

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

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN SADE
KARBONLU ÇELİKLERLE ÜRETİLEN GÖVDE İÇ
PANELLERİNİN DERİN ÇEKME PROSES OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Burak MISIRLI

**Enstitü Anabilim Dalı : METALÜRJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aysun AYDAY

Haziran 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN SADE
KARBONLU ÇELİKLERLE ÜRETİLEN GÖVDE İÇ
PANELLERİNİN DERİN ÇEKME PROSES OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Burak MISIRLI

Enstitü Anabilim Dalı : METALÜRJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22/06/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

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.

Mehmet Burak MISIRLI

TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans eğitimim boyunca ve profesyonel meslek hayatımda her zaman parçası olmaktan gurur duyduğum Sakarya Üniversitesi'ne, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne, ders ve tez sürecimde desteklerini esirgemeyen, yüksek lisans eğitimimi en verimli şekilde devam ettirmemi sağlayan başta Doç. Dr. Aysun AYDAY olmak üzere tüm bölüm öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanmasında ve literatüre plastik şekil verme süreçleri ile ilgili bilgiler eklememize destek olan tüm Ford Otosan çalışanlarına, Takım Kalıp Müdürlüğü'ne, Pres Üretim Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Profesyonel meslek hayatımda problem çözümleri için akademik çalışmalara yönlenmemizi teşvik ederek her problemin kalıcı olarak giderilmesine, problemlerin giderilmesiyle birlikte mühendislik hayatında bir iz bırakmamıza destek, yardımcı olan yöneticim Sn. Mustafa Nejat TANCA'ya bugüne kadar gösterdikleri destek ve yönlendirmelerden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca beni sabırla destekleyen, bu tezin yazım sürecinde sorumluluklarımdan pay alarak, benden daha fazla yorulan, hayatı benim için kolaylaştıran eşim Gonca MISIRLI'ya ve tez yazım sürecinde kısıtlı zaman ayırabildiğim oğlum Kemal Kaan MISIRLI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE PLASTİK ŞEKİL VERME	3
2.1. Kullanılan Ekipmanlar.....	3
2.1.1. Kreynler	3
2.1.2. Pres hatları	3
2.1.3. Kalıplar	4
2.1.3.1. Açınım kalıpları	5
2.1.3.2. Çekme kalıpları	6
2.1.3.3. Kesme kalıpları	9
2.1.3.4. Bükme - ütüleme kalıpları.....	11
2.2. Kullanılan Saclar	13
2.2.1. Düşük karbonlu çelikler (LC–Mild Steel).....	13
2.2.2. Fırında sertleşebilen çelikler (BH- Bake Hardening).....	14
2.2.3. Ara yer atomu içermeyen çelikler (IF- Interstitial Steels).....	15
2.2.4. Yüksek mukavemetli düşük alaşımli çelikler.....	15

2.2.5. Çift fazlı çelikler	16
2.2.6. Dönüşüm kaynaklı plastitise gösteren çelikler (TRIP).....	17
2.3. Mekanik Özellikler	17
2.3.1. Akma dayanımı	18
2.3.2. Çekme dayanımı	19
2.3.3. % Uzama değeri.....	19
2.3.4. Pekleşme üsteli	20
2.3.5. Anizotropi katsayısı.....	20
2.3.6. Yüzey pürüzlülüğü	22
BÖLÜM 3.	
PLASTİK ŞEKİL VERME HATALARI	23
3.1. Yırtık.....	23
3.1.1. Fizibilite şartları.....	24
3.1.2. İşletme şartları	25
3.1.2.1. Kaplama yöntemleri	26
3.1.2.2. Kaynak dolgu – lazer kaynak	28
3.2. İncelme	30
3.3. Çatlak.....	32
3.4. Pot – Dalgalanma.....	33
3.5. Kalıp izi – Girinti.....	35
3.6. Sac Malzeme.....	36
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
4.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi.....	37
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	41
5.1. Problem Analizi	41
5.2. Simülasyon ve Saha Denemeleri	44

BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	55
6.1. Sonuçlar	55
6.2. Öneriler	55
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TRIP	: Transformation Incuded Plasticity
Ra	: Yüzey pürüzlülüğü y-koordinatı aritmetik ortalaması
PPD	: Pulsed Plasma Diffusion
PVD	: Physical Vapor Deposition
PN	: Plasma Nitride
TiN	: Titanium Nitride
N	: Newton
PVC	: Polyvinyl Cloride

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir pres hattının şematik gösterimi	4
Şekil 2.2. Bir açınım kalıbının şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.3. Bir açınım kalıbından elde edilen kesilmiş sac görüntüsü.....	6
Şekil 2.4. Bir derin çekme kalıbının erkek ve pot çemberi parçasının şematik gösterimi	7
Şekil 2.5. Bir derin çekme kalıbının dişi parçasının şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.6. Derin çekme operasyonundan elde edilmiş bir sac malzemenin şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.7. Tüm operasyonları tamamlanmış, yarı mamul bir sac malzemenin şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.8. Bir kesme alt kalıbının şematik gösterimi	9
Şekil 2.9. Bir kesme üst kalıbının şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.10. Bir kesme üst kalıbının şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.11. Bir bükme alt kalıbının şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.12. Bir bükme üst kalıbının şematik gösterimi	12
Şekil 2.13. Otomotiv sektöründe kullanılan sacların mekanik özelliklerine göre dağılımı.....	13
Şekil 2.14. Düşük karbonlu bir çeliğin şekillendirme sınır diyagramı	14
Şekil 2.15. Çift fazlı çeliğe ait mikro yapının şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.16. Şekillendirilmiş bir otomotiv parçasında lüders bantları oluşumu	18
Şekil 2.17. Bir levha üzerinde malzeme yönlerinin gösterimi	21
Şekil 2.18. Aynı tür malzemeye ait iki farklı çekme test sonucu.....	21
Şekil 3.1. Şekillendirilmiş sac üzerinde yırtık probleminin gösterimi.....	24
Şekil 3.2. Bir kayar kapı iç parçasının fizibilite aşamasından bir görünüm	25
Şekil 3.3. Kaplama öncesi bir çekme kalıbı yüzeyi	27
Şekil 3.4. Krom kaplama sonrası bir çekme kalıbı yüzeyi.....	28

Şekil 3.5. Bir çekme kalıbı yüzeyinde oluşan porozitelerin mercek altında görünümü.....	29
Şekil 3.6. Bir çekme kalıbı yüzeyinde oluşan çatlağın görünümü.....	29
Şekil 3.7. Şekillendirilmiş bir parça üzerinde incelme probleminin görünümü	31
Şekil 3.8. Simülasyon programı üzerinde incelme probleminin gösterimi.....	32
Şekil 3.9. Şekillendirilmiş bir parça üzerinde oluşmuş çatlak görünümü.....	33
Şekil 3.10. Şekillendirilmiş bir parça üzerinde dalgalanma pot probleminin görünümü.....	35
Şekil 3.11. Şekillendirilmiş bir parça üzerinde kalıp izi görünümü.....	36
Şekil 4.1. Problemlerin balık kılçığı metoduyla gösterimi.	39
Şekil 5.1. Açınım boşaltmasında oluşan yırtık probleminin görseli	44
Şekil 5.2. Açınım boşaltmasında oluşan yırtığın final parça içine ulaşmış hali	45
Şekil 5.3. Açınım boşaltmasında oluşan yırtığın final parça içine ulaşmış hali	45
Şekil 5.4. Simülasyonda elde edilen verilerin seri imalatta denenmesine ait sonucun görünümü	46
Şekil 5.5. Yırtık probleminin giderilmesi için yapılan müdahale sonucu pot probleminin görünümü	47
Şekil 5.6. Muhtemel pot - dalgalanma olan bölgelerin gösterimi	48
Şekil 5.7. Muhtemel yırtık bölgelerinin gösterimi	48
Şekil 5.8. Açınım boşaltma delikleri 20 mm. küçültülmüş durumda elde edilen pot-dalgalanma değerleri	50
Şekil 5.9. Açınım boşaltma delikleri 20 mm. küçültülmüş durumda elde edilen yırtık değerleri	51
Şekil 5.10. Açınım boşaltma deliği çapı ile süzdürme çubuğu kuvveti arasındaki ilişki.....	52
Şekil 5.11. Süzdürme çubuğu kuvveti arttırılarak elde edilen simülasyon sonucu.	53
Şekil 5.12. Simülasyon ekranında elde edilen sonuçların seri imalat denemesine ait bir görsel	54
Şekil 5.13. Seri imalat denemesinde elde edilen panelin görünümü.....	54
Şekil 6.1. Süzdürme çubuğu geometrilerine örnek oval süzdürme çubuğu.....	56
Şekil 6.2. Süzdürme çubuğu geometrilerine örnek dörtgen bir süzdürme çubuğu .	57

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Çelik çeşitlerine göre bazı mekanik özelliklerin gösterimi	17
Tablo 4.1. Pres hatlarında en çok verimsizliğe neden olan ilk 5 panelin duruş süreleri	37
Tablo 4.2. Duruş süresi en fazla olan panelin ilk 5 duruş kırılımı	38
Tablo 4.3. İlk 5 duruş nedeninin hurda maliyeti	39
Tablo 5.1. Problemlere ait kök nedenlerin neden – sonuç tablosunda önceliklendirilmesi	41
Tablo 5.2. 15 farklı malzemenin kullanıldığı imalatlarda elde edilen hurda-red oranı	43
Tablo 5.3. Yırtık – pot olan bölgelerin sayısal değerlerinin gösterimi	49
Tablo 5.4. Açınım boşaltma delikleri 20 mm. küçültülmüş durumda elde edilen pot ve yırtık değerleri.	51

ÖZET

Anahtar kelimeler: Derin çekme, sac şekillendirme, soğuk şekillendirme, plastik şekil verme.

Bu çalışmada otomotiv sektöründe uygulamaları bulunan derin çekme saclarındaki şekil verme problemleri incelenmiştir. Çalışmalar kapsamında otomotiv sektörü ana sanayisinde yer alan bir araç ve bir panelinin kalıp, sac metal, mekanik özellikler ve şekillendirilebilirlik açısından özellikleri incelenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında problem tespiti, kök neden analizleri yapılmış, analizlerin ardından problem çözümü için simülasyon programları kullanılarak fizibilite analizleri, parça geometri değişimleri, geometri değişimi olmadan sadece Şekillendirme özelliklerindeki değişimlerle birlikte problemlerin giderilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın sonunda derin çekme ile üretilen panellerdeki kritik girdiler ve parça geometrisi ile ilgili veriler elde edilmiştir. Bu verilerin daha sonra tasarlanacak ve seri imalatı gerçekleştirilecek olan derin çekme otomotiv panelleri için bir yol haritası belirlenmesine yardımcı olması amaçlanmıştır.

DEEP DRAWING PROCESS OPTIMIZATION OF MIDDLE BODY INTERIOR PANELS PRODUCED WITH MILD STEELS USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

Keywords: Deep drawing, sheet metal forming, cold forming, plastic forming.

Deep drawing process and sheet metal forming in automotive industry were worked in this study. Study was conducted in a stamping part's die of a car at an OEM. Within the scope of this study, sheet metal material's properties and formability were examined and solution proposals were presented.

Root cause analysis were conducted at first step of this study, after that feasibility analysis was done using with simulation programs and new sheet metal blank geometries were offered. In addition to that stamping die's force and press force values were inspected to solve problems.

Key points of sheet metal forming of this process were presented at the end of this study. Key points are intended to assist in new road maps and solutions in next vehicle, stamping or die projects.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomotiv sektörü her geçen gün rekabetçiliğini arttırmakta ve müşterilerine ulaşım aracı sunmakla birlikte konfor alanı da yaratmaya başlamıştır. Bu gelişmelere paralel olarak otonom sürüş, alternatif yakıtlar gibi günümüze ve geleceğe yönelik çalışmalar da devam etmektedir. Her bir geliştirme aşaması araştırmalar için ilave bir maliyet oluşturmaktadır. Oluşan maliyetlerin müşteriye yansıtılmadan – kalite düşürülmeden – artan kalite ile müşterilere sunulmaya devam edilmesi, otomotiv sektöründe çalışan herkesin gündeminde ilk sırada yer almaktadır. Üretim süreçlerindeki verimsizlikleri gidererek, maliyetleri düşürmek, gizli fabrikaları ortadan kaldırmak için birçok iyileştirme yöntemi diğer sektörlerde olduğu gibi otomotiv sektöründe de uygulanmaktadır [1].

Değişen ve gelişen regülasyonlar, müşteri kalite beklentilerindeki artış, pazar payının büyümesine paralel yeni üreticilerin iddialı piyasa hakimiyeti gibi konular otomotiv sektöründe çalışanların omuzlarındaki yükü her geçen gün biraz daha arttırmaktadır [2].

Maliyet avantajı yaratmanın en zahmetsiz yollarından biri; tasarım aşamasındaki geliştirmelerle olabildiği gibi üretim için yapılan fizibilite süreçlerinin tüm verilerle birlikte yapılarak “gizli fabrika” katkısız işlerin önceden tahmin edilerek ortadan kaldırılmasıdır. Bir ürünün fikir, tasarım, fizibilite aşamasında harcanan zaman ve maliyet ürünün faydalı ömrünün yaklaşık %80-90’ını oluşturmaktadır [3]. Bu aşamada problemlerin görülerek ortadan kaldırılması, sonraki aşamalarda aynı maliyetlerin tekrar oluşmasını, üretimde kayıpların oluşmasını engelleyecektir.

Tüm bu veriler kapsamında araç seri üretimdeki maliyetleri azaltmak için yapılan çalışmalardan biri olan “daha az operasyonda” gövde üretimi çalışmasında ortaya çıkan plastik şekil verme problemlerinden biri bu tezin çalışma konusu olmuştur.

Geleneksel otomotiv üretiminde derin çekmeden operasyonundan (derin çekme dahil) beş ya da altı operasyonda üretimi tamamlanan gövde panellerini dört operasyonda tamamlanabilirliği ilk yatırım maliyetinde %25 azalma sağlasa da, panel üretimindeki hız düşüşleri nedeniyle bu kar %10 mertebelerinde kalmaktadır. Bunun nedeni de, operasyon sayısının azalmasıyla birlikte kalıp karmaşıklığının artması ve şekil verilebilirliğin zorlaşmasıdır. Örneğin geleneksel yöntemde iki ya da üç operasyonda tamamlanan derin çekme / plastik şekil verme operasyonu, günümüzde tek seferde tamamlanmaktadır. Aynı çekme derinliğinin tek seferde yapılabilmesi sac mekanik özellikleri kadar parça geometrisi ve kalıp özellikleri ile de yakından ilgilidir [4].

Bu çalışmada 100 mm. üzerinde çekme derinliği olan, “mild steel” olarak isimlendirilen otomotiv çeliklerinin, tek operasyonda soğuk şekillendirilmesinde değişken olarak ortaya çıkan yırtık, incelme, çatlak problemlerinin giderilmesine odaklanılmıştır.

Çalışmalar, problemlerin fizibilite aşamasından incelenerek, simülasyon ortamında çözümünden seri imalatta denenmesi ve sonuçlandırılmasını içermektedir.

BÖLÜM 2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE PLASTİK ŞEKİL VERME

2.1. Kullanılan Ekipmanlar

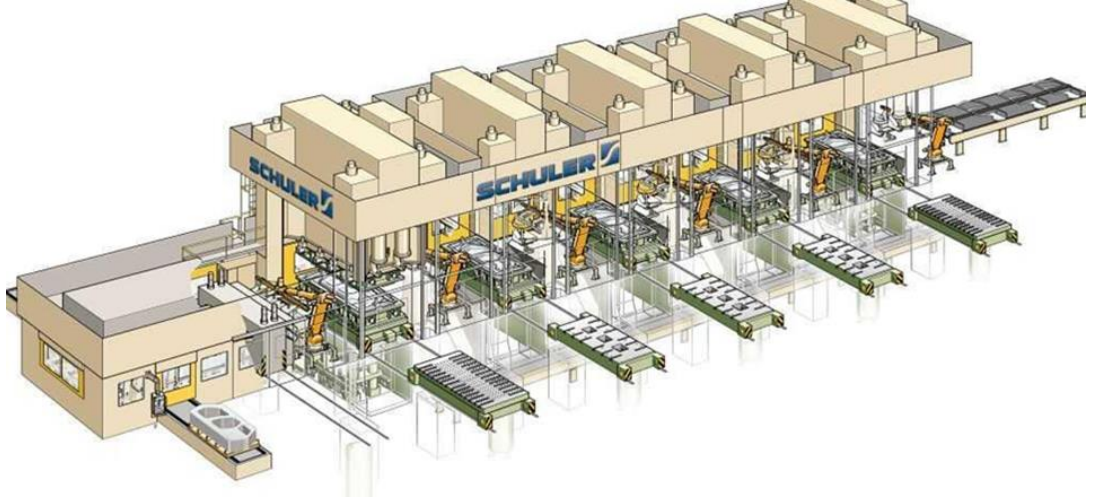
Otomotiv sektöründeki sac metal şekillendirme çalışmaları Pres Atölyesi – Stamping ismiyle adlandırılan bölümlerde hayata geçirilir. Pres atölyeleri kısaca kreynler, pres hatları ve kalıplardan oluşmaktadır.

2.1.1. Kreynler

Rulo ve kalıpların transferinde kullanılan kreynlerin taşıma tonajları, pres atölyelerinde kullanılan rulo ve kalıp boyutlarına göre 10 ile 100 ton arasında değişmektedir.

