuvvetiyle şekillendirilebilmekte. Hafif ağırlıklı düşük şekillendirilebilirlikli malzemelere verilen önem ve

parçaların karmaşıklığının artışı çok nokta yastıklı imkânla malzeme akışını kontrol edebilen prosesin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. (Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan 2007)



Şekil 3.26. Çok noktalı yastık ünitesinin kalıpta bağlantı şematığı

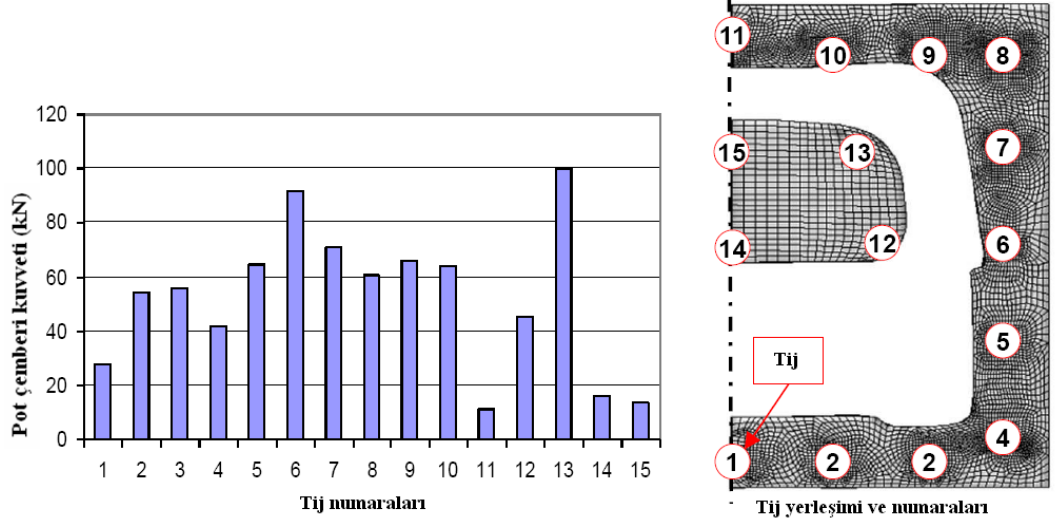
Kaynak : Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan, New technologies to form light weight automotive components, 2007

CPF ile USCAR konsorsiyumu birlikte pot çemberi kuvvetinin nümerik optimizasyon tekniğini geliştirdiler. Bununla birlikte düzgün parça için pot çemberi kuvvetinin çok nokta yastıklı sisteminde başarılı uygulama tahmininde :

- boşluk/konum ve zaman/kursta sürekli PÇK ,
- zaman/kurs ve sürekli boşluk/konum değişkenli PÇK,
- boşluk/konum ve sürekli zaman/kurs değişkenli PÇK,
- boşluk/konum ve zaman/kurs değişkenli PÇK

çok noktalı yastık sistemi tek nokta yastık sistem/azot silindirleri gibi dört farklı tür söz konusu olmaktadır. (Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan 2007)

Geliştirilen metodoloji bir otomobil parçasının (en arka tek kapı iskeleti) AA 6111-T4 alüminyum alaşımından 1.0mm, DP500 malzemesinden 0.8 mm ve BH210 çelikten 0.8 mm malzemelerinde PÇK tahmininde kullanıldı. Şekil 3.27. geliştirilen olağan SE simülasyonu ile optimize edilen A6111-T4 alüminyum alaşımının şekillendirme prosesinin PÇK tahminini örneklemekte.



Şekil 3.27. Optimum pot çemberi kuvveti

Kaynak : Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan, New technologies to form light weight automotive components, 2007

Benzer çalışma BH210 ve DP500 çelik sacları içinde yapıldı. Geliştirilen kuvvet profilleri denemelerde aynı kalıbı kullanıp herhangi bir değişiklik yapmadan farklı saclarda denendi. Parçanın üç farklı malzemede ve kalınlıkta kalıpta herhangi bir değişiklik yapmadan sadece PÇK uygulanan yastık tijlerini değiştirerek elde edildiği gözlemlendi (Şekil 3.28).



A6111-T4, t = 1.0 mm

BH 210, t = 0.8 mm

DP 500, t = 0.8 mm

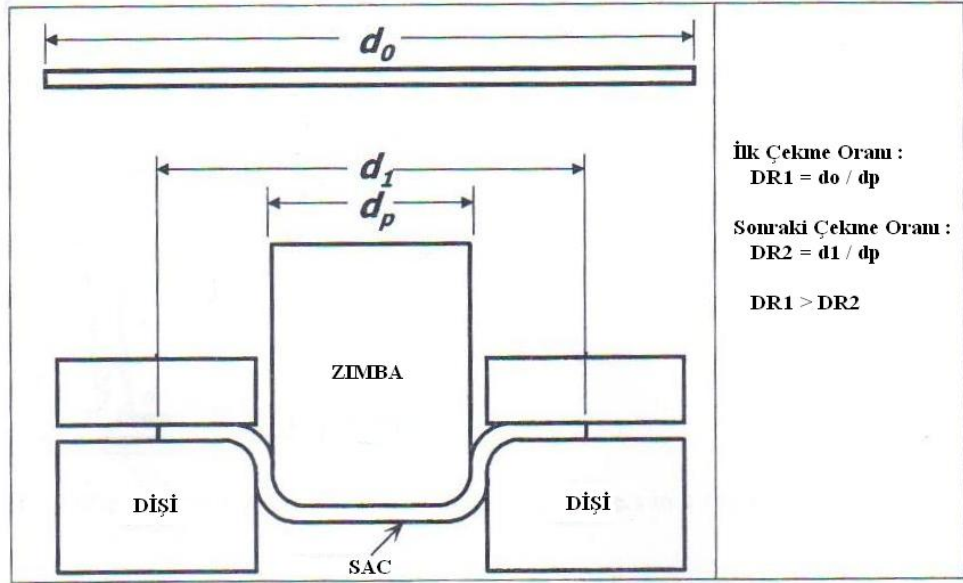
Şekil 3.28. Farklı sac kalınlıkları ve sac kalitesindeki malzemelerin aynı kalıpta sadece PÇK değiştirilmesiyle basım sonuçları

Kaynak : Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan, New technologies to form light weight automotive components, 2007

En arka kapı iskelet sacının Al 6111-T4 kalitesinden birden çok kez basılmasına karşın konvansiyonel tek nokta sistemle elde edilemediğine dikkat edilmelidir. Bu çok nokta yastık sistemiyle konvansiyonel kalıpcılıkla otomobil gövde panellerinin hafif ağırlıklı malzemelerle şekillendirilebileceğini ortaya koymaktadır. (Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan 2007)

Pot çemberi kuvveti (PÇK) derin çekme prosesinde kırışıklığı önlemek ve malzemenin akışını kontrol etmekte kullanılmaktadır. Pot çemberi kuvvetinin konvansiyonel uygulamalarında iki problem ortaya çıkmaktadır. Birincisi, sürekli pot çemberi kuvveti şekillendirme kursu boyunca çekilmiş flanşa şekil 3.29. de gösterildiği gibi çekme oranı azalmasına karşın uygulanmaktadır.

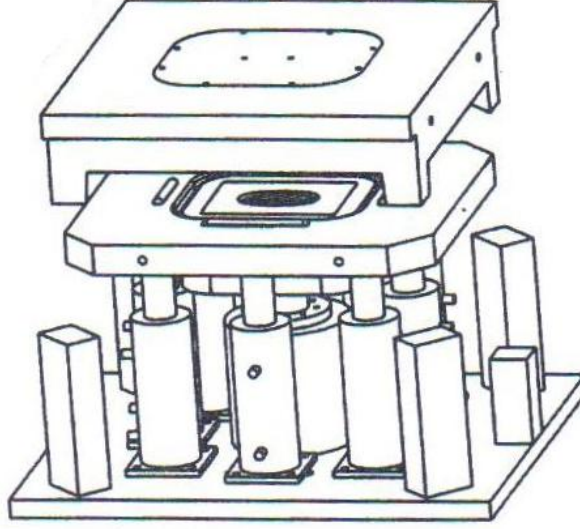
İkincisi, ideal tek biçimli pot çemberi kuvveti saca uygulanmasına karşın bu optimum olmayabilir. Flanşlarda sıkıştırılan kuvvetler sadece malzeme akışını engellemez, malzemenin kalınlaşmasına da neden olur. Kalınlaşmış alanlar, yüksek pot çemberi kuvveti (PÇK) doğurur ve bu da derin çekme prosesi esnasında daha fazla malzeme akışını engeller. Pot çemberi kuvvetinin etkisini arttırmak adına, pot çemberi kuvveti uygulamalarında birbirinden ayrı kontrol edilen nitrojen veya hidrolik silindirler kullanılır. Bu metot şekil 3.30. da gösterilmektedir. Malzeme akışı bu metotla lokal olarak presin kursu boyunca kontrol edilebilir. (Thomas, Altan, Kaya 2003)



Şekil 3.29. Çekme sürecinde çekme oranının azaltımı

Kaynak : Thomas, Altan, Kaya, Handbook of Aluminum Volum 2 Alloy Production and Materials Manufacturing 2003

Çift etkili mekanik preslerde, PÇK dış koça konularak ayarlanmasıyla uygulanmaktadır. Normalde, hava veya nitrojen yastıklarında, PÇK gazın sıkışmasına bağlı olarak koçun kursuyla artmaktadır. Hidrolik yastıklarda, normalde PÇK koçun kursuna karşın sabit olmaktadır.



Şekil 3.30. Dikdörtgen bir kalıpta hidrolik silindirler kullanarak pot çemberi kuvvet kontrol kullanımı

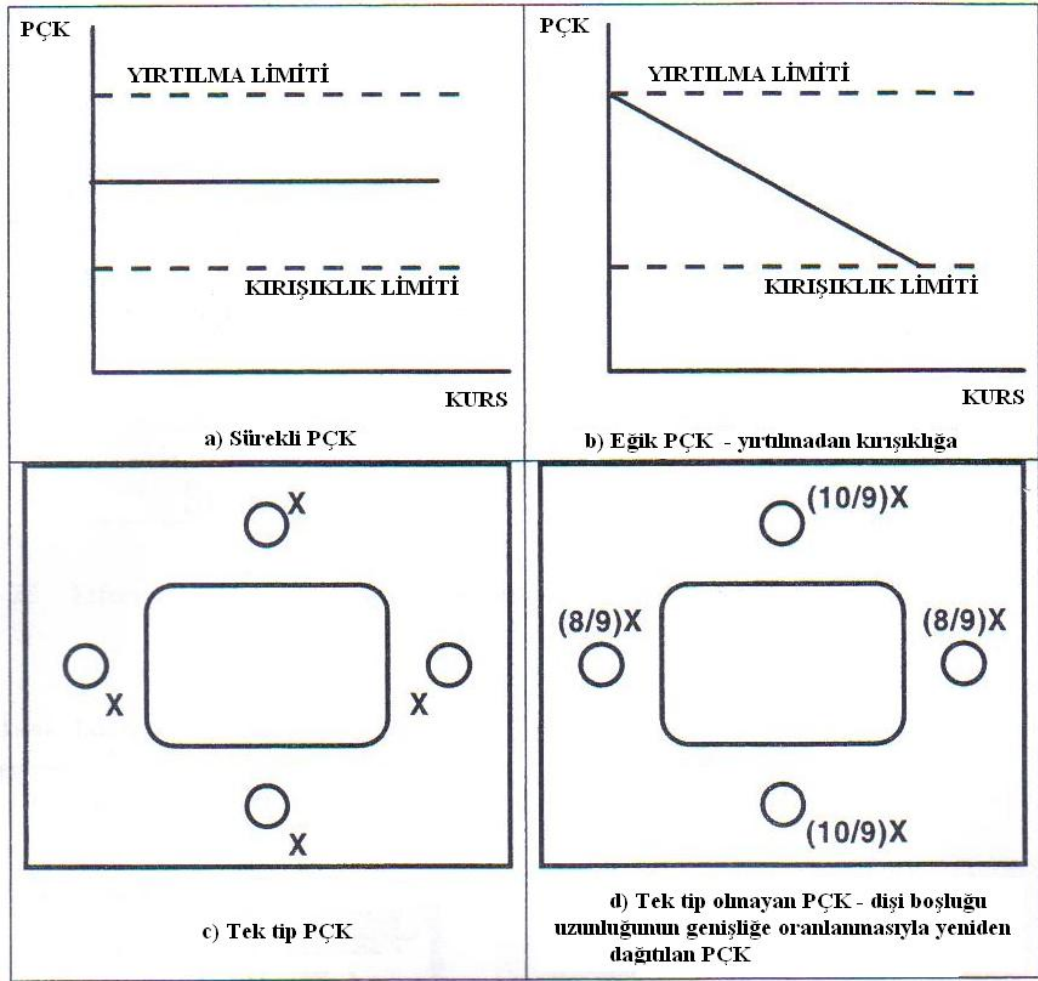
Kaynak : Thomas, Altan, Kaya, Handbook of Aluminum Volum 2 Alloy Production and Materials Manufacturing 2003

Değişken PÇK Uygulaması Nasıl Konumlandırılmaktadır?

Tecrübeli kalıp deneme çalışanları kısmi PÇK değiştirmek adına kalıp yüzeyini taşlar veya kalıp kesitlerine ayar sacı koyar veya yastık tijlerini değiştirir. Şekil 3.31. de gösterildiği gibi bir sistem kullanmak, taşlama veya ayar sacı koymaya oranla PÇK uygulamasını kolayca düzeltmeye yardımcı olur.

3.5.2.1. Pot Çemberi Kuvvet Kontrol Stratejileri

PÇK presin bir kursu ve süzme çubuğu civarlarında konumlandırılmasının değişkenliğinin nasıl olacağı konularında birçok öneriler ve araştırmalar bulunmaktadır. Gösterildiği gibi makul zaman değişkenli bir PÇK kontrol stratejisi sürekli PÇK değişkeninde PÇK yırtık limitinden PÇK kırışma limitine kadar nasıl olacağı şekil 3.31. b de gösterilmektedir. Değişkenli PÇK için bir diğer ampirik metot yerleştirmesi ise, dişinin uzunluğun, dişinin genişliğine oranlanmasıyla yapıları şekil 3.31. (d) de gösterilmektedir. (Thomas, Altan, Kaya 2003)



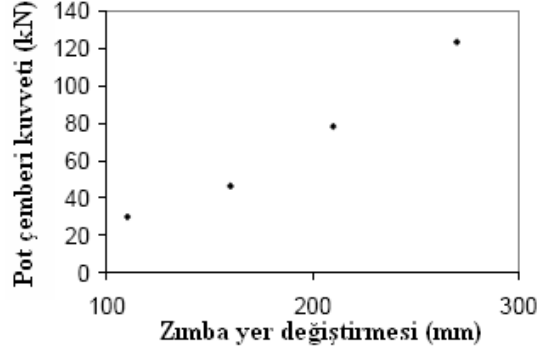
Şekil 3.31. Pot çemberi kuvvet kontrol stratejileri

Kaynak : Thomas, Altan, Kaya, Handbook of Aluminum Volum 2 Alloy Production and Materials Manufacturing 2003

Padmanabhan, Oliveira, Alves, Menezes yaptıkları çalışmada derin çekmede pot çemberi kuvveti ile ilgili bir optimizasyon stratejisi ortaya koymuşlardır. Bu stratejide, ilk olarak kırışıklık oluşuncaya kadar çok düşük bir kuvvet uygulanır. İkinci aşamada malzeme akış özelliklerine orantılı olarak kuvvet zımba yer değiştirmesiyle orantılı olarak artırılmakta. Önerilen değişkenli pot çemberi kuvveti şeması parça kalitesini büyük ölçüde geliştirdi. Bu çalışma modifiye edilmiş kırışıklık eğiliminde olan sacta gerekli olan pot çemberi kuvvetini belirleyip uygulama yaklaşımı hakkındadır. Kırışıklık yüksekliği optimum pot çemberi kuvvetinin kararlaştırılmasında en büyük etkidir. Derin çekme simülasyon prosesi esnasında pot çemberinin yer değiştirmesi sürekli değerlendirilmekte ve uygun pot çemberi kuvveti uygulanmakta. Derin çekme simülasyonları dairesel bir kap örneği kullanılarak SE kodlarıyla

yapıldı. Şekil 3.32. beş farklı zımba yer değiştirmesi ile optimum gerekli pot çemberi kuvvetini göstermekte. Strateji optimum pot çemberi kuvvetini aşağıdaki eşitlikle pot çemberinin yer değiştirmesiyle karar vermekte. (Padmanabhan, Oliveira, Alves, Menezes 2008)

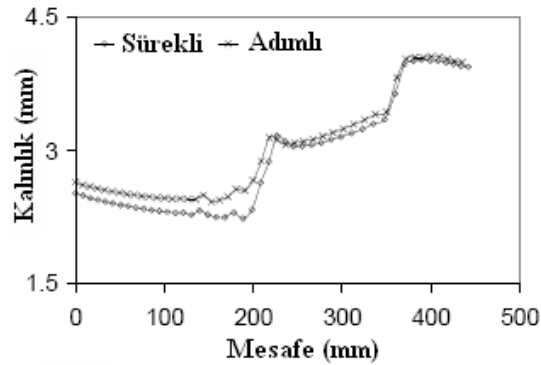
$$P\check{C}K_{n+1} = P\check{C}K_n (1.5 - 1.5e^{(1/10)} + 1.5e^{[(P\check{C}Y/t)/10]}).$$



Şekil 3.32. Zımba yer değiştirmesiyle pot çemberi kuvveti ilişkisi

Kaynak : Padmanabhan, Oliveira, Alves, Menezes, An optimization strategy for the blank holder force in deep drawing, 2008

PÇK pot çemberi kuvvetini ifade ederken, PÇY ise pot çemberi yer değiştirmesini ifade etmekte, t ise sacın kalınlığını. Bu stratejinin uygulamasıyla optimum pot çemberi kuvvetiyle şekillendirilmiş parça kalınlık dağılımı ve incelmesi azalma eğiliminin sürekli pot çemberi kuvveti stratejisiyle kıyaslandığında arttığı görülmüştür. Şekil 3.33. de bu yöntemle çekilmiş parça kesitinde kalınlık dağılımı görülmektedir. Basit ve uygulaması kolay olan önerilen stratejiyle özellikle zımba radyüsü gibi kritik yerlerde kalınlık dağılımı sonuçlarında çok iyi sonuçlar vermektedir. (Padmanabhan, Oliveira, Alves, Menezes 2008)



Şekil 3.33. Kesit boyunca kalınlık değişimi

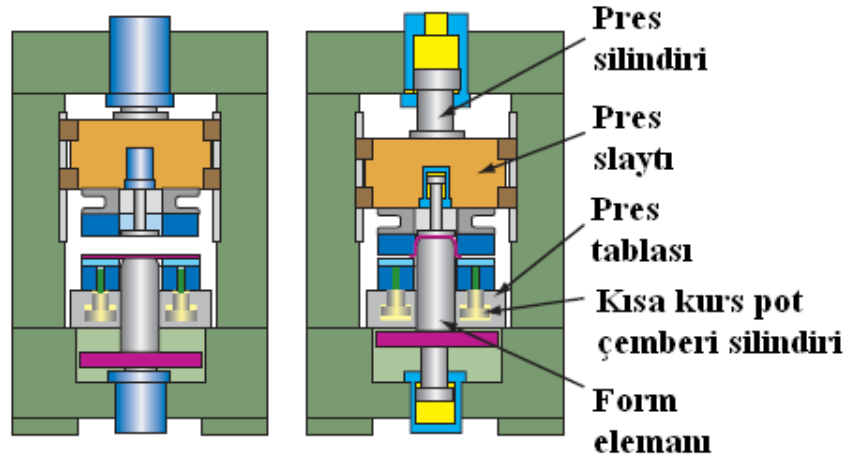
Kaynak : Padmanabhan, Oliveira, Alves, Menezes, An optimization strategy for the blank holder force in deep drawing, 2008

Pot çemberi kuvvet (PÇK) kontrolü kalıpcılık prosesinde önemli bir değişkendir. Konvansiyonel olarak nitrojen silindirleri, hidrolik / pnömatik silindirler kurs boyunca pot

çemberine sürekli kuvvet uygularlar. Bazı kalıp-pres üreticileri çok nokta kontrollü (ÇNK) tek tek programlanabilen hidrolik silindirler veya tijlerden oluşan sistemler temin etmektedirler. Pres kursu boyunca her bir tijde kuvvetin çeşitlendirilebiliyor olmasıyla malzemeyi dişi boşluğa doğru çekmek geliştirebilir. Bu şekillendirilen parçada kırışıklık ve yırtıkların önüne geçmeye yardımcı olur. ÇNK sisteminin uygulamalarında:

- PÇK bir kararlılık şartı ile uygulanır ve pres slaytından etkilenmez
- Uygun PÇK dağılımı parça geometrisine göre ayarlanır
- Şekillendirme kuvvetine bir hidrolik sistem uygulanır

Şekil 3.34. de bu fonksiyonları sağlayan bir pres görülmekte. Bu preste slaytın alt ölü nokta (AÖN) pozisyonu mekanik stoperlerle tanımlıdır. Bir ÇNK ünitesi pres tablasının üstünde bulunan kısa kurs silindirlerinden meydana gelmektedir. Çoklu şekillendirme elemanları veya zimbalar pres tablasında ayarlanabilir şekilde konumlandırılmıştır.

