

**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNCE SACLARIN DESENLEME YÖNTEMİ İLE
MUKAVEMETİNİN ARTTIRILMASI**

Hande GÜLER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA – 2008



**T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNCE SACLARIN DESENLEME YÖNTEMİ İLE
MUKAVEMETİNİN ARTTIRILMASI**

Hande GÜLER

**Prof. Dr. Sedat ÜLKÜ
(Danışman)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA – 2008

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


İNCE SACLARIN DESENLEME YÖNTEMİ İLE
MUKAVEMETİNİN ARTTIRILMASI

Hande GÜLER

Bu Tez 11 / 08 / 2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/~~oy~~
~~çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Sedat ÜLKÜ (Danışman)



Prof. Dr. Yusuf ULCA Y



Doç. Dr. Reşat ÖZCAN

ÖZET

Bu çalışma ile endüstride Al 1050 ismiyle anılan alüminyum alaşım saclarının, desenleme işlemi ile şekillendirilmesi sonucu oluşan mekanik özellik değişimleri incelenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla; çekme, üç noktalı eğilme ve burkulma testleri yapılmıştır. Desenleme işlemi gerçekleştiren OMPAŞ firmasından numuneler temin edilmiştir. Daha sonra bu numunelerin, desenleri iki rijit plaka arasında ezilerek, bu işlemin mekanik özelliklere etkisini araştırmak amacıyla aynı mekanik deneyler tekrarlanmıştır. Sonuç olarak, desenleme işleminin çekme dayanımını azalttığı, eğilme ve burkulma dayanımlarında ise artış sağladığı görülmüştür. Ezme işleminde ise hem çekme hem de eğilme dayanımında artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tez kapsamında sonlu elemanlar analizi de yapılarak bu işlemin deneysel sonuçları destekleyip desteklemediği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Desenleme işlemi, saclar, sacların şekillendirilmesi.

ABSTRACT

Embossing process which has been applied to Al 1050 aluminium alloys has some mechanical changes and in this study, mechanical effects of embossing process has been researched. For that reason, to determine the mechanical features, tensile, three point bending and buckling tests were carried out. Test samples have been brought from OMPAS firm, then these samples have been shaped between two rijit plate, after that, the effects of this griding process have been determined with the same mechanical tests. Consequently, these have been learned that embossing proses decreases tensile strength, increases bending and buckling strength and shaping between two rijit plate process increases bending and tensile strengths. In addition, the finite elemet method analysis have been studied and this method supports or doesn't support has been researched.

Keywords: Embossing process, sheet metals, shaping of sheet metals.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1 Sacların Şekillendirilmesi	2
2.1.1 Sacların Şekillendirilebilirliğini Etkileyen Özellikler	2
2.1.1.1 Uzama	3
2.1.1.2 Akma Uzaması	4
2.1.1.3 Anizotropi	5
2.1.1.4 Tane Büyüklüğü	5
2.1.1.5 Artık Gerilmeler	6
2.1.1.6 Geri Yaylanma	6
2.1.1.7 Buruşma	6
2.1.1.8 Kaplanmış Levha	6
2.2 Sac Şekillendirme İşlemleri	7
2.2.1 Kesme İşlemi	7
2.2.2 Bükme İşlemi	8
2.2.3 Gerdirmeye (gerdirmeli sıvama) İşlemi	8
2.2.4 Şişirme İşlemi	9
2.2.5 Lastik Tampon ile Şekillendirme ve Su ile (Hidrolik) Şekillendirme	10
2.2.6 Dönerli Sıvama İşlemi	11
2.2.7 Yüksek Enerjili Şekillendirme İşlemi	12
2.2.8 Patlayıcı ile Şekillendirme İşlemi	12
2.2.9 Elektrohidrolik Şekillendirme İşlemi	13
2.2.10 Manyetik Sinyalle Şekillendirme İşlemi	14
2.2.11 Süperplastik Şekillendirme İşlemi	14
2.2.12 Derin Çekme İşlemi	15
2.3 Alüminyum	17
2.3.1 Alüminyum ve özellikleri	17
2.3.2 Alüminyumun Kullanım Alanları	18
2.3.3 Otomotiv Sektöründe Alüminyum	19
2.4 Dönel Kabartma İşlemi	22
2.5 Isı Muhafaza Sacları	24
2.6 Literatür Araştırması	27
3.MATERYAL VE YÖNTEM	38
3.1 Malzeme	38

3.2	Desenleme Üretimine Gerçekleştirilmesi	39
3.3	Mekanik Deneyler	40
3.3.1	Çekme Deneyleri	40
3.3.2	Üç Noktalı Eğilme Testleri	42
3.3.3	Burkulma Deneyleri	42
3.4	Tersine Mühendislik Çalışmaları	43
3.5	Sonlu Elemanlar Yöntemi Çalışmaları	45
3.6	Desenleme İşlemi Simülasyon Çalışmaları	47
3.7	Ezme İşlemi Uygulamaları	50
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI	53
4.1	Mekanik Deney Sonuçları	53
4.1.1	Ezme İşlemi Uygulanmadan Önce Elde Edilen Sonuçlar	53
4.1.1.1	Çekme Deneyi Sonuçları	53
4.1.1.2	Eğilme Deneyi Sonuçları	54
4.1.1.3	Burkulma Deneyi Sonuçları	56
4.2	Ezme İşlemiyle Elde Edilen Deney Sonuçları	57
4.2.1	Ezme İşlemi Uygulanmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları	57
4.2.2	Ezme İşlemi Uygulanmış Numunelerin Eğilme Deneyi Sonuçları	60
4.3	Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Elde Edilen Analiz Sonuçları	63
4.4	Ansys Ls-dyna Programıyla Elde Edilen Cad Modellerin Analiz Sonuçları	66
5.	TARTIŞMA VE YORUM	69
	KAYNAKLAR	72
	TEŞEKKÜR	74
	ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER DİZİNİ

σ	: gerilme
k	: mukavemet katsayısı
ε	: birim şekil değiştirme
n	: pekleşme üsteli
C	: pekleşmede mukavemet katsayısı
m	: şekil değiştirme hızı duyarlılığı
h	: kabartma yüksekliği
h_f	: kabartma esnasında kırılmanın olduğu yükseklik
$\frac{h}{h_f}$: kabartma yüksekliği oranı (KYO)
α	: akma gerilmesi oranı (%)
β	: çekme gerilmesi oranı (%)
δ	: toplam uzama
θ	: maksimum eğilme yükü oranı
r	: iç çap
r_o	: dış çap
L	: maksimum zımba yükü oranı (%)
E	: elastisite modülü
ν	: poisson oranı
K	: mukavemet katsayısı
ρ	: yoğunluk
t	: sac kalınlığı
Al	: alüminyum
Si	: silisyum
Ni	: nikel
Zn	: çinko
Fe	: demir
Sn:	: kalay
Ti	: titanyum
Cu	: bakır
ΔL	: uzama
F	: kuvvet , yük

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1 Çekme işlemi uygulamasında büzülme durumu	3
2.2 Çekme halinde akma uzaması ve luders bantları	4
2.3 Kalıp ve zımba ile gerçekleştirilen kesme işleminin şematik gösterimi	7
2.4 Çeşitli bükme işlemlerinin şematik gösterimi	8
2.5 Gerdirme (gerdirmeli sıvama) işleminin şematik gösterimi	9
2.6 Şişirme işlemi işleminin şematik gösterimi	9
2.7 Lastik tampon ile şekillendirme işleminin şematik gösterimi	10
2.8 Su ile (Hidrolik) şekillendirme işleminin şematik gösterimi	11
2.9 Dönerli sıvama işleminin şematik gösterimi	12
2.10 Patlayıcı ile şekillendirme işleminin şematik gösterimi	13
2.11 Elektrohidrolik şekillendirme işleminin şematik gösterimi	13
2.12 Manyetik sinyalle şekillendirme işlemi	14
2.13 Süperplastik şekillendirme ve difüzyon bağlama işlemiyle elde edilen ürünler	15
2.14 Derin çekme işleminin şematik gösterimi	16
2.15 Örnek bir desenleme işlemi düzeneği	23
2.16 OMPAŞ firması tarafından üretilen çeşitli ısı muhafaza sacları	25
2.17 Kabartma işleminin şematik gösterimi	28
2.18 Yenileme işleminin şematik gösterimi	28
2.19 Materyaller üzerindeki vickers sertliği karşılaştırması	29
2.20 KYO nın akma gerilmesi üzerindeki etkisi	30
2.21 KYO nın çekme gerilmesi üzerindeki etkisi	31
2.22 KYO nın toplam uzama üzerindeki etkisi	31
2.23 KYO nın maksimum eğilme yükü üzerindeki etkisi	32
2.24 Derin çekme işlemi için hazırlanan numuneler	33
2.25 Zımba kuvveti- strok diyagramı	34
2.26 Maksimum zımba kuvveti oranı (L) üzerinde deformasyon bölgesinin etkisi	34
2.27 Kabartma işlemi ve yenileme işlemi deney düzeneği	35
2.28 Nümerik modelde kullanılan 1/4 parça	36
2.29 Yenileme işlemi sonrası oluşan yüzey şekilleri	36
2.30 Yenileme işlemi sonrası oluşan buruşma sayısı üzerinde kabartı yüksekliğinin etkisi	37
3.1 Ompaş firması bünyesinde bulunan desenleme makinası	40
3.2 Çekme deneyi numunesi boyutları	41
3.3 Örnek bir çekme deneyi uygulaması	41
3.4 Üç noktalı eğilme deneyi uygulaması	42

3.5	Burkulma deneyi numunesi boyutları	43
3.6	Burkulma deneyi uygulaması	43
3.7	Tersine mühendislik çalışmalarında kullanılan numuneler ve tersine mühendislik çalışmalarında kullanılan optik tarama cihazı	44
3.8	Key Creator CAD programında oluşturulan katı model örneği	44
3.9	Mesh işlemi gerçekleştirilmiş örnek bir sac levha modeli	45
3.10	Çekme deneyine benzer şekilde sabitlenmiş ve yüklenmiş bir model	46
3.11	Sac şekillendirme işleminde kullanılan model (ansys-Is dyna)	47
3.12	Şekillendirme için modele uygulanan yükleme	48
3.13	Çözüm sonrası oluşan şekillenmiş sac parçası	48
3.14	Orta kesitte işaretlenen node'lar	49
3.15	Key Creator programında oluşturulan nodelerden geçen nurbsler	49
3.16	Key Creator programında oluşturulan 3D modellerinden bir örnek	50
3.17	Ezme işleminde kullanılan universal test cihazı	51
3.18	Ezme işlemi uygulaması	52
3.19	Ezme işlemi uygulanmış numuneler	52
4.1	Desenli ve ezilmemiş numunelerin maksimum çekme yükü- desen grafığı	54
4.2	Desenli ve ezilmemiş numunelerin maksimum eğilme yükü-desen grafığı	55
4.3	Desenli ve ezilmemiş numunelerin maksimum burkulma yükü-desen grafığı	57
4.4	0.4 mm kalınlıktaki desenli sac için ezme ve ezmesiz halin çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması	58
4.5	0.5 mm kalınlıktaki desenli sac için ezme ve ezmesiz halin çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması	59
4.6	0.8 mm kalınlıktaki desenli sac için ezme ve ezmesiz halin çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması	59
4.7	0.4 mm kalınlıktaki desenli sac için ezme ve ezmesiz halin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması	61
4.8	0.5 mm kalınlıktaki desenli sac için ezme ve ezmesiz halin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması	61
4.9	0.8 mm kalınlıktaki desenli sac için ezme ve ezmesiz halin eğilme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması	62
4.10	Tüm sac kalınlıklarının ezme işlemi sonucunda eğilme mukavemetlerinin karşılaştırılması	62
4.11	Yüzey tarama işlemleri sonucu elde edilen cad modelin çekme deneyi analizi	63
4.12	0.8 mm sac kalınlığı ve 2.2 mm desen yüksekliği olan modelin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen gerilme sonucu	64

4.13	Ansys Ls-dyna vasıtasıyla elde edilen cad modellerin çekme deneyi analizi	66
4.14	0.8 mm sac kalınlığı ve 2.2 mm desen yüksekliği olan modelin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen gerilme sonucu	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge No</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1 Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı	18
2.2 Otomobillerde kullanılan parçalar ve bunların üretildiği alaşımlar	21
2.3 (A) Numunlere ait deney verileri (B) Analizlerde kullanılan malzemelerin özellikleri	35
3.1 Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal bileşimi	38
3.2 Deneylerde kullanılan malzemenin mekanik özellikleri	38
3.3 Deneylerde kullanılan numune çeşitleri	39
3.4 Ezme işleminde numune gruplarına göre uygulanan yükler	51
4.1 Çekme deneylerinden elde edilen desen yüksekliklerine bağlı maksimum çekme yükü değerleri	53
4.2 Eğilme deneylerinden elde edilen desen yüksekliklerine göre maksimum eğilme yükü değerleri	55
4.3 Burkulma deneylerinden elde edilen desen yüksekliklerine göre maksimum yük değerleri	56
4.4 Çekme deneylerinden elde edilen desen yüksekliklerine bağlı maksimum yük değerleri	58
4.5 Eğilme deneylerinden elde edilen desen yüksekliklerine bağlı maksimum yük değerleri	60
4.6 Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen maksimum gerilme sonuçları	64
4.6 Ansys LS-DYNA vasıtasıyla elde edilen cad modellerin maksimum gerilme sonuçları	67

1. GİRİŞ

Sac levha şekillendirme işlemi, endüstride çok fazla rastlanılan bir proses olup, otomotiv endüstrisinden, yapı ürünlerine, metal aletlerin dış gövdelerine kadar çok geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Bu durumun en büyük nedenleri; amaca göre oluşacak işlemin kolay, çabuk ve istenen şekilde gerçekleştirilebilmesidir. En yaygın kullanılan şekillendirme işlemleri; kesme, bükme, derin çekme vb. proseslerdir.

Levha metallerin en yaygın görüldüğü sektör olan otomotiv endüstrisinde, uzun yıllar ürün ağırlığı ve maliyetinin azaltılması çalışmalarıyla uğraşmış ve bu çalışmalara halen devam etmektedir. Örneğin, levha kalınlığını azaltarak ağırlık azaltılması yoluna gidilmiştir. Ancak bu durumda sacların şekillendirilmesi esnasında çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Çünkü kalınlık azaldıkça, rijitlikte azalmaktadır. Şekillendirme esnasında bu problemleri azaltmak amacıyla yeni bir proses olan “ desenleme” yöntemi aynı zamanda yeni bir mukavemetlendirme metodudur.

Tez kapsamında OMPAŞ firması ile beraber çalışılmıştır. Firmanın üreticiden düz olarak temin ettiği sac levhalar, desenleme işlemi uygulanarak şekillendirilmekte ve daha sonra ısı muhafaza sacı olarak, araç komponentlerini örtecek biçimde kalıplar vasıtasıyla istenen biçim verilmektedir. Isı kalkanı, yüksek sıcaklıktaki araç elemanlarında meydana gelen ısınmayı komşu parçalara ve araç gövdesine iletmeyi önleyen parçalardır.

Bu tez çalışmasının amacı; desenleme yöntemi uygulanmış saclarda, bu işlemin sacın mukavemet özelliklerine olan etkisini incelemektir. Bu bağlamda çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemiyle analiz çalışması yapılarak deneysel sonuçları destekleyip desteklemediği araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Sacların Şekillendirilmesi

Levha metaller; yüzey alanının kalınlığa oranı yüksek olan metaller olarak karakterize edilirler. Sacların şekil verilmesi , genellikle metal plak içindeki çekme kuvvetleri vasıtasıyla gerçekleşir ve aksi takdirde, basma kuvvetlerinin uygulanması sacın, burkulma, eğilme ve buruşmasına neden olur.

Levha metal şekil verilebilirliği; sacın istenen form verilirken büzülme, yırtılma veya ayrılma gibi olumsuz durumlara uğramadan, istenen şekil değişikliklerine uğratılma yeteneği olarak tanımlanabilir. Şekil verilebilirlik üzerine 3 önemli faktör büyük etkiye sahiptir: a)levha metalin özellikleri b) sac, kalıplar ve aletler arasındaki çeşitli ara yüzlerdeki yağlama c) sacın şekillendirilmesinde kullanılan alet, kalıp gibi donanımların özellikleridir.

Dövme, haddeme, ekstrüzyon ve tel çekme gibi hacim deformasyon proseslerinde iş parçasının kalınlık veya yanal ölçüleri değişir. Ancak; çoğu levha metal şekillendirme prosesinde levhanın çekme gerilmeleri altındaki zorlanmalarına bağlı olarak kalınlıkta değişme olmaz (Poisson etkisi). Sacların şekillendirilmesinde kalınlık azalmasından kaçınılmalıdır. Çünkü bu durum, levhada büzülme ve bozulmalara sebep olur (Kalpakjian ve Schmid 2003).

2.1.1. Sacların Şekillendirilebilirliğini Etkileyen Özellikler

Sacların şekil verilebilirliği, levha metallerin teknolojik ve ekonomik önemlerinden dolayı sürekli olarak büyük ilgi çekmektedir. Tüm levha şekillendirme işlemleri, temel olarak gerilme ve eğilme proseslerinden oluşur. Ancak bazı unsurlar tüm şekillendirme operasyonunu önemli bir şekilde etkilerler. Bu faktörler; uzama, akma uzaması, anizotropi, tane büyüklüğü, kalıntı gerilmeler, geri yaylanma ve buruşmadır ve bu faktörler levha metallerin tüm şekil verme işlemlerinde önemli bir yere sahiptir.

2.1.1.1.Uzama

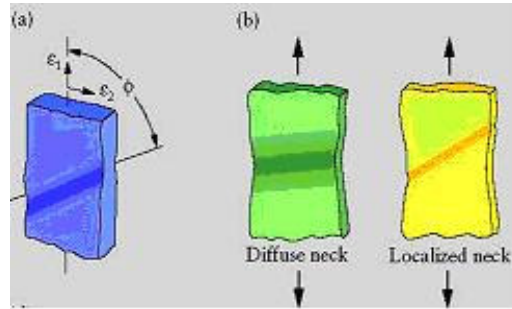
Levha şekillendirme işlemlerinde basit tek eksenli gerilme hali nadir olarak gözlemlenmesine rağmen basit çekme testleri, levhaların şekillendirme davranışlarını anlamada yardımcı olurlar.

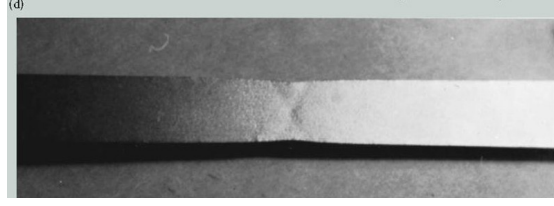
Çekme testi uygulanan bir numune, çekme kuvvetinin en büyük değerini alana kadar üniform olarak şekil değiştirir. Ancak, en büyük kuvvete ulaşıncaya kesit daralması (büzülme) başlar ve üniform uzamayı, nonüniform uzama takip eder. Bu durum kırılma gerçekleşene kadar devam eder.

Sac levha, şekillendirme boyunca gerilmeye maruz kalır ve şekillendirilme esnasındaki, üniform uzamanın yüksek olması iyi şekillenme için arzu edilebilir bir durumdur.

Gerçek gerilme-gerçek şekil değiştirme davranışı $\sigma = K.\epsilon^n$ ile ifade edilen bir malzemenin çekme deneyinde maksimum yük esnasında $\epsilon = n$ olduğundan plastik şekil verilecek bir sacın pekleşme üstelinin yüksek olması faydalıdır. Çünkü büyük n değeri, yüksek üniform uzamayı işaret eder ve bu durum şekillendirme için istenen bir durumdur. Burada, k=mukavemet katsayısı n= pekleşme üsteli dir.

Sacların çekme deneyinde büzülme, çekme doğrultusu ile Φ açısı yapacak şekilde oluşur.





Şekil 2.1 Çekme İşlemi Uygulamasında Büzülme Durumu

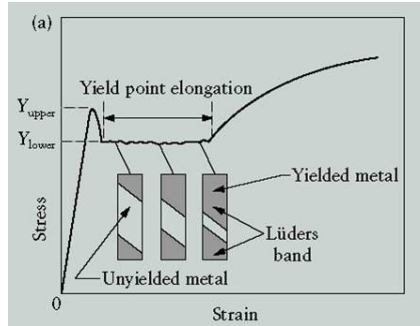
- a)Çekmeye maruz levha metalde yerel büzülme b)Yerel ve dağılık büzülmenin şematik gösterimi c) Alüminyum levhanın çekme halindeki yerel büzülmesi (çift büzülme)
(Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials,pp:338)

Büzülmenin yerel mi yoksa dağılık mı olacağı $\sigma=C.\dot{\epsilon}^m$ eşitliğinde verilen m = şekil değiştirme hızı duyarlılığına bağlı olarak değişir. Yüksek m değeri, kırılmadan önce oluşan büzülme uzamasının büyük olmasına yol açar.

Çekme testinde elde edilen toplam uzama (kopma uzaması); levha metalin şekillendirilmesinde önemli bir faktördür ve toplam uzama= üniform uzama + büzülme uzamasıdır. Üniform uzamaya n = pekleşme üsteli etki ederken, büzülme uzamasına m =şekil değiştirme hızı duyarlılığı etki eder. Dolayısıyla n ve m değerleri büyüdükçe toplam uzama da artar (Kalpakjian ve Schmid 2003).

2.1.1.2. Akma Uzaması

Belirgin akma gösteren malzemelerde, gerilme üst akma sınırından alt akma sınırına düştükten sonra, alt akma sınırı boyunca gerilme yeniden yükselmeye başlayana kadar oluşan uzamaya akma uzaması denir.



Şekil 2.2 Çekme Halinde Akma Uzaması Ve Lüders Bantları
(Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:339)

Üst akma sınırında, gerilme yığılması olan bir noktada, malzemede plastik şekil değişimine uğramış bir bant oluşur. Gözle görülebilen bu bandın oluşmasıyla birlikte gerilme alt akma sınırına düşer ve akma uzaması boyunca bant deney numunesi üzerinde yayılır. Çoğunlukla, çeşitli noktalarda gerilme yığılması olduğu için oluşan bant sayısı da birden çoktur. Genel olarak çekme doğrultusu ile yaklaşık 45° açı yapan bu bantlara Luders-Hartman bantları denir.

Luders-Hartman bantları, malzemenin yüzey kalitesini görsel açıdan bozukları için yapıda istenmezler. Bu problemi önlemenin yolu olarak, malzemelerin belirgin akma göstermesi önlenmeli veya sac soğuk haddelenerek kalınlığı % 0,5-1,5 arasına düşürülmelidir. Bu işleme temper haddelemesi denir (Çapan 2003).

Akma uzamasının büyüklüğü, şekil değiştirme oranına ve levhanın tane büyüklüğüne bağlıdır. Yüksek şekil değişimi oranlarında, uzama genellikle yükselir. Ayrıca tane büyüklüğü azalınca da akma uzaması artar (Kalpakjian ve Schmid 2003).

2.1.1.3. Anizotropi

Anizotropi; malzemelerin farklı yönlerde farklı özellikler göstermesi anlamındadır ve sadece levha düzleminde değil, aynı zamanda kalınlık doğrultusunda da olabilir. Bu durum sacların derin çekilmesi işleminde önemli kavramlardır (Kalpakjian ve Schmid 2003).

2.1.1.4. Tane Büyüklüğü

Levha metallerde tane büyüklüğü; malzemenin mekanik özellikleri ve deformasyona uğramış parçanın yüzey görünümü üzerindeki etkisinden ötürü büyük önem taşımaktadır. Genel olarak plastik şekil verilecek saclarda ASTM tane büyüklüğünün 7 veya malzemenin daha ince taneli olması tercih edilir. Büyük tane, daha kaba ve pürüzlü bir yüzey oluşumuna (portakal kabuğu görünümü) neden olur. Bu nedenle, sac şekillendirilmede ince taneli malzemeler seçilir (Çapan 2003).

2.1.1.5.Artık Gerilmeler

Sacların şekillendirilmesi esnasında üniform olmayan şekil değişimi nedeniyle malzemede artık gerilmeler doğabilir. Dengeleri bozulduğunda kalıntı gerilmeler parçanın çarpılmasına yol açar. Yüzeydeki artık çekme gerilmeleri eğer giderilmezse, gerilmeli korozyon çatlamasına neden olabilir (Çapan 2003).

2.1.1.6.Geri Yaylanma

Levha metaller, ince oldukları için özellikle bükme ve derin çekme işlemlerinde geri yaylanmaya maruz kalırlar. Eğilme işlemlerinde ve eğilme yarıçapının kalınlığa oranı yüksek olan saclarda da (örneğin otomobil parçalarında) geri yaylanma durumu gözlenebilir (Kalpakjian ve Schmid 2003).