2.1.2. Pres hatları

Pres seri üretiminde kullanılan presler genel olarak tandem, progresif olarak ikiye ayrılmaktadır. Tandem presler ise boyut ve tonajlarına göre kendi içlerinde large – medium – Xlarge olarak ayrılmaktadır. Xlarge tandem preslerin boyutları en:2500 mm – genişlik:4600 mm'ye kadar çıkabilmekte, uyguladıkları tonaj ise 3000 tona kadar ulaşabilmektedir.



Şekil 2.1. Bir pres hattının şematik gösterimi

Pres hatları bir veya iki çekme presi, operasyonuna bağlı olarak 3 ile 5 arasında hat presinden oluşmaktadır. Şematik gösterim Şekil 2.1.'de verilmiştir.

Birinci pres çekme presi olarak tanımlanmaktadır. Çekme preslerinde, çekme kalıplarıyla üretilecek olan parçanın ana formu plastik şekil verme kullarına göre gerçekleştirilir. Derin çekme olarak da tanımlanabilmektedir. Birinci presler alt yastık tahrikli (tek tesirli) ya da üst koçtan tahrikli (çift tesirli) olabilmektedir. İkinci preste, parçanın formuna bağlı olarak ikinci çekme ya da kesme işlemleri gerçekleştirilir. İkinci pres ve sonraki presler birbirine benzer özellikte ve kuvvetlerdedirler. Hat operasyonları üstten tahrikli yastıkla çalışmaktadırlar. Bu çalışma yapısı sayesinde kesme, bükme ve/veya ütüleme kalıplarında sacın tutma kuvveti ayarlanabilmektedir. Yatırım miktarına veya kullanılan operasyon akışına göre preslerin kombinasyonları değiştirilebilmekte ve yatırımlar uygulanabilmektedir.

2.1.3. Kalıplar

Sac şekillendirme kalıplarında genellikle döküm yöntemiyle üretilen çelik malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılan malzemelerden bazıları ise şöyledir; ENJS 2070 – ENJS 1040 – ENJS1060 –ENJS 2060. Bir parçanın üretilmesi için kullanılan kalıpları başlıca 4 başlıkta inceleyebiliriz.

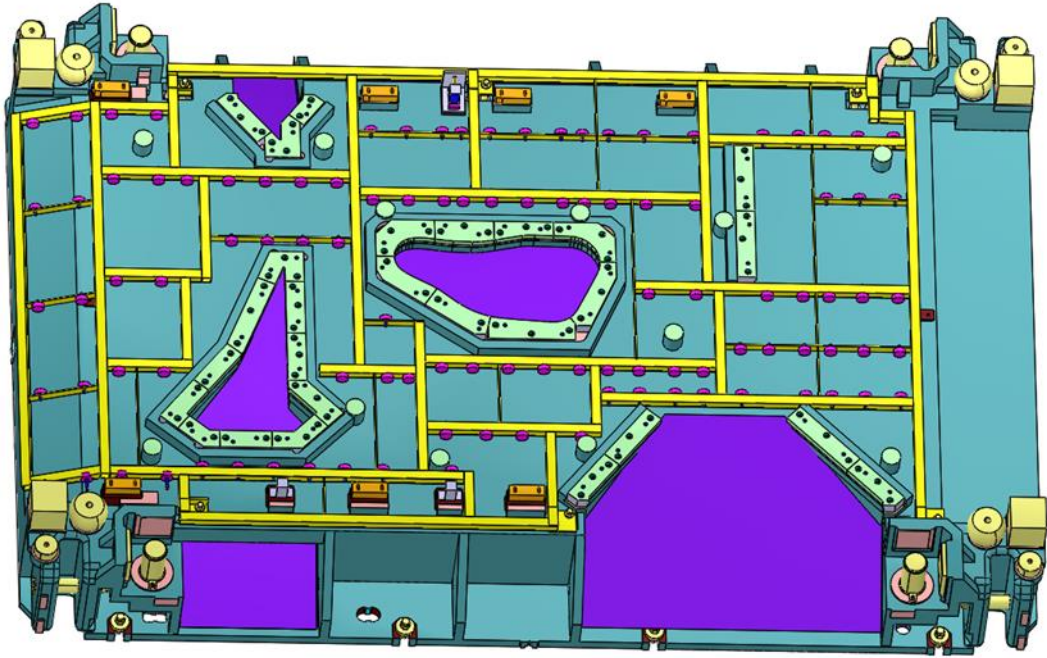
- Açınım kalıpları
- Çekme kalıpları
- Kesme kalıpları
- Bükme/Ütüleme kalıpları

2.1.3.1. Açınım kalıpları

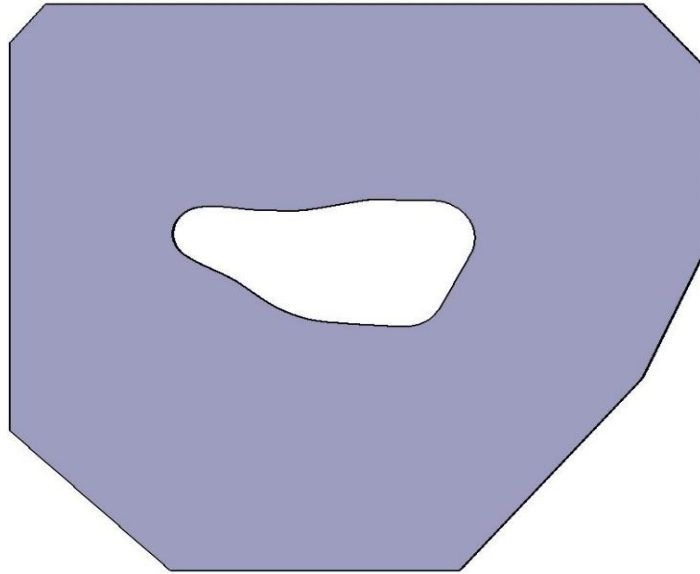
Rulo halinde temini sağlanan sacların, üretilecek panelin paylı boyutlarına göre kesimlerinin yapıldığı kalıplardır. Bu kalıplar açınım hatlarında, kesme adı verilen işlemleri gerçekleştirirler.

Açınım kalıpları sayesinde, derin şekil verme prosesi sırasında gerekli olan bölgelerde derin çekme operasyonundan önce delik – kesme işlemleri yapılır ve derin çekme prosesinin uygulanabilirliğine, daha derin çekme şartlarının oluşturulmasına olanak sağlanmaktadır. Bir açınım kalıbına ait şematik gösterim Şekil 2.2.'de verilmiştir.

Rulo halinde gelen saca ön açma işlemi uygulanmaktadır. Ön açma sırasında rulo sarımının tersine bir açma işlemi uygulanarak sacın düz hale gelmesi sağlanmaktadır. İç boşaltmalı bir sac kesimi gerçekleştirilecekse kalıpla, sadece adımdan kesim gerçekleştirilecekse prese bağlı bir giyotin ile kesme işlemi gerçekleştirilir. Açınım kalıbında işlem görmüş bir sacın şematik gösterimi Şekil 2.3.'te verilmiştir.



Şekil 2.2. Bir açınım kalıbının şematik gösterimi



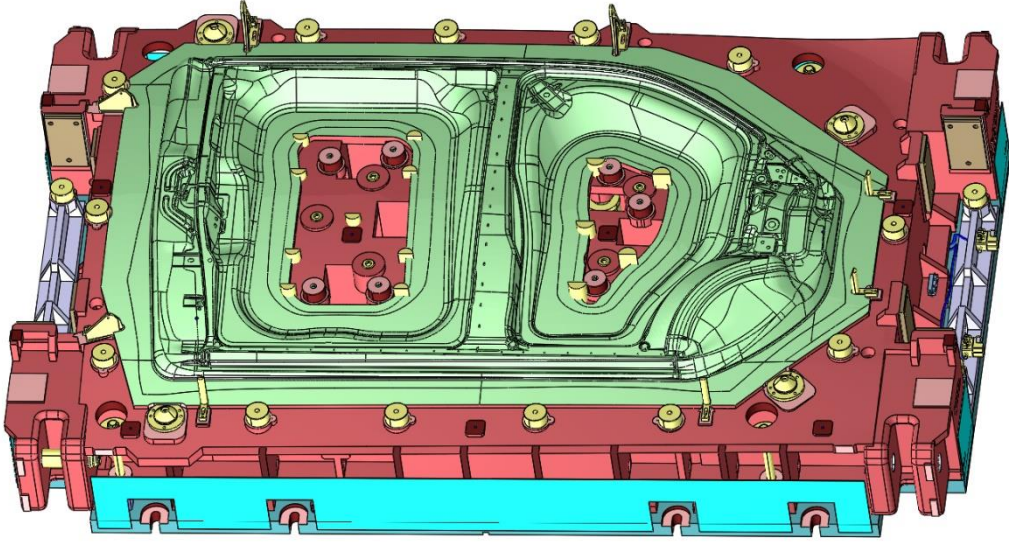
Şekil 2.3. Bir açınım kalıbından elde edilen kesilmiş sac görüntüsü

2.1.3.2. Çekme kalıpları

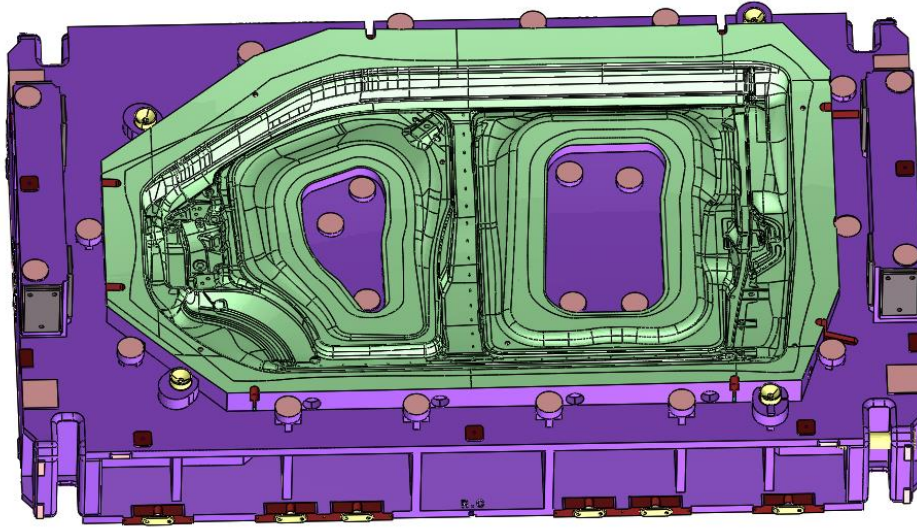
Bu operasyonda derin çekme işlemi gerçekleştirilmektedir. Üretilecek panellerin ana formu bu operasyonda tamamlanmaktadır. Üretilecek parçanın derinliğine, hat hızına, istif metoduna göre çekme operasyonu tek veya çift tesirli olarak uygulanabilmektedir.

Çekme kalıpları bir hareketli parça (pot çemberi), erkek ve dişi olmak üzere 3 parçadan oluşmaktadır. Bir çekme kalıbına ait şematik gösterim Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.'te verilmiştir.

Açınım hattından gelen düz sac, çekme kalıbı üzerine koyulduktan sonra pot çemberi ile tutularak gerilmektedir. Sıvama işlemi dişi kalıp yardımıyla erkek kalıp üzerine yapılarak plastik şekil verme operasyonu tamamlanmaktadır. Çekme kalıbından elde edilmiş bir sacın şematik gösterimi Şekil 2.6.'da verilmiştir. Tüm operasyonları tamamlanmış bir panelin şematik gösterimi Şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Bir derin çekme kalıbının erkek ve pot çemberi parçasının şematik gösterimi



Şekil 2.5. Bir derin çekme kalıbının dişi parçasının şematik gösterimi



Şekil 2.6. Derin çekme operasyonundan elde edilmiş bir sac malzemenin şematik gösterimi



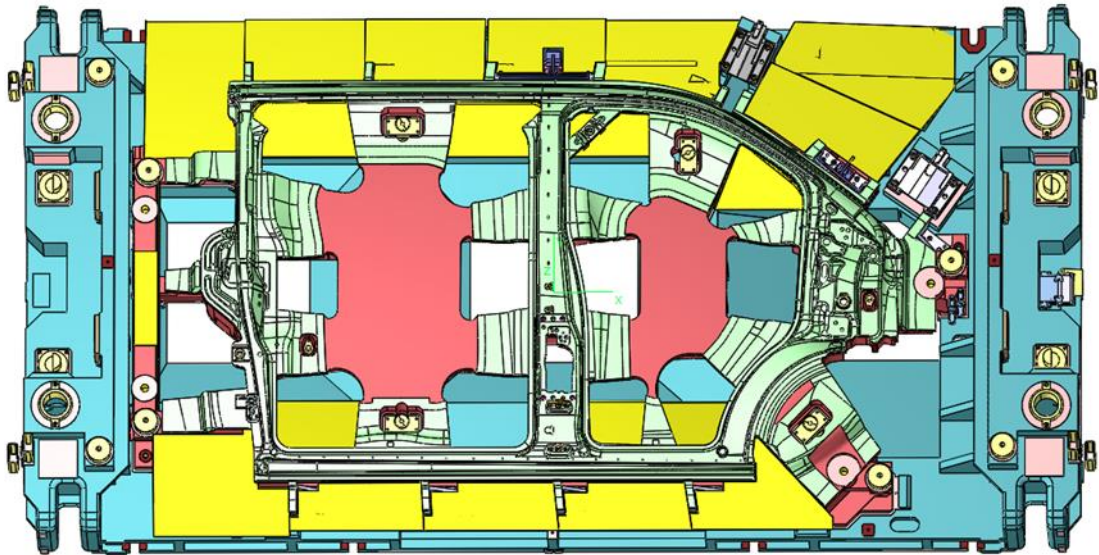
Şekil 2.7. Tüm operasyonları tamamlanmış, yarı mamul bir sac malzemenin şematik gösterimi.

2.1.3.3. Kesme kalıpları

Derin çekme operasyonunun ardından parçanın ana formuna ulaşmak için gerekli olan fazlalıkların kesilme/atılma işlemi kesme kalıpları ile gerçekleştirilmektedir. Kesme operasyonu genelde art arda 2 operasyonda tamamlanmaktadır. Bir kesme kalıbının şematik gösterimi Şekil 2.8. ve Şekil 2.9.'da verilmiştir.

Kesme kalıpları, çekme kalıplarına göre daha kompleks yapılar barındırmaktadır. Kesme operasyonu ile birlikte, çekmede tamamlanamayan derin çekme işlemleri ikinci çekme adı ile kesme operasyonunda gerçekleştirilebilmektedir. Dik kesmeler olabildiği gibi parçaya göre açılı kesmelerde kesme kalıplarında gerçekleştirilebilmektedir. Bunun için dik olarak gelen yükün açılı olarak uygulanmasını sağlayan "kam ünitesi" adı verilen ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar 0 derecede başlayarak 90 derece açılıya kadar çalışabilmektedirler. Bir kamın şematik gösterimi Şekil 2.10.'da verilmiştir.

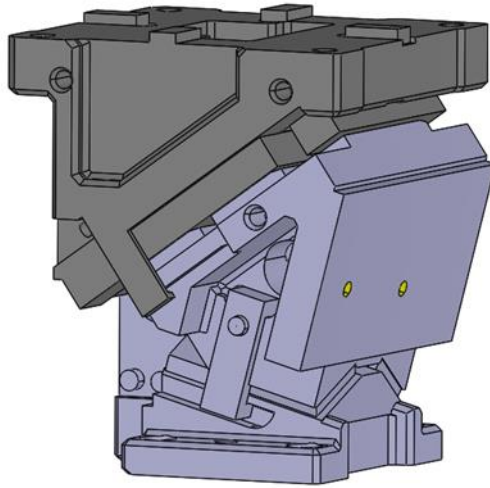
Kamlar; uçan kamlar, geri çektirilebilir kamlar, rotary kamlar olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadırlar.



Şekil 2.8. Bir kesme alt kalıbının şematik gösterimi



Şekil 2.9. Bir kesme üst kalıbının şematik gösterimi



Şekil 2.10. Bir kesme üst kalıbının şematik gösterimi

Tüm kesme işlemlerinin ve kaliteli kesmenin hayata geçirilebilmesi için parçanın kesme operasyonundan hemen önce tutulması ve sabitlenmesi gerekmektedir [5]. Kesme işleminden sonrada, kesme bıçaklarının parçanın formunu bozmaması (geri çekme) olmaması için parçanın tutulması gerekmektedir. Bu iki işlemi tek seferde gerçekleştiren kesme kalıplarının bir ekipmanı olarak kullanılan sıyırıcı-pad-tutucu olarak isimlendirilebilen ekipman hareketli olarak kullanılmaktadır.

Kesme operasyonundan 10 ile 25 mm. öncesinde sıyrıcı, parçayı tutar ve tutma kuvvetini parçaya uygular. Tutma işleminden sonra kesme operasyonu uygulanır. Kesme operasyonundan sonra pres geri dönerken de aynı şekilde 10 ile 25 mm. boyunca parça tutulmaya devam eder. Böylece kesme öncesinde parça kaymaz ve hep aynı kesme boyu elde edilir, bu sayede kesme sonrasında da parçada geri çekme, parçanın konum kaybetmesi engellenmektedir.

Kesme operasyonunda yapılan diğer bir işlem de deliklerin delinmesidir. Kaynak, boya ve montaj işlemlerinde kullanılacak delik ve boşaltmalar kesme operasyonunda gerçekleştirilmektedir.

2.1.3.4. Bükme - ütüleme kalıpları

Ön operasyonların tamamlanmasının ardından parçanın tekil olarak nihai formunu vermek için bükme veya ütüleme operasyonu son nihai operasyon olarak gerçekleştirilmektedir. Bir bükme kalıbının şematik gösterimi Şekil 2.11. ve Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.

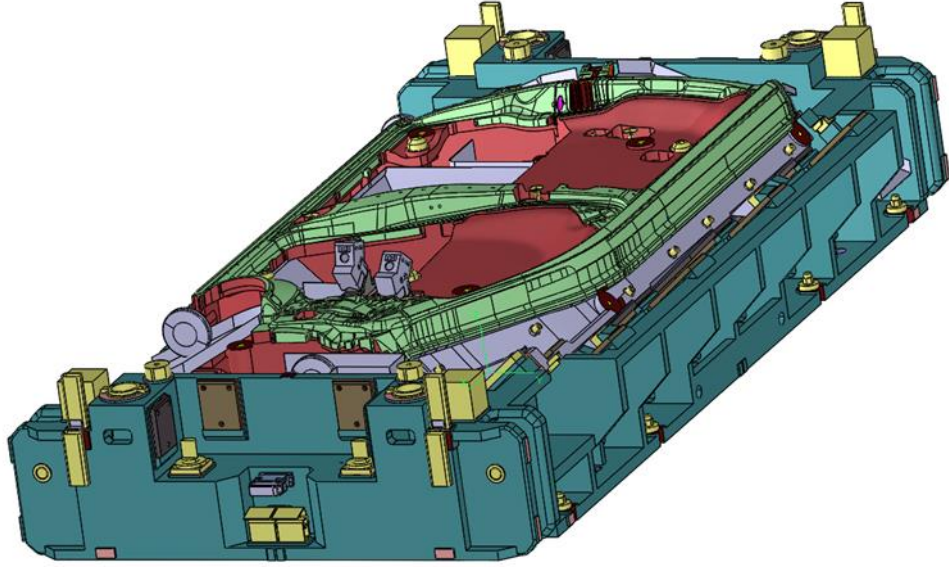
Bükme kalıpları içinde ütüleme ve/veya kesme işlemleri de yapılabilmektedir. Kesme operasyonuna benzer olarak bükme operasyonu tek operasyonda gerçekleşebildiği gibi birden fazla operasyonda da gerçekleştirilebilmektedir. Kritik nokta olarak; bir hattın kesme ve bükme operasyonu veya bükme ve ütüleme operasyonu aynı operasyona getirilmemelidir. Önce kesme sonra bükme işlemi tercih edilmelidir. İstisnai durumlar olarak nispeten ufak bölgeler için kesme ve bükme operasyonları aynı kalıpta gerçekleştirilebilmekte fakat tercih edilmemektedir [6].

Aynı hattın ütüleme ve bükme operasyonlarının ise aynı kalıpta gerçekleştirilmesi teorik açıdan mümkün olmadığından tercih edilmemekte, önce ütüleme sonrasında bükme operasyonunun gerçekleştirilmesi tercih edilmektedir.

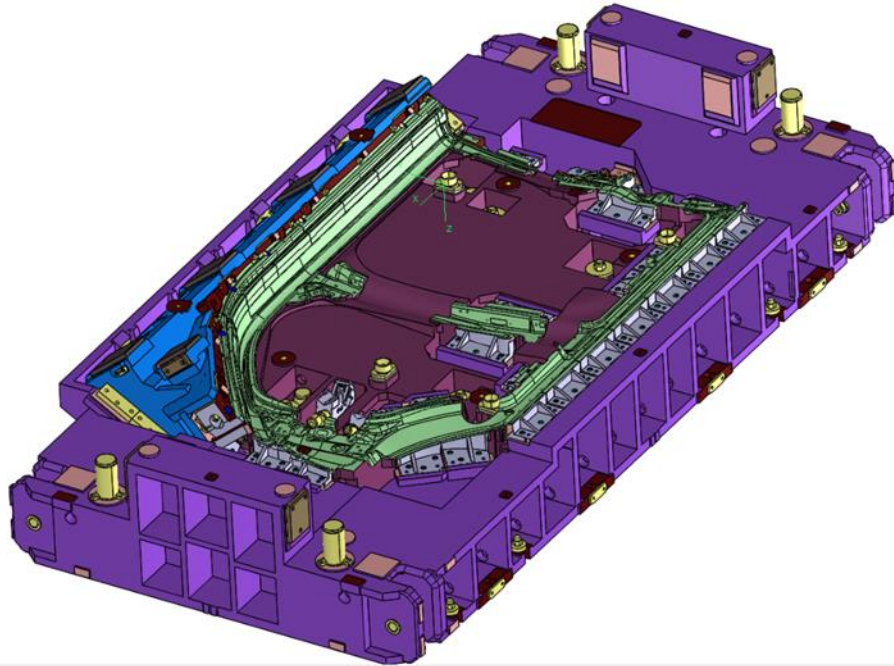
Kesme operasyonunda olduğu gibi açılı bükümlerin gerçekleştiği hatlarda, kam ünitesi kullanılmakta ve açılı büküm işlemleri gerçekleştirilmektedir. Negatif açılı hatlarda

rotary kam ve geri çektirilebilir kam, dik açılı ve pozitif açılı bölgelerde ise uçan kam tercih edilmektedir.

Dik bükme bölgelerinde üst kalıbın hareketiyle bükme işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.11. Bir bükme alt kalıbının şematik gösterimi

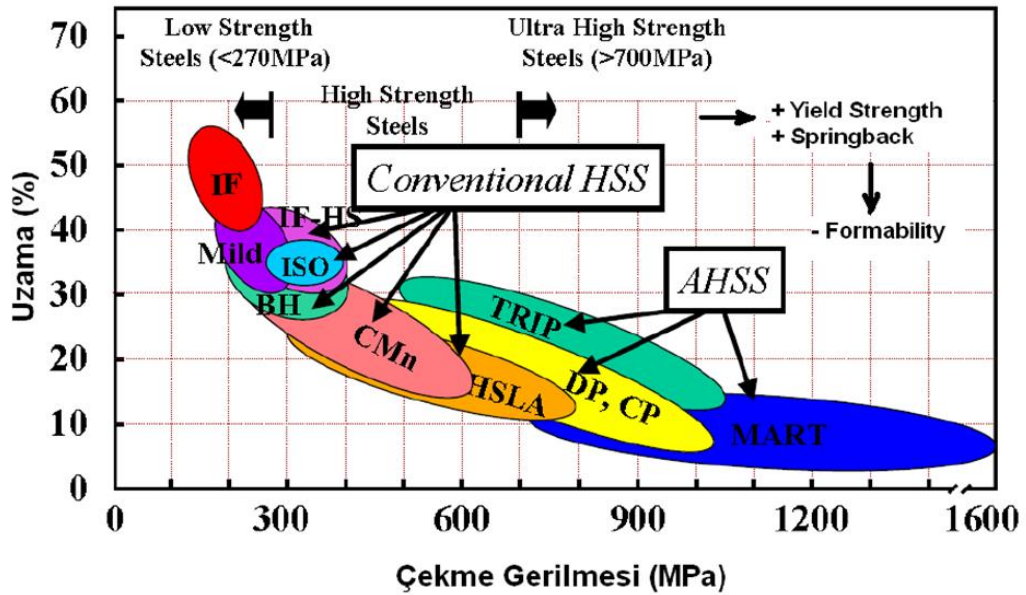


Şekil 2.12. Bir bükme üst kalıbının şematik gösterimi

2.2. Kullanılan Saclar

Otomotiv sektöründe her geçen gün gelişen teknolojilerle birlikte daha az enerji kullanarak daha çok yol kat etmenin çareleri aranmaktadır [7]. Bu nedenle de araç hafifletme çalışmaları otomotiv mühendisliğinin ana konularından biri haline gelmiştir. Araç hafifletmenin yanı sıra malzeme üretiminde tüketilen enerjilerin düşürülmesi içinde çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye’deki karbondioksit salınımının %17’sinin, İsveç’te %45’inin, Amerika Birleşik Devletleri’nde %30’unun, Fransa’da %40’ının sadece kara ulaşımı kaynaklı olduğu bilinmektedir [8].

Tüm bu veriler ışığında otomotiv üretiminde kullanılan malzemeler her geçen gün çeşitlenmektedir. Bu çalışmanın konusuna paralel olarak otomotiv üretiminde kullanılan çelik saclar incelenmiştir. Otomotiv sektöründe kullanılan saclara ait şematik gösterim Şekil 2.13.’te verilmiştir.



Şekil 2.13. Otomotiv sektöründe kullanılan sacların mekanik özelliklerine göre dağılımı [9].

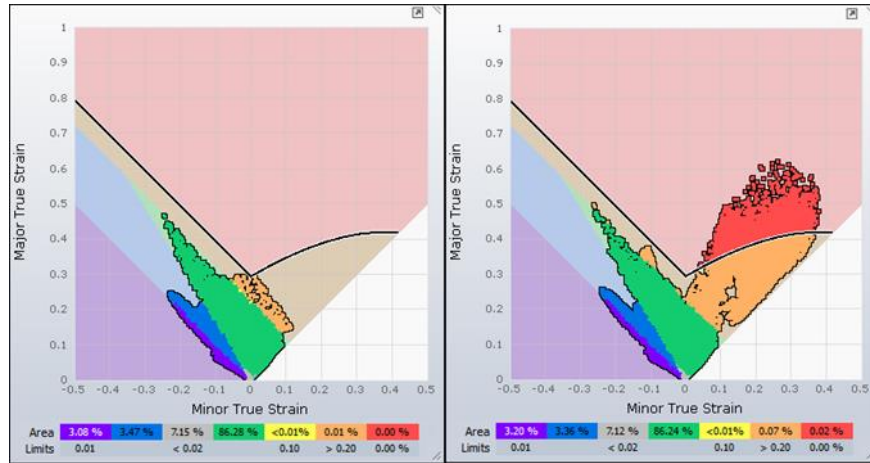
2.2.1. Düşük karbonlu çelikler (LC–Mild Steel)

Şekillendirilebilirlik açısından çok sık kullanılan, dünya çelik üretiminde otomotiv ve inşaat sektörleri nedeniyle büyük hacim kaplayan çelik çeşididir. Günümüzde bir

otomobilin ağırlık açısından %35 kadarı düşük karbonlu – mild steel adı verilen çelikten oluşmaktadır [10]. Yapısındaki karbon miktarının düşük olması nedeniyle, derin çekme işlemlerinde kolaylık sağlamaktadır. Karbon yapısının az olması aynı zamanda, derin çekme sonrasında yaşlanma etkilerinin azalmasına ve gövde birleştirme operasyonlarındaki clinch (evlendirme) operasyonlarının kaliteli şekilde tamamlanmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çeliğin şekillendirilebilirlik açısından önemiyle birlikte, üretim açısından da kolaylıkları bulunmaktadır. Yapısındaki düşük karbon sayesinde sıcak haddeleme prosesi boyunca dağılımı homojen olarak gerçekleşmesine olanak sağlanmakta ve tüm malzeme boyunca benzer/yakın mekanik özellikler göstermesiyle malzeme kararlılığına yardımcı olmaktadır. Bir mild steel çeliğin şekillendirilebilirlik grafiği Şekil 2.14.'te verilmiştir.

Gelişen otomotiv endüstrisi yaklaşımlarıyla birlikte düşük karbonlu çeliklere alternatif malzeme arayışları devam etmektedir [11].



Şekil 2.14. Düşük karbonlu bir çeliğin şekillendirme sınır diyagramı

2.2.2. Fırında sertleşebilen çelikler (BH- Bake Hardening)

Bu tip çelikler gerinim yaşlanmasıyla sertleşmektedir. Plastik şekil verme sonrasında sertleşen çelik, boya fırınlarındaki ısı işlemi sayesinde stabil hale getirilerek kullanılmaktadır. Düşük karbonları sayesinde şekillendirme öncesinde düşük akma

mukavemetine sahiptirler. Plastik şekillendirme sonrasında dislokasyonların hareketiyle birlikte çelikte sertleşme meydana gelmektedir. Bu sertleşme sonrasında boya prosesi sırasındaki fırınlama ile (1800C) dislokasyon hareketleri stabilize olmakta ve malzeme nihai mukavemetine ulaşmaktadır. Bu akış sayesinde, şekillendirme öncesinde yumuşak olan malzeme, şekillendirme sonrasında dış etkenlere karşı daha dayanıklı hale gelmektedir [12].

2.2.3. Ara yer atomu içermeyen çelikler (IF- Interstitial Steels)

Çok düşük karbonlu çeliklerin işlenmesiyle elde edilen çeliklerdir. 50 ppm altında karbon muhteviyatı sayesinde karbonların ara yer atomu olarak yer alması engellenmektedir. Karbon muhteviyatının azlığı ve ara yer atomu bulunmaması nedeniyle otomotiv sektöründe derin çekme saclarında sıklıkla tercih edilmektedir. Diğer düşük karbonlu çeliklerden daha fazla olarak yaşlanmaya karşı direnç göstermesi de otomotiv sektöründe tercih edilmesinin diğer bir nedenidir.

Diğer düşük karbonlu çeliklere göre üretim aşamalarındaki farklılıklar nedeniyle üretim maliyetlerinin yüksek olması teknik mecburiyet dışında kullanım alanlarını düşük karbonlu çeliklere (mild steel) bırakmaktadır [12].

2.2.4. Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler

Malzeme üretim tekniklerine yaşlandırma ve tane boyutu değişimi (küçültme) ile elde edilen malzemelerdir. Bu tip çelikler derin şekil verilebilirlikten ziyade, kaynaklanabilirlik açısından kritik olan bölgelerde tercih edilmektedirler. Bunun nedeni de kaynak bölgesinde ısı girdisine paralel olarak bir yapı değişimi meydana gelmemesidir. Hem kaynaklanabilirlik özellikleri hem de mukavemetleri nedeniyle temel yapı parçalarında bu malzemeler sıklıkla tercih edilmektedirler [9].

Şekil verilebilirliği problem olacak derinlikteki (>150mm.) saclarda eklemeli kaynak yöntemiyle kullanılabilir. Bu yöntemle kullanılabilir. Bu yöntemle kullanılabilir.

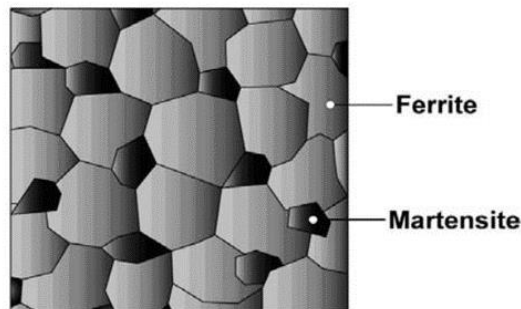
2.2.5. Çift fazlı çelikler

Otomotiv sektöründe “Dual Phase” çelik olarak tanımlanmaktadır. Bu malzemeler yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerin yeni bir türü olarak üretilmektedirler. Çift fazlı çelikler temelde; bir ana faz ve bu ana fazı destekleyici bir mikro fazdan oluşmaktadır. Günümüzde kullanılan çift fazlı çelikler %90 üzerinde ferrite ve %10 martenzit yapısıyla kullanılmaktadır [13]. Çift fazlı bir malzemenin mikroyapısına ait şematik gösterim Şekil 2.15.’te verilmiştir.

Çift fazlı çelikler daha önce anlatılan çeliklere göre çok daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler. Bu mukavemet değerlerinin oluşması için gerekli olan mekanizmalardan, sertleşme mekanizması da mukavemetle orantılı olarak diğer malzemelere göre oldukça yüksektir [14]. Farklı tipteki çeliklerin mekanik özelliklerine ait değerler Tablo 2.1.’de verilmiştir.

Bu malzemelerin iç sertliklerinin yüksek olması nedeni, plastik şekil verme sırasında kullanılan kalıp ve kalıp üretim teknikleri de farklıdır. Bu malzemelerin şekillendirileceği ekipmanlarında yüzey sertliği çekirdeğine kadar sert olarak adlandırılan 55-60 HRC yüzey sertliğine sahip çelikler kullanılmaktadır.

Derin çekilebilirliğin önemli olduğu yerlerde kullanımları düşük karbonlu çeliklere göre daha azdır. Çekme derinliği daha az olan destek braketlerinde, yüksek mukavemet aranan, kozmetik beklenti olmayan parçalarda bu tip malzemeler kullanılmaktadır.



Şekil 2.15. Çift fazlı çeliğe ait mikro yapının şematik gösterimi [9].

Tablo 2.1. Çelik çeşitlerine göre bazı mekanik özelliklerin gösterimi [9].

	Çift Fazlı Çelikler	Düşük Karbonlu Çelikler	HSLA	TRIP	BH
Akma Mukavemeti (MPa)	450	240	410	450	200
Çekme Mukavemeti (MPa)	750	300	580	800	325
Uzama (%)	18	45	40	28	39

2.2.6. Dönüşüm kaynaklı plastitise gösteren çelikler (TRIP)

Temel olarak yapısındaki östenitin deformasyon sırasında martenzite dönmesiyle sertlik artışı yakalayan malzemelerdir. Östenitin tamamı martenzite dönüşmesi istenmeyen bir durumdur. Östenitin dönüşmeyen kısmı yapı içerisinde sünekliğin artışına katkı sağlamaktadır [9]. Kalıntı östenitin de kaza gibi ani ve yüksek darbe durumlarında tekrar martenzite dönüşmesi sayesinde mühendislik ekipmanlarında, darbe emicilerde bu malzemeler özellikle tercih edilmektedir. Yapı içerisindeki karbon dağılımının homojenliği malzemenin mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kaynaklanabilirlik özelliklerinin de etkilenmemesi için karbon oranı %0,2'lere kadar sınırlıdır. Bu malzemeler yapısındaki sertlikler nedeniyle tampon bölgesi, jant gibi çarpmaya karşı dayanım istenen bölgelerde sıklıkla kullanılmaktadır [15].

2.3. Mekanik Özellikler

Plastik şekil verme işlemine tabi tutulacak malzemelerin rulo halinde üretiminin ardından, şekillendirme işlemi öncesinde mekanik testlere tabi tutularak, mekanik özelliklerinin belirlenen sınır değerleri içerisinde olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu kontroller sırasında incelenen özellikler;

- Akma dayanımı
- Çekme dayanımı
- % Uzama değeri
- Pekleşme üsteli
- Anizotropi katsayısı
- Yüzey pürüzlülüğü

2.3.1. Akma dayanımı

Malzemenin kalıcı olarak şekillendirilebilmesi için üst akma sınırının aşılması gerekmektedir. Otomotiv sektöründe uygulanan plastik şekil verme – derin çekme için kullanılan saclarda belirgin akma noktası istenmemektedir. Belirgin akma noktaları, deoksidasyon uygulanan çeliklerde azot, hidrojen, karbon gibi atomların soğuma sırasında dislokasyon hareketini engellemesiyle ortaya çıkmaktadır. Belirgin akma noktası olan saclarda homojen şekil değişimini gözlenmez, otomotiv sektöründe şekillendirilen saclarda ise şekillendirme boyunca homojen bir dağılım olması beklenir [16,17].

Bazı malzemelerde ise birden fazla belirgin - kararsız akma gerçekleşir. Kararsız akmanın gerçekleştiği durumlarda malzeme üzerinde dalgalanma şeklinde “lüders” bantları görülür. Lüders bantları, genel olarak bir dislokasyon hareketinin engellenmesi sonucu akma mukavemetinin anlık yükselmesiyle ortaya çıkmaktadır. Faz içerisinde yer almayan karbon veya azot gibi atomların dislokasyon hareketi sonrası oluşan boşluğa hareket etmesi ve bu boşluğa denk gelen dislokasyon hareketini engellemesi sonucu oluşur. Lüders bantları nedenli oluşan dalgalanma, araç boyası sonrası son müşteri tarafından görüldüğü için plastik şekil verme proseslerinde istenmemektedir [18]. Lüders bantlarının gözle görülebildiği bir panele ait görsel Şekil 2.16.’da verilmiştir.



Şekil 2.16. Şekillendirilmiş bir otomotiv parçasında lüders bantları oluşumu

2.3.2. Çekme dayanımı

Plastik şekil vermede doğrudan etkisi Şekillendirme esnasında olmasa da, panellerin araç üzerindeki mukavemeti yerine getirmesi için gerekli olan regülasyonların takip edilebilmesi için çekme mukavemeti değerleri takip edilmektedir. Bu değerlerde anormal sapmalar olması durumunda şekillendirme için gerekli olan akma mukavemetine veya % uzama değerlerine bakmadan saclar redlenmekte ve seri imalata dahil edilmemektedir.

Çekme mukavemetinin beklenen sınır değerlerin çok altında gelmesi durumunda, plastik şekil verme sırasında malzemenin yırtılacağı/kopacağı düşünüldüğünden yine seri imalatlara dahil edilmemektedir.

Teste alınan her bir malzemenin tüm değerleri ayrı ayrı değerlendirilerek seri imalata alın ya da red kararı verilmektedir.

2.3.3. % Uzama değeri

Derin çekme proseslerinde akma mukavemetine paralel olarak uzama değerleri de büyük önem arz etmektedir. Otomotiv sektörü gövde parçalarında düşük karbonlu çelik kullanılmasının en önemli nedeni şekillendirme sırasında yüksek uzama değerlerine ihtiyaç duyulmasıdır.

Derin çekme proseslerinde her geçen gün daha derin parçaların tek operasyonda şekil verilebilirliği talep edilmektedir. Maliyet avantajları nedeniyle daha önceki yıllarda birden fazla operasyonda gerçekleştirilen derin çekme operasyonları, malzeme teknolojilerinin gelişmesi ve ilk yatırım maliyetlerinde talep edilen azaltma nedenli tek operasyonda gerçekleştirilmek istenmektedir. 150 mm'den yüksek derinlikteki parçalar bugün düşük karbonlu çelikler ve kalıp teknolojileri sayesinde tek operasyonda çekilebilmektedir. Bu derin çekme operasyonlarının tamamlanabilmesi için %35 ile %41 arasında uzama değeri olan düşük karbonlu çelikler tercih edilmektedir.

2.3.4. Pekleşme üsteli

Plastik şekil verme – derin çekme prosesleri sırasında, şekil verilebilirliğin devam etmesi için pekleşme üsteli kritik rol oynar. Genel bir ifade ile pekleşme; malzemedeki dislokasyonların engeller ve birbirleri ile olan etkileşimleri sonucunda malzeme yapısında meydana gelen sertleşme olarak ifade edilebilir. Bu nedenle derin şekil vermeyi doğrudan etkileyen bir etkidir, şekil değişimini zorlaştırır [19].

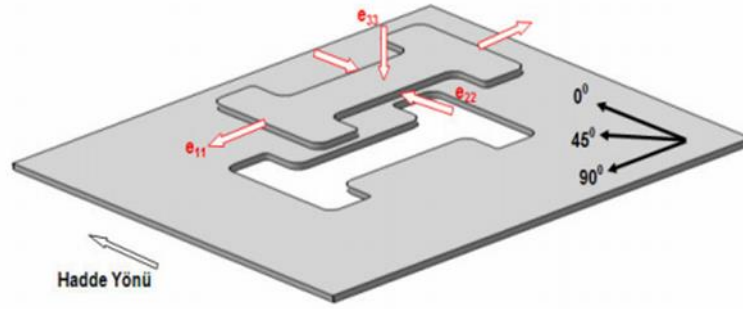
Malzemenin şekillendirilmesi sırasında uzamaya karşılık gelen sertleşme miktarı pekleşme üstelinin değerini vermektedir. Şekillendirme sırasında bir engelle karşılaşan dislokasyon nedeniyle dayanım lokal olarak artar ve bu bölgedeki şekil değişimi durur ve komşu bölgelerdeki şekil değişimi devam eder. Meydana gelen bu reaksiyon sayesinde malzeme iç yapısında homojen şekil değişimi elde edilir.

Malzeme yapısındaki eşit şekil değişimi pekleşme değerinin bir göstergesidir. Malzeme iç yapısındaki değişimlerle, örneğin; mikro yapıdaki değişimler, daha yüksek tane sınırları, düşük akma dayanımları pekleşme üstelini iyileştirir.

2.3.5. Anizotropi katsayısı

Anizotropi durumu malzemenin farklı eksenlerinde farklı özellikler göstermesi olarak tanımlanmaktadır. Literatürde farklı sınıflandırmaları olmakla beraber derin çekme prosesleri açısından değerlendirildiğinde;

- Malzemenin kendi yapısından gelen anizotropi - (tek kristallerde görülür) [20],
- Plastik deformasyona bağlı ortaya çıkan anizotropi
- Yapısal anizotropi
- Şeklinde sınıflandırılmaktadır. Anizotropi yönlerinin şematik gösterimi Şekil 2.17.'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Bir levha üzerinde malzeme yönlerinin gösterimi

MEKANİK KOMPOZİSYON		SPEC DEĞERLERİ Spec value	ÖLÇÜLEN /inspection result		
			HADDE YÖNLERİ		
			HYP(0°)	HYD(90°)	HY45°
1	ÇEKME MUKAVEMETİ: (Rm) N/mm ²	270-330	297	294	305
2	AKMA MUKAVEMETİ: (Rp02) N/mm ²	140-180	161	174	175
3	% UZAMA min.	40	47	43	45

MEKANİK KOMPOZİSYON		SPEC DEĞERLERİ Spec value	ÖLÇÜLEN /inspection result		
			HADDE YÖNLERİ		
			HYP(0°)	HYD(90°)	HY45°
1	ÇEKME MUKAVEMETİ: (Rm) N/mm ²	270-330	295	293	303
2	AKMA MUKAVEMETİ: (Rp02) N/mm ²	140-180	165	175	177
3	% UZAMA min.	40	46	42	44

Şekil 2.18. Aynı tür malzemeye ait iki farklı çekme test sonucu

Anizotropi nedeniyle malzeme mekanik özellikleri yönlere bağlı olarak farklılık göstermektedir [21]. Bu farklılık 3 boyutlu olarak gerçekleşen derin çekme proseslerin için kritik önem arz etmektedir. Derin çekmeye tabi tutulacak sacların mekanik spektleri ve bu spektlere göre uygulanacak testler; malzeme hadde yönüne göre 90, 00, 450 açılarda gerçekleştirilmelidir. Şekil 2.18.'de malzemenin farklı yönlerindeki mekanik özelliklere ait görsele yer verilmiştir. Çıkan sonuçlar malzemenin ilgili

yönünde gerçekleşecek uzama, akma ve çekme değerlerine göre plastik şekil verme işleminin gerçekleşme kabiliyetini ortaya çıkarmaktadır.

2.3.6. Yüzey pürüzlülüğü

Sac şekillendirme, derin çekme proseslerinde sonucu doğrudan etkileyen önemli faktörlerin başında gelmektedir. Sacın hareketi boyunca karşılaşılabilecek sürtünme kuvvetinin büyüklüğü sacın akış hızını doğrudan etkilemektedir. Bir sacın sağlıklı olarak şekillendirilebilmesi için kat etmesi gereken mesafe, yüzey pürüzlülüğünün beklenenden yüksek olması neticesinde kat edilemez, bu durumda şekillendirme için gereken malzeme, dış bölgeden şekillenme bölgesine aktarılamaz. Bu durumun sonucu olarak yırtık, incelme gibi sac şekillendirme hataları, şekillendirilmiş sac üzerinde görülür.

Otomotiv sektöründe kullanılan mild steel saclarda Ra değerlerine göre değerlendirmeler yapılmaktadır. Ra değerinin (yüzey finiş) 1,1-1,5 arasında olması beklenmektedir [22].

Buradaki değişimlere göre sac şekillendirmesindeki sürtünme katsayısı doğrudan etkilenmekte ve otomotiv panellerinin fizibilite aşamasında burada elde edilen sürtünen kat sayısına göre panel geometrileri belirlenmektedir [23].

Malzeme gruplarına göre galvaniz sac kullanılması bu yüzey değerini şekillendirmeyi kolaylaştırma yönünde iyileştirdiği için sıcak daldırma galvaniz saclar da kullanılmaktadır.

BÖLÜM 3. PLASTİK ŞEKİL VERME HATALARI

Her geçen gün üretim hızlarının arttığı dünyamızda, şekil verim prosesleri de her geçen gün hızlanmaktadır. Daha derin, daha hızlı, daha kompleks parçaların üretimi müşteri talepleri doğrultusunda artmaktadır.

Gelişen malzeme teknolojileri sayesinde talepler müşterinin beklediği hızda karşılanabilirken, iç üretim süreçlerinde karşılaşılan ve sürekli iyileştirme çalışmaları kapsamında geliştirmeye tabi tutulan problemlerle de karşılaşmaktadır. Bu problemlerin meydana gelmesi; üretim hızlarını, maliyetleri, kapasiteyi doğrudan etkilemektedir. Tüm etkenlerin ortadan kaldırılarak, mühendislik çalışmaları sayesinde daha hızlı, daha az maliyetle, daha kaliteli sürütülebilir üretim için çalışmalar yapılmaktadır.

Plastik şekil verme sırasında ortaya çıkan başlıca hatalar; yırtık, incelme, çatlak, dalgalanma (pot), girinti izi, kalıp izi (yüzey kalitesi), sac malzeme kaynaklı hatalar.

3.1. Yırtık

Malzemenin şekillendirilmesi sırasında yüzey pürüzlülüğü, akma mukavemeti, uzama değeri, kalıp yüzeyi, uygun olmayan kuvvet değerleri gibi nedenlerle meydana gelen ayrılma, parçalanmaya verilen hata modu tanımıdır. Şekillendirilmiş bir panelde oluşan yırtık hatalarına ait görsel Şekil 3.1.'de verilmiştir.

Yırtığın meydana gelmesinde işletme şartları büyük rol oynamakla beraber, panel fizibilitesinden gelen, şekillendirme kıstaslarının üzerinde olan duvar açıları, radyuslar, çekme mesafeleri de rol oynamaktadır.



Şekil 3.1. Şekillendirilmiş sac üzerinde yırtık probleminin gösterimi

3.1.1. Fizibilite şartları

İki ayrı kolu net bir şekilde değerlendirebilmek için üretim ortamından önce panel fizibilite aşamasında simülasyon programlarıyla beraber, kullanılacak sacın belirtilen panel (parça) geometrisinde çekilebildiği doğrulanmalı ve ardından seri imalat şartlarında saclar kullanılmalıdır.

Seri imalat koşullarının değerlendirmesinde, fizibilite şartları ve üretilebilirliğin uygun olduğu bilinen durumlarda, diğer şartlara bakılmaksızın işletme şartlarının geliştirmeye açık, problem kaynağı olduğu anlaşılmaktadır.

Fizibilite parametrelerinde yapılan değişikliklerle; ortalama şartlar, kötü ve iyimser şartlar analiz ederek parçaların servis hayatı boyunca karşılaştıkları durumlar, hangi şartlarda derin çekmenin nasıl tepki vereceği ve bu olumsuzluklara karşı nasıl müdahaleler yapılması gerektiği seri imalattan önce belirlenmektedir. Bir panelin fizibilite sonuçlarına ait gösterim Şekil 3.2.'de verilmiştir.

Gelişen yazılım teknolojileri sayesinde tribolojik etkilerin de incelenmesi mümkün kılınmaktadır. Tribolojik incelemeler sayesinde, derin çekme kalıplarının bakım periyotları dahi simülasyon üzerinde belirlenebilmekte, hangi basım adedinde

parçanın/kalıbın hangi bölgesinde bakım uygulanması gerektiği anlaşılabilir. Bu teknolojiler sayesinde derin çekme şartları olumsuz (kötü) şartlara erişmeden önce bakımlar gerçekleştirilebilmekte, derin çekme proseslerini optimum şartlarda tutarak seri imalat devamlılığı sağlanabilmektedir.



Şekil 3.2. Bir kayar kapı iç parçasının fizibilite aşamasından bir görünüm

3.1.2. İşletme şartları

Derin çekme prosesleri uygulanırken kullanılan malzeme özellikleri, kullanılan presin kuvvet eğrileri, derin çekme için kullanılan kalıbın özellikleri ve fiziki durumu büyük önem taşımaktadır.

Malzeme özellikleri, diğer ekipmanlar veya girdiler arasında en değişken girdi olmaktadır. Seri imalatların devamlılığı için birden fazla tedarikçi ile aynı kod numaralı panellerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle de farklı imalatçılardan tedarik edilen sacların mekanik özellikleri belirlenen spekt içerisinde kalsa da, üretim sırasında ortaya çıkan farklılıklar nedeni ile spekt üst ya da alt noktasında değişkenlik gösterebilmektedir. Bu durum, malzeme üzerindeki film yağ kalınlığı ile de

kolerasyonu sağlandığında, üstel olarak değişen sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Malzeme mekanik özelliklerinin sınır değerlere yakın olması imalat gözetiminin artmasına veya kalite kontrol frekanslarının sıklaşmasına neden olmaktadır.

Derin çekme proseslerinde kullanılan preslerde temel olarak kuvvet uygulayan bir üst koç bir de bu kuvveti, dengelemek, şekil verilecek sacı şekil verme öncesinde tutarak gereken bir alt yastık ünitesi bulunmaktadır. Üst koç kuvveti presin hareketi ve etki-tepki, prensibiyle çalıştığı için daha stabil olarak kuvvet uygulamasını gerçekleştirmektedir. Alt yastık olarak adlandırılan ünitenin, kuvvet uygulama aralığı şekillendirme için kritik öneme sahiptir. Örneğin alt yastığın uygulaması istenen kuvvete lineer bir eğitim ile ulaşmaktadır. Bunun anlamı da, kuvvet bir anda değil, belirli bir hareketten sonra tam olarak uygulanabilmektedir. Kuvvetin belirli bir hareketten uygulanmasından olayı, parçanın hareketi sonrasında, pot çemberi olarak isimlendirilen kalıp parçası sacı tam tutmadan (kuvvet tam uygulanmadan) hareket devamı gerçekleşip, sac malzeme erkek yüzey ile karşılaşırsa kırıma adı verilen hata modu ortaya çıkmaktadır. Alt yastık ünitesinin kuvvet grafiği seri imalatlarda takip edilerek, istenilen kuvvetin kalıbın hangi aralığında uygulandığı belirlenmekte ve derin çekme prosesinin kuvvet açısından problemsiz gerçekleştiği doğrulanmaktadır.

Kalıbın fiziki durumu ise kontrol edilmesi gereken diğer bir noktadır. G1 olarak adlandırılan XL tandem preslerde 2000 tona kadar uygulanan kuvvetler nedeniyle şekillendirme kalıpları yüksek kuvvetler altında aşınmaya yönelik çalışma göstermektedir. Aşınma etkilerinin giderilmesi ya da önlenmesi amacıyla birçok çalışma ve yöntem belirlenmiştir. Bunlardan bazıları önleyici bazıları ise hatanın olmasını geciktirici çalışmalardır. Hata meydana geldikten sonra uygulanan tedavi yöntemleri de mevcuttur.

3.1.2.1. Kaplama yöntemleri

Derin çekme proseslerinin devamlılığını sağlamak için önleyici bakımlar kapsamında birçok farklı kaplama yöntemi kalıp yüzeylerine uygulanabilmektedir. Bu kaplamalar

sayesinde yüzey pürüzlülüğünde ve sürtünme katsayısında düşüş ile beraber, kaplamalı sacların yüzeye yapışmaları da engellenmektedir.

Kaplama prosesleri sayesinde bakım maliyetleri azaltmakta, daha uzun süre daha az bakım periyodu ve maliyetiyle seri imalatlar desteklenebilmektedir.

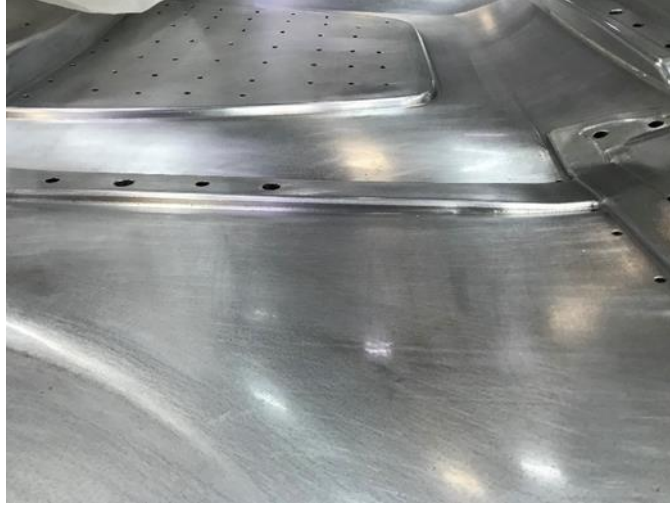
Otomotiv sektöründe kullanılan başlıca kaplamalar;

- Krom kaplama
- PPD kaplama
- PVD kaplama
- PN kaplama
- TiN kaplama

Otomotiv kalıplarının boyutları nedeniyle her kaplama ülkemizde uygulanamamaktadır. PPD gibi kaplamalar, kalıplar seri imalata girmeden önce yurt dışında kaplanarak ülkemize getirilmektedir. Bir çekme kalıbının krom kaplama öncesi gösterimi Şekil 3.3.'te, krom kaplama sonrası gösterimi Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Kaplama öncesi bir çekme kalıbı yüzeyi



Şekil 3.4. Krom kaplama sonrası bir çekme kalıbı yüzeyi

3.1.2.2. Kaynak dolgu – lazer kaynak

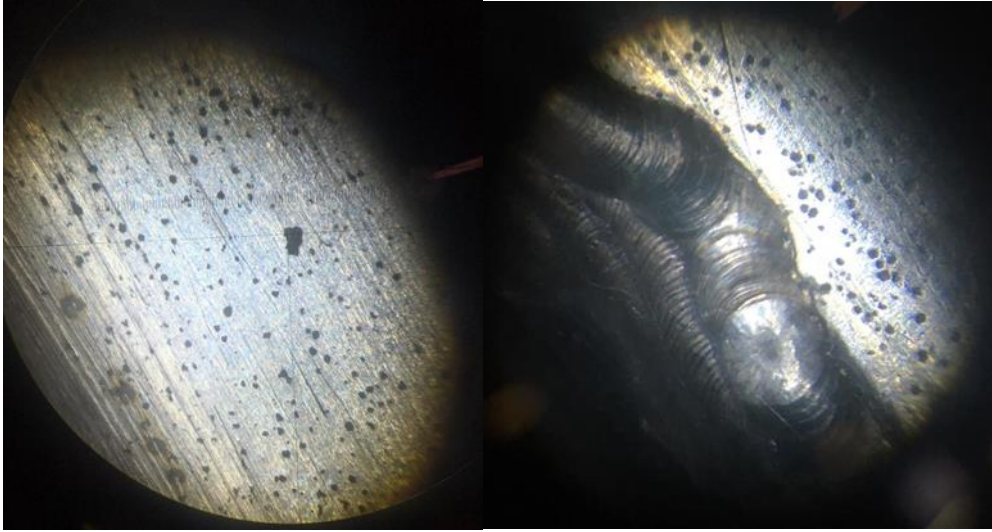
Derin çekme prosesleri sırasında, kalıp yüzeyleri yüksek gerilme altında çalışmaktadır. Bu durum çeşitli çalışma şartlarından da etkilenecek (yağ, sürtünme, kuvvet vb.) kalıp yüzeylerinde kılcal çatlaklara neden olmaktadır. Kaplama yapılan kalıp yüzeylerinde bu durumla karşılaşılmazken, kaplama uygulanmamış kalıp yüzeylerinde sıklıkla mikro çatlaklarla karşılaşmaktadır.

Ayrı bir hata modu olarak dökümden gelen porozitelerde şekillendirme sırasında yüzey kalitesini olumsuz etkilemekte ve porozite nedeniyle olarak yüzey Ra değeri artmaktadır. Ra değerinin artmasıyla birlikte sürtünme kat sayısı olumsuz etkilenmektedir. Sacın akış hızını yavaşlatan veya kontrolsüz olmasına neden olan bu yüzey hatası istenmeyen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

Dökümden hemen sonra ortaya çıkan poroziteler olduğu gibi yüzeyin hemen altında saklanan ve bakımlar sırasında kalıp parlatma operasyonları nedeniyle aşınan yüzeylerde ortaya çıkan porozitelerle de karşılaşmaktadır.

Tüm bu yüzey hatalarının giderilmesi için lazer dolgu kaynağı kalıp bakım metodlarında sıkça tercih edilmektedir. Diğer kaynak metodlarına göre; ısı tesiri altında kalan bölge olmaması, mikroskop yardımıyla daha hassas bölgelerde

kaynaklanabilme kabiliyeti, kaynak sonrasında yüzey bağlama - tesviye işlem süresinin daha az olması gibi nedenlerle tercih edilmektedir. Bir kalıp yüzeyinde dolgu kaynak uygulanan bölgeye ait görsel Şekil 3.5.'te verilmiştir. Kalıp yüzeyinde oluşan çatlaklara ait gösterim ise Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Bir çekme kalıbı yüzeyinde oluşan porozitelerin mercek altında görünümü



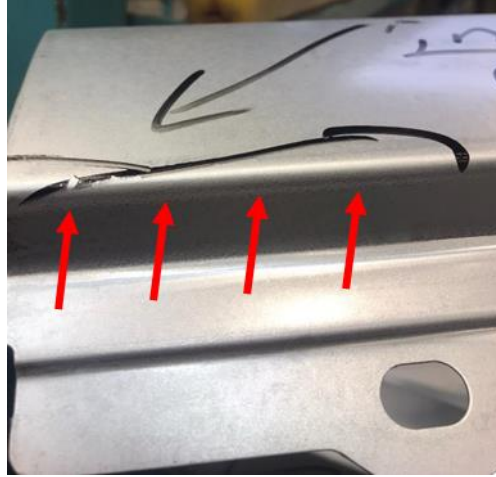
Şekil 3.6. Bir çekme kalıbı yüzeyinde oluşan çatlağın görünümü

3.2. İncelme

Şekil verme sırasında ortaya çıkan yırtık probleminden daha zor fark edilen, şekillendirilen parçanın mühendislik inceleme sınırından daha fazla incelendiği durumlar inceleme hatası olarak tanımlanmaktadır. Bir panel üzerine incelmeye ait görsel Şekil 3.7.'de verilmiştir.

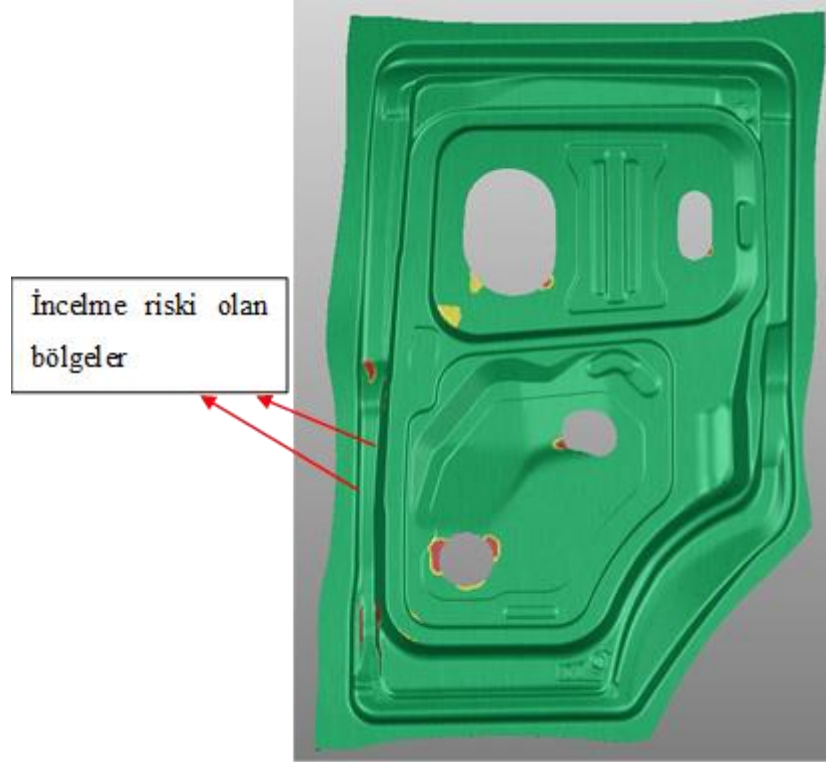
Mühendislik sınırları, parça geometrisi ortaya çıktıktan sonra simülasyon programlarında sonlu elemanlar yöntemleriyle koşturulan simülasyonlar sonucunda karşılaştırılmaktadır. Simülasyon programları üç açıdan konuyu ele almaktadır. İlk aşamada şekillendirme “formability” olarak adlandırılan, plastik şekil vermenin nasıl gerçekleşeceğini ve şekillendirme sırasında parçanın hangi bölgesinde hangi aşamada problem olacağını anlaşılmaktadır. Buradan elde edilen çıktılarla, ikinci aşama olarak dayanıklılık simülasyonları ve kararlılık analizleri yapılmaktadır. Birinci aşamada elde edilen inceleme değerleri, dayanıklılık ve kararlılık testlerinde incelendikten ve milyon çevrim sağlandıktan sonra onaylanmaktadır. Son aşama olarak elde edilen değerlerin sürekli olarak her imalatta aynı şekilde elde edileceğinin doğrulanması olarak kurgulanmaktadır. Bu aşama, tüm fizibilite, geometri oluşturma, kararlılık, dayanıklılık testlerinin parça hayatı boyunca istenen değerlerde kalması için en kritik aşama olarak görülmekte ve uygulanmaktadır. Üçüncü ve son aşamada seri imalat değişkenlerinin tümü programa tanıtılarak, tüm sınırlar çizilmektedir. Çizilen sınırlar kalıp, malzeme, pres, ortam spekt değerlerinin içinde ve hatta %10 üzerinde oluşturularak nihai şekil verme simülasyonu elde edilir. Son aşamanın sonunda program; hangi bölgede en fazla ne kadar hata ile karşılaşılabileceğini göstererek mühendislik sapmalarının belirlenmesine yardımcı olmakta, parçanın seri imalatı boyunca dayanıklılık ve kararlılıkta üretilmesi için gerekli olan kalıp, malzeme ve pres seçiminde yol gösterici olarak çalışmaktadır.

Onay verilen inceleme sınırının üzerinde inceleme olması, aracın hayatı boyunca ilgili bölgede herhangi bir anda yırtık problemi ile karşılaşılmasına neden olabilmektedir. Bu risk nedeniyle izin verilen inceleme dışında gerçekleşen incelemelere seri imalat sırasında izin verilmemektedir.



Şekil 3.7. Şekillendirilmiş bir parça üzerinde incelme probleminin görünümü

Simülasyon programında uygulanan tüm sınır değerlerden farklı gerçekleşen herhangi bir şart nedeniyle incelme problemi meydana gelmektedir. Bu şartlar; yüzey morfolojisindeki değişimler (porozite oluşumu, çatlak, sarma – galling), sac malzeme mekanik özelliklerinde sınır değerinin dışında gerçekleşen şartlar, sac malzeme yüzey yağlama özelliklerindeki değişimler olarak kısaca açıklanmaktadır. Simülasyon programında bir incelmenin gösterimi Şekil 3.8.’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Simülasyon programı üzerinde incelme probleminin gösterimi

3.3. Çatlak

Yırtık ve incelmede olduğu gibi sınır şartların aşılmasından kaynaklanan yırtık probleminin parça kenarında gerçekleşmesi durumunda tanımlanan hata modudur. Daha çok parçaların flanş, keskin dönüş bölgelerinde karşılaşılmaktadır. Yırtık hatası ile aynı kategoride değerlendirilmektedir.

Yırtık hata modundan farklı olarak yırtık genelde derin çekme operasyonunda (birinci operasyon) gerçekleşirken, çatlak hata modu ise flanş operasyonunda (üçüncü veya dördüncü operasyon) gerçekleşmektedir. Final parça üzerinde ikisi de aynı etkiye sahip olsa da problemin oluşma kök nedenleri birbirinden farklı olarak ortaya çıkmaktadır.

Yırtık problemi doğrudan şekillendirme prensipleriyle ilişkiliyken, çatlak problemi doğrudan parça geometrisi ile ilişkilendirilmektedir. Bir sac malzemenin şekillendirme sınırları yine simülasyon programlarında belirlenmekte ve bu sınırların üzerine çıkan

parça geometrilerinde fizibilite değişiklikleri istenerek çatlak problemlerinin oluşması engellenmektedir. Panel üzerinde oluşan çatlğa ait görsel Şekil 3.9.'da verilmiştir.

Seri imalat sırasında şekillendirme için kullanılan kalıpların ilgili operasyonunda meydana gelen mekanik veya herhangi bir yüzey hatası nedeniyle çatlak hata modu oluşmaktadır. Bu hata modları; bükme için kullanılan kam ekipmanının hasarlanması, kılavuz yatakların hasarlanması, bükme çeliğinin yağlama özelliğini kaybetmesi, bükme çeliği üzerinde meydana gelen aşınma, bükme çeliği üzerinde meydana gelen sarma – galling olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3.9. Şekillendirilmiş bir parça üzerinde oluşmuş çatlak görünümü

3.4. Pot – Dalgalanma

Yırtık hata modunun tersiniri olarak ortaya çıkan hata modudur. Parça derin çekme prosesi sırasında, sacın beklenenden daha fazla hareket etmesi akması sonucu ortaya çıkan yapısal olmayan, görsel hata modu olarak adlandırılmaktadır. Şekillendirilmiş panel üzerinde oluşan pot-dalgalanma problemine ait görsel Şekil 3.10.'da verilmiştir.

Pot hata modunun ortaya çıkmasında, yırtık hata modunda olduğu gibi kullanılan sac malzeme mekanik özellikleri, sac malzeme yağlama özellikleri, parça geometrisi, pres kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri önemli rol oynamaktadır.

Akma mukavemetinin belirlenen spekt değerinin alt sınırına yakın olması, sac malzemenin şekillendirme sırasında potlanma dalgalanmaya daha yatkın olduğunun işareti olarak belirtilmektedir. Düşük akma mukavemeti nedeniyle malzeme yeteri kadar gerilememekte ve kalıcı deformasyon aşamasına nihai şeklini almadan geçmesiyle pot problemi meydana gelmektedir. Diğer bir neden olan yüzey yağı probleminde de, sac yüzey yağ film kalınlığının belirlenen spektler üzerinde olması nedeniyle (aşırı/fazla yağlanma) sonucu sürtünme katsayısı düşmekte, aynı kuvvetle daha fazla sac akışı gerçekleşmektedir. Fazla sac akışı olması durumunda da yine aynı şekilde kalıcı şekillendirme öncesinde yeterli gerilme elde edilemeden, kalıcı şekillendirme aşamasına geçildiği için pot problemi ile karşılaşmaktadır.

Parça geometrisi ve pres kuvvetleri de dış etkenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Preste meydana gelen mekanik arızalar, gösterge problemleri ya da set-up değerlerindeki yazılımsal hatalar nedeniyle istenilen kuvvetin, kalıcı şekillendirme öncesinde uygulanamaması durumunda da sacın fazla hareketi nedeniyle pot problemiyle karşılaşmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde dış panel şekillendirme için %4, iç panel şekillendirme için ise %3 yüzey gerilmesi istenmektedir. Bu değerler deneysel olarak elde edilmiş, bu değerlere ulaşıldığında yüzey problemleriyle karşılaşılması simülasyon programları üzerinde belirlenmiştir.



Şekil 3.10. Şekillendirilmiş bir parça üzerinde dalgalanma pot probleminin görünümü

3.5. Kalıp izi – Girinti

Sac şekillendirme proseslerinde, sacın mekanik özellikleri nedeniyle meydana gelmeyen tek problemdir. Kalıp izi problemine ait görsel Şekil 3.11.'de verilmiştir. Bu problemin meydana gelişin, pres mekanik değerlerinin değişmesi, kalıp mekanik ekipmanlarında meydana gelen arızalar, çalışma bozuklukları dolayısıyla kalıp ve panel arasındaki paralelliğin bozulması sonucu ortaya çıkan estetik bir hata modu olarak tanımlanmaktadır. Kalıp izi – girinti hatasının yapısal bir etkisi yoktur.

Kalıp izi tespit edilen bir paneldeki hatanın giderilmesi için hatanın hangi operasyondan geldiği, pres yükseklik değerleri, kalıbın istenilen değerlerde olduğu, pres paralellikleri gibi temel mekanik sorgulamalar yapılarak sonuca ulaşılması beklenmektedir.



Şekil 3.11. Şekillendirilmiş bir parça üzerinde kalıp izi görünümü

3.6. Sac Malzeme

Derin çekme, plastik şekil verme prosesinin kritik girdisidir. Tüm ekipmanlar sac malzemenin alt ya da üst sınıra olan yakınlığı ile ilişkili olarak ayarlanmaktadır. Sac malzeme de yağ düşükse sacın rahat akması için kuvvet düşürülmekte, sacın akma mukavemeti yüksekse yırtık olmaması için derin çekme kalıbında sacın rahat akmasını sağlayacak ayarlar yapılmaktadır. Tüm prosesin sürdürülebilir şekilde devam etmesi için fizibilitenin ardından imalat şartlarından ilk olarak sac malzeme mekanik, kimyasal ve yağlama özelliklerinin belirlenen spekt içerisinde takibi gerekmektedir. Spekt içerisinde temin edilen sac malzeme, olgunlaşmış fizibilite, üretilebilir parça geometrileriyle birlikte şekil verme proseslerinde problemlerle karşılaşılması beklenmektedir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Çalışma Alanının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında, şekil verme süreçlerinde yaşanan problemlerin giderilmesi amaçlanmıştır. Yapılacak çalışmaların sonunda doğru verilerle, problem kök nedeninin araştırılması, elde edilen sonuçların seri imalat hatlarına maksimum katkı sağlayabilmesi için duruş analizleri ve paretolar üzerinden çalışılacak panel ve konu başlığı belirlenmiştir. Tüm veriler 2014 yılından itibaren incelenmiş, özet tablolar olarak bu çalışma içinde sunulmuştur.

Tablo 4.1.'de pres hatlarında en çok verimsizliğe neden olan ilk beş panelin duruş incelemesi yapılmıştır. Elde edilen verilere göre en fazla duruşun arka kapı dış panelde yaşandığı tespit edilmiştir. Buna rağmen, yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda en fazla iyileşmenin de bu panelde olduğu tespit edilmiş, tüm bu veriler değerlendirildiğinde en az iyileşme olan panellerde çalışma yapmanın, sağlayacağı fayda açısından daha olumlu olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle sol gövde yan küçük iç paneli ile orta boy gövde iç paneli inceleme yapılacak paneller olarak ele alınmış, son yıldaki duruşlarının fazla olması nedeniyle de orta yan iç gövde paneli bu çalışmaya konu olarak alınmıştır.

Tablo 4.1. Pres hatlarında en çok verimsizliğe neden olan ilk 5 panelin duruş süreleri

	Duruş Süresi (dk.)					
	2014	2015	2016	2017	TOTAL	% Gelişim
Arka Kapı Dış	6153	1911	1093	888	10045	86
Küçük Yan iç Gövde Sol	1573	2200	1774	902	6449	42
Orta Yan iç Gövde	2494	1261	942	1342	6039	46
Küçük Yan iç Gövde Sağ	881	1157	615	301	2954	65
Yüksek Arka Tavan	1393	562	343	720	3018	48

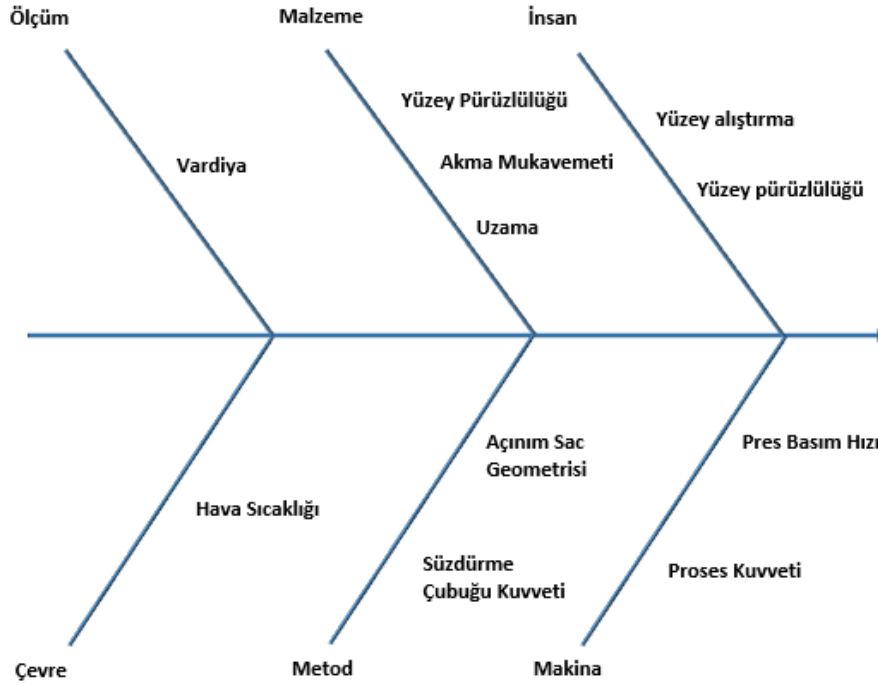
Bahse konu olan panelin duruş kırılımları incelenerek kök neden analizi ile hedeflenecek, çözüm aranacak çalışma belirlenmiştir. Seçilen panelin duruş kırılımlarındaki ilk 5 madde Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Duruş süresi en fazla olan panelin ilk 5 duruş kırılımı
Orta Yan İç Gövde Paneli Duruş Süresi (dk.)

	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Yırtık/İncelme	1567	734	634	982	3917
Pot-Dalgalanma	927	527	308	360	2122
Çapak İzi	394	267	197	245	1103
Çapak Düşmeme	52	70	119	100	341
Kalıp İzi	104	92	46	24	266

İlk 5 duruş nedeni incelediğinde; ilk 5 maddenin toplam duruş süresinin %52'sini yırtık ve incelme probleminin oluşturduğu görülmüştür. 2014'ten sonra çalışmanın başladığı 2017 yılına kadar her yıl yırtık ve incelme duruşunun diğer duruşlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Tüm bu veriler ışığında çalışma konusu orta gövde yan iç panelinin yırtık ve incelme problemlerinin giderilmesi olarak belirlenmiştir.

Yırtık incelme duruşunun kök neden analizlerini yapabilmek için balık kılıcı yöntemiyle, beyin fırtınası yapılarak olası nedenler üzerinde durulmuştur. Beyin fırtınası sonrası oluşturulan olası nedenler balık kılıcı formatında Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Problemlerin balık kılıcı yöntemiyle gösterimi.

Duruş sürelerinin yanı sıra orta gövde yan iç panelde meydana gelen yırtık inceleme duruşlarının hurda açısından da ilk sırada yer aldığı Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. İlk 5 duruş nedeninin hurda maliyeti

Hurda Maliyeti (usd)					
	2014	2015	2016	2017	Toplam
Yırtık/İnceleme	5725	1613	1041	1158	9537
Pot-Dalgalanma	2495	250	124	113	2983
Çapak İzi	787	440	468	211	1907
Diğer	149	186	307	399	1041
Yüzey Kalitesi	0	76	380	35	491
Dolar Kuru	2,18	2,72	3,01	3,64	

Yırtık ve inceleme problemlerine ek olarak daha önce edinilmiş tecrübelerden yola çıkılarak, pot/dalgalanma probleminin yırtık ve inceleme problemlerine göre tersinir bir problem olması nedeniyle üçüncü kök neden olarak ele alınmıştır. Bir şekillendirme probleminin çözümünde kök nedenin çözümünde, kök nedene tersinir olarak ortaya

ıkan problemin de özölmesi gerekmektedir. Aksi halde, bir problemin çözümü diğer problemin kök nedeni olarak ortaya çıkmaktadır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

5.1. Problem Analizi

Alanında uzman mühendisler, teknisyenler ve operatörler tarafından oluşturulan bir ekiple birlikte olası kök nedenlerin etkileri neden – sonuç matrisinde ele alınarak, en yüksek ihtimalli kök nedenin birinci derecede çalışılacak konu olmasına karar verilmiştir.

Tablo 5.1. Problemlere ait kök nedenlerin neden – sonuç tablosunda önceliklendirilmesi

Müşteriye göre önem derecesi (1=düşük, 3=orta, 9=yüksek)		9	3	1	Toplam
		1	2	3	
		Yırtık	İncelme	Pot- Dalgalanma	
Girdi (1=Düşük, 3=Orta, 9=Yüksek)					
1	Akma Mukavemeti	9	3	9	99
2	Uzama	9	3	3	93
3	Malzeme Yüzey Pürüzlülüğü	9	9	1	109
4	Açınım Sac Geometrisi	9	9	9	117
5	Süzdürme Çubuğu Kuvveti	9	9	9	117
6	Proses Kuvveti	3	3	3	39
7	Pres Basım Hızı	1	1	1	13
8	Yüzey Alıştırması	3	3	3	39
9	Kalıp Yüzey Pürüzlülüğü	3	3	3	39
10	Vardiya	1	1	1	13
11	Hava Sıcaklığı	1	1	1	13

Ortaya çıkan tüm kök nedenlerden en yüksek puanı alan açınım sac geometrisi ve süzdürme çubuğu kuvveti en yüksek ihtimalli kök neden olarak belirlenmiştir. Diğer nedenlerin de problemi ortaya çıkarma ihtimaline karşılık farklı vardiyalarda, farklı imalat periyotlarında da olası nedenler incelenmiştir.

Açınım sac geometrisi ve süzdürme çubuğu kuvveti dışındaki tüm nedenler tek tek incelenerek, yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Proses kuvveti: Orta yan iç gövde paneli üretiminde kullanılan kalıplarda, pres alt yastık kuvveti kullanılmamaktadır. Bu panelin kalıplarında, sistemin gerek duyduğu, şekillendirme için gerekli olan merkezi gazlı yay sistemi ile karşılanmaktadır. Gazlı yay basıncı değişmemekte ve tüm imalatlarda aynı uygulanmaktadır. Merkezi gazlı yay sisteminde bir kaçak olma ihtimaline karşılık on imalat boyunca gazlı sistem basıncı imalat öncesinde ve sonrasında kontrol edilmiş ve herhangi bir problem ile karşılaşmamıştır. Bu veriler ışığında, yırtık probleminin proses kuvvetinden kaynaklanamayacağı anlaşılmıştır.

Dakikada basılan parça sayısı: Farklı imalat hızlarında, şekil verme hızına bağlı olarak yırtık probleminin oluşabileceği düşünülmüş ve on imalat boyunca dakikada 4 parça sayısından dakikada 8 parça sayısına kadar farklı imalat hızlarında parça şekillendirilmiş ve yırtık ile imalat hızı arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır.

Yüzey alıştırması / Yüzey pürüzlülüğü: Kalıp yüzey dağılımı/alıştırması, şekil verme sırasında sac hareketini doğrudan etkileyen bir problem olması nedeniyle ilk akla gelen kök nedenlerden biridir. Yüzey alıştırma eksikliği bir problemin gerçek kök nedeni olduğunda yapılacak işlem ve alınacak sonuç nispeten diğer çözüm yöntemlerine göre hızlıdır. Bu çalışmaya konu olan panelin şekillendirilmesinde kullanılan kalıbın yüzey alıştırması sekiz farklı uzman tarafından değerlendirilmiş ve kalıp yüzey çalışmalarında, alıştırmasında herhangi bir eksik olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, yüzey alıştırması veya yüzey pürüzlülüğü ile yırtık-incelme problemi arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır.

Farklı vardiyalar veya hava sıcaklığı: Plastik şekil verme kalıplarında yüzey sıcaklığı dolaylı yoldan şekil verme kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle de farklı zamana dilimlerinin yırtık-incelme problemine neden olup olamayacağı incelenmiştir. Problemin incelemesi 4 yıl süresince 3 vardiya boyunca elde edilen verilerden oluşmuştur. Duruş zamanlarına bakıldığında belli bir zamana toplanma tespit

edilmemiştir. Bu nedenle de problemin kök nedeninin farklı vardiyalar ya da hava sıcaklığı olmadığı anlaşılmıştır.

Sac malzeme mekanik özellikleri: Plastik şekil verme süreçlerinde kullanılan kalıplar kadar, kullanılan malzemenin de özellikleri elde edilen sonucun kalitesi için önem arz etmektedir. Yırtık-incelme probleminin sac malzeme mekanik özelliklerinden oluşabileceği düşünülerek farklı zamanlarda imalatı gerçekleştirilen on beş örnek, hurda-red oranı incelenmiş, Tablo 5.2.'de verilmiştir. Sac malzeme mekanik özellikleri ve hurda oranların arasında doğrudan bir ilişki kurulamamıştır. Plastik şekil verme sürecinin en önemli girdisi olan sac malzeme mekanik özelliklerinin sonraki çalışmalarda daha detaylı incelenmesi, sonuçların daha kaliteli yorumlanabilmesi için faydalı olacaktır.

Tablo 5.2. 15 farklı malzemenin kullanıldığı imalatlarda elde edilen hurda-red oranı

# Örnek	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama	Pürüzlülük	%NOK	# OK Parça	# NOK Parça
1	297	166	46	1,1	0	824	0
2	282	152	46	1,3	1,11	989	11
3	283	154	47	1,1	9,09	869	79
4	290	159	43	1,1	0,72	1245	9
5	277	157	45	1,2	1,98	1012	20
6	290	156	44	1,1	9,89	910	90
7	286	163	43	1,1	8,42	380	32
8	287	161	44	1,3	2,12	1459	31
9	283	160	46	1,1	5,43	829	45
10	275	153	45	1,1	2,68	1009	27
11	289	176	41	1,3	7,65	1464	112
12	290	162	44	1,1	0,39	1016	4
13	287	160	42	1,3	11,6	1948	226
14	289	162	43	1,2	50	196	98
15	292	164	41	1,1	6,15	780	48

İncelenen olası kök nedenlerin ardından, neden sonuç analizine göre kök neden olma ihtimali daha yüksek olan problem nedenleri detaylı olarak incelenmiş, incelemelere ait sonuçlar ve elde edilen veriler aşağıda verilmiştir.

Açınım boşaltma geometrisi: Yırtık problemi genellikle açınım boşaltması çevresinde görülmektedir. Problemin açınım boşaltması etrafında görülmesi, çözüm için açınım boşaltmasının iptal edilmesi fikri ortaya çıkmıştır.

Açınım boşaltmaları ilgili bölgede sac metal malzemenin rahat hareket edebilmesi için eklenen, plastik şekil vermeyi rahatlatan geometrik şekillerdir ve açınım hatlarında/kalıplarında verilmektedir.

5.2. Simülasyon ve Saha Denemeleri

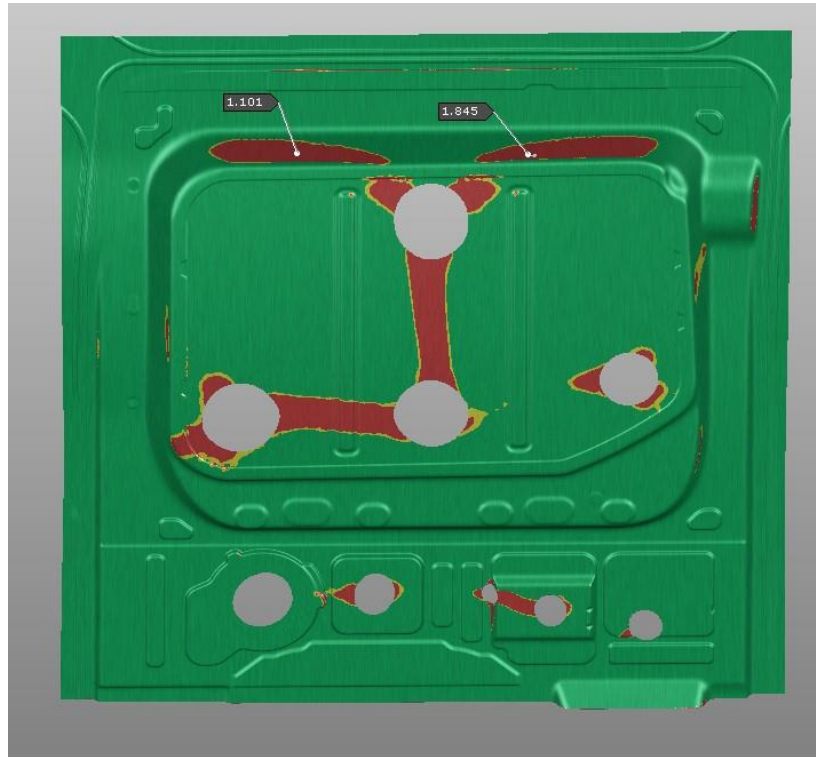
Açınım boşaltması iptal edilerek simülasyon programlarında denemeler yapılmış, denemelerde elde edilen sonuçlar, geçici spektler hazırlanarak seri imalat hatlarında denenerek doğrulanmıştır. Açınım boşaltması çevresinde oluşan yırtık Şekil 5.1., açınım boşaltması iptal edilerek simülasyon programında yapılan analiz Şekil 5.3., analiz programında elde edilen sonucun doğrulanması için seri imalat hatlarında yapılan denemeye ait görseller Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.'te verilmiştir.



Şekil 5.1. Açınım boşaltmasında oluşan yırtık probleminin görseli



Şekil 5.2. Açınım boşaltmasında oluşan yırtığın final parça içine ulaşmış hali



Şekil 5.3. Açınım boşaltmasında oluşan yırtığın final parça içine ulaşmış hali

Simülasyon programında, açınım boşaltmaları iptal edilerek yapılan analizde, açınım boşaltması iptal edildiğinde delik bölgesindeki yırtığın ortadan kalktığı ama üst duvarda yırtığın meydana geldiği görülmüştür. Duvarda oluşan yırtık Şekil 5.3.'te

gösterilmiştir. Analiz sistemlerinde göre “1” olarak belirtilen değer yırtığın %100 meydana geleceği anlamına gelmektedir. Araç dayanıklılık testlerinde bu değer %20 güvenli haliyle 0,8 olarak alınmaktadır. 0,8 üzerinde elde edilen değerlerde yırtık probleminin görüleceği, şekillendirme sırasında yırtık problemi ile karşılaşılmasa dahi aracın hayatı boyunca yırtık problemi ile karşılaşabileceği öngörülmektedir. Şekillendirme mühendisleri tarafından 0,8 değeri üzerinde imalat yapılma zorunluluğu doğduğunda, ilk iki bölge için araç ömür çevrimini sağlayacak şekilde dayanıklılık testleri yapılmakta ve bu testin sonuçlarına göre şekillendirilebilirlik ve üretilebilirlik onayı verilmektedir.

Simülasyon sonuçlarında, ilgili bölgelerde yırtık değeri 1'in üzerinde görülmektedir. Deliğin iptal edilmesi, farklı bölgelerdeki yırtık problemini de tetiklediği görülmüş, “1” in üzerinde yırtık görülme riski olan yer duvar bölgesinde tespit edilmiştir.

Simülasyon programında elde edilen sonuçların doğrulanması ve girilen verilerde herhangi bir problem olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla seri imalat hatlarındaki denemelerle doğrulama yapılmak istenmiştir. Seri imalat hatlarında yapılan denemelerin sonuçlarına ait görsel Şekil 5.4.'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Simülasyonda elde edilen verilerin seri imalatta denenmesine ait sonucun görünümü

Duvarda oluşan yırtığın giderilmesi için seri imalat hatlarında kalıp ayar mekanizmaları kullanılarak problemin giderilmesi istenmiştir. Kalıp ayar bloklarının yükseltilmesi ve sacın rahat bir akış ile şekillenmesi için ayar blokları altında 0,1 mm şim takviyesi yapılarak yırtığın giderilmesi amaçlanmıştır. 0,1 mm. şim eklenerek şekillendirilen parçada sac malzeme hareketi yaklaşık 5 mm. daha fazla olmuş ve duvar yırtığı giderilmiştir. Fakat tersinir tepki olarak duvar bölgesine yakın yerde potlanma – dalgalanma problemi ortaya çıkmıştır. Potlanma bölgesi Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.



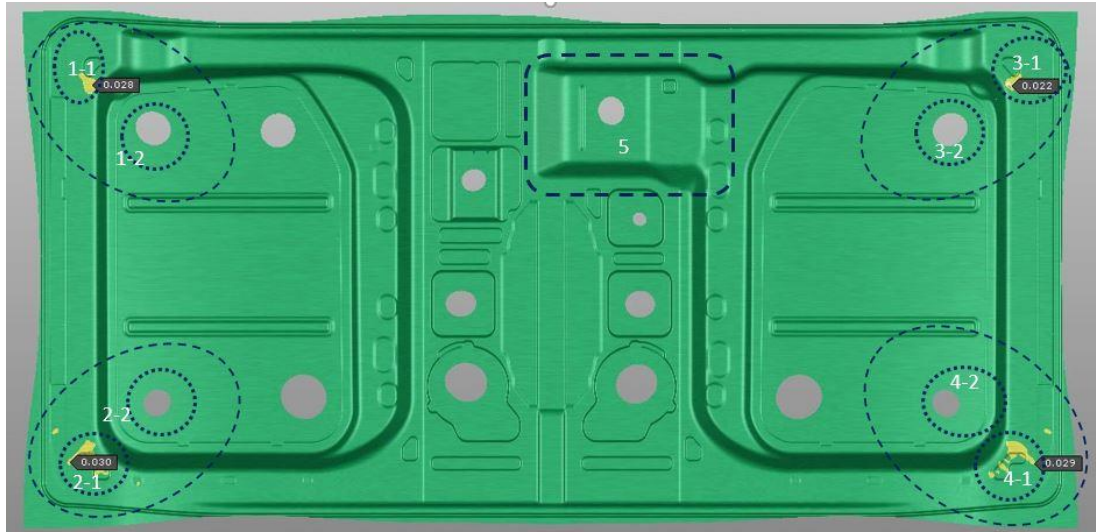
Şekil 5.5. Yırtık probleminin giderilmesi için yapılan müdahale sonucu pot probleminin görünümü

Bu denemenin sonucu olarak, açınım boşaltmasının iptali sadece delik çevresindeki yırtığı önlemiştir. İlgili bölgenin çevresinde, duvar üzerinde yırtık problemi görülmüş, yırtık probleminin giderilmesi için yapılan ayar çalışmalarında, sac malzeme hareketinin fazla olması sonucunda pot-dalgalanma problemi ile karşılaşmıştır.

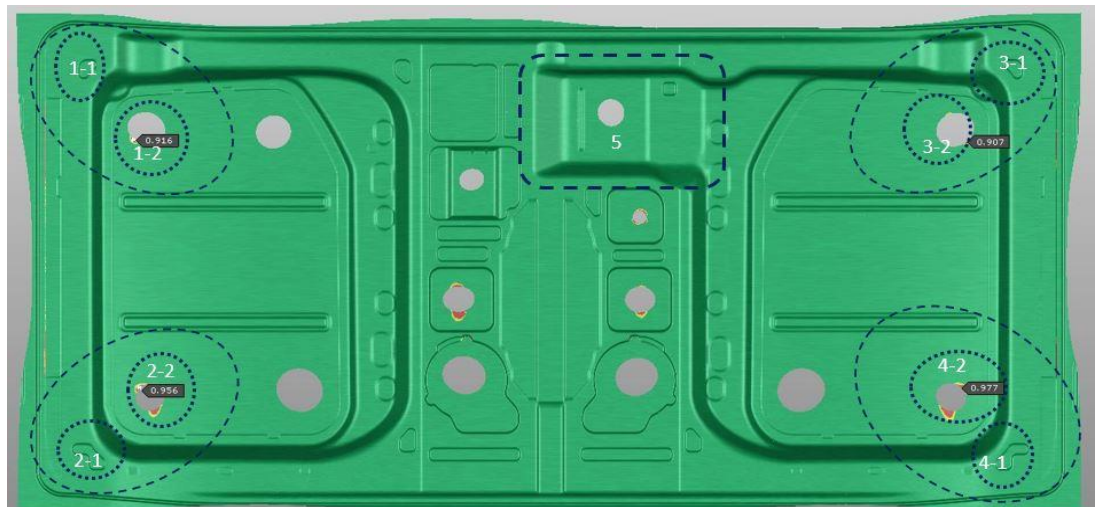
Sağ ve sol parça tek kalıptan çıkacak şekilde üretilen orta yan iç gövde panelinin simülasyon programı üzerinde pot ve yırtık ilişkisi değerlendirilmiştir. Şekil 5.6.

üzerinde muhtemel pot-dalgalanma görülme riski olan yerler belirtilmiştir. Bu bölgelerde potlanma görüldüğünde aynı sac yürüme değerlerinde yırtık problemi görülmektedir. Pot probleminin giderilmesi için sac yürümesinin azaltılması için ayar bloklarından ya da süzdürme çubuk kuvvetlerinden yapılan ayarlamalarda ise pot probleminin giderildiği, yırtık probleminin meydana geldiği tespit edilmiştir. Yırtık probleminin görüldüğü durum Şekil 5.7.'de verilmiştir.

Potansiyel potlanma bölgeleri Şekil 4.7.'de 1-1, 2-1, 3-1, 4-1 olarak gösterilmiştir. Potansiyel yırtık bölgeleri 1-2, 2-2, 3-2, 4-2 olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Muhtemel pot - dalgalanma olan bölgelerin gösterimi



Şekil 5.7. Muhtemel yırtık bölgelerinin gösterimi

1-1 bölgesinde potlanma - dalgalanma görülmediği durumda, ilişkide olduğu 1-2 bölgesinde 0,916 değerinde yırtık riski görülmüştür. 2-1 bölgesi incelendiğinde, bu bölgede potlanma görülmediğinde 2-2 bölgesinde 0,956 değerinde yırtık riski görülmüştür. 3-1 bölgesinde pot görülmediği durumda 3-2 bölgesinde 0,907 ile yırtık riski görülmüştür. Son olarak 4-1 bölgesi incelendiğinde, bu bölgede pot görülmediği durumda 4-2 bölgesinde 0,977 değerinde yırtık riski görülmüştür. Bu dört bölgenin birbiri arasındaki ilişki Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Yırtık – pot olan bölgelerin sayısal değerlerinin gösterimi

Bölge	Pot Değeri	Bölge	Yırtık Değeri
1-1	0,028	1-2	0,916
2-1	0,03	2-2	0,956
3-1	0,022	3-2	0,907
4-1	0,029	4-2	0,977

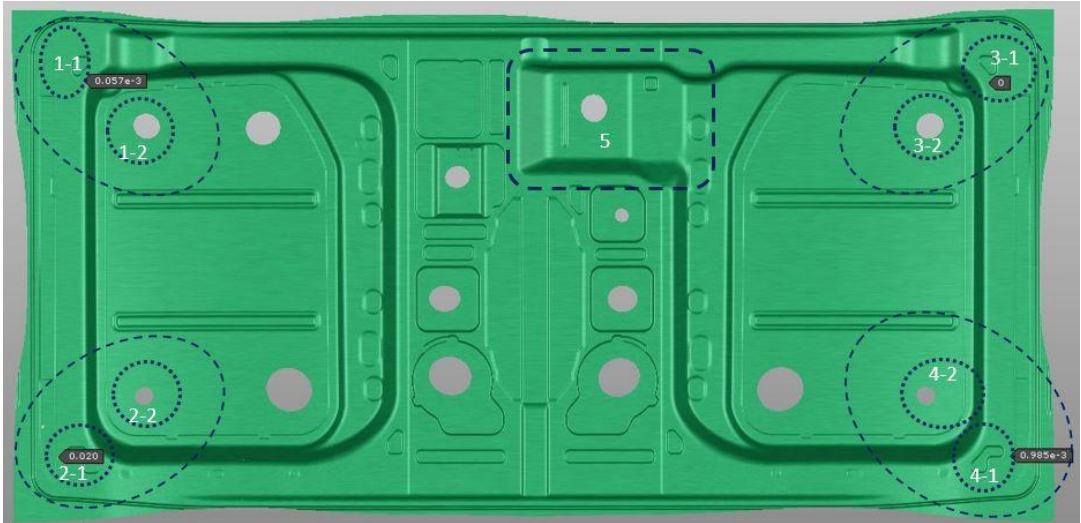
Problemin çözümü için yapılan çalışmalarda, açınım boşaltma delikleri iptalinin bir fayda sağlamadığı, mevcut açınım boşaltmalarıyla da yapılan çalışmalarda problemin pot-dalgalanma ve yırtık arasında gidip geldiği anlaşılmıştır. Tüm bu veriler ışığında, problemin açınım boşaltma deliklerinin ve süzdürme çubuklarının optimizasyonu ile çözülebileceği düşünülmüştür.

Problemin çözümüne yönelik deneme çalışmalarında optimum açınım boşaltma deliği boyutu için 11 farklı boşaltma ile denemeler yapılmıştır. Yapılan denemelerde pot-dalgalanma değerinin sıfır ve yırtık değerinin 0,8 ve altında olduğu değer yakalanamamıştır.

Yapılan deneme çalışmalarında, tüm boşaltma geometrilerinin yırttığı, yırtığın olduğu bölgelerin dış bükey geometrilerde olduğu görülmüştür. Özetle, bir açınım geometrisinde iç bükeyden sonra gelen ilk dış bükey bölgede yırtık başlangıcının olduğu tespit edilmiştir. Sürekli iç bükey döngünün sağlandığı bir geometri oluşturulamayacağı için bu geometrinin literatürde lancing adı verilen, çekme sırasında oluşturulan bir kesme operasyonu ile çözülebileceği düşünülmüştür.

Lancing metoduyla yapılan denemelerde problemin çözüme kavuştuğu tespit edilse de, bu metodun ayır bir problem olan, çapak izi-batma problemine yol açtığı için tercih edilmemiştir [24,25].

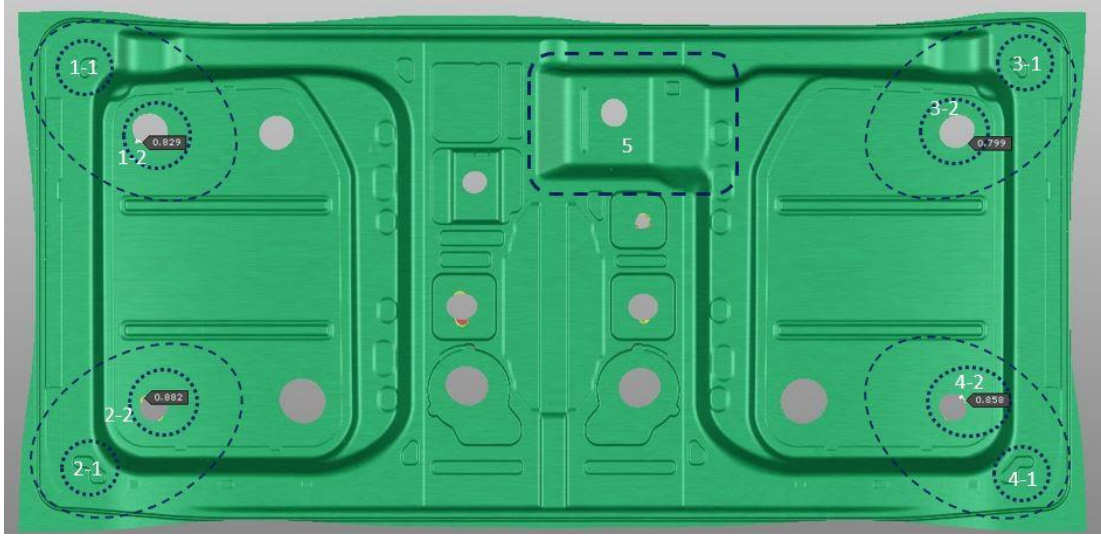
Açınım boşaltma geometrisinde çapın düşürülerek dış bükey alanın küçültülmesi ve dolayısıyla yırtık başlangıcının meydana gelmemesi planlanmıştır. Bunun üzerine çap açınım boşaltma deliklerinde çap küçültülerek simülasyon çalışmaları yapılmış, yapılan çalışmalar sonucunda optimum sonucun, açınım boşaltma deliklerinin 20 mm. küçültülmesiyle elde edildiği görülmüştür. Küçültülen deliklerle yapılan simülasyon sonuçlarına ait değerler Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Açınım boşaltma delikleri 20 mm. küçültülmüş durumda elde edilen pot-dalgalanma değerleri

Açınım boşaltma deliklerinin küçültülmesiyle yırtık açısından daha rijit bir geometri elde edilirken sac akışının küçülen deliklerle birlikte azalmasıyla 1-1, 2-1, 3-1, 4-1 olarak adlandırılan muhtemel pot bölgelerinde de sifıra ya da sifıra yakın değerler elde edilmiştir.

Bu durumda yırtık değerleri de aynı simülasyonda incelenmiş, 1-2 bölgesinde 0,829'luk yırtık değeri, 2-2 bölgesinde 0,882'lik yırtık değeri, 3-2 bölgesinde 0,799'luk yırtık değeri, 4-2 bölgesinde 0,858'lik yırtık değeri tespit edilmiştir. Sonuçlara ait değerler Şekil 5.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Açınım boşaltma delikleri 20 mm. küçültülmüş durumda elde edilen yırtık değerleri

Çalışmaya ait pot-dalgalanma ve yırtık değerleri Tablo 5.4.'te verilmiştir

Tablo 5.4. Açınım boşaltma delikleri 20 mm. küçültülmüş durumda elde edilen pot ve yırtık değerleri.

Bölge	Pot Değeri	Bölge	Yırtık Değeri
1-1	0,0028	1-2	0,829
2-1	0,002	2-2	0,882
3-1	0	3-2	0,799
4-1	0	4-2	0,858

Tablo 5.4.'te görülen pot değerlerinin seri imalat sırasında ortaya çıkmaması için bir diğer muhtemel kök neden olan süzdürme çubukları kuvvet değerinin de incelemesi yapılmıştır.

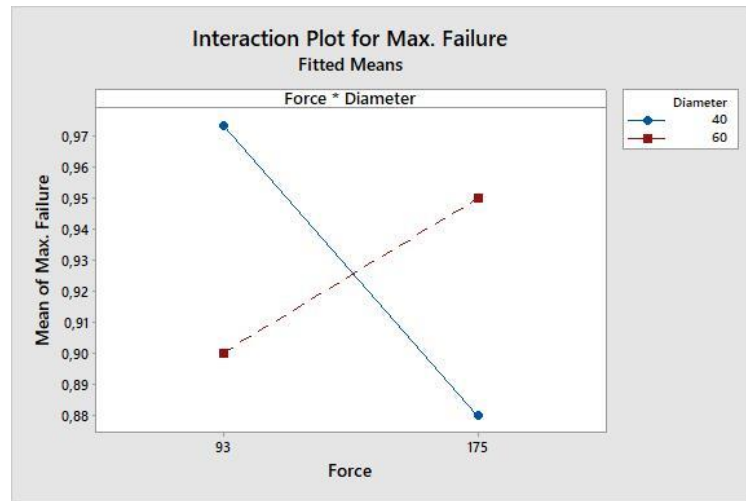
Süzdürme çubuk kuvvetleri: Açınım boşaltma deliklerinin küçültülmesiyle yırtık probleminin çözümüne yaklaşılmıştır. Kritik sınır olan 0,8 değerine yakın değerler elde edilmiş, 3-1 bölgesinde de bu değeri 0,001 altına düşülmüştür. Pot-dalgalanma probleminde ise on kata varan azalmalar olarak sifira yaklaşılsa dahi sıfır değeri elde edilememiştir.

Açınım boşaltma geometrisindeki 20 mm'lik küçülme nedeni, sac malzeme akışı açınım boşaltma deliklerinden duvara doğru gidememiş, bu nedenle duvar

bölgesindeki malzeme süzdürme çubukları bölgesinden hareket ederek duvar bölgesi şeklini almıştır. Sac malzemenin süzdürme çubuğundan bu şekilde daha fazla kaması nedeniyle de Şekil 5.8.'de görülen sifıra yakın pot-dalgalanma değerleri görülmüştür. Bu pot değerlerinin giderilmesi için ilgili bölgedeki süzdürme çubuk kuvvetlerinin optimizasyonu üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Süzdürme çubuğu kuvveti mevcut durumda 90 N. olarak ölçülmüştür. Bu değer kademeli olarak yükseltılarak simülasyon programında çalışmalar yapılmıştır. Optimum sonucun 175 N.'da elde edildiği görülmüştür.

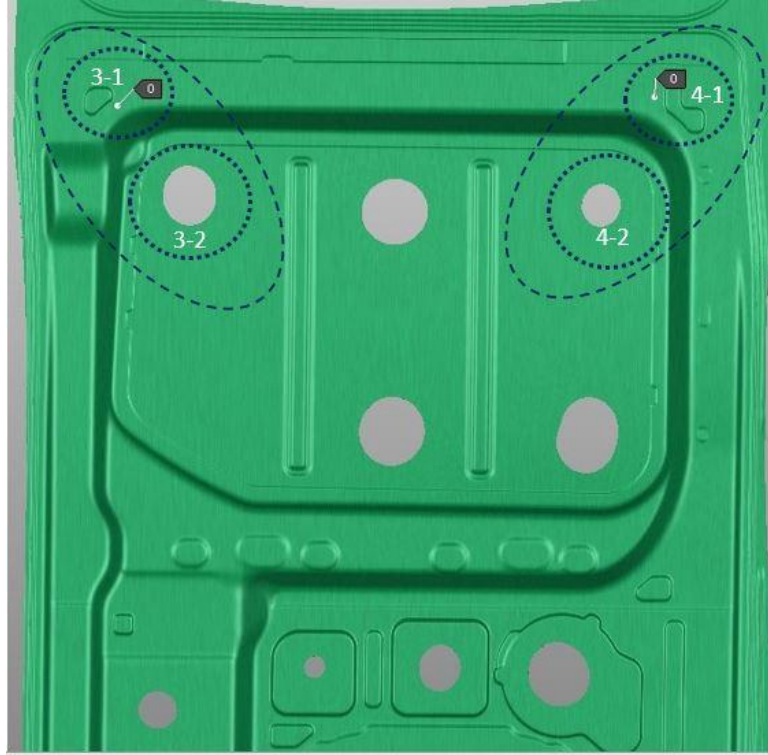
Bu çalışmalar sonrasında süzdürme çubuğu kuvveti ve açınım boşaltma geometri çapı arasında bir ilişki olduğu tesit edilmiştir. Bu ilişki Şekil 5.10.'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Açınım boşaltma deliği çapı ile süzdürme çubuğu kuvveti arasındaki ilişki.

Şekil 5.10.'da süzdürme çubuğu kuvveti 90 N'dan 175 N'a çıkarken, açınım boşaltma geometri çapı da kademeli olarak 60 mm'den 40 mm'ye düşürülmüş, bu sırada elde edilen yırtık değerleri ortalama yırtık değeri olarak gösterilmiştir.

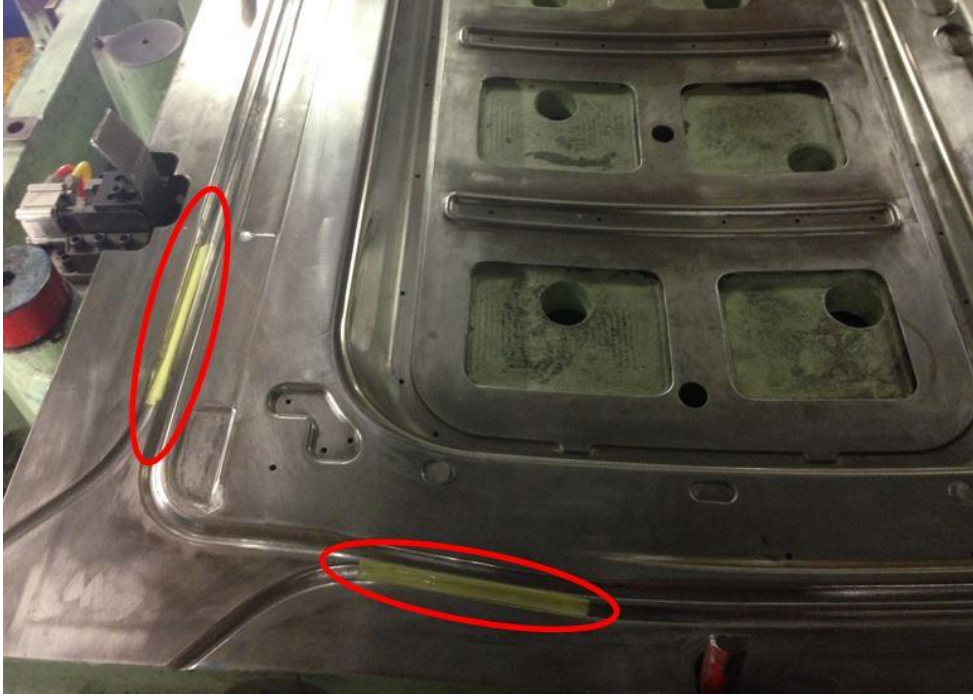
Süzdürme çubuğu kuvvetlerinin artırılması 3-1 ve 4-1 bölgelerinde pot-dalgalanma değerini sifıra indirmiş ve bu durumda açınım boşaltma geometrileri etrafında da yırtık değerinde artış gözlenmemiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Süzdürme çubuğu kuvveti artırılarak elde edilen simülasyon sonucu

Süzdürme çubuklarının geometrilerinde kuvveti arttırmak için kalıcı bir değişiklik yapmadan önce seri imalat sırasında süzdürme çubuk kuvvetlerini arttırıcı etki olan sarı bant uygulaması yapılmıştır. PVC malzemeden üretilen bu bant sac akışını yavaşlatmaktadır.

Süzdürme çubuklarında kuvvetin arttırılması ile elde edilen sac malzeme yürüme hareketleri, sarı bant uygulaması ile %80 yakınsama ile test edilmiştir. Yapılan çalışmaya ait görseller Şekil 5.12.'te verilmiştir. Bant uygulama sonrasında elde edilen panele ait görseller Şekil 5.13.'te verilmiştir. Şekil 5.13.'te 3-1 ve 4-1 bölgelerinde pot-yırtık probleminin meydana gelmediği görülmektedir.



Şekil 5.12. Simülasyon ekranında elde edilen sonuçların seri imalat denemesine ait bir görsel



Şekil 5.13. Seri imalat denemesinde elde edilen panelin görünümü

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Yapılan çalışmalar sonucunda dört yıllık kapsamlı imalat verileri analiz edilmiş ve bu verilere ait problem kök nedenlerine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 110 mm üzerindeki derin sac metal şekillendirme süreçlerinde meydana gelen yırtık ve pot problemine dair çalışmalar yürütülmüştür.

Çalışmalar sonucunda problemler tamamen çözülemese de yırtık problemi %100 yırtık anlamına gelen 1'den 0,8 mertebelerine, pot problemi ise 1-1 ve 1-2 bölgelerinde 10 kat azaltılmış, 3-1 ve 4-1 bölgelerinde ise sıfırlanmıştır.

Çalışma sonucunda süzdürme çubuğu ile açınım boşaltma geometri çapı arasında lineer bir ilişki bulunmuştur.

Yırtık probleminin giderilmesi için %100 yırtık değerinin 0,9 atında olması gerektiği tespit edilmiştir.

Çalışmadan önce yırtık ve pot problemleri nedeniyle meydana gelen yıllık 2294 dakikalık hat duruş süresi, çalışma sonucunda aylık 14 dakikaya gerilemiştir. Bu sonucun daha sağlıklı yorumlanabilmesi için duruş süresi 1 yıl boyunca takip edildikten sonra nihai sonuç yorumlanmalıdır.

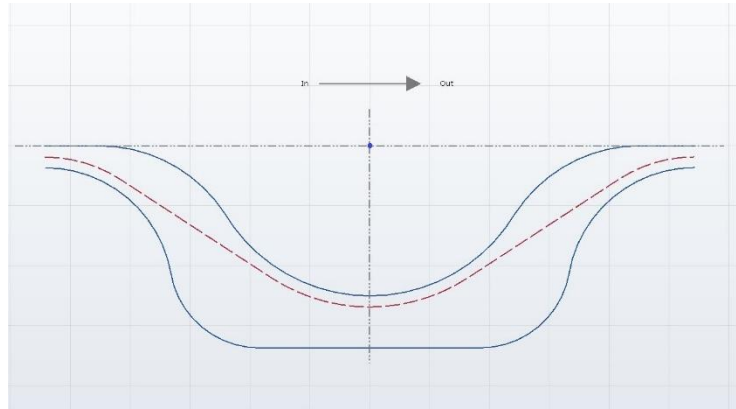
6.2. Öneriler

Süzdürme çubuğu ve açınım boşaltma geometrisi arasındaki ilişki aşağıdaki girdiler dikkate alınarak geliştirilebilir ve bir formülle parça fizibiliterinde kullanılabilir.

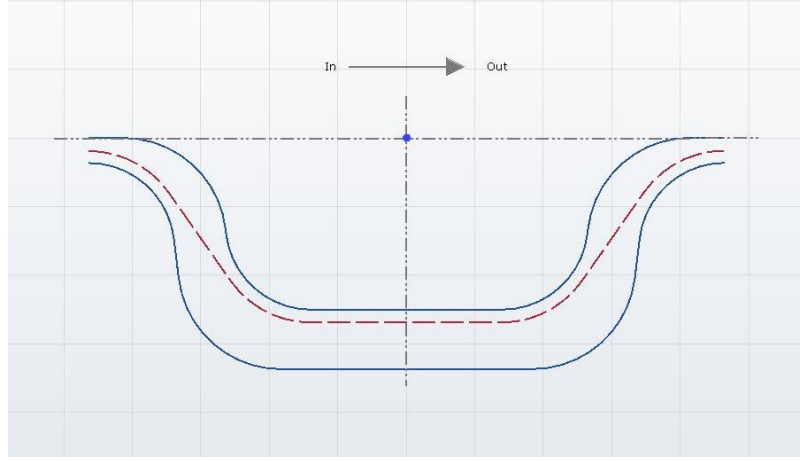
- Parça derinliği
- Açınım boşaltmasının duvarlara uzaklığı
- Sac malzeme mekanik özellikleri
- Sac malzeme sürtünme katsayısı
- Kalıp yüzeyi sürtünme

Lancing metodu, çapak izi-girinti problemleri nedeniyle tercih edilmeyen bir yöntem olsa da sonraki çalışmalarda, dış bükey açınım geometrilerinden dolayı meydana gelen yırtıkların ortadan kaldırılması için seri imalatlarda denemeleri yapılmalı, çapak izinin önlenmesi için uygun sac boşluğu/kesme boşluğu değerleri tespit edilebilir. Ayrıca lancing çeliklerinde meydana gelen aşınma nedeniyle oluşan çapak izi-girinti problemlerini önlemek için çeliklerin açınmasını önleyici kaplama çalışmaları yapılabilir.

Pot probleminin önlenmesi için farklı süzdürme çubuğu geometrileriyle çalışmalar yapılarak, sadece kuvvet artırarak değil, Şekil 6.1. ve Şekil 6.2.'de gösterilen geometri değişimleriyle de süzdürme çubuğu optimizasyonları yapılabilir.



Şekil 6.1. Süzdürme çubuğu geometrilerine örnek oval süzdürme çubuğu



Şekil 6.2. Süzdürme çubuğu geometrilerine örnek dörtgen bir süzdürme çubuğu

KAYNAKLAR

- [1] Çobanoğlu, S. (2011). Yalın Üretim Sisteminin Otomotiv Sektöründe Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- [2] Alford, D., Sackett P., Nelder G. (2000). Mass Customisation - an Automotive perspective. *International Journal of Production Economics* 65 (2000) 99-100.
- [3] Kaygusuz, S, Y,. (2011). Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde Maliyet Yönetimi. *Business and Economics Research Journal* Volume 2 Number 4 pp. 19-36 ISSN: 1309-2448.
- [4] Gürün, H., Derin Çekme Kalıplarındaki Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Bulanık Mantık ile Tahmini. (2008). Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [5] Küçük, Y. (2009). Delik İşlemede Takımlama Sisteminin Delik Kalitesi Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- [6] Çelik, S. (2020). Sac Malzemelerin Şekillendirilmesinde Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- [7] Giampieri, A., Ling-Chin, J., Ma, Z., Smallbone, A., Roskilly, A, P. (2020). A Review, of Current Automotive Manufacturing Practice from an Energy Perspective. *Applied Energy* 261 11 4074.
- [8] Soruşbay, C. Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü. (2007). *Mühendis ve Makine* Cilt: 48 Sayı: 564.
- [9] Tükoğlu, S. (2006). Investigation of Bake Hardening Properties of Steel Sheets. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [10] Singh, M. (2016). Application of Steel in Automotive Industry. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Volume 6, Issue 7, ISSN 2250-2459.

- [11] Hovorun T. P., Berladir K. V., Pererva V. I., Rudenko S. G., Martynov A. I. (2017). Modern Materials for Automotive Industry. Journal of Engineering Science, Volume 4, issue 2, DOI: 10.21272/jes.2017.4(2).f8
- [12] Doğan, T. (2018). IF ve BH Çeliklerinde Oluşturulan Farklı Tane Boyutlarının Statik Deformasyon Yaşlanma Davranışlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.
- [13] Çetinel, H. (2004). Çift Fazlı Çelik Saclarda Şekil Alabilirlik. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 6, Sayı: 2, s. 73-80.
- [14] Şimşir, C., Bayramın, B., Atık, K., Çobanoğlu, M. (2019). Çift Fazlı Çeliklerin Yüksek Sıcaklık ve Endüstriyel Deformasyon Hızlarında Şekillendirilebilirliği. Tübitak Program No: 3501, Proje No: 115M642, Ankara, Türkiye.
- [15] Hayat, F. (2010). TRIP Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt No: 25, No:4, 701-712.
- [16] Aydın, H., Tuncel, O., Karpuz, M., Aydın, Ö. (2019). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan DP450 ve DP800 Saçlarında Deformasyon Hızının ve Haddeme Yönünün Çekme Özelliklerine Etkisi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(1), 323-335.
- [17] Gündüz, S. (2003). Kimyasal Bileşim ve Soğuma Hızının Arayer Atomu İçermeyen Mikroalaşım Çeliklerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16(1): 171-178.
- [18] Özakın, B., Kurgan, N. (2019). Temper Haddemede Pürüzlülük Transferini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesine Yönelik Bir Derleme Çalışması. International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering, 2: 67-78.
- [19] Güven, E. A. (2006). Metallerde Pekleşme Üstelinin Sünekliğe Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- [20] İşçi, C., İlk, M. E. (1999). Tek Kristal Sistemlerde Esneklik Özelliklerinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:1, Sayı: 3, s. 81-88.
- [21] Gündü, T. (2000). Derin Çekme Saçlarında Derin Çekilebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- [22] Manabe, K., Shimizu, T., Koyama, H., Yang, M., Ito, K. (2008). Validation of FE Simulation Based on Surface Roughness Model in Micro-Deep Drawing. *Journal Of Material Processing Technology*, 204, 89-93, DOI:10.1016/j.jmatprotec.2007.10.081.
- [23] Luo, L., Jiang, Z., Wei, D., Manabe, K., Zhao, X., WU, D., Furushima, T. (2016). Effect of Surface Roughness on Micro Deep Drawing of Circular Cups with Consideration of Size Effect. *Finite Elements in Analysis and Design* 111, 46-45.
- [24] Boljanovic, V. (2004) *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*, TS250.B8 15 671.8*234 – 22.
- [25] Golovashchenko, S, F. (2006). A Study on Trimming of Aluminium Autobody Sheet and Development of a New Robust Process Eliminating Burrs and Silvers. *International Journal of Mechanical Sciences* 48 1384–1400, DOI:10.1016/j.ijmecsci.2006.07.007

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Burak Mısırlı

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2012
Lise	Bahçelievler Lisesi	2005

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Ford Otomotiv A.Ş.	Mühendis
2012-2013	Polin Su Parkları A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce