

**YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK SACLARIN
FLANŞ BÖLGESİNİN ISITILMASI İLE DERİN
ÇEKME SINIR ORANININ DENEYSEL
İNCELENMESİ**

**2015
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Nuri ŞEN

**YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK SAÇLARIN FLANŞ BÖLGESİNİN
ISITILMASI İLE DERİN ÇEKME SINIR ORANININ DENEYSEL
İNCELENMESİ**

Nuri ŞEN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
HAZİRAN 2015**

Nuri ŞEN tarafından hazırlanan "YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK SAÇLARIN FLANŞ BÖLGESİNİN ISITILMASI İLE DERİN ÇEKME SINIR ORANININ DENEYSEL İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Naci KURGAN

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir./...../.....

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Osman YİĞİT (YBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

.....

...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Doktora derecesini onamıŐtır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Nuri ŞEN

ÖZET

Doktora Tezi

YÜKSEK MUKAVAMETLİ ÇELİK SAÇLARIN FLANŞ BÖLGESİNİN ISITILMASI İLE DERİN ÇEKME SINIR ORANININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Nuri ŞEN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Naci KURGAN

Haziran 2015, 113 sayfa

Yüksek ve ultra yüksek mukavemetli sac metal malzemeler (HSS ve AHSS) otomotiv, havacılık, uzay ve savunma sanayi vs. gibi farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmakta ve her geçen gün talep artmaktadır. HSS ve AHSS malzemelerin akma ve kopma mukavemetleri yüksek olması ve araç gövdesi ağırlığının azaltılması noktasında tercih edilmektedir. Fakat bu tür mukavemetli çeliklerin oda sıcaklığındaki Sınır Çekme Oranı (SÇO) sınırlı ve şekillendirilmesi zordur. Bu deneysel çalışmada; DIN EN 10268-2006 standarttı HC300LA ve HC420LA kalitelerindeki (Erdemir 7128 ve 7140) sacların şekillendirme oranını artırmak için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem ile dairesel test parçalarının baskı flanş bölgesi ılık düzeyde ısıtılmış ve orta bölgesi de soğutulmuş (non-isothermal) şekillendirme oranı arttırılmıştır. Deneysel çalışmalar; mekanik eksantrik pres tezgahında yapılmıştır. Şekillendirme işlemlerinden önce malzemenin oda

sıcaklığı, 150 ve 300 °C sıcaklıklarda “Bähr DIL805A/D” test cihazı ile çekme testleri yapılarak şekillendirmeye uygun sıcaklık değeri tespit edilmiştir. HC300LA ve HC420LA çeliği 300 °C de dinamik deformasyon yaşanması görülmüştür. Bu sebepten test parçalarının baskı flanş bölgesi 170°C ile 295 °C arasında tutularak şekillendirilmiştir. Bu yöntemle, kalınlığı 1,2 mm olan HC300LA çeliğinin oda sıcaklığında 2,14 olan sınır çekme oranı, ılık şekillendirme ile 2,61’e kadar yükselmiş ve % 21,96 oranında artış gözlemlenmiştir. Kalınlığı 1,5 mm olan HC300LA çeliğinin oda sıcaklığında 2,15 olan sınır çekme oranı, ılık şekillendirme ile 2,59’a kadar yükselmiş ve % 20,45 oranında artış gözlemlenmiştir. , kalınlığı 1,2 mm olan HC420LA çeliğinin oda sıcaklığında 2,14 olan sınır çekme oranı, ılık şekillendirme ile 2,47’ye kadar yükselmiş ve % 15,42 oranında artış gözlemlenmiştir. Kalınlığı 1,5 mm olan HC420LA çeliğinin oda sıcaklığında 2,15 olan sınır çekme oranı, ılık şekillendirme ile 2,59’a kadar yükselmiş ve % 20,45 oranında artış gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Ilık derin çekme, limit çekme oranı, HC300LA ve HC420LA sac malzeme.

Bilim Kodu : 914.1.093

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LIMITING DRAWING RATIO OF HIGH STRENGTH STEEL SHEET MATERIALS WITH WARMING FLANGE REGION

Nuri ŞEN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Naci KURGAN

June 2015, 113 pages

High and ultra-high strength sheet metal materials (HSS and AHSS) are extensively used in automotive, aviation, space and defence industry with increasing demand. HSS and AHSS materials have high yield and tensile strength, at the same time reducing the weight of the body of the vehicle is preferred at the point. However, such high strength steels have low limiting drawing ratio (LDR) in the room temperature and are difficult to form. In this experimental study; a new process developed for increase LDR of HC300LA and HC420LA sheet metal material. This materials have DIN EN 10268-2006 standard (Turkish Erdemir 7128 and 7140 quality). In this method, the flange area of the blanks are heated in the warm range and the central part is cooled (non-isothermal), resulting in an increased LDR. In the experimental study, an eccentric presses is used. Before the deep-drawing

experiments, flow properties of materials at room temperature, 150°C and 300°C have been determined by using " Bähr DIL805A/D" dilatometer. Erdemir 7128 steel dynamic strain aging (DSA) appears at 300 °C. During the deep-drawing process, flange regions for each blank are held between 170°C and 295°C. This method, provided a significant improvement in the LDR. The LDR increased from 2.14 to 2.61 at room temperature (21.96 %) for 1.2 mm thickness Erdemir 7128 material. The LDR increased from 2.15 to 2.59 at room temperature (20.45 %) for 1.5 mm thickness. The LDR increased from 2.14 to 2.47 at room temperature (15.42 %) for 1.2 mm thickness Erdemir 7140 material. The LDR increased from 2.15 to 2.59 at room temperature (20.45 %) for 1.5 mm thickness using non-isothermal heating in the warm range.

Key Words : Warm Deep Drawing (WDD), limit drawing ratio, HC300LA and HC420LA sheet material.

Science Code : 914.1.093

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, bana yol gösteren ve çalıőmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Naci KURGAN'a sonsuz teşekkür ve őükranlarımı sunarım. Çalışma boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Atılım Üniversitesi Metal şekillendirme ve Mükemmeliyet Merkezi (MşMM) Müdürü Sayın Prof. Dr. Bilgin KAFTANOĞLU hocama ve Araştırma Görevlisi Dr. Erdem KAYHAN'a ayrıca teşekkür ederim.

Bu eğitim seviyesine kadar, bana verdikleri emeklerinin karőtılıđını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim değerli anne ve babama, ayrıca çalışma süresince bana katlanan ve sabreden sevgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eőtım Fatma şEN'e de sonsuz őükranlarımı sunarım.

Bu alıőma, KBÜ-BAP-13/2-Dr-017 numaralı proje kapsamında Karabük Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve çalıőanlarına teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca, Atılım Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü, Laboratuvar Teknikerlerine, MşMM ve personeline katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1	20
GİRİŞ	20
1.1. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ	21
1.2. PROBLEMİN TANIMI.....	23
BÖLÜM 2	27
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	27
BÖLÜM 3	31
DERİN ÇEKME VE DERİN ÇEKME MEKANİĞİ.....	31
3.1. LİMİT ÇEKME ORANI	33
3.2. ŞEKİLLENDİRME SINIR DİYAGRAMI	34
3.3. SAC METALLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ.....	35
3.4. ŞEKİLLENDİRMEYİ ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	35
3.4.1. Şekillendirmedeki “m” Değerinin Etkisi	35
3.4.2. Şekillendirmedeki “n” Değerinin Etkisi	36
3.4.3. Şekillendirmedeki “r” Değerinin Etkisi	37

3.4.4. Şekillendirmedeki Sürtünmenin ve Yağlayıcının Etkisi.....	37
BÖLÜM 4	39
MATERYAL VE METOT	39
4.1. ÇALIŞMANIN AMACI.....	39
4.2. SAC MALZEME.....	40
4.3. DENEY DÜZENEĞİ	40
4.3.1. Eksantrik Pres (C-Tipi).....	42
4.3.2. Zimba ve Yük Hücresi	43
4.3.3. Baskı Plakası Sistemi	44
4.3.4. Isıtma Sistemi.....	45
4.3.5. Kalıp ve Isıtıcı Konfigürasyonu.....	47
4.4. PARÇA TASARIMLARI.....	50
4.4.1. İlkel Parça Boyutlarının Belirlenmesi.....	51
4.4.2. Kalıp Kenar Radyüsü ve Zimba Ucu Radyüsleri.....	52
4.4.3. Kalıp – Zimba Arası Boşluk	53
4.4.4. Zimba Kuvveti	53
4.4.5. Baskı Plakası Kuvveti (BPK).....	55
4.5. DERİN ÇEKİLME İŞLEMİNDE GÖRÜLEN HATALAR	55
4.6. KALİBRASYONLAR.....	57
4.6.1. Yük Hücresi Kalibrasyonu.....	58
4.6.2. Baskı Plakası Kuvveti Kalibrasyonu	58
4.6.3. Sıcaklık Sensörlerin Kalibrasyonu.....	59
4.7. TEST PARÇALARININ HAZIRLANMASI	59
4.8. YAĞLAYICILAR	60
4.9. MALZEME KARAKTERİZASYON TESTLERİ VE TEST CİHAZLARI ..	61

	<u>Sayfa</u>
4.9.1. Oda ve Ilık Sıcaklıklarda Çekme Testleri ve Cihazları	62
4.9.2. Şekillendirme Sınır Diyagramı Testleri ve Cihazı.....	63
4.10. DERİN ÇEKİLMİŞ KAPLARDA KALINLIK DEĞİŞİMİ	65
4.11. DERİN ÇEKİLMİŞ KAPLARDA GERİ ESNEME.....	65
4.12. DERİN ÇEKİLMİŞ KAPLARDA MİKRO YAPI VE SERTLİK	66
4.13. YÖNTEM.....	67
BÖLÜM 5	69
DENEY SONUÇLARI ve TARTISMA	69
5.1. MALZEME KAREKTERİZASYON TESTLERİ	69
5.2. ODA SICAKLIĞINDA YAPILAN DERİN ÇEKME DENEYLERİ.....	74
5.3. ILIK SICAKLIKLARDA YAPILAN DERİN ÇEKME DENEYLERİ.....	77
5.3.1. HC300LA Malzemesine Ait Ilık Şekillendirme Deney Sonuçları	79
5.3.2. HC420LA Malzemesine Ait Ilık Şekillendirme Deney Sonuçları	83
5.3.3. Ilık Derin Çekmede Yağlayıcının Şekillendirme Kuvvetine Etkisi.....	87
5.3.4. Ilık Derin Çekmede Yağlayıcının Şekillendirme Oranına Etkisi.....	90
5.4. KALINLIK DEĞİŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	93
5.5. DERİN ÇEKİLMİŞ KAPLARIN GERİ ESNEMESİNİN İNCELENMESİ ..	95
5.6. KAPLARIN MİKRO YAPI VE SERTLİK İNCELEMESİ.....	100

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	103
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	103
6.1. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	103
6.2. ÖNERİLER	106
6.2.1. Deney Düzenegi İyileştirme Önerileri	107
6.2.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemin İyileştirme Önerileri	107
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yüksek ve ultra yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımındaki artış.....	21
Şekil 1.2. Yeni nesil araçlarda kullanılan çelik türleri ve oranları.....	22
Şekil 1.3. Farklı model araçlarda kullanılan HSLA çelikleri.....	23
Şekil 1.4. Ülke ve yıllara göre CO ₂ gaz salınım değerleri.....	24
Şekil 1.5. Çeliklerin yaşam döngüsü.....	25
Şekil 1.6. Çeşitli malzemelere ait CO ₂ emisyonu salınım oranları.....	25
Şekil 3.1. Derin çekme işlemi, a. Şematik, b. Perspektif.....	31
Şekil 3.2. Derin çekmenin mekaniği.....	32
Şekil 3.3. Derin çekme esnasında parçada boylamsal kısımlarda meydana gelen gerilmeler.....	33
Şekil 3.4. Limit çekme oranının aşılmasıyla is parçasında meydana gelen hasar.....	34
Şekil 3.5. Coulomb sürtünme katsayısı,.....	38
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin CAD ortamında üç boyutlu tasarım görüntüleri.....	41
Şekil 4.2. Eksantrik Pres (C-Tip).....	42
Şekil 4.3. Zimba ve yük hücresi.....	43
Şekil 4.4. Hidrolik baskı sistemi.....	44
Şekil 4.5. Hidrolik baskı sistemi genel görünüş.....	45
Şekil 4.6. İndüksiyon ısıtma makinası ve montajı.....	46
Şekil 4.7. Bakır boru kalıp içine yerleştirilişi.....	47
Şekil 4.8. Kalıp ve ısıtıcı genel görünüşü.....	48
Şekil 4.9. Test parçasının sıcaklığını ölçmek için tasarlanan düzenek.....	49
Şekil 4.10. Alan metodu ile ilkel çapın bulunması.....	52
Şekil 4.11. Zimba ucu ve kalıp radyüsü.....	53
Şekil 4.12. Derin çekme işleminde görülen çekme hataları.....	57

Şekil 4.13. TML Yük hücresinin grafiksel test sonuçları.	58
Şekil 4.14. Baskılayıcı kuvvet sisteminin yük hücresi ile kalibre edilmesi.	59
Şekil 4.15. a) Teflon film (0,3 mm) b) Graphite 702 (Lubricant).....	61
Şekil 4.16. Zwick Roell Z300, Tek eksen çekme test makinası, MŞMM.	62
Şekil 4.17. (a) Çekme testi numunesi ölçüleri, (b) dilatometre cihazının üstten görünüşü.....	63
Şekil 4.18. Nakazima and Marciniak Testlerinin Gösterimi.....	64
Şekil 4.19. Sınır şekillendirme eğrisi (Forming Limit Curve).....	64
Şekil 4.20. Zwick Roell BUP600 Nakazima test makinası MŞMM.	65
Şekil 4.21. OM görüntüsü ve sertlik ölçümü için bakalite gömülmüş test numuneleri.....	67
Şekil 5.1. HC300LA sacının yöne bağlı karakteristiğinin belirlenmesi için, hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° doğrultulardaki çekme test sonuçları.	70
Şekil 5.2. HC420LA sacının yöne bağlı karakteristiğinin belirlenmesi için, hadde önüne göre 0°, 45° ve 90° doğrultulardaki çekme test sonuçları. .	70
Şekil 5.3. Malzemenin oda sıcaklığında yapılmış, farklı deformasyon hızlarındaki akma eğrileri.....	71
Şekil 5.4. HC300LA, t=1,2 mm için, malzemenin farklı deformasyon hızlarında ve farklı sıcaklıklarda akma eğrileri.....	71
Şekil 5.5. HC420LA, t=1,2 mm için, malzemenin farklı deformasyon hızlarında ve farklı sıcaklıklarda akma eğrileri.....	72
Şekil 5.6. HC300LA, t=1,5 mm, oda sıcaklığında, şekillendirme sınır diyagramı grafiği.....	73
Şekil 5.7. Derin çekme işleminde karşılaşılan hata sınır eğrilerinin, baskı tutucu kuvvet derin çekilen parçanın yüksekliği grafiğinin şematik gösterimi.	75
Şekil 5.8. HC300LA sacına ait, şekillendirme kuvveti - zımba kurs mesafesi grafiği ve şekillendirilen parçalar.....	76
Şekil 5.9. HC420LA sacına ait, şekillendirme kuvveti - zımba kurs mesafesi grafiği ve şekillendirilen parçalar.....	77
Şekil 5.10. 102 mm çapındaki test parçasının ılık şekillendirilmesi işlemi.	78
Şekil 5.11. Test parçasının soğutulmasının şematik gösterimi.	79
Şekil 5.12. HC300LA, t=1,2 mm kalınlık için zaman-sıcaklık grafiği.....	79

Sayfa

Şekil 5.13. HC300LA, t=1,5 mm kalınlık için zaman-sıcaklık grafiği	80
Şekil 5.14. HC300LA sac malzeme için, zımba kurs mesafesi-şekillendirme kuvveti grafiği	80
Şekil 5.15. HC3000LA, RT ve WDD max. İlkel pul çapı karşılaştırması için zımba kurs mesafesi-şekillendirme kuvveti grafiği	81
Şekil 5.16. HC300LA, t=1,2 mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar	82
Şekil 5.17. HC300LA, t=1,5 mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar	82
Şekil 5.18. HC300LA, DR artış oranları	82
Şekil 5.19. HC420LA, t=1,2 mm kalınlık için zaman-sıcaklık grafiği	83
Şekil 5.20. HC420LA, t=1,5 mm kalınlık için zaman-sıcaklık grafiği	84
Şekil 5.21. HC420LA sac malzeme için, zımba kurs mesafesi-şekillendirme kuvveti grafiği	85
Şekil 5.22. HC420LA, RT ve WDD max. İlkel pul çapı karşılaştırması için zımba kurs mesafesi-şekillendirme kuvveti grafiği	85
Şekil 5.23. HC420LA, t=1,2 mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar	86
Şekil 5.24. HC420LA, t=1,5 mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar	86
Şekil 5.25. HC420LA, DR artış oranları	86
Şekil 5.26. HC300LA t=1,2 mm için, şekillendirme kuvveti-ilkel pul çapı grafiği ..	88
Şekil 5.27. HC300LA t=1,5 mm için, şekillendirme kuvveti-ilkel pul çapı grafiği ..	89
Şekil 5.28. HC420LA t=1,2 mm için, şekillendirme kuvveti-ilkel pul çapı grafiği ..	90
Şekil 5.29. HC420LA t=1,5 mm için, şekillendirme kuvveti-ilkel pul çapı grafiği ..	90
Şekil 5.30. HC300LA t=1,2 mm için, çekme oranı-ilkel pul çapı grafiği	91
Şekil 5.31. HC300LA t=1,5 mm için, çekme oranı-ilkel pul çapı grafiği	91
Şekil 5.32. HC420LA t=1,2 mm için, çekme oranı-ilkel pul çapı grafiği	92
Şekil 5.33. HC420LA t=1,5 mm için, çekme oranı-ilkel pul çapı grafiği	93
Şekil 5.34. Kalınlık ölçümü için kesilmiş deney numuneleri	93
Şekil 5.35. Kalınlık değişimi ölçüm noktaları	93

Sayfa

Şekil 5.36. HC300LA ve HC420LA, $t=1,2$ mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.	94
Şekil 5.37. HC300LA ve HC420LA, $t=1,5$ mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.	95
Şekil 5.38. Geri esneme ölçümü için kesilmiş örnek numune.	96
Şekil 5.39. Geri esneme ölçüm noktaları.	96
Şekil 5.40. HC300LA, $t= 1,2$ mm sac malzemesine ait numune	97
Şekil 5.41. HC300LA, $t= 1,2$ mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.	97
Şekil 5.42. HC300LA, $t= 1,5$ mm sac malzemesine ait numune	97
Şekil 5.43. HC300LA, $t= 1,5$ mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.	98
Şekil 5.44. HC420LA, $t= 1.2$ mm sac malzemesine ait numune	99
Şekil 5.45. HC420LA, $t= 1,2$ mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.	99
Şekil 5.46. HC420LA, $t= 1.5$ mm sac malzemesine ait numune	99
Şekil 5.47. HC420LA, $t= 1,5$ mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.	100
Şekil 5.48. HC300LA sac malzemenin ılık şekillendirme sonrası sertlik ölçümleri ve mikro yapı incelemesi	101
Şekil 5.49. HC420LA sac malzemenin ılık şekillendirme sonrası sertlik ölçümleri ve mikro yapı incelemesi	102
Şekil 6.1. DR artışları.....	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. “Uddeholm Sleipner” ın fiziksel özellikleri.....	51
Çizelge 4.2. Deneysel çalışma parametreleri	52
Çizelge 4.3. Malzeme karakterizasyon deneyleri özet tablo.....	61
Çizelge 5.1. HC300LA ve HC420LA sac malzemelerin kimyasal bileşimi (Ağırlık %).	69
Çizelge 5.2. Deney numunesinin flanş bölgesinde oluşturulan sıcaklık aralıkları	87
Çizelge 5.3. HC300LA ve HC420LA, t=1,2 mm kalınlığa ait kalınlık ölçüm sonuçları.	94
Çizelge 5.4. HC300LA ve HC420LA, t=1,2 mm kalınlığa ait kalınlık ölçüm sonuçları.	95
Çizelge 5.5. Ilık şekillendirme öncesi sertlik ölçümleri.....	101
Çizelge 5.6. Ilık şekillendirme işlemi sonrası sertlik ölçümleri.....	101
Çizelge 6.1. HC300LA ve HC420LA sac malzemeler için, sınır çekme oranları ...	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

F_d	: Çekme kuvveti
d	: Zımba çapı
β	: Maksimum şekillendirme sınır oranı
d_b	: Deney numunesinin çapı
s, t	: Sac kalınlığı
d_m	: Çekilen parçanın çapı
σ_{UTS}	: En yüksek çekme dayanımı
η_F	: İşlem verimi
σ_Y	: Akma dayanımı
d_p	: Zımba Çapı
σ_{Flow}	: Akma gerilimi
σ	: Gerilme
K	: Dayanım Sabiti
ε	: Deformasyon
n	: Pekleşme Üsteli
m	: Deformasyon hız duyarlılık üssü
ε_w	: Genişlikteki gerinim
ε_t	: Kalınlıktaki gerinim
F	: Sürtünme kuvveti
P_n	: Normal kuvvet
c	: Malzeme Sabiti
μ	: Sürtünme katsayısı
T_m	:Ergime sıcaklığı

KISALTMALAR

HSLA : High Strength Low Allow (Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli)

SÇO : Sınır Çekme Oranı

ŞSD : Şekillendirme Sınır Diyagramı

RT : Room Temperature (Oda Sıcaklığı)

DSA : Dynamic Strain Aging (Dinamik Deformasyon Yaşlanması)

HSS : High Strength Sheet (Yüksek Mukavemetli Çelik)

AHSS : Ultra High Strength Sheet (Ultra Yüksek Mukavemetli Çelik)

FLD : Forming Limit Diagram (Şekillendirme Sınır Diyagramı)

ŞSE : Şekillendirme Sınır Eğrisi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

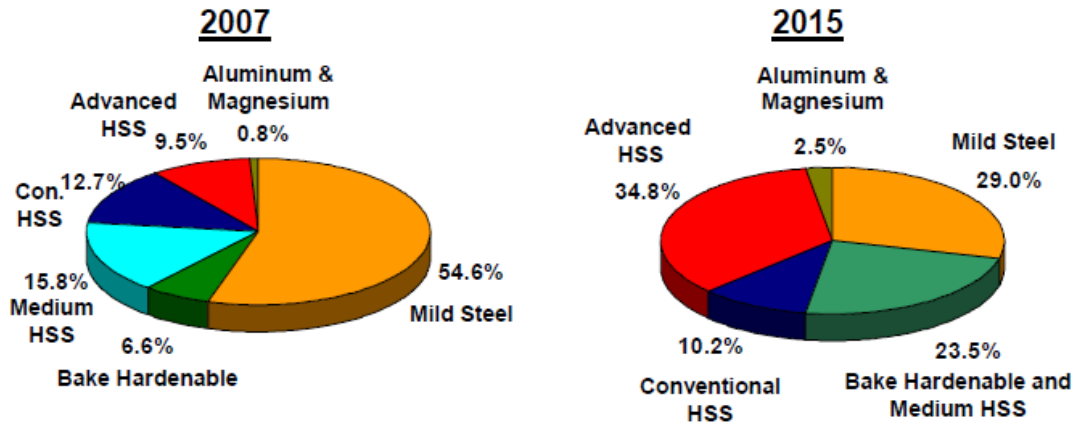
Sac metal malzemeler otomotiv, havacılık, uzay ve savunma sanayi gibi farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda sınırlı olan enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak ve artan çevre kirliliğini önlemek için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların başında enerji tüketimini ve çevre kirliliğini azaltan hafif ve aynı zamanda mukavemetli metaller üzerine yapılan çalışmalar önemli bir yer tutmaktadır.

Bu malzemelerin tercih edilmesinin sebebi ise yüksek mukavemet/ağırlık oranları ile araç hafifletme çalışmalarında büyük öneme sahip olmalarıdır. Araçlarda parçaların kalınlığı azaltılarak herhangi bir mukavemet kaybı olmaksızın, aracın ağırlığını azaltabilmek mümkündür. Sac şekillendirme işlemlerinde en çok tercih edilen yöntemlerden biri derin çekme metodudur. Derin çekme işlemi sac metalin şekillendirilebilirliğinin değerlendirilmesi noktasında önemli bir yere sahiptir. Derin çekme metodu başta otomotiv sektörü olmak üzere imalat sektörünün birçok alanında sac parçaların şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Derin çekme prosesinde şekillendirilebilirliği; sac malzemenin özelliği, yağlama şartları, zımba ve kalıp radyüsü, baskı plakası kuvveti, şekillendirme hızı ve özellikle yüksek mukavemetli malzemeler için sıcaklık gibi birçok farklı parametreler etkilemektedir. Yapılan bu doktora çalışmasında, mevcut literatürden farklı olarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Deneylerde kullanılan yüksek dayanımlı çelik malzemelerden HC300LA ve HC420LA kalite çeliğinin derin çekme işleminde şekillendirilebilirliği etkileyen işlem parametrelerinden olan sıcaklığın şekillenmiş kaplar üzerindeki SÇO, kalınlık, mikro yapısına olan etkisi, sertlik, geri yaylanma baskı plakası kuvveti ve zımba kuvvetine olan etkisi deneysel olarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sonuç olarak, ılık şekillendirmenin SÇO, kalınlık, mikro yapıya olan etkisi, sertlik, geri

yaylanma, baskı plakası kuvveti ve zımba kuvveti üzerinde olumlu etkilerinin olduğu, deneysel olarak tespit edilmiştir.

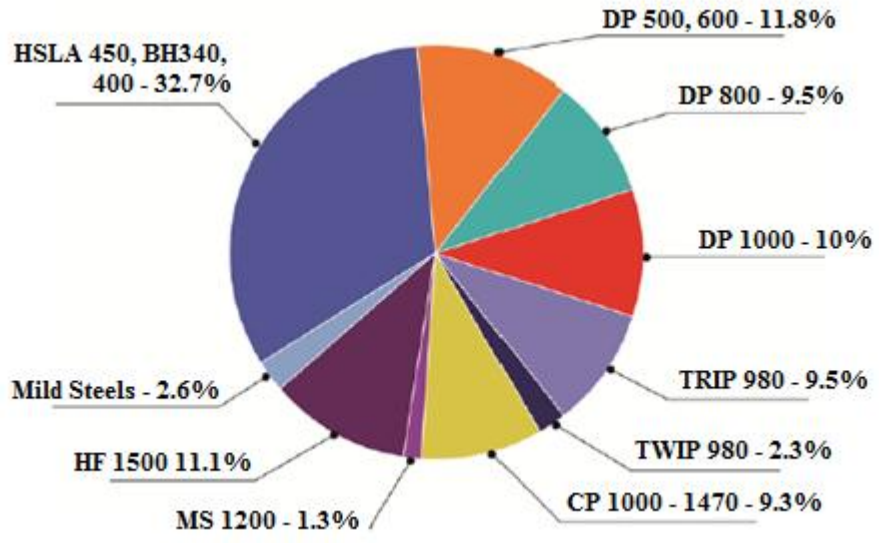
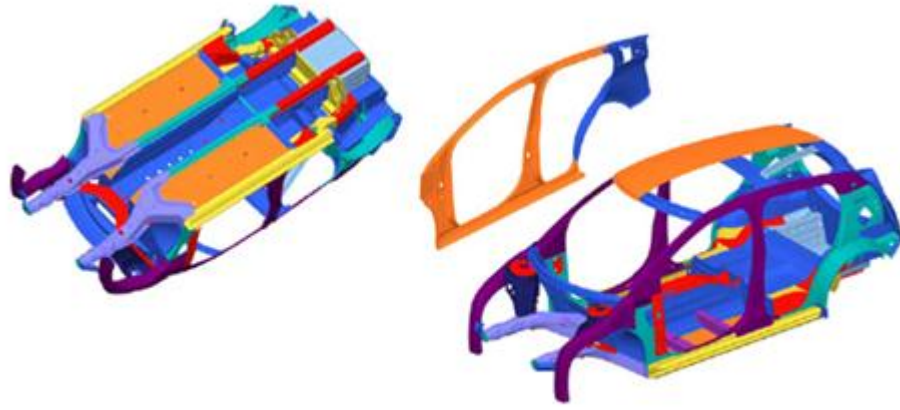
1.1. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Son on yılda otomotiv ve havacılık endüstrilerindeki gelişmeler sürekli olarak sac metal şekillendirme teknolojilerine olan gereksinimi artırmaktadır. Sac metal şekillendirme işlemi, düz bir sacı yırtılma, buruşma veya aşırı incelme olmaksızın istenilen bir şekle dönüştürme işlemidir. Sac metallerin “*şekillendirilebilirlik kabiliyeti*” veya “*şekillendirilebilirliği*”, sacın şekillendirilmesi sırasında yırtılma, bölgesel boyunlaşma ve buruşma gibi bir hasara uğramadan istenilen şekli alma kabiliyetidir [1,2]



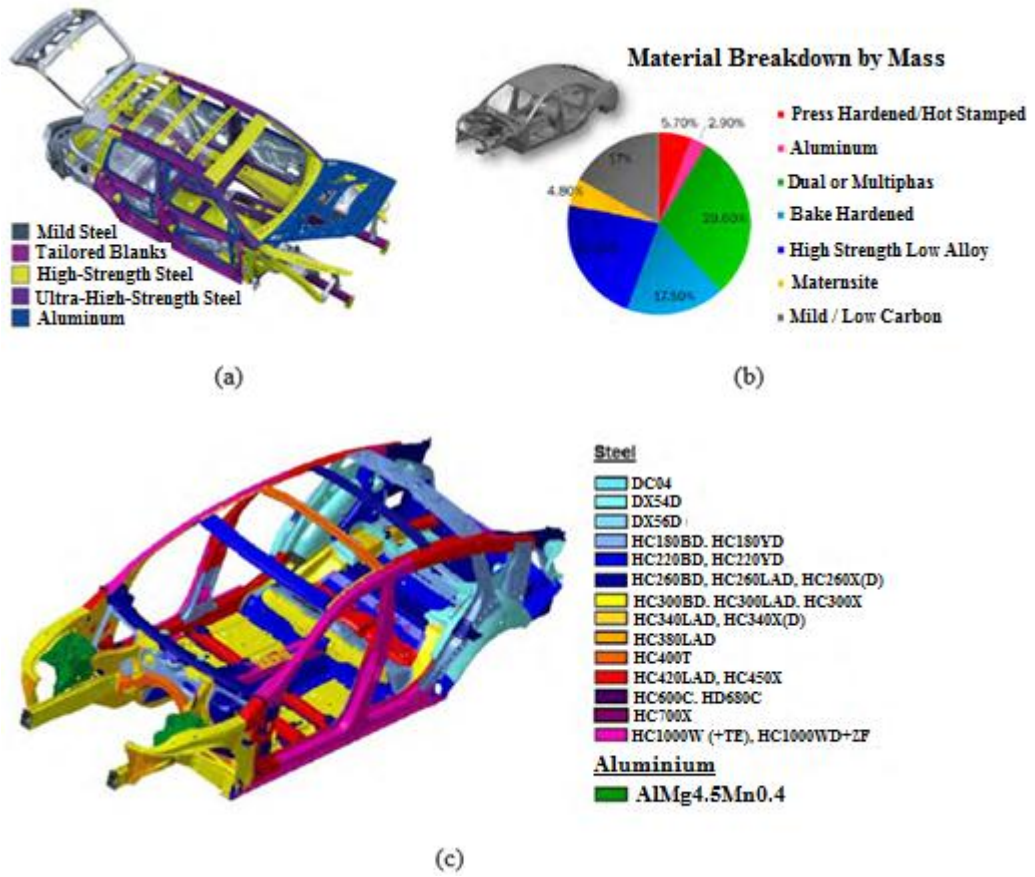
Şekil 1.1. Yüksek ve ultra yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımındaki artış [3].

Sac şekillendirme metodunun geliştirilmesine yönelik çalışmalar, 1900’lü yıllardan beri sac malzemelerin soğuk şekillendirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Sıcak sac metal şekillendirme üzerine yapılan bilimsel çalışmaların birçoğu ise son yıllarda gerçekleştirilmiştir [4]. Bunun en önemli nedeni, şekil 1.1 ve şekil 1.2 den anlaşılacağı üzere yüksek dayanımlı çelikler gibi yeni malzemelerin geliştirilmiş olması, otomotiv endüstrisinde kullanımları her geçen gün artması ve daha yüksek hassasiyetli parçalara ihtiyaç duyulmasıdır.



Şekil 1.2. Yeni nesil araçlarda kullanılan çelik türleri ve oranları [3].

Yeni nesil araçlarda kullanılan Şekil 1.2 ve 1.3’de görüldüğü gibi HSLA çelikleri yüksek bir oranda kullanılmaktadır. Son yıllarda sıcak şekillendirme yönteminin yararlarının araştırıldığı birçok bilimsel proje yapılmaya başlanmıştır.