2.1.1.7.Buruşma

Levha şekillendirmede metal genellikle çekme gerilmelerine maruz kalmasına rağmen, şekillendirme işlemi levha düzleminde oluşan bası gerilmeleriyle de gerçekleşebilir. (örneğin derin çekme işleminde kenar buruşması.) Burkulma, kıvrıma, katlama işlemlerinde de buruşma gözlemlenebilir.

Kalıplar ve levha yüzeyi arasında kapatılarak düzgün olamayan bir biçimde dağıtılmış yağlayıcı madde de buruşma başlangıcına yardımcı olur.

Buruşma eğilimi; a) levhanın desteksiz veya sınırlandırılmamış boy veya yüzey alanı b) kalınlık azalışı c) levhanın kalınlığının üniform olmamasına bağlı olarak artar (Kalpakjian ve Schmid 2003).

2.1.1.8.Kaplanmış Levha

Levha metaller, özellikle çelik, pek çok organik kaplama, film, ince tabakalarla kaplanabilirler. Bu tür kaplamalar özellikle, görsel güzellik açısından uygulanır. Ancak,

aynı zamanda korozyon direncinde yardımcı olurlar. Örneğin çinko, çelik levhalarda, korozyon önleyici olarak, otomotiv endüstrisinde kullanılırlar (Kalpakjian ve Schmid 2003).

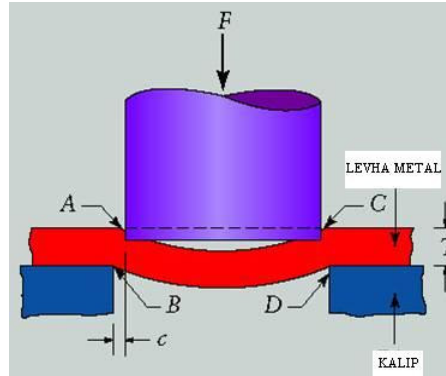
2.2. Sac Şekillendirme İşlemleri

2.2.1. Kesme İşlemi

Kesme, levha halindeki yarı ürünün bir hat boyunca veya planlanan biçimde birbirinden ayırma işlemidir. Kesme işleminde sac parça deformasyon oluşana kadar kayma gerilmesine maruz kalır. Kayma gerilmeleri genellikle zımba ve kalıp arasında oluşur. Kesme sonucu oluşan parçalar; hurda kısım ve şekillendirmeden sonra kullanılacak olan parçadan ibarettir.

Kesme prosesindeki ana değişkenler; zımba kuvveti F , zımbanın hızı, yağlama, levhanın kenar konumu, zımba ve kalıp malzemeleri, zımba ve kalıbın köşe yarıçapı ve zımba ve kalıp arasındaki açıklıktır (Kalpakjian ve Schmid 2003).

Kesme işlemi iki yöntemle gerçekleştirilmektedir. a) Uç Kesme b) Kapalı (Klasik) Kesmedir.

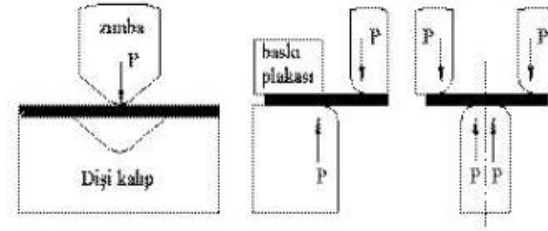


Şekil 2.3 Kalıp ve Zımba ile Gerçekleştirilen Kesme İşleminin Şematik Gösterimi (Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:341)

2.2.2. Bükme İşlemi

Bükme (bending); düz bir sacın plastik deformasyona uğratarak kavisli bir şekil alması işlemidir (Panthi ve ark. 2006). Sadece kenar, kıvrım ve oluk oluşturma gibi şekillendirme işlemlerinde değil ayrıca, parçanın atalet momentini arttırarak sertlik verilmesinde uygulanır. Örneğin; uzun şerit halinde bulunan düz sac levha, V şekli verilmiş haline göre daha düşük rijitliğe sahiptir (Kalpakjian ve Schmid 2003).

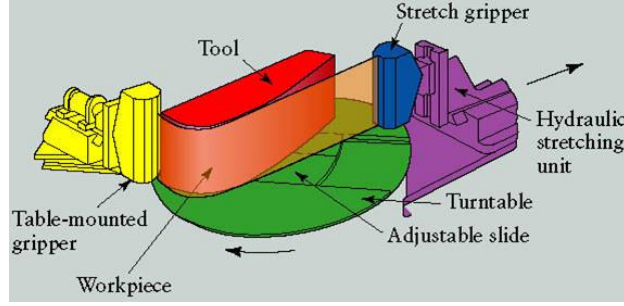
Bükme işlemi esnasında sac malzemenin iç yüzeyinde bası gerilmeleri oluşur ve kısılır, dış yüzeyinde ise çekme gerilmeleri oluşur ve uzar. Bu nedenle, bükme işlemi uygulanan parça, kalıptan çıkarıldıktan sonra bir miktar esner. Oluşan bu duruma geri yaylanma (springback) adı verilir. Geri yaylanma metal levhanın bünyesinde artık gerilmeler bırakır (<http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/kaliplama/bukme.php>, 2008).



Şekil 2.4 Çeşitli Bükme İşlemlerinin Şematik Gösterimi
(Kaynak: http://www.kalip.net/b2b/tur/~sac_kalipciligi.php, 2008).

2.2.3. Gerdirme (gerdirmeli sıvama) İşlemi

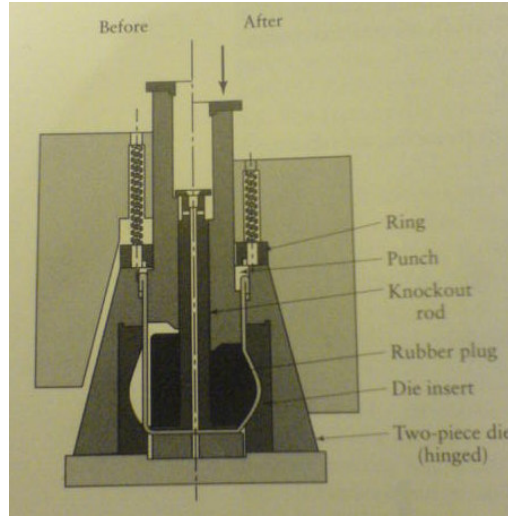
Bu işlemde, levha metal kenarlarından sıkıştırılır ve yukarı, aşağı yada yana hareket eden bir kalıp veya şekil bloğunun üzerine gerilir. Gerdirme işlemi, uçak kanatlarının panellerinin, otomobil kapı panellerinin ve pencere çerçevelerinin üretimde uygulanmaktadır. Bu proses genellikle düşük hacim üretimlerinde kullanılmasına rağmen, birden fazla kullanım alanına sahiptir ve ekonomiktir (Kalpakjian ve Schmid 2003).



Şekil 2.5 Gerdirme (Gerdirmeli Sıvama) İşleminin Şematik Gösterimi
(Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:360)

2.2.4. Şişirme İşlemi

Bu işlem, parçalı dişi kalıba yerleştirilen; boru, koni yada eğrisel biçimdeki oyuk parça ve devamında da kauçuk yada poliüretan tampon vasıtasıyla gerçekleşir. Daha sonraki aşamada zımba geri çekilir ve tampon normal haline geri döner. Son olarak, istenen son ürün kalıplar açılarak elde edilir. Bu yöntem daha çok, sürahi, fiçı, boncuk ve davul gibi ürünlerin üretiminde kullanılır (Kalpakjian ve Schmid 2003).



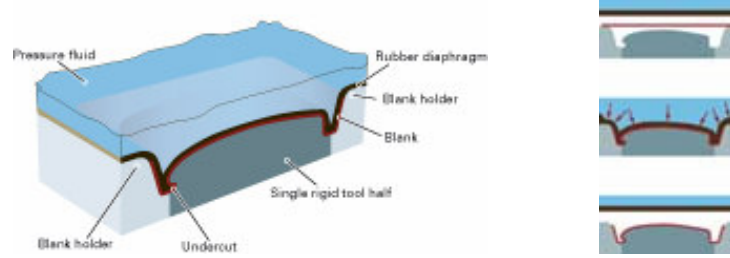
Şekil 2.6 Şişirme İşlemi İşleminin Şematik Gösterimi (Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:362)

2.2.5. Lastik Tampon ile Şekillendirme ve Su ile (Hidrolik) Şekillendirme

Lastik tampon ile şekillendirme yönteminde, kalıplardan biri kauçuk veya poliüretan gibi bir malzemeden yapılmıştır. Ancak poliüretan kullanımına daha çok rastlanmaktadır.

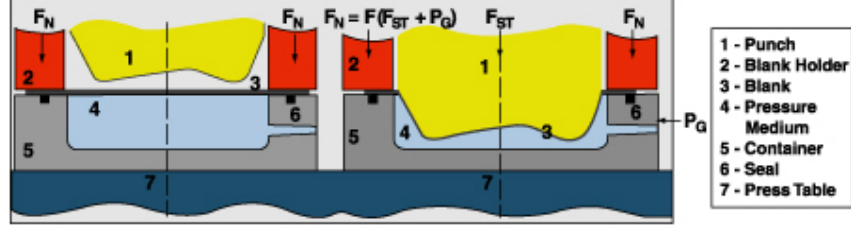
Çünkü; poliüretanın, aşınma direnci, uzun yorulma ömrü, çapak ve sacın kenar boşluklarındaki keskin yüzeylere karşı direnci fazladır (Kalpakjian ve Schmid 2003).

Lastik tampon ile şekillendirme işleminin ilkesi şu şekildedir: yarı ürünü oluşturacak asıl rijit kalıp, presin alt kısmına yerleştirilir. Bu kalıbın üst yüzeyine sac levha konulur ve diğer yumuşak lastik kalıp, rijit kalıbın ve sacın üzerine bastırılır. İşlem boyunca yumuşak takım, rijit kalıp ve sac üzerinde, elastik deformasyona uğrar. Sac üzerine yaklaşık olarak 100 MPa basınç uygulanır. Tüm şekillendirme işlemi tamamlandığında, yumuşak takım orijinal haline geri döner ve farklı parçaların çok çeşitte üretiminde kullanılır. İşlem esnasında sac malzemenin bir yüzeyi sert metalle temas halinde değildir. Bu da, yüzeyi hasarlara karşı korumaktadır (<http://www.tudelft.nl/live/>, 2008).



Şekil 2.7 Lastik Tampon İle Şekillendirme İşleminin Şematik Gösterimi
(Kaynak:<http://www.tudelft.nl/live/>, 2008).

Su ile şekillendirme işlemi şekilde gösterildiği gibi; sac tutucu bir sızdırmazlık elemanı ile desteklenmiştir. Bir kutu ise ortam basıncını korur. Hidrolik servovalf kumandaları, proses boyunca karşı basıncı kontrol ederler. Levha metal, kalıp üzerine yerleştirildikten sonra, sac tutucu metale basınç uygular ve zımba vuruşuyla kontrol edilen bir basınç oluşturularak metal, zımba tarafından şekillendirilir.



Şekil 2.8 Su ile (Hidrolik) Şekillendirme İşleminin Şematik Gösterimi
(Kaynak:<http://www.thefabricator.com/PressTechnology>, 2008).

Bu prosedür, şekillendirme esnasında buruşma ve yırtılmayı önlemek amacıyla parçanın yakın kontrolünü sağlar. Geleneksel derin çekme işleminden daha derin ürünler elde edilir. Çünkü; lastik zar etrafındaki basınç, oluşan kap şeklindeki parçayı zımbaya karşı zorlar. Zımba ve kap parça ara yüzeyindeki sürtünme, şekillenen kaptaki oluşan çekme gerilmelerini azaltır. Bu durum kırılmanın gecikmesini sağlar (<http://www.thefabricator.com/PressTechnology>, 2008).

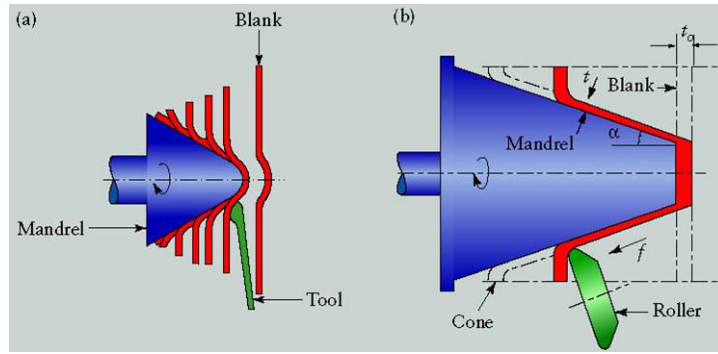
2.2.6. Dönerli Sıvama İşlemi

Bu proses, aksenal simetrik parçaların, dönel bir mil üzerinde, rijit takımlar veya silindirler vasıtasıyla şekillendirilmesini içermektedir. a) Geleneksel (manuel) b) Kayma sıvama c) Boru Sıvama olmak üzere 3 çeşit dönerli sıvama yöntemi bulunmaktadır

Geleneksel (manuel) dönerli sıvama işleminde; sac plak dönen mile karşı tutulurken, rijit takım, mil üzerinde dönen levha metali şekillendirir. Takım ya elle yada hidrolik bir mekanizma ile harekete geçirilir. Ayrıca bu yöntem; diğer yöntemlerle üretimi zor ve ekonomik olmayan konik veya eğrisel şekillendirme işlemlerinde kullanılır.

Kaymalı döner sıvama işleminde; parçanın çapının sabit kalması sayesinde, aksenal veya eğrisel şekillendirmelerin oluşturulmasında kullanılır. Geleneksel (manuel) dönerli sıvama işlemindeki kalınlık azaltılmasına göre daha kontrollü bir işlem gerçekleştirilmektedir. İşlem esnasında kullanılan özel aletlerle malzeme akışı gerçekleştirilir ve bunlar malzemeyi, rijit milin eksenine paralel yönde hareket ettirir.

Boru sıvama işleminde; takımlar vasıtasıyla, silindir üzerinde dönen borunun kalınlığının azaltılması gerçekleştirilir. Bu operasyon dıştan veya içten olacak şekilde gerçekleştirilebilir. Hacim değişmezliğinde dolayı metal yan yüzeylerindeki kalınlık azaltılmasıyla, borunun uzaması sağlanır. Takımın silindir boyunca hareketi kontrol edilerek, çeşitli iç veya dış profiller elde edilir. Bu yöntem özellikle; basınç kazanları, otomotiv parçaları, roket ve füze parçaları üretiminde kullanılır (Kalpakjian ve Schmid 2003).



Şekil 2.9 Dönerli Sıvama İşleminin Şematik Gösterimi
(Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:364)

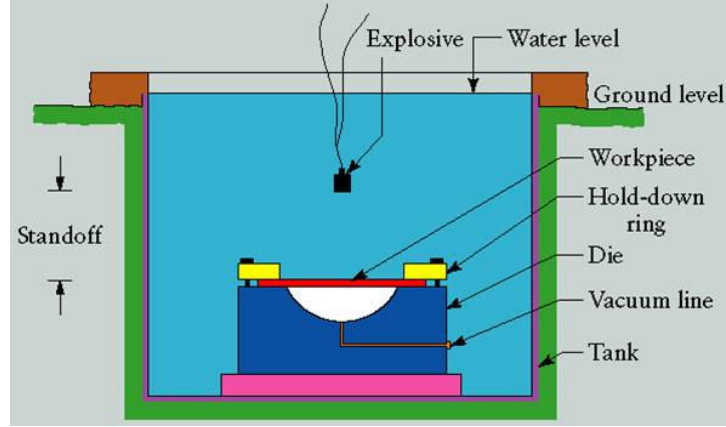
2.2.7. Yüksek Enerjili Şekillendirme İşlemi

Bu proses, levha metalin kimyasal, elektriksel veya manyetik enerji kaynakları kullanılarak şekillendirilmesi işlemidir. Bu yöntemde enerjiler, çok kısa bir süreç içerisinde açığa çıkarılırlar.

2.2.8. Patlayıcı ile Şekillendirme İşlemi

Bu yöntemde, iş parçası, bir kalıp üstüne sıkıştırılarak sabitlenir. Kalıp boşluğundaki hava, bir vakum sistemiyle boşaltılır. Daha sonra tüm sistem, su ile dolu bir tankın içine yerleştirilir. Levha yüzeyinden belirli bir uzaklıkta patlayıcının yerleştirilmesi yapıldıktan sonra, patlayıcı patlatılır. Bu patlama bir şok dalgası oluşturur ve bu dalganın oluşturduğu basınç, metali kalıp boşluğuna itecek kadar yeterli bir seviyededir (Kalpakjian ve Schmid 2003).

Şekil 2.10 da en yaygın karşılaşılan patlayıcı ile şekillendirme prosesi görülmektedir.

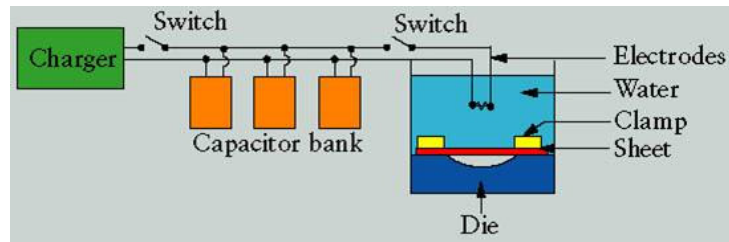


Şekil 2.10 Patlayıcı ile Şekillendirme İşleminin Şematik Gösterimi
(Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:368)

2.2.9. Elektrohidrolik Şekillendirme İşlemi

İnce bir kablo ile bağlantısı olan iki elektrottan çıkan kıvılcım, enerji kaynağıdır ve bu enerji, kondenserler içindeki doğru akımla şarj edilir. Enerjinin elektrotların içinden boşaltılması, levhayı şekillendirecek kadar kuvvetli olan bir şok dalgası üretir.

Bu proses, patlayıcı ile şekillendirme işlemine benzerdir. Ancak; daha düşük enerjiden yararlanması, daha küçük iş parçalarında uygulanması ve daha güvenli olması gibi farklılıklar göstermektedir (Kalpakjian ve Schmid 2003).

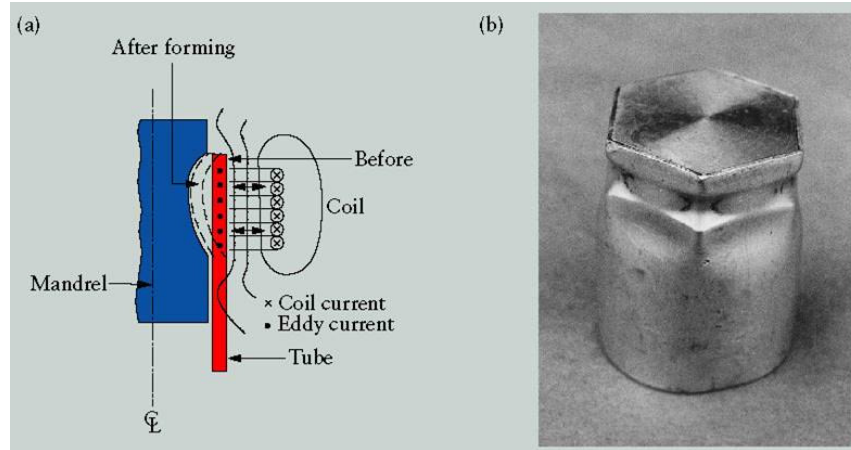


Şekil 2.11 Elektrohidrolik Şekillendirme İşleminin Şematik Gösterimi
(Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:370)

2.2.10. Manyetik Sinyalle Şekillendirme İşlemi

Bu üretim şeklinde; bir kapasitör deposunda depolanan enerji, bobin içinden boşaltılır. Yaygın uygulanan bir örneği Şekil 2.12 görülmektedir. Halka şeklindeki bobin, boru şeklindeki iş parçasının tekrar şekillendirilmesi için üzerine yerleştirilir. Şekillendirme kuvvetleri, birbirine karşı direnen iki manyetik alan vasıtasıyla oluşmaktadır. Bobin ve şekillendirilecek olan boru arasında bir geri itme kuvveti doğar ve şekillendirilen borunun kalıbın içine çökmesini sağlar.

Sistemde oluşan daha yüksek elektriksel iletkenlik, daha yüksek manyetik kuvvetlere neden olur. Bu yöntemde, şekillendirilecek metalin özel manyetik özelliklere sahip olmasına gerek yoktur. Ayrıca; ince cidarlı boruların, çubuk veya kablo üzerine basılmasında ve kabartma işlemlerinde uygulanabilir (Kalpakjian ve Schmid 2003).



Şekil 2.12 Manyetik Sinyalle Şekillendirme İşlemi

- (a) Manyetik sinyalle şekillendirme işleminin şematik gösterimi
 (b) Manyetik sinyalle şekillendirme ile oluşturulan alüminyum tüp
 (Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:371)

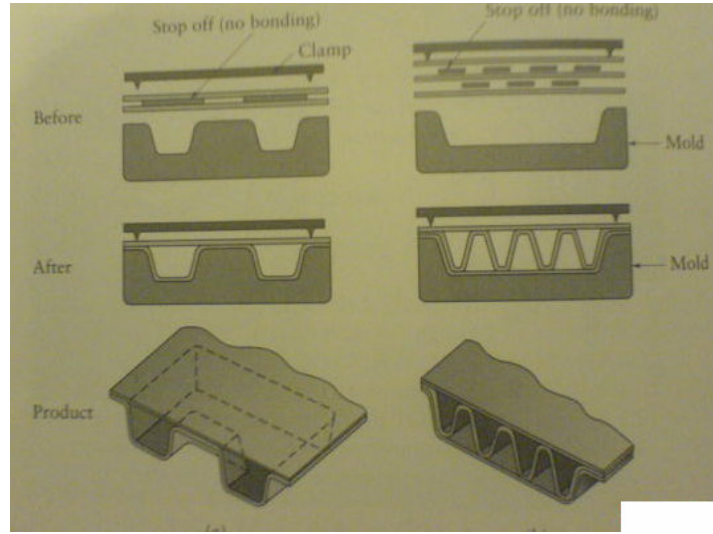
2.2.11. Süperplastik Şekillendirme İşlemi

İnce taneli (10-15 μm den küçük) alaşımların süperplastik davranışı; belirli sıcaklıklarda ve düşük şekil değişimi oranlarında, % 2000 lere kadar büyük uzamalar

gözlemlenmesidir. Bu alaşımlar; çinko- alüminyum ve titanyum gibi alaşımlar olup, geleneksel metal işleme yada polimer üretim teknikleriyle şekillendirilebilirler.

Süperplastik alaşımların bazı avantajları bulunmaktadır.

1. Şekillendirme sıcaklıklarında materyalin düşük gerilmelerinden ötürü, takım da düşük gerilmeler oluşur ve takım masrafını azaltır.
2. Kompleks şekillerin bir kerede oluşumunu sağlar, ikinci bir operasyon gerektirmeyen düzgün şekillendirme yüzeyleri elde edilir.
3. İyi şekillendirilebilmelerinden ötürü, ağırlık ve malzemedan tasarruf sağlarlar.
4. Şekillendirme sonunda, parçada ya çok küçük bir artık gerilme kalır yada herhangi bir artık gerilme kalmaz (Kalpakjian ve Schmid 2003).



Şekil 2.13 Süperplastik Şekillendirme Ve Difüzyon Bağlama İşlemiyle Elde Edilen Ürünler (Kaynak: Kalpakjian ve Schmid, 2003, Manufacturing Processes for Engineering Materials, pp:372)

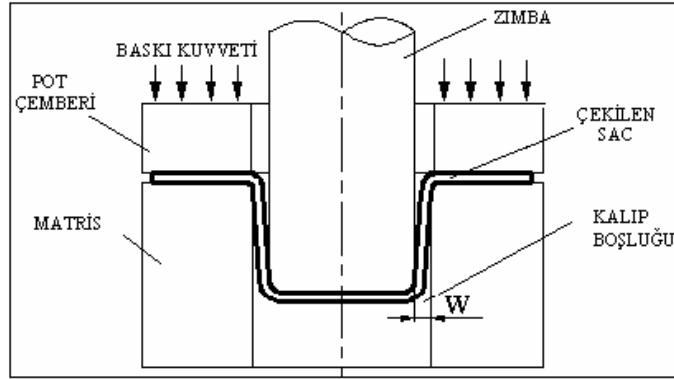
2.2.12. Derin Çekme İşlemi

Derin çekme, sac levhalardan kap şeklinde parçalar elde etmede kullanılan en önemli yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde dairesel, kare veya kompleks biçimli

parçalar üretilebilir. Görünüşleri basit gibi görünse de bu parçaların derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesi oldukça karmaşık bir işlemdir (Gavas 2005).

Derin çekme işleminde; sac levha, kalıbın pot çemberi ve dişi elemanları arasında, pot çemberi baskısı ile tutulur. Bu baskı kuvvetiyle tutma, kalıcı şekillendirme sırasında saca oluşacak olan buruşmaları engellemek ve sac akışını kontrol etmek için gereklidir. Daha sonra zımba, sacı dişi kalıba doğru iterek strok sonunda istenen şekli verir. Strok sırasında, sac levhanın yüzeyinde her an değişen basma ve çekme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmelerle; sac şekil alırken aynı zamanda malzeme özelliklerinin değişimi (pekleşme) ve kalınlık değişimi olur (<http://www.grupotomasyon.com.tr/makale.html#mak1> 2008).

Derin çekme işleminde, kalıbın biçimi, malzemenin mekanik özellikleri, taslak malzemenin geometrisi ve büyüklüğü, kalıp-malzeme-baskı plakası arasındaki sürtünme ve yağlama şartları, baskı plakası kuvvetinin baskı plakası boşluğuna oranı gibi faktörler derin çekme işlemini etkiler ve istenilen çekme yüksekliğine ulaşmasını engeller (Gavas 2005).



Şekil 2.14 Derin Çekme İşleminin Şematik Gösterimi (Karalı 2007)

2.3. Alüminyum

2.3.1. Alüminyum ve özellikleri

Alüminyum çok düşük yoğunluklu ($2,7 \text{ gr/cm}^3$) hafif bir metaldir. Yoğunluğu çeliğin yoğunluğunun ($7,6-7,9 \text{ gr/cm}^3$) yaklaşık üçte biridir. Ergime sıcaklığı 680°C ve parlak gümüş renklidir. Normal atmosfer koşullarında oksijen ile reaksiyona girerek kendi yüzeyinde doğal bir koruyucu film tabakası oluşturur ve yüzeyinde oluşan oksit filmi sayesinde korozyona karşı dirençlidir. Bakırdan sonra elektriği en iyi ileten metaldir ve elektrik iletkenliği bakırın üçte ikisi mertebesindedir. Aynı zamanda ısıyı da iyi iletir. Çelikten beş kere daha iyi ısı iletir. Çok yumuşak ve sünek olduğu için soğuk şekil alma kabiliyeti iyidir. Ancak talaş kaldırılarak işlenmesi zordur. Saf halde iken dayanımı oldukça düşüktür, bu nedenle ancak alaşımları konstrüksiyonlarda kullanılabilir ([http://www.turkcadcam.net/ rapor/malzeme-secimi](http://www.turkcadcam.net/rapor/malzeme-secimi) 2008).

Diğer metallere göre neredeyse %100 geri dönüşümlü olan alüminyumun geleceğin metalin olmasını sağlayacak en önemli ana unsurlardan birisi de ekolojik özelliğidir. Dünyada, özellikle gelişmiş ülkelerde sınırlı kaynakların en ekonomik, çevreyi en az kirletecek ve daha az enerji tüketecek şekilde kullanımı gibi kriterler, alüminyumu alternatif malzemelere göre avantajlı hale getirmektedir. Çünkü sahip olduğu bir çok özellikler nedeniyle sanayide bu gelişmelere uygun bir ortam sağlamaktadır.

Kısaca özetlemek gerekirse alüminyum;

1. Hafifliği
2. Hafifliğine karşın alaşımlandırıldığında yeterli mukavemeti
3. Tekrar defalarca kullanılabilirliği
4. Yüksek Korozyon Direnci
5. Çekilebilirliği
6. Şekillendirilebilirliği
7. Dövülebilirliği
8. İşlenebilirliği
9. Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği

10. Işık ve ısı yansıtıcılığı

Gibi özelliklerinden dolayı, diğer metallere oranla daha avantajlıdır

(<http://www.metalurji.org.tr/> dergi 2008).

2.3.2. Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyumun İçecek Kutularında Kullanımı; alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan metal kutuların % 80'i alüminyumdur. Bunun nedenleri hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, geri kazanılabilir oluşu ve çabuk soğutma özellikleridir.

Alüminyumun Elektrik/Elektronik Sektöründe Kullanımı; alüminyum son derece iletken bir metaldir. Çelik özlü alüminyum iletkenler, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarında tercih edilen tek malzeme olmuştur. Alüminyum, yeraltı kablolarında, elektrik borularında ve motor bobin sarımında da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Şaseler, yongalar, transistör soğutucuları, veri kayıt diskleri ve cihaz kasaları alüminyumun elektronikteki ana kullanım alanlarıdır (<http://www.metalurji.org.tr/> dergi 2008).

Tablo 2.1 Alüminyumun Kullanım Alanlarına Göre Dağılımı
(Kaynak:<http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa> 2008)

İnşaat	% 25
Ulaşım	% 24
Ambalaj	% 15
Elektrik/Elektronik	% 10
Genel Mühendislik	% 9
Mobilya, ofis eşyaları	% 6
Demir çelik, metalurji	% 3
Kimya ve tarım ürünleri sanayi	% 1
Diğer	% 7
TOPLAM	% 100

Alüminyumun Ambalaj Malzemesi Olarak Kullanımı; son yıllarda alüminyumun en hızlı gelişen kullanım alanlarından birisi de ambalaj sektörüdür. Daha fazla miktardaki diğer ikame ambalaj malzemeleri ile sağlanan korumayı, alüminyum birkaç mikron kalınlıkla çok daha etkin bir şekilde sağlayabilmektedir. Alüminyumun homojen

yapısı, ince folyo (alüminyum kağıt) şeklinde üretilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi, onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar. Alüminyum folyo, hava ve mor ötesi ışınları geçirmediğinden, gıdaları doğal renk ve tadları ile korur.

Alüminyumun İnşaatlarda Kullanımı; hafifliği, yüksek korozyon direnci, uzun ömürlülüğü, düşük bakım maliyetleri, geri kazanma imkanı ve metalin çok yönlülüğü ve sonsuz değişik şekilde profil elde edebilme olanağı nedenleri ile binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı ve inşaat iskelelerinde, sera yapımında vs. büyük miktarlarda kullanılır (<http://www.metalurji.org.tr/> dergi 2008).

2.3.3. Otomotiv Sektöründe Alüminyum

Alüminyum hafif bir metal olması nedeniyle otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılmakta olup, kullanımı sürekli artış göstermektedir. Taşıt araçları ne kadar hafif olursa, hareket etmeleri için o kadar daha az enerjiye gerek duyulur (<http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa> 2008).

Düşük yakıt tüketimi ve düşük emisyon limitleri ancak hafif konstrüksiyonlarla sağlanabilir. Alüminyum mukavemet, güvenlik ve konfordan vazgeçmeden, boyutları küçültmeden bir otomobilin dizayn edilmesinde kullanılacak en önemli konstrüksiyon malzemesidir. Kişisel taşıma araçlarında alüminyum kullanımı en önemli pazarı oluştururken, üreticiler hangi parçaların yerine alüminyum kullanabileceklerini incelemektedir (<http://www.osd.org.tr/Aluminyum%20Raporu> 2008).

Otomobil endüstrisinde radyatörlerin, motor parçalarının, gövde saclarının, yapısal parçaların üretimlerinde alüminyum kullanılmaktadır (<http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa> 2008).

Alüminyumun çeliğe nazaran daha hafif olması aracın toplam ağırlığında % 40 ile % 60 oranlarında bir geri kazanım sağlamaktadır. Orta büyüklükte sedan bir araç için sadece kaput dikkate alındığında yaklaşık 11 kg lık bir hafiflik ve geri kazanım sağlamaktadır.

Bir çok alüminyum alaşımı 0,8 mm kalınlıktan 1,3 mm kalınlığa kadar değişen levha sactan mamul parçalar şeklinde otomobil gövdesinde kullanılmaktadır. Sac levhaların şekillendirilebilirliği, kimyasal kompozisyona, özelliklerine ve alaşım yapısına, tane büyüklüğüne ve şekline, tanelerin homojenliğine, metaller arası partiküllerin büyüklüğüne morfolojisine, mekanik özelliklerin izotropik değerine ve metalin deformasyon sertleşmesine, yaşlanma kapasitesine bağlı olarak değişir. Bir çok araştırmacıya göre alüminyum sac levhalarda tane büyüklüğü 50 µm geçmemelidir ve 1,5-50 µm sınırında olmalıdır. İri taneli yapı, deforme edilmiş yüzey bölgesinde kaba görüntüye neden olur, bu durum hem görüntüyü bozar hem de derin çekme esnasında çatlak oluşumuna neden olur .

Optimum değerlere bağlı olarak, tane büyüklüğü arttıkça şekil değiştirme direnci ve metalin şekil değişim esnasındaki yaylanması artar. Metalin yaylanması büyük ölçüde şekillendirilmiş bölgenin hassasiyetini etkiler ve kalıbın çalışan yüzeyinin aşınmasını arttırır.

İyi şekillendirilebilirliğe ilave olarak, sac levha alaşımları yeterli mukavemete, dispersiyon sertleşmesine ve korozyon direncine sahip olmalıdır. Bu açıdan akma noktası önemli bir parametredir. Kalıpta gerekli şekillendirilebilme ve yaylanmayı sağlamak için şekillendirme şartlarından önce akma noktası yeterince düşük olmalıdır. Otomobil gövdelerinde kullanılan sacların şekillendirme ve vernikleme prosesinden hemen sonra uygulanan fırınlama işlemi parçanın yeterli rijitlik ve presleme direncini sürdürebilmesi için yüksek akma mukavemeti gerekmektedir.

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli ve mükemmel korozyon dayanımı nedeniyle otomobillerin gövde panel uygulamalarında oldukça çok ilgi çekmektedir. Gövde panel uygulamalar için, alüminyum-bakır, alüminyum-magnezyum, alüminyum-magnezyum-silikon olmak üzere üç çeşit alüminyum alaşımı kullanılmaktadır (Bedir ve ark. 2006) .

Tablo 2.2 Otomobillerde Kullanılan Parçalar ve Bunların Üretildiği Alaşımlar
(Kaynak:<http://www.osd.org.tr/Aluminyum%20Raporu> 2008).

Alaşım uygulaması	Uygulama Alanı
1000 serisi (yüksek saflıkta)	
1100	Plakalar, aplikler
1200	Ekstrüzyon ürünü kondenser boru ve kanatlar
2000 serisi(bakır alaşımları)	
2008	iç ve dış gövde panelleri
2010	iç ve dış gövde panelleri
2011	vida makine parçaları
2017	mekanik bağlantı elemanları
2024	mekanik bağlantı elemanları
2036	iç ve dış gövde panelleri, koltuk iskeleti
2117	mekanik bağlantı elemanları,
3000 serisi (mangan alaşımlar)	
3002	
3003	plaka, aplik
3004	sert lehim radyatör boruları, ısıtıcı göbekler, kanatlar
3005	iç paneller ve komponentler
3102	radyatör,ısıtıcı ve buharlaştırıcı kanatlar ekstrüde kondenser borular

5000 serisi (Mg alaşımları)

5005	
5052	plaka,aplik
5182	iç paneller ve parçaları, kamyon tamponları, gövde panelleri
5457	iç gövde panelleri,çamurluk,ısı kalkanları,yapı elemanları
5657	aksesuar
5754	aksesuar

6000 serisi (Mg-Si alaşımları)

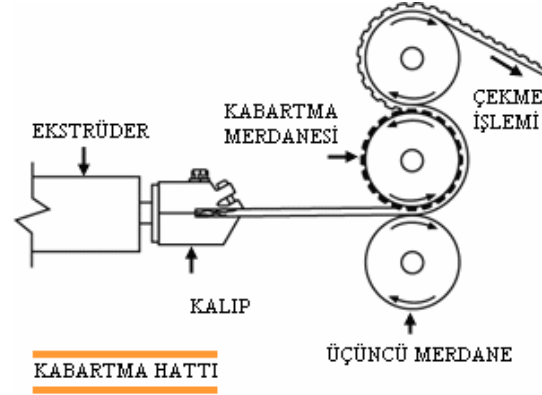
	çeşitli komponentler, jant,motor aksesuarları
6009	
6010	iç gövde panelleri,çamurluk, ısı kalkanları, yapı parçaları
6053	iç ve dış gövde panelleri,dirsekler, tampon krişleri, dirsekler, yapı elemanları
6061	iç ve dış gövde panelleri, tampon takviyeler, koltuk kızakları
6063	mekanik bağlantı
	ekstrüde gövde komponentleri, dirsekler, dövme süspansiyon parçaları,tampon ve yapı elemanları, mekanik bağlantı elemanları,
6082	preslenmiş jantlar
6111	ekstrüde gövde elemanları
6262	fren yatakları,yapısal parçaları
6463	

7000 serisi (çinko alaşımı)

7003	
7004	gövde panelleri
7021	gövde panelleri
7072	fren yuvaları, fren pistonları, anodize bagaj raflar,
7116	hava deflektörler parçaları
7129	kondenser ve radyatör kanatları koltuk kızakları

2.4. Dönel Kabartma İşlemi (Desenleme İşlemi)

Dönel kabartma işlemi; kabartma veya oyuk biçiminde Şekiller üretmek amacıyla yapılan bir Şekillendirme prosesidir. Şekillendirme işlemi, silindir biçimindeki kalıplar vasıtasıyla gerçekteştirilir. Bu kalıplar, eş erkek ve dişi dönel kalıplar olup, levha metal bu merdanelerin içinden beslenir. Kalıpların üzerindeki desenlere bağlı olarak çok farklı biçimlerde kabartılar veya oyuklar elde etmek mümkündür.



Şekil 2.15 Örnek Bir Desenleme İşlemi Düzenegi

(Kaynak:<http://www.advantagefabricatedmetals.com/embossing-process.html> 2008).

Kabartma işlemi sonunda teorik olarak, metal kalınlığında herhangi bir değişme olmadığı kabul edilebilir.

Metal kabartma prosesinin özellikleri:

- Yumuşak metalleri şekillendirme yeteneği
- Üretim akışını arttırmadaki kullanımı
- Kabartma işleminden önce ve sonra aynı levha kalınlığını koruma yeteneği
- Dönel kalıplara bağlı olarak sınırsız sayıda model üretebilme yeteneği
- Üründe herhangi bir değişme olmadan çoğaltma yeteneği

Dönel kabartma tezgahında kullanılan sertleştirilmiş, eş çelik silindirler , üstten alta kadar desen düzenini korumak için birlikte ayarlanırlar.

Silindirlerin yarıçapı ve genişliği, levhanın genişliğine, malzemenin kalınlığına, desen derinliğine, malzemenin çekme gerilmesi ve sertliğine bağlıdır.

Kabartılmış metaller, endüstride estetik açıdan ve fonksiyonel açıdan olmak üzere iki amaç için kullanılırlar.

Estetik uygulamalar, ürünün görünüşünü geliştirmek amaçlı yapılı ve cihaz panelleri, yapı ürünleri, garaj kapısı panelleri, metal ofis eşyaları gibi örnekleri endüstride görülmektedir.

Performans özelliklerinin arttırıldığı fonksiyonel uygulamalar; akışkan dağılımını geliştirmek, sürtünmeyi, statığı azaltmak, metal levhanın sertlik ve rijitliğinin arttırılması, ısı ve ses transferi uygulamaları için metal yüzey alanının arttırılması ve çekişi (traction) geliştirmeyi kapsayabilir.

Ayrıca pekçok kabartılmış metal uygulaması, estetik olarak başlayıp, fonksiyonel olarak sonlanabilir. (Örneğin, yapı panelleri) Bu işlemin ortak faydası ise; kabartılmış metalin sertliğinin artması ile ilgili ağırlık ve malzeme azaltılmasıdır.

Endüstride en fazla kullanılan uygulama alanı; alüminyum ve alaşımlarının şekillendirilmesidir. Ayrıca;

- Pirinç
- Soğuk veya sıcak haddelenmiş çelik
- Bakır ve bakır esaslı alaşımlar
- Galveniz kaplı çelik
- Yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı çelik
- Çelik (tüm alaşımları)
- Çinko malzemelerde de uygulanır

(<http://www.advantagefabricatedmetals.com/embossing-process.html> 2008).

2.5. Isı Muhafaza Sacları

Otomobil parçalarında meydana gelen en büyük problemlerden biri, komponentlerin aşırı ısınması ve bu durumun oluşturduğu olumsuzluklardır. Ancak otomobil parçalarında meydana gelen ısınma kaçınılmaz bir durumdur. Bu sebeple, ısı kalkanı (ısı muhafaza sacı) olarak kullanılan elemanlar, oluşan ısının aracın iç kısımlarına dağılmasını engeller. Kısacası; ısı muhafaza sacı, araç komponentlerinden dolayı oluşan

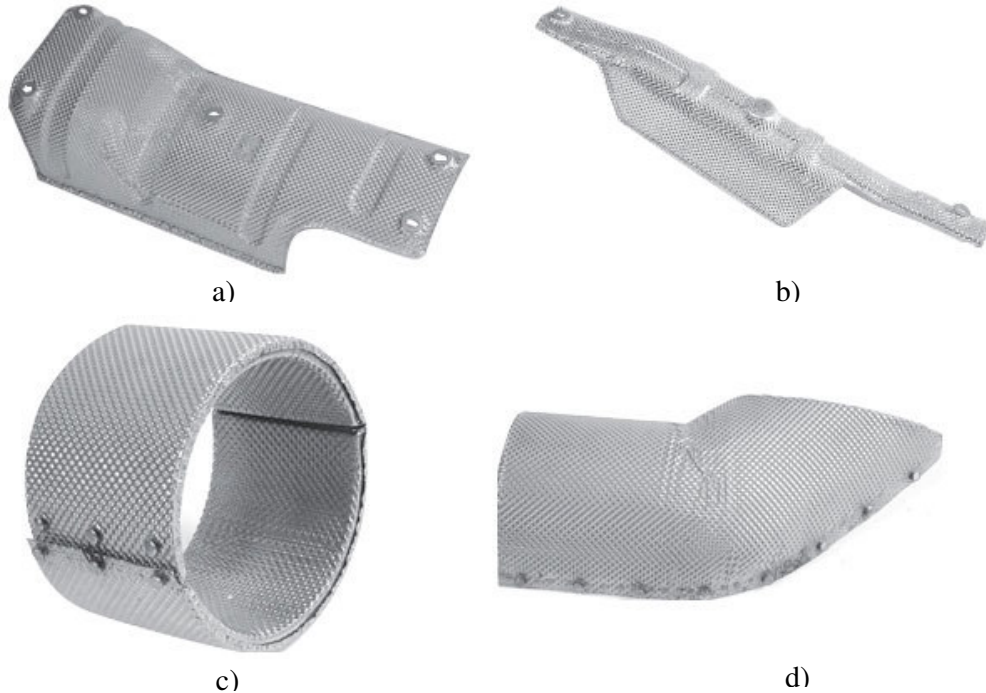
ısının aracın iç kısımlarına veya sıcaktan zarar görebilecek olan parçalara hasar vermesini önlemek amacıyla kullanılan elemanlardır.

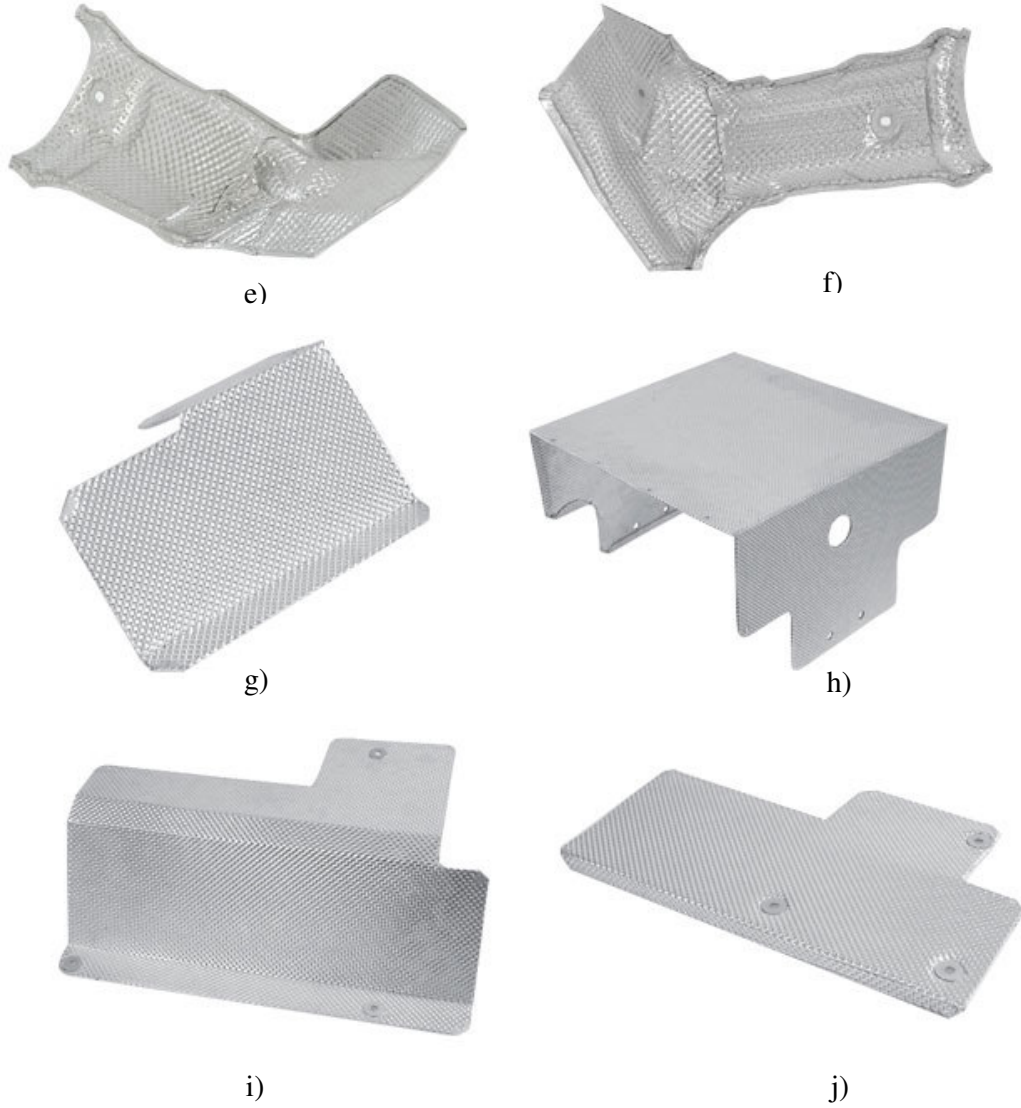
Fazla ısınmadan dolayı meydana gelebilecek, aşınma ve kırılma gibi deformasyonların engellenmesi amacıyla yardımcı eleman olarak kullanılan bu saclar, genellikle alüminyum alaşım malzemeden imal edilmiştir. Malzemenin alüminyum alaşım olmasından ötürü ısı kalkanları, ısı bariyerlik göreviyle beraber, hafiflik, mekanik dayanımının iyi olması ve kolay şekillendirilebilir özelliklerine sahiptir.

Tez kapsamında birlikte çalışılan OMPAŞ firması tarafından üretilen ısı muhafaza sacları;

1. Düz sacların üreticiden temini
2. Dönel kabartma işleminin uygulanması
3. Muhafaza edilecek araç komponentini örtecek biçimde şekillendirme aşamalarından geçmektedir.

Şekil 2.16 da OMPAŞ firması tarafından üretilen çeşitli ısı muhafaza sacları görülmektedir.





Şekil 2.16 Ompaş Firması Tarafından Üretilen Çeşitli Isı Muhafaza Sacları
 a) Fiat Doblo arka ısı muhafaza sacı b) Fiat Doblo orta ısı muhafaza sacı
 c) Askeri Tank (Fırtına) paslanmaz ısı sacı d) Askeri Tank (Fırtına) paslanmaz ısı sacı
 e) Ford Otosan ısı muhafaza sacı f) Ford Otosan ısı muhafaza sacı g) BMC Yağ
 Pompası ısı muhafaza sacı h) BMC Retarder üst ısı muhafaza sacı
 i) BMC Motor üst ısı muhafaza sacı j) BMC Şasi iç ısı muhafaza sacı
 (Kaynak:<http://www.ompasas.com.tr> 2008).

Bir başka ısı kalkanı üreticisi olan ASSAN firmasında üretilen ısı muhafaza sacıyla ilgili özelliklerde aşağıda gibi özetlemiştir.

Isı Kalkanının Özellikleri:

- Gofrajlanmış hafif tabakanın ısı performansını (yayıcılık özelliğini) aracın ömrü boyunca sürdürme.
- Zemini, yakıt sistemini, motor çerçevesini ve yakınındaki diğer parçaları egzoz sisteminin aşırı sıcaklığından koruma.
- Egzosdan gelen sıcaklıkla beraber, içten gelen sesi azaltma

Kullanım alanları:

- Otomobillerin egzoz sistemlerinin üzeri, yakınındaki diğer parçaların üzeriyle beraber zemini, motor kapağı içi (<http://www.assan.com.tr/urunlerimiz/>).