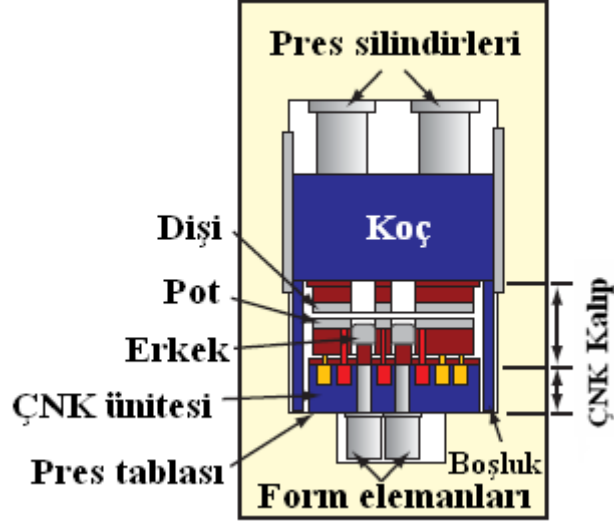


Şekil 3.34. Slaytın alt ölü noktasında pozisyonu mekanik stoperlerle tanımlanan bir ÇNK üniteli pres tablası

Kaynak : Yadav, Multipoint-control die cushion systems for stamping complex parts, 2006

Şekil 3.35. ÇNK ünitesi kullanan benzer bir pres konseptini göstermektedir. Bunun farkı açınım sacı çevresine tek tek PÇK kontrolüne izin vermesidir. Açınımın alt kalıp üzerine konmasından sonra pres slaytı AÖN kadar hareket eder. Kalıp pot çemberi silindirlerini kullanıp kapanarak tüm sac yüzeyi üzerinde tek bir pot çemberi kuvveti uygular. İkincil bir hidrolik ortam form alanları yakınlarında kritik alanlarda metalin akışını kesin kontrol etmek için PÇK

belirli bir noktaya uygular. Parça daha sonra zımba veya form elemanının yukarı doğru hareketiyle şekillendirilir. (Yadav 2006)

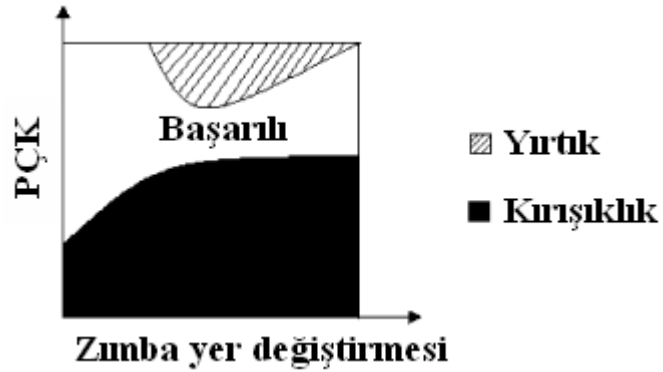


Şekil 3.35. ÇNK ünitesi kullanan benzer bir pres konseptini

Kaynak : Yadav, Multipoint-control die cushion systems for stamping complex parts, 2006

3.5.2.2. Pot Çemberi Kuvveti Çalışma - Şekillendirme Penceresi

Sac metal parçaların kalıpcılıkta şekillendirmesini ifade etmek için kullanılan popüler araç form verme limit diyagramıdır (FLD). Burada major ve minör uzama dağılımı X ve Y eksenli koordinat sisteminde gösterilir. Koordinat sisteminde uzaması hatalı bölgede olan bir eleman, kalıplandığında parçada o bölgede yırtık oluşur.



Şekil 3.36. PÇK çalışma penceresi

Kaynak : Zhong-qin, Wu-rong, Guan-long, A new strategy to optimize variable blank holder force towards improving the forming limits of aluminum sheet metal forming 2007

FLD diyagramının hatalı ve güvenli bölgelerinin genel kavramını kullanarak şekil 3.36 PÇK çalışma penceresi, şekil 3.37 de PÇK şekillendirme penceresi olarak tanımlanabilir. PÇK şekillendirme penceresinin X ve Y koordinat eksen sistemi zımba kursu ve PÇK ifade etmekte. Kırışıklık bölgesi zımba kursu aynı iken PÇK kalıpta yeterinden az uygulanmasında parçada kırışıklık olacağını gösterir. Yırtık bölgesi zımba kursu aynı iken PÇK kalıpta yeterinden fazla uygulanmasında parçada yırtık olacaktır. Her malzemenin belli bir form verme limiti vardır, hiç biri daha fazla çekilemez, Değişkenli PÇK kullanılsa da kullanılsa da parça belli bir çekme oranından sonra yırtılacaktır. Şekil 3.36 da gösterilen PÇK çalışma penceresi ile şekil 3.37 de *ile* gösterilen PÇK şekillendirme penceresi ortak noktaya sahiptir. Bu kesişim noktası form verme limitinde bu malzemenin maksimum çekme yüksekliğini göstermektedir.

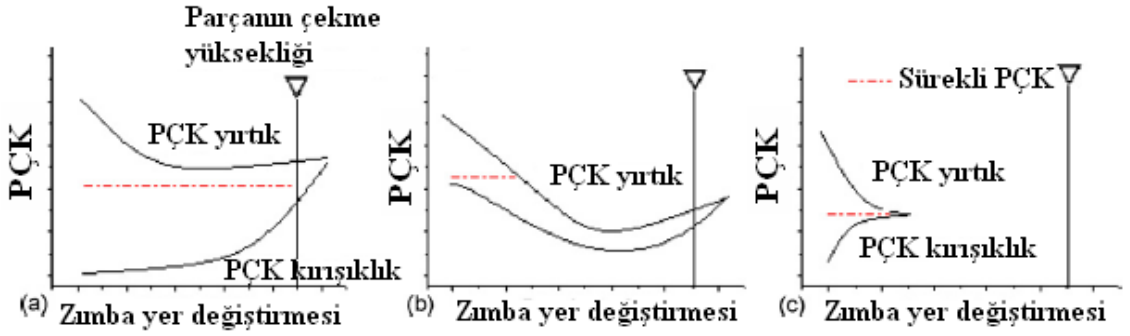


Şekil 3.37. PÇK şekillendirme penceresi

Kaynak : Zhong-qin, Wu-rong, Guan-long, A new strategy to optimize variable blank holder force towards improving the forming limits of aluminum sheet metal forming 2007

PÇK şekillendirme penceresi şekil 3.38 de gösterildiği gibi PÇK yırtık, PÇK kırışıklık ve kesişim noktası olarak üç kombinasyona sahiptir. Şekil A da parça kırışıklık ve yırtık olmadan PÇK güvenli bölgede seçilmesiyle sürekli PÇK ile düzgün bir tasarımla birlikte PÇK şekillendirme penceresinde elde edilebilir. Bu malzemenin çekme limiti parça için gerekli çekme yüksekliğinden fazladır. Şekil 3.38. a da kırmızı ile kesik kesik gösterilen çizgi sürekli PÇK olarak tanımlanır. Uygunsuz sürekli PÇK yırtık veya kırışıklık şeklinde istenilen çekme yüksekliğine ulaşmadan ortaya çıkacaktır. B de ise bu malzemenin çekme limiti hala daha bir miktar istenilen parça çekme yüksekliğinden fazla fakat sürekli PÇK yırtık veya kırışıklık yapacağından parça sürekli PÇK altında elde edilemeyecektir. Parça sadece değişken PÇK altında elde edilebilmektedir. Şekil 3.38 B de kırmızı ile kesik kesik gösterilen çizgi sürekli PÇK altında yırtıksız ve kırışiksiz çekme limitini vermekte. Diğer sürekli PÇK kırışık ve/veya

yırtığa neden olurken yeterli çekme yüksekliğine ulaşılır. C de bu malzemenin çekme limiti istenen parçanın gerekli çekme yüksekliğinden daha az. Şekil 3.38 c de maksimum çekme yüksekliği sürekli veya değişken PÇK altında aynı, kesişim noktasında. Çekme yüksekliği olarak bilinen geometri bu değişken PÇK bile istenilen çekme yüksekliğini sağlayamayacağı anlamına geliyor. Bu durumlarda parça geometrisi revize edilir veya sac malzeme daha iyi şekillendirilebilen başka malzemeyle yer değiştirilir. Buna karşılık belli olmayan yüksekliğiyle yeni bir tasarım için kesişim noktası optimum değişkenli PÇK altında mümkün maksimum çekme limitini ifade eder. (Zhong-qin, Wu-rong, Guan-long 2007)



Şekil 3.38. PÇK şekillendirme penceresinin 3 temel türü

Kaynak : Zhong-qin, Wu-rong, Guan-long, A new strategy to optimize variable blank holder force towards improving the forming limits of aluminum sheet metal forming 2007

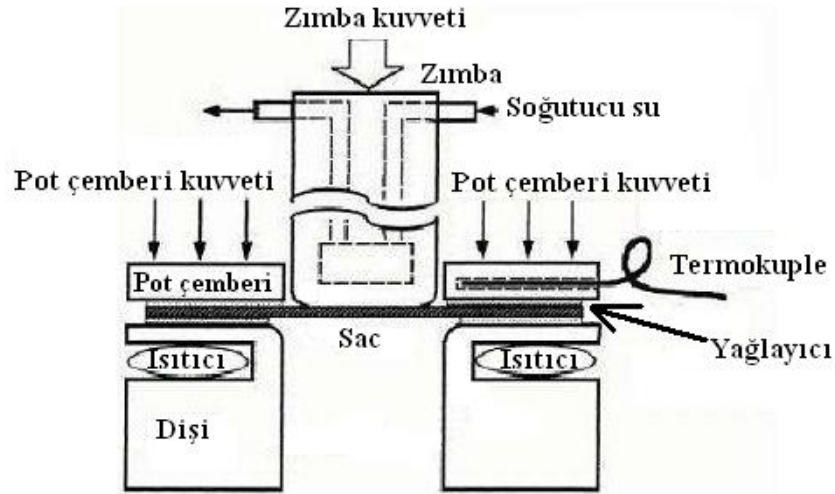
3.5.3. Ilık Şekillendirme

Ilık şekillendirme (Şekil 3.39.) malzemenin sıcak ile soğuk şekillendirme arasında belli bir ısıda şekillendirilmesine verilen isimdir. Normalde, sıcak şekillendirme malzemenin erime sıcaklığının hemen altında iken soğuk şekillendirme ise oda sıcaklığındadır. Ilık şekillendirme ise sıcak şekillendirmeye oranla daha az enerji, yalıtım, teknoloji ve lojistik gerektirmektedir ve bu nedenle şekillendirilmesi zor olan parçalar için etkileyici bir süreçtir. (Thomas, Altan, Kaya 2003)

Ilık şekillendirme, alüminyumun şekillendirilebilirliğini arttırabilmek adına geliştirilmiş bir metottur. Hafif ağırlıklı malzemelerin ılık şekillendirilme ilgisi, yüzde 6 oranında magnezyum içeren alüminyumun yaklaşık 250C° derecede toplam yüzde 300 e kadar toplam uzama verebildiğinin keşfedilmesiyle 1970'lerde başladı. (<http://www.thefabricator.com> 2009)

Alüminyum sac malzemenin sıcaklığının artışıyla, şekillendirmede birçok avantaj sağlanabilir. Şekil 3.40. da gösterildiği gibi ısı arttığında malzemenin akış gerilimi azalma eğilimi gösterir. Bundan dolayı, form verme yüklemesi de azalır. İleri araştırmalar, malzeme

sıcaklığındaki artış eğiliminin uzama oranı sertleştirmesinde artışa, lüderingde azalma ve şekillendirme limit eğrisinde artışa neden olduğunu göstermektedir. Malzemenin şekillendirilebilmesindeki bu artış, derin formlarda veya karışık geometrilerde kullanışlı olabilir. Ilık şekillendirme, ekipman yatırımı gerektirmektedir. Kalıplamayı sağlamak için, gelen malzemeyi ısıtmak amaçlı bir fırın veya ısıtıcı çekirdekler gerekmektedir. Kalıp ısısını verimli biçimde koruyabilmek adına yalıtım da kullanılmalıdır. (Thomas, Altan, Kaya 2003)



Şekil 3.39. Ilık şekillendirme kalıp sistematiği

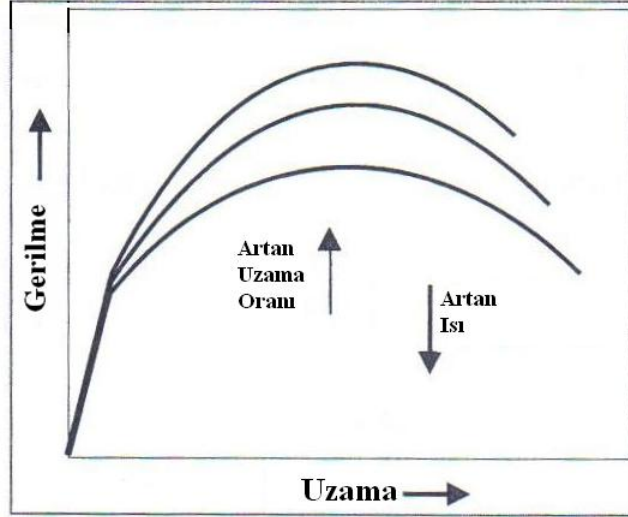
Kaynak : Erdin, Aykul, Tunaliöglü, Forming of high strength / low formability metal sheets at elevated temperatures 2005

Isıtma süreci için iki farklı metot vardır. Konvansiyonel metotta, malzeme fırında ısıtılır ve ısıtma süreci sonrası prese aktarılır. Bu metotla, homojen bir ısıtma ortamı sağlanmalıdır, fakat aktarım sırasında ısı kaybı oluşacaktır. İkinci metot, kalıbın ve sacın elektrikle ısıtılmasıyla gerçekleşir. Bu metot lokal ısıtıcılarla gerçekleştirilebilir. Isıdaki değişimin uygulaması, derin çekme prosesine yardımcı bir parametredir. Şekil 3.39. lokal ısıtmayı mümkün kılan bir yapıyı göstermektedir. (Erdin, Aykul, Tunaliöglü 2005)

Aluminyumun ılık şekillendirilmesinde, dişi ve pot çemberi genellikle 200 ile 300 C° arasında ısıtılır. Birçok araştırma 5xxx ve 6xxx serilerinde ılık şekillendirme kullanıldığında şekillendirilebilirliklerinin büyük oranda arttığını göstermektedir. (<http://www.thefabricator.com> 2009)

Derin çekme sürecinde, oldukça karmaşık olan mekanik deformasyon ısı ve uzama oranının etkisiyle daha da karışık bir hal almaktadır. Derin çekmede yükseltile ısıda, genelde dişi ve pot çemberi ısıtılır, bununla birlikte erkek soğutulur. Sac, soğuk erkeğe ilk değdiğinde, ısı azalır ve sacın erkeğe temas eden kısmı, sacın geri kalan kısmına göre daha soğuk olur. Bu

şu anlama gelir, sac zımba köşelerinde daha fazla gerilime dayanır ve daha az uzama olacaktır. Deformasyon devam ederken, erkekle temas eden çekilmiş kabın bir kısmı soğumaya devam eder. Bununla birlikte, ısıtılmış kalıbın altındaki sac daha yüksek ısıya sahiptir ve bu da malzemenin kolayca akmasına yardım eder. (Kaya 2008)



Şekil 3.40. Malzeme ısı ile uzama oranının akış gerilimine etkisi

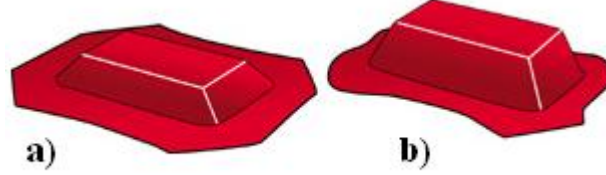
Kaynak : Thomas, Altan, Kaya, Handbook of Aluminum Volum 2 Alloy Production and Materials Manufacturing 2003

Dişi ve pot çemberi, kalıp içerisine yerleştirilmiş elektrik ısıtma çubukları vasıtasıyla ısıtılır. Malzeme akışını kontrol etmede, dişi köşeleri önem arz ettiğinden kalıbın dişi köşelerine kadar ısıtma gerekmektedir. Birçok durumda kalıbın tamamını ısıtmak gerekmemektedir. Düz kısımlar, su veya yağ yardımıyla soğutulabilir. Bu süzme çubuğuna benzer etki yapar ve malzeme akışını azaltır. (<http://www.thefabricator.com> 2009)

Birçok araştırma alüminyum alaşımlarını, ılık şekillendirilmeye yönlendirmektedir. Örneğin, alüminyum alaşımından (5754-O), oda sıcaklığında (20 C°), 100C°, 175 C°, 250 C° çekilmiş dikdörtgen konik bir kap davranışları Bolt tarafından deneysel olarak analiz edilmiştir. Maksimum kap yüksekliği, sürtünme olmadan sağlanmış ve bu şekilde karşılaştırılmıştır. Bu kapların yükseklikleri; 35mm, 38 mm, 38mm ve 60mm sırasıyla 20 C° derece, 100 C°, 175 C° ve 250 C° ısıları içindir. (<http://www.thefabricator.com> 2009)

Şekil 3.41.a ve 3.41.b ulaşılabilen 35mm ve 60mm kap yüksekliklerini sırasıyla oda sıcaklığı 20 C° ve 250 C° göstermektedir. Bu çalışmanın sonucunda, 20 C° ve 175 C° kap yüksekliklerinin sadece 3mm arttığını göstermektedir. Bununla birlikte, 250 C°, kap yüksekliği büyük bir artış göstererek 60 mm ye çıkmıştır. (<http://www.thefabricator.com> 2009)

Dikdörtgen konik kabın ılık şekillendirmesinde, kap duvarı erkeğin üzerinden sacın gerilmesiyle ve flanşın dişi ile pot arasında kısmen çekilmesiyle form verilmektedir. Isıtılmadan dolayı flanşın yumuşaması, daha fazla malzemenin dişi boşluğuna yırtılma veya kırışma olmadan çekilmesine izin verir. (<http://www.thefabricator.com> 2009)



Şekil 3.41. a) Dikdörtgen kap yüksekliği 20-100-175 C° sadece 3mm artmakta. b) 250 C° kap yüksekliği 60mm ye kadar artmakta

Kaynak : (<http://www.thefabricator.com> 2009)

Al ve Mg alaşımlarının ılık şekillendirilebilmesinde, mantıklı bir Ar-Ge stratejisi geliştirebilmek ve araştırma öncelikleri belirlemek için, ılık şekillendirme prosesinin bir sistem olduğu dikkate alınmalıdır. Gelen malzeme şekli ve özellikleri, şekillendirme ısısı, ara yüz şartı (sürtünme ve ısı transferi), kalıp ısısı, şekillendirme hızı (veya uzama oranı) ve şekillendirme ekipmanları, son ürünün şekli ve özelliklerinde prosesin ekonomikliği gibi etki etmektedir. Temel anlayış, sistemin, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkinin sağlam, verimli ve ekonomik bir üretim prosesi geliştirilmesi gerekliliğidir. Böylece, sac-metaller için ılık şekillendirme prosesinin geliştirilmesinde gerekli olan şu kritiklikler dikkate alınmalıdır: (Kaya 2008)

a) Yükseltile ısıda, Mg ve Al alaşım sacının malzeme akış davranışı, b) kalıp ve açınım sacında yağlama sisteminin arayüzü, c) ısı kontrolüyle kalıp tasarımı ve d) ılık şekillendirme proses tasarımı, sonlu eleman metodu (SEM) kullanarak deney ve nümerik modelleme yapılır. (Kaya 2008)

3.5.3.1. Magnezyumun Ilık Şekillendirilmesi

Magnezyumda hafif ağırlıklı bir malzeme olarak otomotiv üretiminde potansiyele sahiptir. Magnezyum alaşımlarının ılık şekillendirilmeleri, hali hazırda dünya üzerinde çeşitli laboratuvarlarda çalışılmaktadır. Araştırmalar, endüstriyel uygulamalarda magnezyum parçaların derin çekmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Fakat bu alaşımın otomotiv endüstrisinde

daha geniş kabul görüp, kullanılabilmesi için şekillendirme teknolojisinin geliştirilmesi gerekmektedir. (<http://www.thefabricator.com> 2009)

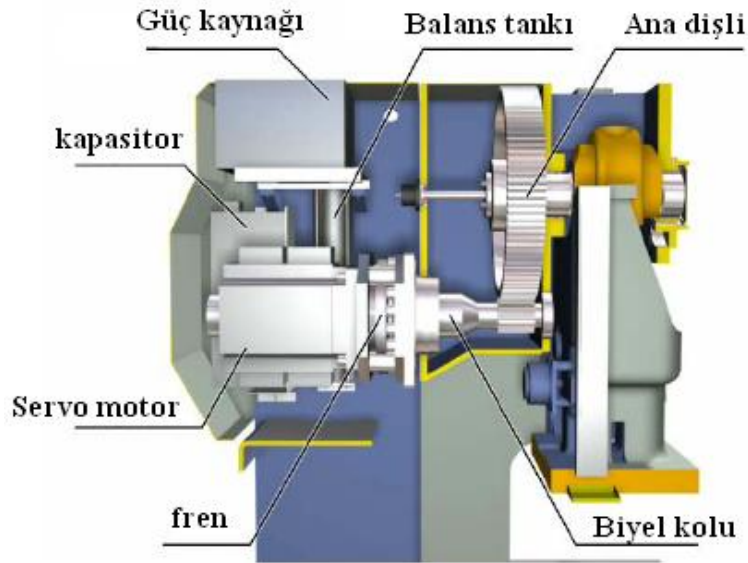
3.5.3.2. İleri Geliştirme Gereksinimleri

Aluminyum alaşımlarının ılık şekillendirmesi, karmaşık aluminyum sac ürünlerinin oda sıcaklığında ekstra şekillendirme ve birleştirme operasyonları olmaksızın çekilebilmesini mümkün kılmaktadır.