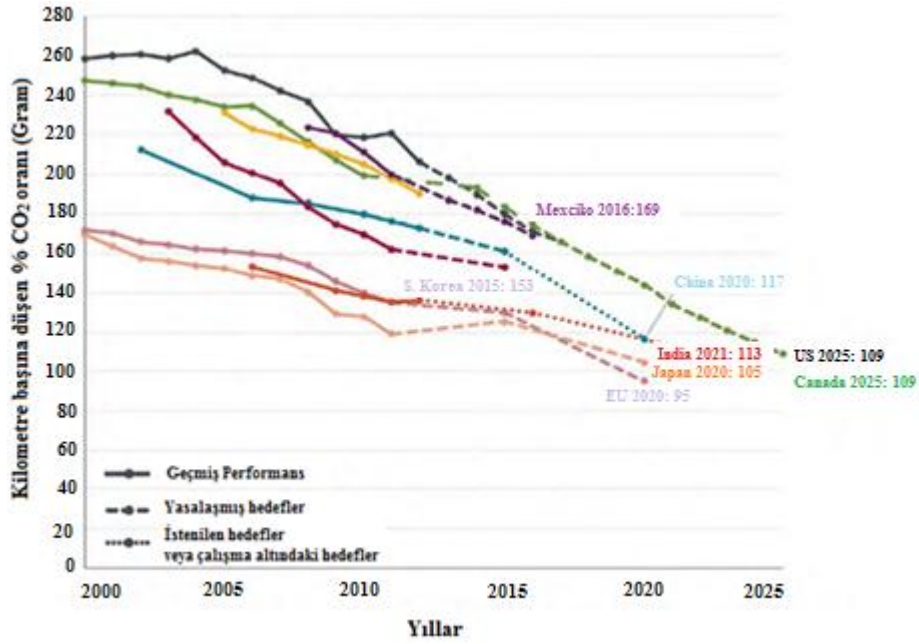
Şekil 1.3. Farklı model araçlarda kullanılan HSLA çelikleri a) Porsche Cayenne, 2011, b) 2013 yılının aracı Cadillac'ta kullanılan malzeme oranları c) Mercedes E-sınıfı araçta kullanılan malzemeler, 2010 [3].

Bununla birlikte, yeni nesil araçlarda kullanım oranı her geçen gün artan yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerden HC300LA ve HC420LA (Erdemir 7128 ve 7140) sac malzemeler kullanılmıştır. Kullanım oranı artmasına rağmen HSLA çelikleri üzerine literatürde şimdiye kadar ılık şekillendirme üzerine detaylı olarak her hangi bir çalışma yapılmamıştır.

1.2. PROBLEMİN TANIMI

Son yıllarda petrol fiyatlarındaki aşırı artışlar, araç güvenliğinin ön plana çıkması ve otomotiv piyasasındaki rekabetin artması sonucunda otomotiv üreticileri, yakın gelecekte dünya standartlarında belirtilen gerekli emniyet, yakıt tüketimi, egzoz CO₂ gaz salınım değerlerini sağlayan taşıtlar üretmek zorunda kalacaklardır. Farklı ülkelerde kullanılan araçların her kilometrede çevreye saldıkları CO₂ miktarı, Şekil

1.4'de yıllara göre verilmiştir. Bölgesel farklılıklar olmasına rağmen grafikten de anlaşılacağı üzere, CO₂ değerlerinde belirgin bir azalma gerçekleştiğini ve yakın gelecekte bunun artan oranda devam edeceğini göstermektedir. Bu gerekliliklerinin sağlanması ancak araç ağırlıklarının azalması ile sağlanabilir. Bunun içinde araç üretimlerinde yüksek dayanıma sahip ve şekillendirilme kabiliyetleri yüksek malzemelere ihtiyaç vardır.



Şekil 1.4. Ülke ve yıllara göre CO₂ gaz salınım değerleri [3].

Ayrıca petrol fiyatlarındaki artışla birlikte hammadde fiyatlarının da artması sonucu çelikler diğer metallere göre daha da cazip hale gelmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesinde Şekil 1.5'de çeliklerin çevresel performans avantajları ortaya konmaktadır. Yaşam döngüsü aşamalarında çelikler daha düşük CO₂ emisyonu salgılamaktadır. Ayrıca, çelikler % 100 geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Aslında çelik, otomotiv endüstrisinde vadesi dolmuş araçları toplama ve geri dönüşüm sistemleri ile dünyanın en geri dönüşümlü malzemesidir.



Şekil 1.5. Çeliklerin yaşam döngüsü [3].

Çeliklerin üretimleri esnasında çevreye saldıkları CO₂ salınımı; Alüminyum, magnezyum ve kompozit malzemelere göre Şekil 1.6'da görüldüğü gibi daha az CO₂ salınımı bırakmaktadırlar.

	Ortalama CO ₂ e	Örnek Parça Ağırlığı (kg)	(kg CO ₂ e)
Yumuşak Çelik	2.3	100	230
AHSS	2.3	75	173
Alüminyum	16.5	67	1106
Magnezyum	46.0	50	2300
Karbon FRP	22.0	45	990

Şekil 1.6. Çeşitli malzemelere ait CO₂ emisyonu salınım oranları [3].

Modern otomotiv endüstrisinde HSS malzemeler son birkaç on yılda baskın konuma gelerek hakim olmaktadır. HSS çelik malzemeler yüksek akma ve kopma dayanımlarına sahip olmasıyla birlikte oda sıcaklığında şekillendirilme kabiliyetleri sınırlıdır. Buna bağlı olarak, sıcak şekillendirme işlemi bu malzemelerin şekillendirilme kabiliyetlerini büyük bir oranda geliştirir, zımba/baskı kuvvetlerini ve

geri yaylanma oranlarını düşürür. Bu olumlu sebeplerden dolayı, sıcak şekillendirme, HSS malzemelerin kullanıldığı durumlar için yenilikçi şekillendirme yöntemi olarak öne çıkmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan doktora çalışmasında, yüksek dayanımlı çelik malzemelerde, baskı flanş bölgesinin ısıtılıp orta kısmının soğutulması, derin çekme sınır oranının geliştirilmesi, aynı zamanda malzeme içyapısında değişikliğinin olmaması, kalınlık değişiminin minimum seviyede olması ve en önemlisi de malzemenin şekillendirilebilirliğini etkileyen parametrelerden olan sıcaklığın etkisi üzerine yapılan ulusal ve uluslararası düzeyde sınırlı sayıda bilimsel çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Benzer çalışmalar yoğunluklu olarak alüminyum, magnezyum ve alaşımları üzerine yapılmıştır. Çünkü yüksek mukavemetli çelikler üzerine yapılacak çalışmalar için, yüksek kapasiteli preslere, yüksek baskı plakası kuvvetlerine ve en önemlisi büyük miktarlarda maddi desteğe ihtiyaç vardır. Bu yapılan bilimsel çalışmalarda, sıcak sac metal şekillendirmeyi etkileyen parametreler, tekil veya birkaçının birlikte incelendiği çalışmalar olmaktan öteye geçememiştir. Söz konusu çalışmalarda dikkat çeken önemli konu ise, birçoğunun sonlu elemanlar analiz metodu ile yapılmış deneysel verilerle desteklenmemiş çalışmalar veya deneysel çalışma sonuçlarının duyurulduğu ve detaylı bir şekilde açıklanmadığı çalışmalar olmasıdır. Bunun yanında sanal test çalışmalarının deneysel veriler ile desteklendiği değerli çalışmalarda mevcuttur. Fakat bu çalışmalarda da yeterli detay incelemelerin yapılmadığı gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu doktora çalışması, yüksek mukavemetli sac malzemeler için yenilikçi bir yöntem olan ılık derin çekme metoduna yeni ısıtma ve soğutma sistemi tasarlanıp ve imal edilerek ve yeni sıcaklık ölçme yöntemi geliştirilerek yapılan derin çekme deney sonuçları gösteriyor ki; özellikle otomotiv sanayicisinin çözüm bekleyen önemli bir konunun çözümlendiği ve çözüme temel olacak yöntemin ana hatlarının belirlendiği başarılı bir çalışma olduğu düşünülmektedir.

Neugebauer et al. Sıcak sac şekillendirme yönteminin birçok farklı yönden ele alındığı, özet niteliğinde olan bir bilimsel çalışma, 2006 yılında hazırlanmıştır. Bu çalışmada, soğuk ile sıcak sac şekillendirme işlemleri karşılaştırılarak her iki uygulamanın olumlu ve olumsuz yönleri ortaya konmuş, sıcak şekillendirme için farklı uygulama yöntemleri belirtilmiştir [5].

Mori et al. yapmış olduğu bilimsel çalışmada sıcak şekillendirilmiş yüksek dayanım çeliklerinin mukavemet özgül ağırlık oranın, alüminyum ve magnezyum malzemelerinin mukavemet özgül ağırlık oranından çok daha yüksek değerlere sahip olduğunu gösterildiği ve ayrıca sıcak şekillendirme işleminin yapılabileceği sıcaklık değerleri konusunda önemli veriler içeren bir bilimsel çalışmadır [6].

Derin çekme deney düzeneğinin tasarımının geri yaylanma oranına, kalıp ve zımbada oluşan yıpranma etkileri Lingbeek et al. birlikte yaptıkları çalışmada incelemiştir [7]. Derin çekme işleminde farklı uygulama tekniği ile dikkat çeken bilimsel çalışmalardan biriside zımba ve baskı kuvvetlerinin ilişkisinin araştırıldığı Thiruvarudchelvan and Lewis tarafından yapılmış olan çalışmadır [8].

Kleiner et al. yapmış olduğu alüminyum malzemelerin derin çekme sınır oranın flanş bölgesinin ısıtılarak uygulandığı araştırmada sonuç olarak alüminyum alaşımları, titanyum ve yüksek dayanım çelik malzemelere uygulanabilecek bir yöntem olduğu öneri niteliğinde belirtilmiştir [9].

Bruschi et al. tarafından hazırlanmış olan bu yayında yüksek dayanım çelik malzemelerin oda ve yüksek sıcaklıklarda uygulanabilecek yöntemin hatları çizilmeye çalışılmış bu kapsamda yapılacak modelleme ve deneme yöntemleri hakkında gerekli bilgilendirmeler yapılmıştır [10].

Kaya vd. yaptığı bu çalışmada uygulanan yöntem bu projeye yakın bir metod olmasına rağmen ısıtma sistemi, ısıtma sıcaklık aralığı, çalışılan malzeme, Al 5754-O, Al 5052-H32, ve Mg AZ31-O, Alüminyum alaşımları olması itibari ile bu çalışmadan ayrılan derin çekme sınırının geliştirildiği bir çalışmadır [11].

Yoshihara et al. yapmış olduğu çalışmada magnezyum malzemelerin bölgesel ısıtma ve soğutmanın eş zamanlı olarak uygulandığı baskı tutucu kuvvetinin de araştırıldığı derin çekme sınır oranında belirli bir artışın tespit edildiği bir bilimsel çalışma olmuştur [12].

Singh et al. yapmış olduğu bu çalışmayla yüksek sıcaklıklarda (200 °C – 600 °C) kalıp ve zımba arasındaki boşluğu deneylerde kullanılan 2 mm kalınlığındaki test parçasının %40, %25 ve %10 oranında azaltarak kalınlık dağılımının etkisini incelemişler. Sonuç olarak, 600 °C ve %25 oranında yapılan kalıp boşluğunda (1,8 mm) en iyi başarıyı elde etmişlerdir [13].

Kotkunde et al. yüksek mukavemetli sac malzemelerden Ti-6Al-4V sac malzemenin ılık derin çekmeyle şekillendirilebilirliği ve hataları üzerine yapmış olduğu bu çalışmada 150 °C den 400 °C sıcaklık aralığında yapılan derin çekme testleri sonucunda SÇO =1,8 olarak (400 °C’de) tespit edilmiştir. Çekilemeyen hatalı kapların sebeplerinin daha iyi anlaşılabilmesi için Finite Element (FE) Simülasyon kullanılarak ve çatlak kısımlar taramalı elektron mikroskopu (SEM) tarafından çekilerek hatalar rapor edilmiştir [14].

Wu-rong et al. otomotiv endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılan 3 farklı ultra yüksek mukavemetli (AHSS) ve 1 tane düşük mukavemetli sac malzemelerin SÇO oranlarını belirlemiştir. Bir sonraki adımda çekilemeyen test parçalarının çatlak oluşumları sınıflandırılmıştır. DP1000 malzeme için uygulanan nümerik çalışmalar da 3 farklı akma modeli kullanılarak AHSS malzemenin çatlak oluşumunun en iyi tahmini Batlat-89 akma modeli verdiğini rapor etmişlerdir [15].

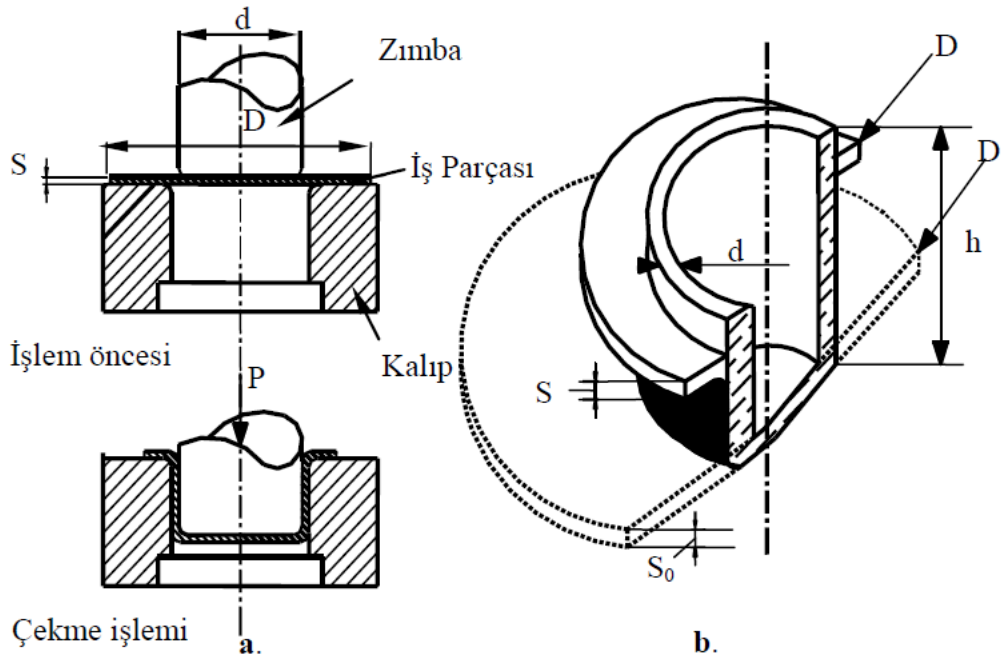
Ren et al. magnezyum alaşımının sıcak derin çekilebilirliğini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle teorik olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarını, 150 °C – 250 °C sıcaklık ve 6 mm/dak – 120 mm/dak zımba ilerleme hızlarında gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklığın artmasıyla dikdörtgen kesitli kapların çekilebilirliğinin arttığını, deneysel ve sayısal olarak belirlemişlerdir [16].

Bunlara ek olarak bilgisayar ortamında şekillendirme oranının iyileştirilmesine yönelik işlem parametreleri üzerine yapılan birçok önemli çalışma vardır. Örnek olarak sac şekillendirme hızının etkisinin [17] incelendiği çalışmalar, sürtünmenin sac şekillendirmedeki öneminin Gearing tarafından detaylı olarak incelendiği bilimsel çalışmalar [18] benzeri birçok çalışmadan yararlanılmıştır.

BÖLÜM 3

DERİN ÇEKME VE DERİN ÇEKME MEKANİĞİ

İki boyutlu, düzlemsel geometriye sahip iş parçasının çekme kalıbı denilen elemanlar yardımıyla preste çökertilmesi sonucunda belirli derinlik ve profillere sahip üç boyutlu parçalar elde edilmesi işlemine “çekme” adı verilmektedir. Çekme yardımıyla elde edilmesi düşünülen kaplar birden fazla operasyon ile de oluşturulabilirler. Birbirini takip eden ve çok sayıda çekme işleminden oluşan bu imalat yöntemi derin çekme yöntemi olarak bilinmektedir [19]. Şekil 3.1’de, dairesel iş parçasından d çapına sahip silindirik bir kabın çekme işlemiyle elde edilmesi şematik olarak verilmektedir.

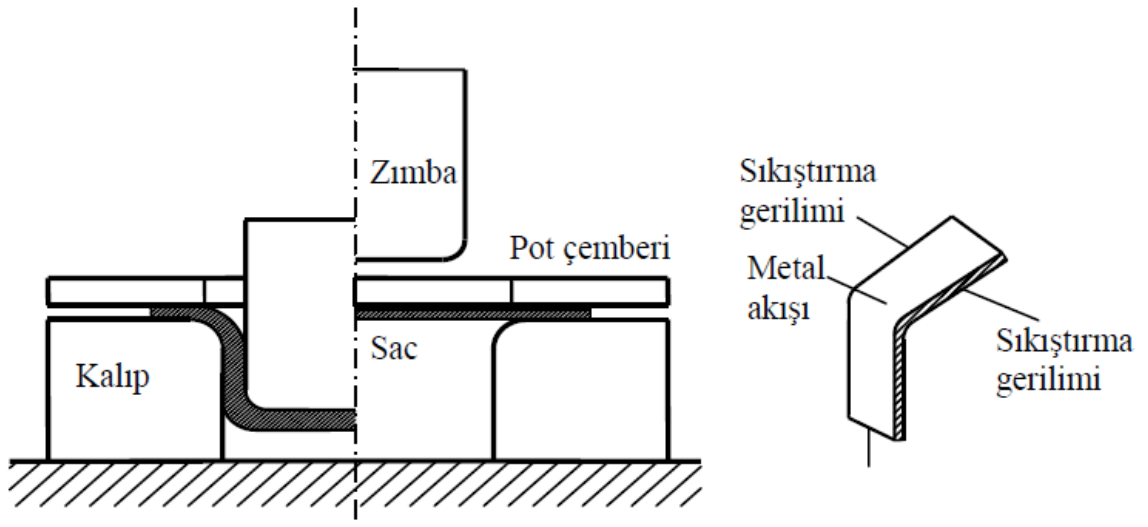


Şekil 3.1. Derin çekme işlemi, a. Şematik, b. Perspektif [20].

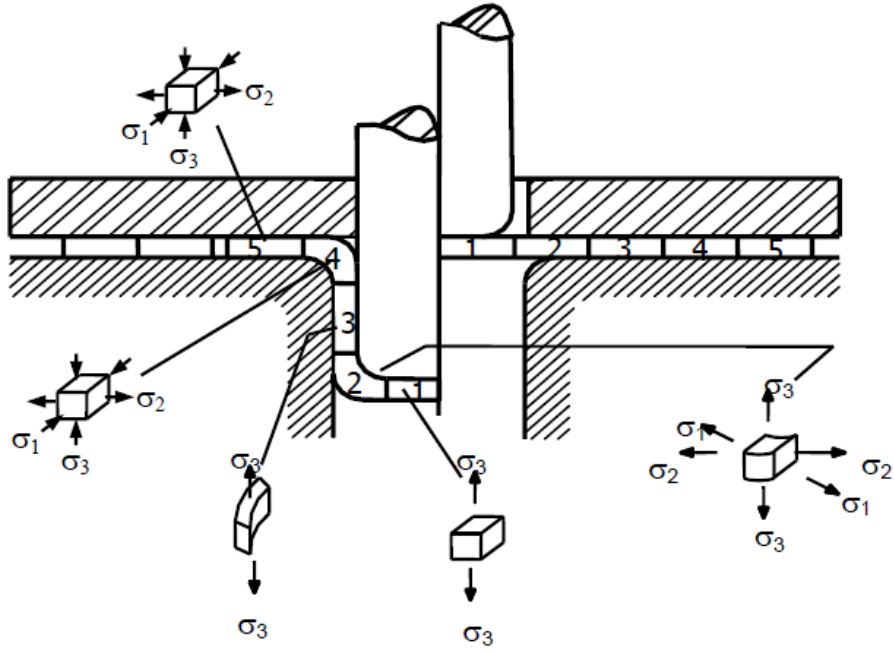
Şekilde görüldüğü gibi, başlangıçta S_0 kalınlığı ve D başlangıç çapına sahip düzlemsel, metalik ve şekillendirilebilir bir levha, d çapındaki bir zımba yardımıyla

kalıp (matris) içine çekilmek suretiyle, altı düz, silindirik bir parça haline getirilmektedir [20].

Çekme olayında zımbanın sac levhaya baskı yapması ile sac levha kalıp kenarlarındaki radyüsler (kalıp kavis yarıçapı) üzerine doğru eğilerek kalıp boşluğuna girmeye başlar. Zımbanın ileri hareketi ile sac levha zımba ile kalıp arasında halka şeklinde bulunan çekme boşluğundan kalıp içine doğru hareket ederek düz düşey duvar oluşturur. Son aşamada sac levhanın kalan kısmı radyal olarak akarak kalıp boşluğuna otururken, sac levhanın kalıp üstünde yani baskı plakasının altında kalan kısmı sürtünme kuvveti oluşturarak bu olayı engellemeye çalışır. Bunlar başlangıçtaki statik sürtünme kuvvetleri olup sac levha hareket etmeye başladığında bu kuvvetler azalır. Şekil 3.2’de ki gibi çekilmekte olan bir sac parçası için, sac levha radyal olarak akmaya başladığında kalınlığı azalmaya başlar ve geniş olan dış çevresi küçük olan kalıp çapına göre şekillenmeye başlayarak düşey duvarlar oluşturur. Bu olay levha yüzeyinde dairesel sıkıştırma gerilimine sebep olur. Zımbanın ilerleyen hareketi ile sac levhanın büyük bir kısmı kalıp boşluğunda küçük dairesel flanş oluşturur. Şekil 3.3’den de anlaşıldığı gibi düşey duvarlarda kalıp dibine doğru gittikçe büyüyen tek eksenli gerilmeler oluşturur [21].



Şekil 3.2. Derin çekmenin mekaniği [21].



Şekil 3.3. Derin çekme esnasında parçada boylamsal kısımlarda meydana gelen gerilmeler [21].

3.1. LİMİT ÇEKME ORANI

Derin çekme oranının özel bir halidir. Tanım olarak, yırtılmadan ideal şekilde çekilebilecek en büyük dairesel is parçası çapının, bu işlemi gerçekleştirebilmesi öngörülen zımba çapına oranı, şeklinde tarif edilir. Limit çekme oranının sembolik gösterimi ise;

$$\beta = \frac{D_{max}}{d} \quad (3.1)$$

Şeklindedir.

β = Derin çekme oranı D_{max} = En büyük dairesel is parçası çapı d = Zımba çapı

Silindirik derin çekme işleminde kullanılan dairesel is parçası çapının, bu işlemde kullanılacak zımbanın çapına tekabül eden limit çekme oranını aşacak değerler alması durumunda parça yırtılarak hasara uğrar. İş parçasının başlangıç çapı büyüdükçe çekme işlemini gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan zımba kuvveti de artmaktadır. Şekil 3.4’de bir örneği görülmekte olan bu türdeki bir hasar genellikle kabın yan duvar (veya cidar) kısmında ve zımba kavis yarıçapının başlangıç bölgesinde ortaya çıkmaktadır [20].



Sekil 3.4. Limit çekme oranının aşılmasıyla is parçasında meydana gelen hasar [20].

3.2. ŞEKİLLENDİRME SINIR DİYAGRAMI

Sac metal malzemelerin şekillendirilebilirliğinin sınırları genel olarak boyun vermenin (necking) başladığı noktaya göre tayin edilir. Her ne kadar boyun vermeden sonra da malzeme hemen kırılmasa bile davranışlar tahmin edilemeyeceğinden dolayı boyun vermenin tespit edildiği birim şekil değiştirme değerleri sınır değer olarak kabul edilir. Malzemenin farklı şekil değiştirme durumlarında şekillendirme sınırlarını büyük (major) ve küçük (minor) birim şekil değiştirme (strain) oranları cinsinden ifade eden diyagram “Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD)” (Forming Limit Diagram, FLD) olarak adlandırılmaktadır. Bu diyagram basit çekme deneyinden başlayarak, düzlem birim şekil değiştirme ve iki eksenli gerdirme hallerinin hepsini ihtiva eder. Şekillendirme sınır diyagramı çok yaygın olarak metallerin şekillendirilebilirliğini değerlendirmede ve şekil verme esnasında ortaya çıkan problemlerin analizi ve çözümlerinde kullanılırlar. Bir malzemenin şekillendirme sınır diyagramı farklı geometrielerde hazırlanmış sac metal numunelerin üzerlerine özel gridler uygulanarak ve bu gridlerin şekil değiştirmeden sonraki ölçüleri değerlendirilerek elde edilir. Her bir geometri bir şekil değiştirme durumunu ihtiva eder. Öztürk ve Lee [22] tarafından yapılan bir çalışmada şekillendirme sınır diyagramı ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Şekillendirme sınır diyagramının deneysel olarak elde edilmesi oldukça zaman alıcı ve özel ölçüm sistemleri gerektirmektedir. Şekillendirme sınır diyagramı ilk defa 1963 yılında Keeler and Backofen [23] ve 1968 yılında Goodwin [24] tarafından ortaya atılmıştır. Keeler and Backofen [23] büyük ve küçük birim şekil değiştirme oranlarının pozitif olduğu kısmı (şekillendirme sınır diyagramının sağ tarafı) geliştirmiştir. Goodwin [24] ise büyük ve küçük birim şekil değiştirme oranlarının negatif olduğu kısmı (şekillendirme sınır diyagramının sol tarafı) geliştirmiştir [25].

3.3. SAC METALLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

19. yüz yılın sonlarına doğru sac şekillendirme teknolojisinin gelişmesinden dolayı bu konu araştırma konusu olmaya başlamıştır. Bu alandaki ilk araştırmacıların bazıları Bessemer and Parkers, Adamson, Considere ve Erchsen [26] boyun verme, yırtılma, buruşma, patlama veya düşük kaliteler sac metal şekillendirme işleminde görülen hatalar üzerine çalışmışlardır.

Sac metal şekillendirmeyi etkileyen birçok parametre vardır. Malzeme özellikleri, işlem parametreleri ve gerinim sınırlayıcı kriteri gibi faktörler sac metal şekillendirmeyi etkilemektedir.

3.4. ŞEKİLLENDİRMEYİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Çelik sacların şekillendirilebilme yeteneklerine etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar, malzeme ve işlem faktörleri olarak iki gruba ayrılabilirler. Bunlardan işlem faktörleri, saca uygulanacak zorlanmanın cinsini belirlerken, malzeme faktörleri ise bu zorlanmaya karşı dayanabilecek malzemenin cinsini belirler.

3.4.1. Şekillendirmedeki “m” Değerinin Etkisi

Malzeme deforme edilirken oluşan sertleşme daha fazla gerilme gerektirdiğinden şekil değiştirme üniform olarak dağılır. Boyun vermeden sonraki deformasyon miktarı m (Deformasyon Hız Duyarlılığı Üssü) ile yakından ilişkilidir [27].

Gerilim hızı duyarlılığı üsteli “m” pozitif ve yüksek olan malzemelerde boyun verme olayından sonraki şekil değiştirme miktarı artar. Bu tür malzemelerde boyun verme bölgesinde plastik gerilme artar ve boyun verme olayının etrafa yayılmasını sağlar. Böylece kalınlık incelmesi sadece bir bölgede yoğunlaşmayıp tüm malzemedeki üniform olarak gelişmesini sağlar [28].

Yüksek sıcaklıklarda ($T > 0.5T_m$) gerinim hızının malzemenin mukavemetine etkisi çok olup, sabit sıcaklıkta ve birim değiştirme miktarı için aşağıdaki bağıntı geçerlidir

[28].

$$\sigma = c\varepsilon^m \quad (3.2)$$

σ = Plastik Gerilme

c = Malzeme Sabiti

m = Gerinim hızı duyarlılığı üssü

3.4.2. Şekillendirmedeki “n” Değerinin Etkisi

Bir sacın uygulanan gerilmedeki artış ile plastik şekil değişimi sertleşme yeteneği, soğuk şekillendirilebilirliğini etkileyen en önemli malzeme özelliğidir. Bölgesel olarak plastik değişimine uğrayan bir bölgede, burada oluşacak pekleşmeden dolayı dayanım artacağından, bu bölgedeki şekil değişimi durur ve parçanın diğer komşu bölgelerdeki plastik şekil değişimi başlar [29].

Malzeme deforme oldukça deformasyon sertleşmesi nedeniyle şekil alma kabiliyeti giderek azalır. Gerçek gerilme gerçek şekil değiştirme eğrisi logaritmik olarak çizilmesiyle elde edilen eğrinin eğiminden hesaplanır. Veriler aşağıdaki denklem ile uyum gösterir [27].

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (3.3)$$

σ = Gerilme

K = Dayanım Sabiti

ε = Deformasyon

n = Pekleşme Üsteli

Karmaşık şekil verilmiş bir bölgenin şekillendirme arasında kritik bir bölgede, deformasyon dağılımına farklı n etkisi vardır. n değeri düşük olan bölgelerde levhada aşırı incelme ve kırılmalar ile sonuçlanabilir. Aynı parçanın n değeri yüksek olan kısımlarında aynı kritik bölgeler daha dirençli olacak ve deformasyonu komşu bölgelere transfer ederek hasara uğramadan şekillendirilebilecektir [27].

3.4.3. Şekillendirmedeki “r” Değerinin Etkisi

Sac malzemeden hazırlanan bir deney parçasına çekme deneyi uygulandığında plastik şekil değişimi çekme eksenini boyunca, buna dik olarak uzanan kalınlık ve genişlik doğrultusunda ise kısalma şeklinde meydana gelir. Hacim sabitliği uzama şekil birim toplamının kısalma şekil değişimlerinin toplamına eşit olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu kalınlık ve genişlik yönlerindeki birim şekil değişimlerinin birbirlerine eşit olmasını gerektirmemektedir. Genişlik yönündeki birim şekil değişimi ϵ_w 'nin kalınlık yönündeki birim değişimi ϵ_t 'ye oranı r değeri olarak tanımlanır [29].

$$r = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} \quad (3.4)$$

ϵ_w = Genişlikteki gerinim

ϵ_t = Kalınlıktaki gerinim

Ortalama dikey anizotropi katsayısı “ r ” sac malzemelerde derin çekilebilirliğin bir ölçüsüdür. Bunun 1 ve 1'den büyük olması istenir [28].

3.4.4. Şekillendirmedeki Sürtünmenin ve Yağlayıcının Etkisi

Sürtünme, aşınma, yağlama konularını ve bunlara bağlı olayları inceleyen bilim dalına “Triboloji” denir. Sürtünme, Birbirleriyle temas eden ve bağıl olarak hareket eden iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı gösterdikleri dirençtir.

$$\mu = \frac{F}{P_n} \quad (3.5)$$

F = Sürtünme kuvveti

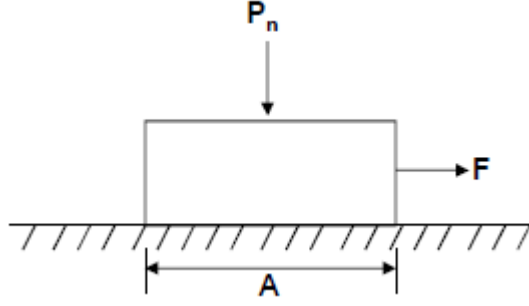
P_n = Normal kuvvet

Ara yüzeydeki basma gerilmesi;

$$P = \frac{P_n}{A} \quad (3.6)$$

Sürtünme gerilmesi veya ara yüzey kayma gerilmesi,

$$\tau_i = \frac{F}{A} \quad (3.7)$$



Sekil 3.5. Coulomb sürtünme katsayısı.

$$\mu = \frac{F}{P_n} = \frac{\tau_i}{P} \quad (3.8)$$

μ = Sürtünme katsayısı

τ_i = Sürtünme gerilmesi

P = Basma gerilmesi

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Derin çekme işlemi, sac-metal şekillendirmede yaygın olarak kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntemde kalıplama faktörlerinin tayini ve bu faktörlerin ürün üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, endüstriyel açıdan büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, 1900’lü yılların başından itibaren sac şekillendirme metodunun geliştirilmesine yönelik çalışmalar, sac malzemelerin soğuk şekillendirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat yüksek dayanım çelik malzemeleri yüksek akma ve kopma dayanımlarına sahip olmasıyla birlikte oda sıcaklığında şekillendirilme kabiliyetleri sınırlıdır. Sıcak sac metal şekillendirme üzerine yapılan bilimsel çalışmaların birçoğu ise son yıllarda gerçekleştirilmiştir. Bunun en önemli nedeni, yüksek dayanımlı çelikler gibi yeni malzemelerin geliştirilmiş olması ve daha yüksek hassasiyette parçalara ihtiyaç duyulmasıdır. Çalışmada kullanılan sac formdaki Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım (HSLA) malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve şekillendirmeyi etkileyen işlem parametrelerinden sıcaklığın SÇO’na olan olumlu etkisi kullanılarak derin çekme esnasında ihtiyaç duyulan yüksek zımba/baskı kuvvetlerini ve geri yaylanma oranlarını düşürür. Bu olumlu sebeplerden dolayı, sıcak şekillendirme, yüksek dayanım çeliklerinin kullanıldığı durumlar için yenilikçi ve potansiyeli yüksek bir şekillendirme yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Sıcak şekillendirme işlemi “İndüksiyon Isıtma” yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yeni ısıtma ve soğutma yönteminin kullanılabilirliği, avantaj/dezavantajları ve proses parametreleri incelenmiştir. Şekillendirme sorunlarının nasıl ortadan kaldırılacağı hususunda çalışmalar yapılarak en uygun şekillendirme şartları belirlenmiştir

4.2. SAC MALZEME

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan soğuk şekillendirmeye uygun, yüksek akma dayanımlı, soğuk haddelenmiş çeliklerden DIN EN 10268-2006 standarttı HC300LA ve HC420LA kalitelerindeki (Erdemir 7128 ve 7140) sac malzeme kullanılmıştır.