2.6. Literatür Araştırması

Levha metallere uygulanan “ Desenleme “ yöntemiyle ilgili literatür araştırması yapıldığında pek fazla kaynak ile karşılaşılmamıştır. Karşılaşılan kaynaklarda desenleme işlemi; tez kapsamında anlatılan desenleme işleminden üretim yöntemi açısından farklılıklar göstermektedir.

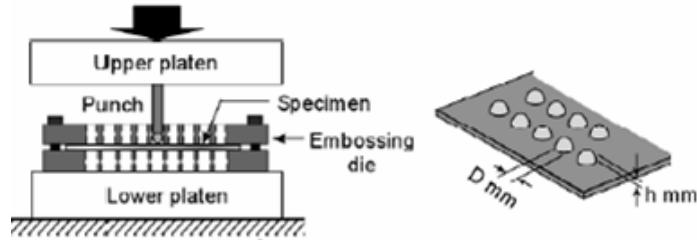
Levha metal şekillendirme işlemi; otomobil gövdesinden, elektrikli aletlerin dış panellerine, metal eşyalara ve yapısal panellere kadar geniş bir üretim sahasında kullanılan, önemli üretim proseslerinden biridir.

Uzun yıllar boyunca, üretimin verimliliğini arttırmak, ağırlık ve metal ürünün maliyetini azaltarak kaynakların ve enerjinin tasarrufunu sağlamak için çeşitli çabalar gösterilmiştir. Örneğin; otomotiv uygulamalarında, yüksek mukavemetli çelik alaşımların, yeni alüminyum alaşımların ve kaynak dikişli sacların kullanılması; tüm gövde ağırlığının azaltılması ve katedilen yol performansının artırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca; daha ince levhaların kullanılması da, metal ürünün ağırlığının azaltılmasına yardımcı olur. Ancak şekillendirme esnasında, sac levha kalınlığı azaldıkça, rijitliğinin de azalmasından ötürü çeşitli problemlerle karşılaşılır. Bu olumsuz durumların önüne geçilmesi amacıyla bir mukavemetlendirme metodu olarak “ desenleme ” işlemi uygulanır.

Desenleme işlemi uygulanan materyallerde; kesit modülündeki değişime ve deformasyon sertleşmesine bağlı olarak; rijitlik ve mukavemetinde artış görülür.

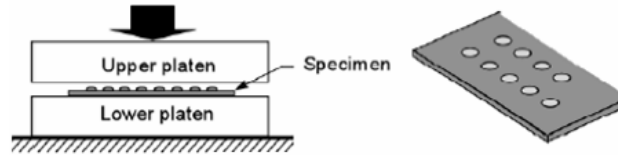
2007 yılında(1) Namoco ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada; desenleme işlemi uygulanan alüminyum alaşımlarda, akma dayanımı, çekme dayanımı, toplam uzama ve eğilme mukavemeti özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada bahsedilen desenleme yöntemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama olan “ kabartma işleminde ” (embossing process) kalıplar arasında yerleştirilen sac levhada, küresel zımba yardımıyla ve üst merdanenin aşağı hareketiyle çıkıntı oluşturulur.



Şekil 2.17 Kabartma İşleminin Şematik Gösterimi (Kaynak: Namoco ve ark.2007(1))

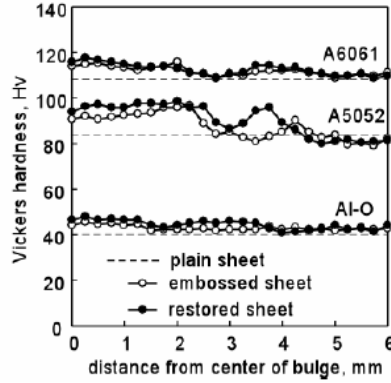
İkinci aşama olan “ yenileme işleminde ” (restoration process) iki merdane arasında konulan kabartılmış sac levha, üst merdanenin hareketiyle bastırılır.



Şekil 2.18 Yenileme İşleminin Şematik Gösterimi (Kaynak: Namoco ve ark.2007(1))

Desenleme işlemi uygulanmış olan; temperlenmiş alüminyum (Al-O), alüminyum (Al-H) ve A5000 ve A6000 serisi alüminyum alaşım mazlemeleri seçilerek mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme ve eğilme testleri uygulanmıştır.

Malzemelerin sertlik değerlerini karşılaştırmak amacıyla yapılan ölçümler sonucunda, yalnızca kabartma işlemleri uygulanan levhaların sertliğinin düz metalinkine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Kabartma işleminden sonra, yenileme işlemine tabi tutulan numunelerde ise, sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, plastik deformasyona bağlı pekleşmeden (şekil değiştirme sertleşmesinden) dolayı olmaktadır.



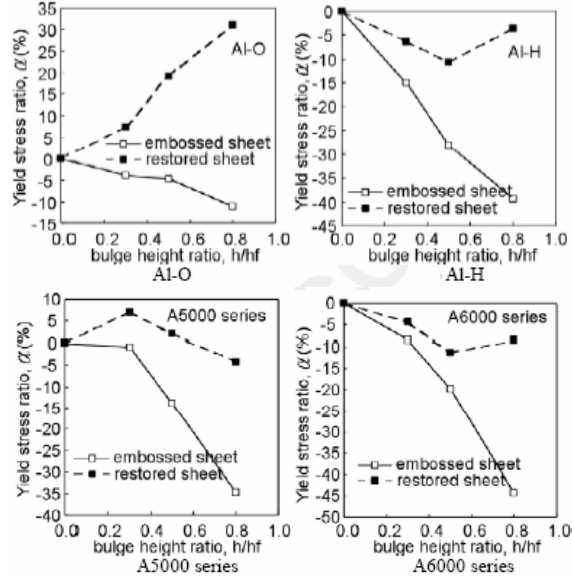
Şekil 2.19 Materyaller Üzerindeki Vickers Sertliği Karşılaştırması

(Kaynak: Namoco ve ark.2007(1))

Örnek olarak verilen A5000 serisi materyalin σ - ϵ diyagramına bakıldığında; kabartma işlemi uygulanmış numunenin akma gerilmesinin, düz numuneninkine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise; kabartmanın merkezindeki sac kalınlığının azalmasıdır. Diğer taraftan, yenileme işlemi uygulanmış materyalin akma gerilmesi, düz malzemeye göre daha yüksektir. Bu durumun sebebi ise; şekil değiştirme sertleşmesidir.

Namoco ve arkadaşlarının 2007 yılında yapmış olduğu bu çalışmada, $\frac{h}{h_f}$ şeklinde bir oran tanımlanmıştır. Burada h: kabartma yüksekliği, h_f kabartma esnasında kırılmanın olduğu yükseklik, $\frac{h}{h_f}$ oranı ise kabartma yüksekliği oranı (KYO) şeklinde tanımlanmıştır. Bu bağlamda, genel olarak tüm numuneler göz önüne alındığında, kabartma işlemi uygulanan malzemelerde, kabartma yüksekliği arttıkça akma gerilmesi düşer. Bu durum, daha önce belirtildiği gibi, kabartılardaki sac kalınlığının azalmasından dolayıdır. Yenileme işlemi uygulanan materyallerde Al-O için, KYO

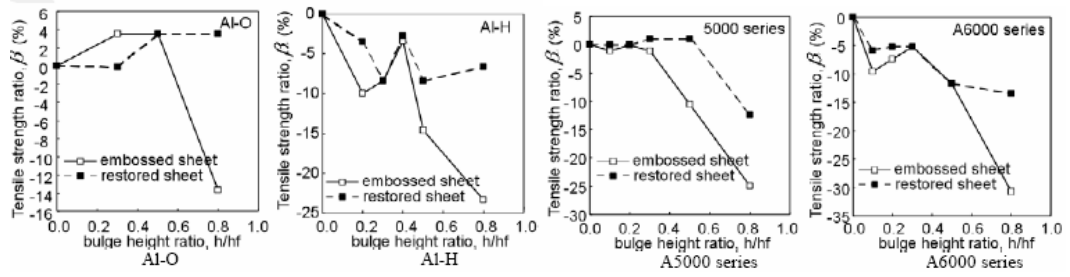
arttıkça akma gerilmesi artar. Al-H ve A6000 serisi materyaller için ise; KYO arttıkça akma gerilmesi düşer ve KYO= 0,5 iken akma gerilmesi minimum değerine ulaşır. A5000 serisi materyalde ise; KYO= 0,3 e kadar akma gerilmesi yükselir ve bu değerden sonra düşüş gözlemlenir.



Şekil 2.20 KYO'nun Akma Gerilmesi Üzerindeki Etkisi

(Kaynak: Namoco ve ark.2007(1))

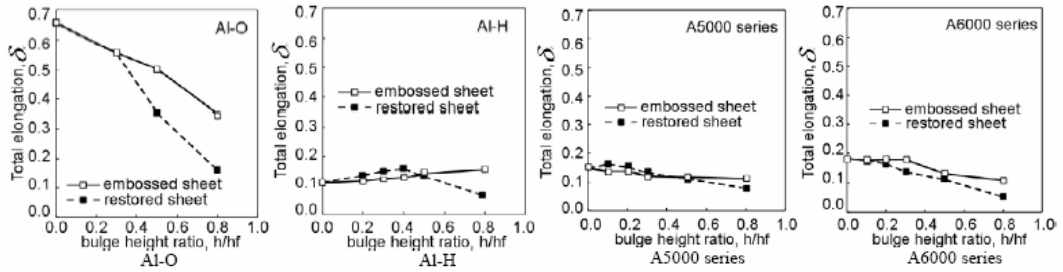
Çekme gerilmesiyle ilgili verilerde ise; Al-O kabartılmış numunesi için, KYO= 0,5 e kadar çekme gerilmesinde bir artış, daha sonra ise düz levhanınkinden daha düşük bir durum gözlemlenir. Yenileme işlemi uygulanmış Al-O içinse, KYO= 0,3 e kadar çekme gerilmesi sabit kalıp, daha sonra KYO= 0,5 e kadar artıp, bundan sonrada yine sabit kalmıştır. Al-H ve A6000 serisi numuneleri için; hem kabartılmış hemde yenileme işlemi uygulanmış materyallerde KYO arttıkça çekme gerilmesinin azaldığı görülmüştür. A5000 serisinde kabartılmış malzemede, KYO arttıkça çekme gerilmesi azalan bir seyir sergilemiştir. Bu materyale yenileme işlemi uygulandığında, çekme gerilmesi KYO= 0,5 e kadar artmış, sonrada düz levhanınkinden daha düşük çekme gerilmelerine ulaşmıştır.



Şekil 2.21 KYO'nun Çekme Gerilmesi Üzerindeki Etkisi

(Kaynak: Namoco ve ark.2007(1))

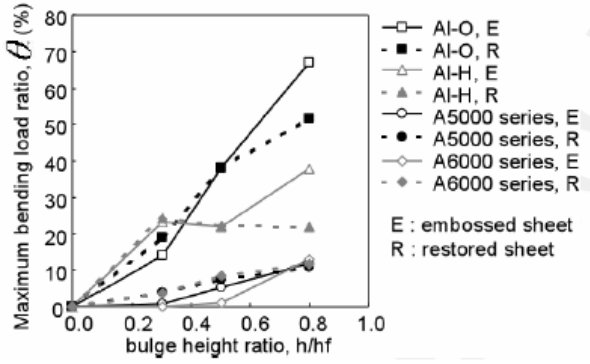
Toplam uzama ile ilgili; Al-H numunesi için artan KYO ile uzama artışı görülmektedir. Yenileme işlemi uygulanmış Al-H ve A5000 serisi materyallerde ise; toplam uzama maksimum değerine sırasıyla KYO= 0,4 ve 0,1 iken ulaşır. Düşük toplam uzama miktarıyla bir malzemeye kabartma ve yenileme işlemleri uygulandığında, materyalin sünekliğinde iyileşme gözlemlenir. Al-O ve A6000 serisi numunelerinde ise; toplam uzamada herhangi bir artış görülmemektedir.



Şekil 2.22 KYO'nun Toplam Uzama Üzerindeki Etkisi

(Kaynak: Namoco ve ark.2007(1))

Eğilme deneyinden elde edilen verilere göre; Şekil 2.23 de gösterildiği üzere; artan KYO ile beraber hem kabartma hem de yenileme işlemi uygulanmış materyallerde, maksimum eğilme yükünde artış görülür. Eğilme yükündeki bu artış, kabartma ve yenileme işlemleri sonucu malzemenin kesitindeki biçim değişiminden kaynaklanmaktadır. Bu değişim de, numunenin kesit modülünü artırır.



Şekil 2.23 KYO'nun Maksimum Eğilme Yükü Üzerindeki Etkisi

(Kaynak: Namoco ve ark.2007(1))

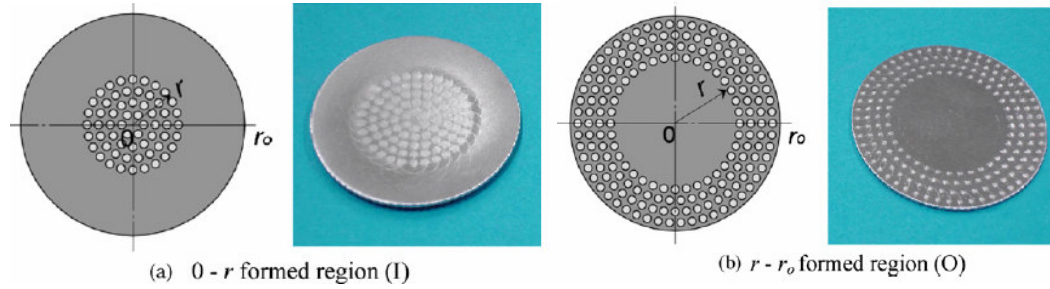
Genel sonuçlara bakıldığında ise; deneysel sonuçlara bağlı olarak, kabartma işlemiyle beraber, akma gerilmesi düşmüş, fakat yenileme işlemiyle özellikle Al-O ve A5000 serisi numunelerde akma gerilmesi artmıştır. Ayrıca; Al-O ve A5000 serisi numunelerde uygun KYO da, kabartma ve yenileme işlemiyle çekme mukavemeti artar. Al-H ve A5000 serisi için kabartma ve yenileme işlemiyle toplam uzama artar ve son olarak tüm numuneler için hem kabartma hem de yenileme işlemleriyle eğilme mukavemeti artar.

Diğer bir çalışma ise yine Namoco ve arkadaşlarının 2007 (2) yılında yaptıkları bir çalışmadır. Bu çalışma kapsamında; alüminyum alaşımların derin çekme desenleme işlemi üzerinde desenleme işleminin etkileri incelenmiştir.

İnce levha metallerin kullanılması; metal ürünün ağırlık azaltılmasında temel rol oynamasına karşın; şekillendirme esnasında kalınlık azaldıkça, şekillenmiş parçanın rijitliğinin ve şekillendirilebilirlik yeteneğinin azalması gibi ciddi problemlerle karşılaşmaktadır. Bu olumsuzlukları yenmek amacıyla desenleme işlemi uygulanarak mukavemetlendirme sağlanabilir.

Çalışma kapsamında amaç; desenleme işlemi uygulayarak levhaların derin çekilebilirliğini artırmaktır. Levha metalin flanş (kenar) bölgesindeki derin çekmeye karşı direnç desenleme yöntemi uygulanarak azaltılır.

Alüminyum malzemeler olarak belirlenen; A5000 serisi (A 5052-H34) ve A6000 serisi (A 6061-T4) 1 mm kalınlığındaki deney numunelerine Şekil 2.17 ve Şekil 2.18 de şematik olarak gösterilen deney düzeneklerinde desenleme (kabartma + yenileme) işlemi uygulanmıştır. Desenleme işlemi uygulanan numuneler ise; merkezden itibaren r (l) uzaklığı ya da r çapından r_o dış çapına 0,3 mm radyal mesafe olacak şekilde desenlenmiştir. Çalışmada m olarak verilen çevresel yöndeki desen sayısı; $m=2.r$ formülüyle ifade edilmiştir. Örnek olarak; $r= 3$ mm lik çap değerinde 6 adet desen bulunmaktadır.

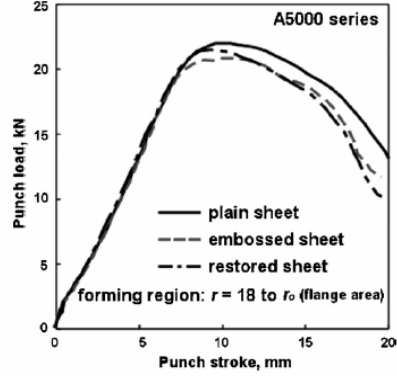


Şekil 2.24 Derin Çekme İşlemi İçin Hazırlanan Numuneler

(Kaynak: Namoco ve ark.2007(2))

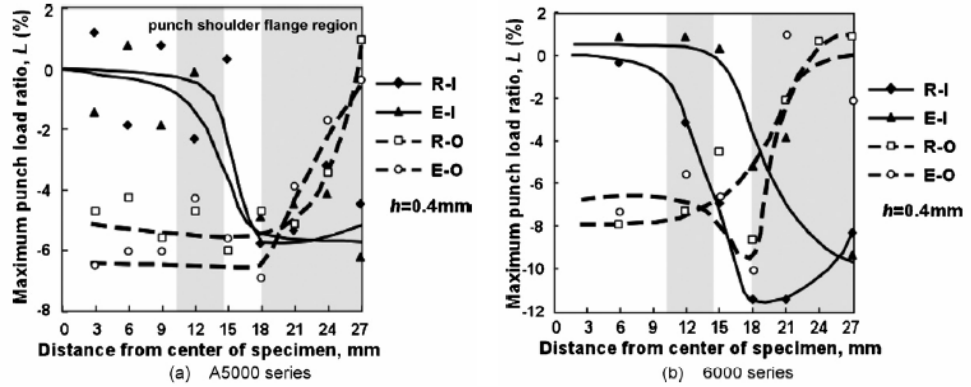
Yapılan bu çalışmada, kabartma ve yenileme işlemi uygulanan numunenin kenar bölgesindeki deformasyon direnç kuvveti değerlendirilerek, düz metalinki ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca; kabartma ve yenileme işleminin gerçekleştiği optimum boşluk bölgesi, zımba kuvveti ölçülmesi vasıtasıyla araştırılmıştır.

Şekil 2.25 de desenlenmiş numunelerin derin çekme testlerinin yük-strok diyagramı verilmiştir. Bu diyagram ile; düz, kabartılmış ve bundan sonra da yenileme işlemi uygulanmış 3 farklı durumdaki levhanın deney sonuçları karşılaştırılarak; düz levhanın maksimum zımba kuvvetinin en fazla olduğuna varılır. Kabartma ve yenileme işlemi sonrası zımba kuvvetindeki azalış, kenar bölgesinde kolay deformasyonunu ve materyal akışını sağlayan küçük kabartı parçalarının varlığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.25 Zımba Kuvveti- Strok Diyagramı (Kaynak: Namoco ve ark.2007(2))

Şekil 2.26 da; merkezden olan uzaklığa bağlı olarak maksimum zımba kuvveti oranı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikler değerlendirildiğinde örnek olarak, şekillendirme işlemi merkezden dış çapa yapıldığında $r = 15$ mm ye kadar maksimum zımba kuvvetinde önemli bir azalma görülmemektedir. Ancak $r = 18$ mm ve üzerinde, maksimum zımba kuvveti düşer. Bu durum değerlendirildiğinde; derin çekme veya deformasyon kuvveti, kabartma ve yenileme işlemi sayesinde kenar bölgede oluşan çeşitli yüzey sertleşmeleri vasıtasıyla azaltılabilir.



Şekil 2.26 Maksimum Zımba Kuvveti Oranı (L) Üzerinde Deformasyon Bölgesinin Etkisi (Kaynak: Namoco ve ark.2007(2))

Çalışmanın sonuç kısmı değerlendirildiğinde; deneysel sonuçlara göre, kenar bölgesinde uygulanan kabartma ve yenileme işlemiyle deformasyon kuvveti azaltılabilir. Kenar bölgesindeki derin çekmeye karşı direnç azalırken, materyalin derin çekilebilirliği de artar.

2006 yılında Namoco ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir diğer çalışmada; kabartma işlemi uygulanan levha metallerin, yenileme işlemine maruz bırakıldıktan sonraki davranışları üzerine deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Deney numunesi olarak; Tablo 2.3 de gösterilen yumuşak alüminyum (Al-O), yumuşak çelik (SPCC) ve paslanmaz çeliğin (SUS) değişik kalınlıklardaki halleri kullanılmıştır. Ayrıca kabartma yüksekliği ve kabartma çapıda çeşitlendirilmiştir. Bu parametrelerin; yenileme davranışı ve yenileme prosesinden sonra oluşan sonra oluşan buruşuk ve kırışıklıkların meydana gelmesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

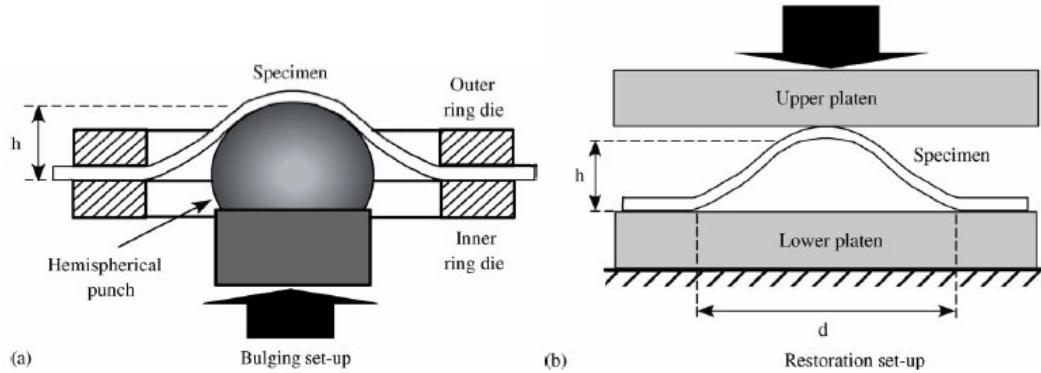
Tablo 2.3 (A) Numunlere Ait Deney Verileri (B) Analizlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri (Kaynak: Namoco ve ark.2006)

			Material			
	(a)	(b)	SPCC	Al-O	SUS	
Specimen size (mm)	90 × 90	60 × 60				
Thickness (mm)	0.3–2.0	0.3–2.0				
Bulge height (mm)	3–6	6				
Bulge diameter (mm)	30	20,22,24,26				
Punch diameter (mm)	25	16				
			Young's modulus, E (GPa)	210	69	210
			Poisson's ratio, ν	0.3	0.3	0.3
			Plastic coefficient, K (MPa)	489	173	1641
			Work hardening coefficient, n	0.21	0.24	0.47
			Density, ρ (10^{-6} kg/mm ³)	7.8	2.7	7.8

(A)

(B)

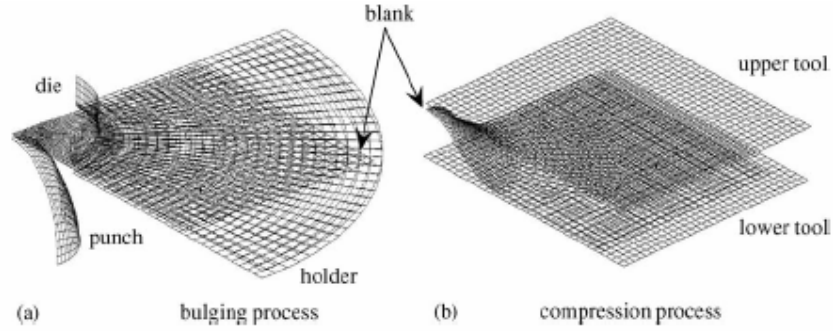
Çalışma kapsamında kullanılan deney düzeneği Namoco ve arkadaşlarının daha önceki yaptığı çalışmalardaki düzeneklere benzemektedir ve Şekil 2.27 de verilmiştir.