Ilık şekillendirme kalıp maliyetinin, konvansiyonel kalıba göre daha yüksek olmasına karşın, bu teknolojinin uygun maliyetli olacağı uygulamalar olacaktır. (<http://www.thefabricator.com> 2009)

3.5.3.3. Servo Pres Ve Kinematığı

Servo preslerin sunduğu en büyük avantaj esnek oluşlarıdır. Bu esneklik tüm hızlarda başından sonuna kadar slaytın kursunu sonsuz sayıdaki yollarla hızını ve hareketini programlayabilmeye uygun olmasından gelir. Ilık şekillendirme derin çekme prosesinde, servo pres iş parçasının kalıpta soğutulmasına izin vermekte. Böyle olunca, sacın ısıtılması ve kalıba transferi ile ilgili gerekli olabilecek ekipmanların kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Kaya yaptığı deneysel çalışmada şematığı şekil 3.42. de gösterilen 110 ton AIDA servo pres kullanmıştır. Bu tasarımın en önemli özelliği yüksek tork, düşük RPM li servo motordur. Bu motor, direkt biyel koluna bağlanmakta ve ekstra bağlantı parçalarına gerek duyulmamaktadır. Bu tasarımda, torku artırmak için volan, kavrama ve sürücü motoru mekanizmalarına gerek duyulmamaktadır. Biyel kolu eksantrik sürücü mekanizmasına bağlı ve bu ana dişlideki sürücüyü hareket ettirmektedir. Eksantrik sürücü mekanizması, üst koçun hareket etmesini sağlamakta. Bir kapasitor stroğun çalışmadığı bölümünde enerjiyi depolamakta bu da standart mekanik preslerle kıyaslandığında enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olmakta. Pres, pot çemberi kuvveti (PÇK) sağlayabilmek için hava ile çalıştırılan pot tutma sistemlidir. (Kaya 2008)

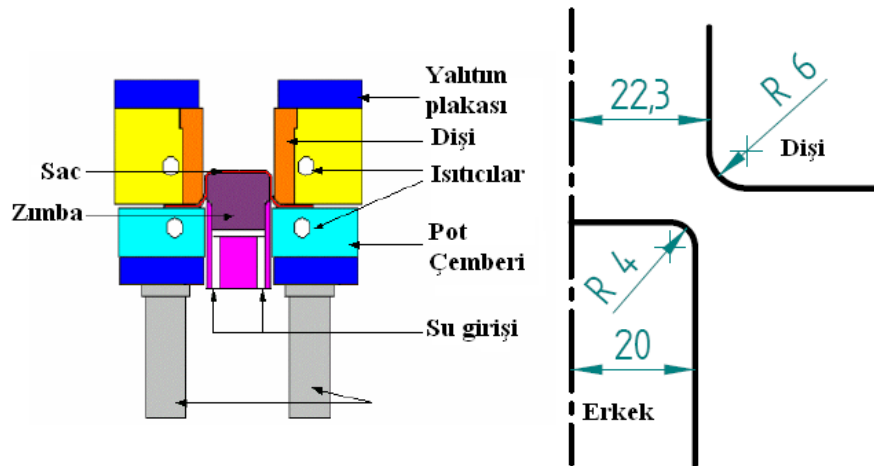


Şekil 3.42. AIDA servo mekanik pres mekanizmaları

Kaynak : Kaya, Improving the formability limits of lightweight metal alloy sheet using advanced processes, 2008

3.5.3.4. Kalıp Tasarımı

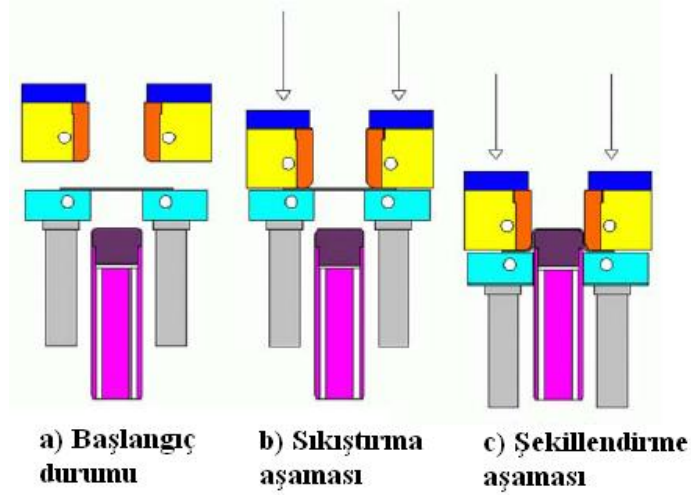
Şekil 3.43. Kaya'nın kullandığı ılık şekillendirme kalıbının şematini, şekil 3.44. de tasarlanmış kalıp setli operasyonu göstermekte. Önerilen ardışık proseste, ilk olarak açınım sacı pot çemberinin üzerine konur.



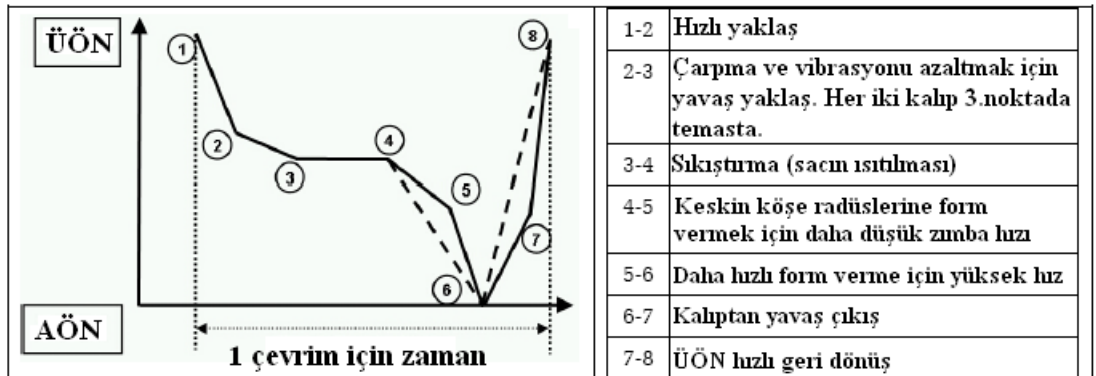
Şekil 3.43. İlık şekillendirme kalıbı şematik görünüşü ve ölçülendirilmesi (ölçüler mm)

Kaynak: Kaya, Improving the formability limits of lightweight metal alloy sheet using advanced processes, 2008

Üst koç saca değip, sacı sıkıştırana kadar aşağıya doğru hareket eder. Bu sıkıştırma zamanında sac, gerekli sıcaklığa ısıtılmış dişi kalıp ve pot çemberi vasıtasıyla ısıtılır. Sıkıştırma periyodundan sonra, üst koç aşağıya erkek zımbaya doğru iner ve sac şekillendirilir. Servo motorlu pres ilk olarak süratlice saca dokunmayı, istenilen sürede sıkıştırma yapmayı ve son olarak sacı istenilen süratte şekillendirebilmeyi programlamak gibi bir çok kolaylık sağlar. Şekil 3.45. de gösterildiği gibi kurs ve zaman profilli ılık derin çekme prosesi kullanılabilir. Dişi kalıp ve pot çemberi kartuşlu ısıtıcılarla (310 C° dereceye kadar) ısıtılırken, erkek zımba oda sıcaklığında içerisinde dolaşan su ile (65 C° dereceye kadar) soğutulur. Dişi kalıp ve pot çemberi ısıyı ölçülür ve kontrol edilir. Cam fiber yalıtıcı üst ve altta kalıp plakasıyla dişi tutucu göbek arasında konumlanır. Kalıp seti, proses süresince koçtaki ve zımbadaki kuvvet yer değişikliklerini yer değiştirme transformatörüyle ölçmektedir. Şekil 3.46. ve 3.47. kalıbı servo preste ısı kontrolörü ve zımba soğutma ünitesiyle ayrı ayrı göstermekte. (Kaya 2008)

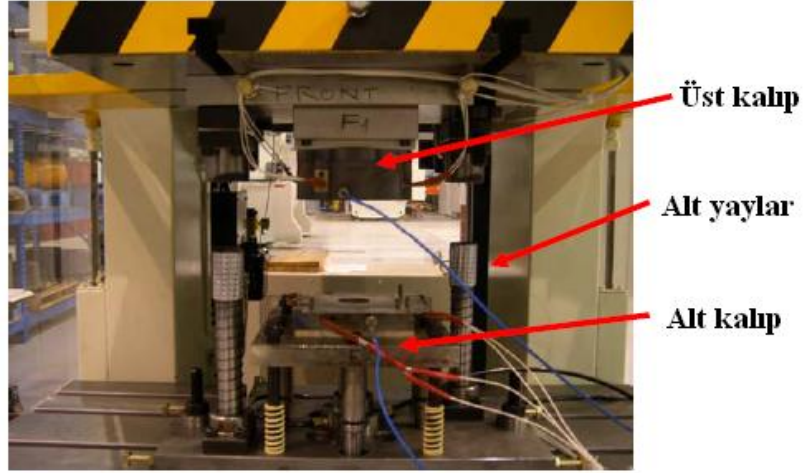


Şekil 3.44. Kalıpta ılık şekillendirme süreci



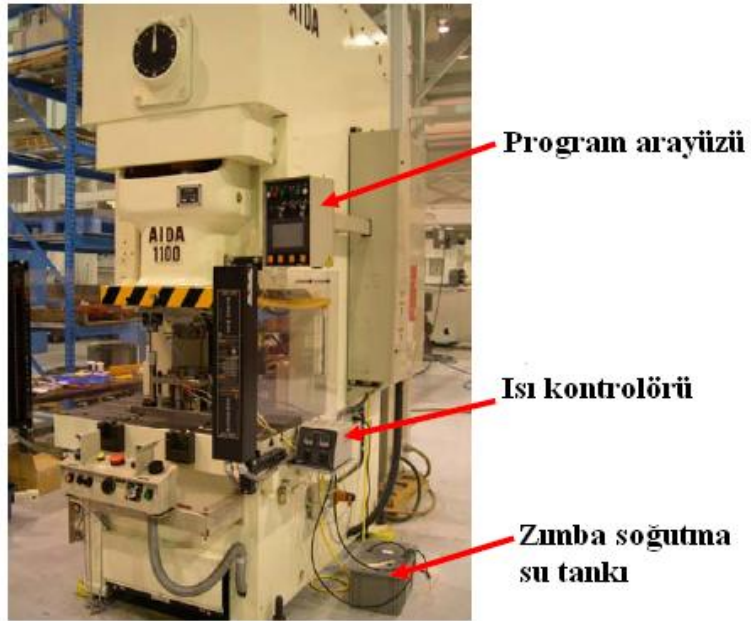
Şekil 3.45. Servo pres koç hareketi (ÜÖN:Üst Ölü Nokta, AÖN:Alt Ölü Nokta)

Kaynak : Kaya, Improving the formability limits of lightweight metal alloy sheet using advanced processes, 2008



Şekil 3.46. Aida servo preste ılık şekillendirme kalıbının görünüşü

Kaynak : Kaya, Improving the formability limits of lightweight metal alloy sheet using advanced processes, 2008



Şekil 3.47. 110 ton Aida servo pres

Kaynak : Kaya, Improving the formability limits of lightweight metal alloy sheet using advanced processes, 2008

3.5.3.5. Yağlayıcılar

Kalıp ve sacın ısı transferine, kalıbın veya sacın yüzey pürüzlülüğü, yağlayıcı ve basınç miktarları etki ettiği bilinmektedir. Ilık şekillendirmede yağlayıcı soğuk şekillendirmeye oranla Al. ve Mg. alaşımlarında daha önemli olmaktadır. Yağlayıcı performansında en çok şekillendirme ısı belirleyicidir. Genelde 120 C° kadar metallerin ılık şekillendirilmesinde yağ, gres yağı, sabun ve vaks kullanılır. Sabun çözümü 230 C° ısıya kadar kabul edilebilir. Şekillendirme ısı 230 C° aştığında yağlayıcı seçimi molibden disülfür, grafitin koloidal çözümü ve teflon ile sınırlı olmaktadır. Bu yağlayıcılar korozyonu engellemek için Mg parçalardan olabildiğince çabuk temizlenmelidir. Bununla birlikte metallerin (300 C° kadar) ılık şekillendirilmesinde kullanılmak üzere sınırlı sayıda yağlayıcı mevcuttur. Böyle olunca, bu yağlayıcıların Al. ve Mg. alaşımli sacın şekillendirilmesindeki performanslarının incelenmesi büyük önem taşımaktadır. (Kaya 2008)

Tatmin edici bir yağlamanın aşağıdaki ölçütleri karşılaması beklenmektedir:

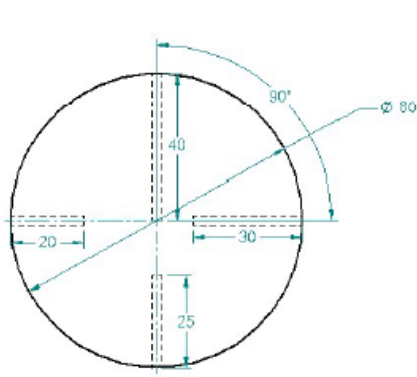
- Sürtünmeyi azaltma için iyi yağlama
- Operasyon ısısının istikrarı (dumansız ve sigarasız bir ortam)
- Zehirsiz olması
- İyi yapışma
- Uygulamasının rahatlığı
- Uzaklaştırmasının rahatlığı
- Düşük maliyet (<http://www.thefabricator.com> 2009)

3.5.3.6. Açınım Sacının Isıtılması

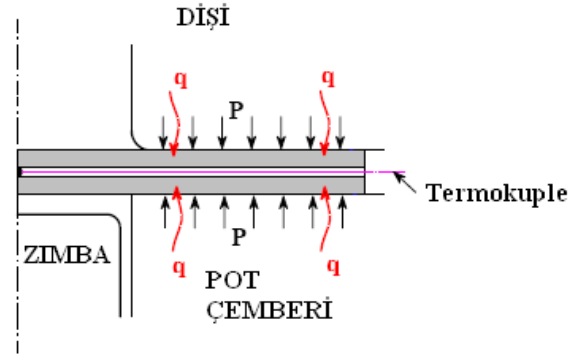
Sıcak şekillendirmede, ısı transferi ara yüz basıncından etkilenmektedir. Yeterli sıkıştırma basınç zamanını ve ara yüz basıncının ısıdaki artışa etkisini belirlemek için yapılacak deneylerde kullanılmak üzere Kaya bir alüminyum fikstür tasarımı yaptı. Fikstürün dışından ortasına doğru her biri 2 mm çapında olan 4 delik delindi. Bu deliklerin derinlikleri 20, 25, 30 ve 40 mm olarak tasarlandı. Fikstürün üst görünüşü şekil 3.48. de görülmekte. 40mm derinliğindeki delikler fikstürün merkezine denk gelmekte. Bu tür deneylerde yaşanan zorluklardan biride sacın ısıtılmış üst ve alt kalıba aynı anda temas etmesi olmaktadır. Bunu en aza indirebilmek adına, servo pres 1 ve 3 noktalarında en yüksek sürati yapmaya programlandı

(şekil 3.45.). Böyle olunca, sac/fikstür alt kalıba konumlandırıldı. Yaklaşık bir saniye sonra üst ve alt kalıp sıkıştırma başlamadan önce birbirlerine temas etmekte.

Fikstürün merkezinde ısıyı ölçebilmek adına 40 mm derinliğindeki deliğe E tipi termokuple konulmakta. Şekil 3.49. bunun şematüğını göstermekte.



Şekil 3.48. Fikstürün üst görünüşü



Şekil 3.49. Deneyin şematik görünüşü

Kaynak : Kaya, Improving the formability limits of lightweight metal alloy sheet using advanced processes, 2008

3.5.4. Sac Hidro Şekillendirme

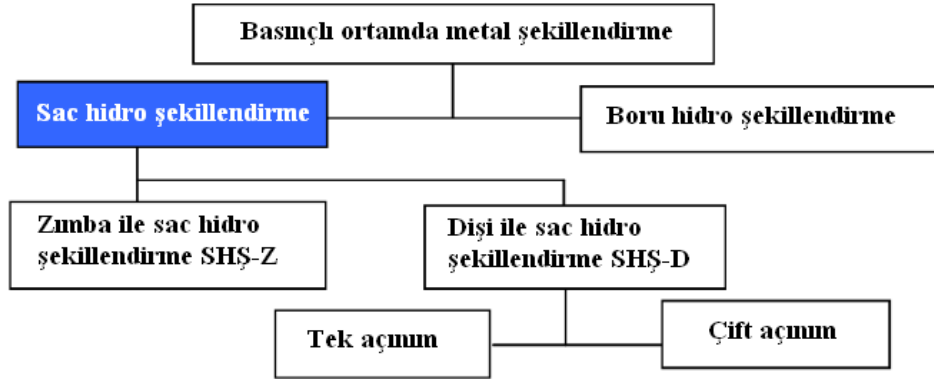
Basıncılı ortam kullanarak sac-metal şekillendirme, sac hidro şekillendirme olarak adlandırılmaktadır. (Yadav 2008)

Saç hidro şekillendirme yüksek çekme oranı, iyi parça yüzeyi gibi birçok avantaja sahiptir. Bununla birlikte, alüminyum alaşımlar, yüksek mukavemetli çelik, paslanmaz çelik ve titanyum alaşımlar gibi çok yönlü ve muhtelif malzemelerde düşük hacimlerde uygulanabilir. (Lang, Zhou, Kristensen, Danckert, Nielsen 2006)

Sac hidro şekillendirme yöntemi, konvansiyonel kalıpcılığın aksine, şekillendirme süreci esnasında basınçlandırılmış viskoz sıvı yatağından sacın alt kısmında desteklenmesini gerektirir. Bu dış destek, kalınlıkta sıkıştırılan gerilimle çekme dengesizliklerinde şekillendirmedeki kırışıklığı azaltmada veya yırtılmaları engellemekte kullanılır. (Abedrabbo, Zampaloni, Pourboghra 2005)

Sac hidro şekillendirme zımba ile sac hidro şekillendirme (SHŞ-Z) ve dişi ile sac hidro şekillendirme (SHŞ-D) şeklinde iki ana kategoriye (Şekil 3.50.) ayrılır. SHŞ-Z, “ Hidro mekanik derin çekme ” (HMC) ile eş anlamlıdır. Benzer şekilde SHŞ-D de “ Yüksek basınçla

sac hidro şekillendirme ” ile eş anlamlıdır. SHŞ-D daha sonra şekillendirme prosesinde kullanılan açınım sacının tek ve çift olmasına göre tekli veya çiftli hidro şekillendirme şeklinde kategorize edilir. (Yadav 2008)

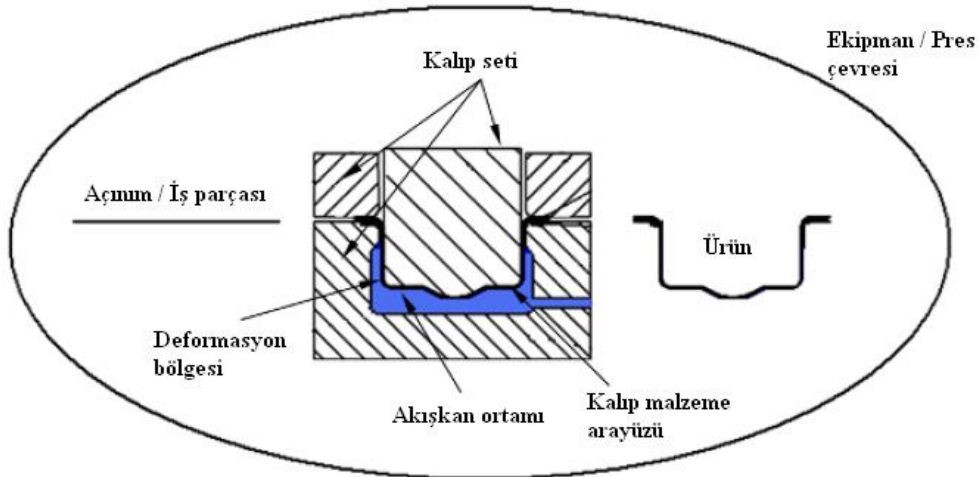


Şekil 3.50. Sıvı ortamı kullanılarak şekillendirmenin sınıflandırması

Kaynak : Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

3.5.4.1. Oda Sıcaklığında Sac Hidro Şekillendirme Sistemi

SHŞ-Z ve SHŞ-D prosesinin sac hidro şekillendirme sisteminde (şekil 3.51.) başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için dikkat edilmesi gerekli tüm sistem bileşenleri aşağıda verilmektedir:



Şekil 3.51. Sac hidro şekillendirme sisteminin elemanları

Kaynak : Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

- (a) Gelen sacın kalitesi
- (b) Kalıp – iş parçası ara yüz kısımları (sürtünme ve yağlama)

(c) Pot çemberi kuvvetinin (PÇK) etkin uygulanması ve sızdırmayı engellemek için kalıp tasarımı

