

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



DERİN ÇEKME KALIPLARIYLA YAPILAN PLASTİK
ŞEKİL VERME İŞLEMLERİNİN ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR ŞEN

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK

BOLU, NİSAN - 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Uğur ŞEN tarafından hazırlanan “**DERİN ÇEKME KALIPLARIYLA YAPILAN PLASTİK ŞEKİL VERME İŞLEMLERİNİN ANALİZLERİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir. 3/04/2024

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Sabri Öztürk
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Murat Pakdil
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Doç. Dr. Fevzi Çakmak Bolat
Kocaeli Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

UĞUR ŞEN

ÖZET

DERİN ÇEKME KALIPLARIYLA YAPILAN PLASTİK ŞEKİL VERME İŞLEMLERİNİN ANALİZLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR ŞEN

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SABRİ ÖZTÜRK)

BOLU, NİSAN - 2024

XV + 93

Bu çalışmada vazgeçilmez seri üretim yöntemlerinden biri olan derin sıvama işlemi incelenmiştir. Soğuk sac şekillendirme yöntemi seri üretim yöntemlerinin vazgeçilmez bir modelidir. Derin sıvama yöntemin ile birçok zor geometrik şekilli kaplar üretilebilmektedir. Bu üretim yöntemlerinin uygulanmasında karşılaşılan birçok olumsuz faktör vardır. Bu faktörler sıvama radyüsü, sac hammadde, çekme hızı, sac kalınlığı, çekme oranı, ürün geometrisi gibi birçok faktör ele alınmıştır.

Derin sıvama işleminde form verme operasyonunun nümerik analizi LS-DYNA yazılımı yardımı ile incelenmiştir. Farklı sac kalitesi ve kalınlıklarındaki ham maddeleri farklı hadde yönleri ile yapılan deneyler ile hammadde maliyetlerin de iyileştirme, sac metal kalıp tasarımlarının ve imalat süreçlerinin daha kısa sürelerde tamamlanması hedeflenmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Derin Sıvama, Çekme, Kalıp, Sac Şekillendirme, Sac Levhalar

ABSTRACT

ANALYSIS OF PLASTIC FORMING PROCESSES DONE WITH DEEP DRAWING MOLDS

MSC THESIS

UĞUR ŞEN

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. SABRİ ÖZTÜRK)

BOLU, APRIL 2024

XV + 93

In this study, deep drawing process, one of the indispensable mass production methods, was examined. The cold sheet forming method is an indispensable model of mass production methods. Many difficult geometric shaped vessels can be produced with the deep drawing method. There are many negative factors encountered in the application of these production methods. Many factors such as blanking radius, sheet raw material, drawing speed, sheet thickness, drawing ratio and product geometry are discussed.

The theoretical analysis of the forming operation in the deep drawing process was examined with the help of ANSYS/LS-DYNA software. Experimental, theoretical and practical experiments with different sheet metal thicknesses and different raw materials with different rolling directions aim to improve raw material costs and accelerate mold design and manufacturing processes.

KEYWORDS: Deep Drawing, Drawing, Mold, Sheet Metal Forming, Sheet Metal

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	xi
FOTOĞRAF LİSTESİ	xii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xiii
TEŞEKKÜR	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	4
3. SAC METAL KALIPLARI ve DERİN SIVAMA	7
3.1. Derin Sıvama İşlemleri.....	7
3.1.1. Sıvama Kalıbı Elemanları	9
3.1.2. Üst Kalıp Plakası (Kalıp Hamili)	9
3.1.3. Alt Kalıp Plakası (Kalıp Hamili).....	9
3.1.4. İstanpa (Sıvama Çeliği).....	10
3.1.5. Çıkarıcı Miller	10
3.1.6. Pot Çemberi.....	10
3.1.7. Sıvama Dişi Çelikleri (Matris)	10
3.2. Derin Sıvama Ekipman ve Makinaları	10
3.2.1. Hidrolik Pres Makinaları.....	10
3.2.2. Pot Çemberleri	12
3.2.3. Kalıplar.....	12
3.2.4. Federler	14
3.3. Derin Sıvama Operasyonlarında Oluşan Gerilmeler	14
3.3.1. Derin Sıvama Operasyonunu Etkileyen İşlem Faktörleri	16
3.3.2. Çekme Hızı.....	17
3.3.3. Kalıp Geometrisi	19
3.3.4. Sıvama Boşluğu	21
3.3.5. Sac Levha (Ham madde) Geometresi	22
3.3.6. Yağlama	23
3.3.7. Tokluk	26
3.3.8. Pot Çember Basıncı.....	27
3.3.9. Ham Maddenin Kimyasal Bileşiğinin Şekillendirmeye Etkisi	29
3.3.10. Kalıntı Gerilmeler	31
3.3.11. Geri Yaylanma	32
3.3.12. Elastisite Modülü	32

3.3.13.	Anizotropi Katsayısı.....	32
3.3.14.	Pekleşme Üsteli.....	33
3.3.15.	Akma Dayanımı	36
3.3.16.	Birim Şekil Değiştirme Hız Duyarlılığı	36
3.3.17.	Sac Kalınlığı ve Tane Boyutu	37
4.	SAC METAL KALIP TASARIMLARI VE KALIPÇILIK.....	40
4.1.	Kalıp Tasarımları ve Dikkat Edilmesi Gerekenler	40
4.2.	Kalıp Dizaynı	41
4.3.	Yerleşim Planı ve Ölçeklendirmeler	41
4.4.	Üretim Planlamaları	42
4.5.	İş Güvenliği ve Emniyet.....	42
4.6.	Sac Hurdalarının Boşaltılması.....	42
5.	METARYAL VE YÖNTEM	43
5.1.	Materyal.....	43
5.1.1.	Deneylerin Malzemeleri.....	43
5.1.2.	Deney Numunelerin Hazırlanması.....	43
5.1.3.	Çekme Testi Cihazları.....	47
5.1.4.	Ls-Dyna ile Sac Metal Şekillendirme Similasyon ve Analizi.....	47
5.1.5.	Farklı Sac Kalitesi ve Kalınlıklarda Numune Denemesi	47
5.2.	DeneySEL Çalışmalar	56
5.2.1.	Sac Ham Maddelerin Test Parametleri	57
5.3.	Sonlu Eleman Metodu	81
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	89
7.	KAYNAKÇA.....	91
8.	ÖZGEÇMİŞ	93

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Derin Sıvama Operasyonu Başlangıcı (Gündü, 2000).	7
Şekil 3.2. Derin Sıvama Operasyonu Bitişi (Gündü, 2000).....	7
Şekil 3.3. Derin sıvama operasyonunda basılan 3 boyutlu sac parça (Çetin, 2007).	8
Şekil 3.4. Basit Sıvama Kalıp Elemanları (Çetin, 2007).	9
Şekil 3.5. Düz Bir Sacın Form Verilme Basamakları (Güneş, 1990).	15
Şekil 3.6. Form Sonu (Korkmaz & Gavas 2005).	15
Şekil 3.7. Çekme İşleminde Oluşan Hataları (Simith, 1990).	17
Şekil 3.8. Eksantirik ve Hidrolik preslerde kuvvet aktarımı (Çetin, 2007).	18
Şekil 3.9. Çekme Kalıbındaki a) Sac Değişim Bölgeleri, b) Kalıbın Bölgeleri (Bal, 2007).	20
Şekil 3.10. Çekme Boşluğu (Güneş, 1989).	21
Şekil 3.11. Gerilme – Gerilim Bölgesinde Muhtemel Kırışıklık Alanları (Mamalis,1997).	22
Şekil 3.12. Çekilen Kap Duvarlarındaki Gerilmeler (Mamalis,1997).	23
Şekil 3.13. Şekillendirme diyagramına yağlamanın etkisi a) Yağlayıcı kullanılmamış b) Yağlayıcı kullanılmış (Taşdemir, 2013).	25
Şekil 3.14. Düşük karbonlu çeliklerin pres altında form almasında yaygın olarak kullanılan yağlayıcılar (Müftüoğlu, 2014).	26
Şekil 3.15. Gerilme-birim uzaman eğrisi ile şekil değiştirme enerjisinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi (Erdir, 1995).	27
Şekil 3.16. Çeşitli çelik sınıfları için çatlak ve kırışıklıklara pot çemberi kuvvetinin etkisi (Çatkafa, 2019).	28
Şekil 3.17. Demir Karbür Denge Diyagramları (Bal, 2007).	31
Şekil 3.18. Derin çekme işleminde düzlemsel anizotropi katsayısına bağlı kulak oluşumu (Colgan, 2003).	33
Şekil 3.19. Pekleşme üssü, n'nin sayısal olarak ifade edilmesi (Kırlı, 2003).	34
Şekil 3.20. Mühendislik ve gerçek gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı (Kırlı, 2003).	35
Şekil 3.21. Pekleşme üsteli “n” değerinin hesaplanması (Kırlı, 2003).	35
Şekil 3.22. Birim Şekil Değiştirme (Ghouati, 1998).	37
Şekil 3.23. Çeşitli levhalar için Erichsen kap yüksekliği ile levha kalınlığı arasındaki ilişki (Çetin, 2007).	37
Şekil 3.24. Malzeme Kalınlığının % Uzama Değeriyle Değişimi (Özçelik, 2008).	38
Şekil 3.25. Çeliğinin İç Yapı Görüntü Analizleri Ve Bölgesel Sertlik Değerleri (Kırlı, 2003).	39
Şekil 5.1. Alusi Kalite 0,72 mm Kalınlık Çekme Testi	57
Şekil 5.2. Alusi Kalite 0,7 mm Kalınlık Ericsen Testi.....	58
Şekil 5.3. Alusi Kalite 0,5 mm Kalınlık Çekme Testi	59
Şekil 5.4. Alusi Kalite 1,01 mm Kalınlık Çekme Testi	60
Şekil 5.5. Galvaniz Kalite 1,00 mm Kalınlık Çekme Testi	61
Şekil 5.6. Galvaniz Kalite 0,80 mm Kalınlık Çekme Testi	62
Şekil 5.7. Galvaniz Kalite 0,70 mm Kalınlık Sac Çekme Testi.....	63
Şekil 5.8. Galvaniz Kalite 0,45 mm Kalınlık Ericsen Testi.....	64
Şekil 5.9. İnox Kalite 0,60 mm Kalınlık Çekme Testi.....	65

Şekil 5.10. İnox Kalite 0,6 mm Kalınlık Ericksen Testi.....	66
Şekil 5.11. İnox Kalite 0,70 mm Kalınlık Çekme Testi	67
Şekil 5.12. İnox Kalite 0,78 mm Kalınlık Çekme Testi	68
Şekil 5.13. İnox Kalite 0,99 mm Kalınlık Çekme Testi	69
Şekil 5.14. İnox Kalite 1,00 mm Kalınlık Sac Çekme Testi.....	70
Şekil 5.15. Dc04 (DIN EN 10130-91) Kalite 0,51 mm Kalınlık Çekme Testi.....	71
Şekil 5.16. Dc04 Kalite 0,6 mm Kalınlık Çekme Testi	72
Şekil 5.17. Dc04 Kalite 0,57 mm Kalınlık Erichsen Testi.....	73
Şekil 5.18. Dc04 kalite 0,66 mm kalınlık çekme testi	74
Şekil 5.19. Dc04 Kalite 0,69 mm Kalınlık Çekme Testi	75
Şekil 5.20. Dc04 Kalite 0,77 mm Kalınlık Çekme Testi	76
Şekil 5.21. Dc04 Kalite 0,79 mm Kalınlık Çekme Testi	77
Şekil 5.22. Dc04 Kalite 0,79 mm Kalınlık Erichsen Testi.....	78
Şekil 5.23. Dc04 Kalite 0,96 mm Kalınlık Çekme Testi	79
Şekil 5.24. Dc04 Kalite 1,26 mm Kalınlık Çekme Testi	80
Şekil 5.25. Analiz Parça Yerleşimi	81
Şekil 5.26. Dc04 Kalite Dört Değişik Kalınlık Çekme Testi.....	83
Şekil 5.27. Çekme Testi Diyagramı	84
Şekil 5.28. 0,67 mm Ham Madde Analizi	85
Şekil 5.29. 0,77 mm Ham Madde Analizi	86
Şekil 5.30. 0,86 mm Ham Madde Analizi	87
Şekil 5.31. 0,95 mm Ham Madde Analizi	87
Şekil 5.32. Sonlu Elemanlar Analizinin Deneysel Sonuç İle Karşılaştırılması	88

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. Çekme hızları (Simith, 1990).....	18
Tablo 3.2. Bazı Ham Maddeler İçin Pot Çemberi Basınçları (Bal, 2007).....	29
Tablo 3.3. Düşük Karbonlu Çeliklerin Derin Çekilmesinde Pot Çemberi Kuvvetleri (Bal, 2007).....	29
Tablo 5.1. Dc04 malzemesinden imal edilmiş farklı kalınlıktaki numunelere ait mekanik özellikler	84

FOTOĞRAF LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Fotoğraf 3.1. Çift Tesirli Hidrolik Pres.....	11
Fotoğraf 3.2. Tek Tesirli Hidrolik Pres.....	11
Fotoğraf 3.3. Sac metal kalıpları.....	13
Fotoğraf 3.4. Prograsif Kalıp	13
Fotoğraf 3.5. Sac Parça Üzerindeki Federler (Karaağaç & Özdemir, 2011).	14
Fotoğraf 5.1. Çekme Testi Numuneleri	43
Fotoğraf 5.2. Çekme Test Cihazı	44
Fotoğraf 5.3. Çekme Test Programı.....	44
Fotoğraf 5.4. Çekme Testi.....	45
Fotoğraf 5.5. Çekme Test Ekipmanı	45
Fotoğraf 5.6. Çekme Testi Numunesi	46
Fotoğraf 5.7. Test Cihazı	46
Fotoğraf 5.8. 600 Ton Hidrolik Pres ve İlk Operasyon	48
Fotoğraf 5.9. İlk Operasyondan Çıkan Ürün.....	49
Fotoğraf 5.10. İkinci Operasyondan Çıkan Ürün.....	50
Fotoğraf 5.11. Nihai Ürün.....	51
Fotoğraf 5.12. İkinci Sıvama Operasyonu	52
Fotoğraf 5.13. Dc04 Kalite 0,6 mm Sac Kalınlık Denemesi	53
Fotoğraf 5.14. Dc04 Kalite 0,67 mm Sac Kalınlık Denemesi	53
Fotoğraf 5.15. Dc04 Kalite 0,7 mm Sac Kalınlık Denemesi	54
Fotoğraf 5.16. Dc01 (Jıs G 3141:2011) Kalite 0,72 mm Sac Kalınlık Denemesi	54
Fotoğraf 5.17. Dc01 0,77 mm Sac Kalınlık Denemesi	55
Fotoğraf 5.18. Dc01 0,86 mm Sac Kalınlık Denemesi	55
Fotoğraf 5.19. DC01 0,9 mm Sac Kalınlık Denemesi	56
Fotoğraf 5.20. DC04 0,95 mm Sac Kalınlık Denemesi	56

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

B	: Sekil fonksiyonlarının türevlerini içeren matris
D	: Malzeme özellikleri matrisi
Dc01	: (Jıs G 3141:2011) kalite sac
Dc04	: Dın En 10130-91 kalite sac
DP	: Çift fazlı çelik
E	: Elastisite modülü
e	: Birim sekil değiştirme
ϵ	: Gerçek birim sekil değiştirme
F	: Kuvvet
FEM	: Finite element metot
FSI	: Akışkan-Yapı Etkileşimi
G	: Kayma modülü
HRA	: Rocwell sertlik ölçeği
K	: Mukavemet katsayısı
L	: Numune boyu
Lf	: Parça son boyu
Lilk	: Parça ilk boyu
l	: Birim uzama
m	: Gerinim hızı duyarlılığı
M	: Kütle
n	: Pekleşme üssü
P	: Basınç
rk	: Kalıp kavisi
rz	: Zımba kavisi
SEM	: Sonlu elemanlar metodu
V	: Hacim
U	: Yer değiştirme vektörü
u	: İvme
t	: Zaman
ν	: Malzemeye ait poisson oranı
σ	: Gerçek gerilme
σ_y	: Akma gerilmesi

τ	: Kayma gerilmesi
μ	: Sürtünme katsayısı
Q	: Kuvvet vektörü
$R^{\rightarrow}$	: Ortalama derin çekilebilirlik oranı



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın hazırlanmasında bilgi ve tecrübesiyle her zaman yanımda olan, yapıcı yorumlarıyla daima desteklerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK ve saygıdeğer desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Mehmet Fatih KAHRAMAN hocama teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullandığım makine parkuru, sac metal parçaların, test ekipmanlarının sınırsız kullanımlarını bana sağladığı ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Serdar Makine Sanayi fabrikasına teşekkür ederim.

Son olarak eğitim hayatım boyunca yanımda olan aileme ve tez çalışmalarımın bütün safhalarında yanımda olan bana destek olan Yüksek Tekstil Mühendisi eşim Merve KARAKAYA ŞEN'e teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Derin sıvama yöntemi, metalik sac levhaların veya sac ruloların sıvama kalıplarında soğuk deformasyon ile şekillendirilme prosesine dayanan bir üretim metodudur. Bu üretim yönteminin kullanıldığı başlıca alanlar arasında havacılık, gıda sanayisi, otomotiv sektörü, beyaz eşya üretim sektörü gibi çeşitli ve geniş çaplı bir kullanım alanına sahiptir. Otomobil sac aksamları, beyaz eşya sac aksamları, basınçlı tüp üretimleri, geometrik yapısı zor sac parçaların seri üretimi istenildiği zaman üretim yöntemi olarak derin sıvama yöntemini tercih etmek doğru olacaktır. Maliyet analizlerinin hemen hemen tüm üretim yöntemlerine etki ettiği seri imalat sektöründe genel olarak malzeme kayıplarını önlemek ve imalat süreçlerinden kazanmak için talaşlı üretim yöntemlerine göre derin sıvama imalat yöntemi çok daha ekonomik olmaktadır.

Derin sıvama imalat yönteminde izlenmesi gereken iş akış şeması, ilk olarak spesifik sac özellikleri belirlenmiş ham maddenin fabrikada istenilen ebatlarda giyotin makas ya da dilimleme hattı yardımı ile kesilip derin sıvama işlemine uygun hale getirilmesi adımı ile başlamaktadır. Sac ham maddelerin şekillendirilmesinde birçok üretim yöntemi geliştirilmiştir. Bu üretim metotlarında genel kapsamda, sac malzemelerin belirlenen teknik özelliklere uygun presler yardımı ile tasarlanan forma sahip daha rijit kalıp elemanları yardımıyla soğuk deformasyon ile şekillendirilmesi esas alınmıştır. Sıvama kalıp elemanları bazen sertleştirilmiş çelik, vanadyum çelik bazen de özel olarak tasarlanmış kompozit ürünlerden imal edilir. Kalıp elemanlarından en yaygın olanları genel olarak sıvama erkeği olarak da adlandırılan “ıstanpa” ve sıvama dişisi olarak da adlandırılan “matris” formulu dökme demir veya çeşitli çelik ham maddelerden üretilen kalıp arasına sacın yerleştirilmesi ve orta bölümde sıvama erkeğine yani ıstanpaya uygulanan bir sıvama kuvveti ile şekillendirilmesidir.

İstenilen teknik şartlara uygun bir derin çekme işlemi için ham maddeden ürün elde edene kadar üretim proseslerine etki eden faktörlerin sonuçlarının

bilinmesi gereklidir. Derin sıvama yöntemini etkileyen bu faktörler, malzeme faktörleri ve işlem değişkenleri gibi iki başlık altında değerlendirilebilir.

1-Malzeme Faktörleri;

- a. Kalıp geometrisi
- b. Yağlama
- c. Sıvama boşluğu
- d. Ham madde kontur geometrisi
- e. Pot çemberi baskısı
- f. Sıvama hızı

2-İşlem Değişkenleri

- a. Ham madde akma dayanımı
- b. Kimyasal bileşim ve metalurjik yapı
- c. Elastisite modülü
- d. Ham madde kalınlığı ve tane boyutu
- e. Kalıntı gerilmeler
- f. Geri yaylanmalar
- g. Deformasyon sıcaklığı
- h. Anizotropi katsayı ‘r’

Üretim aşamalarında, derin sıvama operasyonlarını etkileyen faktörlerin en uygun değerlerini seçme işlemi, deneyler, tecrübeler ve bilgisayar destekli modelleme programları ile gerçekleştirilmektedir. Bu seçme yöntemleri arasında en uygun maliyetli olan deneyimlerden yararlanabilmektir. Fakat seri üretimi yapılmak istenen sac metal parçanın derin sıvama bilgilerine ulaşamadığı zamanlarda, deneme yanılma metodu seçilmektedir. Bu yöntem maliyetli bir seçimdir. Bu sebeple bilgisayar destekli modelleme yöntemleri yardımı ile derin sıvama işlemi simülasyonları yapılarak doğru değerlere ulaşabilmek için bilgiler elde edilir ve daha az maliyet ile en uygun üretim prosesleri belirlenebilmektedir. Bu sebeple günümüzde sac metal kalıp tasarımlarında bilgisayar destekli derin sıvama analiz simülasyonları yapabilecek program çeşitlerinde artış yaşanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada kapsamında sıvama işlemini etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu faktörler zımba radyüsü, sac kalınlığı, kalıp kavisleri, pres hızı, sıvama boşluğu, sıvama profili, ham madde kalitesi gibi değişken faktörler arasında sac kalınlığının ve ham madde kalite faktörünün derin sıvama işlemlerinde üzerinde

ki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu incelemelerin sonuçları doğrultusunda ham madde kalitesi ve sac kalınlıkların seçilmesi, sıvama kalıp tasarımlarının daha kısa sürelerde yapılabilmesi ve ham madde kalınlıklarının ve çeşitlerinin doğru seçimlerinin sağlanabilmesi ile maliyetlerin en aza indirilebilmesi hedeflenmiştir. Günümüzde seri imalat maliyetleri hesaplamaları yapılırken en büyük etkenin ham madde olduğunu bilinmektedir. Bu çalışma da ham madde maliyet analizlerinin iyileştirmelerine yardımcı olması hedeflenmektedir.

Bu tez kapsamında ham madde maliyetlerinin azaltılması için sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı kalitede ham maddeler kullanılmıştır, farklı kalınlıkta ham maddeler kullanılmış testleri yapılmıştır. Farklı üretim metotları da kullanılarak iyileştirmeler yapılmıştır.

Denemelerde derin sıvama işleminin hasarsız yapılabilmesi için parça ile kalıp sıvama çeliği arasına naylon koyuldu. Bu yöntem ile 0,95 mm kalınlığındaki sac levhada hasar önlenmedi fakat 0,86 mm, 0,77 mm ve 0,67 mm kalınlığındaki sac levhada hasar önlenememiştir. Aynı kalite sac denemeleri sıvama yağı ile denenmiştir. 0,95 mm sac levhalarda hasar oluşmadan proses tamamlandı.

Sonlu elemanlar metodu ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır ve sonlu eleman modeli deneysel veriler ile örtüştürüldü. Optimum sac kalınlığı ve sac kalitesi belirlendi.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılan çalışmada açılı derin çekme kalıplarında matris ve zımba radyüsünün çekme oranına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada ülkemizde sıkça kullanılan 1 mm DKP 37 kalitesinde sac kullanılmıştır. Sac kalitesini belirtmek için mohr_federhalf losonhouson cihazında 20 tonluk çekme yükü kullanılarak 2 mm/sn hızla çekme testi uygulanmıştır. Test sonucunda akma gerilmesini 276,5 MPa, çekme gerilmesini 365,7 MPa sertlik test sonucu da 42,375 HRA olduğunu tespit etmiştir. Deney numuneleri 55x55 mm'den başlayarak 72x72 mm ölçüye kadar kullanılmıştır. Deneylerde 0°, 2,5°, 7,5°, 12,5°, 15° matris ve baskı plakası açıları radyüs olarak r=10 mm, r=8 mm, r=6 mm, r=4 mm kullanılmıştır. Çalışmalarının sonucunda radyüs arttıkça çekme oranının arttığı görülmüştür (Özek, 2007).

Derin sıvama operasyonunda şekil vermeye etki eden parametrelerinin etki düzeylerinin belirlenmesi amacıyla silindirik ve kare çekme kalıpları üzerinde çalışmalar yapıldı. Belirlenen parametreler değerleri aralığında çekme deneyleri gerçekleştirildi. Çekme yüksekliği sabit tutmak sureti ile her deney sonunda pres baskı hızı değiştirilerek 4 farklı pres hızında uygulandı. Silindirik çekme işlemleri için 288 ve kare çekme işlemleri için 216 olmak üzere toplam 504 adet farklı parametre değeri kullanıldı. Sac üzerinde meydana gelen deformasyonların analizleri için dynaform 5.2 ve autoform 4.07 paket programları kullanıldı. Çekme hızında ki artışı ile doğru orantılı olarak, çekme kuvvetinin düştüğü görüldü. Çekme hızını artıran değerlerde ise çekilebilirlik oranlarının düştüğü, yırtılma ve kırışmalarının daha çok meydana geldiği görüldü (Gürün, 2008).

AA 5754 malzemesinin derin sıvama yöntemi ile soğuk-sıcak şekillendirilmesi ve sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile analizi tamamlanmıştır. Yapılan deneylerde 60 tonluk bir hidrolik pres kullanılmıştır. Sabit zımba basıncı altında baskı plakası kuvveti 1,5-2-3-4-5 MPa, 25°C -220°C de çekilen kalıpların cidar kalınlık değişimi incelenmiştir. Sıcaklığın malzeme üzerindeki çekilmeyi kolaylaştıran olumlu etkisi olduğu ve sıcaklık arttıkça kalıbın çekilebilme oranı artmaktadır. Bu artışı ile birlikte malzemenin cidar kalınlığında gözle görülebilen bir incelmeye olduğu gözlemlenmiştir (Akıllı, 2010).

Bu çalışmada girdi parametresi olarak sac malzemenin kalınlığı ve teknik özellikleri, baskı plakası basıncı, kullanılan yağ, sıvama kalıbının, kalıp

elemanlarının pozisyonu alındı. Çekme operasyonu için 800*350*295 mm ebatlarında trapez şekilli olarak alınan, yapılan deneme çalışmaları sonucunda 720*330*255 mm ebatlarında ki trapez malzemeden üretilerek parça basım maliyetleri düşürülmüştür (Göl, 2005).

