



**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
SACLARIN ŞEKİLLENEBİLİRLİĞİNE FARKLI
YAĞLAYICILARIN ETKİSİ**

Ebru GÜRBÜZ

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN SAÇLARIN
ŞEKİLLENEBİLİRLİĞİNE FARKLI YAĞLAYICILARIN ETKİSİ**

Ebru GÜRBÜZ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN**

**KARABÜK
Eylül 2022**

Ebru GÜRBÜZ tarafından hazırlanan “OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN SACLARIN ŞEKİLLENEBİLİRLİĞİNE FARKLI YAĞLAYICILARIN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/09/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Fuat KARA (DÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Müslüm KUZU

Lisansüstü Eğitim 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.”

Ebru GÜRBÜZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN SACLARIN ŞEKİLLENEBİLİRLİĞİNE FARKLI YAĞLAYICILARIN ETKİSİ

Ebru GÜRBÜZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN

Eylül 2022, 60 sayfa

Bu çalışmada, endüstriyel bir uygulama olan amortisör tabla komponentinin soğuk şekillendirilmesi esnasında yağlayıcıların malzemenin şekillenmesine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, Erdemir kalite numarası 6224 olan 2,5 mm kalınlığında sac malzeme, kuru ve farklı yağlayıcılar kullanılarak şekillendirilmesi, şekillendirilen numuneler üzerinden birim şekil değişimleri ve kalınlık dağılımlarının ölçümleri yapılmıştır. Yapılan şekillendirme deneyleri sonucunda, en yüksek kap yüksekliğinin 84,29 mm ile Belgin Yağ kullanılarak elde edilmiştir. Buna ek olarak, yağlayıcıların kullanılmasıyla majör birim şekil değişimlerinin %20'ye, minör birim şekil değişimlerinin %-30'a kadar arttığı belirlenmiştir. Kalınlık dağılımları incelendiğinde, homojen kalınlık dağılımının ve en düşük incelmenin Belgin Yağ ile elde edildiği belirlenmiştir. Sonuç olarak kullanılan farklı yağlayıcı türlerinin, malzemenin şekillenmesine olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Otomotiv, yağlayıcı, triboloji, birim şekil değişimi, soğuk
şekillendirme.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF VARIOUS LUBRICANT MEDIAS ON THE FORMABILITY OF SHEET METAL USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Ebru GÜRBÜZ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Industrial Design Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Murat AYDIN

September 2022, 60 pages

In this study, the effect of lubricants on the shaping of the material during the cold forming of the shock absorber table component, which is an industrial application, was experimentally investigated. In the study, 6224 Erdemir sheet material with 2.5 mm thickness was formed using dry and various lubricants. Major and minor strains and thickness distributions were measured on the formed samples. As a result of the forming experiments, the highest cup height of 84.29 mm was obtained by using Belgin Lubricant. In addition, it was determined that the major strains increased up to 20% and the minor strains increased up to -30% with the use of lubricants. When the thickness distributions were examined, it was determined that the homogeneous thickness distribution and the lowest thinning were obtained with Belgin Yag as well. As a result, it was seen that the various types of lubricants used contributed positively to the forming of the material.

Key Word : Automotive, lubricant, tribology, strain, cold forming.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda desteklerini esirgemeyen, bütün imkanlarının kullanılmasına izin veren Teknorot çatısı altında çalışan bütün çalıőanlara sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmamın her aşamasında tecrübeleri ile beni aydınlatan, tezimin gelişmesinde her türlü bilgi ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli danıőman hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN' a sonsuz teőekkürü bir borç bilirim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiii |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| 1.1. SAC ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ | 1 |
| 1.1.1. Kesme İşlemi..... | 1 |
| 1.1.2. Bükme İşlemi..... | 2 |
| 1.1.3. Derin Çekme İşlemi..... | 2 |
| 1.2. TRİBOLOJİ..... | 3 |
| 1.2.1. Yağlama ve Sürtünme | 3 |
| 1.2.2. Sürtünme..... | 4 |
| 1.2.3. Aşınma..... | 4 |
| 1.2.4. Yağlama..... | 5 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 7 |
| LİTERATÜR TARAMASI..... | 7 |
| 2.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR | 7 |
| 2.2. ÇALIŞMANIN AMACI..... | 11 |
| | |
| BÖLÜM 3 | 12 |
| MATERYAL VE METOT | 12 |
| 3.1. MALZEME | 12 |

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 3.2. METOT | 13 |
| 3.2.1. Amortisör Tabla..... | 13 |
| 3.2.2. Şekillendirme Ekipmanları | 14 |
| 3.2.2.1. Pres..... | 14 |
| 3.2.2.2. Şekillendirme Kalıpları | 16 |
| 3.2.3. Numunelerin Hazırlanması..... | 17 |
| 3.2.4. Yağlayıcılar | 18 |
| 3.2.5. Ölçüm Enstrümanları..... | 21 |
| 3.2.5.1. Dijital Yükseklik Mihengiri | 21 |
| 3.2.5.2. Mylar Tape..... | 22 |
| | |
| BÖLÜM 4 | 24 |
| DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 24 |
| 4.1. AMORTİSÖR TABLA KOMPONENTİ..... | 24 |
| 4.1.1. Kap Yüksekliği | 24 |
| 4.1.2. Birim Şekil Değişimi | 41 |
| 4.1.3. Kalınlık Dağılımı | 48 |
| | |
| BÖLÜM 5 | 55 |
| SONUÇLAR | 55 |
| | |
| KAYNAKLAR | 57 |
| | |
| ÖZGEÇMİŞ | 60 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1. Kesme işlemi için şematik görünüş | 2 |
| Şekil 1.2. Bükme işlemi için şematik görünüş..... | 2 |
| Şekil 1.3. Derin çekme işlemi şematik görünüş..... | 3 |
| Şekil 3.1. Amortisör tabla komponenti nihai ürün katı modeli..... | 13 |
| Şekil 3.2. Amortisör tabla komponenti nihai ürün kaba ölçüleri | 14 |
| Şekil 3.3. Hidrolik pres | 15 |
| Şekil 3.4. Amortisör tabla komponenti 1.operasyon derin çekme kalıbı katı modeli | 16 |
| Şekil 3.5. Amortisör tabla komponenti 2.operasyon derin çekme kalıbı katı modeli | 17 |
| Şekil 3.6. Amortisör tabla komponenti girdlenmiş numune | 18 |
| Şekil 3.7. İpek Naylon örneği | 20 |
| Şekil 3.8. Mitutoyo dijital yükseklik mihengiri | 22 |
| Şekil 3.9. Mylar Tape ölçek şeması | 23 |
| Şekil 3.10. Kullanılan Mylar Tape..... | 23 |
| Şekil 4.1. Kap yüksekliği ölçüm bölgeleri | 25 |
| Şekil 4.2. 1.derin çekme operasyonu kuru şekillendirme örnekleri..... | 26 |
| Şekil 4.3. 1.derin çekme operasyonu İpek Nylon kullanılan şekillendirme örnekleri | 27 |
| Şekil 4.4. 1.derin çekme operasyonu Lityum Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri | 28 |
| Şekil 4.5. 1.derin çekme operasyonu Belgin Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri | 29 |
| Şekil 4.6. 1.derin çekme operasyonu Hint Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri | 30 |
| Şekil 4.7. 1.derin çekme operasyonu Klüber Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri | 31 |
| Şekil 4.8. 2.derin çekme operasyonu kuru şekillendirme örnekleri..... | 32 |
| Şekil 4.9. 2.derin çekme operasyonu İpek Nylon kullanılan şekillendirme örnekleri | 33 |
| Şekil 4.10. 2.derin çekme operasyonu Lityum Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri | 34 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.11. 2.derin çekme operasyonu Belgin Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri | 35 |
| Şekil 4.12. 2.derin çekme operasyonu Hint Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri | 36 |
| Şekil 4.13. 2.derin çekme operasyonu Klüber Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri | 37 |
| Şekil 4.14. Farklı yağlayıcılar kullanılarak elde edilen maksimum ortalama kap yükseklikleri..... | 40 |
| Şekil 4.15. Örnek numune üzerinden birim şekil değişimlerinin ölçüldüğü bölgeler. | 42 |
| Şekil 4.16. 2. derin çekme operasyonunda kuru şekillendirme ile elde edilen gerçek birim şekil değişimleri. | 43 |
| Şekil 4.17. 2. derin çekme operasyonunda İpek Naylon kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri..... | 44 |
| Şekil 4.18. 2. derin çekme operasyonunda Lityum Yağı kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri..... | 44 |
| Şekil 4.19. 2. derin çekme operasyonunda Belgin Yağı kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri..... | 45 |
| Şekil 4.20. 2. derin çekme operasyonunda Hint Yağı kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri. | 46 |
| Şekil 4.21. 2. derin çekme operasyonunda Klüber Yağı kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri..... | 46 |
| Şekil 4.22. Farklı yağlayıcılar kullanılarak elde edilen ortalama major gerçek birim şekil değişimleri..... | 47 |
| Şekil 4.23. Farklı yağlayıcılar kullanılarak elde edilen ortalama minör gerçek birim şekil değişimleri..... | 47 |
| Şekil 4.24. Kalınlık ölçümü için tel erozyonla kesilen örnek numune | 49 |
| Şekil 4.25. Kuru şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı. | 49 |
| Şekil 4.26. İpek Naylon kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı. | 50 |
| Şekil 4.27. Lityum Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı. | 51 |
| Şekil 4.28. Belgin Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı. | 51 |
| Şekil 4.29. Hint Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı. | 52 |
| Şekil 4.30. Klüber Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı. | 53 |
| Şekil 4.31. Kuru ve farklı yağlayıcılar kullanılarak yapılan şekillendirmelere ait ortalama kalınlık dağılımı. | 53 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Çizelge 3.1. EN 10111:2008 standart numaralı (ERDEMİR Kalite No 6224) çelik malzeme kimyasal bileşim..... | 12 |
| Çizelge 3.2. EN 10111:2008 standart numaralı (ERDEMİR Kalite No 6224) çelik malzeme mekanik özellikleri | 13 |
| Çizelge 3.3. Hidrolik pres teknik özellikleri | 15 |
| Çizelge 3.4. Belgin Drawtex KC-70 teknik özellikleri | 20 |
| Çizelge 3.5. Klüber PRESSPATE SEM 95/800 T teknik özellikleri..... | 20 |
| Çizelge 3.6. Hint yağı teknik özellikleri | 21 |
| Çizelge 3.7. Greson Lit EP-3 yağ teknik özellikleri | 21 |
| Çizelge 4.1. 1. ve 2. derin çekme operasyonları kap yükseklikleri..... | 38 |
| Çizelge 4.2. 1. ve 2. derin çekme operasyonları için ortalama kap yükseklikleri..... | 39 |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

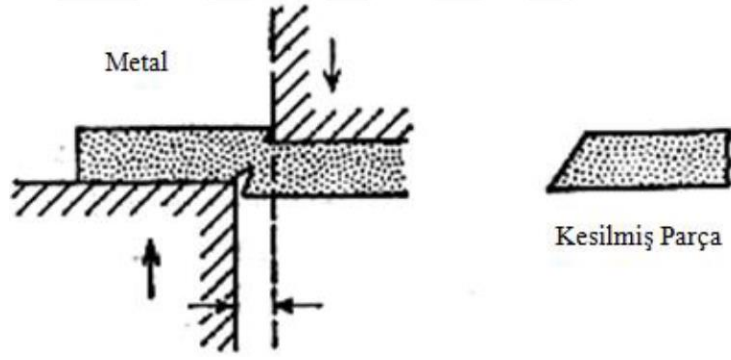
Endüstriyel uygulamalarda hafif ve dayanımı yüksek olmalarından dolayı sac metal malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok endüstriyel sektörlerde kullanılan birçok parça, yassı hadde mamülleri olan saclar ve levhalar kullanılarak üretilmektedir [1]. Otomotiv ve havacılık endüstrilerindeki yaşanan hızlı gelişmeler sac metal şekillendirme teknolojilerine olan ihtiyacın giderek artmasına sebep olmuştur. Sac metal şekillendirme prosesi, düz bir sacın, şekillendirme hataları (yırılma, buruşma veya aşırı incelme gibi) meydana gelmeden, sacın hasara uğramadan istenilen şekle dönüştürme işlemi olarak tanımlanabilir. Metalik sac malzemelerin “şekillendirilebilme kabiliyeti” veya “şekillendirilebilirliği”, sacın şekillendirilmesi sırasında yırılma, bölgesel boyun verme ve buruşma gibi hasarlara uğramadan istenilen şekli alma kabiliyetidir [2].

1.1. SAC ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

Endüstride yaygın olarak kullanılan sac şekillendirme yöntemlerine örnek olarak, kesme, bükme ve derin çekme işlemleri verilebilir [2].

1.1.1. Kesme İşlemi

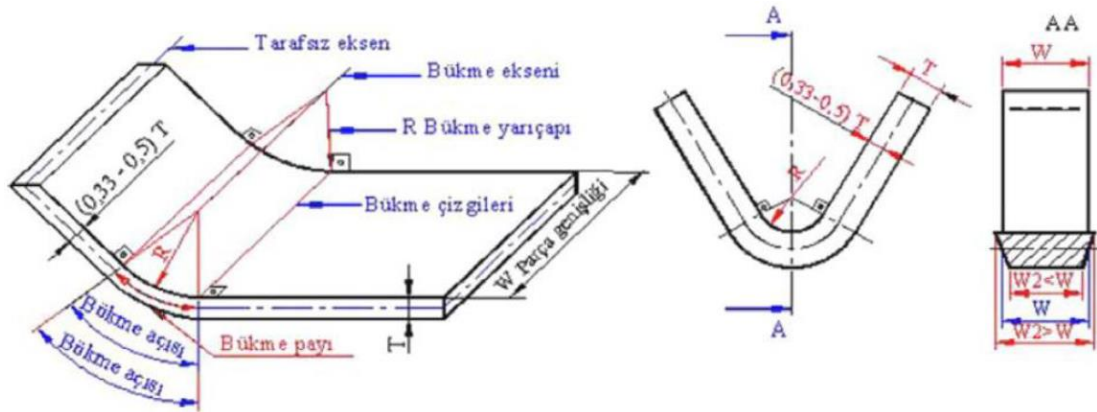
Sac şekillendirme işleminde yassı sacların ve levhaların, dilme, ayırma, taslak kesme, delme, çentik açma, yarma, çapak kesme gibi operasyonlar için yapılan işleme denilmektedir. Şekil 1.1’de kesme işleminin şematik görünüşü gösterilmiştir [3].



Şekil 1.1. Kesme işlemi için şematik görünüş [3].

1.1.2. Bükme İşlemi

Bükme işlemi, sac veya şerit malzemeyi bir eksen etrafında döndürerek parçanın plastik şekil değişimine uğraması olarak açıklanabilir. Parçanın bükme yapılan bölge içerisinde üç boyutlu gerilme hali meydana gelmekte ve tarafsız düzlemlerde gerilimler sıfır olmaktadır. Bükme işlemi esnasında parçanın genişliği iç bölgede artarken dışta azalmakta, tarafsız düzlemde ise sabit kalmaktadır [3]. Şekil 1.2'de bükme işleminin şematik görüntüsü gösterilmiştir.

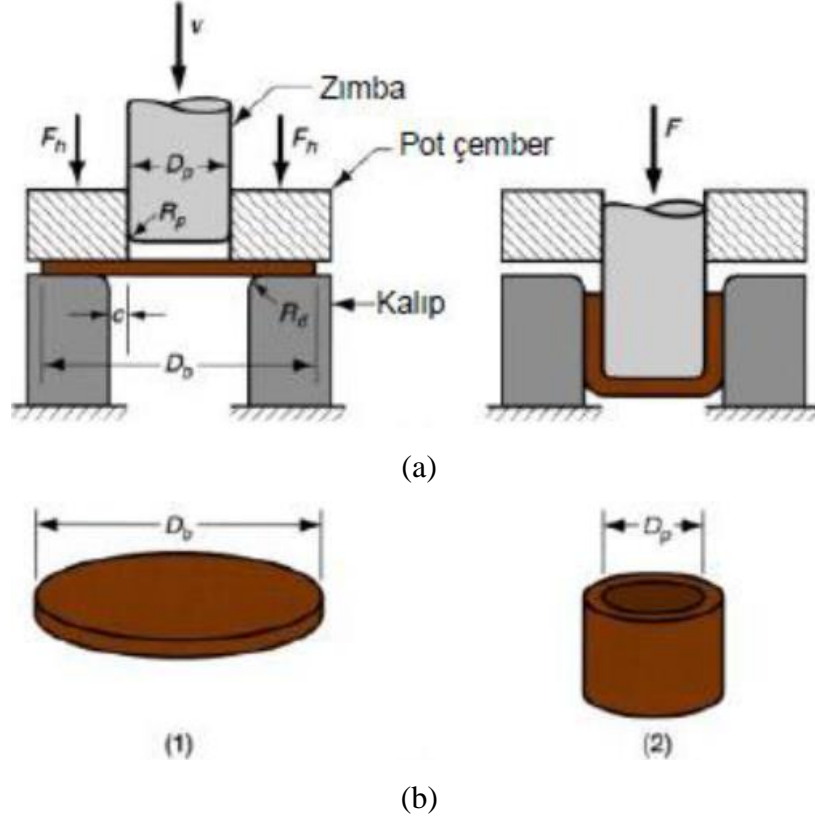


Şekil 1.2. Bükme işlemi için şematik görünüş [3].

1.1.3. Derin Çekme İşlemi

Düz sac levhanın kalınlığında değişim meydana gelmeden, bir tarafı kapalı, diğer tarafı açık silindirik parçaların çekme-basma gerilme metoduna dayanan şekillendirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Derin çekme işleminde, başlangıçtaki ilkel pul kalıp

üzerine yerleştirilir ve pot çemberi olarak ifade edilen bir üst kalıp ile belirli bir kuvvet ile sıkıştırılır. Zımba sıkıştırılan düz sacı kalıp boşluğuna doğru iterek şekillendirme işlemi gerçekleştirilir. Şekil 1.3’de derin çekme işleminin şematik görünüşü verilmiştir [3].



Şekil 1.3. Derin çekme işlemi şematik görünüş. a) İşlem öncesi ve işlem sonrası, b) İlkel sac malzeme (1) ve nihai bitmiş ürün (2) [3].

1.2. TRİBOLOJİ

1.2.1. Yağlama ve Sürtünme

Metal şekillendirme işlemlerinde sürtünme, zımba ve baskı plakası gibi şekillendirme kuvvetlerini, gerilmeleri, gerinim dağılımını, metalin akmasını, enerji tüketimini ve yüzey kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Bütün metal şekillendirme prosesleri içerisinde, özellikle derin çekme işleminde sürtünme ve yağlama daha hassas kontrol edilmesi gerekmektedir. Zımbanın sac malzemeye temas ettiği alanla kıyaslandığında, sac malzemenin kesiti çok daha küçük olduğu için gerinim dağılımı

doğrudan sürtünmeden etkilenmektedir. Böylece, sac malzemenin şekillenebilme kabiliyeti, mekanik özelliklerinin yanı sıra doğrudan zımba-sac malzeme temasına bağlıdır [4].

Sac malzemenin yüzey kalitesi yağlayıcı rejiminden doğrudan etkilenmektedir. Kalın katmanlı yağlayıcılar metal-metal yüzeylerin temasında aşınmayı önlemekte ancak daha kaba bir yüzey kalitesi elde edilmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, kalıplama elamanları ve sac malzeme arasında yüzey kalitesinin bozulmayacağı bir sürtünme seviyesi elde etmek için, yağlama sistemleri ve yağlayıcılar hassas bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir [4].

1.2.2. Sürtünme

Birbiriyle temas halinde olan ve birbirlerine göre izafi hareket yapan iki cismin harekete karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanabilir. Bu iki cismin temas yüzeyleri arasında hareketi engelleyen ve sürtünme kuvveti olarak tanımlanan karşı bulunmaktadır. Sürtünme kuvveti sürtünme katsayısına bağlı olup, sabit değildir, sürtünme katsayısının değişimiyle değişmektedir. Sürtünme amaca ve çalışma koşullarına göre istenilen veya istenilmeyen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Kavrama ve fren gibi makine elemanlarında sürtünmenin olması istenmekte, hatta böyle çalışma ortamlarında sürtünmenin artırılması istenmektedir. Çoğu durumda ise izafi hareket yapan yüzeylerde sürtünme istenmediğinden azaltılmasına çalışılmaktadır [5].

1.2.3. Aşınma

Birbirine temas eden ve birbirlerine göre izafi hareket yapan cisimler arasında sürtünme sonucu yüzeylerinde oluşan ve istenilmeyen malzeme kaybıdır. Aşınma sonucunda malzemeler plastik deformasyona uğrar ve başlangıç şekillerini kaybederler. Aşınma genel olarak, adhezyon aşınması, abrazyon aşınması, yorulma aşınması ve kavitasyon olarak toplam dört farklı şekilde meydana gelmektedir [5].

- **Adhezyon Aşınması:** Cisimlerin gerçek temas yüzeyleri arasında yüksek basın altında meydana gelen, malzemelerin plastik deformasyona uğradığı ve cisimlerin gerçek temas yüzeylerinin birbirine mikro kaynak ile bağlandığı aşınma türüdür [5].
- **Abrazyon Aşınması:** Dış etkenlerden gelen sert parçacıkların, birbirine göre izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeylerine girmesi ve bu dış parçacıkların yumuşak yüzeye gömülerek sert yüzeyden malzeme kaldırması ile meydana gelen aşınma türüdür. Bu sert parçacıkların temas ettikleri yüzeyde tahribat yaparlar ve yüzeyleri hareket yönünde çizerler [5].
- **Yorulma Aşınması:** Birbirleriyle sürekli temas halinde bulunan yüzeylerde Hertz basınçları ile oluşan kayma gerilmelerinin maksimum noktada meydana gelen plastik şekil değişimleridir [5].
- **Kavitasyon Aşınması:** Sıvının bir bölümünün sıvının kaynamasına neden olan çekme gerilmelerine, ardından buhar kabarcıklarının çökmesine neden olan basınç gerilmelerine maruz kaldığında ortaya çıkan, sıvıdan yüzeye doğru meydana gelen aşınma türüdür [6].