Şekil 2.27 A)Kabartma İşlemi Deney Düzeneği B)Yenileme İşlemi Deney Düzeneği (Kaynak: Namoco ve ark.2006)

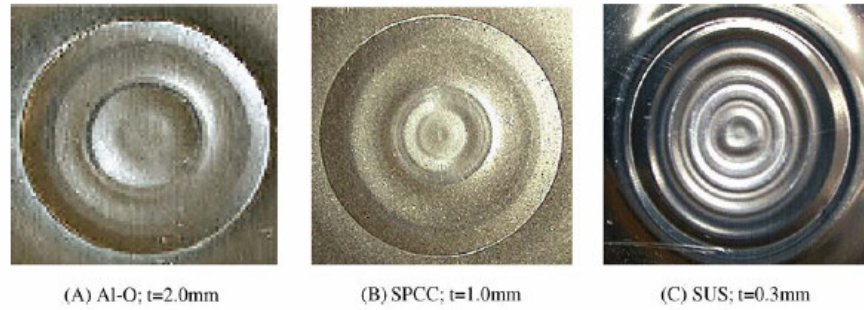
Nümerik kısım ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında; LS-DYNA3D adında sonlu elemanlar analiz programı kullanılmış ve çözüm zamanının kısaltılması amacıyla,

simetriden faydalanılarak geometrinin dörtte biri için analizler yapılmıştır. Ayrıca; nümerik çalışmada kullanılan kabartı yüksekliği, zımba ve kalıp çapları ve numune boyutları gibi veriler, deneysel çalışma ile aynı olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.28 Nümerik Modelde Kullanılan 1/4 Parça
a)Kabartma İşlemi b)Yenileme İşlemi (Kaynak: Namoco ve ark.2006)

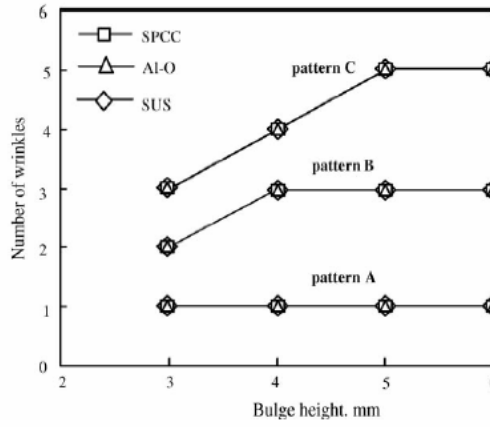
Çalışmanın sonuç kısmı değerlendirildiğinde, yenileme işlemi yapıldıktan sonra, metal yüzeyinde buruşuk desenler oluştuğu gözlemlenmiştir. Levha metalin kalınlığının, yenileme davranışı ve yenileme prosesi sonrası oluşan buruşma oluşumu üzerinde büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Deneysel sonucu elde edilen verilere göre 3 adet yenileme sonrası desen oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 2.29 Yenileme İşlemi Sonrası Oluşan Yüzey Şekilleri (t=kalınlık)
(A)Desen A (Al-O; t = 2 mm); (B) Desen B (SPCC; t = 1 mm);
(C) Desen C (SUS; t = 0.3 mm) (Kaynak: Namoco ve ark.2006)

Kabartı yüksekliği ve çapı; yenileme işlemi sonrası oluşan buruşma sayısı ve büyüklüğünü etkilemektedir. Örneğin Şekil 2.30 da A deseni oluşan durumlarda buruşma sayısının değişmediği, B deseni için 3 ten 2 ye düştüğü, C deseni içinse 5 ten 3

e düştüğü görölür. Genellemeneyapıldığında, tüm levhalar göz önüne alınırsa, kabartı yüksekliği azaldıkça, buruşmanın çapında da azalma görölür. Nümerik sonuçlara dayanarak; kalın materyaller için, bastırma (yenileme) işlemlerlen oluşun kabartı kalınlığı da artar. Levha kalınlığı azaldıkça, kabartının merkezine yakın yerdeki kalınlık, daha hızlı burkulmalar için sabit kalır. Ayrıca burkulma işlemler, buruşmanın oluşmasında özellikle ince levhalar için daha büyük bir etkiye sahiptir.



Şekil 2.30 Yenileme İşlemler Sonrası Oluşun Buruşma Sayısı Üzerinde Kabartı Yüksekliğinin Etkisi (Kaynak: Namoco ve ark.2006)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada alüminyum sacların desenleme yöntemi ile mukavemet artışının olup olmadığı araştırılmıştır. Bu kapsamda deneysel çalışmalar ve bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalarda malzeme olarak Al 1050 kodlu alaşımlı alüminyum kullanılmıştır.

3.1.Malzeme

Deneylerde sac malzeme olarak, ASTM B491 standartlarına göre Al 1050 ismiyle anılan alaşımlı alüminyum kullanılmıştır. Kullanılan sacın kimyasal özellikleri Tablo 3.1 de ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.2 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deneylerde Kullanılan Numunenin Kimyasal Bileşimi

Al 1050 malzemesinin kimyasal bileşimi	Al	Si	Ni	Zn	Fe	Sn	Ti	Cu
%	99.5	0.10	0.0015	0.05	0.3	0.0010	0.04	0.05

Tablo 3.2 Deneylerde Kullanılan Malzemenin Mekanik Özellikleri
(<http://www.matweb.com/search/>)

Al 1050 malzemesinin mekanik özellikleri	
Elastisite Modülü	69 GPa
Poisson Oranı	0.33
Akma Gerilmesi	28 MPa
Yoğunluk	2.705 gr/cm ³

0.4 mm, 0.5 mm ve 0.8 mm kalınlığında olan düz alüminyum alaşımlı levhalar, OMPAŞ firması tarafından “desenleme” yöntemiyle şekillendirilmiştir.

Şekillendirilmiş levha metaller, her sac kalınlığı için ayrı ayrı 0.8 mm, 1.5 mm ve 2.2 mm desen yüksekliklerinden oluşmaktadır. Böylece; Tablo 3.3 de gösterildiği gibi, 12 adet deney grubu bulunmaktadır.

Tablo 3.3 Deneylerde Kullanılan Numune Çeşitleri

Sac Kalınlığı (mm)	Desen Yüksekliği (mm)
0.4	0 (düz)
0.4	0.8
0.4	1.5
0.4	2.2
0.5	0 (düz)
0.5	0.8
0.5	1.5
0.5	2.2
0.8	0 (düz)
0.8	0.8
0.8	1.5
0.8	2.2

3.2. Desenleme Üretiminin Gerçekleştirilmesi

OMPAŞ firması, 0.4 mm, 0.5 mm ve 0.8 mm lik kalınlıktaki Al 1050 düz levhalarını üretici firmadan temin ettikten sonra Şekil 3.1 de gösterilen desenleme makinasıyla 0.8 mm, 1.5 mm ve 2.2 mm desen yüksekliği şeklini elde etmişlerdir.

Desenleme merdaneleri arasındaki açıklık, sac kalınlığı kadardır. Yani 3 çeşit merdane açıklığı bulunmaktadır ve bu değerler 0.4 mm, 0.5 mm ve 0.8 mm dir. Merdanelerin devir hızı 21 rpm, çapı 700 mm ve boyu 1300 mm dir.



a)



b)



Şekil 3.1 a) Ompaş Firması Bünyesinde Bulunan Desenleme Makinası b) Desenleme Makinasına Sac Girişi c) Desenleme Makinasından Sac Çıkışı d) Desenleme İşleminin Gerçekleşmesi

3.3. Mekanik Deneyler

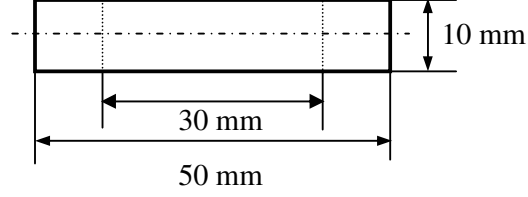
Desen yükseklikleri; 0.8 mm, 1.5 mm ve 2.2 mm olan şekillendirilmiş levhalara, mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme, 3 noktalı eğilme ve burkulma testleri yapılmıştır. Deneylerde her grup için en az 5 adet numune teste tabi tutulmuş ve ortalama değerler hesaplanmıştır.

3.3.1. Çekme Deneyleri

Çekme deneyi; malzemelerin statik yük altındaki mukavemet özelliklerinin belirlenmesini sağlayan önemli bir mekanik deneydir ve malzemelerin eksenine doğrultusunda çekmeye zorlandığı zaman göstermiş olduğu davranışları belirlemek için yapılır. Bir malzeme, eksenine doğrultusunda çekmeye zorlandığında boyu uzar, kesiti daralır. Kuvvet uygulanmaya devam edilip, plastik deformasyon bölgesine geçilir ise malzemede bazı değişiklikler olduktan sonra kopma meydana gelir.

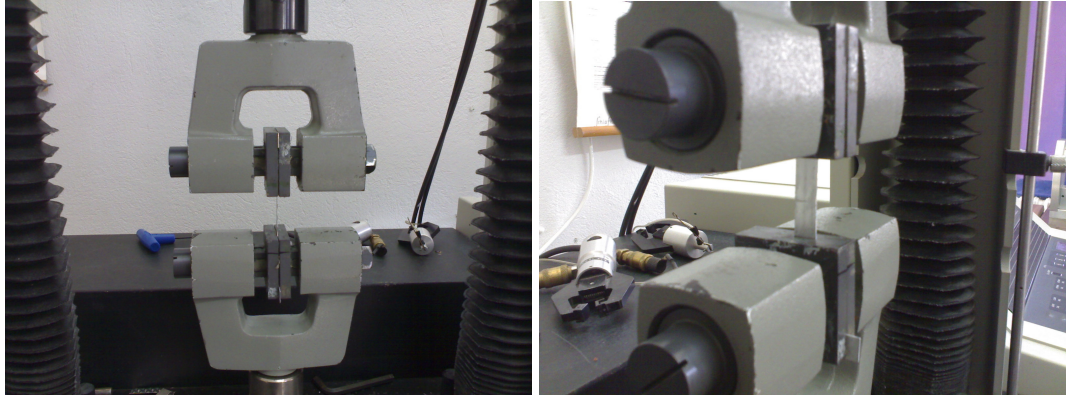
Kısaca çekme deneyi, belirlenen standartlara göre hazırlanan deney numunesinin, tek ekseninde, belirli bir hızda koparılmaya kadar çekilmesi işlemidir.

Çekme deneyi kapsamında, şekilde gösterildiği gibi 50 mm x 10 mm boyutlarında hazırlanmış deney numuneleri OMPAŞ firması tarafından giyotin ile kesilerek oluşturulmuştur.



Şekil 3.2 Çekme Deneyi Numunesi Boyutları

Deneyler, Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde bulunan 4301 model, 5 kN kapasiteli INSTRON marka çekme cihazında, malzemeye 5 kN luk statik yük uygulayarak ve çene hızları 5 mm/dak olacak şekilde ayarlanarak gerçekleştirilmiştir ve ölçüm sonuçları, cihazla bağlantılı olan bir bilgisayar vasıtasıyla elde edilmiştir. Numunelerin çenelere yerleştirme işlemini kolaylaştırmak amacıyla; çenelerin uç kısmından 10 mm işaretlenerek ve 30 mm lik kısım çekme işlemine maruz bırakılarak numunenin çenelere tutturulması sağlanmıştır. Ayrıca; çenelerin malzemeyi homojen tutması ve malzemenin kaymaması amacıyla, düz alüminyum levha numuneleri kullanılarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.



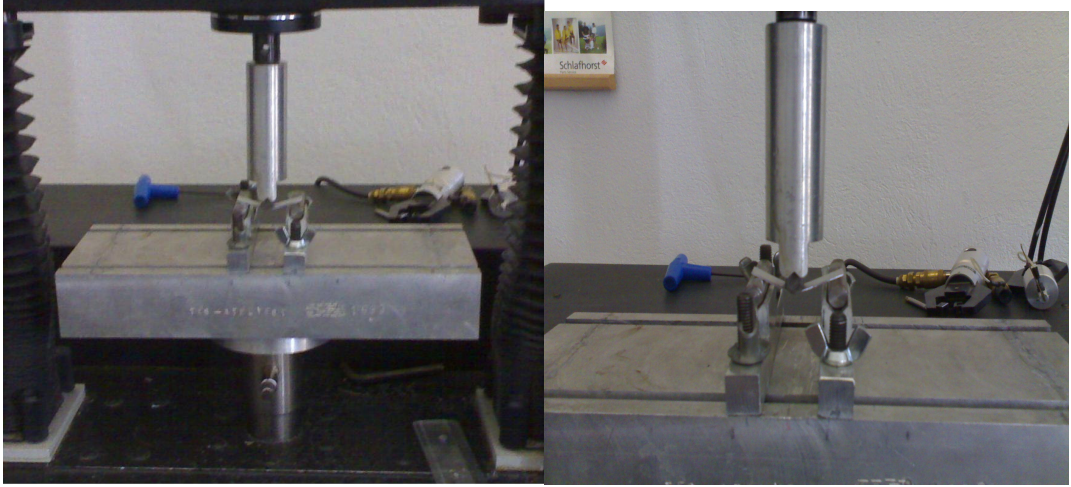
Şekil 3.3 Örnek Bir Çekme Deneyi Uygulaması

Çekme deneyinde test edilen numuneden elde edilen uzama (ΔL) ve yük (F) değerlerinden hareketle, her numune için ; maksimum çekme yükleri elde edilmiştir.

3.3.2. Üç Noktalı Eğilme Testleri

Malzemelerin sahip olduğu mekanik özellikler, eğilme davranışı ile de tespit edilebilir. Bu nedenle tez kapsamında mekanik özelliklerin tespiti amacıyla üç noktalı eğilme testleri yapılmıştır.

Üç noktalı eğilme deneyi kapsamında, çekme deneyinde kullanılan numunelerle aynı boyutlarda (50 mm x 10 mm) hazırlanan eğilme testi numuneleri, test için hazırlanmış özel aparat yardımıyla INSTRON marka çekme cihazında eğilmeye maruz bırakılmışlardır. Çekme deneyinde olduğu gibi her grup için en az 5 adet numune, deneye tabi tutulmuştur.



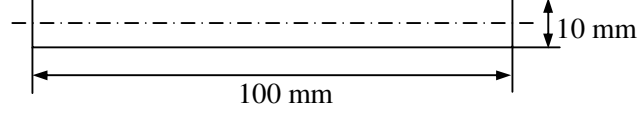
Şekil 3.4 Üç Noktalı Eğilme Deneyi Uygulaması

İki noktadan tutturulan sac numunenin orta noktasından, 5 kN luk statik yük uygulanarak malzemenin taşıdığı eğilme yükü değerleri ve yer değiştirme miktarları cihaz vasıtasıyla ölçülmüştür ve her numune için maksimum eğilme yükü değerleri elde edilmiştir.

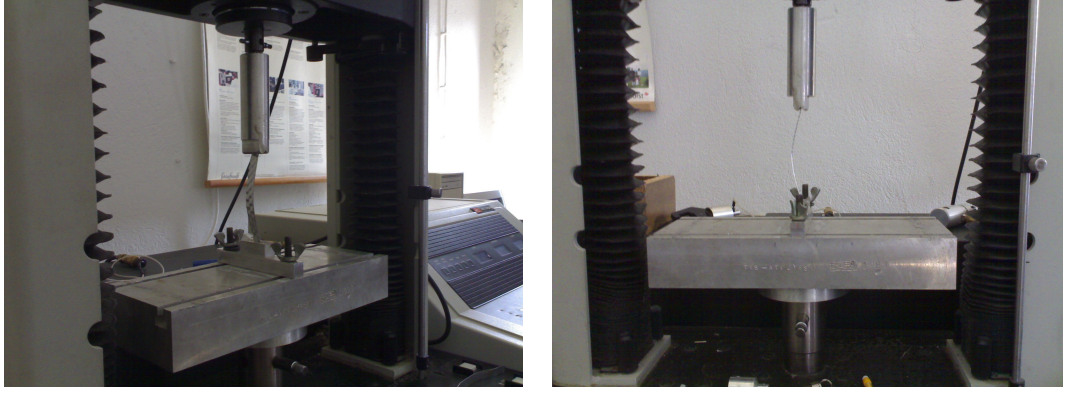
3.3.3. Burkulma Deneyleri

Şekilde 3.5. de gösterilen boyutlarda, OMPAŞ firması tarafından hazırlanmış 60 adet deney numunesine burkulma işlemi uygulanmıştır. Deney için, INSTRON çekme

cihazının yük limiti 4,5 kN luk değer ve çenelerin hızı da 5 mm/dak olarak belirlenmiştir. Deneysel düzeneği olarak, 3 noktalı eğilme deneyinde kullanılan aparatlardan faydalanılmıştır ve eğilme deneyinde kullanılan alt aparatın, tek mesneti çıkarılarak kullanılmıştır. Malzemenin taşıdığı burkulma yükü değerleri ve yer değiştirme miktarları cihaz vasıtasıyla ölçülerek maksimum burkulma yükü değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.5 Burkulma Deneyi Numunesi Boyutları



Şekil 3.6 Burkulma Deneyi Uygulaması

3.4. Tersine Mühendislik Çalışmaları

Üç boyutlu sayısallaştırma işlemi, var olan fiziksel bir objenin üç boyutlu bilgisayar modelini elde etme yöntemidir. Objeden elde edilen ve henüz işlenmemiş olan bu bilgi, tersine mühendislik yazılımları ve uygulamaları sayesinde ürün geliştirme sürecinin ilerideki aşamaları için kullanılabilir hale getirilmektedir (Görür ve ark. 2003).

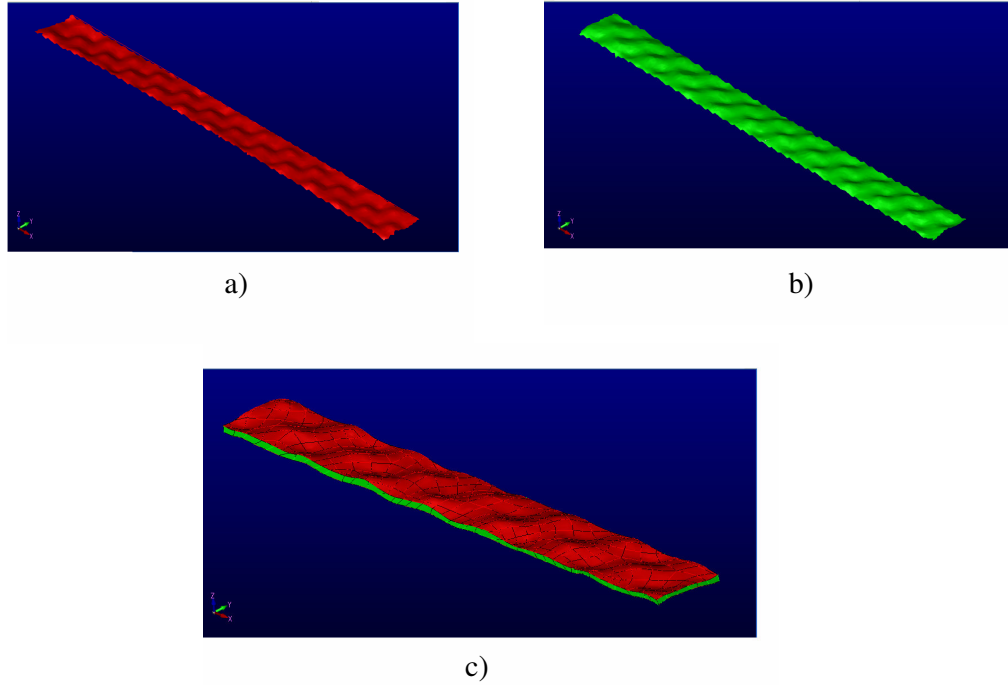
Tez çalışması kapsamında, sac levhaların sonlu elemanlar yöntemiyle analizinin yapılabilmesi amacıyla, CAD datasının elde edilmesine yönelik tersine mühendislik çalışmaları yapılmıştır.

Üzerleri toz sprej ile kaplanan levhalar; Uludağ Üniversitesi M.Y.O bünyesinde bulunan Breuckmann marka ve Optocat yazılımına sahip 3 boyutlu optik tarama sistemiyle alt ve üst yüzeyleri taranarak, katı modellerinin oluşturulması sağlanmıştır.



Şekil 3.7 a) Tersine Mühendislik Çalışmalarında Kullanılan Numuneler
b) Tersine Mühendislik Çalışmalarında Kullanılan Optik Tarama Cihazı

Sac levhanın taranan üst ve alt yüzeyleri, Keycrator CAD tasarım programında örülerek 3D katı modeller elde edilmiştir. Bu işlemler 9 çeşit numune için gerçekleştirilmiştir.



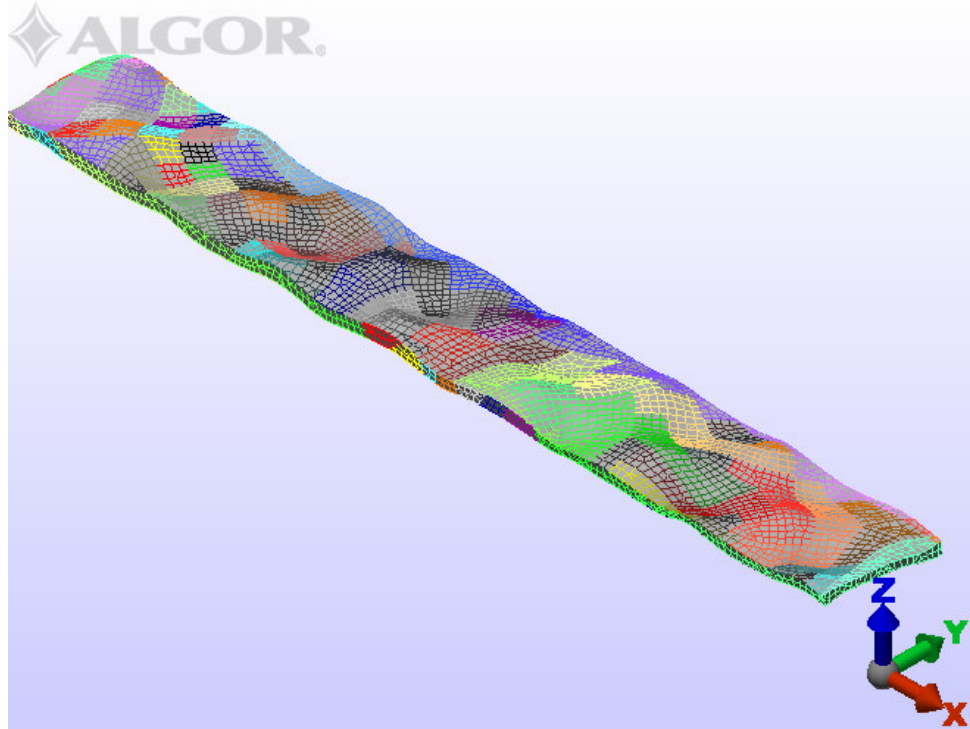
Şekil 3.8 Key Creator Cad Programında Oluşturulan Katı Model Örneği
a) 3D optik taranan üst yüzey b) 3D optik taranan alt yüzey c) Örülerek oluşturulmuş katı model

3.5.Sonlu Elemanlar Yöntemi Çalışmaları

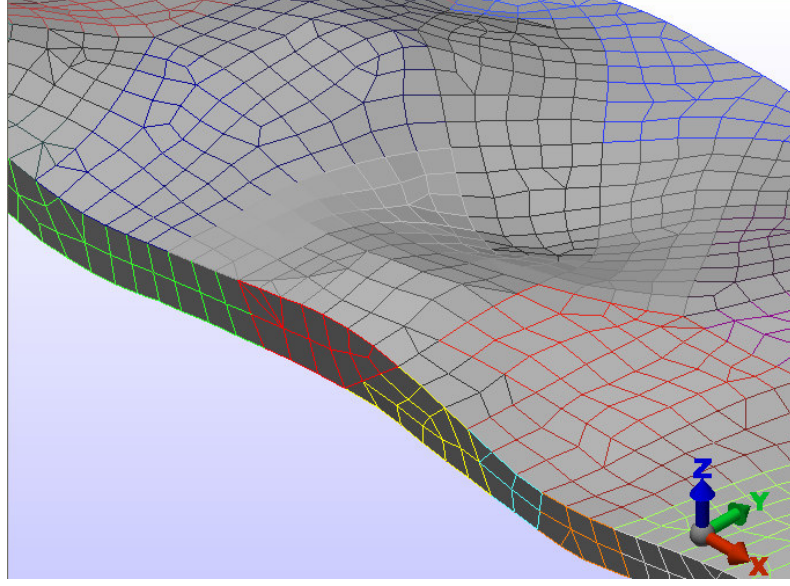
Sac levhaların sonlu elemanlar modeli, ALGOR V20 ortamında hazırlanmıştır ve yine aynı programla çözümleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Mesh işlemi gerçekleştirildikten sonra, deneysel olarak yapılan çalışmalara bağlı olarak, çekme işlemi şeklinde tüm modellere yüklemeler yapılmıştır.

Sac levha malzemesi olarak, Algor programı kütüphanesinden Al 1050 seçilmiştir. Mesh büyüklüğü olarak, sac levha kalınlığının yarısı verilmiştir. Örneğin; 0.8 mm sac kalınlığı için mesh büyüklüğü 0.4 mm; 0.5 mm sac kalınlığı için mesh büyüklüğü 0.25 mm ve 0.4 mm sac kalınlığı için mesh büyüklüğü 0.2 mm tayin edilmiştir. Mesh modelinde eleman tipide “brick” şeklinde belirlendikten sonra mesh işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).

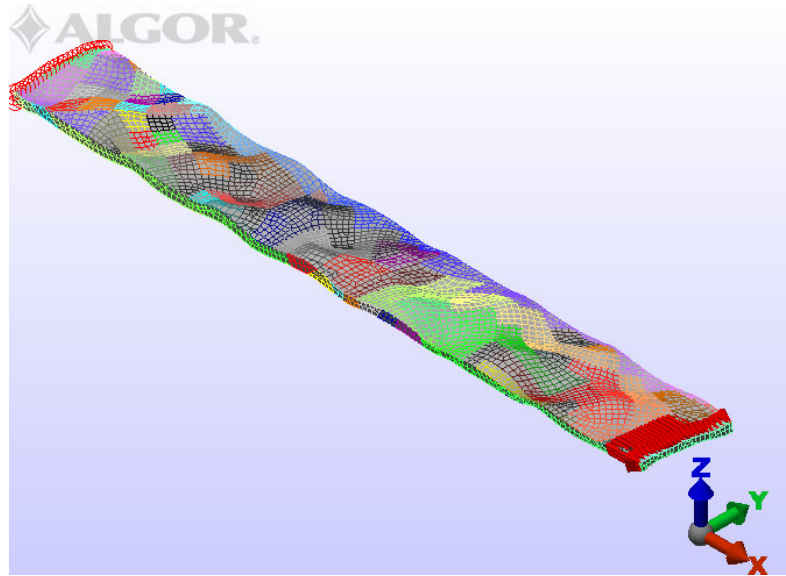


Şekil 3.9 Mesh İşlemi Gerçekleştirilmiş Örnek Bir Sac Levha Modeli
a) İzotropik görünüm b) Yakından görünüm



b) Yakından görünüm

Çekme deneyine benzer durum elde edilmesi açısından, modellerin bir tarafından 1 N luk statik yük uygulanıp, diğer tarafından da sabitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sabitleme işlemi, “pinned” komutuyla yapılmıştır (Şekil 3.10). Pinned komutuyla x, y, ve z yönlerinde ötelemeye engel olunmuştur.

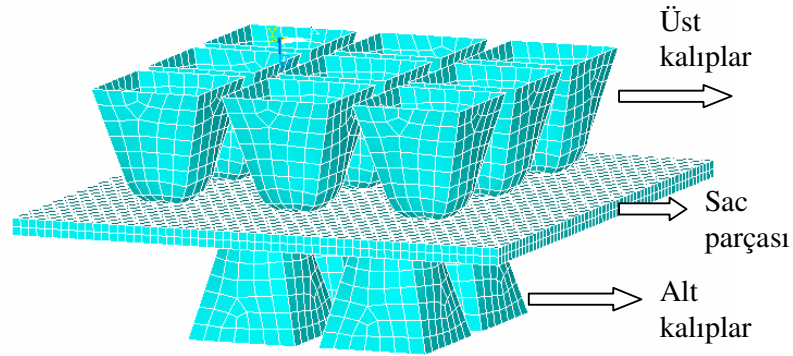


Şekil 3.10 Çekme Deneyine Benzer Şekilde Sabitlenmiş ve Yüklenmiş Bir Model

3.6.Desenleme İşlemi Simülasyon Çalışmaları

Tersine mühendislik işlemleri vasıtasıyla elde edilen CAD modellere benzer olarak; ANSYS-LS DYNA programı kullanılarak, düz sac levhalara desenleme işlemi uygulanmış ve 3 farklı sac kalınlığına uygulanan 3 farklı desen yüksekliğine göre toplam 9 farklı model elde edilmiştir.

Öncelikle 0.4, 0.5 ve 0.8 mm kalınlıktaki her sac için toplam 9 farklı şekillendirme modeli KEY CREATOR programında tasarlanmıştır. Tasarlanan bu modeller daha sonra ANSYS programının LS-DYNA modülünde açılarak şekillendirme işleminde rol oynayacak gerekli tanımlar yapılmıştır. Şekil 3.11 de 0.5 mm lik sacı şekillendirmede kullanılan model görülmektedir.

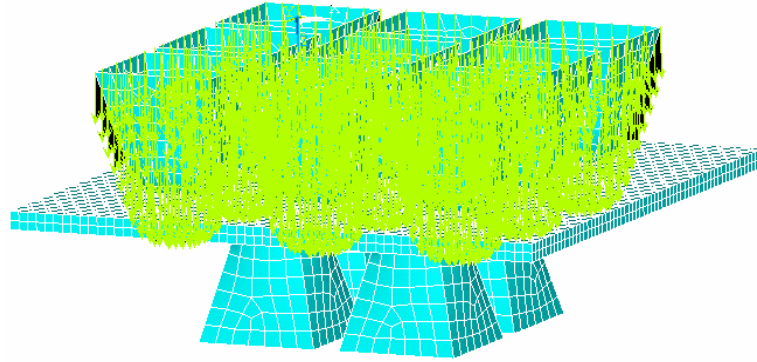


Şekil 3.11 Sac Şekillendirme İşleminde Kullanılan Model (Ansys-Ls dyna)

Gerçekleştirilecek şekillendirme işleminde, Şekil 3.11 de görülen üst ve alt kalıplar için 'eleman tipi' olarak çözüm aşamasını hızlandırmak amacıyla Shell 163 ve sac parçası içinse Solid 164 tanımlanmıştır. Üst ve alt kalıpların materyal modeli olarak 'rijit' ve sac için 'power law' olarak tanımlama yapıldıktan sonra mesh oluşturma işlemi gerçekleştirilmiştir. Üst ve alt kalıplar şekillendirme esnasında deformasyona uğramayacağı için 'rijit' material modeli seçilmiştir. Sac levha için 'power law' materyal modelinin tanımlanma sebebi ise, power law materyallerin $\sigma = K.\epsilon^n$ formülüyle ifade edilen gerçek gerilme – şekil değiştirme eğrilerine uyan Holloman denklemine uyum sağlamalarıdır.

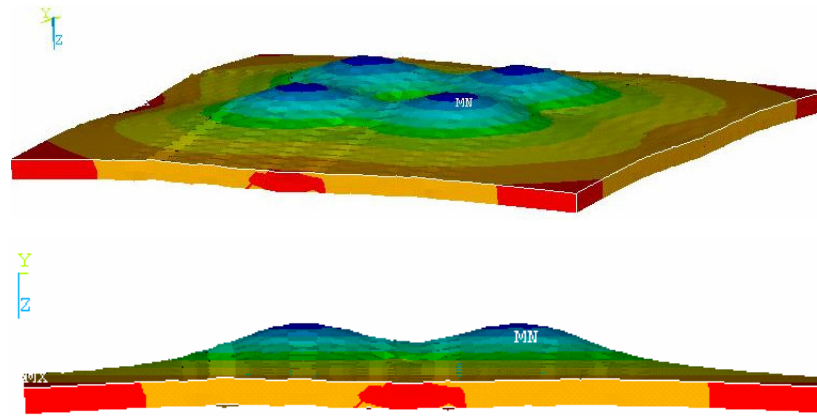
Ansys-Isdyna programında şekillendirme oluşturma işleminde en önemli parametrelerden birisi ‘kontakt tanımlama’ dır. ‘Define contact’ komutuyla gerçekleştirilen bu işlemden sac ve kalıplar arasında ‘Automatic Single Surface Contact’ parametresi tanımlanmıştır.

Bir diğere önemli şekillendirme parametresi olan ‘yük tanımlama’ işleminde üst kalıba zamana bağılı olarak deplasman tanımlaması yapılmıştır. Böylece üst kalıbın sadece z yönünde hareketine izin verilip, diğere yönlerdeki dönme ve ötelenme durumları engellenmiştir. Alt kalıp ise hareket esnasında sabit tutulmaktadır. (Şekil 3.12)



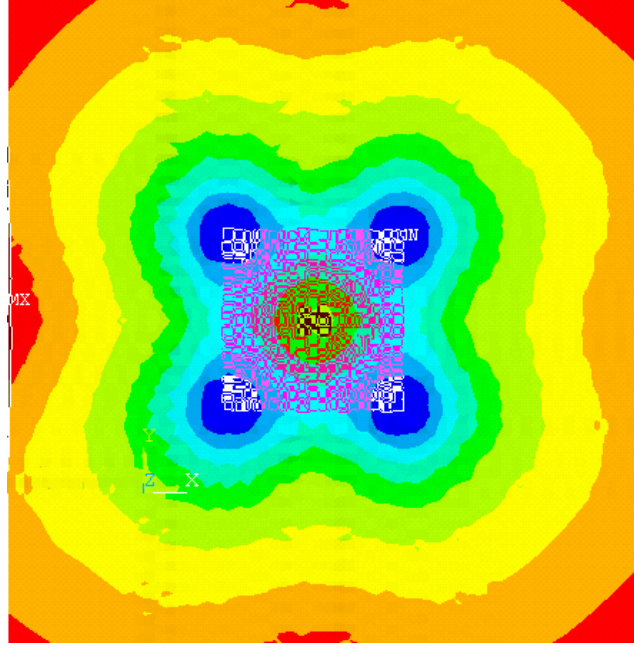
Şekil 3.12 Şekillendirme İçin Modele Uygulanan Yükleme

Tüm tanımlamalar tamamlandıktan sonra, ‘Solve’ komutuyla çözüm işlemi başlatılmıştır. Şekil 3.13 de çözüm sonrası oluşan şekillenmiş sac modellerinden biri görülmektedir.

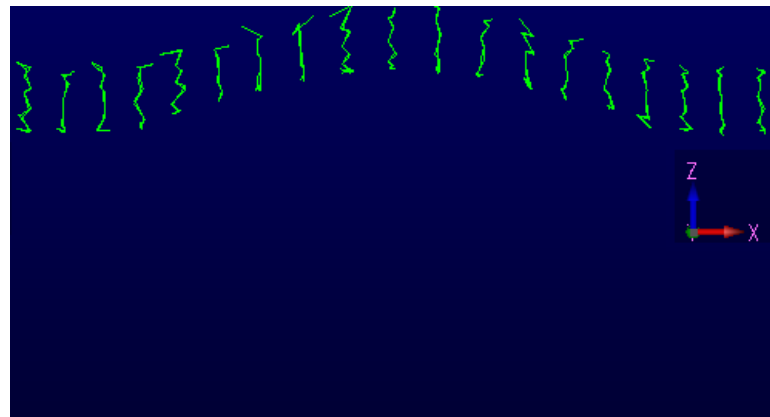


Şekil 3.13 Çözüm Sonrası Oluşan Şekillenmiş Sac Parçası

Şekillendirme işlemi tamamlandıktan sonra, desenlenmiş sacın en üst noktalarından geçen 'node' lar işaretlenmiş (Şekil 3.14), bu node grubunun alt ve üst yüzelerindeki her bir node'un z yönündeki yer değiştirmesi ve koordinatları EXCEL programında toplanarak node'lardan geçen NURBS ler Key Creator programında oluşturulmuştur.

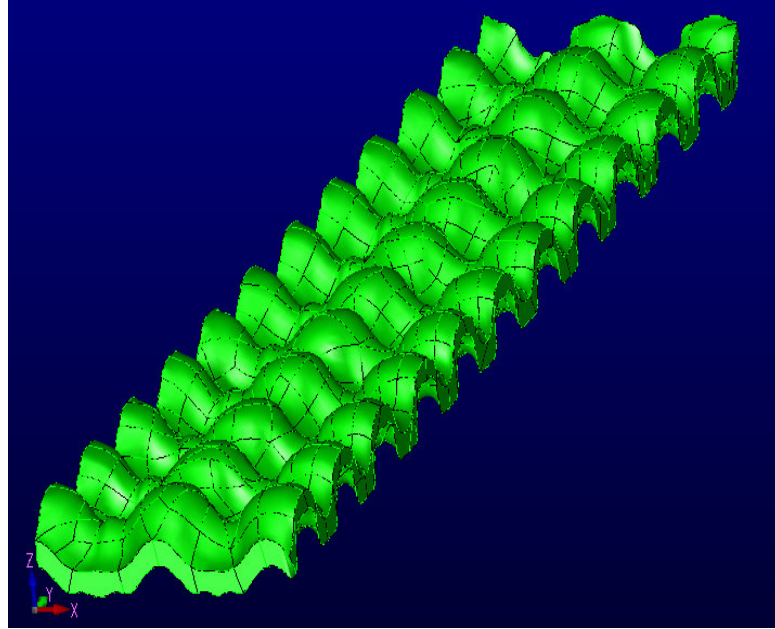


Şekil 3.14 Orta Kesitte İşaretlenen Node'lar



Şekil 3.15 Key Creator Programında Oluşturulan Nodelerden Geçen Nurbler

Oluşturulan Nurbsler çekme deneyine benzer numuneyi elde etmek amacıyla çoğaltılarak, ilk önce bu eğrilerden geçen yüzeyler, daha sonra oluşturulan yüzeylerden de katı modeller elde edilmiştir. Şekil 3.16 da oluşturulan 3D modellerden biri görülmektedir.



Şekil 3.16 Key Creator Programında Oluşturulan 3D Modellerden Bir Örnek

Oluşturulan katı modellerin, aynı optik yüzey tarama işleminden sonra yapıldığı gibi, ALGOR V.20 analiz programında sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve yine aynı programla çözümlene işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.7.Ezme İşlemi Uygulamaları

Desenleme merdaneleri arasından geçirilerek şekillendirilen levhalara, ezme işlemi uygulanarak, bu işlemin mukavemet üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bu amaçla; POLİKOR firması bünyesinde bulunan 10 kN kapasiteli, Shimadzu marka universal çekme-basma test cihazında ezme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Ezme İşleminde Kullanılan Üniversal Test Cihazı

9 grup numune için farklı yükler uygulanarak, desen yüksekliği yaklaşık olarak 0.2 mm azalacak şekilde deformasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Tablo 3.4 de numune gruplarına uygulanan yükler görülmektedir.

Tablo 3.4. Ezme İşleminde Numune Gruplarına Göre Uygulanılan Yükler

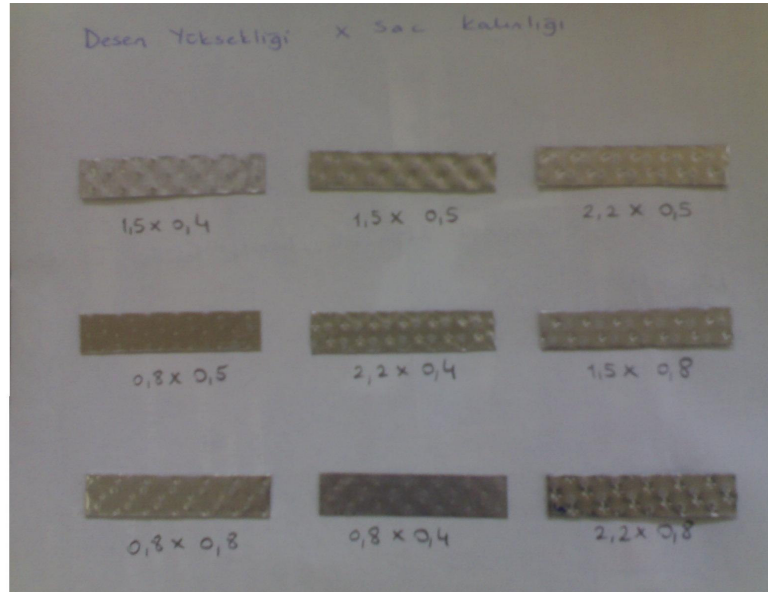
Sac Kalınlığı	Desen Yüksekliği	Uygulanılan Yük (N)
0.4	0.8	800
	1.5	1000
	2.2	2000
0.5	0.8	2000
	1.5	900
	2.2	2500
0.8	0.8	5000
	1.5	5000
	2.2	5000

Numuneler, rijit ve düz iki plaka arasına konularak, hareket eden üst çene vasıtasıyla ezilmiştir. Bu işlemde, üst çenenin hareketi manuel olarak gerçekleştirilmiştir ve gösterge yardımıyla istenilen yüke ulaşıldığında ezme işlemi durdurulmuştur. **Şekil 3.18** de örnek bir ezme uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.18 Ezme İşlemi Uygulaması

Tüm gruplar için ezme işlemi tamamlandıktan sonra, numunelerin mukavemet özelliklerini tespit etmek amacıyla, en az 4 adet numune için tekrar çekme ve eğilme testleri uygulanmıştır. Şekil 3.19 da ezme işlemi uygulanmış numuneler görülmektedir.



Şekil 3.19 Ezme İşlemi Uygulanmış Numuneler

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1 Mekanik Deney Sonuçları

4.1.1 Ezme İşlemi Uygulanmadan Önce Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde açıklanacak olan deney verileri, sadece desenleme işlemi uygulanmış numunlerin (ezme işlemi uygulanmadan önceki hal) mekanik özelliklerini içermektedir.

4.1.1.1 Çekme Deneyi Sonuçları

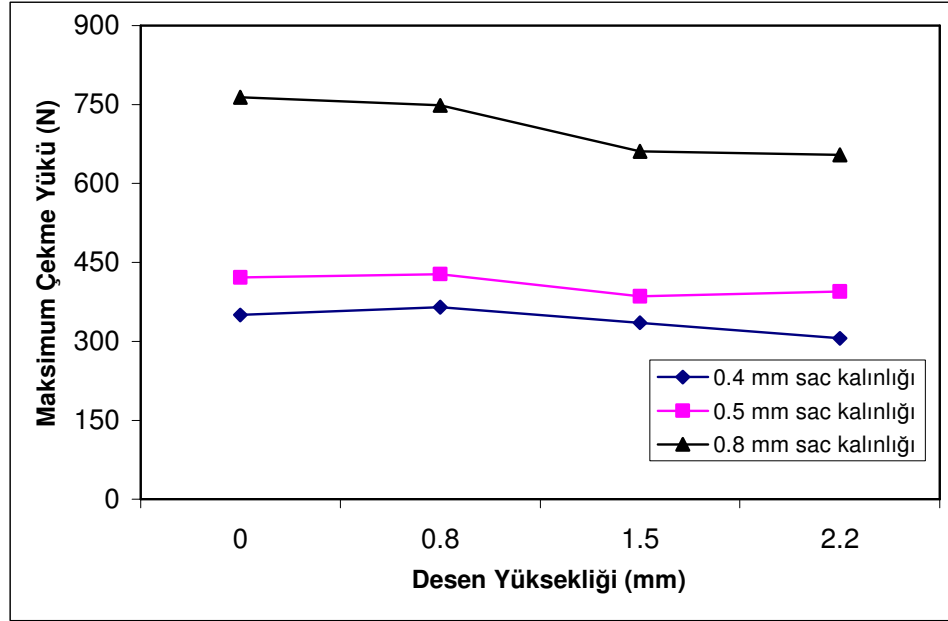
Şekil 4.1 ve Tablo 4.1 , ezme işlemi uygulanmamış, desenli numunelerin çekme deneyi sonucu elde edilen maksimum çekme yüklerini göstermektedir.

Tablo 4.1. Çekme Deneylerinden Elde Edilen Desen Yüksekliklerine Bağlı Maksimum Çekme Yüğü Değerleri

Sac kalınlığı (mm)	Desen Yüksekliği (mm)	Maksimum Çekme Yüğü (N)
0.4	0 (düz sac)	350 (± 5)
	0.8	365 (± 12)
	1.5	335 (± 14)
	2.2	306 (± 19)
0.5	0 (düz sac)	421 (± 14)
	0.8	428 (± 15)
	1.5	386 (± 14)
	2.2	395 (± 21)
0.8	0 (düz sac)	764 (± 30)
	0.8	748 (± 35)
	1.5	661 (± 22)
	2.2	654 (± 10)

Şekil 4.1 sac kalınlığına göre incelendiğinde, 0.8 mm sac kalınlığındaki maksimum çekme yüğü değerlerinin 0.5 mm ve 0.4 mm ye göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Aynı durum, 0.5 mm kalınlıktaki numuneler içinde geçerlidir yani 0.4 mm lik saca göre çekme yüğü değerlerinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durum sac kalınlığı arttıkça mukevemetin artmasından ötürüdür.

Şekil 4.1 de saclar kendi arasında desen yüksekliklerine göre değerlendirildiğinde, desen yüksekliği arttıkça çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Bu durum desen yüksekliği arttıkça, sac kalınlığının bombe bölgelerinde incelmesi ve dayanımı azaltmasından ötürüdür.



Şekil 4.1 Desenli ve Ezilmemiş Numunelerin Maksimum Çekme Yüğü- Desen Grafiğı

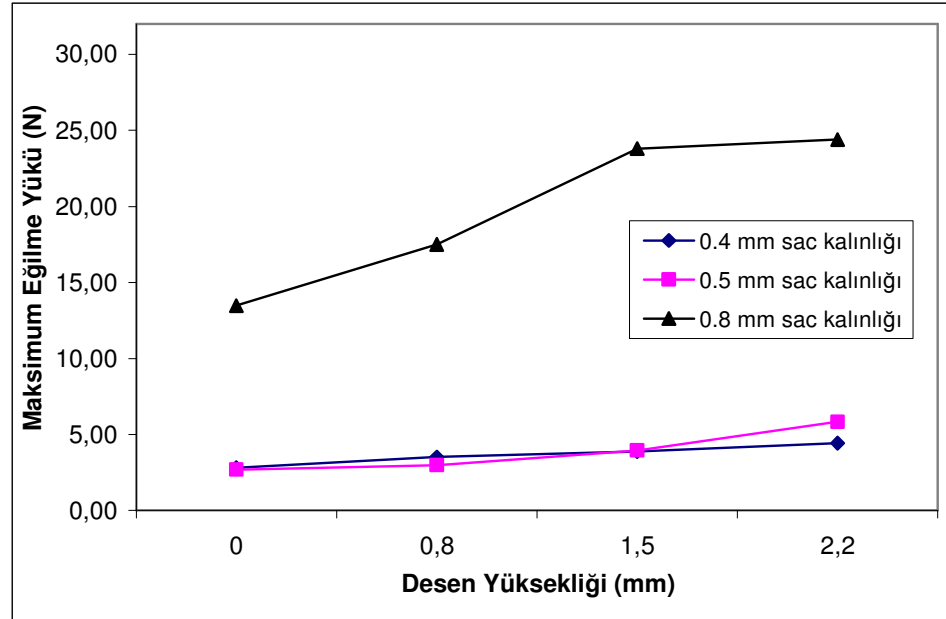
4.1.1.2 Eğilme Deneyi Sonuçları

Şekil 4.2 Ezme işlemi uygulanmamış, desenli numunelerin üç noktalı eğilme deneyiyle elde edilen maksimum eğilme yükü sonuçlarını göstermektedir. Her sac kalınlığı için kendi arasında bir değerlendirme yapıldığında, 0.4 ve 0.5 mm kalınlıktaki saclarda çok az miktarda eğilme dayanımı artışı gözlemlenmiştir. Ancak; 0.8 mm lik sac da eğilme mukavemeti belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu duruma sebep olarak, eğilme esnasında komşu desenlerin birbirine yaklaşarak artan kesitler oluşturması ve kesit artışı sonucu da eğilme dayanımının artması söylenebilir. Başka bir sebep olarak

da deformasyon sertleşmesinin 0.8 mm lik sac da daha belirgin olması yorumu yapılabilir.