800 KN olup 1 MN kapasitesinde yük hücresi ile donatılmıştır. Araştırmaya esas olan malzeme, bir çift faz çeliği olan Dp 600 yüksek mukavemet çeliğidir. Bu çeliğin yanında 7128 ve 7140 sınıflı yüksek mukavemet düşük alaşımlı çeliklerde kullanılmıştır. Malzemelerin çekme testleri 300 KN Zwick tek eksenli cihazlarda yapılmıştır. 150°C - 300°C sıcaklık aralıklarında tekrarlanmıştır. Sonuç olarak oda sıcaklığında elde edilen değerlere göre en yüksek oranda artış %25,58 ile 1,2 mm kalınlığında ki Dp 600 çeliği olmuştur. Dp 600 çeliğin bütün kalınlıklarında ki çekme oranında ki artışı diğer hsl ve if çeliklerine göre daha yüksektir (Kaftanoğlu & Kayhan, 2016).

Derin sıvama işlemine etki eden faktörler, çekme derinliği, şekillendirilmemiş sacın kesim hattı, hammadde, sac kalınlığı, kalıp yüzeylerinin geometrik formu, iş parçasının kalıp üzerine açısı, süzme kanallarının yerleşimi ve derinliği, pot çemberinin baskı kuvveti, şekillendirme işleminin tekniği kullanılmıştır. Şekillendirme işlemi için sonlu elemanlar yöntemi ile explicit analizinin tutarlı sonuçlar verdiği ve tasarımı yönlendirmek için kullanılabileceği sonuçlarını elde etmiştir. İstenilen parçanın kalıptan kusursuz çıkması bilgisayar destekli çözümler olmadan deneme yanılma yolu ile yapıldığında maliyeti oldukça yüksektir ve uzun zaman alan çalışmalardır (Çetin, 2007).

Düzlem şekil değişimli basma deneyleri için INSTRON 4505 üniversal test sistemi tercih edilmiştir. Çekme testinde kullanılan numuneleri DIN 50144 belirtildiği boyutlarda kesilmiştir. Kesme işlemi fiber optik lazer makinalarında kesilmiştir. Deney sırasında yük 5 mm/dak. Sabit hız ile uygulanmış ve gerilme 5KN luk yük algılayıcısı ile ölçülmüştür. 2 farklı firmadan alınan sacların, her farklı dökümünde üretilen saclar olarak sınıflandırma yapılarak alınan sac rulolarının kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan araştırmanın sonucunda hadde diyagramı çizilmiştir. Hadde yönünde ki dik yönde ki çekme numuneleri en güvenli bölgede çıkmıştır (Gündü, 2000).

Yapacağımız denemelerde farklı kalite sac levhalar test edilecektir. Farklı kalınlıklarda ham maddeler ile deneme yapılacaktır. Denemeler yapılırken bazı yardımcı maddeler kullanılacaktır. Bu yardımcı ürünler sıvama yağı ve naylondur.

Farklı pres hızlarında denemeler yapılacaktır. Çalışmalar sonunda ham madde maliyetlerinde iyileştirmeler hedeflenmektedir.



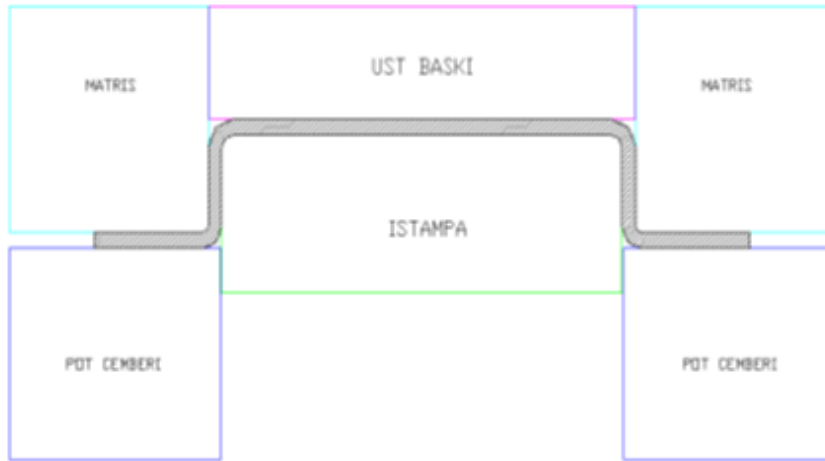
3. SAC METAL KALIPLARI ve DERİN SIVAMA

3.1. Derin Sıvama İşlemleri

Düz geometriye sahip iki boyutlu bir iş parçası (metal levha) derin sıvama kalıbının oluşturan kalıp elemanları desteği ile ve ıstanpa yani sıvama erkeği sayesinde hidrolik pres de çökertmek veya farklı bir deyişle sac levhanın sıvama matrisi içersine sıvanarak bir yükseklik ve çeşitli formlara sahip üç boyutlu malzemeler üretilme işlemime derin sıvama işlemi olarak tanımlanır.



Şekil 3.1. Derin Sıvama Operasyonu Başlangıcı (Gündü, 2000).



Şekil 3.2. Derin Sıvama Operasyonu Bitişi (Gündü, 2000).

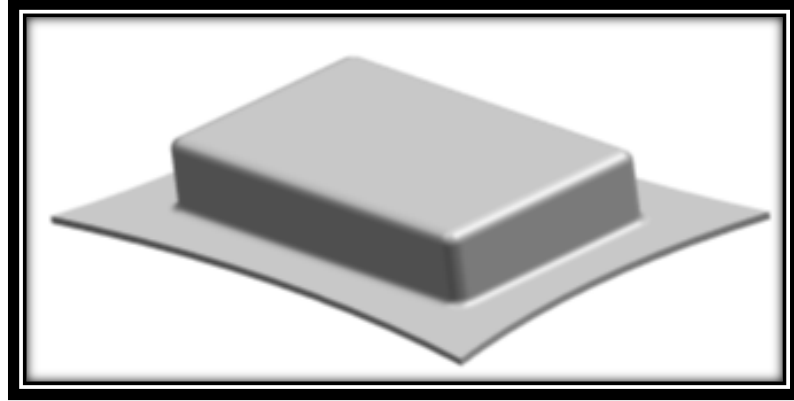
Başlangıçta So kalınlığında bir sac levha başlangıç ve bitiş işlemleri Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Hidrolik pres tablasına bağlı sıvama kalıp elemanlarından üst kalıp plakası sıvama işlemine başladıktan sonra, sac ham madde

dişı sıvama çeliği ve pot çemberi vasıtası ile sac levha sıkıştırılır ve sıvama erkeği dış çeperine sıvanarak elde edilmek istenen iş parçası üretilir. Gerçekleştirilen sıvama işlemi derin sıvamalar arasında yaygınca kullanılan kap sıvamadır.

Derin sıvama operasyonu Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu prosese göre;

1. İlk olarak sac levha sıvama kalıbı üzerine yerleştirilir
2. Hidrolik presin düşey hareketi başlatılır ve üst baskı plakası sac levhaya üzerine doğru hareket ettirilir ve sac levha sıkıştırılır.
3. Hidrolik presin koçu Z ekseninde hareketine devam eder. Sac levha sıvama dişisi ve pot çemberi arasına sıkıştırılır.
4. Hidrolik pres Z yönünde harekete devam ederek sıkıştırılmış sac levhayı sıvama erkeği üzerine bastırmak sureti ile derin sıvama işlemini tamamlar.
5. Derin sıvama operasyonu bittikten sonra hidrolik presin koçu tersi istikamet de

Z ekseninde hareketine devam ederek sac levhadan uzaklaşır. Pot çemberi ile dışı sıvama çeliği arasına sıkışan sac levha yukarı istikamet de hareket etmeye başlar ve sıvama kalıbından ayrılır. Şekil 3.3’de derin sıvama prosesinden çıkan bir ürün görseli paylaşıldı.



Şekil 3.3. Derin sıvama operasyonunda basılan üç boyutlu sac parça (Çetin, 2007).

Üretilmek istenilen sac parçaların kalıp setleri, ürün çizimleri tamamlandıktan sonra tasarlanmaya başlanır. Genel olarak manuel kalıp ve progresife kalıplar olarak adlandırılan sac metal kalıp setlerinin ilk operasyonunu sıvama kalıpları oluşturmaktadır. Bazı parça özelinde çevre kesme kalıpları, sıvama

örneği Şekil 3.4’de bulunmaktadır.

Derin sıvama operasyonlarında kullanılmak üzere tasarlanan bir form kalıp örneği Şekil 3.4’de bulunmaktadır.



Üst kalıp plakasını, hidrolik preslerin üst tablası ile sıvama kalıp setlerini birbirine bağlamak için kullanılır.

9

3.1.4. İstanpa (Sıvama Çeliği)

Sac levhaya kendi formunu vermek için kullanılır. Sac levhanın sıvama dişisi içerisine doğru hareket ettirilmesi sağlar. Şekil verme işleminde ilk olarak sac levha sıvama çeliği ile işleme başlar. Devamında ise sac levha sıvama çeliği üzerinde şekil almaya başlar. Pres baskısının devam ettirilmesi ile birlikte sac levha nihai şeklini almaktadır.

3.1.5. Çıkarıcı Miller

Hidrolik pres alt tablasının altında mevcut olan yastık diye tabir edilen kısımlardan pot çemberi için gerekli olan kuvvetin iletilmesi sağlamaktadır.

3.1.6. Pot Çemberi

Sac levhanın sıvama çeliği ile sıkıştırılmasını sağlayan pot çemberi matris içerisinde sac levhanın doğru bir şekilde akmasına yardımcı olmaktadır. Şekil verme işlemi başlangıcında sac levhanın gerilerek potluk oluşturmalarının önüne geçilmesi için kullanılmaktadır.

3.1.7. Sıvama Dişi Çelikleri (Matris)

Sıvama çeliği yani matrisler, sacın pot çemberi ile sıkışmasını sağlar, sacın nihai şeklini almasını sağlar. Şekil verme işlemi sırasında sac levha matris içerisinde ilerledikçe sıvama erkeği ve dişi çelik çevresindeki formlardan dolayı mukavemet kazanır.

3.2. Derin Sıvama Ekipman ve Makinaları

3.2.1. Hidrolik Pres Makinaları

Sac levhaların derin sıvama operasyonları, hem hidrolik tek tesirli preslerde, hidrolik çift tesirli preslerde hem de eksantirik preslerde yapılabilir. Fakat derin sıvama operasyonları için genel olarak çift tesirli hidrolik presler kullanılır ve alınan sonuçlar daha rijit olmaktadır. Çift etkili hidrolik preslerde elde edilen sonuçlar incelendiğinde sac parçalara verilmek istenilen şekiller tolerans değerleri içerisinde olur. Çift etkili hidrolik presler sıklıkla kalıp yastıklamaları ile birlikte kullanılmaktadır. Bunun sebebi ise çift etkili hidrolik preslerde sabit bir çekme hızı elde edilmesi ve strok uyumu bu preslerin derin sıvama operasyonlarında tercih görme sebeplerindendir (Güneş, 1990). Fotoğraflar 3.1 ve 3.2’de hidrolik pres çeşitleri gösterildi.



Fotoğraf 3.1. Çift Tesirli Hidrolik Pres



Fotoğraf 3.2. Tek Tesirli Hidrolik Pres

3.2.2. Pot Çemberleri

Sac levhada oluşmasını istemediğimiz potlukların olmaması için derin sıvama işlemi yapılırken pot çemberleri kullanılır. Derin sıvama kalıplarında ve genel olarak sıvama işlemi gerçekleştirilen kalıp setlerinin vazgeçilmez bir kalıp elemanıdır pot çemberi. Potlut, üretilen sac parçanın kenarından çeperine doğru oluşan metal dizilişini bozan bir düzen içerir (Güneş, 1990). Daha yüksek sıvama boyutlarına ulaşmak için pot çemberi kullanmak daha doğru bir seçim olacaktır.

Çift etkili hidrolik preslerde ve tek etkili hidrolik preslerde pot çemberleri kullanılabilir. Çift tesirli hidrolik preslerde, pot çemberi sıvama çeliği önünde ağır ağır ilerleyerek sıvama operasyonu süresince alt ölü noktada bulunur. Tek tesirli hidrolik preslerde de kalıp yastığı ve ters döndürülmüş sıvama kalıbı kullanımı ile aynı etkiye ulaşılabilir.

3.2.3. Kalıplar

Sac levha parçalarına form ve kesme gibi işlemler için kullanılan, yaptıklarını işleve göre delme kalıpları, kesme kalıpları, çekme kalıpları, derin sıvama kalıpları gibi kategorilere ayrılabilirler. Farklı operasyonlar içinde, benzer kategorilerde adlandırılabilirler (Güneş, 1990). Fotoğraflar 3.3 ve 3.4’de sac metal kalıpları gösterilmiştir. Bazı kalıp çeşitleri aşağıdaki gibidir;

- Sac Kesme Kalıpları
- Sac Bükme Kalıpları
- Sac Sıvama Kalıpları
- Prototip Kalıp.
- Prograsif Kalıp.
- Platin bushing Kalıbı
- Platin Krone Kalıbı vb.



Fotoğraf 3.3. Sac metal kalıpları



Fotoğraf 3.4. Prograsif Kalıp

3.2.4. Federler

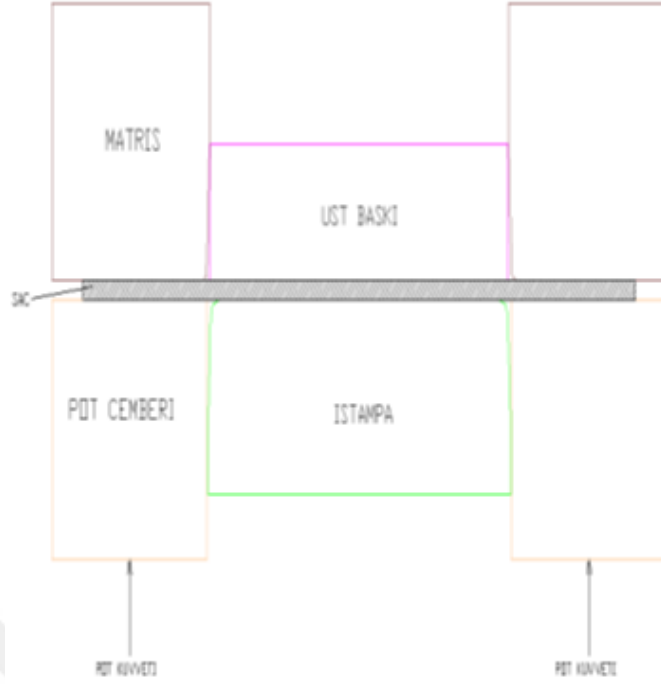
Kalıp tasarımları yapılırken, sac parça çizimlerinde kullanılan federler derin sıvama operasyonlarında oluşan hataların giderilmesi ve metal akışını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Feder kullanımlarında takım maliyetleri, bakım onarım maliyetleri, üretim gibi maliyet kalemlerinde artış olabilir fakat belirli bir geometriye sahip olmayan sac parçaların üretilebilmesi ve metal akışını kontrol edilmesini sağlayan bir yöntemdir (Güneş, 1990). Fotoğraf 3.5’de parçalar üzerindeki federler gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.5. Sac Parça Üzerindeki Federler (Karaağaç & Özdemir, 2011).

3.3. Derin Sıvama Operasyonlarında Oluşan Gerilmeler

Derin sıvama operasyonları süresince sac parçaların değişik yerlerinde değişik gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler derin sıvama operasyonlarında hasara ve aynı zamanda derin sıvama baskı kuvvetini etkilemektedir. Bu sebeplerden ötürü kare parçaların derin sıvama işlemlerinde gerçekleşebilecek stresleri önceden bilmek kalıp tasarımlarının doğru ve kısa sürede yapılmasını aynı zaman da üretim süreçlerinin zamanında ve istenilen teknik parametrelerde gerçekleşmesinde büyük rol oynamaktadır.



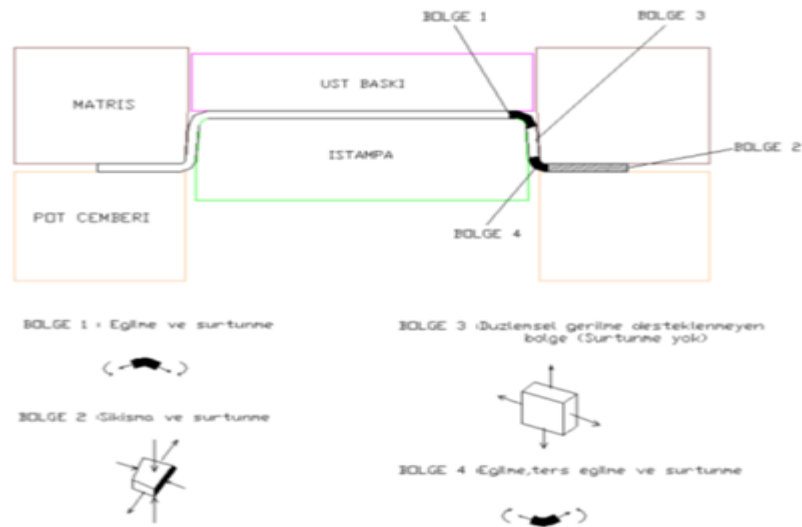
Şekil 3.5. Düz Bir Sacın Form Verilme Basamakları (Güneş, 1990).

İlk Operasyon: Sac Levhanın Sıkıştırılması

Derin sıvama operasyonunun başlangıç aşaması sac levhanın sıkıştırılması Şekil 3.5'deki gibi gerçekleşmektedir. Bu ilk operasyonda hiçbir gerilme söz konusu değildir. Sadece sac levhanın tutulma işlemi gerçekleşmektedir.

İkinci Operasyon: Sıvama

Derin sıvama operasyonunda oluşan gerilmeler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

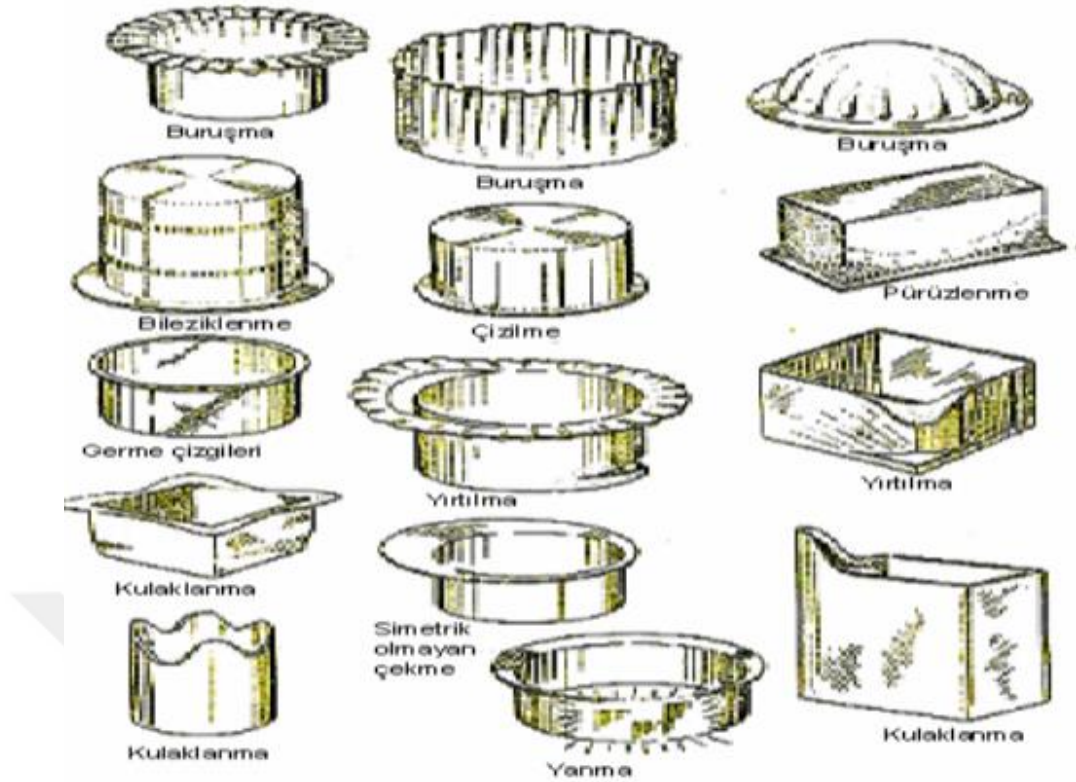


Şekil 3.6. Form Sonu (Korkmaz & Gavas, 2005).

3.3.1. Derin Sıvama Operasyonunu Etkileyen İşlem Faktörleri

Kalıp ve zimba formları, kalıp parça boşlukları, sıvama basıncı, çekme hızı, çekme derinliği, çekme kuvveti gibi değişkenler sac parçaların sıvama operasyonlarını etkileyen önemli parametrelerdir (Alıcı, 2001). Bu parametreler aynı zamanda sıvama operasyonunun sınırlarını belirlenmesinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Bu faktörler içinde sıvama çeliklerinin radyüsleri bölgesel şekil değişimlerinde çok büyük rol oynamalarında dolayı çok önemlidir. Kalıp tasarımları yapılırken keskin geometrilere sahip sac parçaların üretimleri için küçük radyüslü sıvama çeliklerini tasarlanmak zorundadır. Bu tarz operasyonlarda sıvama radyüsü bu hattı teğet geçmeli ya da sıvama operasyonunda ilk olarak bu değer büyük tasarlanmalı daha sonra kalibre operasyonunda olması gereken değere getirilmelidir. Ufak sıvama radyüsleri oluşturduğu şekil değişiklikleri yüzünden seri üretim süreçlerinde büyük zaman kayıpları ve zorluklar yaşatmaktadır. Bu zorluklar yüksek maliyetlere de yol açmaktadır. Radyüs üzerinde ki bölgesel şekil değişimleri deformasyonların farklı alanlara ilerlemesini engelleyerek sac parçalarda oluşacak hasar oranını artırmaktadır. Bu tarz küçük radyüslerde yumuşak şekil geçişleri bulunmadığı için sıvama operasyonu sırasında kalıbın şekil değişikliğini izleyememesi problemini doğurur. Genel olarak kalıp üretim süreçlerinde derin sıvama kalıpları için plaka tipi yataklamalar tasarlanmaktadır. Yataklar için kabul gören tolerans 0,1 mm'dir.

Derin sıvama operasyonlarında sac levhadaki gerilmeleri ve derin çekme miktarlarını pot çemberinin uyguladığı basınç değiştirmektedir. Pot çemberi basınç artışları derin çekmeye kıyasla plastik deformasyonu artıracaktır. Pot çemberinin sac levhaya uyguladığı basınç istenilenden fazla ise belirli bölgelerde pot çemberi ile dışı çelik arasında kalan iş parçasında yırtılmalar, çatlamlar olacaktır, tam aksi olur ise iş parçası üzerinde buruşmalar olacaktır. Şekil 3.7'de deformasyon çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Çekme İşleminde Oluşan Hataları (Simith, 1990).

Derin sıvama operasyonlarında birden fazla şekil değiştirme işlemi gerçekleştirilecek ise ilk operasyon da germe şekil değişikliğine uğrayan alanlar devamında gerçekleşecek operasyonlarda derin sıvama yapılarak şekil değiştirme operasyonuna uğrayabilirler.

Derin çekme operasyonları ile üretilen sıvama derinliği yüksek sac metal kaplarda ütüleme yöntemleri kullanılarak sac yüzeyinde ki potluklar giderilebilir ve bu işlem sırasında sac kalınlığı azaltılmaktadır. Doğru süreçler ile uygulanan bu yöntemler derin sıvama operasyonun da sac parçalarda ki ondülasyonu, potluk oluşumunu ortadan kaldırmak için gayet etkilidir.

3.3.2. Çekme Hızı

Çekme hızı, sıvama işlemine tabi tutulacak sac levhanın şekil değiştirmesini ve fiziksel özelliklerine büyük ölçüde etkilemektedir (Simith, 1990). Sıvama proseslerinde kesin kurallarla bu etki netlik kazanmamakla birlikte etkinliğinden bahsetmek çok doğrudur (Alıcı, 2001).

Deneyisel çalışmalar neticesinde belirlenmiş olan çekme hızları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çekme hızları (Simith, 1990).

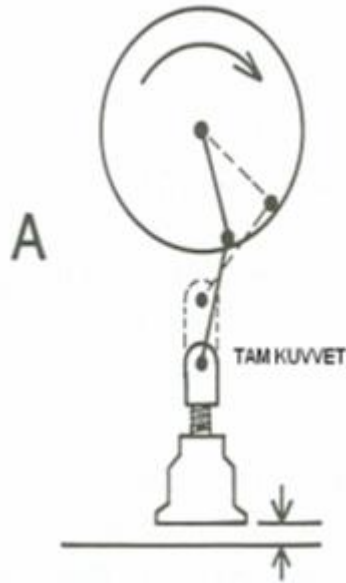
Malzeme	Çekme Hızı	
	Tek Etkili	Çift Etkili
Alüminyum	175	100
Pirinç	200	100
Bakır	150	85
Çelik	55	35-55
Paslanmaz Çelik		20-30
Çinko	150	40

Çekme hızı değerinin tespiti, eşitlik 3.1'deki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir (Simith, 1990).

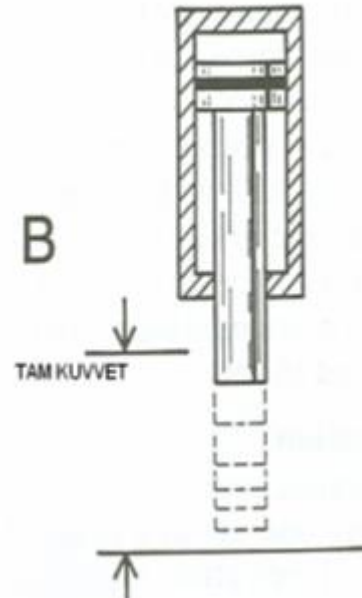
$$V=33,3\left(1+\frac{d\sqrt{D-d}}{D}\right) \text{ mm/sn} \quad (3.1)$$

Eksantrik pres makinelerinde biyel kolu hızı presin kursu boyunca değişmektedir. Şekil 3.8'de pres çeşitleri gösterilmiştir. Eksantrik preslerin oluşturduğu en büyük baskı tonajı, biyel kolu düz pozisyona geldiğinde oluşur. Hidrolik presler makinelerinde ise, biyel kolu hızı sabit tutabilmektedir buda biyel kolu hareketi boyunca sabit baskı tonajı elde etmesini sağlamaktadır (Simith, 1994).