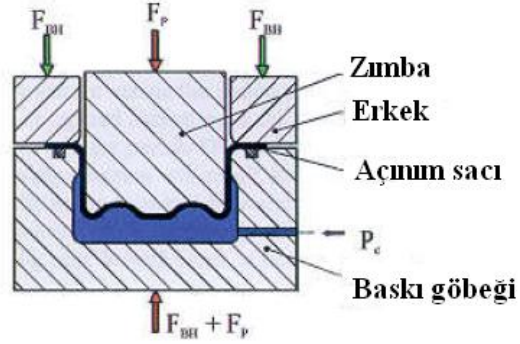
(d) İç akışkan basıncı ile PÇK arasındaki ilişki

(e) Pres ve kalıp

(f) Hidro şekillendirilmiş parçanın ölçüselliği ve özelliği (Yadav 2008)

3.5.4.2. Zımba İle Sac Hidro Şekillendirme (SHŞ-Z)

Zımba ile sac hidro şekillendirmede (SHŞ-Z) normal kalıptan farklı olarak alttaki dişi yerine basınç kontrollü bir göbek (Şekil 3.52.) vardır. SHŞ-Z prosesinde sac-metal, akışkan basıncı yardımıyla zımba yüzeyine doğru sıkıştırılır ve böylece konvansiyonel kalıpcılığa oranla daha yüksek çekilebilirlik göstermektedir. Zımba yüzeyi ile sac arasındaki sürtünmede, sac zımba yüzeyiyle öpüşür ve bu da daha yüksek çekilebilirlikle birlikte düzgün bir duvar kalınlığı elde edilmesini sağlar. (Yadav 2008)

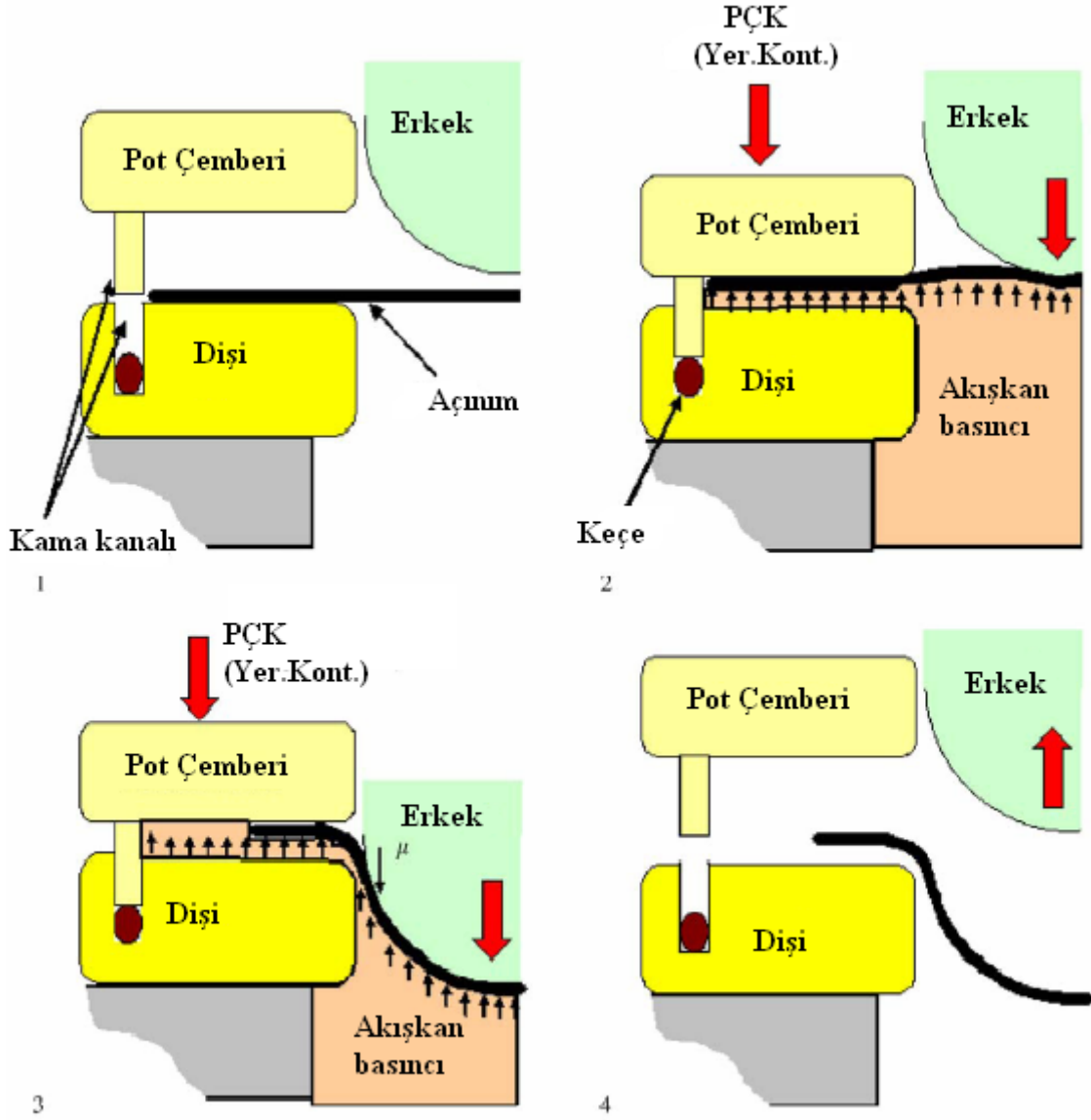


Şekil 3.52. Zımba ile sac hidro şekillendirme prosesinin şematığı

Kaynak : Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan, New technologies to form light weight automotive components 2007

Şekil 3.53. yarıküresel bir kabın derin çekmesinde kullanılan SHŞ-Z şematığını göstermektedir. Prosesin başlangıcında, açınım sacı kalıbın üzerine konur, şekil 3.53. (1) . pot çemberi kapatılır ve pot çemberi ile dişi kalıp arasındaki ayarlanmış boşluk (örnek 4 mm) ayarlanmış olur şekil 3.53. (2). Daha sonra sıvı alt odadan enjekte edilir (zımbanın karşısından) basıncı artırılır. Sıvı basıncı artarken, sac yükselir ve pot çemberi karşısındaki klemler kapanarak üst kalıp odasına çıkmasını engeller. Şekil 3.53. de gösterildiği gibi kama kanalları basınçlı akışkan sıvının sistemin içerisinde kalmasını sağlar. Zımba aşağıya doğru harekete başlar, sac dişi boşluğuna doğru itilir şekil 3.53. (3). Bu süreç boyunca, zımba yer değiştirirken dişi boşluğunda istenilen profilin elde edilebilmesi için bir regülatör akışkan basıncını kontrol

eder. Optimum akışkan basıncı ile zımba kursu parçanın kırışmadan ve yırtılmadan rahatça üretilmesini sağlar. Daha sonra zımbanın istenilen boşluğa çıkması ve akışkanın çekilmesinden sonra şekillendirilmiş parça kalıptan alınır şekil 3.53. (4). (Abedrabbo, Zampaloni, Pourboghrat 2005)



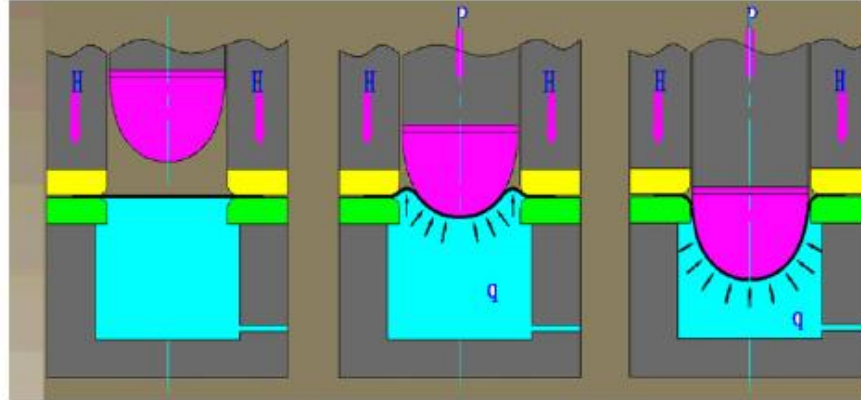
Şekil 3.53. Bir yarıküresel zımba ile sac hidro şekillendirme süre şematifi

Kaynak : Abedrabbo, Zampaloni, Pourboghrat, Wrinkling control in aluminum sheet hydroforming, 2005

SHŞ-Z prosesi, düşük çevrim zamanına karşın, düşük şekillendirilebilirlikli hafif ağırlıklı malzemelerin şekillendirilmesinde dikkat çekici bir yöntem olmaktadır. Ayrıca, dişi

kalıba gerek duyulmadığından kalıp maliyetinde de azalma olmaktadır. Bu yüzden SHŞ-Z prosesi, otomotiv gövde panellerinin üretiminde göz önünde tutulmaktadır. Örneğin, General Motors, Japon Amino firmasının yardımıyla SHŞ-Z prosesini kullanarak Pontiac Solstice modelinin gövde panellerinin üretimini yapmakta. (Yadav 2008)

Hafif ağırlıklı yapılar ve çok yönlü üretimlerden dolayı, hidro-mekanik derin çekmeye otomotiv, uzay, havacılık gibi endüstrilerin üretim alanlarında artan bir ilgi duyulmakta. Konvansiyonel sac şekillendirme teknolojileriyle karşılaştırıldığında hidro-mekanik derin çekme yüksek çekme oranı, şekillendirilmiş parçaların iyi yüzeyi, yüksek ölçüsel hassaslık gibi bir çok avantaja sahiptir. Şekillendirme prosesi şekil 3.54. de gösterilmektedir. Önce, sac kalıbın üzerine konulur, kalıbın dişi kısmı yağ ile doldurulur. Daha sonra klemp kuvveti pot çemberine yüklenir ve böylece akışkan basıncı dişi ile pot çemberi arasına sıkışır. Zımba aşağıya inmeden önce, ön şişme gerçekleşir. Zımba aşağıya inerken dişi boşluğundaki yağ basıncı artırılır ve sac, zımba yüzeyi arasına sıkıca konur. Bu metotla, bazı komplike yapılar ve bazı zayıf şekillendirilebilen alüminyum alaşım malzemeler gibi şekillendirilir. (Lang, Li, Dongyang, Cailou, Danckert, Nielsen 2009)



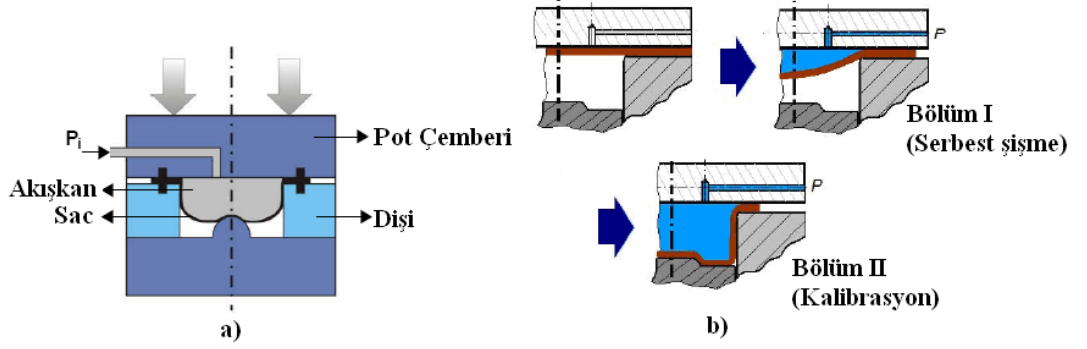
Şekil 3.54. Hidro mekanik derin çekme süreci şematığı

Kaynak : Lang, Li, Dongyang, Cailou, Danckert, Nielsen, Investigation into hydromechanical deep drawing of aluminum alloy— Complicated components in aircraft manufacturing, 2009

3.5.4.3. Dişi İle Sac Hidro Şekillendirme (SHŞ-D)

SHŞ-D yönteminde sac, şekil 3.55 a da gösterildiği gibi akışkanın hidrolik basıncı yardımıyla dişinin karşısında şekillendirilir. Şekillendirme sürecinde, ara plaka flanş kısımlarında malzeme akışını kontrol etmek için pot çemberi gibi rol oynar ve ortamdaki akışkanın sızmasını engeller. SHŞ-D yönteminde form verme operasyonu iki bölüme (Şekil 3.55 b) ayrılabilir. (Yadav 2008)

Bölüm I , serbest form vermeyi içerir. Burada sac; dişi ile temasa başlayana kadar dişi boşluğunda serbestçe şişer. Bölüm II , sacın dişi boşluğu karşısında istenilen şekli almasını içerir. (Yadav 2008)



Şekil 3.55 a) Dişi ile sac hidro şekillendirme prosesinin şematığı , b) Form verme operasyonu
Kaynak : Palaniswamy, Yadav, Kaya, Altan, New technologies to form light weight automotive components 2007

3.5.4.4. Sac Hidro Şekillendirme Avantajları Ve Dezavantajları

Avantajları

(1) Daha iyi şekillendirilebilirlik

- SHŞ-Z yönteminde, akışkan basıncı sac-metalde yüksek sürtünme kuvveti gösterir. Zımba sac malzemeye temas ettikten sonra gerilmesinin önüne geçer. Bununla birlikte, normal kalıpcılıkla kıyaslandığında sac-metal kabın duvarları SHŞ-Z daki gibi uzama göstermez, düzgün duvar kalınlıkları ve daha yüksek çekme oranı verir.

- SHŞ-Z prosesinde sacın serbest şişmesi düzgün bir uzama dağılımı gösterir. Buna karşın, konvansiyonel kalıpcılıkta zımba köşe radyüslerinde sacın deformasyonu fazla olmaktadır. Dolayısıyla, SHŞ-Z yöntemi malzemenin şekillendirilmesinde etkin olarak kullanılmaktadır. SHŞ-D otomotiv yüksek mukavemetli ve Al. alaşımını düşük şekillendirilebilirliğe sahip parçalarının üretiminde uygun bir alternatif olabilir.

(2) Geliştirilmiş çökme direnci

- SHŞ-D prosesinde germe esnasında malzemede pekleşme artar ve bu da normal kalıplanan parçaya oranla hidro şekillendirilmiş parçada çökme direncini geliştirir.

(3) Düşük kalıp maliyeti

- Zımba veya dişinin olmamasından dolayı yapım süresi kısalmış ve kalıp maliyeti azalmıştır.

(4) Daha iyi yüzey kalitesi

- Sac hidro şekillendirmede uygulanan göbek basıncıyla yan duvarlarda kırışıklık olmamaktadır ve bu da daha iyi yüzey kalitesi elde etmeye yardımcı olmaktadır. Bu şekilde otomotiv gövde panellerinin tasarımlarında kolaylık sağlamaktadır.

(5) Az şekillendirme operasyonları

- Konvansiyonel kalıpcılıkla kıyaslandığında komplike şekiller ve özelliklerde bulunan az şekil verme işlemleri yapılabilmekte ve bu da üretim maliyetlerini azaltmaktadır. SHŞ-Z prosesi konvansiyonel kalıpcılıkla da birleştirilebilir, operasyon sayıları azaltılabilir.

(6) Düşük üretim adetleri için ekonomiklik

- SHŞ-Z prosesi şimdilerde revaçta olan artan rekabetçilikte kısa ömürlü, düşük üretim adetlerine sahip üretimler için ekonomik olmaktadır.

(7) Yüksek ölçüsel hassaslık (basit simetrik geometriler)

- Dış panel sacları akışkanla temas ettiğinden daha az kalıp izi oluşacağından daha iyi yüzey kalitesi sağlanacaktır. (Yadav 2008)

Dezavantajları

(1) Yüksek çevrim zamanları

(2) Yüksek üst koç baskısı gerekmektedir / Yüksek pres maliyeti

- SHŞ-Z yöntemini konvansiyonel kalıpcılıkla kıyaslandığımızda yeterli baskıyı sağlayabilmek için daha yüksek kapasiteli preslere ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, SHŞ-Z presleri pahalı olmakta ve daha yüksek sermaye yatırımı gerektirmektedir. Parça geometrisine, üretim miktarlarına bağlı olarak daha yüksek pres maliyetleri ortaya çıkmakta ve bu da düşük kalıp maliyetiyle dengelenememektedir.

- SHŞ-D yönteminde, parçadaki keskin köşeleri şekillendirebilmek için yüksek basınçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu basınç, sac malzemenin kalınlığına ve kalıbın en küçük köşe radyüsüne bağlı olmaktadır.

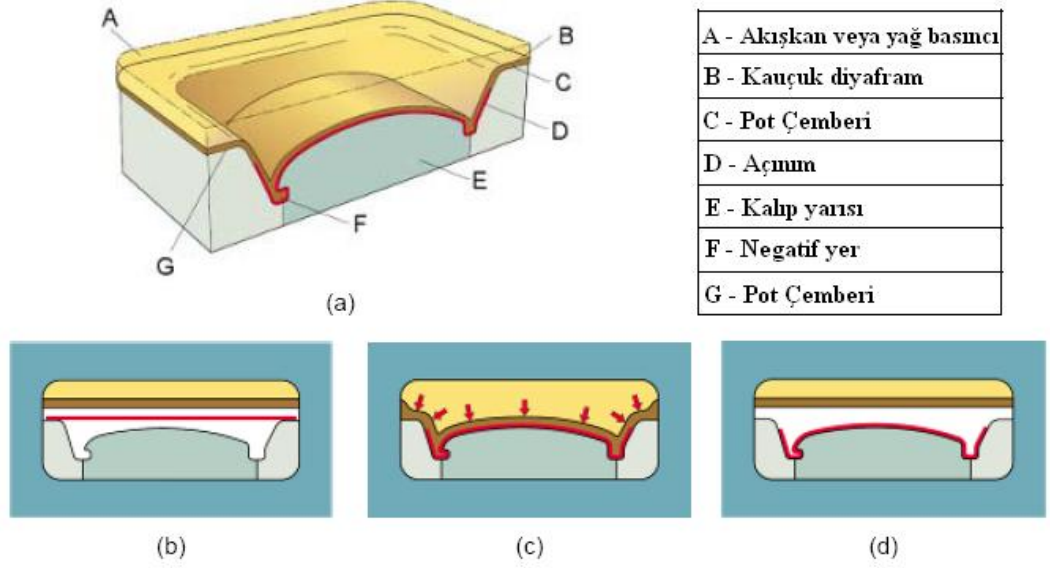
(3) Kompleks geometrilerde düşük ölçüsel hassaslık (Yadav 2008)

3.5.4.5. Sac Hidro Şekillendirme – Süreç Çeşitlilikleri

Esnek Şekillendirme

Sac-metallerin esnek şekillendirme (Şekil 3.56.) süreci akışkan yardımıyla yapılmaktadır. Zimba yerine pres koçunda yağ ve esnek kauçuk diyafram vardır. Açınım kalıbın

üzerinde durur. Hidro şekillendirme ünitesi sacı dişi boşluğa iter. Yağ ve diyafram formu sarar sacı dişi boşluğunun üzerinde tutar. (Yadav 2008)



Şekil 3.56. a) Esnek sistemin elemanları b) Başlangıç d) Esnek şekillendirme süreci

Kaynak : Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

Bu yöntem ilk olarak ASEA tarafından geliştirilmiştir. Kauçuk diyaframın esnekliğiyle negatifte kalan, keskin hatlar ve hatta farklı kalınlıklar bile şekillendirilebilmektedir.

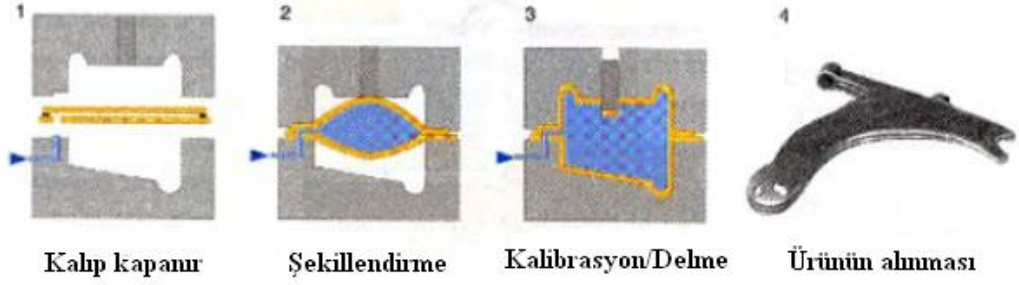
Çift Açınımlı Hidro Şekillendirme / Paralel Plakalı Hidro Şekillendirme

İki düz veya ön şekillendirilmiş farklı kalınlıklarda olabilen sacların, farklı şekilde kaynaklı veya kaynaklı sacların açınımları paralel plakalı hidro şekillendirme süreci için bir girdi oluşturmaktadır. Saclar, açınımın kenarlarında ve basınç ortamında özel bir kenetleme mekanizması kullanılarak tutulur. Saclar, akışkan (şekil 3.57. a) yardımıyla üst ve alt kalıpların karşısında istenilen şekle uygun olarak şekillendirilmektedir. (Yadav 2008)

Paralel plakalı sac hidro şekillendirme, farklı kesitlerde, uzunluklarda, büyük farklara sahip büyüme oranlarıyla karmaşık geometrilerin şekillendirilmesinde boru hidro şekillendirme prosesine alternatif olmaktadır. Şekil 3.57. b-c paralel plakalı sac hidro şekillendirmeye üretilen çeşitli otomotiv parçalarını göstermektedir.