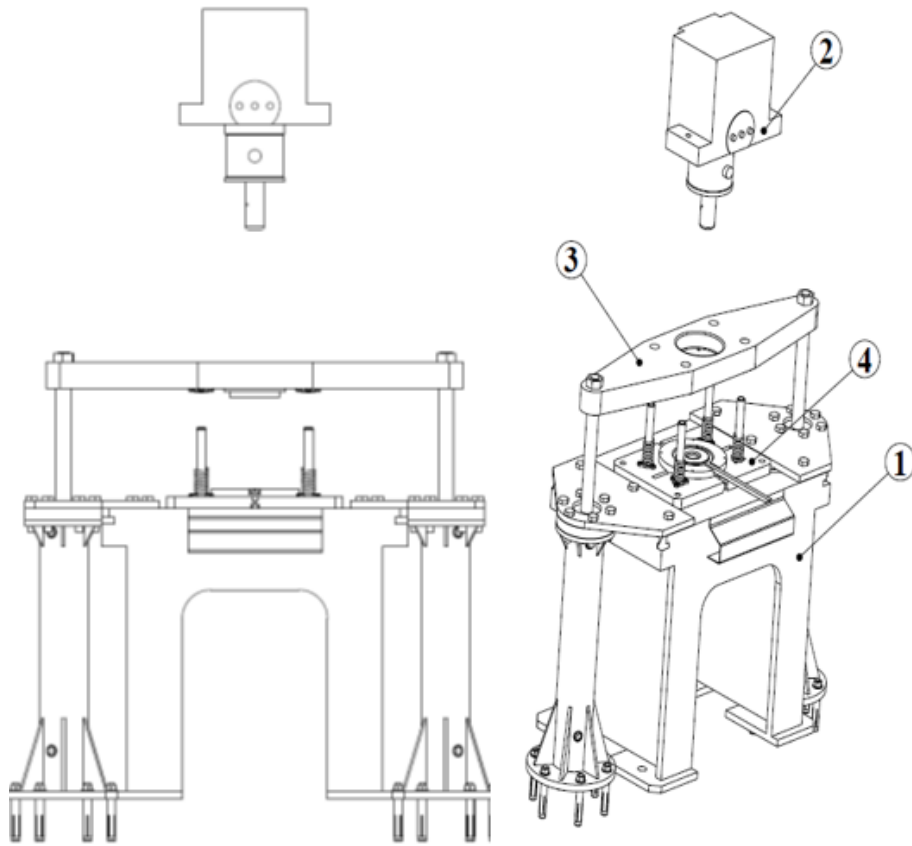
4.3. DENEY DÜZENEĞİ

Deney düzeneği, oda ve ılık sıcaklıkta derin çekme deneylerini gerçekleştirebilmek için özel olarak tasarlanmıştır. Düzeneğin tasarımında aşağıda belirtilen gereklilikler göz önünde bulundurulmuştur.

- 1- Tasarım faaliyetleri, araştırmanın yapılacağı malzeme özellikleri, ılık derin çekme işleminin gereklilikleri, ölçü sınırlamaları, vb. gibi konular göz önünde bulundurulmuş olarak gerçekleştirilmesi,
- 2- Flanş bölgesi, belirlenen sıcaklık dağılım değerlerine kadar ısıtılması,
- 3- Malzemenin iç yapısında değişimin olmaması için belirlenen sıcaklık aralığı yeniden kristalleşme sıcaklığının altında olmalıdır.
- 4- Isıtma süresi, malzemenin iç yapısında tanecik büyümesine fırsat vermeyecek değerlerde olmalıdır.
- 5- Derin çekme işleminde, flanş bölgesinde teğetsel yönde oluşan baskı gerilmeleri, derin çekilen parçada dalgalanma şeklinde bozukluklara neden olmamalıdır.
- 6- Gerekli ölçüm cihazlarının seçimleri dikkatlice yapılmalıdır. Ölçüm cihazları deney düzeneğinde uygun pozisyonlara yerleştirilmelidir. Bu deneylerin kontrolünün sağlanması ve ölçümlerin doğru bir şekilde yapılarak kayıt edilmesi için gereklidir.
- 7- Ölçüm cihazlarının ayarları ve kalibrasyonları yapılmalıdır.
- 8- Deneylerde kullanılacak yağlayıcının seçimi için, çeşitli denemeler yapılmalı ve sıcak derin çekme işleminde yağlayıcının etkileri belirlenmelidir.
- 9- Oda sıcaklığında ve ılık sıcaklıklarda yapılacak deneyler için, emniyet önlemleri açık bir şekilde belirlenmelidir.

Yukarıda belirtilen konular tasarım çalışmalarında göz önünde bulundurulmuş olup tasarlanan düzenek aşağıda kısaca anlatılmıştır.

GENEL GÖRÜNÜŞ	
Parça No	Açıklamalar
1	Mekanik Pres Tablası
2	Zimba Seti
3	Baskı Seti
4	Kalıp ve Isıtıcı Sistemi



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin CAD ortamında üç boyutlu tasarım görüntüleri.

80 ton kapasiteli bir mekanik eksantrik prese ısıtma ve baskılama mekanizmaları eklenerek hem soğuk hem de ılık ortamda derin çekme deneylerinin yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu bölümün ilerleyen kısımlarında anlatılan avantajlarından dolayı, ısıtma sistemi olarak, bu çalışmada indüksiyon tip ısıtmanın kullanılması uygun görülmüştür. Diğer yandan, derin çekme işleminde çekilen parçada buruşma meydana gelmemesi için uygun baskılayıcı kuvvetin parçaya uygulanması gereklidir.

İhtiyaçları karşılayabilecek özelliklere sahip bir baskılama mekanizması tasarlanıp üretimi gerçekleştirildi.

4.3.1. Eksantrik Pres (C-Tipi)

Eksantrik presin kapasitesi 80 ton olup ve zımba hareket mesafesi ise 110 mm dir. Mekanik eksantrik presin teknik ve geometrik özellikleri, stroke, kapasite ve kalıp, baskı mekanizması ve zımba için ayrılan hacim parça tasarımlarında uygulanacak sınırlamaları ve ekipmanları belirlemiş ve etkilemiştir. Mekanik eksantrik presin resmi Şekil 4.2’de verilmiştir.

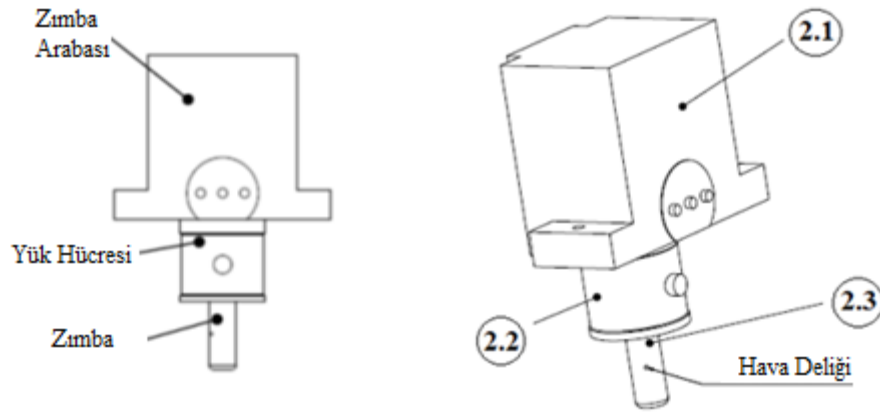


Şekil 4.2. Eksantrik Pres (C-Tip).

4.3.2. Zimba ve Yük Hücresi

Yük hücresi, zimba ve zimba arabasının arasına, derin çekme işlemi boyunca pres tarafından uygulanan kuvvetin ekran gösteriminin sağlanması ve kayıt edilebilmesi için Şekil 4.3’de gösterildiği şekliyle yerleştirilmiştir. Yük hücresinin kapasitesi 100 ton dur.

ZIMBA SETİ (Parça No:2)	
Parça No	Açıklamalar
2.1	Mekanik Pres Zimba Arabası
2.2	Yük Hücresi
2.3	Zimba



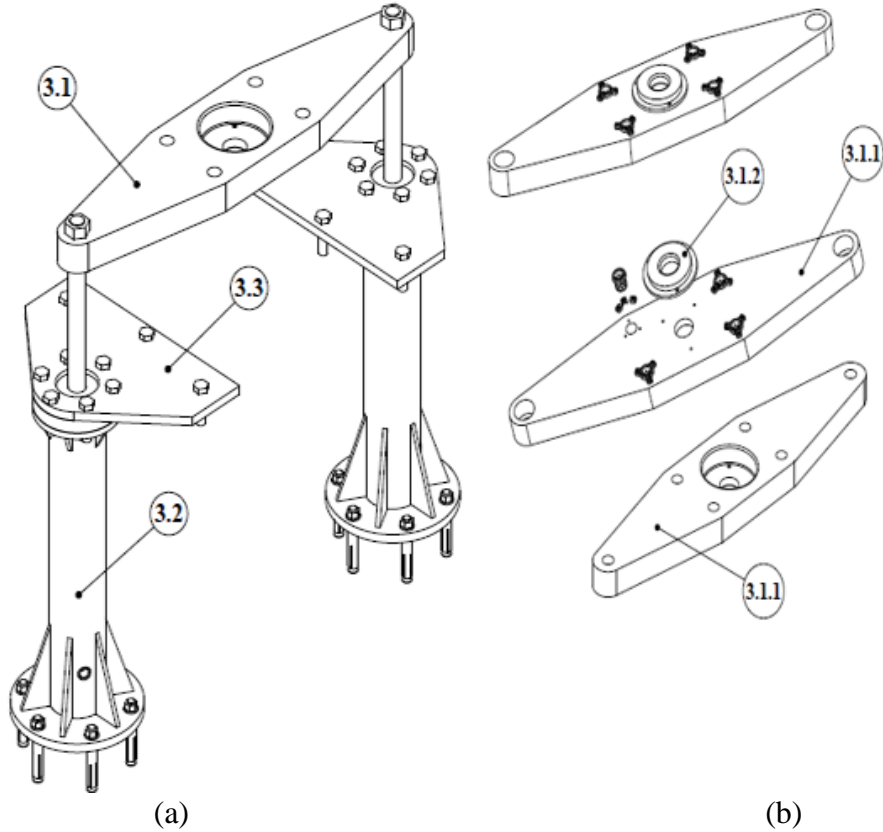
Şekil 4.3. Zimba ve yük hücresi.

Zımbanın ortasına açılan deliğin işlevi şu şekilde açıklanabilir. Derin çekme işleminde parçanın içindeki hava dışarı atılır. İşlem sonunda parçanın zımbadan ayrılabilmesi için delikten içeriye hava girişi yapılmalıdır. Bu şekilde, derin çekilen parça zımbadan kolaylıkla ayrılabilir. Bu deliğin araştırmanın deneysel kısmında önemli bir diğer işlevi vardır. Bu işlev şöyle açıklanabilir. Isıtma işleminde, deliğin içine doğru su damlatarak zımbanın ve ısıtılmış numunenin orta bölgesinin soğutulması sağlanır. Bu anlatılan işlem deney numunesinin flanş bölgesinde istenilen sıcaklık değişiminin (temperature gradient) elde edilmesini sağlamak için yapılır. Bu şekilde uygulanan soğutma sistemi ılık derin çekmede literatür araştırmaları yapıldığında görülecektir ki ilk defa kullanıldığı söylenir.

4.3.3. Baskı Plakası Sistemi

Baskılama mekanizmasında, birlikte çalışan iki eş hidrolik silindir, baskı taban plakasına (bkz. Parça No 3.1.1, Şekil 4.4) bağlanmıştır. Hidrolik silindirlerin birlikte çalışması bir hidrolik akış bölücünün kullanılması ile sağlanmıştır. Baskılayıcı set' in güç kontrolü, programlanabilir akıllı kontrol (PLC) ünitesi ile sağlanmaktadır. Hidrolik silindirler çift yönlü, hem baskılama ve hem de gerilme özelliğinde çalışabilir.

HİDROLİK BASKI SETİ (Parça No:3)		HİDROLİK BASKI SETİ (Parça No:3.1)	
Parça No	Açıklamalar	Parça No	Açıklamalar
3.1	Baskı Uygulama Seti	3.1.1	Hidrolik Silindirler Arası Bağlantı Plakası
3.2	Hidrolik Güç Seti	3.1.2	Baskı Plakası
3.3	Hidrolik Güç Sistemi-Mekanik Pres		



Şekil 4.4. Hidrolik baskı sistemi, a) Genel görünüş b) Baskı seti.

Baskılayıcı sistem Şekil 4.4' te gösterilmiştir. Kalıp plakasına sabitlenmiş dört adet kılavuz kolonları baskı plakasının kalıp ekseninde çalışmasını sağlar. Baskı taban plakasına dört adet delik açılıp burçlandırılmıştır. Baskı taban plakası üzerinde açılmış ve burçlandırılmış (bkz. Parça No: 3.1.1, Şekil 4.4) olan dört adet delik, kılavuz kolonları için hazırlanmıştır. Baskılayıcı kuvvet uygulandığında test numunesine sadece baskı plakası (bkz. Parça No: 3.1.2, Şekil 4.4) temas eder.

Baskı taban plakasının diğer tarafında ve merkezde silindirik şekilde oluşturulmuş çukur hacim, zımbanın aşağı doğru hareketinde, yük hücresinin bir kısmının bu hacime giriş ve çıkış yapması için hazırlanmıştır.



Şekil 4.5. Hidrolik baskı sistemi genel görünüş.

4.3.4. Isıtma Sistemi

İndüksiyon ısıtma, diğer ısıtma yöntemleri ile karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. Teorik olarak indüksiyon ısıtma, elektrik transformatörleri prensibine göre çalışır. İş parçası (ısıtılacak malzeme) ikincil, bakır bobin (Isıtıcı) ise birincil sarımdır. Yüksek frekansta elektrik akımının birincil sarımdan geçirilmesi ile ikincil sarımda yani iş parçasında yüksek frekansta indüklenme (Eddy Current) akımı oluşur ve bunun etkisi ile iş parçası ısınır. Oluşan bu elektrik akımı iş parçasının yüzeyinde meydana gelmesinden dolayı parçanın sadece dış yüzey sıcaklığında ince bir tabaka olarak artış meydana geldiği söylenebilir. Yüzeyde meydana gelen sıcaklık artışının

ısı iletim yolu ile malzemenin kalınlığı doğruıtusunda iletileceği unutulmamalıdır. İndüksiyon ısıtmanın seçilme nedenleri aşığıda verilmiştir.

- İndüksiyon ile ısıtmada, yüksek oranda güç kullanıldığından dolayı ısı üretim oranı çok yüksektir.
- Isınmanın çok hızlı uygulanması, iş parçasının oksitlenmesine engel olur.
- Giriş gücünün ve zamanın mükemmel bir şekilde kontrol edilebilmesi ile ısıtma sıcaklığı ve derinliği kontrol edilebilir.
- Bu yöntem kullanılarak, ısıtma işlemi sadece istenilen bölgeye uygulanabilir.

Yukarıda belirtilen avantajlarına rağmen, bu yöntemin bazı dezavantajları da vardır. En belirgin dezavantajı ise bu yöntem fırın, başka bir deyişle ortam, ısıtma ile karşılaştırıldığında ekonomik olmayan bir ısıtma yöntemidir. İndüksiyon ısıtma verimi düşük olan bir ısıtma yöntemidir.

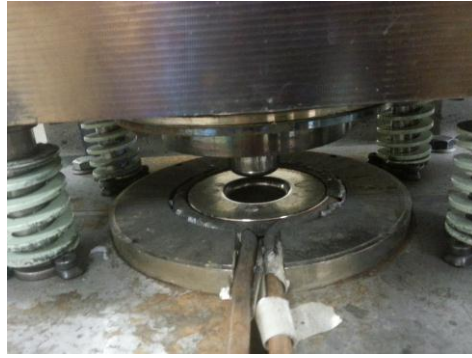
Bu bilimsel çalışmada, flanş bölgesinin ısıtılması için kullanılan Şekil 4.7'de verilen indüksiyon ısıtma makinasının gücü 50 kW, çalışma frekans aralığı ise 1,7 kHz ile 12 kHz dir.



Şekil 4.6. İndüksiyon ısıtma makinası ve montajı.

4.3.5. Kalıp ve Isıtıcı Konfigürasyonu

Deney parçasının flanş bölgesinin ısıtılması için indüksiyon ısıtma sistemi seçilmiştir. Isıtıcıya ait bir parça olan bakır boru kalıbın içine Şekil 4.7’da görüldüğü şekliyle yerleştirilmiştir. Bakır boru (bkz. Parça No 4.2.2, Şekil 4.8) kalıp yüzüğünün (bkz. Parça No: 4.2.1, Şekil 4.8) etrafına sarılarak monte edilmiştir. Bakır boruya elektriksel kısa devreyi önlemek için yumuşak mika ile üst yüzeyi kaplanarak yalıtılmıştır.

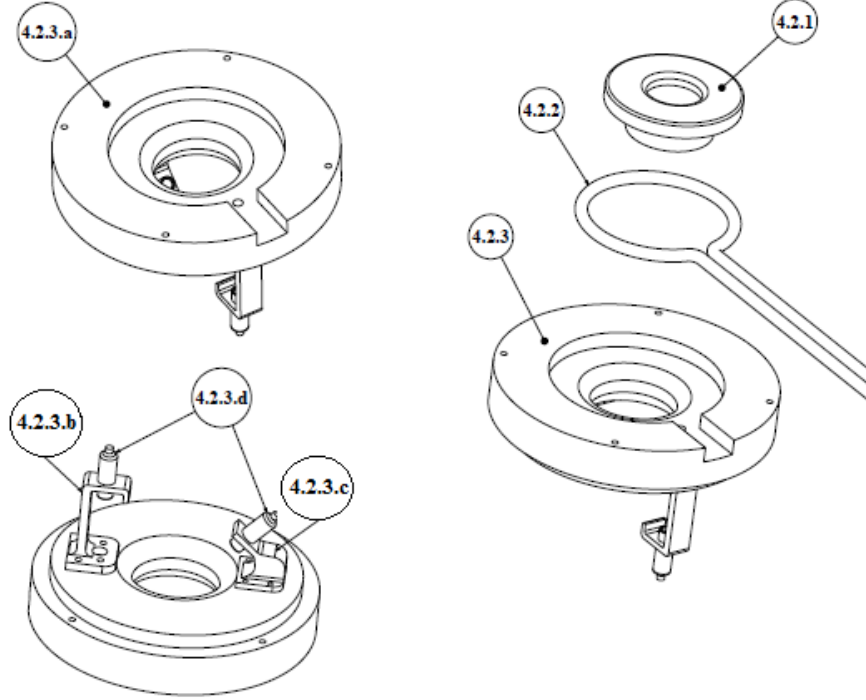


Şekil 4.7. Bakır boru kalıp içine yerleştirilişi.

Bakır boru kalıp içine deney numunesinin ısı kaybını önlenmek için yerleştirilmiştir. ince numunelerde; sıcaklığın artması ile beraber şekil değişikliklerinin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu şekil değişimi, derin çekme işleminin hemen öncesinde numunenin kalıp üzerinde yer değiştirmesine neden olmaktadır. Kalıp içinde ısıtma parçada şekil bozukluğunu önleyecek bir uygulama yönteminin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu yöntem, şu şekilde açıklanabilir, numune baskılama kuvvetinin etkisi altında ısıtıldığı için, uygulanmakta olan baskılama kuvveti parçanın şekil değiştirmesini önlemektedir. Bu çalışmada, yukarıda açıklanan uygulama yöntemi, baskı kuvveti altında numunenin ısıtılması bütün sıcak derin çekme deneylerinde uygulanmıştır.

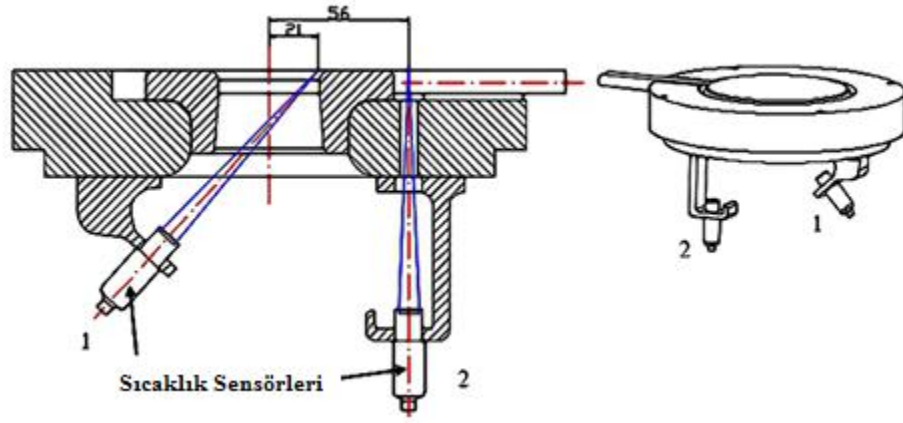
KALIP SETİ (Parça No:4.2)	
Parça No	Açıklamalar
4.2.1	Kalıp Bileziği
4.2.2	İndüksiyon Isıtıcı
4.2.3	Kalıp Alt Plaka Seti

KALIP ALT SETİ (Parça No:4.2.3)	
Parça No	Açıklamalar
4.2.3.a	Kalıp Plakası
4.2.3.b	Sıcaklık Ölçüm Cihazı (dik)
4.2.3.c	Sıcaklık Ölçüm Cihazı
4.2.3.d	İnfrared Sıcaklık Ölçüm Cihazı



Şekil 4.8. Kalıp ve ısıtıcı genel görünüşü.

Kalıp taban plakasının diğer tarafına (bkz. Parça No: 4.2.3.d, Şekil 4.8 ve ayrıca Şekil 4.10) yerleştirilen iki adet sıcaklık sensörü deney numunesinde oluşan bölgesel sıcaklık artışlarını gösterir ve sıcaklık değerlerinin kayıt edilmesini sağlarlar.



Şekil 4.9. Test parçasının sıcaklığını ölçmek için tasarlanan düzenek.

Deney numunesi üzerinde hayali olarak çizilmiş iç ve dış dairelerin arasında kalan bölge flanş bölgesi olarak tanımlanır. Dış daire çapı her zaman numune çapına eşittir. İki adet kızılötesi sıcaklık sensörü kalıp taban plakasının altına sabit pozisyonlarda yerleştirilmiştir. Şekil 4.9’da görüldüğü üzere, sıcaklık sensörlerinden bir tanesi eğimli pozisyonda, diğeri ise dikey ve yukarı doğru yönlendirilmiş olarak yerleştirilmiştir. Eğimli ve dik sensörler flanş bölgesi üzerindeki iki farklı noktaya odaklanmıştır. Bu iki nokta, kalıp ekseninden 21 mm ve 56 mm uzaklıklarda olup yerleşimleri Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Her iki sensör de ortalama yüzey sıcaklığı ölçümleri yapabilecek şekilde yerleştirilmiştir. Dik konumdaki sensör, sıcaklık ölçümünü kalıp taban plakasına açılmış olan deliğin içinden geçerek yapar. Bu deliğin çapı 8 mm dir. Sensörlerin konumlarının ve delik çapının belirlenmesi, kızılötesi sıcaklık sensörüne ait odaklanma konileri gözetilerek yapılmıştır.

Sıcaklık sensörlerinin işlevleri şu şekilde açıklanabilir. Ilık deneylerde, test parçası kalıbın üzerine yerleştirilir, baskılayıcı kuvvet numuneye uygulanır, daha sonra ise ısıtma işlemi başlar. Isıtma işlemi süresince, sıcaklık artışı, sensörlerden okunan değerler ile dikkatlice izlenir, istenilen sıcaklık değerlerine ulaşıldığında, derin çekme işlemi zımbanın numuneye doğru hareketlenmesi ile başlar. İşlem boyunca uygulanan kuvvet değerlerine karşılık gelen yer değiştirme verileri depolanır ve daha sonra bir dosyaya kayıt edilir.

4.4. PARÇA TASARIMLARI

Derin ekme deneyleri için gerekli kalıp, zımba ve diğer aletlerin tasarımları yapıldı ve daha sonra bunların imalatları Atılım Üniversitesi İmalat Mühendisliği atölye imkânları kullanılarak gerçekleştirildi.

Deneyleerde kalınlıkları 1,2 mm ve 1,5 mm olan iki farklı standartta elik malzeme bu bilimsel araştırmada kullanıldı. Bu malzemeler şunlardır.

- 1- DIN EN 10268-2006 standarttı HC300LA kalitesinde (Erdemir 7128),
- 2- DIN EN 10268-2006 standarttı HC420LA kalitesinde (Erdemir 7140),

Test parçalarının akma ve çekme dayanımlarının sonuçları doğrultusunda, kalıp, zımba ve diğer alet tasarımları yapılmış ve bu sonuçlar doğrultusunda imatları yapılmıştır. Bununla birlikte deney malzemesinin ve/veya numune kalınlığının değiştirilmesi kalıp ve zımba geometrilerini etkilediği ve değiştirdiği için her bir kalınlık için ayrı kalıp ve zımba tasarlanarak imalatı yapılmıştır. İlık deneyler için en yüksek işlem sıcaklığı 400 °C nin altında bir sıcaklık olması dışünölmüştür. Oda sıcaklığı için hesaplanan tasarım değerleri, 400 °C e kadar işlem sıcaklıkları için de kabul edilebilirdir. Aşağıdaki kısımlarda verilen tasarım faaliyetleri, eksenel simetriye sahip derin çekme parçalarının üretilimi için; kalıp, zımba ve diğer aletlerin tasarımlarında da kullanılabilir.

Zımba, kalıp ve diğer aletler için, Uddeholm firması tarafından üretilen Sleipner veri belgesinde (izelge 4.1) belirtilen uygun mekanik ve ısıl özelliklerinden dolayı seçilmiştir. Bu malzeme soğuk ve ılık işlem takım çeliğidir. Bu elik aşınmaya karşı direncin önemli olduğu ve çalışma tekrar sayısının çok olmadığı uygulamalar için uygun bir takım iş çeliğidir.

Çizelge 4.1. “Uddeholm Sleipner” ın fiziksel özellikleri.

UHB	ISO/DIN	AISI	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Testlim Sertliği
SLEIPNER	PATENT		0.90	0.90	0.50	7.8	0.5	2.5	235 HRB
Sıcaklık			20 °C	200 °C	400 °C	Sertlik (HRC)		Basma Dayan. Rc0.2 (MPa)	
Yoğunluk (kg/cm ³)			7800	7750	7700				
Isıl Genleşme Katsayısı									
-Düşük Sıcaklıkta Menevişlenmiş				12.7*10 ⁻⁶	12.3*10 ⁻⁶				
-Yüksek Sıcaklıkta Menevişlenmiş				11.6*10 ⁻⁶	11.4*10 ⁻⁶				
Isıl İletkenlik (W/m °C)				20	25				
Elastik Modülü, (MPa)			205 000	190 000	180 000				
Özgül Isı. (J/kg °C)			460						

4.4.1. İlkel Parça Boyutlarının Belirlenmesi

Çekme işleminin tasarımına çekme öncesi parça boyutlarının ve şeklinin belirlenmesiyle başlanmaktadır. Çekme işlemi süresince, sac malzeme eğilme, basılma ve çekilme gerilmelerine uğrar. Her plastik şekil verme işleminde olduğu gibi çekme işleminde de, çekme öncesi parça hacmiyle çekme sonrası parça hacmi eşittir [30]. Silindirik parçalar için ilkel parça boyutları belirlenirken, ilkel çapı bulunacak olan ürünün çekilmeden önceki kesit alanı, çekildikten sonraki kesit alanına eşit kabul edilerek ilkel parça çapı aşağıdaki gibi yazılır [30].

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{d^2 \pi}{4} d \cdot \pi \cdot h \quad (4.1)$$

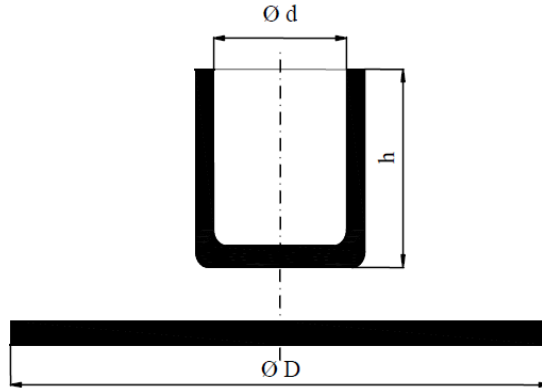
$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \quad (4.2)$$

mm olarak bulunur.

D= İlkel parça çapı

d= Şekillendikten sonraki silindir çapı

h= Şekillenmiş kabın yüksekliği



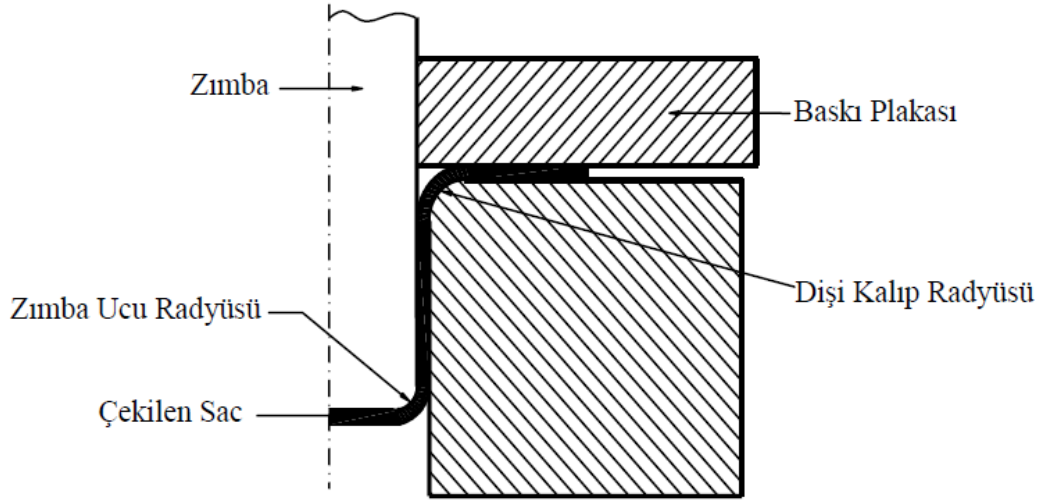
Şekil 4.10. Alan metodu ile ilkel çapın bulunması [30].

Çizelge 4.2. Deneysel çalışma parametreleri.

Sac malzemeler (HC300LA ve HC420LA)	1,2 mm kalınlık	1,5 mm kalınlık
Zımba çapı, $d_{zımba}$ (mm)	42.12 ± 0.05	40,89 ± 0.05
Zımba kavisi, $r_{zımba}$ (mm)	6 ± 0.1	8,125 ± 0.1
Kalıp çapı, $d_{kalıp}$ (mm)	45 ± 0.05	44,63 ± 0.05
Kalıp kavisi, $r_{kalıp}$ (mm)	6 ± 0.1	8,125 ± 0.1

4.4.2. Kalıp Kenar Radyüsü ve Zımba Ucu Radyüsleri

Çekilen sacın ilk çekmede bir kere bükülüp doğrulduğu, müteakip çekmelerde ise iki kere bükülüp doğrulduğu dikkate alındığında, çekme işleminde sac malzemenin kalıp içerisine akışını kolaylaştırmak için zımba ve dişi kalıp radyüslerinin mümkün olduğu kadar büyük tutulması gerektiği düşünülmektedir. Ancak, gereğinden büyük tutulmuş zımba ve dişi kalıp radyüslerinde, baskı plakası etki yüzeyi küçüleceğinden, sac malzemenin takım ile temas etmeyen yüzeyi büyümekte ve parça üzerinde istenmeyen kırışıklıklar oluşmaktadır. Çekme kavislerinin çok düşük tutulması durumunda ise, sac malzemenin kalıp içerisinde akışı için gerekli olan temas alanı küçüleceğinden dolayı, takım kesme kalıbı gibi çalışmakta ve malzemenin yırtılması kolaylaşmaktadır [19, 34]. Zımba ucu radyüsü ve dişi kalıp radyüsü Şekil 4.11’de gösterilmiştir [19].



Şekil 4.11. Zımba ucu ve kalıp radyüsü [19].

4.4.3. Kalıp – Zımba Arası Boşluk

Kalıp – zımba arası bırakılacak boşluk tasarımdaki en önemli konulardan bir diğeridir. Boşluk değeri az seçilirse parça derin çekme işleminde kalıbın köşe yarıçapına yakın bölgeden başlayarak incelmeye başlar buna parçanın ütülenmesi denir. Bundan sakınmak için bu boşluk değeri deney numunesi et kalınlığından daha büyük bir değerde seçilmelidir.