MEKANİK PRES



HİDROLİK PRES



Şekil 3.8. Eksantrik ve Hidrolik preslerde kuvvet aktarımı (Çetin, 2007).

Derin sıvama işlemlerinde şekil değiştirme sürecinde mukavemetin değişikliklerine form alma hızları etkili olmaktadır. Diğer taraftan ise sac parçaya form alma için gereken zamanın tanınması uygun olacaktır. Genellikle zor geometrik yapılara sahip sac parçaların sıvama işlemlerinde kritik alanlarda malzeme zayıflığı artacağı için yüksek hızlara çıkılmaması gereklidir. Yapılan gözlemler ışığında derin sıvama işlemlerinde çekme hızı ne kadar artırılır ise bir o kadar sac kalınlığında azalma görülecektir (Jung, 1998).

Düşük uzama katsayısına sahip sac levhaların derin sıvama işlemleri yapılırken yağlama, sac levha ile kalıp arasına naylon malzeme serme gibi işlemler yapılmaktadır ve farklı bir yöntem olarak da elastik kaplar kullanılabilir. Sac levha istenilen forma çektilirirken elastik kaplar matris işlevi görmektedir.

Sıvama operasyonu başladığında hidrolik pres koçunun hareketi ile sıvama erkeği hareket etmeye başlar bu esnada sac levha elastik kalıp içerisinde form alır ve son olarak sıvama çeliği formuna ulaşır. Operasyon esnasında elastik kalıp tarafından sac levhaya bütün yüzeylerde eşit sıvama basıncı uygulanır.

3.3.3. Kalıp Geometrisi

Sac metal levhaların şekillendirilmesinde de kalıp çekme erkeği radyüsleri büyük önem taşır (Erdir, 1995).

Sıvama erkeğinde tasarlanan küçük ölçülerdeki radyüsler, sac üründe tasarlanan keskin köşelerin istenilen kalitede elde edilebilmesi için tasarlanan bir etmendir. Bu keskin köşe radyüsleri form değişim artışını aynı alanda biriktireceği için üretim esnasında büyük sorunlar çıkacaktır. Sac parça üzerinde ki radyüs üzerinde ki şekil değiştirme yoğunluğu sac parçada radyüslere komşu kenar bölgelerde plastik deformasyonun yayılmasını önleyerek sac parçalarda ki hatalarını artırır. Bu bölgelerde ki sac malzeme yırtılmalara ve çatlamalara mahal verecektir. Radyüslerin büyük olması ise sıvama erkeği üzerinde potluk oluşmasına sebep olacaktır (Çetin, 2007).

Sadece sıvama erkeği üzerinde radyüs vermek bazı tasarımlarda yeterli olmayacaktır. Sac levhanın kalıp girişlerindeki radyüslerde çok önemlidir. Kalıp giriş bölgelerinde radyüsler verilmez ise sac malzeme kalıp içerisinde istenilen şekilde hareket edememektedir, kesme operasyonuna benzeyen bir işlem olacaktır. Kalıp giriş radyüslerinin arttırılması form verme oranını artırırken baskı kuvvetini de azaltmaktadır. Radyüsleri fazla da büyük yapmamak gereklidir, radyüs hesaplamaları eşitlikler 3.2 ve 3.3'de verilmiştir. Bu radyüslerin büyük olduğu

durumlarda sac levha üzerinde ki baskı alanları azalacağından sac parça yüzeylerinde kırışıklıklar ve hasarlar görülür.

$$R_K = (8 \sim 10) \cdot t_0 \text{ (mm)} \quad (3.2)$$

t_0 = Sac kalınlığı (mm)

İstampa için en uygun radyüs:

$$R_I = (6 \sim 8) \cdot t_0 \text{ (mm)} \quad (3.3)$$

t_0 = Sac kalınlığı (mm)

Kalıplarda tasarlanan sıvama boşlukları en az gerilme ile ıstampa çevresinde akacağı şekilde tasarlanmalıdır. Yüksek sıvama boşluğu değerleri sac levhanın sac metal kalıbının iç tarafında sıvama erkeği ve kalıp arasında yataklamanın yetersiz olmasından dolayı ondülasyona sebep olacaktır. Bunun tam tersi olduğunda ise sürtünme kuvvetleri artacağı için baskı kuvveti artacaktır ve sonrasında yüksek baskı kuvvetlerinden dolayı sac malzemelerde yırtılmalar, çatlamlar olacaktır (Erdir, 1995). Şekil 3.9’da sac değişim bölgeleri verilmiştir.

Kalıp boşluğu her zaman sac parça kalınlığından yüksek olmalıdır, 3.4 eşitliğinde ki gibi ifade edebiliriz;

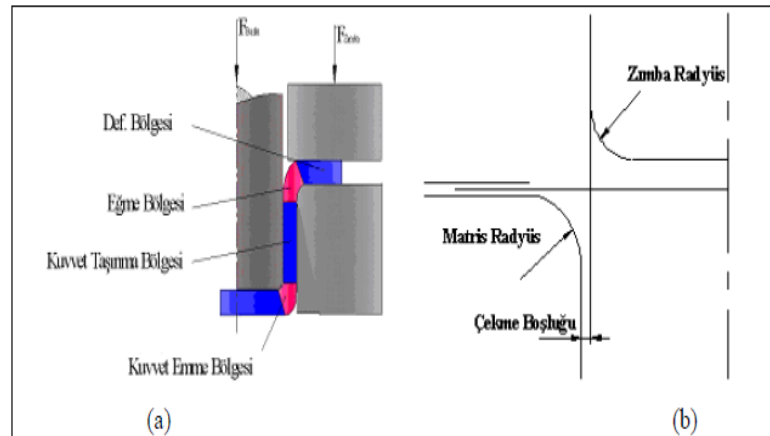
$$t = t_0 \cdot (D/d)^{1/2} \quad (3.4)$$

t = Kalıp aralığı (mm)

D = Taslak çapı (mm)

d = Kalıp iç çapı (mm)

Genellikle üretim proseslerinde kalıp boşlukları sac kalınlığının (1.1 ila 1.2) t_0 aralıklarında olmalıdır (t_0 : sac kalınlığı).



Şekil 3.9. Çekme Kalıbındaki a) Sac Değişim Bölgeleri, b) Kalıbın Bölgeleri (Bal, 2007).

3.3.4. Sıvama Boşluğu

Sıvama operasyonu sırasında çekme erkeği ile kalıp matrisi arasında kalan boşluğa çekme boşluğu, sıvama boşluğu gibi terimler ile adlandırılır Şekil 3.10’da belirtilmiştir. Sıvama boşluğunun değerlerinin belirlenmesindeki kriterlerden biride operasyon sırasında sac malzeme üst bölgelerinde ham madde yığılmasıdır. Bundan dolayı kalıp sıvama boşluklarını sac kalınlığından belli bir miktar büyük tasarlanması gereklidir (Colgan vd, 2003).

Kalıp boşlukları doğru değerlerde tasarlanmadığında sıvama işlemi gerçekleştirilemez ve sac malzeme üzerinde incelmeler olur. Sac parça baskı sırasında arada sıkışarak yırtılmalara maruz kalabilir. Boşlukların yüksek değerde olması demek sac parçada potlukların ve kırışıkların olması anlamına gelir bu boşluk değerlerinin az olması ise yırtılmalara ve sac parçada kopmalara sebep olur.

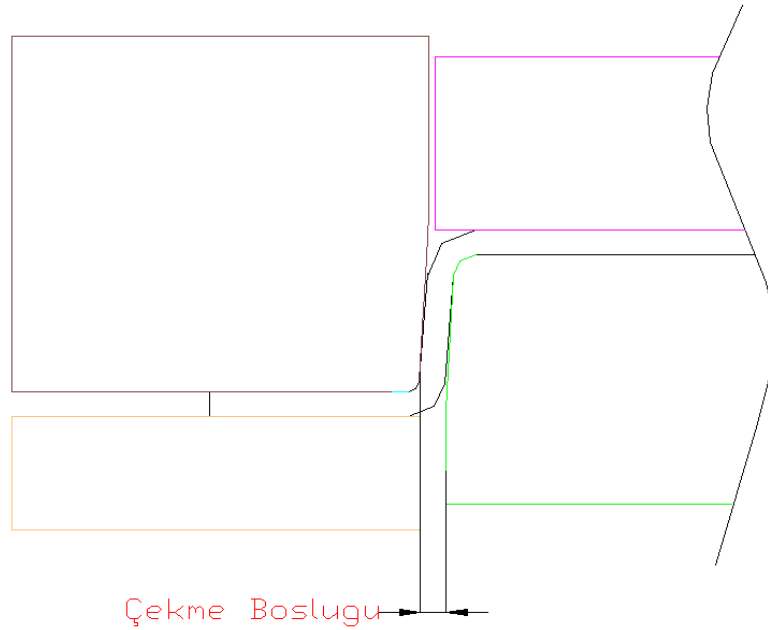
Şekil 3.10’da çekme boşluğu gösterilmiştir. Derin sıvama operasyonlarında kalıp boşluk değerlerinin hesaplamalarında eşitlikler 3.5 ve 3.6’dan yararlanılarak bulunabilir (Güneş, 1989).

Çelik saclar için,

$$w = S + 0,07 \cdot 10 \cdot S \quad (3.5)$$

Alüminyum için,

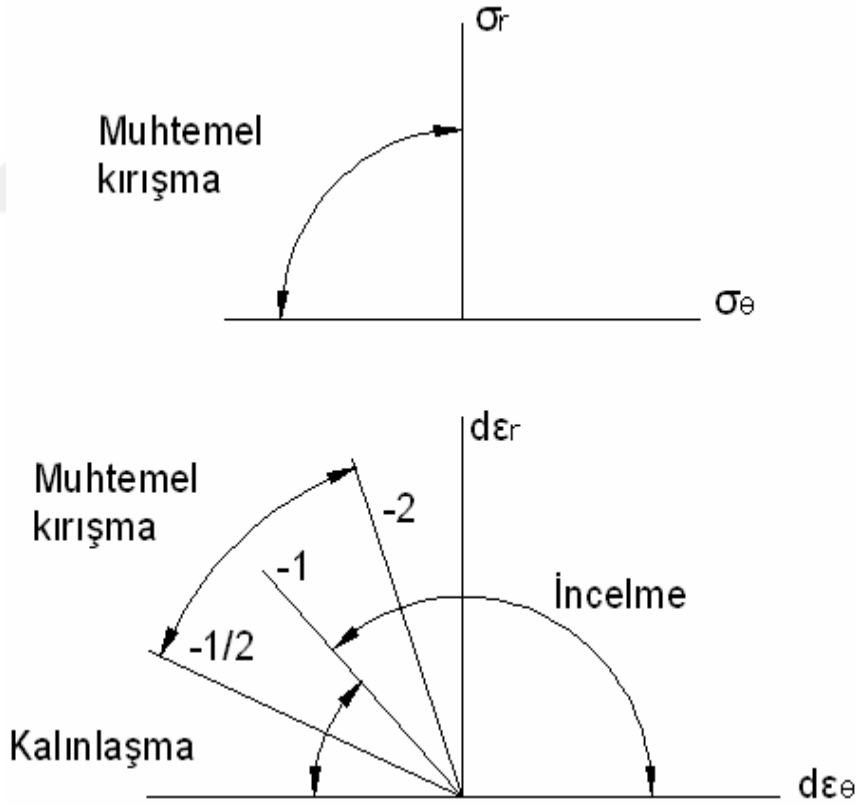
$$w = S + 0,02 \cdot 10 \cdot S \quad (3.6)$$



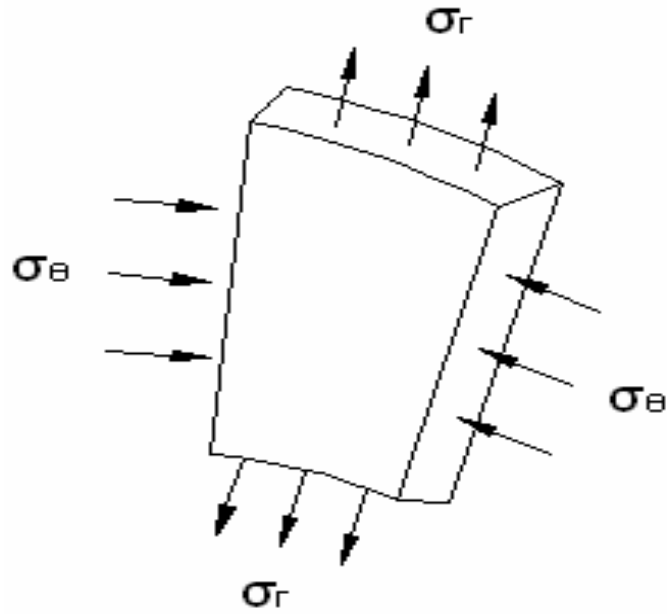
Şekil 3.10. Çekme Boşluğu (Güneş, 1989).

3.3.5. Sac Levha (Ham madde) Geometresi

Derin sıvama operasyonlarında ki çıkan ürünlerin istenilen kalite olmasına etki eden bir diğer faktör ise ham maddenin kontur yapısıdır. Sac levhanın kontürlerinde çapak varsa bu sıvama işleminde hatalara sebep olabilir (Erdi S, 1995). Artık gerilmeler sıvama işleminde sorun çıkartacaklardır. Sac levhadan beklenen istenilen teknik özelliklerde en çok ürünü elde etmektir. Sac levhalarda hadde yönlerine bağlı olarak derin sıvama işlemleri etkilenmektedir. Form verme operasyonu değişik yönlerde yapılırsa hasar olma olasılığı artar. Sac levhanın kenar eteklerinin de derin sıvama operasyonunda etkisi vardır, kenar eteklerde çapak miktarı fazla ise form alması zorlaşır. Bu bölgeler derin sıvamaya maruz kaldıklarında yırtılmalar meydana gelebilir (Gündü, 2000). Şekiller 3.11 ve 3.12’de bu bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Gerilme – Gerilim Bölgesinde Muhtemel Kırısklık Alanları (Mamalis,1997).



Şekil 3.12. Çekilen Kap Duvarlarındaki Gerilmeler (Mamalis,1997).

3.3.6. Yağlama

Derin sıvama işleminde yağlama prosesi sac levha ile kalıp elemanları arasında sürtünme kuvveti azaltmak için kullanılır. Bunun amacı sac levhanın form alma süresi içerisinde karşı direncinin azaltılması içindir. Kaliteli bir yağlama prosedürü gerçekleştirilirse kalıp elemanlarının yüzeylerinde ki bozulmalar ve sac levhada ki bozulmalar engellenir. Bu işlem sac parçanın kalıp yüzeyinden kolayca ayrılmasını sağlar. Yağlama prosesi için kullanılacak olarak ürünlerin teknik özellikleri genel olarak aşağıdaki gibi olmalıdır;

Başlıca özellikleri:

- Yağlamada kullanılacak ürün ham maddesinin oluşturduğu yağ tabakası homojen olmalı ve yüksek sıvama basınçlarında yüzeyden kalkarak kuru sürtünmeye sebep olmamalıdır.
- Yağlamada kullanılacak sarf malzemenin bileşiği kararlı ve sağlığa zararlı olmamalıdır.
- Yağlamada kullanılacak sarf malzemenin temini kolay, ucuz ve depolama imkanları kolay olmalıdır.
- Yağlamada kullanılacak sarf malzeme kalıp elemanlarının ve sac parçanın yüzeylerinde kimyasal tepkimeler vermemelidir.
- Yağlamada kullanılacak sarf malzemenin sac parça üzerinden silinmesi kolay olmalıdır.

- Yağlamada kullanılacak sarf malzeme yüzeylere güzelce tutunmalı ve sac levhanın derin sıvama operasyonunda hasar görmesini engellemelidir.

Seri üretim operasyonlarında dolgu maddeli olarak nitelendirilen magnezyum silikatlı tebeşir MoS₂ (Molibden disülfid) gibi katkı maddeleri içeren madeni yağlar ile dolgu maddesiz çok çeşitli madeni yağlama maddeleri kullanılmaktadır. Deneyimler dolgu maddelerinin ekli olmadı madeni yağların dolgu maddeleri ekli madeni yağlar kadar yağ film tabakası kararlılığının olmadığı göstermektedir. Bir diğer bilgi ise dolgu katkılı madeni yağlarda diğerlerine göre sürtünme 2-3 kat az olmakta buda kalıp elemanlarının kullanım sürelerini artırmaktadır (Güneş, 1989).

Yağlayıcı ürünlerin kullanımları ile ilgili bilgiler;

-Sac levhanın yağlayıcı içerisine daldırılıp tüm yüzeylerinin yağlanması doğru değildir.

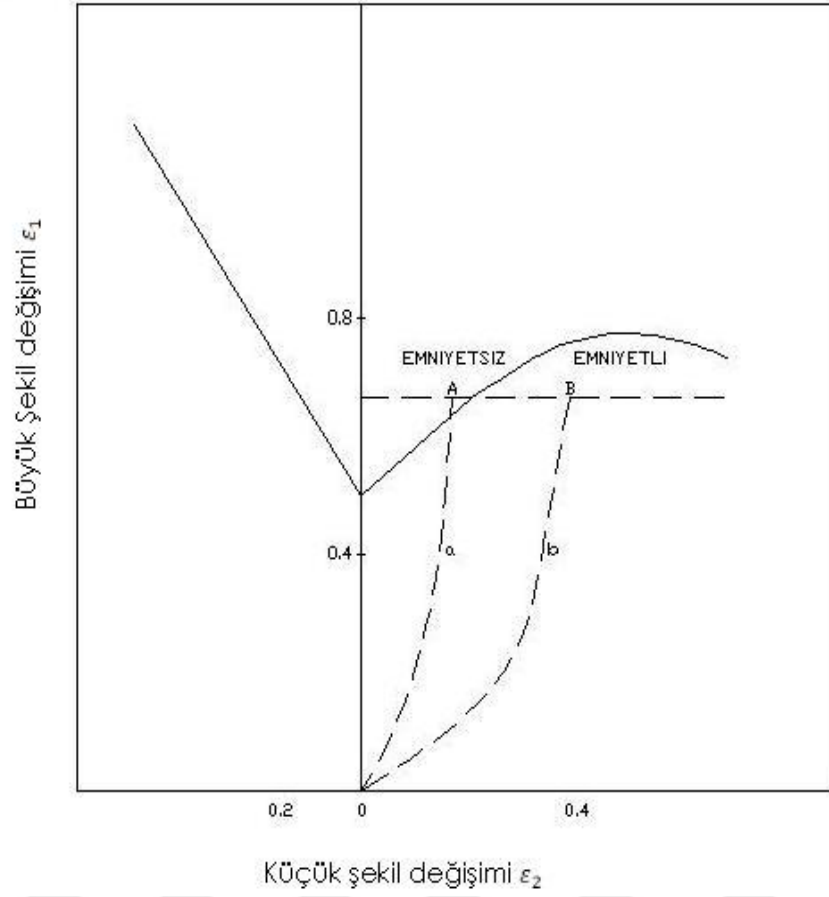
- Sac levhanın yalnızca sıvama işlemi yapılacak yöndeki yüzeyinin yağlanması gereklidir.

- Sac levhanın üst yüzeyi ile sıvama çeliği alın yüzeyi arasında ki sürtünme kuvvetini artırmak için sıvama çeliği yağlanmamalıdır.

- Sac levha ile kalıp çelikleri arasında sürtünmeyi azaltmak ondülasyonların oluşumunun oranını artırmaktadır. Kalıp yüzeylerinde ki aşınmaları ve sac parça yüzey hatalarının azaltılması için matrislerin radyüslerinin yağlanması gereklidir.

- Otomatik hammadde beslemeli sistemlerde küçük boyutlu pulların imalatında yağlanması esnasında pullar birbirlerine yapışır ve üretimleri zorlaştırır. Bu sebeple yağlama yapılmaması daha uygun olacaktır.

Yağlama prosesi, kalıp elemanları ve sac levha arasında ki sürtünmeyi azaltarak form verme esnasında hatasız ürünlerin elde edilmesinde etkili bir imalat yöntemidir. Yağlama etkilerinin iyileştirilmesi ile plastik deformasyon sırasındaki form değişim oranları da değişmektedir. Şekil 3.13'de görüldüğü gibi hasar bölgesinde olan A noktası yağlamanın geliştirilmesi ile emniyetli bölgedeki B noktasına geçiş yapabilmektedir. Şekil 3.14'de çeşitli yağlama kriterleri gösterildi.



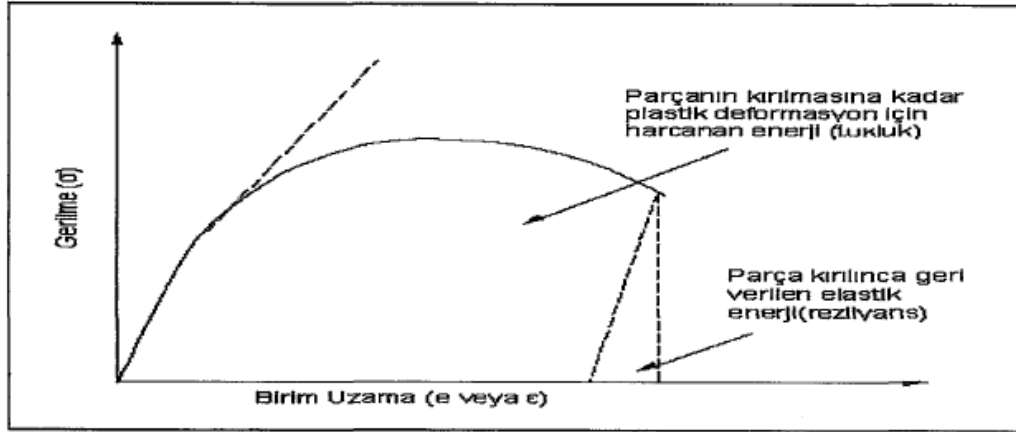
Şekil 3.13. Şekillendirme diyagramına yağlamanın etkisi a) Yağlayıcı kullanılmamış b) Yağlayıcı kullanılmış (Taşdemir, 2013).

Yağlayıcı Tipi ve Bileşimi	Temizleme Kolaylığı		Paslanmaya Karşı
	Su Bazlı	Solventler	Koruması
Su Bazlı Yağlayıcılar			
Düşük Şiddetli Pres Operasyonları 1-) %5-20 su emülsiyonlu çok amaçlı çözülebilir yağ veya cila	Çok İyi	İyi	Vasat
Orta Şiddetli Pres Operasyonları 2-) %5-20 su emülsiyonlu sabun 3-) Su emülsiyonlu çözülebilir ağır hizmet ağı (Sülfür yada klor katkı maddesi içerir)	Çok İyi Çok İyi	Çok İyi İyi	Vasat Vasat
Yüksek Şiddetli Pres Operasyonları 4-) Su ile inceltilmiş yağlı sabun (cila içerebilir) 5-) Su emülsiyonlu çözülebilir ağır hizmet ağı (yüksek konsantrasyonda sülfür yada klorlu katık içerikli)	Vasat Çok İyi	Zayıf İyi	Vasat Vasat altı
Maksimum Şiddetli Pres Operasyonları 6-) Su ile inceltilmiş boyalı yağlı-sabun 7-) Kuru sabun veya cila (su solüsyonu ile uygulanır) Boraks gibi çözünür astar içerebilir.	Zayıf İyi	Çok Zayıf Çok Zayıf	İyi İyi
Yağ Bazlı Yağlayıcılar			
Düşük Şiddetli Pres Operasyonları 8-) Makine yağı,artık (genellikle ortalama 100F'da 40-300 sus) 9-) Mineral yağlar (100F'da 40-300 sus)	İyi İyi	Çok İyi Çok İyi	Vasat Vasat
10-) Acıbadem yağı	Temizleme gerektirmez		-----
Orta Şiddetli Pres Operasyonları 11-) %10-30 dolgun yağ ilaveli mineral yağ	İyi Vasat üstü	Çok İyi İyi	Vasat Vasat altı
12-) %2-20 sülfürlü veya klorlu yağ (EP yağı) ilaveli mineral yağ			
Yüksek Şiddetli Pres Operasyonları 13-) Organik yağ	Vasat	Vasat	Vasat
14-) Mineral yağ (100F'da 100-3000 sus) +%5-50 a-) Emülsiyonlaştırılmamış klorlu yağ b-) Emülsine klorlu yağ	Zayıf İyi	İyi İyi	Çok Zayıf Çok Zayıf
15-) Konsantre fosforlu yağ	Vasat	Vasat	Vasat
Maksimum Şiddetli Pres Operasyonları 16-) Boyalı yağlı sabun ile karıştırılmış mineral yağ 17-) Konsantre sülfürlü yağ	Zayıf	Zayıf	Vasat
a-) Emülsiyonlaştırılmamış b-) Emülsine	Çok Zayıf İyi	Vasat Vasat	Zayıf Zayıf
18-) Konsantre klorlu yağ a-) Emülsiyonlaştırılmamış b-) Emülsine	Çok Zayıf İyi	Vasat Vasat	Çok Zayıf Çok Zayıf

Şekil 3.14. Düşük karbonlu çeliklerin pres altında form almasında yaygın olarak kullanılan yağlayıcılar (Müftüoğlu, 2014).

3.3.7. Tokluk

Belirli bir ürün miktarına karşılık gelen plastik deformasyon enerjisine tokluk adı verilir ve ham madde kopma anına kadar enerjiyi sönmülemeye devam eder. Tokluk değerlerinin, gerilme-birim uzama grafiği sayesinde teyit edilmesi grafik de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Gerilme-birim uzama eğrisi ile şekil değiştirme enerjisinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi (Erdir, 1995).

