

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

**SAC METAL ŞEKİLLENDİRMEDE MUKAVEMET
ARTTIRICI PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet İLHAN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Faruk VAROL

Temmuz 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAC METAL ŞEKİLLENDİRMEDE MUKAVEMET
ARTTIRICI PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet İLHAN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 03/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı

Dr. Öğretim Üyesi
Faruk VAROL
Üye

Dr. Öğretim Üyesi
Ömer SAVAŞ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ahmet İLHAN

03.07.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Faruk VAROL'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince bilgi birikimi ve tecrübesi ile yardımlarını esirgemeyen aynı zamanda laboratuvar olanağı sağlayan İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Salim ASLANLARA ve Doc. Dr. Uğur ÖZSARAÇ hocamıza teşekkür ederim.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarım süresince maddi-manevi desteklerini sunan Atasan Metal Şirketi çalışanlarına ve Hakkı Taner SEZAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca kariyer hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Sevde İLHAN'a ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

SAC MALZEMENİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ	6
2.1. Kesme.....	8
2.2. Bükme (Eğme)	9
2.2.1. Bükme (eğme) kuvveti.....	10
2.2.2. Bükme açılımı	12
2.2.3. Geri esneme (yaylanma).....	12
2.2.3.1. Geri esneme miktarının giderilmesi.....	13
2.2.4. Bükülecek parçanın hadde yönünün önemi ve belirlenmesi....	14
2.2.5. Diğer eğme ve şekil verme işlemleri.....	15
2.2.6. Derin çekme işlemi.....	16
2.2.6.1. Diğer derin çekme işlemleri.....	18
2.2.6.2. Derin çekme hataları.....	19
2.2.7. Diğer sac şekillendirme yöntemleri.....	20

2.2.7.1. Germe.....	21
2.2.7.2. Sıvama.....	21
2.2.7.3. Yüksek hızda şekillendirme (herf).....	22
2.2.7.4. Hidro şekillendirme.....	24
2.2.7.5. Merdanelerle şekillendirme (roll forming).....	25
BÖLÜM 3.	
SONLU ELEMANLAR ANALİZ YÖNTEMİ	27
3.1. Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Temel Kavramları	27
3.1.1. Düğüm (node).....	27
3.1.2. Eleman (element).....	28
3.1.3. Mesh oluşturulması.....	28
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
4.1. Kullanılan Sac Malzeme.....	29
4.2. Menteşe Mekanizması.....	32
4.2.1. Menteşe mekanizmasının tasarımı.....	32
4.2.2. Tasarlanan menteşe mekanizmasının imalatı.....	35
4.2.2.1. Üretilen parçaların montajlanması.....	36
4.3. Menteşe Mekanizmasının Test Süreçleri.....	38
4.3.1. Menteşe mekanizması test cihazı	38
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ.....	41
5.1. Menteşe Mekanizması Test Cihazında Test Edilmesi.....	41
5.2. Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi İle Modelin Simule Edilmesi	42
5.2.1. Modelin basitleştirilmesi ve mesh oluşturma.....	43
5.2.2. Sonlu elemanlar analizinin başlatılması ve inceleme.....	44
5.3. Mukavemet Artırıcı Parametrelerin Optimizasyonları ve Analizler....	46
5.3.1. Sac kalınlık parametresi arttırılmış model analizi	47

5.3.2. Sac kalitesi (akma-çekme) mukavemet parametresi arttırılmış model analizi.....	48
5.3.3. Büküm yarıçapı arttırılmış ve mukavemet formları uygulanmış model analizi.....	49
5.3.4. Alternatif tasarımla geometrik formun temas yüzeyinin arttırılması ve analizi.....	52
5.3.5. Alternatif tasarımla geometrik formun hacminin ile temas yüzeyinin arttırılması ve analizi.....	55
5.4. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçlarının Dinamik Laboratuvar Testleri İle Karşılaştırılması.....	58
5.4.1. Sonlu elemanlar analiz verileri ile dinamik laboratuvar test verilerinin bağıntı grafikleri.....	61
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Bükme açısı
Ar-Ge	: Araştırma geliştirme
BA	: Bükme açılımı
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
D	: Kalıp ve zımba arası açıklık
F	: Eğme Kuvveti
HERF	: Yüksek hızda şekillendirme
K_{ba}	: Uzama faktörü
KU	: Malzemenin kopma uzaması
PLC	: Programlanabilir mantık bilgisayar kontrol devresi
R	: Bükme yarıçapı
T	: Sac malzemenin kalınlığı
TS	: Sac malzemenin çekme mukavemeti
W	: Sacın bükme eksenince genişliği
σ_a	: Malzemenin akma mukavemeti
σ_{\checkmark}	: Malzemenin çekme mukavemeti
3D	: Üç boyutlu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kesme kalıbı kesiti	6
Şekil 2.2. Eksantrik pres kısımları	7
Şekil 2.3. Hidrolik pres kısımları	7
Şekil 2.4. İki kesme kenarı arasında sac metalin kesilmesi	8
Şekil 2.5. Kesme hataları	9
Şekil 2.6. Sacın bükülmesi ve eksenler	10
Şekil 2.7. Kalıp açıklığı	10
Şekil 2.8. V kalıpta eğme	11
Şekil 2.9. Kenar bükme	11
Şekil 2.10. Örnek bükme açılımı	12
Şekil 2.11. Bükmede geri esneme	13
Şekil 2.12. Bükme işlemi operasyon sırası ve geri esneme	13
Şekil 2.13. Geri esnemeyi önlemek için bükme açısının artırılması	14
Şekil 2.14. Geri esnemeyi önlemek büküme ezme uygulaması	14
Şekil 2.15. Serit sac malzemenin haddeleme yönü ve bükme işleminde dikkat edilecek bükme açısı.....	15
Şekil 2.16. Haddeleme yönü dikkate alınmadan bükülen parça üzerinde oluşan çatlaklar	15
Şekil 2.17. Flanş bükme	15
Şekil 2.18. Flanş bükme tipleri	15
Şekil 2.19. Farklı tipte bükme çeşitleri	16
Şekil 2.20. Çeşitli bükme tipleri.....	16
Şekil 2.21. Derin çekme	17
Şekil 2.22. Derin çekme ile üretilen iş parçası.....	17
Şekil 2.23. Derin çekme aşamaları.....	17
Şekil 2.24. Derin çekilmiş kabın tekrar derin çekilmesi.....	18

Şekil 2.25. Ters (zıt veya karşıt) derin çekme.....	18
Şekil 2.26. Sac tutucu (baskı plakası) olmaksızın derin çekme işlemi.....	19
Şekil 2.27. Derin çekme hataları.....	20
Şekil 2.28. Germe ile şekil verme	21
Şekil 2.29. Sıvama ile şekil verme	22
Şekil 2.30. Patlatma ile şekil verme	23
Şekil 2.31. Elektro-Hidrolik şekillendirme	23
Şekil 2.32. Elektro-Manyetik şekillendirme	24
Şekil 2.33. Hidro şekillendirme	24
Şekil 2.34. Merdanelerle şekillendirme (Roll forming).....	26
Şekil 2.35. Merdanelerle şekillendirme tezgahı (Roll forming).....	26
Şekil 4.1. Çekme Deneyi numuneleri.....	30
Şekil 4.2. Çekme Deneyi numunelerinin çekilmesi	30
Şekil 4.3. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı	31
Şekil 4.4. Tasarlanan menteşe mekanizması	33
Şekil 4.5. Tasarlanan menteşe mekanizmasının parçaları	33
Şekil 4.6. Tasarlanan menteşe mekanizmasının geometrik incelemesi	34
Şekil 4.7. Sac parçaların progresif kalıbı	35
Şekil 4.8. Kalıpta üretilen parçalar	36
Şekil 4.9. Üretimde kullanılan eksantrik presler	36
Şekil 4.10. Montajlanacak olan menteşe mekanizması parçaları.....	37
Şekil 4.11. Menteşe mekanizma parçalarının montajlanması	37
Şekil 4.12. Montajı tamamlanan menteşe mekanizması	38
Şekil 4.13. Menteşe mekanizması test cihazı tasarımı	39
Şekil 4.14. Menteşe mekanizması test cihazı.....	40
Şekil 5.1. Test sonucu olumsuz olan menteşe mekanizması	42
Şekil 5.2. Analizi yapılacak modelin basitleştirilmesi	43
Şekil 5.3. Basitleştirilmiş modelin analizi için “mesh” oluşturulması	44
Şekil 5.4. Standart modelin sonlu elemanlar analiz sonuçları ve von Mises stress dağılımı (Max. 1134 Mpa).....	45
Şekil 5.5. Standart modelin sonlu elemanlar analiz sonuçları ve Yer değiştirme esneme sonucu (max. 0,88 mm).....	45

Şekil 5.6. Sac kalınlığı +0,5 mm arttırılmış modelin analiz sonuçları ve von Misses stress dağılımı (Max.825 Mpa).....	47
Şekil 5.7. Sac kalınlığı +0,5 mm arttırılmış modelin analiz sonuçları ve yer değiştirme (0,14 mm).....	47
Şekil 5.8. Sac akma dayanımı ve çekme dayanımı mukavemet değerleri arttırılmış modelin stress analizi (max. 1861 Mpa).....	48
Şekil 5.9. Sac akma dayanımı ve çekme dayanımı mukavemet değerleri arttırılmış modelin yer değiştirme analizi (max. 0,76 mm).....	49
Şekil 5.10. Model geometrisinde gerilim biriken bölgelere stres dağıtıcı formların oluşturulması.....	50
Şekil 5.11. Stres dağıtıcı formların statik gerilime etkisinin analizi (max. 756 mpa).....	50
Şekil 5.12. Stres dağıtıcı formların yer değiştirme (esneme) analiz sonuçları (max. 0,26 mm).....	51
Şekil 5.13. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin arttırılması	53
Şekil 5.14. Alternatif tasarımda sonlu elemanlar analizi için “mesh” oluşturulması	53
Şekil 5.15. Alternatif tasarımda sonlu elemanlar analizi stress dağılımı (max. 430 Mpa)	54
Şekil 5.16. Alternatif tasarımda sonlu elemanlar analizi yer değiştirme (esneme) analizi (max. 0,59 mm).....	54
Şekil 5.17. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin ve hacmin arttırılması	56
Şekil 5.18. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin ve hacmin arttırılmış modelin ”mesh” işlemi	56
Şekil 5.19. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin ve hacmin arttırılmış modelin stress dağılımı (max. 294 Mpa).....	57
Şekil 5.20. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin ve hacmin arttırılmış modelin yer değiştirme (esneme) analizi (max. 0,55 mm).....	57
Şekil 5.21. A 1,5 mm standart sac model dinamik laboratuvar testi, (75 000 çevrim).....	59

Şekil 5.22. B Statik yük dağıtıcı mukavemet formları uygulanan 1,5 mm standart sac ile üretilen modelin dinamik laboratuvar testi, (120 000 çevrim).....	59
Şekil 5.23. C Alternatif tasarımla geometrinin yük taşıyan temas yüzeylerinin arttırılması ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi, (140 000 çevrim).....	60
Şekil 5.24. D Alternatif tasarımla geometrinin yük taşıyan temas yüzeylerinin ve hacminin arttırılması ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi, (250 000 çevrim).....	60
Şekil 5.25. Yay baskı kuvvetini aktaran A, B, C, D tasarımındaki elemanların ve gövde formlarının toplam Max. Stres ve Max. Esneme oranlarının yorulma ömrüne etkisi.....	61

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Sac malzemenin bazı kimyasal değerleri	29
Tablo 4.2. Sac malzemenin mekanik değerleri	32

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ürün Geliştirme, Sac Metal Şekillendirme, Sonlu Elemanlar Analizi, Mentеше Mekanizması, Ömür Çevrim Testi.

Endüstrinin farklı alanlarında tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak için ürünler tasarlanmakta ve üretilmektedir. Ürünlerin fonksiyonel özellikleri tasarım aşamalarında belirlenmektedir. Sac metal şekillendirme teknikleri ile üretilen ürünler, kullanılacak oldukları yere göre belirli statik ve dinamik yüklere maruz kalabilmektedirler. Statik ve dinamik yük taşıma kabiliyetini sağlamak için yüksek akma ve çekme gerilimine sahip ham maddeler seçmek, gerek ürün maliyeti gerekse üretim yöntemlerini olumsuz etkilemektedir.

Ar-Ge ve ürünlerin geliştirme aşamalarında malzeme seçimleri ve geometrik formlarının özellikleri doğru parametrelerde olmalıdır. Tasarlanan ürün prototiplerinin geçerli kılınması için uzun test süreçlerinden geçmesi gerekmektedir. Test sonuçları doğrultusunda yapılacak olan her bir iyileştirme prototip süreçlerini baştan başlatarak zaman ve maliyet kayıplarına yol açmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte sonlu elemanlar analiz programlarının ürün geliştirme faaliyetlerine katkısı olmuştur. Ürünlerin taşınması gereken statik ve dinamik yükler bilgisayar destekli analiz programları ile simüle edilebilmektedir ve gerekli iyileştirmeler prototip faaliyetlerden önce öngörülebilir. Tasarım aşamasında geometrik formları ve malzeme özellikleri daha doğru belirlenen ürünlerin seri üretime geçişleri daha hızlı olmaktadır.

Bu çalışmada, beyaz eşya sanayide yatay eksenindeki kapakların açılıp kapanmasını ve istenen seviyelerde dengede durmalarını sağlayan yaylı bir menteşe mekanizması ele alınmıştır. Menteşenin montajlanacak olduğu ürünün geometrik sınırları, çalışma şartları ve çalışma aralıkları tanımlıdır. Çalışmanın ilk aşamasında, menteşeyi oluşturan her bir parça için detaylı çizimler SolidWorks CAD yazılımı yardımı ile yapılmıştır ve 3D katı modeller oluşturulmuştur. Üretimi gerçekleştirilen menteşe mekanizması açma kapama ömür test cihazı ile test edilmiştir. Testler sonucunda deformasyona uğrayan parçaların sonlu elemanlar analizleri SolidWorks Simulation ile yapılmıştır ve test sonuçları ile benzer bulgular elde edilmiştir. Deformasyona uğrayan parça için önerilen geometrik iyileştirme yapılarak sonlu elemanlar analizlerinin laboratuvar testleri ile karşılaştırmalı sonuçları incelenmiştir.

OPTIMIZATION OF STRENGTH INCREASING PARAMETERS FOR SHEET METAL FORMING

SUMMARY

Keywords: Product Development, Sheet Metal Forming, Finite Element Analysis, Hinge Mechanism, Life Cycle Test.

Products are designed and produced to meet the needs of consumers in different areas of the industry. The functional properties of the products are determined in the design stages. The products produced by sheet metal forming techniques are subject to certain static and dynamic loads, depending on where they are to be used. Choosing raw materials with high yield and tensile stress to achieve static and dynamic load carrying capability negatively affects production methods if product cost is required.

In the development stages of R & D and products, the properties of material choices and geometric forms must be at right parameters. Design prototypes must be validated long after the testing process. Each improvement that is to be made in line with the test results leads to time and cost losses by initiating prototype processes from scratch. With the development of technology, end-user contributed to product development activities of analysis programs. Static and dynamic loads that products need to carry can be simulated with computer-assisted analysis programs, and necessary improvements can be anticipated before prototype activities. In the design phase, serial production transitions of products with more accurate geometric forms and material properties become faster.

In this study, a white hinge mechanism was devised to allow the horizontal axis of the white goods industry to open and close the covers and to keep the desired levels in balance. The geometric limits, operating conditions and operating ranges of the product to which the hinge will be mounted are defined. In the first phase of the work, detailed drawings for each piece making up the hinge were made with the help of SolidWorks CAD software and 3D solid models were created. The produced hinge mechanism was tested with the opening and closing life tester. The results of the tests were analyzed with SolidWorks Simulation, and the results were similar to those of the test results. The proposed geometric improvement for the part subjected to the deformation has been investigated and the results of the end element analysis compared with the laboratory tests have been examined.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İmalat usullerinden plastik şekil verme yöntemleri ile haddehanelerde üretilen sac hammaddesi, farklı tiplerde soğuk şekil verme yöntemleri uygulanarak arzulanan geometrik yapıdaki formlara dönüştürülebilmektedirler.

Beyaz eşya ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan, saca şekil verme yöntemleri ile oluşturulan yapılar, gerek statik gerekse de dinamik yüklere dayanımları yüksek olacak şekilde tasarlanıp çeşitli imalat usulleri uygulanarak üretilmektedir.

Tasarlanan ürünü oluşturan yapı elemanları, birbirleri içerisinde yük aktarımlarını ve tekrarlı kuvvetlerin bileşimlerini, yapının rijitliğini ve fonksiyonlarını bozmadan karşılamalıdır.

Yüksek mukavemet gerektiren yapılarda tasarım aşamasında statik ve dinamik kuvvetler göz önünde bulundurularak, seçilen malzemenin akma - çekme mukavemet değerlerinin ve diğer mekanik özelliklerinin yüksek olması beklenir. İmalat usullerinde yüksek mukavemetteki malzemelere şekil vermek daha maliyetli ve zordur. Yüksek mukavemetli malzemeye şekil verme sırasında tolerans ölçüleri ve kalıp ömürlerinin olumsuz etkilenmesinin yanı sıra hammadde maliyetinin de yüksek olması üretimi olumsuz yönde etkilemektedir.

Saç metal şekillendirmede mukavemet artırma yöntemleri endüstrinin birçok alanında uygulanabilmektedir. Mukavemet arttırıcı yöntemlerde, yapının geometrik formunda ve kalıp prosesinde yapılan iyileştirme parametreleri ön plana çıkmaktadır. Yapı elemanın geometrik şekline kuvvet ve gerilimleri dağıtıcı formlar uygulanabilmektedir. Bu formlar sayesinde malzemenin kalınlığını ve akma çekme

mukavemet değerlerini arttırmadan belirli miktarda statik ve dinamik y¼klere dayanımı sağlayacak nitelikte optimizasyonları uygulamak m¼mk¼n olmaktadır.

Sac metal Şekillendirme y¼ntemleri ile ¼retilen ¼r¼nler end¼strinin bir¼ok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hammadde olarak doğada bulunan demir cevheri entegre tesislerde iŐlenerek sac ve diğer yapı malzemelerine d¼n¼Őt¼r¼lmektedir. End¼strinin gelişmesi ile artan ¼retim hacimleri ve m¼Őteri talepleri sac hammaddesinin t¼ketimini arttırmaktadır.

D¼nya genelinde ¼retim yapan ¼lkelerde 2016 verilerine g¼re 1629 milyon ton yıllık ham ¼elik ¼retimi olduğu g¼r¼lmektedir [1]. (T¼rkiye’de toplam ¼elik ¼retimi 33,2 bin ton / Yıl). Dayanıklı t¼ketim mallarından beklenen kaliteyi sağlamak ve doğal kaynakları korumak adına, yapıyı oluŐturmak i¼in kullanılan sac hammaddesinin optimum d¼zeyde kullanılması gerekmektedir.

Teknolojinin gelişmesi ile m¼hendislik hesaplamaları ve sayısal analizler daha hızlı ve etkin olarak uygulanabilmektedir. Bilgisayar destekli ¼retim sistemlerinin yaygınlaŐması iŐletmelerin rekabet ortamında bir adım daha ileri gidebilmelerini sağlamaktadır.¼r¼nlerin tasarım aşamasında geliştirilen ¼zellikleri ve m¼Őteri beklentisini karşılama d¼zeyleri kalite seviyesini belirlemede ¼nemli etkidedir. Ar-Ge ¼alıŐmalarında yapılan sayısal analizler ve sim¼lasyonlar sayesinde, ¼zerinde ¼alıŐılan konu ile ilgili daha kısa s¼rede doğru y¼nde ilerleme sağlanabilmektedir. ¼r¼nlerin kullanım ¼mr¼ boyunca tanımlanan koŐullarda fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri ve g¼venirlilik d¼zeylerinin y¼ksek olması t¼keticiler tarafından tercih edilen bir durumdur.

Proje s¼re¼lerinde yapılan testler ve ¼ng¼r¼lemeyen geliştirme faaliyetleri zaman ve proje maliyetlerinde artışlara neden olmaktadır. Tasarım ve geliştirme aşamasında olan ¼r¼n¼n doğru analiz s¼re¼lerinden ge¼memesi sonucu ¼ok sayıda prototip ¼eŐidi oluşmakta ve test s¼re¼leri uzamaktadır. Test koŐullarını sağlamak i¼in gereğinden fazla mukavemeti olan y¼ksek standartta malzeme kullanılabilmekte ve ¼r¼nler hedef

maliyetlerinden uzaklaşabilmektedir. Hedef maliyetlerinden uzaklaşan ürünlerin rekabet ortamında tutunmaları zorlaşmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, sac metal şekillendirme teknikleri ile üretilmiş olan yatay kapakların açılmasında kullanılan mekanik bir menteşe tasarımının, sonlu elemanlar analiz programı ile belirli miktarda yük altındaki stres dağılımına ve geometrik formundaki değişikliğin dinamik testlerdeki dayanıma etkileri incelenmiştir. Sabit statik yük altındaki farklı tipte tasarımlarda meydana gelen gerilimler ve test ortamında aynı miktarda tekrarlı dinamik yüklere maruz bırakıldığında oluşan malzeme davranışları incelenmiştir. Mekanik yapıda oluşan deformasyon ve çatlamların karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda, tasarım aşamasındaki yapıda gerekli mukavemet dayanımlarını sağlayabilecek geometrik formlar optimize edilmiştir ve mekanik laboratuvar testleri ile geçerli kılınmıştır.

Sac metal parçaların şekillendirilmesinde yaygın olarak uygulanan yöntemler ile ilgili birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Yapılmış olan çalışmalarda, kullanılan malzemenin ve proses parametrelerinin şekillendirmeye etkileri üzerinde odaklandığı görülmektedir. Çağın gerekleri doğrultusunda teknolojinin etkin olarak kullanılması ve sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bilgisayar programları sayesinde, tasarım aşamalarındaki ürünlerin analizlerinin ve çözümlerinin yapıldığı görülmektedir.

Konu kapsamındaki bazı örnek çalışmalar incelenmiştir ve aşağıda belirtilmiştir.

Chenot ve Massoni çalışmalarında, metal şekillendirme işlemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizini ve modellenmesini incelemiştir. Şekil verilecek olan malzemenin fiziksel özelliklerine göre, sonlu elemanlar analizinde iş parçası ile takım arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Şekillendirme işlemlerinde sayısal simülasyon teknolojisi ile etkili olarak optimize edilebileceğini önermişlerdir [2].

Fırat, Kaftanoğlu ve Eser çalışmalarında sac metal şekillendirmede geri esnemeyi, sonlu elemanlar analiz yöntemleri ile inceleyerek, Bauschinger etkisini, bir is plastisite modeli sunarak geri esnemeyi hesaplamaya çalışmışlardır [3].

Tizca yapmış olduğu çalışmada, bilgisayar destekli modelleme ve mühendislik yazılımlarının imalat süreçlerinde kullanımının arttığına değinmiştir. Geçmiş yıllarda deneme ve yanılma yöntemi ile elde edilen verilerin zaman ve maliyet açısından olumsuz etkisi olduğunu belirtmiştir. Günümüzde ise modelleme ve simülasyon analiz programlarının üretim süreçlerindeki avantajlarına değinerek önceki tekniklerle karşılaştırmıştır. Endüstriyel alanda faaliyet gösteren sanayicilerin bilgisayar destekli yazılımlara karşı olan ön yargılarına değinmiştir [4].