Hem paralel plakalı hidro şekillendirmede hem de yüksek basınçlı sac hidro şekillendirmede sac-metal dişiye akışkan yardımıyla itilerek şekillendirildiğinden birbirlerine alternatif olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, paralel plakalı sac hidro şekillendirmede iki

parça tek bir çevrim süresinde üretilebileceğinden üretimde artış olur. Paralel plakalı hidro şekillendirme üst kalıp ile alt kalıbın farklı şekillerde olmasına izin verir. Ayrıca, iki farklı kalınlıkta ve kalitede malzemenin bir çevrimde üretilmesine izin vermektedir. Nispeten düşük üretim miktarlarında paralel plakalı sac hidro şekillendirme, konvansiyonel kalıplıklıkla kıyaslandığında daha ekonomik olabilir. (Yadav 2008)



a) Çift açınımlı sac hidro şekillendirme yönteminin ardışık prosesinin şematığı



b) Motor destek barı



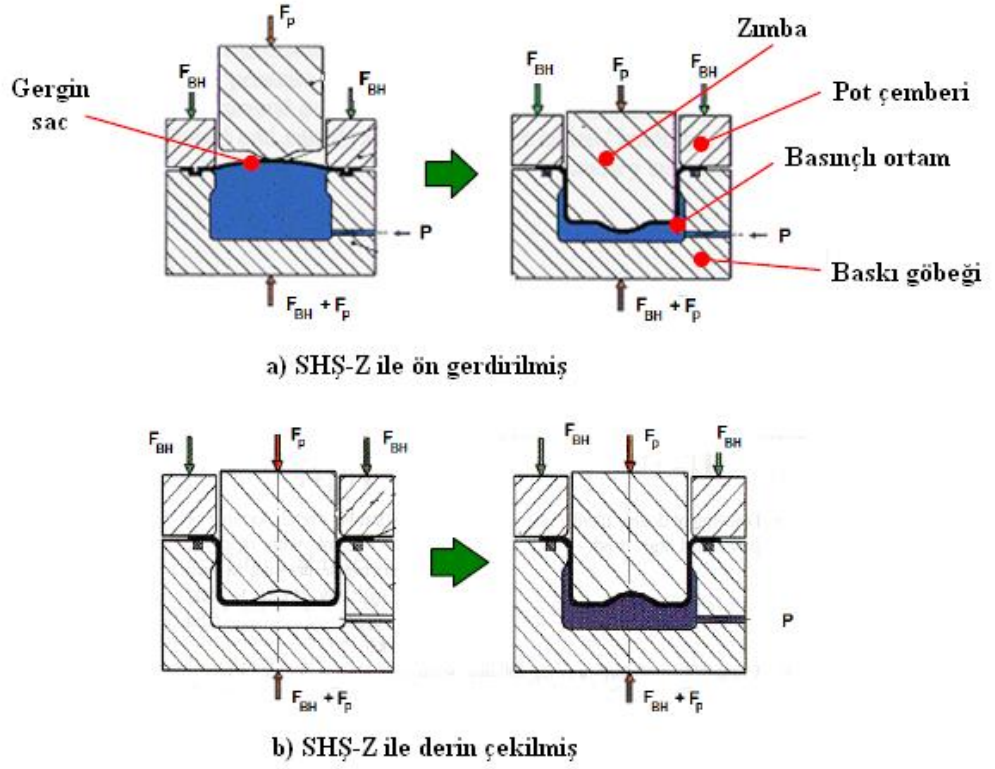
c) B direği

Şekil 3.57. Çift açınımlı sac hidro şekillendirme ve çift açınımlı sac hidro şekillendirme yöntemiyle üretilmiş bazı otomotiv parçaları

Kaynak : Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

Normal Kalıp Operasyonlarının SHŞ-Z Süreciyle Birleştirilmesi

Bu “aktif” SHŞ-Z sürecinde dışarıdan bir pompa yardımıyla göbek basıncı sağlanmakta. SHŞ-Z prosesinden önce (bakınız şekil 3.58. a) açınım sacı ilk olarak göbek basıncı yardımıyla yukarıya doğru şişme yapar. SHŞ-Z sürecinden önce bu ön germe veya ön şişme plastik uzama sağlar ve yüksek çökme direncinde istenilen gerilmeyi oluşturur. Ön şişme kırışma olmasını engeller ve düzgün kalınlık dağılımı oluşmasını sağlar ve böylece çekme oranında artış olur. Şekil 3.58. b, SHŞ-Z prosesiyle, normal kalıplama birlikteliğinden kompleks parçaların şekillendirme operasyonlarının azaltıldığını göstermektedir. (Yadav 2008)



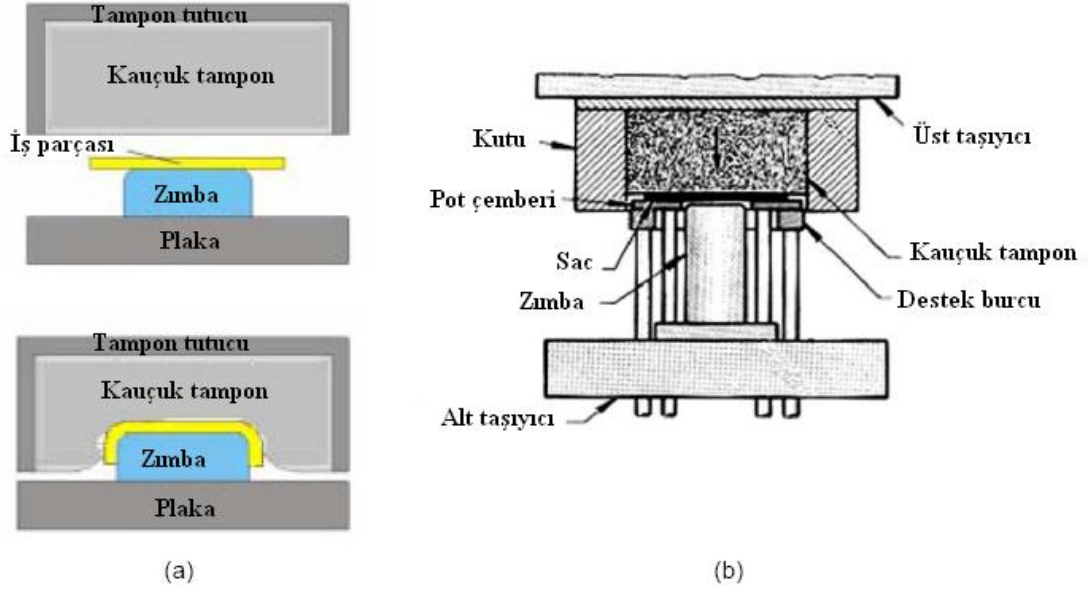
Şekil 3.58. SHŞ-Z yöntemini germe ve derin çekme kombinasyonu kullanılarak kompleks parçaların daha az operasyonla şekillendirilmesi

Kaynak: Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

Kauçuk Diyaframlı Şekillendirme

Kauçuk diyaframlı şekillendirmede dişi, tampon tutucu kauçuk tampon yardımıyla yer değiştirir. Tampon tutucu aşağıya inerken kauçuk veya elastomer gelip zimba üzerinden sac / iş parçasına oturup öpüşür. Deformasyona maruz kalan elastomer sac-metal üzerinde bir hidrostatik basınç ortaya çıkarır ve zımbanın tam şeklini almasını sağlar. Kauçuk şekillendirme teknolojisi daha ziyade prototip ve küçük serili işlerin üretimleri için uygundur. Kauçuk tamponlu şekillendirme prosesi yanında Guerin prosesi (şekil 3.59 a) küçük üretim miktarlarına uygun en eski ve en basit yöntemdir. (Yadav 2008)

Marform prosesi, Guerin prosesini derin çekmede aynı ucuz kalıpları kullanmak üzere geliştirilmiştir. Guerin prosesiyle kıyaslandığında hidrolik uyarıcılı bir basınç kontrol valfli (30-70 MPa) çelik bir pot çemberiyle desteklenmektedir. Kalıplar, hafif alaşımli dökümlerle, kauçuk tampondan sac-metalin 1.5 ile 2 katı daha kalın olarak yapılmaktadır. Şekil 3.59 b Marform prosesinin çift etkili aparatı hazırlanışını göstermektedir. Koç aşağıya doğru iner, kauçuk tampon sac-metalde ve pot çemberinde bir baskı oluşturur. (Yadav 2008)



Şekil 3.59 Kauçuk – kalıp veya kauçuk şekillendirme prosesi

a) Guerin prosesi, b) Marform prosesi

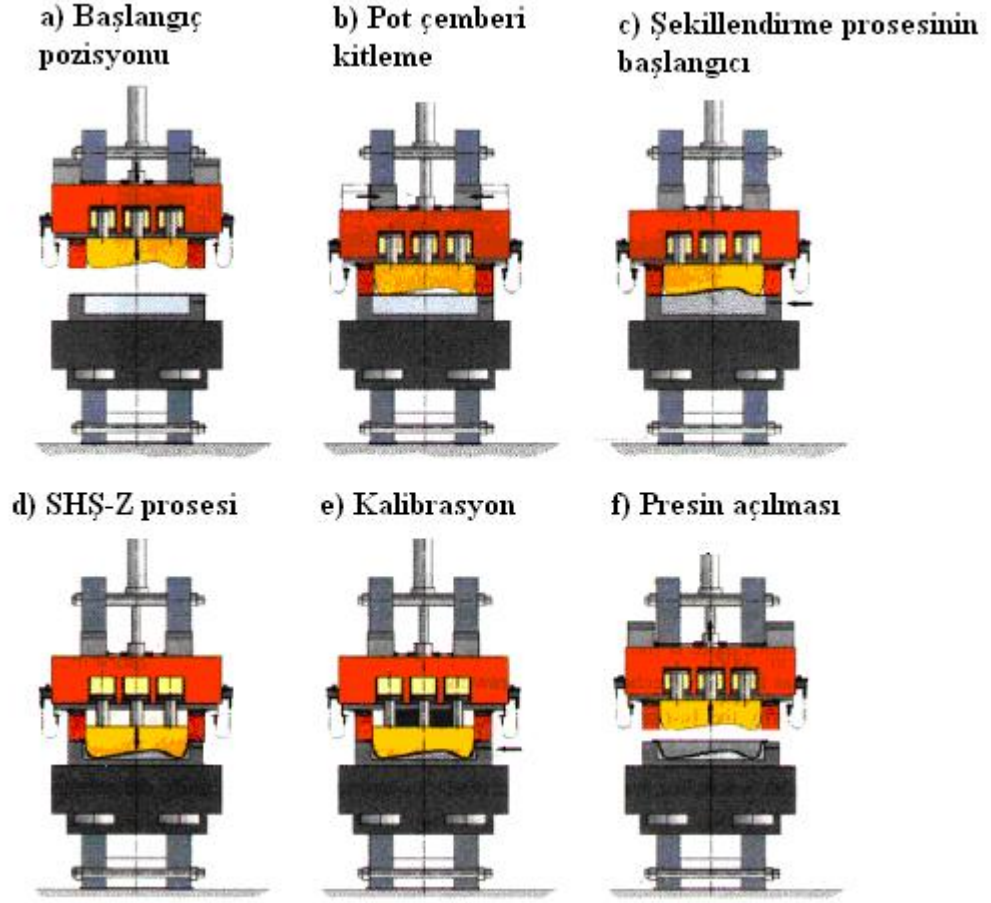
Kaynak : Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

3.5.4.6. Sac Hidro Şekillendirme Presleri

Zımba İle Sac Hidro Şekillendirme (SHŞ-Z) Presleri

SHŞ-Z yönteminde sayaç basıncına sahip yüksek koç kuvvetli hidrolik presler kullanılır. Şekil 3.60. Müller Weingarten tarafından tasarlanan kısa kurslu SHŞ-Z 3500 ton kapasiteli ardışık operasyonlu presleri göstermektedir. (Yadav 2008)

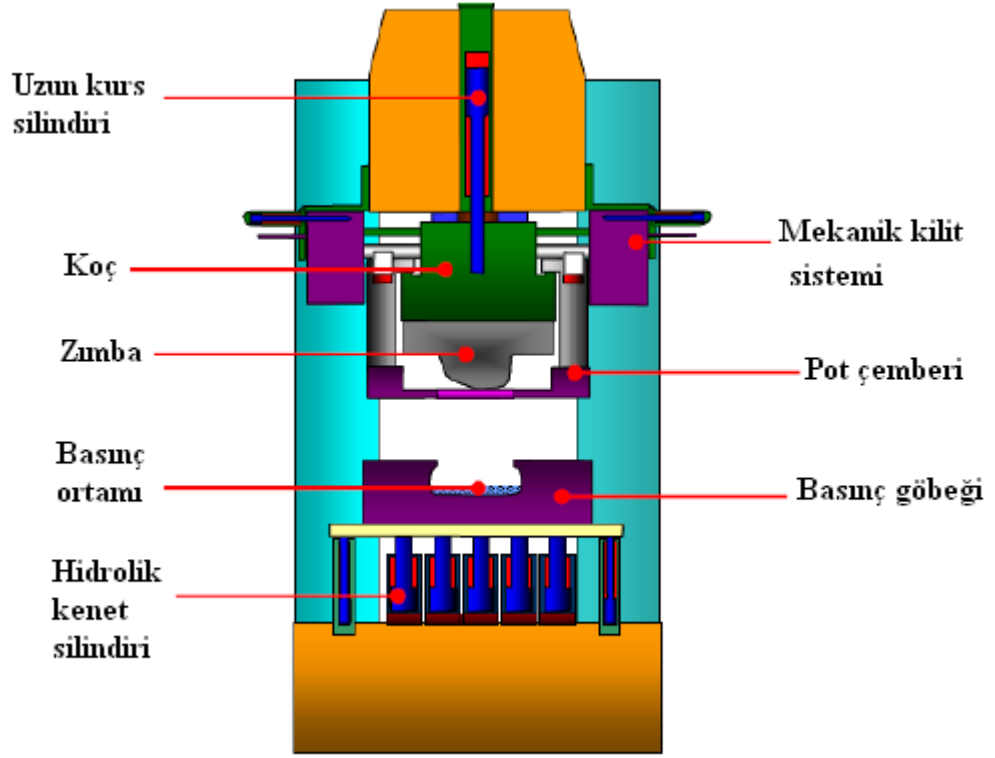
Üst kalıp, düşük basınçta yüksek hacimli hidrolik akışkan gerektiren, uzun kurslu silindirler vasıtasıyla yukarı aşağı doğru hareket etmektedir. Koç, alt pozisyonda istenen noktada mekanik kilitlemlerle sabitlenir. Schnupp Hidrolik SHŞ-Z prosesindeki prese yakın kısa kurs silindri bir konsept (şekil 3.61.) yaptı. Ardışık operasyonlar Müller Weingarten presine (şekil 3.60.) benzerlik göstermekte. Bununla birlikte, kısa kurslu silindirler pres koçu yerine pres yastığına eklenmiştir. SHŞ-Z prosesinin son adımında, koç mekanik kilitlemlerle ayarlanmaktadır.(Yadav 2008)



Şekil 3.60. Müller Weingarten ın kısa kurs silindiri kullanarak yaptığı ardışık operasyonlu SHŞ-Z presi

Kaynak : Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

Schuler SMG GmbH ve Co şirketi “Aktif Hidro-Mekanik” adı verilen bir sac hidro şekillendirme prosesi geliştirdiler. Proses, SHŞ-Z yönteminde olduğu gibi düz açınımın ön şişmesine izin veriyor. Bu proses, sacın şekillendirme esnasında artan uzama sertleşmesine izin verir ve böylece otomobil gövde panellerinin çökme direncini artırır. Bir çift etkili pres kullanılmakta. Saçtaki ön şişmeyi sağlamak adına presin dışında bulunan hidrolik ünite yardımıyla basınç elde edilir. (Yadav 2008)



Şekil 3.61. SHŞ-Z kısa kurs presi

Kaynak : Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

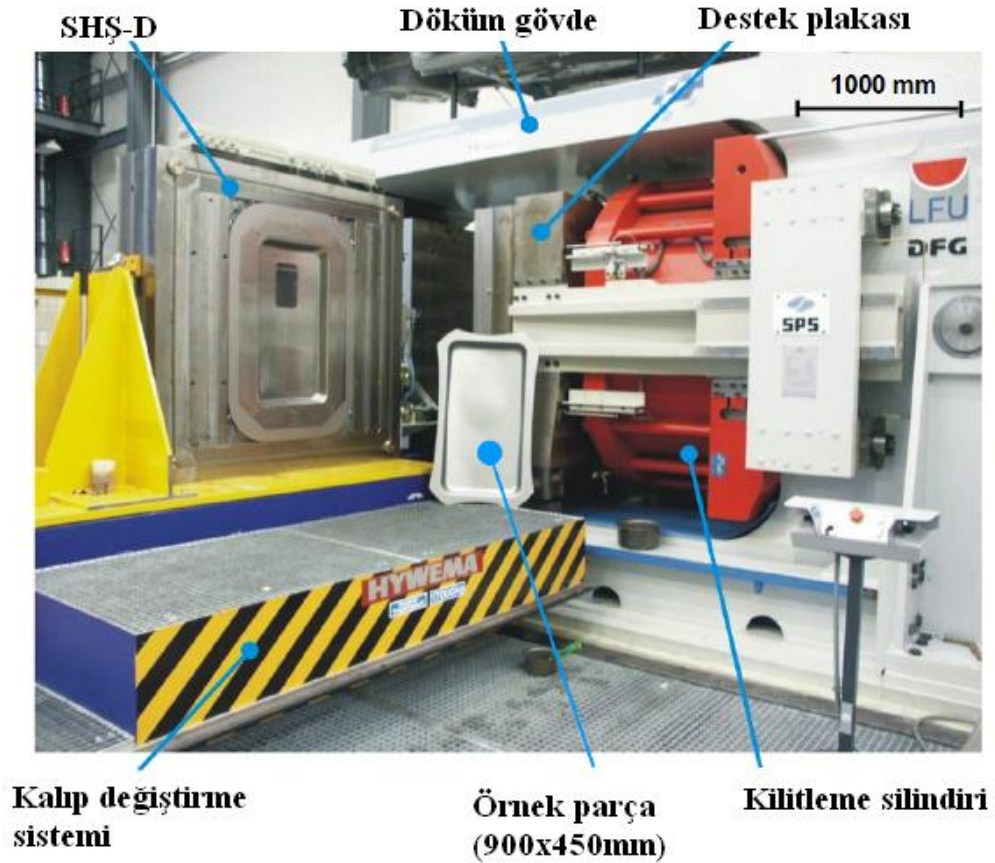
Dişi İle Sac Hidro Şekillendirme (SHŞ-D) Presleri

Dişi ile sac hidro şekillendirme (SHŞ-D) presleri ve kalıpları boru hidro şekillendirme için tasarlanmış, üretilmiş bir teknolojidir. Fakat SHŞ-D yönteminde sacın ve pot çemberinin geniş alanını kilitleme mekanizması için daha yüksek kuvvet dikkate alınmalıdır. Dortmund Üniversitesi (LFU) Siempelkamp Pressen Systeme işbirliğiyle şekil 3.62. de görüldüğü gibi büyük otomotiv parçalarının SHŞ-D ile üretimini sağlayacak 100MN lik pres yaptılar. (Yadav 2008)

Çalışma ortamı iki adımda sağlanmakta. İlk adım 315 barlık yüksek akış oranı sağlayan doldurma silindirlerinden oluşmakta. Bu adım, çok miktarlardaki parçaları ön şekillendirmek için akışkanda nispeten düşük baskılar gerektiğinde elverişli olmakta. Bununla birlikte, ikinci adımda parçanın final geometrisi kalibre edilir. (Yadav 2008)

3.5.4.7. Kalıp Tasarımı

Sac hidro şekillendirme kalıp tasarımı normal kalıp tasarımına yakındır. SHŞ-Z yönteminde, göbek basınç plakası tüm parçalar için aynı kalırken, zımba ve pot çemberi parça şekline göre tasarlanır. SHŞ-Z de göbek basınç plakası ve zımba yüksek göbek basıncına dayanabilecek şekilde tasarlanır. Göbek basıncında sızdırmazlığı sağlayabilmek için yalıtıma da dikkat edilmelidir. (Yadav 2008)



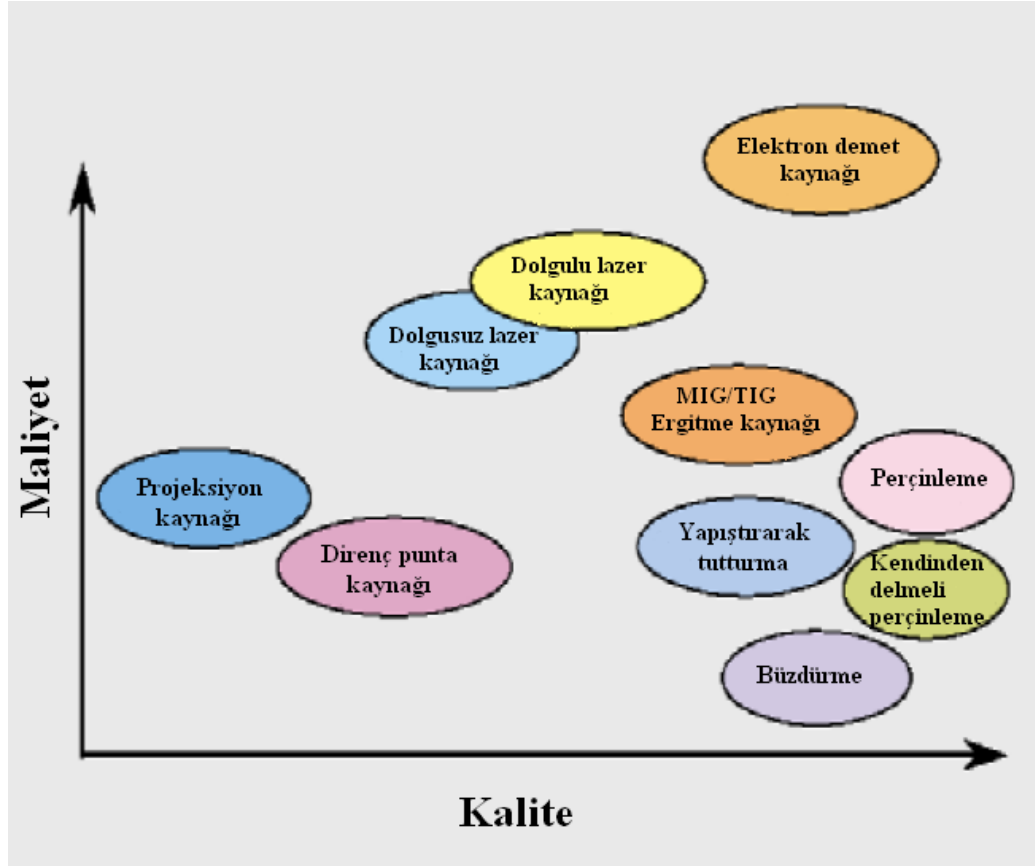
Şekil 3.62. LFU'daki yatay SHŞ-D presi şematiği

Kaynak : Yadav, Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, 2008

3.6. Sacları Birleştirme Yöntemleri

Aluminyum birleştirilmesi çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan süreçlerin bir çoğu ile yapılabilmektedir. Bu bölümde en çok kullanılan birleştirme yöntemleri olan; elektrik direnç punta kaynağı, büzdürme, perçinleme, kendinden delmeli perçinleme, zımbalı perçin teknolojisi, yapıştırarak birleştirme, kenar bükerek birleştirme konularına değinilecektir.