1.2.4. Yağlama

Cisimlerin temas yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetini azaltmak, aşınmayı kısmen ya da tamamen önlemek, temas yüzeylerinde sıcaklığın istenilen seviyelere inmesini sağlamak gibi sebeplerden dolayı, temas eden yüzeyler arasında yağlayıcılar kullanılmaktadır. İki cismi birbirinden ayırmak ve sürtünme gücünü minimuma indirmek için kullanılan ortama yağ adı verilir. Yağlayıcılar kullanım yerlerine, çalışma koşullarına ve kullanım amaçlarına göre katı, sıvı, yarı katı (gresler) ve gaz yağlayıcılar olarak dört gruba ayrılırlar. Yağların başlıca görevleri [5];

- Sürtünmeyi kontrol etmek,
- Aşınmayı kontrol etmek
- Sıcaklığı kontrol etmek

- Korozyonu kontrol etmek
- İzolasyon
- Kuvvet iletimi
- Yıkama etkisi olarak sıralanabilir [5].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

2.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sac metal şekillendirme işlemlerinde yağlayıcı önemli bir rol oynamaktadır. Yağlama sisteminin düzgün bir şekilde yapılması, daha kaliteli parça üretilmesine, daha az çekme kuvveti ve baskı plakası kuvveti gerektirmesine, sac kalınlığında daha az incelmeye olanak sağlamaktadır. Özellikle yüksek dayanımlı çelikler ile karmaşık parçaların üretilmesinde malzeme özelliklerinin ve sürtünme koşullarının tam olarak belirlenmesi gerekmektedir [7]. Sac metal şekillendirme işlemlerinde ve özellikle derin çekme işlemlerinde, metallerin talaş kaldırılmasında yağlayıcıların kullanımı ile ilgili ulusal ve uluslararası literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Ngai [8] vd. metal şekillendirme uygulamaları için polimer bazlı yağlayıcı formülasyonu üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında polimer bazlı bir yağlayıcı, emülsiyon kopolimerizasyon yoluyla üretmişler ve ürettikleri yağlayıcı için basma testi ve burma basma testi uygulamışlardır. Geliştirdikleri yağlayıcının performansını dövme uygulamalarında kullanılan çinko fosfat bazlı yağlayıcı ve bunun yanında piyasada yaygın olarak bulunan üç adet farklı yağlayıcılar ile kıyaslamışlardır. Sonuç olarak, geliştirdikleri yağlayıcının mekanik testlerde diğer yağlayıcılara kıyasla aynı performansı sergilediğini ve düşük yüzey genleşmesinin meydana geldiği ekstrüzyon ve soğuk şişirme gibi şekil değişimlerinin az olduğu işlemlerde verimli bir yağlayıcı olarak kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Fratini [9] vd. sac şekillendirmede sürtünme katsayısını ölçmek için enstrüman geliştirmesi üzerine çalışmışlardır. Sac metal malzemenin çeşitliliğindeki ve farklı çalışma koşullarındaki işlemlerinde Coulomb sürtünme katsayısını belirlemeye yönelik deneysel testler ile birlikte, basınç ve yağlama koşullarını araştırmışlar ve

Wilson tarafından önerilen testten başlayarak deneyleri geliştirmek için özel bir fikstür tasarlamışlardır. Bir sac levha numunesi ve pimi arasındaki ortalama sürtünme katsayısını tasarladıkları fikstürde incelemiştirler. Sonuç olarak temas basıncının ve kullanılan yağlayıcının etkisi ile sac şekillendirme işlemleri sırasında gerçekleşen sürtünmenin daha etkili olarak modellenmesini sağlamışlardır.

Lazarotto [10] vd. soğuk şekillendirme işlemlerinde yağlama yağları için seçim metodolojisi geliştirmişlerdir. Ekstrüzyon işlemini fiziksel ve mekanik koşullara göre sürtünme testlerini gerçekleştirmişlerdir. Piyasadaki dört yağlama yağını incelemişler ve ekstrüzyon işlemi ile ilgili olarak optimum yağlama yağını belirlemişlerdir. Şekillendirme işleminin analizinden sonra hem fiziksel hem de mekanik özellikleri için testler uygulamışlardır. Performansları karakterize etmek için önerdikleri kriterler sonucunda testlerin Coulomb'un sürtünme katsayısının yağlama yağının seçilmesini etkilediğini, yüzey oluşmadan önceki kayma uzunluğunun yağlama yağını geciktirdiğini ve pürüzlülüklerin katkı maddeleri içerenlerde daha iyi yağlama yağları özelliğini gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Rao [11] ve Xie metal şekillendirme işlemlerinde borik asidin farklı yağlayıcılar ile performansını karşılaştırmışlardır. Haddeleme dövme ve metal levha çekme işleminin gerçek koşullar altında hem demir hem de demir olmayan malzemeler için karşılaştırma yapmışlardır. Borik asidin, moleküler tabakalar arasında kolay kaymayı kolaylaştıran en düşük sürtünme sağladığını bulmuşlardır. Borik asidin benzer amaçlar için kullanılan diğer yağlayıcılar ile karşılaştırma yapmışlardır. Testlerde alüminyum, bakır, pirinç ve çeliğin deformasyonunda haddeleme, halka dövme ve metal levha gibi yöntemler ile sekiz yağlayıcı yağ kullanmışlardır. Yağlayıcıların haddeleme işlemlerinde çok önemli bir etken olduğunu bulmuşlar, pürüzlülük türüne bakılmaksızın yüzey pürüzlülük değerlerinin çelik için önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, borik asidin iş parçası yüzeylerinin kaygan bir şekilde kaymasını sac şekillendirme durumunda en iyi yağlama koşulunu sağladığını belirlemişlerdir.

Rao [12] ve Wei alüminyum alaşımlı levhaların oluşturulmasında yeni bir kuru yağlama maddesinin performansını incelemiştirler. Borik asit filmlerinin

kayganlığının, çok çeşitli şekillendirme hızlarında yaygın olarak kullanılan bazı piyasadaki katı ve sıvı yağlayıcılarla karşılaştırmışlardır. Borik kuru film yağlayıcıların alüminyum alaşımları oluşturmak için yağlama etkinliğini oda sıcaklığında derin çekme ve germe tipi işlemler kullanarak yağlama etkisini incelemişlerdir. Yağlamalar aynı çalışma koşulları altında piyasadaki yağlayıcılar ile testler yaparak karşılaştırmışlardır. Derin çekme testleri, üç alüminyum alaşımında borik asit filminin yağlayıcıların yaygın olarak kullanılan piyasadaki yağlayıcılar ile karşılaştırıldığında çeşitli şekillendirme hızlarından iyi olduğunu görmüşlerdir.

Handawi Saad Elmunafi [13] vd. sertleştirilmiş paslanmaz çeliğin işlenmesinde asgari yağ miktarıyla kesim yağı olarak hint yağı kullanımını incelemişlerdir. Kesme sıvıları türü için bitkisel yağlar, üstün yağlama ve yüksek basınç performansı nedeniyle MQL'de kullanılan yaygın kesme sıvılarıdır. Bu çalışma, kesme yağı olarak hint yağı kullanarak MQL'in performansını değerlendirmektedir. Yapılan çalışma sonucunda, tormalama işlemi sırasında az miktarda 50 ml / saat kayganlaştırıcı kullanılmasının, özellikle daha uzun takım ömrü açısından kuru kesimden daha iyi sonuçlar verebildiğini göstermiştir.

Awode [14] vd. bitkisel yağ bazlı metal işleme sıvılarının demir metallerinin işlenmesinde uygulanabilirliği ele alınmıştır. Metal işleme akışkanlarının avantajları ve kesme kuvveti, iş parçasının yüzey bitimi, takım aşınması ve kesim bölgesindeki sıcaklığa göre performansları incelenmiştir. İşleme uygulamalarında bitkisel yağ bazlı metal işleme sıvılarının kullanılması daha iyi performans elde edilmesini mümkün kılmıştır. Hindistan cevizi yağı, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinde kullanılan mineral yağ ile karşılaştırıldığında daha iyi performans sergilemiştir.

Satish [15] vd. kuru, su bazlı ve bitkisel yağ bazlı kesme sıvıları ile sert tormalamadaki yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek için matematiksel modelleme yoluyla deneysel bir araştırma yapmışlardır. Deneysel gözlemler kuru koşullarda daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri üretildiği, bununla birlikte daha yüksek kesme hızlarında hindistancevizi yağı kullanarak sert tormalama, yüzey pürüzlülüğü düşük değerleri göstermiştir. Hindistan cevizi yağının, daha yüksek besleme değerlerinde ve kesme derinliğinde yüzey pürüzlülüğünü azaltmada daha etkili olduğu bulunmuştur.

Durak [16], borik asitin katkı maddesi olarak yağlama yağında kullanılması ile ilgili çalışma yapmıştır. Çalışmasında, oda sıcaklığında sabit yüklü radyal kaymalı yataklarda meydana gelen sürtünme katsayısına hacimce % 2 konsantrasyon oranında borik asit (H_3BO_3) ilaveli yağ karışımının etkisinin araştırılmasını amaçlamıştır. Borik asit ilavesiyle pratikte oldukça yaygın kullanılan radyal kaymalı yataklardaki sürtünme ve diğer tribolojik özellikleri iyileştirmenin mümkün olabileceğini ve çalışmada sürtünme katsayılarında oldukça önemli mertebede düşüşler meydana geldiğini göstermiştir.

Shashidhara [17] ve Jayaram, bitkisel yağların potansiyel metal işleme sıvıları olarak uygulanmasını incelemişlerdir. Bu yağların çeşitli malzemeler ve işleme koşulları için emülsiyonlar ve düz yağlar olarak performansını bildirmişlerdir. Çalışma, özellikle metal kesme ve metal şekillendirme başta olmak üzere imalat sektöründe bitkisel yağların kesme sıvısı olarak kullanımını üzerinedir. Bununla birlikte, soya fasulyesi, ayçiçeği ve kolza, potansiyel bir kesme sıvısı olarak ilgili özelliklere sahip gibi görünmektedir. İnceleme, bitkisel yağın metal işleme sıvısı olarak arzu edilen özelliklerine dayanan ve diğer çeşitli kesme ve biçimlendirme işlemleri için bu yağların performansına dayanarak yapılmıştır. Bulunan çalışmaların çoğu, soya fasulyesi, ayçiçeği ve kolza yağı üzerine yapıldı ve bu bitkisel yağların metal işleme sıvıları olarak kullanmak için geniş bir alana sahip olduğunu bulmuşlardır.

Şen [2] vd. yüksek mukavemetli HC300LA (Erdemir 7128) ve HC420LA (Erdemir 7140) sac malzemelerinin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesi sırasında kullanılan yağlayıcı türünün, çekme oranına (DR) ve şekillendirme kuvvetine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada grafit sprej ve grafit sprej ile teflon (PTFE) bileşiminin birlikte kullanıldığı iki tür yağlayıcı kullanmışlardır. Yağlayıcı türü olarak grafit sprej ve teflon bileşimi kullanıldığında sürtünme kuvvetinin grafit sprej kullanıma oranla azaldığı ve bunun sonucu olarak da şekillendirme kuvvetinin de azaldığı sonucunu gözlemlemişlerdir.

2.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, mineral ve sentetik yağların standart mekanik test metotlarında karşılaştırmalarının yapıldığını, bu karşılaştırmaların yağlayıcıların sürtünme kuvvetlerine ve katsayılarına olan etkilerinin belirlenmesi veya yeni bir tür yağlayıcının performans testlerinin yapılması üzerine olduğu görülmektedir. Ayrıca, yağlayıcılar ile ilgili çalışmalar ağırlık olarak talaşlı imalat alanında yapılan çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda, endüstride, gerçek üretim ve çalışma koşullarında yağlayıcıların performansı, metalik malzemelerin soğuk şekillendirilmesi esnasındaki inceltme ve birim şekil değişimlerine olan etkisi, EP katkılı yağlayıcıların birbirleriyle olan karşılaştırması alanın sınırlı çalışmalar bulunmaktadır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. MALZEME

Bu çalışmada, sürekli sıcak haddelenmiş, soğuk şekil vermeye ve derin çekmeye uygun, 2,5 mm kalınlığında, EN 10111:2008 standart numaralı (ERDEMİR Kalite No 6224) çelik malzeme kullanılmıştır [18]. EN 10111:2008 standart numaralı (ERDEMİR Kalite No 6224) çelik malzeme ile amortisör tabla komponentinin üretimi TEKNOROT bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Amortisör tabla komponenti TEKNOROT içerisinde aralıklı olarak seri üretimi yapılan otomotiv yan sanayi ürünüdür. Çizelge 3.1’de 6224 ERDEMİR kalite numaralı malzemeye ait kimyasal özellikler, Çizelge 3.2’de ise ortalama mekanik özellikleri verilmiştir. Kullanılan yassı çelik sac malzemeler ERDEMİR firmasından temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. EN 10111:2008 standart numaralı (ERDEMİR Kalite No 6224) çelik malzeme kimyasal bileşim (%) [18].

| Standart | Kalite | | ERDEMİR Kalite No | |
|----------------------|---------|----------|-------------------|---------|
| EN 10111 | DD13 | | 6224 | |
| Deoksidasyon Yöntemi | C maks. | Mn maks. | P maks. | S maks. |
| Tam Durgun Çelik | 0,07 | 0,35 | 0,025 | 0,025 |

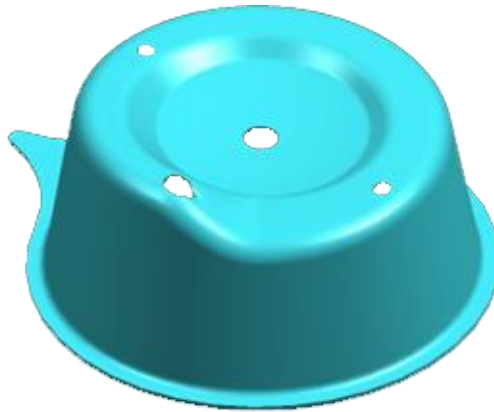
Çizelge 3.2. EN 10111:2008 standart numaralı (ERDEMİR Kalite No 6224) çelik malzeme mekanik özellikleri [18].

| Standart | | Kalite | ERDEMİR Kalite No | | |
|-------------------------|---------|-------------------------|-------------------|---------------|----------------|
| EN 10111 | | DD13 | 6224 | | |
| Re N/mm ² | | Rm N/mm ² | A (%) | | |
| 1,5≤d<2 | 2≤d≤11 | maks. | 1,5≤d<2 min. | 2≤d<3 min. | 3≤d≤11 min. |
| 170-330 | 170-310 | 400 | 28 | 29 | 33 |

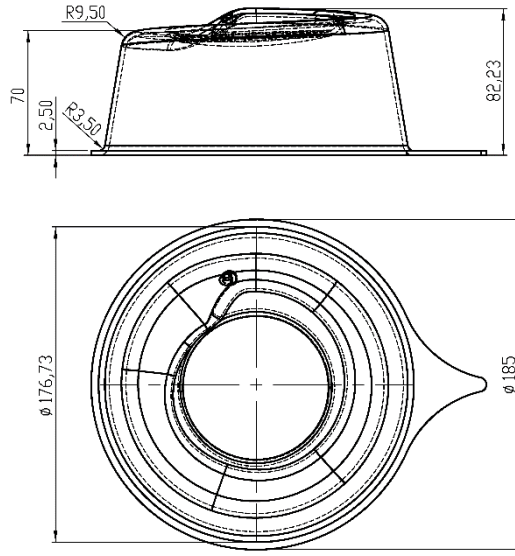
3.2. METOT

3.2.1. Amortisör Tabla

Şekil 3.1’de şekillendirme adımları tamamlanmış, nihai ürün olarak amortisör tabla komponentinin katı modeli, Şekil 3.2’de kaba ölçüleri gösterilmiştir. Amortisör tabla komponenti, üç defa derin çekme, delme ve kenar kesme operasyonlarını içeren sıralı ve karmaşık işlem adımları ile üretilmektedir. Çalışma kapsamında, şekillendirme adımlarından sadece birinci ve ikinci derin çekme operasyonları incelenmiştir. Nihai ürüne ulaşmak için yapılan diğer operasyonlar çalışma kapsamında göz ardı edilmiştir.



Şekil 3.1. Amortisör tabla komponenti nihai ürün katı modeli.



Şekil 3.2. Amortisör tabla komponenti nihai ürün kaba ölçüleri.

3.2.2. Şekillendirme Ekipmanları

3.2.2.1. Pres

Amortisör tabla komponenti ve salıncak komponentinin şekillendirme işlemlerinde Yücel Makina üretimi, maksimum 160 ton presleme kuvvetine sahip hidrolik pres kullanılmıştır. Şekil 3.3’de kullanılan pres gösterilmiş, Çizelge 3.3’de kullanılan prese ait teknik özellikler verilmiştir. Şekillendirme deneylerinde hidrolik preste zımbanın basıncı 120 bar ve pot baskı kuvveti 50 bar olarak sabit tutularak kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Hidrolik pres.

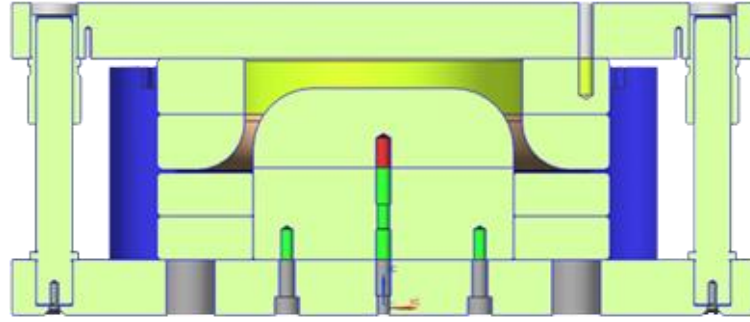
Çizelge 3.3. Hidrolik pres teknik özellikleri.

| Özellik | Birim | Değer |
|---|-------|--------------------|
| Pres Kodu | - | HDÇP 160/80 |
| Presleme Kuvveti | Ton | 160 |
| İşletme Basıncı | kg/cm | 250 |
| Motor Gücü | HP | 25+5,5 |
| Faydalı Kalıp Alanı | mm | 800x800 |
| Koç Plaka Hareketi | mm | 600 |
| Maksimum Açıklık | mm | 900 |
| Maksimum Serbest İniş Hızı (Ayarlanabilir) | mm/sn | 200 |
| Maksimum Presleme Hızı (Ayarlanabilir) | mm/sn | 17 |
| Geri Dönüş Hızı | mm/sn | 250 |
| Pot Piston Gücü | Ton | 70 |
| Pot Plaka Hareketi | Ton | 250 |
| Pot Pimleme Alanı | mm | 720x720 |
| Makina Boyutları | mm | 900x2200 h=3550 |
| Yaklaşık Ağırlık | kg | 6000 |

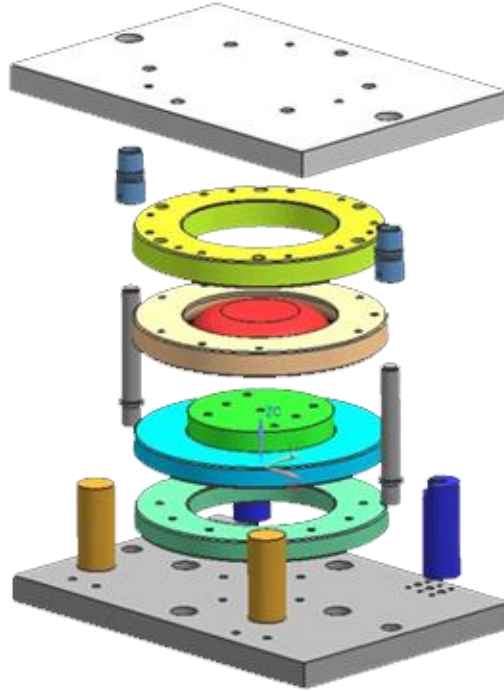
3.2.2.2. Şekillendirme Kalıpları

Amortisör Tabla Komponenti

Amortisör tabla komponenti şekillendirme işleminde, derin çekme işlemi iki operasyonda kapalı kalıp altında gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.4’de amortisör tabla komponenti üretiminde 1. operasyon çekme işlemi için kullanılan kalıbın tam kesit ve patlatılmış görünüşü, Şekil 3.5’de 2. operasyon çekme işlemi için kullanılan kalıbın tam kesiti ve patlatılmış görünüşünün katı modelleri gösterilmiştir.

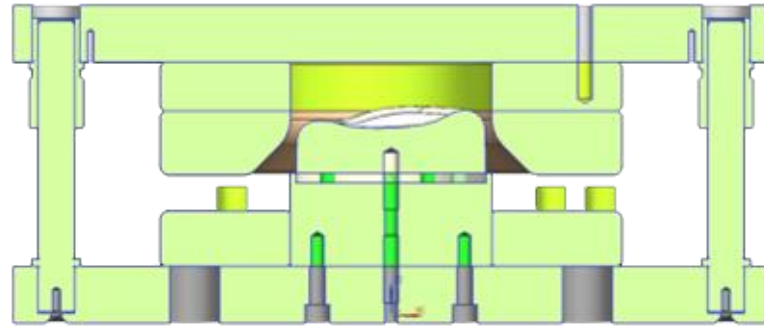


(a)

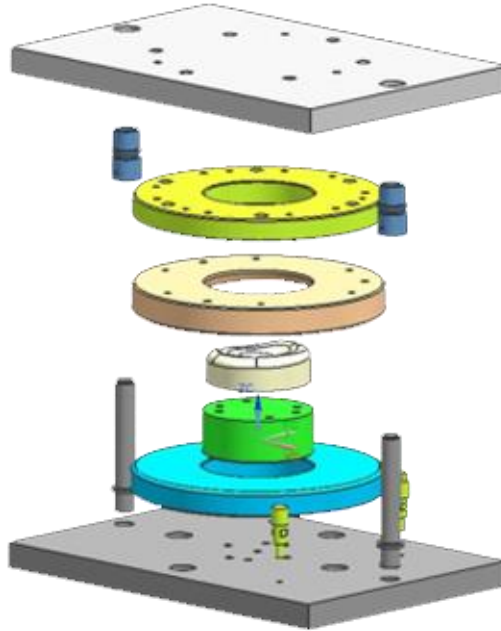


(b)

Şekil 3.4. Amortisör tabla komponenti 1. operasyon derin çekme kalıbı katı modeli, (a) tam kesit, (b) patlatılmış görünüşü.



(a)



(b)

Şekil 3.5. Amortisör tabla komponenti 2. Operasyon derin çekme kalıbı katı modeli, (a) tam kesit, (b) patlatılmış görünüşü.