Gantar, Pelelnjak ve Kuzman sac metal şekil verme proseslerinin optimize edilmesi elde ettikleri kazanımları farklı endüstriyel uygulamalarda araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmalarda en uygun ürün geometrisi ve şablon açılımlarının belirlenmesi ve son ürün sac kalınlığı, sacda oluşan buruşmaları, geri esnemeleri, büküm gerilimlerini sonlu elemanlar analiz programları ile incelemişlerdir. Ayrıca bükme kuvvetini ve kalıp üzerindeki yüklerin simüle edilmesini benzetim programı ile incelemişlerdir. Sayısal benzetim programlarının üretim süreçlerinde gerekliliğini güvenilirlik ve maliyet açısından irdelemişlerdir [5].

Palaniswamy, Ngaile ve Altan yaptıkları çalışmada, Mg alaşımlı AZ31B sac tipinin çekilebilme kabiliyetini non-izotermal sonlu elemanlar analiz yöntemi ile incelemiştir. Simülasyon çalışmalarında; termal değışikliğin malzemenin çekilebilme kabiliyetini etkilediğini görmüşlerdir. Sıcaklık artışı ile malzemenin çekilebilme oranı artmakta olduğunu ve en çok çekilebilme kabiliyetinin 200 C olduğunu simülasyon çalışmaları sonucu elde etmişlerdir. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile laboratuvar deney sonuçları benzer sonuçlar vermiştir [6].

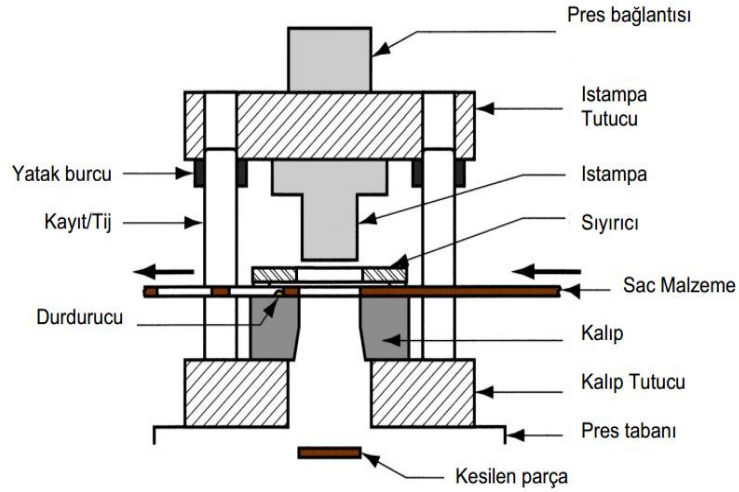
Çavuşoğlu yapmış olduğu tez çalışmasında, DP600 ve DP780 tipindeki sac malzemelere şekil verilmesinde, plastik deformasyon hızının ve malzeme özelliklerinin şekil alma kabiliyetine olan etkilerini incelemiştir. Autoform bilgisayar programında sonlu elemanlar analiz yöntemi ile matematiksel bir model oluşturarak, farklı deformasyon hızlarında sac malzemenin şekil alma kabiliyetini simule ederek incelemiştir [7].

Hekim yapmış olduğu tez çalışmasında, sac şekil verme yöntemlerinden “V bükme” işleminde oluşan geri yaylanma olayını incelemiştir. Üretim sürecinde geri yaylanma ve esnemelerin ön görülmesi ile zaman ve maliyet kazancı sağlanabileceğini belirtmiştir. Çalışmasında Al 1050 H14 cinsi sac malzemeyi V bükme kalıbında bükerek, sıkıştırma kuvveti ve hadde yününe bağılı olarak geri yaylanmasını incelemiştir. Bilgisayar programında sonlu elemanlar analizlerini gerçekleştirerek laboratuvar deneyleri ile simülasyon sonuçlarının örtüştüğünü görmüştür [8].

BÖLÜM 2. SAC MALZEMENİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Sac malzemeye istenen formda şekil verilmesi için kalıp denilen araçlar kullanılarak plastik şekillendirme yöntemleri uygulanır. Kalıp çeliklerine preslerde uygulanan basınç iş parçası üzerine iletilir ve malzeme yüksek gerilim altında kalıbın belirlenen sabit şeklini alarak kalıcı şekil değişimine uğrar [8].

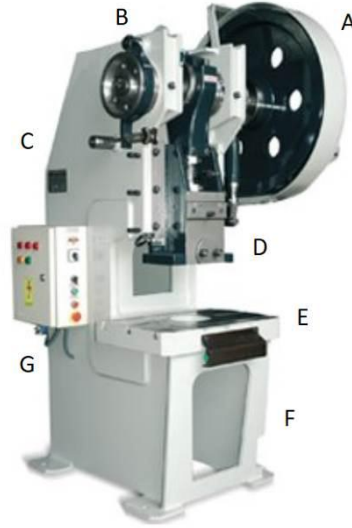
Sac metal form işleme takımları, zımba ve kalıp çelikleri olarak isimlendirilir. Sac metal form ve kesme işlemlerinde kullanılan, kalıp araçlarına strok ve basınç uygulayan makinelere pres denir. Preslerde kullanılan kalıp araçları çoğunlukla “ıstampa” ve “baskı kalıbı - kayıt” sistemlerinden oluşmaktadır. Yaygın olarak kullanılan “kesme kalıbı” sistemleri ile ilgili kesit bilgisi aşağıda belirtilmiştir [9], [10], [11].



Şekil 2.1. Kesme Kalıbı Kesiti [9]

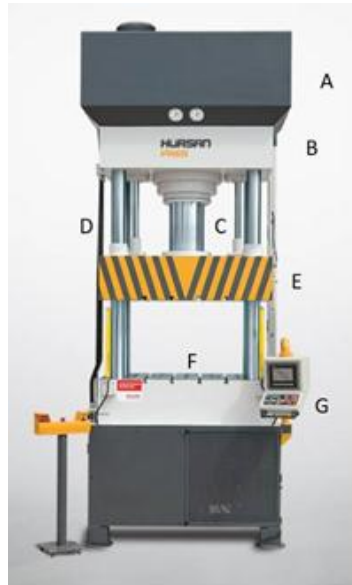
Sac malzemenin kesilmesi işlemini ardışık olarak gerçekleştiren kesme kalıpları, gerekli olduğu durumlarda kesmeden sonra bükme işlemlerini de gerçekleştirebilmektedirler. Kesme ve bükme işlemlerini ardışık olarak yapılması için tasarlanan kalıplara “Bileşik Kalıp” ya da “Progresif Kalıp” denir [9], [10], [11].

Mekanik tahrikli eksantrik presslerde genellikle “Kesme” ve “Bükme” işlemleri uygulanır.



Şekil 2.2. Eksantrik Pres Kısımları (A: Volan, B:Tahrik, C: Pres gövdesi, D: Koç, E: Yastık plakası, F: Pres kaidesi, G: Kontrol paneli)

Hidrolik Preslerde, daha düşük hızlarda ve yüksek basınç gerektiren “Derin Çekme” ve “Hidro-Forming” gibi işlemler gerçekleştirilir.

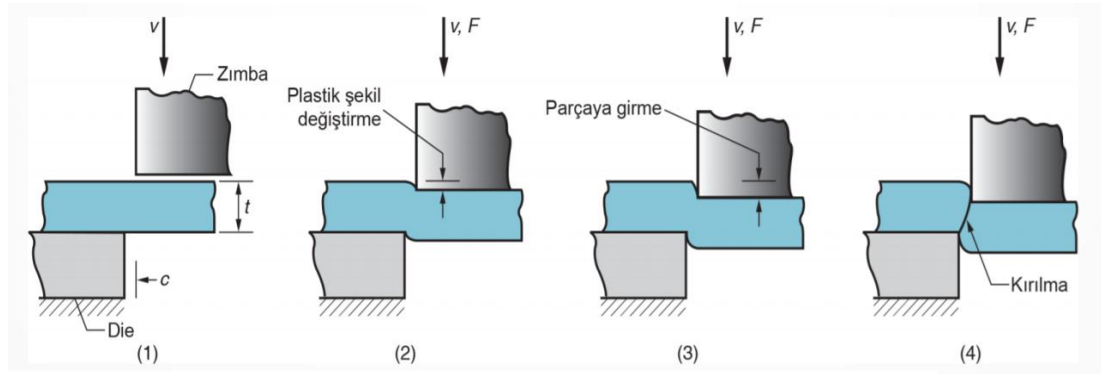


Şekil 2.3. Hidrolik Pres Kısımları (A: Hidrolik pompa, B: Pres başlığı, C: Sıkıştırma pistonu, D: Stün kayıtlar, E: Köprü, F: Pres masası, G: Kontrol paneli)

Sac metal soğuk şekillendirme yöntemleri; kesme, bükme, derin çekme ve diğer yöntemler olmak üzere birkaç ana başlıktan oluşmaktadır.

2.1. Kesme

Kalıp içerisindeki alt ve üst kısımda karşılıklı bulunan zımba takımları arasında sıkışan sac malzeme, kesme boşluğu arasında makaslama etkisi ile basınç altında 4 temel aşamada kesme işlemine tabi olur [9], [10], [11].



Şekil 2.4. İki Kesme Kenarı Arasında Sac Metalin Kesilmesi [9]

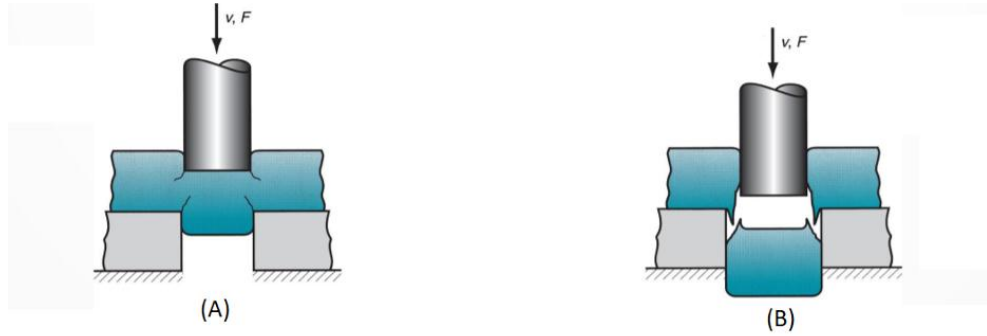
1. Birinci aşamada sac malzemenin üzerinde temas eden zımba basınç etkisi ile plastik - kalıcı şekil değiştirme oluşturmaktadır.
2. İkinci aşamada basınç etkisinde malzeme ile temas halindeki zımba aşağı yönde ilerleyerek sac parçayı ezmeye devam eder.
3. Üçüncü aşamada zımba sacın içine malzeme kalınlığının 3/1 oranında girmektedir.
4. Son aşamada zımba hareketine devam eder ve sac malzeme koparak ayrılır.

Kesme kalıplarındaki işlemlerde dikkate alınması gereken parametreler; kalıp ve zımba arası boşluk, kesilecek sac malzeme kalınlığı, kesilecek sac malzeme cinsi ve mukavemeti ve kesme uzunluğudur.

Kesme boşluğu; zımba ile kalıp arasındaki kesim kenarının arasında kalan boşluk mesafesidir. Kesme işlemi sırasında oluşabilecek (parametrelere bağlı) hatalardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

1. Kesme boşluğu yeterince verilmez ise çift kıvrılma oluşur kesme hatları iç içe geçebilir.

2. Kesme boşluğunun fazla olması durumunda (ya da takımların körelmesi sonucu) kesme işlemi sırasında malzeme bükülerek uzar ve çapak oluşumu gözlenir.

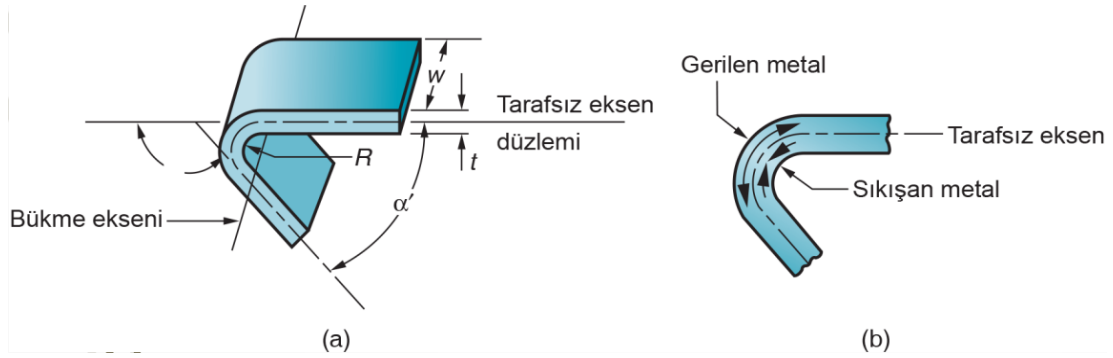


Şekil 2.5. Kesme Hataları [9]

2.2. Bükme (Eğme)

Sac malzemeye tarafsız eksen etrafında eğilme gerilmeleri uygulanarak şekil verilmesine bükme denir. Tarafsız eksen altında kalan bölge büzölmeye zorlanırken üst kısımda kalan bölgede çekilme meydana gelir. Bükölme eksenini üstündeki dış kısımda plastik akma oluşur ve malzeme incelmektedir. Sac malzemeye şekil verme sırasında malzemenin kalınlığı, büküm açı değeri ve büküm yarıçapı ölçü değeri parametreleri etkilidir [9], [10], [11]. Bükme parametreleri ve bükme şiddeti arasındaki ilişki:

1. Sac malzemenin kalınlığı arttıkça bükme şiddeti artmaktadır.
2. Malzemenin büküm açı değeri arttıkça bükme şiddeti artmaktadır.
3. Tarafsız eksen altındaki büküm yarıçapının azaltılması bükme şiddetini arttırmaktadır.
4. Bükme sırasında oluşan plastik şekil değıştirme miktarı ile malzeme cinsi bağlantılıdır.
5. Malzeme sertliğı ile bükme direnci arasında ters orantı vardır.



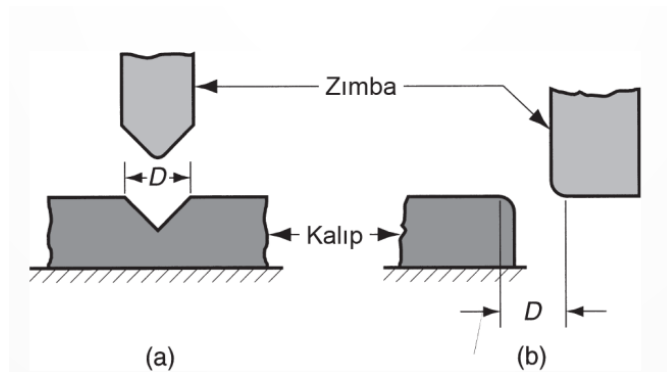
Şekil 2.6. Sacın Bükülmesi ve Eksenler [9]

2.2.1. Bükme (eğme) kuvveti

Zımba ve kalıbın geometrisi, sacın mukavemeti, kalınlığı ve boyuna bağlı olarak, eğme işlemi için gereken kuvvet belirlenir. “t” kalınlığındaki sac malzemenin bükülmesinde eğme açısı etkilidir. Sac malzemenin bükme işlemi “w” genişliğince yapılmaktadır [9], [10], [11].

$$F = \frac{K_{BF}(TS) \cdot wt^2}{D}$$

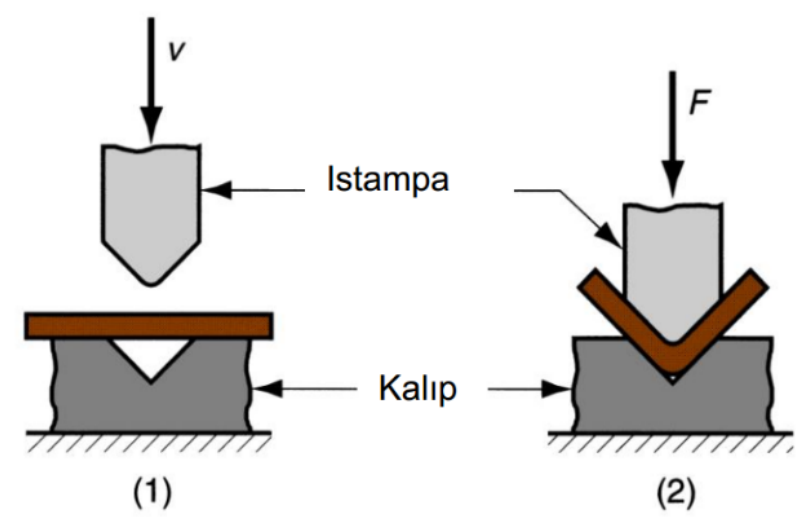
Yukarıda belirtilen denklem ile eğme kuvveti hesaplanabilmektedir. Burada; F (Eğme Kuvveti (N)), TS (Sac malzemenin çekme mukavemeti (MPa)), w (Sacın bükme eksenince genişliği (mm)), t (Sac malzeme kalınlığı (mm)), D (Kalıp – Zımba arası açıklığı değeri (mm)) değişkenlerini oluşturmaktadır.



Şekil 2.7. Kalıp Açıklığı [9]

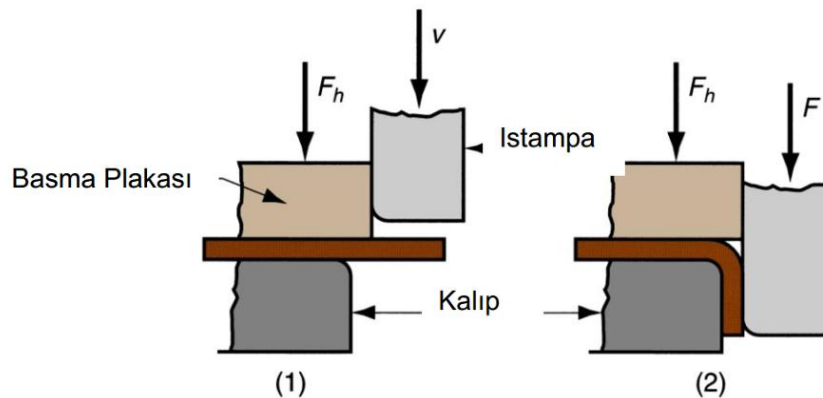
Sac malzemenin bükülmesi için uygulamada yaygın olarak “V Kalıpta Eğme” ve “Kenar Bükme” işlemleri kullanılmaktadır.

V Kalıpta Eğme: Sac metal malzeme, “V” şeklindeki kalıp ve zımba arasında basınç uygulanması sonucunda kalıbın şeklini alarak eğilir. Kenar bükmeye nazaran daha düşük adetli üretimler için kullanılmaktadır.



Şekil 2.8. V Kalıpta Eğme [9]

Kenar Bükme: Baskı plakası ve kalıp arasında sıkıştırılan sac malzeme üzerine zımba vasıtası ile basınç uygulanarak tarafsız eksen boyunca bükülür ve kalıbın 90 derece olan formunu alır. Yüksek adetli seri üretimler için uygundur ve yaygın olarak kullanılmaktadır.



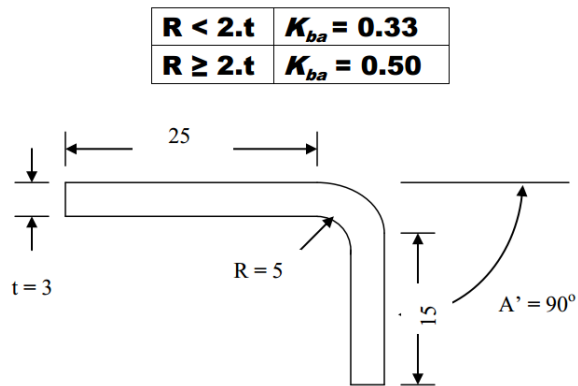
Şekil 2.9. Kenar Bükme [9]

2.2.2. Bükme açılımı

Sac malzemenin tarafsız eksen etrafında bükülmesi sırasında; iç kısımda küçük radyüslerin olması dolayısı ile dış tarafta plastik uzama gerçekleşir ve malzeme bükme boyunca uzamış olur. Geometrinin istenilen tam ölçülerde olması için, bükme öncesindeki taslak şablon boyu ve uzamalar dikkate alınarak hesaplanmalıdır [9], [10], [11].

$$BA = 2.\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba}.t)$$

BA: Bükme açılımı (bükülen bölgenin işlem öncesi olması gereken boyu), A: Bükme açısı (o), R bükme yarıçapı (mm), Kba: Uzama faktörü ve t sac kalınlığıdır (mm).



$$BA = 2.\pi \frac{90}{360} (5 + 0.35 \times 3) = 9.5 \text{ mm}$$

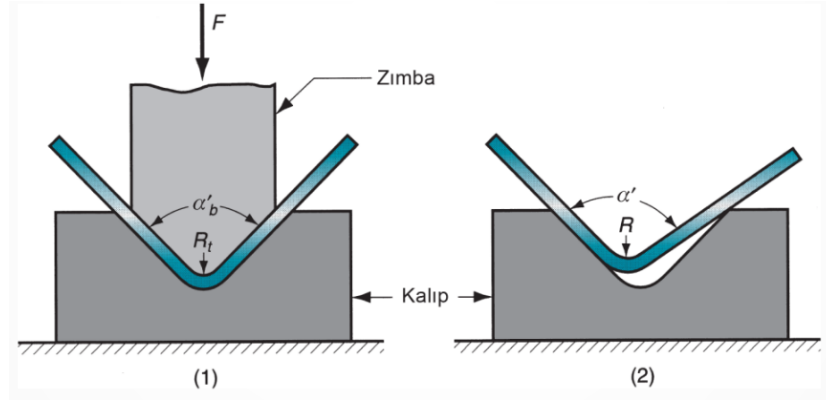
Şekil 2.10. Örnek Bükme Açılımı

Taslağın başlangıç boyu = 25 + 9.5 + 15 = 49.5 mm olarak kesilmelidir.

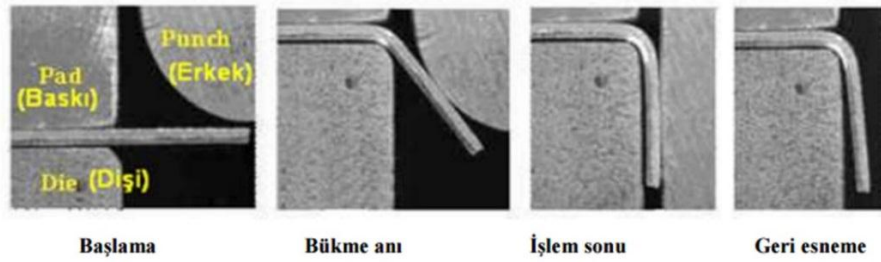
2.2.3. Geri esneme (yaylanma)

Sac malzemeye şekil verilmesi sırasında, basınç altındaki parça akma mukavemeti üzerindeki gerilimlerle plastik şekil değişikliğine maruz kalmaktadır. Uygulanan

basınç ve gerilimler kaldırıldığında, malzeme elastik deformasyon bölgesinde kalan kısmı itibari ile eski şekline geri gelme eğilimi göstermektedir. Bu olaya geri esneme (yaylanma) denmektedir [9], [10], [11].



Şekil 2.11. Bükmede Geri Esneme [9]

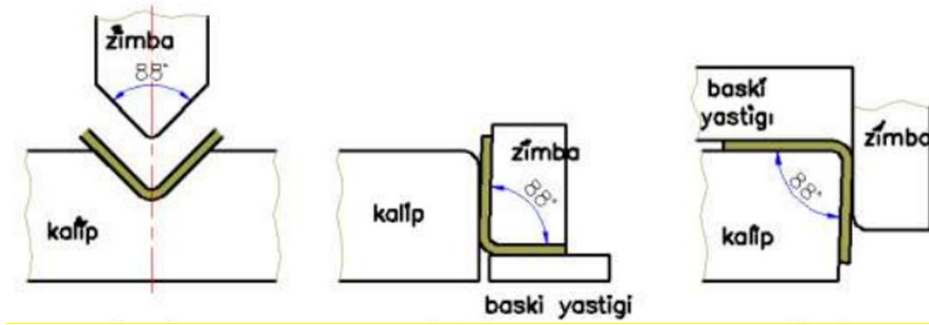


Şekil 2.12. Bükme İşlemi Operasyon Sırası ve Geri Esneme [9]

2.2.3.1. Geri esneme miktarının giderilmesi

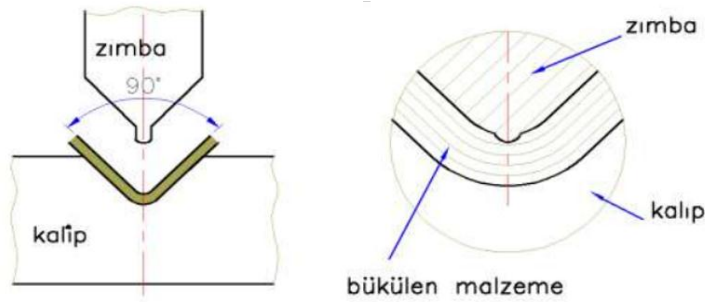
Sac malzemenin şekillendirilmesi işleminde geri esnemenin azaltılması veya yok edilmesi için farklı yöntemler uygulanmaktadır [9], [10], [11].

Bükme açısının artırılması: Parça üzerine uygulanan bükme açısı, geri yaylanma açısı kadar artırılarak fazla bükülme sağlanır ve parça istenilen geometride çıkar.



Şekil 2.13. Geri Esnemeyi Önlemek İçin Bükme Açısının Arttırılması [9]

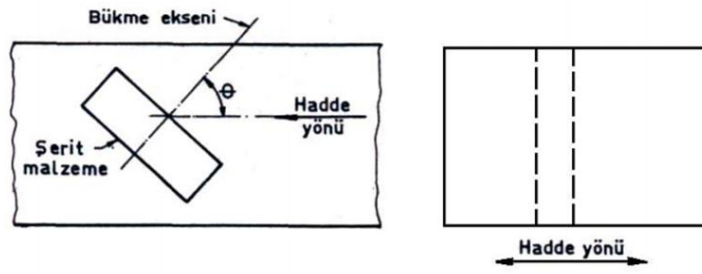
Büküm tabanının ezilmesi: Tarafsız büküm eksenini altında kalan taban kısmının ezilmesi ve malzemenin bölgesel olarak nispeten zayıflatılması ile büküm kuvveti etkilenerek geri esneme miktarı azaltılmış olur.



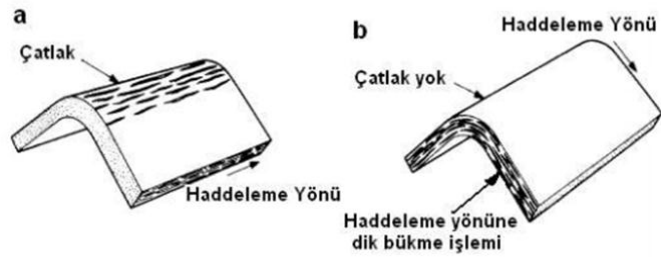
Şekil 2.14. Geri Esnemeyi Önlemek Büküme Ezme Uygulaması [9]

2.2.4. Bükülecek parçanın hadde yönünün önemi ve belirlenmesi

Haddehanelerde merdaneler arasında ezilerek üretilen sac malzemede, hadde yönünde liflere benzer yapıda mukavemeti yükselten malzeme yapısı oluşmaktadır. Bu malzeme yapısı itibari ile hadde yönünde dik açıda oluşturulan tarafsız büküm eksenini ile yapılan işlemlerde daha düzgün ve mukavemetli bükümler elde edilmektedir. Aksi durumda hadde yönüne paralel ekseninde yapılan büküm işlemlerinde, malzeme doku yapısında çatlaklar oluşmakta ve işlem olumsuz etkilemektedir. Tarafsız büküm eksenini hadde yönüne dik açığa yaklaştıkça büküm kuvveti artmaktadır [9], [10], [11].



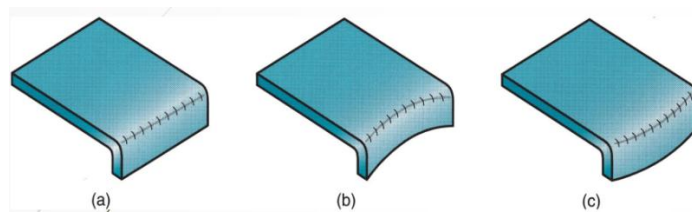
Şekil 2.15. Serit Sac Malzemenin Haddeme Yönü ve Bükme İşleminde Dikkat Edilecek Bükme Açısı [9]



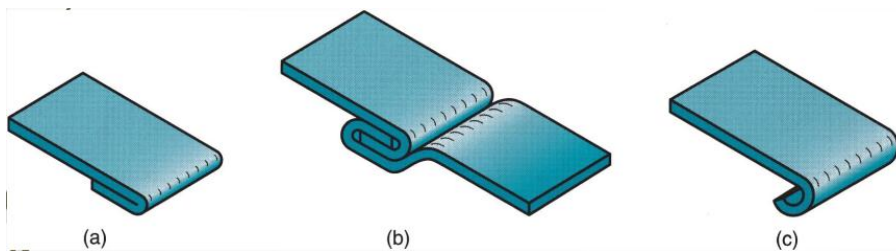
Şekil 2.16. Haddeme yönü dikkate alınmadan bükülen parça üzerinde oluşan çatlaklar var, Haddeme yönüne dik olarak yapılan bükme işleminde çatlak yok [9]

2.2.5. Diğer eğme ve şekil verme işlemleri:

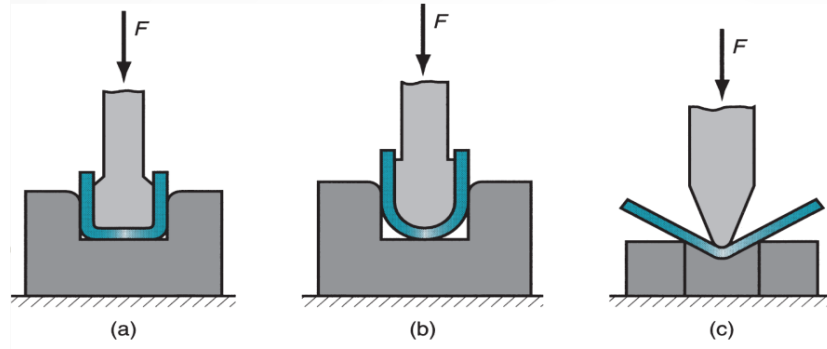
Üretim alanlarında yaygın olarak kullanılan eğme ve şekil verme uygulamalarından bazı örnekler aşağıdaki gibidir [9], [10], [11].



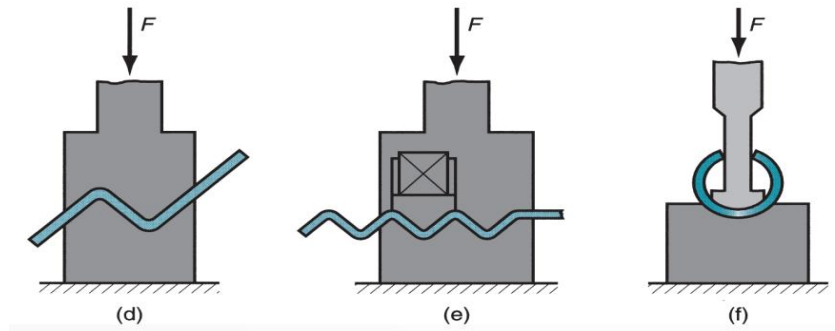
Şekil 2.17. Flanş Bükme; (a) Düz Flanşlama, (b) İç Bükey Flanşlama, (C) Dış Bükey Flanşlama [9]



Şekil 2.18. Farklı Bükme Tipleri; (a) Katlama, (b) Kenetleme, (c) Kenar Kıvrırma [9]



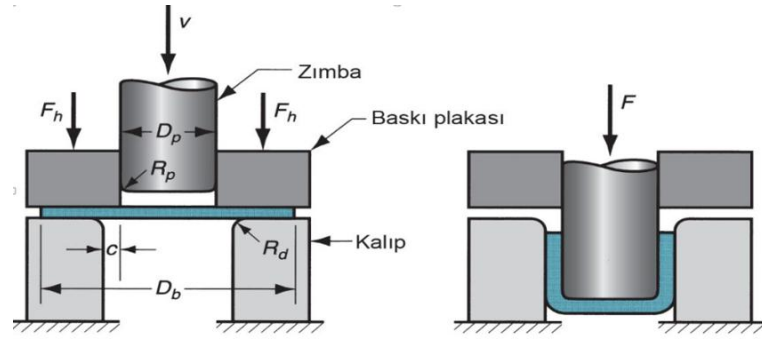
Şekil 2.19. Farklı tipte bükme çeşitleri; (a) Kanal Formunda Bükme, (b) U- Formunda Bükme, (c) Serbest Şekilde Bükme [9]



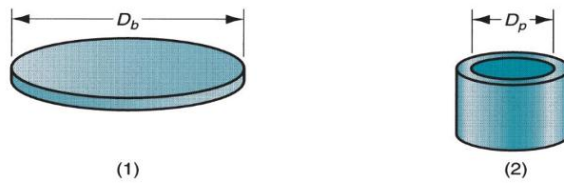
Şekil 2.20. Çeşitli Bükme Tipleri; (d) Ofset Bükme, (e) Ondüle Bükme (f) Silindirik Bükme [9]

2.2.6. Derin çekme işlemi

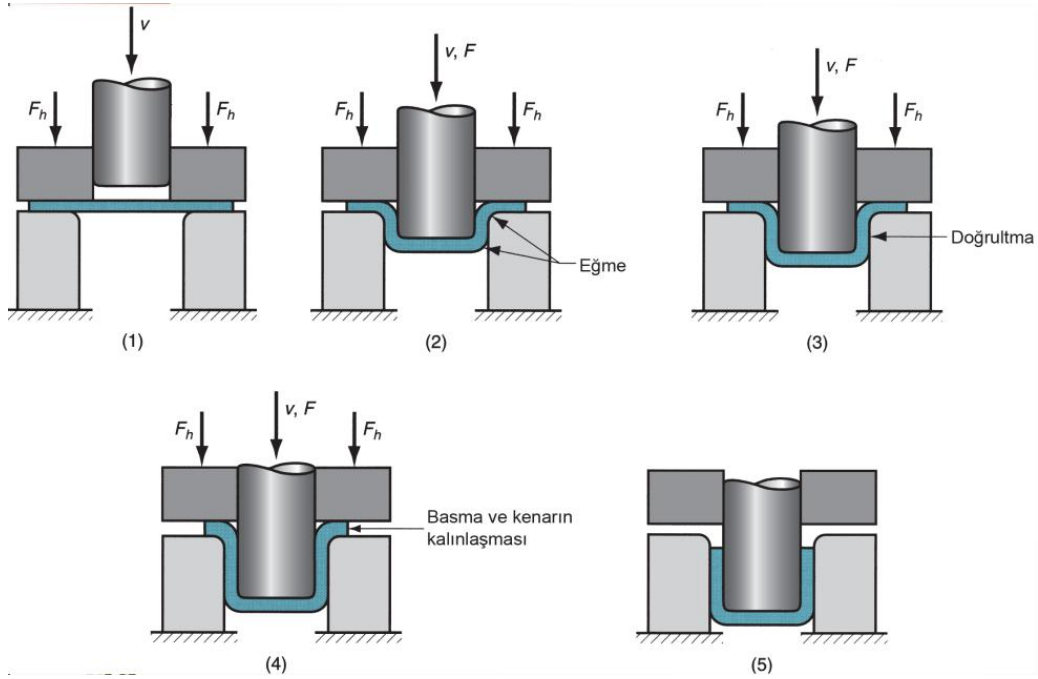
Silindirik, kare veya konkav şeklinde karmaşık yapıdaki sac parçaların istenilen formda oluşturulması için uygulanan yöntem “Derin çekme” işlemi denmektedir. Derin çekme işleminde; kalıp boşluğu üzerinde yerleştirilen parça üzerinde bir zımba vasıtasıyla basınç uygulanır. Parça üzerinde uygulanan basınç sonucu oluşan gerilim sac malzemenin akma mukavemeti üzerine çıkması ile malzeme plastik deformasyon bölgesine geçerek altındaki kalıbın şeklini almaya başlar. Aşağıdaki şekillerde bu işlem belirtilmiştir [9], [10], [11].



Şekil 2.21. Derin Çekme [9]



Şekil 2.22. Derin Çekme İle Üretilen İş Parçası [9]



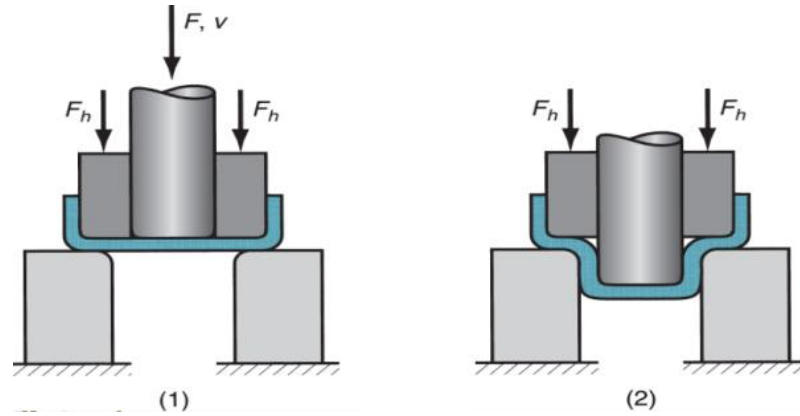
Şekil 2.23. Derin Çekme Aşamaları [9]

1. Zımba iş parçasına temas eder
2. Eğme işlemi
3. Doğrultma işlemi

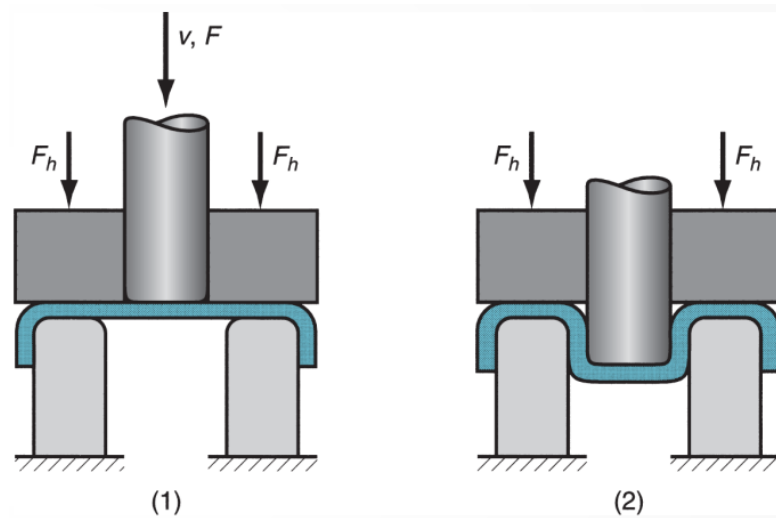
4. Sürtünme ve sıkıştırma işlemi
5. Derin çekme gerçekleşmiş ve kap duvarları incelmıştır.

2.2.6.1. Diğer derin çekme işlemleri

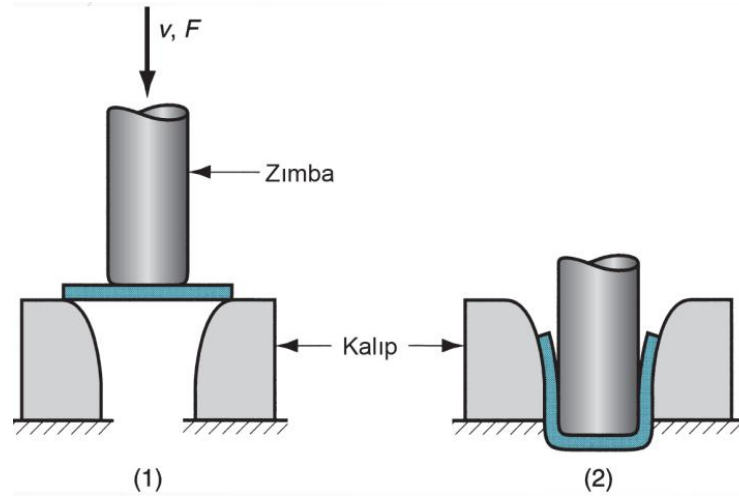
Derin çekme işlemi sonucunda istenilen formun daha karmaşık ve kademeli yapıda olması durumunda farklı yeniden derin çekme, ters yönde deformasyon, basınç altında ezerek ütüleme benzeri işlemler uygulanmaktadır. Basınç altında ütüleme işleminde parçanın çapı değişmezken malzeme kalınlığı azalmaktadır. Ters yönde deformasyonla derin çekmede işlem gören parçanın iç çapı değiştirilmektedir [9], [10], [11].



Şekil 2.24. Derin çekilmiş kabın tekrar derin çekilmesi; Tekrar çekme başlangıcı, strok sonu [9]



Şekil 2.25. Ters (zıt veya karşıt) derin çekme [9]



Şekil 2.26. Sac Tutucu (Baskı Plakası) Olmaksızın Derin Çekme İşlemi [9]

Derin çekme işlemi sac tutucu baskı plakası olmadan gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemle üretimde pul şablonu çapının küçülmesi burkulmaya, buda kırışmaya neden olduğundan bu çeşit derin çekme işlemi sınırlı tipte üretimler için mümkün olmaktadır. Büyük çaptaki şablonları olan ürünler için pratikte uygulama sorunları oluşur ve derinliği fazla olan kapların üretimi mümkün olmaz.

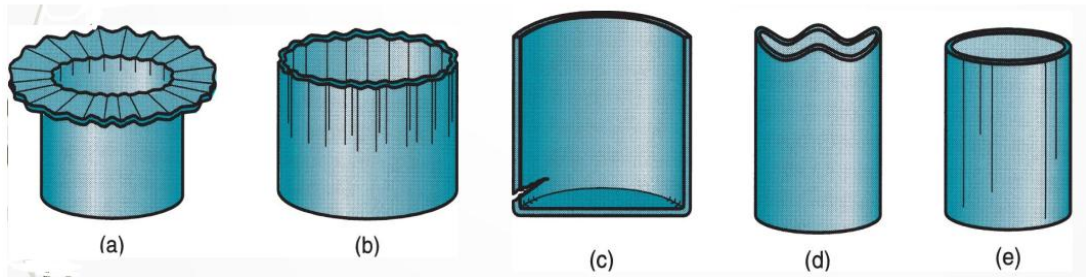
2.2.6.2. Derin çekme hataları

Derin çekme sırasında oluşabilecek hasarlar şunlardır [9], [10], [11] ;

Flanş Bölgesinde Kırışma: Sac malzeme üzerine zimba vasıtası ile uygulanan basınç sonucunda oluşan gerilimler ile şekil değişikliği sırasında oluşan kırışmalardır. Bu tip derin çekme hataları baskı plakası olmadığı durumlarda, yetersiz pot çemberi basıncı olmasında ya da olması gerekenden fazla şablon çapı seçilmesinden dolayı oluşabilmektedir.

1. Yan Duvarda Kırışma: Şekil verme sırasında flanş bölgesinde oluşan kırışıklıkların formun devamında içeriye çekilmesi sonucu yan duvarlarda oluşur.

2. Yırtılma: Kullanılan malzemenin uzama katsayısının ve çekme kuvvetinin uygun olmaması durumunda, flanştan malzeme akamaz ve zımbanın basma kenarında ve kalıbın dip kısmına yakın radyüslerde malzeme yırtılır.
3. Kulaklanma: Kullanılan sac malzemenin düzlemi boyunca yatay ve dikey eksenlerdeki uzama katsayıları ve mukavemet değerlerinin (anizotropisine bağlı olarak) farklı olması sonucunda form verilen parçanın kenarlarında dalgalanma biçimleri oluşmaktadır.
4. Yüzey Çizikleri: Derin çekme kabının yüzeyinin yeterince düzgün olmaması veya kullanılan yağ cinsinin uygun olmaması sonucunda form verilen parçanın dış yüzeyinde çizilmeler oluşmaktadır.



Şekil 2.27. Derin Çekme Hataları [9]

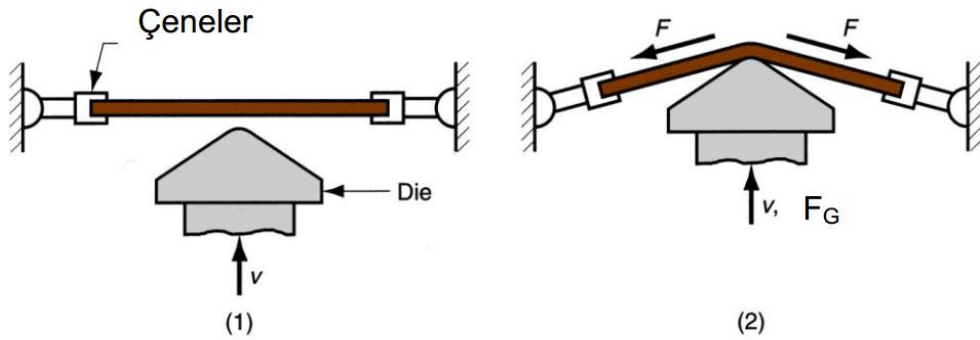
2.2.7. Diğer sac şekillendirme yöntemleri

Kesme, bükme ve derin çekme dışında yer alan diğer sac şekillendirme yöntemleri: İmalat endüstrisinde sac malzemeye istenilen formun verilmesi için kullanılan birçok şekil verme yöntemleri mevcuttur. Yaygın olarak kullanılmakta olan “kesme”, “bükme” ve “derin çekme” işlemlerinin dışında;

1. Germe yöntemi ile şekillendirme
2. Sıvama yöntemi ile şekil verme
3. Yüksek hızda (HERF) şekil verme
4. Sıvı altında (Hidro) şekillendirme
5. Roll forming (Merdanelerle) Şekil verme işlemleri uygulanmaktadır.

2.2.7.1. Germe

Germe işleminde, sac kenarlarından çeneler vasıtasıyla yakalanır ve sabitlenir. Daha sonra bir kalıpla gerilen saca baskı uygulanır ve gerilme neticesinde sacın kalıbın şeklini alması sağlanır [9], [10], [11].



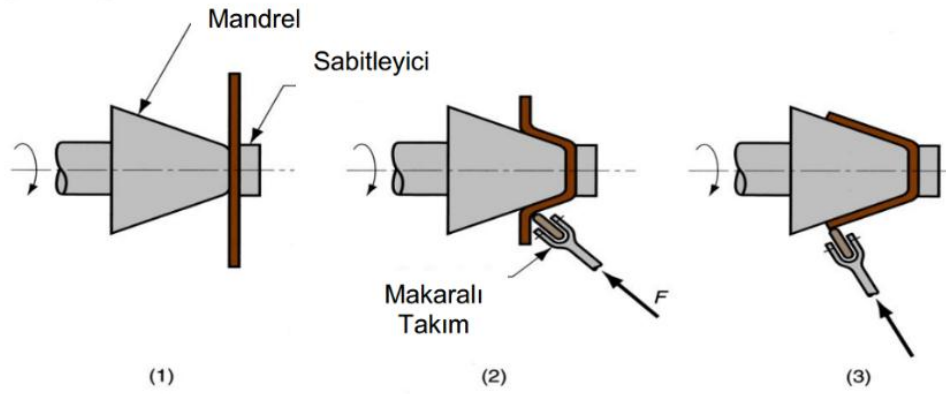
Şekil 2.28. Germe ile şekil verme

2.2.7.2. Sıvama

Sıvama aksenal simetriye sahip parçaların üretimine uygun olup işlem kademeli olarak gerçekleştirilir [9], [10], [11]. İşlem uygulamalarda üç türlü gerçekleştirilir:

1. Geleneksel Sıvama
2. Keserek Sıvama
3. Tüp Sıvama

Geleneksel sıvamada dönen bir mekanizmaya mandrel veya kalıp tutturulur. Yuvarlak kesilen sac bir baskı aparatı yardımıyla mandrelin üzerine bastırılarak sabitlenir. Mandrel, pul ve sabitleyici birlikte döndürülür. Bu arada sacın üzerine bir makara, tahta gibi bir gereçle dönme sırasında bastırılır. Sacın kalıbın veya mandrelin üzerine yatırılmasına çalışılır.



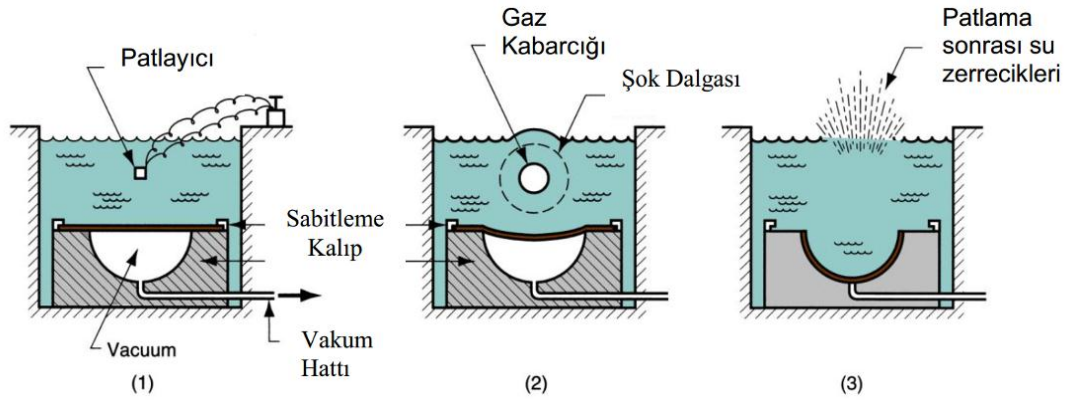
Şekil 2.29. Sıvama ile şekil verme [9]

2.2.7.3. Yüksek hızda şekillendirme (herf)

Ani zorlanmalar yaratarak darbeli şekilde kuvvet uygulanmasıyla kısa sürede gerçekleştirilen plastik şekil değiştirme yöntemlerini içerir [9], [10], [11]. Başlıca türleri;

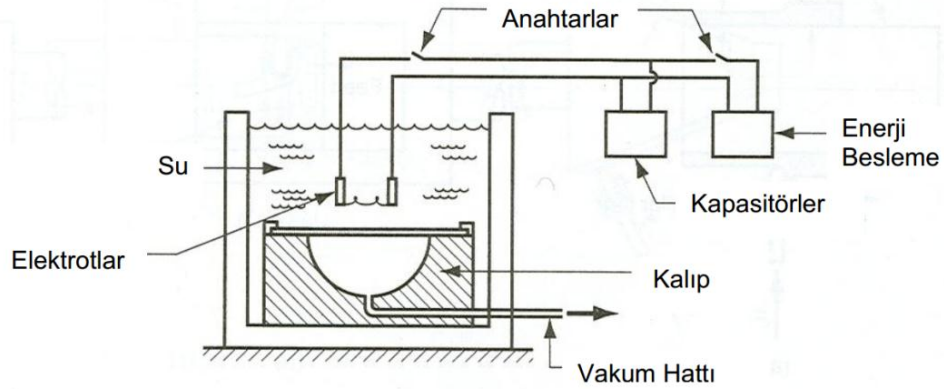
1. Patlamayla şekillendirme
2. Elektro-Hidrolik şekillendirme
3. Elektro-Manyetik şekillendirme

Patlamayla şekillendirme emniyet açısından sıvı banyosunda (örneğin su) gerçekleştirilir. Kalıp ve üzerine sac yerleştirilir. Bunların üzerine ise patlayıcı (örneğin TNT) konur. Daha sonra patlayıcı ateşlenir ve gaz oluşumuyla birlikte şok dalgaları meydana gelir. Bu dalgalar malzemeye şok etkisi yaparak kalıbın iç yüzüne yapışmasını sağlar. İşlemin daha kolay gerçekleşmesi için kalıbın altından vakum uygulanır ve havanın sıkışmasına mani olunur.



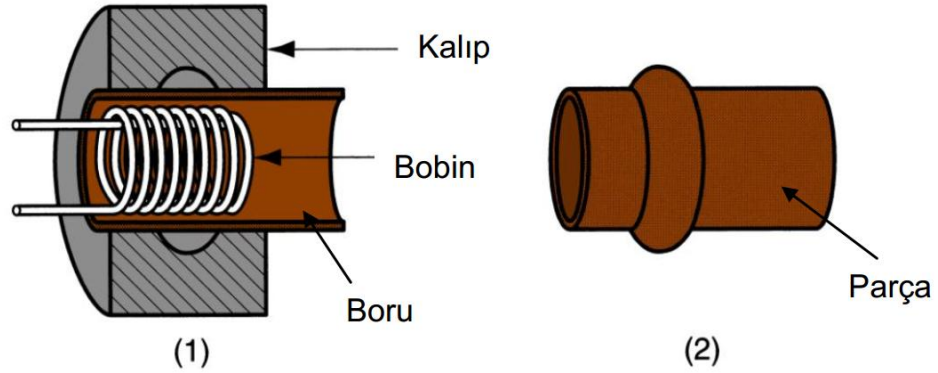
Şekil 2.30. Patlama ile şekillendirme [9]

Elektro-Hidrolik şekillendirme su altında yerleştirilen iki elektrot arasında elektrik enerjisinin deşarj edilmesiyle gerçekleştirilir. Elektrik enerjisi kapasitörler vasıtasıyla biriktirilmektedir. Deşarj sırasında oluşan şok dalgası su vasıtasıyla sac yüzeyine etkir ve sacı kalıbın şeklini almaya zorlar. Patlamaya göre daha küçük parçaların şekillendirilmesine elverişlidir [9], [10], [11].



Şekil 2.31. Elektro-Hidrolik şekillendirme [9]

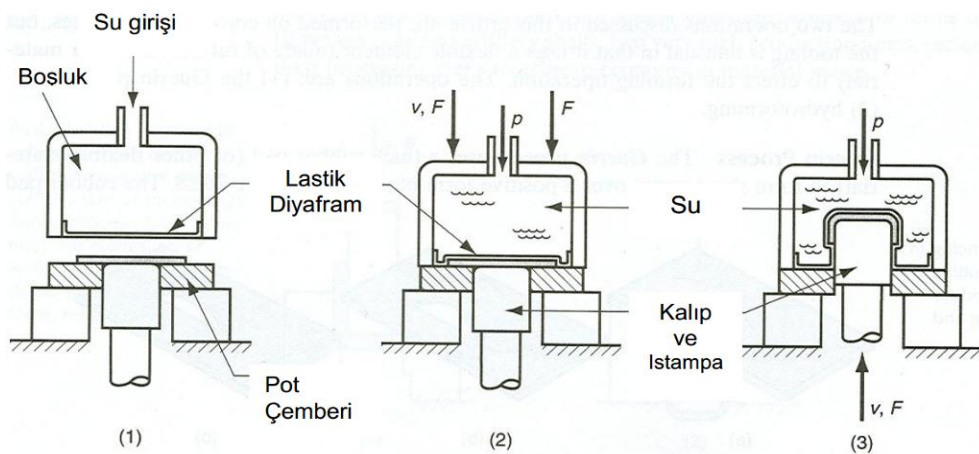
Elektro-Manyetik şekillendirmede kullanılan kuvvet elektro manyetik alan sayesinde oluşturulmaktadır. Elektromanyetik alan meydana getirmek için elektrik bir bobinden geçirilmekte ve böylece Eddy-Akımı yaratılmaktadır. Bu şekilde oluşturulan manyetik alan sacın yüzeyine baskı uygulamakta ve bu elektrik enerjisinin frekansına bağlı olarak ardı ardına sürekli şekilde gerçekleştirilmektedir. Saca etkiyen kuvvet sacı kalıba doğru bastırmakta ve kalıbın şeklini almasını sağlamaktadır [9], [10], [11].



Şekil 2.32. Elektro-Manyetik şekillendirme [9]

2.2.7.4. Hidro şekillendirme

Hidrolik şekillendirmede bir diyaframla ayrılmış olarak sırasinda basınçlı sıvı kullanılmaktadır. Sac kalıbın üzerine yerleştirildikten sonra altında lastik diyafram bulunan bir kap sacın üzerine getirilir ve bastırılır. Sonra kap su ile doldurulur ve basınç uygulanır. Daha sonra alttan bir ıstampaya bağlı olan kalıp saca doğru aşağıdan yukarı doğru hareket eder ve üzerindeki şekli sacın üzerine şekillendirir. Bu sırada kap içindeki su basıncının 100 MPa aşmaması için hidrolik boşaltma sisteminden yararlanır [9], [10], [11].



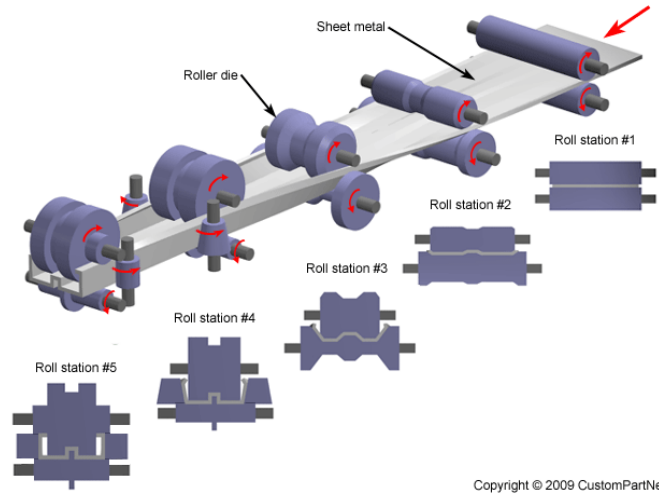
Şekil 2.33. Hidro şekillendirme [9]

Bu yöntemle sacın kırışması önlenmekte ve derin çekmeye göre daha derin parçalar üretilebilmektedir. Özellikle homojen uygulanan basınç sürtünmeden kaynaklanan heterojen şekil değişimi nedeniyle erken yırtılmayı önlemektedir.

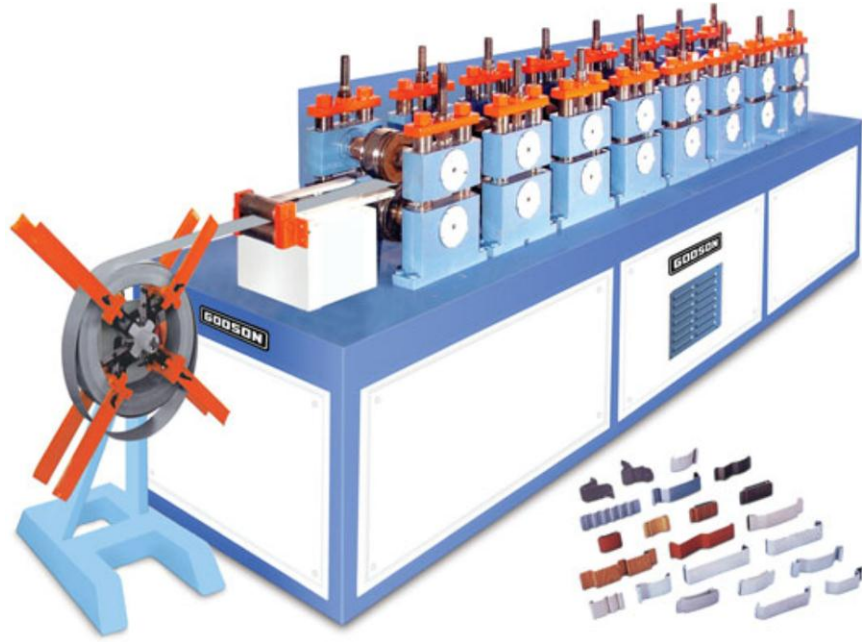
2.2.7.5. Merdanelerle şekillendirme (roll forming)

Merdanelerle şekillendirme (Roll Forming), genellikle rulo haldeki sacın, ardışık dizilmiş dönen merdanelerin ve kalıplarının arasından geçirilerek istenen kesit ölçülerine ulaşıncaya kadar, aşamalı büyük ölçekli, sürekli bir şekillendirme işlemi için kullanılan genel bir terimdir. Uzun ve çok adetli profil kesitlerinin üretimi için en uygun yöntemdir. Rulo şekillendirme, istenen kesitteki profilleri en dar toleranslarda ve sürekli aynı ölçüde üretmeyi sağlamaktadır. Hat üzerinde bulunabilecek diğer ilave pres üniteleriyle, delme, şişirme gibi operasyonları da yaparak, üretim zamanında ciddi tasarruf sağlamaktadır. Şekil 'de rulo şekillendirme işlemi şematik olarak verilmiştir. Rulo şekillendirme işlemi maksimum 160 m/dk hızına kadar ulaşabilmiştir. Rulo şekillendirme işleminde her şekillendirme adımında malzemeyi şekillendirmeye yarayan 2 veya 4 adet merdane bulunur. Şekillendirme adımlarının sayısı sadece geometriye bağlı değildir. Aynı zamanda yüzey kalitesi, yağlayıcılar ve giriş malzemesinin sarım veya önceden kesilmiş levha olup-olmadığına bağlıdır. Bu en temel rulo şekillendirme makinesi bileşenidir.

İmalat için kullanılan tezgahlar “açık profil çekme tezgahları” olarak adlandırılmaktadır. Bu tezgahlar, rulo halindeki sac (şerit, bant) metal levhayı merdaneler arasından geçirerek, özel formlarda açık profil ürünler haline dönüştüren, ilave donanımlar eklenerek kapalı profillerin üretilmesini de mümkün kılan, delik delme, havsalama, şişirme ve markalama (poz numarası yazma) gibi işlemleri de yapabilen, sac malzeme şekillendiren tezgahlarıdır [9], [10], [11].



Şekil 2.34. Merdanelerle şekillendirme (Roll forming)



Şekil 2.35. Merdanelerle şekillendirme Tezgahı (Roll forming)

BÖLÜM 3. SONLU ELEMANLAR ANALİZ YÖNTEMİ

Tasarım modeli oluşturulan karmaşık yapıdaki problemler daha basit bölümlere ayrılarak belirli yüklerde simüle edilmektedir. Yaklaşık olarak benzetim yöntemi ile sayısal ortamda çözümlenmelerin yapılması sonlu elemanlar analiz yöntemidir. Bu yöntemde karmaşık yapı, sonlu elemanlar olarak ifade edilen geometrik olarak basit alt bölgelere ayrılır. Elemanlar sonlu sayıda bilinmeyen içerdiğinden sonlu elemanlar tabiri kullanılır. Her eleman içindeki tanım denklemlerinin düğüm noktalarındaki değerlerinin elde edilmesi problemin çözümünde kullanılır [12], [13].

3.1. Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Temel Kavramları

Sonlu elemanlar analizi uygulama aşamalarında “Düğüm”, “Eleman” ve “Mesh” temel kavramları sonuçların doğru tespit edilmesi için önem arz etmektedir.

3.1.1. Düğüm (node)

Bu yöntemde modeller, sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bölünen elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır ve bu noktalara düğüm (node) adı verilir. Katı modellerde, düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler elemanların gerilmeleriyle ilişkili iken, her bir elemandaki yer değiştirmeler ise doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkilidir. Bu düğümlerdeki yer değiştirmeleri sonlu elemanlar yöntemi çözmeye çalışır. Böylelikle gerilme yaklaşık olarak uygulanan yüke eşit bulunur. Bu düğüm noktaları mutlaka belli noktalardan hareketsiz bir şekilde sabitlenmelidir [12], [13].

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada, plastik şekil verme yöntemleri ile sac malzemedan üretilen bir menteşe mekanizmasının, belirlenen statik ve dinamik yükler altındaki dayanımının sonlu elemanlar analiz yöntemleri ile incelenmesi ve laboratuvar testleri ile sonuçların karşılaştırılması irdelenmektedir. Tasarım aşamasında yapıdaki öngörülen zayıf noktalar mukavemet artırma yöntemleri uygulanarak optimize edilmekte ve mekanizmanın istenen çalışma ömrü süresince fonksiyonlarını yerine getirmesini sağlayacak iyileştirmeler yapılmaktadır.

4.1. Kullanılan Sac Malzeme

Tasarlanan mekanizmada, piyasada yaygın olarak temin edilebilen ve görece uygun maliyetli 1,5 mm Dx-51 standardında sac hammadde kullanılmaktadır. Deney ve analiz sonuçlarının doğru karşılaştırılması için uygulanacak olan sac malzemedan numuneler alınarak çekme deneyi yapılmıştır [11] ve malzemenin Akma – Çekme mukavemet değerleri tanımlanmıştır. Tablo 4.1.' de tedarik edilen sac malzemenin sertifikasındaki kimyasal değerleri bulunmaktadır.

Tablo 4.1. Sac malzemenin bazı kimyasal değerleri

Malzeme	Alaşım Elementeleri %									
	C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	N
Dx-51	0,05	0,2	0,02	0,016	0,026	0,011	0,021	0,003	0,057	0,005

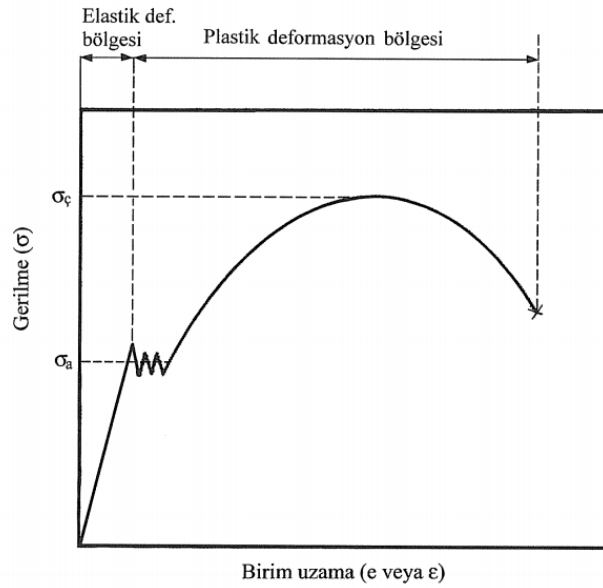


Şekil 4.1. Çekme Deneyi numuneleri (TS EN ISO 6892) (12,5 x 1,5 mm)



Şekil 4.2. Çekme Deneyi numunelerinin çekilmesi

Tek eksenli çekme deneyleri için standarda uygun çekme deneyi numuneleri hazırlanmış ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3.'de Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı verilmiştir [10],[11].



Şekil 4.3. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı [11]

Çekme deneyi ile sac malzemenin; akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama katsayıları belirlenmiştir (Tablo 4.2.).

Sac malzemenin akma mukavemeti σ_a ; Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir. Bu değer akma kuvvetinin (F_a) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle bulunur. ($\sigma_a = F_a / A_0$) Formülünden numune sac malzemenin akma mukavemeti: $3806 / (12,5 \times 1,5) = 203$ Mpa olarak bulunmuştur.

Sac malzemenin çekme mukavemeti $\sigma_{\check{c}}$; Malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesidir. ($\sigma_{\check{c}} = F_{\max} / A_0$) Formülü ile sac malzemenin çekme mukavemeti: $6578 / (12,5 \times 1,5) = 350$ Mpa olarak tespit edilmiştir.

Sac malzemenin kopma uzaması (KU): Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama farkı bulunur. Boy farkının ilk uzunluğa oranı yüzdece uzamasını belirtir. Çekme deneyine tabi tutulan malzemede kopma uzaması %31,5 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.2. Sac malzemenin mekanik değerleri

Malzeme	Mekanik Özellikler		
	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama Katsayısı
Dx-51	203 Mpa	350 Mpa	%31,5

4.2. Mentefe Mekanizması

Beyaz eşya ve otomotiv sektöründe üretilen ürünlerin kapılarını veya kaputlarını belirli bir eksen noktasından döndürerek açıp kapatma işlemlerini mekanik olarak gerçekleştiren sistemlere menteefe denir. Uygulama alanına göre endüstride kullanılmakta olan çok sayıda menteefe çeşidi mevcuttur. Dikey ve yatay eksenlerdeki farklı kullanım alanlarında göre menteefedeki mekanizma bileşenleri değişkenlik göstermektedir.

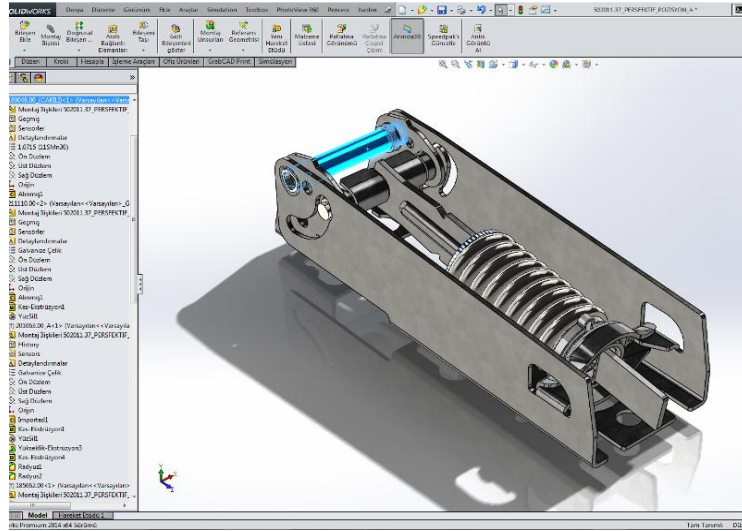
Son kullanıcıya hitap eden birçok üründe, menteefenin konforu ve fonksiyonelliği kalitenin ve tercih edilebilirliğin önemli kriterlerinden olmaktadır. Ürünlerin satın alındıkları andan itibaren kullanım süreleri boyunca beklentiyi karşılayacak nitelikte dayanımı ve fonksiyonelliği sağlaması gerekmektedir [14]-[21].

4.2.1. Mentefe mekanizmasının tasarımı

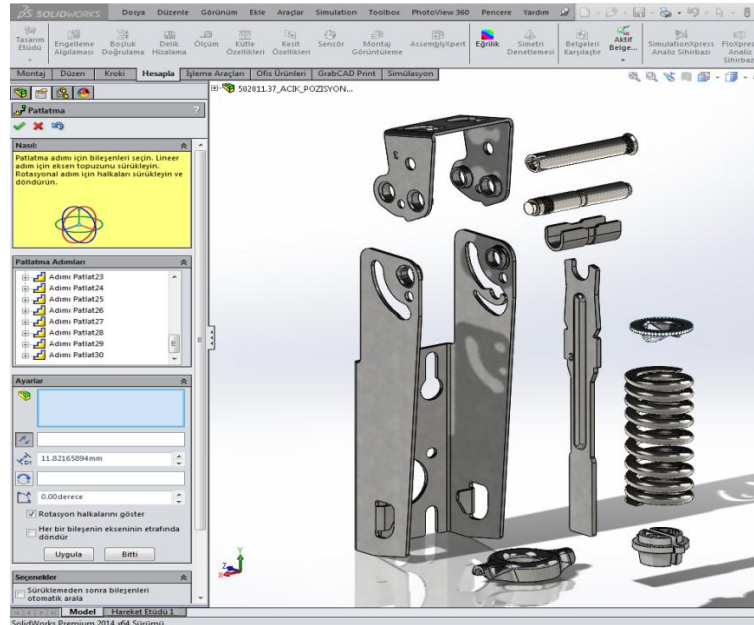
Tasarlanacak olan menteefe kullanım alanına göre müşteri beklentileri doğrultusunda geliştirilir. Menteefe bileşenleri ihtiyaca yönelik olarak; eksen pimi, yay, montaj delikleri ve ana sistemi bir araya getiren geometrik yapı parçalarından oluşmaktadır. Mekanizmanın taşıyacak olduğu yükler dikkate alınarak geometrik formlar oluşturulur ve eksen yönünde oluşan momentleri taşıyacak yay kuvvetleri belirlenir. Menteefenin görsel formu ve geometrik sınırları montajlanacak olduğu ürünün tasarımına uyumlu olacak şekilde geliştirilmektedir [14]-[22].

Bu çalışmada, yatay eksenlerdeki kapakların açılıp kapanmasını ve istenen seviyelerde dengede durmalarını sağlayan bir menteefe mekanizmasının tasarımı geliştirilmiştir. Tasarım aşamasında menteefenin montajlanacak olduğu ürünün geometrik sınırları ve çalışma aralıkları tanımlanmıştır. Menteefenin çalışacak olduğu kapak ağırlığına göre

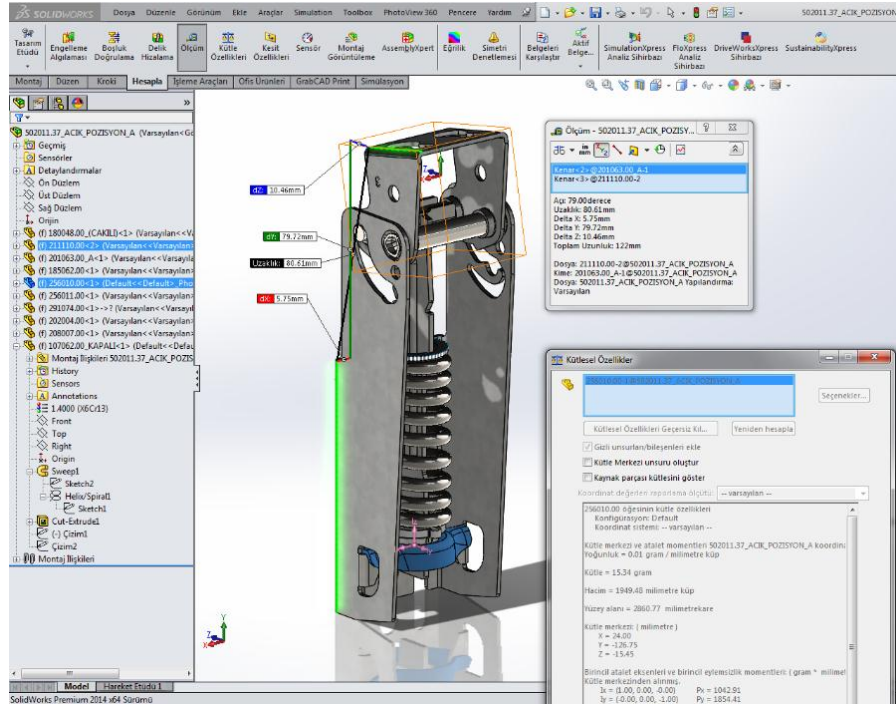
statik yüklere dayanacak yapı elemanları, bilgisayar ortamında SolidWorks 3D çizim programı yardımı ile tasarlanmıştır [23]-[25]. Menteşeyi oluşturan her bir parça için detaylı çizimler yapılmıştır ve SolidWorks yazılımı yardımı ile katı modeller oluşturularak mekanizmayı oluşturan sistemin uyumlu çalışması sağlanmıştır (Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6.).



Şekil 4.4. Tasarlanan menteşe mekanizması



Şekil 4.5. Tasarlanan menteşe mekanizmasının parçaları



Şekil 4.6. Tasarlanan menteşe mekanizmasının geometrik incelemesi

Tasarlanmış olan menteşede temel olarak;

1. Kapağın belirli açılarda yatay ekseninde hareketini sağlayan moment kolu bileşeni
2. Menteşenin fonksiyonunu yerine getirebilmesi için gerekli kuvveti üreten yay parçası
3. Mekanizma bileşenlerini bir arada tutan ve menteşenin cihaza montajını sağlayan gövde bileşenleri bulunmaktadır.

Geliştirilen menteşe müşteri talepleri doğrultusunda; kullanım ömrü boyunca 12 kg. ağırlığındaki yatay kapağı 250.000 kez konforlu olarak açıp kapatmalıdır. Mekanizma içerisinde bulunan yay (1500 N) moment kuvvetlerini karşılayarak kapağın belirli açılarda dengede durabilmesini sağlayabilmelidir ve kapak her koşulda tam açık pozisyonda durabilmelidir. Kullanım ömrü boyunca menteşe bileşenlerinde dinamik ve statik yüklerle karşı herhangi bir çatlak veya deformasyon olmamalıdır.

4.2.2. Tasarlanan menteşe mekanizmasının imalatı

Müşteri beklentileri doğrultusunda geliştirilerek, tasarım aşamaları tamamlanan menteşe mekanizmasının parçaları için detaylı teknik resimler hazırlanmıştır ve toleranslar belirlenmiştir.

Ürünü oluşturan sac parçaların üretimi için sac metal kalıp tasarımları ve imatları yapılmıştır. Seri üretim şartlarında progresif kalıplar ve egsantrik pressler vasıtası ile sac malzemeye plastik deformasyon yöntemlerini uygulanarak istenen formlar verilmiştir [26]-[28]. Mekanizma bileşenlerini oluşturan yay, pim ve diğer parçalar ilgili üretici firmalardan tedarik edilmiştir.



Şekil 4.7. Sac parçaların progresif kalıbı



Şekil 4.8. Kalıpta üretilen parçalar



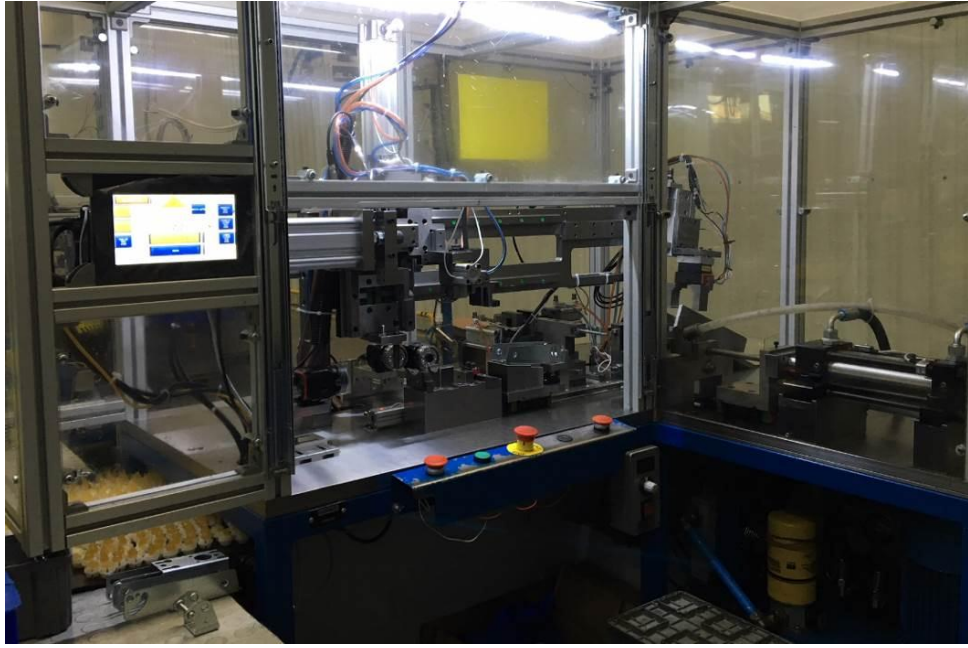
Şekil 4.9. Üretimde kullanılan eksantrik presler

4.2.2.1. Üretilen parçaların montajlanması

Eksantrik presler vasıtası ile üretilen sac parçalar belirlenen sırada birbirleri ile uyumlu çalışacak şekilde yarı otomasyon montaj hatlarında birleştirilmektedir. Bir araya getirilen mekanizma parçalarının konumları, yay kurulumu ve eksen perçinlerinin çakım işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.10. Montajlanacak olan menteşe mekanizması parçaları



Şekil 4.11. Menteşe mekanizma parçalarının montajlanması



Şekil 4.12. Montajı tamamlanan menteşe mekanizması

Üretim aşamaları tamamlanan menteşe numunesinin talep edilen fonksiyonları doğru olarak karşılaması gerekmektedir. Test ve geçerli kılma süreçleri ile mekanizma çalışma ömrünü garanti altına almalıdır.

4.3. Menteşe Mekanizmasının Test Süreçleri

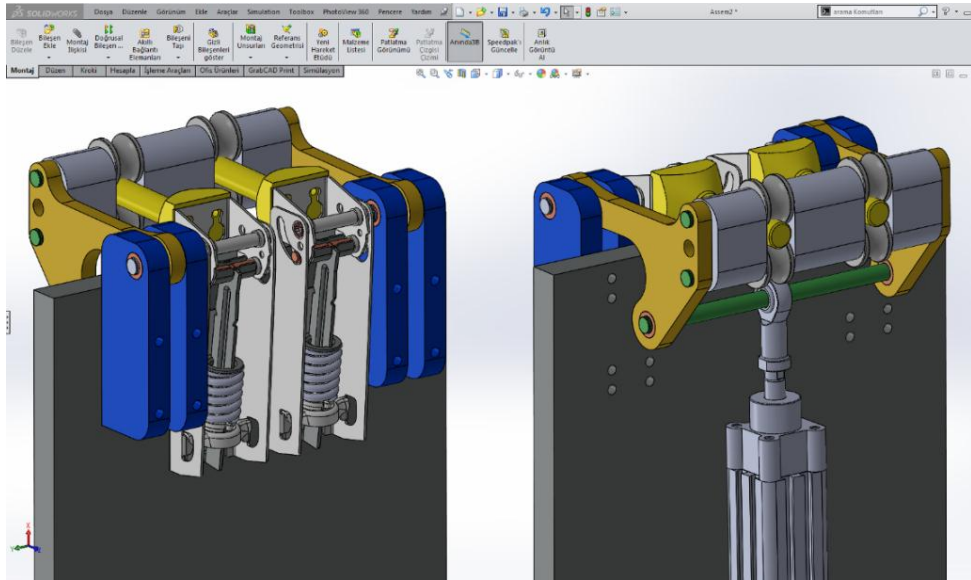
Üretilen menteşe yapı itibari ile belirli mukavemetteki sac malzemedен oluşmaktadır. Menteşe kullanım yerinde 12 kg. kapak yükünü 1500 N kuvvetindeki yay vasıtası ile taşımaktadır. Kapağın tam açılması ve kapanması sırasında oluşan stres ve dinamik yüklere karşı menteşe yapısı bütünlüğünü korumalıdır. Talep edilen kullanım ömrünü laboratuvar ortamında test cihazları ile simüle ederek dayanıklılık testleri yapılmıştır.

4.3.1. Menteşe mekanizması test cihazı

Menteşe mekanizmasının fonksiyonlarını belirlenen ömür süresince yerine getirebilmesi için test ve geçerli kılma süreçlerinin uygun şartlarda yapılması gerekmektedir. Menteşe açıp kapama fonksiyonunu 0 ile 79 derece arasında

sağlamaktadır. Her bir açıp kapanma çevrimi sırasında mekanizma içerisinde bulunan yay kurularak 1500 N kuvvetinde yükü menteşe moment koluna iletmektedir. Tekrarlı yükler altındaki mekanizma parçaları belirlenen çevrim sayısınca görevini yerine getirebilmelidir.

Bu çalışmada geliştirilmiş olan ürün 250.000 çevrim süresinde belirlenen şartlarda fonksiyonlarını sağlamalıdır. Mekanizma için özel olarak geliştirilen test cihazı pnömatik tahrikli ve PLC kontrollü olarak belirlenen çevrim sürelerince mekanik açma kapatma işlemini gerçekleştirmektedir. Ürünün geometrik şekline göre tasarlanan test cihazı aynı anda 16 adet mekanizmayı test edebilmektedir ve test sonuçlarının doğruluğunu arttırmaktadır.



Şekil 4.13. Menteşe mekanizması test cihazı tasarımı



Şekil 4.14. Menteşe mekanizması test cihazı

Test cihazına montajı yapılan menteşeler belirlenen çevrim süresince çalıştırılmaktadır. Dinamik yükler altındaki menteşe mekanizmasının parçalarının durumları incelenmektedir. Menteşe yay baskı yükü altındaki kısımlarında herhangi bir deformasyon veya çatlama olması durumunda test olumsuz olarak sonuçlanmaktadır. Testi tamamlayan menteşeler kullanılacak olduğu cihaza montajlanarak fonksiyonlarının sağlamlığı kontrol edilmektedir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZ

5.1. Mentşe Mekanizması Test Cihazında Test Edilmesi

Bu çalışmada geliştirilen menteşe mekanizmasının, müşteri beklentisini karşılama düzeyini anlayabilmek için test cihazında testleri yapılmıştır. Test cihazına montajlanan 16 adet menteşenin mekanik olarak 250.000 çevrim süresince açılıp kapanması için test cihazı ayarlanmıştır. Her bir açma-kapatma çevrim süresi 6 sn. olarak sabitlenmiştir. Test yaklaşık olarak 15 gün sürmektedir. Menteşelerde kullanılan sac malzeme daha önce belirtildiği üzere 1,5 mm Dx51 kalite standardındadır ve çekme deneyleri ile mukavemet değerleri tanımlanmıştır. Test edilen menteşelerdeki yay kuvveti 1500 N dur. Yayların dayanımı ile ilgili ayrıca testler yapılmıştır [27] –[38].

Test sonuçlarını incelediğimizde geliştirilen menteşe mekanizmasının müşteri beklentilerini karşılayacak dayanıklılıkta olmadığını ve testin olumsuz sonuçlandığını görmekteyiz. Menteşe içerisinde bulunan yay, mekanizma üzerinde dinamik olarak kuvvet oluşturmaktadır. Bunun sonucunda 75.000 çevrimde menteşenin içindeki yay dayama parçalarında çatlaklar ve deformasyonlar oluşmuştur (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Test sonucu olumsuz olan menteşe mekanizması

Gerçekleştirilen testler sonucunda geliştirilmiş olan menteşe mekanizmasının talep edilen kullanım ömrünü ve çevrim sürelerini karşılayamayacağı anlaşılmıştır. Yay kuvveti altındaki parçaların dinamik testte deforme olduğu görülmektedir. Deforme olan parçaların mukavemetinin artırılması gerekmektedir. Parçaların analiz edilmesi ve tanımlanan yükleri taşımaları için gerekli olan iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Yük altında çalışacak olan parçaların, tasarım aşamalarında geometrik formlarında yapılan geliştirmeler dayanımı arttıracak yönde fayda sağlayabilmektedir. Sonlu elemanlar analiz programları vasıtası ile bilgisayar ortamında yapılan inceleme ve simülasyon sonuçları değerlendirilerek optimizasyonlar yapılacaktır [27] –[38].

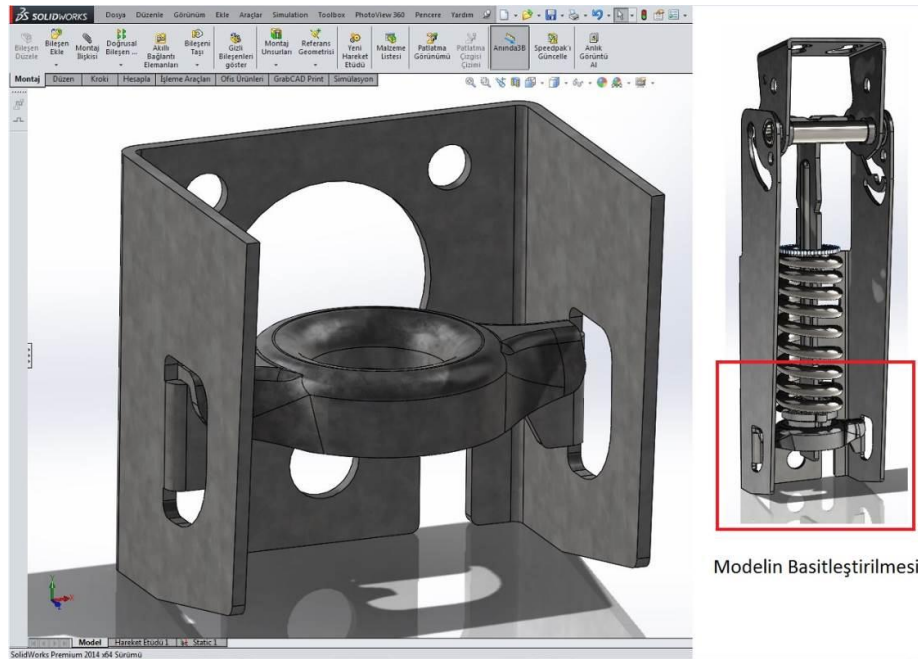
5.2. Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi İle Modelin Simule Edilmesi

Katı modeli oluşturulan menteşe mekanizmasının sonlu elemanlar analizi, SolidWorks Simulation modülü vasıtası ile gerçekleştirilecektir. Analiz için katı modelin basitleştirilmesi ve mesh oluşturma işlemleri uygulanacaktır. Kullanılan sac malzemenin çekme deneyi sonucunda elde edilen akma-çekme mukavemet değerleri, katı modeli oluşturulan menteşe mekanizma parçalarının malzeme özelliklerine

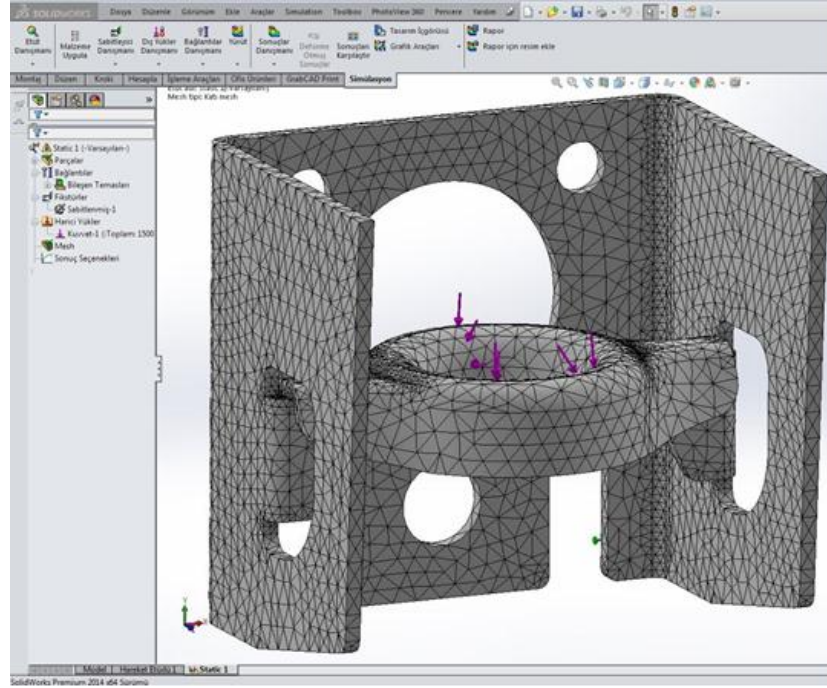
tanımlanacaktır. Mekanizma yapısı içindeki mukavemeti arttırılması düşünölen kısımların üzerine gelen kuvvetler belirlenecek ve birbirleri ile etkileşim içinde olan parçalara kontak temas tanımlanacaktır.

5.2.1. Modelin basitleştirilmesi ve mesh oluşturma

Analizi yapılacak olan modelin karmaşık yapısı ve parçaların birbirleri ile etkileşimi fazla olduğu için smilasyon parametreleri zorlaşmaktadır ve sonuçların doğruluğunu sağlamak çok zaman almaktadır. Mekanizma içindeki geliştirilmek istenen bölüm ayrıca ele alınarak basit bir benzetim yapmak mümkün olmaktadır. Bu çalışmada mekanizmanın testler sırasında yeterli dayanımı sağlamayan yük taşııcı kısmı ele alınarak analiz için basit bir modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.2.). Oluşturulan basit modelin sonlu elemanlar analiz yöntemi mantığı çerçevesinde, matematiksel eğik tabanlı mesh benzetimi oluşturulmuştur [12], [25] (Şekil 5.3.).



Şekil 5.2. Analizi yapılacak modelin basitleştirilmesi

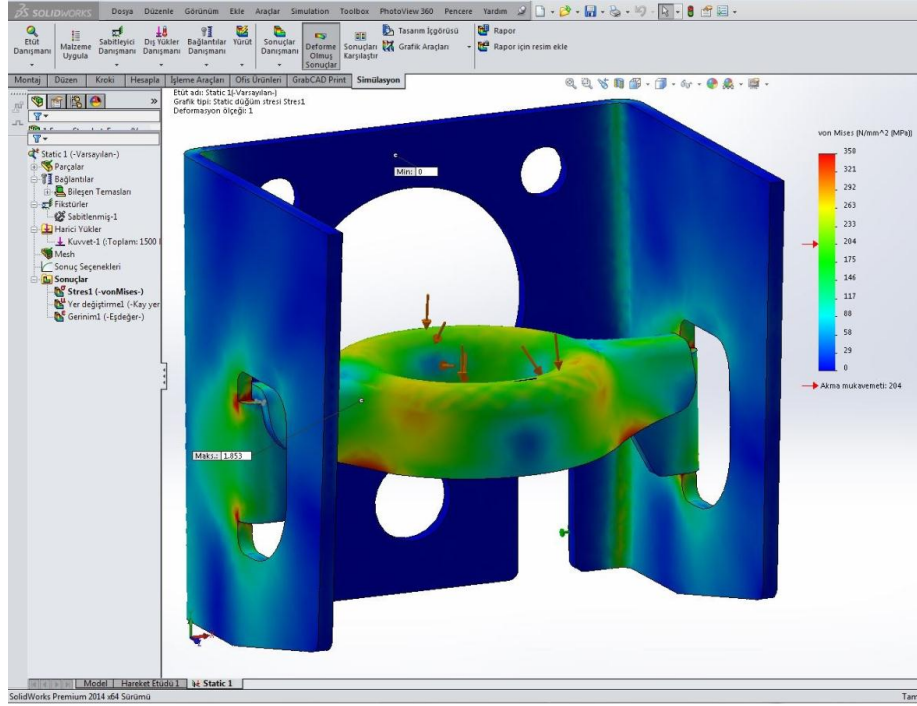


Şekil 5.3. Basitleştirilmiş modelin analizi için “mesh” oluşturulması

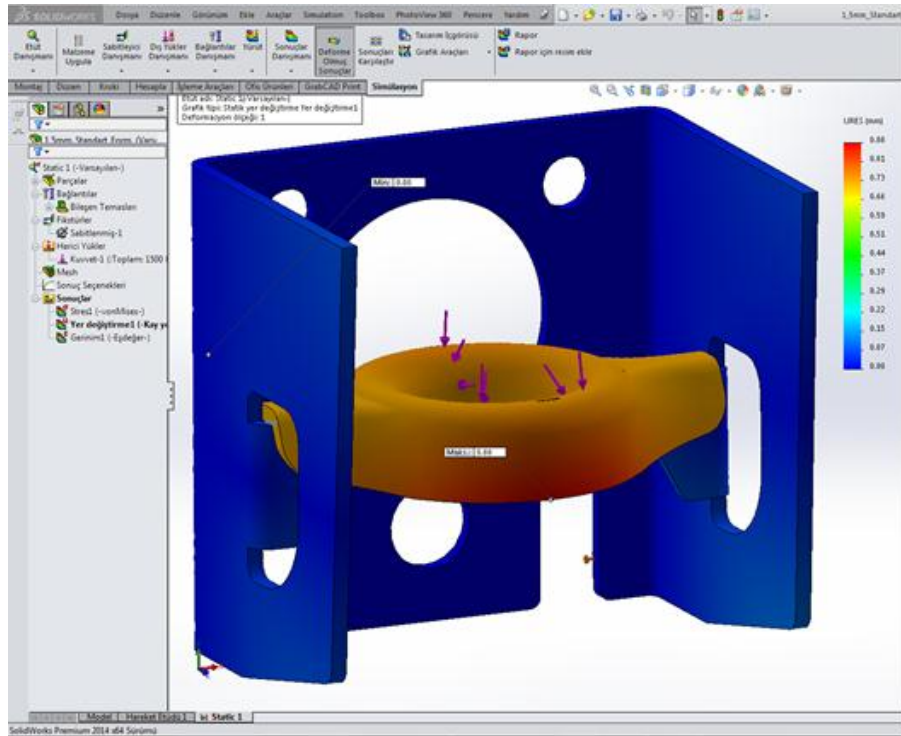
5.2.2. Sonlu elemanlar analizinin başlatılması ve inceleme

Matematiksel mesh modeli oluşturulan ve sonlu elemanlar analiz yöntemi ile SolidWorks Simulation yazılımında tanımlamaları oluşturulan yapının statik yük çözümlenmesi yapılmıştır. Mekanizma parçaları üzerinde oluşan von Mises stress (stres kuvvetleri bileşkesi) dağılımını incelediğimizde, 1500 N yay baskı kuvvetine maruz kalan kısımlarda max. 1853 Mpa stress gerilimleri olduğu gözlemlenmektedir. Yer değiştirme analizi sonuçlarını incelediğimizde yay baskı kuvveti altında kalan yapının max. 0,88 mm esnediği anlaşılmaktadır. Dinamik laboratuvar testleri sırasında esneme ve gerilim miktarlarındaki artış malzemenin yorulmasına ve çatlamasına sebebiyet verebilmektedir.

Sonlu elemanlar analiz sonuçlarında, akma mukavemetinin üzerinde gerilimlerin olduğu yapı elemanlarının bölgeleri ile dinamik testlerde çatlayan kısımları benzeşim göstermektedir (Şekil 5.1. ve Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. Standart modelin sonlu elemanlar analiz sonuçları ve von Misses stress dağılımı (Max.1134 Mpa)



Şekil 5.5. Standart modelin sonlu elemanlar analiz sonuçları ve Yer değiştirme esneme sonucu (max. 0,88 mm)

5.3. Mukavemet Artırıcı Parametrelerin Optimizasyonları ve Analizler

Yapılan testler sonucunda talep edilen miktarda mukavemet sağlayamayan ve çatlayarak deforme olan yapının güçlendirilmesi gerekmektedir. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile dinamik laboratuvar testlerini karşılaştırdığımızda sonuçların benzeştiğini görmekteyiz. Bu yaklaşımdan yola çıkarak bilgisayar ortamında yapacak olduğumuz model önerilerinin statik simülasyon sonuçlarını inceleyerek en optimum çözümü oluşturabiliriz.

Sac metal şekillendirmede oluşturulan yapının dayanımını arttırmak için yaygın olarak uygulanan yöntemlerden bazıları;

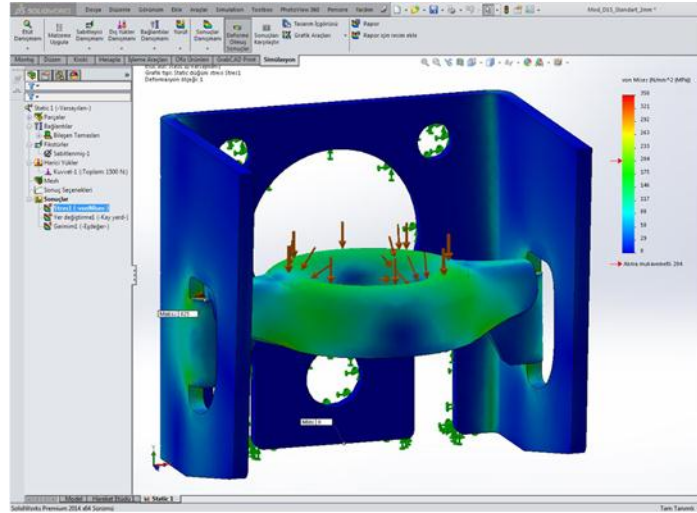
1. Sac kalınlığını arttırmak,
2. Sacın kalitesini arttırmak (akma-çekme mukavemet değerlerini arttırmak),
3. Yapının deforme olan kısımlarına, geometrinin uygunluğuna göre kaburga ve bayrak (feder) şekillerinde statik gerilmeleri dağıtan formlar ekleme,
4. Büküm yarıçapı (radyüs) arttırma,
5. Sac kalınlığını değiştirmeden, alternatif tasarımla geometrik formun hacmini ve yüzeyini arttırarak statik gerilmeleri dağıtma.

Bu yöntemlerdeki parametreler ele alınarak, oluşturulan iyileştirilmiş modeller üzerinde sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Mukavemet arttırma yöntemlerinden bazıları maliyeti fazla oranda arttırmaktadır. Örneğin sac kalitesinin arttırılması veya sac kalınlığının arttırılması en etkili mukavemet arttırıcı yöntemler olarak görünse de maliyeti en çok arttıran yöntemlerdendir.

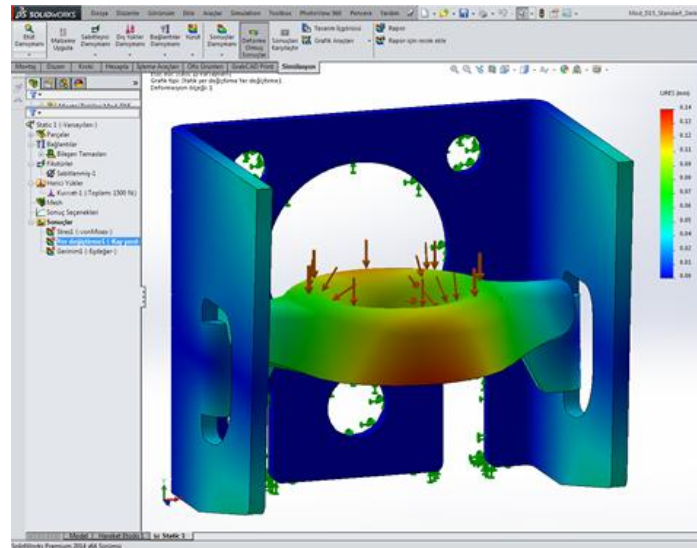
Sonlu elemanlar analizlerinde, benzetim tanımlamaları sabit tutularak modeller üzerine uygulanan mukavemet arttırıcı parametreler değiştirilmiştir ve karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

5.3.1. Sac kalınlık parametresi arttırılmış model analizi

Yapımın geometrik formu değiştirilmeden, sac kalınlığı arttırılarak oluşturulan modelin analiz sonuçları (şekil 5.6. ve şekil 5.7.);



şekil 5.6. Sac kalınlığı +0,5 mm arttırılmış modelin analiz sonuçları ve von Mises stress dağılımı (Max.825 Mpa)



şekil 5.7. Sac kalınlığı +0,5 mm arttırılmış modelin analiz sonuçları ve yer değiştirme (0,14 mm)

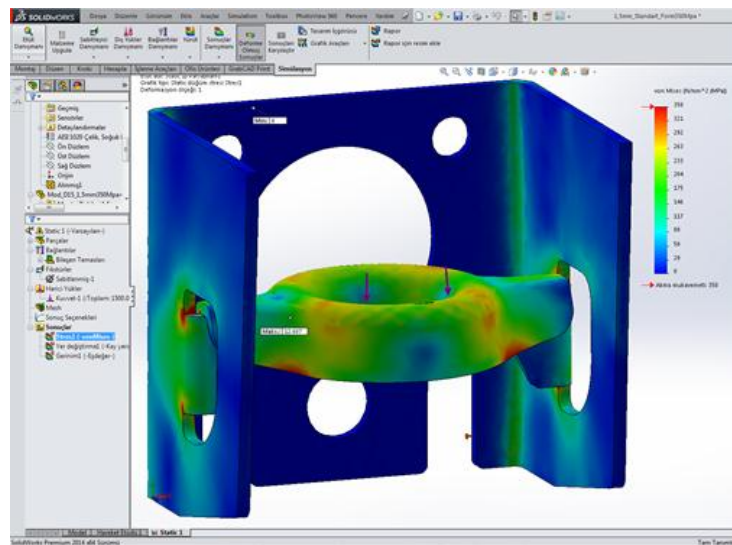
Analiz sonuçlarını incelediğimizde, belirli bir miktar statik gerilimlerde iyileşme olmaktadır. Yay baskısı altındaki yapı elemanın dayandığı kulak formlarında max. 825

Mpa stres gerilimleri oluşmaktadır. 1,5 mm sac kalınlığı ile üretilen tasarım ile karşılaştırdığımızda yaklaşık 2,5 kat oranında stres gerilimleri azalmaktadır. Yer değiştirme analizi sonuçlarını incelediğimizde malzemenin kalınlığının ve buna bağlı olarak hacminin artması ile yük altındaki esneme miktarının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Stres gerilimleri ve esneme miktarları azalan yapıda dinamik testler sırasında oluşabilecek deformasyonlara karşı önemli düzeyde iyileşme olabileceği öngörülmektedir.

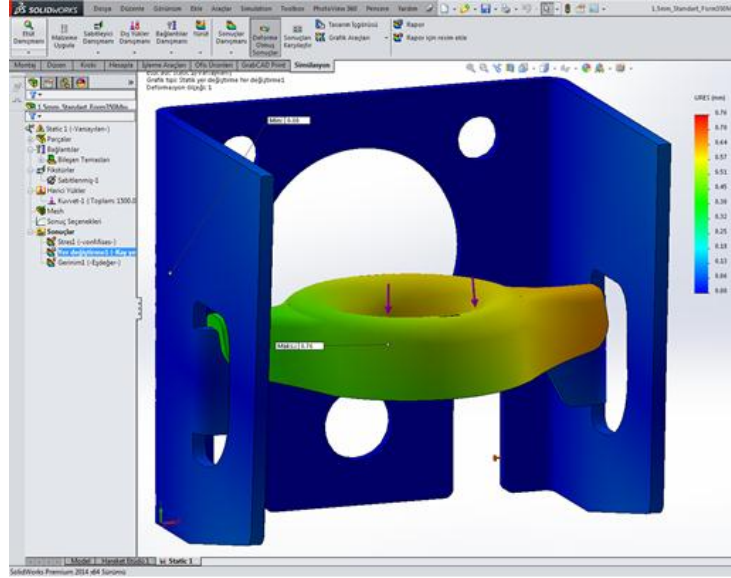
Sac kalınlığını arttırmak pratik mukavemet artırıcı yöntemlerden olmakla birlikte maliyeti arttırmaktadır. Plastik şekil verme yöntemleri uygulanırken sacın kalın olması dolayısı ile bükülme direnci artış göstermektedir ve kalıp ömürleri olumsuz etkilenmektedir. Sacın bükülmesi sırasında gerekli basınç kuvvetleri fazla olması dolayısı ile enerji verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

5.3.2. Sac kalitesi (akma-çekme) mukavemet parametresi artırılmış model analizi

Sac kalınlığı ve diğer geometrik model özellikleri sabit tutularak, sacın akma – çekme mukavemet değerlerinin artırılması ile yapılan solü elemanlar analizi sonuçları (Şekil 5.8. ve Şekil 5.9.);



Şekil 5.8. Sac akma dayanımı(+150Mpa) ve çekme dayanımı(+65Mpa) mukavemet değerleri artırılmış modelin stress analizi (max. 1861 Mpa)



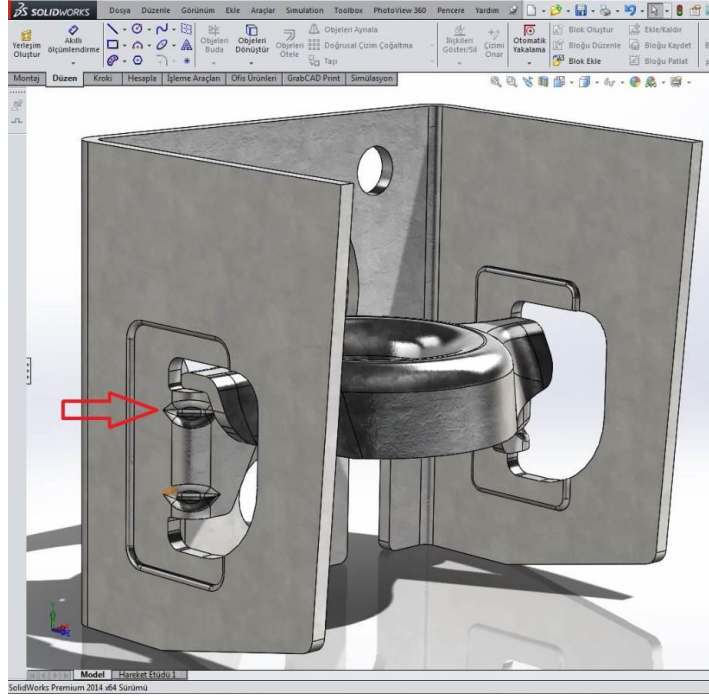
Şekil 5.9. Sac akma dayanımı(+150Mpa) ve çekme dayanımı(+65Mpa) mukavemet değerleri artırılmış modelin yer değiştirme analizi (max. 0,76 mm)

Sacın mukavemet değerlerinin artırılması sonucunda, statik gerilimlerde artış gözlenmektedir. Mukavemet değerlerinin ve buna bağlı sertlik seviyelerinin artması malzemenin gevrek bir yapıda olmasına sebebiyet verebilmektedir. Analizden anlaşıldığı üzere geometrik yapının belirli kısımlarında akma mukavemeti üzerinde statik gerilimler mevcuttur. Yer değiştirme analizi sonuçlarında, esneme miktarında azalmaya karşı statik gerilimlerdeki artış malzemeni dinamik testler sırasında çatlayarak deforme olabileceğini göstermektedir.

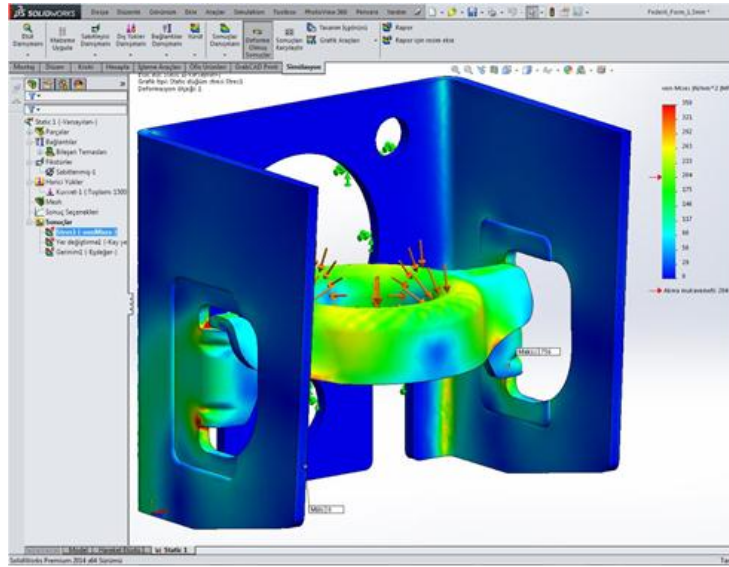
Sac malzemenin mukavemet değerlerinin artırılması, eğilme direncini ve kesme direncini arttırmaktadır. Bununla birlikte üretim proseslerinde enerji giderleri artmaktadır ve kalıp ömürleri olumsuz etkilenmektedir.

5.3.3. Büküm yarıçapı artırılmış ve mukavemet formları uygulanmış model analizi

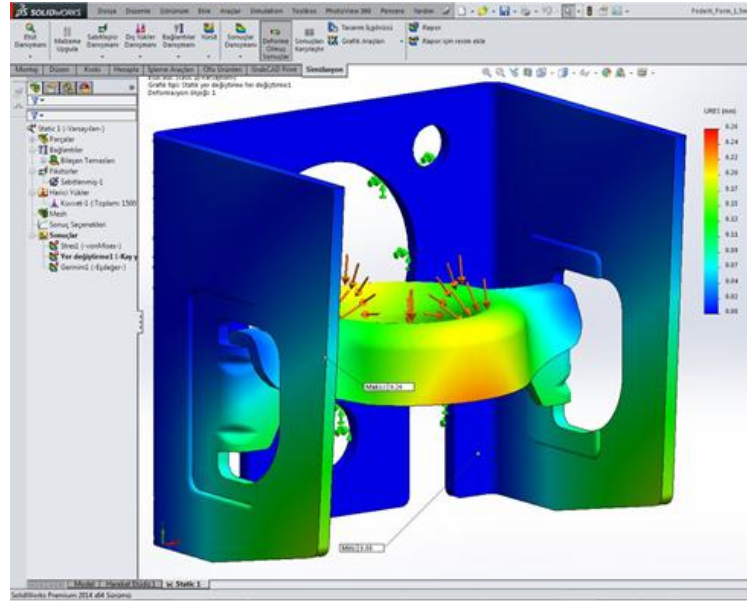
Plastik şekil verme yöntemleri ile sac malzemeden üretilen ürünlerin tasarımında yaygın olarak uygulanan, statik gerilimleri dağıtıcı feder formlarının standart model üzerine uygulanması (Şekil 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.);



Şekil 5.10. Model geometrisinde gerilim biriken bölgelere stres dağıtıcı formların oluşturulması



Şekil 5.11. Stres dağıtıcı formların statik gerilime etkisinin analizi (max. 756 mpa)



Şekil 5.12. Stres dağıtıcı formların yer değiştirme (esneme) analiz sonuçları (max. 0,26 mm)

Statik gerilim dağıtıcı geometrik formların 1,5 mm kalınlığındaki sac malzemeden oluşturulan modelin üzerine etkilerini analizi sonucunda, gerilimlerde yaklaşık 2 kat azalma gözlemlenmiştir. Yer değiştirme analiz sonuçlarına göre yük altında kalan yapı elemanı 0,29 mm esnemektedir. Özellikle yer değiştirme (esneme) analizi sonuçlarında önemli ölçüde azalma gözlenmektedir. Yapıda oluşturulan geometrik feder formları gerilimin ve esnemenin önemli ölçüde azalmasını sağlamaktadır.

Dinamik testlerde malzemenin yorulması sonucu, bileşke stres gerilimlerinin deformasyonlara ve çatlamalara sebebiyet verebilecek ölçüde olduğu görülmektedir. Yapı üzerine uygulanan mukavemet çitası şeklindeki formların üretimi aşamalarında kalıp ve bakım maliyetlerini arttırıcı yönde olumsuz etkileri mevcuttur.

Model üzerinde yeterli seviyede mukavemeti arttırmak ve üretim süreçlerinde verimliliği sağlamak için geometrik yapının tekrar tasarlanması gerekmektedir.

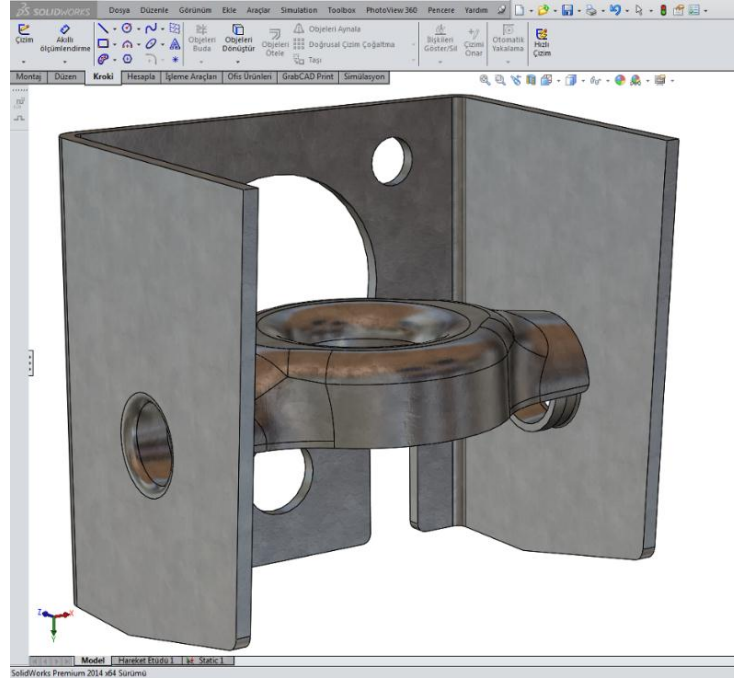
5.3.4. Alternatif tasarımla geometrik formun temas yüzeyinin arttırılması ve analizi

Mekanizmayı oluşturan yapı elemanları birbirleri arasında etkileşim içerisinde belirli görevleri üstlenmektedir. Mekanik kuvvetlerin aktarılması ve yapının bütünlüğünü bozmadan statik yüklerin karşılanması sonucunda, mekanizma istenen fonksiyonlarını yerine getirebilmektedir. Mekanizma içerisinde bulunan yapı elemanlarının tasarımlarını değiştirilerek aynı işlevleri farklı geometrilerle sağlamak mümkündür.

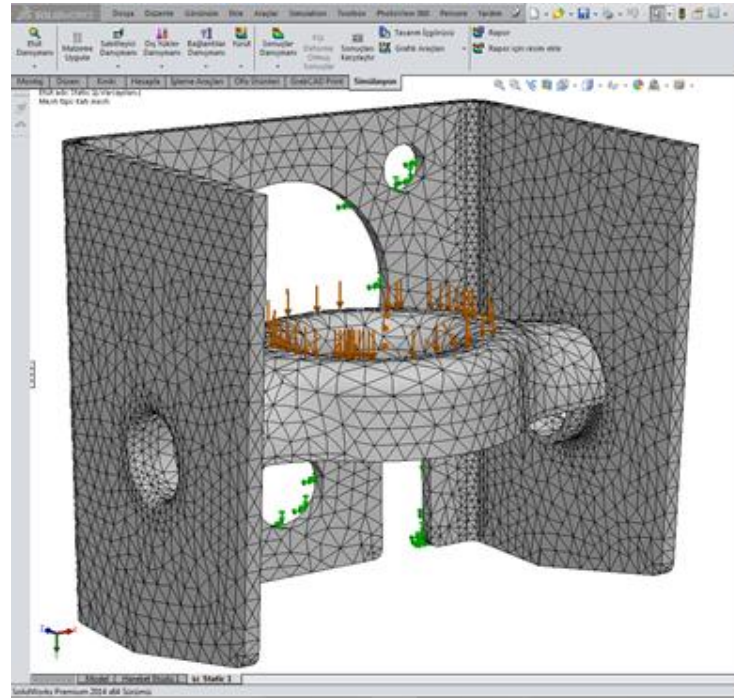
İlk tasarımda, yapı elemanı üzerine yay tarafından aktarılan kuvvetler, gövde yan yüzeyinde bulunan 90 derece bükümlü kulaklar vasıtası ile karşılanmaktadır. Yay tarafından üretilen kuvvetlerin aktarımı bu iki parça arası oluşan temas neticesinde gerçekleşmektedir. Temas bölgesinde yüzey alanının dar olması dolayısı ile basınç etkisi artmaktadır ve statik gerilimler çoğalmaktadır. Gövde üzerindeki kulakların iç radyüslerinin düşük olmasından dolayı kuvvet bu bölgelerde yığılmakta ve gerilimler çoğalmaktadır. Ayrıca yapı elemanı üzerindeki keskin bükümlerin olduğu bölgelerde de gerilimlerin arttığı gözlenmektedir.

Alternatif olarak önerilen ve aynı fonksiyonları sağlayacağı öngörülen tasarım geometrisinde;

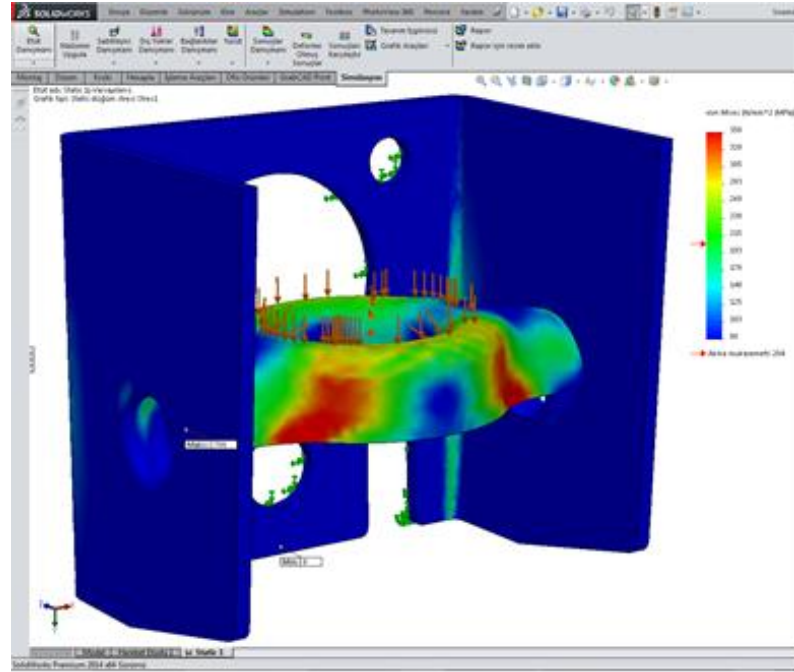
Yay kuvvetini taşıyan yapı elemanı ile kuvvetin iletilecek olduğu gövde arasında dairesel bir sıvama ile yatak oluşturulmaktadır (Şekil 5.13.). Böylece temas eden yüzey alanı artmakta ve gerilimler yüzeye dağılmaktadır. Sonlu elemanlar analiz yöntemi ile incelenen ve geometrik yapı üzerine uygulanan yük ile oluşan statik stres dağılımları (Şekil 5.14., Şekil 5.15. ve Şekil 5.16.), ilk tasarımın sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Tasarımda gerçekleştirilen iyileşme miktarının yeterli ölçüde olması durumunda, dinamik laboratuvar testleri için prototip üretimi yapılacaktır.



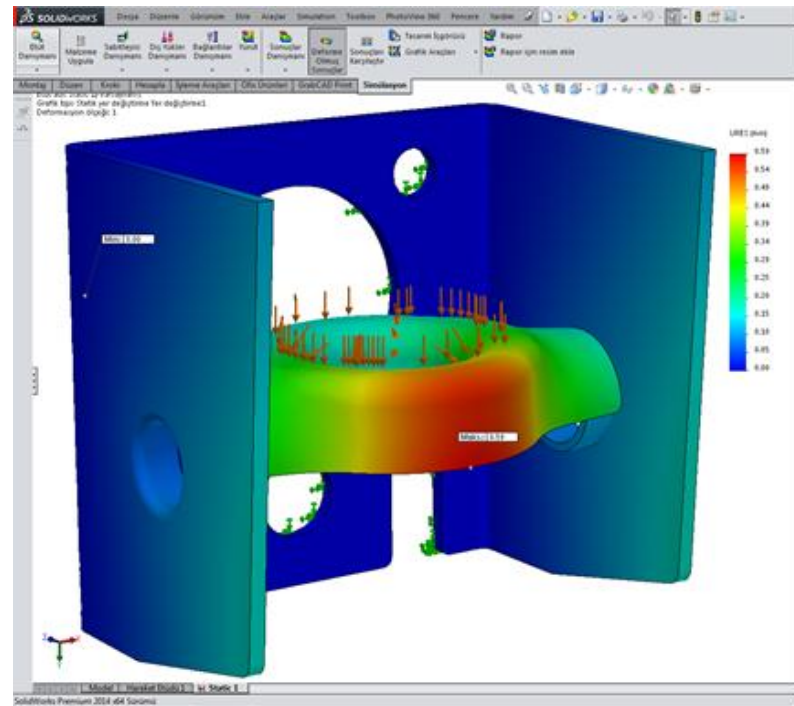
Şekil 5.13. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin arttırılması



Şekil 5.14. Alternatif tasarımda sonlu elemanlar analizi için “mesh” oluşturulması



Şekil 5.15. Alternatif tasarımda sonlu elemanlar analizi stres dağılımı (max. 430 Mpa)



Şekil 5.16. Alternatif tasarımda sonlu elemanlar analizi yer değışirme (esneme) analizi (max. 0,59 mm)

Alternatif olarak geliştirilen 1,5 mm standart sac malzeme kullanılarak geliştirilen tasarımın analiz sonuçlarını incelediğimizde; yay baskı kuvveti altındaki yapıda max.

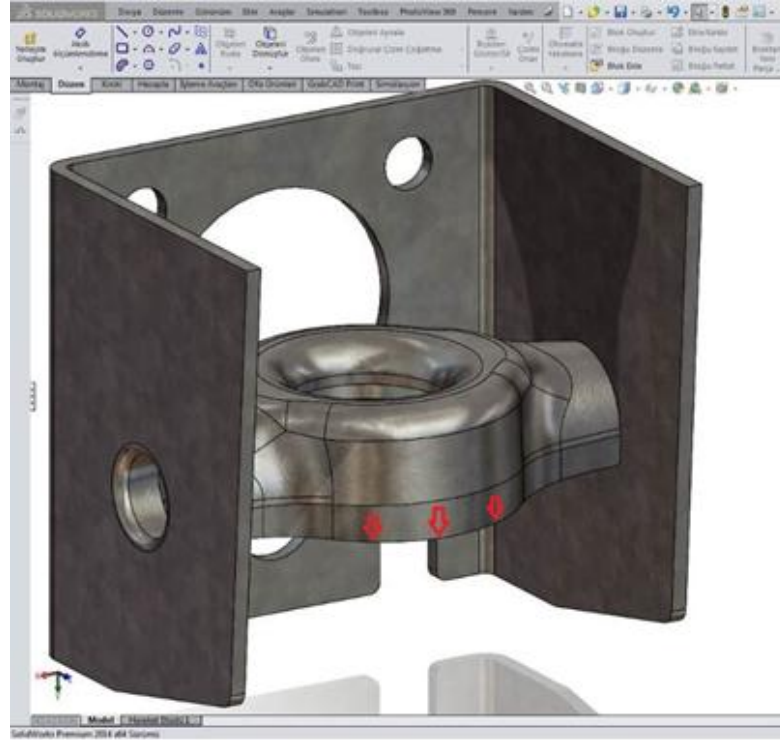
709 Mpa stres oluşumu gözlenmektedir. İlk tasarımla karşılaştırıldığında stres miktarında 2 katından fazla oranda azalma gözlemlenmektedir. Yer değiştirme analiz sonuçları incelendiğimizde yük altında kalan kısımların max. 0.59 mm esnediği anlaşılmaktadır. İlk tasarımla karşılaştırıldığında esneme miktarında iki kata yakın değerlerde azalma görülmektedir.

Geliştirilen tasarımda yay baskı kuvveti altında bulunan yapı elemanı ile gövde arasında teması ile kuvvet iletimi sağlayan sıvımalı formlar arasındaki statik gerilimler; 1130 Mpa seviyelerinden akma mukavemetinin altındaki 180 – 190 Mpa seviyelerine kadar düşürülebilmektedir.

Bunula birlikte yay baskı yükünü taşıyan yapı elemanında ilk tasarımda 358 Mpa olan kısımlarda oluşan gerilim 428 Mpa seviyelerine yükselmiştir. Bu bölgelerdeki gerilimlerin azaltılması amacı ile sac kalınlığını arttırmadan yapının geometrik hacmini artırma yöntemi uygulanacaktır.

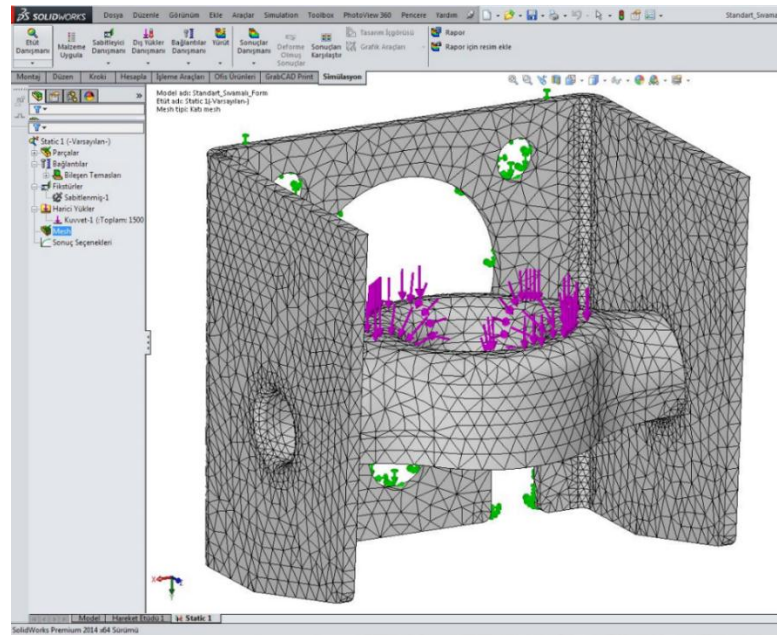
5.3.5. Alternatif tasarımla geometrik formun hacminin ile temas yüzeyinin arttırılması ve analizi

Alternatif tasarım ile yay baskı yükünü taşıyan yapı elemanı ile gövde arasındaki temas yüzeyi arttırarak statik gerilimlerde azalma sağlanmıştır. Fakat yük taşıyan eleman ile gövde arası bağlantıyı sağlayan sıvımalı formlarının kısa olması dolayısı ile moment etkisi oluşarak yapı üzerinde statik gerilimlerde artışlara sebep olmaktadır. Oluşan gerilimlerin dağıtılması için geometrik formun hacmini (atalet momenti yönünde) 466 mm³ arttırma yöntemi uygulanmıştır. Yapı elemanının sac kalınlığını arttırmadan açılım boyundaki mesafeler arttırılarak hacminde artış sağlanmaktadır (şekil 5.17.).

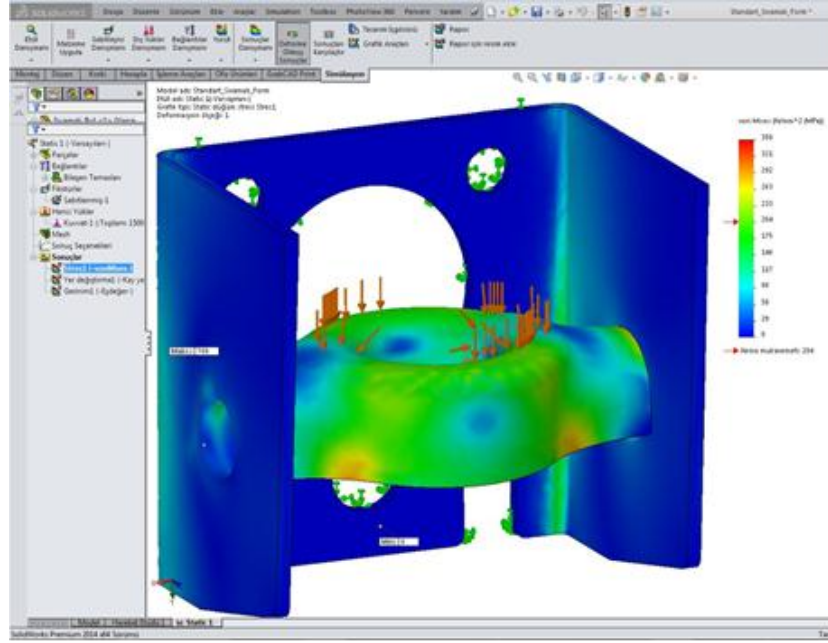


Şekil 5.17. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin ve hacmin artırılması

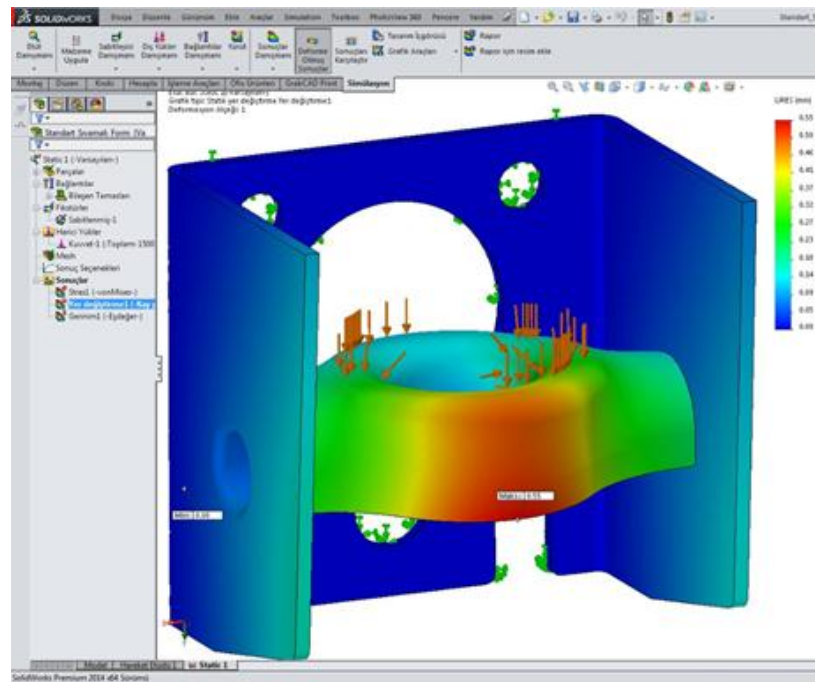
Hacminde artış sağlanan model ile ilgili sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır (Şekil 5.18., Şekil 5.19. ve Şekil 5.20.).



Şekil 5.18. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin ve hacmin artırılmış modelin "mesh" işlemi



Şekil 5.19. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin ve hacmin arttırılmış modelin stres dağılımı (max. 294 Mpa)



Şekil 5.20. Alternatif tasarımla temas yüzeyinin ve hacmin arttırılmış modelin yer değiştirme (esneme) analizi (max. 0,55 mm)

Analiz sonuçlarını incelediğimizde yay baskı kuvveti altında olan yapının statik gerilim değerleri; 430 Mpa seviyelerinden 294 Mpa seviyesine gerileyerek stresin

önemli ölçüde dağıtıldığı görülmektedir. Ayrıca yer değiştirme ve esneme miktarı max.0,55 mm ye gerilemiştir.

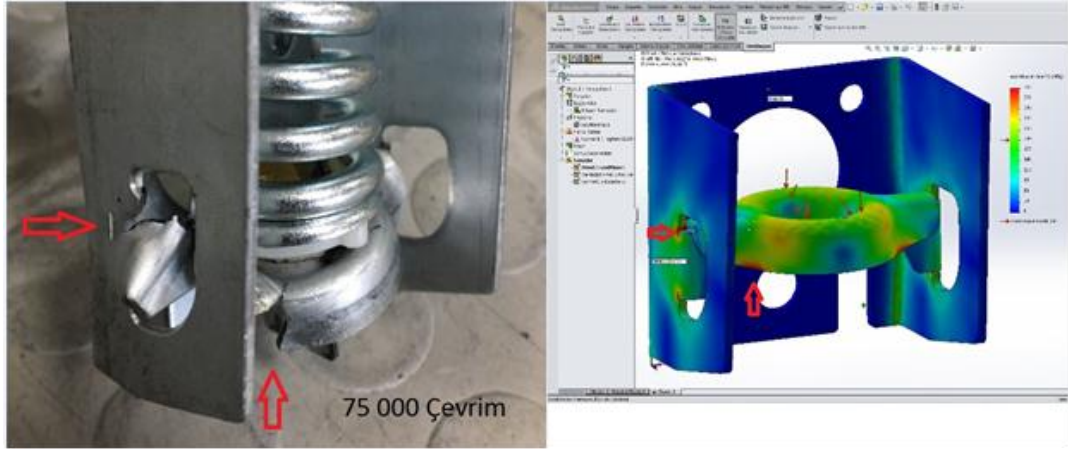
Sac malzemenin kalınlığını ve mukavemet değerlerini arttırmadan geometrik tasarım formları ile optimizasyon yapılarak kullanım yerine en uygun yapı geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen alternatif tasarımların üretimi yapılarak dinamik laboratuvar testleri gerçekleştirilecektir.

5.4. Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçlarının Dinamik Laboratuvar Testleri İle Karşılaştırılması

Bu çalışmada ele alınan tasarım yapısı, mekanizma içinde 1500 N yay baskı kuvveti altında tekrarlı kuvvetlere maruz kalarak çalışmaktadır. Sonlu elemanlar analiz yöntemleri ile incelenen alternatif tasarımların statik gerilim değerleri ve dinamik laboratuvar test sonuçları karşılaştırılarak sonuçlar doğrulanmıştır.

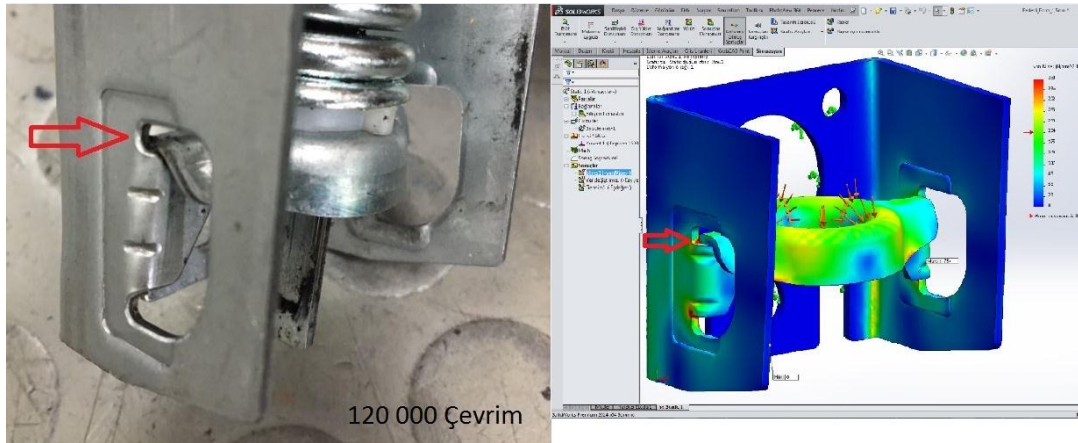
Karşılaştırma yapılacak olan tasarımlar;

1. 1,5 mm standart sac ile üretilen ilk model tasarımının dinamik laboratuvar testi (Şekil 5.21.),
2. Statik yük dağıtıcı mukavemet formları uygulanan 1,5 mm standart sac ile üretilen modelin dinamik laboratuvar testi (Şekil 5.22.),
3. Alternatif tasarımla geometrinin yük taşıyan temas yüzeylerinin arttırılması ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi (Şekil 5.23.),
4. Alternatif tasarımla geometrinin yük taşıyan temas yüzeyinin ve hacminin arttırılması ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi (Şekil 5.24.),



Şekil 5.21. A 1,5 mm standart sac model dinamik laboratuvar testi, (75 000 çevrim)

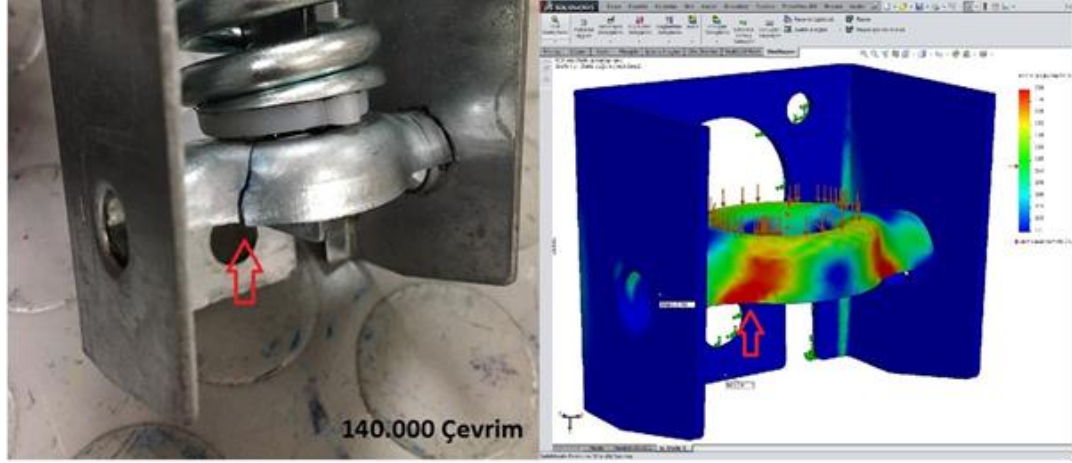
Dinamik laboratuvar testleri ve sonlu elemanlar analiz sonuçlarını karşılaştırdığımızda; statik gerilimlerin ve gerilimle birlikte esnemelerin arttığı bölgelerde çatlama ve deformasyonların olduğu gözlemlenmiştir. A tasarımında 75.000 çevrimde deforme olan yapıların statik analizini incelediğimizde; Gövde kulak bükümlerinde 1130 Mpa gerilim birikmesi, yük taşıyıcı eleman üzerindeki formlarda 358 Mpa gerilim birikmesi ve 0,88 mm esneme mevcuttur.



Şekil 5.22. B Statik yük dağıtıcı mukavemet formları uygulanan 1,5 mm standart sac ile üretilen modelin dinamik laboratuvar testi, (120 000 çevrim)

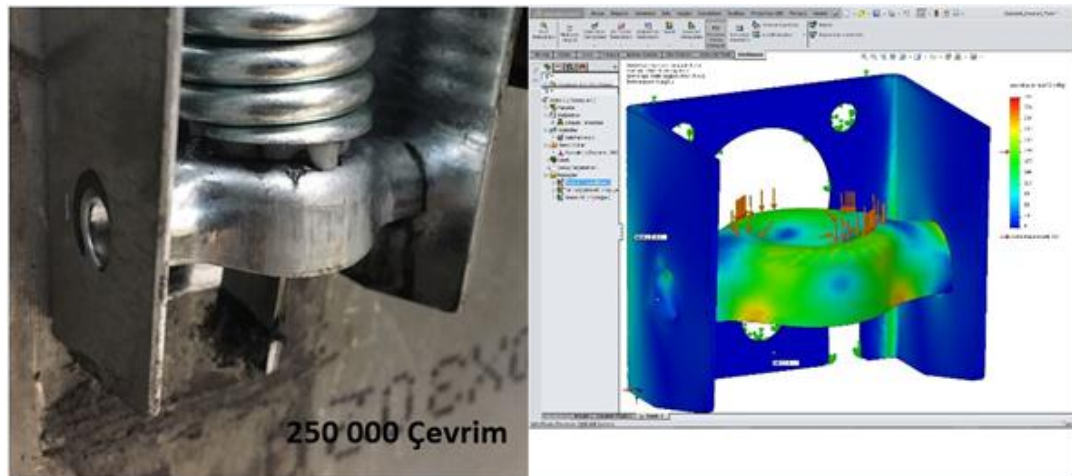
B tasarımında 120.000 çevrim seviyelerinde çatlayan formun statik analizini incelediğimizde; Gövde kulak bükümlerinde 756 Mpa gerilim birikmesi, yük taşıyıcı eleman üzerindeki formlarda 321 Mpa gerilim birikmesi ve 0,26 mm esneme

mevcuttur. Dinamik test sırasında oluşan çatlamlar kılcal çatlak şeklinde gözlenmektedir.



Şekil 5.23. C Alternatif tasarımla geometrinin yük taşıyan temas yüzeylerinin arttırılması ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi, (140 000 çevrim)

C tasarımında 140.000 çevrim seviyelerinde çatlamanın analizini incelediğimizde; Gövde kulak bükümü yerinde alternatif olarak tasarlanan yük aktarımı sağlayan sıvama formları üzerinde 535 Mpa stres birikmesi, yük taşıyan elemanın bükümlü formlarında 430 Mpa seviyelerinde stres oluştuğu gözlenmiştir. Aynı yapıdaki esneme miktarının 0,59 mm olduğu görülmektedir.

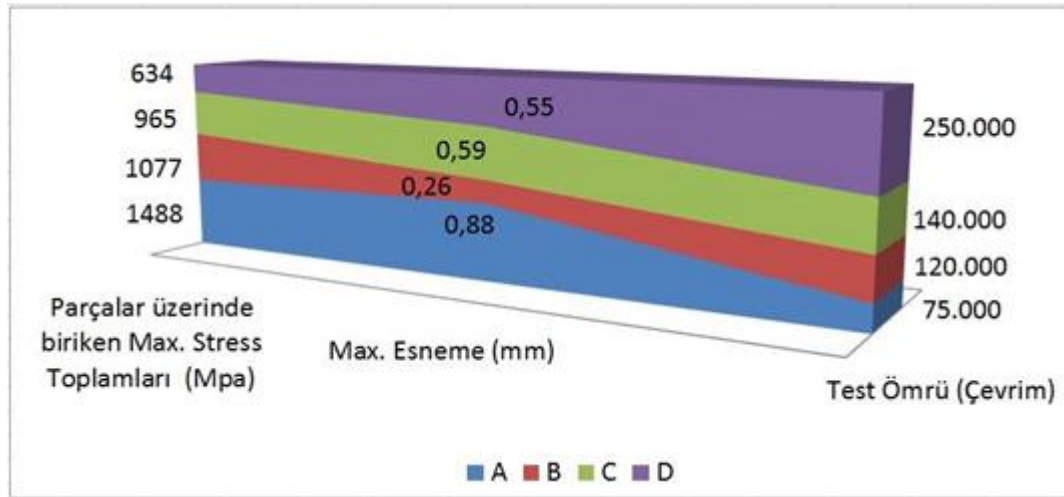


Şekil 5.24. D Alternatif tasarımla geometrinin yük taşıyan temas yüzeylerinin ve hacminin arttırılması ile 1,5 mm standart sacdan üretilmiş modelin dinamik laboratuvar testi, (250 000 çevrim)

D tasarımının dinamik laboratuvar testlerinde 250.000 çevrim seviyelerine çıkmıştır. Yük taşıyan formun üzerinde ve gövde ile temas halindeki yük aktarım bölgelerinde herhangi bir çatlama ile deformasyon gözlenmemiştir. Tasarlanan modelin sonlu elemanlar analiz sonuçlarını incelediğimizde; yük aktarımı sağlayan sıvama formları üzerindeki stres gerilimlerinin 340 Mpa seviyelerine indiği ve baskı yükü altındaki formda max. 294 Mpa seviyelerinde statik stres birikmesi olduğu görülmektedir. Baskı yükü altında kalan parçada 0,55 mm miktarında esneme olduğu görülmektedir.

5.4.1. Sonlu elemanlar analiz verileri ile dinamik laboratuvar test verilerinin bağıntı grafikleri

Sonlu elemanlar analizleri ve dinamik laboratuvar test verilerini birlikte incelediğimizde, mekanizma yapısını oluşturan elemanlar üzerinde oluşan stres yükü ile birlikte esnemelerin fazla olması sonucunda, deformasyon ve çatlak oluşumunun daha erken çevrim sürelerinde meydana geldiği görülmektedir. Yorulma ömrü; parça üzerinde oluşan max. stres ve esneme ile ters orantılı olarak değişkenlik göstermektedir (Şekil 5.25.).



Şekil 5.25. Yay baskı kuvvetini aktaran A,B,C,D tasarımındaki elemanların ve gövde formlarının toplam Max. Stres ve Max. Esneme oranlarının yorulma ömrüne etkisi

A modelinde; gövde kulak bükümlerinde ve yay baskı yükünü taşıyan yapı elemanı üzerinde oluşan max. Stres toplamları 1488 Mpa seviyelerindedir. Mekanizma

parçalarının yük altındaki max. esneme miktarı 0,88 mm olduğu görülmektedir. Parçalar üzerinde oluşan stresin ve esnemenin fazla olması dolayısı ile 75.000 çevrim seviyelerinde çatlama ve deformasyonlar oluşmaktadır.

B modelinde; yük taşıyan formların büküm kenarlarında uygulanan mukavemet formları ile esneme miktarı 0,26 mm seviyelerine indirilmiştir. Mekanizma içerisinde baskı yükü altındaki yapı elemanlarındaki toplam stres 1077 Mpa seviyesindedir ve dinamik test sonucunda 120.000 çevrim seviyelerinde çalışma ömrü sağlanmıştır. Oluşan deformasyon kılcal çatlaklar halinde kendini göstermiştir ve yapı bütünlüğü bozulmamıştır.

C modelinde; mekanizma içindeki yay baskısı yüklerini taşıyan elemanın geometrik formu değiştirilmiştir. Gövde ile arasındaki yük aktarımı gerçekleştiren bölgelerin temas yüzeyleri arttırılmıştır ve stres miktarı indirgenmiştir. Gövde ile yük taşıyan eleman arasındaki temas sıvama formları sayesinde geniş bir yüzeyde sağlanmıştır ve parçaların toplam max. stres seviyesi 965 Mpa seviyelerindedir. Form değişikliği ile esneme miktarı 0,59 mm miktarındadır ve dinamik test sonucu 140.000 çevrim seviyelerinde yay taşıyan eleman üzerinde çatlama ve deformasyonlar oluşmuştur. Gövde üzerindeki sıvama formlarında herhangi bir deformasyon oluşmamıştır.

D modelinde; C modelinde geliştirilen geometrik formlarda, yay baskı kuvveti altındaki elemanın dinamik testler sonucu deforme olan kısımlarının hacminin 466 mm³ arttırılması ile stres gerilimleri düşürülmüştür ve esnemede bir azalma sağlanmıştır. Parçalarda oluşan toplam max. stres 634 Mpa ve max. esneme 0,55 mm seviyelerindedir. Yapılan geometrik iyileştirmeler ile dinamik testler 250.000 çevrim seviyelerine yükselmiştir ve parçalar üzerinde herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Plastik şekillendirme yöntemleri ile sac malzemedan üretilen ürünler birçok alanda tüketici taleplerini karşılamaktadır. Ürünlerden beklenen kalite düzeyi ve fonksiyonelliği sağlamak adına üreticiler Ar-Ge aşamalarında çok fazla para ve zaman harcamaktadır. Proje maliyetleri ile hedef ürün maliyetlerinin belirlenen seviyelerde olması, üreticiler ve tüketiciler içinde önem arz etmektedir.

Sac metal şekillendirmede mukavemet artırıcı parametrelerin optimizasyonu ile maliyet arışı olmadan ürünlerden beklenen dayanım seviyelerine ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Geliştirilmesi düşünülen ürünün geometrik formundaki yapılan değişiklikler sonucunda, yük taşıyan yapı elemanlarının üzerinde oluşan stres ve yer değiştirmeler azaltılabilmektedir. Buna bağlı olarak tekrarlı yükler altındaki dayanımı ve kullanım ömrü artmaktadır.

Teknolojinin hızlıca gelişmesi ile bilgisayar destekli tasarım ve analiz programları üretim süreçlerine dâhil olmuştur. Bilgisayar ortamında katı modeli oluşturulan ürünlerin sonlu elemanlar analiz yöntemleri ile matematiksel modeli oluşturularak, gerçek fizik şartlarındaki karakteristik davranışları incelenebilmektedir. Ürün geliştirme aşamalarında deneysel yaklaşım maliyeti arttırmakta ve proje süreçlerini uzatmaktadır. Sonlu elemanlar analizleri sayesinde; tasarım aşamasında incelenen ürünün taşınması gereken yüklere dayanım miktarı ve diğer fiziksel koşulları ile ilgili veriler kısa sürede elde edilebilir.

Yapının geometrik formundaki geliştirmeler, malzemenin mekanik özellikleri ile uyumlu ve yapı elemanın mekanizma içerisindeki işlevini engellemeyecek nitelikte olmalıdır. Mukavemet artırıcı yöntemlerin parametrelerinin belirlenmesinde sonlu

elemanlar analiz programları ile birlikte laboratuvar deney ve test yöntemlerinden faydalanılarak en optimum sonuca gidilebilir. Örnek deney numuneleri üzerinde yapılan yapısal iyileştirmeler temel alınarak daha karmaşık yapılarda uygulanacak yaklaşımlar elde etmek mümkündür.

Mekanizma bütünü oluşturulan parçalar mekanik kuvvetlere maruz kalmaktadır. Parçaların tekrarlı dinamik yükler altında dayanımlarının istenen seviyelerde olması için;

- a. Parça üzerinde biriken stres gerilim seviyesi ve yer değiştirme miktarı az olmalıdır.
- b. Stres seviyesinin tasarım değişiklikleri ile düşürülemediği durumlarda esneme miktarını düşürmek yorulma ömrünü arttırıcı etkiler sağlamaktadır.
- c. Mekanizmadaki yapının esneyerek çalışması gerektiği durumlarda, parçalar üzerinde biriken stres yüklerinin geometrik formlar ile azaltılması yorulma ömrünün artmasını sağlayabilmektedir.
- d. Stres biriken bölgelerde parçanın hacminin arttırılması ile gerilimlerin ve esnemelerin azaltılması sağlanmaktadır.
- e. Mekanizma içerisinde bulunan parçaların birbirleri ile aralarındaki temas yüzeylerinin arttırılması stres ve gerilimlerin azaltılmasını sağlamaktadır.
- f. Tasarlanan geometrik formların plastik şekil verme yöntemleri ile üretimi sırasında, büküm yarıçapının arttırılması stres ve gerilimlerin azalmasını sağlayarak dinamik yüklere dayanımını arttırmaktadır.
- g. Ürünü oluşturan sac parçaların kalınlığının arttırılması (dolayısı ile hacmin artması) stres gerilimlerinin ve esnemenin azaltılmasını sağlayabilmektedir. Fakat maliyet artışına sebep olmaktadır.
- h. Sac kalınlığını arttırmak yerine yüzey alanını arttırarak hacim arttırma yoluna gidilebilir. Yapılan çalışmalarda, 2 mm kalınlığındaki malzeme yerine 1,5 mm kalınlığında malzeme ile istenen çalışma ömrü sağlanarak %25 maliyet avantajı sağlanmıştır.
- i. Sac hammaddesinin akma mukavemetinin üzerindeki tekrarlı gerilmeler ile esneyen malzeme elastik bölgeden uzaklaşmaktadır. Gevrek bir yapıya

kavuşan yapı plastik deformasyon sınırını aşarak kalıcı şekil değişimleri ile çatlaklar oluşturmaktadır.

- j. Akma mukavemetini arttırmak belirli bir miktar dayanımı sağlamaktadır, fakat malzemenin gevrek yapıda olması plastik şekillendirme sırasında gerilimlerin çoğalmasına sebep olmaktadır. Geometrik şekli verilen gevrek ve gerilimli malzemeye tekrarlı yükler uygulandığında, mikro çatlaklar oluşmakta ve ilerlemektedir.
- k. Parça üzerindeki atalet momenti yönündeki 466 mm³ artış ile 1500N tekrarlı yük altındaki çalışma ömrünü 140.000 çevrim seviyelerinden 250.000 çevrim seviyelerine yükseltmiştir.

Sonlu elemanlar analizi ile uygun dayanıma sahip olan parça geometrisi seçilerek, 45 gün süren prototip ve test süreçlerinden avantaj sağlanmaktadır.

Ürünlerin tasarım aşamalarında sonlu elemanlar analiz yöntemleri ile inceleyerek, gerekli mukavemeti sağlayacak iyileştirmeleri uygulamak mümkün olmaktadır. Yapılan analizler, zaman ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır.

Kaynakların ve üretim olanaklarının etkin olarak kullanılması için, sac metal şekillendirmede mukavemet artırıcı parametrelerin optimizasyonları önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Demir Ve Demirdışı Metaller Meclisi Raporu, TOBB Yayın No: 2017/300, 978- 605-137-634-9, 2016.
- [2] Chenot, J.L., Massoni,E., “Finite element modelling and control of new metal forming processes”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46 (11):1194-1200, 2006.
- [3] Fırat,M., Kaftanoğlu,B., Eser,O., “Sheet metal forming analyses with an emphasis on the springback deformation”, Journal of Materials Processing Technology, 196 (1-3): 135-148, 2008.
- [4] Tizca,M., Numerical modelling and simulation in sheet metal forming”, Journal of Materials Processing Technology, 151 (1-3): 58-62, 2004.
- [5] Gantar,G., Pelelnjak.T., Kuzman.K.,“ Optimization of sheet metal forming processes by the use of numerical simulations”, Journal of Materials Processing Technology, 130-131: 54-59, 2002.
- [6] Palaniswamy, H., Ngaile, Gracious., Altan, T.,“ Finite element simulation of magnesium alloy sheet forming at elevated temperatures”, Journal of Materials Processing Technology ,146 (1): 52-60, 2004.
- [7] Onur Ç., Sac Metal Şekillendirme İşlemlerinde Pres Hızı Ve Malzemenin Şekillendirmeye Etkilerinin Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [8] Anıl H., Sac Bükmede Geri Yaylanmanın Sonlu Eleman Yöntemi İle İncelenmesi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [9] Prof. Dr. Demirkol M., Plastik Şekil Verme Teknolojisi, İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, 2010.
- [10] Groover, Mikell P., Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 4th ed., Lehigh University, 978-0470-467002, 2010.

- [11] Marciniak Z., Duncan J.L., Hu, S.J., *Mechanics of Sheet Metal Forming*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 82-107, 2002.
- [12] Topçu, M., Taşgetiren, S., *Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders Kitapları Yayın 007, Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli 33-40, 1998.
- [13] N.N. Kaya, *İnsan Kolu Humerus Kemigi İçin Sonlu Elemanlar modeli ve Analizi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [14] Liu M., Zhang X., Fatikow S., *Design and analysis of a multi-notched flexure hinge for compliant mechanisms*, *Precision Engineering*, vol: 48 pp: 292-304, 2017.
- [15] Cao L., Dolovich A., Chen A., Zhang W., *Topology optimization of efficient and strong hybrid compliant mechanisms using a mixed mesh of beams and flexure hinges with strength control*, *Mechanism and Machine Theory*, vol: 121 pp: 213-227, 2018.
- [16] Noveanu S., Lobontiu N., Lazaro J., Mandru D., *Substructure compliance matrix model of planar branched flexure-hinge mechanisms: Design, testing and characterization of a gripper*, *Mechanism and Machine Theory*, vol: 91 pp: 1-20, 2015.
- [17] Lobontiu N., *Modeling and design of planar parallel-connection flexible hinges for in- and out-of-plane mechanism applications*, *Precision Engineering*, vol: 42 pp: 113-132, 2015.
- [18] Wang S., Wu C., *Design of the force measuring system for the hinged door: Analysis of the required operating torque*, *International Journal of Industrial Ergonomics* vol: 49 pp: 1-10, 2015.
- [19] Kang D., Gweon D., *Analysis and design of a cartwheel-type flexure hinge*, *Precision Engineering*, vol: 37 (1) pp: 33-43, 2013.
- [20] Aswin Srikanth S., Bharanidaran R., *Design and Development of Compliant Mechanisms Using Parameterization Technique*, *Materials Today: Proceedings*, vol: 4 (8) pp: 7388-7396, 2017.
- [21] Woo S., O'Neal D., Pecht M., *Design of a hinge kit system in a Kimchi refrigerator receiving repetitive stresses*, *Engineering Failure Analysis*, vol: 16 (5) pp: 1655-1665, 2009.

- [22] Liao K., Cian Y., Lin W., Fatigue life assessment of an innovative laptop hinge, *Materials & Design*, vol: 30 (5) pp: 1497-1502, 2009.
- [23] Chang K., Project S1 Solid Modeling with SolidWorks, *Product Design Modeling Using CAD/CAE*, Publisher: Elsevier, pp: 323-367, 2014.
- [24] Chang K., Project S2 Motion Analysis Using SolidWorks® Motion, *Product Performance Evaluation with CAD/CAE*, Publisher: Elsevier, pp: 397-431, 2013.
- [25] Chang K., Project S3 Structural FEA and Fatigue Analysis Using SolidWorks Simulation, *Product Performance Evaluation with CAD/CAE*, Publisher: Elsevier, pp: 481-532, 2013.
- [26] Alejandro Q., Antonio G., Carolina Á.-C., José L. S. R., Material Characterization for FEM Simulation of Sheet Metal Stamping Processes, *Advances in Mechanical Engineering*, Volume 2014, Article ID 167147, 2014.
- [27] Oudjene M., Penazzi L., Batoz J., Towards the three-dimensional FE analysis of rapid prototyping tools for sheet metal stamping process, *Finite Elements in Analysis and Design*, vol: 43 (8) pp: 611-619, 2007.
- [28] Tekkaya A., State-of-the-art of simulation of sheet metal forming, *Journal of Materials Processing Technology*, vol: 103 (1) pp: 14-22, 2000.
- [29] Taylor L Cao J Karafillis A Boyce M., Numerical simulations of sheet-metal forming, *Journal of Materials Processing Technology*, vol: 50 (1-4) pp: 168-179, 1995.
- [30] Vavro J., Vavro J., Kováčiková P., Bezdedová R., Kinematic and Dynamic Analysis of Planar Mechanisms by Means of the Solid Works Software, *Procedia Engineering*, vol: 177 pp: 476-481, 2017.
- [31] Ghielmetti C., Ghelichi R., Guagliano M., Ripamonti F., Vezzù S., Development of a fatigue test machine for high frequency applications, *Procedia Engineering*, vol: 10 pp: 2892-2897, 2011.
- [32] Le Flohic J., Paccot F., Bouton N., Chanal H., Application of hybrid force/position control on parallel machine for mechanical test, *Mechatronics*, vol: 49 pp: 168-176, 2018.
- [33] Xu W., Yang X., Zhong B., He Y., Tao C., Failure criterion of titanium alloy irregular sheet specimens for vibration-based bending fatigue testing, *Engineering Fracture Mechanics*, vol: 195 pp: 44-56, 2018.

- [34] Garcia R., de Lima A., Mattos O., Augusto C., Maia M., A critical insight on the use of external load cells for fatigue tests in pressurized systems, *Engineering Fracture Mechanics*, vol: 181 pp: 1-6, 2017.
- [35] Kotas A., Danninger H., Weiss B., Mingard K., Sanchez J et. al., Fatigue testing and properties of hardmetals in the gigacycle range, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol: 62 pp: 183-191, 2017.
- [36] Banerjee P., Sarkar R., Pal T., Shome M., Effect of nugget size and notch geometry on the high cycle fatigue performance of resistance spot welded DP590 steel sheets, *Journal of Materials Processing Technology*, vol: 238 pp: 226-243, 2016.
- [37] Polák J., *Cyclic Deformation, Crack Initiation, and Low-Cycle Fatigue*, Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, Publisher: Elsevier, 2016.
- [38] Stanzl-Tschegg S., Very high cycle fatigue measuring techniques, *International Journal of Fatigue*, vol: 60 pp: 2-17, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet İlhan, 23.01.1987'de Adapazarında doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarında tamamladı. 2004 yılında Sakarya Ali Dilmen Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü 2010 yılında bitirdi. 2011 Yılında Düzce Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı. 2012-2013 Yılları arasında özel sektörde çeşitli projelerde görev aldı. 2013 yılında C sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı belgesini aldı. 2014 Yılında Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı. 2015-2018 yılları arasında Atasan Metal şirketinde Ar-Ge bölümünde görev alarak, yeni ürün geliştirme projlerinde aktif rol aldı ve patent çalışmalarına katkıda bulundu. 2018 Yılında Atasan Metal şirketi Tasarım Merkezi kurulumu çalışmalarında aktif rol aldı. Şuan Atasan Metal şirketi Tasarım Merkezi bünyesinde Ürün Geliştirme Uzmanı olarak görevine devam etmektedir.