Alaşımları birleştirme yöntemlerinin maliyet ve kalite ekseninde incelemesi şekil 3.63. de gösterilmektedir.



Şekil 3.63. Alaşım özellikleri ile yüzey işleme metotları arasındaki ilişki

Kaynak : Albu, Cirstoiu 2002

3.6.1. Punta Direnç Kaynağı Yöntemi

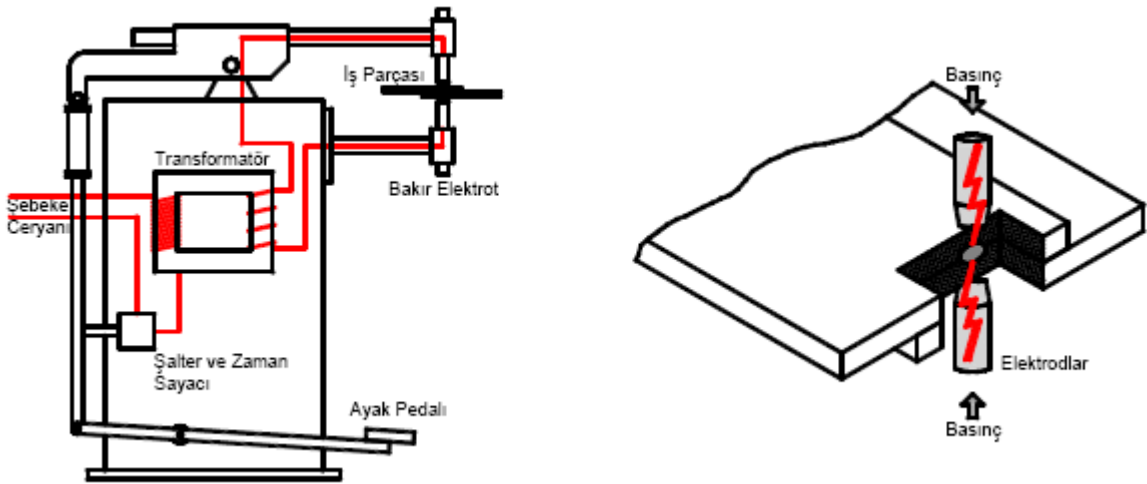
Otomotiv sektörü, uzay ve uçak teknolojileri, çelik yapılar, çelik eşya imalatı, hassas cihazların imalatı, elektroteknik, boru üretimi, makine sektörü gibi pek çok alanda kullanılan ince kesitli metal malzemelerin kaynağında yaşanan sorunlar, farklı kaynak türlerinin gelişimini sağlamıştır. İnce kesitli malzemeler yüksek ısı altında kaldıklarında kalıcı şekil bozukluklarına neden olur. Bu nedenle kaynaklama işleminin asgari ısıda ve en kısa sürede gerçekleştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Kaynaklı bağlantıların hızlı bir şekilde en az deformasyonla gerçekleştirilmesi, ekonomik ve kaynak mukavemetinin yüksek olması istenilen yerlerde, elektrik direnç kaynağı ilk seçim olarak karşımıza çıkmaktadır. (Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi 2007)

Elektrik direnç kaynağı, metal parçalardan geçirilen elektrik akımına karşı, bu parçaların gösterdiği dirençten oluşan ısı yardımıyla yapılan birleştirmedir. Parçalar kısmi olarak ergitilerek kaynak için gerekli kaynak banyosu oluşturulur. Kaynak banyosunun oluşumundan itibaren elektrik akımı kesilerek iş parçalarına basınç uygulanır ve bu basınç altında soğuma gerçekleştirilerek sökülemeyen türden bir birleşim sağlanmış olur. Bu yöntemle yapılan kaynak işleminin genel adı elektrik direnç kaynağı olarak adlandırılır. (Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi 2007)

Elektrik direnç kaynağı yapılış şekillerine ve sektörlerde en fazla kullanım alanlarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- * Punta kaynağı
- * Kabartılı nokta kaynağı
- * Dikiş kaynağı
- * Direnç alın kaynağı

Punta kaynağı, direnç kaynağı türleri içerisinde en çok kullanılan türdür. Kaynatılacak parçalar iki bakır elektrot arasında alınır ve belirli bir baskı uygulanmasıyla elektrik akımının geçişi sağlanır. Şekil 3.64.'de, nokta kaynak makinesi temel bileşenlerini ve kaynak bölgesi kesiti verilmiştir. (Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi 2007)



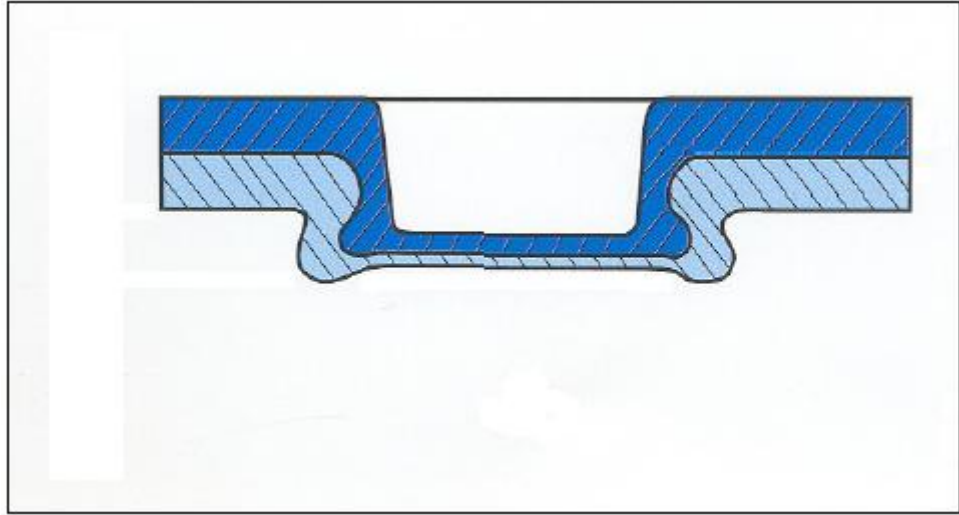
Şekil 3.64. Punta kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi

Kaynak : Mesleki eğitim ve öğretim sisteminin güçlendirilmesi projesi, Elektrik direnç kaynağı
2007

Direnç punta kaynağı konvansiyonel çelik konstrüksiyona sahip iş parçalarının birleştirilmesinde endüstride en çok tercih edilen yöntemdir ve alüminyum içinde tercih edilmektedir. Alüminyumdaki oksit film tabakası yalıtıcıdır ve uygunluk elde edebilmek için yüzeyi bazen asitle temizlenmektedir. Alüminyum için çeliğe oranla daha yüksek akım kullanılmaktadır fakat punta için ısıtma süresi kısadır. (Aluminum Association At4 1998)

3.6.2. Clinching (Büzdürme) Teknolojisi

Büzdürme teknolojiyiyle (Şekil 3.65.) 6mm kalınlığa kadar metaller, herhangi bir perçin elemanı gibi bir ara eleman olmadan lokal bir deformasyonla birleştirebilirler. Çok katmanlı birleşmiş yapılar basma butonuna benzerler ve hem kaplanmış ve ön laklama işlemine tabi tutulmuş metaller yöntemle yüzeylerinde herhangi bir deformasyon olmaksızın bir araya getirilebilirler. (Çekiç 2007)



Şekil 3.65. Clinching (büzdürme) işlemi uygulanmış parça

Kaynak : www.boellhoff.de 2006

Sistemin avantajları:

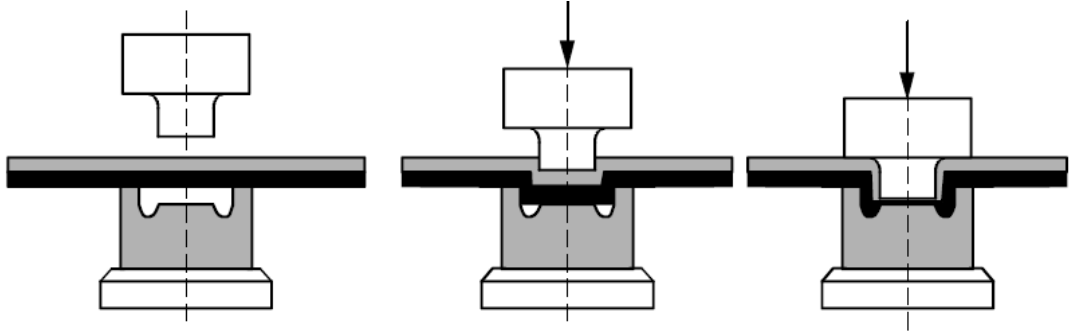
- Bağlantılar herhangi bir deformasyona sebep olmadan kontrol edilebilir.
- Herhangi bir malzeme harcanmaz
- Düşük enerji maliyetleri
- Birleşme bölgesi üzerinde herhangi bir termal yük oluşmaz
- İş parçası üzerinde bitmiş yüzeye herhangi bir hasar oluşmaz
- Film veya bağlayıcının geçici tabakaları çoğu durumda beraber değildir.

- Ön veya sonradan yüzey işlemini gerektirmez
- Çevreye dost iş alanı, duman ve gürültü yok
- Minimum bakım maliyetleri
- Minimum geometri deformasyonu (Çekiç 2007)

3.6.2.1. Büzdürme İşlemi Detayları

Clinching (büzdürme) birleştirme işleminde malzemeler zımba tarafından ilk kuvvet etkisi ile matris içerisinde birleşeceklerdir. (Şekil 3.66.) Matriste bulunan çoğu malzeme bu esnada zımbanın zorlamasıyla yatay olarak aşağıya doğru akacaktır. Bu nedenlerle hareketli matris kesitleri dışa doğru itilecektir ve malzemelerin düğme formuna akmasına izin verilecektir. Zımba sonra ya operatörün veya pnömatik zamanlamacının geri çekme kuvveti ile başlangıç noktasına hareket edecektir. Birleşmiş parçalar artık çıkartılabilir ve matrisin yan kısımları yay kuvveti ile geri çekilir. (Çekiç 2007)

Bu bağlantılar mevcut pres sistemleri veya herhangi bir uygun makina da kullanılabilir. Bu sistem bir veya birkaç noktada aynı zamanda oluşturulabilir ve manüel makinalar ve robot sistemleri ile entegre çalışabilir. (Çekiç 2007)



Şekil 3.66.Clinching (büzdürme) işleminin prensibi

Kaynak : Norme Renault 2000

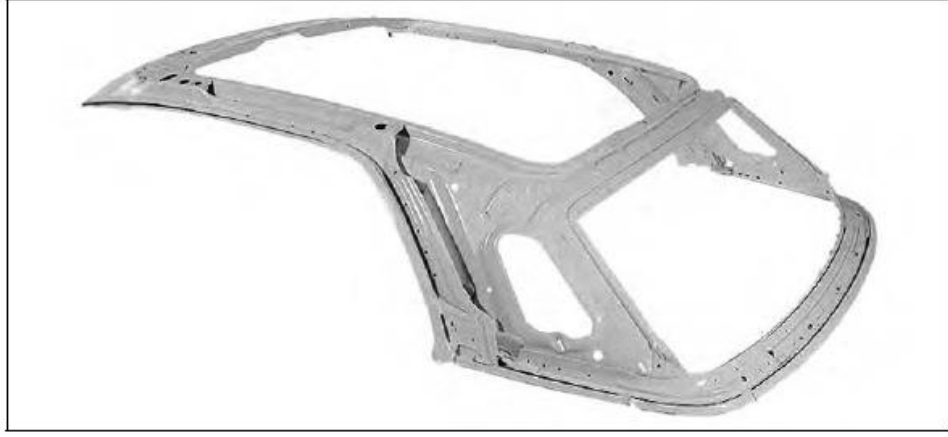
3.6.2.2. Büzdürme Teknolojisi Kullanım Örnekleri

Otomotiv sanayindeki uygulamaları:

1. Motor kaputu
2. Bagaj kapağı
3. Direksiyon kolunu braketleri

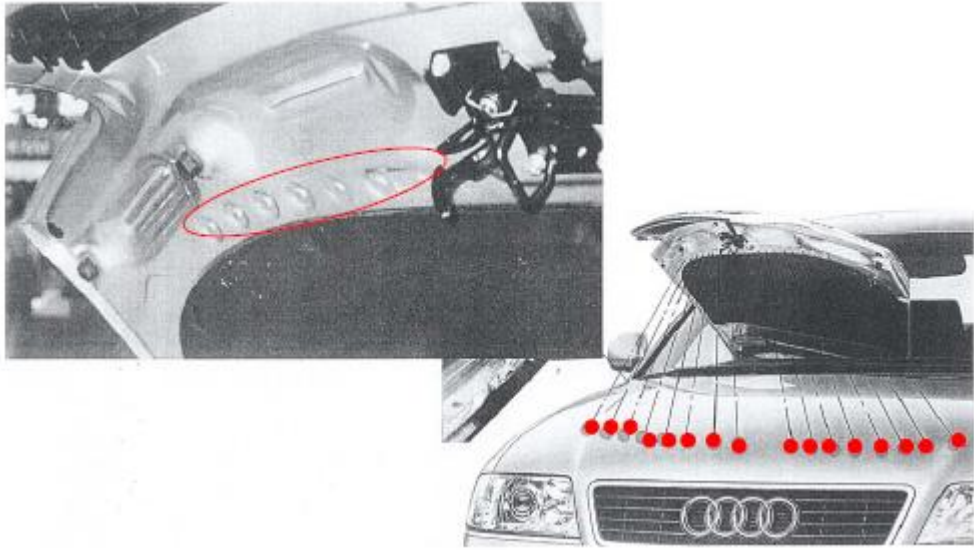
4. Kapılar (Çekiç 2007)

Aşağıda şekil 3.67 ve 3.68. de büzdürme teknolojisi ile birleştirilmiş parçalara çeşitli örnekler verilmektedir.



Şekil 3.67. 125 adet büzdürme (clinchng) birleştirmeli BMW 3 serisi açılır tavanı

Kaynak : Tschaetsch, Metal forming practise 2005



Şekil 3.68. Büzdürme (clinchng) birleştirmeli alüminyum motor kaputu Audi A6

Kaynak : www.boellhoff.de 2006

3.6.3. Perçinler

Perçinleme bugün endüstride çeşitli sektörlerde ve hatta ticari araç konstrüksiyonlarında bile yaygın olarak kullanılan bir birleştirme metodudur. Uygulamasının güvenli ve kolay

oluşuyla perçinleme montajlarda çok yaygın bir metottur. Makine perçinlemesinin birçok avantajları vardır. (European Aluminum Association, 2005) Bunlar:

1. Yüksek hız : Makine perçinlemesi hidrolik ve pnömatik araçları kullanarak çabuk operasyonlara izin verir.
2. Kontrol kolaylığı: Sıkıştırma kuvveti daima sistem tarafından daha az sağlanır perçinlemeye herhangi bir zararı olmaz
3. Optik görünüş: Makine perçinlemesi perçinin plastik başlığıyla birleştirilebilir.
4. Tecrübeli operatör çalıştırmaya gereksinim duymaz
5. Karışık birleştirmeler mümkündür: farklı metaller, plastikler sandviç veya petekli paneller (European Aluminum Association, 2005)

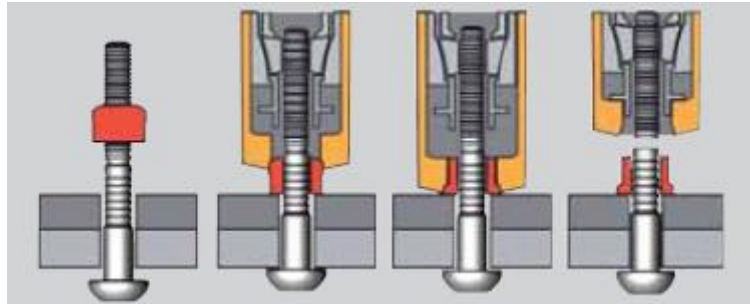
Perçinleme başka metallerde veya metal ile metal olmayan malzemelerin birleştirilmesinde de kullanılabilir. (Aluminum Association At3 1998)

Perçinler; kendinden delmeli perçinler, zımbalı perçinler ve konvansiyonel perçinler olarak 3 alt gruba ayrılabilir. Bu çalışmada ilk olarak konvansiyonel perçinler açıklanacaktır. Diğer perçinleme yöntemleri aşağıda başlık olarak anlatılmaktadır. Konvansiyonel perçinlerde perçinlemeden önce bir deliğe ihtiyaç vardır. Konvansiyonel perçinler kendi arasında 2 gruba ayrılırlar. (European Aluminum Association, 2005)

3.6.3.1. Konvansiyonel Perçin Teknolojisi

Kontra Kilitliler

Konvansiyonel cıvata bağlantıları gibi görünmektedirler. Fakat konvansiyonel cıvata ve somunların aksine aşırı titreşim esnasında bile gevşemeden çalışacaklardır. Birleştirmenin her iki tarafı da ulaşılabilir olduğunda kullanılırlar.



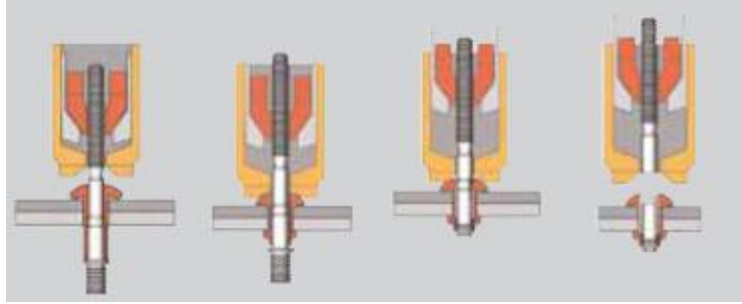
Şekil 3.69. Kontra kilitli perçinleme

Kaynak : European Aluminum Association, Aluminum in cars, 2005

Kontra kilitliler (Şekil 3.69.) delik içerisine yerleştirilmiş pim ve pime konumlandırılmış bir bilezikten meydana gelmektedir. Takım bağlantının üzerinden hareketlendirilir. Pimin başı malzemenin karşısına çekilir, takımın örsü birleştirmenin karşısında bileziği iter bu aşamada ilk sıkıştırma gerçekleştirilir. Takım daha sonra bileziği pimin içerisine baskılar. Pim kırılarak işlem tamamlanır. (European Aluminum Association, 2005)

Kör Perçinler

Tek bir taraf ulaşılabilir durumlarda kullanılır. Kör perçinler (Şekil 3.70.) bağlantı sonrası perçin gövdesinin deformasyona uğramasında perçinin kırılma özelliğine sahiptirler. (Bu nedenle genellikle “kırılgan gövdeli perçinler” olarak adlandırılırlar) (European Aluminum Association, 2008)

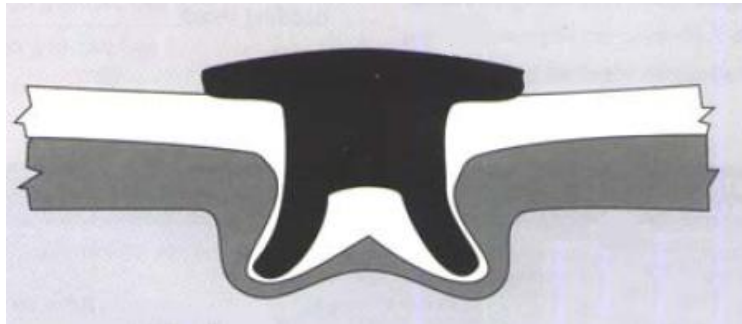


Şekil 3.70. Kör perçinleme

Kaynak : European Aluminum Association, Aluminum in cars, 2005

3.6.3.2. Kendinden Delmeli Perçin Teknolojisi

Kendinden delmeli perçin teknolojisi (Şekil 3.71.) mekanik bir birleştirme yöntemi olup, bir ara eleman ile yüksek basınç altında parçaların birleşmesidir ve problemsiz çok katmanlı bağlantılara izin verir.