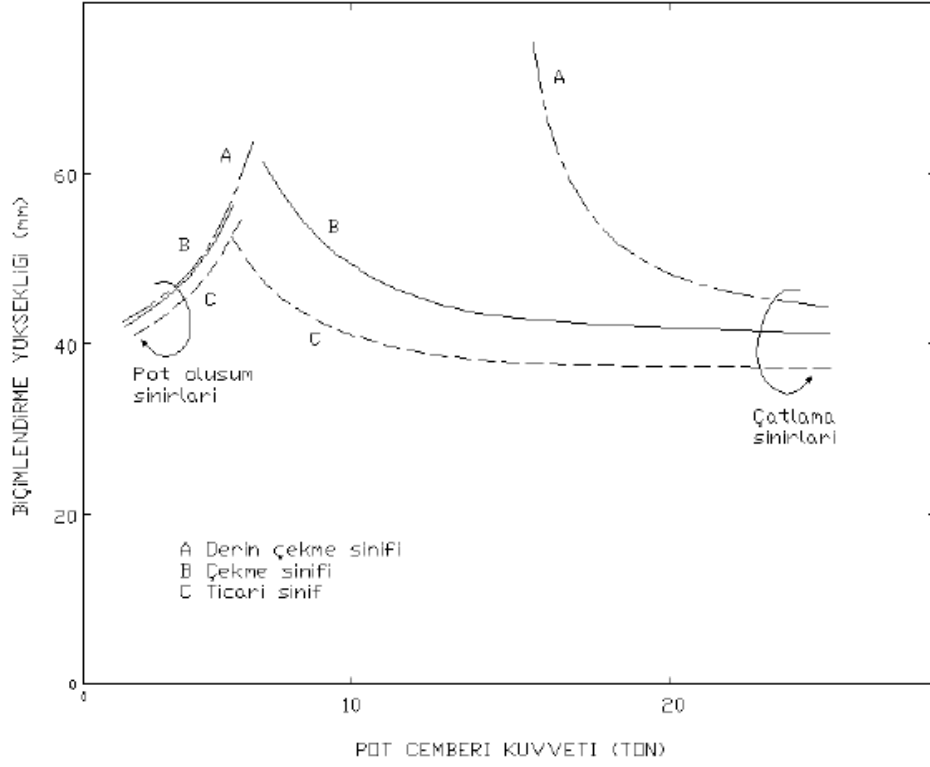
Ham maddelerin, teknik özellikleri moleküler yapısına bağlıdır. Şekil 3.15’de tokluk grafiği verilmiştir. Malzeme yapısı ise ısıtılma işlemi ile değiştirilebilir. Ham maddenin spesifik özellikleri uygulanan ısıtılma işlemi metoduna göre değişiklik gösterebilir.

3.3.8. Pot Çember Basıncı

Pot çemberinin uyguladığı basınç derin sıvama işleminden çıkacak olan üründe potluk ve yırtılmaların oluşumunda çok etkilidir. Pot çemberinin uyguladığı basınç artışı ile derin sıvama işlemine giren üründe form modeline doğru (çekme-çekme) yönelim gösterdiği izlenir (Erdir, 1995).

Sac parçalarda potluk oluşumlarında pot çemberi basıncının az olması etken bir unsurdur. Bu potluklar doğru kalıp boşluğu tasarlandığı zaman flanş kısmında, aksi durumlarda ise dış duvarlarda da oluşur. Sıklıkla düşük akma değerlerine sahip çelikler pot oluşumuna engel oldukları için pot çember basıncının düşük değerlerde olması sorun çıkarmaz.

Değişik r değerleri olan çelikler için potluk oluşumunda pot çemberi basıncının etkisi, çatlama sınırları ile birlikte Şekil 3.16 'da belirtilmiştir. Büyük r değerleri, potluk oluşumunu sınırlamak için daha düşük pot çemberi basıncı gerektirir. Pot çember basınçlarının yüksek değerlerde olması yırtılma ve çatlama olmasına sebep olur.



Şekil 3.16. Çeşitli çelik sınıfları için çatlak ve kırışıklıklara pot çemberi kuvvetinin etkisi (Çatkafa, 2019).

Eşitlik 3.7 kullanılarak pot çemberi basıncı hesaplanır;

$$F_p = \pi / 4 (D^2 - d^2) \frac{\sigma_a + \sigma_k}{200} \quad (3.7)$$

$$\sigma_a = \text{Akma dayanımı} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\sigma_k = \text{Kopma dayanımı} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Doğru bir sıvama basıncı sac parçanın tüm yüzeylerinde istenilen cıdar incelmesini sağlayacaktır. Şekil 3.16’da pot çemberi etkisi gösterilmiştir.

Sac malzemelerin teknik özelliklerine bağlı olarak, belirlenmiş bazı pot çemberi basınçları Tablo 3.2.’de değişik ham maddeler için belirtilmiştir. Tablo 3.3.’de karbon oranı az olan çelikler için geniş bir çekme kalınlığına ait pot çemberi basınçları ve kalınlıkları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablolar 3.2 ve 3.3’deki basınç değerleri, operasyonlarını tamamlamamış sac parçaları ve flanş çaplarında ki kırışmaları ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. Sıvama operasyonu sırasında kalıp boşluklarında sıkışmayan sac levha yüzeylerinde de potluklar görülebilmektedir. Sac parça kalınlığına oranla

sıvama çeliğinin radyüsleri büyük olursa kırışmalar artar. Kırışıklıklar sıvama operasyonunda oluşan standart zorlanmaların üstünde büyük radyal gerilmeler ile etkisi azaltılabilir. Kırışıkları önlemek için zaman zaman parça açınımından daha büyük sac levhalar kullanmaktan geçmektedir. Fakat bu yöntem ham madde gramajını artırdığı için maliyetler artmaktadır.

Tablo 3.2. Bazı Ham Maddeler İçin Pot Çemberi Basınçları (Bal, 2007).

Metal	Basınç, Mpa (a)
Bakır	1,38
Ostenitik paslanmaz çelik	6,89
Alfa pirinci	1,90
Fosforlu bronz	2,75
Alüminyum alarımları	2,41
Alüminyum	0,69
Düşük karbonlu çelik	3,45

Değerler akma gerilmesi ve gerilme direncinin yaklaşık 1/150-1/200'üdür.

Tablo 3.3. Düşük Karbonlu Çeliklerin Derin Çekilmesinde Pot Çemberi Kuvvetleri (Bal, 2007).

İş parçası kalınlığı(mm.)	Pot çemberi kuvveti % çekme kuvveti olarak	İş parçası kalınlığı (mm.)	Pot çemberi kuvveti % çekme kuvveti olarak
0,13	85	1,30	23
0,25	67	1,78	14
0,38	57	2,54	9
0,50	50	3,18	8,5
0,64	44	4,75	8,25
0,76	39	6,35	8

Verilen değerler sığ çekmeler için değil, özellikle eliptik veya küresel şekiller için kullanılmalıdır.

3.3.9. Ham Maddenin Kimyasal Bileşiminin Şekillendirmeye Etkisi

Form verme operasyonu yapılması istenen sac parçalar için genellikle karbon oranı az olan çelik malzemeler kullanılmaktadır (Çetin, 2007). Düşük karbonlu çeliklerde genel olarak %15 den az karbon ve diğer kalıntı elementler ile toplamda %1' den daha az alaşım elementi içermektedir. Yüksek dayanıma sahip bazı çeliklerde karbon oranı yüksektir ve diğer alaşımları da içerir. Ana bileşik olan

manganez miktarı %0,20-0,60 arasında olur. Özel amaçlar için imal edilecek çeliklerin içeriğine alüminyum, titanyum, silisyum veya niyobyum gibi elementler eklenebilir. Çelik üretimlerinde kalıntı elementler dediğimiz çeliğin kalitesini etkileyen azot, fosfor, bakır, nikel, kükürt ve krom gibi bileşiklerin değerleri olabildiğince azaltılmalıdır. Alaşımli çelik gruplarının hepsinde bu elementlerden belirli oranlarda bulunmaktadır.

Malzeme içerisinde ki karbon oranı artırıldığı zaman malzeme dayanımı artarken süneklilik düşmektedir (Gündü, 2000). Buna sebep olan ferrit içerisinde ki karbür fazının oluşumu ve ince tane yapısı kaynaklıdır. Şekil alma kabiliyetinin artması için genel olarak karbon elementinin bileşimde ki oranını %0,10 gibi değerlerde gereklidir mümkünse daha da azaltılması şekillendirme işlemini kolaylaştıracaktır.

Çeliklerde kullanılan manganez elementi belirlenen tane özelliklerinin sağlanmasını kolaylaştırır ve çeliğin daha yüksek sıcaklık değerlerinde çalışabilmesini sağlar (Gündü, 2000). Yüksek sıcaklık değerlerinde çalışabilmek ve sülfürün negatif yönde ki etkilerini bertaraf etmek için manganez kullanmak önemli bir yöntemdir. Karbon miktarının az olduğu çelik ham maddeler de %0,2-%0,6 arasında manganez miktarı değişiklik gösterebilir. Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çeliklerde ise bu oran %2 ye kadar kabul edilebilir.

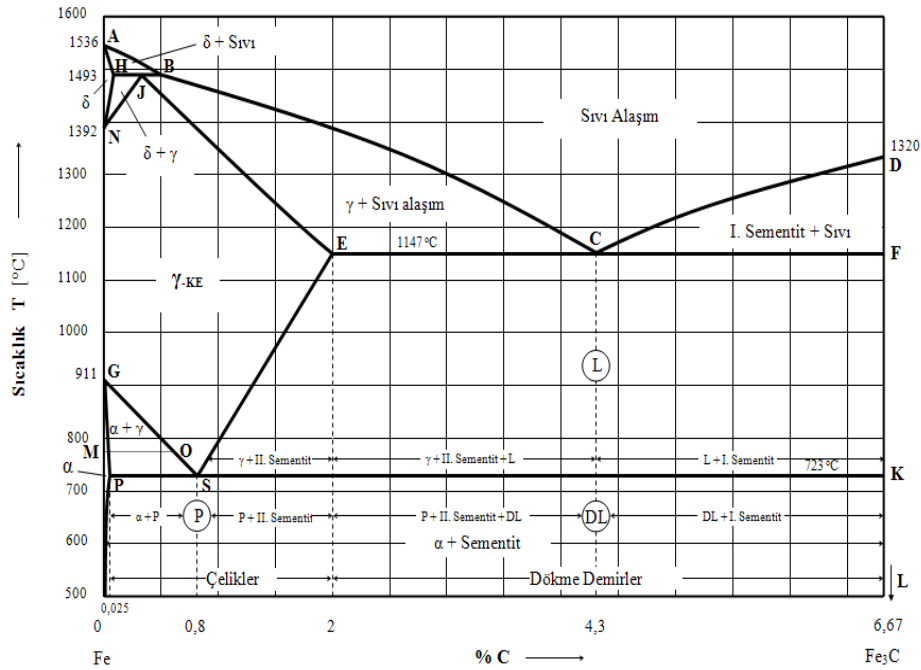
Ham madde yapısında sülfür miktarının azlığına göre manganez miktarı da düşürülerek plastik deformasyon değerlerindeki artışlar deneyimlenebilir.

Derin sıvama operasyonları sırasında kırılma, yırtılma ve çatlamalara sebep olan kükürt, fosfor gibi bileşikler ham madde yapısı içerisinde istenmezler. Elde edilebilen oranlara bakıldığında çeliklerde ki fosfor %0,035 ve kükürt ise %0,04 den daha az olması gerekmektedir (Gündü, 2000). R değerinin artırılması istendiği koşullarda ise bir miktar fosfor eklemesi yapılabilir. Ham madde yapısı içerisindeki kükürt mangansülfür bileşiğidir. Bu mangansülfür derin sıvama operasyonlarında sac parçalarda hatalara sebep olur. Malzemenin anizotropisini yükseltir. Ham maddeye uygulanan ısı işlem yöntemleri sırasında ise tahmin edilemeyen rekristalizasyon oluşumunu gerçekleştirir veya rekristalizasyonun hızını azaltır.

Silisyum miktarlarını deoksidasyon yöntemi ile iyileştirilebilir. Deoksidasyon çelik üretiminin son safhasıdır. Diğer taraf dan ergimiş metalden oksijeni arındırma metodudur. Bazik oksijen fırınlarında, istenmeyen safsızlık elementlerinin rafine edilmesi için oksijen kullanımı nedeniyle, çelik banyosu

üfleme sonunda 400-800 ppm arası oksijen içerir. Deoksidasyon prosesi oksijene afinitesi yüksek olan metallerin istenilen miktardaki Ferromangan, Ferrosilis, Alüminyum veya özel deoksidantların sıvı çelik içerisine beslenmesi ile meydana gelir. Deoksidasyonun amacı madende ki karbonu uygun hale getirmek ve oksijeni uygun seviyelere indirmektir. Çeliğin metarüljik yapısı hem sıcaklık hem de karbon oranı ile değiştirilebilir. Şekil 3.17’de Demir karbür denge diyagramı gösterilmiştir.

Azot elementi kullanıldığı zaman düşük karbonlu çeliklerde sertleşme işlemi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 3.17. Demir Karbür Denge Diyagramları (Bal, 2007).

İşlenmemiş ham haldeki metalin katılaşma özelliğini oksijen tayin eder. Deformasyon yaşanmasının azaltılması için eklenen elementlerin gerekliliği azaltılmak istenildiğinde yüksek miktarda oksijen ile nitrat formu engellenir. Oksijen miktarının belirlenmesini deoksidasyon da kullanılan alüminyum, titanium ve silisyum elementleri sağlar. Bu elementler ile oksijen bileşik oluşturduğunda farklı karmaşık yapı özelliklerinde metal olmayan yapılar elde edilir. Birçok metal olmayan yapı cürufta birikmektedir.

3.3.10. Kalıntı Gerilmeler

Ham maddelere derin sıvama operasyonları sırasında düzgün dairesel olmayan form değişimleri nedeni ile sac parçalarda kalıntı gerilmeleri

oluşmaktadır. Kalıntı gerilmelerinde ki dengeler bozulduğunda ise istenmeyen ham madde çarpılması sebep olur. Bu çarpılmalar ortadan kaldırılmadığında ise korozyon çatlamları meydana gelir ve malzeme yüzeylerinde hatalar oluşur (Gantar, 2002).

3.3.11. Geri Yaylanma

Sıvama işlemi gerçekleştirildikten sonra sac parça yüzeyine etki eden baskı ortadan kaldırıldığında parçada belirli bir oranda elastik değişim olmaktadır. Bu değişimin sonucu olarak büküm açıları küçülürken bükme yarıçapında artış gözükmemektedir, bu olay geri yaylanma olarak tanımlanmaktadır (Güneş, 1990). Değişik yöntemler ile geri yaylanma giderilmeye çalışılmaktadır. Sac parçayı istenilenden fazla bükme ve sonrasında geri yaylanma payı ile istenilen büküm ölçüsüne getirmek gibi. Fakat bu yöntemin net sonuçları yoktur deneme yanılma ile sonuca gitmemiz gereklidir. Farklı bir yöntem ise bükme yüzeyine sıvama erkeğinin uç kısmı ile basarak bu yüzeyde yüksek gerilmeler oluşturmaktadır.

3.3.12. Elastisite Modülü

Malzeme tanımı için yoğunluk ve elastisite gereklidir. Geri yaylanma olaylarını kontrol altına alan elastik form değişiklikleridir. Sac metal parçalarında bükme operasyonları sırasında yaşanan sorunların analiz edilip çözümlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Gündü, 2000).

3.3.13. Anizotropi Katsayısı

Haddeleme yöntemi ile üretilmiş ham maddelerin plastik deformasyon spektrileri genellikle hadde yönüne göre değişiklik göstermektedir, buna anizotropi denilmektedir. Normal ve düzlemsel olarak iki türü bulunmaktadır.

Dikey anizotropi incelmeye karşı direnci tayin eder, derin sıvama ölçüsüdür. Plastik deformasyon R ile sembolize edilmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde deformasyon oranı kristalogrif yönelim ile alakalıdır.

Tek kristalli malzeme yapısına sahip ham maddelerin plastik deformasyonunda taneler rahatlıkla dönmez iken çok kristalli yapılar bunun tam tersi olmaktadır. Hekzogonal tek kristalli yapıya sahip malzemeler çekme kuvvetine maruz bırakıldığında taban yüzeyleri kuvvetin geldiği tarafa meğillenir.

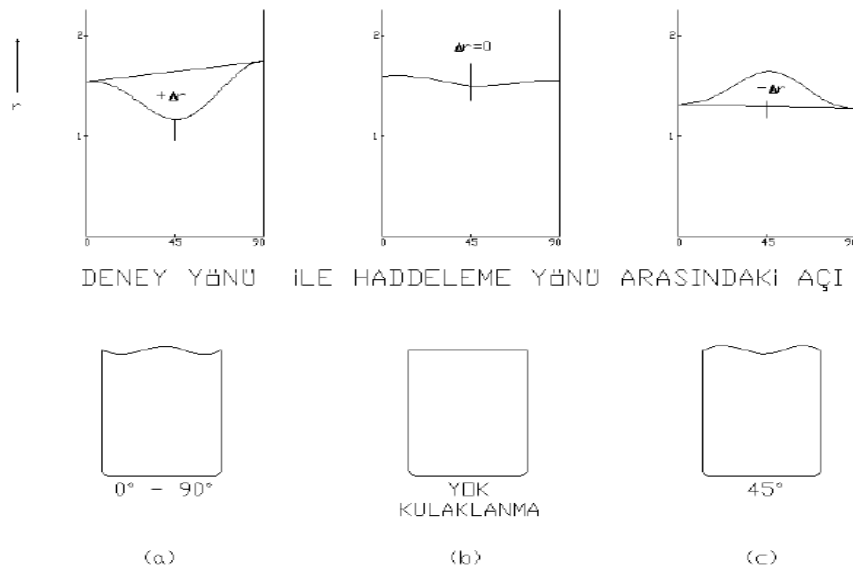
İzotropik ham maddelerde dikey anizotropi katsayısı ‘1’ olarak alınır. Bu ham maddenin tüm eksenlerde aynı mukavemet de olduğunu belirtir. 1’ den yüksek olduğunda sac kalınlığı parametresinde dayanımının fazla olduğunu küçük olduğu durumlarda ise dayanımın az olduğunu bilgisini verir. Ham maddelerde ‘r’

değerinin haddeleme yönüne göre farklı sonuçlar çıkardığını bilinmektedir. Bundan dolayı çıkan sonuçların ortalamaları alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır.

Eşitlik 3.8'e göre ortalama değer hesaplanır;

$$\bar{r} = \frac{r_0 + r_{90} + 2r_{45}}{4} \quad (3.8)$$

Anizotropi değeri sac ham maddelerde derin sıvamanın çekilebilirlik ölçüsüdür. Haddeleme yönüne bakıldığında düzlemsel anizotropiye özelliğine sahip sac malzemeler, ona dik olarak veya farklı açılarda form değişikliğine sahiptirler. Sal levhalar da r değerinin sıfır olması istenir bunun sebebi ise kulak denilen kalıbın üst kısımlarında ki dalgalanmanın olmamasıdır. 0' dan küçük r değeri olduğunda 45° lik yönde kulan oluşumu gerçekleşir, büyük olduğunda ise 90° lik yönde gerçekleşmektedir.



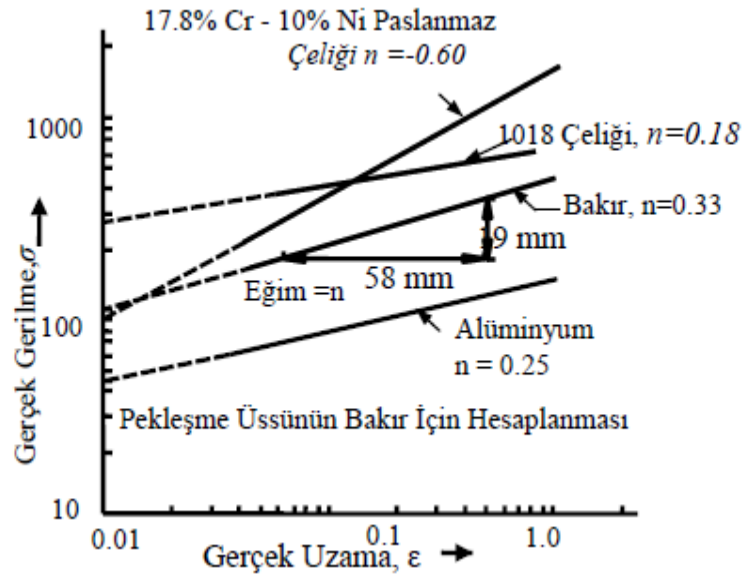
Şekil 3.18. Derin çekme işleminde düzlemsel anizotropi katsayısına bağlı kulak oluşumu (Colgan, 2003).

3.3.14. Pekleşme Üsteli

Soğuk şekillendirme operasyonlarında sac levhaların şekillendirilmesinde ki en büyük etkenlerdir bir tanesidir. Ham maddelerin soğuk şekillendirme işlemlerinden sonra sertleşmesi, form değiştirme sertleşmesi ya da pekleşme olarak tanımlanır. Pekleşme değerleri yüksek olan ham maddelerde deformasyon etkisi ile sac kalınlıklarının azaldığı bölgelerde dislokasyon artışı ile birlikte bu yüzeylerde

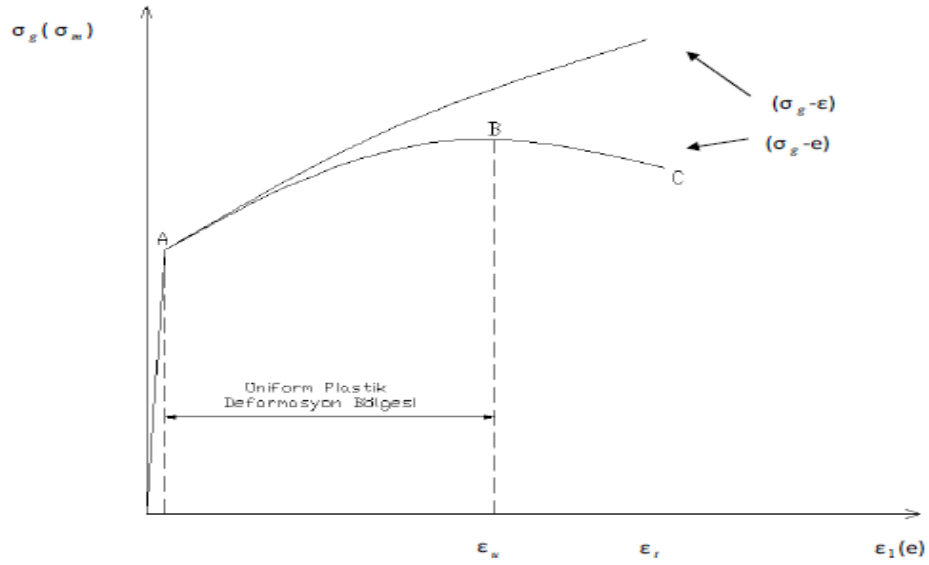
deformasyona karşı çıkar. Gerilme anında deformasyon diğer bölgelere ilerleyerek sac parçada düzgün dairesel incelmeler oluşturur. Düşük pekleşme değerlerine sahip sac levhalarda incelme olayı sınırlı bir bölgede başlar ve hızlı bir şekilde bulunduğu gölgede artarak sac parçanın deforme olmasına ve yırtılmasına sebep olur.

Gerilmelerin malzeme mukavemeti üzerinde ki etkisini anlamak için çekme testleri yapılmaktadır. Çekme testinden farklı olarak burulma, basma testleri de uygulanabilmektedir. Alaşımlı metaller ile alaşımsız metallerin sertleşme oranları farklıdır, alaşımlı metaller daha yüksek oranda sertleşirler.



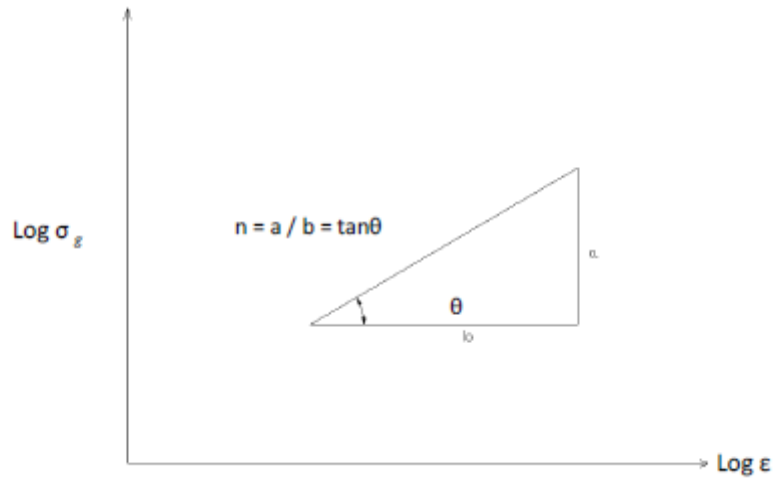
Şekil 3.19. Pekleşme üssü, n 'nin sayısal olarak ifade edilmesi (Kırlı, 2003).

Şekil 3.19'da çeşitli ham maddeler ile ilgili gerilme ve uzama etkileri verilmiştir.



Şekil 3.20. Mühendislik ve gerçek gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı (Kırlı, 2003).

Şekil 3.20’de plastik deformasyon değişim bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Pekleşme üsteli “n” değerinin hesaplanması (Kırlı, 2003).

Genellikle metal ham maddelerde “K” ve “n” girdileri gerilme-birim form değişikliği diyagramının tamamını açıklamaktadır. Şekil 3.21’de bununla ilgili grafik paylaşılmıştır. Ama tam değer olarak alınmaz yaklaşık bir karşılaştırma için baz alınır. K ve n değerleri ilk form değişiklik değerlerinde yani %10 birimlik zamanda küçüktür, orta seviyelerde yükselirken büyük form değişikliği değerlerinde ise tekrar küçülmektedir (Erdi, 1995).

3.3.15. Akma Dayanımı

Katılma sırasında N, O, H, C atomlarının dislokasyon aralarına girerek dislokasyon hareketini engelleyen basit karbonlu sakınleştirilmemiş çelik ürünlerde görülür. Elastik deformasyonun bittiği, plastik deformasyonun ise başladığı noktaya akma dayanımı denir. Üst akma gerilmesi aşıl原因 malzemenin tüm yüzeylerinde homojen ve kalıcı bir form değişikliği izlenir. Akma dayanımının artması ile birlikte sıvama kuvveti de oransal olarak aynı artmaktadır.