Çekme boşluğunun belirlenmesinde kullanılan eşitlikler aşağıdaki gibidir [19].

$$\text{Çelik için} \quad \omega = s + 0,07 \sqrt{10 s} \quad (4.3)$$

$$\text{Alüminyum için} \quad \omega = s + 0,02 \sqrt{10 s} \quad (4.4)$$

$$\text{Demir olmayan metaller için} \quad \omega = s + 0,04 \sqrt{10 s} \quad (4.5)$$

ω = Çekme boşluğu

s = Sac kalınlığı

4.4.4. Zımba Kuvveti

Mekanik özelliklerinin karşılaştırıldığında, HC420LA en yüksek mukavemet değerine sahip olduğu görülebilir. Bu sebepten dolayı tek tekrarda tamamlanan derin çekme işleminde gerekli zımba ve baskılayıcı kuvvet HC420LA'ya göre

hesaplanmalıdır. Yük hesaplamaları için, sınır çekme oranı ve istenen çekme oranı belirli olduğu durumda kullanılabilir birçok analitik formül, grafik ve tablo vardır. Böylesi mühendislik malzemeleri genellikle sac metal imalatçıları tarafından kullanılır. Fakat bu çalışmanın konusu sınır çekme oranının (SÇO) araştırılması üzerinedir. Başka bir deyişle SÇO bir bilinmeyendir ve araştırılacaktır. Kaynak taramasının sonucunda, SÇO ya bağlı olmayan zımba kuvvetinin hesaplanmasında kullanılabilir iki farklı formulasyon olduğu bulunmuştur. Bu formüller;

a- Kurt Lange'ye göre [32],

$$F_d = \pi d_m t \left[1,1 \frac{\sigma_{Flow}}{\eta_F} \left(\ln \frac{d_b}{d_p} - 0,25 \right) \right] \quad (4.6)$$

b- Kalpakjian ve Schmid' e göre [33],

$$F_d = \pi d_p t \sigma_{uts} \left(\frac{d_b}{d_p} - 0,7 \right) \quad (4.7)$$

Denklemler 4.6 ve 4.7 de kullanılan simgelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

F_d = çekme kuvveti d_b = deney numunesinin çapı (mm)

t = deney numunesinin kalınlığı (mm) d_m = çekilen parçanın çapı (mm)

σ_{UTS} = en yüksek çekme dayanımı (MPa) η_F = işlem verimi, (0,5 – 0,7)

σ_Y = akma dayanımı (MPa) d_p = Zımba Çapı (mm)

σ_{Flow} = akma gerilimi , $\sigma_{Flow} = 1,3 \cdot \sigma_{UTS}$ (MPa)

4.4.5. Baskı Plakası Kuvveti (BPK)

Uygulanacak baskılayıcı kuvvetin miktarı, derin çekme işleminde flanş bölgesinde oluşan uzamanın kontrolünü sağlayan önemli bir faktördür. Buna ilave olarak, derin çekilen parçada dalgalanmanın önlenmesi için, flanş bölgesinde oluşan baskı kuvvetleri, uygulanacak olan baskılayıcı kuvvet ile dengelenmelidir. Bu kuvvetin belirlenmesinde etkin olan diğer faktörler ise malzeme cinsi, sac kalınlığı, deney numunesinin çapı, zımba çapı ve kullanılacak yağlayıcıdır. Sınır Çekme Oranın artırılmasına yönelik ileride yapılacak araştırmalarda, baskı bölgesi ve baskılayıcı kuvvet çalışmalarının önemli olduğu düşünülmektedir.

Tek tekrarda silindir şeklinde derin çekilen parçalar için, gereken baskılayıcı kuvvet aşağıda verilen formül kullanılarak bulunur.

$$F_B = P \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - (d_d + r_{cd})^2) \quad (4.8)$$

$P=2,5 \text{ N/mm}^2$, çelikler için önerilen

d_d = Kalıp iç çapı

d_b = Test Parçası çapı

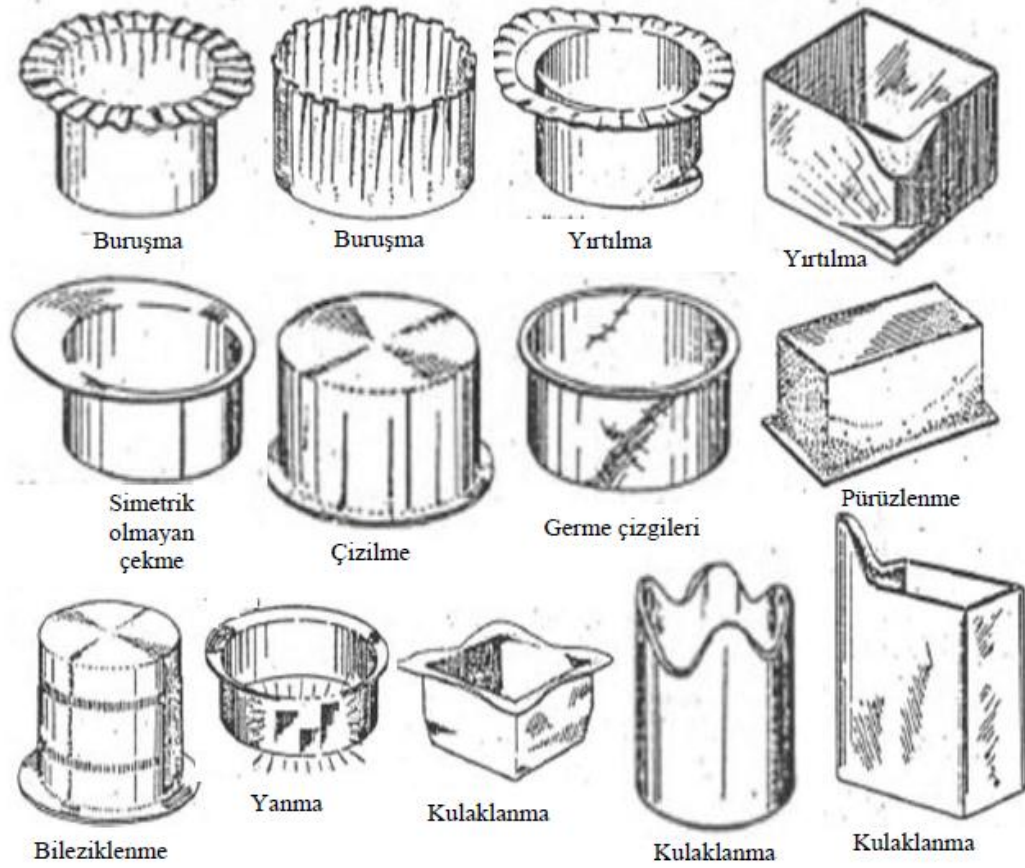
r_{cd} = Kalıp köşe radyüsü

4.5. DERİN ÇEKİLME İŞLEMİNDE GÖRÜLEN HATALAR

Sac malzemelerin şekillendirilmesinde görülen önemli hatalar, erken çatlama, boyun verme olayından dolayı parça mukavemetinin azalması, buruşma veya burkulma ve geri yaylanmadan dolayı boyut toleranslarının değişmesi olarak sıralanabilir [19]. Bunların yanında özellikle tane yapısı iri olan metalik saclarda parça yüzeyinde pürüzlenme oluşur. İnce tane yapısına sahip malzeme kullanılırsa bu problem ortadan kalkar. Derin çekme işleminde çatlama olayı genellikle zımba radyüsünün hemen üstündeki bölgede oluşur. Zımba veya matris radyüsünün az olması, malzeme özelliklerinin yetersiz olması, derin çekme oranının büyük seçilmesi, sıkıştırma basıncının yüksek olması, çekme boşluğunun küçük olması, yağlamanın yetersiz veya uygun yağ çeşidinin kullanılmaması bu hataya sebep olur [34]. Bu faktörlerin yetersizliği sonucunda zımba kuvveti artar ve malzemenin kritik bölgede incelerek

kopması meydana gelir. Daha kaliteli malzeme kullanımı ve zımba kuvvetini azaltıcı tedbirlerin alınması ile bu hata önlenir. Bazı durumlarda çatlama işlemi parçanın üst veya dış kısımlarında görülür. Bunun sebebi ise malzemenin çevresel dış basınca karşı koyamayacak zayıflıkta özelliklere sahip olmasıdır. Malzeme üzerinde çentik gibi izlerin olması da çatlama yol açabilir. Buruşma olayı ise, çekme boşluğunun büyük olması, baskı plakası kuvvetinin yeterli olmaması, matris ve zımba radyüsleri ile taslak çapının gereğinden büyük olması veya malzemenin çok ince olduğu durumlarda görülür. Gerekli kalıp geometrisinin ve öngörülen baskı plakası kuvvetinin hassas ayarlanması ile buruşma engellenebilir. Şekil 4.12’de derin çekme işleminde rastlanan hatalar gösterilmektedir. Bunların yanında derin çekme işleminde genellikle aşağıdaki nedenlerden dolayı kabın flanş veya ağız kısmı düzgün olarak elde edilemez [35].

- Kalıp, çekilen malzeme ve zımba arasındaki sürtünme katsayısının farklı oluşu.
- Çekme işlemi esnasında malzemenin kalıp içersindeki homojen olmayan plastik deformasyonu.
- Çekilecek taslağın kalıba simetrik veya merkezi olarak yerleştirilmemesi.
- İş parçası yüzeyinin düzgün olmaması ve baskı plakası yüzeyinin düzgünlüğünü zamanla kaybetmesi nedeniyle baskı kuvvetinin taslak yüzeyine homojen olarak dağılamaması.
- Çekilecek olan sac parçanın üretimi esnasında hadde yönünün tek yönlü olması ve bunun sonucu olarak çekme işlemi sırasında farklı uzamaların meydana gelmesi veya belli bölgelerde yırtılmaların oluşması [36].



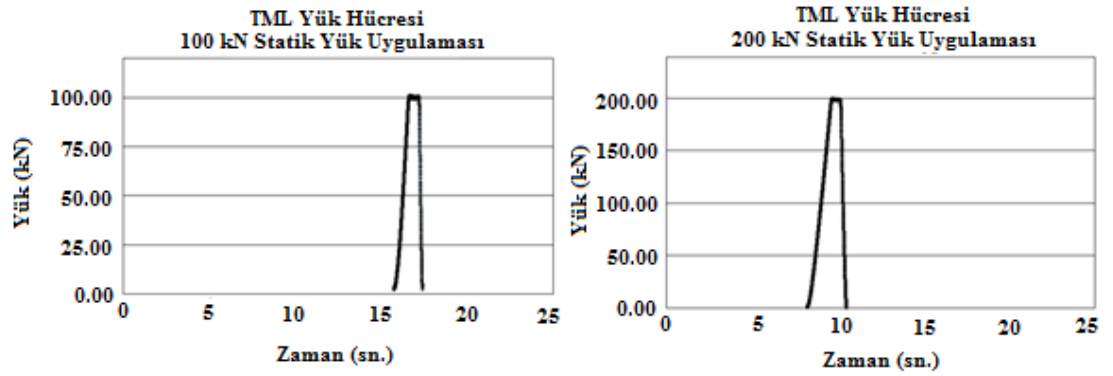
Şekil 4.12. Derin çekme işleminde görülen çekme hataları [35].

4.6. KALİBRASYONLAR

Bu çalışmada kalibrasyonları yapılmış ölçü aletleri ve sistemleri kullanıldı. Ölçüm cihazları imalatçıları tarafından kalibrasyonları yapılmış olarak teslim edilmelerine rağmen, bunların kalibrasyonları bir kez daha Atılım Üniversitesi imalat laboratuvarı ve Metal Şekillendirme ve Mükemmeliyet Merkezi (MŞMM) imkânları kullanılarak yeniden test edilmişlerdir. Kalibrasyonlarını kontrol etmek için basit deney düzenekleri hazırlanmış ve denemeler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, bilinen değerler ile, örneğin ağırlığı bilinen yükler, ölçülmüş uzunluklar vb. ile karşılaştırılarak aralarında oluşan farklılıklar gözlemlenmiştir. Eğer bu fark kabul edilebilir sınırlar içinde ise, bu cihazın kalibrasyonu onaylanıp, deneylerde kullanılması uygun bulunmuştur.

4.6.1. Yük Hücresi Kalibrasyonu

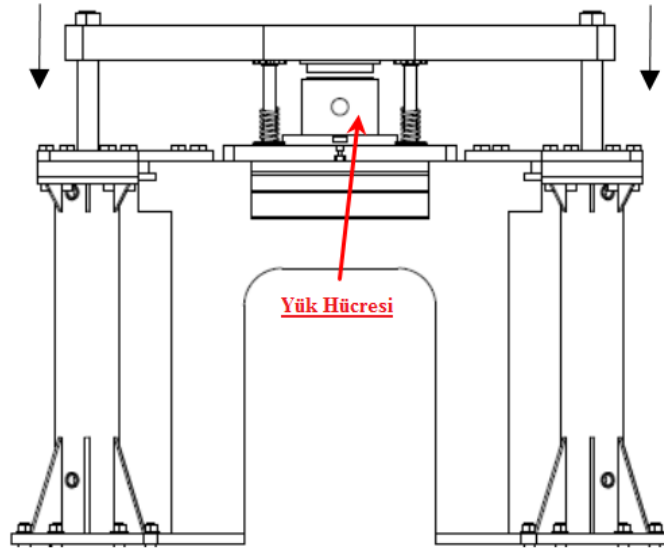
Atılım Üniversitesi, (Ankara) MMM’de mevcut bulunan Zwick Roell Z300, ekme ve basma test cihazının kalibrasyonu düzenli aralıklarla yapılır. Derin ekme deneylerinde kullanılacak olan yk hücresinin kalibrasyonunun denemesi için, yk hücresi Zwick’e yerleştirildi ve sonra sabit baskı kuvvetleri uygulandı. Şekil 4.13’de gösterilen sonuç grafikleri elde edildi. Sonuçların kabul edilebilir sınırlarda olduğu ve TML yk hücresinin yaptığı okumaların güvenilir olduğu belirlendi.



Şekil 4.13. TML Yük hücresinin grafiksel test sonuçları.

4.6.2. Baskı Plakası Kuvveti Kalibrasyonu

Hidrolik güç nitesi tarafından tahrik edilen Baskılayıcı Kuvvet Sistemi, TML Yük Hücresi kullanılarak test edildi ve kalibrasyon faaliyetleri gerçekleştirilerek kullanıma alındı. Yük hücresinden alınan veriler, hidrolik güç ünitesinden yapılan okumalarla karılatırıldı. Oluşan farklılık istenilen aralık değerlerine ulaşıncaya kadar bu iŐleme devam edildi. Gerekli Őartlar sağlandıktan sonra baskılayıcı kuvvet sistemi araştırmada kullanılmak üzere deney düzeneğine kabul edilmiştir.



Şekil 4.14. Baskılayıcı kuvvet sisteminin yük hücresi ile kalibre edilmesi.

4.6.3. Sıcaklık Sensörlerin Kalibrasyonu

Sıcaklık ölçümlerini etkileyen iki önemli faktörün açık bir şekilde belirtilmesi gerekir. Deney numunesinin ısıtılmasıyla kalıp ve baskılayıcı plakanın da sıcaklığında artış meydana gelir. Daha önce açıklandığı üzere sıcaklık sensörleri kalıp plakasının alt yüzeyine yerleştirilmiştir. Bu sensörler, kalıbın da ısınmış olmasından dolayı sıcak ortamda çalışırlar. Sensörlerden bir tanesi dik olarak yerleştirilmiş olup, bu sensör ölçümlerini sıcak kalıbın üzerinde açılmış delikten geçerek yapar. Sensörler, imalatçısı tarafından kalibre edilmiş olmalarına rağmen deney şartlarına göre yeniden ayarlanmış ve kalibre edilmişlerdir. Bu işlemler, imalatçı firma olan OPTRIS firmasından deneyimli bir teknisyen tarafından yapılmıştır. Yapılan ayarlama ve kalibrasyonların güvenilirliği için kalibreli başka bir sıcaklık ölçerden alınan verilerle karşılaştırma yapılmıştır.

4.7. TEST PARÇALARININ HAZIRLANMASI

Deney numunelerinin hazırlanmasında su jeti kullanılmıştır. Su jeti ile kesim soğuk yapılan bir imalat işlemidir. Bu işlemin en büyük avantajı kesim sırasında kesilecek malzemede sıcaklık artışı olmadığı için malzemenin iç yapısında değişiklik gerçekleşmez. Ayrıca, su jeti kesimi malzemenin mekanik özelliklerini değiştirmez.

Bu yöntemde kesimi yapılacak malzemenin herhangi bir şekilde bağlanması gerekmez. Kesilecek malzemede görülen bağlama bölgelerinde baskı kuvveti uygulanmasından kaynaklanan yerel stresler olmayacaktır. Kesimler hazırlanan yerleşim planlarına göre yapılmıştır.

4.8. YAĞLAYICILAR

Sac malzemenin derin çekme işleminde, yağlayıcı; deney numunesinin, kalıbın ve baskılayıcı plaka temas yüzeylerinden düşük sürtünme kuvvetlerinin etkisinde kaymasını sağlar. Sac metal şekillendirmede, sürtünme ve yağlayıcıya etki eden faktörler, numune malzemesi, yüzey kalitesi, sıcaklık, baskı basıncı ve yağlayıcı özellikleridir. Bu parametrelere bağlı olarak yağlayıcı performansı ve sürtünme katsayısı farklılıklar gösterir.

Kalıbın içine doğru olan malzeme akışını sürtünmeden kaynaklanan ve malzeme-kalıp ara yüzünde oluşan etkileri kontrol eder. Bu yüzden yağlayıcı seçimi kaliteli ve yüksek derin çekme sınırına sahip ürünlerin üretilmesini sağlar.

Derin çekme işleminde en yüksek sürtünme kalıp köşe yarıçapına yakın olan bölgede oluşur. Bu bölgelerdeki sürtünme miktarı ve yağlayıcı, derin çekilerek elde edilen parçada incelmeye neden olur ve işlemin ilerleyen aşamalarında parçanın yan yüzeyinde yırtılmaya neden olur. Baskılayıcı kuvvetin üst sınırı, yırtılma meydana gelmeden en yüksek baskılayıcı kuvvet uygulanarak başarılı derin çekme işlemi ile bulunur. Bu verilen bilgiler doğrultusunda uygun yağlayıcı seçimi yapılmıştır.

Sıcak derin çekme deneyleri için uygun cins yağlayıcı katı tip yağlayıcılardır ve bu tip yağlayıcının kullanılması ile iyi sonuçlar alınır. Grafit ve molibden iki sülfat, katı tip yağlayıcılarda kullanılan iki temel maddedir. Yüksek mukavemet çelik malzemelerini şekillendirmek için bilinen çelik malzemelere uygulanan baskılayıcı kuvvetten daha fazlasının kullanılmasını gerektirir. Yağlayıcının belirlenmesi için yapılan sıcak derin çekme deneylerinde, ORAPI (Fransa) firması tarafından üretilen “Graphene 702” isimli grafit bazlı spreysel yağlayıcı oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Spreysel olarak üretilmiş olduğundan dolayı kolaylıkla malzemeye uygulanabilmiştir.

Bu çalışmada karışık yağlama sistemleri de, grafit sprej ve teflon film birlikte kullanılmış olup daha iyi sonuçlar alınmıştır. Karışık yağlama uygulamasının yüksek mukavemet çelik malzemelerin derin çekme sınır oranının artırılmasına çok olumlu katkısı olduğu söylenebilir. Şekil 4.15’de deneylerde kullanılan yağlayıcılar verilmiştir.



Şekil 4.15. a) Teflon film (0,3 mm) b) Graphite 702 (yağlayıcı).

4.9. MALZEME KARAKTERİZASYON TESTLERİ VE TEST CİHAZLARI

Gerçekleştirilen malzeme karakterizasyon deneyleri Çizelge 4.3’de özetlenmiştir. Malzeme karakterizasyon deneylerinin sonuçları malzemenin mekanik davranışı, şekillendirilebilme miktarının belirlenmesinde ve sayısal analizlerde kullanılır.

Çizelge 4.3. Malzeme karakterizasyon deneyleri özet tablo.

Malzeme Karakterizasyon Deneyleri		Araştırmada Kullanılan Malzemeler	
		HC300LA	HC420LA
Kimyasal Analiz		✓	✓
Çekme	Oda Sıcaklığı	✓	✓
	Ilık Sıcaklık	✓	✓
Nakazima (FLD)	Oda Sıcaklığı	✓	
	Ilık Sıcaklık	✓	✓
Sertlik Testleri	Oda Sıcaklığı	✓	✓
	Ilık Sıcaklık	✓	✓
OM Analizi	Oda Sıcaklığı	✓	✓
	Ilık Sıcaklık	✓	✓
Kalınlık Ölçümü	Oda Sıcaklığı		
	Ilık Sıcaklık	✓	✓

4.9.1. Oda ve Ilık Sıcaklıklarda Çekme Testleri ve Cihazları

Çekme testi, temel malzeme karakterizasyon testidir. Bu testin yapılışında, malzeme kontrollü olarak kopma gerçekleşinceye kadar çekilir, deney boyunca elde edilen veriler kayıt edilir ve daha sonra grafik olarak gösterimleri elde edilir. Bu testin sonuçları; farklı yüklemelerin etkisi altındaki aynı malzemenin mekanik davranışını tahmin etmek için kullanılır.

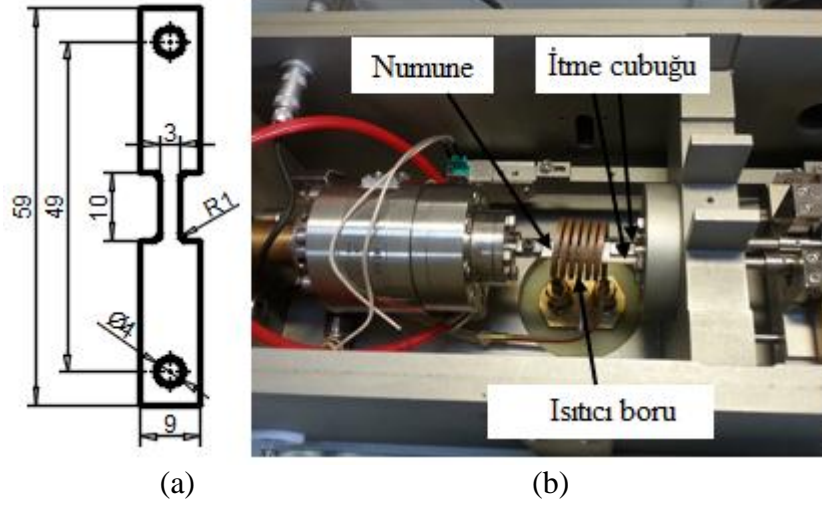


Şekil 4.16. Zwick Roell Z300, Tek eksen çekme test makinası, MŞMM.

Elde edilen mekanik malzeme özellikleri en yüksek çekme gerilmesi ve malzemede meydana gelen uzama miktarı, ayrıca kesit alanında meydana gelen değişimler bu deneyin sonucu olarak elde edilir. Bu veriler kullanılarak aşağıda belirtilen malzeme özellikleri hesaplanabilir, elastisite modülü (Young's modulus), Poisson oranı katsayı olarak (Poisson's ratio), akma gerilmesi (yield strength) ve uzamaya bağlı malzemede meydana gelen mukavemet değerinde artış (strain-hardening). Bu test malzeme özelliği her yerinde aynı olan malzemelerin karakteristik davranışının belirlenmesinde iyi sonuçlar verir.

Malzeme karakterizasyon çekme deneyleri Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme ve Mükemmeliyet Merkezinde mevcut Şekil 4.16'da gösterilen Zwick Roell Z300 çekme makinası kullanılarak yapılmıştır.

Bu test için deney numuneleri ISO 6892-1 (Metallic materials. Tensile testing. Method of test at ambient temperature) 'e göre hazırlanmıştır. Ayrıca deneylerin yapıldığı Zwick firmasının makina ve testler ile ilgili yönlendirme ve tavsiyeleri de gözötilmiştir.

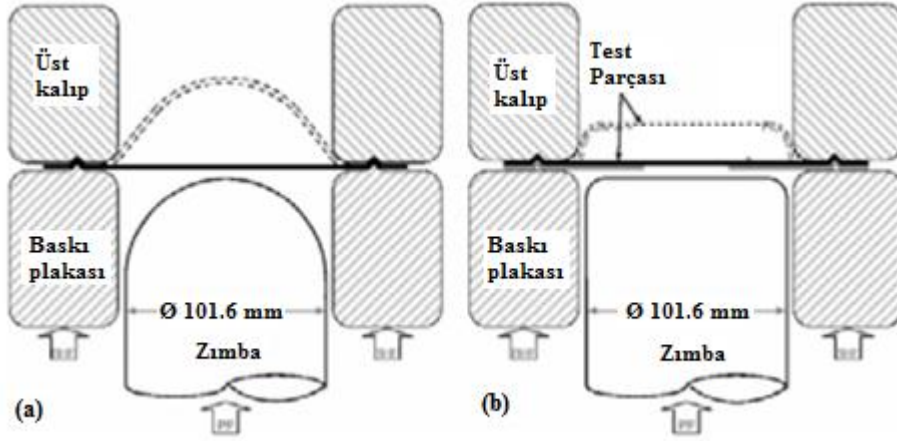


Şekil 4.17. a) Çekme testi numunesi ölçüleri, b) dilatometre cihazının üstten görünüşü.

Malzemelerin soğuk ve sıcak malzeme davranışlarının belirlenmesi için yapılan tek eksen soğuk ve sıcak çekme deneyleri Bähr DIL805 A/D dilatometresinde (Atılım Üniversitesi, Metal Şekillendirme ve Mükemmeliyet Merkezinde mevcut) gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri Şekil 4.17 (b) de verilen ölçüler doğrultusunda tel erezyon tezgâhında (EDM) hassas olarak hazırlanmıştır. Dilatometre test cihazının üstten görünüşü görüldüğü Şekil 4.17 (a) da verilmiştir.

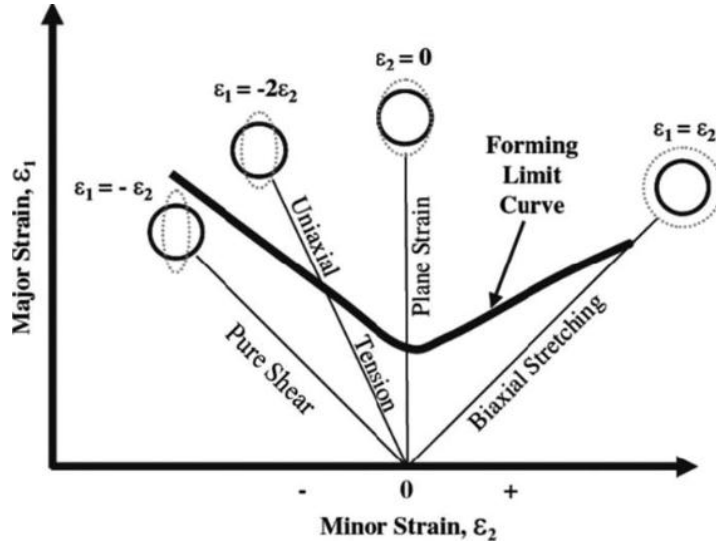
4.9.2. Şekillendirme Sınır Diyagramı Testleri ve Cihazı

Şekillendirme sınır eğrileri (ŞSE), sac metal şekillendirmede, malzemenin şekillendirilebilme davranışını belirler. ŞSE, sac malzemelerin şekillendirilme işlemlerinde malzemeye ait sınır kriterlerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan deneysel bir yöntemdir.

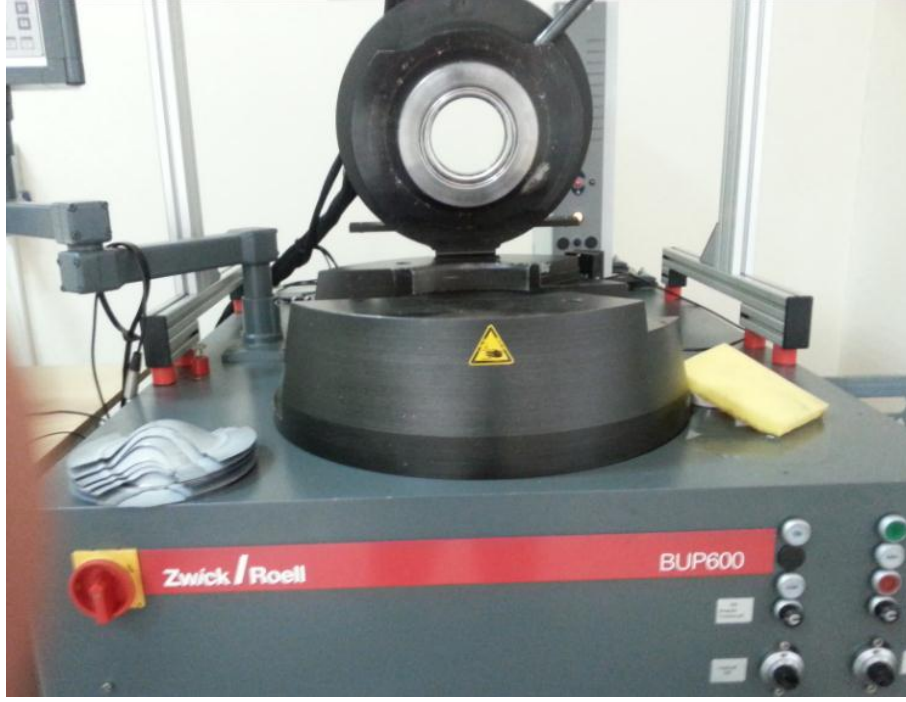


Şekil 4.18. Nakazima and Marciniak Testlerinin Gösterimi [37].

ŞSE'nin elde edilmesinde iki farklı uygulama yöntemi vardır. Bunlar Nakazima ve Marciniak Testleridir. Nakazima deneyinde yarı küresel zımba (bkz. Şekil 4.18 (a)), Marciniak ta ise tabanı düz bir yüzeye sahip silindir şeklinde (bkz. Şekil 4.18 (b)) zımba kullanılır.



Şekil 4.19. Sınır şekillendirme eğrisi (Forming Limit Curve) [37].



Şekil 4.20. Zwick Roell BUP600 Nakazima test makinası MŞMM.

Bu bilimsel çalışmada, Atılım Üniversitesi, Metal Şekillendirme ve Mükemmeliyet Merkezinde mevcut; Şekil 4.20’de fotoğrafı verilen Zwick Roell BUP600 Nakazima test makinası kullanılmıştır. Deney numuneleri su jetinde kesilerek hazırlanmıştır.

4.10. DERİN ÇEKİLMİŞ KAPLARDA KALINLIK DEĞİŞİMİ

Sac metal malzemelerin şekillendirilmesinde, kalınlığı değişiminin kontrolü önemli bir konu olmaktadır. Şekillendirilmiş parçadaki kalınlığı değişimi, ürün kalitesini etkileyen bir durumdur. Et kalınlığı değişiminin en az olması, çıkan ürünün daha başarılı şekillendirilebildiğini göstermektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen numunelerin kalınlıklarının incelenmesi amacıyla en büyük β değerindeki her bir silindirik kaplar tel erozyon tezgâhında hassas olarak kesilmiştir. Kalınlık ölçümleri 0,01 hassasiyetli mikrometre ile ölçülmüştür.

4.11. DERİN ÇEKİLMİŞ KAPLARDA GERİ ESNEME

Derin çekme işlemlerinde, geri esneme değerleri derin çekilmiş kaplar için önemli bir parametredir. Parçaların plastik ve elastik şekillendirme işlemleri sonucunda geri

esneme olur. Bu doktora çalışmasında SÇO'nun artırılmasının yanında, geliştirilen yöntemle şekillendirilmiş dairesel kaplar üzerinde geri esnemenin etkisi de araştırılmıştır. Geri esneme ölçümleri aşağıda açıklandığı şekliyle hazırlanmış ve ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Oda ve ılık sıcaklık derin çekme deneylerinde elde edilen kaplardan Oda sıcaklığı SÇO ile ılık sıcaklıkta derin çekilmiş ilk kapların geri esneme değerlerinin karşılaştırılması için her iki malzeme (HC300LA ve HC420LA) numuneleri Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Atölyesinde mevcut tel erozyon tezgâhında stripler halinde kesilmiş ve geri esneme ölçümleri karşılaştırılmıştır.

4.12. DERİN ÇEKİLMİŞ KAPLARDA MİKRO YAPI VE SERTLİK

Mikro yapı ve sertlik ölçümü ılık derin çekme testleri sonucunda sıcaklığın etkisiyle malzeme içyapısındaki değişimleri incelemek ve sertliğinde herhangi bir kayıp olup olmadığı kontrol etmek için yapılmıştır. Oda ve ılık sıcaklık derin çekme deneylerinde elde edilen kaplardan Oda sıcaklığı SÇO ile ılık sıcaklıkta ilk derin çekilmiş kapların Optik Mikroskop (OM) görüntülerinin yapılabilmesi ve sertlik analizlerinin yapılarak karşılaştırılması için her iki malzeme (HC300LA ve HC420LA) Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Atölyesinde mevcut tel erozyon tezgâhında kesilmiştir. Kesilen bu kaplardan alınan test numuneleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde OM ve sertlik ölçümleri gerçekleştirmek için önce numuneler Şekil 4.21'de görüldüğü gibi bakalite gömülmüştür. Bir sonraki adımda 120, 350, 500, 800 ve 1200'lük zımparalarla temizlenmiştir. Parlatma işlemi 6, 3 ve 1 µm'lik keçelerle çizikler giderilerek %2 nital (%2 NH₃ ve %98 Alkol) ile dağlanarak OM analizleri yapılmıştır. Daha sonra numunelerin sertlik ölçümleri emkotest cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.21. OM görüntüsü ve sertlik ölçümü için bakalite gömülmüş test numuneleri

4.13. YÖNTEM

Yüksek dayanımlı çelik malzemeler için doktora tez önerisinde savunulan; flanş bölgesinin ısıtılarak derin çekme sınır oranının geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu doktora çalışması, yüksek dayanım sac çelik malzemelerin şekillendirilme sınırlarının geliştirilmesine odaklı bir bilimsel çalışmadır. Sac metal malzemelere ait şekillendirilme sınırının ölçüm parametresi derin çekme sınır oranıdır. Bunun yanında, derin çekme sınır oranını etkileyen; uygulama sıcaklığı, malzeme iç değişkenleri, malzemeye ait yöne bağlı değişkenler (Anisotropy) malzemeye ait değişik sıcaklıklardaki akma fonksiyonları, geri esneme ve sürtünmenin etkisi gibi işlem parametreleri de ayrıca detaylı olarak bu çalışmada incelenmiştir. Bunların sonucunda oluşan kalıcı sac şekillendirme ölçüm parametreleri şu şekilde sıralanabilir. Derin çekme sınır oranı, malzeme geri esneme oranı, derin çekilen soğuk ve ılık malzemelerin mikro yapısı, derin çekilen maksimum şekillendirme oranına (β) ait malzemelerin kalınlık etkisi, baskı sonrası malzemede oluşan kalıntı gerilimleri, flanş bölgesindeki ılık ve orta bölgenin soğutulmuş olarak şekillendirme yöntemi uygulanmasından olumlu etkilenmiştir.