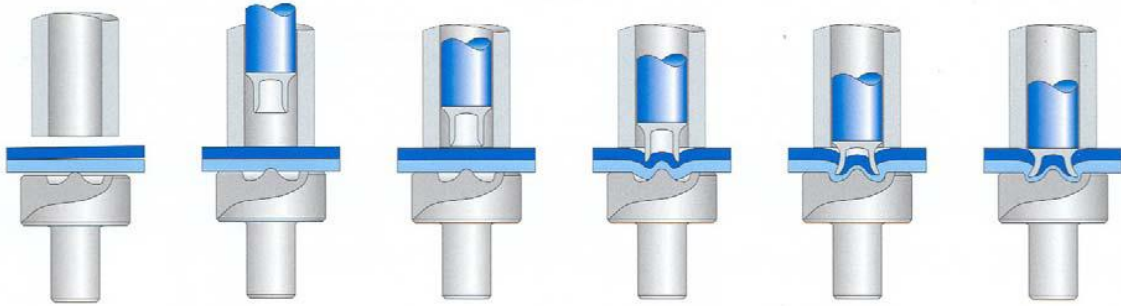


Şekil 3.71. Kendinden delmeli perçinleme kesiti

Aluminum Association At3 1998

Kendinden delmeli perçinleme mekanik bir clinching(büzdürme) yöntemi olup, özellikle şimdiye kadar yaygın olarak kullanılan punta kaynağı ve kör kafalı veya tam perçin yöntemlerine göre umut vermektedir. Punta kaynağının tersine, kendinden delmeli perçin ince cidarlı iş parçalarının bitmiş yüzeylerinde herhangi bir deformasyona sebep olmaksızın birleştirmeye olanak sağlar. (Çekiç 2007)

Kendinden delmeli perçinleme işlem adımları Şekil 3.72. de gösterilmektedir.

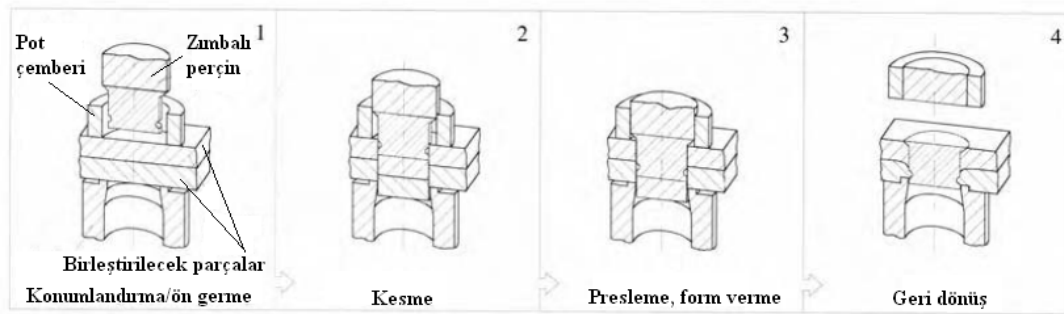


Şekil 3.72. Kendinden delmeli perçinleme işlem adımları

Kaynak : www.boellhoff.de 2006

3.6.3.3. Zımbalı Perçin Teknolojisi

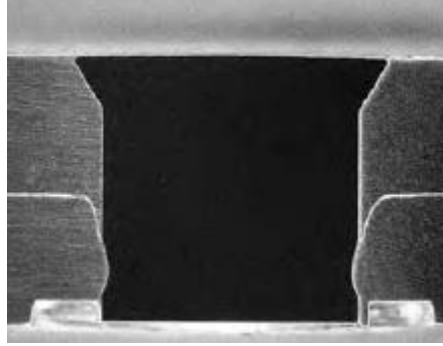
Şekil 3.73. dört adımda delmeli bir zımbalı perçin prosesini göstermekte. Önce birleştirilecek parçalar (görünüş 1) gibi pot çemberi ile sabitlenir. Zımba aşağıya inerken zımbalı perçin (görünüş 2) her iki sac tabakasını zorlar ve hurdayı çıkarır. Zımba ilerlerken perçinin konik baş kısmı (görünüş 3) üst sac tabakası içerisinde kalmaya başlar. Baş kısmı tamamıyla içeride kaldıktan sonra kalıp yüzeyinde pozitif olmayan dairesel baskılı gerilimle kaplanmış pozitif bir kilitleme yaratarak (görünüş 4) perçin şaftında çentik oluşturur. (Tschaetsch 2005)



Şekil 3.73. Zımbalı perçin teknolojisinin prensibinin açıklaması

Kaynak : Tschaetsch, Metal forming practise, 2005

Farklı sac kalınlıklarını birleştirebilmek için perçinde birkaç çentik yapılır. Şekil 3.74. de bir zımbalı perçin birleştirmesinde perçin şaftındaki çentik görülebilir. (Tschachtsch 2005)

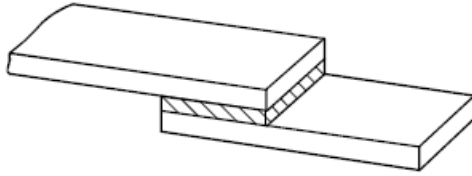


Şekil 3.74. Bir zımbalı perçin birleştirmenin kesiti

Kaynak : Tschachtsch, Metal forming practise, 2005

3.6.4. Alüminyumların Yapıştırarak Tutturulması

Yapıştırarak birleştirme (Şekil 3.75.) metal olmayan (yapıştırıcı) maddeleri kullanarak parçaları birleştirme prosesi olarak tanımlanabilir. Burada fiziksel veya kimyasal sertleşme reaksiyonuyla parçalar birbirlerini çekerek yüzeyden yapışır ve oluşan iç mukavemetle birleştirilirler. (Dorn)



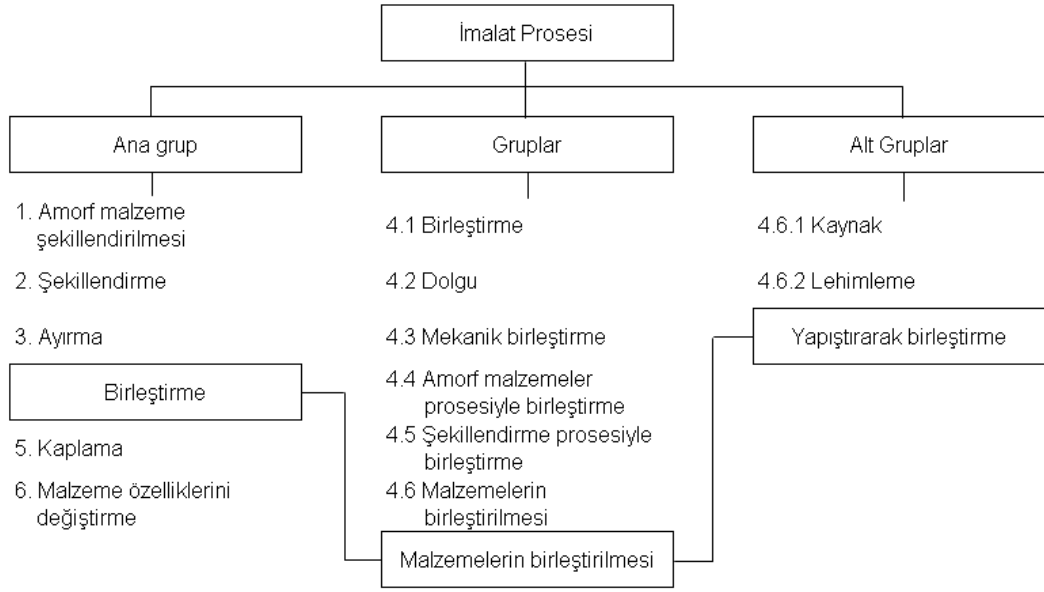
Şekil 3.75. Alüminyumun yapıştırılarak birleştirilmesi

Kaynak : Dorn, Adhesive Bonding

Yapışma, yapıştırıcıyla metal yüzey arasında fiziksel bir çekme olabilirken gerçek kimyasal tutturmada yapıştırıcı molekülleri ve metal atomları veya mekanik yapıştırıcıyla metalin yüzey pürüzlülüğünde kilitlemesiyle olur. İç mukavemet yapıştırıcının fiziksel ve/veya kimyasal kuvvetlerin arasında iç gerilimleri sonucudur. (Dorn)

3.6.4.1. Yapıştırarak Tutturma Sınıflandırması

DIN 8580 ve DIN 8593 nolu Alman normunda yapıştırarak tutturma; ana birleştirme grubu, maddelerin birleşim grubuna ve yapıştırarak birleştirmenin alt grubu ile birlikte kaynak, lehimleme ile sınıflandırılmaktadır. (Şekil 3.76.) (Dorn)



Şekil 3.76. DIN 8580 ve DIN 8593 normuna göre imalat sürecinde yapıştırarak birleştirmenin sınıflandırılması

Kaynak : Dorn, Adhesive Bonding

3.6.4.2. Avantajları

1. Yükleme dağılımı yüklemeye doğrultusuna düzgün açıdadır
2. Mikro yapı etkilenmez
3. Çarpılmadan birleştirme
4. Farklı malzemeler birleştirilebilir
5. Çok ince parçalar birleştirilebilir
6. Ağırlık kazancı
7. Isıya duyarlı malzemeler birleştirilebilir
8. Farklı elektrokimyasal potansiyele sahip metaller birleştirilebilir
9. Diğer birleştirme (vidalı, kaynaklı) yöntemleriyle kullanılabilir

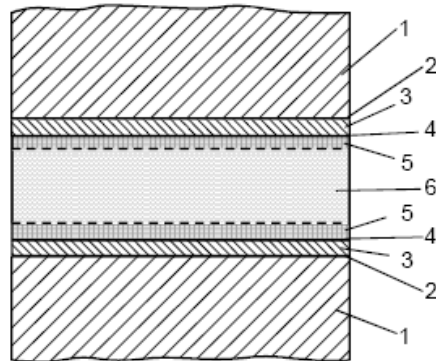
10. Yüksek yorulma mukavemeti ve iyi titreşim sönümlenmesi

3.6.4.3. Dezavantajları

1. Proses özelliklerinde zaman etkisi
2. Birleştirilecek yüzeylerde ön işlem gerekmektedir
3. Limitli şekillendirme istikrarı
4. Proses parametreleri dar aralıkta tutulmalıdır
5. Zamanla özelliklerinde değişim (yapıştırıcının yaşlanması)
6. Prosesin kontrol karmaşıklığı
7. Düşük soyulma mukavemeti
8. Büyük birleştirme alanlarında düşük yapıştırma tabakası mukavemeti gereklidir
9. Kısıtlı tamir imkanı
10. Zor mukavemet hesabı (Dorn)

3.6.4.4. Yapıştırarak Birleştirme Yapısı (Şekil 3.77.)

1. Birleştirilecek malzeme
2. Metal yüzey tabakasının yapışma mukavemeti (ana malzemedeki oksit tabakası)
3. Metal yüzey tabakasının mukavemeti
4. Yapışkan tutturma mukavemeti
5. Metal yüzeyi tabakası ile birleştirme tabakası arasında
6. Yapışkan tabakası sınır mukavemeti
7. Yapışkan tabakasının iç mukavemeti



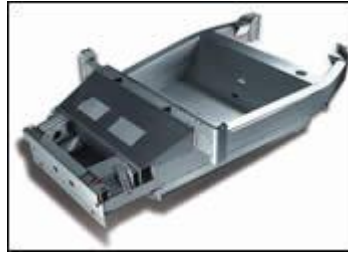
Şekil 3.77. Yapıştırarak birleştirme yapısı

Kaynak : Dorn, Adhesive Bonding

3.6.4.5. Alüminyumun Yapıştırarak Tutturulmasına Bir Örnek

Yıllardan bu yana alüminyum şaseli araçlar üreten Lotus firması bu araçlardan hiç birinde kaynak kullanmadan üretim yapmaktadır. Parçalar vida ve yapıştırıcılar ile birleştirilmekte. Lotus 1996 yılında, düşük üretim miktarına sahip Elise ile bu metodu uygulamaya başladı. (Şekil 3.78.) Şirket yöneticileri birbirine yapıştırılmış araç konusunda endişeliydiler, fakat teknik oldukça başarılı şekilde (23.000 den fazla araç hiç hata raporları olmadan üretildi) gerçekleştirildi. Bu girişim yeni yüksek üretim miktarına sahip popüler olan araçların temelini oluşturdu. (<http://www.autofieldguide.com> 2009)

Yapıştırarak tutturma. Şirket yöneticileri bunu alüminyumun akma mukavemeti bir kez kaynaklandığında yarı yarıya gitmekte şeklinde açıklıyor. Böylece, kaynaklanmış alüminyum şasi ile aynı mukavemeti elde etmek için iki misli malzeme kullanım miktarı gerektirir. Alüminyum hafif ağırlığı için kullanılmakta buda kendisinin ana faydasını azaltmakta. Bir diğer büyük dezavantajı ise, kaynaklı alüminyum gerilimlerini bir nokta veya bir hat boyunca sınırlandırabilir buda malzeme yorulmasını etkileyebilir. Gerilimler, geniş geçme parçalarda yapıştırma kullanıldığında fazlaca dağıtılır. Yapıştırma kullanımından tam değer elde etmek için firma özelliğini optimize yapmanın yollarını aradı. Örneğin, parçalar arasında optimum birleştirme boşluğunu 0.2 mm belirlendiğinde soru birleştirilmiş yüzeyler arasındaki boşluğu nasıl düzgün bir şekilde bakımının yapılacağı olmuştur. Cevabı ise parçaların üzerinde onları birbirlerinden tam olarak 0.2 mm ayrı tutacak küçük çıkıntılar veya yükseklikler tasarlanmasıydı. (<http://www.autofieldguide.com> 2009)



Şekil 3.78. Lotus firmasının alüminyum yapıştırma metodu ile ürettiği Elise model şasisi

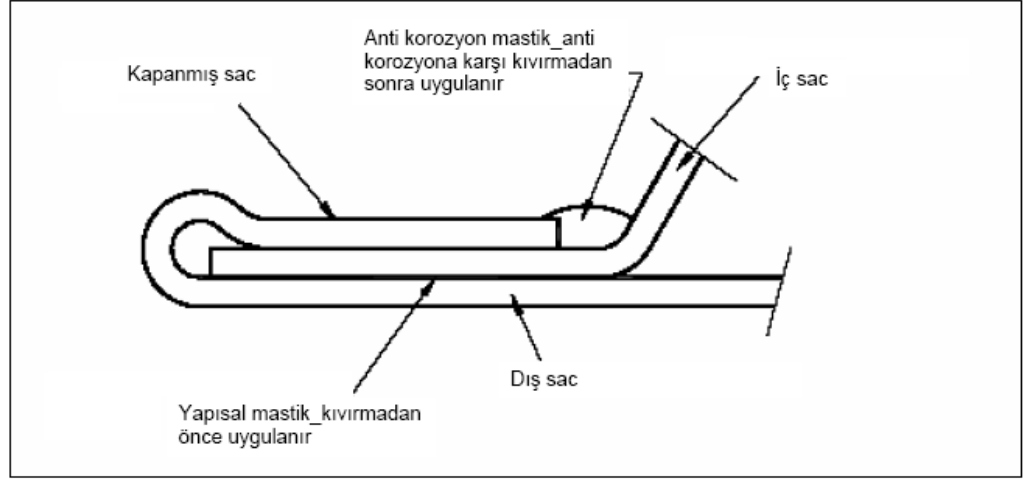
Kaynak : <http://www.autofieldguide.com> 2009

Lotus alüminyuma çok uygun bir proses, ekstrüzyon yöntemini ana şasi parçalarını üretmek için seçti. Firma yöneticisi ekstrüzyonun seçilmesinde bir nedenin belirleyici olduğunu bunun da ucuz üretim olduğunu ifade ediyor (kalıbın yaklaşık 5,000 \$ olduğunu tahmin ediyor).

Bu da aynı zamanda alüminyumun yüksek malzeme maliyetini dengelemeye yardım etmektedir. (<http://www.autofieldguide.com> 2009)

3.6.5. Kenar Bükerek Kenetleme Teknolojisi

Kenar bükerek kenetleme (Şekil 3.79.) bir dış sacı iç sacı üzerine, kenardan 6 mm uzakta olacak şekilde farklı ekipmanlarla kapatılması işlemidir. (Çekiç 2007)



Şekil 3.79. Kenar kıvrım işleminin genel görünüşü

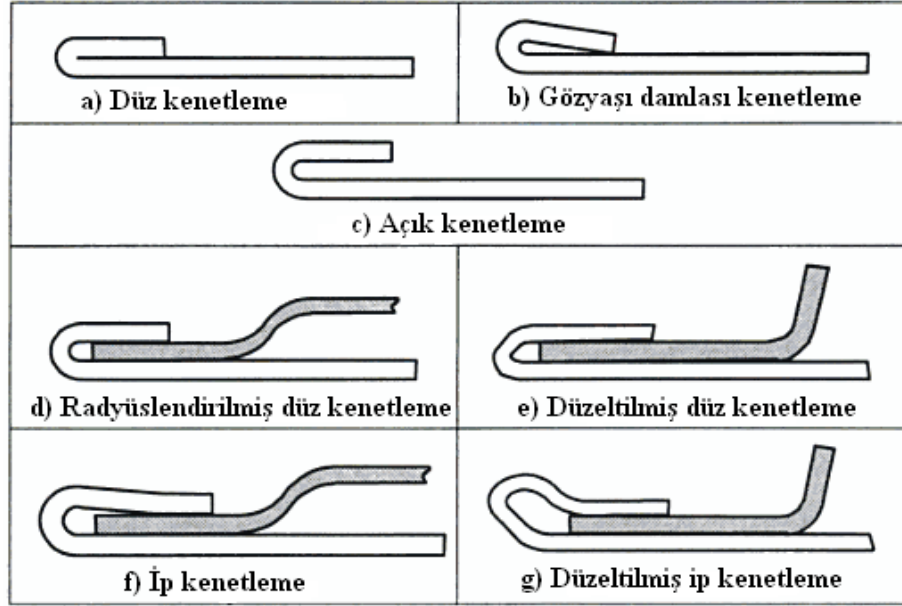
Kaynak : Çekiç, Otomobillerde gövde birleştirme teknolojileri ve bir uygulama, 2007

Kenar bükerek kenetleme sistemleri araç üretiminde birleştirme tekniklerinde büyük öneme sahiptir. Açılır-kapanır (kapılar, motor kaputu ve bagaj kapıları) parçalara ek olarak bu teknik açılır tavanlarda güvenilir bir kenetleme tekniği olarak kullanılmaktadır. (<http://www.drauznothelfer.com> 2009) Şekil 3.80. de alüminyum için alternatif kenar bükme tasarımları verilmektedir.

Kenar bükerek kenetleme manüel, robotlu, rollerla, kalıp yöntemleriyle yapılabilir.

3.6.5.1. Roller Kenetleme

Robot veya roller kenar bükerek kenetleme (Şekil 3.81.) açılır-kapanır parçaların imalatlarında özellikle esnek bir çözümdür. Dış panel kalıptan çıktığında 90 derece bükülüdür ve kenet kısmı düz olan iskelet sacı bunun içerisindedir. Bu teknikte dış sac iskelet sacının üzerine kenetlenir. Bu teknikte alüminyum ve magnezyum gibi çeşitli paneller küçük adetlerde ekonomik olarak imal edilebilir. (www.Eurotradeglobal.com 2010)

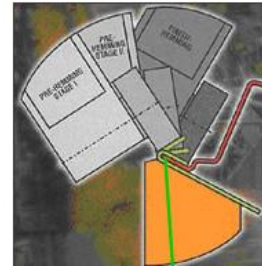


Şekil 3.80. Alüminyum için alternatif kenar bükme tasarımları

Kaynak : Thomas, Altan, Kaya, Handbook of Aluminum Volum 2 Alloy Production and Materials Manufacturing 2003

3.6.5.2. Avantajları

- Kenetleme prosesinin maliyeti azaltılır
- Denemelerdeki çaba azaltılır
- Panel değişiklikleri esnek ve ekonomikçe uyarlanabilir
- Düşük bakım maliyeti getirir
- Esnek üretim (www.Eurotradeglobal.com , 2010)



Şekil 3.81. Bir robotlu roller kenar bükerek kenetleme örneği

Kaynak : www.Eurotradeglobal.com 2010

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Hafif metal alaşımlarının otomotiv endüstrisinde kullanımlarının günden güne arttığı görülmektedir. Tamamı hafif metal alaşımların kullanılmasıyla yapılan ilk gövde olan Audi A8 modeli uzay çatı gövde yönteminin başlangıç noktası olmuştur. Uzay çatı gövdelerde ekstrüzyonlar, direkt olarak veya döküm elemanlar yardımıyla gövdeye birleştirildiğinden uzay çatı, ekstrüzyonlu kesitlerde herhangi bir kaynak dikişi bulundurmamakta ve bu da rijitlikte bir kayba neden olmadan her türlü istenilen ölçülerde, maksimum rijitlikte ve burulma direncinde üretime izin verdiği saptanmıştır. Bunun dışında uzay çatılı gövdelerin getirdiği diğer avantajlar olarak daha az bileşen sayısına sahip olması, basit geometriye parçalar, daha uygun kalıp maliyetleri sayılabilmektedir. Çelik uzay çatı ile alüminyum uzay çatı gövdeler karşılaştırıldığında ise ağırlıkları yarı yarıya azalırken alüminyum uzay çatılı gövdelerde bileşen sayılarının da yarı yarıya azaltılabildiği görülmüştür. Uzay çatıya sahip gövde yapılarının tercih edilmesi için bir diğer neden ise, düşük uzamasından dolayı konvansiyonel yöntemlerle şekillendirmenin zor olduğu saç parçalar (şasi kolları vb.) yerine ekstrüzyonla kolayca şekillendirilen boru profiller kullanılabilmektedir.