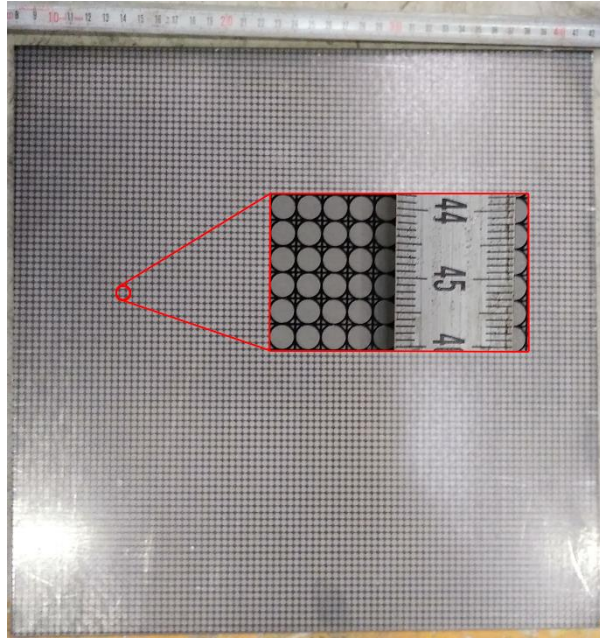
Şekil 3.4'dan görüldüğü üzere, 1. Operasyon sonunda amortisör tabla komponenti tam silindirik form elde edilerek üretilmekte olup, çekme derinliği her noktada eşittir. Diğer yandan, Şekil 3.5'den görüldüğü üzere, 2. Operasyon sonunda, parçanın geometrisi itibari ile yan duvarlar tam silindirik form elde edilirken, çekme derinliği bütün noktalar eşit değildir.

3.2.3. Numunelerin Hazırlanması

Amörtisör tabla komponentinin şekillendirilmesi öncesinde başlangıç sacları hazırlanmıştır. Numuneler giyotin makas ile şablon kalıplarında kesilerek elde

edilmiştir. Amörtisör tabla komponenti için, 350x350 mm ebatlarında kare numuneler hazırlanmıştır.

Şekillendirme için hazırlanan numuneler, kesim işlemi sonrasında, birim şekil değişimlerinin ölçülmesi için gridleme işlemine tabi tutulmuştur. Gridleme işleminde, yassı sac malzemeler üzerine çapı 4 mm olan çemberler serigrafı yöntemi kullanılarak çizilmiştir. Şekil 3.6'da amörtisör tabla komponenti için girdlenmiş numune örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Amörtisör tabla komponenti girdlenmiş numune.

3.2.4. Yağlayıcılar

Amörtisör tabla komponenti şekillendirme işlemlerinde, sac malzeme-kalıp ve sac malzeme-zımba arasındaki sürtünmeyi azaltmak amacıyla 5 farklı yağlayıcı ortam kullanılmıştır. Kullanılan yağlayıcı ortamlar sırasıyla;

- **İpek Naylon:** Şeffaf bloklu ipek naylon, hem sac-kalıp hem de sac-zımba arasında yerleştirilmiştir. Kullanılan ipek naylon şeffaf tiptir. Şekil 3.7'de örnek olarak kullanılan ipek naylon gösterilmiştir.

- **Belgin Yağı:** Metallerin, kalıplama, formlama, derin çekme, şekil verme ve sıvama uygulamalarında kullanıma uygun, EP katkıları ve korozyon önleyici katıklar, alkanes, C14-17 ve chloro ihtiva eden, Belgin marka Drawtex KC-70 serisi yağlayıcı kullanılmıştır [19]. Çizelge 3.4’da kullanılan Belgin marka Drawtex KC-70 serisi yağlayıcıya ait teknik özellikler verilmiştir.
- **Klüber Yağı:** Klüber marka, PRESSPATE SEM 95/800 T yağlayıcı endüstride, sac ve boru parçaların soğuk şekillendirmesi için yüksek performanslı yağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Yüksek şekil değişimlerinin elde edildiği bükme ve derin çekme işlemlerinde, sürtünme ve aşınmayı azaltan, fire oranını düşürerek, üretim maliyetlerini de düşüren, kalıp ömrünü uzatan, su bazlı sistemler kullanılarak kolaylıkla temizlenebilen bir yağlayıcıdır [20]. Çizelge 3.5’de Klüber PRESSPATE SEM 95/800 T yağlayıcıya ait teknik özellikler verilmiştir.
- **Hint Yağı:** Hint yağı, hint fasulyesi tohumlarından preslenmiş bitkisel bir yağdır. Hint yağı birçok endüstriyel uygulamaya sahip olmakla birlikte, tıbbi olarak müshil ve eksipiyen olarak kullanılmaktadır. Soluk sarı veya neredeyse renksiz, şeffaf viskoz sıvı olarak görünür [21]. Çizelge 3.6’da kullanılan Hint yağına ait ortalama teknik özellikler verilmiştir.
- **Lityum Yağı:** Mineral esaslı baz yağ ve yüksek basınç katkıları ile üretilmiş, Lityum esaslı, EP katkılı, aşınma, paslanma ve su ile yıkanmaya dayanımı yüksek, uzun ömürlü, genel amaçlı endüstriyel gres yağı olarak şekillendirme deneylerinde Greson Lit EP-3 kullanılmıştır. Yüksek devir ve yükte çalışan düz ve rulmanlı yataklar, her tür kayma yüzeyi, dikey şaft uygulamaları, elektrik motorları, otomotiv ekipmanlarının yağlanması gibi ağır hizmet uygulamaları dahil, çok çeşitli tipte endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir [22]. Çizelge 3.7’de Greson Lit EP-3 marka yağın teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.7. İpek nylon örneği.

Çizelge 3.4. Belgin Drawtex KC-70 teknik özellikleri [23].

| Kinematik Viskozite [40°C, cSt] | Parlama Noktası [°C] | Renk |
|---|--------------------------------|-----------------------|
| 85 | > 220 | Kahverengi, Berrak |

Çizelge 3.5. Klüber PRESSPATE SEM 95/800 T teknik özellikleri [20].

| Yoğunluk 20°C [kg/mm ³] | Kinematik Viskozite 40°C [mm ² /s] | Parlama Noktası [°C] | Yapı | Renk |
|--|--|--------------------------------|-------------|-------------|
| 9,5x10 ⁻⁷ | 100 | 240 | Pütürlü | Bej |

Çizelge 3.6. Hint yağı teknik özellikleri [21].

| Yoğunluk [kg/mm ³] | Kaynama Noktası [°C at 760mmHg] | Ergime Noktası [°C] | Donma Noktası [°C] | Yüzey Gerilimi [dynes/cm at 20°C] | Renk |
|-----------------------------------|--|---------------------------|--------------------------|--|--------|
| 9,5x10 ⁻⁷ | 312,77 | -12,22 | -23,33 | 39 | Şeffaf |

Çizelge 3.7. Greson Lit EP-3 yağ teknik özellikleri [22].

| Damlama Noktası [°C] | Baz Yağ Viskozitesi [40°C, cSt] | Kalınlaştırıcı Türü | NLGI Sınıfı | Renk | Kullanım Sıcaklığı [°C] |
|----------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------|--------------|-------------------------------|
| 195 | 150 | Lityum | 3 | Koyu Sarı | -20 ile 130 |

3.2.5. Ölçüm Enstrümanları

3.2.5.1. Dijital Yükseklik Mihengiri

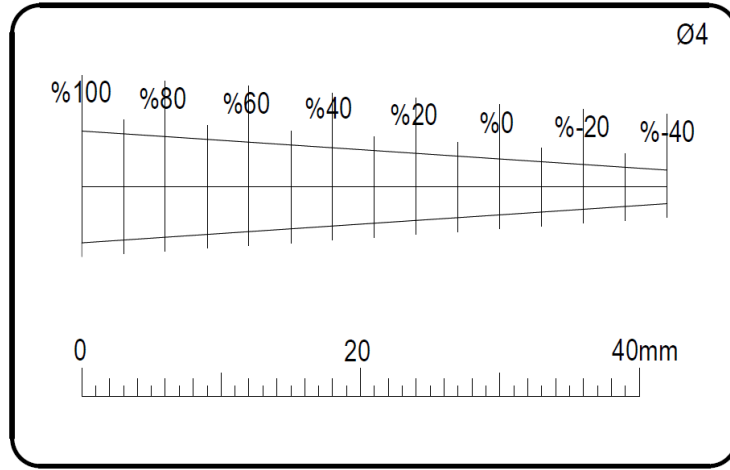
Şekillendirilen numunelerin kap yüksekliklerini ölçmek için ±0,01 mm hassasiyetli Mitutoyo 192 serisi dijital yükseklik mihengiri kullanılmıştır. Şekil 3.8’de kullanılan dijital yükseklik mihengiri gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Mitutoyo dijital yükseklik mihengiri.

3.2.5.2. Mylar Tape

Mylar tape, sac şekillendirme uygulamalarında kullanılan en eski manuel ölçüm metotlarından biridir. Mylar tape şeffaf bir ölçek olmakla birlikte, dairesel gridlenmiş numunelerin, şekillendirme sonrasında elips şeklini almakta ve Mylar tape çizgileri bu elipslere hizalanmaktadır. Bu sayede, sac malzeme üzerinden doğrudan şekil değişiminin kolaylıkla okunmasının en büyük avantajıdır. Diğer yandan, ölçüm hassasiyetinin yaklaşık $\pm\%5$ olması, ölçüm yapan kişinin bireysel yeteneği ve yavaş olması dezavantajları arasında sayılabilir [24]. Şekil 3.9’da kullanılan ölçek şeması, Şekil 3.10’da kullanılan Mylar Tape gösterilmiştir. Numuneler üzerindeki gridlerin siyah renk olması ve sac malzemelerin koyu renkte olması nedeniyle, daha kolay ve yüksek hassasiyetli ölçüm okuması yapabilmek için Mylar Tape kırmızı renkte yazdırılmıştır.



Şekil 3.9. Mylar Tape ölçek şeması.



Şekil 3.10. Kullanılan Mylar Tape.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

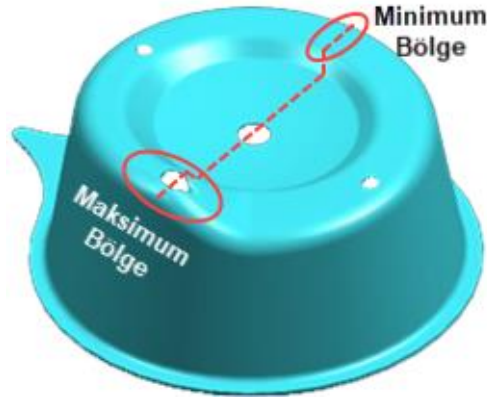
4.1. AMORTİSÖR TABLA KOMPONENTİ

4.1.1. Kap Yüksekliği

Amortisör tabla komponentinin üretimi için İpek Nylon, Belgin Yağ, Klüber Yağ, Hint Yağı, Lityum Yağı ve yağsız olarak şekillendirme deneyleri, her yağlayıcı ve yağsız şekillendirme deneyleri için 4 tekrar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Şekillendirme deneylerinde kullanılan yağlayıcılar zımba-sac ve sac-kalıp arasına uygulanmıştır. Şekillendirme deneylerinde hidrolik preste zımbanın basıncı 120 bar ve pot baskı kuvveti 50 bar olarak sabit tutularak kullanılmıştır. Şekillendirme deneyleri sonrasında, üretilen parçalar üzerinden maksimum kap yüksekliği değerleri ölçülmüştür. Maksimum kap yükseklik değerleri, 1. derin çekme operasyonu için TEKNOROT içerisinde üretim esnasında şerit metre kullanılarak kap yükseklikleri ölçülmüş, 2. derin çekme operasyonu sonunda elde edilen kap yükseklik değerleri 0,01 mm hassasiyetli dijital mihengir ile belirlenmiştir.

1. derin çekme operasyonu sonunda amortisör komponenti tam silindirik kap formuna kavuşurken, çekme derinliği her noktada aynı olduğundan kap yüksekliği rastgele bir referans noktasından alınmıştır. Ancak, 2. derin çekme operasyonu sonunda yan duvarlar tam silindirik form kazanırken, parçanın geometrisi itibari ile çekme derinliği her noktada eşit değildir. Bu sebeple kap yüksekliği ölçülürken Şekil 4.1'de gösterilen ve Şekil 4.15'de verilen X-X eksenini üzerinde maksimum yüksekliğin elde edildiği bölgeden maksimum yükseklik, minimum yüksekliğin elde edildiği bölgeden ise minimum yükseklik değeri ölçülmüştür. Şekil 4.2'den Şekil 4.7'ye kadar 1. derin çekme operasyonları için kuru, İpek Nylon, Lityum Yağı, Belgin Yağı, Hint Yağı ve Klüber Yağı kullanılarak yapılan şekillendirme deneylerine ait yükseklik ölçümleri

verilmiştir. Şekil 4.8'den Şekil 4.13'e kadar 2. derin çekme operasyonları için kuru, İpek Naylon, Lityum Yağı, Belgin Yağı, Hint Yağı ve Klüber Yağı kullanılarak yapılan şekillendirme deneylerine ait maksimum ve minimum yükseklik ölçümleri verilmiştir. Çizelge 4.1'de kuru, İpek Naylon, Lityum Yağ, Belgin Yağ, Hint Yağı ve Klüber Yağ yağlayıcılar kullanılarak elde edilen 1. ve 2. derin çekme operasyonları için kap yükseklik değerleri, Çizelge 4.2'te kuru, İpek Naylon, Lityum Yağı, Belgin Yağı, Hint Yağı ve Klüber Yağı yağlayıcılar kullanılarak elde edilen 1. ve 2. derin çekme operasyonları için ortalama kap yükseklikleri verilmiştir. Şekil 4.14'te 2. derin çekme operasyonu sonunda hesaplanan ortalama maksimum kap yüksekliklerinin yağlayıcı türüne göre karşılaştırılması verilmiştir.



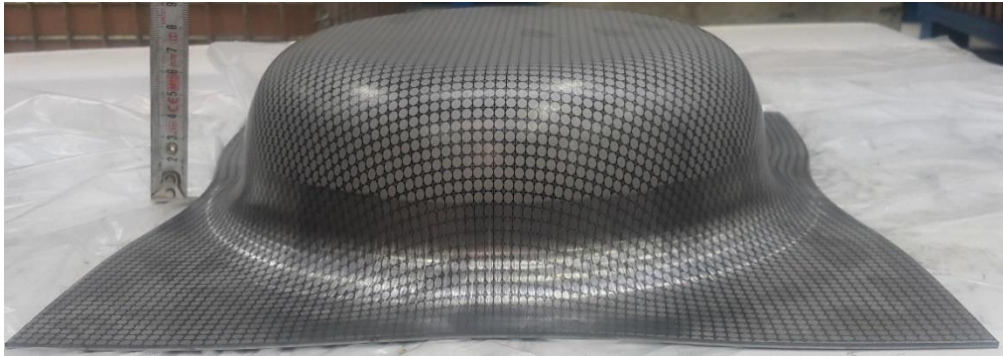
Şekil 4.1. Kap yüksekliği ölçüm bölgeleri.



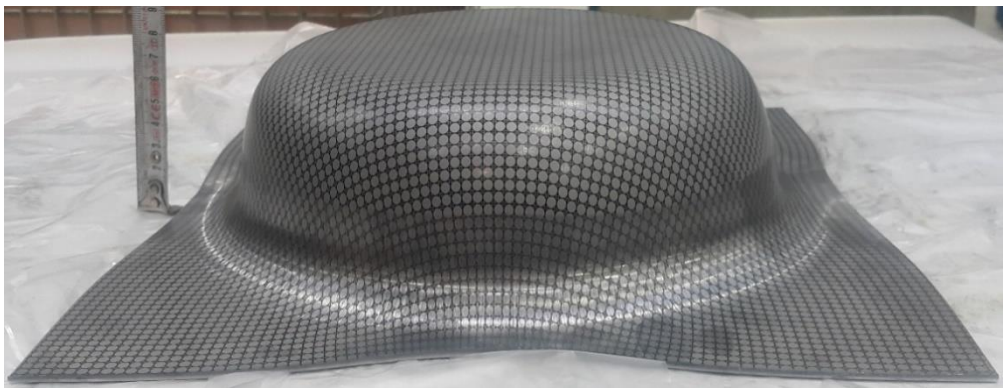
(a)



(b)

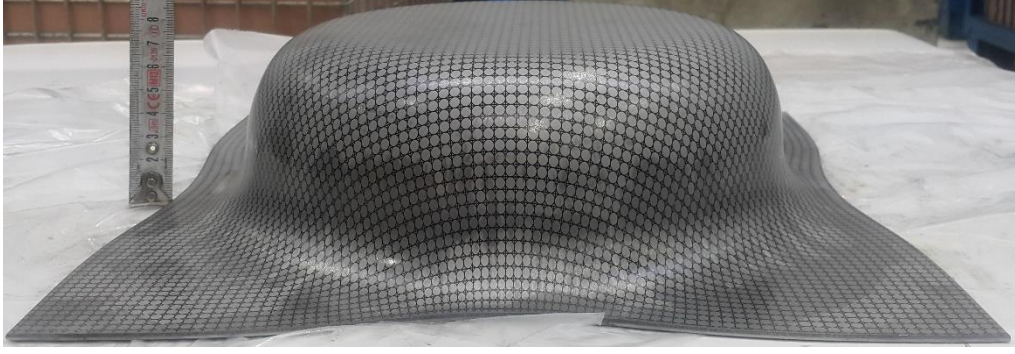


(c)

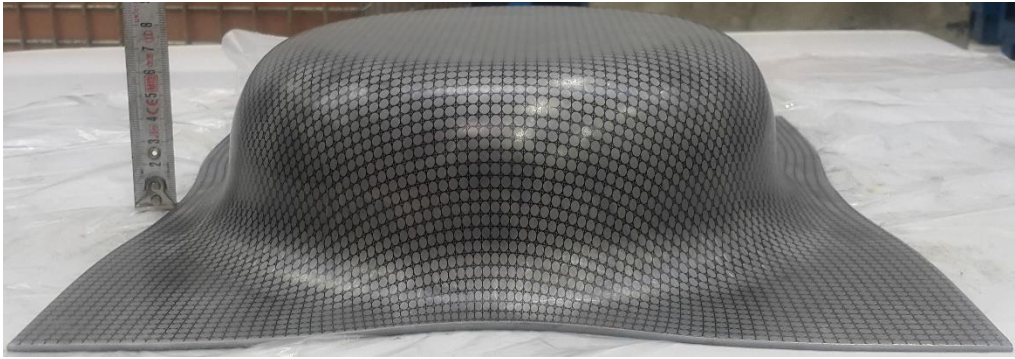


(d)

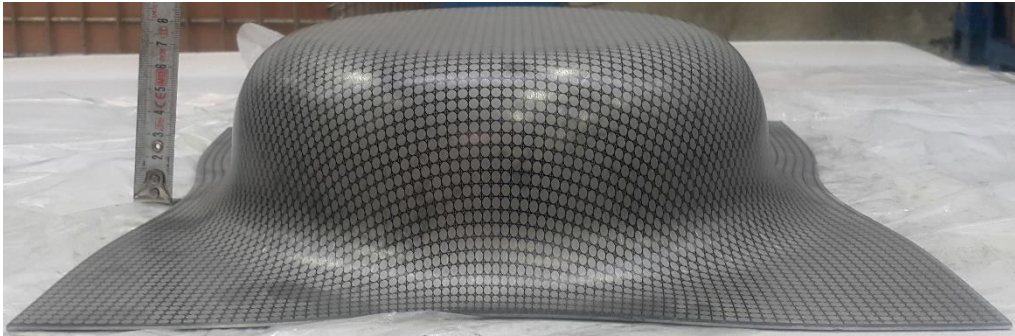
Şekil 4.2. 1.derin çekme operasyonu kuru şekillendirme örnekleri, a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.



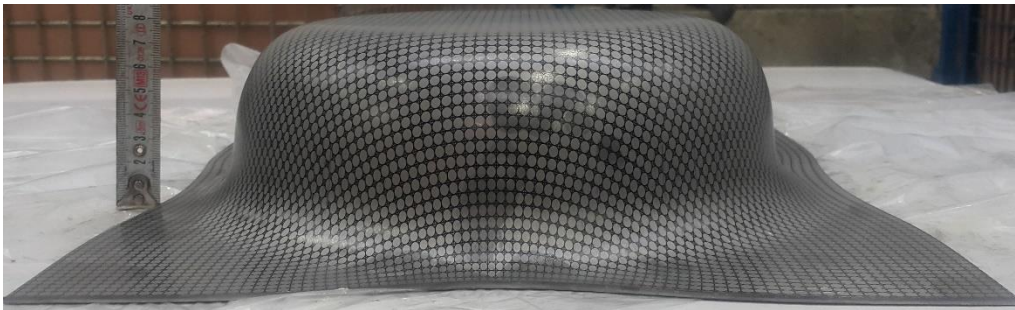
(a)



(b)

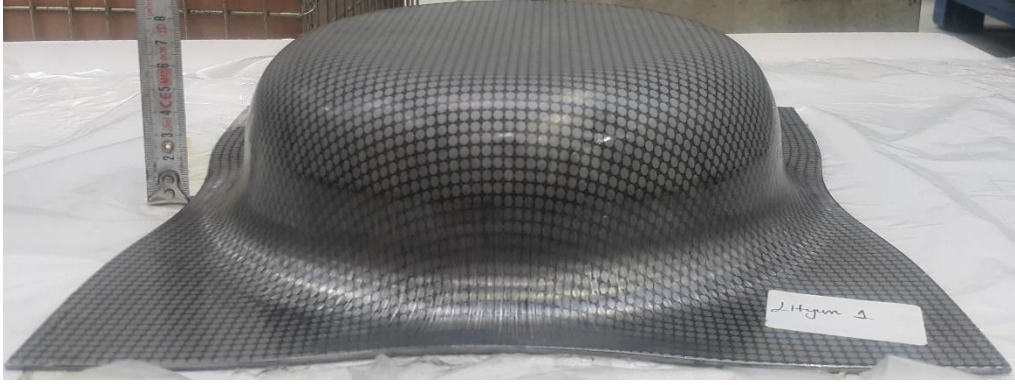


(c)

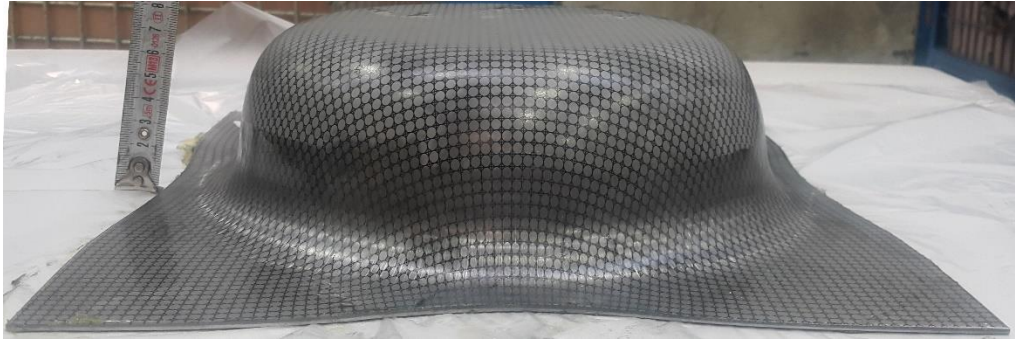


(d)

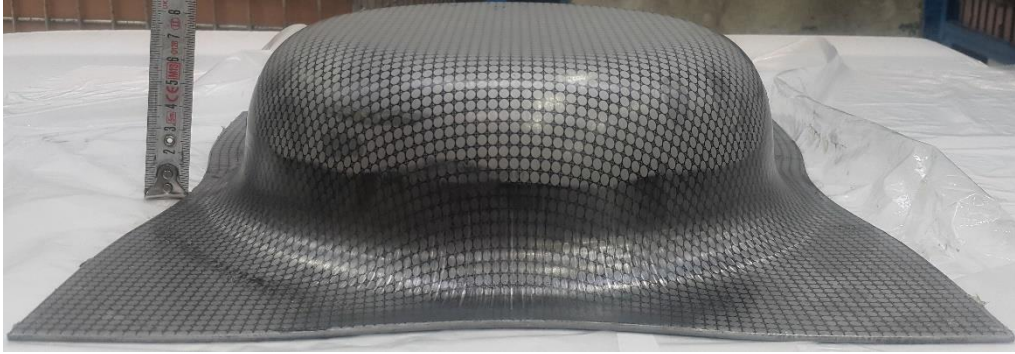
Şekil 4.3. 1.derin çekme operasyonu İpek Naylon kullanılan şekillendirme örnekleri, a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.



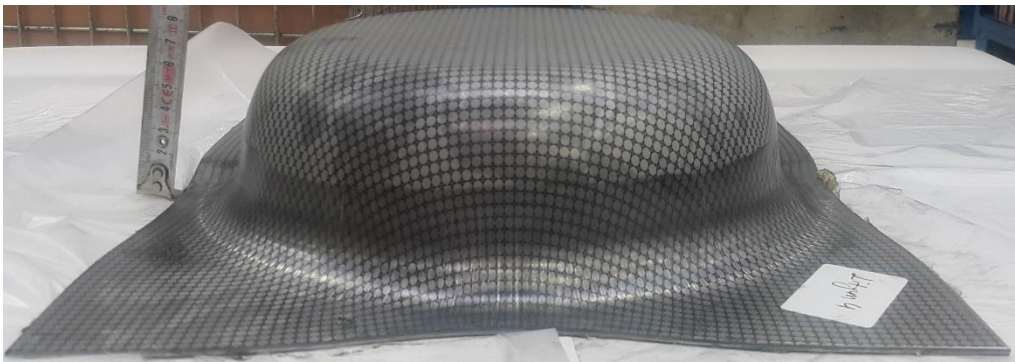
(a)



(b)

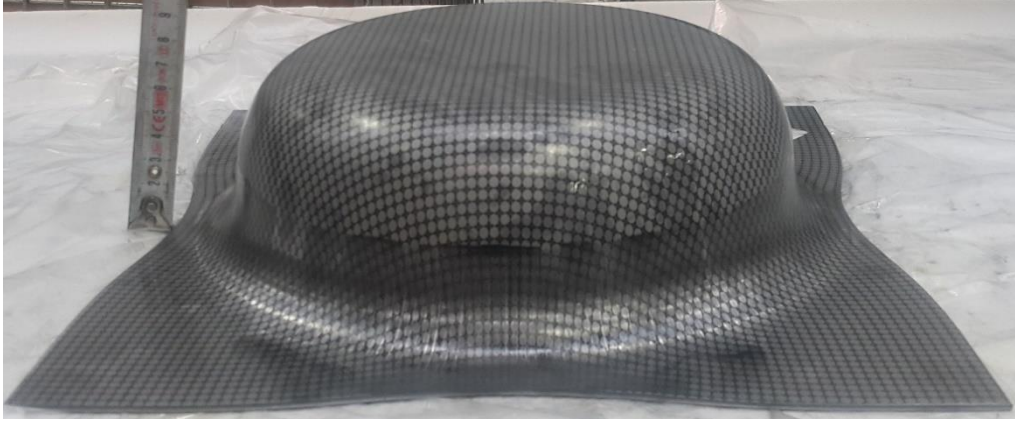


(c)

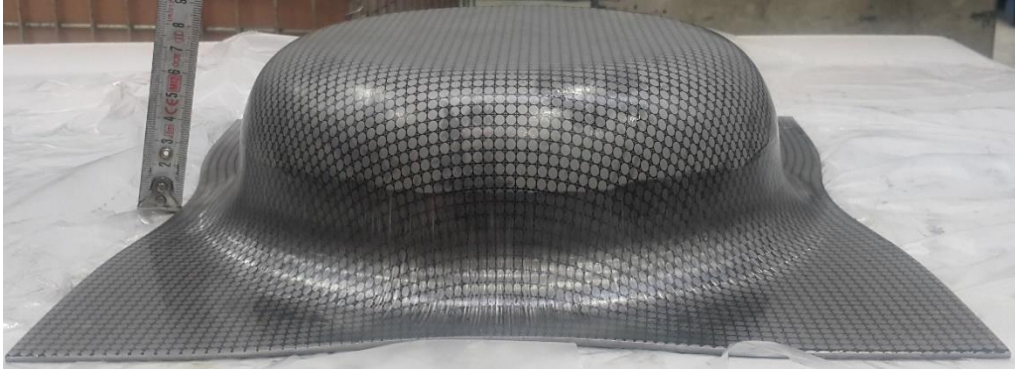


(d)

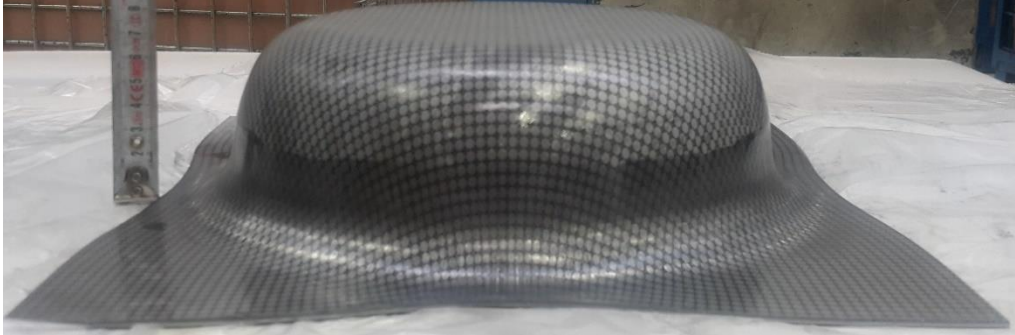
Şekil 4.4. 1.derin çekme operasyonu Lityum Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri,
a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.



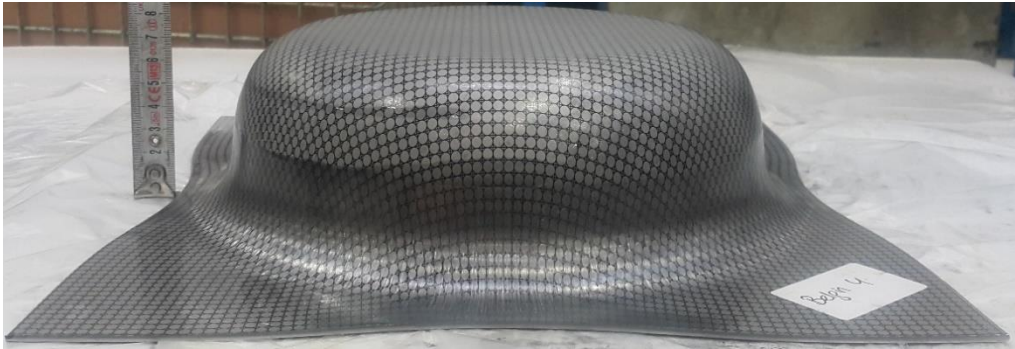
(a)



(b)

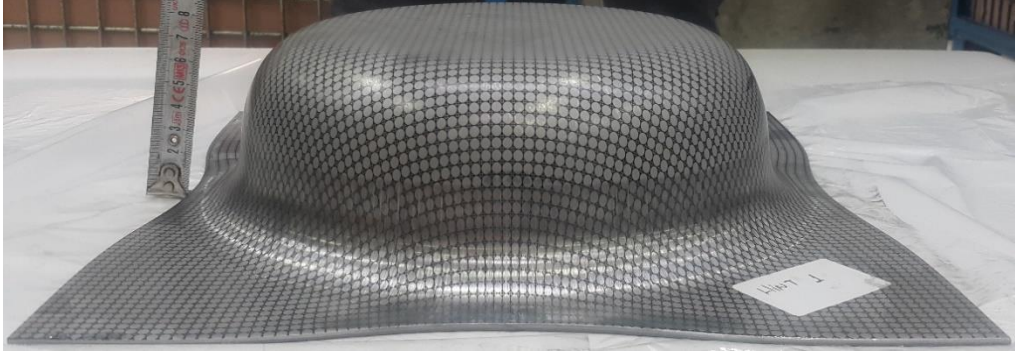


(c)

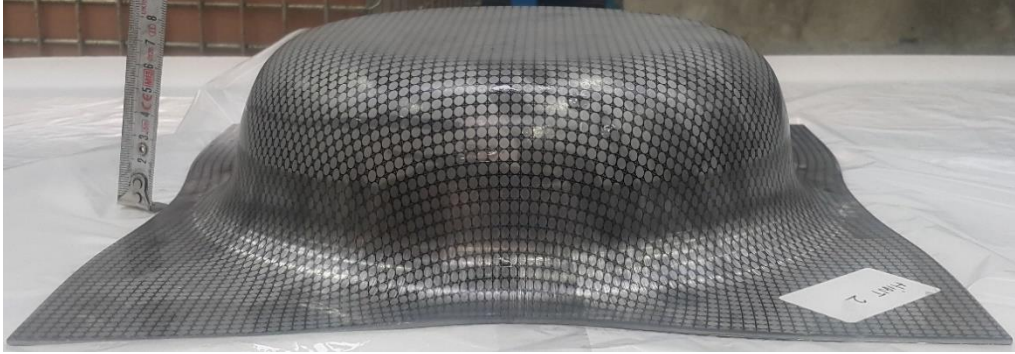


(d)

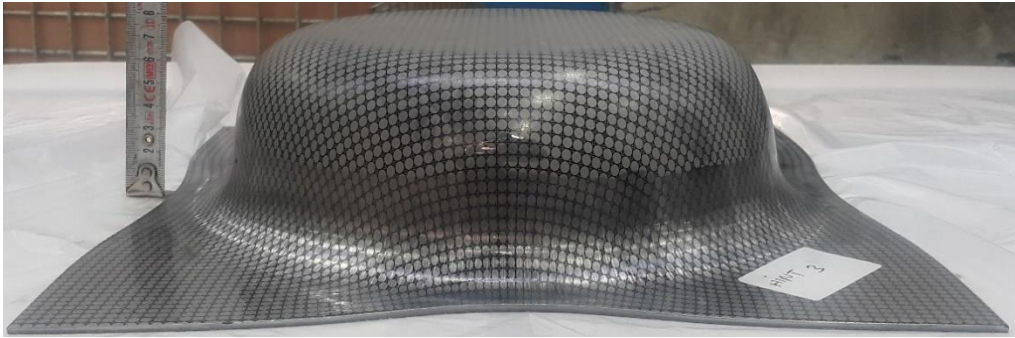
Şekil 4.5. 1.derin çekme operasyonu Belgin Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri,
a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.



(a)



(b)

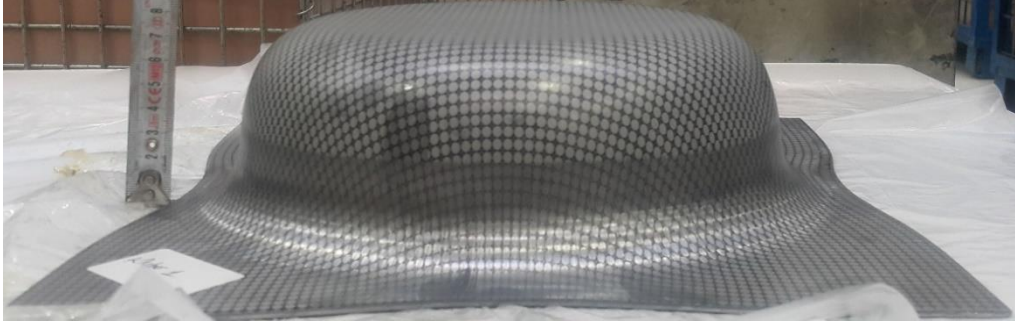


(c)

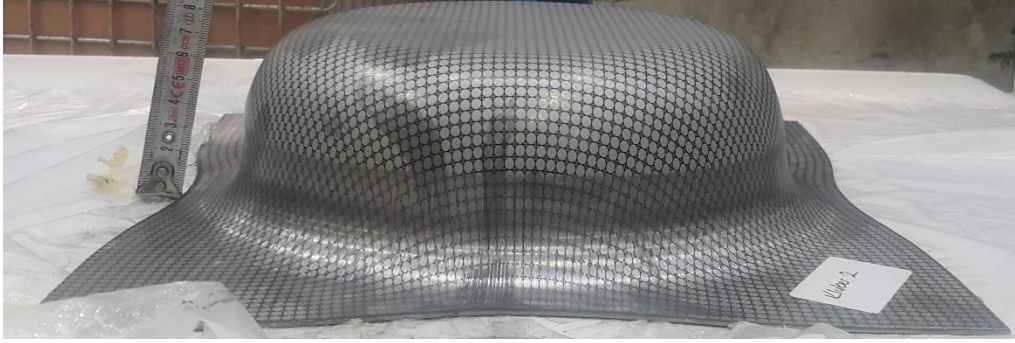


(d)

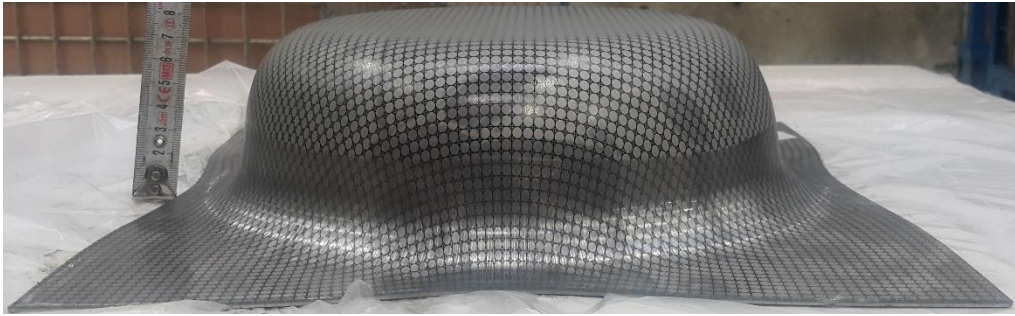
Şekil 4.6. 1.derin çekme operasyonu Hint Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri, a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.



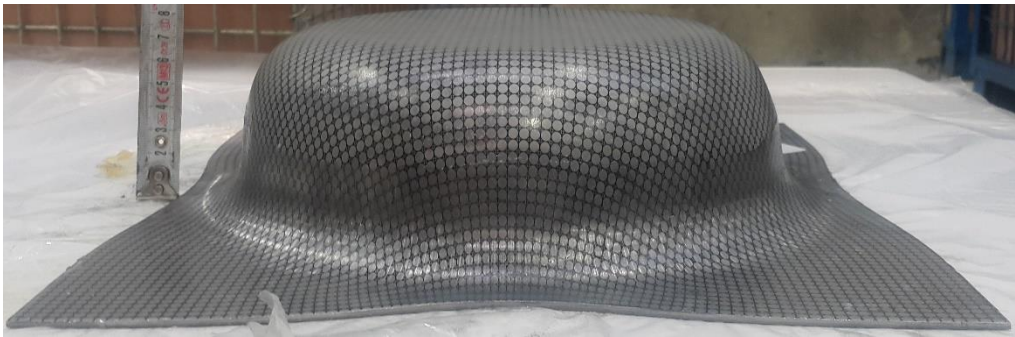
(a)



(b)

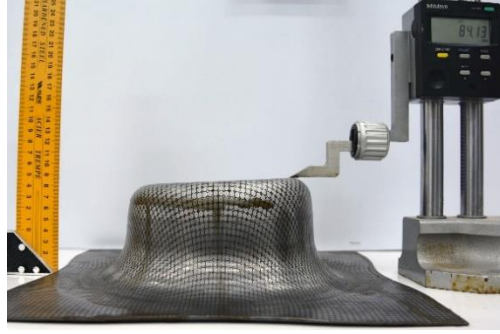


(c)

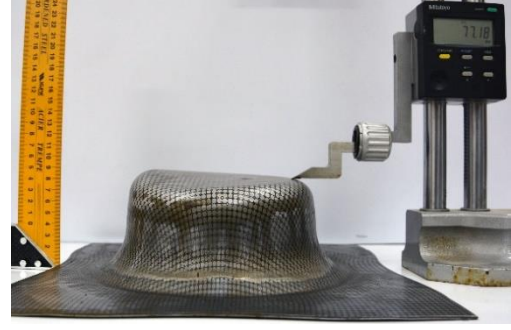


(d)

Şekil 4.7. 1.derin çekme operasyonu Klüber Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri,
a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.

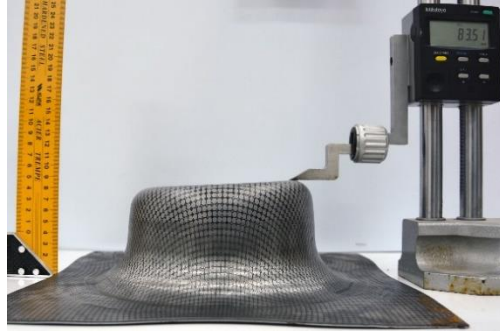


Maksimum Yükseklik

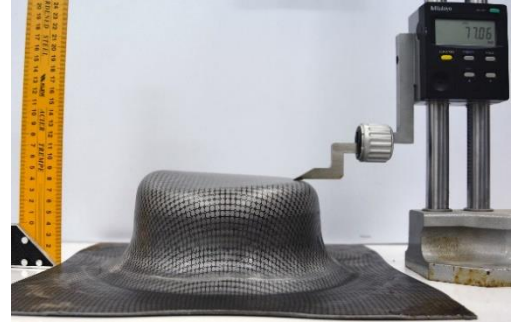


Minimum Yükseklik

(a)

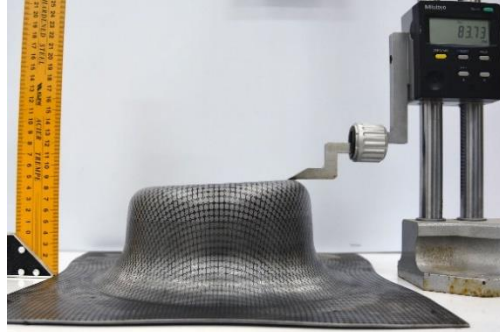


Maksimum Yükseklik

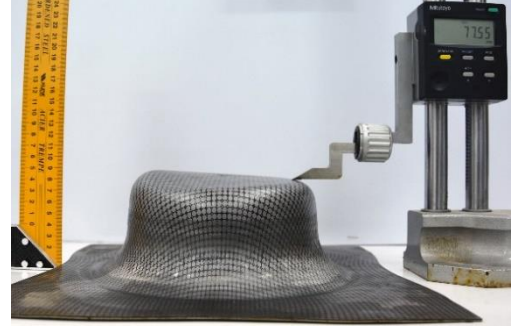


Minimum Yükseklik

(b)

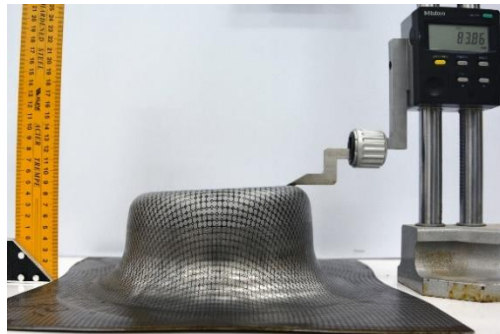


Maksimum Yükseklik

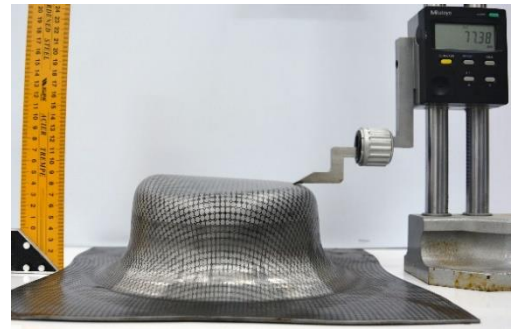


Minimum Yükseklik

(c)



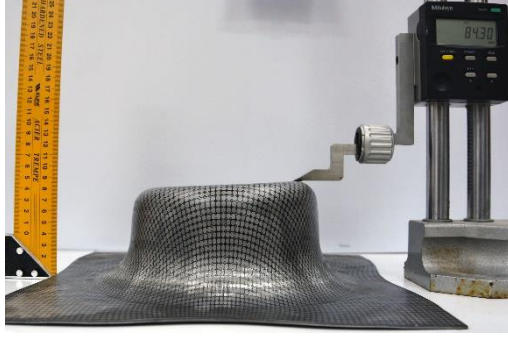
Maksimum Yükseklik



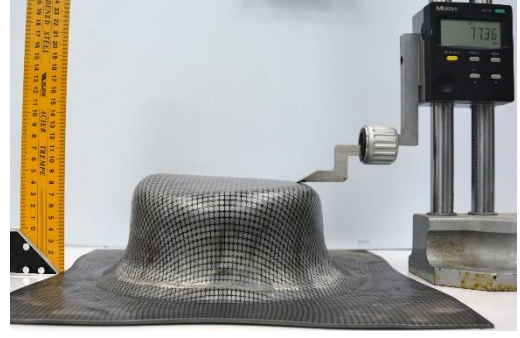
Minimum Yükseklik

(d)

Şekil 4.8. 2.derin çekme operasyonu kuru şekillendirme örnekleri, a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.