Tablo 4.2. Eğilme Deneylerinden Elde Edilen Desen Yüksekliklerine Göre Maksimum Eğilme Yüğü Değerleri

Sac kalınlığı	Desen Yüksekliği	Maksimum Eğilme Yüğü (N)
0.4	0 (düz sac)	2.80 (± 0.2)
	0.8	3.52 (± 0.3)
	1.5	3.87 (± 0.2)
	2.2	4.43 (± 0.3)
0.5	0 (düz sac)	2.69 (± 0.1)
	0.8	2.98 (± 0.1)
	1.5	3.95 (± 0.3)
	2.2	5.83 (± 0.9)
0.8	0 (düz sac)	13.48 (± 0.7)
	0.8	17.51 (± 1.2)
	1.5	23.80 (± 1.4)
	2.2	24.39 (± 0.8)



Şekil 4.2 Desenli Ve Ezilmemiş Numunelerin Maksimum Eğilme Yüğü-Desen Grafiğı

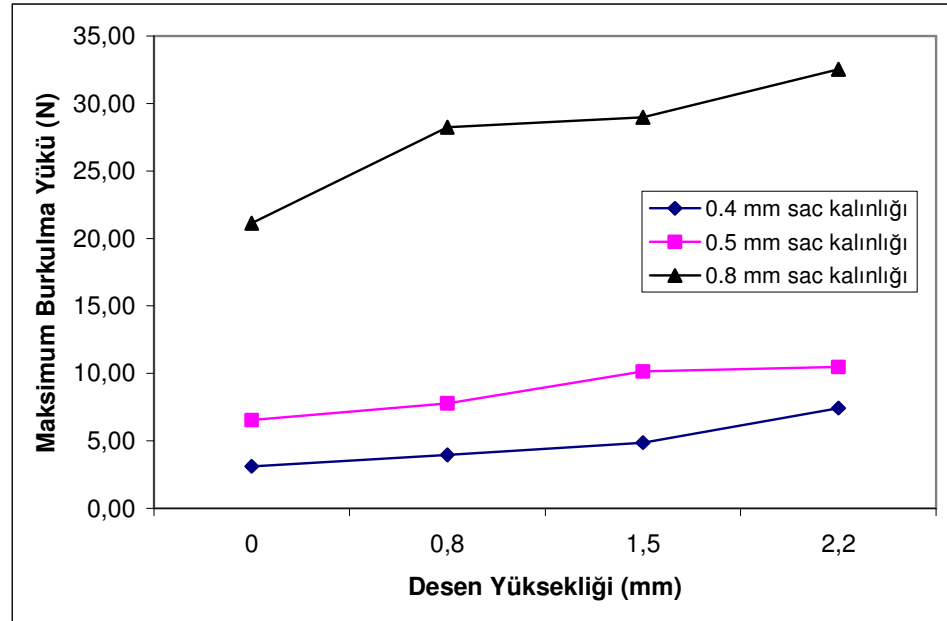
4.1.1.3 Burkulma Deneyi Sonuçları

Şekil 4.3, ezme işlemi uygulanmamış, desenli numunelerin burkulma deneyiyle elde edilen maksimum burkulma yükü değerlerini göstermektedir. Burkulma deney sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek burkulma mukavemetinin 0.8 mm kalınlıktaki saca olduğu görülmektedir. Ayrıca 0.5 mm kalınlıktaki sacın burkulma mukavemeti, 0.4 mm lik saca göre daha büyüktür.

Şekil 4.3 bir başka açıdan değerlendirildiğinde, tüm sac kalınlıkları için (0.4 mm, 0.5 mm ve 0.8 mm sac kalınlıkları); desen yüksekliği arttıkça, desensiz duruma göre maksimum burkulma yükü artmıştır. Bu durum, desenleme işleminin burkulma dayanımına olumlu yönde etki ettiğini ve burkulma esnasında kesit artışı sonucu burkulma mukavemetinin arttığını göstermektedir. Bir başka sebep olarak da, deformasyon sertleşmesinin tüm saclarda belirgin bir etki gösterip mukavemeti arttırdığı yorumu yapılabilir.

Tablo 4.3 Burkulma Deneylerinden Elde Edilen Desen Yüksekliklerine Göre Maksimum Yük Değerleri

Sac kalınlığı	Desen Yüksekliği	Maksimum Burkulma Yüğü (N)
0.4	0 (düz sac)	3.12 (\pm 0.3)
	0.8	3.95 (\pm 0.3)
	1.5	4.87 (\pm 0.7)
	2.2	7.43 (\pm 1.5)
0.5	0 (düz sac)	6.54 (\pm 1.1)
	0.8	7.79 (\pm 0.5)
	1.5	10.14 (\pm 1.5)
	2.2	10.48 (\pm 1.2)
0.8	0 (düz sac)	21.12 (\pm 3.9)
	0.8	28.24 (\pm 3.3)
	1.5	28.96 (\pm 3.5)
	2.2	32.54 (\pm 3.7)



Şekil 4.3 Desenli ve Ezilmemiş Numunelerin Maksimum Burkulma Yüğü-Desen Grafiğı

4.2.Ezme İşlemiyle Elde Edilen Deney Sonuçları

Desenlenmiş numuneler, iki düz rijit plaka arasında ezildikten sonra, aynı test cihazı ve düzenekleriyle çekme deneyi ve üç noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır.

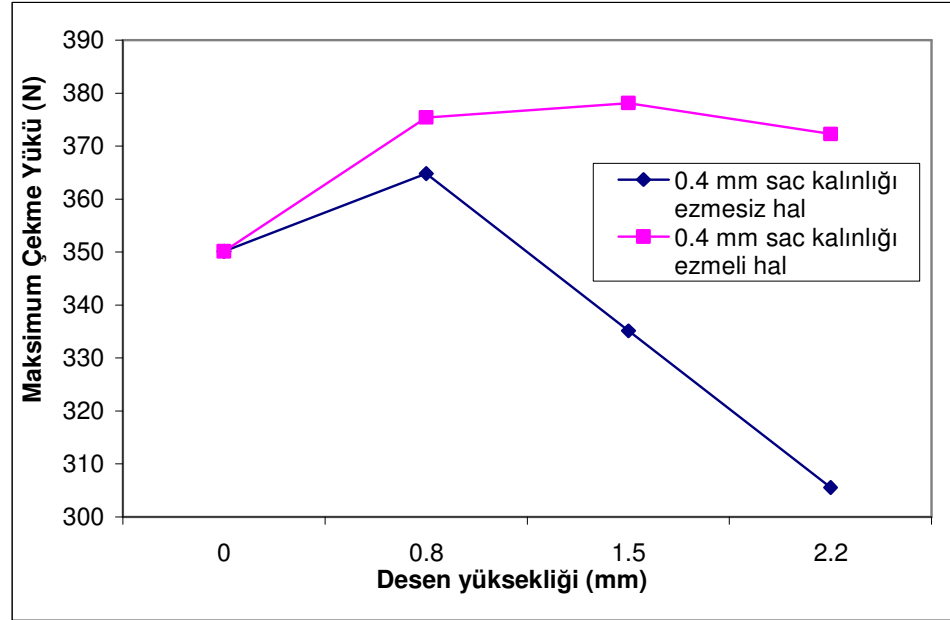
4.2.1. Ezme İşlemi Uygulanmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6, desenlenmiş numunelerin iki rijit plaka arasında ezildikten sonra gerçekleştirilmiş çekme deneyi sonuçlarını göstermektedir.

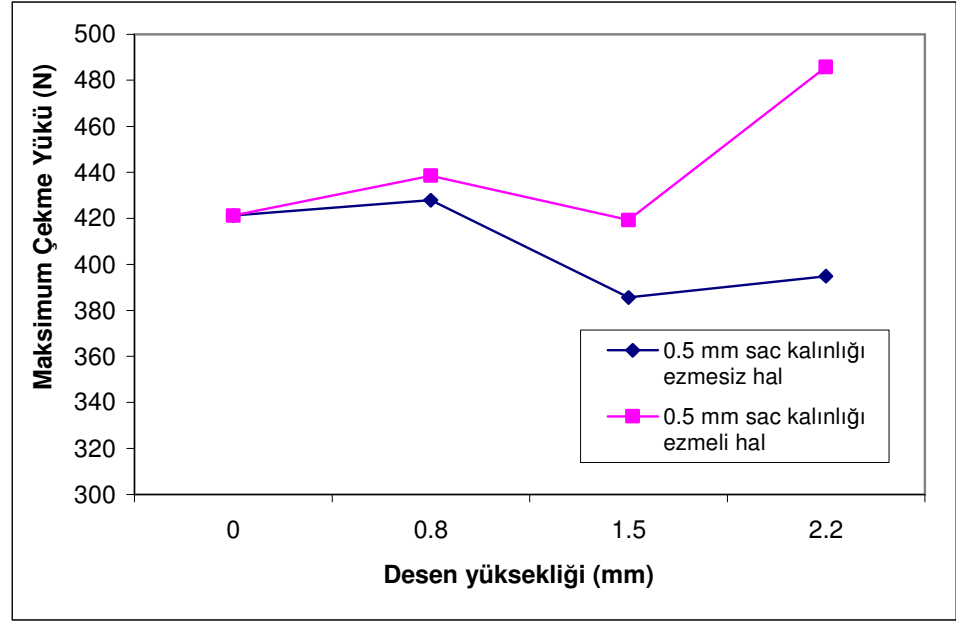
Ezme işlemi uygulandıktan sonra, tüm sac kalınlıkları için, eski durumlarına (desenli hal) göre mukavemet artışı gözlemlenmiş ve hepsi için maksimum çekme yükü artmıştır. (Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7) Bu durum desenleme işlemiyle incelmış kesidin ezme işlemiyle artması ve bunun da çekme dayanımını arttırmasından ötürüdür.

Tablo 4.4 Çekme Deneylelerinden Elde Edilen Desen Yüksekliklerine Bağlı Maksimum Yük Değerleri

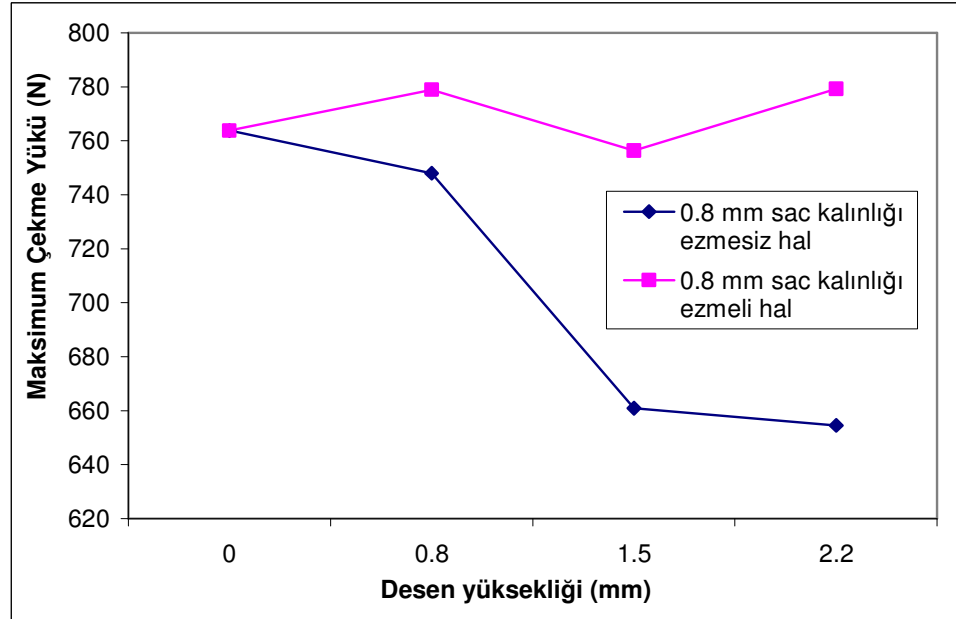
Sac kalınlığı	Desen Yüksekliği	Maksimum Çekme Yüğü (N)
0.4	0.8	375 (± 19)
	1.5	378 (± 18)
	2.2	372 (± 5)
0.5	0.8	439 (± 7)
	1.5	419 (± 19)
	2.2	486 (± 10)
0.8	0.8	779 (± 5)
	1.5	756 (± 25)
	2.2	779 (± 8)



Şekil 4.4 0.4 mm Kalınlıktaki Desenli Sac İçin Ezme Ve Ezmesiz Halin Çekme Deneyle Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.5 0.5 mm Kalınlıktaki Desenli Sac İçin Ezme Ve Ezmesiz Halin Çekme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.6 0.8 mm Kalınlıktaki Desenli Sac İçin Ezme Ve Ezmesiz Halin Çekme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.2.2. Ezme İşlemi Uygulanmış Numunelerin Eğilme Deneyi Sonuçları

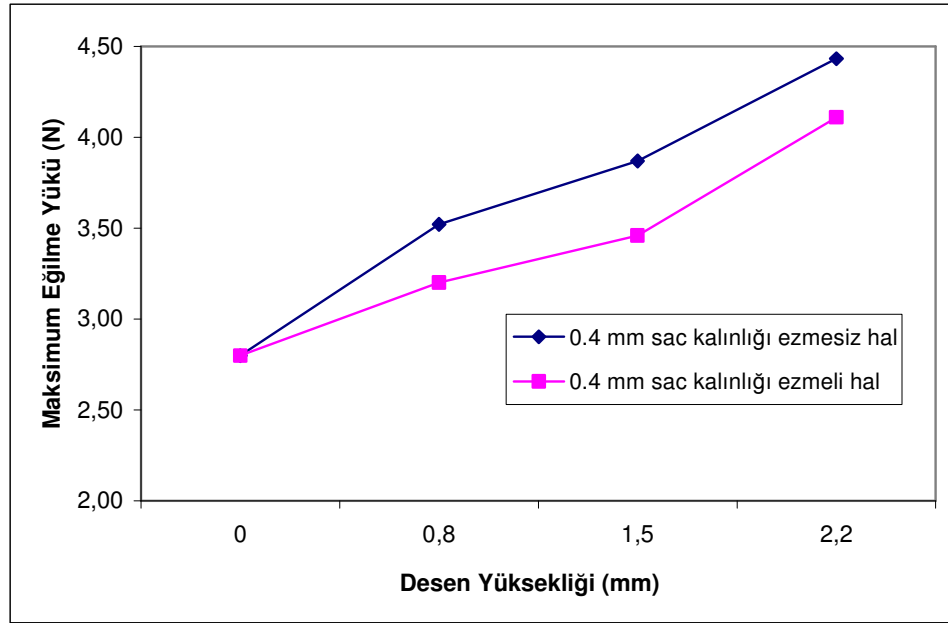
Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 desenleri ezilmiş numunelerin üç nokta eğilme deneyi sonuçlarını göstermektedir. Şekil 4.7, 0.4 mm kalınlıktaki sacın ezme olmadan ve ezme uygulanmış hallerinin karşılaştırma grafiğidir. Bu grafiğe göre, 0.4 mm lik saclar ezildiği takdirde eğilme mukavemetlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun aynısı 0.8 mm kalınlıktaki sac içinde geçerlidir. Yani ezme işlemi gerçekleştirildikten sonra, eğilme mukavemeti azalmıştır. Ancak, Şekil 4.8 incelendiğinde, 0.5 mm kalınlıktaki desenlenmiş saclara ezme işlemi uygulandığında mukavemetin arttığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.10 ise desenleri ezilmiş 0.4 mm, 0.5 mm ve 0.8 mm kalınlıktaki sacların birbirine göre eğilme mukavemeti mukayesesini göstermektedir. Bu duruma göre, en yüksek eğilme mukavemetine 0.8 mm lik saca ulaşılmıştır. Bu durumu sırasıyla 0.5 mm ve 0.4 mm lik saclar izlemektedir. Ayrıca, ezme olmadan uygulanan eğilme işlemiyle elde edilen Şekil 4.2 deki 0.4 mm ve 0.5 mm kalınlıktaki sacların birbirine yakın değer gösteren eğilme mukavemetleri, ezme işlemiyle birbirinden uzaklaşmıştır.

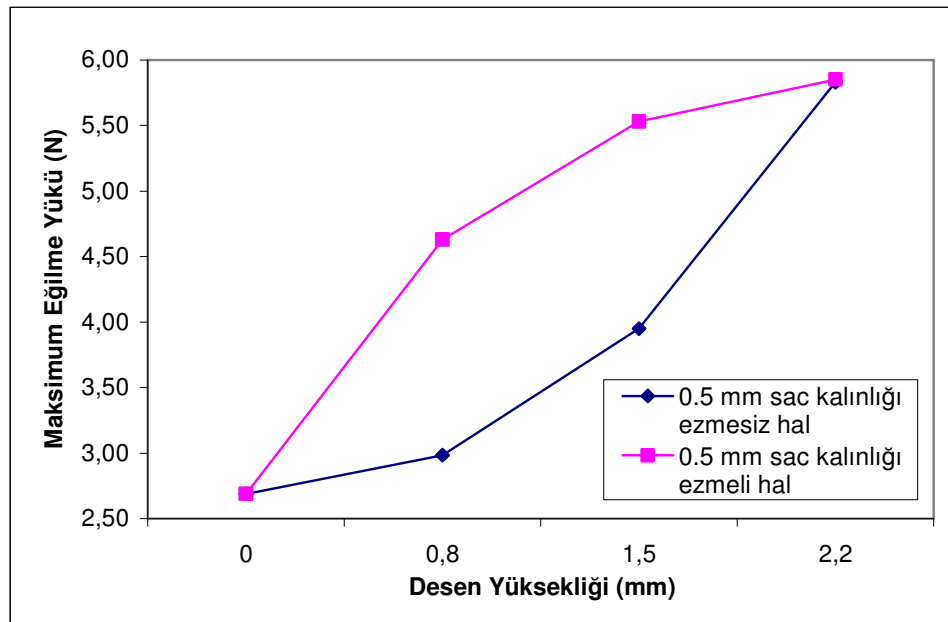
Bu durum; ezme işleminin kesit artışı oluşturması ve ayrıca deformasyon sertleşmesinin etkisi sonucu eğilme dayanımının artmasıdır.

Tablo 4.5 Eğilme Deneylerinden Elde Edilen Desen Yüksekliklerine Bağlı Maksimum Yük Değerleri

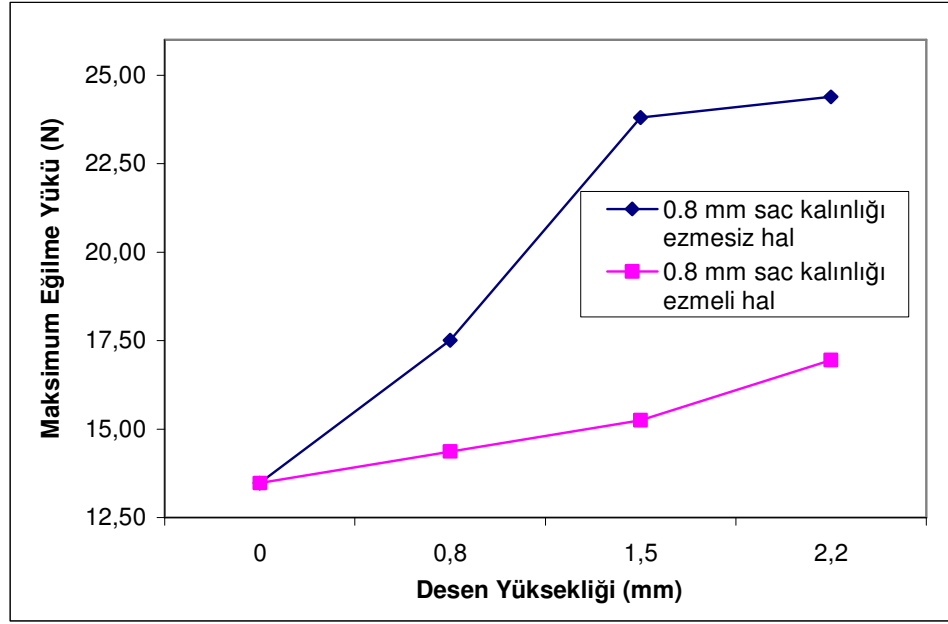
Sac kalınlığı (mm)	Desen Yüksekliği (mm)	Maksimum Çekme Yüğü (N)
0.4	0.8	3.20(± 0.1)
	1.5	3.46(± 0.1)
	2.2	4.11(± 0.2)
0.5	0.8	4.63(± 0.6)
	1.5	5.53(± 0.2)
	2.2	5.85(± 0.3)
0.8	0.8	14.37(± 0.2)
	1.5	15.25(± 0.3)
	2.2	16.95(± 0.7)
	2.2	16.95(± 0.7)



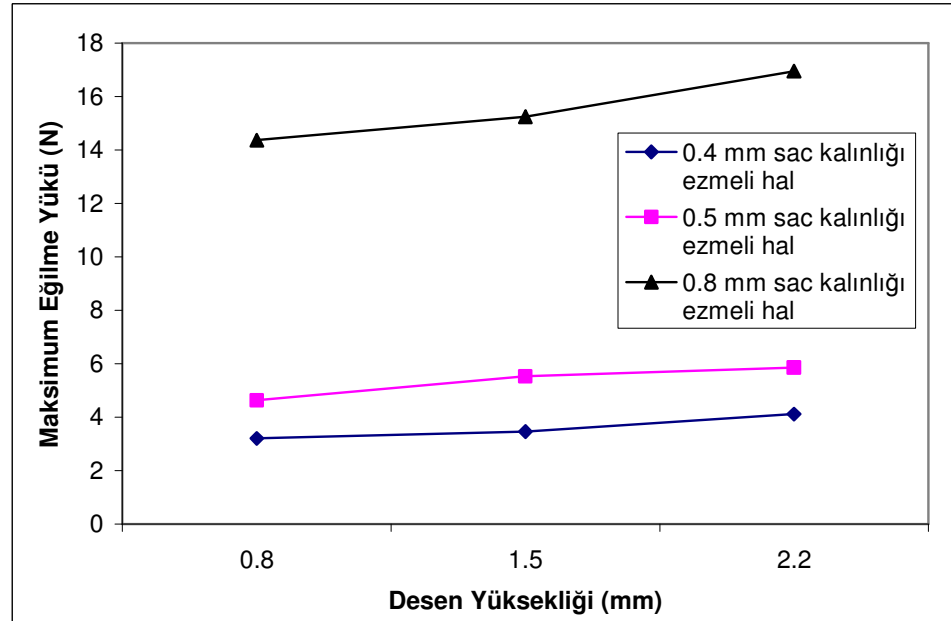
Şekil 4.7 0.4 mm Kalınlıktaki Desenli Sac İçin Ezme Ve Ezmesiz Halin Eğilme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.8 0.5 mm Kalınlıktaki Desenli Sac İçin Ezme Ve Ezmesiz Halin Eğilme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 4.9 0.8 mm Kalınlıktaki Desenli Sac İçin Ezme Ve Ezmesiz Halin Eğilme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması



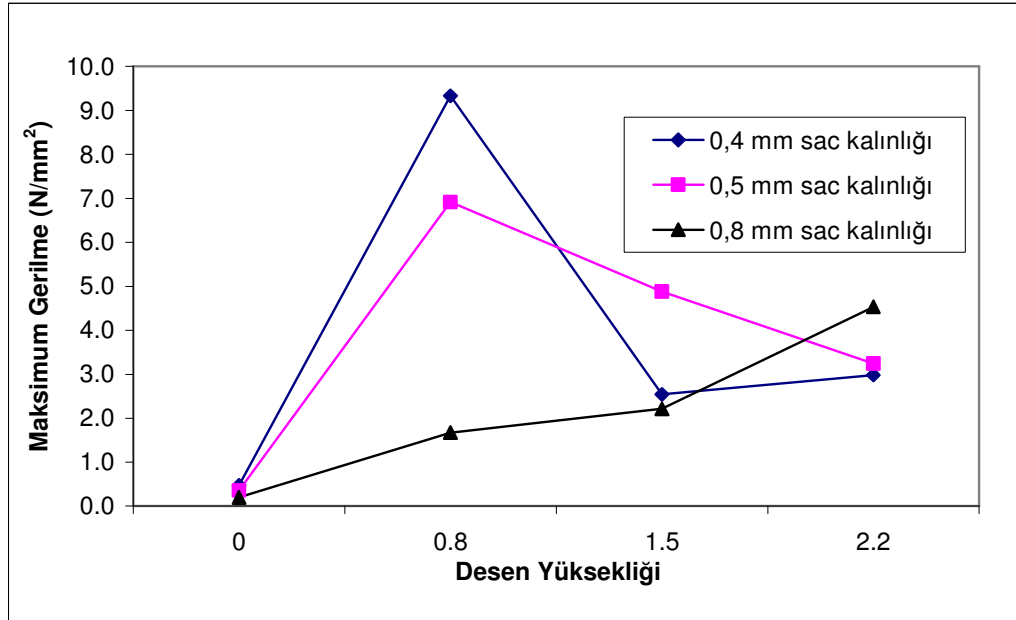
Şekil 4.10 Tüm Sac Kalınlıklarının Ezme İşlemi Sonucunda Eğilme Mukavemetlerinin Karşılaştırılması

4.3.Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Elde Edilen Analiz Sonuçları

Şekil 4.11 ALGOR analiz programıyla yapılan maksimum gerilme sonuçlarını göstermektedir.

Çekme deneyine uygun formda tasarlanmış CAD model, Algor analiz programında açılarak bir kenarından sabit tutulmuş ve diğer kenarından ise 1 N luk yük uygulanmıştır. Şekil 4.12, 0.8 mm sac kalınlığı ve 2.2 mm desen yüksekliği olan modelin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen gerilme sonucunu göstermektedir.

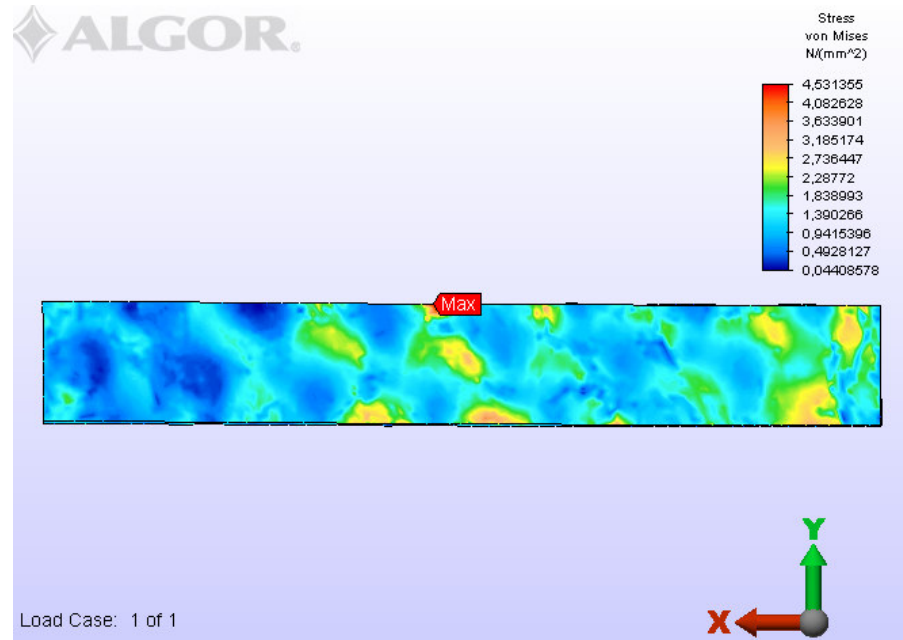
Bu analiz sonucunda, 0.4 ve 0.5 mm lik deseli saclarda, sacın desen yüksekliği arttıkça, sac kalınlığı azaldığından ötürü maksimum gerilmenin arttığı izlenimine varılmıştır. 0.8 mm lik desenli sac da ise, desen yüksekliği arttıkça maksimum gerilmede artmıştır.



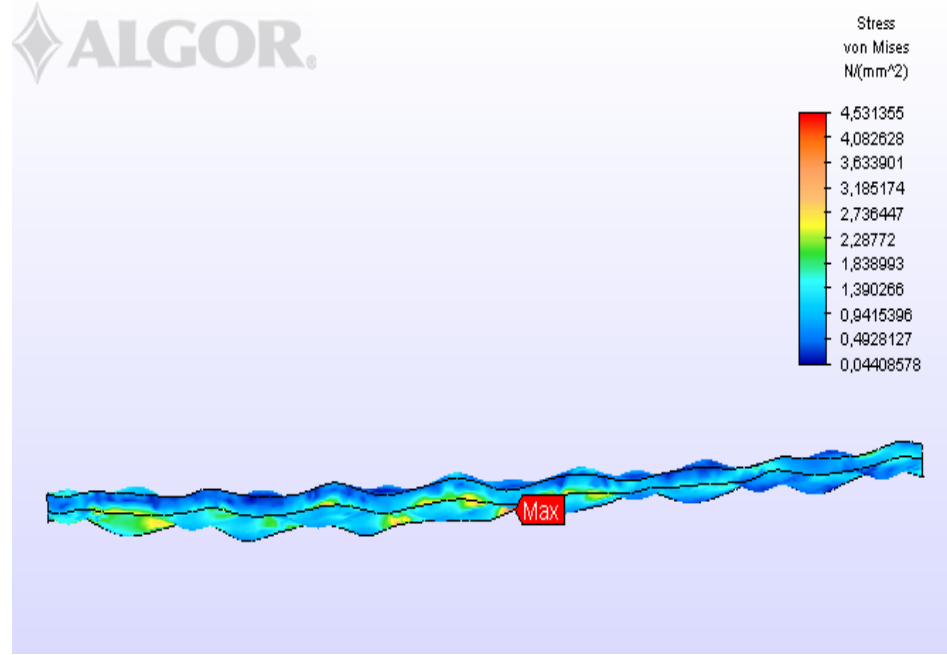
Şekil 4.11 Yüzey Tarama İşlemleri Sonucu Elde Edilen CAD Modellerin Çekme Deneyi Analizi

Tablo 4.6 Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Elde Edilen Maksimum Gerilme Sonuçları

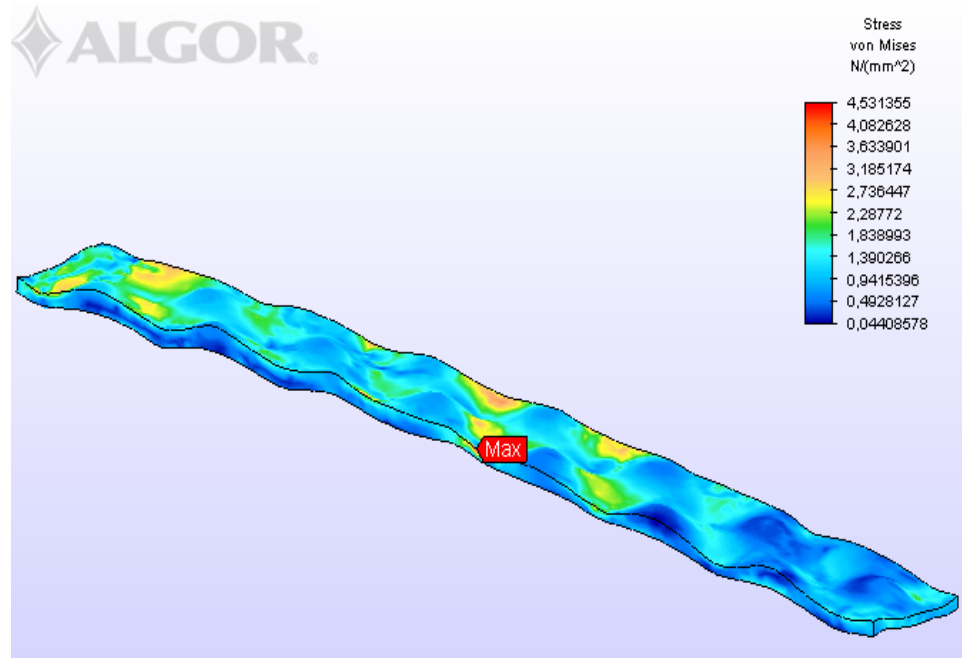
Sac Kalınlığı (mm)	Desen Yüksekliği (mm)	Maksimum Gerilme (N/mm ²)
0.4	0 (düz sac)	0.5
	0.8	9.3
	1.5	2.5
	2.2	3.0
0.5	0 (düz sac)	0.4
	0.8	6.9
	1.5	4.9
	2.2	3.2
0.8	0 (düz sac)	0.2
	0.8	1.7
	1.5	2.2
	2.2	4.5



Şekil 4.12 0.8 mm Sac Kalınlığı ve 2.2 mm Desen Yüksekliği Olan Modelin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Elde Edilen Gerilme Sonucu
a) Alt Görünüm b) Yan Görünüm c) İzotropik Görünüm



b) Yan Görünüm



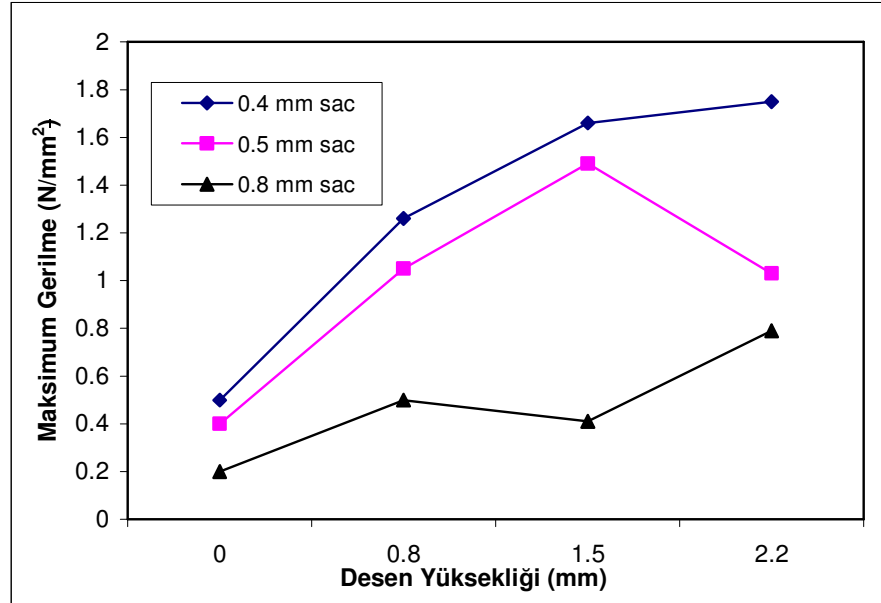
c) İzotropik Görünüm

4.4.ANSYS LS-DYNA Programıyla Elde Edilen CAD Modellerin Analiz Sonuçları

Bölüm 3.6 da anlatılan yöntemle göre üretilen desenlenmiş sacların CAD modelleri, üç boyutlu optik tarama cihazı vasıtasıyla elde edilen CAD modellerde olduğu gibi ALGOR V.20 analiz programında sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve yine aynı programla çözümleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sac levha malzemesi olarak, Algor programı kütüphanesinden Al 1050 seçilmiştir. Mesh büyüklüğü olarak, sac levha kalınlığının yarısı verilmiştir. Mesh modelinde eleman tipide “brick” şeklinde belirlendikten sonra mesh işlemi gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyine benzer durum elde edilmesi açısından, modellerin bir tarafından 1 N luk statik yük uygulanıp, diğer tarafından da sabitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu sabitleme işlemi, “pinned” komutuyla yapılmıştır.

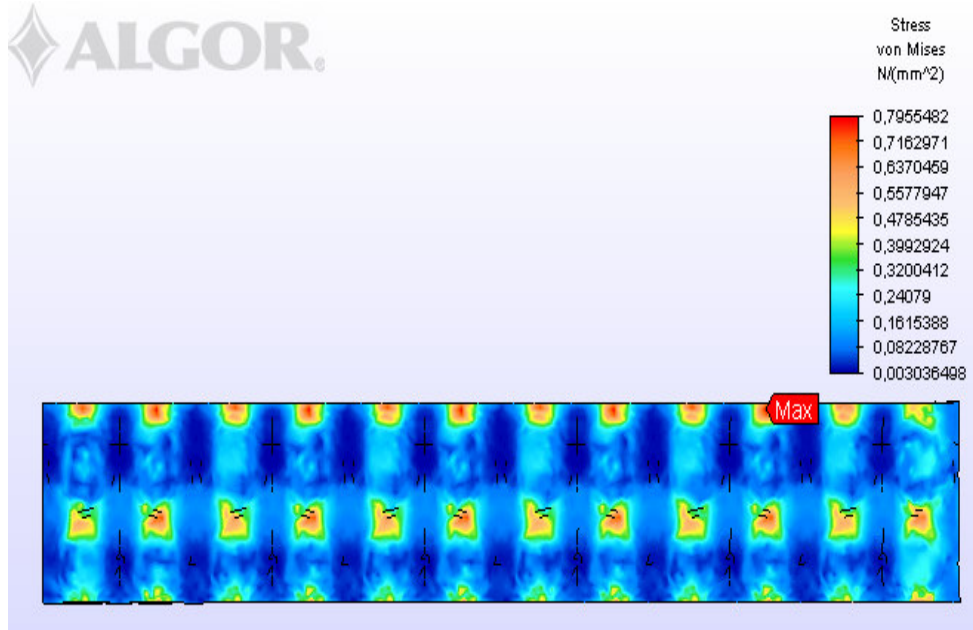
Şekil 4.13 bu işlemler sonucu elde edilen maksimum gerilme değerlerini göstermektedir. 0.4 ve 0.8 mm lik saclarda desen yüksekliği arttıkça maksimum gerilmenin, düz saca kıyasla arttığı gözlemlenmiştir.



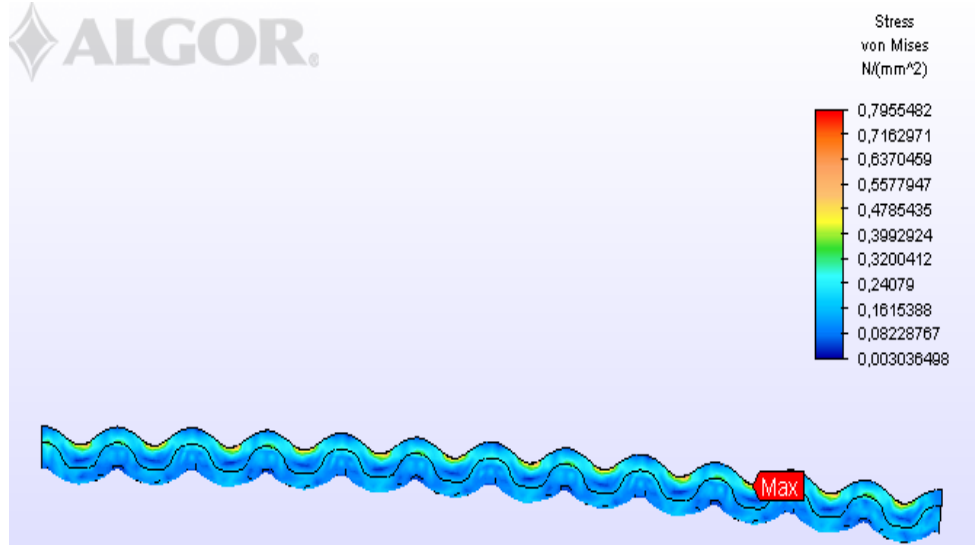
Şekil 4.13 Ansys Ls-Dyna Vasıtasıyla Elde Edilen CAD Modellerin Çekme Deneyi Analizi

Tablo 4.7 Ansys Ls-Dyna Vasıtasıyla Elde Edilen CAD Modellerin Maksimum Gerilme Sonuçları

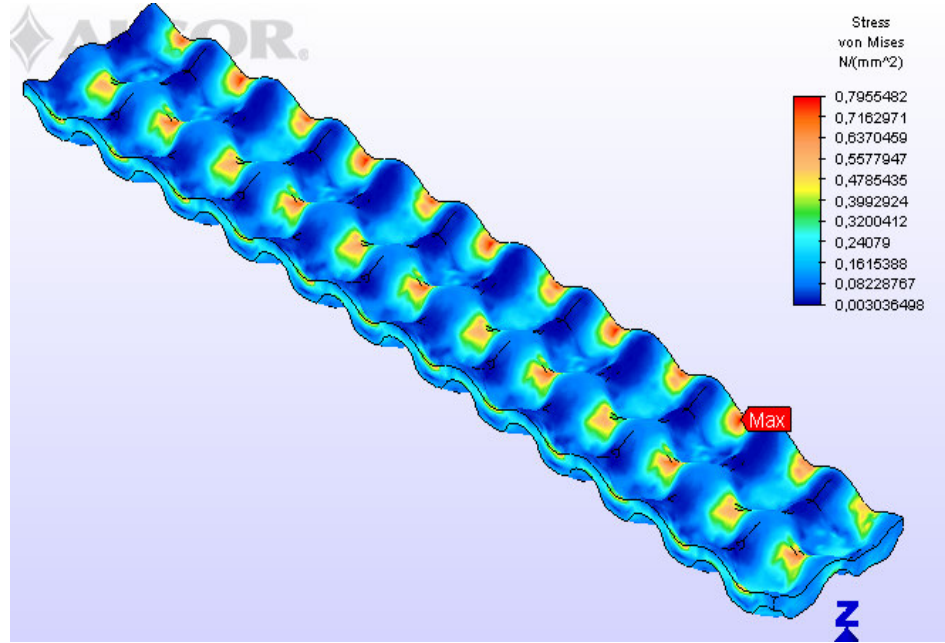
Sac kalınlığı	Desen Yüksekliği	Maksimum Gerilme (N/mm ²)
0.4	0 (düz sac)	0.5
	0.8	1.26
	1.5	1.66
	2.2	1.75
0.5	0 (düz sac)	0.4
	0.8	3.01
	1.5	2.14
	2.2	1.03
0.8	0 (düz sac)	0.2
	0.8	0.5
	1.5	0.41
	2.2	0.79



Şekil 4.14 0.8 mm Sac Kalınlığı ve 2.2 mm Desen Yüksekliği Olan Modelin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Elde Edilen Gerilme Sonucu
a)Üst Görünüm b)Yan Görünüm c) İzotropik Görünüm



b) Yan Görünüm



c) İzotropik Görünüm

5. TARTIŞMA VE YORUM

Bu çalışmada desenleme işlemiyle şekillendirilmiş saclarda desenleme ve ezme işleminin mukavemet açısından etkileri araştırılmıştır.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Desenlenmiş numunelere uygulanan çekme işlemi, çekme mukavemetini azaltmıştır. Bu durum, çekme işlemi esnasında, sacın bombe bölgesinde kalınlığın azalmasından dolayıdır.
- Uygulanan üç noktalı eğilme ve burkulma deneylerinde ise, desen yüksekliği arttıkça eğilme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Bu duruma sebep olarak, eğilme esnasında komşu desenlerin birbirine yaklaşarak kesit artışı sağlaması ve bu durumun da atalet momentini büyütürken eğilme dayanımını artırması gösterilebilir. Ayrıca desenleme esnasında oluşan deformasyon sertleşmesi de mukavemet artışının bir başka nedenidir.
- Desenleri ezilmiş numunelere yapılan çekme deneyinde, ezme işleminin mukavemete olumlu etkide bulunduğu ve desenli numunelere göre çekme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışa sebep olarak, desenleme işlemiyle incelmış kesitin, ezme işlemiyle birlikte artması ve bu durumun da atalet momentini büyütürken çekme dayanımını artırması gösterilebilir. Çekme dayanımındaki artışın bir başka sebebi ise, ezme işlemiyle meydana gelen soğuk deformasyonun, deformasyon sertleşmesine sebep olmasıdır.
- Desenleri ezilmiş numunelere uygulanan üç noktalı eğilme deneyleri değerlendirildiğine, desenleri ezilmiş numunelerin eğilme dayanımlarının düz saca göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Sebep olarak, çekme deneyi sonuçlarında olduğu gibi atalet momenti artışı ve deformasyon sertleşmesidir.

- Optik taramayla elde edilen CAD modellerin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde; maksimum çekme gerilmesi desenleme işlemi uygulaması ile birlikte 0.4, 0.5 ve 0.8 mm lik saclarda düz sacın maksimum gerilme değerine göre artmıştır. Bu duruma sebep olarak, sac kalınlığının desenleme işlemiyle azalması ve çekme mukavemetini düşürmesi söylenebilir.

Bir başka önemli konu ise, simülasyon çalışmalarının gerçek çekme deneyi sonuçlarını destekleyip desteklemediğidir. Desenleri ezilmemiş numunelerden elde edilen çekme deneyi sonuçlarına göre; desenleme işlemi uygulaması, düz saca göre çekme dayanımını azaltmıştır. Aynı duruma sonlu elemanlar yöntemiyle de ulaşıldığından nümerik analiz ve deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu olduğuna varılmıştır.

- Ansys LS-DYNA programı yardımıyla oluşturulan CAD modellerin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen çekme deneyi analiz sonuçları irdelendiğinde, tüm levha metallerde desenleme işlemiyle elde edilen maksimum gerilme değerlerinin düz saca kıyasla arttığı gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre maksimum gerilmenin artması, çekme dayanımının azalması anlamındadır. Bu durum çekme işlemi esnasında sac kalınlığının azalmasından ötürüdür. Analiz sonuçları sac kalınlıklarına göre değerlendirildiğinde, maksimum çekme gerilmesinin 0.4 mm lik kalınlıktaki saca, daha sonrada 0.5 mm ve 0.8 mm kalınlıktaki saclarda olduğu gözlemlenmiştir. Yine bu durumun sebebi olarak; sac kalınlığı arttıkça çekme dayanımının artması gösterilebilir.

Diğer önemli bir husus ise; çekme deneyi simülasyon çalışmalarının, gerçek çekme deneyi sonuçları ile uyumlu olup olmamasıdır. Çekme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre ;desenleme işlemi uygulanmasıyla maksimum çekme yükü azaldığı için çekme dayanımı da azalmıştır. Çekme deneyi simülasyon çalışmalarında ise maksimum gerilme değeri desenleme işlemi uygulanmasıyla artmış olduğundan, çekme dayanımı azaldığından; deney verileri ve sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen analiz sonuçları birbiri ile örtüşmektedir.

- Yapılan çalışmanın sonucunda ısı kalkanı olarak kullanılacak olan desenlenmiş alüminyum sacların eğilme mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Ancak çekme mukavemetlerinde azalma görülmektedir. Isı kalkanı olarak kullanılacak bu tür parçaların kalıpta şekillendirilmesi ve kullanılması aşamalarında mukavemet artışına paralel olarak çekme mukavemetinde de artış sağlanabilmesi için pimli bağlantı bölgelerinde desenlerin ezilmesi gerçekleştirilmelidir. Saclarda desenleme sırasında meydana gelen incelmeler ezme yöntemi ile giderilmektedir. Bu sayede hem eğilme rijitliği artırılmakta hem de ezilme yapılarak çekme mukavemeti artırılabilir.

KAYNAKLAR

BEDİR F., DURAK E., DELİKANLI K., Alüminyum Alaşımlarının Otomotiv Endsürisinde Uygulanabilirliği ve Mekanik Özellikleri, 2006, Mühendis ve Makina, Cilt:47, Sayı:555

C.S. NAMOCO, T. LIZUKA, K. NARITA, N. HATANAKA, N. TAKAKURA, K. YAMAGUCHI, Influence of Embossing and Restoration Process on the Mechanical Properties of Aluminum Alloy Sheets, 2007, Journal of Materials Processing Technology.

C.S. NAMOCO JR, T. LIZUKA, K. NARİTA, N. TAKAKURA, K. YAMAGUCHİ, Effects of embossing and restoration process on the deep drawability of aluminum alloy sheets, 2007, Journal of Materials Processing Technology 187–188 (2007) 202–206.

C.S. NAMOCO JR., T. LİZUKA, R.C. SAGRADO, N. TAKAKURA, K. YAMAGUCHİ, Experimental and numerical investigation of restoration behavior of sheet metals subjected to bulging deformation,2007, Journal of Materials Processing Technology 177 (2006) 368–372.

ÇAPAN L.,Metallere Plastik Şekil Verme, 2003, Çağlayan Kitapevi.

GAVAS M., 2005, AL-1050 Alaşimli Alüminyum Sacın Çekme Oranı Limiti AL-1050 Alaşimli Alüminyum Sacın Çekme Oranı Limitinin Belirlenmesi, TEKNOLOJİ, Cilt 8, Sayı 2, 215-221.

GÖRÜR,B. VELİ, AKDOĞAN A., YURCİ, M. EMİN, 2003, Optik Ölçme Yöntemlerinin Sac Ve Plastik Parçaların İmalatındaki Sayısallaştırma Tersine Mühendislik Ve Muayene Prosesleri Yönünden Sağladığı Yararlar, Sayı 527.

KALPAKJIAN and SCHMID, 2003, Manufacturing processes for Engineering Materials, Prentice Hall.

KARALI M., 2007, Derin Sac Çekme İşleminde Kalıp Bosluğunun Cidar Kalınlık Değişimine Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 55-60.

<http://www.advantagefabricatedmetals.com/embossing-process.html>, 2008.

<http://www.assan.com.tr/urunlerimiz/>, 2008.

<http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa>, 2008.

<http://www.grupotomasyon.com.tr/makale.html#mak1>, 2008.

http://www.kalip.net/b2b/tur/~sac_kalipciligi.php, 2008.

<http://www.matweb.com/search/>, 2008.

<http://www.metalurji.org.tr/dergi>, 2008.

<http://www.osd.org.tr/Aluminyum%20Raporu>, 2008.

<http://www.ompasas.com.tr>, 2008.

<http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/kaliplama/bukme.php>, 2008.

<http://www.thefabricator.com/PressTechnology>, 2008.

<http://www.tudelft.nl/live/>, 2008.

<http://www.turkcadcam.net/rapor/malzeme-secimi>, 2008.

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçiminden çalışmanın tamamlanmasına kadar geçen süre içerisinde gösterdiği yardımlarından dolayı Doç.Dr. Reşat ÖZCAN'a ve tez danışmanım Prof.Dr. Sedat ÜLKÜ'ye, malzemelerin teminini sağlayan OMPAŞ firmasına, ezme işlemlerinde yardımcı olan POLİKOR firmasına, birikimlerinden istifade ettiğim FİGES firmasına teşekkür eder, eğitim hayatım boyunca desteklerini ve sabırlarını esirgemeyen babam Remzi GÜLER ve annem Tevhide GÜLER'e, minnettarlığımı sunarım. Ayrıca TÜBİTAK 'a yapmış olduğu maddi desteklerden ötürü teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Bursa ilinde doğdu. İlk öğrenimini Süleyman Çelebi İlkokulu'nda, orta öğrenimini Osmangazi İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 1996-2000 yılları arasında Bursa Erkek Lisesi Yabancı Dil Ağırlıklı Bölümü'nde öğrenim gördü. 2001 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde eğitime başladı ve 2005 yılında tamamladı. 2002-2006 yılları arasında Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümün'de Yan Alan eğitimi gördü. 2006 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı ve Mekanik Bilim Dalında Yüksek Lisans programına başladı.