Alüminyum alaşımlı sacların şekillendirilebilmesi, çelik saclara göre, düşük uzamaları, n-değerleri, r-değerleri ve elastisite modüllerinden dolayı daha azdır. Çelik sacla şekillendirilebilen bir geometri, alüminyum alaşımları ile yırtmadan, kırışmasız ve geri dönüşsüz şekillendirilemeyebilir. Bu sebeple, alüminyum alaşımlı saclar tasarımda düşük dereceli serbestlikleriyle form vermede kısıtlar getirebilmektedir. Alüminyum alaşımlı saclar, çelik saclarla kıyaslandığında, hemen hemen yumuşak çeliklere eşdeğer gerilme dayanımı ile çekme dayanımı göstermekte, ama uzamaları çok daha küçüktür. Bu nedenle saçtan yapılan kapı, kapı iskeletleri gibi alüminyumlu parçalar için ise ileri şekillendirme yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır.

Bunun dışında otomobillerde kullanılan alüminyum ve magnezyumlu alaşımların genellikle aktarma organları ile ısı eşanjörlerde kullanıldığı görülmüştür. Hafif metal alaşımlı saclar otomobil panellerinde daha çok motor kaput panelleri ile bagaj kaputlarında kullanılmaktadır. Bunun dışında diğer panellerdeki uygulamalar sınırlı sayıda kalmaktadır.

Saclarda da hafif metallerin çeliklerin yerini alabilmesi için şekillendirme yöntemlerinde ileri yöntemlerin kullanılmasını gerektirmektedir. İleri şekillendirme yöntemleri olan pot çemberi kuvvet kontrolü, ılık şekillendirme ve sac hidro şekillendirme yöntemleri konvansiyonel kalıplarla kıyaslandığında yüksek amortisman maliyetleri getirdiğinden henüz bu yöne bir kayma en azından ülkemizde gerçekleşmemiştir.

Konvansiyonel olarak pot çemberi kuvveti, pot çemberi yüzeyinden direkt uygulanmaktadır ve form verme sürecinde sürekli tutulur. Fakat malzeme akışı kalıp çevresi boyunca aynı değildir. Metal düz kenarlardan kolayca akarken köşelerde ise bu durum sınırlıdır. Bu yüzden, pot çemberi kuvvetini kullanırken malzeme akışının düzenli olması için süzdürme çubukları tercih edilir. Süzdürme çubukları geometrisi ve ebatları genellikle pres deneme çalışmalarında belirlenmektedir. Üretim süresince çizme aşınması ve yapışkanlı aşınma sürtünme ortamında süzdürme çubuk geometrisinde değişikliğe sebep olmaktadır. Bundan dolayı, uygun parça üretimi için kalıpların çeşitli frekanslarda bakıma alınması gereklidir. Süzdürme çubukları deneme esnasında çalışılan sac rulosuna göre sonlandırılması gerekmekte ve yine değişik gelen rulolara göre çalışılması gerekmektedir. Bu yüzden, kalıp deneme çalışmalarında süzdürme çubuklarından dolayı rulodan birçok hurda verilmesine neden olduğu görülmüştür. Uzun süreli çalışmalarda kalıptaki aşınma ve yırtılmalarla, gelen rulonun özelliğine bağlı olarak bu süreç yeteri kadar çok sağlıklı olmamaktadır. Derin çekme sürecinde malzemenin akışının kontrolü pot çemberi kuvveti ve süzdürme çubukları ile yapılarak bize malzeme özelliklerindeki değişikliklere karşı müdahale için izin verir. Farklı pot çemberi kuvvetleri kullanarak, pot çemberi kuvvetini değiştirmek rulodan ruloya veya parçadan parçaya oluşan kalıp bakım sıklığını değiştirebilmektedir.

İleri şekillendirme yöntemlerinden bir diğeri olan ılık şekillendirme alüminyumun şekillendirilebilirliğini arttırabilmek adına geliştirilmiş bir metottur. Hafif ağırlıklı malzemelerin ılık şekillendirilme ilgisi, yüzde 6 oranında magnezyum içeren alüminyumun yaklaşık 250C° derecede toplam yüzde 300 e kadar toplam uzama verebildiğinin keşfedilmesiyle 1970'lerde başlamıştır. Ilık şekillendirme malzemenin sıcak ile soğuk şekillendirme arasında belli bir ısıda şekillendirilmesine verilen isimdir. Normalde, sıcak şekillendirme malzemenin erime sıcaklığının hemen altında iken soğuk şekillendirme ise oda sıcaklığındadır. Ilık şekillendirme ise sıcak şekillendirmeye oranla daha az enerji, yalıtım, teknoloji ve lojistik gerektirmektedir ve bu nedenle şekillendirilmesi zor olan parçalar için etkileyici bir süreçtir. Alüminyum sac malzemenin sıcaklığının artışıyla, şekillendirmede birçok avantaj sağlanabilir. Isı arttığında malzemenin akış gerilimi azalma eğilimi gösterir. Bundan dolayı, form verme yüklemesi de azalır. İleri araştırmalar, malzeme sıcaklığındaki artış eğiliminin uzama oranı sertleştirmesinde artışa, lüderingde azalma ve şekillendirme limit eğrisinde artışa neden olduğunu göstermektedir. Malzemenin şekillendirilebilmesindeki bu artış, derin formlarda veya karışık geometrilere kullanışlı olabilir. Kalıplamayı sağlamak için, gelen malzemeyi ısıtmak amaçlı bir fırın veya ısıtıcı çekirdekler gerekmektedir. Bundan dolayı ılık şekillendirme, donanım yatırımı gerektirmektedir.

Sac hidro şekillendirme olarak adlandırılan yöntemde ise basınçlı ortam kullanarak sac-metal şekillendirilmektedir. Sac hidro şekillendirme yüksek çekme oranı, iyi parça yüzeyi gibi birçok avantaja sahiptir. Bununla birlikte, alüminyum alaşımlar, yüksek mukavemetli çelik, paslanmaz çelik ve titanyum alaşımlar gibi çok yönlü ve muhtelif malzemelerde düşük hacimlerde uygulanabilir. Sac hidro şekillendirme yöntemi, konvansiyonel kalıpcılığın aksine, şekillendirme süreci esnasında basınçlandırılmış viskoz sıvı yatağından sacın alt kısmında desteklenmesini gerektirir. Bu dış destek, kalınlıkta sıkıştırılan gerilimle çekme dengesizliklerinde şekillendirmedeki kırışıklığı azaltmada veya yırtılmaları engellemekte kullanılır. Zımba ile sac hidro şekillendirme normal kalıptan farklı olarak alttaki dişi yerine basınç kontrollü bir göbek vardır. Sac-metal, akışkan basıncı yardımıyla zımba yüzeyine doğru sıkıştırılır ve böylece konvansiyonel kalıpcılığa oranla daha yüksek çekilebilirlik göstermektedir. Zımba yüzeyi ile sac arasındaki sürtünmede, sac zımba yüzeyiyle öpüşür ve bu da daha yüksek çekilebilirlikle birlikte düzgün bir duvar kalınlığı elde edilmesini sağlar. Düşük çevrim zamanına karşın, düşük şekillendirilebilirlikli hafif ağırlıklı malzemelerin şekillendirilmesinde dikkat çekici bir yöntem olmaktadır. Ayrıca, dişi kalıba gerek duyulmadığından kalıp maliyetinde de azalma olmaktadır. Bu yüzden bu yöntem, otomotiv gövde panellerinin üretiminde göz önünde tutulmaktadır. Bu yöntemin dezavantajlarından bazıları ise 3500 tonlara kadar yüksek tonajlara ihtiyaç duyulması ve bu yöntem için özel tip preslere ihtiyaç duyulması ve maliyetlerinin yüksek olması, yüksek çevrim zamanları, karmaşık geometrilere düşük ölçüsel hassaslıklar sayılabilmektedir.

Hafif metallerin birleştirilmelerinde de yeni yöntemler söz konusudur. Bunun nedeni ise, alüminyumun akma mukavemeti bir kez kaynaklandığında yarı yarıya azalmasından dolayıdır. Kaynaklanmış alüminyum şasi ile aynı mukavemeti elde etmek için iki misli malzeme kullanım miktarı gerektirmektedir. Buda araç hafifletme çalışmalarına tamamen ters düşmektedir. Bir diğer büyük dezavantajı ise, kaynaklı alüminyum gerilimlerini bir nokta veya bir hat boyunca sınırlandırabilir buda malzeme yorulmasını etkileyebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı hafif metal alaşımlı gövdelerde konvansiyonel gövde birleştirilmesinde tercih edilen direnç punta kaynağı, MIG kaynakları yerine yeni yöntemler olarak büzdürme, kendinden delmeli perçinleme, yapıştırarak tutturma, zımbalı perçin metotları gibi yeni yöntemler tercih edilmektedir. Yeni yöntemler olarak bahsedilen yöntemlerin maliyetleri konvansiyonel birleştirme yöntemlerine göre birbirlerine yakın olurken yeni yöntemler daha fazla kalite sunmaktadırlar.

Yukarıda bahsedildiği gibi şekillendirme yöntemlerinin maliyetlerinin yüksek oluşu, bu alanda literatür anlamında da çalışmalar yapılmasına çok fazla olanak sağlanamamaktadır. Her

türlü olumsuzluklara karşın bu alanda yapılacak çalışmaların ileride araç hafifletme çalışmalarına yapacağı katkının büyük olduğu yadsınamazdır.

Devletlerin ve uluslararası birliklerin, araç üreticilerini zorlamaları ile birlikte önümüzdeki yıllarda üretilecek otomobillerin çevreye daha az karbondioksit bırakacak araçlar üretmeleri gerekeceğinden araç hafifletmeye olan ilginin artacağı açıktır. Bunun sonucunda hafif metal alaşımlarının otomobil endüstrisinde daha çok tercih edileceği kesindir.

KAYNAKLAR

MILLER, W.S., ZHUANG L., BOTTEMA, J., WITTEBROOD, A.J., DE SMET, P., HASZLER, A., VIEREGGE, A. 2000. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, *Materials Science and Engineering A280* (2000) 37–49.

CARLE, D., BLOUNT, G., 1999. The suitability of aluminium as an alternative material for car bodies, *Materials and Design* 20 (1999) 267-272.

KAYA, S., 2008. Improving the formability limits of lightweight metal alloy sheet using advanced processes, Ph.D. Thesis (published), The Ohio State University, p.1-207.

PALANISWAMY, H., YADAV, A., KAYA, S., ALTAN, T., 2007. New technologies to form light weight automotive components, 4th International conference and exhibition on design and production of machines and dies/molds, June 21-23 , 2007, p.1-10.

MATHERS, G., 2002. The welding of aluminium and its alloys, TWI Ltd., UK, p.248.

SMITH, W.F., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, (Çev. N. G. Kınıkoğlu), Literatür Yayıncılık, s.855.

ATALAY, O., 2006. Magnezyum ve alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak otomotivde kullanımı, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, s.81.

THE ALUMINUM ASSOCIATION AT 3, 1998. Aluminum for automotive body sheet panels p.56.

EUROPEAN ALUMINUM ASSOCIATION, 2008. Aluminum in cars p.20.

SHERMAN, A., M., 2000. Trends in Automotive Applications for Aluminum, The 7th International Conference on Aluminum Alloys, April 10, 2000 p.34.

SAKURAI, T., 2008. The Latest Trends in Aluminum Alloy Sheets for Automotive Body Panels, p. 7.

<http://www.keytometals.com/Article137.htm>, Erişim tarihi : 25.08.2010. Konu : Automotive Trends in Aluminum, The European Perspective: Part Two.

<http://www.keytometals.com/Article135.htm>, Erişim tarihi : 25.08.2010. Konu : Automotive Trends in Aluminum, The European Perspective: Part One.

http://findarticles.com/p/articles/mi_qa5348/is_199911/ai_n21448064/, Erişim tarihi : 18.04.2010. Konu : Ducker report reviews aluminum automotive applications.

KLEINER, M., GEIGER, M., KLAUS A. Manufacturing of Lightweight Components by Metal Forming p. 22.

<http://www.psc.edu/science/Chu/chu.html>, Erişim tarihi : 20.02.2010. Konu : Computational Modeling of Aluminum Automobile Components at ALCOA.

ÇAVDAR, K., 2006. Otomobillerde hafif yapılar ve yeni malzemeler, ders notu, s. 92.

<http://luxvelocity.typepad.com/luxvelocity/2008/12/lightweight-des.html#more>, Erişim tarihi : 20.09.2009. Konu : Lightweight Design – It's an Art : The Audi ASF Design Principle.

THOMAS, W. T., ALTAN, T., KAYA, S., 2003. Handbook of Aluminum Volum 2 Alloy Production and Materials Manufacturing, p. 837-880.

ALTAN, T., PENTER, L., 2010. Application of Modern Cushion Systems to Improve Quality and Productivity in Sheet Metal Forming, CIRP Conference on Machine-Process Interactions, June 10, 2010, p.19.

PADMANABHAN, R., OLIVEIRA, M. C., ALVES, J. L., MENEZES, L. F., 2008. An optimization strategy for the blank holder force in deep drawing, 8th. World Congress on Computational Mechanics, June 30 – July 5, 2008, p. 2.

YADAV, A., 2006. Multipoint-control die cushion systems for stamping complex parts, Stamping Journal Magazine, p.32-33.

ZHONG-QIN, L., WU-RONG, W. GUAN-LONG, C., 2007. A new strategy to optimize variable blank holder force towards improving the forming limits of aluminum sheet metal forming, Journal of Materials Processing Technology 183 (2007) 339–346

<http://www.thefabricator.com/article/toolanddie/warm-forming-of-aluminum-alloys>, Erişim tarihi : 20.04.2009. Konu : Warm forming of aluminum alloys.

ERDİN, M. E., AYKUL, H., TUNALIOĞLU, M. Ş., 2005. Forming of high strength / low formability metal sheets at elevated temperatures, Mathematical and Computational Applications, Vol. 10, No. 3, pp. 331-340, 2005.

ABEDRABBO, N., ZAMPALONI, M. A., POURBOGHRAT, F., 2005. Wrinkling control in aluminum sheet hydroforming, International Journal of Mechanical Sciences 47 (2005) 333–358

ÇEKİÇ, İ., 2007. Otomobillerde gövde birleştirme teknolojileri ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, s.104.

<http://www.boellhoff.de>, Erişim tarihi : 10.03.2010. Konu : Assembly systems.

NORME RENAULT, 2000. Clinchage, definition, conception, utilisation (01 - 52 - 103 / - - A) p.15.

TSCHAETSCH, H., 2005. Metal forming practise, p.251-257.

EUROPEAN ALUMINUM ASSOCIATION, 2005. Aluminum in commercial vehicles p.162.

DORN, L., Adhesive Bonding – Terms and Definitons, TALAT Lectures, p.20.

<http://www.autofieldguide.com/articles/040408.html>, Erişim tarihi : 10.02.2009, Konu : Lotus bonds with aluminum.

<http://www.drauznothelfer.com/eng/hlights02.htm>, Erişim tarihi : 10.02.2009, Konu : Hemming technology.

<http://www.Eurotradeglobal.com>, Erişim tarihi : 25.04.2010, Konu : Robot hemming.

ALBU, L., CIRSTOIU, A., 2002. The technology design of aluminum alloys carbodies, Design de Proodus, p.4.

YADAV, A., 2008. Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming, Ph.D. Thesis (published), The Ohio State University, p.1-223.

LANG, L., Li, T., ZHOU, X., KRISTENSEN, B. E., DANCKERT, J., NIELSEN, K. B. 2006. Optimized constitutive equation of material property based on inverse modeling for aluminum alloy hydro forming simulation, Trans. Nonferrous Met. SOC. China 16(2006) 1379-1385, p.7.

LANG, L., Li, T., DONGYANG, A., CAILOU, C., DANCKERT, J., NIELSEN, K. B. 2009. Investigation into hydromechanical deep drawing of aluminum alloy— Complicated components in aircraft manufacturing, Materials Science and Engineering A 499 (2009) 320–324, p.5.

ABEDRABBO, N., ZAMPALONI, M. A., POURBOGHRAT, F. 2005. Wrinkling control in aluminum sheet hydroforming, International Journal of Mechanical Sciences 47 (2005) 333–358, p.26.

MESLEKÎ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ, 2007. Elektrik direnç kaynağı, s.37.

THE ALUMINUM ASSOCIATION AT 4, 1998. Practices for the repair of automotive sheet aluminum, p.25.

Ek - 1 Alüminyum gövde sac alaşımlarının kimyasal kompozisyon limitleri

AA Alaşımı	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Diğer	Diğer Toplam
5182	0,20	0,35	0,15	0.20-0.50	4.0-5.0	0,10	0,25	0,10	0,05	0,15
5454	0,25	0,40	0,10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	0,25	0,20	0,05	0,15
5754	0,40	0,40	0,10	0,50	2.6-3.6	0,30	0,20	0,15	0,05	0,15
6009	0.60-1.0	0,50	0.15-0.60	0.2-0.8	0.4-0.8	0,10	0,25	0,10	0,05	0,15
6022	0.8-1.5	0.05-0.20	0.01-0.11	0.02-0.10	0.45-0.7	0,10	0,25	0,15	0,05	0,15
6111	0.6-1.1	0,40	0.5-0.9	0.10-0.45	0.50-1.0	0,10	0,15	0,10	0,05	0,15

Ek – 2 Alüminyum gövde sac alaşımlarının mekanik deneysel özellikleri

Alaşım&Temper	Maksimum Çekme Mukavemeti		Akma Mukavemeti (0.2% ofset)		50 mm de uzama	Maksimum Kesme Mukavemeti		Gerilim ve Sıkıştırma için Elastisite Modülü	
	MPa	(ksi)	MPa	(ksi)	%	MPa	(ksi)	GPa	(ksi) 10 ³
5182-O	275	40	130	19	24	165	24	71	10,3
5454-O	250	36	115	17	22	160	23	70	10,2
5754-O	220	32	100	14	26	130	19	71	10,3
6009-T4	220	32	125	18	25	130	19	69	10,0
6009-T62	300	43	260	38	11	180	26	69	10,0
6111-T4	280	42	150	22	26	170	25	69	10,0
6111-T62	360	52	320	46	11	215	31	69	10,0
6022-T4	255	37	150	22	26	155	22	69	10,0
6022-T62	325	47	290	42	12	195	28	69	10,0

Ek – 3 Alüminyum gövde sac alaşımlarının özelliklerinin karşılaştırılması

Alaşım	Genel korozyona karşı direnç	Şekillendirilebilirlik	Döküm Kaynak Yapılabilirliği	Punta Kaynak Yapılabilirliği
5182-O	A	A	A	C
5454-O	A	B	A	B
5754-O	A	A	A	C
6009-T4	A	B	B	A
6022-T4	A	B	B	A
6111-T4	A	B	B	A

NOT: A: En İyi, B: Daha İyi, C: İyi

ÖZGEÇMİŞ

Erkan Aybaraz 1979 yılında Bursa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa'da tamamladı. Lise eğitimini Bursa Tophane Endüstri Meslek Lisesi Kalıp Bölümünde 1996 yılında bitirdi. 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Kalıpcılık Öğretmenliği Bölümünden lisans derecesini aldı. 2000 – 2003 yılları arasında Coşkunöz A.Ş. de Kalıp Tasarım Uzmanı olarak çalıştı. 2004 yılında Askerlik hizmetini tamamladı. 2004 – 2006 yılları arasında Coşkunöz A.Ş. de Kalıp Proje Lideri olarak görev yaptı. 2006 yılından bu yana TOFAŞ A.Ş. de Kalıp Proje Sorumlusu olarak çalışmakta. Aybaraz, kuruluşu 2007 yılından bu yana Gazi Üniversitesi Kalıp Öğretmenliği Mezunları Derneğinin Yönetim Kurulu Başkanlığını sürdürmektedir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde desteklerini esirgemeyen değerli öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr.Gültekin Karadere'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Gerek iş hayatımda gerek okul hayatımda hep yanımda olup, çalışmalarımı beni sürekli destekleyen, gösterdiği sabır ve anlayışla bu tezin ortaya çıkmasında büyük katkısı olan biricik eşim Bengü Aybaraz'a, her zaman yanımda olan annem Nesrin Aybaraz, babam Talat Aybaraz, ablam Ebru Aybaraz ve yeğenim İrem Karçığa'ya teşekkür ederim.