Konuyla ilgili yapılmış bilimsel çalışmalarda, flanş bölgesinin derin çekme işleminde en önemli bölge olduğu belirtilmiştir. Buna örnek olarak baskı gerilimleri, çekme gerilimleri, sürtünmeden kaynaklanan gerilmeler, v.b. sayılabilir. Bu sebeplerden dolayı çalışmada uygulanacak deneysel yöntem olarak; şekillendirilecek parçanın baskı bölgesinin (flanş) kalıp içinde indüksiyon ısıtıcı ile hızlı ve bölgesel olarak ısıtılması temel yöntem olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda flanş

bölgesinde gerekli olan sıcaklık dağılımının elde edilmesi için gerekli durumlarda deney numunesinin orta bölgesi su ile soğutulmuştur. Bu ön ısıtma işlemi sonrasında derin çekme işlemi uygulanmıştır.

Deney düzeneğinin tasarımı, projenin amacını gerçekleştirecek koşullara uygun olarak tamamlanmış. İmalat sonrası test düzeneği test edilip (gerekli değişiklikler yapılarak), düzenek istenilen hassasiyet değerlerine (kalibrasyonu yapılarak) uygun hale getirilmiştir. Ölçüm cihazlarının kalibrasyonları yeniden test edildikten sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda yapılan testler aşağıda özetlenmiştir.

- Malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik davranışının (Material characterization) incelendiği Çizelge 4.3. te özetlenen deneyler.
- Yüksek dayanım (sac) çelik malzemelerin derin çekme sınır oranını belirlemek için yapılacak soğuk derin çekme deneyleri
- Yüksek dayanım (sac) çelik malzemelerin flanş bölgesinin değişik sıcaklıklardaki (170°C - 295°C) derin çekme sınır oranını belirlemek için yapılan sıcak derin çekme deneyleri
- Sürtünmenin azaltılması için yağlayıcı seçim deneyleri
- Karışık yağlayıcı kullanımının (grafit sprej + teflon film) şekillendirme oranına etkisinin araştırıldığı deneyler
- Karışık yağlayıcı kullanımının (grafit sprej + teflon film) şekillendirme kuvvetine olan etkisinin araştırıldığı deneyler
- Sertlik ve kalınlık değişiminin incelendiği testler
- Soğuk ve ılık derin çekilmiş malzemelerin mikro yapı incelemesinin yapıldığı işlemler
- Soğuk ve ılık derin çekilmiş malzemelerin geri esnemenin etkisinin incelendiği testler

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI ve TARTISMA

5.1. MALZEME KAREKTERİZASYON TESTLERİ

Bu çalışmada, HC300LA ve HC420LA sac malzeme kullanılmıştır. Sac malzemelerin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1 de verilmiştir. Malzemelerin oda sıcaklığı çekme testleri hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° doğrultularında gerçekleştirilmiştir. Malzemeler $1 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ ve $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ hızındaki oda sıcaklığı çekme testi Bähr DIL805A/D” dilatometre cihazında yapılmıştır. $2.08 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ hızındaki oda sıcaklığı çekme testi Zwick, 300 kN test cihazında olmak üzere üç farklı deformasyon hızlarında testler yapılmıştır. Malzemenin hıza bağlı uzama (Strain Rate Dependency) özelliği araştırılmıştır.

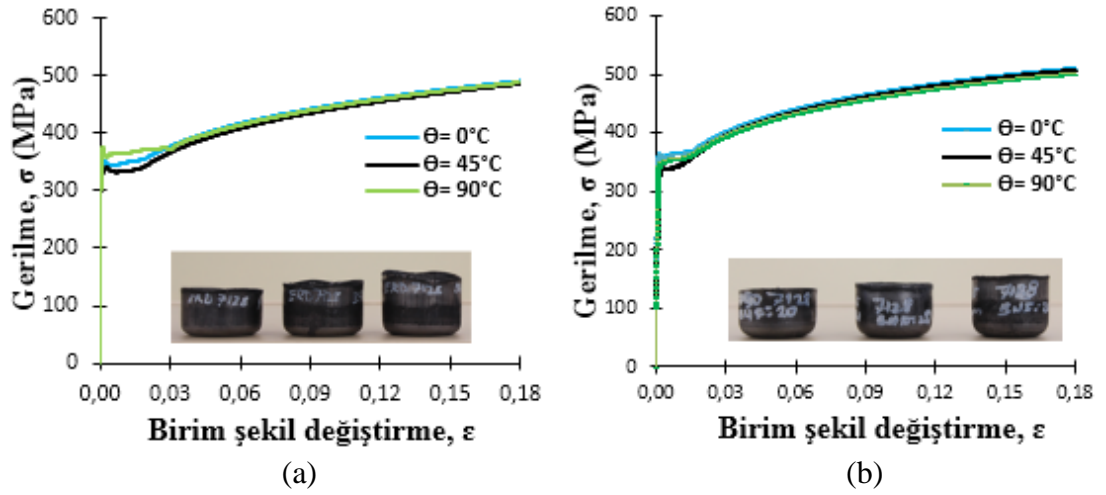
Çekme testi sonuçlarına göre HC300LA malzemenin akma diyagramlarında hıza ve ayrıca yöne bağlı dikkate alınacak bir farklılık tespit edilmemiştir. Fakat HC420LA malzemedede hıza ve yöne bağlı azda olsa fark tespit edilmiştir. 150 °C ve 300 °C derecelerde ılık ortam çekme testleri “Bähr DIL805A/D” dilatometre kullanılarak yapılmıştır. Oda sıcaklığında yapılan deneylerin sonuçları dikkate alınarak, yöne bağlı belirgin bir fark olmamasından dolayı, ılık ortamda yöne bağlı özelliğinin araştırılacağı deneylerin yapılmasına gerek görülmemiştir.

Çizelge 5.1 HC300LA ve HC420LA sac malzemelerin kimyasal bileşimi (Ağırlık %).

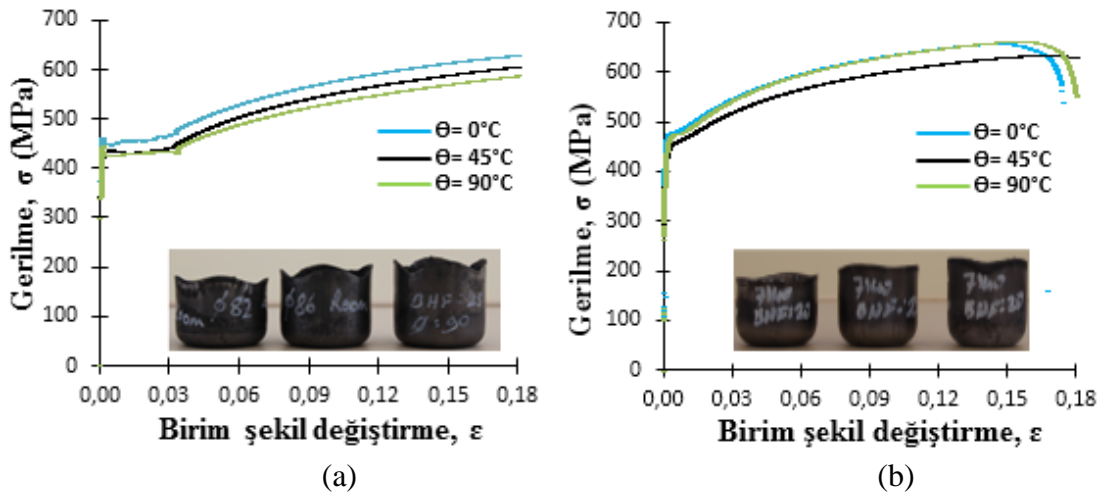
Çelik Kalitesi	C	Mn	Si	Al	Ti
HC300LA	0.03	0.25	0.004	0.05	<0.001
HC420LA	0.07	1.24	0.01	0.06	0.01

Yöne bağlı farklı özellik gösteren malzemelerin derin çekilme işlemi sonucunda silindir kapların dış kenarların da kulak adı verilen eğrilikler meydana gelir. Bu

kulakların adedi ve eğriliklerin yüksekliği malzemede yöne bağlılığın miktarı hakkında bilgi verir. Soğuk derin çekme ve çekme testi sonuçları ışığında Şekil 5.1 ve 5.2'deki grafiklerden de görüleceği gibi HC300LA kalite çeliğinde her iki kalınlık için kulak oluşumu yok denecek kadar az çıkmıştır. Fakat HC420LA kalite çeliğinde $t=1,2$ mm kalınlıktaki kulak oluşumu, $t=1,5$ mm kalınlıktaki kulak oluşumuna göre daha belirgindir. Bu derin çekme sonuçları çekme testi sonuçlarını doğrulamaktadır.

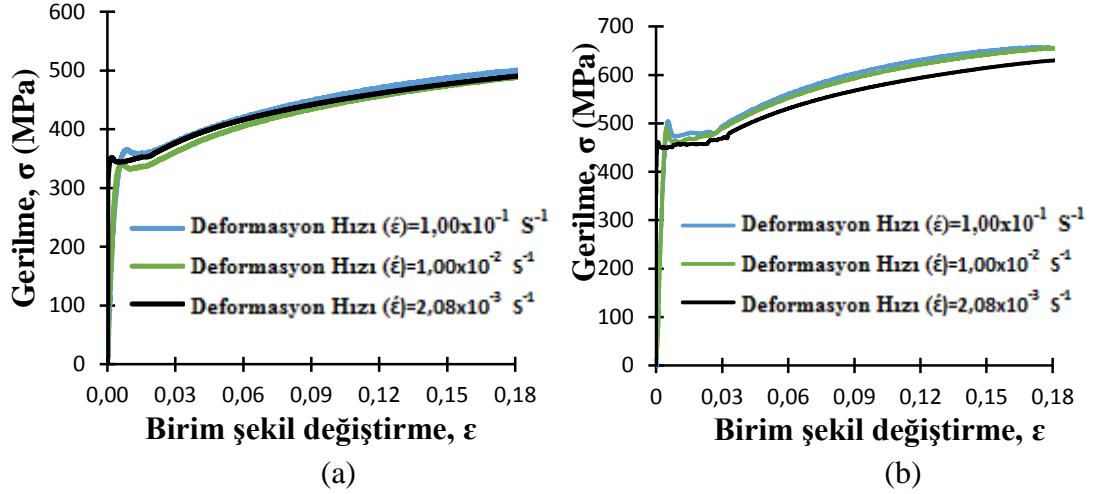


Şekil 5.1. HC300LA sacının yöne bağlı karakteristiğinin belirlenmesi için, hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° doğrultulardaki çekme testi sonuçları. a) $t=1,2$ mm b) $t=1,5$ mm.



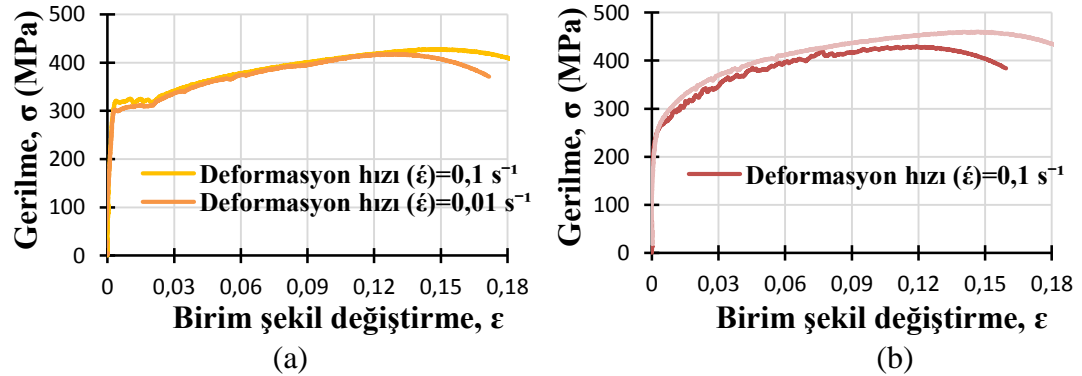
Şekil 5.2. HC420LA sacının yöne bağlı karakteristiğinin belirlenmesi için, hadde yönüne göre 0°, 45° ve 90° doğrultulardaki çekme testi sonuçları. a) $t=1,2$ mm b) $t=1,5$ mm.

RT koşullarında, $1 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$, $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ve $2,08 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ deformasyon hızlarında yapılan çekme testlerinde, HC300LA malzemenin uzama hızına bağlı akma özelliklerindeki değişimin az olduğu gözlemlenmiştir. Fakat HC420LA malzemenin uzama hızına bağlı akma özelliklerindeki değişimin HC300LA malzemeye göre fark olduğu Şekil 5.3'deki grafiklerden de gözlemlenmektedir.

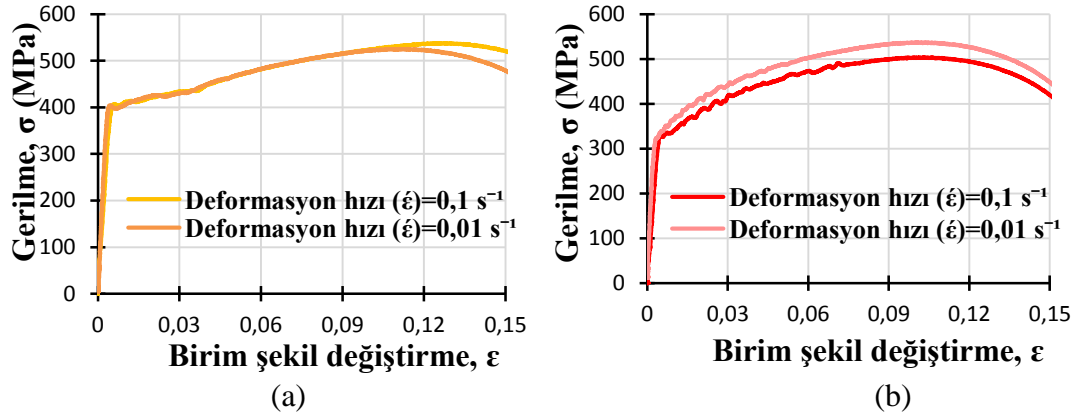


Şekil 5.3. Malzemenin oda sıcaklığında yapılmış, farklı deformasyon hızlarındaki akma eğrileri. a) HC300LA, $t=1,2 \text{ mm}$ b) HC420LA, $t=1,2 \text{ mm}$.

Ilık derin çekme deneylerinde sac malzemenin hıza bağlılığını ve şekillendirme sıcaklık aralığının tespiti için $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $300 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda, $1 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ ve $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ deformasyon hızlarında çekme testleri yapılmıştır. Testler sonucunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.4. HC300LA, $t=1,2 \text{ mm}$ için, malzemenin farklı deformasyon hızlarında ve farklı sıcaklıklarda akma eğrileri a) $150 \text{ }^\circ\text{C}$ b) $300 \text{ }^\circ\text{C}$.



Şekil 5.5. HC420LA, $t=1,2$ mm için, malzemenin farklı deformasyon hızlarında ve farklı sıcaklıklarda akma eğrileri a) 150 °C b) 300 °C.

150 °C sıcaklıklarda, $1 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ ve $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ deformasyon hızlarında çekme testlerinden elde edilen Şekil 5.4 (a) ve Şekil 5.5 (a) grafikleri incelendiğinde, her iki malzeme türünde de grafikler üst üste çakışmıştır. Bu durum, 150 °C sıcaklıklarda şekillendirmelerde sac malzemelerde hıza bağlı bir hassasiyetin olmadığını göstermiştir.

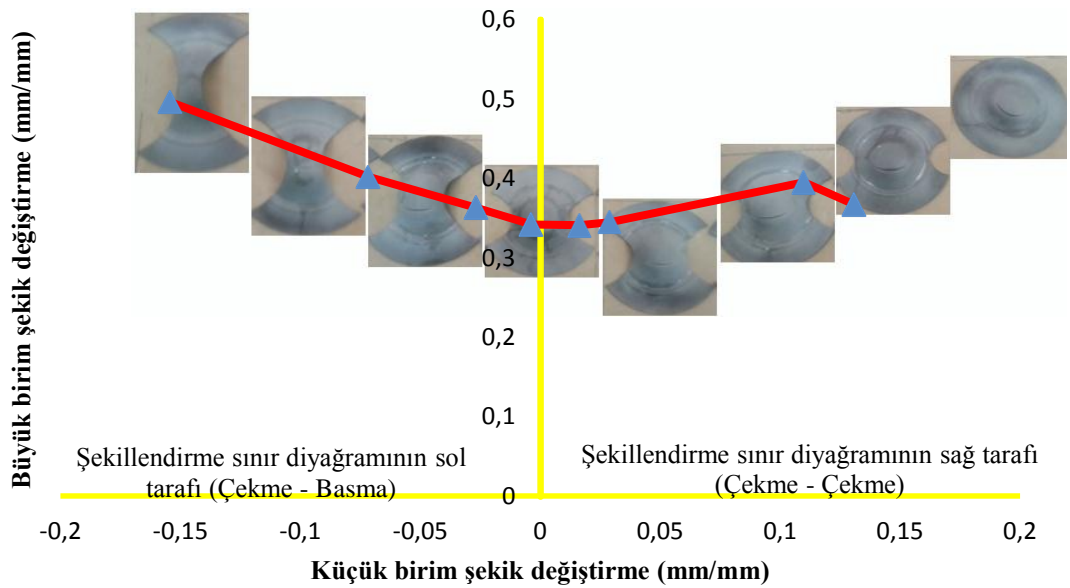
300 °C sıcaklıklarda, $1 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ ve $1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ deformasyon hızlarında yapılan çekme testlerinden elde edilen Şekil 5.4 (b) ve Şekil 5.5 (b) grafikleri incelendiğinde, HC300LA sac malzemedeki hız hassasiyeti gözlemlenmezken, HC420LA sac malzeme grafiklerinde yaklaşık 20 MPa gerilim farkı çıkmıştır. Bu durum, 300 °C sıcaklıklarda şekillendirmelerde hız hassasiyetinin göz ardı edilebilir olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, Şekil 5.4 (b) ve Şekil 5.5 (b) grafiklerinde, 300 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilen çekme testlerinde hem HC300LA sac malzeme hem de HC420LA sac malzeme türü için Dinamik Deformasyon Yaşlanması (Dynamic Strain Aging - DSA) bir sonucu olarak yük dalgalanmaları gözlemlenmiştir. Gözlemlenen DSA, 300 °C ve üzeri sıcaklıklarda bu malzemelerin kırılma bir yapıya dönüştüğünü ve şekillendirilebilirliğinin düşeceğini göstermektedir.

Şekillendirme sınır diyagramı (Forming Limit Diagram, FLD) sac malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan en etkin test metodlarından birisidir. Bu test

yönteminin önemi malzemede iki yönde meydana gelen uzamanın aynı anda belirlenmesidir. Buna karşılık çekme deneyleri malzemenin tek yönde uzamasını belirleyen bir yöntemdir. Tahmin edilebileceği gibi bu gibi testlerde ölçümler malzemenin uzama miktarının belirlenmesi ve bu verileri kullanılarak malzemede oluşan gerilmelerin hesaplanması sonrasında malzemenin akış davranışına göre verdiği karşılık bulunarak malzemenin elastik ve kalıcı şekil değiştirmesi bulunur.

Şekillendirme sınır eğrilerinin elde edilmesinde, Nakazima ve Marciniak yöntemleri en çok kullanılan test metotlarıdır. Bu testler çoğunlukla oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Yüksek sıcaklıklar için şekillendirme sınır eğrilerinin elde edilmesi iki şekilde olur. Bunlardan birincisi ılık ortam deneyidir. Fakat Nakazima testinin yüksek sıcaklıklarda yapılması oldukça zahmetli ve teknolojik olarak bazı sorunları olan bir seçenektir. Diğerisi ise sayısal modelleme yöntemi kullanılarak yapılır. Genellikle sonlu elemanlar analizine uygun sıcak ortam şartları dahil edilerek matematiksel model oluşturulur ve deney sanal ortamda örneğin ABAQUS veya benzeri bir paket program kullanılarak elde edilen sanal sonuçların kullanılması ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada FLD testi HC300LA, $t=1,5$ mm için yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen grafik Şekil 5.6 'da verilmiştir.



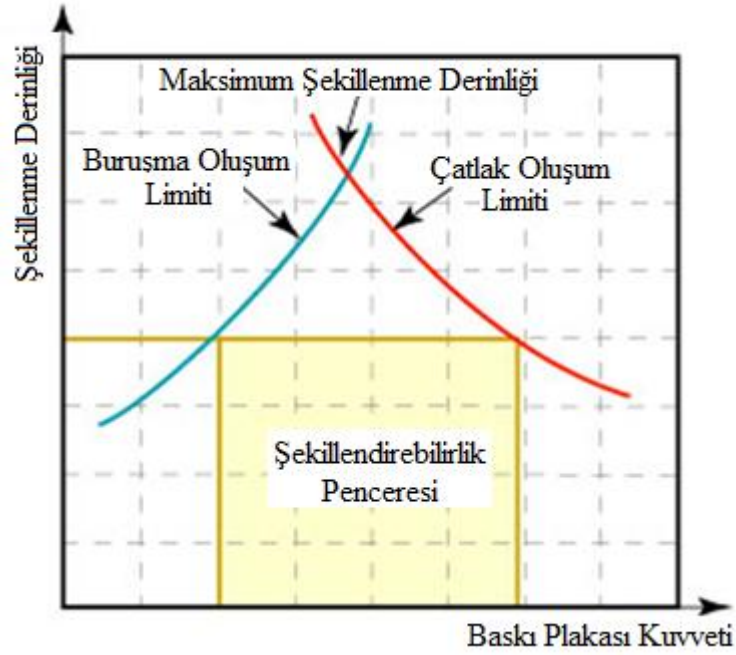
Şekil 5.6. HC300LA, $t=1,5$ mm, oda sıcaklığında, şekillendirme sınır diyagramı grafiği.

FLD diyagramında eğrinin altında kalan bölge güvenli bölgeyi, üstte kalan alan bölge de şekillendirilmede başarısız olunan bölgeyi ifade etmektedir. İki eksenli çekme – basma bölgesinde, sac malzemenin yırtılmadan önce büyük uzamanın 0,5 mm/mm şekillendirilebildiği gözlemlenmiştir. Tek eksenli çekme bölgesinde de sac malzemenin yaklaşık 0,35 mm/mm şekillendirilebildiği tespit edilmiştir. İki eksenli çekme bölgesinde ise sac malzemenin 0,3-0,4 mm/mm aralıklarında şekillenebildiği gözlemlenmiştir.

5.2. ODA SICAKLIĞINDA YAPILAN DERİN ÇEKME DENEYLERİ

Test parçalarının kimyasal bileşimleri yapılmıştır. Oda sıcaklığı, 150 °C ve 300 °C sıcaklıklardaki çekme testleri yapılmıştır. Deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde kullanılacak yük hücresinin, sıcaklık sensörlerin ve BPK'nin kalibrasyonları yapılmıştır. Test parçaları su jetinde kesilmiş ve deneylerde kullanılacak BPK matematiksel olarak hesaplanmıştır. BPK tam olarak bulmak için ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalara başlamadan önce yapılması gerekli olan çalışmalar tamamlanmıştır. Deneylemizim ilk aşaması olan oda sıcaklığındaki derin çekme deneyleri yapılmıştır.

Şekil 5.7, Derin çekme işleminde karşılaşılan hata sınır eğrilerinin, baskı tutucu kuvvet – derin çekilen parçanın yüksekliği grafiğinin şematik gösterimi verilmiştir. Bu grafikten anlaşılacağı gibi uygulanması gereken baskı tutucu kuvvet aralığının daha büyük derinlikte malzemelerin çekilmesi durumunda buruşma ve yırtılma sınır eğrilerinin arası daha çok daraldığı gösterilmiştir. Bu çalışmada sınır çekme oranının artırılmasını, bir başka deyişle derinliğin artırılması amaçlanmıştır. Dolayısıyla uygulanması gereken baskı tutucu kuvvet aralığı numune çapının artışı ile azalmaktadır.

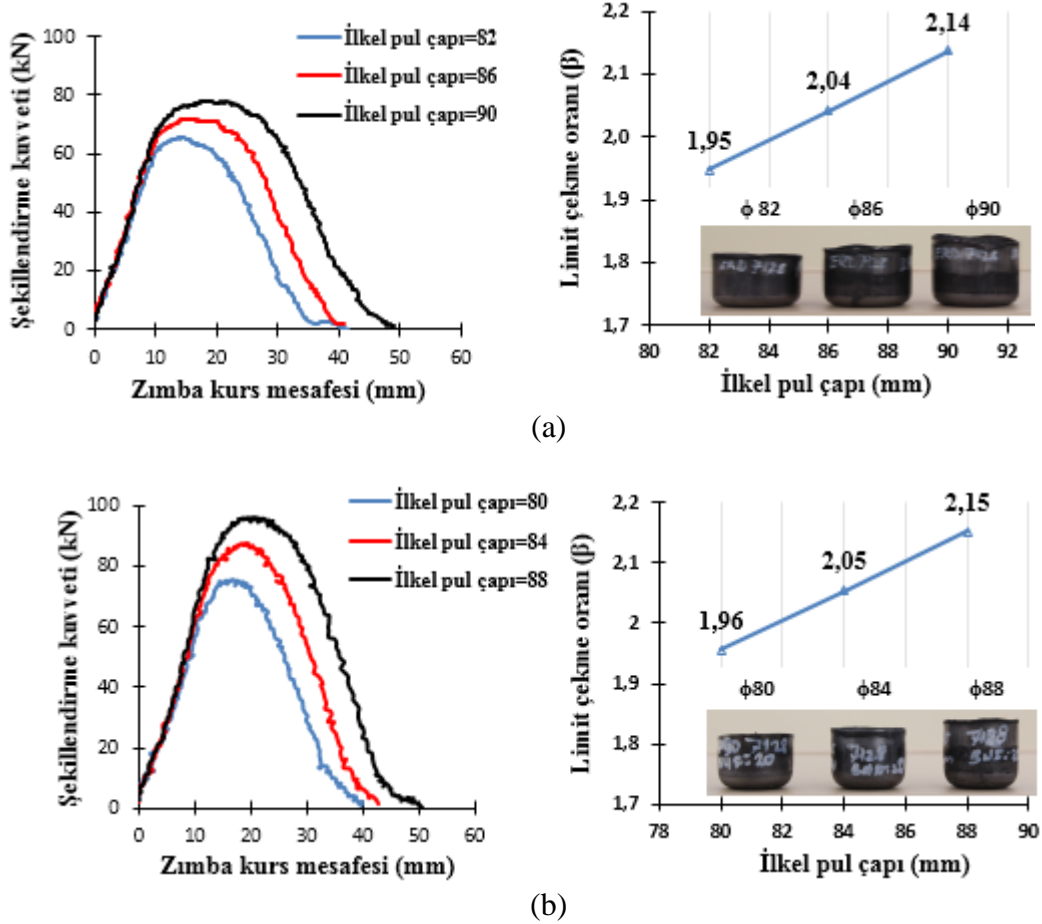


Şekil 5.7. Derin çekme işleminde karşılaşılan hata sınır eğrilerinin, baskı tutucu kuvvet – derin çekilen parçanın yüksekliği grafiğinin şematik gösterimi.

Baskı tutucu kuvvet ile ilgili diğer önemli konu ise, bu çalışmada kullanılan baskı kuvveti, hidrolik güç ünitesi tarafından sağlanmakta olup kontrolü ise hassasiyeti sınırlı güç ünitesine bağlı hidrolik kontrol ünitesi tarafından sağlanmış olmasıdır. Baskı tutucu kuvvet uygulamasının hassasiyetinin artırılması için oransal güç kontrol sistemine ihtiyaç vardır. Bu sebepten dolayı tutucu kuvvete bağlı derin çekme deney sonuçları sınırlı bir hassasiyettedir. Bu bilgiler ışığında, oda sıcaklığı deneyleri için belirlenen BPK değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığı deneyleri ile SÇO hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen zımba kuvveti-zımba kurs mesafesi grafiği ve şekillenmiş kaplar aşağıda verilmiştir.

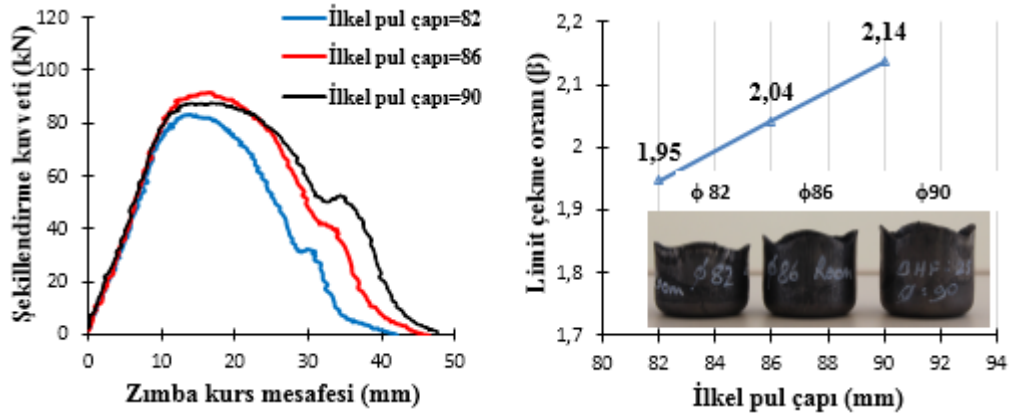
HC300LA sac malzemesinin oda sıcaklığındaki şekillendirilebilirliğini değerlendirmek için yapılan derin çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar RT için Şekil 5.8’de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda, RT’de $t=1,2$ mm sac kalınlığı için maksimum $\varnothing=90$ mm çaplı malzeme ve $t=1,5$ mm sac kalınlığı için de maksimum $\varnothing=88$ mm çaplı malzeme başarılı bir şekilde şekillendirilmiştir. RT’de $t=1,2$ mm için $\varnothing=94$ mm çaplı malzeme ve $t=1,5$ mm için $\varnothing=90$ mm çaplı malzeme şekillendirilememiştir. Deney malzemesinde baskı yastığı kuvvetine bağlı olarak

yırtılma ya da flanş bölgesinde kırışıklık oluşumu gözlemlenmiştir. RT’de SÇO sırasıyla $t=1,2$ için $\beta=2.14$ ve $t=1,5$ için $\beta=2.15$ olarak belirlenmiştir.

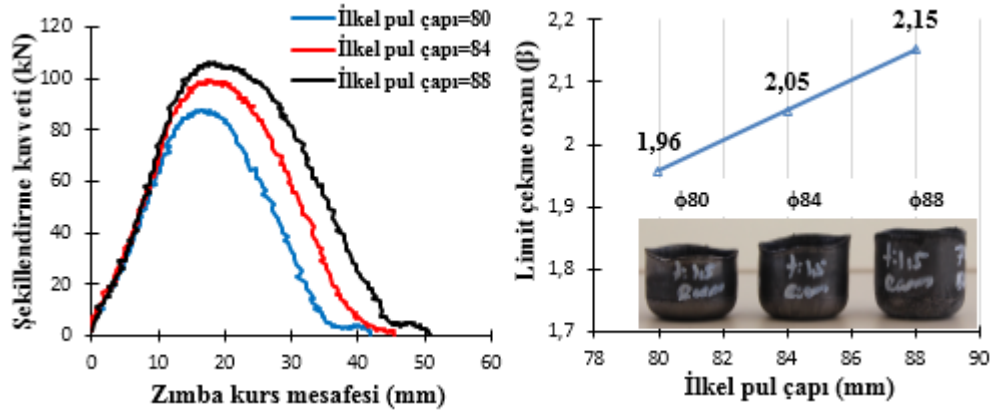


Şekil 5.8. HC300LA sacına ait, şekillendirme kuvveti - zımba kurs mesafesi grafiği ve şekillendirilen parçalar. a) $t=1,2$ mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.

HC420LA sac malzemesinin oda sıcaklığındaki şekillendirilebilirliğini değerlendirmek için yapılan derin çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar RT için Şekil 5.9’da verilmiştir. Deneysel çalışmalarda, RT’de $t=1,2$ mm için maksimum $\varnothing=90$ mm çaplı malzeme ve $t=1,5$ mm için de maksimum $\varnothing=88$ mm çaplı malzeme başarılı bir şekilde şekillendirilmiştir. RT’de $t=1,2$ mm için $\varnothing=94$ mm çaplı malzeme ve $t=1,5$ mm için $\varnothing=90$ mm çaplı malzeme şekillendirilememiştir. Deney malzemesinde baskı yastığı kuvvetine bağlı olarak yırtılma ya da flanş bölgesinde kırışıklık oluşumu gözlemlenmiştir. RT’de SÇO sırasıyla $t=1,2$ için $\beta=2.14$ ve $t=1,5$ için $\beta=2.15$ olarak belirlenmiştir.



(a)

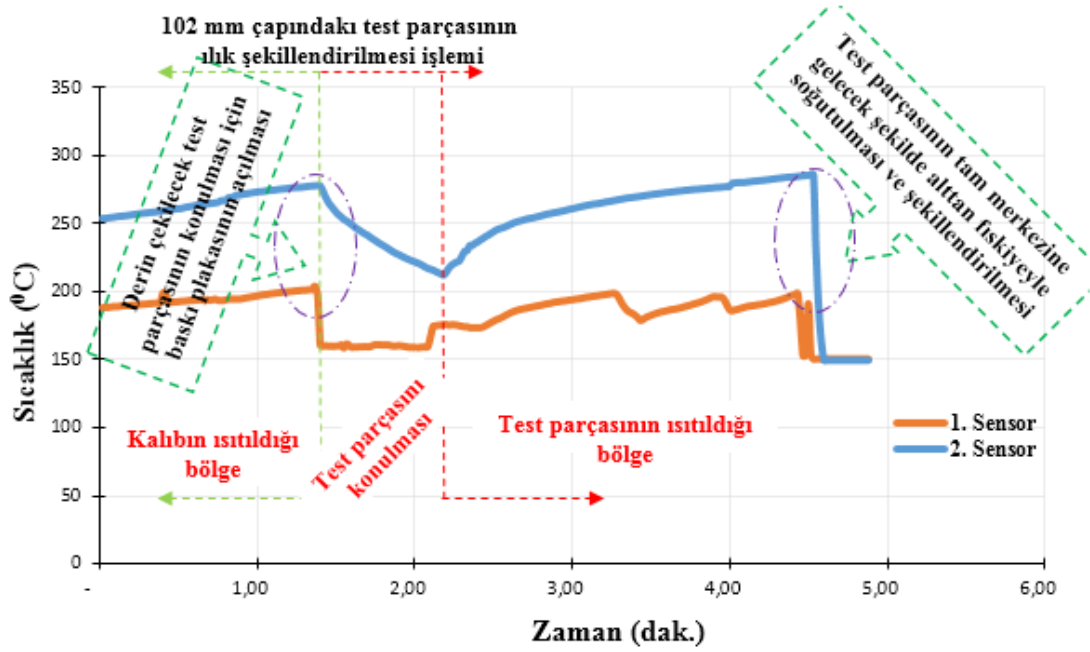


(b)

Şekil 5.9. HC420LA sacına ait, şekillendirme kuvveti - zımba kurs mesafesi grafiği ve şekillendirilen parçalar. a) $t=1,2$ mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.

5.3. ILIK SICAKLIKLARDA YAPILAN DERİN ÇEKME DENEYLERİ

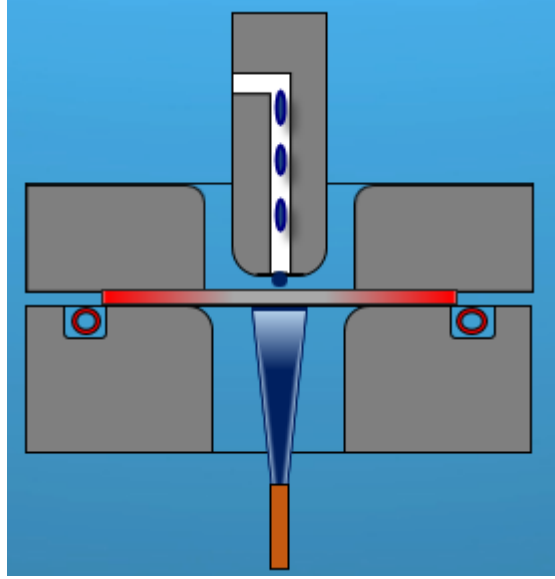
Oda sıcaklığı deneyleri tamamlandıktan ve SÇO belirlendikten sonra ılık derin çekme deneylerine geçilmiştir. Malzeme karakterizasyon deney sonuçlarından da görüleceği gibi derin çekme deneylerini etkileyen parametrelerden olan sıcaklık, malzemenin akma mukavemetini düşürdüğü ve uzama miktarını artırdığı için sınır çekme oranına etkisi en önemli parametrelerden birisidir. Bu bölümde daha önce belirlemiş olduğumuz şekillendirme sıcaklık aralığı olarak test parçasının flanş bölgesini maksimum 300 °C ye kadar ısıtma ve şekillendirme sistemi anlatılmış ve elde edilen grafikler gösterilmiştir.



Şekil 5.10. 102 mm çapındaki test parçasının ılık şekillendirilmesi işlemi.

Ilık derin çekilmiş tüm test parçalarının baskı flanş bölgesinin ısıtılması işlemi Şekil 5.10'daki örnekte olduğu gibi kontrollü bir şekilde yapılmıştır. Ilık derin çekme deneyleri aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilmiştir.

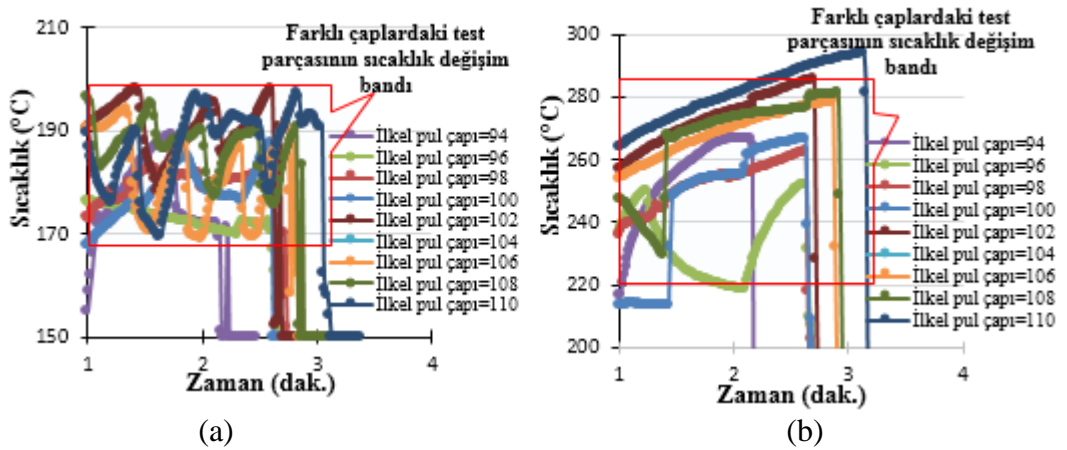
1. İlk olarak, baskı yastığı kapalı konumdayken kalıp 220 ile 250 °C arasında ısıtılmıştır.
2. Kalıp istenilen sıcaklığa ulaştıktan sonra baskı yastığı açılmaktadır.
3. Test parçasının her iki yüzeyi (zımba temas bölgesi hariç) ilk önce test parçasının her iki yüzeyi yağlayıcı olarak Graphite 702 sürdükten sonra Şekil 4.15 (a) 'da gösterildiği gibi üzerine de teflon film konulur.
4. Test parçası kalıba yerleştirildikten sonra baskı yastığı kapatılmıştır.
5. Test parçasının flanş bölgesi istenilen sıcaklığa kadar ısıtılır.
6. Isıtma boyunca test parçasının orta kısmı, zımbaya hava deliği olarak açılan delikten su damlacıkları gönderilerek Şekil 5.11'de görüldüğü gibi orta bölgesinin sıcaklığı 170-190 °C sıcaklık aralığında kalması sağlanmıştır.
7. Test parçasının tam merkezine gelecek şekilde alttan özel olarak tasarlanan Şekil 5.11'te görüldüğü gibi fiskiyeyle 2-3 saniye zımbanın değdiği kısım soğutup zımbaya hareket verip test parçaları şekillendirilmiştir.



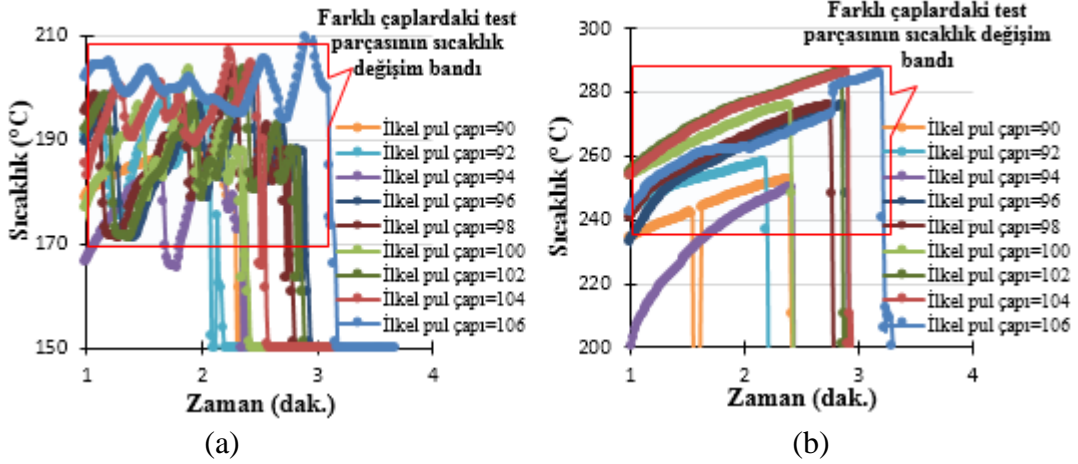
Şekil 5.11. Test parçasının soğutulmasının şematik gösterimi.

5.3.1. HC300LA Malzemesine Ait Ilık Şekillendirme Deney Sonuçları

WDD prosesinde, sıcaklık kontrolünün amacı, deney numunesinin orta kısmının soğuk, flanş bölgesinin sıcak kalmasını sağlamaktır. WDD prosesinde, her bir deney numunesinin flanş bölgesi sıcaklığı kalıp üzerine monte edilen temassız infrared sıcaklık sensörleriyle ölçülmüştür. Deneyler sonucunda elde edilen sıcaklık-zaman grafikleri Şekil 5.12 ve 5.13'de verilmiştir.



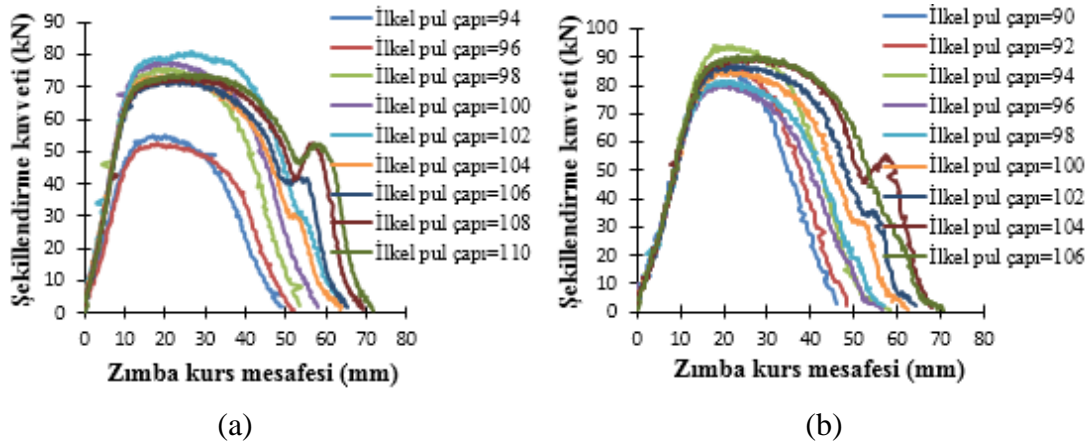
Şekil 5.12. HC300LA, t=1,2 mm kalınlık için zaman-sıcaklık grafiği a) 1. sensör dataları b) 2. sensör dataları.



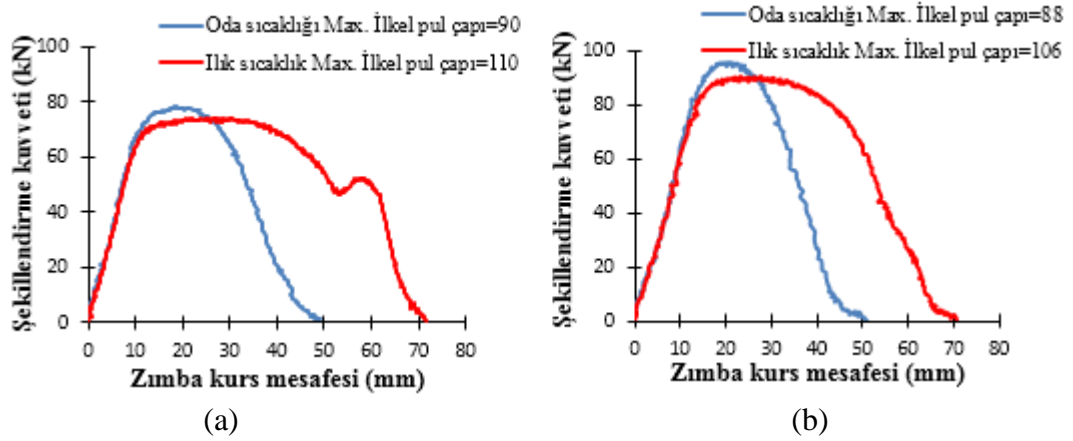
Şekil 5.13. HC300LA, $t=1,5$ mm kalınlık için zaman-sıcaklık grafiği a) 1. sensör dataları b) 2. sensör dataları.

Birinci sensörden alınan zaman-sıcaklık grafikleri HC300LA sac malzemesi için Şekil 12a ve 13a 'da, ikinci sensörden alınan zaman-sıcaklık grafikleri de Şekil 12b ve 13b de verilmiştir. Şekil 12a ve 13a grafiklerinde gözlemlenen sıcaklık artışlarının ardından görülen sıcaklık düşüşleri, deney numunesinin orta kısmına zımba hava deliğinden gönderilen su damlacıkları nedeniyle olmaktadır.

Ilık derin çekme deneylerinden elde edilen HC300LA malzemesine ait, şekillendirme kuvveti-zımba kurs mesafesi grafiği Şekil 5.14'de verilmiştir. Oda ve ılık sıcaklıklarda elde edilen, şekillendirme kuvveti-zımba kurs mesafesi grafikleri Şekil 5.15'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.14. HC300LA sac malzeme için, zımba kurs mesafesi-şekillendirme kuvveti grafiği a) $t=1,2$ mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.



Şekil 5.15. HC3000LA, RT ve WDD max. İlkel pul çapı karşılaştırması için zimba kurs mesafesi-şekillendirme kuvveti grafiği a) t=1,2 mm kalınlık b) t=1,5 mm kalınlık.

Şekil 5.15 (a) grafiğinden de anlaşılacağı üzere 1,2 mm sac kalınlığı için RT’de 90 mm çaplı deney numunesini şekillendirmek için yaklaşık 80 kN yük gerekirken, ılık derin çekme prosesinde ise 110 mm çapında ki deney numunesini şekillendirmek için de yaklaşık 75 kN yük yeterli olmaktadır. Şekil 5.15 (b) grafiğinden de anlaşılacağı üzere, 1,5 mm sac kalınlığı için RT ’da 88 mm çaplı deney numunesini şekillendirmek için yaklaşık 95 kN yük gerekirken, ılık derin çekme prosesinde ise 106 mm çapında ki deney numunesinin şekillendirmek için de yaklaşık 85 kN yük yeterli olmaktadır.

WDD prosesi deneyleri, malzeme karakterizasyon testleri sonucun elde edilen veriler ışığında ve tasarlanan yeni ısıtma ve soğutma sistemi, deney numunesinin flanş bölgesinin sıcaklığının ölçülmesi için tasarlanan sıcaklık ölçme sistemi kullanılarak HC3000LA sac malzemeleri şekillendirilmiştir. Şekillendirilen sac malzemeler HC3000LA, t=1,2 mm kalınlık için Şekil 5.16’da, t=1,5 mm kalınlık için Şekil 5.17’de verilmiştir

İlkel pul çapı	φ 94	φ96	φ98	φ100	φ102	φ104	φ106	φ108	φ110
DR (β)	2.23	2.28	2.33	2.37	2.42	2.47	2.52	2.56	2.61



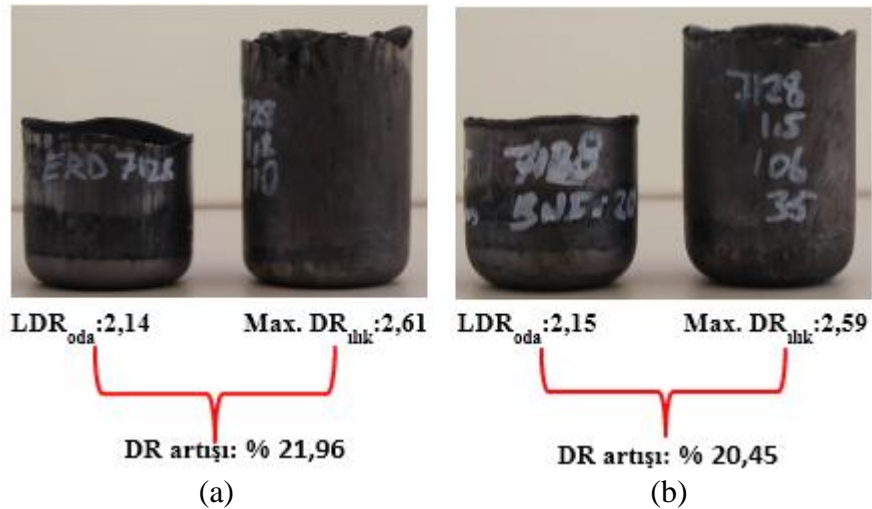
Şekil 5.16. HC300LA, $t=1,2$ mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar.

İlkel pul çapı	φ 90	φ92	φ94	φ96	φ98	φ100	φ102	φ104	φ106
DR (β)	2.20	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45	2.46	2.54	2.59



Şekil 5.17. HC300LA, $t=1,5$ mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar.

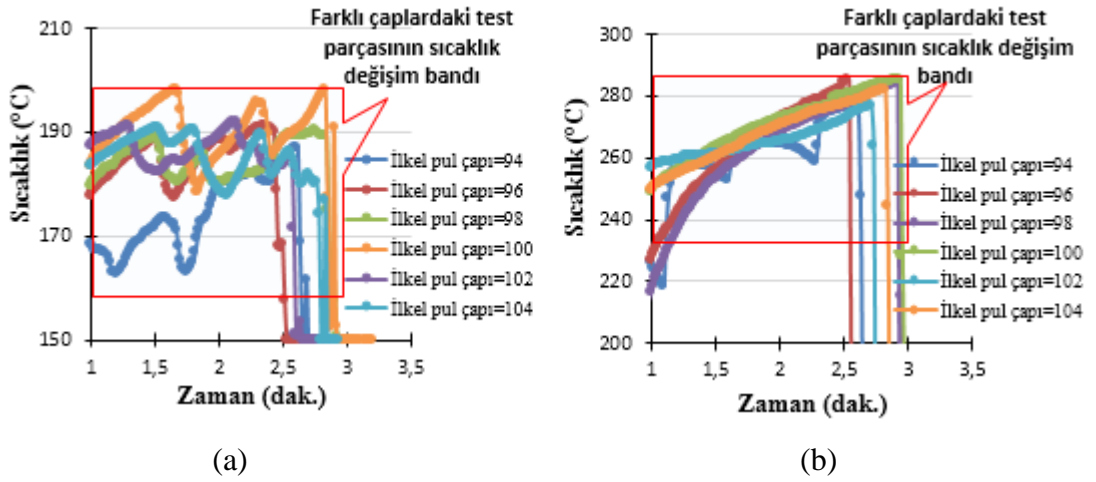
Yüksek mukavemetli sac malzemelerden HC300LA malzemesi RT şartlarında sınırlı olmasına rağmen WDD prosesiyle, $t=1,2$ mm kalınlık için % 21,96 ve $t=1,5$ mm kalınlık için % 20,45 oranında önemli bir artış sağladığı Şekil 5.18’de görülmektedir.



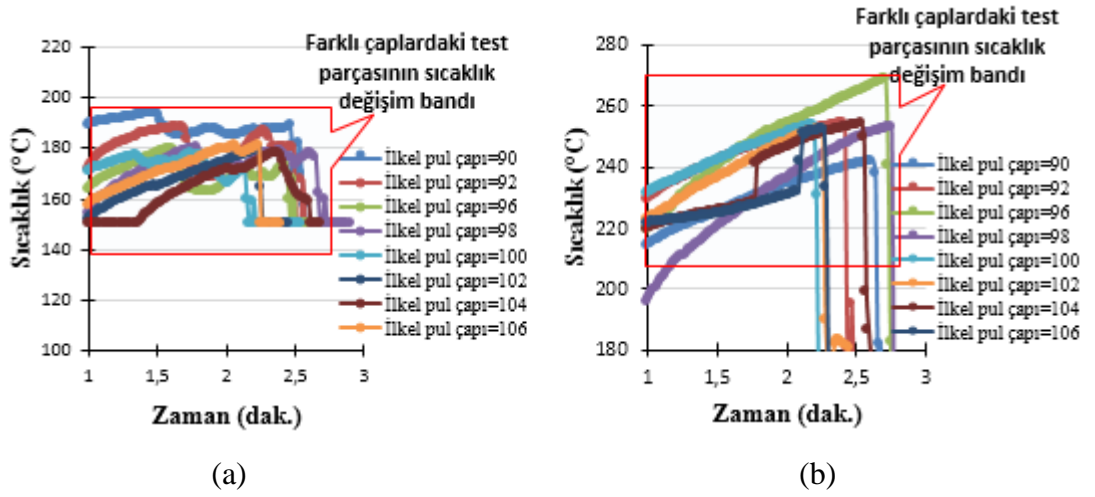
Şekil 5.18. HC300LA, DR artış oranları. a) 1,2 mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.

5.3.2. HC420LA Malzemesine Ait Ilık Şekillendirme Deney Sonuçları

WDD prosesinde, birinci sensörden alınan veriler Şekil 19a ve 20a 'da, ikinci sensörden alınan veriler Şekil 19b ve 19b de zaman-sıcaklık grafikleri olarak verilmiştir. Şekil 19a ve 20a grafiklerinde gözlemlenen sıcaklık artışlarının ardından görülen sıcaklık düşüşleri, deney numunesinin orta kısmına zımba hava deliğinden gönderilen su damlacıkları nedeniyle olmaktadır. Bu durum deney numunesinin yüksek sıcaklıklara ulaşması engellenmiş ve zımba temas bölgesi alttan fiskiyeyle kısa bir sürede soğuması sağlanmıştır.

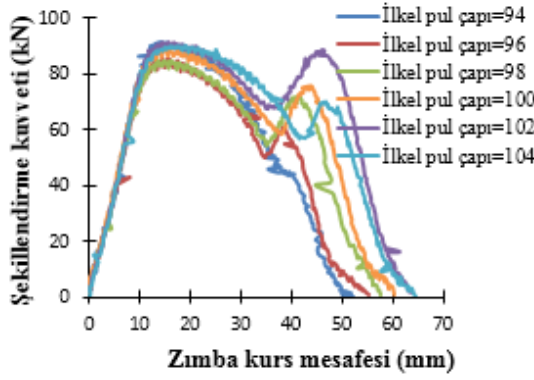


Şekil 5.19. HC420LA, t=1,2 mm kalınlık için zaman-sıcaklık grafiği a) 1. sensör dataları b) 2. sensör dataları.

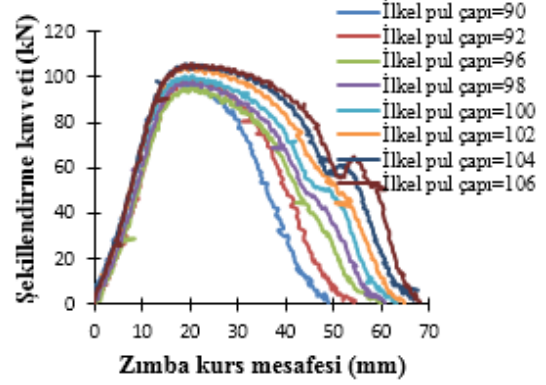


Şekil 5.20. HC420LA, $t=1,5$ mm kalınlık için zaman-sıcaklık grafiği a) 1. Sensör dataları b) 2. sensör dataları.

İlık derin çekme deneylerinden elde edilen HC420LA malzemesine ait, şekillendirme kuvveti-zımba kurs mesafesi grafiği Şekil 5.21’de verilmiştir. RT ve WDD prosesinden elde edilen şekillendirme kuvveti-zımba kurs mesafesi grafikleri Şekil 5.22’de karşılaştırılmıştır. Şekil 5.22 (a) grafiğinden de anlaşılacağı üzere, 1,2 mm sac kalınlığı için RT’de 90 mm çaplı deney numunesini şekillendirmek için yaklaşık 90 kN yük gerekirken, WDD prosesinde ise 104 mm çapında ki deney numunesini şekillendirmek için de yaklaşık 90 kN yük yeterli olmaktadır. Şekil 5.22 (b) grafiğinden de anlaşılacağı üzere, 1,5 mm sac kalınlığı için RT’de 88 mm çaplı deney numunesini şekillendirmek için yaklaşık 100 kN yük gerekirken, WDD prosesinde ise 106 mm çapında ki deney numunesinin şekillendirmek için de yaklaşık 100 kN yük yeterli olmaktadır.

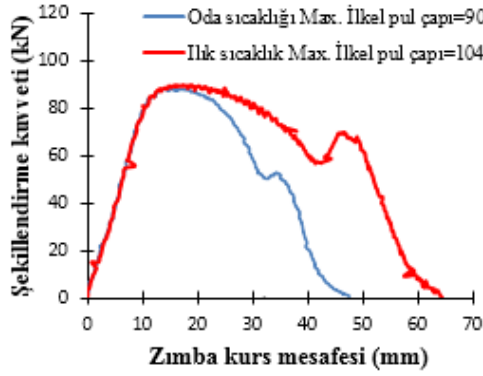


(a)

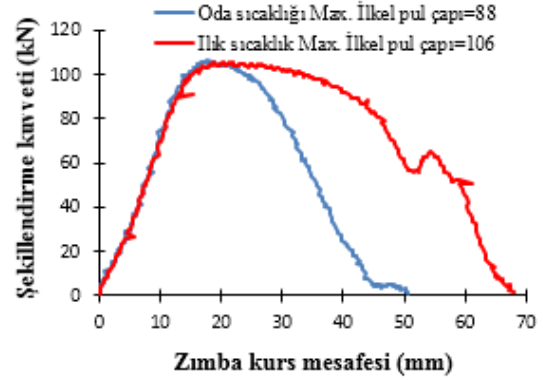


(b)

Şekil 5.21. HC420LA sac malzeme için, zımba kurs mesafesi-şekillendirme kuvveti grafiği a) $t=1,2$ mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.



(a)



(b)

Şekil 5.22. HC420LA, RT ve WDD max. İlkel pul çapı karşılaştırması için zımba kurs mesafesi-şekillendirme kuvveti grafiği a) $t=1,2$ mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.

WDD prosesi deneyleri, malzeme karakterizasyon testleri sonucun elde edilen veriler ışığında ve tasarlanan yeni ısıtma ve soğutma sistemi, deney numunesinin flanş bölgesinin sıcaklığının ölçülmesi için tasarlanan sıcaklık ölçme sistemi kullanılarak HC420LA sac malzemeler şekillendirilmiştir. Şekillendirilen sac malzemeler HC420LA, $t=1,2$ mm kalınlık için Şekil 5.23'de, $t=1,5$ mm kalınlık için Şekil 5.24'de verilmiştir.

İlkel pul çapı	φ94	φ96	φ98	φ100	φ102	φ104
DR (β)	2,23	2,28	2,33	2,37	2,42	2,47



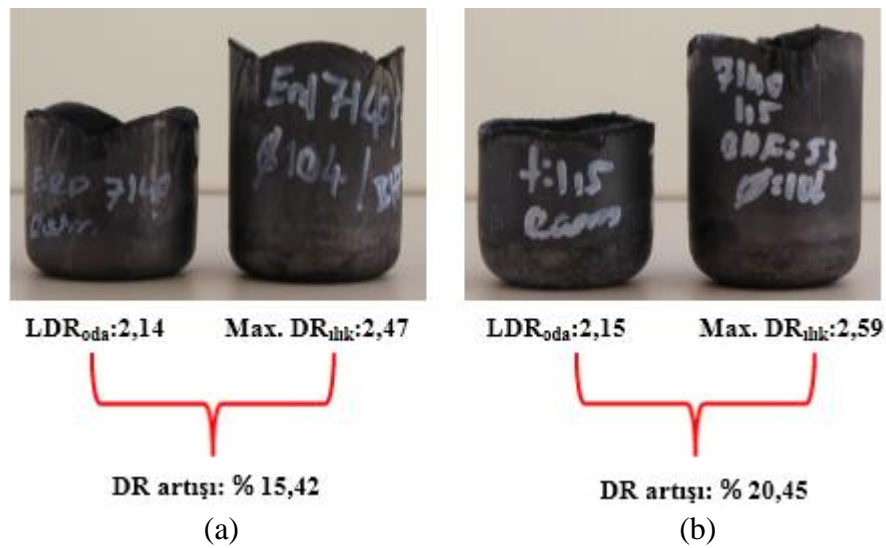
Şekil 5.23. HC420LA, $t=1,2$ mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar.

İlkel pul çapı	φ90	φ92	φ96	φ98	φ100	φ102	φ104	φ106
DR (β)	2,20	2,25	2,35	2,40	2,45	2,46	2,54	2,59



Şekil 5.24. HC420LA, $t=1,5$ mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar.

Yüksek mukavemetli sac malzemelerden HC420LA malzemesi RT şartlarında şekillendirilebilirliği sınırlı olmasına rağmen WDD prosesiyle, $t=1,2$ mm kalınlık için % 15,42 ve $t=1,5$ mm kalınlık için % 20,45 oranında önemli bir artış sağladığı Şekil 5.25’de görülmektedir.



Şekil 5.25. HC420LA, DR artış oranları. a) 1,2 mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.

Şekillendirme oranını etkileyen en önemli parametrelerden olan sıcaklığın kontrolü önem arz etmektedir. Bu sebepten deney malzemelerinin flanş bölgesi sıcaklığı daha önce belirlenen şekillendirme sıcaklık aralığında kalınmıştır. WDD prosesinde uygulanan flanş bölgesi sıcaklık değerleri malzeme türüne ve kalınlığa göre Çizelge 5.2’de verilmiştir.

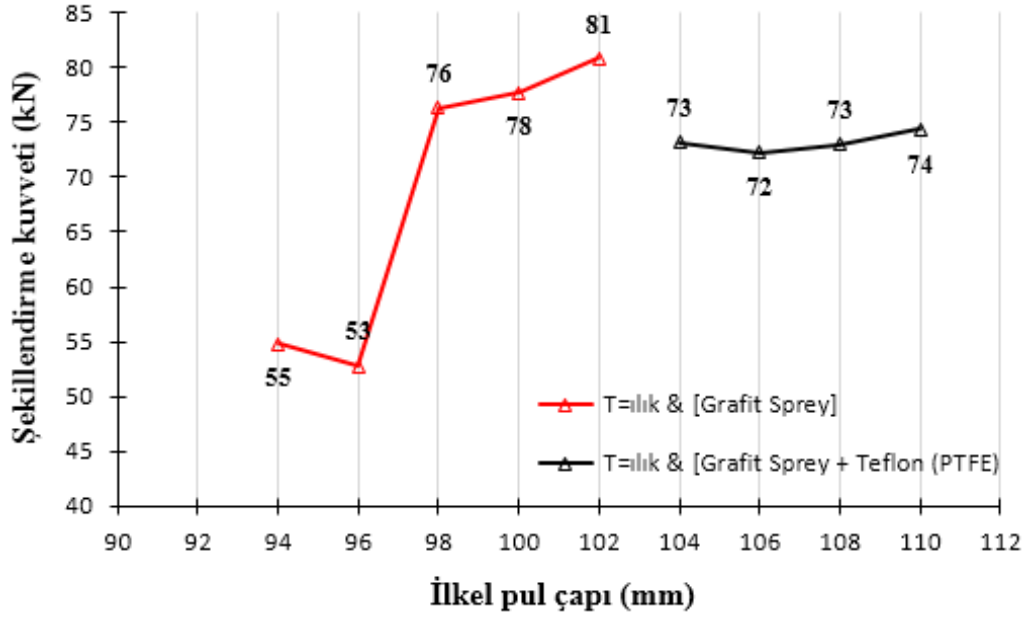
Çizelge 5.2 Deney numunesinin flanş bölgesinde oluşturulan sıcaklık aralıkları.

Malzeme Standardı	Kalınlık (mm)	Eğimli kızıl ötesi sıcaklık ölçer, odaklanma noktası kalıp eksenine 21 mm uzaklıkta uygulanan sıcaklık aralığı (°C)	Dik kızıl ötesi sıcaklık ölçer, odaklanma noktası kalıp eksenine 56 mm uzaklıkta uygulanan sıcaklık aralığı (°C)
HC300LA	1,2	170-200	245-295
	1,5	175-210	235-290
HC420LA	1,2	170-190	250-290
	1,5	165-190	220-275

5.3.3. Ilık Derin Çekmede Yağlayıcının Şekillendirme Kuvvetine Etkisi

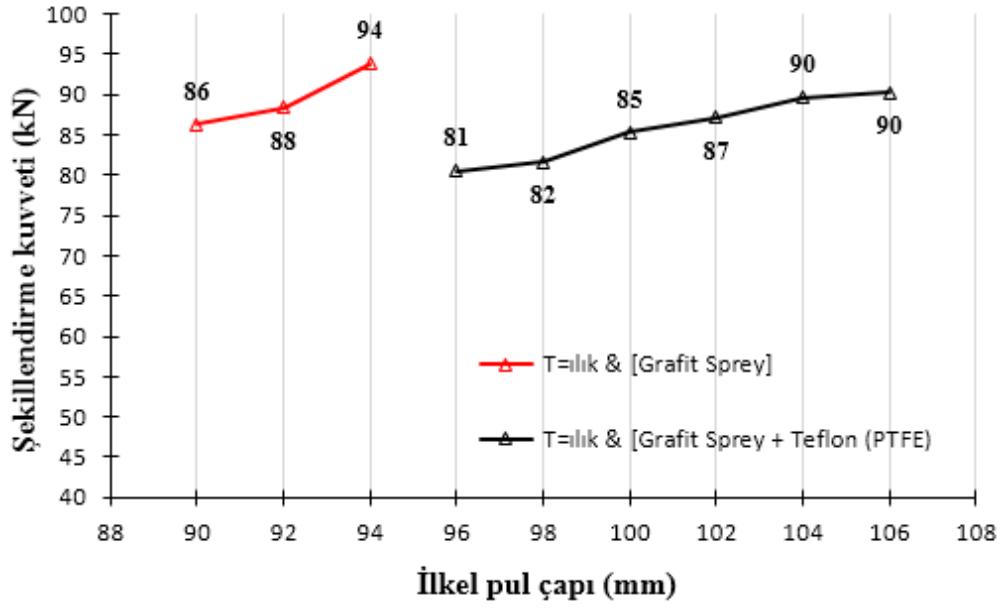
Bu bilimsel çalışmada, yağlayıcının WDD prosesinde şekillendirme kuvvetine etkisi ayrıca araştırılmıştır, WDD prosesinde grafit sprej ve teflon (film) olmak üzere iki tür yağlayıcı kullanılmıştır. HC300LA sac malzemenin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilebilirliğine yağlayıcının etkisi. Her iki yağlayıcı türünde de şekillendirme kuvvetinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Grafit sprej yağlayıcı kullanarak yapılan WDD deneylerinde, 1,2 mm sac kalınlığı için en büyük 102 mm ilkel pul çaplı sac malzeme 81 kN kuvvetle şekillendirilebilirken, grafit sprej ve teflon yağlayıcının birlikte kullanıldığı deneylerde 110 mm ilkel pul çaplı sac malzemenin 74 kN kuvvetle şekillendirilebildiği gözlemlenmiştir. Daha büyük ilkel pul çaplı sac malzemenin daha düşük kuvvetle şekillendirilmesi, yağlayıcının sürtünme kuvvetini azaltarak sac malzemenin daha düşük kuvvetlerde şekillendirilmesine imkân tanınmasından kaynaklanmaktadır. HC300LA sac malzeme için yağlayıcı tiplerine göre ilkel pul çapı şekillendirme kuvveti ilişkileri Şekil 5.26’da verilmiştir.



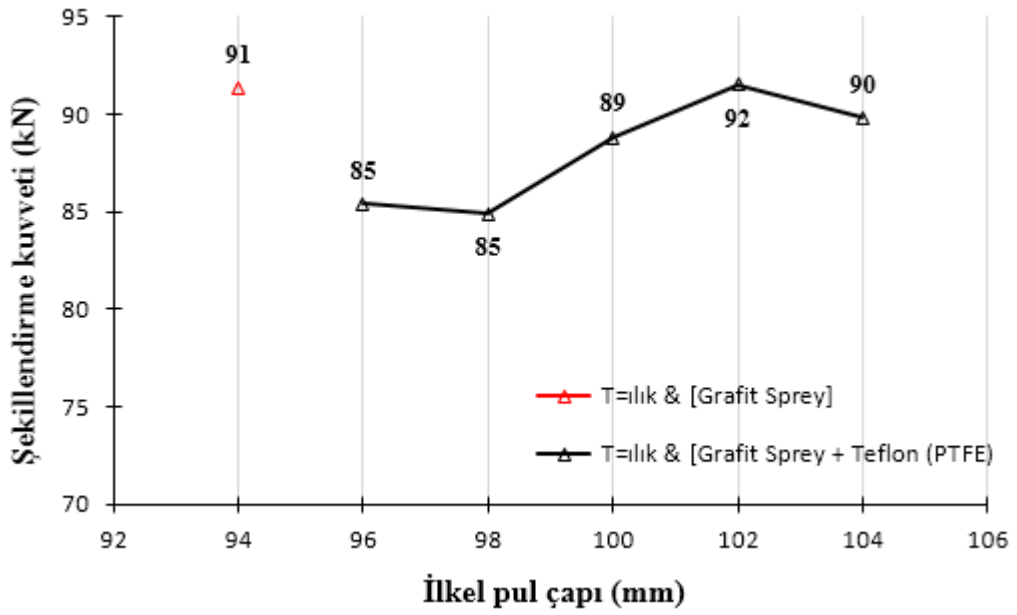
Şekil 5.26. HC300LA $t=1,2$ mm için, şekillendirme kuvveti-ilkel pul çapı grafiği.

1,5 mm kalınlıkta HC300LA sac malzeme için yapılan ılık derin çekme deneylerinde, grafit sprej yağlayıcı kullanılarak 94 mm ilkel pul çaplı sac malzeme 94 kN kuvvetle şekillendirilebilmiştir. Yağlayıcının grafit sprej ve teflon birlikte kullanılması durumunda 106 mm ilkel pul çaplı sac malzeme 90 kN kuvvetle şekillendirilebilmiştir. İlkel pul çapının artmasına rağmen şekillendirme kuvvetinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durum yağlayıcının etkisiyle sürtünme kuvvetinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekillendirme kuvveti ile ilkel pul çapı ilişkisi Şekil 5.27’de verilmiştir.

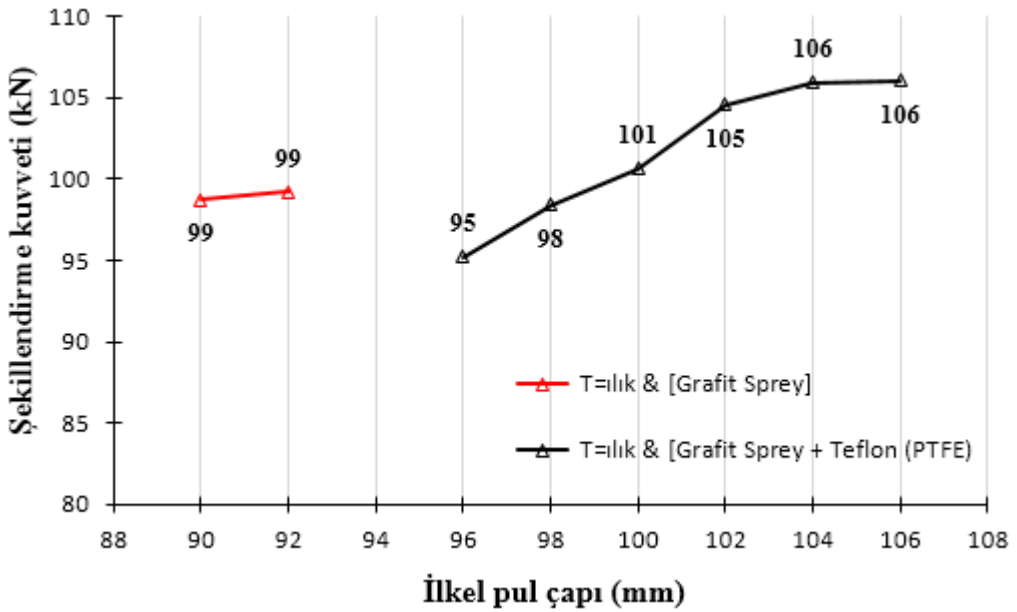


Şekil 5.27. HC300LA t=1,5 mm için, şekillendirme kuvveti-ilkel pul çapı grafiği.

HC420LA sac malzemenin ılık derin çekme deneylerinde de yağlayıcının sadece grafit sprej kullanımını yerine grafit sprej ve teflon malzemesinin birlikte kullanılması durumunda HC300LA sac malzemede olduğu gibi şekillendirme kuvvetinin ilkel pul çapı artmasına rağmen düştüğü gözlemlenmiştir. HC420LA sac malzeme için 1,2 mm kalınlıkta 94 mm ilkel pul çapında 91 kN şekillendirme kuvveti gözlemlenirken, 104 mm ilkel pul çapında 90 kN şekillendirme kuvveti gözlemlenmiştir. 1,5 mm sac kalınlığında 92 mm ilkel pul çapında 99 kN şekillendirme kuvveti gözlemlenirken, 96 mm ilkel pul çapında 95 kN şekillendirme kuvveti gözlemlenmiştir. Şekillendirme kuvveti ilkel pul çapı ilişkileri 1,2 mm kalınlık için Şekil 5.28’de, 1,5 mm kalınlık için Şekil 5.29’de verilmiştir.



Şekil 5.28. HC420LA $t=1,2$ mm için, şekillendirme kuvveti-ilkel pul çapı grafiği.

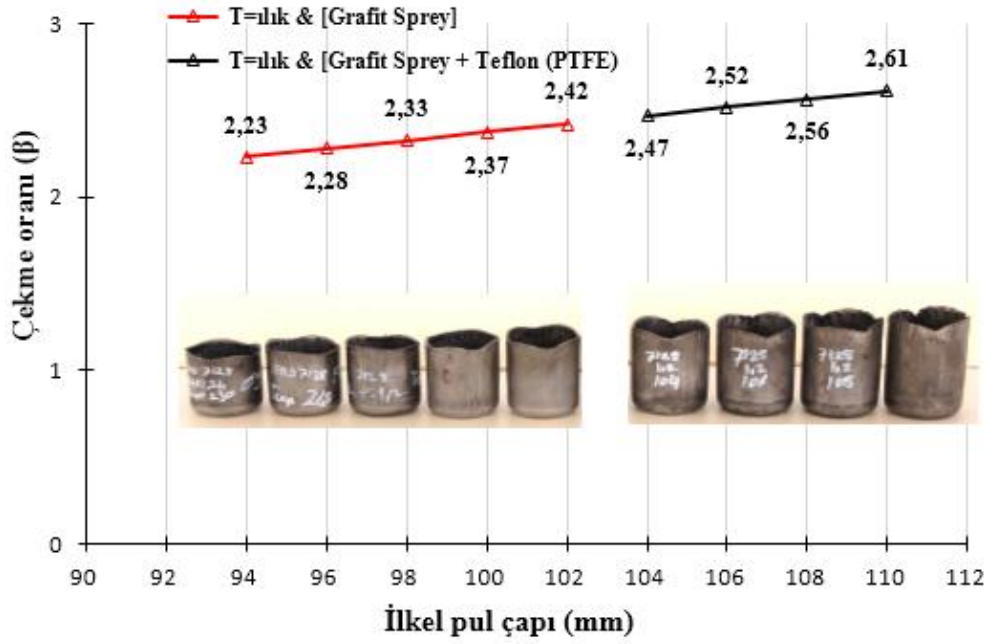


Şekil 5.29. HC420LA $t=1,5$ mm için, şekillendirme kuvveti-ilkel pul çapı grafiği.

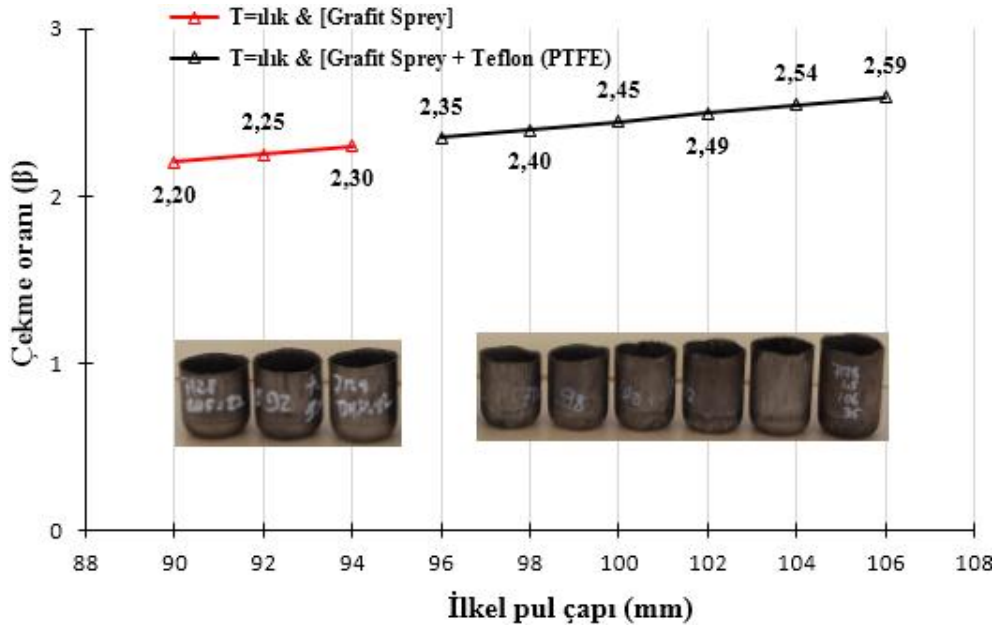
5.3.4. İlk Derin Çekmede Yağlayıcının Şekillendirme Oranına Etkisi

Bu bilimsel çalışmada, yağlayıcı türünün çekme oranına etkileri de deneysel olarak araştırılmıştır. 1,2 mm kalınlıkta HC300LA sac malzeme grafit sprej yağlayıcı kullanılması durumunda en büyük 2,42 çekme oranında şekillendirilebilirken, yağlayıcının grafit sprej ve teflon kullanılması durumunda en büyük 2,61 çekme

oranında şekillendirilebilmiştir. 1,5 mm kalınlıkta ise yağlayıcının grafit sprej den grafit sprej ve teflonun birlikte kullanımına değiştirilmesiyle çekme oranı 2,30'dan 2,59'a çıkmıştır. Yağlayıcının şekillendirilebilirliğe etkisi belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. İlkel pul çapı çekme oranı ilişkileri Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'da verilmiştir.

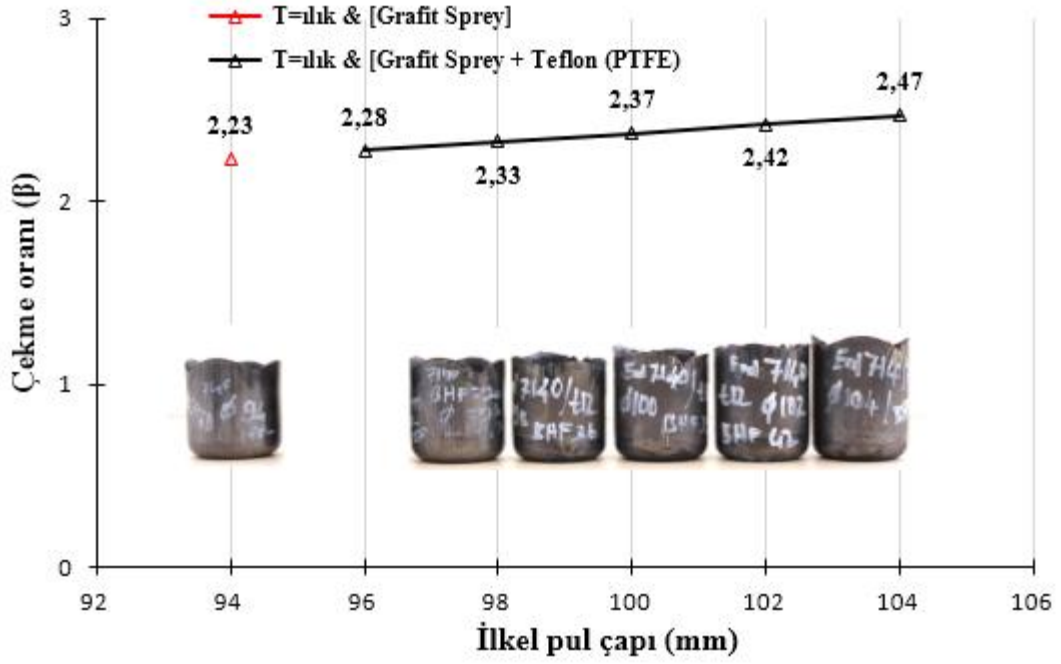


Şekil 5.30. HC300LA t=1,2 mm için, çekme oranı-ilkel pul çapı grafiği.

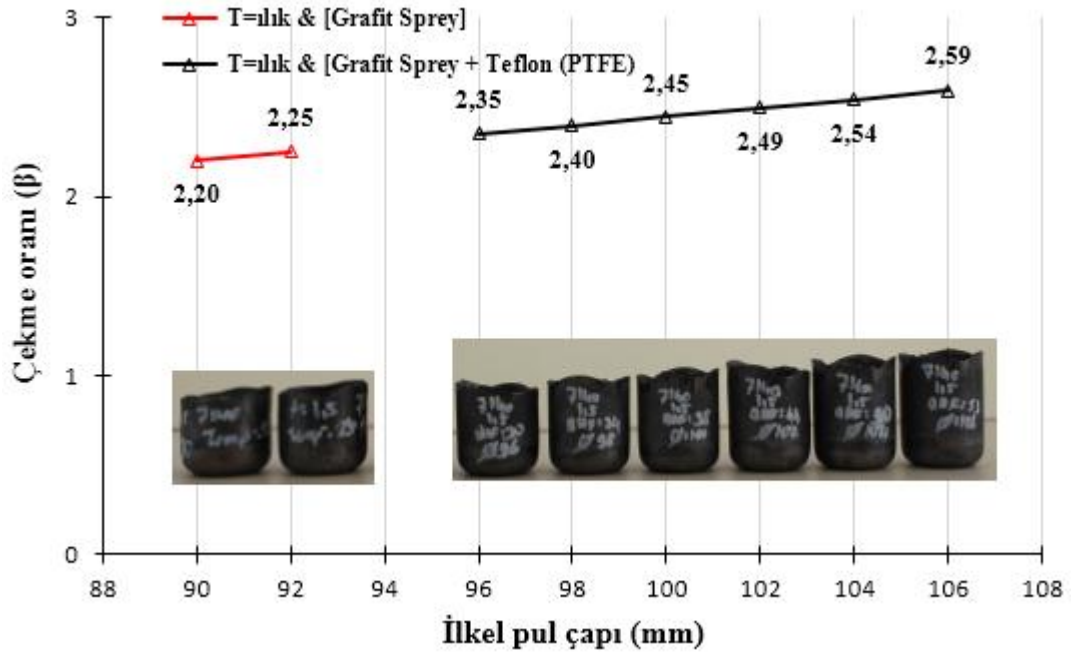


Şekil 5.31. HC300LA t=1,5 mm için, çekme oranı-ilkel pul çapı grafiği.

HC420LA sac malzeme türü için de yağlayıcının çekme oranına etkisi deneysel çalışmalarda belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. 1,2 mm sac kalınlığı için grafit sprej kullanımı ile 2,23 olan çekme oranı yağlayıcının grafit sprej ve teflonun birlikte kullanılmasıyla 2,47'ye yükselmiştir. 1,5 mm sac kalınlığı için de yağlayıcı değişimi ile çekme oranı 2,25'den 2,59'a yükselmiştir. HC420LA sac malzeme için çekme oranı ilkel pul çapı ilişkileri Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de verilmiştir.



Şekil 5.32. HC420LA t=1,2 mm için, çekme oranı-ilkel pul çapı grafiği.



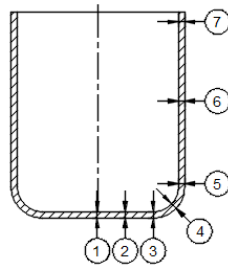
Şekil 5.33. HC420LA t=1,5 mm için, çekme oranı-ilkel pul çapı grafiği.

5.4. KALINLIK DEĞİŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Derin çekilmiş kapların kalınlık değişimlerinin değerlendirilmesi için Şekil 5.34'deki numuneler tel erozyon tezgâhında hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerin kalınlık ölçümleri Şekil 5.35'de belirtilen noktalardan 0,01 hassasiyetli mikrometre ile ölçülmüştür.

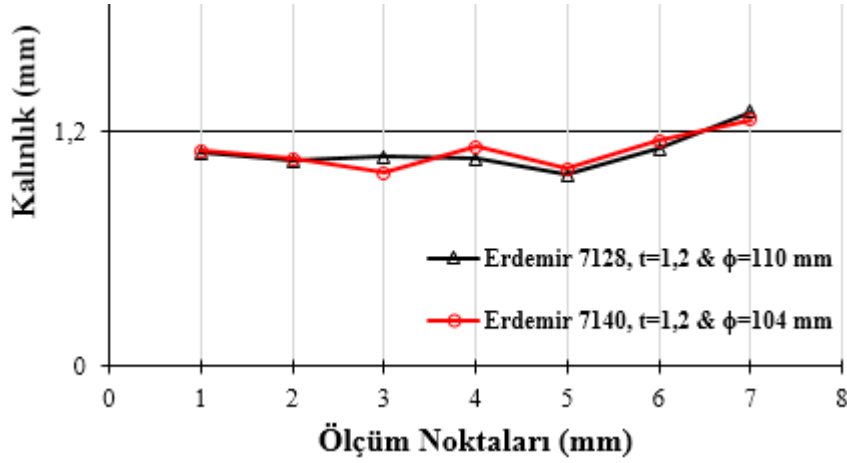


Şekil 5.34. Kalınlık ölçümü için kesilmiş deney numuneleri.



Şekil 5.35. Kalınlık değişimi ölçüm noktaları.

HC300LA ve HC420LA sac malzemeler için Şekil 5.35’de verilen noktalardan elde edilen kalınlık değişimleri $t=1,2$ mm kalınlığına ait kalınlık değişim grafikleri Şekil 5.36’de, kalınlık ölçüm sonuçları ise Çizelge 5.3’de verilmiştir. $t=1,5$ mm sac kalınlığına ait kalınlık değişim grafikleri Şekil 5.37’de kalınlık ölçüm sonuçları ise Çizelge 5.4’de verilmiştir.



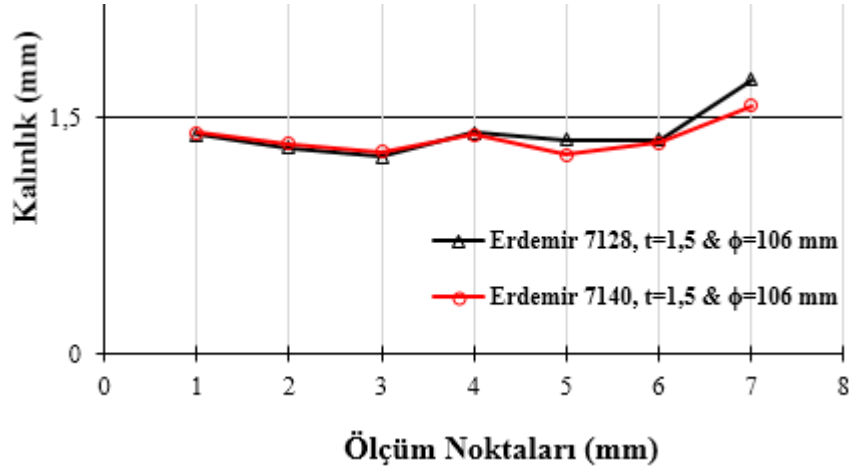
Şekil 5.36. HC300LA ve HC420LA, $t=1,2$ mm kalınlığına ait kalınlık değişim grafiği.

Çizelge 5.3. HC300LA ve HC420LA, $t=1,2$ mm kalınlığına ait kalınlık ölçüm sonuçları.

HC300LA $t=1,2$		HC420LA $t=1,2$	
Ölçüm Noktaları	% Kalınlık Değişimi	Ölçüm Noktaları	% Kalınlık Değişimi
1	-9,92	1	-9,09
2	-13,22	2	-12,40
3	-11,57	3	-15,70
4	-12,40	4	-7,44
5	-15,70	5	-16,53
6	-11,57	6	-4,96
7	7,44	7	10,74

Ilık derin çekme sonucunda elde edilen maksimum β değerine sahip kapların ölçüm grafikleri ve ölçüm sonuçları yorumlandığında, zımba kavisinin değdiği ve ona yakın olan yerler maksimum incelmenin olduğu yerler olarak görölmektedir. Bunun sebebi şu şekilde açıklanır. WDD prosesinde, deney numunelerinin flanş bölgesi ısıtılarak derin çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Test parçaları ısıtılırken sadece flanş bölgesi değil tamamen ısınmaktadır. İsteddiğimiz test parçasının orta kısmın (zımba temas

bölgesi) soğuk olması, tabii bu işlem zımba hava deliğinden su damlacıkları göndererek ve özel olarak tasarlanan sistemle alttan test parçasının tam merkezine fiskiye ile soğutulmuştur. Şekillendirme esnasında ortası soğuk ve flanş bölgeleri sıcak olması nedeniyle şekillendirme esnasında sıcak ve soğuk geçiş bölgeleri olan 2, 3, 4 ve 5 nolu ölçüm noktaları daha fazla incelenmiştir.



Şekil 5.37. HC300LA ve HC420LA, t=1,5 mm kalınlığa ait kalınlık değişim grafiği.

Çizelge 5.4. HC300LA ve HC420LA, t=1,2 mm kalınlığa ait kalınlık ölçüm sonuçları.

HC300LA t=1,5		HC420LA t=1,5	
Ölçüm Noktaları	% Kalınlık Değişimi	Ölçüm Noktaları	% Kalınlık Değişimi
1	-8,55	1	-7,89
2	-9,21	2	-12,50
3	-6,58	3	-15,79
4	-7,89	4	-8,55
5	-10,53	5	-15,13
6	-10,53	6	-11,84
7	14,47	7	13,16

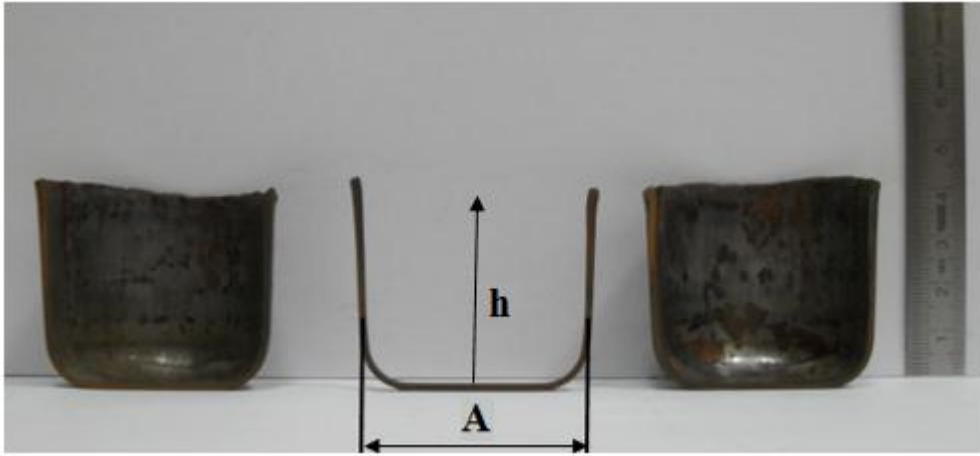
5.5. DERİN ÇEKİLMİŞ KAPLARIN GERİ ESNEMESİNİN İNCELENMESİ

Derin çekilmiş kapların geri esnemesinin değerlendirilmesi için Şekil 5.38’de verilen örnekdeki gibi numuneler tel erozyon tezgâhında hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerin geri esneme ölçümleri Şekil 5.39’de belirtilen ölçüm noktalarından 4 er

mm aralıklarla çizilmiş paralel çizgiler üzerinden ölçüler alınmıştır. Her 4 mm h için A genişliği kumpas ile ölçülmüştür.

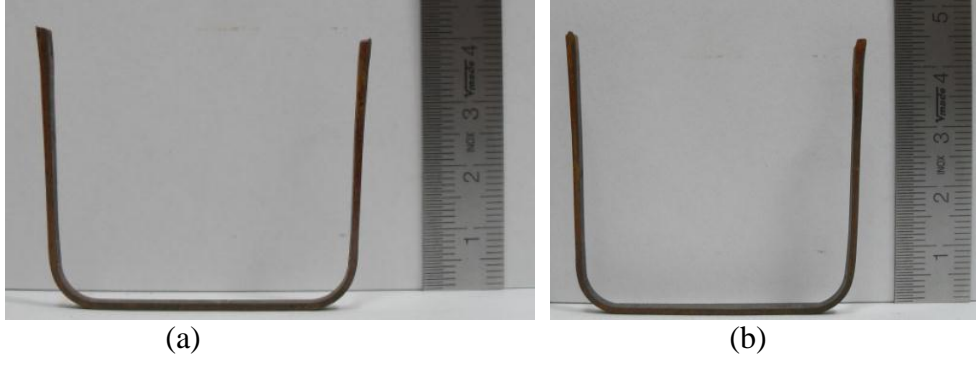


Şekil 5.38. Geri esneme ölçümü için kesilmiş örnek numune.

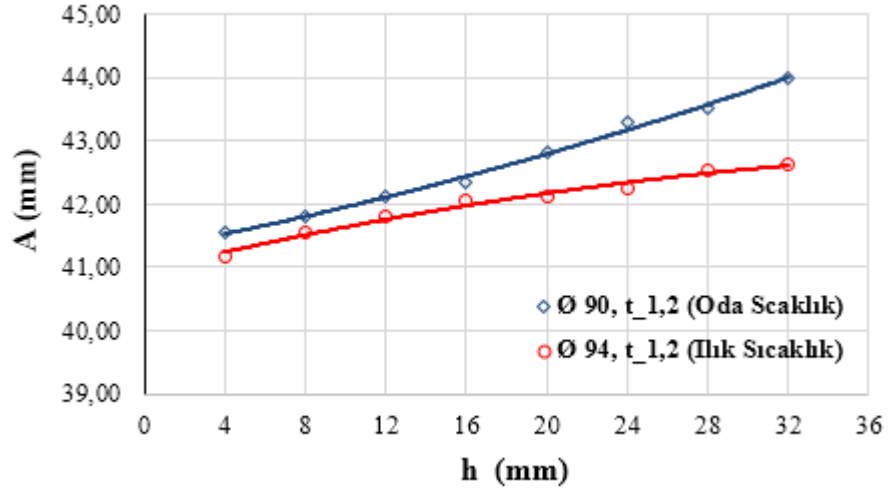


Şekil 5.39. Geri esneme ölçüm noktaları.

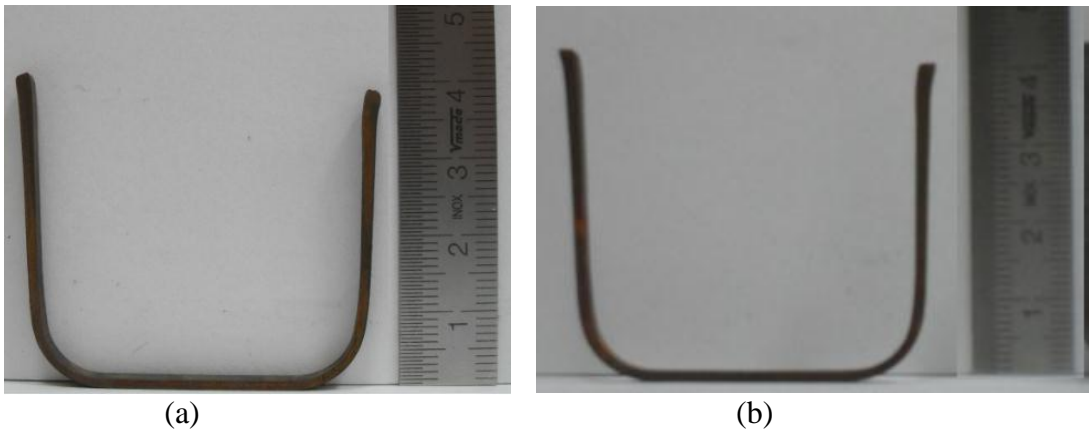
HC300LA sac malzemesinin geri esneme ölçümlerinin yapılması için $t=1,2$ mm kalınlığa sahip ölçümü yapılan numuneler Şekil 5.40'da, geri esneme ölçüm grafikleri Şekil 5.41'de verilmiştir. $t=1,5$ mm kalınlık için ölçümü yapılan numuneler Şekil 5.42'de, geri esneme ölçüm grafikleri Şekil 5.43'de verilmiştir.



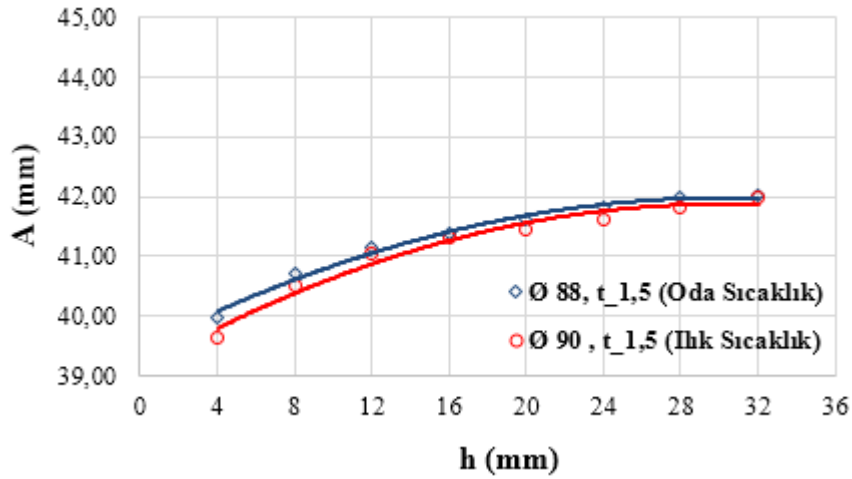
Şekil 5.40. HC300LA, $t= 1,2$ mm sac malzemesine ait numune; a) oda sıcaklığı ϕ 90 b) ılık sıcaklık ϕ 94.



Şekil 5.41. HC300LA, $t= 1,2$ mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.



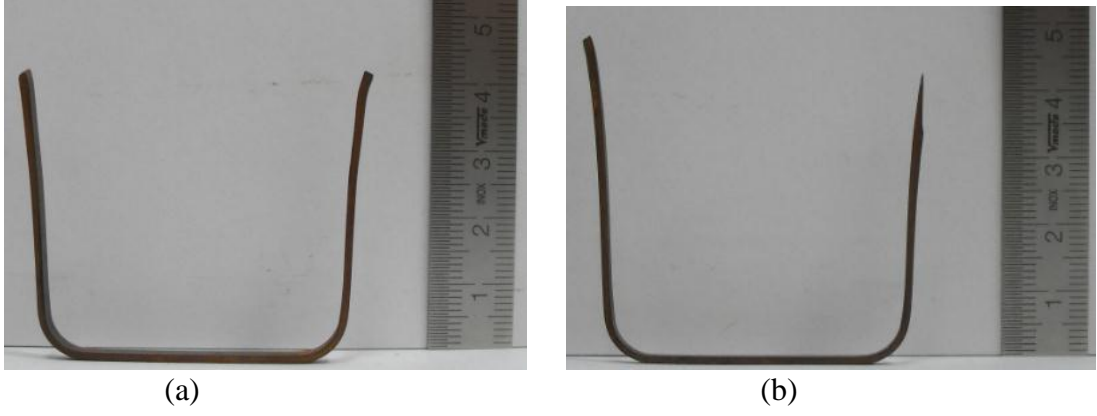
Şekil 5.42. HC300LA, $t= 1,5$ mm sac malzemesine ait numune; a) oda sıcaklığı ϕ 88 b) ılık sıcaklık ϕ 90.



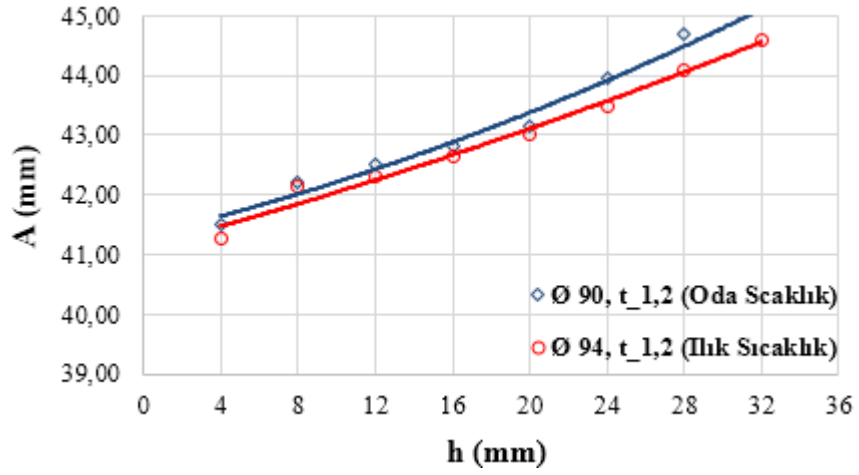
Şekil 5.43. HC300LA, t= 1,5 mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.

HC420LA sac malzemesinin geri esneme ölçümlerinin yapılması için t=1,2 mm kalınlığa sahip ölçümü yapılan numuneler Şekil 5.44'da, geri esneme ölçüm grafikleri Şekil 5.45'de verilmiştir. t=1,5 mm kalınlık için ölçümü yapılan numuneler Şekil 5.46'da, geri esneme ölçüm grafikleri Şekil 5.47'de verilmiştir.

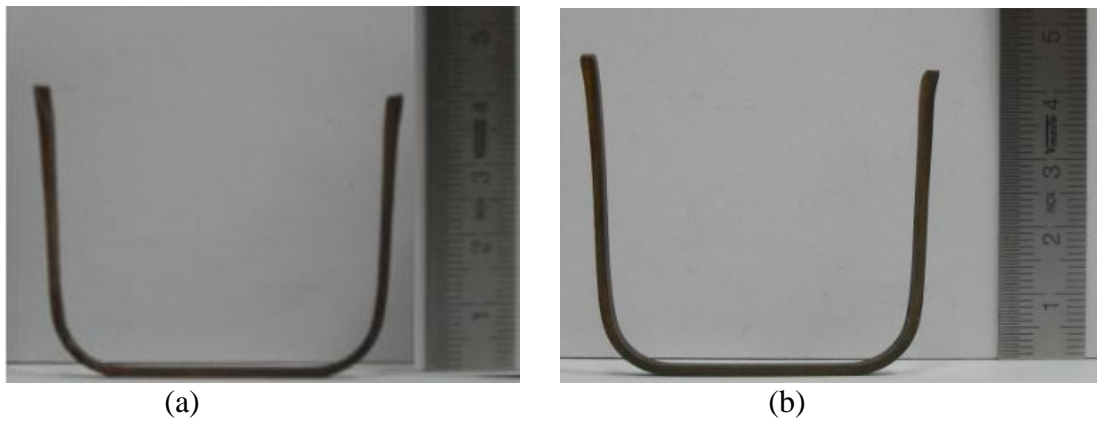
Oda ve ılık sıcaklıklarda derin çekilmiş kaplardan alınan numunelerin ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, Geri esneme değerinin büyüklüğü kalıntı gerilmelerin bir göstergesidir. Bu çalışmada sıcaklığın geri esneme üzerindeki olumlu etkisi ayrıca incelenmiştir. Her iki tür malzemeye ait 1,2 mm kalınlıklar için maksimum geri esneme değeri ılık şekillendirilmiş malzemeye göre oda sıcaklığında şekillenmiş malzeme % 1 daha fazla ölçülmüştür. Her iki tür malzemeye ait 1,5 mm kalınlıklar için geri esneme % 1 oranının altında kalmıştır. Bu durum sıcaklığın kalınlık üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır. Uygulanan ve geliştirilen bu yöntemle geri esnemenin azaldığı Şekil 5.40, 5.42, 5.44 ve 5.46'daki ölçülen numunelerden göz ile de görülmektedir.



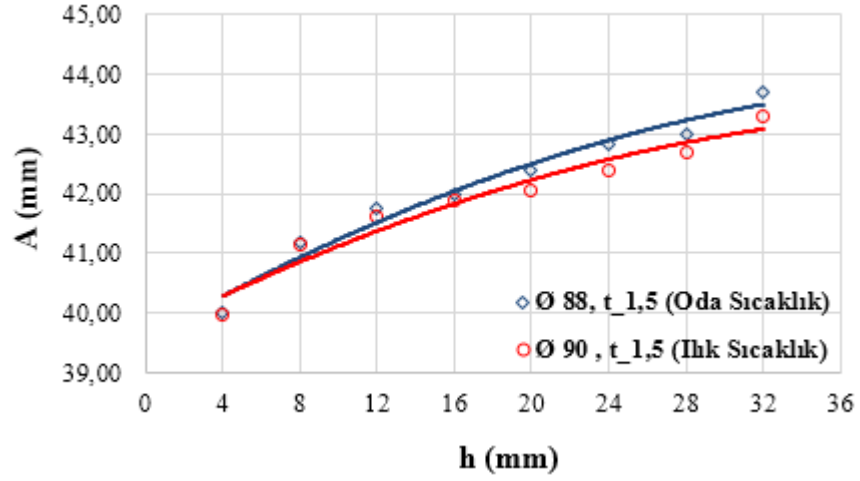
Şekil 5.44. HC420LA, $t= 1.2$ mm sac malzemesine ait numune; a) oda sıcaklığı ϕ 90 b) ılık sıcaklık ϕ 94.



Şekil 5.45. HC420LA, $t= 1,2$ mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.



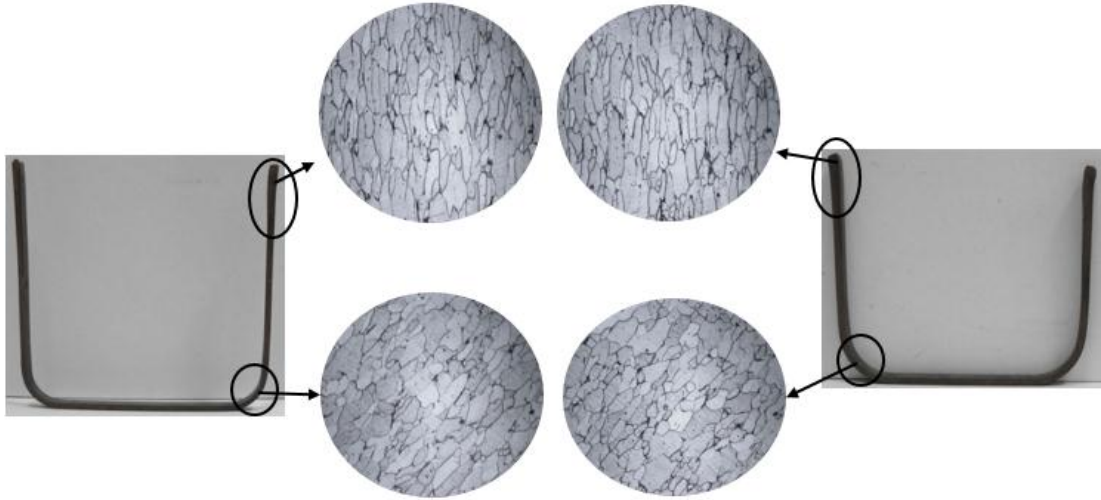
Şekil 5.46. HC420LA, $t= 1.5$ mm sac malzemesine ait numune; a) Oda sıcaklığı ϕ 88 b) ılık sıcaklık ϕ 92.



Şekil 5.47. HC420LA, t= 1,5 mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.

5.6. KAPLARIN MİKRO YAPI VE SERTLİK İNCELEMESİ

Derin çekilmiş kapların mikro yapı özellikleri ve sertlik değerlerinin değerlendirilmesi için bakalite gömülmüş numuneler üzerinden ilk önce OM görüntüleri alınmış daha sonra numuneler üzerinden sertlik değerleri ölçülmüştür. HC300LA sac malzemesine ait t=1,2 mm ve 1,5 mm kalınlıklar için hazırlanmış şerit malzemeler ve OM da alınmış mikro yapı görüntüleri Şekil 5.48’de verilmiştir. HC420LA sac malzemesine ait t=1,2 mm ve 1,5 mm kalınlıklar için hazırlanmış şerit malzemeler ve OM da alınmış mikro yapı görüntüleri Şekil 5.49’da verilmiştir.



Şekil 5.48. HC300LA sac malzemenin ılık şekillendirme sonrası sertlik ölçümleri ve mikro yapı incelemesi a) $t=1,2$ mm b) $t=1,5$ mm.

Çizelge 5.5. Ilık şekillendirme işlemi öncesi sertlik ölçümleri.

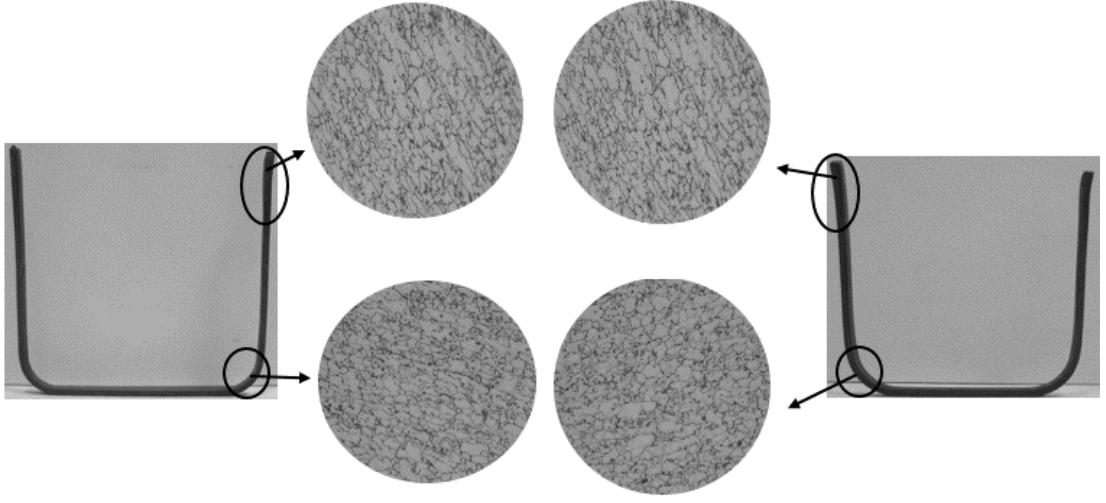
Ölçüm Cinsi	HC300LA		HC420LA	
	$t=1,2$	$t=1,5$	$t=1,2$	$t=1,5$
HV10	140	145	180	185

Çizelge 5.6. Ilık şekillendirme işlemi sonrası sertlik ölçümleri.

Ölçüm Cinsi	HC300LA		HC420LA	
	$t=1,2$	$t=1,5$	$t=1,2$	$t=1,5$
HV10	145	143	183	182

Sertlik ölçüm tabloları incelendiğinde ılık şekillendirme prosesinde malzeme sertliğinde bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Ilık şekillendirme prosesinde mikro yapısındaki değişim incelenmesi gereken önemli parametrelerden birisidir. Ilık derin çekme yöntemiyle yapılan şekillendirme işlemleri sonucunda malzemelerin duvar ve kavis bölgelerindeki mikroyapılar da incelenmiştir. Her iki malzeme türü için iç yapıda değişiklik gözlenmemiş sadece tane uzaması ve yönlenmesi gözlemlenmiştir. malzemelerin mikro yapısında sıcaklıkla birlikte tane büyümesi gibi bir değişim gözlenmemiştir. Tane büyümesi gözlenmesi durumunda malzeme

sertliğinde bir düşüş olduğu göstermektedir. Mikro yapıdaki bu gözlem ile sertlik ölçümünün birbirini doğruladığı gözlemlenmiştir



Şekil 5.49. HC420LA sac malzemenin ılık şekillendirme sonrası sertlik ölçümleri ve mikro yapı incelemesi a) $t=1,2$ mm b) $t=1,5$ mm.

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanımı her geçen gün artan yüksek mukavemetli çelik sacların şekillendirilmesi detaylı bir şekilde deneysel olarak araştırılmıştır. Araştırma sonuçları gösteriyor ki, yüksek mukavemetli sacların şekillendirilebilirlik oranını, malzeme içyapısını değiştirmeden ve sertliğinde düşürmeden artırmak için geliştirilen yöntemin ana hatlarının çizildiği başarılı bir çalışmanın yapıldığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak yeni yöntemler geliştirilmiş ve yöntemlerin olumlu etkileri ortaya konulmuştur. Geliştirilen bu yöntemler sırayla aşağıda verilmiştir.

1. İlk defa kalıp içine gömülen indüksiyon tipi ısıtıcı kullanılarak ılık derin çekme yöntemi yapılmıştır.
2. Test parçasını kalıp içinde ısıtarak oluşması muhtemel oksitlenme önlenmiştir.
3. Ilık derin çekmede önemli bir konu olan test parçasının baskı flanş bölgesinin sıcaklığını ölçmek için yeni bir ölçme yöntemi geliştirilmiştir.
4. Zımbaya açılmış hava deliğinin bir işlevi daha ortaya çıkarılmıştır. Ilık şekillendirmede önemli olan test parçasının flanş bölgesinin sıcak kalmasını ve zımba temas bölgesinin yüksek sıcaklıklara çıkması engellenmiştir.
5. Test parçasının zımba temas bölgesini tam olarak soğutmak için zımba hava deliğinden gönderilen su damlacıklarının yanında alttan özel olarak tasarlanan fiskiye tipi soğutma sistemi kullanılmıştır.

Ilık derin çekme prosesinde, kullanım yöntemi olarak ilk defa kullanılan ısıtma ve soğutma sistemi ve geliştirilen yöntemlerle farklı sıcaklıklarda ve yağlayıcılar kullanılarak elde edilen derin çekme sınır oranları, doktora çalışmasında yer alan bütün malzemeler için Çizelge 6.1 de özetlenmiştir. Çizelge 5.2 ve Çizelge 6.1 ile birlikte değerlendirildiğinde; sınır çekme oranında tespit edilen en yüksek artış flanş bölgesinin sırasıyla iç ve dış çaplarında 170 °C – 295 °C sıcaklıklarında meydana gelmiştir. Bu sıcaklık aralıkları ılık şekillendirme tanımına uygundur. Grafit + PTFE yağlayıcıların birlikte kullanımının sınır çekme oranına çok olumlu katkısı olmuştur.

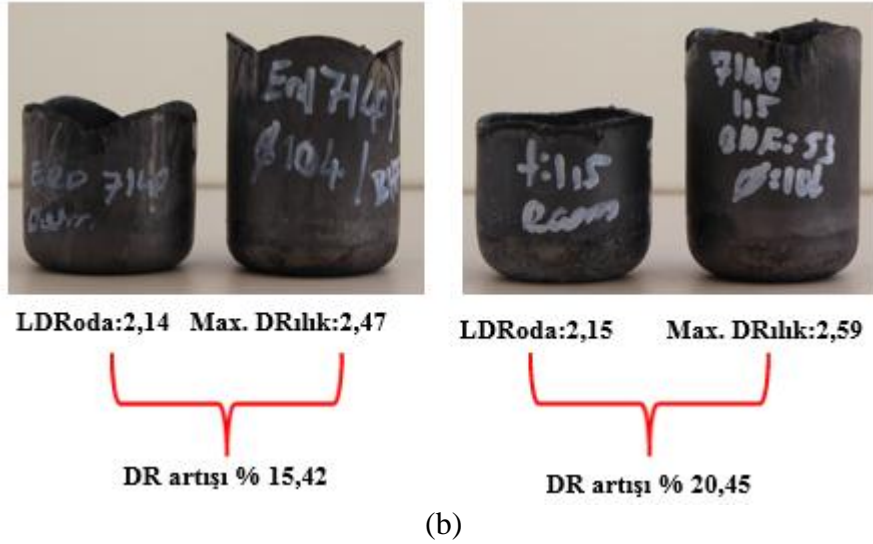
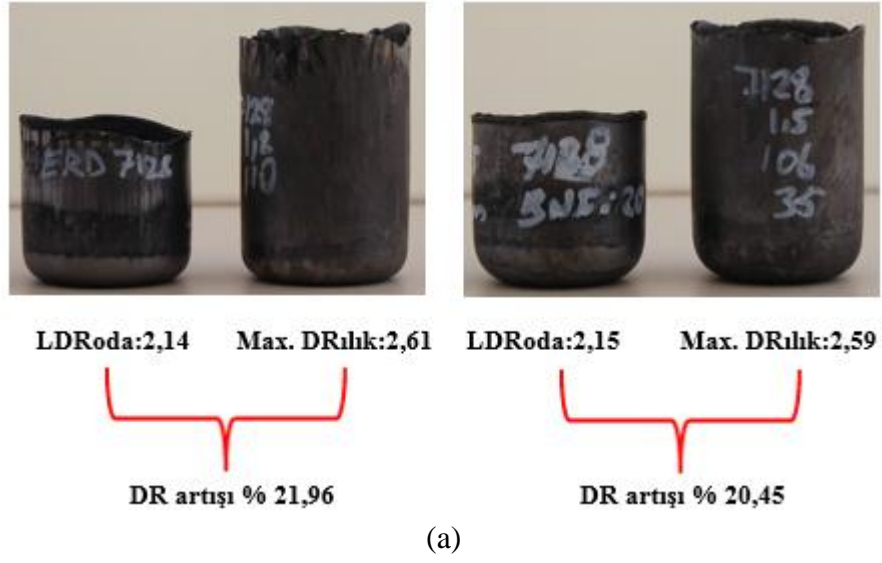
Çizelge 6.1 HC300LA ve HC420LA sac malzemeler için, sınır çekme oranları.

Malzeme		HC300LA				HC420LA			
Yağlayıcı	Sıcaklık	t=1,2 mm	D _p =42,12	t=1,2 mm	D _p =40,89	t=1,2 mm	D _p =42,12	t=1,2 mm	D _p =40,89
		D _b	SÇO	D _b	SÇO	D _b	SÇO	D _b	SÇO
Grafit	Oda	90	2,15	88	2,14	90	2,15	88	2,14
Grafit	Ilık	102	2,42	94	2,3	94	2,23	92	2,25
Grafit + PTFE	Ilık	110	2,61	106	2,59	104	2,47	106	2,59
Grafit + PTFE	Ilık Hata	112	2,66	108	2,64	106	2,52	108	2,64
Yüzde Artış		21,96%		20,45%		15,42%		20,45%	

Yapılan deneyler sonucunda maksimum sınır çekme oranı HC300LA çeliğinden t=1,2 mm kalınlık için %21,96 artış gözlemlenmiştir.

Malzemelerin sertliklerinde azalma ve mikro yapısında belirgin bir değişiklik meydana gelmemiştir.

Ilıkta derin çekilmiş kaplardan alınan U şeritlerden ölçülen değerler soğuk derin çekilmiş kaplardan ölçülmüş değerlere göre daha az (%1 oranında) geri esneme olmuştur. Buda bize ılık şekillendirmenin geri yaylanma üzerine olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.1. DR artışları a) HC300LA, t=1,2 ve 1,5 b) HC420LA, t=1,2 ve 1,5.

Şekil 6.1'den anlaşılacağı gibi, bu çalışmada uygulanan yöntem ile derin çekme yüksekliklerinde oldukça belirgin bir artış sağlanmıştır. Bu yöntemin imalat sektöründe uygulanması ile

- Yüksek mukavemetli sac malzemeler ılık şekillendirme ile daha derin şekillendirilebilme kabiliyeti kazanabilirler.
- Daha karmaşık şekildeki parçalar üretilebilir, otomobili oluşturan parçaların sayısının azalmasını sağlayarak, sac birleştirme işlemlerinin azalmasına ve buna bağlı olarak işçilik, sarf malzeme kullanımlarında da benzer azalmalara olumlu bir katkısı olacağı düşünülmektedir.

- Yüksek mukavemetli sac malzemelerin şekillendirilebilirliğinin artmasıyla otomobil imalatçıları artık otomobilin çarpışma testlerini geçebilmesi için otomobil gövdesinde kullandıkları kalın sac malzemelerin yerine daha ince ve daha mukavemetli sac malzemeler kullanarak gövde ağırlığını düşürebilirler.
- Bu durum bize araç gövde ağırlığının düşürülmesine, yakıt sarfiyatında azalmasına, araç mukavemetinde artışa ve CO₂ gazı salınımlarında düşüşler sağlayabilir.

6.2. ÖNERİLER

Bu bilimsel çalışmada, yüksek mukavemetli çelik malzemelerin şekillendirilme oranını artıracak yeni, basit ve sanayi uygulamasının üretim hattında büyük değişiklikler yapılmasına gerek olmadan geliştirilebileceği bir imalat yöntemi geliştirilmiştir. Bu doktora çalışması kapsamında oluşturulan deney düzeneği ile derin çekme sınır oranında % 21,96 kadar artış sağlanmıştır. Belirtilen oran üst sınır olmayıp, geliştirilmiş olan yöntemin yapılacak bazı iyileştirmelerle daha yüksek değerlere çıkarılabileceği düşünülmektedir.

Silindirik derin çekme işleminde en kritik bölge derin çekilen numunenin taban kenar yarıçapına yakın bölgelerdir. Yırtılmalar genellikle bu bölgede oluşur. Bunun birden çok farklı nedeni vardır. Kalıp zımba arasındaki boşluğun yetersiz olması, çekme hızı, malzemedeki kaynaklanan sebepler gibi, malzeme kalınlığında en fazla incelme de bu bölgelerde oluşur. Bunun nedeni ise çekme gerilmesinin yüksek değerlere ulaşarak malzemedeki kopma dayanımı aşıldığında yırtılmanın meydana gelmesi ile oluşur. Ilık şekillendirme işleminde sıcak numunenin çekilen kısmının hızlı bir şekilde soğutulması malzemenin akma eğrisinin değişmesine neden olur ve soğutulmuş olan bu kısımdaki malzeme daha yüksek kopma dayanımına sahip olduğu için yırtılma gerçekleşmez ve çekme işlemi böylece tamamlanır. Bu önerilen yeni uygulama tekniğinde su püskürtülerek her yeni çekilen kısım malzemenin soğutulması ile yırtılma olmadan ve istenilen sac kalınlığında kalarak derin çekilir. Bu noktada yapılması gereken püskürtme sisteminin kalıp geometrisine uygun ve istenilen bölüme püskürtmesi işleminin kalıp sistemine düzgün bir şekilde monte edilmesi gerekmektedir.

Yukarıda yapılan açıklamalar göz önünde bulundurularak, bu bölümde konu üzerinde gelecekte yapılabilecek çalışmalar 2 ayrı başlık altında nedenleri ile birlikte toplanmıştır.

- Deneý düzeneđi iyileřtirme önerileri
- Çalışmada kullanılan yöntemin iyileştirme önerileri

6.2.1. Deneý Düzeneđi İyileřtirme Önerileri

Deneý düzeneğinde şekillendirme oranını artırmadaki üst sınırın belirlenmesine yönelik iyileştirme çalışmaları aşağıda verilmiştir.

- Mevcut baskı tutucu sistemin, tahrik ve kontrolünün sağlandığı, hidrolik güç kontrol ünitesi oransal hidrolik güç kontrol ünitesi ile değiştirilmesi gerekmektedir. Yapılacak bu iyileştirilme baskı tutucu kuvvet değerinin daha hassas belirlenmesini sağlayacaktır.
- Bu çalışmada kullanılan mekanik eksantrik pres yerine servo (PLC) pres kullanılması işlem kolaylığı sağlayacaktır.
- İstenilen frekans aralığını sağlayabilecek bir indüksiyon ısıtıcısının kullanılması, ısıtma sistemindeki işlemlerde kolaylık sağlayacaktır.
- Isıtma sisteminin kalıba yerleştirilmesinde yeni kalıp tasarımının (sadece flanş bölgesinin hızlı bir şekilde ısıtmak için) yapılması.
- Farklı yağlayıcı sistemlerin kullanılması, sürtünmeyi azaltarak şekillendirebilirliği artırabilir.
- Sürtünme katsayısını düşürmek için zımba ve kalıpta farklı bölgelere kaplama uygulaması yapılması ve farklı kaplama malzemelerinin sürtünme katsayısının iyileştirilmesi için kullanılması katkı sağlayabilir.

6.2.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemin İyileştirme Önerileri

Aşağıda yapılan öneriler doğrultusunda, bu çalışmada kullanılan yöntem daha da geliştirilerek daha iyi sonuçlar alınabileceği düşünölmektedir. Bu kapsamda yöntemle ilgili öneriler şunlardır;

Farklı işlem parametrelerinin derin çekme sınır oranına etkisinin çalışma önerileri aşağıda özetlenmiştir.

- Farklı uzama hızlarının sınır çekme oranına etkileri incelenebilir.
- Ilık sıcaklıklar için kare kalıp ve zımba geometrilerinin derin çekme sınır oranına etkisinin incelenmesi ve optimize edilmesi çalışmaları yapılabilir.
- Flanş bölgesinde oluşan baskı gerilmeleri de gözetilerek malzeme akışını düzenleyecek baskı plakası kuvvetinin uygulama yönteminin geliştirileceği araştırma çalışmaları yapılabilir.
- Önerilen önemli bir konuda sürtünme etkisinin en aza indirilmesidir. Bunun için, zımbanın taban ve taban yarıçapı dışında kalan yerler, Kalıp ve baskı plakasının kavis bölgeleri dışındaki düz yüzeylere kaplama işlemi uygulanarak sürtünmeden kaynaklanan, sınır çekme oranını sınırlayan etkilerin azaltılması sağlanmış olur.

KAYNAKLAR

1. Taylor, B., "Metal Handbook", *American Society of Metals*, (1988).
2. Marciniak Z., Duncan J. L. and Hu S. J., "Mechanics of Sheet Metal Forming," *Butterworth-Heinemann*, London, (2002).
3. Keeler, S., Kimchi, M., "Advanced High-Strength Steels Application" *Guidelines Version 5.0*, (2014).
4. Osakada, K., "History of plasticity and metal forming analysis", *J. Mater. Process. Technol.* 210 1436–1454 (2010).
5. Neugebauer, R., Altan, T., Geiger, M., Kleiner, M. and Sterzing, A., "Sheet Metal Forming at Elevated Temperatures", *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 55 793–816 (2006).
6. Mori, K., Maki, S. and Tanaka, Y., "Warm and Hot Stamping of Ultra High Tensile Strength Steel Sheets Using Resistance Heating", *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 54 209–212 (2005).
7. Lingbeek, R.A., Meinders, T. and Ohnimus, S., "Compensation Of Deep Drawing Tools For Springback and Tool-Deformation", Strateg. Res. Program. Netherlands Inst. Met. Res. Rosochowski (eds.), *Proceedings 9th esaform conference*, p. 403–406, (2006).
8. Thiruvarudchelvan, S., Lewis, W. G., "Deep Drawing With Blank Holder Force Approximately Proportional to the Punch Force", *J. Eng. Ind.* 112 278 (1990).
9. Kleiner, M., Geiger, M. and Klaus, A., Manufacturing of Lightweight Components by Metal Forming, *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 52 521–542 (2003).
10. Bruschi, S., Altan, T., Banabic, D., Bariani, P. F., Brosius, A., Cao, J., Ghiotti, A., Khraisheh, M., Merklein, M. and Tekkaya, A. E., "Testing and modelling of material behaviour and formability in sheet metal forming", *cirp Ann. - Manuf. Technol.* 63 727–749 (2014).
11. Kaya, S., Spampinato, G. and Altan, T., "An experimental study on nonisothermal deep drawing process using aluminum and magnesium alloys," *J. Manuf. Sci. Eng. Trans. asme.* 130 (2008).

12. Yoshihara, S., Yamamoto, H., Manabe, K. and Nishimura, H., "Formability enhancement in magnesium alloy deep drawing by local heating and cooling technique", *J. Mater. Process. Technol.*, 612–615 (2003).
13. Singh, S. K., Mahesh, K. and Gupta, A. K., Prediction of mechanical properties of extra deep drawn steel in blue brittle region using Artificial Neural Network, *Mater. Des.* 31 2288–2295 (2010).
14. Kotkunde, N., Deole, A. D., Gubta, A. K. and Singh, S. K., Aditya, B., Failure and formability studies in warm deep drawing of Ti – 6Al – 4V alloy, *J. Mater.* 60 540–547 (2014).
15. Wu-rong, W., Chang-wei, H., Zhong-hua, Z. and Xi-cheng, W., "The limit drawing ratio and formability prediction of advanced high strength dual-phase steels", *Mater. Des.* 32 3320–3327 (2011).
16. Ren, L.M., Zhang, S.H., Palumbo, D., Sorgente, D. and Tricarico, L., "Numerical simulation on warm deep drawing of magnesium alloy AZ31 sheets", *Mater. Sci. Eng. A.* 499 40–44 (2009).
17. Engelhardt, M., Von Senden genannt Haverkamp, H., Kılıclar, Y., Schwarze, M., Vladimirov, I., Bormann, D., Bach, F. W. and Reese, S., "Characterization and simulation of high-speed-deformation-processes", *Proc. 4th Int. Conf. High Speed Form.*, Columbus, USA, 229–238 (2010).
18. B.P. Gearing, "Friction in sheet forming", *Massachusetts Institute of Technology*, (1999).
19. Güneş, A.T., "Pres İşleri Tekniği Cilt-2", *Makine Mühendisleri Odası*, (2002).
20. Topaç, M. M., "Karbonlu Çeliklerde Derin Çekmeye Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2003).
21. Demiray, K., "AL 1050 malzemesinin derin çekme işleminde baskı plakasının etkisinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, (2006).
22. Özturk, F. and Lee, D., "Experimental and numerical analysis of out-of-plane formability test", *J. Mater. Process. Technol.* 170 247–253 (2005).
23. Keeler, S.P. and Backofen, W.A., "Plastic Instability and Fracture in Sheets Stretched over Rigid Punches.", *Trans. ASM.* 56 25–98 (1963).
24. Goodwin, G. M., "Application of Strain Analysis to Sheet Metal Forming Problems in the Press Shop", *Soc. Automot. Eng.* 380–387 (1968).

25. Uysal, E., Öztürk, F., "Örnek Bir Uygulama Ėle Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Ėkillendirme Sınır Diyagramlarının Elde Edilmesi", **2. Ulus. Tasarım İmalat ve Anal. Kongresi**, Balıkesir, (2010).
26. Tekkaya, A. E., Banabic, D., Bunge, H. J. and Pohlandt, K., "Formability of Metallic Materials", **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, New York, (2000).
27. Gündü, T. "Derin çekme saclarında derin çekilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2000).
28. Erdir, S., "Profilli derin çekmede hata analizi ve alınabilecek önlemler", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**, İstanbul,(1995).
29. Alıcı, İ., "Derin Çekme Saclarının Deformasyon Davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi", **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, (2001).
30. Erişkin, Y., "Uygulamalı Sac Metal Kalıp Konstrüksiyonu", **Gazi Üniversitesi Tek. Eğitim Fakültesi Yayınları**. (1986).
31. Simith, A. D., "Die Design Handbook", **Society of Manufacturing Engineers**, Michigan, (1990).
32. Lange, K., **Handbook of Metal forming**, (1985).
33. Kalpakjian, S. and Schmid, S.R., "Manufacturing Processes for Engineering Materials", **5th ed.**, (2008).
34. Kayalı, E. S., "Mekanik İşlem Hasarları", **T.M.M.O.B. Metalurji Mühendisleri Odası Hasar Analizi Seminer Notları**, İstanbul, (1997).
35. Alpers, B., Bergmann, D., Galanulis, K. And Winter, D., "Advanced Deformation Measurement in Sheet Metal Forming", **GOM, Gesselschaft für Optisch Meßtechnik**, Germany, (2000).
36. Ünal, E., "Kare Kesitli Kapların Derin Çekilmesinde Kalıp Geometrisi ve Radyüsünün Çekme Oranına Etkisinin Araştırılması", Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, (2011).
37. Maier.,C, Failure Prediction in Sheet Metal Forming Using Fea of Nakazima Test,**Machines, Technologies, Materials**. 9–12 (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Nuri ŞEN 1981 yılında Nazilli’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 1997 yılında Nazilli Endüstri Meslek Lisesi Torna Tesviye bölümünden mezun oldu. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2004 yılında mezun oldu. 2005 yılında aynı üniversite Makine Eğitimi Bölümü Makine Tasarım ve Konstrüksiyon Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenime başlayıp 2007 yılında mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu Doktora programını 2015 Haziran ayında tamamladı. 2005 yılının Aralık ayında İstanbul Emniyet Müdürlüğünde polis memuru olarak çalışmaya başladı ve halen aktif olarak Emniyet Genel müdürlüğü Havacılık Dairesi Başkanlığı bünyesinde 2007 Kasım ayından beri çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Polis Akademisi Lojmanları 10/11
Gölbaşı / ANKARA

Tel : (505) 706 6045

E-posta: nurisen1981@gmail.com