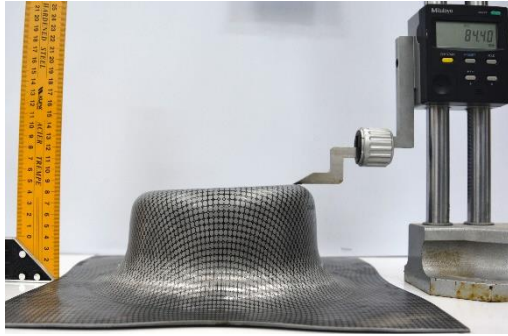


Maksimum Yükseklik

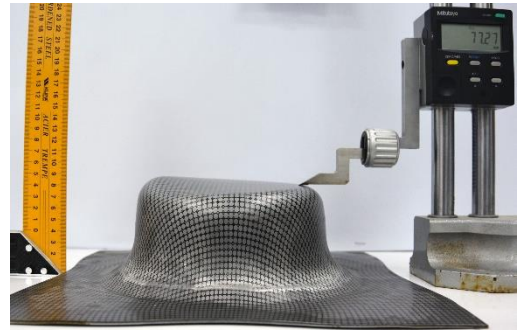


Minimum Yükseklik

(a)

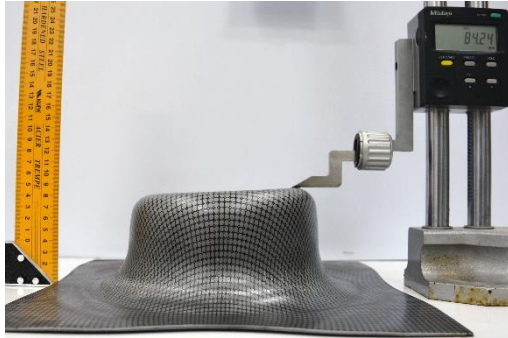


Maksimum Yükseklik

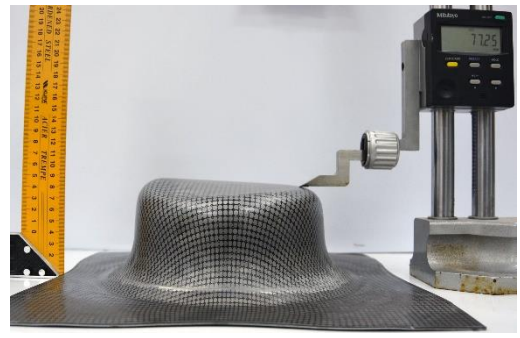


Minimum Yükseklik

(b)

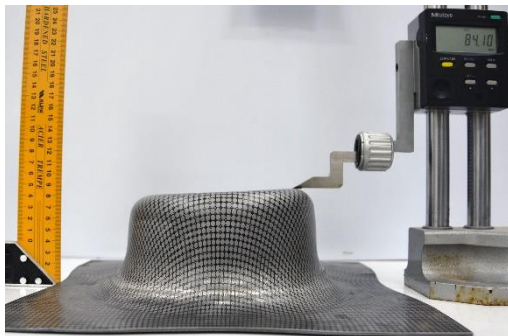


Maksimum Yükseklik

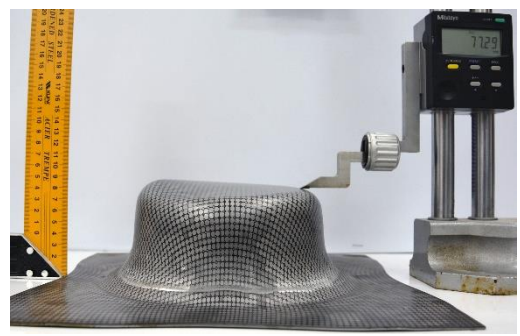


Minimum Yükseklik

(c)



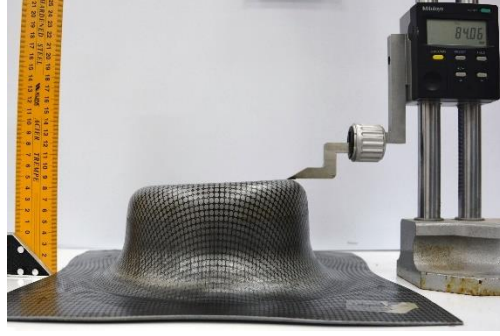
Maksimum Yükseklik



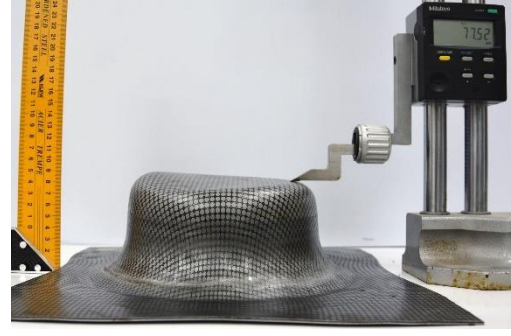
Minimum Yükseklik

(d)

Şekil 4.9. 2.derin çekme operasyonu İpek Naylon kullanılan şekillendirme örnekleri, a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.



Maksimum Yükseklik

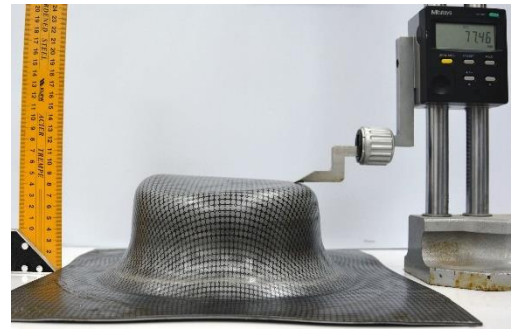


Minimum Yükseklik

(a)

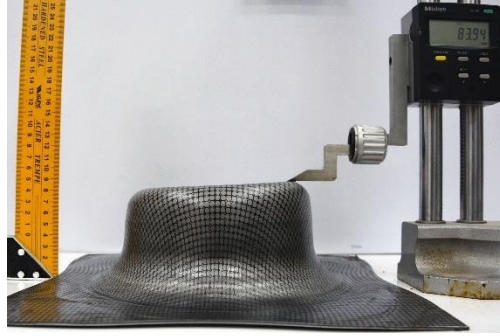


Maksimum Yükseklik

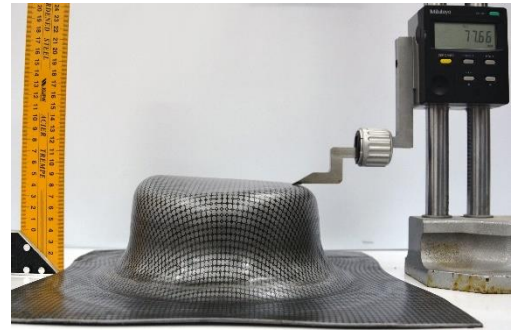


Minimum Yükseklik

(b)

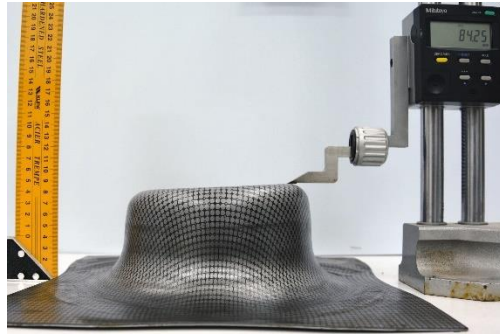


Maksimum Yükseklik

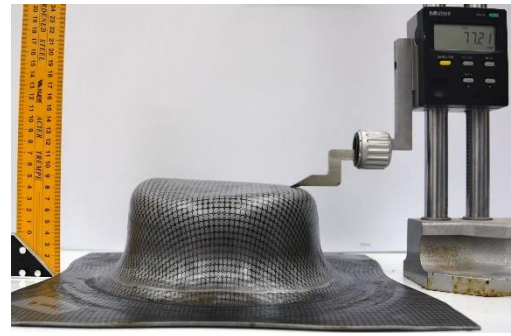


Minimum Yükseklik

(c)



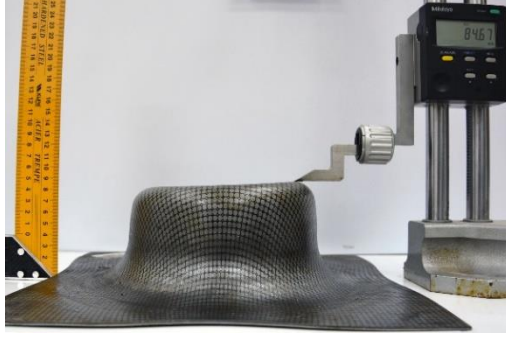
Maksimum Yükseklik



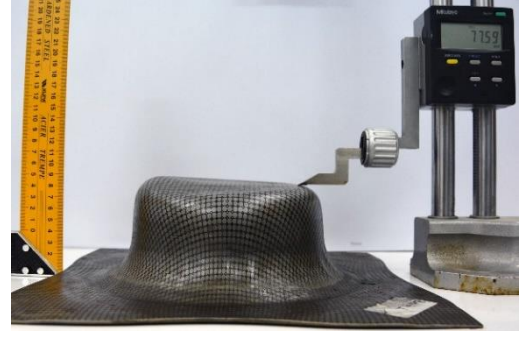
Minimum Yükseklik

(d)

Şekil 4.10. 2.derin çekme operasyonu Lityum Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri, a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.



Maksimum Yükseklik

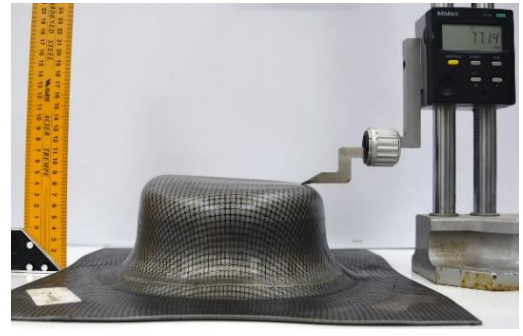


Minimum Yükseklik

(a)

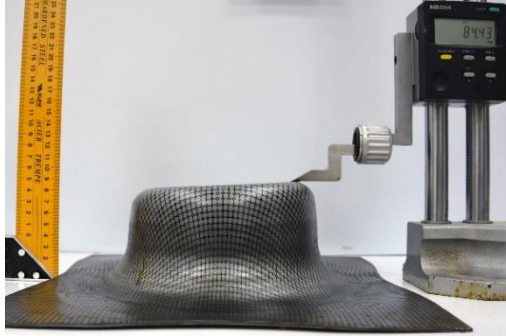


Maksimum Yükseklik

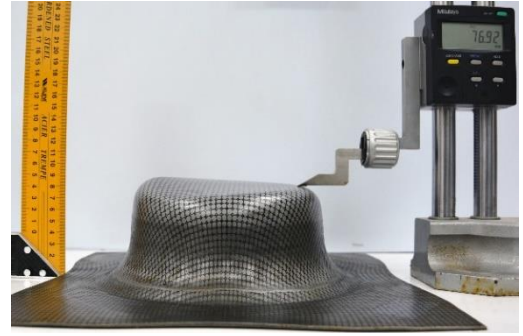


Minimum Yükseklik

(b)

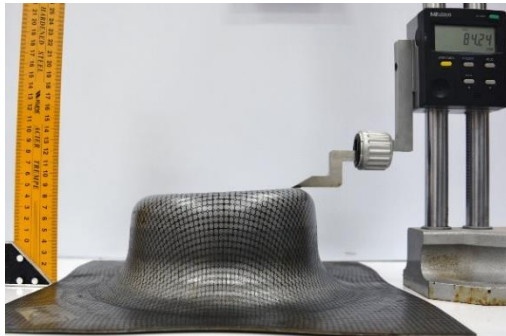


Maksimum Yükseklik

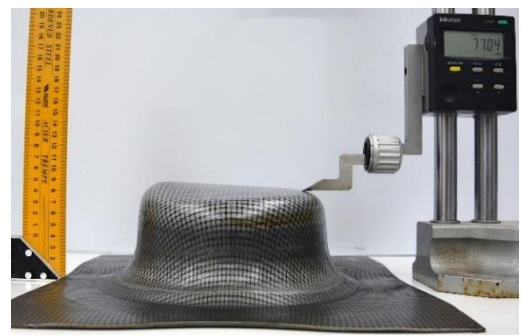


Minimum Yükseklik

(c)



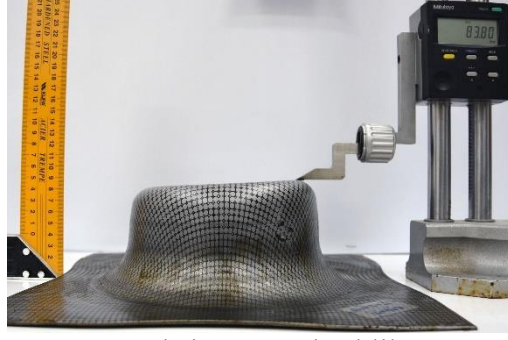
Maksimum Yükseklik



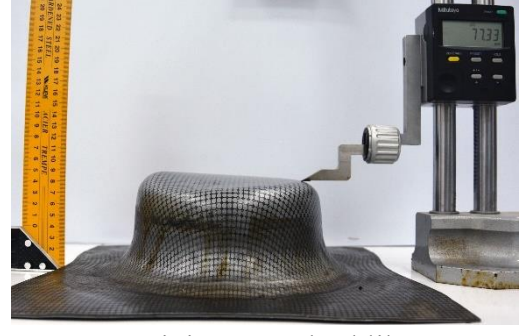
Minimum Yükseklik

(d)

Şekil 4.11. 2.derin çekme operasyonu Belgin Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri,
a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.

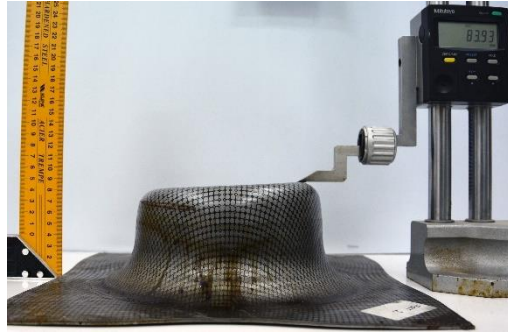


Maksimum Yükseklik

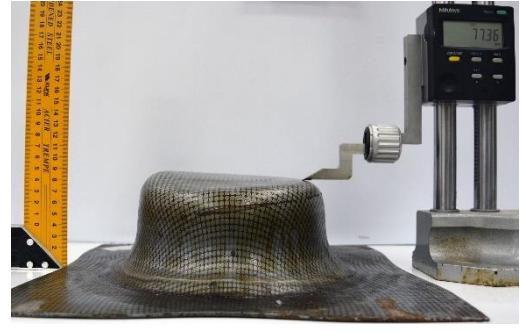


Minimum Yükseklik

(a)

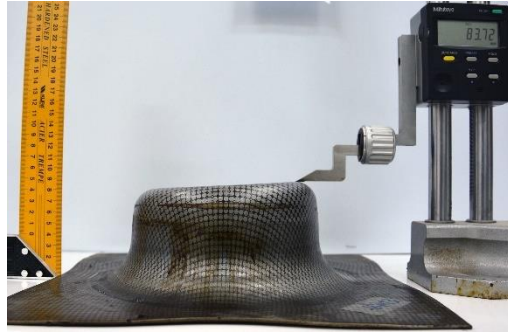


Maksimum Yükseklik

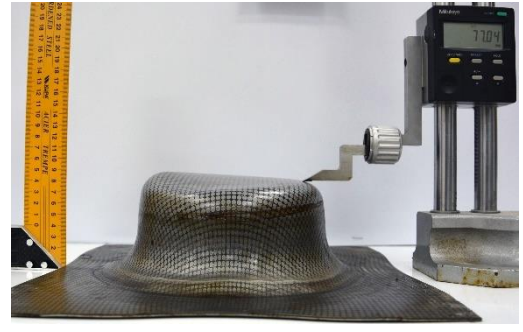


Minimum Yükseklik

(b)

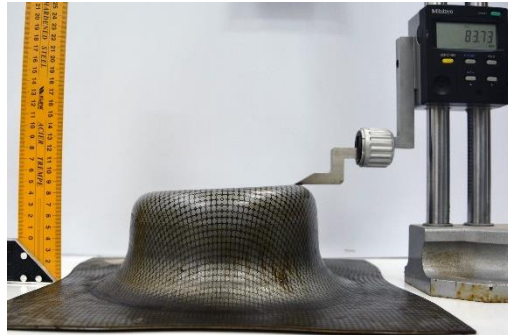


Maksimum Yükseklik

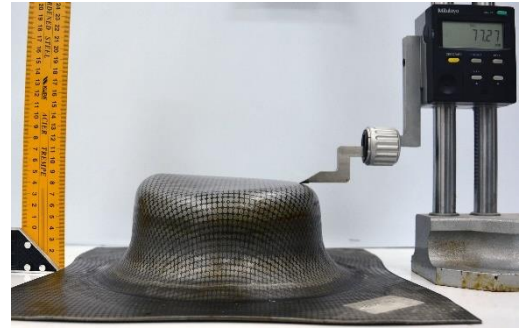


Minimum Yükseklik

(c)



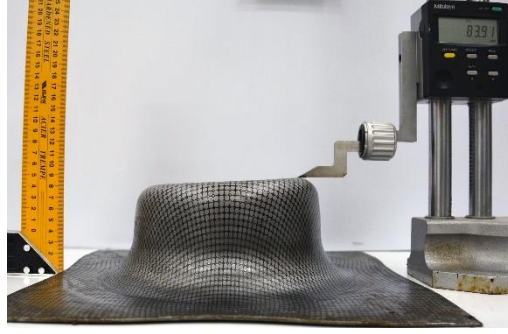
Maksimum Yükseklik



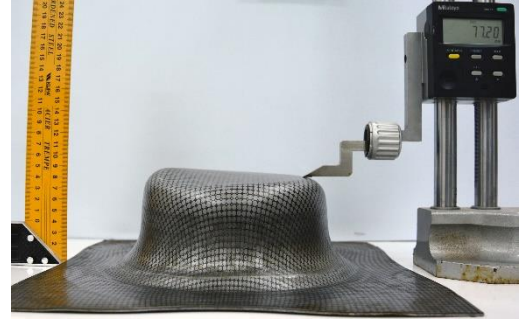
Minimum Yükseklik

(d)

Şekil 4.12. 2.derin çekme operasyonu Hint Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri, a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.

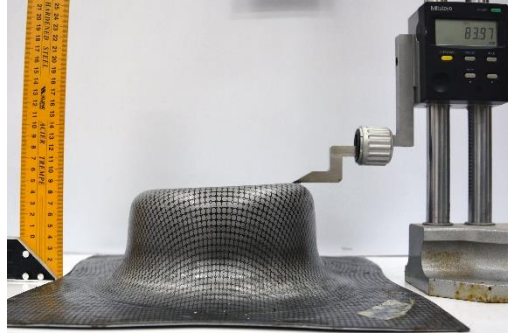


Maksimum Yükseklik

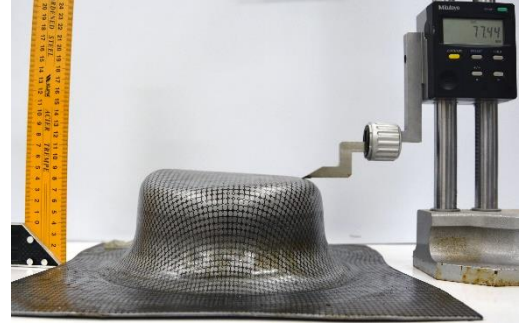


Minimum Yükseklik

(a)

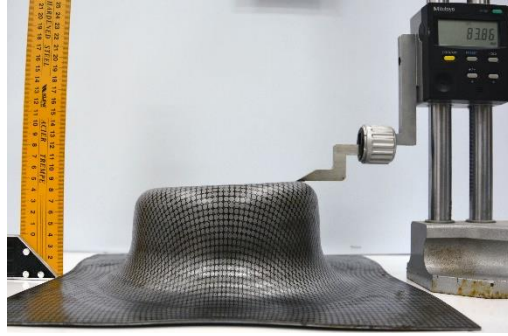


Maksimum Yükseklik

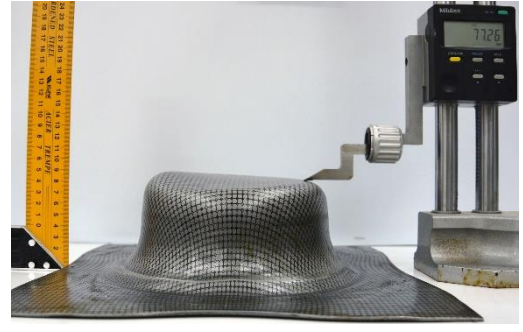


Minimum Yükseklik

(b)

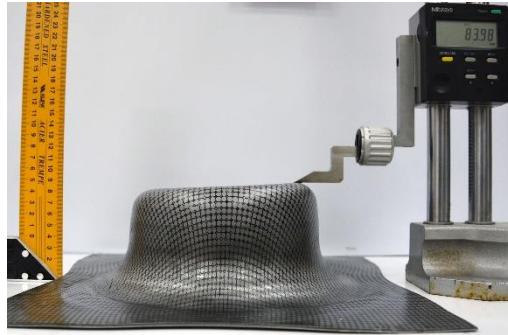


Maksimum Yükseklik

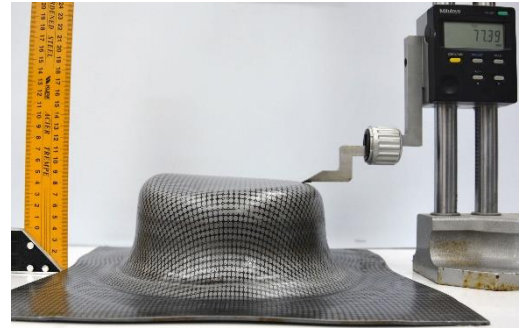


Minimum Yükseklik

(c)



Maksimum Yükseklik



Minimum Yükseklik

(d)

Şekil 4.13. 2.derin çekme operasyonu Klüber Yağı kullanılan şekillendirme örnekleri, a) No.1, b) No.2, c) No.3, d) No.4.

Çizelge 4.1. 1. ve 2. derin çekme operasyonları kap yükseklikleri.

| Yağlayıcı No | 1. Derin Çekme Operasyonu | | 2. Derin Çekme Operasyonu | |
|--------------------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | Kap Yüksekliği | | Max. | Min. |
| | H | | | |
| | [mm] | | [mm] | [mm] |
| Kuru | 1 | 70,00 | 84,13 | 77,18 |
| | 2 | 72,00 | 83,51 | 77,06 |
| | 3 | 74,50 | 83,73 | 77,55 |
| | 4 | 72,50 | 83,86 | 77,38 |
| İpek Naylor | 1 | 74,50 | 84,30 | 77,36 |
| | 2 | 74,00 | 84,40 | 77,27 |
| | 3 | 73,50 | 84,24 | 77,25 |
| | 4 | 73,50 | 84,10 | 77,29 |
| Lityum Yağı | 1 | 70,00 | 84,06 | 77,52 |
| | 2 | 70,50 | 84,26 | 77,46 |
| | 3 | 70,50 | 83,94 | 77,66 |
| | 4 | 70,75 | 84,25 | 77,21 |
| Belgin Yağı | 1 | 72,50 | 84,67 | 77,59 |
| | 2 | 72,50 | 83,83 | 77,14 |
| | 3 | 72,50 | 84,43 | 76,92 |
| | 4 | 70,00 | 84,24 | 77,04 |
| Hint Yağı | 1 | 71,50 | 83,80 | 77,33 |
| | 2 | 72,50 | 83,93 | 77,36 |
| | 3 | 70,50 | 83,72 | 77,04 |
| | 4 | 71,50 | 83,73 | 77,27 |
| Kluber Yağı | 1 | 72,50 | 83,91 | 77,20 |
| | 2 | 71,50 | 83,97 | 77,44 |
| | 3 | 72,50 | 83,86 | 77,26 |
| | 4 | 71,50 | 83,98 | 77,39 |

Çizelge 4.1 incelendiğinde, 1. derin çekme operasyonu için maksimum kap yüksekliği değerleri 70 mm ile 74,50 mm arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Diğer yandan, 2. derin çekme operasyonu için minimum kap yüksekliği 76,92 mm ile 77,66 mm arasında, maksimum kap yüksekliği ise 83,51 mm ile 84,67 mm arasında değişmektedir.

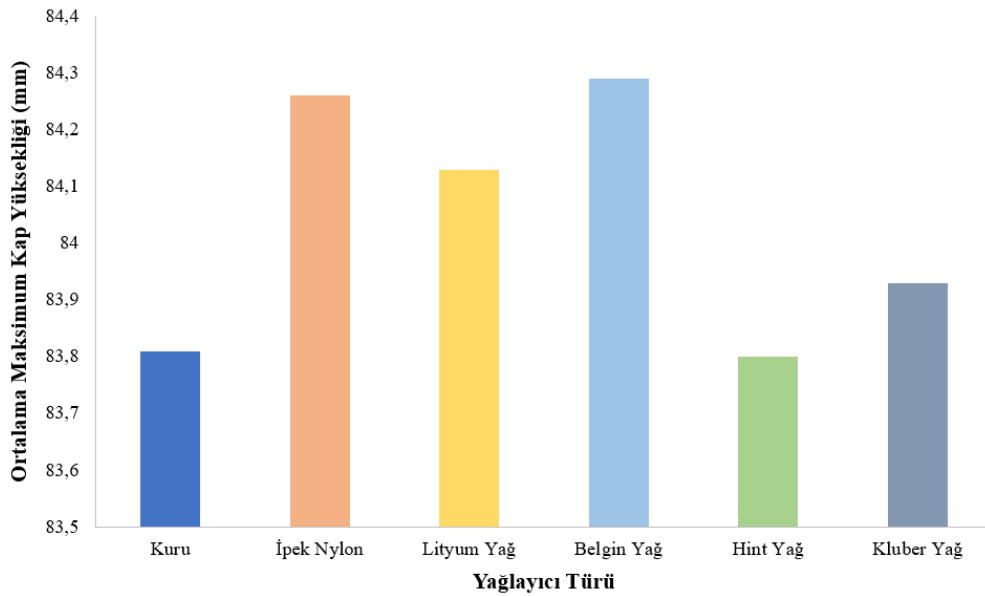
Yağlayıcıların şekillendirme operasyonlarına olan etkisi, farklı yağlayıcılar ile elde edilen kap yükseklik değerlerinin, kuru şekillendirme deneyleri ile elde edilen kap yükseklikleri ile karşılaştırılması ve kap yüksekliklerinin ortalama değerleri alınmasıyla incelenmiştir. Çizelge 4.2’de 1. ve 2. derin çekme operasyonlarına ait ortalama kap yükseklik değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. 1. ve 2. derin çekme operasyonları için ortalama kap yükseklikleri.

| Yağlayıcı | 1. Derin Çekme Operasyonu | 2. Derin Çekme Operasyonu | |
|--------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------|
| | Ortalama Kap Yüksekliği H [mm] | Maks. [mm] | Min. [mm] |
| Kuru | 72,25 | 83,81 | 77,29 |
| İpek Naylon | 73,88 | 84,26 | 77,29 |
| Lityum Yağı | 70,44 | 84,13 | 77,46 |
| Belgin Yağı | 71,88 | 84,29 | 77,17 |
| Hint Yağı | 71,50 | 83,80 | 77,25 |
| Klüber Yağı | 72,00 | 83,93 | 77,32 |

Çizelge 4.2'deki ortalama değerler incelendiğinde, 1. derin çekme operasyonu için kuru şekillendirme işleminde elde edilen ortalama kap yüksekliği 72,25 mm'dir. Şekillendirme işlemlerinde kullanılan yağlayıcılardan sadece İpek Naylon kullanılarak elde edilen kap yüksekliğinin diğer yağlayıcılardan daha yüksek olduğu görülmektedir. İpek Naylon kullanılarak elde edilen ortalama kap yüksekliğinin kuru şekillendirme ile elde edilen ortalama kap yüksekliğinden % 2,256 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, diğer yağlayıcıların kullanılması ile neredeyse kuru şekillendirmeye yakın yükseklik değerlerinin elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 4.2'deki ortalama değerler incelendiğinde, 2. derin çekme operasyonu için kuru şekillendirme işleminde elde edilen ortalama maksimum kap yüksekliği 83,81 mm, ortalama minimum kap yüksekliği ise 77,29 mm'dir. Ortalama minimum kap yükseklikleri incelendiğinde kuru ve yağlayıcı kullanılan şekillendirme deneylerindeki kap yüksekliklerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Ancak, ortalama maksimum kap yükseklikleri incelendiğinde, Hint Yağı dışındaki bütün yağlayıcıların kuru şekillendirme kap yüksekliğini geçtiği görülmektedir. Ortalama maksimum kap yüksekliklerinde sırasıyla, İpek Naylon ile % 0,537, Lityum Yağ ile % 0,382, Belgin Yağ ile % 0,573, Klüber Yağ ile % 0,143 oranlarında daha yüksek kap yükseklikleri elde edilmiştir. 2. derin çekme operasyonu sonunda hesaplanan ortalama maksimum kap yüksekliklerinin yağlayıcı türüne göre karşılaştırılması Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Farklı yağlayıcılar kullanılarak elde edilen maksimum ortalama kap yükseklikleri.

Şekil 4.14'ten görüldüğü üzere, Hint Yağı dışındaki bütün yağlayıcılar ile elde edilen kap yüksekliklerinin kuru şekillendirme ile elde edilen kap yüksekliğinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Roescher ve Tinnemas tarafından belirtildiği üzere, yağlayıcının kullanılmadığı şekillendirme işlemlerinde düşük çekme oranlarının elde edildiği, yağlayıcı kullanılan şekillendirme işlemlerinde daha yüksek çekme oranlarının elde edildiği, yağlayıcı kullanımının şekillendirme işlemine olumlu katkı sunduğu belirtilmektedir [25]. Ayrıca, Tigrinho vd. zımba ve sac arasındaki bulunan

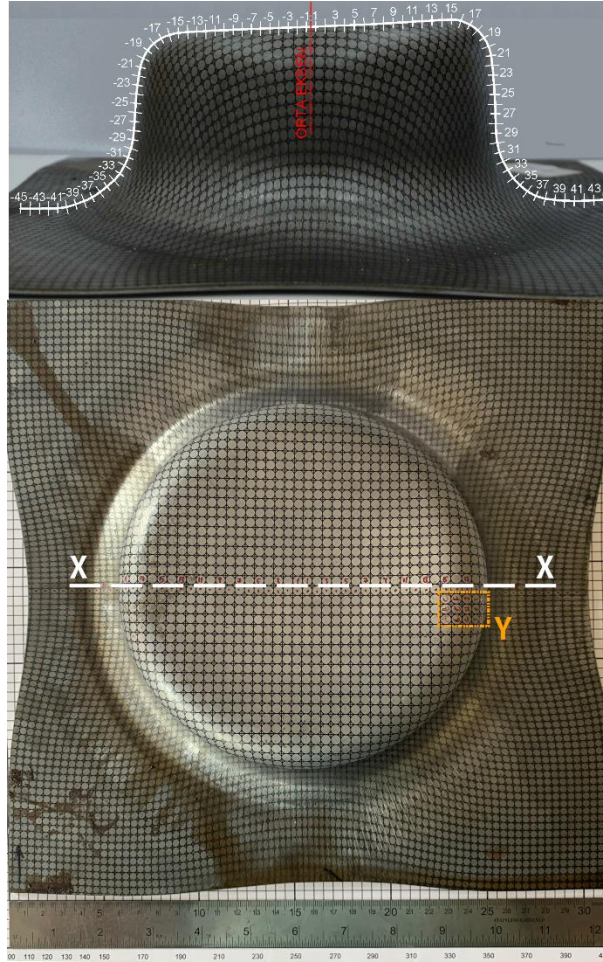
yağlayıcının sayesinde, sürtünme katsayısının azaldığı, yağlayıcının homojen deformasyon sağladığını ve şekillendirme limitlerinin artış gösterdiğini vurgulamışlardır [26]. Yağlayıcılar arasında kıyaslama yapıldığında, Belgin Drawtex KC-70 yağlayıcı ile 84,29 mm ortalama maksimum kap yüksekliği ile en yüksek kap yüksekliği değerine ulaştığı görülmektedir. Drawtex KC-70 mineral yağ bazlı çekme yağının içerisinde saf olarak yada klor ve kükürt bazlı EP katkılarının bulunması sayesinde yağlama ve korozyona dayanımlarını yüksek olduğu bildirilmektedir [27], [28]. Diğer yandan İpek Naylon yağlayıcı kullanılarak yapılan şekillendirme deneylerinde 84,26 mm ortalama maksimum kap yüksekliği değeri elde edilmiştir. Elde edilen kap yükseklik değerinin Drawtex KC-70 ile çok yakın olduğu görülmekte olup, ekonomik faktörler ve maliyetler göz önünde bulundurulduğunda, tercih edilebileceği düşünülmektedir.

4.1.2. Birim Şekil Değişimi

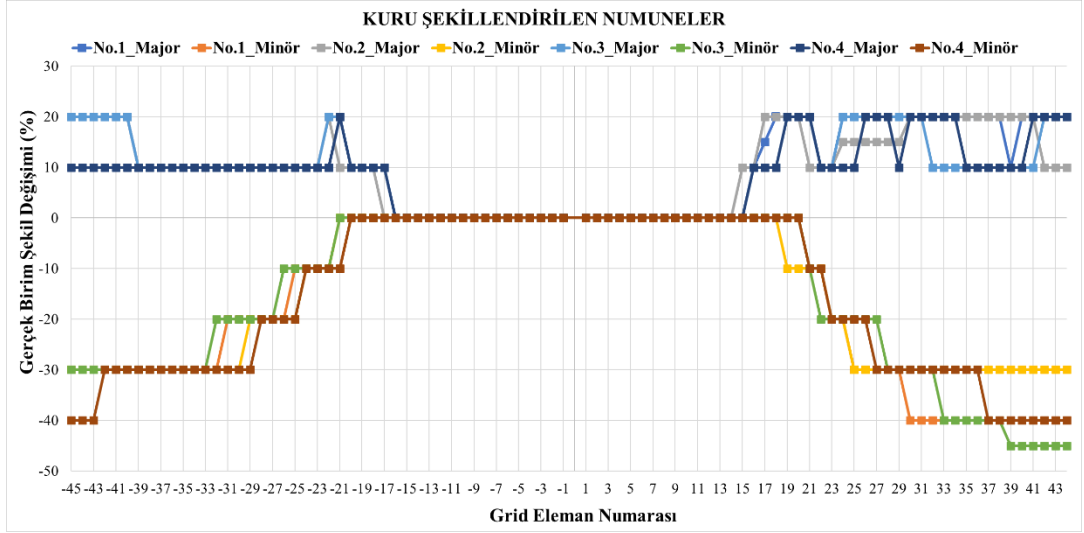
Amortisör tabla komponentinin 2. derin çekme operasyonu sonrasında birim şekil değişimleri, Mylar Tape kullanılarak, şekillendirilen parçalar üzerinden ölçülmüştür. Mylar Tape ile majör ve minör birim şekil değişimleri, şekillendirilmiş parçaların orta ekseni boyunca, belirlenmiş uzaklıklarda ölçülmüştür. Şekil 4.15’de örnek bir numune üzerinden birim şekil değişimlerinin ölçüldüğü bölgeler, numune ekseni boyunca gösterilmiştir.

Şekil 4.15’te gösterildiği gibi X-X kesikli çizgi parçanın yaklaşık orta eksenini ifade etmekte olup, majör ve minör birim şekil değişimi bu hat boyunca, numaralandırılmış elemanlar üzerinden ölçülmüştür. Parçanın orta ekseni referans olacak şekilde sol yönde 45 adet, sağ yönde ise 44 adet grid elemanı üzerinden ölçümler gerçekleştirilmiştir. Grid elemanlar numaralandırılır iken parçanın orta ekseni orijin kabul edilerek, bu referansa göre solda yer alan elemanlara eksi (-) ibaresi yerleştirilmiş, ancak bu ifade sayısal bir büyüklüğü temsil etmemektedir. Diğer yandan, parçanın asimetric geometrik özelliği itibariyle maksimum yükseklik X-X eksen çizgisi üzerinde meydana gelmediğinden Y ile gösterilen dikdörtgen bölge maksimum yüksekliğin elde edildiği diğer alan olarak ifade edilmektedir. Y bölgesindeki birim şekil değişimleri harflendirilmiş elemanlar üzerinden ayrı olarak

ölçülmüş olup, ancak parçanın orta ekseninde yer almadığından ölçüm ve hesaplamalara dahil edilmemiştir. Numunelerin orta noktası orijin kabul edilerek, eksen boyunca majör ve minör birim şekil değişimleri kullanılan farklı yağlayıcı göre ölçülmüştür. Şekil 4.16 ile Şekil 4.21 arasında 2. derin çekme operasyonu için, sırasıyla, kuru, İpek Naylon, Lityum Yağı, Belgin Yağı, Hint Yağı ve Klüber yağı kullanılarak yapılan şekillendirmelere ait majör ve minör birim şekil değişimleri bütün numuneler için (No.1, No.2, No.3 ve No.4) gösterilmiştir. Kuru şekillendirme ve farklı yağlayıcıların kullanıldığı şekillendirmeler arasında karşılaştırma yapabilmek için, Şekil 4.22’de kuru ve farklı yağlayıcılar kullanılarak elde edilen şekillendirme deneyleri için ortalama majör birim şekil değişimleri, Şekil 4.23’de ise ortalama minör birim şekil değişimleri verilmiştir.



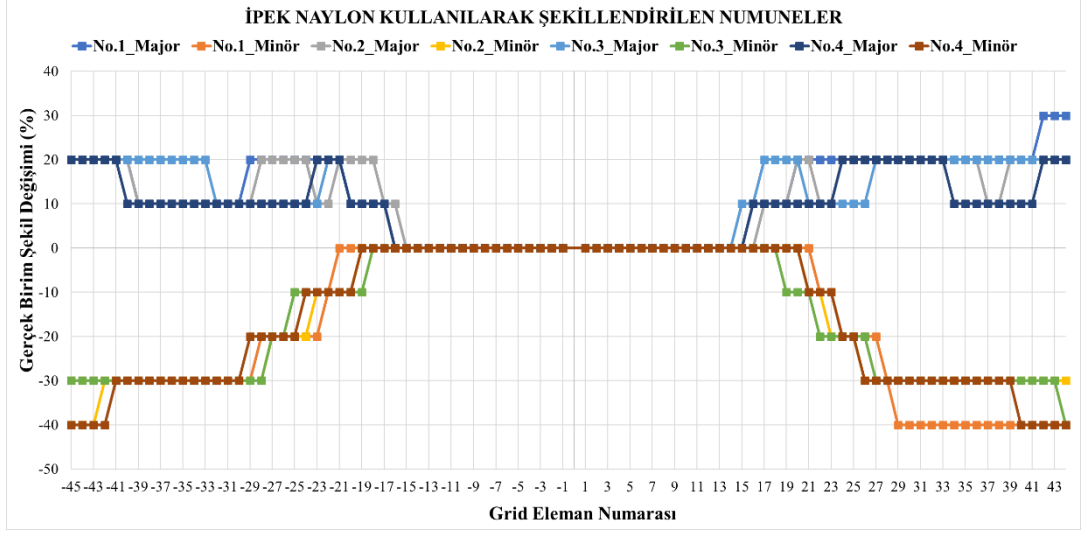
Şekil 4.15. Örnek numune üzerinden birim şekil değişimlerinin ölçüldüğü bölgeler.



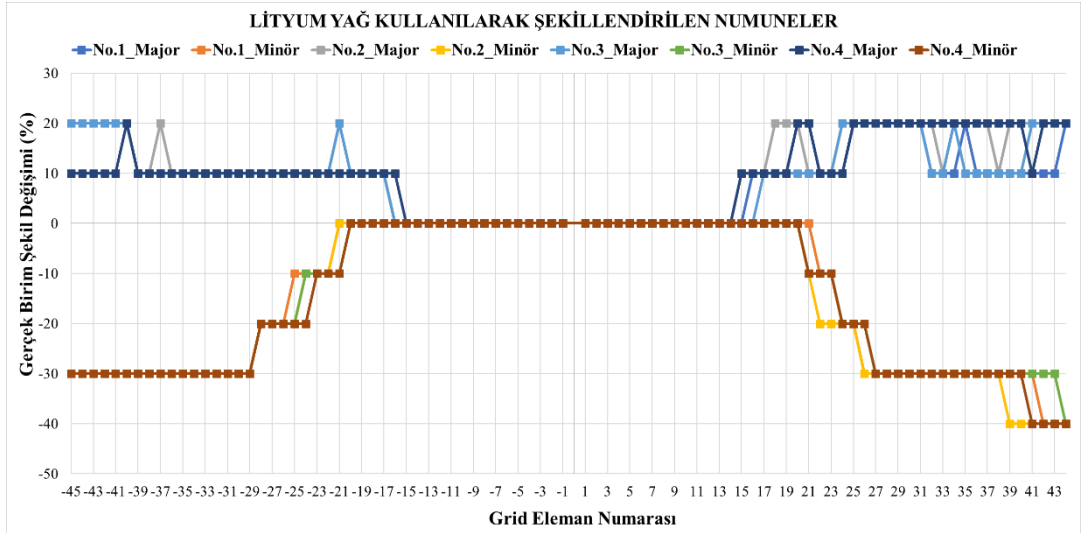
Şekil 4.16. 2. derin çekme operasyonunda kuru şekillendirme ile elde edilen gerçek birim şekil değişimleri.

Şekil 4.16 incelendiğinde, zımbanın temas ettiği bölge olan -15 ile 15 grid elemanları arasında majör ve minör birim şekil değişimlerinin %0 olduğu görülmektedir. Bu bölgede derin çekme işlemi boyunca zımba ile beraber hareket etmekte ve çekme işleminin sonunda kalıp içerisinde ezilmektedir. Majör birim şekil değişimleri %10-%20 aralığında, minör birim şekil değişimleri %-10 ile %-40 arasında değişmektedir. Tepe radyus bölgesinde çekme etkisinden dolayı majör birim şekil değişimi %10'lara çıkmakta, minör birim şekil değişimleri başlangıçta %0 olarak kalırken, daha sonra yan duvarlarda %-10'lere ulaşmaktadır.

Şekil 4.17 incelendiğinde, majör birim şekil değişimlerinin genel olarak %0 ile %20 arasında değiştiği, sadece No.1 numunesinde dış kenarlarda %30'lara kadar artmıştır. No.1'deki bu artışın sac malzemenin kilitlenmesinden sonra bir miktar kayma yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Minör birim şekil değişimlerinde ise %0 ile %-40 arasında değiştiği görülmektedir.

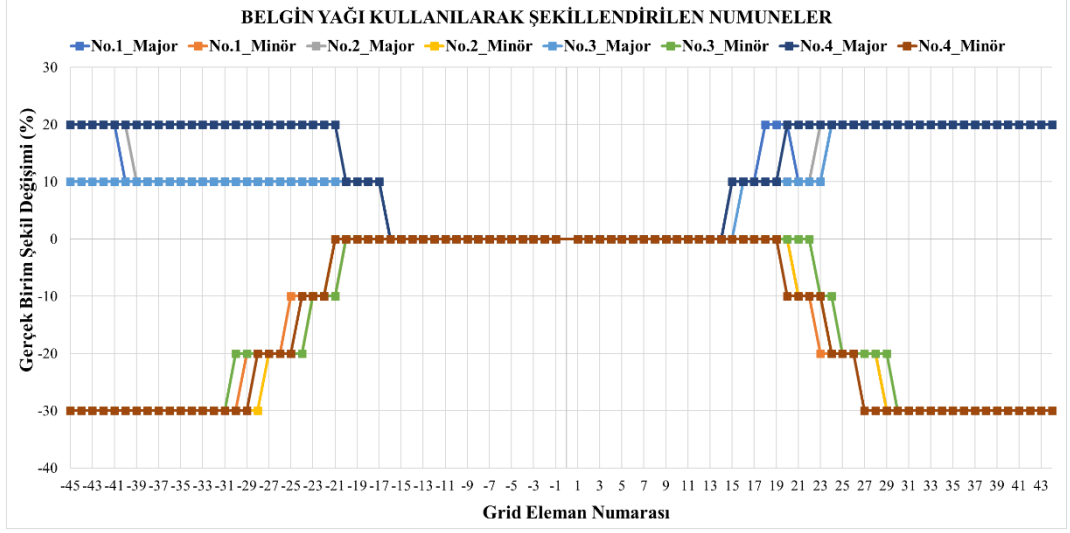


Şekil 4.17. 2. derin çekme operasyonunda İpek Naylon kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri.



Şekil 4.18. 2. derin çekme operasyonunda Lityum Yağı kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri.