3.3.16. Birim Şekil Değiştirme Hız Duyarlılığı

Gerinim sertleşmesi dediğimiz bu işlem, şekil değişikliğinin boyutuna bağlı olarak malzemedeki dislokasyon sayısının artması nedeniyle oluşur. Sac parçaların form değişikliklerine göre ne kadar dayanımlarının artacağını belirtmek için n harfi kullanılmaktadır, n harfi gerinim katsayısını sembolize eder. Bu değerin büyük olması sünekliliğinin yüksek olması anlamına gelir. Bazı ham maddeler form değiştirme hızına göre sertleştiklerini biliyoruz. Bunun anlamı aynı özelliklerde ki ham maddelere iki farklı hızda çekme testi yapılırsa farklı gerilim-gerinim eğrisi elde etmekteyiz. Daha hızlı çekmeler yapılan sac parçalarda çekme eğrisi yukarı yönlü hareket eder yani malzemenin mukavemeti artar.

$$\sigma = C \cdot \epsilon_m$$

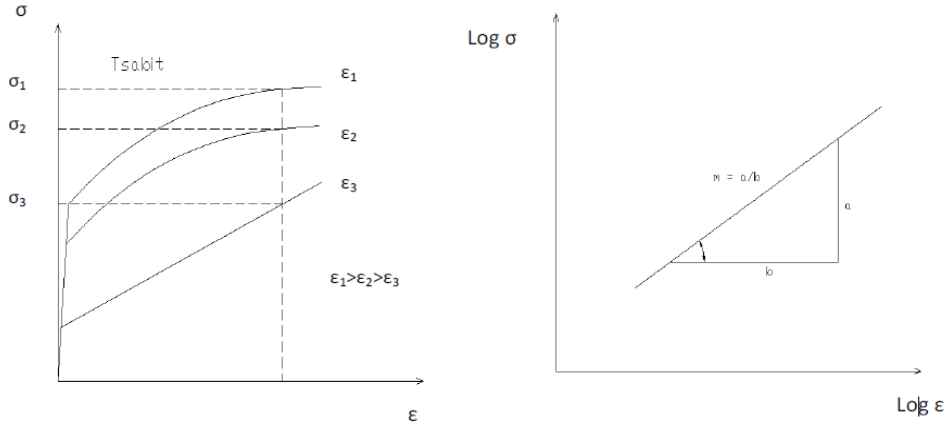
σ = Plastik gerilme (veya Akma Gerilmesi)

C = Malzeme Sabiti

m = Sekil değiştirme hızı duyarlılığı üssü

e = Birim sekil değiştirme hızı

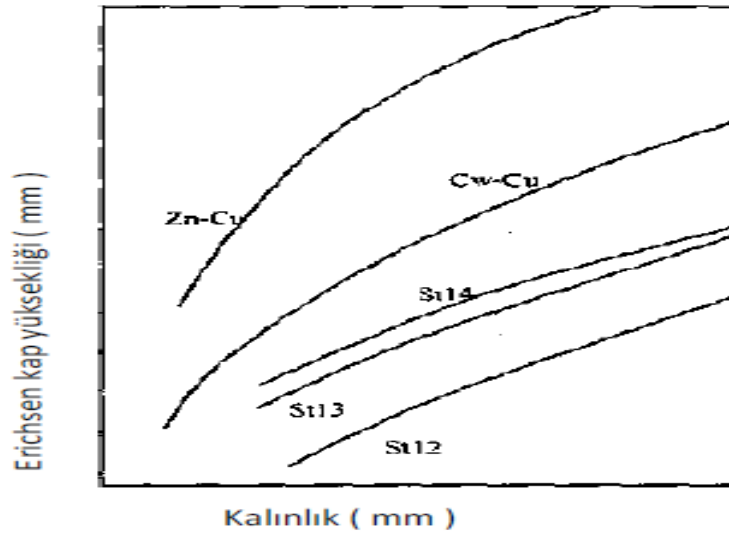
Şekil değiştirme hız duyarlılığı Log σ - Log ϵ grafik eğimine eş değerdir. Bu şekilde bir grafik elde edilmek istenildiğinde değişik form değişim hızlarında yapılan çekme testlerinden yararlanılarak elde edilebilir. Şekil 3.22’de birim şekil değiştirme gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Birim Şekil Değiştirme (Ghouati, 1998).

3.3.17. Sac Kalınlığı ve Tane Boyutu

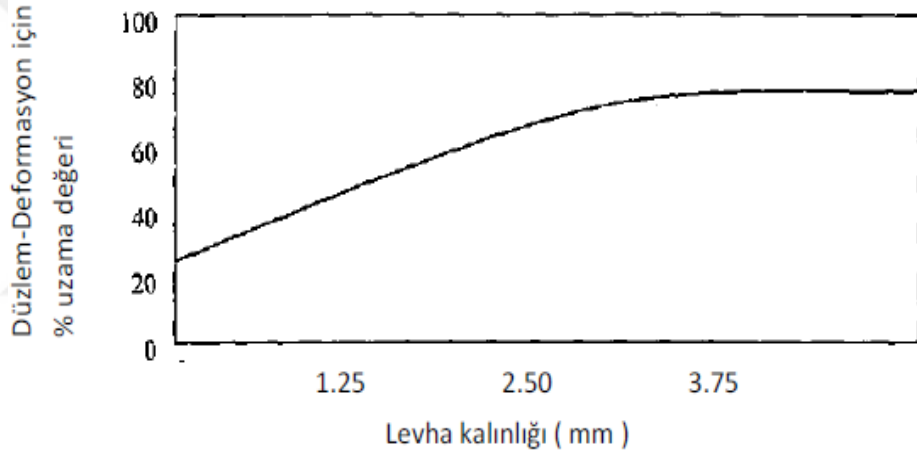
Ham maddelerin hidrolik preslerde derin sıvama özellikleri ham maddelerin sıvama kalıplarında ki operasyonlarına başlamadan önce ki ham madde kalınlıkları ile bağlantılıdır (Gündü, 2000). Sac ham madde kalınlık değerleri yükseltildikçe şekillendirilme özelliği de artmaktadır. Sac levhaların 0,5 mm ve 2 mm kalınlıktaki tepkilerini görmek için çekme deneyi yapılmıştır. Deneyden elde edilen verilerde pekleşme üssü ve çekme mukavemetinin değişmediği fakat 0,5 mm'lik ham maddede kopma uzaması değerinin daha az olduğu saptanmıştır. Şekil 3.23'de farklı ham maddelerde kap yüksekliği ve levha kalınlığı verilmiştir.



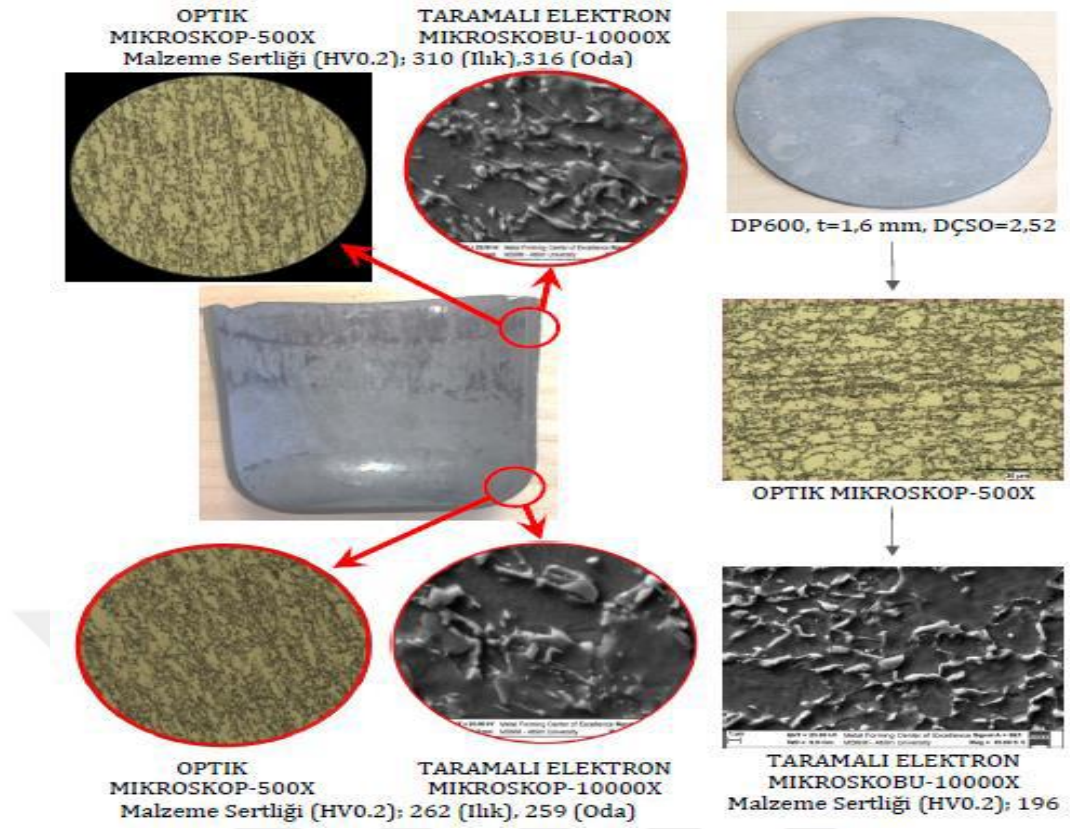
Şekil 3.23. Çeşitli levhalar için Erichsen kap yüksekliği ile levha kalınlığı arasındaki ilişki (Çetin, 2007).

Derin sıvama operasyonunda kullanılacak ham maddelerde iç yapı kusurları ve yüzey pürüzlülüğü deformasyon sınırında etkin rol oynamaktadır (Erdir, 1995). Sac levhalarda kalınlık değişimleri yüzey pürüzlülüğün derin sıvamada ki etkisinde değişiklik olmasına sebep olur. Sac levha kalınlıkları azaldıkça etki artacaktır bu nedenle kalınlıkları belirli değerlerin üzerinde olan sac levhalarda yüzey pürüzlülüğün çok bir etkisi olmamaktadır. Plastik deformasyon sınırlarının tayin edilmesinde yüzey pürüzlülüğünün tane boyutu ile bağıntısı önemlidir.

Şekil 3.24’de ham madde kalınlığının sınır diyagramının en alt bölgesi olan düzlem deformasyon koşulunun temsil edildiği kısım ile bağıntısı verilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi 3 mm kalınlıktan sonrası için bir değişim söz konusu değildir.



Şekil 3.24. Malzeme Kalınlığının % Uzama Değeriyle Değişimi (Özçelik, 2008).



Şekil 3.25. Çeliğin İç Yapı Görüntü Analizleri Ve Bölgesel Sertlik Değerleri (Kırlı, 2003).

Şekil 3.25’de elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüler verilmiştir.

4. SAC METAL KALIP TASARIMLARI VE KALIPÇILIK

Sac metal kalıpcılık teknolojisi ve kalıpcılık mesleği hayatımızın her anında kullanimımızda olan ürünlerin, parçaların üretimleri için tasarımlarının yapıldığı üretimlerinin gerçekleştirildiği bir meslek dalıdır. Seri imalatın yapılabildiği eş parçaların belirlenen teknik resim özelliklerinde üretilen, ham madde ve enerji maliyetlerinden tasarruf sağlayan, iş gücünün en verimli şekilde kullanımına destek olan, takım makineleri ile çalışabilen sistemlere kalıp, meslek gurubuna kalıpcılık, bu uygulama yöntemine de kalıpcılık dalı, seri üretim yöntemine de kalıplama denilmektedir. Kalıp tasarımı, üretimi ve seri üretim aşamalarını da kapsayan geniş bir meslektir ve aşağıdaki konular çok önemlidir.

- Teknik resimlerinin oluşturulması ve okunması,
- Kalıplar ve elemanları, tezgahlar ve presler ile ilgili bilgi ve tecrübe,
- Üretim bilgi ve becerisi,
- Malzemeler hakkında bilgi ve çelik işlem yöntemleri bilgisi,
- Montaj, tesviye bilgi ve yöntemleri,
- Bilgisayar destekli tasarım bilgisi,

a. Sac kalıpcılığı; sac levha ya da sac rulo olarak tanımlanan polimer, kompozit, metal gibi ham maddelerin kesilerek, delinerek, bükülerek, derin sıvama işlemi yapılarak ham maddelerin ürün haline getirilmesi operasyonlarıdır.

b. Hacim kalıpcılığı; elde edilmek istenen ürünlerin şekillerine göre hazırlanmış hacimlere, ham maddelerin farklı üretim şekilleri ile kaplara doldurulması ile yapılan biçimlendirme yöntemidir (sıkıştırma, döküm, enjeksiyon).

c. Bağlama, iş kalıpcılığı; seri üretim yöntemlerinde ürünün veya takımın makinalara seri bir yöntem ile takılıp sökülmesini sağlamak üretim hızlarını artırmak için kullanıldığı gibi kaynaklı seri üretim proseslerinde de hızlı üretimler yapmak için tasarlanıp kullanılmak üzere üretilen aparatlardır. Bu tarz aparatlar tüm seri üretim yöntemlerde üretim maliyetlerinin azaltılması konusunda ciddi hamlelerdir.

4.1. Kalıp Tasarımları ve Dikkat Edilmesi Gerekenler

Ürün tasarımı, kalıp tasarımları ve imalatlarında benzer ürünlerdeki tecrübelerden yararlanmak çok değerlidir. Kalıp tasarımcılarının çalışmalarını yürütürken izlemesi gereken yollar arasında bu tecrübelerin incelenmesi, metotlar

ve kuralları değerlendirmek, önerileri dikkate almaları gerekmektedir. Kalıp tasarımcıları bu şekilde elde ettikleri bilgi ve beceriler ile kalıp tasarımlarında karşılaştıkları sorunların çözümü konusunda daha hızlı çözümler üretebilmek için yetenek kazanırlar. Örnek alınan yöntemlerin, üretimi yapılması gereken parçalarda her zaman doğru ve uygun metodun olduğunu kabul etmek her zaman doğru değildir. Elde edilen örnekler düşünüldüğünde üretildikleri zamanki şartlarda en iyi yöntem olarak kabul etmek mantıklı olacaktır. Belli başlı kurallar çerçevesinde kalıp konstrüksiyonu yapılmaktadır. Tasarımlarda kolaylıklar olması açısından standart kalıp elemanları kullanılmalı ve her yerde bulunması kolaylığı sağlanmalıdır.

Kalıp ayarlarının, bakım ve onarımlarının uygun maliyetlerde olması ve kalıp kullanılmalarının kolay yapılabilmesi gibi şartlarında tasarımlar yapılırken göz önünde bulundurulması çok önemli etkenlerdendir. Kalıp elemanlarının seçimleri yapılırken hızlıca aşınacak ve kırılabilecek elemanların kalıbın geneli sökülüp takılmadan değiştirilebilir olmalıdır. Üretim esnasında ayarlanması gereken kalıp elemanlarına hızlı ve rahatça ulaşılabilinmelidir. Kalıp denemeleri sırasında ürün geometrisi değişikliği, şekil veya ölçü hatalarından dolayı değişiklik yapılması gereken bölümler kalıp geneline zarar verilmeden ve fazla maliyet, işçilik gerektirmeden yeniden yapılandırılabilir.

Bu tasarım yeteneklerinin elde edilmesi uzun yıllarca edinilmiş deneyim, bilgi ve beceri gerektirir. Deneyimlenmiş, olumlu sonuçlar elde edilmiş ürün tasarımlarının dikkatli bir şekilde incelenmesi ve analiz edilmesi gereklidir, bu şekilde yapılacak olan yeni tasarımların sürelerinin kısaltılması mümkündür.

4.2. Kalıp Dizaynı

Tüm kalıp tasarımlarının ön hazırlıkları, son durum da gerekli olacak bilgilerin harmanlanması ile gerçekleştirilmelidir. Seri üretim sürecinde geçen yöntem bilgileri ışığında tasarımlar yapılmalıdır.

4.3. Yerleşim Planı ve Ölçeklendirmeler

Tasarımları yapılırken genellikle kalıpları 1/1 oranında çizmek gereklidir. Pres teknik özellikleri göz önünde bulundurularak kalıp yerleşimi yapmak da fayda vardır. Pres seçimlerde standart özellikte ki makinalara göre seçimler yapılmalıdır. Pres eksenleri ile kalıp eksenlerinin çakışık olarak çalıştırılması dengeli yük dağılımı için çok önemlidir.

4.4. Üretim Planlamaları

Seri üretim planlamalarında üretilecek olan sac parçanın operasyon sayısı, basım alınacak pres tipi, kesme ve bükme kalıp baskı kuvvetleri gibi bilgiler göz önünde bulundurularak kalıp tasarımları yapılmalıdır.

4.5. İş Güvenliği ve Emniyet

Kalıp tasarımları yapılırken kalıp mukavemetlerini, kalıpların sevkiyatlarını, montaj ve demontajlarını, pres de baskı alacak olan personelin iş güvenliği gibi etkenlerde önem arz etmektedir.

4.6. Sac Hurdalarının Boşaltılması

Kalıp seri imalat aşamasında çevre kesme çapakları dediğimiz hurda malzemelerin boşaltılması konusu kalıp tasarımları yapılırken göz ardı edilmemesi gereklidir. Çünkü doğrudan seri imalatı etkileyen bir konudur.

5. METARYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem bölümünde kullanılan araçlar ve yöntemler anlatılmıştır. Sac ham maddelerin akma, kopma ve uzama testlerinin yapıldığı cihazın özellikleri, çeşitli sac kalınlıkları ile basılan numuneler test edilmiş, bilgisayar destekli program ile analizler yapılmış ve yorumlanmıştır.

5.1. Materyal

Bu bölümde materyal bölümü detaylı olarak anlatılmış, deney malzemeleri ve diğer ekipmanlar hakkında bilgi verilmiştir.

5.1.1. Deneylerin Malzemeleri

Deney numunesi olarak decarbüre kalite, emaye kalite, galvaniz kaplamalı, inox 304 ve alüsi sac kaliteleri kullanılmıştır. Ham madde kalınlıkları 0,5 mm ile 1,25 mm arasında değişmekte olan 30 adet test uygulanmıştır.

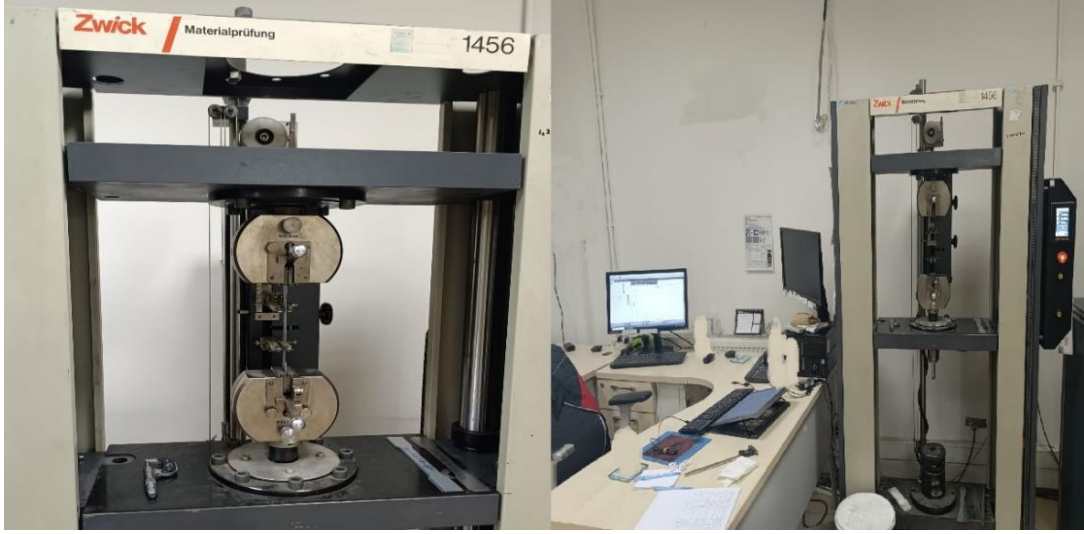
5.1.2. Deney Numunelerin Hazırlanması

Deneyde gerekli olan malzemeler 0,5 mm ila 1,25 mm arasında fiber optik lazer makinalarında çekme testi için gerekli teknik özelliklerde kesilmiştir. Fotoğraf 5.4 de deney numuneleri gösterilmiştir. Hazırlanan numuneler 5 farklı sac kalitesi ve 30 farklı sac kalınlığında hazırlanmıştır. Fotoğraf 5.1 test numuneleri gösterildi.



Fotoğraf 5.1. Çekme Testi Numuneleri

Sac ham maddeler kesildikten sonra çekme test cihazına bağlanarak teknik verileri bilgisayar yardımı ile program da ilgili yerlere doldurularak çekme testi başlatılır. Fotoğraf 5.1’de test numuneleri Fotoğraflar 5.2. ve 5.3’de çekme test cihazı ve program görselleri gösterilmektedir.



Fotoğraf 5.2. Çekme Test Cihazı



Fotoğraf 5.3. Çekme Test Programı

Çekme testi deneyleri yapılırken çekilen görseller Fotoğraflar 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, ve 5.7’de gösterilmektedir.



Fotoğraf 5.4. Çekme Testi



Fotoğraf 5.5. Çekme Test Ekipmanı



Fotoğraf 5.6. Çekme Testi Numunesi



Fotoğraf 5.7. Test Cihazı

5.1.3. Çekme Testi Cihazları

Farklı özellikte bulunan numunelerde ham maddenin üretim özelliklerine uygun kopma değerlerine ve mukavemete sahip olup olmadığını test eden önemli bir makinedir. Malzemenin kopma anındaki uzama miktarının % olarak belirlendiği testtir. Üniversal Çekme cihazı ile yapılan Kopma uzaması testi sabit hız altında test edilen numunenin kopma noktasına kadar çekilmesi ile yapılır. Uzama miktarı cihaz üzerindeki ekstansometre yardımı ile otomatik olarak ölçülür.

5.1.4. Ls-Dyna ile Sac Metal Şekillendirme Similasyon ve Analizi

LS-DYNA'nın en yaygın kullanılan uygulamalarından biri sac metal şekillendirmedir. LS-DYNA, başarısız olup olmayacağını belirlemek gerekir. Bunun için metalin yaşadığı gerilmeleri ve deformasyonları doğru bir şekilde tahmin eder. Ayrıca, hassaslığı artırmak ve zamandan tasarruf etmek gerekir. Sac metal şekillendirme analizi sırasında ağın gerektiği şekilde rafine edilmesini ve adaptif yeniden ağ oluşturmayı destekler.

Sac metal form verme uygulamasının içeriği;

- Dövme
- Derin çizim
- Metal dalgalanma
- Hidroforming
- Çok aşamalı süreçler

Sıkıştırılamaz akış çözücü, akışkanlar mekaniğine uygulanan en gelişmiş sonlu eleman teknolojisine dayanmaktadır. Katı mekanik çözücü ile tamamen birleştirilmiştir. Bu bağlantı, FSI zayıf olduğunda açık bir teknik yoluyla olur. FSI bağlantısı güçlü olduğunda örtük bir bağlantı kullanarak sağlam sıvı-katı etkileşim (FSI) analizine izin verir.

LS-DYNA ayrıca bir seviye seti arayüzü izleme tekniği kullanır. Modellemeyi içeren iki fazlı bir akış özelliğine sahiptir. Temel türbülans modelleri de desteklenmektedir. Bu çözücü, sıvı alanını girdi olarak sınırlayan güzel yüzey ağlarını alan yeni bir hacim ağı kullanır. Ek olarak, sıkıştırılamaz akışın ilerlemesi sırasında, çözüm otomatik olarak uyarlanabilir bir şekilde yeniden meshlenir. Mesher ayrıca, akışkan duvarların yakınında kesme gerilmeleri hesaplanacağı zaman modelin çok önemli bir parçası haline gelen anizotropik sınır tabakası ağları oluşturur.

5.1.5. Farklı Sac Kalitesi ve Kalınlıklarda Numune Denemesi

Baskı denemeleri yaptığımız ürün otomotiv sektörü parçasıdır. Birkaç sıvama operasyonundan oluşan bu ürün için çeşitli denemeler yapılmıştır. Farklı özellikteki ham maddeler ve farklı sac kalınlıkları ile ürün baskı denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler şu şekildedir;



Fotoğraf 5.8. 600 Ton Hidrolik Pres ve İlk Operasyon

Fotoğraf 5.8’de 600 tonluk hidrolik pres de ürünün ilk operasyonu basılmaktadır. Fotoğraflar 5.8, 5.9, 5.10 ve 5.11’de diğer operasyonlardan çıkan ürünler gösterildi.

İlk derin sıvama işlemi belirli bir derinliğe kadar yapılmaktadır. İkinci operasyonda sıvama boyu artırılarak sac parça istenilen derinliğe getirilmektedir.



Fotoğraf 5.9. İlk Operasyondan Çıkan Ürün

Fotoğraf 5.9’da ilk sıvama operasyonundan çıkan yarı mamul gösterildi. Bu operasyonda değişik sac kalitelerinde yırtılmaları önlemek adına naylon kullanıldı. Bazı sac kalınlıklarında ise sıvama yağı ile proses tamamlanmıştır.



Fotoğraf 5.10. İkinci Operasyondan Çıkan Ürün

Fotoğraf 5.10’da ikinci sıvama operasyonundan çıkan yarı mamul gösterildi. Bu operasyonda yırtılmaları önlemek adına sıvama yağı yardımı ile derin çekme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 5.11. Nihai Ürün

Tüm operasyonları tamamlanmış ve istenilen teknik özellikleri sahip bitmiş ürün Fotoğraf 5.11’de gösterilmektedir. Derin sıvama prosesinde kullanılan naylon ve sıvama yağları kullanılarak hasarların önüne geçildi. Ham madde zararlarını önlenerek bir iyileştirme yapılmıştır.



Fotoğraf 5.12. İkinci Sıvama Operasyonu



Fotoğraf 5.13. Dc04 Kalite 0,6 mm Sac Kalınlık Denemesi



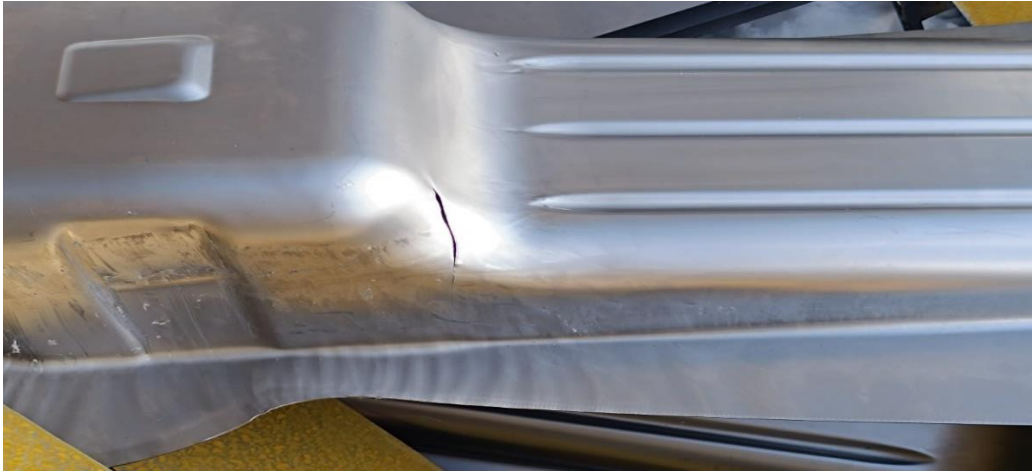
Fotoğraf 5.14. Dc04 Kalite 0,67 mm Sac Kalınlık Denemesi

Fotoğraflar 5.13 ve 5.14 Dc04 kalite 0,6 mm ve 0,67 mm sac kalınlığında yapılan deneme sonucunda ürünlerde büyük hasarlar oluşmaktadır.



Fotoğraf 5.15. Dc04 Kalite 0,7 mm Sac Kalınlık Denemesi

Fotoğraf 5.15’de Dc04 kalite 0,7 mm kalınlığında ham madde sonucunda hasarların daha aza indiği gözükmemektedir.



Fotoğraf 5.16. Dc01 (Jıs G 3141:2011) Kalite 0,72 mm Sac Kalınlık Denemesi

Fotoğraf 5.16’da Dc01 kalite 0,72 mm kalınlığında ki sac levha kullanılarak yapılan deney gösterilmektedir ve radyüs kısmında büyük hasarlar oluğu görölmektedir.



Fotoğraf 5.17. Dc01 0,77 mm Sac Kalınlık Denemesi



Fotoğraf 5.18. Dc01 0,86 mm Sac Kalınlık Denemesi

Fotoğraflar 5.17 ve 5.18’de aynı kalitede 0,77 mm ve 0,86 mm sac kalınlığında yapılan deneme sonucunda ki görseller bulunmaktadır.



Fotoğraf 5.19. DC01 0,9 mm Sac Kalınlık Denemesi



Fotoğraf 5.20. Dc04 0,95 mm Sac Kalınlık Denemesi

Fotoğraflar 5.19 ve 5.20’de farklı kalitelerde 0,9 mm ve 0,95 mm sac kalınlığında yapılan deneme sonucunda ki görseller bulunmaktadır.

5.2. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde deney sonuçları çeşitli başlıklar altında açıklanmış ve incelenmiştir. İnceleme sonrasında sac malzemeler arasında karşılaştırma yapılmıştır.

5.2.1. Sac Ham Maddelerin Test Parametleri

Sac levhalar ile yapılan testlerin incelenmesi;

Mekanik Test Sonuçları

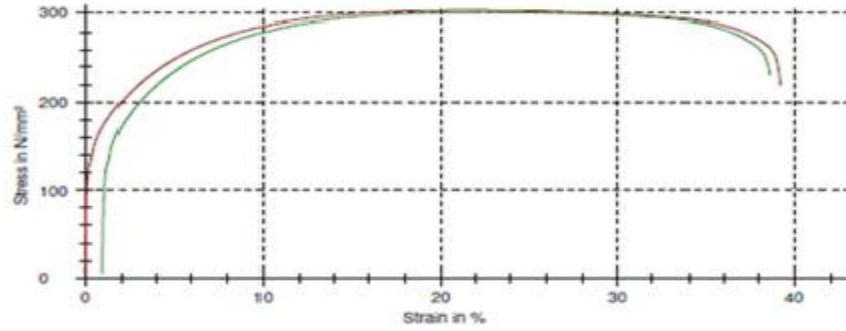
Malzeme bilgileri

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	İş emri :
Material/Malzeme: 109000-arcelor-alusi	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed/ Hız : 0,008 l/s

Sonuçlar

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,72	20	80,05	96,02	133	-	303	39,0
2	0,72	20	80,02	91,68	133	-	301	37,4

Grafikler



İstatistikler

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,72	20	80,03	93,85	133	-	302	38,2
s	0,000	0,000	0,02	3,07	0	-	1	1,1
v	0,00	0,00	0,03	3,27	0,09	-	0,49	2,99

Şekil 5.1. Alusi Kalite 0,72 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.1 Alusi kalite sac levha için yapılan çekme testinin sonuçlarını göstermektedir. Alusi saclarda yırtılmalar gözlemlendi.

Bilgiler:

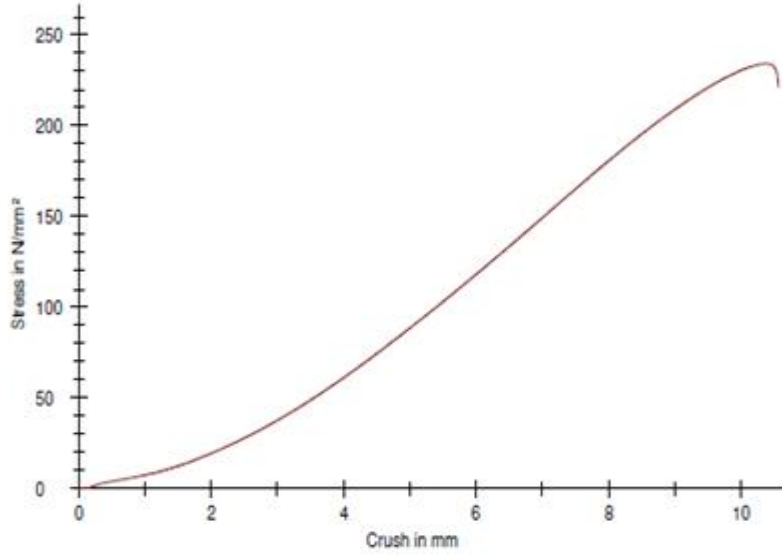
Bablık :
Tedarikci :
Testi Yapan : M KEPLİYOĞLU
Test Standartı :
Material/Malzeme : 109900005-07-ALS-01-AR-ERYCSEN
Batch/Döküman No :
Sipariş No :
Load cell :

Pre-load : 0,1 N
Pre-load speed : 5 mm/min
Test speed : 10 mm/min

Sonuçlar:

Nr	a0 mm	b0 mm	Fmax N	ϵ -Break mm	ϵ -F max mm
1	0,7	75	12295,74	10,56	10,38

Grafikler:



İstatistikler:

Series	a0 mm	b0 mm	Fmax N	ϵ -Break mm	ϵ -F max mm
n = 1	mm	mm	N	mm	mm
$\bar{x}$	0,7	75	12295,74	10,56	10,38
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

Şekil 5.2. Alusi Kalite 0,7 mm Kalınlık Ericsen Testi

Şekiller 5.1 ve 5.2’de Alusi kalite 0,7 mm kalınlığında ham madde çekme testi ve Ericsen testi sonuçları gözükmektedir. Uzama değeri %38,2 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 303 N/mm², akma değeri 133 N/mm² dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

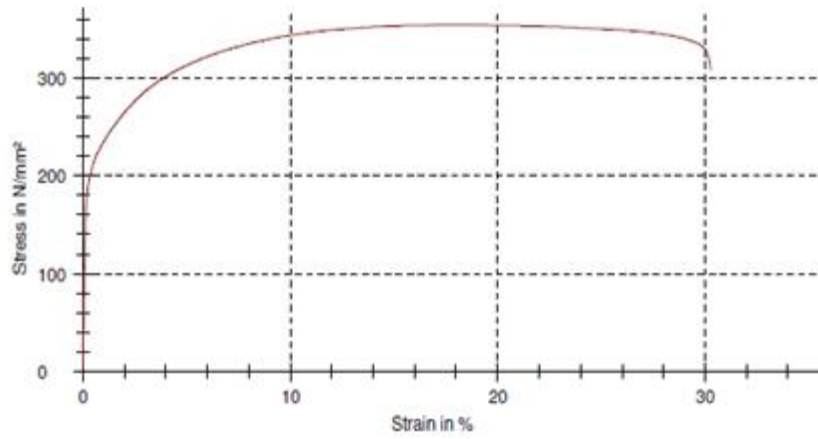
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan : V ÇELİK	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 109900007-05-ALS-01-FER	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız : 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,5	20	79,96	123,11	200	-	354	30,0

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,5	20	79,96	123,11	200	-	354	30,0
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.3. Alusi Kalite 0,5 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.3’de Alusi kalite 0,5 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları gözükmektedir. Uzama değeri %30 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 354 N/mm², akma değeri 200 N/mm² dir. Sac kalınlığı 0,7 mm’den 0,5 mm düşürüldüğünde uzaman oranında düşüş yaşanmaktadır. Buna rağmen çekme ve akma değerinde artış söz konusudur.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

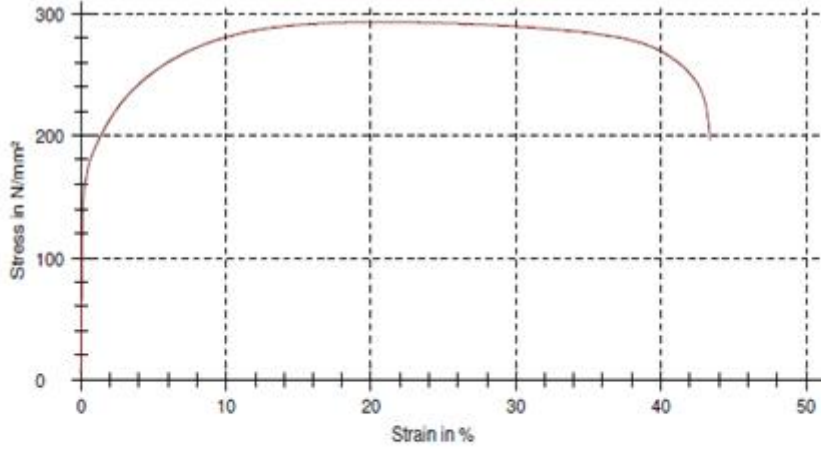
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi	:		Batch/Döküm no	:	
Testi yapan	:	V ÇELİK	Sipariş no	:	
Test standard	:		iş emri	:	
Material/Malzeme : 109900006-1-ALS-01-AC					
Pre load/Ön yük	:	5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız	:	20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız	:	20 MPa/s	Test speed / Hız	:	0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %	Date
1	1,01	20	79,97	168,32	163	-	293	43,3	

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	1,01	20	79,97	168,32	163	-	293	43,3
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.4. Alusi Kalite 1,01 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.4’de Alusi kalite 1,01 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %43,3 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 293 N/mm², akma değeri 163 N/mm²’dir. Sac kalınlığı 0,7 mm’den 1 mm ye çıkartıldığı zaman uzama oranında artış görülmektedir. Fakat çekme ve akma değerlerinde azalma olmuştur.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

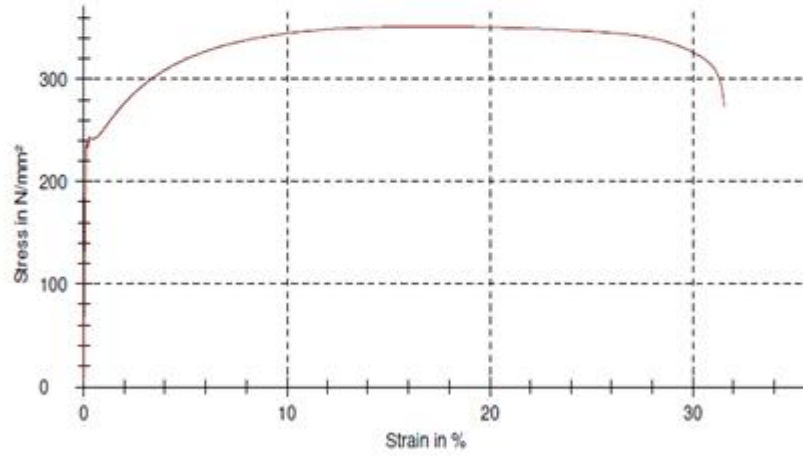
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :		Batch/Döküm no :	
Testi yapan :		Sipariş no :	
Test standard :		iş emri :	
Material/Malzeme: 105000096-1-DX53-01-GÖK			
Pre load/Ön yük :	5	N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız:	20	MPa/s	Test speed / Hız : 0.008 l/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,98	20	79,95	310,32	244	237,4	351	31,5

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,98	20	79,95	310,32	244	237,4	351	31,5
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.5. Galvaniz Kalite 1,00 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.5’de Galvaniz kalite 1,00 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %31,5 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 351 N/mm², akma değeri 244 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

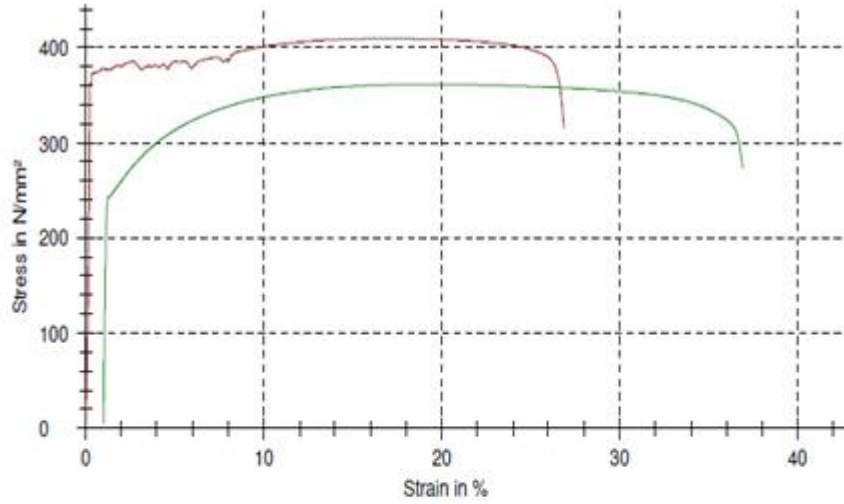
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan : V ÇELİK	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 105000071-08-DX51-01-B	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 l/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,8	20	80,00	106,50	373	363,3	409	26,6
2	0,8	20	79,99	143,39	244	-	361	35,7

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,8	20	80,00	124,95	309	363,3	385	31,1
s	0,000	0,000	0,01	26,08	91	-	34	6,5
v	0,00	0,00	0,01	20,88	29,64	-	8,80	20,73

Şekil 5.6. Galvaniz Kalite 0,80 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.6’da Galvaniz kalite 0,80 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %31,1 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 385 N/mm², akma değeri 309 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

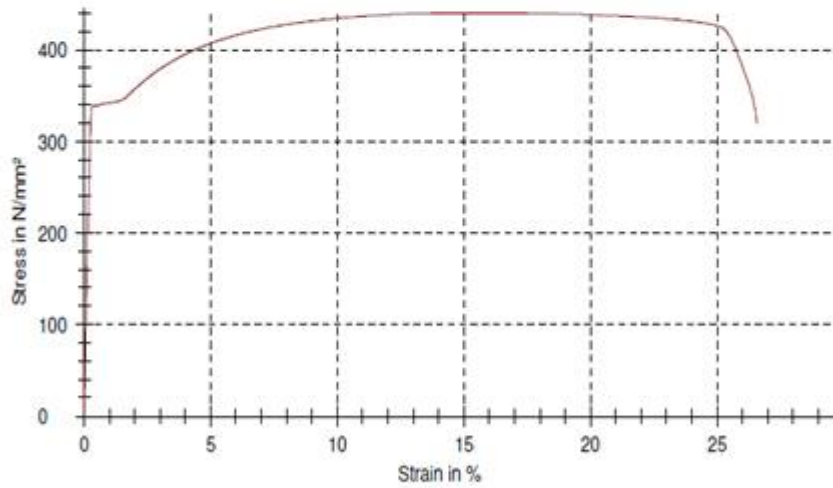
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan : V ÇELİK	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme: 105000089-07-DX51-00-B	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 l/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,7	20	79,95	143,42	339	-	440	26,3

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,7	20	79,95	143,42	339	-	440	26,3
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.7. Galvaniz Kalite 0,70 mm Kalınlık Sac Çekme Testi

Şekil 5.7’de Galvaniz kalite 0,70 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %26,3 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 440 N/mm², akma değeri 339 N/mm²’dir.

Bilgiler:

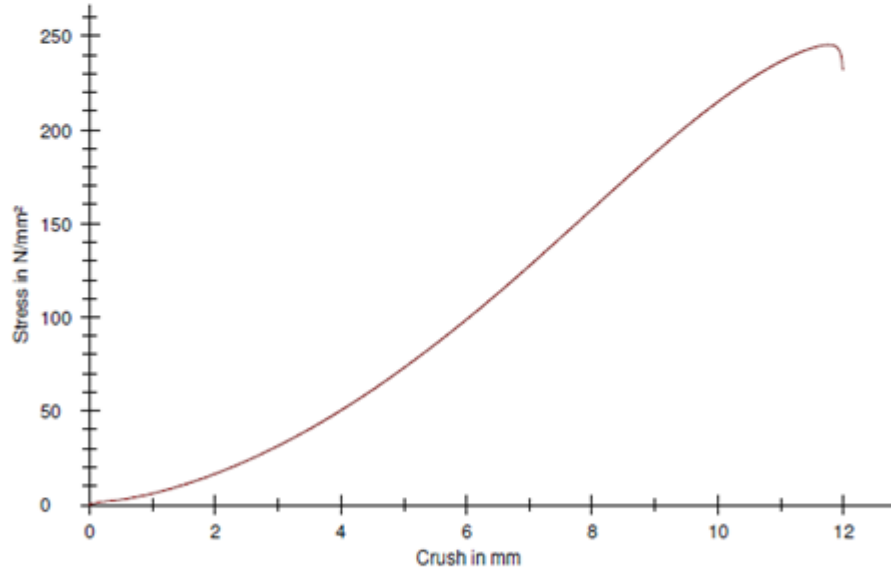
Baplık :
Tedarikci :
Testi Yapan : V ÇELİK
Test Standartı :
Material/Malzeme :
Batch/Döküman No : 105000038-045-DX54-01-B-ERİCSEN
Sipariş No :
Load cell :

Pre-load : 5 N
Pre-load speed : 5 mm/min
Test speed : 10 mm/min

Sonuçlar:

Nr	a0 mm	b0 mm	Fmax N	ϵ -Break mm	ϵ -F max mm
1	0,45	75	8279,19	11,99	11,75

Grafikler:



Sonuçlar:

Series	a0 mm	b0 mm	Fmax N	ϵ -Break mm	ϵ -F max mm
n = 1	mm	mm	N	mm	mm
$\bar{x}$	0,45	75	8279,19	11,99	11,75
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

Şekil 5.8. Galvaniz Kalite 0,45 mm Kalınlık Ericsen Testi

Şekil 5.8’de 0,45 mm kalınlığında galvaniz kalite sacda yapılan çekme testi sonuçları gösterilmiştir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

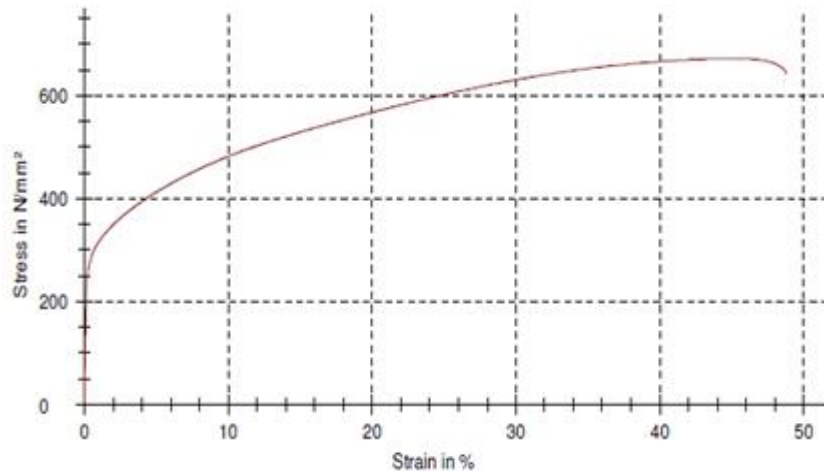
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan : V ÇELİK	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 107000099-06-304-01-Ap	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız : 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,59	20	80,03	166,43	273	-	671	48,4

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
$\bar{x}$	0,59	20	80,03	166,43	273	-	671	48,4
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.9. İnox Kalite 0,60 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.9'da İnox kalite 0,60 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %48,4 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 671 N/mm², akma değeri 273 N/mm²'dir.

Bilgiler:

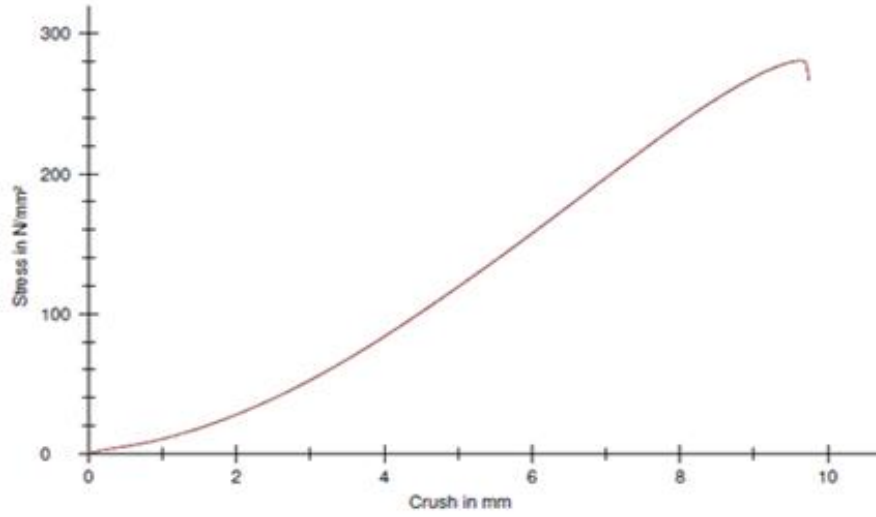
Bařlyk :
Tedarikci :
Testi Yapan :
Test Standartı :
Material/Malzeme :
Batch/Döküman No: 107100022-06-430-01-S-ERYCSEN
Sipariş No :
Load cell :

Pre-load : 5 N
Pre-load speed : 5 mm/min
Test speed : 10 mm/min

Sonuçlar:

Nr	a0 mm	b0 mm	Fmax N	ε-Break mm	ε-F max mm
1	0,6	75	12629,32	9,75	9,62

Grafikler:



İstatistikler:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	Fmax N	ε-Break mm	ε-F max mm
x	0,6	75	12629,32	9,75	9,62
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

Şekil 5.10. İnox Kalite 0,6 mm Kalınlık Ericsen Testi

Şekil 5.10’da 0,6 mm kalınlığında galvaniz kalite sacda yapılan çekme testi sonuçları gösterilmiştir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

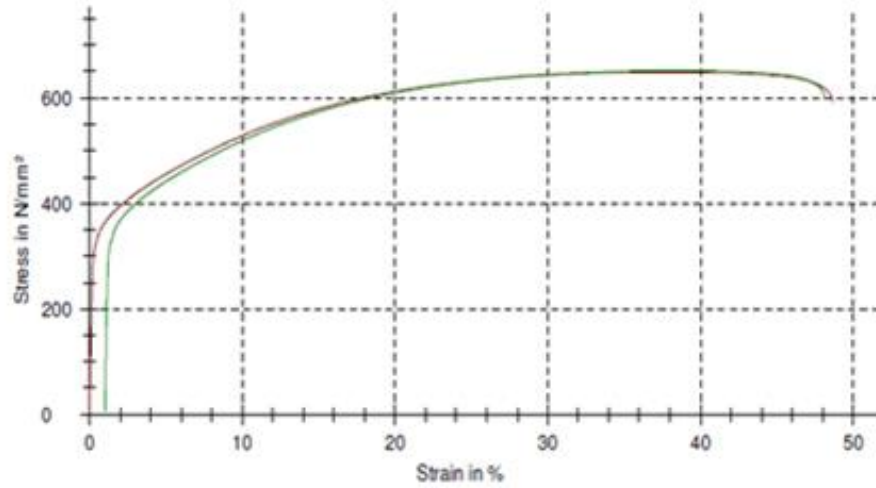
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan : V ÇELİK	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme: 107000072-07-304-01-SARITAŞ	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız : 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,67	20	80,02	153,23	323	-	649	48,2
2	0,67	20	80,01	140,09	330	-	651	46,7

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,67	20	80,01	146,66	326	-	650	47,5
s	0,000	0,000	0,01	9,29	4	-	2	1,1
v	0,00	0,00	0,01	6,34	1,35	-	0,26	2,31

Şekil 5.11. İnox Kalite 0,70 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.11’de İnox kalite 0,70 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları gözükmektedir. Uzama değeri %47,5 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 650 N/mm², akma değeri 326 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

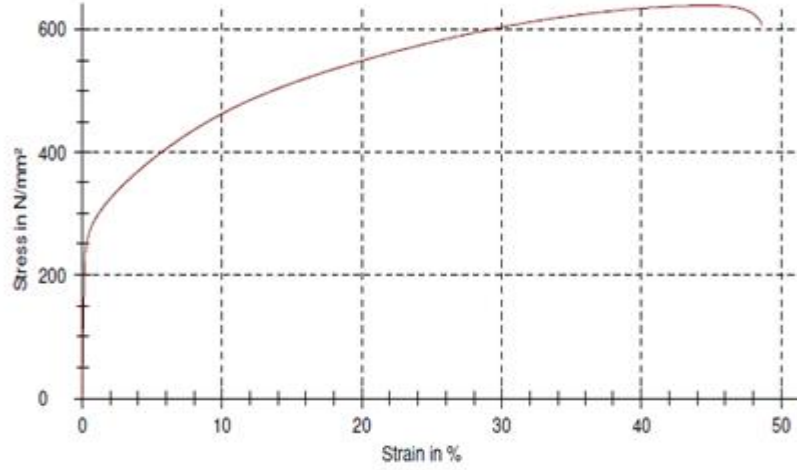
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan : V ÇELİK	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 107000079-08-304-01-Ap	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,78	20	80,00	142,97	259	-	638	48,2

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
n = 1	mm	mm	mm	kN/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%
x	0,78	20	80,00	142,97	259	-	638	48,2
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.12. İnox Kalite 0,78 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.12’de İnox kalite 0,78 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %48,2 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 638 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

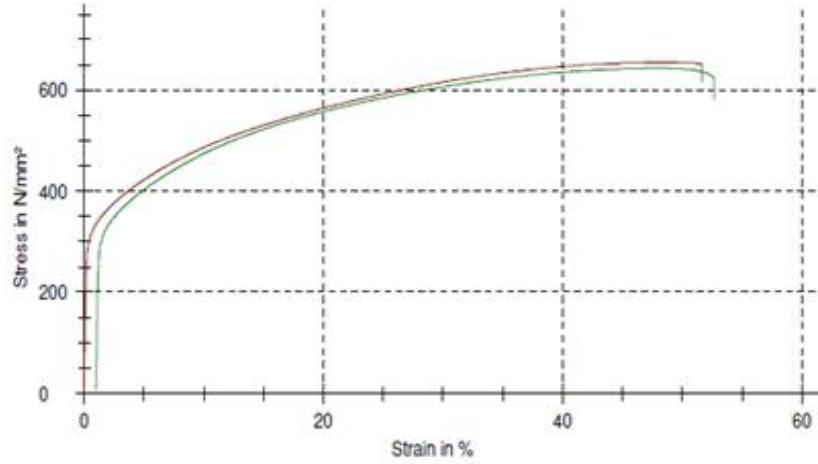
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 107100120-1-304-01-Thy	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 l/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,99	20	80,00	150,02	298	-	654	51,2
2	0,99	20	79,99	137,86	298	-	643	51,2