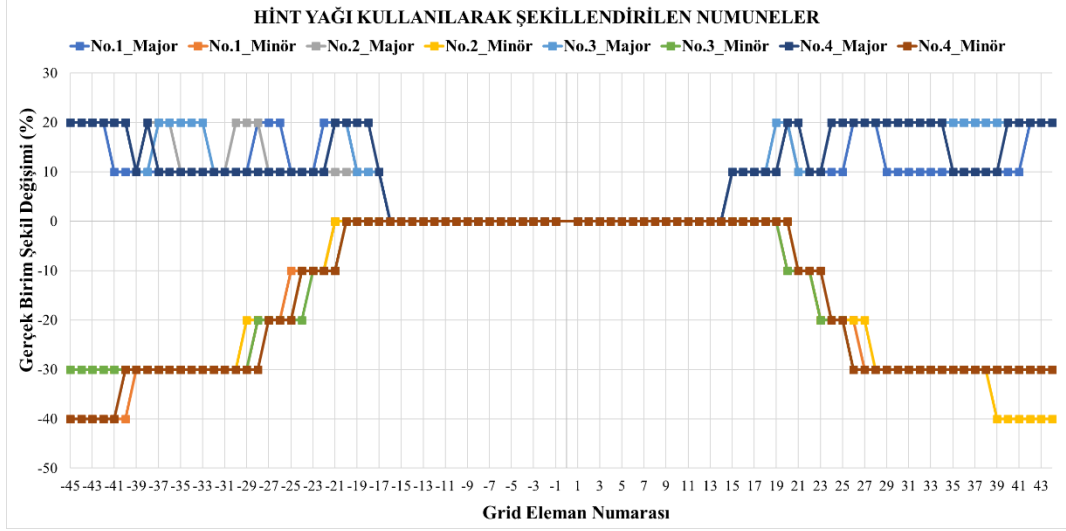
Şekil 4.18 incelendiğinde, majör birim şekil değişimlerinin genel olarak %0 ile %20 arasında değiştiği, minör birim şekil değişimlerinin ise genel olarak %0 ile %-30 arasında değiştiği, sadece No.2 ve No.4 numunelerinde dış kenarlarda %-40' a kadar çıktığı görülmektedir. No.2 ve No.4 meydana gelen bu artışın sac malzemenin kilitlenmesinden sonra bir miktar kayma yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



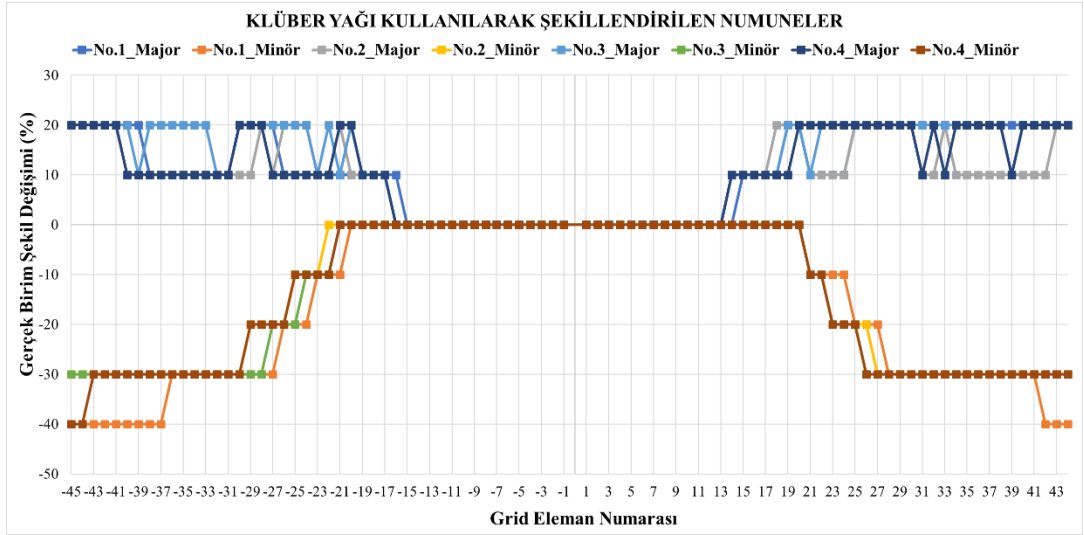
Şekil 4.19. 2. derin çekme operasyonunda Belgin Yağı kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri.

Şekil 4.19 incelendiğinde, majör birim şekil değişimlerinin %0 ile %20 arasında değiştiği, minör birim şekil değişimlerinin ise %0 ile %-30 arasında değiştiği görülmektedir. Belgin Yağı kullanılarak yapılan şekillendirme deneylerinde, birim şekil değişimlerindeki dalgalanmanın daha düşük olduğu ve daha sabit şekil değişim değerleri elde edildiği görülmektedir.

Şekil 4.20 incelendiğinde, majör birim şekil değişimlerinin %0 ile %20 arasında değiştiği, minör birim şekil değişimlerinin ise genel olarak %0 ile %-30 arasında değiştiği, sadece No.2 ve No.4 numunelerinde dış kenarlarda %-40' a kadar çıktığı görülmektedir. No.2 ve No.4 meydana gelen bu artışın sac malzemenin kilitlenmesinden sonra bir miktar kayma yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



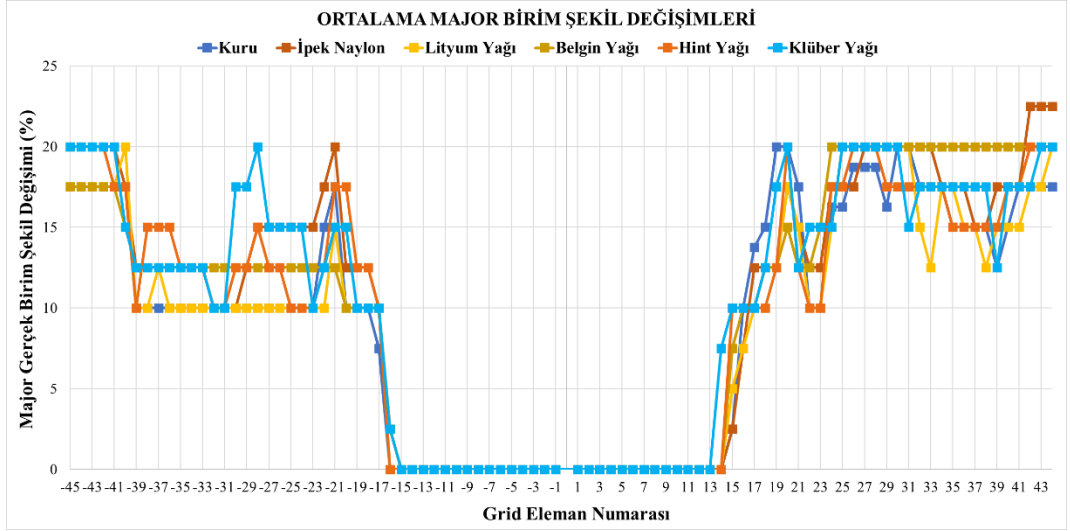
Şekil 4.20. 2. derin çekme operasyonunda Hint Yağı kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri.



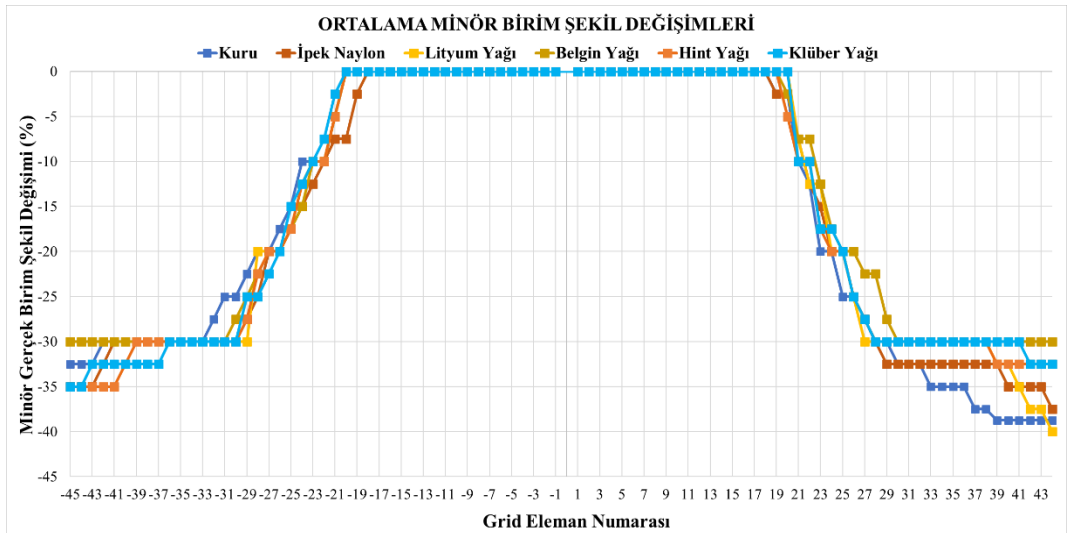
Şekil 4.21. 2. derin çekme operasyonunda Klüber Yağı kullanılarak elde edilen gerçek birim şekil değişimleri.

Şekil 4.21 incelendiğinde, majör birim şekil değişimlerinin %0 ile %20 arasında değiştiği, minör birim şekil değişimlerinin ise genel olarak %0 ile %-30 arasında değiştiği, sadece No.1 ve No.4 numunelerinde dış kenarlarda %-40' a kadar çıktığı görülmektedir. No.1 ve No.4 meydana gelen bu artışın sac malzemenin kilitlenmesinden sonra bir miktar kayma yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kuru ve farklı yağlayıcıların kullanılması yapılan şekillendirme deneylerinde yağlayıcıların etkisinin belirlenmesi için ortalama majör ve ortalama minör birim şekil değişimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 4.22’de şekillendirme deneylerine ait ortalama majör birim şekil değişimleri, Şekil 4.23’de ise ortalama minör birim şekil değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Farklı yağlayıcılar kullanılarak elde edilen ortalama majör gerçek birim şekil değişimleri.



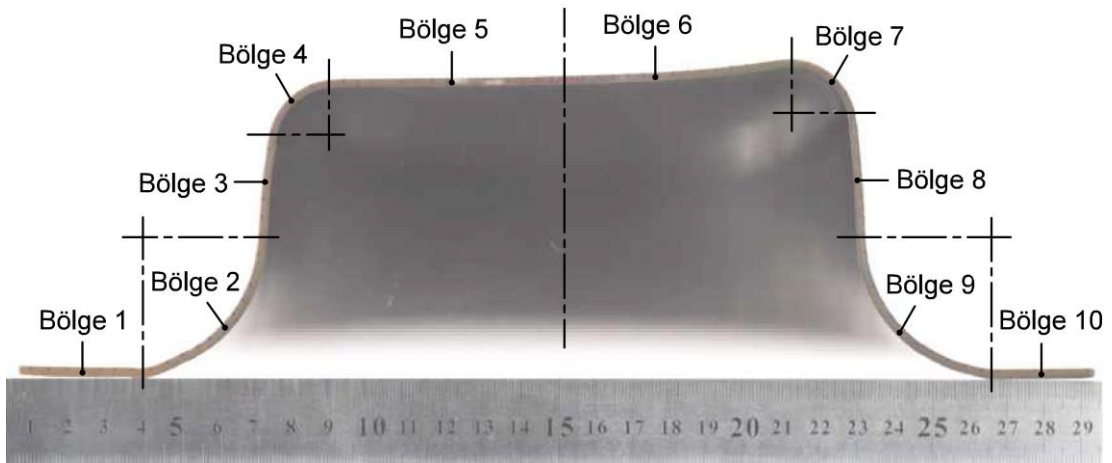
Şekil 4.23. Farklı yağlayıcılar kullanılarak elde edilen ortalama minör gerçek birim şekil değişimleri.

Şekil 4.22 ve Şekil 4.23 incelendiğinde, sac malzeme ile zımbanın temas ettiği bölge olan -15 ile 15 grid elementleri arasındaki bölgede herhangi bir şekil değişimi bulunmamaktadır. Bu bölge zımbanın şekillendirme işlemi boyunca zımba ile beraber hareket etmektedir. Parçanın tepe noktasında yer alan -15 ile -21 grid elemanları ve 15 ile 20 grid elemanları arasındaki bölgede yer alan radyuslar, zımbanın hareketi ile çekme etkisine girmekte ve yüzeyde majör birim şekil değişiminde %15'lere kadar bir değişim meydana gelmektedir. Çekme etkisinde kalan bölge olduğu için bu bölgelerde minör birim şekil değişimleri %0'dır. Bu bölgede meydana gelen majör birim şekil değişimlerinde Klüber Yağı veya Hint Yağı'nda olduğu gibi dalgalanmanın yüksek olması sebebiyle homojen kalınlık dağılımının elde edilemeyeceği düşünülmektedir. Bu bölgede en stabil ve düzgün birim şekil değişimi Belgin Yağı ile yapılan şekillendirmede elde edilmiştir. Belgin Yağı ile yapılan şekillendirmede majör birim şekil değişimi %0'dan %10'a kadar yükselmiş ve radyus boyunca bu değeri korumuştur. Bu noktada, majör birim şekil değişiminin artması homojen deformasyon olarak bildirilmektedir [26]. Yan duvarlar bölgelerinde, -28 ile -21 arası ve 20 ile 28 arası majör birim şekil değişimleri sabit kalarak, minör birim şekil değişimlerinde bir miktar artış görülmüştür. Major birim şekil değişimlerinin sabit kalıp, minör birim şekil değişimlerinin artışı sonucunda yan duvarlarda kalınlaşmanın olduğu düşünülmektedir. Dip radyus bölgelerinde ise, hem majör hem de minör birim şekil değişimleri basmanın etkisi ile sabit kalmıştır. Yağlayıcılar kendi arasında karşılaştırıldığında, majör ve minör birim şekil değişimlerinde en az dalgalanma Belgin Yağı kullanılarak elde edilen şekillendirme deneylerinde meydana gelmiştir. Bu noktada, Drawtex KC-70 mineral yağlayıcının içerisinde bulunan EP katkılarının daha iyi şekillendirme kabiliyeti kazandırdığı bildirilmektedir [9], [10].

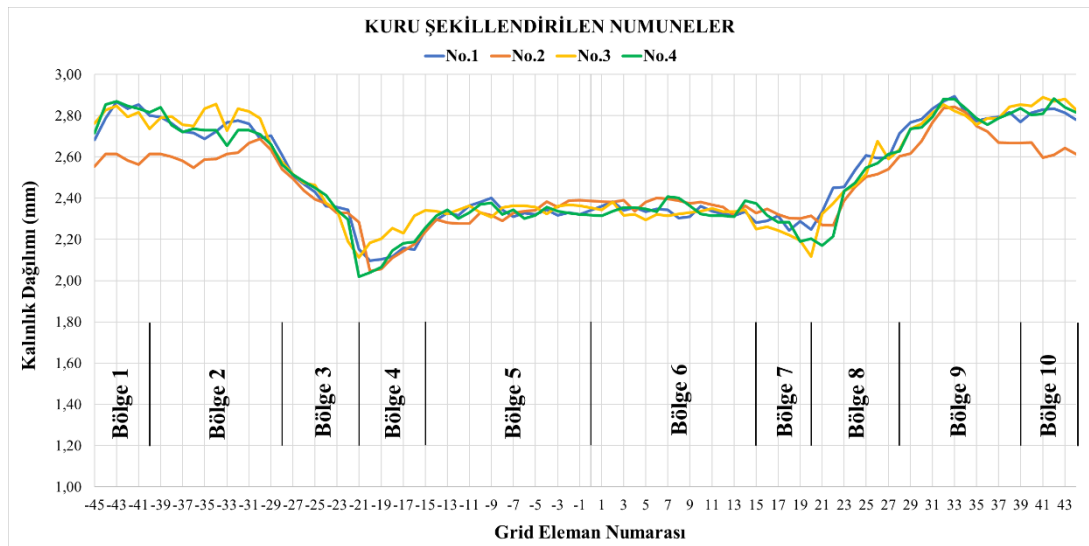
4.1.3. Kalınlık Dağılımı

Amortisör tabla komponentinin kuru ve farklı yağlayıcılar ile şekillendirilmesinde sac malzemenin kalınlık dağılımının incelenmesi için numuneler Şekil 4.15'de gösterilen parçanın orta eksenine X-X hattı boyunca tel erozyon tezgahı kullanılarak kesilmiştir. Kesilen numuneler üzerinden, grid elemanlarına ait kalınlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Grid elemanlarının kalınlık ölçümlerinde Mitutoyo marka 0,001 mm hassasiyetli iğne uçlu mikro metre kullanılmıştır. Şekil 4.24'de tel erozyon tezgahı

ile kesilen örnek bir numune gösterilmiştir. Kalınlık ölçümleri için kesilen parçanın profili Şekil 4.24'te görüldüğü gibi 10 adet bölgeye ayrılmış, kalınlık dağılımlarında bu bölgelerde yer alan grid elemanlar grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 4.25 ile Şekil 4.30 arasında sırasıyla, kuru, İpek Naylon, Lityum Yağı, Belgin Yağı, Hint Yağı ve Klüber Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait (No.1, No.2, No.3 ve No.4) kalınlık dağılımları verilmiştir. Şekil 4.31'de kuru ve farklı yağlayıcılar kullanılarak yapılan şekillendirmelere ait ortalama kalınlık dağılımlarının karşılaştırılması gösterilmiştir.

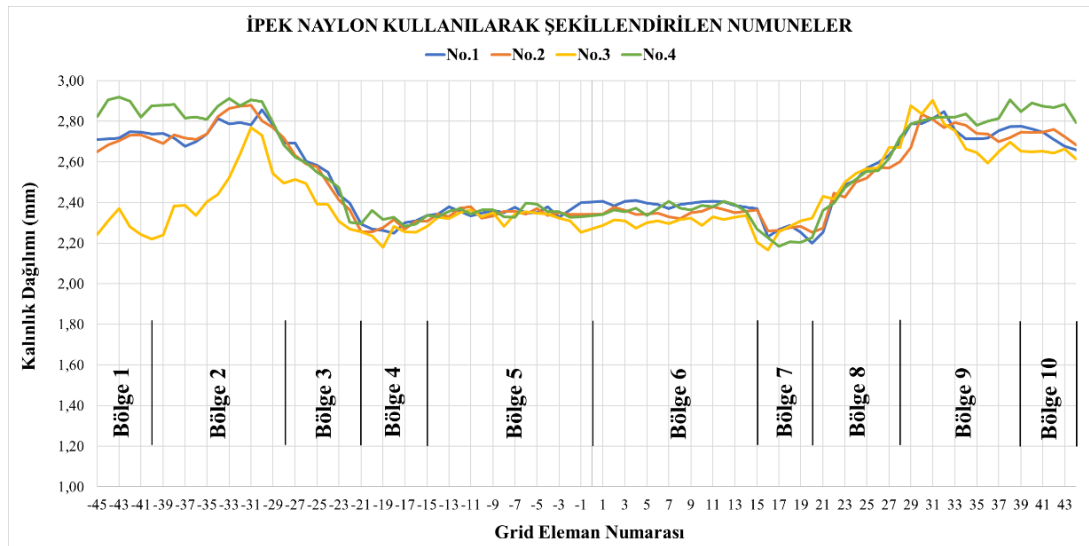


Şekil 4.24. Kalınlık ölçümü için tel erozyonla kesilen örnek numune (Kuru şekillendirme No.1).



Şekil 4.25. Kuru şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı.

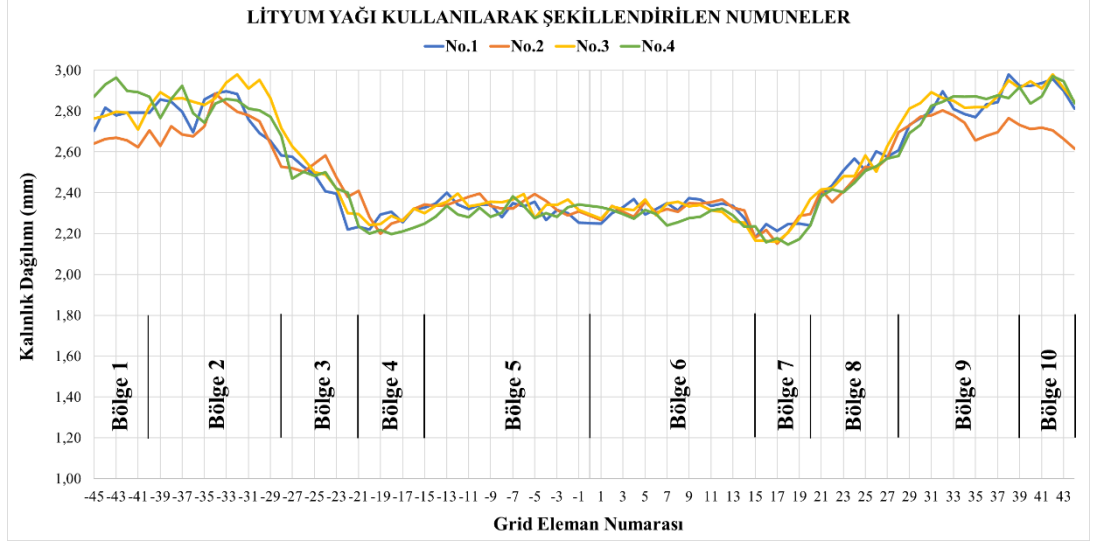
Şekil 4.25 incelendiğinde, Bölge 5 ve Bölge 6 alanlarının zımbanın temas ettiği ve kalıp içerisinde şekillendirilme sonuna kadar devam eden süreçte ezildiği bölgeler olduğu anlaşılmaktadır. Bölge 5 ve Bölge 6 alanlarında incelme minimum %5, maksimum %10 aralığında sac kalınlığında değişim görülmektedir. Bölge 4 ve Bölge 7 alanlarında geometri üzerindeki radyus alanları olmakla birlikte, bu bölgeler çekmeye uğramakta ve en çok incelemenin görüldüğü bölgeler olarak, incelme daha da artmaktadır. Bölge 4 ve Bölge 7 alanları için inceleme maksimum %16'lara kadar ulaşmaktadır. Bölge 3 ve Bölge 8 alanları yan duvarlar bölgeleri olup, bu bölgelerde bir miktar yığılma görülmekte ve buralarda incelme maksimum %1'lere kadar düşmektedir. Bunun yanında yine aynı bölgelerde bir miktar kalınlaşmada olduğu görülmektedir. Bölge 2 ve Bölge 9 alanları en dip radyuslar ve sac malzemenin kilitlenmesinin yapıldığı bölgelerdir. Bölge 2 ve Bölge 9'da radyusların olduğu bölgelerde, burada meydana gelen basma kuvvetlerinin etkisiyle %-10 değerine ulaşan kalınlaşma görülmektedir. Diğer yandan, kilitlenmenin yapıldığı bölgede sıkışma ve ezilmenin etkisi ile homojen olmayan bir dağılım elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.26. İpek Naylon kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı.

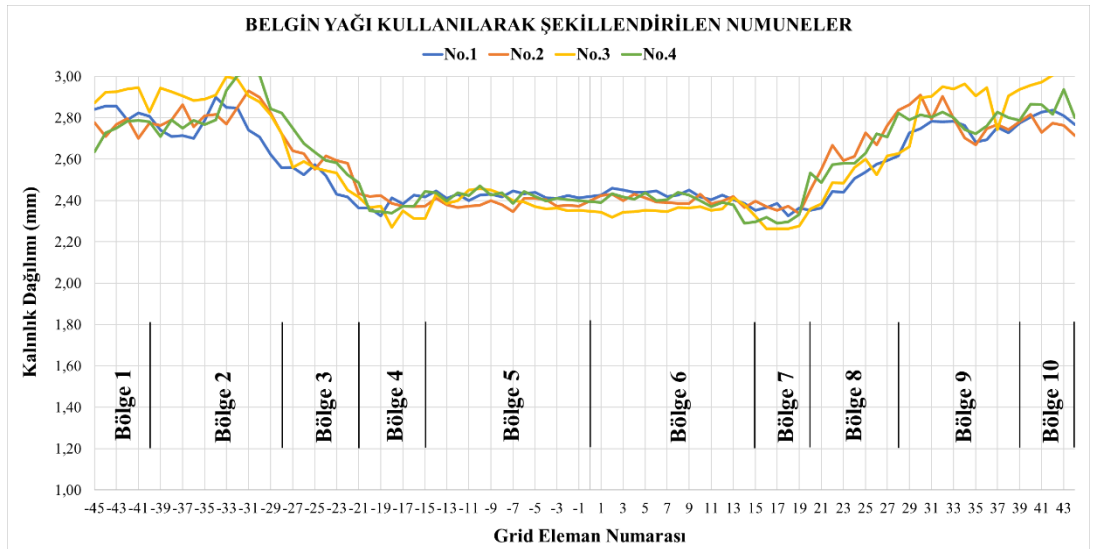
Şekil 4.26 incelendiğinde, Bölge 5 ve Bölge 6 üzerinden maksimum %6, minimum %3,7 incelme olduğu görülmektedir. Bölge 4 ve Bölge 7 alanlarında, radyuslarda kalınlıktaki incelmenin, maksimum %10 oranına kadar çıktığı; şekillendirmenin devam ettiği süreçte yan duvarlarda (Bölge 3 ve Bölge 8) %-4 ile bir miktar

kalınlaşmanın meydana geldiği, Bölge 2 ve Bölge 9’da radyuslarda basma etkisinden dolayı kalınlaşmanın %-12,5’lara kadar çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 4.27. Lityum Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı.

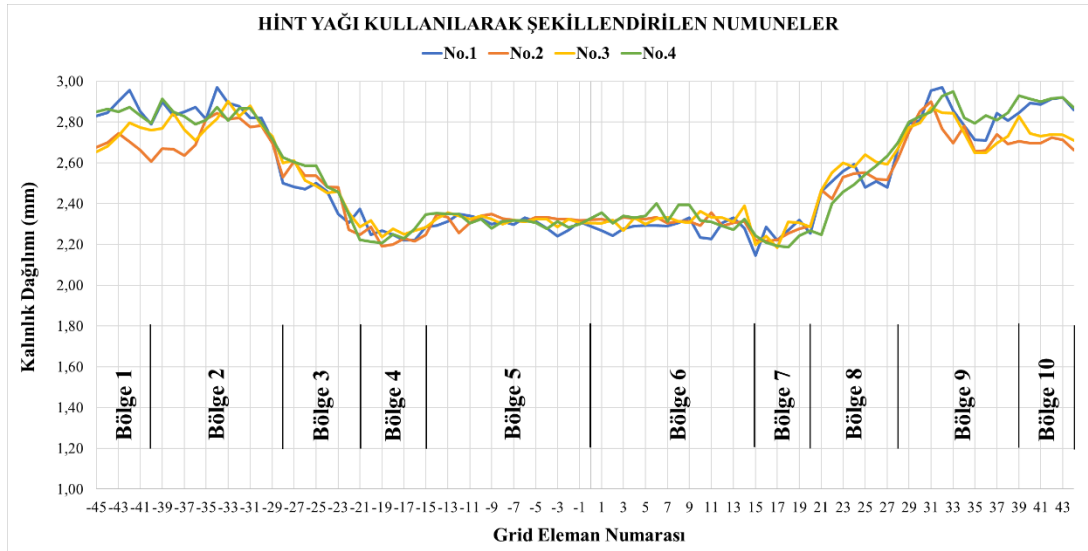
Şekil 4.27 incelendiğinde, Bölge 5 ve Bölge 6 alanlarında meydana gelen incelme %5 ile %10 arasında değişmektedir. Bölge 4 ve Bölge 7 alanlarında bulunan radyuslarda çekme etkisi ile meydana gelen incelme %12 civarında oluşmaktadır. Yan duvarlar (Bölge 3 ve Bölge 8) %-4'lere kadar kalınlaşmakta ve dip radyusların devamında bu kalınlaşma %-15'lere kadar devam etmektedir.



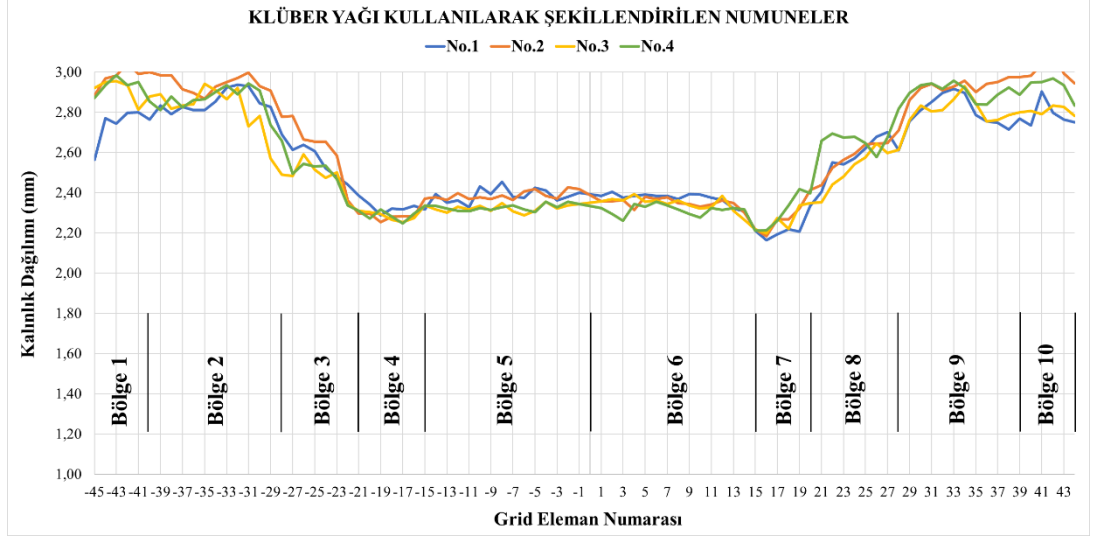
Şekil 4.28. Belgin Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı.

Şekil 4.28 incelendiğinde, Bölge 5 ve Bölge 6 alanlarında sac kalınlığı maksimum %4, minimum %1,5 oranında incelmıştır. Bölge 4 ve Bölge 7 radyuslarda inceme oranı maksimum %7'ye artmıştır. Yan duvarlarda (Bölge 3 ve Bölge 8) en fazla %-4 oranında kalınlaşma meydana gelmiş ve dip radyuslarda (Bölge 2 ve Bölge 9) kalınlaşma değeri maksimum %-14'lere kadar artmıştır.

Şekil 4.29 incelendiğinde, Bölge 5 ve Bölge 6 alanlarında sac malzeme kalınlığında minimum inceme %6, maksimum inceme %14 oranında meydana gelmiştir. Bölge 4 ve Bölge 7 alanlarında bu değerler minimum %5, maksimum %11 oranında görülmüştür. Yan duvarlarda (Bölge 3 ve Bölge 8) maksimum %-6'ya kadar kalınlaşma görülürken, Bölge 3'te maksimum %7'ye kadar incelme oluşmuştur. Bölge 2 ve Bölge 9'da bulunan dip radyuslarda %-15'e kadar kalınlaşma oluşmuştur.

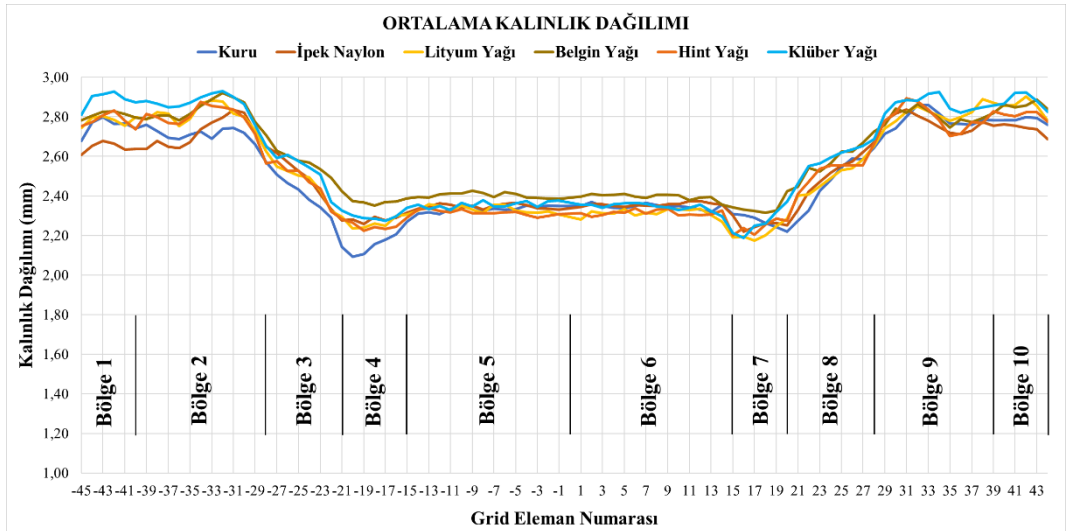


Şekil 4.29. Hint Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı.



Şekil 4.30. Klüber Yağı kullanılarak şekillendirilen numunelere ait kalınlık dağılımı.

Şekil 4.30 incelendiğinde, Bölge 5 ve Bölge 6 alanlarında %7 ile %2 arasında değişen oranlarda sac malzeme incelmıştır. Bölge 4 ve Bölge 7 alanları içerisinde bulunan radyuslarda bu değer %13 ile %4 arasında değişmektedir. Bölge 3 ve Bölge 8 alanlarında, yan duvarların başlangıcında %4'e kadar incelme, devamında ise %8'lere kadar kalınlaşma oluşmuştur. Dip radyuslarda ise maksimum %-17 oranlarında sac malzeme kalınlığında artış görülmüştür.



Şekil 4.31. Kuru ve farklı yağlayıcılar kullanılarak yapılan şekillendirmelere ait ortalama kalınlık dağılımı.

Şekil 4.25 ile Şekil 4.30 arasında kuru ve farklı yağlayıcılar kullanılarak yapılan şekillendirmelerde her numuneye ait kalınlık dağılımı verilmiş, Şekil 4.31 ise yağlayıcıların kendi arasında kıyaslamasının yapılabilmesi ve kalınlık dağılımında ki ortalama değerlerin verilmesi amacıyla karşılaştırması gösterilmiştir. Bölgesel kıyaslama yapıldığında, Bölge 5 ve Bölge 6’da zımbanın temas ettiği grid elemanlarının kalınlıklarında %1 ile %10 arasında incelmeye meydana geldiği görülmektedir. Bu bölgelerin zımba ile temas etmesinin ardından, ister kapalı kalıp içerisinde olsun, isterse açık kalıpta şekillendirmeye tabi tutulmasının zımba tarafından ezildiği ve incelmeye meydana geldiği bildirilmektedir [29], [30]. Buna ek olarak, Bölge 4 ve Bölge 7’deki radyuslarda bu incelmeye daha da arttığı, özellikle yağlayıcının kullanılmadığı kuru şekillendirmede, yağlayıcılara kıyasla incelmeye daha fazla olduğu görülmüştür. Yan duvarların yer aldığı Bölge 3 ve Bölge 8’de sac malzeme yağlayıcı kullanılsın ve ya kullanılsın kalınlaşmanın meydana geldiği, ayrıca bu kalınlaşmanın silindirik kap sonuna kadar devam ettiği bildirilmektedir [30], [31].

Yağlayıcılar, derin çekme işlemlerinde, kalıp elemanları ve sac malzeme arasındaki sürtünmeyi azaltarak, kaliteli parçaların üretilmesini sağlayan bir faktördür. Sürtünmenin azalmasının bir diğer olumlu etkisi parçanın kalınlık dağılımının daha homojen olması, başlangıç kalınlığına yakın kalınlık değerlerinin elde edilmesi ve daha az kalınlık incelmesidir [26], [7]. Şekil 4.31 incelendiğinde, kullanılan bütün yağlayıcı ortamların, kuru şekillendirmeye kıyasla, kalıp elemanları ve sac malzeme arasındaki sürtünmenin azaltılarak, daha homojen kalınlık dağılımı ve daha düşük oranda incelmeye değerlerinin elde edilmesine olumlu katkı sağladığı söylenebilir. Özellikle kuru şekillendirme işleminde, Bölge 3 ve Bölge 7’deki radyuslarda görülen aşırı incelmeler, yağlayıcı kullanımı giderilerek, daha dar alanda kalınlık dağılımı elde edilmiştir. Yağlayıcılar arasında yapılan kıyaslamada, daha az incelmeye elde edildiği ve başlangıç kalınlığına daha yakın kalınlık değerlerinin elde edilmesinde Belgin Drawtex KC-70 ile elde edildiği görülmektedir. Belgin Yağı’nın ardından sırasıyla, Klüber Yağı, İpek Naylon, Lityum Yağı ve Hint Yağı daha homojen kalınlık dağılımlarının elde edildiği söylenebilir. Drawtex KC-70 mineral yağlayıcının içerisinde bulunan EP katkılarının daha iyi şekillendirme kabiliyeti kazandırdığı bildirilmektedir [26], [27].

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu çalışmada 2,5 mm kalınlığında, 6224 kalite numaralı sac malzeme beş farklı yağlayıcı kullanılarak, kapalı kalıp altında oda sıcaklığında şekillendirilmiştir. Kullanılan farklı türlerdeki yağlayıcıların malzemelerin şekillendirilmesine ve şekil alma limitlerine etkisini belirlemek için şekillendirilmiş malzemeler üzerinden majör ve minör birim şekil değişimleri ve kalınlık dağılımları ölçülmüştür. Yağlayıcıların kullanılan sac malzemenin soğuk şekillendirilmesine etkisi incelendiğinde, sonuç olarak;

1. Amortisör tabla komponentinin 1. derin çekme operasyonunda sadece İpek Naylon yağlayıcının kap yüksekliğini arttırmak yoluyla soğuk şekillendirmeye olumlu katkı sağladığı, diğer yağlayıcı türlerinin neredeyse kuru şekillendirme ile aynı sonucu verdiği belirlenmiştir.
2. Amortisör tabla komponentinin 2. derin çekme operasyonunda Belgin Yağ ile en yüksek ortalama maksimum kap yüksekliği elde edilmiştir. Buna ek olarak sırasıyla, İpek Naylon, Lityum Yağ, Klüber Yağ ve Hint Yağı yağlayıcıların kullanılmasıyla, kuru şekillendirme kap yüksekliğinden daha yüksek kap yüksekliği elde edildiği, bu bağlamda kullanılan yağlayıcıların hepsinin soğuk şekillendirme işlemine olumlu katkı sağladığı görülmektedir.
3. Amortisör tabla komponentinin 2. derin çekme operasyonu sonrasında majör ve birim şekil değişimleri incelendiğinde, yağlayıcıların genelinde majör birim şekil değişiminin %0 ile %20 arasında, minör birim şekil değişiminin %0 ile %-30 arasında değiştiği, sadece Belgin Yağ ile yapılan şekillendirmelerde majör ve minör birim şekil değişimlerinin daha homojen olduğu belirlenmiştir.

4. Kalınlık dağılımı incelendiğinde, en düşük incelmenin Belgin Yağ ile elde edildiği görülmüş olup, sırasıyla Klüber Yağı, İpek Naylon, Lityum Yağı ve Hint Yağı kullanılmasıyla daha homojen kalınlık dağılımlarının elde edildiği belirlenmiştir.
5. Metalik sac malzemelerin oda sıcaklığında soğuk şekillendirme uygulamaları için yağlayıcıların olumlu katkı yaptığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Önal, Ü., “DC04 sacının kademeli artımlı şekillendirme yöntemi ile şekillendirilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2020.
2. Şen, N., Kurgan, N., Karaağaç, İ. Uluer, O., “Ilık derin çekme prosesinde yağlayıcı etkisinin şekillendirilebilirlik açısından deneysel araştırılması”, *J. Polytech.*, 19 (2): 185-193, 2016.
3. Yıldırım, A., “Sac şekillendirme etkisi dikkate alınarak yüksek performanslı taşıt pasif güvenlik sistemlerinin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans, *Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 2017.
4. Başpınar, M., “Modelling and simulation of friction in deep drawing”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2011.
5. Serin, F., “Sıvılaştırılmış bor katkılı yağların aşınma karakteristiklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2015.
6. İnternet: Hidrolik Silindir, “Kavitasyon Nedir? Açıklamalı ve Görselli”, <https://www.hidroliksilindir.org/kavitasyon-nedir-aciklamali-ve-gorselli/> (2022).
7. Kim, H., Sung, J.H., Sivakumar, R. ve Altan, T., “Evaluation of stamping lubricants using the deep drawing test”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 47 (2007): 2120-2132, 2007.
8. Ngaile, G., Cochran, J. ve Stark, D., “Formulation of polymer-based lubricant for metal forming”, *J Eng. Manuf.*, 221 (B): 559-568, 2007.
9. Fratini, L., Lo Casto, S. ve Lo Valvo, E., “A technical note on an experimental device to measure friction coefficient in sheet metal forming”, *J. Mater. Process. Technol.*, 172 (1): 16-21, 2006.
10. Lazzarotto, L., Dubar, L., Dubois, A., Ravassard, P., Bricout, J.P. ve Oudin, J., “A selection methodology for lubricating oils in cold metal forming processes”, *Wear*, 215 (1): 1-9, 1998.
11. Rao, K.P. ve Xie, C.L., “A comparative study on the performance of boric acid with several conventional lubricants in metal forming processes”, *Tribol. Int.*, 39 (2006): 663-668, 2006.

12. Rao, K.P. ve Wei, J.J., “Performance of a new dry lubricant in the forming of aluminum alloy sheets”, *Wear*, 249(2001): 86-93, 2001.
13. Handawi Saad Elmunafi, M., Kurniawan, D. ve Noordin, M.Y., “Use of castor oil as cutting fluid in machining of hardened stainless steel with minimum quantity of lubricant”, *Procedia CIRP*, 26(1): 408-411, 2015.
14. Awode, E., Lawal, S.A., Abolarin, M.S. ve Adedipe, O., “Performance evaluation of jatropha seed oil and mineral oil-based cutting fluids in turning aısı 304 alloy steel”, *Int. J. Eng. Mater. Manuf.*, 5 (3): 85-97, 2020.
15. Shaikh, A., Shinde, A., Chinchankar, S., Zagade, G. ve Pardeshi, S., “Comparative assessment of hard turning under dry and minimum quantity lubrication”, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 1206 (1): 1-8, 2021.
16. Durak, E., “Borik asitin katkı maddesi olarak yağlama yağında kullanılmasının araştırılması”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, 5 (1): 121-129, 2003.
17. Shashidhara, Y.M. ve Jayaram, S.R., “Vegetable oils as a potential cutting fluid—An evolution”, *Tribol. Int.*, 43 (5-6): 1073-1081, 2010.
18. Erdemir, “Ürün Kataloğu 2017”. Erdemir Grup, 2017.
19. Belgin, “DRAWTEX KC-70 Sıvama Çekme Yağı”, Teknik Doküman.
20. İnternet: Klüber Lubrication, “PRESSPATE SEM 95/800 T”, <https://www.klueber.com/tr/tr/urunler-ve-servisler/urunler/presspate-sem-95-800-t/10038/>, 2022.
21. İnternet: National Library of Medicine, “Castor Oil”. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Castor-oil>, 2022.
22. İnternet: Belgin Oil, “Greson Lit EP Serisi”. <https://www.belginoil.com/tr/Urunler/Endustriyel-Yaglar/Gresler/2/5/374/Greson-Lit-E-P-Serisi>, 2022.
23. Belgin, “Kısım I Güvenlik Bilgi Formu DRAWTEX KC 70”, 5839, Teknik Doküman, 2017.
24. Öztürk, F., Dilmeç, M., Türköz, M., Ece, R.E. ve Halkacı, H.S., “Grid marking and measurement methods for sheet metal formability”, 1 (1): 1,10, 2009.
25. Roescher, A. ve Tinnemans, A.H.A, “A new coating for deep drawing with preservation–lubricant–primer properties”, *Prog. Org. Coat.*, 43 (2001): 111-122, 2001.

26. Tigrinho, L.M.V., dos Santos, R.A., Filho, R.A.C. ve Marcondes, P.V.P., “Experimental investigation on the influence of the lubricant type in the punch stretching of extra deep drawing steel”, *J Braz Soc Mech Sci Eng*, XXX (4): 290-294, 2008.
27. Sales, W.F., Diniz, A.E. ve Machado, Á.R., “Application of cutting fluids in machining processes”, *J. Braz. Soc. Mech. Sci.*, XXIII (2): 225-240, 2001.
28. Duman, O. Ve Bozkurt, Y., “İş sağlığı ve güvenliğinde metal işleme sıvıları”, *İş Sağlığı Ve Güvenliği Akad. Derg.*, 4 (1): 27-43, 2021.
29. Zein, H., El-Sherbiny, M., Abd-Rabou, M. Ve El Shazly, M., “Effect of die design parameters on thinning of sheet metal in the deep drawing process”, *Am. J. Mech. Eng.*, 1 (2): 20-29, 2013.
30. Lăzărescu, L., Nicodim, I. ve Banabic, D., “Evaluation of drawing force and thickness distribution in the deep-drawing process with variable blank-holding”, *Key Eng. Mater.*, 639 (2015): 33-40, 2015.
31. Brabie, G., Costache, E.M., Nanu, N. ve Chirita, B., “Prediction and minimisation of sheet thickness variation during deep drawing of micro/milli parts”, *Int. J. Mech. Sci.*, 68 (1): 277-290, 2013.

ÖZGEÇMİŞ

Ebru Gürbüz, ilk, orta ve lise yıllarını aynı şehirde tamamladı. Canip Baysal Anadolu Lisesi Fen Bölümü'nden 2012 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başlayıp 2016 yılında iyi bir derece ile mezun oldu. 2017 yılında Teknorot Otomotiv Ürünleri San. Tic. A.Ş`de Ürün Geliştirme Mühendisi olarak başladığı çalışma hayatını aynı şirkette Ar-Ge Teşvikleri ve Proje Mühendisi olarak devam ettirmektedir.