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,99	20	79,99	143,94	298	-	649	51,2
s	0,000	0,000	0,01	8,60	0	-	8	0,0
v	0,00	0,00	0,01	5,97	0,06	-	1,26	0,01

Şekil 5.13. İnox Kalite 0,99 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.13’de İnox kalite 0,99 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %51,2 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 649 N/mm², akma değeri 298 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

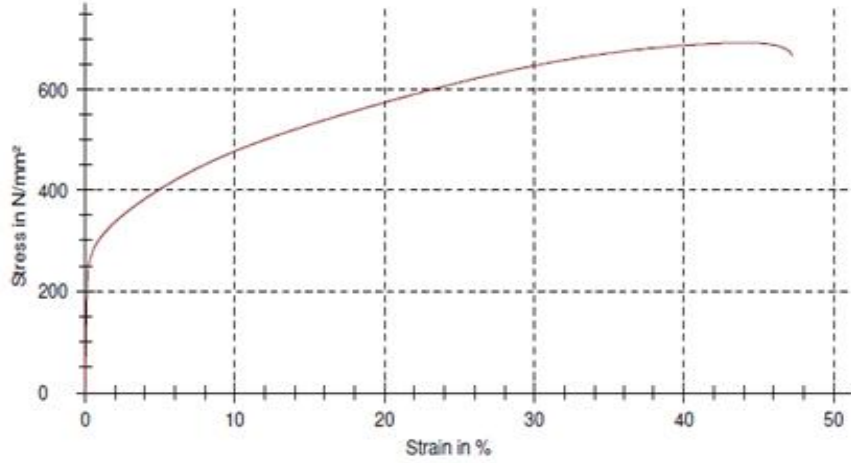
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 107000120-1-304-01	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 l/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	1	20	80,01	166,81	266	-	692	46,8

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
$\bar{x}$	1	20	80,01	166,81	266	-	692	46,8
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.14. İnox Kalite 1,00 mm Kalınlık Sac Çekme Testi

Şekil 5.14'de İnox kalite 1 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %51,2 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 649 N/mm², akma değeri 298 N/mm²'dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

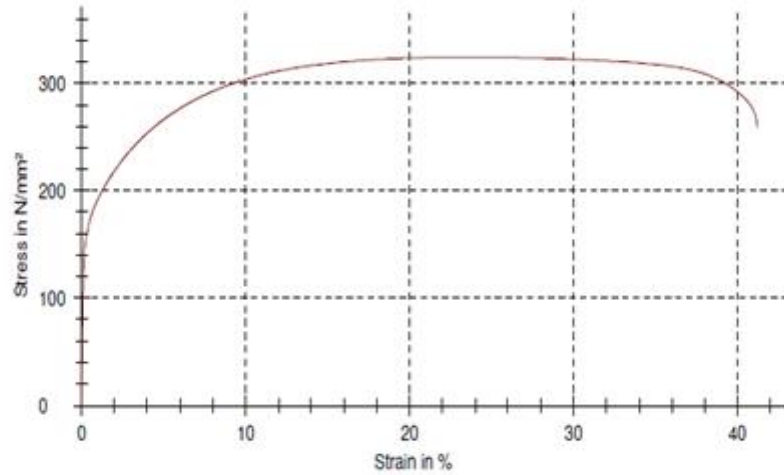
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 103000033-05-DC04-01-E	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 l/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,51	20	80,00	112,53	162	-	324	41,0

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
$\bar{x}$	0,51	20	80,00	112,53	162	-	324	41,0
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.15. Dc04 (DIN EN 10130-91) Kalite 0,51 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.15’de Dc04 kalite 0,51 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %41 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 324 N/mm², akma değeri 162 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

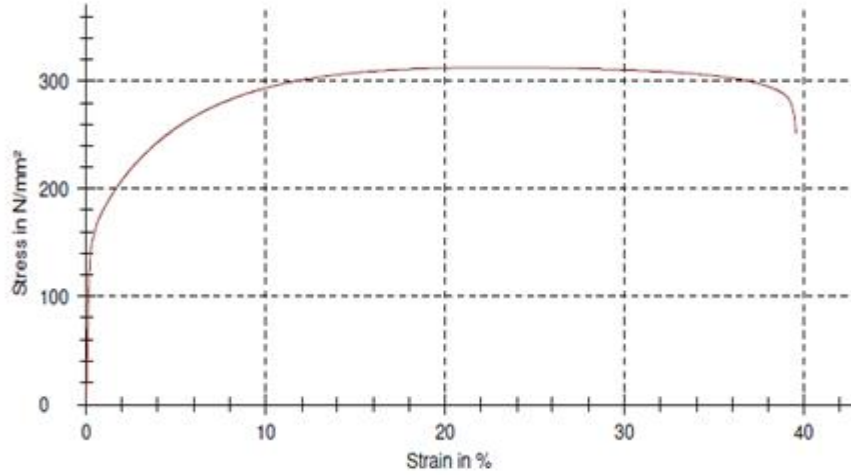
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 103000039-06-DC04-01-E	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 l/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,6	20	79,98	85,38	154	-	313	39,3

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,6	20	79,98	85,38	154	-	313	39,3
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.16. Dc04 Kalite 0,6 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.16’da Dc04 kalite 0,6 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %39,3 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 313 N/mm², akma değeri 154 N/mm²’dir.

Bilgiler:

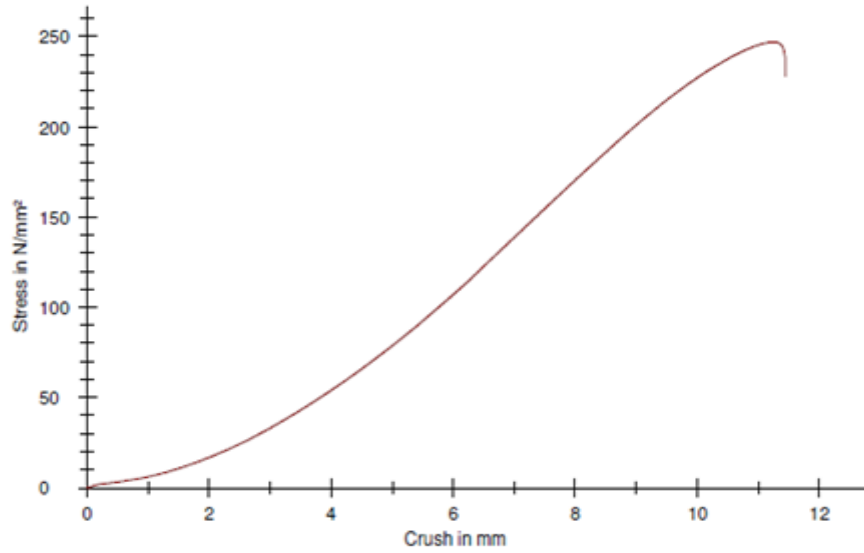
Baplık :
Tedarikci :
Testi Yapan : V ÇELİK
Test Standartı :
Material/Malzeme :
Batch/Döküman No : 103000026-06-DC04-01-E-ERYCSEN
Sipariş No :
Load cell :

Pre-load : 5 N
Pre-load speed : 5 mm/min
Test speed : 10 mm/min

Sonuçlar:

Nr	a0 mm	b0 mm	Fmax N	e-Break mm	e-F max mm
1	0,57	75	10553,17	11,44	11,25

Grafikler:



İstatistikler:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	Fmax N	e-Break mm	e-F max mm
$\bar{x}$	0,57	75	10553,17	11,44	11,25
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

Şekil 5.17. Dc04 Kalite 0,57 mm Kalınlık Erichsen Testi

Şekil 5.17’de 10 mm/min hızında Erichsen test sonuçları paylaşılmıştır.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

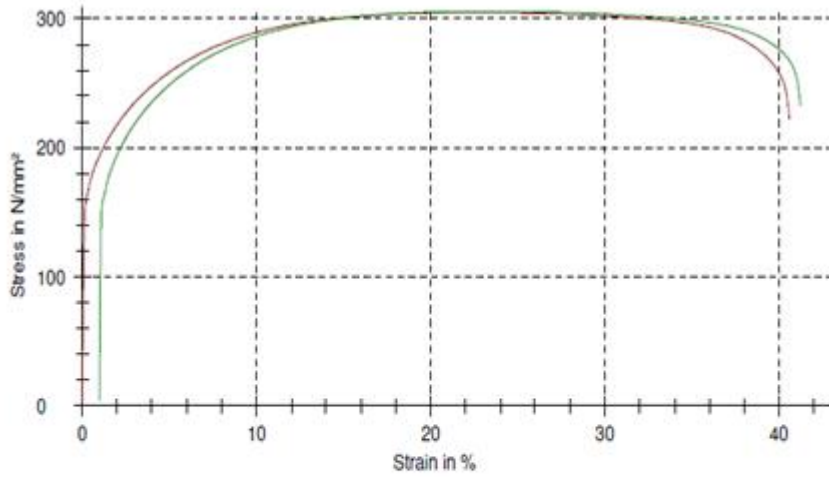
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 101000067-0,7-DC01-01-E	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,66	20	79,96	149,69	165	-	305	40,4
2	0,66	20	79,96	198,07	164	-	306	40,1

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,66	20	79,96	173,88	164	-	305	40,3
s	0,000	0,000	0,00	34,21	1	-	1	0,2
v	0,00	0,00	0,00	19,68	0,52	-	0,23	0,59

Şekil 5.18. Dc04 kalite 0,66 mm kalınlık çekme testi

Şekil 5.18’de Dc04 kalite 0,66 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %40,3 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 305 N/mm², akma değeri 173,88 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

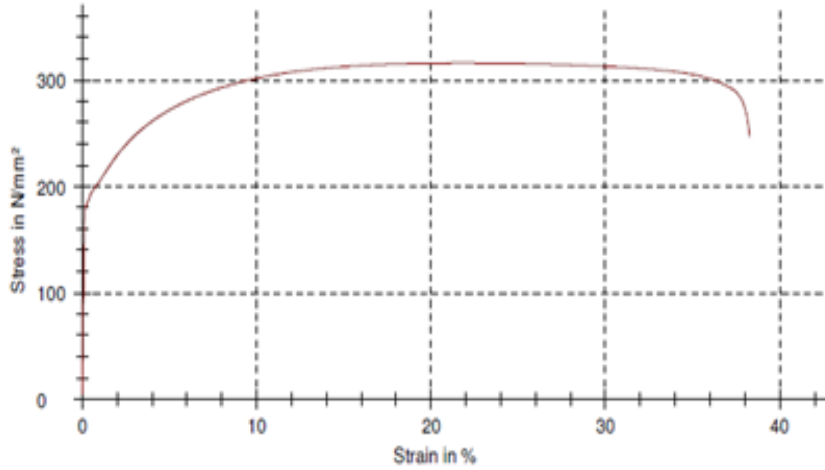
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 103000002-07-DC04-01-E	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız : 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,69	20	79,98	183,36	186	-	316	38,1

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,69	20	79,98	183,36	186	-	316	38,1
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.19. Dc04 Kalite 0,69 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.19’da Dc04 kalite 0,69 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %38,1 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 316 N/mm², akma değeri 183,36 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

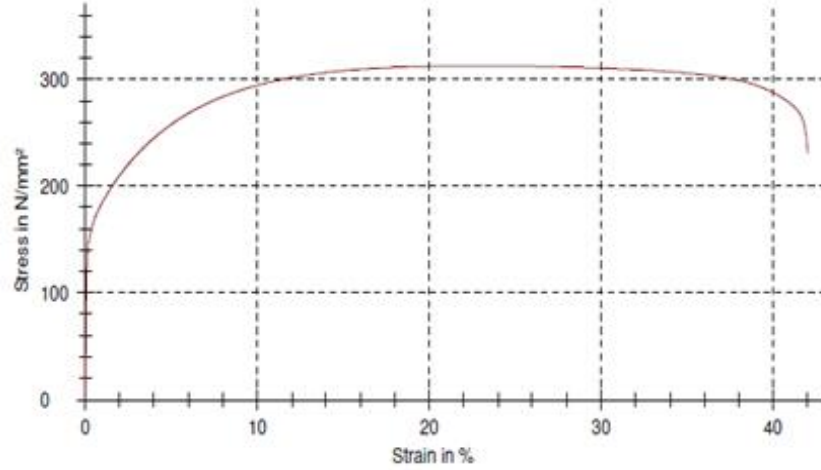
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 104000013-0,77-DC04-01-T	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,77	20	79,98	178,73	155	-	313	41,9

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,77	20	79,98	178,73	155	-	313	41,9
s	-	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 5.20. Dc04 Kalite 0,77 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.20’de Dc04 kalite 0,77 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %41,9 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 313 N/mm², akma değeri 178,73 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

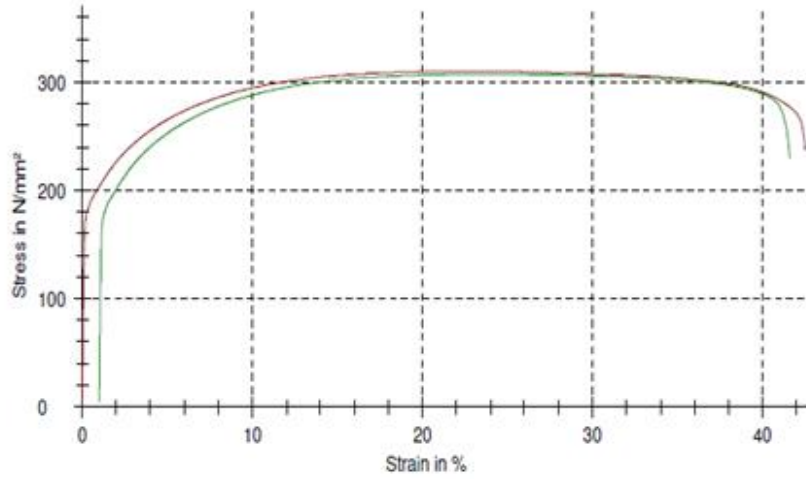
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 103000023-08-DC04-01-GAZİ	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 l/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,79	20	79,98	169,87	182	-	310	42,4
2	0,79	20	79,99	169,80	179	-	308	40,5

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series n = 2	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	0,79	20	79,98	169,83	181	-	309	41,4
s	0,000	0,000	0,00	0,05	2	-	2	1,4
v	0,00	0,00	0,00	0,03	0,88	-	0,60	3,27

Şekil 5.21. Dc04 Kalite 0,79 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.21’de Dc04 kalite 0,79 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları görülmektedir. Uzama değeri %41,4 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 309 N/mm², akma değeri 169,83 N/mm²’dir.

Bilgiler:

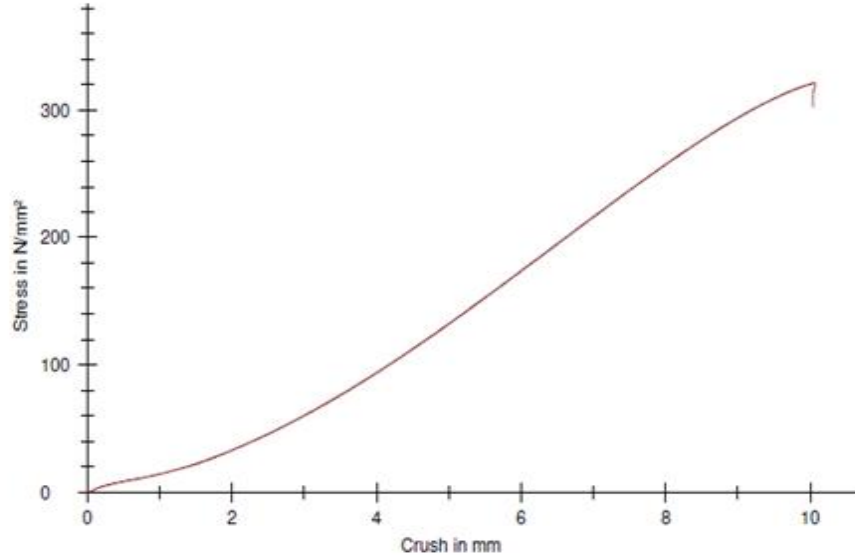
Baþlýk :
Tedarikci :
Testi Yapan :
Test Standartý :
Material/Malzeme :
Batch/Döküman No: 107000103-08-441-01-A- ERYCSEN
Sipariş No :
Load cell :

Pre-load : 5 N
Pre-load speed : 5 mm/min
Test speed : 10 mm/min

Sonuçlar:

Nr	a0 mm	b0 mm	Fmax N	ε-Break mm	ε-F max mm
1	0,79	75	19043,05	-	10,06

Grafikler:



İstatistikler:

Series	a0 mm	b0 mm	Fmax N	ε-Break mm	ε-F max mm
n = 1					
x	0,79	75	19043,05	-	10,06
s	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-

Şekil 5.22. Dc04 Kalite 0,79 mm Kalınlık Erichsen Testi

Şekil 5.22’de 0,79 mm sac ham madde Erichsen test raporları verilmiştir.

Mekanik Test Sonuçları Mechanical Test Results

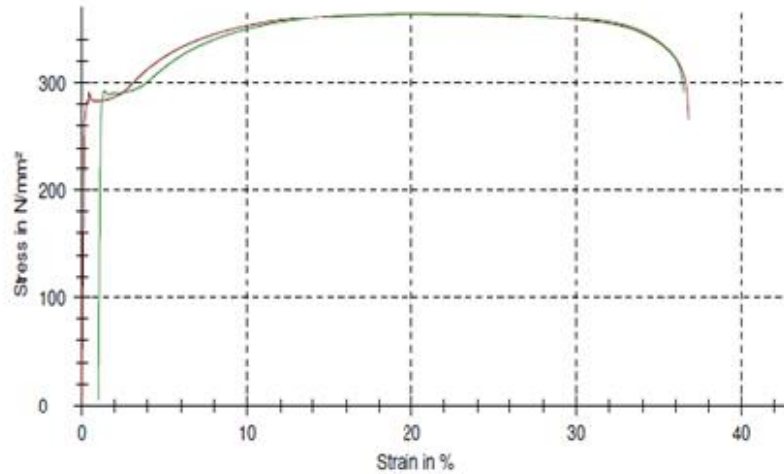
Malzeme bilgileri / Material parameters

Tedarikçi :	Baich/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 101000017-0,96-DC01-01	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız : 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar / Results

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	0,96	20	79,97	179,26	284	283,7	364	36,7
2	0,96	20	79,95	184,25	292	-	365	35,4

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

Series	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
n = 2	0,96	20	79,96	181,76	288	283,7	365	36,0
x	0,000	0,000	0,02	3,53	6	-	0	0,9
s	0,00	0,00	0,02	1,94	2,12	-	0,09	2,55

Şekil 5.23. Dc04 Kalite 0,96 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.23’de Dc04 kalite 0,96 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları gözükmemektedir. Uzama değeri %36 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 365 N/mm², akma değeri 181,76 N/mm²’dir.

Mekanik Test Sonuçları

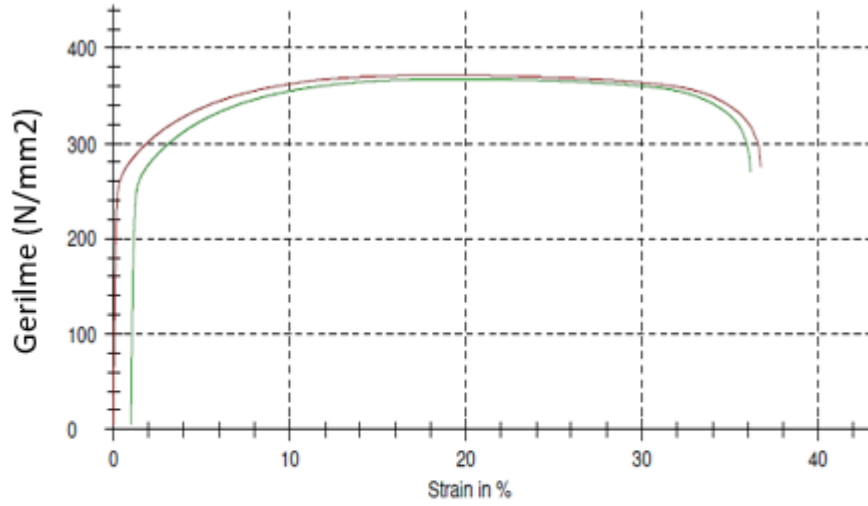
Malzeme bilgileri

Tedarikçi :	Batch/Döküm no :
Testi yapan :	Sipariş no :
Test standard :	iş emri :
Material/Malzeme : 101000071-1,25-DC01-01	
Pre load/Ön yük : 5 N/mm ²	Rp, ReH speed/ Hız : 20 MPa/s
E-Modulus Speed/ Hız: 20 MPa/s	Test speed / Hız : 0,008 1/s

Sonuçlar

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
1	1,26	20	79,97	172,00	259	-	372	36,6
2	1,26	20	79,92	148,95	255	-	367	35,0

Grafikler / Graphics



İstatistikler / Statistics

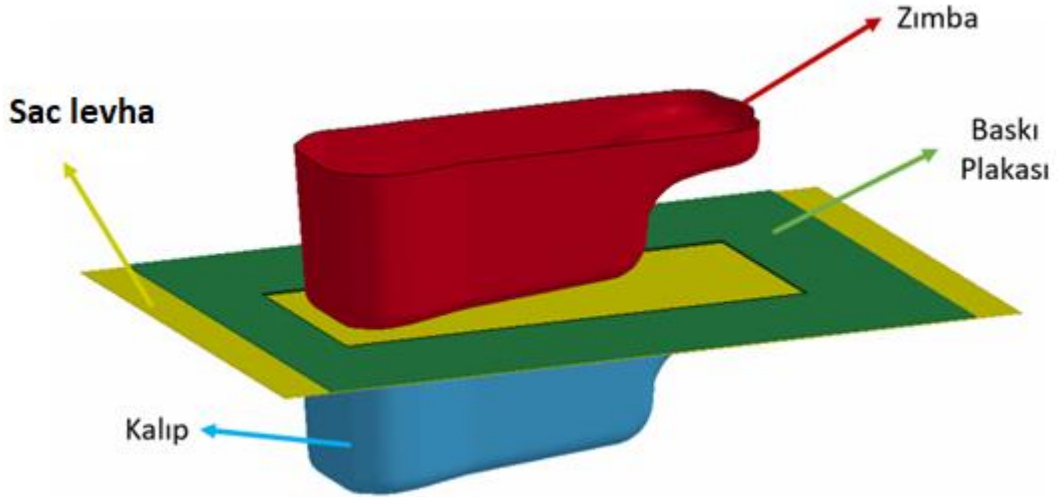
Series n = 2	a0 mm	b0 mm	L0 mm	EMod kN/mm ²	Rp 0,2 N/mm ²	ReH N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
x	1,26	20	79,95	160,47	257	-	370	35,8
s	0,000	0,000	0,03	16,30	3	-	3	1,1
v	0,00	0,00	0,04	10,16	1,21	-	0,82	3,15

Şekil 5.24. Dc04 Kalite 1,26 mm Kalınlık Çekme Testi

Şekil 5.24’de Dc04 kalite 1,26 mm kalınlığında ham madde çekme testi sonuçları gözükmektedir. Uzama değeri %35,8 olarak çıkmıştır. Çekme değeri 370 N/mm², akma değeri 257 N/mm²’dir.

5.3. Sonlu Eleman Metodu

Derin sıvama test koşullarında olduğu gibi sac malzeme kalıp üstüne serilmiştir. Sac malzemenin sıvama işleminde çarpılmasını engellemek için kalıp ile baskı plakası arasında konumlandırılmıştır. Zımba ise sac malzemeye şekillendirmek üzere "y" eksenini boyunca hareketi tanımlanmıştır. Sac malzemesi ve kalınlıkları değişkenlik göstermektedir ve malzeme tanımı olarak "Mat#24" parçalı doğrusal plastiklik malzeme modeli tanımlanmıştır. Malzeme özellikleri çekme testlerinden elde edilmiştir. Sonlu elemanlar analizleri sırasında kalıp ve baskı plakası deforme olmadığı için "Mat#20" rijit malzeme tanımlanmıştır. Tüm yapılar analizin kısa zamanda çözülmesi için kabuk elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Yapı için azaltılmış tek nokta entegrasyon şeması ve kum saati (hourglass) kontrolü benimsenmiştir. Sac malzemenin ağ boyutu hassasiyeti 1 mm olarak tanımlanmıştır. FEM simülasyonunda gerinim hızının etkisi göz ardı edildi. Zımba ile sac levha, sac levha ile baskı plakası ve sac levha ile kalıp arasında yapısı arasında otomatik yüzeyden yüzeye temas tanımlandı. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları tüm temas koşulları için 0,2 olarak düzenlenmiştir.



Şekil 5.25. Analiz Parça Yerleşimi

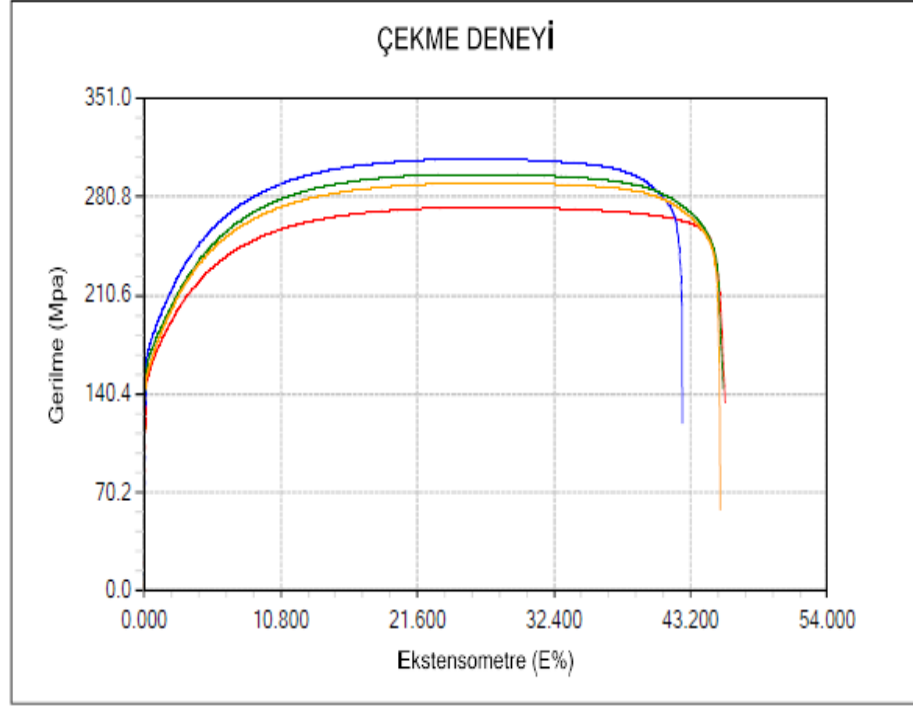
Şekil 5.25’de ham madde sarı renk ile gösterilmiştir, sıvama erkeği kırmızı renk ile, zımba olarak gösterilmiştir. Sac levhayı sabitleyerek sıvama işleminin hasarsız olarak yapılmasını sağlayan baskı plakası yeşil renk ile gösterilmiştir. Dışı çelik olarak adlandırdığımız kalıp elemanı mavi renk ile gösterilmiştir. İki boyutlu

sac levha sıvama kalıp elemanları yardımı ve sıvama erkeği denilen zımba, presin koçundan aldığı hareket ile sac levhayı çökertmesi yani çekme kalıbı içerisine sıvanması ile bir derinlik oluşturulur ve 3 boyutlu yapılar elde edilir. Bu yöntem pres tekniğinde derin sıvam işlemi olarak adlandırılır.



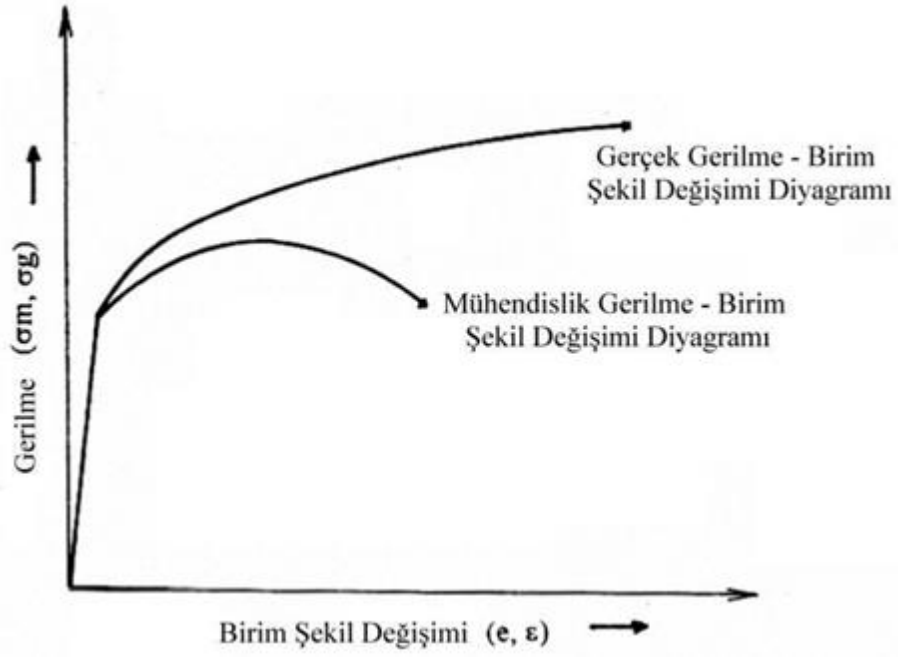
MALZEME TEST RAPORU

Test İd	354	Rapor tarihi	14.12.2023 13:49
Operatör	Yönetici	Numune adı	UGUR
Test hızı	10 mm/dk	Numune cinsi	



No	Renk	Tarih	Fm kN	Rp0.2(Akma) Mpa	Rm(Çekme) Mpa	Kopma uzaması E%	Kalınlık mm	Geniçlik mm	İlk boy mm
1	■	14.12.2023 12:43	5.195	156.932	273.432	45.77	0.86	20.00	80.00
2	■	14.12.2023 12:49	5.292	171.599	307.651	42.43	0.86	20.00	80.00
3	■	14.12.2023 12:58	4.574	166.344	297.039	45.65	0.77	20.00	80.00
4	■	14.12.2023 13:06	3.897	158.276	290.813	45.32	0.67	20.00	80.00
		Ortalama	4.740	163.288	292.234	44.79	0.79	20.00	80.00
		St.Sapma	0.645	6.927	14.333	1.59	0.09	0.00	0.00
		En büyük	5.292	171.599	307.651	45.77	0.86	20.00	80.00
		En küçük	3.897	156.932	273.432	42.43	0.67	20.00	80.00

Şekil 5.26. Dc04 Kalite Dört Değişik Kalınlık Çekme Testi



Şekil 5.27. Çekme Testi Diyagramı

Tablo 5.1 Dc04 malzemesinden imal edilmiş farklı kalınlıktaki numunelere ait mekanik özellikler

Numune Kalınlığı	0,67 mm	0,77 mm	0,86 mm	0,95 mm
Akma Mukavemeti (Mpa)	159,62	167,12	171,59	157,65
Kopma Mukavemeti (Mpa)	680,98	704,16	706,39	565,64
Kopma Uzaması (%)	85,08	86,32	83,12	67,33

Tablo 5.1’de gösterildiği üzere farklı malzemelerden üretilen farklı kalınlıklara sahip çekme test numunelerine ait mekanik özellikler gösterilmiştir. Eşitlikler 5.1, 5.2 ve 5.3 kullanılarak aşağıda hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplanan mekanik özellikler çekme testinden alınan veriler sonrasında gerçek gerilme-genleşme eğrisi çıkartılarak hesaplanmıştır. Daha sonra sonlu elemanlar yönteminde malzeme tanımlanmasında Tablo 5.1’de belirtilen parametreler kullanılmıştır.

$$\sigma_{müh} = \frac{F}{A_{ilk}}, \quad \epsilon_{müh} = \frac{\Delta l}{L_f} = \frac{L_f - L_{ilk}}{L_f} \quad (5.1)$$

$$\sigma (\text{gerçek}) = \frac{F}{A_f} \quad (5.2)$$

$$\epsilon_{gerçek} = \ln \frac{L(ilk)}{L_f} \quad \text{veya kesitte ki daralmayı baz alırsak} \quad (5.3)$$

İlk numunemizin kalınlığı t:0,86 mm Lo : 250 mm

$$A_o = 17,2 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 7,491 \text{ mm}^2$$

$$\varepsilon_{\text{gerçek}} = \ln \frac{A_f}{A_o} \times 100 \quad \%83.12$$

$$\sigma_k = 156,932 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = 531,235 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_k = 0,6642 \text{ mm/mm}$$

$$\sigma_{ak} = 171,599 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = 706,394 \text{ MPa}$$

İkinci numunemizin kalınlığı t:0,67 mm Lo : 250 mm b:20 mm

$$A_o = 13,4 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 5,7224 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{ak} = 158,276 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = 680,98 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_k = 0,85087 \text{ mm/mm}$$

$$\sigma_{ak} = 171,599 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = 706,394 \text{ MPa}$$

Üçüncü numunemizin kalınlığı t:0,77 mm Lo : 250 mm b:20 mm ts:0,54

mm bs:12,03 As:6,4962

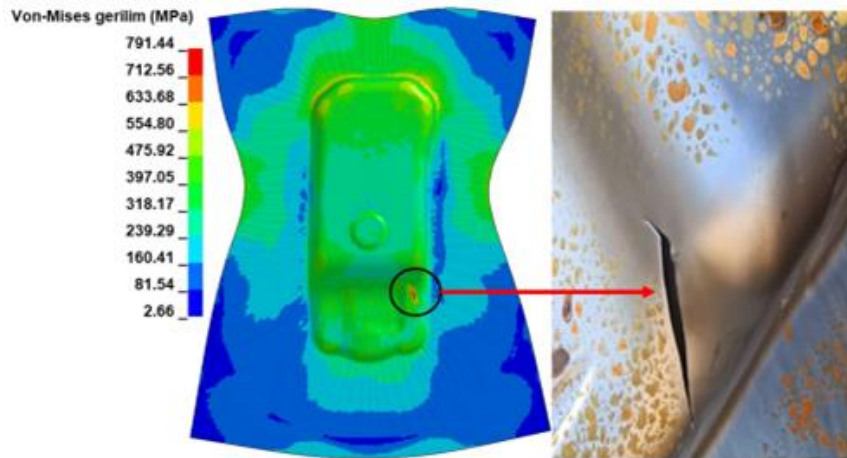
$$A_f = 5,7224 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 15,4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{ak} = 166,344 \text{ MPa}$$

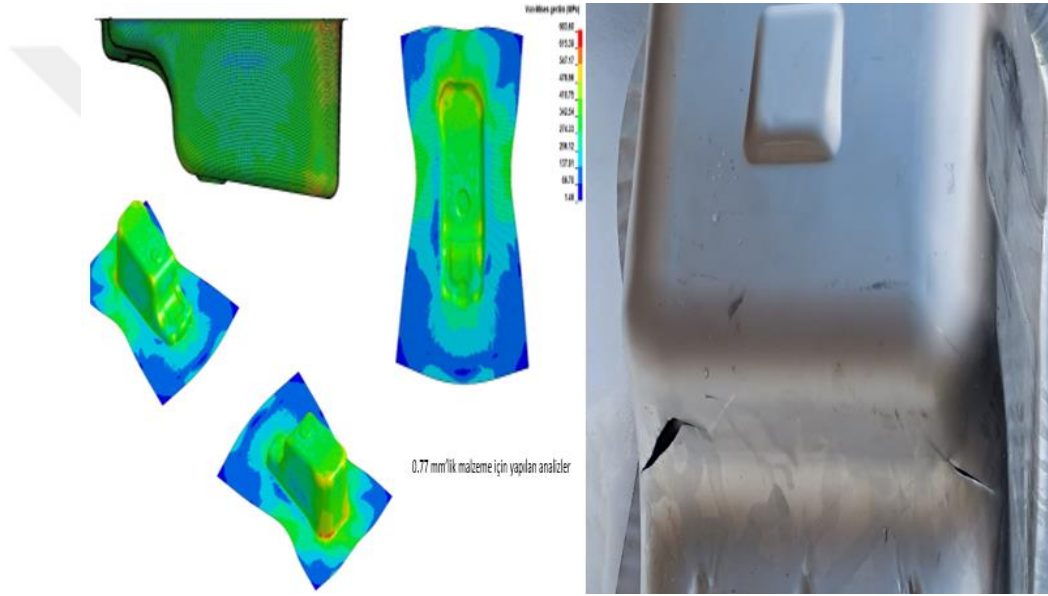
$$\sigma_k = 704,165 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_k = 0,8632 \text{ mm}$$



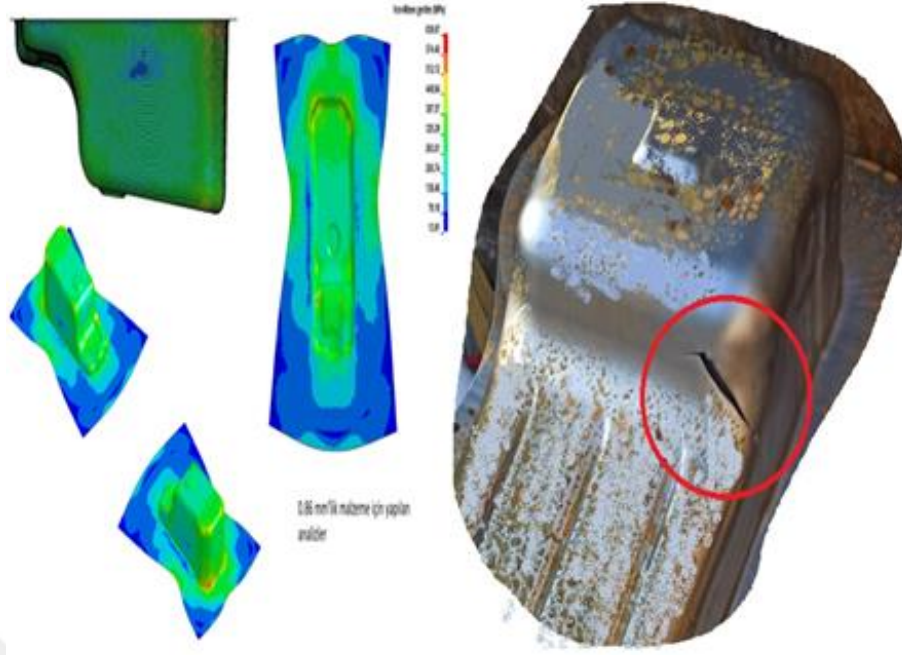
Şekil 5.28. 0,67 mm'lik sac ham maddenin sonlu elemanlar analizinin deneysel sonuç ile karşılaştırılması

Şekil 5.28’de deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar metodundaki sonuçların karşılaştırılmasıyla 0,67 mm’lik sac yapı için hasar meydana gelen bölgelerin aynı olduğu ve gerilmenin bu noktada lokalize olduğu dolayısıyla sac yapıda yırtılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 5.28’de görüldüğü üzere sonlu elemanlar modeli ile deneysel verilerin yüksek bir uyumda çalıştığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı, sonraki farklı kalınlıklara sahip deneysel numunelerden zaman ve maliyet tasarrufundan dolayı sonlu elemanlar analizi yapılarak optimum sac kalınlığı belirlenecektir.

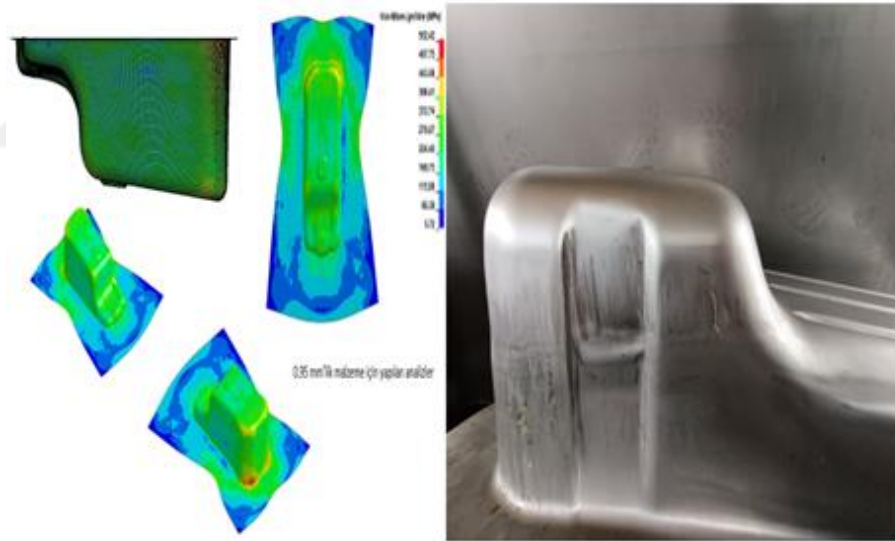


Şekil 5.29. 0,77 mm Ham Madde Analizi

Şekiller 5.29, 5.30 ve 5.31’de sonlu elemanlar yönteminde yapılan simülasyon ve incelme görülen cidarlar gösterilmiştir.



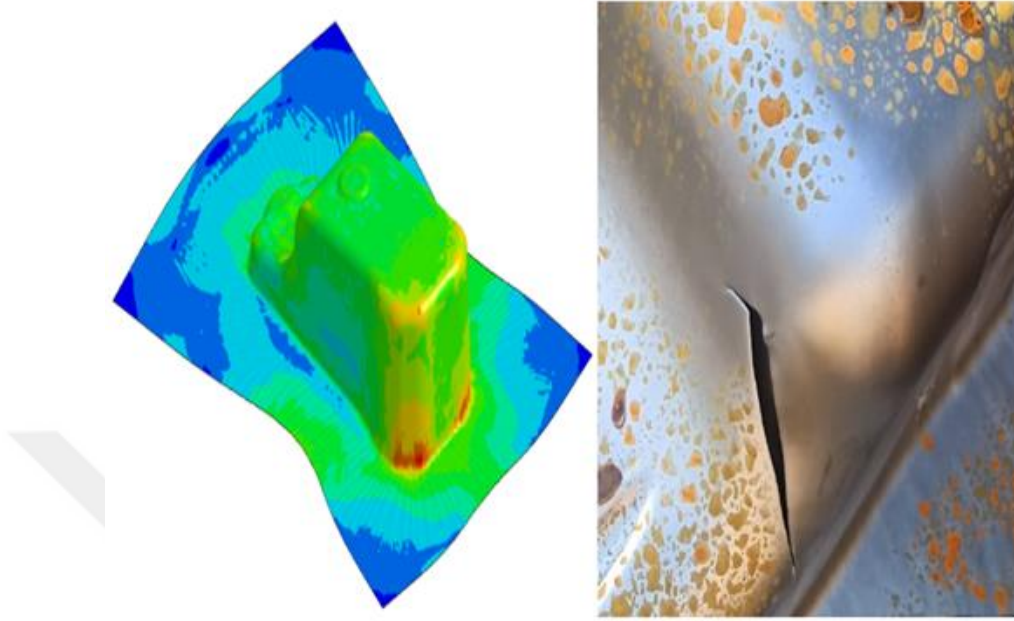
Şekil 5.30. 0,86 mm Ham Madde Analizi



Şekil 5.31. 0,95 mm Ham Madde Analizi

Şekil 5.31’da görüldüğü üzere 0,95 mm’lik kalınlığa sahip sac yapıya ait sonlu elemanlar sonucu verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere maksimum Von-Mises gerilme değerleri 0,86 mm’lik yapıda olduğu gibi karter yapının dip radyüslerinde meydana geldiği görülmektedir. Oluşan gerilme değerleri, Tablo 5.1’de verilen kopma mukavemetinden daha düşük olduğu görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda 0,95’lik kalınlığa sahip numunede derin sıvama işlemi sonucunda 0,67

mm'lik yapıda oluşan hasarın meydana gelmediği bunun nedeninin kalınlığın artırılmasıyla birim alana etkiyen eğilme değerinin azaldığı söylenebilir.



Şekil 5.32. Sonlu Elemanlar Analizinin Deneysel Sonuç ile Karşılaştırılması

Şekil 5.32’de sonlu elemanlar metodunda yırtılmaların görüldüğü cidarların denemelerde ki sonuçlar örtüştürülmesidir.

Yapılan analizlerde 0,95 mm, 0,86 mm, 0,77 mm ve 0,67 mm’lik kalınlığa sahip malzemelerde derin sınaa analizlerinde gerilmenin kartelin üst kıvrım köşelerinde oluştuğu (şekiller) görülmüştür. Von-Mises gerilme değerleri incelenmiş ve hasarın oluşmadığı 0,95 mm kalınlıkta görülmüştür. Fakat, 0,67 mm, 0,77 mm, 0,86 mm’lik kalınlığa sahip sac malzemedede $\sigma_k=680.98$ MPa değerine sahipken analizde kartelin üst köşesinin kıvrım noktasında gerilme değeri 791 Mpa okunmuştur. Deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında 0,67 mm, 0,77 mm, 0,86 mm’lik parçalarda yırtılma gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçlar uyum içinde olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Derin sıvama imalat yöntemleri üretilmesi zor ya da birkaç parça ürünün montajı ile elde edilebilecek olan ürünleri, montaj yöntemleri, kaynak ya da herhangi bir ek imalat yöntemi olmadan üretmek için kullanılan seri bir üretim yöntemidir. Ürün maliyetlerini azaltmak için ham madde kullanım oranlarının azaltılması gereklidir. Bu çalışmada üretimleri yapılan ürünlerde farklı yöntemler kullanarak ham madde deformasyonu azaltmak, sac inceltme ve değişik sac kalitelerinde ham maddeler deneyimleyerek iyileştirmeler yapmaktır. Derin sıvama kalıplarının tasarım süreçlerinin hızlandırılması ve ham madde maliyetlerinin azaltılmasında deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Sonlu elamanlar modellenmesi doğrulandı ve sayısal simülasyonlar gerçekleştirildi.

Test edilen tüm ham maddelerde aynı ortak kanıya varıldı. Çekme hızı artışına paralel olarak ham maddelerdeki deformasyonun da arttığı gözlemlendi. Malzemelerde ki yırtılma ve ondülasyonların arttığı çekme kuvvetlerinin ve çekme oranlarının ise azaldığı görünmektedir.

Kalıp radyüsü ve zımba radyüslerindeki artışlar sonucunda sac levhalar kalıp içindeki akışlarını daha rahat yapabilmekte ve deformasyon olmadan derin sıvama işlemi tamamlanabilmektedir.

Sıvama boşluğunun uygun değerlerden daha düşük olması durumunda ürünler kalıp ve zımba arasında sıkışmaktadır ve artan sürtünme kuvveti ile yırtılmaların arttığı ve çekme oranlarının ise düştüğü gözlenmektedir. Sıvama boşluğunun uygun değerlerden daha yüksek olması durumunda ürünlerde kırışıklıklar ve çizilmelerin arttığı gözlenmiştir. Bu da ürünlerin çekilebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Derin sıvama kalıplarında yani sac metal kalıpcılığında, kalıp ve ham madde maliyetleri, toplam maliyet kalemlerini etkileyen en büyük giderdir. Doğru sıvama parametrelerinin bulunabilmesi için deneme yanılma yöntemine gitmek yüksek maliyetler oluşturmaktadır. Derin sıvama işleminde uygun değerlerin önceden belirlenmesi ve belirlenen değerlerden elde edilen veriler doğrultusunda tahminlerin görülebilmesi ve derin sıvama oranlarının en yüksek olduğu değerlerin tayini, hata riskini azaltmak maliyetleri en aza indirmek konusunda önemli bir maliyet düşürme yöntemidir. Derin sıvama parametrelerini önceden belirleyerek, kalıp üzerinde oluşabilecek hataları en az seviyeye çekmek ve derin sıvama

oranlarının en büyük olduğu parametre değerlerini kullanarak sac malzemenin en ekonomik şekilde kullanımını sağlamak, kalıp, ham madde ve işçilik maliyetlerini azaltarak ekonomiye büyük katkı sağlayacaktır.

- Derin sıvama denemelerinde Dc01, galvaniz ve Dc04 sac kalitelerinde yapılan denemelerde Dc01 ham maddelerin uygunluğu daha fazla görölmektedir.
- Derin çekme hızı deformasyonlarda büyük etkilere sahiptir.
- Sac kalınlıklarında inceltmelere gidilerek yapılan denemelerde kopmalar olmaktadır.
- Ls Dyna programında yapılan analizler sonucunda, ideal ham madde seçimlerini tercih edebilmek adına gerekli parametrelere ulaşılmaktadır.
- Yapılan deneylerde 0,5 mm, 0,67 mm, 0,77 mm, 0,86 mm, 0,9 mm, 0,95 mm ham maddeler ile yapılan denemelerde sac kalınlığı inceldikçe yırtılmalar artmaktadır.
- Derin çekme deneylerinde yırtılmaları engellemek için sıvama yağı kullanılmıştır bu sayede yırtılmalar engellenmiştir.
- Derin çekme proseslerinde saclarda ki çatlak, yırtılma ve patlama hatalarını önlemek için naylon ile sıvama yapılmış ve hasarlar en aza indirilmiştir.

7. KAYNAKÇA

Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.

Alıcı, İ. (2001). Derin çekme saclarının deformasyon davranışının incelenmesi.

Bal, M. (2007). Açılı derin çekme kalıplarında matris ve zımba radyüsünün çekme oranına etkisinin araştırılması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Çatkafa, A. (2019). Bir hidrolik derin çekme pres makinesinin PLC tabanlı bulanık mantık kontrolü (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).

Çetin, M. S. (2007). Derin çekme ile soğuk şekillendirmenin sonlu elemanlar metodu yardımıyla analizi. Trakya Üniversitesi.

Erdir, S. (1995) Profilli Derin Çekmede Hataların Analizi Ve Alınabilecek Önlemler, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gündü, T. (2000). Derin çekme saclarında derin çekilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Güneş, T. (1989). Pres İşleri Tekniği, Bölüm II, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No:130.

Güneş, A. T. (1990). Pres İşleri Tekniği Bölüm II. Ankara: TMMOB-MMO Yayınları, Yayın, (130).

KARAAĞAÇ, İ., & ÖZDEMİR, A. (2011). Erdemir 6112 sac malzemenin hidromekanik derin çekme yöntemiyle şekillendirilebilirliği. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(4).

Kirli, O. (2003). Derin çekme ile soğuk şekillendirmenin sonlu elemanlar metodu yardımıyla non-lineer analizi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Korkmaz, Z., & Gavas, M. (2005). Sac Metallerin Çok Noktali Derin Çekme Yöntemiyle Şekillendirilmesi, Teknoloji, 8(3).

- Müftüoğlu, H. (2014). DC01 çeliğinin artışı şekillendirilebilirlik özelliklerinin incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Özçelik, G. (2008). Derin çekme işleminin simülasyonu (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Taşdemir, V. (2013). Derin Çekme İşlemi Üzerine Kalıp Geometrisinin Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 43-47.
- Colgan, M., & Monaghan, J. (2003). Deep drawing process: analysis and experiment. Journal of materials processing technology, 132(1-3), 35-41.
- Gantar, G. ve Kuzman, K. (2002). Derin çekme işleminin hassasiyet ve kararlılık değerlendirmesi. Malzeme işleme teknolojisi dergisi, 125, 302-308.
- Ghouati, O., & Gelin, J. C. (1998). Identification of material parameters directly from metal forming processes. Journal of materials processing Technology, 80, 560-564.
- Jung, D. W. (1998). Study of dynamic explicit analysis in sheet metal forming processes using faster punch velocity and mass scaling scheme. Journal of materials engineering and performance, 7, 479-490.
- Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., & Baldoukas, A. K. (1997). Simulation of sheet metal forming using explicit finite-element techniques: Effect of material and forming characteristics: Part 1. Deep-drawing of cylindrical cups. Journal of materials processing technology, 72(1), 48-60.
- Smith, D. A. (1990). Die design handbook. Society of Manufacturing Engineers.
- Smith, D. A. (1994). Fundamentals of pressworking. Society of Manufacturing Engineers.

8. ÖZGEÇMİŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : Gazi Üniversitesi Makine Öğretmenliği
- **Lisans** : Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği