T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV SÜSPANSİYON SİSTEMİNDE KULLANILAN SAC MALZEMELERİN YIRTILMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melih TUYAN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet DEMİRER

Ocak 2021

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV SÜSPANSİYON SİSTEMİNDE KULLANILAN SAC MALZEMELERİN YIRTILMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melih TUYAN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 19.01.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç. Dr. Ahmet DEMİRER	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Salim ASLAN	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Akın Oğuz KAPTI	BAŞARILI

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

Melih TUYAN

29/12/2021

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 Doç. Dr. Ahmet DEMİRER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca tüm olanakları sunan başta TEKNOROT yöneticilerine ve değerli Teknorot Kalıphane iş arkadaşlarıma, yardımlarını esirgemeyen eşim Hatice TUYAN ve beni bugünlere getiren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN ..... **i**
TEŞEKKÜR ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
KISALTMALAR ..... **v**
SİMGELER ..... **vi**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **vii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**

BÖLÜM 1. GİRİŞ **1**
1.1. Tezin Amacı 2
1.2. Literatür Araştırması 3
1.3. Hipotez 5

BÖLÜM 2. SAC MALZEMELER VE ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ **6**
2.1. Üretim Yöntemleri 6
2.2. Sac Metal Levhalar 7
2.3. Sac Metal Şekillendirme Yöntemleri 8
2.3.1. Kalıpta şekillendirme yöntemleri 8
2.3.1.1. Kesme-Delme 9
2.3.1.2. Bükme 11
2.3.1.3. Derin çekme 12
2.3.2. Şekillendirme Sınır Diyagramı 14
2.3.3. Şekillendirmede Oluşan Hatalar 17
2.3.3.1. Çapak ve çentik etkisi 17
2.3.3.2. Yırtılma, çatlama, kırışıklık ve aşırı incelme problemi 19

BÖLÜM 3. SÜSPANSİYON SİSTEMLERİ **21**
3.1. Süspansiyon Sistemi Çeşitleri 21
3.1.1. Sabit süspansiyon sistemi 21
3.1.1.1. Yaprak makaslı sabit süspansiyon 22
3.1.1.2. Bağlantılı tip sabit süspansiyon sistemi 22

3.1.1.3. Yatay kontrol rodlu sabit süspansiyon 23
3.1.2. Bağımsız süspansiyon sistemi 23
3.1.2.1. MacPherson süspansiyon sistemi 23
3.1.2.2. Çift salıncaklı süspansiyon sistemi 25
3.1.3. Aktif süspansiyon sistemi 26
3.2. Süspansiyon Sistemi Parçaları 27
3.2.1. Yaylar 28
3.2.2. Amortisörler 29
3.2.3. Rotiller 29
3.2.4. Viraj denge çubukları 30
3.2.5. Rot kolu - rot başı 31
3.2.6. Z ROT 32
3.2.7. Salıncak kolu 33

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 34
4.1. Sac Metal Malzemeler 34
4.1.1. Saclara ait kimyasal özellikler 34
4.1.2. Saclara ait Mekanik özellikler 35
4.1.2.1. Çekme testi 35
4.1.2.2. Sac malzemelere ait plaka sertlik değerleri 38
4.2. Yöntem 38
4.2.1. Analizi Çalışması 39
4.2.2. Üretim Süreci 43
4.2.2.1. S355MC kalite sac ile üretim 43
4.2.2.2. DD13 kalite sac ile üretim 51
4.2.2.3. DD11 kalite sac ile üretim 53
4.2.3. Numune Ömür Testi 55

BÖLÜM 5. SONUÇ VE TARTIŞMA 57
5.1. Sonuçlar 57
5.2. Öneriler 60

KAYNAKLAR 61

ÖZGEÇMİŞ 65

KISALTMALAR

HSS : High speed steel (Yüksek hız çeliği)

FLD : Forming limit diagram (Şekillendirme sınır eğrileri)

ASS : Austenitic stainless stell (Östenitik paslanmaz çelik)

PTFE : Polytetrafluoroethylene (Politetrafloraetilen)

DP : Dual phase steel (Çift fazlı çelik)

ASTM : American society for testing and materials (Amerikan test ve malzeme derneği)

ISO : International organization for standardization (Uluslararası standartlaştırma organizasyonu)

SEA : Sonlu elemanlar analizi

ŞSE : Şekillendirme sınır eğrisi

C : Karbon

Si : Silisyum

P : Fosfor

Mn : Mangan

Ti : Titanyum

Al : Alüminyum

Nb : Niobyum

V : Vanadyum

HRB : Rockwell b sertliği

HB : Brinell sertliği

BAM : Aluminum magnesium boride (Alüminyum magnezyum borit)

DLC : Diamond like carbon (Elmas gibi karbon)

SİMGELER

DR : Derin çekilebilirlik oranı

Db : Sıvanan çap

Dp : Sıvanacak çap

r : Redüksiyon

Pç : Pul çapı

t : Sac kalınlığı

R : Bükme radüsü

w : Bükme genişliği

α : Bükme açısı

V : Kesme hızı

F : Kesme kuvveti

c : Kalıp boşluğu

h1 : İlk derin çekme boyu

h2 : İkinci derin çekme boyu

h3 : Üçüncü derin çekme boyu

Bo : Çekme test numunesi genişliği

Lo : Çekme testi ilk ölçü uzunluğu

Lc : Çekme testi gövde uzunluğu

Lt : Çekme testi toplam uzunluk

Bl : Çekme testi çene tutma genişliği

Ro : Çekme testi kavis yarıçapı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 : Farklı kesme boşluğunun sac üzerindeki etkileri..... 8
Tablo 4.1 : Sac malzeme kimyasal özellikleri. 35
Tablo 4.2 : Çekme testi numune standartları 35
Tablo 4.3 : S355MC – DD13 – DD11 hadde yönü 0°çekme testi sonuçları. 36
Tablo 4.4 : S355MC – DD13 – DD11 hadde yönü 90° çekme testi sonuçları. 37
Tablo 4.5 : Plaka sacların sertlik değerleri..... 38
Tablo 4.6 : PTFE Yağlayıcının Özellikleri 47
Tablo 4.7 : Sacların sertlik değerleri. 53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Araçlarda kullanılan sac salıncak kolu. 2
Şekil 1.2 : Sac salıncak model tasarımı. 2
Şekil 2.1 : Yüksek fırın ürünlerine uygulanan haddeleme işlemleri 7
Şekil 2.2 : Kesme işlemi gerilme yönleri. 9
Şekil 2.3 : Kesme ve delme işlemi isimlendirme. 9
Şekil 2.4 : Kesme-delme işlemi safhaları. 10
Şekil 2.5 : Bükme işlemi. 11
Şekil 2.6 : Bükme işlemi basma ve çekme gerilmeleri. 11
Şekil 2.7 : Bükme ekseni hadde yönü. 12
Şekil 2.8 : Derin çekme. 13
Şekil 2.9 : Kademeli derin çekme. 14
Şekil 2.10 : Nakajima deneyi kesit görünümü 15
Şekil 2.11 : Sac malzemenin şekillendirilmesinde karşılaşılabilecek yük durumları 16
Şekil 2.12 : Ölçüm değerlerinin sınır eğrilerine çevrilmesi. 16
Şekil 2.13 : Kesme boşluğu. 18
Şekil 2.14 : FLD eğrisinin yorumlanması. 19
Şekil 2.15 : Fırında ısıtılarak ve elektrik ile doğrudan ısıtma yöntemi. 20
Şekil 3.1 : Yaprak makas yaylar. 22
Şekil 3.2 : Bağlantılı tip sabit süspansiyon sistemi. 22
Şekil 3.3 : Yatay kontrol rodlu sabit süspansiyon. 23
Şekil 3.4 : MacPherson süspansiyon sistemi 24
Şekil 3.5 : MacPherson süspansiyon sistemi elamanları. 24
Şekil 3.6 : Çift salıncak süspansiyon sistemi. 25
Şekil 3.7 : Kamber pozisyonları. 25
Şekil 3.8 : Aktif süspansiyon sistemi. 26
Şekil 3.9 : Araca etki eden kuvvetler. 27
Şekil 3.10 : Kötü yol koşullarında aracın hareketi. 27
Şekil 3.11 : Süspansiyon sisteminde bulunan elemanlar. 28
Şekil 3.12 : Çift tesirli amortisör kesit görünümü. 29
Şekil 3.13 : Rotil. 30
Şekil 3.14 : Viraj denge çubuğu. 30
Şekil 3.15 : Rot kolu ve rot başı. 31
Şekil 3.16 : Z ROT. 32
Şekil 3.17 : Alüminyum dövme sac salıncak kolu. 33
Şekil 3.18 : Çift salıncaklı süspansiyon sisteminde bulunan dövme alüminyum üst salıncak. 33
Şekil 4.1 : Çekme testi numunesi. 35
Şekil 4.2 : Gerilim-Gerinim grafiği. 36
Şekil 4.3 : Gerilim-Gerinim grafiği. 37
Şekil 4.4 : Sac salıncak üretim prosesi. 39

Şekil 4.5 : a. S355MC kalite sac ilk geometri, b. DD13 kalite ilk geometri, c. DD11 kalite sac ilk geometri. 40
Şekil 4.6 : Yırtılma bölgesi formlu bölge ölçüleri. 41
Şekil 4.7 : Yırtılma bölgesi ilk geometriye ait açılar. 41
Şekil 4.8 : a. İlk geometri, b. Düzeltilmiş geometri. 42
Şekil 4.9 : a. S355MC gerilmeler azaltılmış geometri, b. DD13 gerilmeler azaltılmış geometri, c. DD11 gerilmeler azaltılmış geometri. 42
Şekil 4.10 : a. S355MC kalite sac üretilmeyen geometri FLD diyagramı, b. S355MC kalite sac yırtılma azaltılmış üretilen geometri FLD diyagramı. 43
Şekil 4.11 : S355MC kalite sac yırtılma azaltılmış üretilen geometri. 43
Şekil 4.12 : S355MC kalite sac AUTOFORM çıktısı. 44
Şekil 4.13 : Şablon yırtılan bölge. 44
Şekil 4.14 : Kauçuk yumuşak tip parlatma lastiği. 45
Şekil 4.15 : Parlatma öncesi. 45
Şekil 4.16 : Parlatma sonrası. 45
Şekil 4.17 : a. Çentik etkisi giderilmemiş S355MC üretim, b. Çentik etkisi giderilmiş - parlatılmış S355MC üretim. 46
Şekil 4.18 : S355MC kalite sac çentik etkisi giderilmiş ve teflon film ile üretilmiş parça. 46
Şekil 4.19 : PTFE kullanım şekilleri. 48
Şekil 4.20 : S355MC kalite sac bölgesel ısıtma. 48
Şekil 4.21 : S355MC kalite ısıtılmamış sac mikro yapı. 49
Şekil 4.22 : S355MC kalite ısıtılmış bölge sac mikro yapı. 49
Şekil 4.23 : S355MC kalite sac bölgesel ısıtma ile üretilen parça. 50
Şekil 4.24 : S355MC kalite sac bölgesel ısıtma, parlatma ve teflon film ile üretim. 50
Şekil 4.25 : a. DD13 kalite sac üretilmeyen geometri FLD diyagramı, b. DD13 kalite sac yırtılma azaltılmış üretilen geometri FLD diyagramı 51
Şekil 4.26 : DD13 kalite sac ara operasyonsuz üretim 51
Şekil 4.27 : DD13 kalite sac parlatma ve teflon film ile üretim. 52
Şekil 4.28 : a. DD11 kalite sac üretilmeyen geometri FLD diyagramı, b. DD11 kalite sac yırtılma azaltılmış üretilen geometri FLD diyagramı 53
Şekil 4.29 : DD11 Kalite sac işlemsiz boyun verme 53
Şekil 4.30 : DD11 Kalite sac parlatmalı 54
Şekil 4.31 : Ömür testi cihazı. 55
Şekil 4.32 : Tek eksen yükleme prosesi. 56
Şekil 4.33 : Yük ve konum grafiği. 56
Şekil 5.1 : Üretim süreci ara operasyon tanımlaması. 56

OTOMOTİV SÜSPANSİYON SİSTEMİNDE KULLANILAN SAC MALZEMELERİN YIRTILMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Yapılan bu çalışmada otomotiv süspansiyon sistemine ait sac salıncak parçasının yan sanayinde kullanılan DD11 – DD13 – S355MC kalite saclarını ele alarak yırtılma davranışları incelenmiş, yırtılmanın engellenmesi adına üretim hattında minimum maliyet ile en kısa sürede çözüm elde edilmek istenmiştir.

Bu kapsamda çalışma TEKNOROT A.Ş. ile yürütülmüştür. Üretimi olan bir sac salıncak parçasının piyasada yan sanayi bazında en sık kullanılan üç farklı sac belirlenmiş ve yırtılma risk faktörü yüksek olan sac salıncak parçası üzerinde teorik analiz ve deneysel çalışmarı yapılarak karşılaştırılmıştır.

Çalışmada bir binek araca ait sac salıncak parçasının analizlerinde yırtılma problemi ile karşılaşılmıştır. Problemi çözmek için yan sanayinin verdiği belirli sınırlar çerçevesinde geometride düzenlemeler yapılmış, AUTOFORM programı ile analiz edilerek yırtılma riski düşürülmüştür. Uygulanan geometri değişikliğinin üstüne farklı malzeme seçimine gidilerek (DD11-DD13), yırtılan bölge diğer iki farklı sac ile mukayese edilmiştir. Yırtılmanın tam anlamı ile çözülmemesinin ardından üretim prosesinde değişikliğe gidilmiştir.

Yırtılmanın giderilmesi için ilk olarak yırtılma bölgesine ait et kalınlığındaki çentik etkisinin giderilmesi ile üç farklı sac ile üretim gerçekleştirilmiş, DD11 malzemesi için yırtılma hasarı giderilirken, DD13 ve S355MC için yırtılma hasarının devam ettiği görülmüştür. Sürtünme etkisinin azalması ile yırtılma probleminin çözülmesi hedeflenerek katı yağlayıcı PTFE teflon film kulanılmış olup DD13 ve S355MC için üretimde denemeler yapılmıştır. DD13 malzemesinde partlatma ve yağlayıcı kullanımı ile yırtılma hasarı giderilirken S355MC için yırtılma hasarının ciddi oranda azaldığı görülmüştür. S355MC malzeme için çözüm olarak ilk kalıplamaya girmeden önce yırtılma hasarı oluşacak bölgenin şablon halinde iken ısıl işlem uygulayarak malzeme iç yapısının kararlı hale gelmesi hedeflenmiştir. S355MC malzemeye sırası ile şablon halinde ısıl işlem uygulanmış, çentik etkisine karşı parlatma işlemi ve kalıpta bükme anında sürtünmeye karşı katı yağlayıcı teflon film ile numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimde numunelerde boyun verme ya da yırtılma hasarı tespit edilmemiştir.

Numunelerin servis şartlarında yani gerçek ortamda kullanılmaları esnasında hasar görüp görmeyeceğinin belirlenmesi için bütün numuneler son aşamada yorulma testine tabi tutulmuştur. Yorulma test şartları otomotiv süspansiyon sistemine etki eden 4 Hz frekans ve 45° açı ile ±380 kgf çevrim yükü altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan test sonucunda elde edilen ürünler, standart şartnamede kritik değer olan 500.000 döngüyü çatlama ve yırtılma hasarı görülmeden tamamlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Sac metal, Yırtılma, Çentik etkisi, DD11, DD13, S355MC.

EXAMINATION OF TEAR BEHAVIOR OF SHEET MATERIALS USED IN AUTOMOTIVE SUSPENSION SYSTEM

SUMMARY

Today, there are more than one suspension system for passenger cars. The suspension system is to isolate the person or objects traveling in the vehicle from the unwanted elements on the road without losing control of the driving and at the same time to keep the contact between the wheel and the road at the maximum level. In general, the aim is to gain a comfortable and safe driving experience.

In the suspension system, the wishbone arm is connected to the chassis with two bushings and provides up and down oscillation, while the opposite end is a system product that allows the wheel to be steered by connecting to the front wheel by means of ball joints.

Sheet metals are easy to manufacture, fast to supply and most importantly lightweight in the automotive industry, offering a wide range of uses. In this context, it has a wide and widespread use in automotive suspension systems.

In this study, the tear behavior of the automotive suspension system's sheet metal wishbone part, which is used in the sub-industry of DD11 - DD13 - S355MC quality sheets, has been examined, and some solutions have been implemented to prevent tearing. These solutions will both reduce the cost in the production line and provide time advantage.

Experimental studies were carried out with ERDEMİR 6222 quality sheet for DD11 standard product, ERDEMİR 6224 quality sheet for DD13 standard product and ERDEMİR 4936 quality sheet for S355MC standard product.

Experimental studies TEKNOROT A.Ş. it was carried out in-house. Three different sheets of the most frequently used sheet metal wishbone part in the market were determined and compared with theoretical analysis and experimental studies on the sheet wishbone piece with high tear risk factor.

Finite element software is widely preferred for the detection of errors encountered in production. By detecting the unit shape changes on the surface and processing the material inputs into the finite element module of the forming limit curves (FLD), it makes it possible to detect early production errors. In this context, AUTOFORM program was preferred as the finite element module used in the study.

Forming limit curves (FLD) are currently used in sheet metal forming processes. The determination of these curves is obtained by subjecting the material to several series of tests. By introducing the correct material card to the finite element software with the obtained data, the detection of errors and defects in the study is seen long before.

In the study, in the analysis studies performed with the help of Autoform software program of the S355MC quality sheet metal wishbone part belonging to a passenger

vehicle, critical areas that will be subject to tearing were determined, some improvements were made in geometry and the risk of tearing was reduced. After the applied geometry change, different material selection was made and DD11 and DD13 sheet materials were used. The torn area was compared with the other two different sheets, and some changes were made in the production process after the tear was not completely resolved.

Factors affecting the tearing are mainly due to the material characteristics, mainly the forming ability; notch effect and friction coefficient.

In order to eliminate the tearing damage, as the next step, the regional polishing process was carried out to remove the notch effect on the press cutting surface of the tear zone. Rubber-based soft type finishing polishing rubber is used in the polishing operation. While the tear damage was eliminated for DD11, it was observed that the tear damage continued in the form of necking in DD13. For the S355MC material, it was observed that the tear damage was decreased.

In DD13 and S355MC materials where tearing damage continues, mold lubricant is used in order to reduce the friction effect between the punch and the sheet material, theoretically to solve the tearing problem. PTFE (Polytetrafluoroethylene) teflon film is preferred as mold maker. PTFE teflon film is a material with a very low friction coefficient and high chemical and physical properties among solid lubricants. While the tear damage of DD13 material was eliminated in the production, it was observed that the tear damage for the S355MC was significantly reduced. As a solution for the S355MC material, it is aimed to stabilize the internal structure of the material by applying heat treatment to the area where tear damage will occur before the first molding.

S355MC material was heat treated as a template, respectively, polishing process against notch effect and production of samples with solid lubricant teflon film against friction during bending in the mold. Necking or tearing damage was not detected in the samples during production.

All samples were subjected to a fatigue test at the last stage in order to determine whether the samples would be damaged during service conditions, that is, during their use in the real environment. Fatigue test conditions were carried out under ± 380 kgf cycle load with 4 Hz frequency and 45 ° angle affecting the automotive suspension system. The products obtained as a result of the test have completed 500,000 cycles, which is a critical value in the standard specification, with defined test parameters. As a result of the fatigue test, it was determined that no cracking and tearing damage was observed in the shaped samples.

Keywords: Sheet Metal, Tear, Notch Effect, DD11, DD13, S355MC.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Otomotiv süspansiyon sistemleri konforlu ve emniyetli bir sürüş için geliştirilmiş araçlarda hareket mekanizmasına bağlı yönlendirici bir sistemdir. Hata payının minimum olduğu otomotiv sektöründe araçlarda bulunan en kritik bölümlerin başında gelmektedir. Bu kritik sistemin işlevini doğru bir şekilde yerine getirmemesi halinde ciddi can ve mal kayıpları meydana gelmektedir.

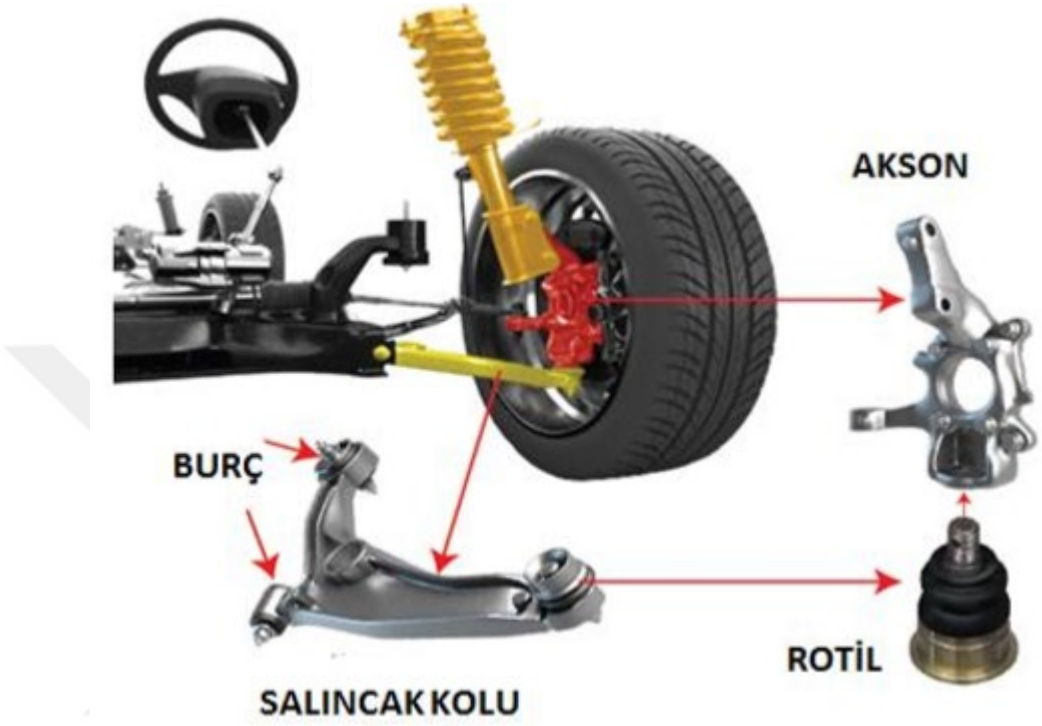
Son kullanıcı olarak araçlarımızda kullanılan ürünleri yıpranması veya işlevini yerine getirmemesi halinde orijinal ekipman gün geçtikçe bulunması güç ve yüksek maliyet gerektiren parçalar haline gelmektedir. Bu neticede kullanıcılar alternatif olarak muadil ürünleri tercih etmektedir.

Yeryüzündeki artan teknolojik çalışmalar, her alanda gelişmelere ve rekabetin artmasına sebep olmakta. Artan bu rekabet koşullarına ayak uydurmak adına üretim yapan firmalarda en kısa sürede ve en kaliteli ürünü elde etmek durumundalardır. Orjinal ekipman üreticilerinin yanı sıra yan sanayi üretim yapan firmaların rekabet koşulları giderek artmaktadır. Kısıtlı üretim sayılarından dolayı yan sanayinin, orijinal parçaya ait üretim metodolojisini kullanamadığından üretimde karşılaşılan zorluklar kapasiteyi düşürmektedir.

Son kullanıcının yan sanayi üründen beklentisi ağırlık olarak orijinal ürün olarak görsel benzerliğidir. Son kullanıcı olarak kritik değişkenlerin (malzeme, ölçü, ömür testleri vb.) önemi bilinmesede hayati önem taşımaktadır. Bu değişkenler neticesinde ilgili parçalar işlevini yerine getirmemesinden kaynaklı can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Yan sanayi üreticileri bu parametreler dahilinde orijinal ekipmana uygun ürünü elde etmek adına, kullanıcı isteklerinin en önemlisi “benzerlik” dışına mümkün mertebe çıkmadan üretim yapmak ve kaliteden ödün vermemek için çalışmalar yapmaktadır.

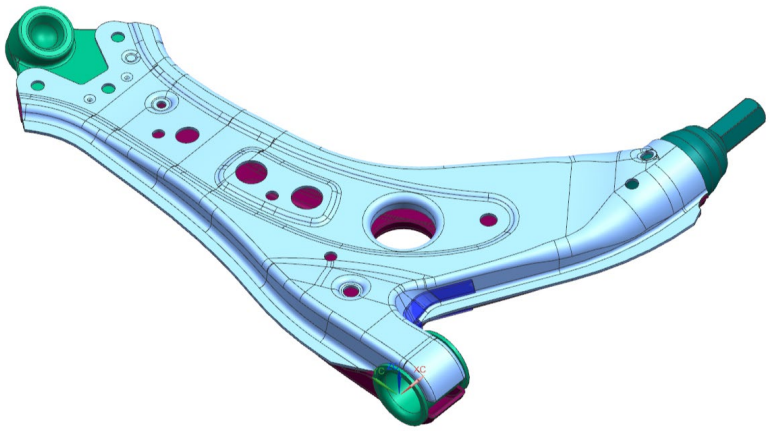
1.1. Tezin Amacı

Çalışma kapsamındaki sac salıncak; tekerlek ile şasi arasındaki titreşimi minimuma indirmek, konforlu ve emniyetli bir sürüş deneyimi kazanmak adına sac metal şekillendirme metodu ile üretimi gerçekleştirilen bir üründür (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Araçlarda kullanılan sac salıncak kolu

Bu çalışmada, süspansiyon sisteminin bir parçası olan Şekil 1.2' de belirtilen sac salıncak ürününün, yan sanayi üretiminde, değişken sac malzemelerinde (S355MC - DD13 – DD11) oluşan yırtılma problemlerinin giderilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1.2 : Sac salıncak model tasarımı

Çalışma, yan sanayi ürünlerin; orjinal ekipmana olan benzerliğinin dışına, belirli şartlar çerçevesinde çıkabilmektedir. Üretimde meydana gelen yırtılma probleminin çözümü zaman zaman farklı sac malzeme seçimi ile gerçekleşmektedir. Problemin devam etmesi halinde alternatif yol arayışına gidilmesi gerekebilmektedir. Yırtılma probleminin giderilmesi üretim maliyetini arttırmadan ve en hızlı şekilde çözmek adına yapılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Zhutao ve arkadaşları sıcak presleme koşullarında alaşımların şekillendirilebilirliğini incelemek için bir tür fiziksel tabanlı viskoplastik hasar oluşturma modeli geliştirilmiş, sonucunda AA6082'nin malzemesinin yüksek sıcaklıkta yüksek şekillendirilebilirlik sergilediğini gözlemlemiştir.[1]

Vishwajeet R.S. ve Uday A.D. düşük karbonlu çeliklerde FLD'nin geliştirilmesi için yapılan deneyler sonucunda, FLD eğrisinin altındaki ve üstündeki olası tüm kombinasyonları deneysel incelemiş eğrinin doğruluğunu ispat etmiştir. [2]

Naoko ve arkadaşları 980 MPa dayanımlı bir HSS çelik sacın geri yaylanma davranışını farklı sıcaklıklarda ve farklı şekillendirme hızları altında, V ve U büküm koşullarında değerlendirmiş, yüksek sıcaklık ve düşük şekillendirme hızı ile elde edilen verilerde geri yaylanmanın ciddi derecede azaldığını kanıtlamışlardır. Tüm bunların yanında şekillendirmenin son aşamasında zımbanın birkaç saniye boyunca yükte bırakmanın stres gevşemesi nedeniyle geri yaylanmayı azaltmak için etkili olduğunu belirtmişlerdir. [3]

Giulia ve arkadaşları yüksek mukavemetli çeliklerin sıcak şekillendirilmesinde istenilen mekanik özellikleri elde etmek için mikroyapıdaki faz değişimlerini kontrol etmiştir. 22MnB5 malzemesinin östenitleşme sıcaklığı, test sıcaklığı ve şekillendirme hızı ile mekanik ve mikro-yapısal özelliklerini kontrol ederek mekanik özelliklerinde büyük ölçüde iyileşme gerçekleştirmişlerdir. [4]

Lade ve arkadaşları ASS-304 malzemesinin derin çekilebilirliğini farklı sıcaklık ve farklı şekillendirme hızları altında incelemiştir. ASS-304 çeliğinde denemelerde yüksek sıcaklıktan dolayı martenzit fazının ortaya çıktığını ve tane incelmesi meydana geldiğini izlemlemiş. [5]

Cunsheng ve arkadaşları modifiye edilmiş bir Lin-Voce modelini, Marciniak testinin sayısal simülasyonu ile birleştirerek AA5086 kalite sacın formabilitesi üzerindeki sıcaklık ve gerinim oranı etkilerini araştırmak için yöntem önerilmiştir. Şekillendirme sıcaklıklarının, sınır eğrilerinin oluşturma üzerine olumlu etkilerinin olduğunu gözlemlemiştir. [6]

Ömer ve arkadaşları alüminyum alaşım AA5754 malzemesinin farklı sıcaklıklardaki şekillendirme kabiliyetini bir FLD modeli üzerinden deneysel çalışmalarının yansıtılması ile sonlu elemanlar modüllüne entegre etmiş, sıcaklığın düşüşü ile şekillendirme kabiliyetinin azaldığı ve şekillendirme hızınn düşüşü ile şekillendirme kabiliyetin arttığını gözlemlemiştir. [7]

Lade ve arkadaşları östenitik paslanmaz çelik (ASS) -304'ün sıcak koşullar altında derin çekilebilirliğini incelemiş; çekme boyunun arttığını, şekillendirilebilirliğinin arttığını ve kuvvet eğrisinde sıcaklıktan dolayı bir azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.[8]

Şen ve arkadaşları ılık derin çekme prosesinde yağlayıcı etkisinin şekillendirilebilirlik açısından deneysel araştırılmasını gerçekleştirmiş, yağlayıcı olarak grafit sprey ve teflon (PTFE) film ile yaptığı çalışmalarda sürtünme kuvvetinin azaldığını ve şekillendirilebilirliğn arttığını tespit etmişlerdir. [9]

Jürgen Herrmann ve Marion Merklein alüminyum AA6014 malzemesinin farklı sıcaklıklarda bölgesel ısıl işlem uygulanmasının şekillendirmeye etkilerini araştırmıştır. Belirli sıcaklık aralıklarında ısıl işlem sonrasında MgSi çökeltilerinden kaynaklı tane boyutundaki değişimleri incelemiş, homojen uzama ve mukavemet artışını 500°C üzerinde etkili olduğunu deneysel incelemiştir.[10]

Parnika Shrivastava ve Puneet Tandon AA1050A malzemesinin farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulyarak malzeme yapısındaki tane boyutunun sıcaklık arttıkça arttığını, sertlik ve akma mukavemetinin azalma göstermesi ile plastisite ve süneklikte artış olduğunu gözlemlemişlerdir.[11]

Kahrimanidis ve arkadaşları 6000 serisi AA6014 alüminyum malzemesinin kısa süreli bölgesel ısıtmanın farklı ısıtma yöntemleri ile malzeme üzerindeki mekanik değişimleri incelemiştir. Çalışmada ısıtma hızının ve sıcaklık dağılımını etkileyen proses farklılıklarının önemini vurgulamış, bölgesel ısıtmanın yeniden kristalleşme üzerindeki etkilerinden şekillendirilebilirliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir.[12]

Eun-Ho Lee ve arkadaşları çift fazlı DP 980 malzemesinin bölgesel ısıtılmasının geri yaylanma üzerindeki etkilerini deneysel incelemiş, sıcaklık artışının geri yaylanma üzerindeki olumlu etkilerini sonlu elemanlar yöntemi tahminini yapmışlardır.[13]

Merklein ve arkadaşları alüminyum alaşımlı AA6016 malzemesinin derin çekilebilirliğini arttırmak adına yırtılma bölgesi ve çevresini lazer ısıl işlem ile lokal olarak ısıtmış ve akma dayanımını önemli ölçüde azaltarak şekillendirilebilirliği önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.[14]

Gavas ve arkadaşları silindirik kapların derin çekilebilirliğinin artmasında sürtünme etkisi üzerinde farklı çalışmalar yapmış, çok noktalı baskı plakası ve hava etkili baskı plakası kullanarak sürtünme etkisinin azaltılması ile çekme oranlarının artırıldığı görülmüştür.[15-16]

1.3. Hipotez

Bu çalışmada literatürde farklı malzemeler ve farklı prosesler için denenmiş olan bölgesel ısıl işlem uygulamanın malzeme üzerindeki tane boyutunun etkisi ile akma mukavemetinin azaltılması, şekillendirilebilirliği arttırıp yırtılmanın giderilmesi incelenmiştir. Alternatik olarak sürtünme ve çentik etkisinin yırtılma üzerindeki olumsuz etkilerinin giderilmesi için kalıp yağlayıcıları ve bölgesel parlatma yapılarak yırtılmanın azaltılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2. SAC MALZEMELER VE ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

Gün geçtikçe artan rekabet koşulları sebebiyle, üretimde ekonomik ve pratik oluşun ön planda tutulduğu günümüz teknolojisinde sac metaller; döküm, dövme ve talaşlı imalatın yerini almaktadır. Bunun sebebi kalıplama yoluyla üretilen parçaların ucuzluğu, teknik ve estetik parametrelerinin kolay kontrol edilebilir olmasıdır. Ağır gösterişli ve karmaşık ürünlerin üretiminden ziyade fonksiyonel, basit ve kullanışlı parçaların tercih edilmesi üretimde bu değişime yönelmeyi tetiklemiştir.

2.1. Üretim Yöntemleri

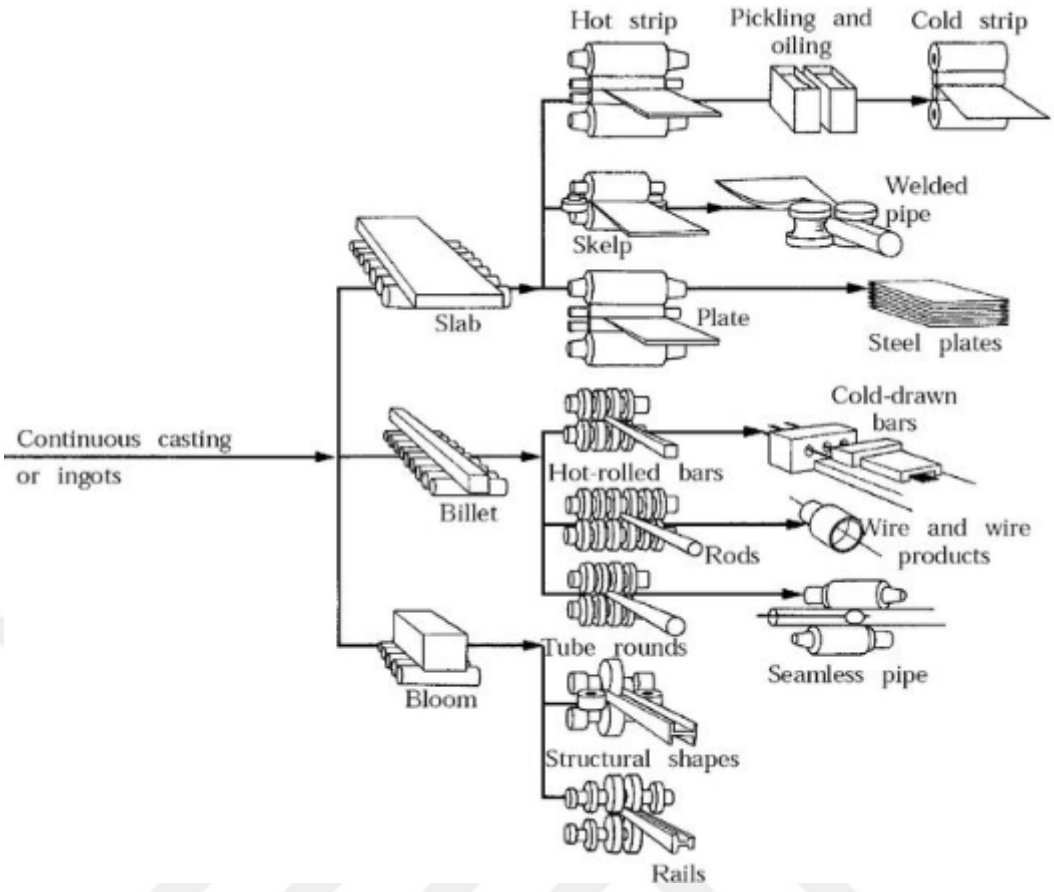
Modern teknolojide çok yönlü bir üretim şekli olan sac malzemeler ve kalıp yapımında kullanılan çelik malzemelerin hepsinin başlangıcı yüksek fırından elde edilen dökümdür. Daha sonra istenilen ürünleri elde etmek adına kütük demir haline getirilirler. Yüksek fırının ana ürünleri; İngot, slab, billet, bloom olarak elde edilmektedir (Şekil 2.1).

İngot: Daha sonra haddeleme ve dövme yoluyla işlenmek üzere ergitilmiş çeliğin kalıba dökülmesi ile büyük dikdörtgen kesitli olan kütüktür. Daha sonra haddelenerek bloom billet ve slab haline getirilir. Sürekli döküm prosesi kullanımının artmasıyla ergitilmiş çelik günümüzde daha çok bloom ve billet şeklinde dökülür.

Slab: Genişliği 250’mm den ve kesiti 105’cm2 den büyük yarı mamül olarak haddelenmiş düz biçimli çelik kütüktür.

Billet: Haddeleme yoluyla çeşitli kesitlerdeki çubuk üretmek için kullanılan bir üründür.

Bloom: İngottan sıcak haddeleme yoluyla üretilen geçiş kare kesitli, ingot ve billet arasında ara ürün olarak kullanılan yarı mamül bir çelik kütüktür.



Şekil 2.1 : Yüksek fırın ürünlerine uygulanan haddeleme işlemleri (Amerikan demir çelik ens.).

2.2. Sac Metal Levhalar

Sac metal levhalar, dikdörtgen kesitli slab'ın soğuk ve sıcak haddelenmesi yöntemiyle elde edilen kısaca sac olarak isimlendirilir.

Sac; kalınlıkları günümüzde özel üretim tesislerinde 0,4 mm kalınlığında başlayıp 7 mm ye kadar çıktığı görülmektedir. Sanayi de 7 mm üzeri ebatlarında kütük çelik (plate) olarak isimlendirme tercih edilmektedir. Uzunluğu ve genişliği kalınlığına göre oldukça fazla olan düz haddelenmiş, kalınlığı belli toleranslar içinde levhanın heryerinde aynı üretilen metallerdir. Üretim prosesine göre ise saclar sıcak ve soğuk haddelenmiş saclar olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir. Standart uygulamada kalın saclar (>3mm) sıcak, ince saclar soğuk haddelenmektedir. Bununla beraber orta kalınlıktaki saclar (1,5-3mm) her iki yöntemle de üretilebilirler. [17]

2.3. Sac Metal Şekillendirme Yöntemleri

Metalik malzemelerin plastik şekil değiştirmesi en genel olarak belirli düzlemlerde ve doğrultularda atomların kayması ile gerçekleşir. Kaymanın kolaylıkla olmadığı durumlarda ise şekil değiştirmeye ikizleme katkıda bulunur. Metalik malzemelerin şekil değiştirme mekanizmaları; kayma, ikizlenme, tane sınırlarının kayması, yayınma sürünmesidir. Metalik malzemelerin elastik veya plastik şekil değişimine karşı direnci atomlar arasındaki bağ kuvvetlerinden ileri gelmektedir.[18]

Geniş şekillendirme yelpazesine sahip olmasının büyük avantajı ile hemen hemen her sektörde önemli yer kaplayan sac malzemelerin üretim yöntemleri: Haddeleyerek şekillendirme, gererek şekillendirme, derin /sığ çekme, presleme, kauçukla şekillendirme, sıvama, super plastic şekillendirme, yüzey çekiçleyerek şekillendirme, patlama ile şekillendirme, elektromanyetik şekillendirme gibi özel prosesler ile üretimi mevcuttur.[19]

Şekillendirme amaclı imal edilen sıcak veya soğuk haddelenmiş rulo ya da plaka halindeki saclar, hidrolik ve eksantrik presler kullanılarak, çeşitli sektörlerde kullanılmak üzere farklı kompleks geometrilerde parçalar şekillendirilmektedir.

Genel olarak bilinen kalıpta şekillendirme işlemi presleme işlemi olarak nitelendirilebilir. Progresif, tandem ve transfer kalıp şekilleri genel olarak tercih edilir.

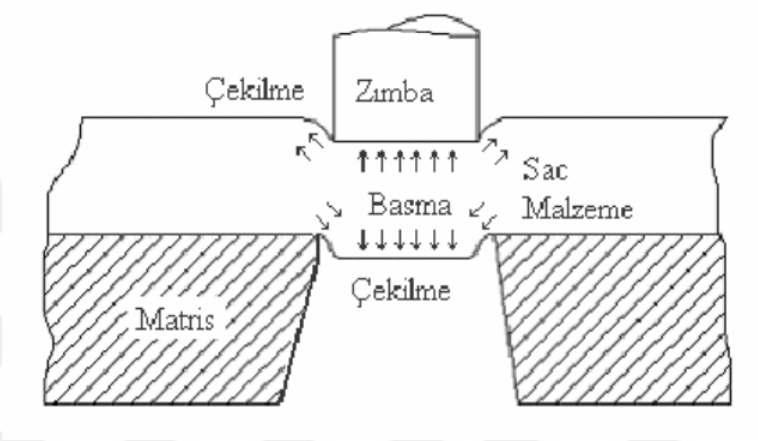
Şekillendirme sırasında oluşan gerinim doğru ve sac kalitesine uygun planlı bir şekilde uygulanmadığında, gerinim dağılımlarından kaynaklı malzemede yırtılma, incelme, boyun verme, çapaklanma, kırışıklık (buruşma) ve çatlama gibi problemleride beraberinde getirmektedir.

2.3.1. Kalıpta şekillendirme yöntemleri

Kalıplamaya uygun geometriler dahilinde her sektörde kullanılmakta olan kalıp ile şekillendirme genel olarak; kesme, bükme, sıvama, delme, şişirme, derin çekme gibi operasyonların birleşimi ile elde edilen son geometrinin oluşmasını hızlı bir şekilde sağlayan prosestir.

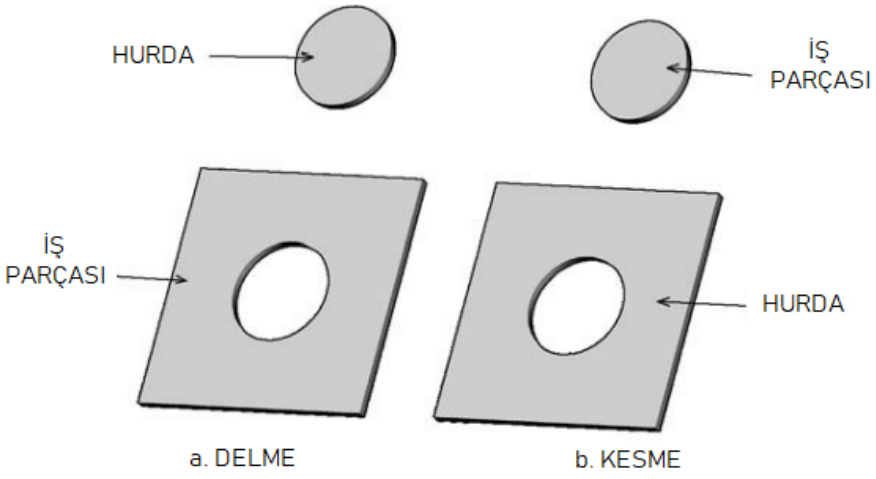
2.3.1.1. Kesme-Delme

Kesme-delme olayı sacın elastik deformasyonu aşıp plastik deformasyona maruz kalması ile elde edilir. Kesme anında malzemede Şekil 2.2'de görülen gerilmeler meydana gelir. Atomlar arası bağların kuvvetine ve atomların dizilişine göre malzemenin sertliği değişmekte olup, kesmeye karşı gösterdiği direncin büyüklüğünü malzemenin sertliği diye tabir ettiğimiz kesme gerilmesi belirler. Atomlar arasındaki bağ kuvveti aşılarak malzeme istenilen yerden kesilir.[20]



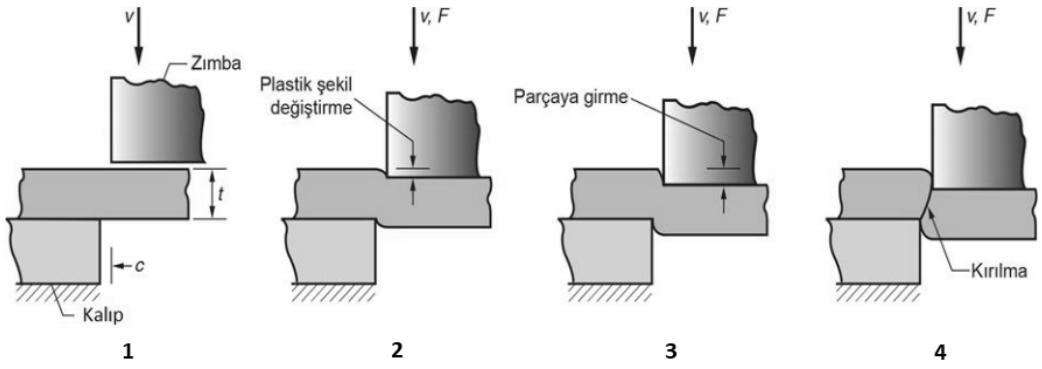
Şekil 2.2 : Kesme işlemi gerilme yönleri.

Kesme ile delme arasındaki temel fark; kesmede düşen parça hurda olup kalıpta kalan parça iş parçası olarak tanımlanırken (b), delmede ise düşen parça hurda olup iş parçası kalıpta kalmaktadır (a).



Şekil 2.3 : Kesme ve delme işlemi isimlendirme. [20]

Kesme-delme işlemi sırasıyla elastik deformasyon safhası, plastik deformasyon safhası (batma), kesilme safhası ve kopma safhası olarak dört aşamadan meydana gelmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Kesme-delme işlemi safhaları. [20]

1 Elastik deformasyon safhası:

Zımba ve sac malzemenin teması ile sac malzeme elastik sıkışmaya, çekmeye ve eğilmeye maruz kalır. Bu noktada elastik deformasyon limitini aşmadan zımba kaldırıldığında malzemede herhangi bir deforme söz konusu değildir.

2 Batma (Plastik deformasyon) safhası:

Zımbanın sac malzemeyi sıkıştırması ile sacın kesme boşluğuna "c" (Şekil 2.3) yığılması ile deformasyon bölgesindeki gerilmelerin artması ve sac malzemenin akma gerilmesi limitini aşması sonucunda malzemeye kalıcı deformasyon bırakmaya başladığı ilk noktadır.

3 Kesilme safhası:

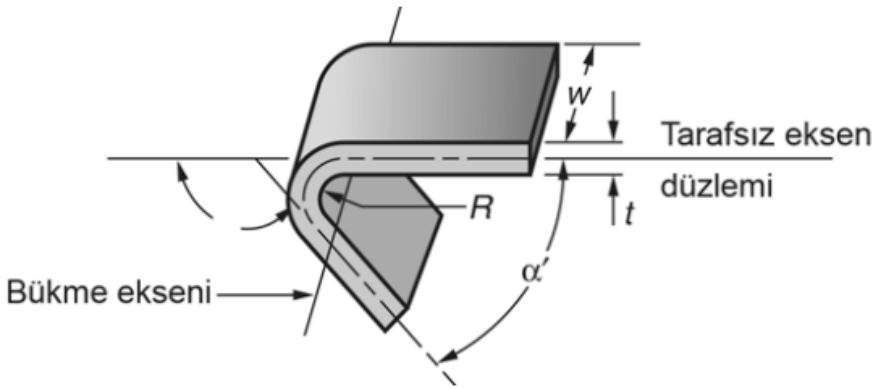
Zımba malzemeyi kesme boşluğuna yığarak kesme kenarında oluşan gerilmeleri arttırır. Sacın alt kısmı kalıptan yavaş yavaş çıkarken bu esnada çekme gerilmesi ve eğilme momenti artmaya devam eder. Kesme kenarı etrafında çatlaklar oluncaya kadar kesme kuvveti artmaya devam eder.

4 Kopma safhası:

Kesme kenarında çatlakların oluşması ile başlayan kopma safhasında lokal kaymalar ile çatlakların ilerleyerek birleşmesi ile kopma safhası tamamlanır ve malzeme ayrılır. Metallerdeki kopma genelde sünek olarak meydana gelir, gevrek kopma çok nadirdir.

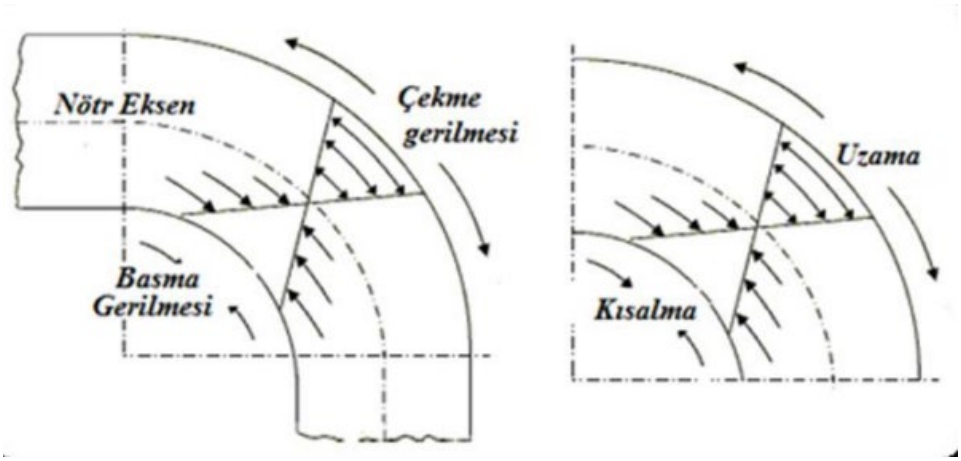
2.3.1.2. Bükme

Basit şekillendirme işlemlerinden biridir. Bükmede sac malzemenin tarafsız ekseni etrafında eğilen sac çekme ve basma gerilmeleri altında plastik deformasyona uğramasıyla oluşur. Yük kalktıktan sonra şekil değişiminin elastik deformasyon kısmı geri yaylanmaya neden olur.[21]



Şekil 2.5 : Bükme işlemi.

Bükme işlemi esnasında zımba sac malzeme üzerinden kaldırıldığında sac malzemenin iç kısmında basma, dış kısmında ise çekme meydana gelir. Çekme ve basma gerilmelerinin birbirinden ayıran çizgiye nötr eksen (tarafsız eksen) denir. Bükmenin çekilmeye çalışan tarafında malzeme incelmesi, basılmaya çalışan tarafta ise kalınlaşma görülmetedir. Basılmaya çalışan taraftaki malzeme direnci, çekilmeye çalışan taraftaki malzeme direncinden daha hızlı olarak oluşur ve sonuç olarak çekmede malzeme direnci düşer. Bu sebeple plastik akmanın büyük kısmı bükmenin çekilme tarafında meydana gelir. Bu durum tarafsız eksenin, bükmenin basılmaya çalışan tarafına doğru kaymak istediğini de belirtir.[21]



Şekil 2.6 : Bükme işlemi basma ve çekme gerilmeleri.

Sac haddeleme yönünün bükme üzerine etkisi

Rulo olarak üretilen sac metallerde hadde yönü daima rulonun uzun kenarına paraleldir. Ancak levha olarak üretilen saclarda haddeleme yönü değişkenlik gösterebilir. Bu bakımdan üretilen parçaların hadde yönünün bilinmesi oluşacak problemleri erkenden giderilmesi bakımından oldukça önemlidir.

Bükme ekseninin hadde yönüne paralel olması durumunda bükme kenarının dışında çatlaklar oluşması söz konudur (Şekil 2.7). Bu çatlakların oluşmaması için hadde yönüne mümkün mertebe dik yada açılı kalacak şekilde yerleştirilmelidir.



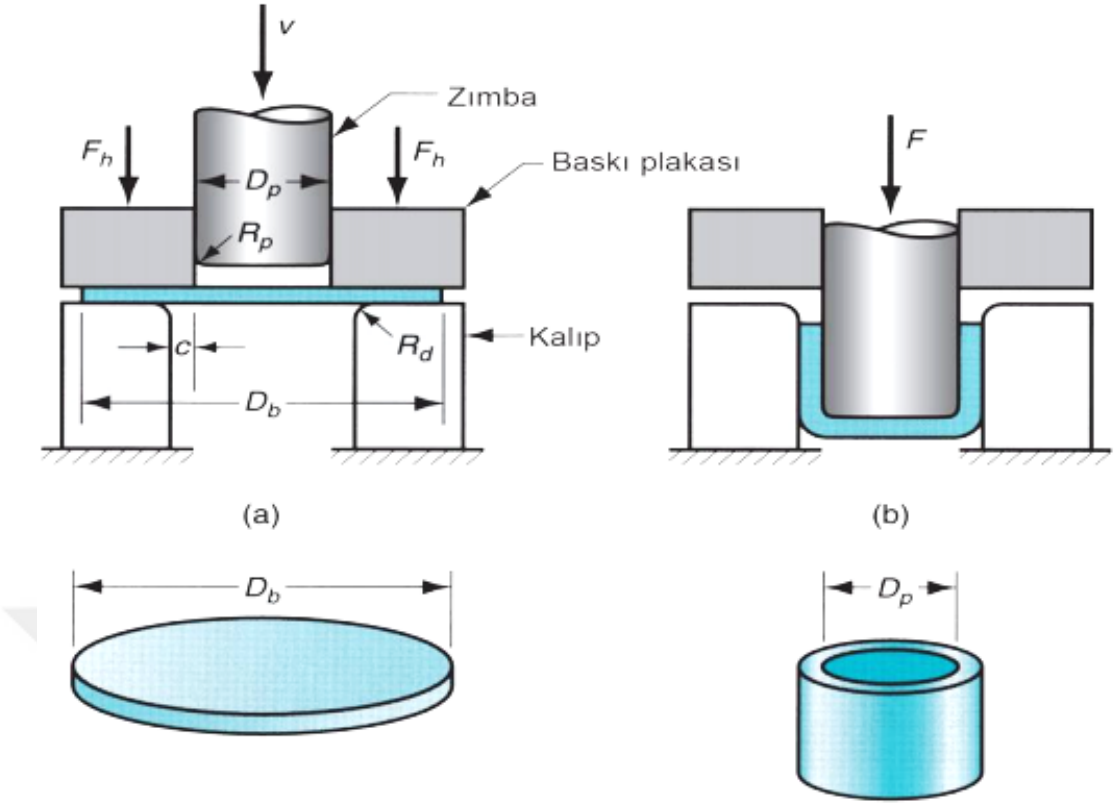
Şekil 2.7 : Bükme ekseni hadde yönü. [21]

2.3.1.3. Derin çekme

Silindirik kap şeklinde ya da karmalık konkav parçaların imalatında tercih edilen yöntemlerden biridir. İş parçasının zımba ile kalıp boşluğuna doğru malzemenin itilmesi ile sacın akması sağlanarak elde edilen şekillendirme yöntemidir (Şekil 2.8).

Derin çekme ve sığ çekme arasındaki temel fark; sıvama çapının (Dp) sıvanan malzemenin boyundan büyük olması durumunda sığ çekme, boyundan küçük olması durumunda derin çekme işlemi denir. Başka bir anlatım olarak sıvanacak çapı tek seferde elde edildiğinde sığ çekme, birden fazla operasyon ile çekildiğinde derin çekme denir.

Derin çekme operasyonunda geometriye ait üretilebilirlik hesaplamaları dikkate alınmadığı takdirde yırtılma, aşırı incelme, boyun verme, kırışma (buruşma) gibi problemlerle karşılaşılmaktadır.



Şekil 2.8 : Derin çekme. [22]

Derin çekilecek çapın Dp çekilmeden önceki çapa Db oranına derin çekme oranı denir ve 2 den küçük olması istenir, aksi takdirde tek seferde çekilemeyeceğini ifade eder.

$$DR = {}^{Db}/_{Dp} \qquad DR < 2$$

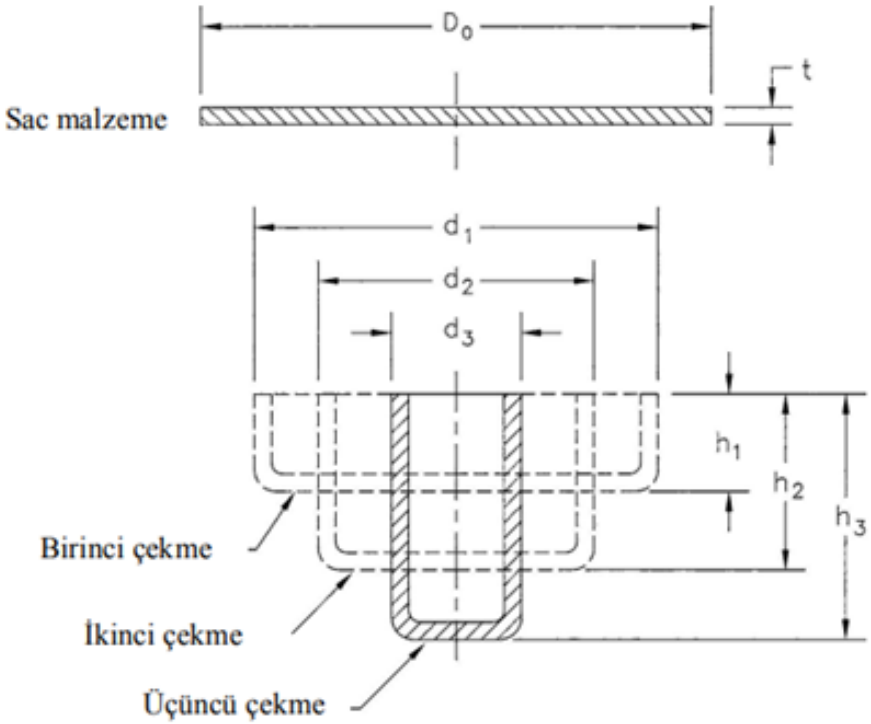
Derin çekmede bir diğer dikkat edilmesi gereken husus redüksiyon; derin çekme işleminin boyutunu belirlemede derin çekme oranı ile ilişkili olup DR = 2 olması durumunda %50 mertebelerindedir.

$$r = \frac{Db-Dp}{Db} \qquad r < 0.5$$

$$P\text{ç} = \frac{t}{Dp} \qquad P\text{ç} < 0.01$$

Sac kalınlığının sac çapına oranı da önemli bir derin çekme parametresi olup %1 den büyük olması beklenir. Bu oran küçüldükçe sacın kırışma eğilimi artar.[22]

Bu parametrelerin sınır değerleri aşması durumunda, derin çekme işlemi kademeli olarak yapılmalı (Şekil 2.9) yada ılık veya sıcak şartlarda gerçekleştirilmelidir. Kademeler arasında yumuşatma yapılmalıdır.



Şekil 2.9 : Kademeli derin çekme.

2.3.2. Şekillendirme Sınır Diyagramı

Sac malzemelerin en önemli özellikleri dayanımları ve şekillendirilebilirlikleridir. Şekillendirilebilirlik kavramı, sac malzemenin plastik şekil değişimi sırasında yük altında herhangi bir hasara uğramadan gerçekleştirebildiği en fazla şekil değiştirme miktarıdır. Malzeme ve işlem parametrelerinin fonksiyonu olup işlem parametreleri malzemeye uygulanacak yükü belirlerken malzeme parametreleri ise uygulanan yüke karşı gösterdiği direncin davranışları belirlemektedir.[23]

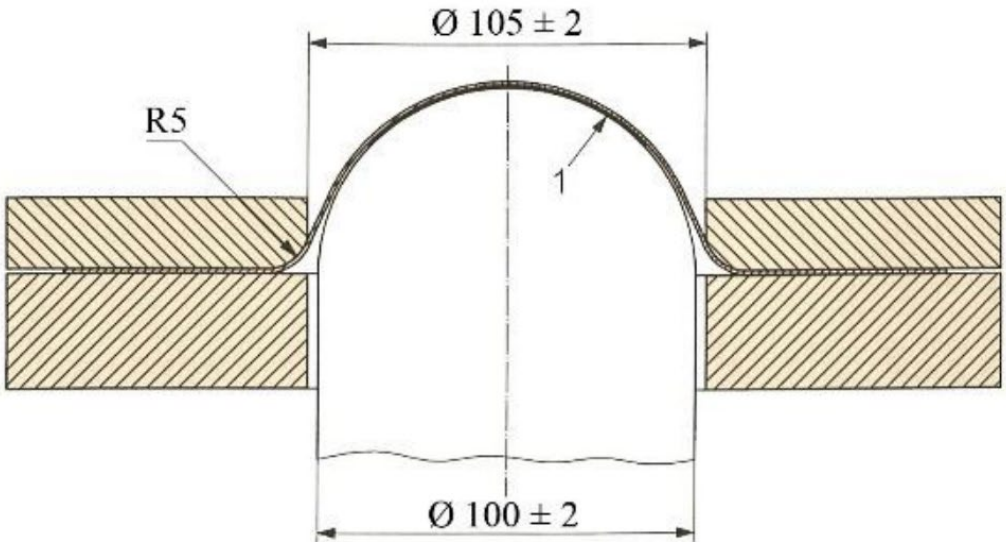
Şekillendirilebilirliği etkileyen temel faktörler; çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma uzaması, pekleşme üsteli, sertleşme üssü ve anizotropi tek başına yetmez. [24]

Son yıllarda artan sac şekillendirme işlemleri sonrasında üretimde karşılaşılan hataların erken tespiti için ticari sonlu elemanlar yazılımı yaygın olarak tercih edilmektedir. Yüzeydeki birim şekil değişimlerinin tespiti ile şekillendirme sınır eğrileri (ŞSE) elde edilerek sonlu elemanlar modülüne malzeme girdileri işlenerek üretimde karşılaşılacak hataların erken tespitini mümkün kılmaktadır. Bu eğri ilk olarak, Keeler ve Backofen tarafından metallerin şekillendirilebilirliğini değerlendirebilmek için ortaya atılmıştır.[25]

ŞSD'nın gelişiminde sayısal tahminine yönelik çalışmalar Marciniak ve Kuezynski tarafından yapılmış ve M-K (Marciniak ve Kuezynski) teorisi olarak literatüre geçmiştir.[26]

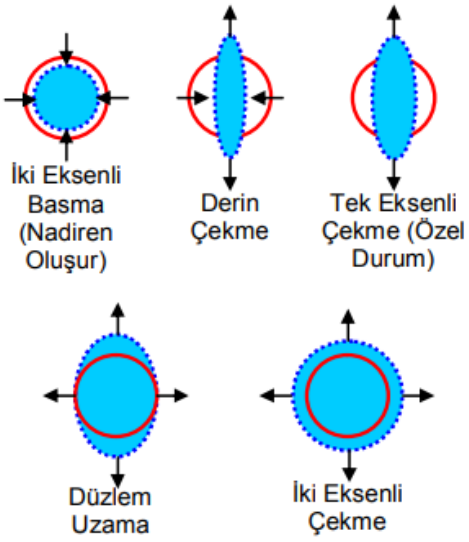
Her malzeme için gerekli karakteristik özelliklerin tespitinde uygulanan Marciniak, Nakajima, Erichsen ve Olsen Testleri yardımıyla yapılmaktadır. Nakajima deneyi sınır diyagramlarının elde edilmesinde daha çok kullanılmaktadır. Nakajima deneyi, çok geniş kullanım alanına sahip olup deneyin kesit görünümü Şekil 2.10' da gösterilmektedir.

Deney düzeneğinde yarıküresel ıstampa kullanılmaktadır ve bu ıstampanın çapı (100±2) mm dir. Ayrıca sacı tutmaya yarayan iki adet plaka vardır. Plakaların merkezlerinde ıstampanın geçebileceği kadar boşluk bırakılmıştır. Sac malzeme iki kalıp arasında sıkıştırılmaktadır ve deney hasar oluncaya kadar devam etmektedir. Şekil 2.10'da 1 rakamıyla gösterilen kısım yağlanması gereken kısımdır.



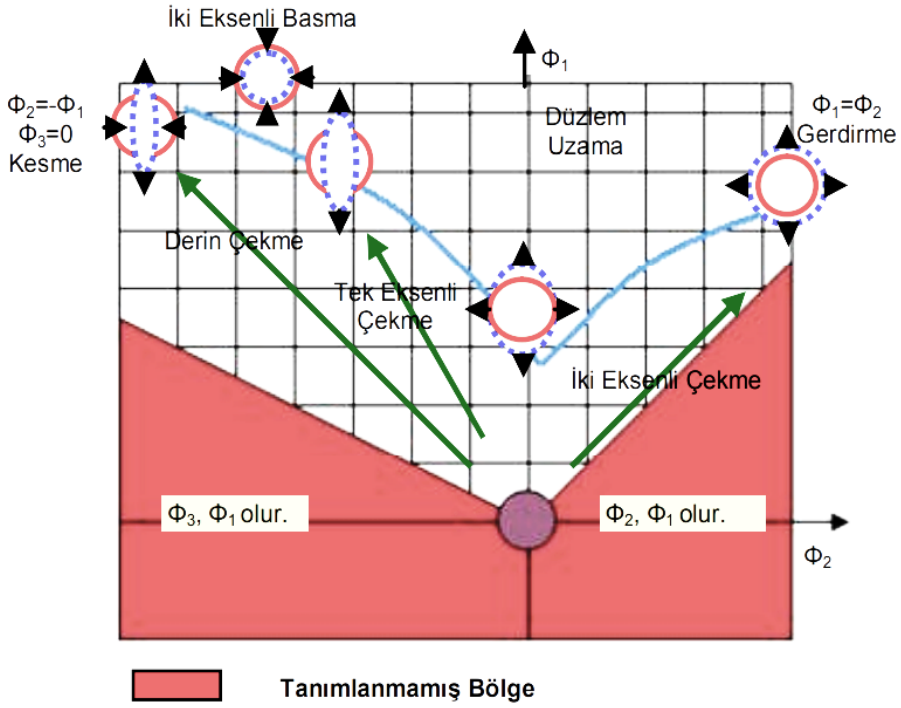
Şekil 2.10 : Nakajima deneyi kesit görünümü - EN ISO 12004-2.

ŞSE'lerin deneysel olarak elde edilmesi uzun ve zahmetli bir iş olduğu için araştırmacılar ŞSE'leri teorik veya nümerik modeller kullanarak elde etme yoluna gitmişlerdir. Ancak ŞSE'ler modellerde kullanılan akma kriterlerine göre oldukça farklılık gösterebilmektedir [27]. Henüz genel kabul görmüş bir model geliştirilemediğinden dolayı halen ŞSE'leri deneylerden elde etmek en sağlıklı yöntem olarak görülmektedir.[28]



Şekil 2.11 : Sac malzemenin şekillendirilmesinde karşılaşılabilecek yük durumları. [29]

Şekillendirme sınır eğrileri ASTM E 2218-02 (Ağustos 2002) ve ISO 12004-2 (Ekim 2008) standartlarına göre değerlendirme yapılarak elde edilebilmektedir. Dilmec ve ark. iki standardın detaylı incelemesini ve karşılaştırmasını yapmışlardır. Sonuç olarak, ŞSE'lerin ISO standardına göre oluşturulmasının daha güvenilir sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.[30]



Şekil 2.12 : Ölçüm değerlerinin sınır eğrilerine çevrilmesi. [30]

2.3.3. Şekillendirmede Oluşan Hatalar

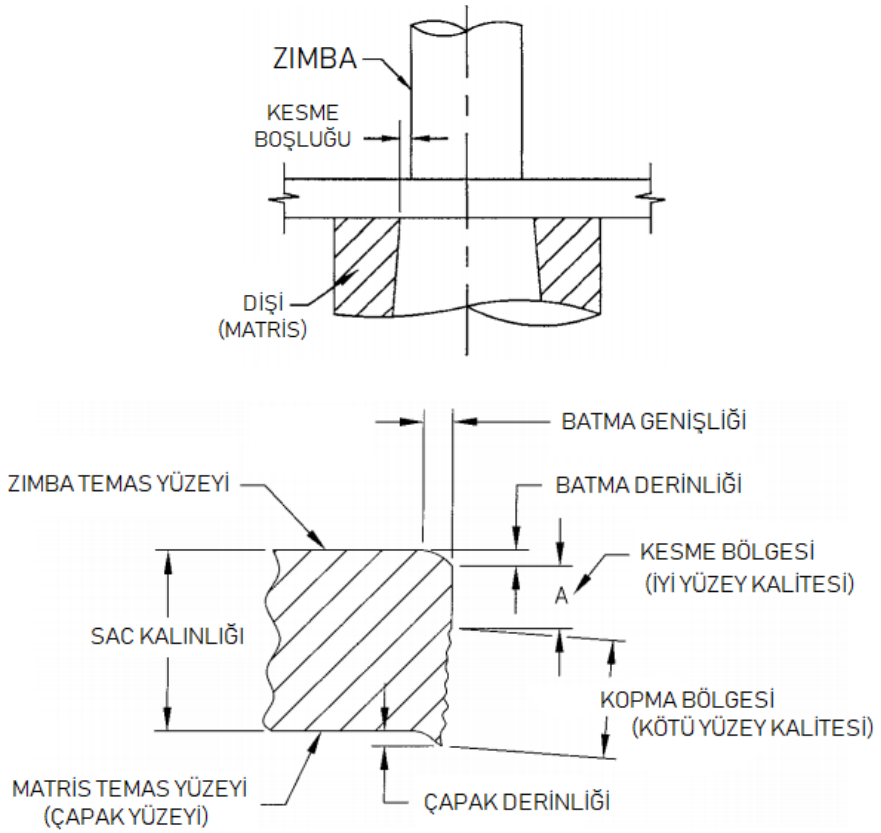
Sac metal üretimde karşılaşılan hatalar genellikle; çapak, yırtılma - çatlama, kırışma – buruşma, aşırı incelme ve geri yaylanmadır. Bu hatalar genellikle sacın şekillendirilebilirlik kabiliyetinin aşılması veya dikkate alınmadan üretim yöntemi tercih edilmesinden kaynaklanmaktadır. Çapak harici diğer hataların temeli sacın şekillendirilebilirlik kabiliyetinin aşılması ile meydana gelmektedir.

Geçmiş yıllarda sac metal kalıpçılığında deneme yanılma ile üretim yapılırken, günümüzde ise sonlu elemenlar analizi (SEA) ile kalıp tasarımı bilimsel temellere dayandırılması ile deneme yanılma sayısını azaltarak; iş gücü, zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır [31]. Bu bilimsel temellerin deneysel çalışmalarında gerekli kriterleri tam ve eksiksiz yerine getirilmelidir, aksi takdirde SEA girdisinin hatalı yapılmasına sebep olacak ve analiz sonuçları hatalı olacağından üretimde birçok problemi beraberinde getirecektir.

2.3.3.1. Çapak ve çentik etkisi

Kalıpta imal edilen sac malzemelerin birçoğu prosese özel hatalarla karşılaşmaktadır. Bu hataların giderilmesi geçmiş zamanlarda tecrübeye dayalıyken günümüz şartlarında gelişen teknoloji ile beraber analiz programları ile görmek mümkündür.

Birçok sac malzemede en temel işlemlerden biri olan kesme-delme prosesi imal edilen parçanın sac kalınlığı ve sac malzemenin çekme dayanımı dikkate alınarak belirlenmelidir. Bu proseste dikkat edilmesi gereken konulardan biri kesme-delme boşluğudur (Şekil 2.13). Kesme boşluğunun sac kalınlığının ve kesme dayanımının dikkate alınmadan yapılması halinde kesilen-delinen bölgede çapaklanma ve kesme-delme kenarının yüzey kalitesinde çatlakların oluşumuna sebep olacak ve bu bölgenin formlanması halinde çentik etkisinden yırtılma bu çatlaklardan çok daha erken başlayarak şekillendirilebilirlik limitinin çok daha altında yırtılmalar görülecektir.[32]



Şekil 2.13 : Kesme boşluğu. [32]

Kesme bölgesinde oluşan çatlaklar formlama esnasında çentik etkisi göstererek yırtılmanın çok daha erken başlamasında önemli rol oynamaktadır. Kesme boşluğu fazla yada çok dar olması durumunda Tablo 2.1 de görüldüğü gibi farklı kesme-kopma bölgesi ve çapak oluşumundaki etkileri görülmektedir.

Tablo 2.1 : Farklı kesme boşluğunun sac üzerindeki etkileri. [33]

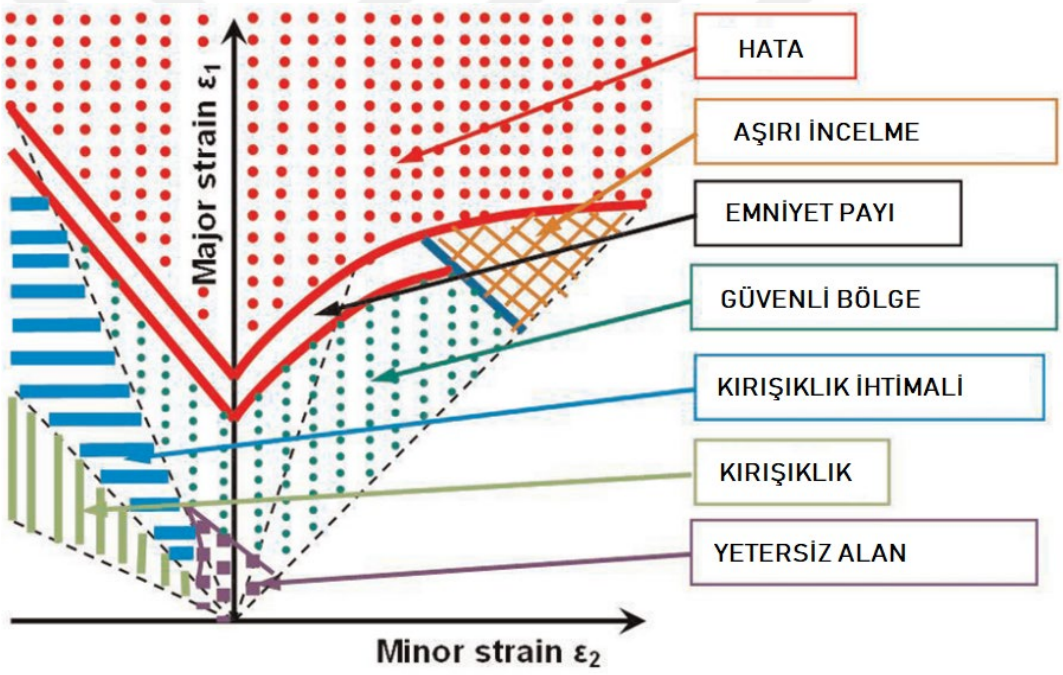
	TOPLAM KESME BOŞLUĞU			
	% 5	*% 9*	*% 12.5*	*% 18*
BATMA GENİŞLİĞİ	0.0136	0.0101	0.0121	0.0138
BATMA DERİNLİĞİ	0.003	0.0035	0.0045	0.0056
KESME DERİNLİĞİ	0.021	0.015	0.014	0.015
KESME ÇAPI	0.1875	0.1877	0.1879	0.1878
ÇAPAK YÜKSEKLİĞİ	0.0005	0.0006	0.0005	0.0012

NOT: Tüm değerler inc cinsindendir. Sac kalınlığı : 0.0275 inc ve delme çapı 0.1875 inc dir.

2.3.3.2. Yırtılma, çatlama, kırışıklık ve aşırı incelme problemi

Şekillendirmede anında oluşan incelme veya kalınlaşma ile sacın form alması metalin akması ile gerçekleşmektedir. Sac malzeme incelmenin en yüksek olduğu noktada boyun verebilir ve bu noktadan ayrılır, bu hasar mekanizması yırtılma olarak adlandırılmaktadır. Sac malzemelerin üretiminde yüksek kalite ürünlerin elde edilmesi dengeli ve eşit sac kalınlığı dağılımı elde edilmesi ile oluşmakta ve üretimde bunu yakalamak oldukça zordur.

Temelde şekillendirme esnasında şekillendirme sınır eğrilerinin üstüne çıkılması durumunda önce boyun verme ardından çatlak oluşumu ve sonunda yırtılmalar görülmektedir. Saca uygulanan kuvvetler (Şekil 2.14) sonucunda ŞSE'nin (FLD) üstüne çıkması durumunda yırtılma meydana gelmektedir.



Şekil 2.14 : FLD eğrisinin yorumlanması. [34]

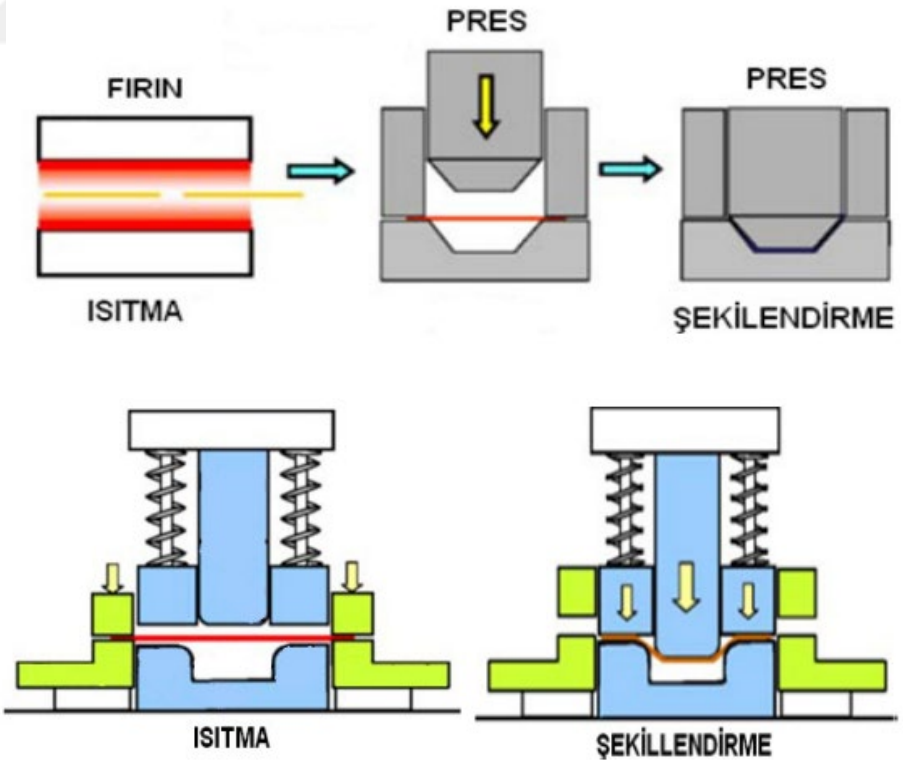
Formlama esnasında sac başlangıçta homojen daha sonra ise bölgesel olarak incelmektedir. Deformasyonun yoğunlaştığı incelmiş bu bölgeye boyun vermiş bölge denir ve yırtılma buradan başlar. Yapısal zayıflamaya neden olduğundan parçada boyun vermenin oluşması da bir hasar olarak kabul edilir. [35]

Eğrinin sol tarafı çekme - basma şartlarındaki şekillendirme ile ilgilidir. Büyük ya da küçük uzama şekillendirilebilirlik sınırının üstüne düştüğünde boğumlanma, uzamalar kırılma limitlerine ulaştığında ise kırılma görülür. Bu ifade, eğrinin hem

sağ hem de sol tarafı için geçerlidir. Sabit bir küçük uzama değeri için şekillendirme ve kırışma sınır eğrileri arasındaki açıklığın büyük olması, sac malzemenin çekme-basma şartlarında (derin çekme) şekillendirilebilirliğe daha yatkın olduğunu göstermektedir. Küçük uzama arttığında şekillendirme ve kırışma arasındaki fark düşmektedir. Bu, küçük uzama seviyesine sahip sacı daha da güvenli kılar. Aradaki farkın büyük olması eğrilerin sola kaymasına sebep olur. Küçük uzamadaki aşırı artış kırışma değişiminin daha büyük olmasına neden olur. Mekanik özelliklerin yüksek olması buruşmaya karşı olan direnci geliştirerek şekillendirilebilirliği artırmaktadır. [36]

Şekillendirilebilirliği arttırmak için günümüzde sac malzemelere ısıl işlem uygulanmaktadır. Formlama işlemi yapıldıktan veya yapılmadan önce uygulanabilen tavlama yada yumuşatma-küreselleştirme işlemi ile tane boyutu değişimi sağlanarak malzemenin şekillendirilebilirliği arttırılmaktadır.

Sac malzemelerin fırında yada elektrik ısıtma ile doğrudan ısıtılarak şekillendirilme işlemine alınması ve kalıpta soğutulmasıyla şekillendirilebilirliği arttırmak mümkündür (Şekil 2.15). [37]



Şekil 2.15 : Fırında ısıtılarak ve elektrik ile doğrudan ısıtma yöntemi. [38]

BÖLÜM 3. SÜSPANSİYON SİSTEMLERİ

Günümüzde binek araçlara ait birden fazla süspansiyon sistemi bulunmakta. Süspansiyon sistemi, araç içerisinde seyahat eden kişi yada cisimleri seyahat esnasında yol üzerindeki istenmeyen unsurlardan, sürüş kontrolünü kaybetmeden izole etmek ve aynı zaman da yol tutuşunun maksimum seviyede olması için teker ile yol arasında teması sürekli tutmaktır. Genel itibari ile amaç konforlu ve emniyetli bir sürüş deneyimi kazanmaktır.

3.1. Süspansiyon Sistemi Çeşitleri

Gün geçtikçe gelişen teknoloji ile sürekli iyileştirilen otomotiv sektöründe süspansiyon sistemi çeşitleri üç ana başlıkta toplanmıştır; [39]

- Sabit süspansiyon sistemi
- Bağımsız süspansiyon sistemi
- Aktif süspansiyon sistemi

Günümüzde binek araçların bir çoğu bağımsız süspansiyon sistemi kullanmata olup, lüx, spor ve süper spor otomobillerde havalı süspansiyon bulunmaktadır. Sabit süspansiyon sistemi ise genele olarak yük taşıyan ve hafif ticari araçlarda görülmektedir. [40]

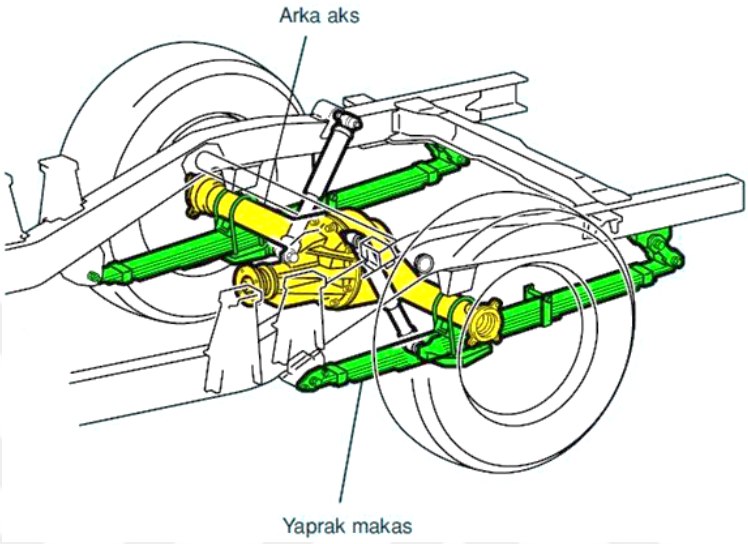
3.1.1. Sabit süspansiyon sistemi

Ağırlıklı olarak yük taşıyan araçlarda bulunan sabit süspansiyon sistemi, bazı hafif ticari araçlarda görmekte mümkündür. Basit ve çok dayanıklı bir sistemdir.

- Yaprak makaslı sabit süspansiyon
- Bağlantılı tip sabit süspansiyon
- Yatay kontrol rodlu sabit süspanyon olarak üçe ayrılır.

3.1.1.1. Yaprak makaslı sabit süspansiyon

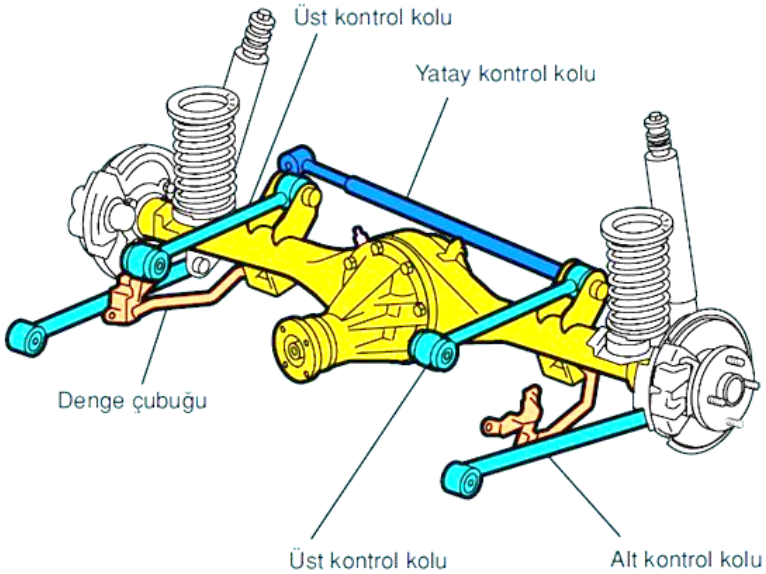
Bu sistemde her iki teker rijit bir biçimde bir dingil vasıtasıyla birbine bağlanmaktadır. Sürüş esnasında maruz kaldığı tüm titreşim, darbe ve yükü karşılar ve sönümler. Araç etkileri daha çok hisseder fakat daha fazla yük taşıması için yaprak makas yay kullanılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Yaprak makas yaylar. [40]

3.1.1.2. Bağlantılı tip sabit süspansiyon sistemi

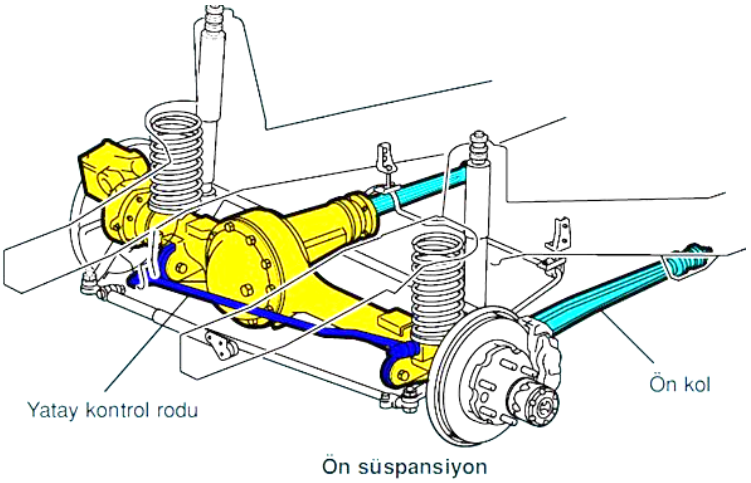
Genel olarak arka süspansiyon sisteminde kullanılır. Sabit süspansiyon sistemleri içerisinde en konforlu olanıdır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Bağlantılı tip sabit süspansiyon sistemi. [40]

3.1.1.3. Yatay kontrol rodlu sabit süspansiyon

Oldukça dayanıklı ve makaslı sisteme göre daha konforludur. Ağır yük taşımasında kullanılan araçlar ve 4x4 araçlarında kullanılmaktadır. Helezon yay bulunmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Yatay kontrol rodlu sabit süspansiyon. [40]

3.1.2. Bağımsız süspansiyon sistemi

İki teker gövdeye birbirinden bağımsız olarak bağlanmıştır. Kötü yol koşullarında iki teker birbirini etkilemez ve böylelikle daha iyi yol tutuşu, emniyetli - konforlu bir sürüş deneyimi yaşatır. Temel olarak ikiye ayrılır; [40]

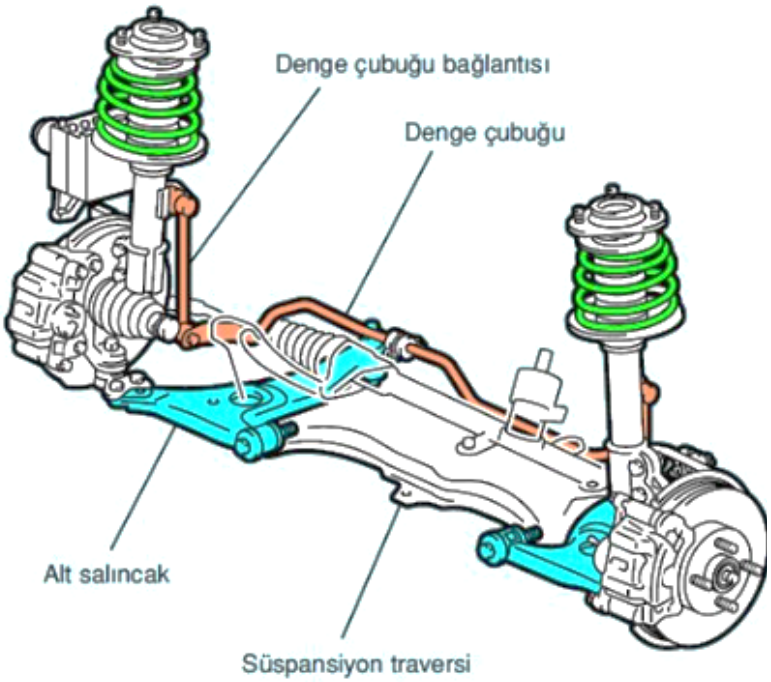
- MacPherson süspansiyon sistemi
- Çift salıncaklı süspansiyon sistemi
    - Burulma çubuklu çift salıncaklı
    - Burulma kirişli çift salıncaklı (Yarı bağımsız)

3.1.2.1. MacPherson süspansiyon sistemi

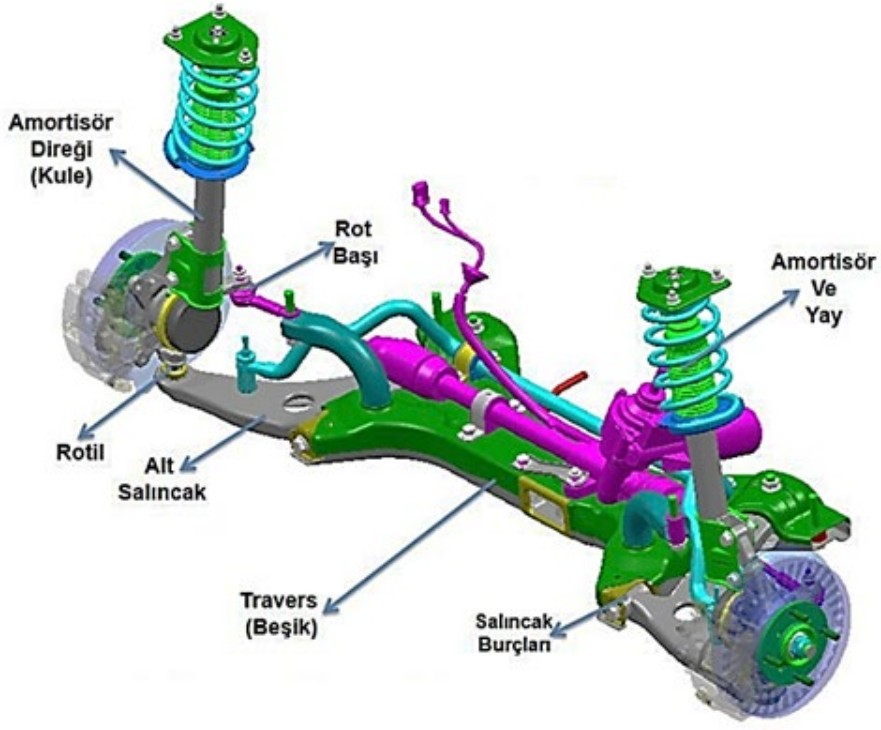
Günümüzdeki A, B, C tipi araçların çoğunda kullanılmaktadır. Aracın ön kısmında bulunan motorun hacim olarak kapladığı alan süspansiyon sistemine fazla yer bırakmamasına sebep olmaktadır. Bu sistemin en büyük avantajı önden çekişli araçlarda süspansiyon sistemi fazla yer kaplamamaktadır ve ortalama araç kullanıcıları için performans olarak tatmin edici verimi vardır.[41]

Arka süspansiyonlarda da MacPherson süspansiyon sistemi kullanılır fakat yaygın değildir. Genel olarak burulma krişli süspansiyon kullanılır.

MacPherson ismi, Chevrolet firmasında çalışan Earle S. MacPherson isimli mühendis tarafından geliştirilmiştir (Şekil 3.4 – Şekil 3.5).



Şekil 3.4 : MacPherson süspansiyon sistemi. [41]

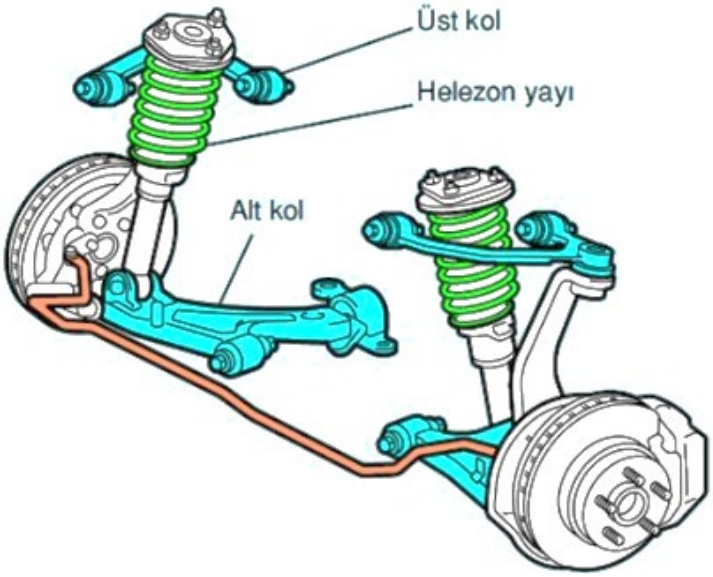


Şekil 3.5 : MacPherson süspansiyon sistemi elamanları. [41]

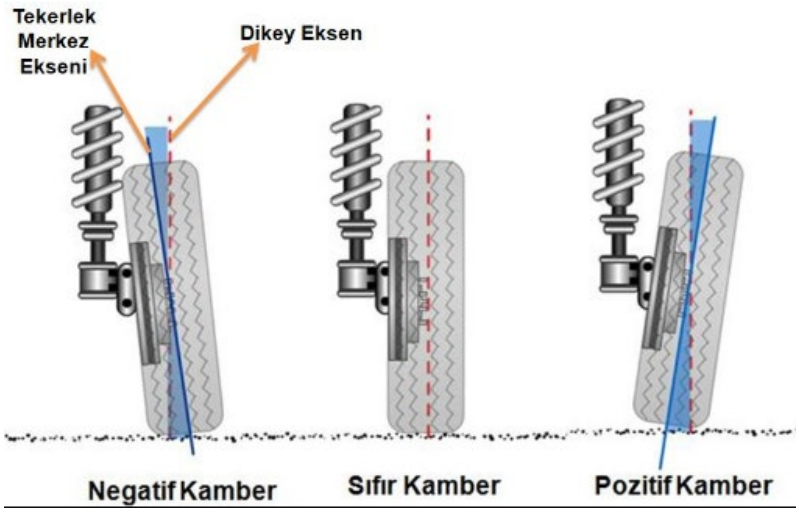
3.1.2.2. Çift salıncaklı süspansiyon sistemi

Bu sistemde alt ve üst olmak üzere tek teker için iki salıncak bulunmakta olup gövdeye bağlanmaktadır. Performans ve konfor olarak sabit süspansiyon sistemi ve MacPherson süspansiyon sistemine göre oldukça iyidir.

Sistemin MacPhersona göre daha az kullanılmasındaki temel neden hacim olarak fazla yer kaplamasıdır. Sabit sistem ve MacPherson sistemlerine göre daha fazla kamber açısı verilebilir, yalpalanmalarda kamber çok az etkilenir. Kamber; tekerleğin yola olan açısal pozisyonudur. Yol tutuşu için önemlidir. Önlerde az miktar pozitif olan kamber açısı arkalarda negat olabilir (Şekil 3.6). [42]



Şekil 3.6 : Çift salıncak süspansiyon sistemi. [42]



Şekil 3.7 : Kamber pozisyonları. [42]

3.1.3. Aktif süspansiyon sistemi

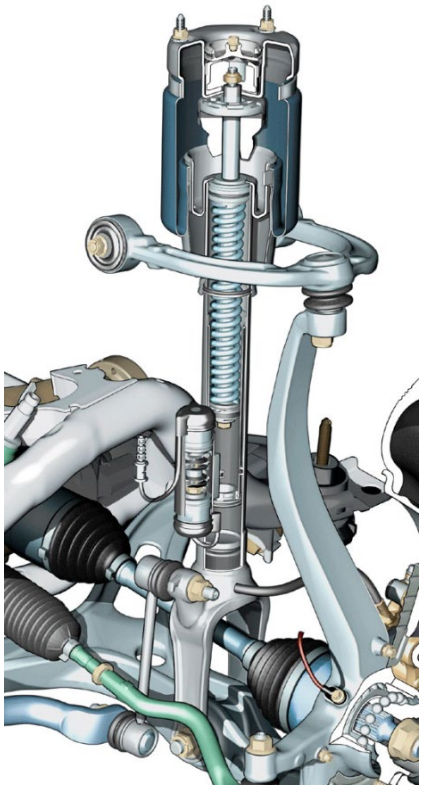
Metal helezon yaylar yerine elektro-pnömatik kontrol ünitesine bağlı basıncı değiştirilebilir hava körüklerinin kullanıldığı sistemdir. Bu sayede amortisörlerin sertliği değiştirilebilir ve yükseklik ayarı elektronik olarak kontrol edilebilir hale gelmiştir (Şekil 3.8).

Lüks araçlarda kullanılan bu sistemin kullanıcı kontrolünde olduğu gibi sürüş esnasında arac yol durumuna göre kendi otomatik belirleyebilir. Maksimum konfor ve yol tutuşu ile süspansiyon sistemleri arasında en iyi en verimli olanıdır.

Çeşitli otomobil üreticileri farklı isimlendirmeler kullanarak piyasaya sunmaktadır.

Sürüş esnasında yüksek hızlarda araç ne kadar yere yakın olursa o kadar iyi yol tutuşu sağlanır ve yakıt sarfiyatı azalır; arac ile yol arasındaki mesafe azaltılırken süspnasiyon sertleştirilmelidir. Bu kontrolü elektronik kontrol ünitesi aracın belirli bir hızın üzerine çıkması halinde otomatik gerçekleştirebileceği gibi sürücü kendisi de gerçekleştirebilir.

Aksine bozuk çukurlu ve tümsekli yollarda aracın daha yüksek olması ve konforlu olması gerekir. [43]

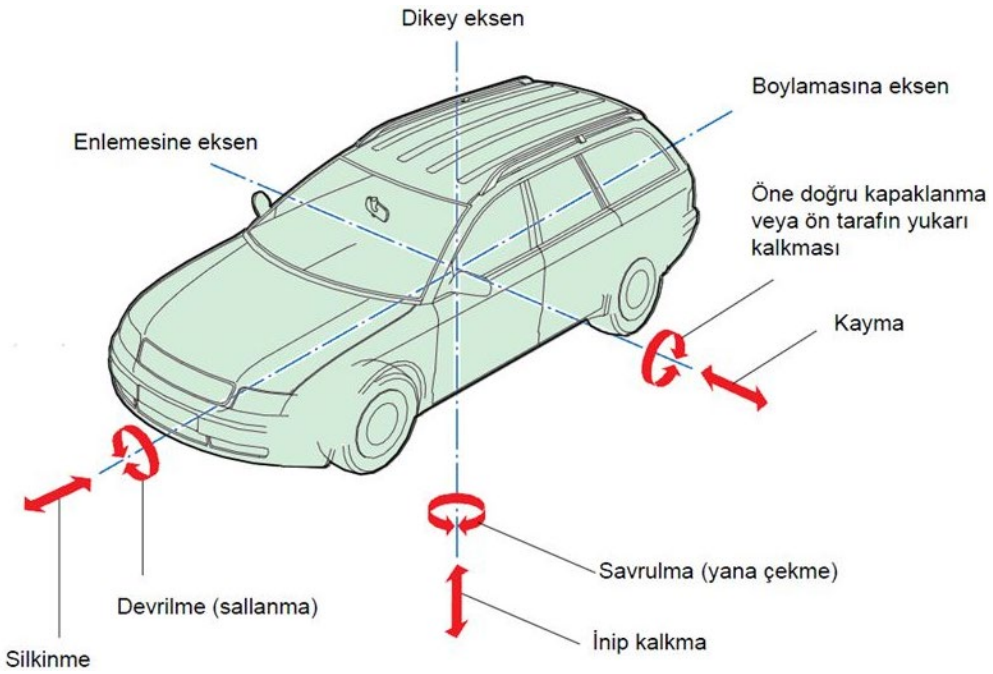


Şekil 3.8 : Aktif süspansiyon sistemi.

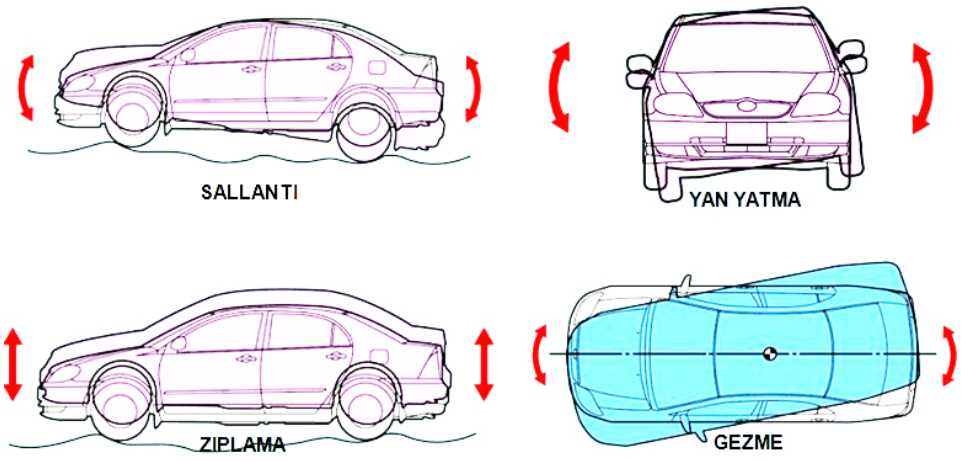
3.2. Süspansiyon Sistemi Parçaları

Sabit süspansiyon sisteminde; helezon yay, aks, yaprak makas yay, üst kontrol kolu, alt kontrol kolu, denge çubuğu, yatay kontrol rodu ve ön koldan oluşan basit görevler üstlenen parçalar mevcuttur.

Sürüş esnasında, araca yoldan ve aerodinamik nedenlerden farklı türdeki kuvvetler etki etmektedir (Şekil 3.9). Bu kuvvetler araçta; sallantı, yan yatma, zıplama, gezme gibi problemler doğurabilir (Şekil 3.10). Oluşan bu kuvvetlerin sürüş esnasında kötü konfor ve en önemlisi can kaybına yol açacağından minimuma indirmek süspansiyon sisteminin görevidir.



Şekil 3.9 : Araca etki eden kuvvetler. [44]

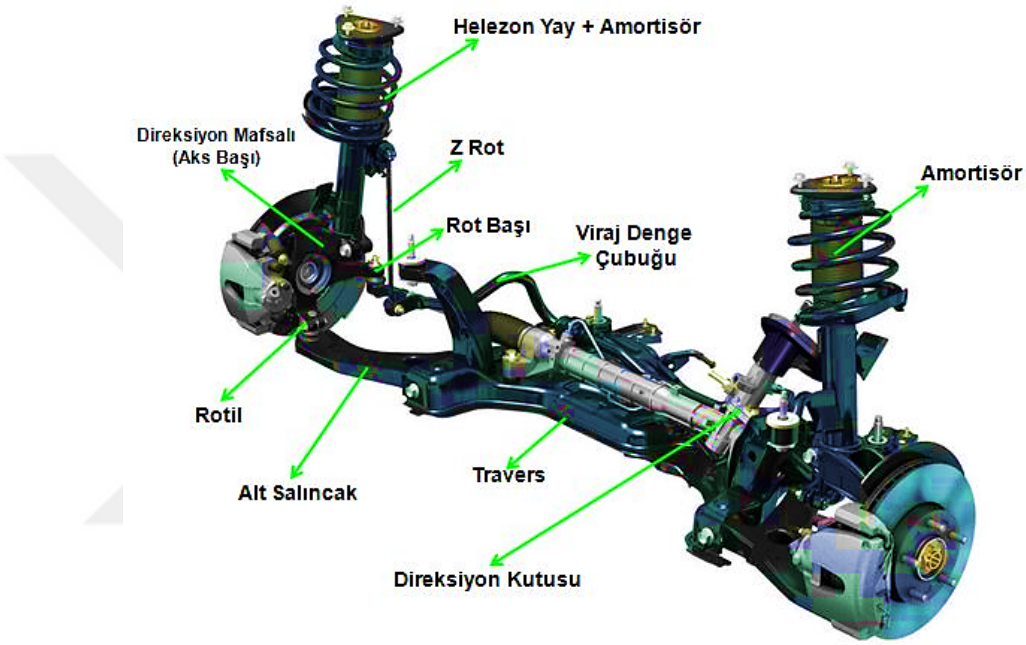


Şekil 3.10 : Kötü yol koşullarında aracın hareketi. [44]

Süspansiyon sisteminde gerekli temel elemanlar her bir sistemde hemen hemen bulunmakta olup aralarında farklı elemanlara sahip oldukları sistemlerde bulunmaktadır.

Bağımsız süspansiyon sisteminde;

MacPherson sisteminde genel olarak traverser, amortisör, helezon yay, akson, rot mili, rot başı, viraj denge çubuğu, z rot, salıncak, burç, rotil ve direksiyon kutusundan oluşur.



Şekil 3.11 : Süspansiyon sisteminde bulunan elemanlar. [45]

Çift salıncak sisteminde; alt salıncak, üst salıncak, denge çubuğu, helezon yay, akson, amortisör, rot mili, rot başı, burç ve rotil ekipmanları yer alır.

Aktif süspansiyon sisteminde; bağımsız süspansiyon sisteminde bulunan tüm ekipmanlar bulunur ancak helezon yay yerine basınçlı hava ile doldurulmuş lastik körüklere sahiptir, kontrol amaçlı valfler bulunmakta ve kontrol ünitesi olarak nitelendirilen bir yapay zeka ile yönetilen süspansiyon sistemidir.

3.2.1. Yaylar

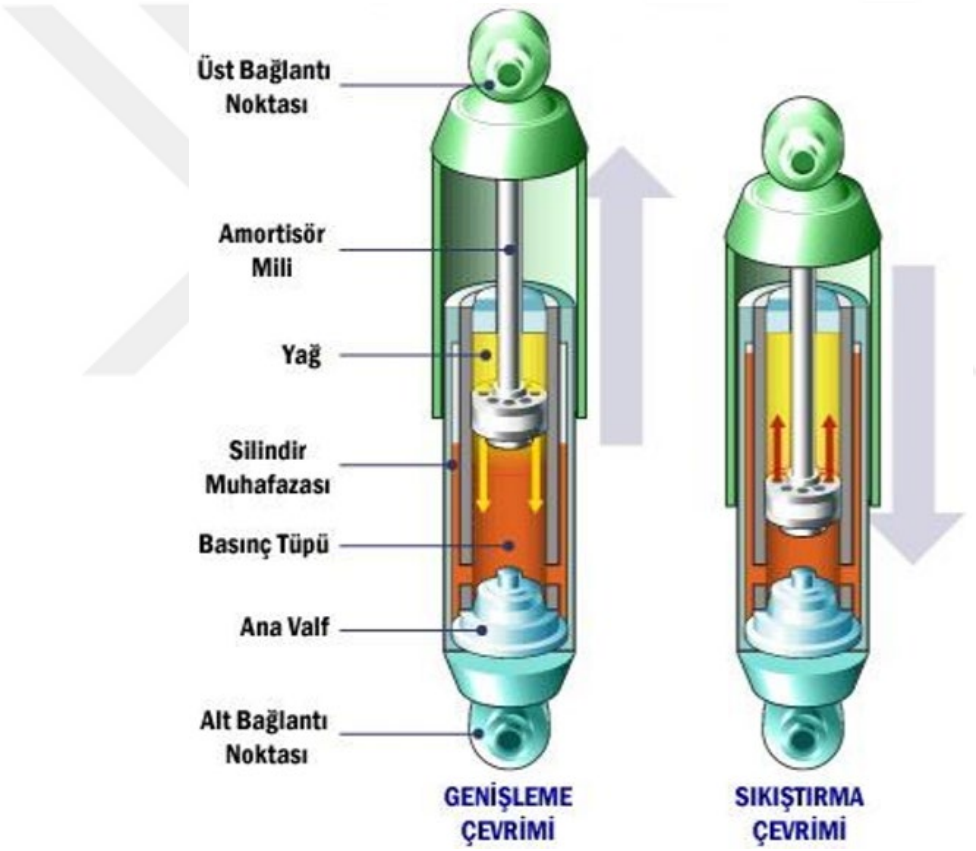
Araçlarda tekerlerin dışındaki tüm yüklerin iletileceği elemandır. Aynı zamanda yükün lastiklere iletilmesini sağlayanda yaylardır. Bozuk yol koşullarında esneyerek, hissedilen sarsıntıyı en aza indirirler.

Yaprak, helisel, burulma çubuklu, pnömatik-hava yastıklı, hidro pnömatik ve lastik takozları olmak üzere altı tip yay bulunmaktadır.[43]

3.2.2. Amortisörler

Aracın kötü yol koşullarına maruz kalmasında meydana gelen süspansiyonun yukarı ya da aşağı yönlü sert kuvvetlerinin fırlatma etkisini engelleme prensibi ile çalışmaktadır. Kasisli yada çukurlu yollarda sürüş konforunu oldukça güçlendirirler.

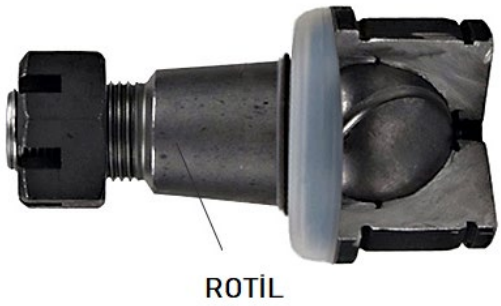
Tek tesirli ve çift tesirli olmak üzere ikiye ayrılır. Günümüzde kullanılan araçlarda çift tesirli amortisör kullanılmakta olup en çok kullanılan amortisör tipidir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : Çift tesirli amortisör kesit görünümü. [46]

3.2.3. Rotiller

Salıncak ile akson bağlantısında kullanılır (Şekil 3.13). Küresel kısım gövdeye tamamen oturduğundan takılmadan önce yağlanır aksi halde sonradan yağlanamaz. Kötü yol koşullarında lastik ile hareket halinde olup süspansiyon sisteminin eklemi görevini görmektedir.



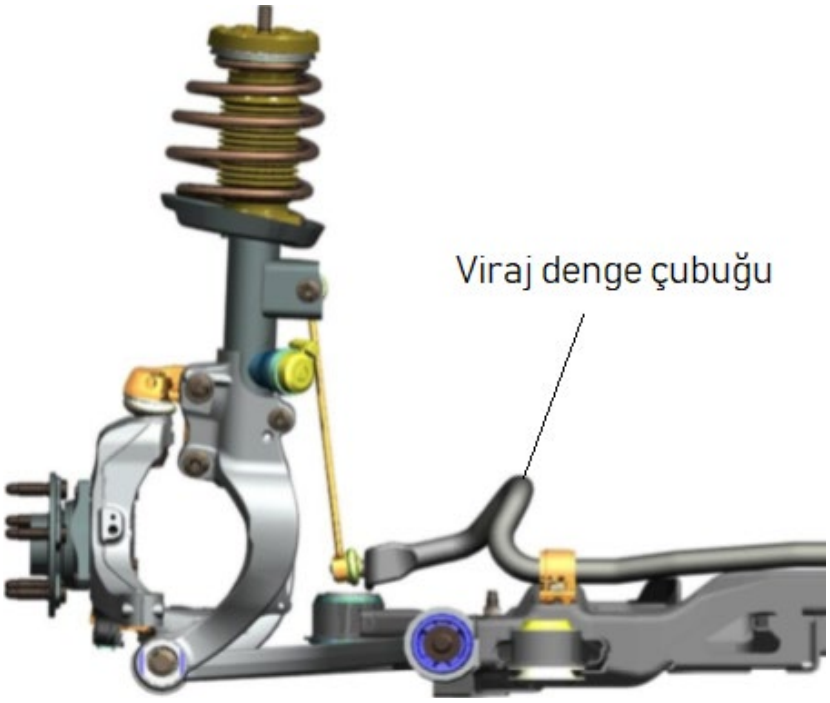
Şekil 3.13 : Rotil.

3.2.4. Viraj denge çubukları

Diğer bir adı stabilizatör olarak bilinir. Araçta her iki süspansiyon sistemini birbirine bağlarken aracın viraj giriş-çıkışlarında savrulmayı önleyerek konforlu ve emniyetli bir sürüş deneyimi sunmada önemli rolü bulunmaktadır.

Çelikten yapılmış olan denge çubukları içi dolu veya boş silinidirik şeklindedir.

Virajlarda araç gövdesi dışarı doğru savrulduğundan dışarıda kalan yaya baskı uygularken, içeride kalan yayı açmaya çalışacaktır, bu sayede aracın tekerleri arasındaki açı farkı minimuma inerek savrulma önlenmektedir. [47]



Şekil 3.14 : Viraj denge çubuğu.

3.2.5. Rot kolu - rot başı

Direksiyon dişli kutusundan çıkan hareketin tekerlere ulaşılmasında temel görevi bu iki eleman üstlenmektedir. Direksiyon kutusundan çıkan hareketin direksiyon rot kolu ve rot başı ile tekere iletilmesini sağlar.

Rot kolu içi dolu veya içi boş boru şeklinde çelikten imal edilir. Bir ucuna sağ vide çekilirken diğer ucuna sol vida çekilir, bu sayede rot ayarı yaparken tekrar tekrar yerinden sökülmesine gerek duyulmaz.

İçi boş çelikten yapılan rot kolları vida iç yüzeyde, içi dolu ise vide dış yüzeyde bulunur. Rot başlarıda bu vidalar sayesinde rot koluna bağlanır.

Rot kolları; içi boş rot kollarında bilezik ile bağlanırken içi dolu rot kollarında kontro somun ile çözülmeye karşı önlem alınarak bağlantısı gerçekleştirilir.

Direksiyon rot ayarı toe-in / toe-out diye tabir edilen ayarlama ile rot başı ve rot kolu arasındaki kontra somun yada bilezik ile kolda bulunan sağ ve sol vida sayesinde sökülmeye gerek duymadan yapılmaktadır.



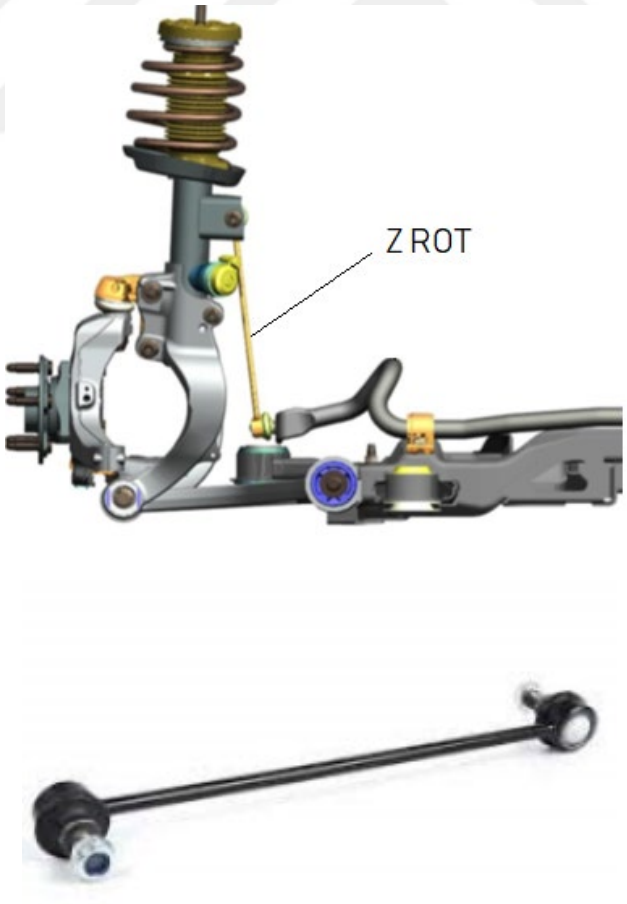
Şekil 3.15 : Rot kolu ve rot başı.

3.2.6. Z ROT

Diğer adı denge rotu olarak bilinir. Viraj denge kollarının amortisöre bağlantısını üstlenen elemandır. Tekerin yukarı – aşağı salınımını diğer tekerlere ileten denge çubuğunun üstlendiği görevi yerine getirmesinde etkilidir. Aracın savrulmasını, sağa sola yatmasını ve direksiyon hakimiyetinin güçlenmesinde önemli rolü bulunmaktadır.

Tekerlekler arasında iletişim sağlayarak denge kollarında olduğu gibi aracı stabil tutmak için kullanılır. Araç viraja girdiğinde dışarda kalan tekerleklerde amortisörler açılmak isterken z rot ve viraj denge çubuklarının birbirine olan bağlantısı ile içeride kalan tekerler sıkışarak aracı düz bir pozisyonda tutar. Bu durumun gerçekleşmemesi durumunda araç takla atmaya ya da savrulmaya meyillenerek kazaya sebep olmaktadır.

Genelde çelik silinirik içi dolu ya da boş malzemeden imal edilir fakat gelişen plastik sektörü ile z rotlar plastik olarak da imal edilmektedir.



Şekil 3.16 : Z ROT.

3.2.7. Salıncak kolu

Süspansiyon ekipmanlarından salıncak kolu; dövme, döküm ve sac malzeme olarak imal edilebilir. Tekerlerin şase ile bağlantısını salıncak üzerindeki burç ve rotil vasıtası ile gerçekleştirir. Aksona rotil ile bağlanırken şasiye burçlar ile bağlanmaktadır (Şekil 3.17).

Çift salıncaklı süspansiyon sistemlerinde alt ve üst olmak üzere tek terker için iki salıncak bulunmakta olup gövdeye bağlanmaktadır. Performans ve konfor olarak sabit süspansiyon sistemi ve MacPherson süspansiyon sistemine göre oldukça iyidir. Farklı süspansiyon sistemlerinde her zaman salıncak olarak isimlendirilmemektedir. Kimi araçlarda alt kol üst kol ya da denge kolu olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 3.17 : Alüminyum dövme sac salıncak kolu.



Şekil 3.18 : Çift salıncaklı süspansiyon sisteminde bulunan dövme alüminyum üst salıncak.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sac salıncak sistemlerinde kullanılan S355MC sac malzemelerde ortaya çıkan yırtılma hasarının çözümüne yönelik olarak hem S355MC malzeme ve aynı zamanda alternatifi olabilecek DD11 ve DD13 sac malzemeler çalışmada alternatif malzeme olarak kullanılmıştır.

4.1. Sac Metal Malzemeler

Günümüzde hemen her sektörde karşımıza çıkan sac metal malzemeler; temel olarak imalatı kolay ve işlenebilirliği hızlı olduğundan, maliyet ve performans konusunda en verimli metallerden biridir. Salıncak kolu üretiminde döküm ve dövmenin yanı sıra sac olarak da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bir binek araca ait üretimi olan sac salıncak kolunun, S355MC (ERDEMİR 4936) kalite sac malzeme üretilmesi ile yırtılma meydana gelmektedir, yırtılmanın giderilmesi için uygulanacak proseslerin araştırılması ve alternatif olarak DD13 (ERDEMİR 6224) ve DD11 (ERDEMİR 6222) kalite saclar ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Saclara ait kimyasal özellikler

Deneysel çalışmada kullanılan üç faklı malzemenin Spektral analizi üç farklı bölgeden test edilmiştir. Bu kapsamda TEKNOROT Ar-Ge laboratuvarında bulunan Spektromax cihazı kullanılmış ve elde edilen verilerin ortalaması Tablo 4.1' de belirtilmiştir.

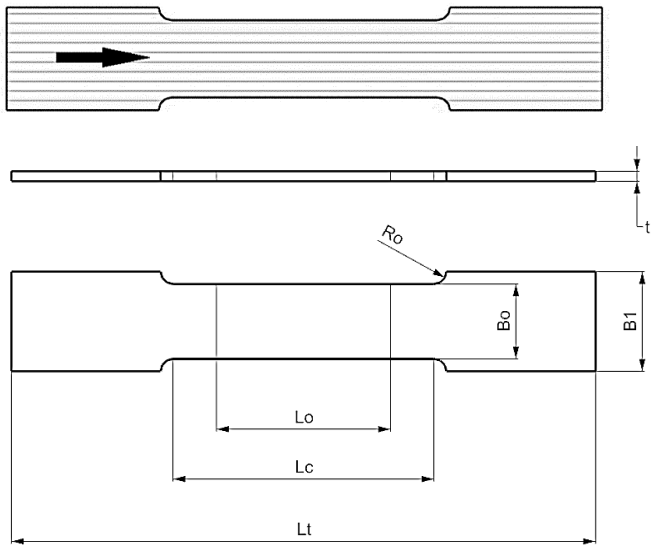
Tablo 4.1 : Sac malzeme kimyasal özellikleri.

MALZEME	%C	%Si	%P	%S	%Mn	%Ti	%Al	%Nb	%V
S355MC	0.086	0.04	0.009	0.003	0.8	0.008	0.09	0.1	0.03
DD13	0.056	0.001	0.002	0.007	0.28	0.001	0.025	0.001	0.001
DD11	0.047	0.002	0.002	0.004	0.23	0.001	0.03	0.003	0.003

4.1.2. Saclara ait Mekanik özellikler

4.1.2.1. Çekme testi

ISO 6892-1 e göre hazırlanan çekme testi numunesi hadde yönü, şekil ve ölçüleri Şekil 4.1 ve Tablo 4.2 de göstermektedir.

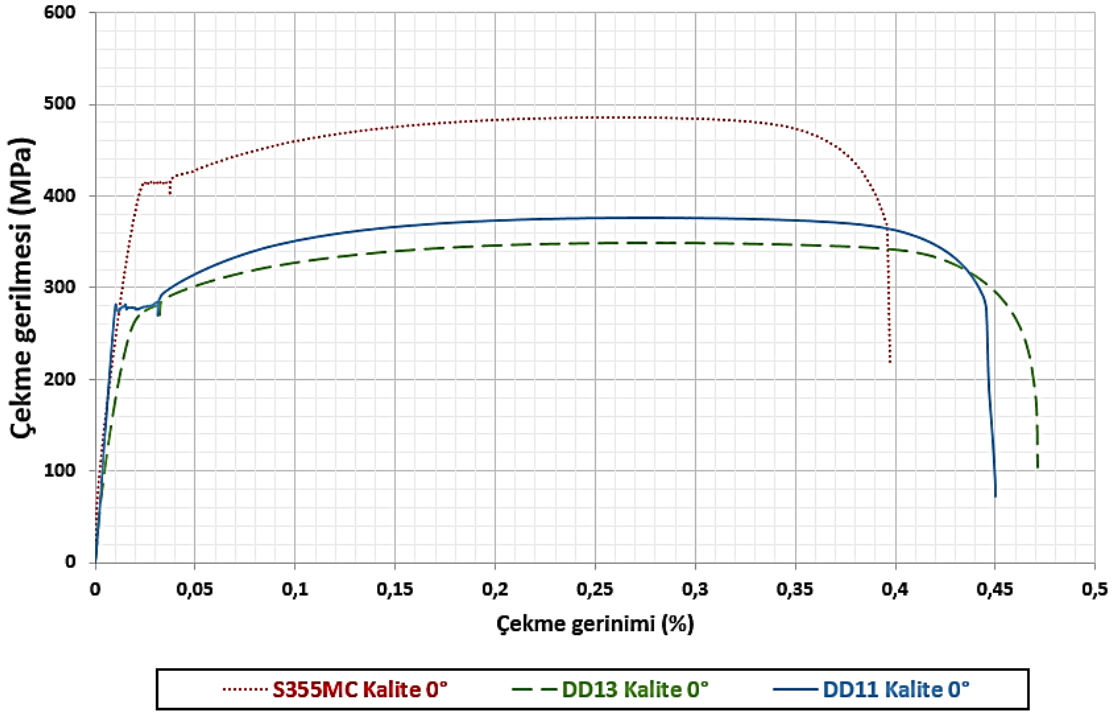


Şekil 4.1 : Çekme testi numunesi ve hadde yönü 0° (ISO 6892-1).

Tablo 4.2: Çekme testi numune standartları (ISO 6892-1).

GENİŞLİK	İLK ÖLÇÜ UZUNLUĞU	GÖVDE UZUNLUĞU	TOPLAM UZUNLUK	ÇENE TUTMA GENİŞLİĞİ	KAVİS YARIÇAPI
Bo	Lo	Lc	Lt	B1	Ro
20	50	60	300	30	12
Not: Ölçüler mm'dir. İşleme toleransı ±0,02 dir.					
Tüm çekme testlerinde; L0 50 mm olacak şekilde numune elde edilmiştir. t=2 mm					

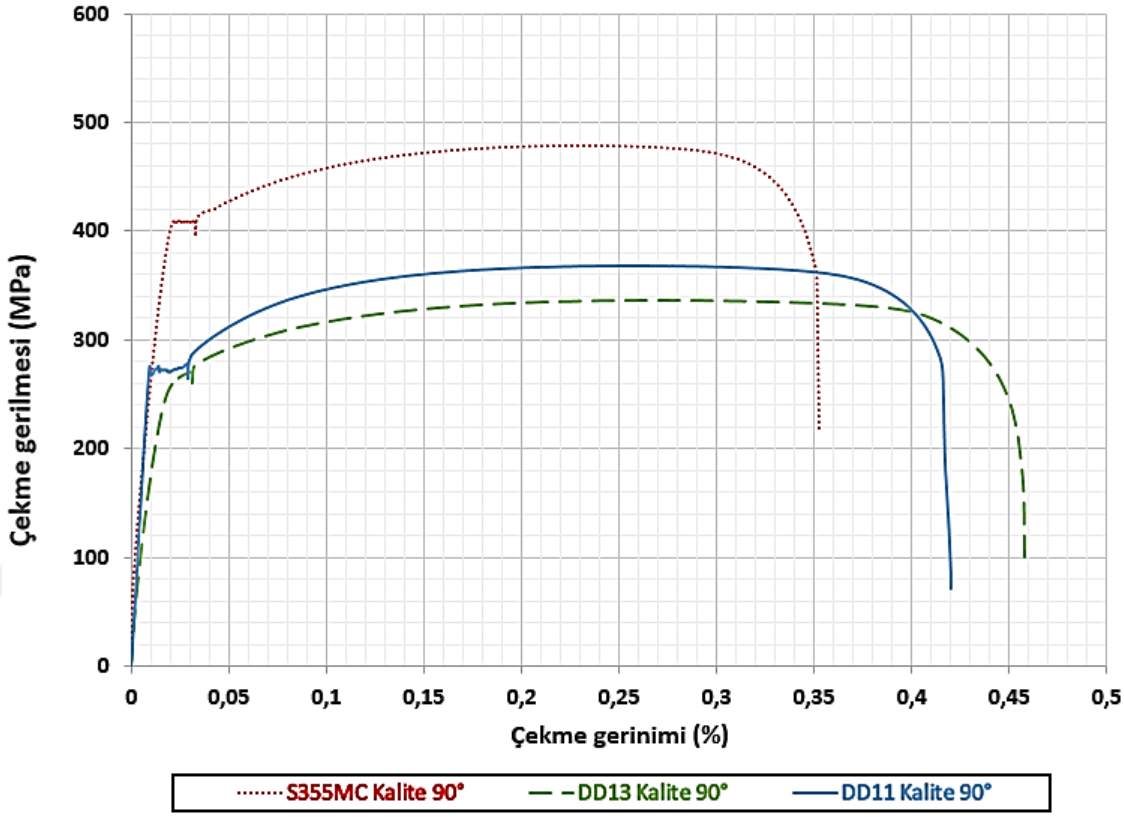
Çekme testi, her üç saca ait üçer numune ile gerçekleştirilmiş ve ortalaması alınarak Şekil 4.2'de verilmiştir. Çekme testi maksimum uzama gösteren hadde yönüne 0° (Şekil 4.2) ve uzamanın minimum olduğu 90° (Şekil 4.3) olacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.2 : Gerilim-Gerinim grafiği hadde yönü 0°.

Tablo 4.3 : S355MC – DD13 – DD11 hadde yönü 0°çekme testi sonuçları.

NUMUNE	%0,2 Akma Gerilmesi / Yield Strength (%0,2) [MPa]	Çekme Gerilmesi / Tensile Strength [MPa]	Kopma Uzaması / Elongation (A) [%]	Elastisite Modülü / Young Modülü (E) [GPa]
S355MC	411,42	483,21	39,01	16,31
DD13	252,78	342,45	47,82	14,43
DD11	272,01	377,21	44,14	28,98



Şekil 4.3 : Gerilim-Gerinim grafiği hadde yönü 90°.

Tablo 4.4 : S355MC – DD13 – DD11 hadde yönü 90° çekme testi sonuçları.

NUMUNE	%0,2 Akma Gerilmesi / Yield Strength (%0,2) [MPa]	Çekme Gerilmesi / Tensile Strength [MPa]	Kopma Uzaması / Elongation (A) [%]	Elastisite Modülü / Young Modülü (E) [GPa]
S355MC	409,21	477,92	34,98	18,22
DD13	249,72	336,92	45,81	13,58
DD11	270,41	367,02	42,24	30,5

Hadde yönüne gore mekanik değerler çekme mukavemetinde max % 65, elastik modülde max % 67 farklı olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada salıncaktaki boru yerine paralel olacak şekilde hadde yönü 90° olan malzemeler kullanılmıştır.

4.1.2.2. Sac malzemelere ait plaka sertlik değerleri

Üç farklı saca ait sertlik değerleri ölçülürken, her biri için; üç farklı lottan birer plaka alınarak bu plakalar üzerinden rastgele 10 farklı noktanın ortalaması sonucu elde edilen değerler Tablo 4.3' te verilmiştir.

Ayrıca şablon halinde iken ısıl işlem sonrası sac malzemelerden aynı şartlarda alınan sertlik değerleri tabloda verilmiştir. Malzemelerde sertlik değerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Tablo 4.5 : Plaka sacların sertlik değerleri.

MALZEME	HRB	HB
S355MC	82	152
DD13	60	108
DD11	58	106

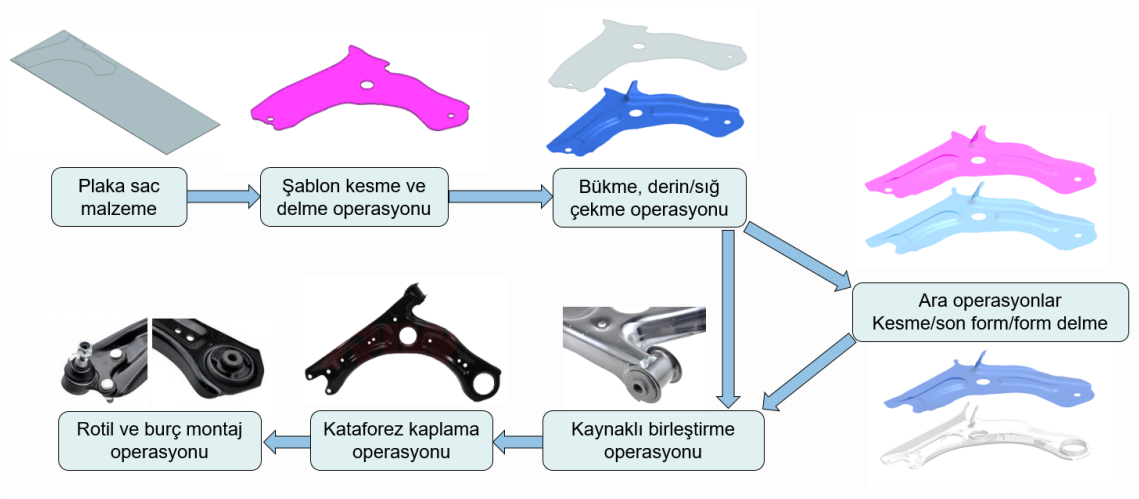
4.2. Yöntem

Çalışmada sac salıncak parçasının tasarımı üzerinden sonlu elemanlar yöntemine göre analiz yapan AUTOFORM programı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında yırtılma problemi ön görülmüş ve hasar problemine yönelik çözüm önerileri literatür çalışmaları ışığında dört farklı aksiyonla belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla;

1. Çentik etkisinin giderilmesi için parlatma uygulamak.
2. Sürtünmeyi azaltmak adına kalıp yağlayıcı kullanmak.
3. Malzeme iç yapısının (gerilim giderme işlemi) ısıl işlem ile değiştirilmesi.

yollarına başvurularak problemin çözülmesi hedeflenmiştir.

Klasik bir sac salıncak üretim prosesi genellikle sac plaka malzemenin ilk olarak şablon delme ve kesme operasyonu, ardından bükme operasyonu işlemleri ile elde edilir. Kimi zaman ters açıda kalan farklı geometrilerin tek operasyonda formlanamaması durumunda ara operasyon olarak: son form bükme kalıbı ya da form delme kalıpları ile proses tamamlanır. Daha sonra kaynaklı birleştirme yapılır, birleştirme operasyonu sonrası kataforez boya kaplama işlemi uygulanır. Son olarak rotil ve burc montajlanarak son kullanıma hazır olarak elde edilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Sac salıncak üretim prosesi.

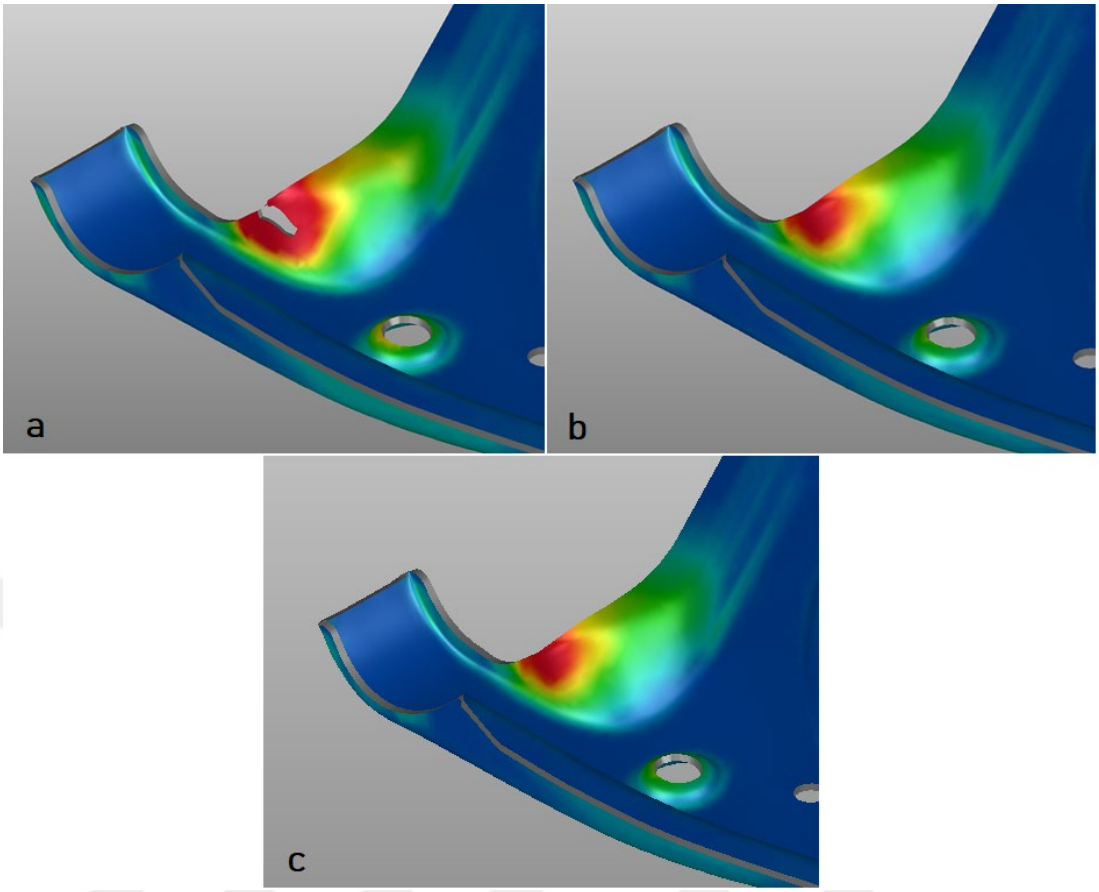
4.2.1. Analizi Çalışması

Deneysel çalışmaya başlamadan önce şekillendirme esnasında ortaya çıkabilecek gerilmeler, muhtemel hasarların tespiti ve uygulanabilirliği görmek için analizler gerçekleştirilir. Sanal ortamda yapılan analiz çalışmaları zamandan ve maliyetten avantajlar sağlamaktadır.

Analiz çalışması AUTOFORM R8 programı ile yapılmıştır. Yırtılma bölgesindeki detayları incelemek için her sac kalitesine ait aynı proses ile analizler gerçekleştirilmiştir.

S355MC kalite sac ile üretilmek istenen bir otomotiv süspansiyon sistemi sac salıncak parçasının Şekil 4.5'te görülen bölgesinde analiz ortamında yırtılma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Farklı sac kalitelerinde alınacak tedbirlerin nasıl sonuçlanacağı belirlenmiştir.

Şekil 4.5 te de görüldüğü gibi ilk tasarımda oluşan gerilmeler sebebiyle her üç sacda da yırtılma hasarını gösteren analiz sonuçları elde edildi.



Şekil 4.5 : a. S355MC kalite sac ilk geometri, b. DD13 kalite ilk geometri, c. DD11 kalite sac ilk geometri.

Sorun çözme adımları olarak:

a) Minör ve major gerilmeleri azaltarak tasarım değişikliği,

b) Et kalınlığımdaki çentik etkisinin giderilmesi için parlatma işlemi,

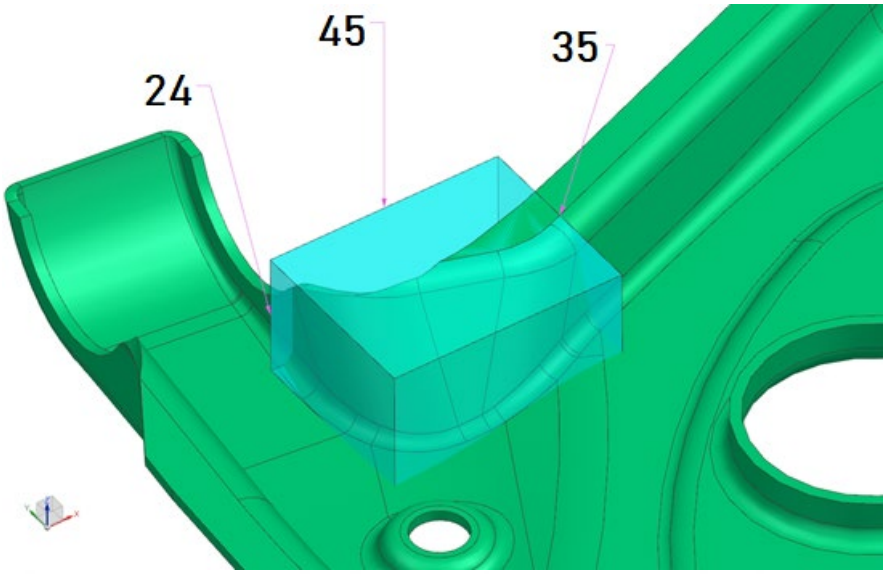
c) Sürtünme kuvvetinin azaltılması için kalıp yağlayıcı kullanımı,

d) Malzeme iç yapısını düzenlemek, gerilim gidermek için ısıl işlem

uygulamaları ile yırtılma hasarının çözülmesi ön görülmüştür.

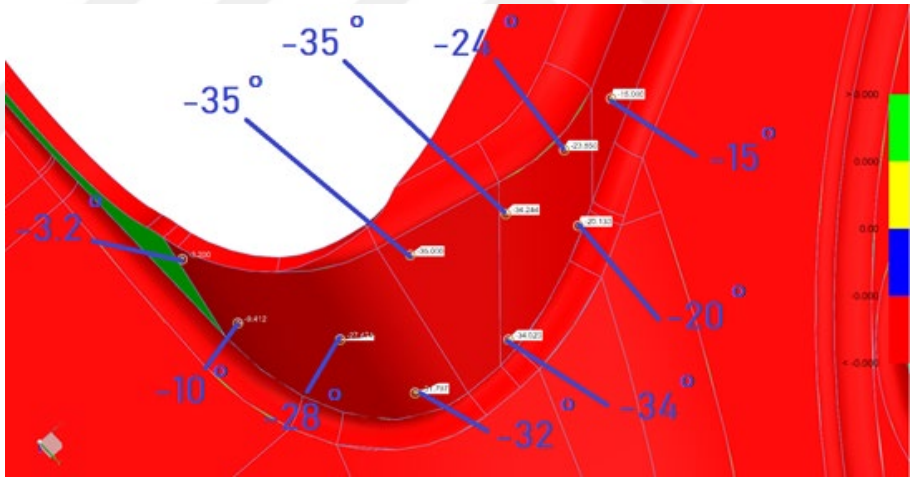
Tasarım değişikliği

Yırtılma bölgesini basitleştirerek ölçülendirecek olursak bu bölgeyi küp içerisine aldığımızda yaklaşık 45 x 35 x 24 mm ölçüsünde bir hacim içerisine girmektedir.



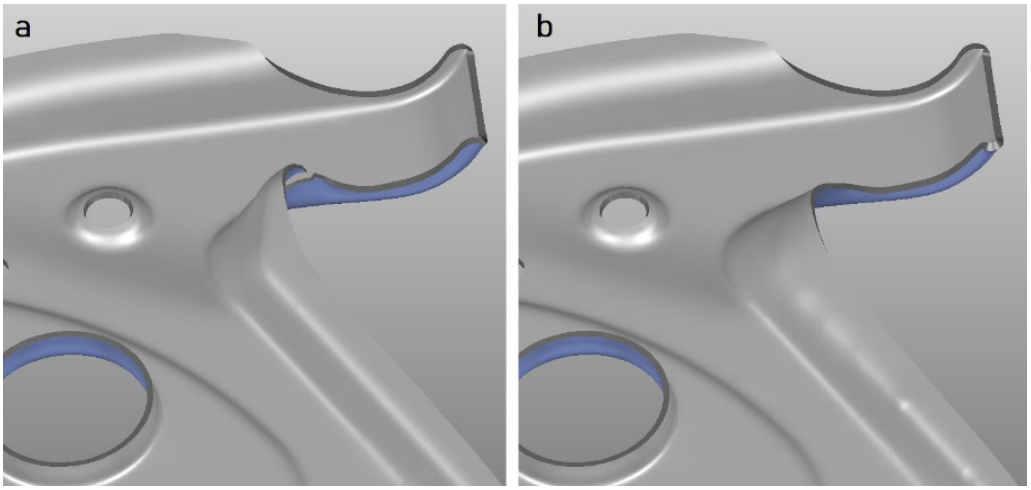
Şekil 4.6 : Yırtılma bölgesi formlu bölge ölçüleri.

Ayrıca kalıplama esnasında oluşan açılara bakıldığında Şekil 4.7'deki gibi her yönde oldukça yüksek bir açıya sahip form görülmektedir.



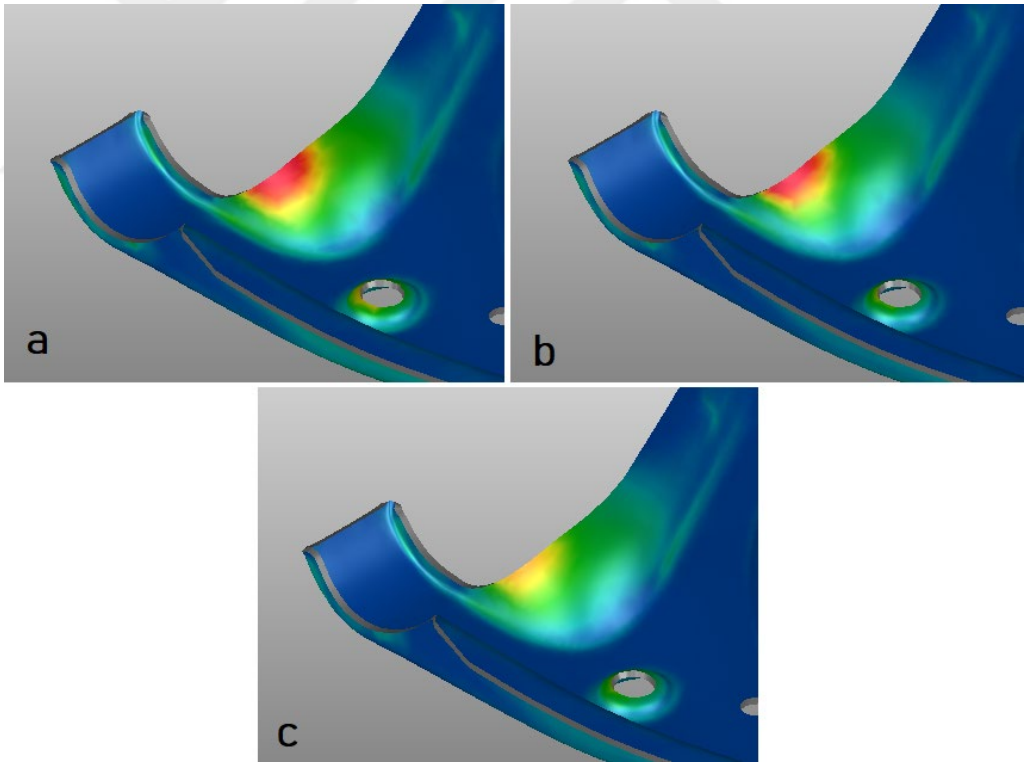
Şekil 4.7 : Yırtılma bölgesi ilk geometriye ait açılar.

Bu sonuçlar sonrasında geometride minör ve majör gerilmeleri azaltmaya yönelik yırtılan bölgede Şekil 4.8'teki gibi tasarım değişikliğine gidilmiştir. Yapılan geometri değişikliği ile yırtılma giderilemediğinden, minimum gerilme olacak şekilde geometriyi derinlemesine etkilemeden yeni bir tasarım elde edilmiştir. Bu tasarım ile gerçekleştirilen analizler Şekil 4.9'da görüldüğü gibi ilk tasarıma göre ciddi oranda azaltılmıştır.



Şekil 4.8 : a. İlk geometri, b. Düzeltilmiş geometri.

Geometride yapılan değişiklik, parça boyunca devam eden radüs bölgesinin yırtılma bölgesine doğru radüslerinin büyütülüp değişken radüs tanımlaması uygulanarak gerilmelerin azaltılması sağlanmıştır (Şekil 4.9).

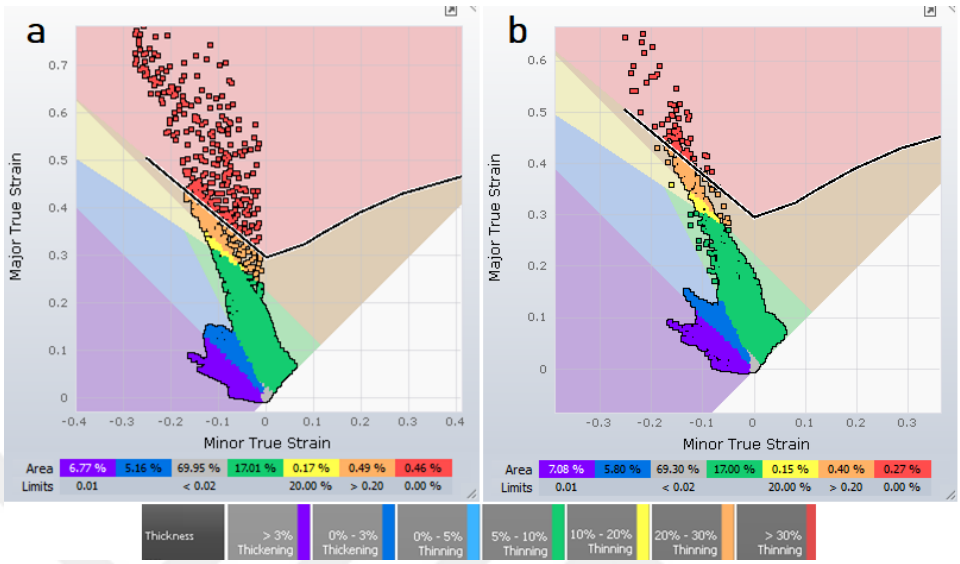


Şekil 4.9 : a. S355MC gerilmeler azaltılmış geometri, b. DD13 gerilmeler azaltılmış geometri, c. DD11'e ait gerilmeler azaltılmış geometri.

Bu analiz sonuçları neticesine göre gerilmelerin azaltıldığı iyileştirilmiş son geometri ile deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4.2.2. Üretim Süreci

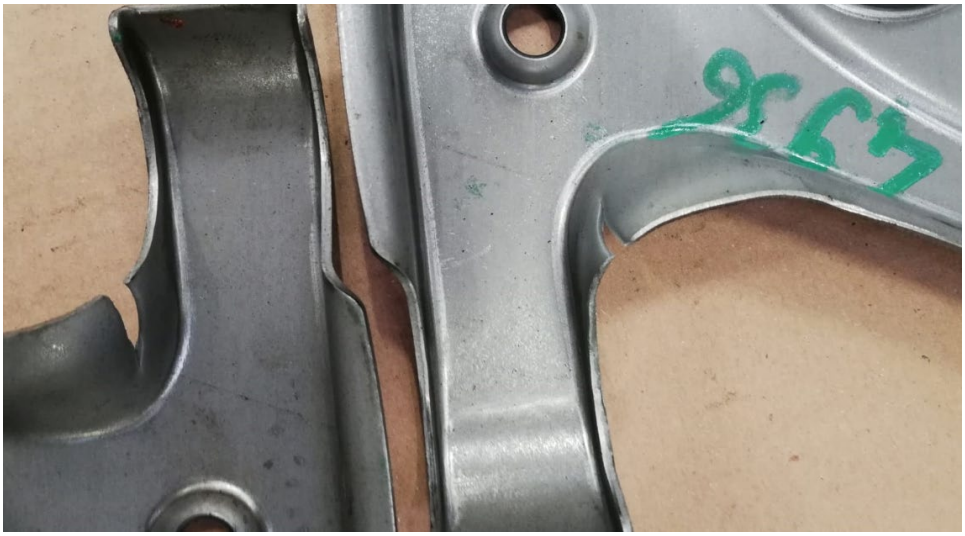
4.2.2.1. S355MC kalite sac ile üretim



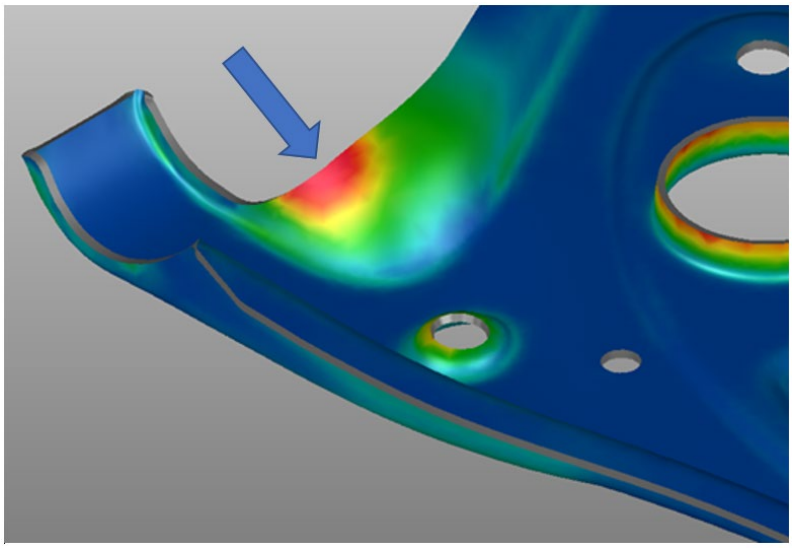
Şekil 4.10 : a. S355MC kalite sac üretilmeyen geometri FLD diyagramı, b. S355MC kalite sac yırtılma azaltılmış üretilen geometri FLD diyagramı.

Yapılan geometri değişikliği ile yırtılma yaklaşık %40 azaltılmıştır (Şekil 4.10). Elde edilen sonuçlar ile yırtılmanın oluşacağı tahmin edilmiş ve bu yırtılmanın giderilmesi için üretim prosesinde ilave operasyonlar eklenerek giderilmesi planlanmıştır.

İlk olarak üretim son geometri ile elde edilen kalıplarla gerçekleşmiş (Şekil 4.11) ve yırtılma her üründe Şekil 4.9 da Autoform çıktısındaki gibi yırtıldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.11 : S355MC kalite sac yırtılma azaltılmış üretilen geometri.

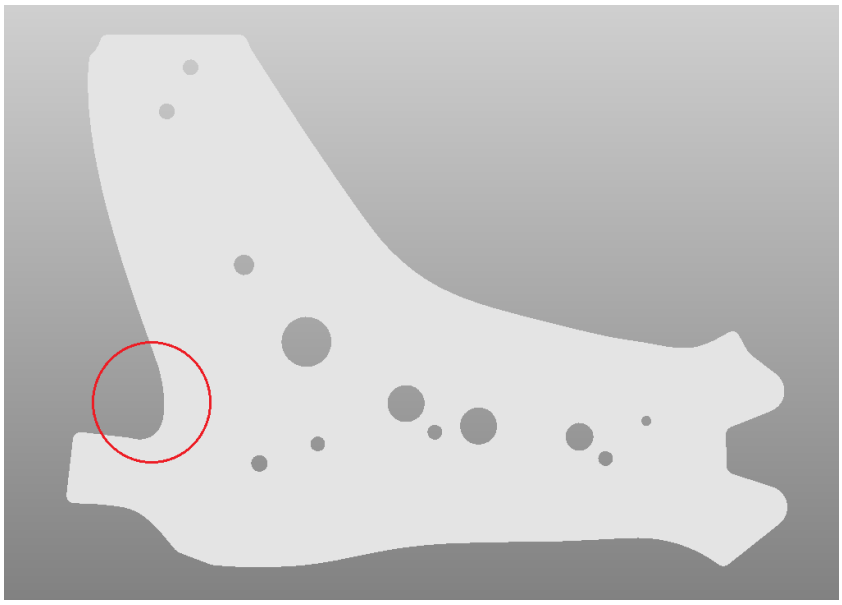


Şekil 4.12 : S355MC kalite sac AUTOFORM çıktısı.

Yırtılmanın oluşmasında üç etken bulunmaktadır; malzeme kalitesinden kaynaklı uzama kabiliyeti, sürtünme etkisi ve çentik etkisi.

Bu üç faktörde göz önünde bulundurularak, uygulaması hızlı ve maliyeti düşük olmasından ilk olarak çentik etkisinin giderilmesi ile problemin çözümüne gidilmesi hedeflenmiştir. Bunun için sac şablon halde iken yırtılma bölgesinin Şekil 4.13 de gösterilen kalınlık boyunca parlatılarak çentik etkisi giderilmiştir.

Parlatma işlemi

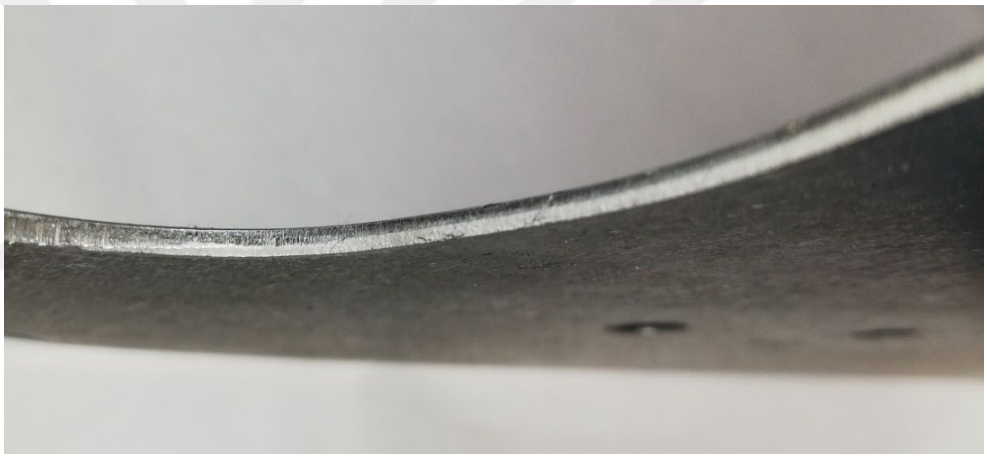


Şekil 4.13 : Şablon yırtılan bölge.

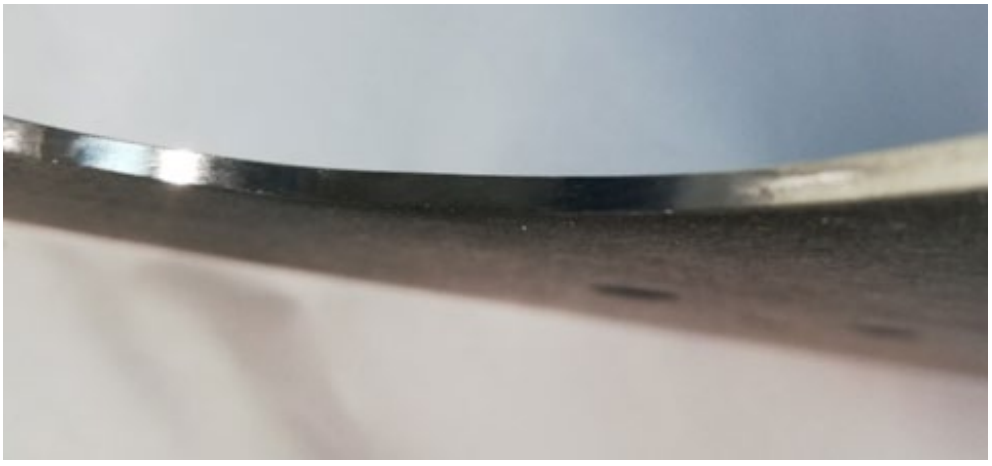
Kullanılan parlatma lastiği Şekil 4.14'te görülen kauçuklu yumuşak tip finiş parlatma lastiği olup parlatma öncesi ve sonrasına ait görüntülerini ise Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.14 : Kauçuk yumuşak tip parlatma lastiği.

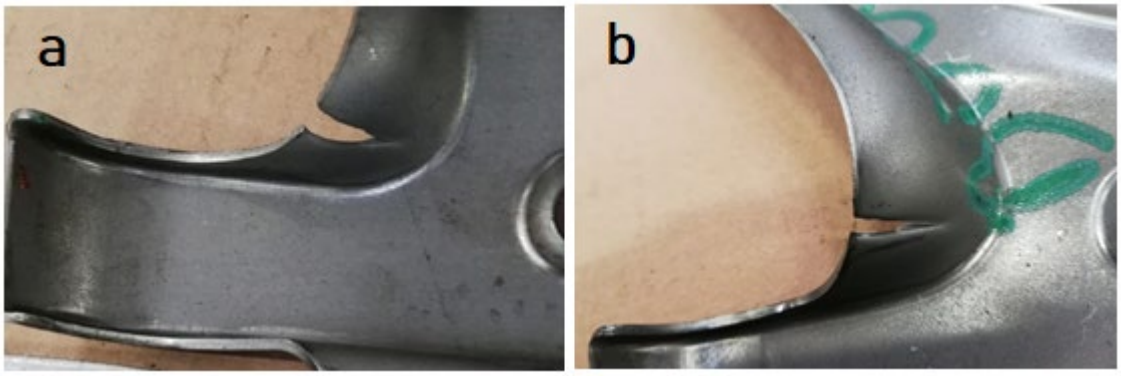


Şekil 4.15 : Parlatma öncesi.



Şekil 4.16 : Parlatma sonrası.

Çentik etkisi giderilmesi ile yapılan üretimde her parçada yırtılma gözlemlendi fakat yırtılma derinliğinin azaldığı görülmüştür (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 : a. Çentik etkisi giderilmemiş S355MC üretim, b. Çentik etkisi giderilmiş - parlatılmış S355MC üretim.

Kalıp yağlayıcı kullanımı

Üretilen her parça yırtıldığı gözlemlendi fakat yırtılma derinliğinin azaldığından ek olarak parlatılmış ve diğer bir faktör olan sürtünme etkisini azaltmak adına kalıp yağlayıcı olarak (PTFE) teflon film ile üretim gerçekleştirildi. Şekil 4.18 de görüldüğü üzere üretilen beş altı parçada bir boyun verme gözlemlendi.



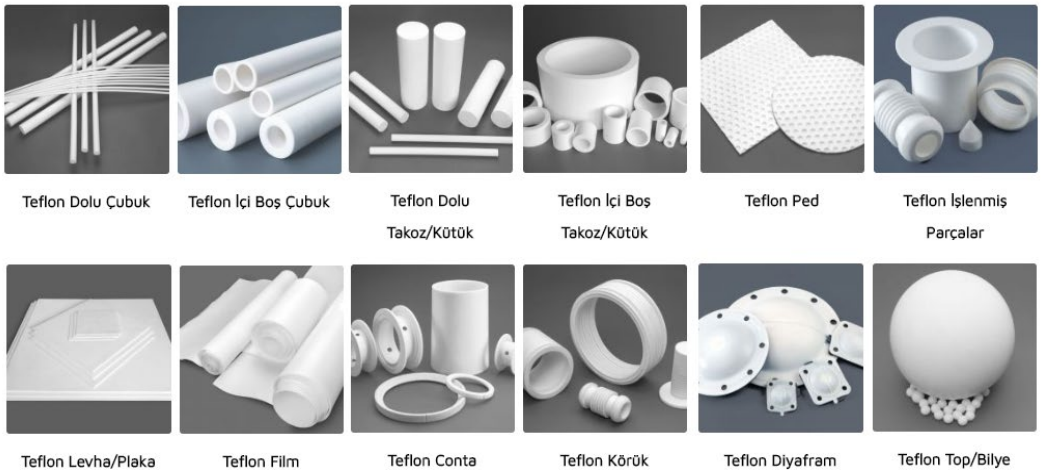
Şekil 4.18 : S355MC kalite sac çentik etkisi giderilmiş ve kalıp yağlayıcı film ile üretilmiş parça.

PTFE (Polytetrafluoroethylene) diğer adıyla teflon olarak bilinir; flor atomları ile doymuş uzun ve lineer karbon zincirinden oluşmaktadır. Molekül yapısındaki karbon ile flor atomları arasındaki çok kuvvetli kimyasal bağlar nedeniyle, hiçbir plastikte bulunmayan üstün özelliklere sahiptir. Çalışma sıcaklığı; -260°C ile +260°C arasındadır. Sanayide kullanılan tüm kimyasal maddelere, neme, her türlü ortam şartlarına yüksek dayanımı vardır. Bütün katılar içinde üstün elektrik izolasyonu, yapışmazlık, yanmama gibi özelliklere sahip olmasının yanında, kendinden önce gelen BAM (Aluminum magnesium boride) ve DLC (Diamond-like carbon) dan sonra bilinen düşük statik ve dinamik sürtünme katsayısına sahip üçüncü katı maddedir [48].

Aşınmaya ve yük altında deformasyona direncini arttırmak, termal genleşme katsayısını düşürmek, ürüne termal ve elektriksel iletkenlik gibi özellikler kazandırmak amacıyla; cam elyaf, karbon, bronz, molibden disülfür gibi çeşitli dolgu maddelerinin ihtiyaca göre çeşitli oranlarda eklenmesiyle alaşımlı şekilde üretilmesi mümkündür. Şekil 4.19' da görüldüğü gibi her tipte teflon bulunmaktadır.

Tablo 4.6 : PTFE Yağlayıcının Özellikleri. [48]

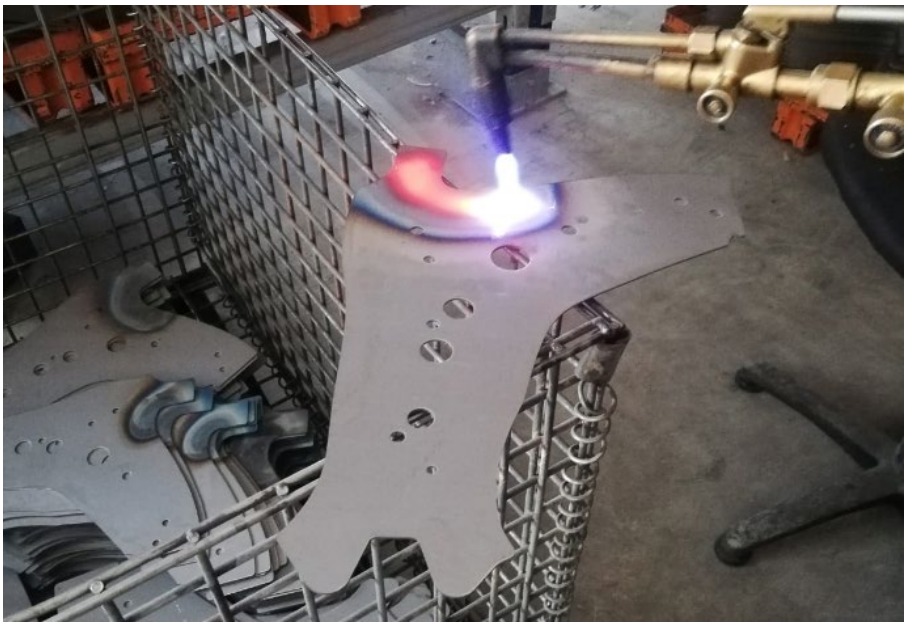
Yoğunluk	2200 kg / m^3
Camsı geçiş sıcaklığı	114,85 ° C (238,73 ° F; 388,00 K)
Erime noktası	326,85 ° C (620,33 ° F; 600,00 K)
Termal Genleşme	112–125 × 10^{-6} K^{-1}
Termal yayılma	0,124 mm^2 / sn
Yong modülü	0.5 GPa
Akma dayanımı	23 MPa
Kütle direnci	10^{18} Ω · cm
Sürtünme katsayısı	0.05-0.10



Şekil 4.19 : PTFE kullanım şekilleri.

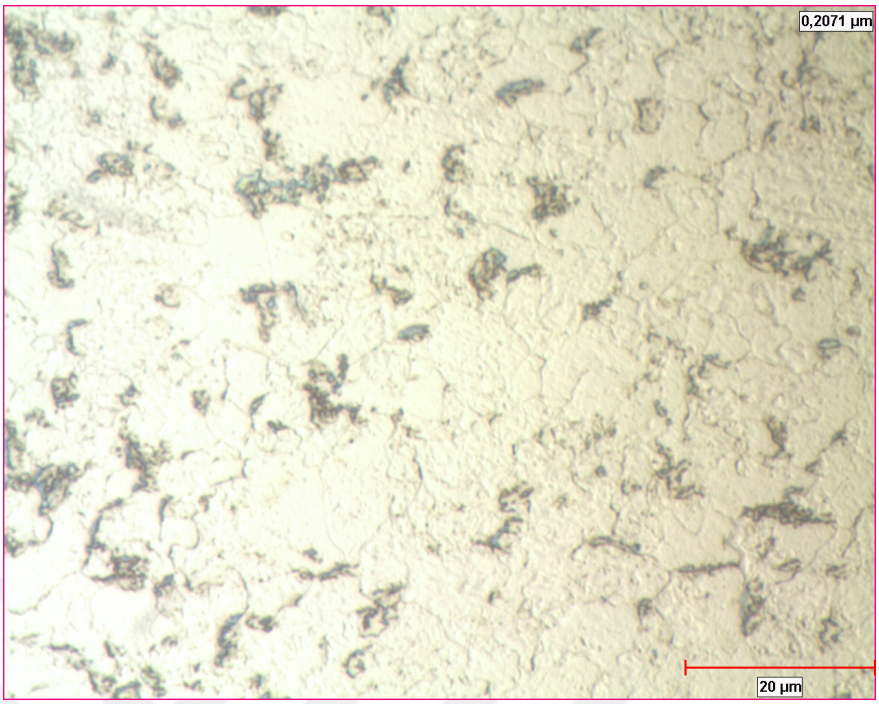
Bölgesel ısıl işlem uygulaması

Farklı olarak, sac malzemenin şablon halindeyken ısıtılması ile malzemenin yumuşatılması ve tane boyutunun düzenli hale gelmesi hedeflenerek oksi-propan gaz kaynağı takımı ile 30 sn süre boyunca yaklaşık 900-1000 C° aralığında ısıtılmış, sıcaklık temassız termometre ile ölçülerek havada soğumaya bırakılmıştır. Isıtılan bölgesel alan Şekil 4.20 de görülmektedir.



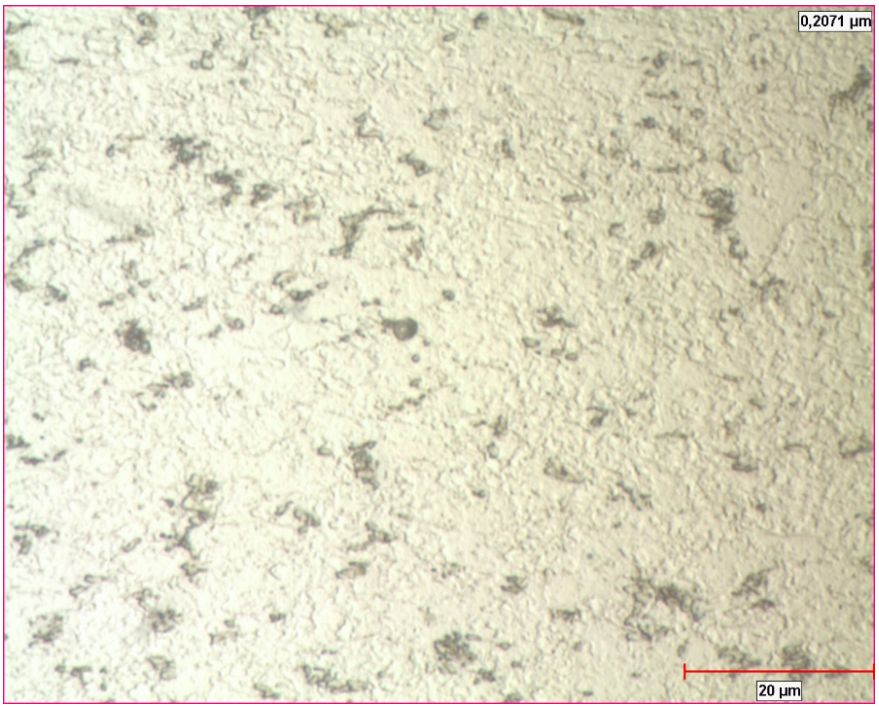
Şekil 4.20 : S355MC kalite sac bölgesel ısıtma.

S355MC kalite saca ait mikroyapı incelendiğinde tane yapılarında ferrit ve perlit yapılar Şekil 4.20 de görülmektedir.



Şekil 4.21 : S355MC ısıl işlem öncesi mikro yapı.

Bölgesel ısıl işlem uygulanmış sacdan alınan mikro yapıya bakarak ferrit ve perlitler yine görülmekte ve tane yapısının birim hacme düşen görüntüsünden yola çıkarak tanelerin küçüldüğü Şekil 4.22 te görülmektedir.



Şekil 4.22 : S355MC ısıl işlem sonrası mikro yapı.

Şablon ısıtılması ile çentik etkisi giderilmiş üretim gerçekleşmiş ve üretilen malzemenin her üründe yırtıldığı fakat yırtılma derinliğinin ciddi oranda azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 : S355MC kalite sac ısıl işlem sonrası üretilen parça.

Bölgesel ısıl işlem, parlatma ve yağlayıcı kullanımı ile üretim

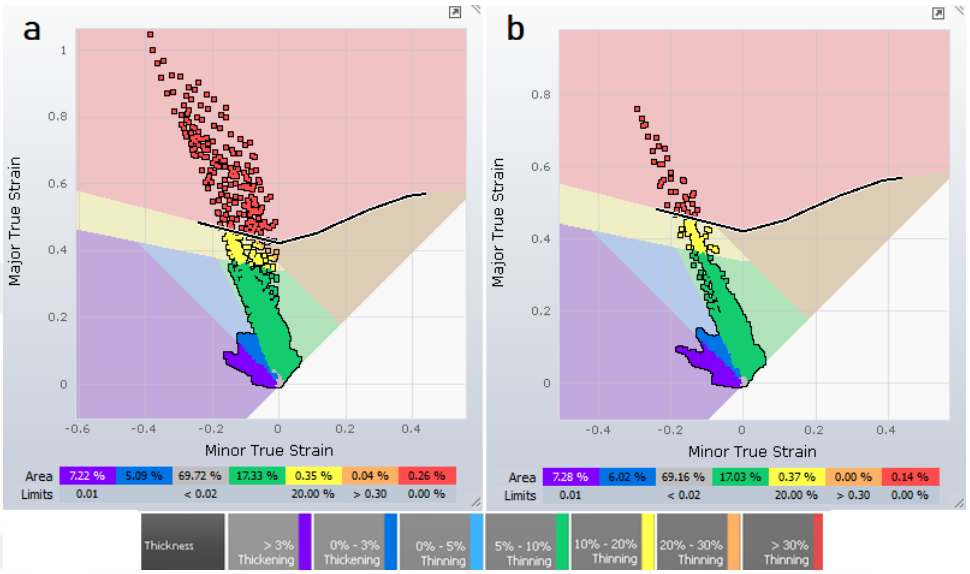
Son olarak kalıptaki problemin geçici aksiyon olarak giderilmesi adına şablonun bölgesel ısıtılması, ardından yırtılma bölgesindeki çentik etkisinin giderilmesi için yapılan parlatma ile üretimde sürtünme etkisinin giderilmesi için kalıp yağlayıcı kullanılmasına başvurulmuş olup, yapılan denemeler sonrasında yırtılma probleminin tamamen giderildiği görülmüştür. (Şekil 4.24)



Şekil 4.24 : S355MC kalite sac bölgesel ısıtma, parlatma ve teflon film ile üretim.

4.2.2.2. DD13 kalite sac ile üretim

Alternatif malzeme olarak DD13 kalite sac için yapılan analiz sonucunda ise ilk ve son geometri arasında yırtılmaya ait %50 oranında bir iyileşme gerçekleşmiştir. İncelme artık kopma riskini çok az seviyede geçmiştir (Şekil 4.25). Bu riski deneysel karşılaştırdığımızda yırtılma belirtilen bölgede yaşanmış olup AUTOFORM çıktısı ile tutarlılık görülmektedir (Şekil 4.26).



Şekil 4.25 : a. DD13 kalite sac üretilmeyen geometri FLD diyagramı, b. DD13 kalite sac yırtılma azaltılmış üretilen geometri FLD diyagramı.

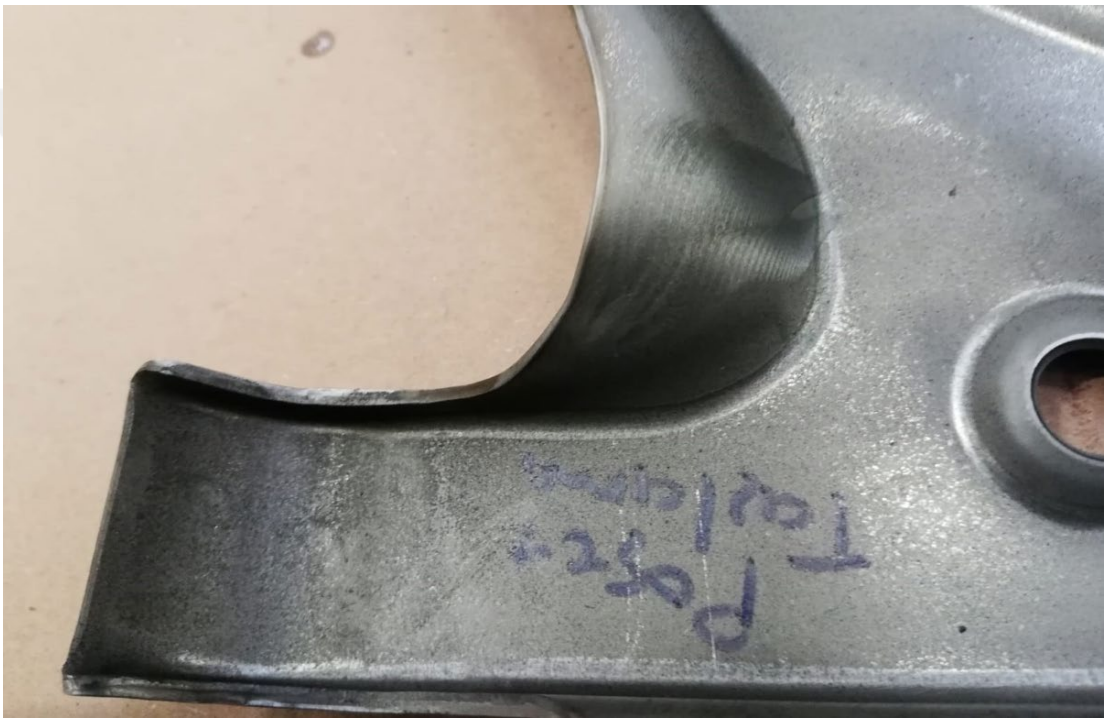


Şekil 4.26 : DD13 kalite sac ara operasyonsuz üretim.

Parlatma işlemi ve yağlayıcı kullanımı

İlk olarak çentik etkisinin giderilmesi için bölgesel parlatma yapılarak üretilen malzemede belli belirsiz boyun verdiği gözlemlenmiş ayrıca S355MC kalite sac için alınan aksiyonlar göz önünde bulundurularak emniyetli olması adına, üretim aşamasında sürtünme etkisinin azaltılması için kalıp yağlayıcı kullanılması ile olası boyun verme probleminin giderilmesi hedeflenmiştir.

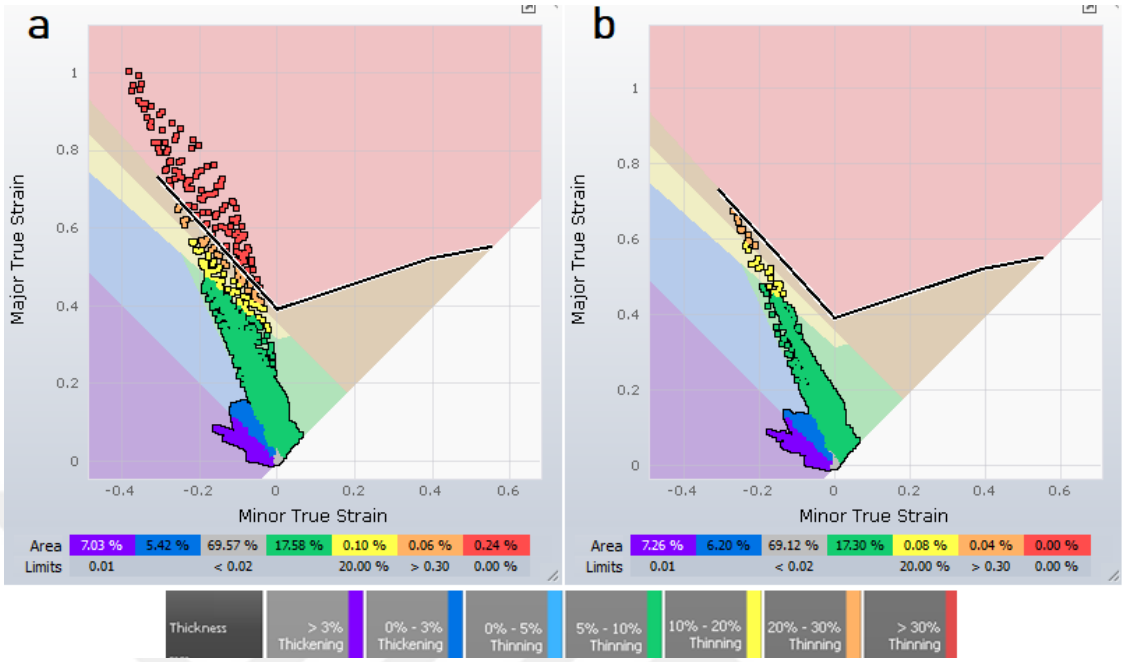
Üretilen parçaların hiçbirinde yırtılma ve boyun verme problem yaşanmamıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 : DD13 kalite sac parlatma ve teflon film ile üretim.

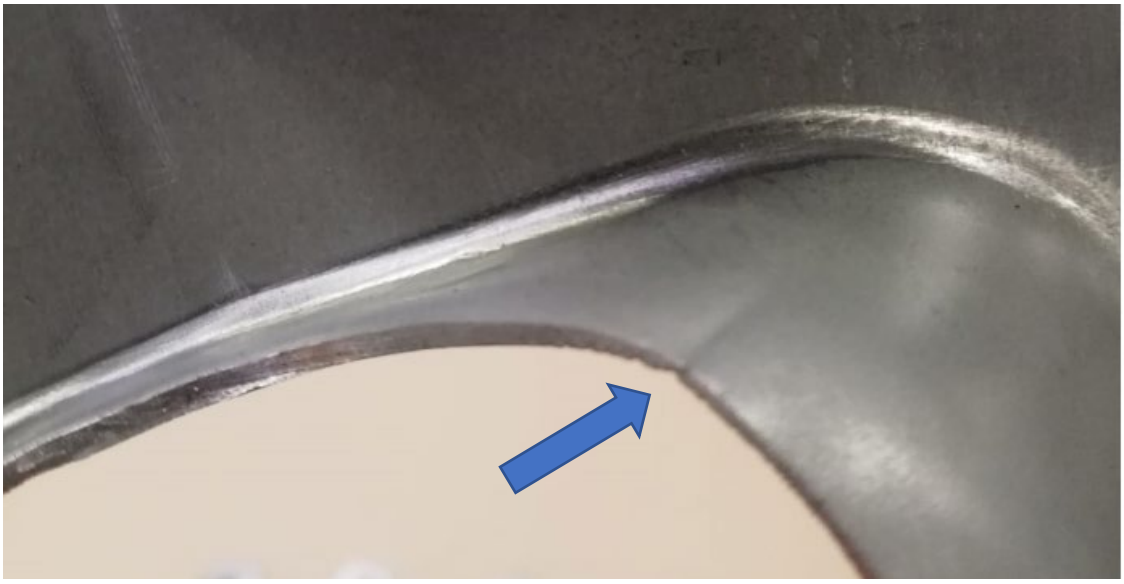
Yapılan bu denemelerin haricinde, yalnızca bölgesel ısıtılarak üretildiğinde yırtılma meydana gelmiştir. Isıstma ve poşet ile üretim gerçekleştirildiğinde yırtılma görülmemiştir fakat üretim açısından maliyetli daha uygun olduğundan kalıp yağlayıcı ve parlatma metodu tercih edilmiştir.

4.2.2.3. DD11 kalite sac ile üretim



Şekil 4.28 : a. DD11 kalite sac üretilmeyen geometri FLD diyagramı, b. DD11 kalite sac yırtılma azaltılmış üretilen geometri FLD diyagramı.

Diğer bir sac olarak DD11 kalite sac için yapılan analiz sonucuna göre (Şekil 4.28) aşırı incelme meydana gelmekte fakat yırtılma riski diğer iki malzemeye göre oldukça düşük. Yapılan üretimler de karşılaşılan boyun verme problemi yırtılmaya ramak kaldığının işareti olup Şekil 4.29'da görülmektedir.



Şekil 4.29 : DD11 Kalite sac işlemsiz boyun verme.

Parlatma işlemi

Et kalınlığındaki çentik etkisinin giderilmesi için bölgesel parlatma işlemi uygulanmış ve yapılan üretimde bu problemin giderildiği görülmektedir. (Şekil 4.30)



Şekil 4.30 : DD11 Kalite sac parlatmalı.

Çentik etkisinin giderilmesinin haricinde bir diğer etki sürtünmeyi azaltma yoluna gidilmiş fakat bazı ürünlerde boyun verdiği gözlemlenmiştir.

Üç malzeme için ısıl işlem sonrası ve yırtılma bölgesine ait formlu bölgede sertlik ölçümlerinin Brinell cinsinden karşılaştırması Tablo 4.7'de görülmektedir.

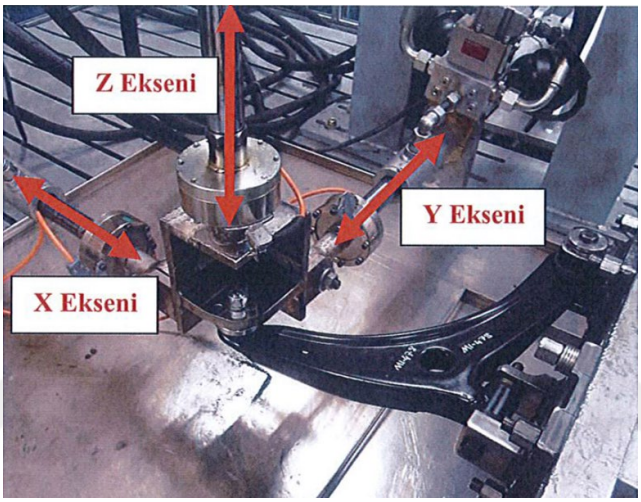
Tablo 4.7: Sacların sertlik değerleri.

MALZEME	ISITILMAMIŞ (HB)	ISITILMIŞ (HB)	FORMLU BÖLGE (HB)
S355MC	152	144	255
DD13	108	106	200
DD11	106	102	190

4.2.3. Numune Ömür Testi

Geçici aksiyon olarak alınan tedbirlerin her birinde istenilen parça elde edildikten sonra ömür testleri yapılmıştır. Alınan aksiyonların araç üzerinde olumsuz bir etki yapmadığı görülmüştür.

Üretimden sonra yapılması gereken testlerden biri ömür testidir. Sac salıncak kolunun çalışma şartlarına uygun ömür testi Teknorot firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde ettiğimiz salıncak kolunun uygun ortam koşullarında belirlenen çevrimi yakalaması hedeflenmektedir.



Şekil 4.31 : Ömür testi cihazı.

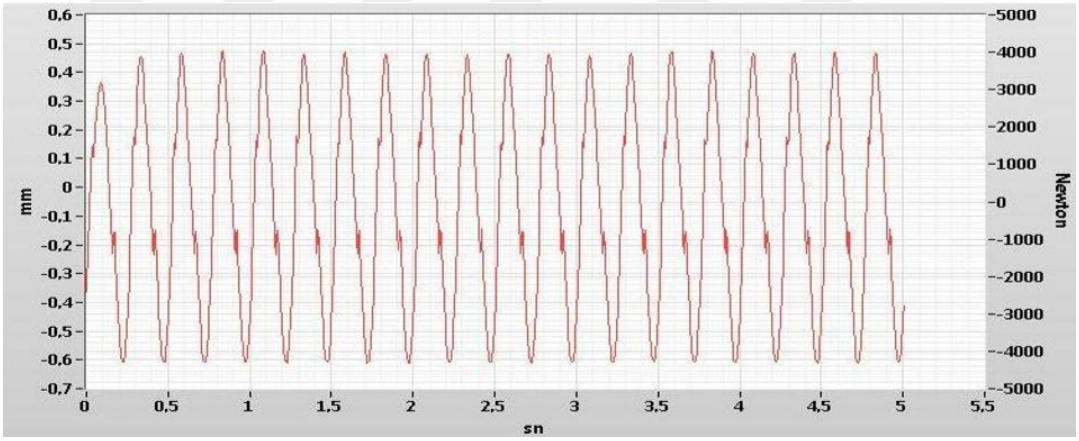
Şekil 4.31'de görülen cihazda sac salıncak koluna gelebilecek 3 eksenli yükün kuvveti, belirli dinamik yük periyoduyla uygulanmakta olup hedeflenen çevrimi aşması beklenmektedir.

Elde edilen numunelerde aracın dolu ağırlığının akslara olan dağılımı ile ilgili tekere gelecek maximum yük bulunduktan sonra salıncağa gelecek kritik yükün virajlarda olduğu göz önünde bulundurularak test için belirlenecek yükün ve açının tayini yapılır. Karşılaşacağı maximum yük ±380 kgf olup 4 Hz ve 45° tek eksenli kritik açı ile 500.000 çevrimi deforme olmadan tamamlaması beklenmektedir (Şekil 4.32).

Yapılan geçici aksiyonların neticesinde elde edilen sağlam ürün kaynaklandıktan sonra salıncak kolu için üretilen ömür testine tabi tutulmuş olup 500.000 çevrimi geçmiştir. Çevrim sonrasında üründe çatlak ve kırılma hasarı oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.32 : Tek eksen yükleme prosesi.



Şekil 4.33 : Yük ve konum grafiği.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

5.1. Sonuçlar

Gün geçtikçe gelişmekte olan sac metal kalıpçılığı sanayide hemen her sektörde oldukça kullanışlı ve kolay üretilebilirlik önemli bir plastik deformasyon ile ürün elde etme yöntemidir. Sac metal kalıpçılığı geçmişte sıkı çalışma, tecrübe ve yüklü maliyet çalışmaları ile karşı karşıya bırakmaktaydı.

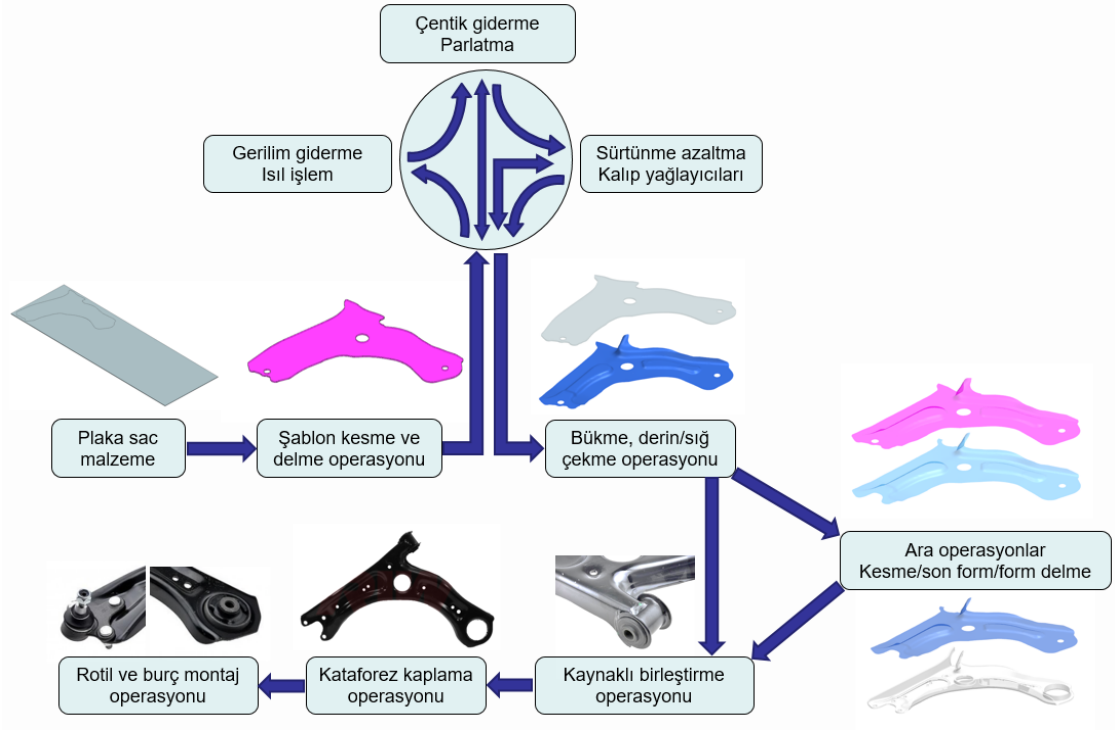
Gelişen teknoloji ile üretimde karşılaşılan hatalar tasarım ve analiz programları kullanılarak erken tespit edilebilirliği artmış ve oluşabilecek ekstra maliyetleri minimum indirmektedir. Tasarım ortamında elde edilen ürün sonlu elemanlar analizi kullanılarak matematiksel model yardımıyla sanal bir deneysel çalışma ortamı oluşturulup deneysel deneme-yanılma sürecini minimum indirmiş hatta tecrübe ile birleştiğinde çoğu parçada ortadan kaldırmış bulunmaktadır.

Gavas ve arkadaşları [15-16], silindirik kapların derin çekilebilirliğinin artırılmasında sürtünme etkisinin şekillendirilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında sürtünme etkisinin azaltılması için çok noktalı baskı plakası kullanımında bilyelerden faydalanarak sürtünmeyi azaltmış ve hava etkili baskı plakası kullanarak malzeme ve kalıp yüzeyleri arasında hava yardımıya sürtünme etkisinin azalmasıyla şekillendirme kabiliyetinde artış olduğunu tespit etmişlerdir. Şen ve arkadaşları [9], HC300LA ve HC420LA soğuk haddelenmiş sac malzemelerin ılık derin çekme oranlarını farklı yağlayıcı kullanımı ile incelemiştir. Grafit sprey malzemenin kullanımı ile gerçekleştirdikleri deneylerde çekme oranı 2,30 olarak elde ederken, grafit sprey ve teflonun beraber kullanımı ile çekme oranının 2,59'a yükseldiğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada çekme oranının yani şekillendirilebilirliğinin yağlayıcılarla arttığı tespit edilmiştir. Bahsedilen çalışmadaki elde edilen sonuçlar ile gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar paralellik göstermekteddir.

Hermann ve Merklein [10], alüminyum alaşımlı bir sacın derin çekilebilirliğinin iyileştirilmesi için kısa süreli lazer ısıl işlem uygulamış ve farklı sıcaklıklarda deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada malzemenin sıcaklık artışı ile mekanik özelliklerdeki değişimi incelemiş, artan sıcaklık ile içyapının homojenliğinin artmasıyla malzemenin % uzamasının artışına ve şekillendirilebilirliğine katkı sağladığı tespit edilmişdir. Merklein ve arkadaşları [14], AA6000 alaşımlı alüminyum serisi malzeme 5sn kadar ortalama 337°C YAG lazer ile ısıl işlem uygulayarak malzemenin bölgesel yumuşamasını sağlamış ve ve yapılan derin çekme ve eğme işlemlerinde şekillendirilebilirliğin arttığı tespit edilmiştir.

Krupa ve Biskup [49], S355MC için kalıplamada karşılaşılan yırtılma hasarının giderilmesi için gerekli kalıp sayısını arttırarak ön şekillendirme yoluna başvurmuşlardır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile kalıp sayısını artırmadan bahsedilen ara operasyonlarla karşılaşılan problemlerin başarılı bir şekilde çözülebileceği anlaşılmaktadır. Böylece çalışma ile ilgili endüstriyel alana önemli katkı sunarak, daha hızlı, ekonomik ve kaliteli ürün elde edilebileceği ispatlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar ile üretimde karşılaşılan yırtılma hasarı probleminin ara operasyonlar eklenerek çözülebileceği şematik olarak Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Üretim süreci ara operasyon tanımlaması.

Bu çalışmada sac metal malzemenin değişmesi ile gözlemlenen yırtılma problemi ve giderilme yolları araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Sac şekillendirme işlemlerinde analiz programlardan faydalanmanın üretimde karşılaşılacak hataların önceden tespitini mümkün kılmaktadır. Çalışmada üç farklı sac malzemenin analizi yapılarak yırtılma hasarı oluşabilecek kritik bölgeler tespit edilmiştir.
- Sac malzemelerin kalıplama esnasında yırtılma hasarlarının engellenmesi, tasarım aşamasında kritik bölgelerin geometrik iyileştirilmesi ile daha mümkün olmaktadır.
- DD13 kalite sac ile yapılan kalıplamada aşırı şekillendirilen bölgelerde oluşan gerilmeler analiz programı ile tespiti edilmiş ve kalıplama sonrasında yırtılma hasarı gözlemlenmiştir. İlk olarak çentik etkisinin giderilmesi için bölgesel parlatma yapılmış ve üretim sırasında katı kalıp yağlayıcı kullanılarak yırtılma hasarı giderilmiştir.
- DD11 kalite sac ile üretimi gerçekleştirilen parçanın fazla gerilmeden dolayı incelerek boyun verme oluştuğu analiz programı ile tespit edilmiş, incelme oluşan bölgedeki çentik etkisinin alınması ile problemin çözüldüğü gözlemlenmiş.
- S355MC kalite sac için yapılan çalışmalarda çentik etkisi giderilerek katı yağlayıcı teflon film ile üretim yapılmış ve yırtılma probleminin az da olsa devam ettiği gözlemlenmiştir. Şekillendirilmeden önceki şablon aşamasında bölgesel ısıtma uygulanmıştır. Malzeme iç yapısının kararlı hale gelmesinden sonra çentik etkisinin giderilmesi için bölgesel parlatma uygulanmış ve sürtünmeyi azaltmak için teflon film ile kalıplayarak üretim gerçekleştirilmiştir. Yırtılma probleminin ortadan kalktığı gözlemlenmiştir.
- Yorulma testleri sonucunda ürünlerde (numunelerde) 500.000 çevrim sonunda çatlama ve yırtılma hasarı tespit edilmemiştir.
- Sac metallerin şekillendirillebilirliğini etkileyen önemli kriterler; malzeme mekanik özellikleri, sürtünme kuvveti ve çentik etkisi olduğu gözlemlenmiştir.
- Çentik etkisinin şekillendirme kabiliyetini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

- Sürtünme kuvvetini azaltmak için katı yağlayıcı olarak teflon filmin sürtünme katsayısını oldukça düşürdüğü ve şekillendirme kabiliyetini arttırdığı görülmüştür.
- Bölgesel ısıl işlem ile malzeme iç yapısının kararlı hale gelmesi ile şekillendirme kabiliyetinin arttığı gözlemlenmiştir.

5.2. Öneriler

- Bir sonraki çalışmalarda çentik etkisinin giderilmesi için alternatif şablon kesme yöntemleri ile denemeler yapılabilir. Yırtılma probleminin devam etmesi durumunda, sürtünme etkisinin giderilmesi ve sac malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla ısıl işlem uygulanıp denemeler gerçekleştirilebilir.
- Lazer kesim yöntemi ile gerçekleştirilerek çentik oluşum probleminin devam edip etmeyeceği araştırılabilir.
- Analiz programlarında, malzeme tanımlamalarındaki parameter girdileri artırılarak çentik etkisinin tespiti erkenden yapılabilir.
- Yağlayıcı olarak sürtünme kuvvetinin etkisinin incelenmesi için farklı yağlayıcı malzemeler kullanılabilir.
- Şekillendirme sonrasında plastik deformasyonun aşırı gerçekleştiği bölgelerde, fazlaca pekleşme olup bu pekleşme derecesinin çatlağa neden olup olmadığı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Shao Z., Lin J., Ganapathy M. and Dean T. (2018). Experimental and modelling techniques for hot stamping applications, *17th International Conference on Metal Forming, Metal Forming*, (pp.6–13), Toyohashi, Japan: Procedia Manufacturing 15, September 16-19.

[2] Shinge V.R. and Dabade U.A. (2017). Experimental Investigation on Forming Limit Diagram of Mild Carbon Steel Sheet, *2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering*, (pp.141–146), Sangli, India: Walchand College of Engineering, December 11–12.

[3] Saito N., Fukahori M., Hisano D., Hamasaki H. and Yoshida F. (2017). Effects of temperature, forming speed and stress relaxation on springback in warm forming of high strength steel sheet, *International Conference on the Technology of Plasticity, ICTP 2017,* (pp.2394–2398), Cambridge, United Kingdom: Procedia Engineering 207, September 17-22.

[4] Venturato G., Novella M. Bruschi S., Ghiotti A. and Shivpuri R. (2017) Effects of phase transformation in hot stamping of 22MnB5 high strength steel, *17th International Conference on Sheet Metal, SHEMET17*, (pp.316-321), Padova, Italy: - Universty of Padova, April 10-12.

[5] Jayahari L., Naik B.B., and Singh S.K. (2014) Effect of process parameters and metallographic studies of ASS-304 Stainless Steel at various temperatures under warm deep drawing, *3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation, ICMPC 2014,* (pp.115-122), Hyderabad, AP India: Gokaraju Rangaraju Institute of Engineering & Technology, March 8-9.

[6] Zhang C., Chu X., Guines D., Leotoing L., Ding J., and Zhao G. (2014) Effects of temperature and strain rate on the forming limit curves of AA5086 sheet, *11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014,* (pp.772-778) Shandong, P.R. China: Shandong University, October 19-24.

[7] Fakir Ö.E., Wang L., Balint D., Dear J.P. and Lin J. (2014) Predicting effect of temperature, strain rate and strain path changes on forming limit of lightweight sheet metal alloys, *11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014,* (pp736-741), London: Imperial College, October 19-24.

[8] Jayahari L., Sasidhar P.V., Reddy P.P., BaluNaik B., Gupta A.K. and Singh S.K. (2014), Formability studies of ASS 304 and evaluation of friction for Al in deep drawing setup at elevated temperatures using LS-DYNA, *Journal of King Saud*

University, Engineering Sciences, (pp.21-31), Hyderebad, India: Gokaraju Rangaraju Institute of Engineering & Technology, January 11.

[9] Şen N. Kurgan N. Karaağaç I. ve Uluer O. (2016), Ilık Derin Çekme Prosesinde Yağlayıcı Etkisinin Şekillendirilebilirlik Açısından Deneysel Araştırılması, *Politeknik Dergisi 19* (pp.185-193), Karabük, Trkiye: Karabük Üniversitesi, Ağustos 17, doi: 10.2339/2016.19.2.

[10] Herrmann J., and Merklein M. (2018), Improvement of deep drawability of ultra-fine grained 6000 series aluminum alloy by tailored heat treatment, *17th International Conference on Metal Forming, Metal Forming 2018*, (pp.972-983), Erlangen, Germany: Friedrich Alexander Universität Erlangen, September 16-19.

[11] Shrivastava P., and Tandon P. (2015), Investigation of the effect of grain size on forming forces in Single Point Incremental Sheet Formin, *2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015*, (pp.41-45), Jabalpur, India: PDPM Indian Institute of Information Technology,
February 4-6.

[12] Alexandera K., Daniela W., and Marion M. (2014), Influence of a short term heat treatment by conduction and induction on the mechanical properties of AA6014 alloys, *8th International Conference on Photonic Technologies LANE 2014,* (pp.1410-1418), Sindelfingen, Germany: Daimler AG, January 17.

[13] Lee E.H., Yang D.Y., Yoon J.W., and Yang W.H. (2015), Numerical modeling and analysis for forming process of dual-phase 980 steel exposed to infrared local heating, *International Journal of Solids and Structures,* Daejeon, Repuclic of Korea: Korea Advanced Institute of Science & Tech., September 15.

[14] Merklein M., Böhm W. and Lechner M. (2012), Tailoring material properties of aluminum by local laser heat treatment, *LANE 2012,* Erlangen, Germany: University of Erlangen, (September 14)

[15] Gavas M., Uğraş A., "Hava Etkili Baski Plakasinin Derin Çekme İşlemlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi" Gazi Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(4), 847-855, 2010.

[16] Yaşar M., Korkmaz Z., Gavas M., "Forming sheet metals by means of multi-point deep drawing method" Materials and Design, 28(10), 2647–2653, 2007.

[17] Öztürk T. (1984), Çelik Sacların Biçimlendirme (Derin-Çekme) Özellikleri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, (292):12-17.

[18] Kayalı S. ve Ensari C., (1986) Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları, *İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Yayınları*, İstanbul, Türkiye.

[19] Muammer GAVAS (2017), Sac Metallerin Şekillendirilmesi: Kesme-Bükme - Derin Çekme - İş ve Takım Bağlama kitabı.

[20] Kucur Ö., (2002). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Çelik Sacların Biçimlendirilmesi ve Biçimlendirmeyi Etkileyen Faktörler, Bitirme Tezi, YTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul.

[21] http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/B%C3%BCkme%20Kal%C4%B1plar%C4%B1%201.pdf, Erişim tarihi: 12 Mart 2020

[22] Gülmez T., (2011), Mak3 351 İmal Usulleri, Erişim: 12 Mart 2020 http://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch06-Sac%20PSV.pdf

[23] Kunanç M. ve Aksakal B., (1998). Çok Düşük Karbonlu Çeliklerin Sac Şekillendirilebilirliği, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[24] Kayalı S. ve Ensari C., (1986) Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları, *İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Yayınları*, İstanbul, Türkiye.

[25] Keeler S.P. and Backofen W.A. (1963), Plastic Instability and Fracture in Sheets Stretched Over Rigid Punches, ASM Trans. Quart., 56, 25–48,

[26] Campos H., Butuc M., Gracio J., Rocha J., and Duarte J., (2008) Theorical and experimental determination of the forming limit diagram for the AISI 304 stainless steel, *Journal Of Materials Processing Technology*, 179, 56.

[27] Paraianu L., Comşa D.S., Gracio J.J., and Banabic D., (2005) Modelling of the Forming Limit Diagrams Using the Finite Element Method, *The 8th International Conference of the European Scientific Association for Material Forming ESAFORM 2005,* (pp.151.161), Aveiro, Portugal: Aveiro University, April 16.

[28] Casari F., Tassan M., Messina A., and Molinari A. (2006), Effect of Punch Diameter, Grid Dimension and Lubrication on Forming Limit Diagram, *Journal of Testing and Evaluations 34*, (pp.24-30), Trento, Italy: University of Trento, January 1, doi: 10.1520/JTE12669

[29] Duddeck F. (2007) 9-material models, Department Of Engineering Queen Mary College, London University, London, UK

[30] Dilmec M., Halkaci H.S., Ozturk F., and Turkoz M. (2012), Detailed investigation of forming limit determination standards for aluminum alloys, *Journal of Testing and Evaluation*, (pp.10-21), Konya, Türkiye: Konya Üniversitesi, December 11.

[31] Hsu E., Carsley J.E. and Verma R. (2008), Development of Forming Limit Diagrams of Aluminum and Magnesium Sheet Alloys at Elevated Temperatures, *Journal of Materials Engineering and Performance*, (pp.288-296), Chaska, United Stade: Interlaken Teknology, January 29.

[32] Güneş A.T. (1989), Pres İşleri Tekniği Bölüm I, *MMO yayınları, Yayın no 129*,

[33] Suchy I. (1997), Handbook of DIE Design - Second Edition, McGraw-Hill,

[34] Paul S.K. (2013), Theoretical analysis of strain and stress-based forming limit diagrams, *J Strain Analysis,* 48(3), 177–188, April 2013.

[35] Kayalı E.S., Çimenoğlu H. ve Akoy M.A. (2000), Erdemir T.A.Ş. Üretimi Sacların Biçimlenebilirliklerinin İncelenmesi, *İnceleme Raporu, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi*, İstanbul, Türkiye.

[36] Narayanasamy R., Satheesh J. Narayanan S. (2008) Effect Of Annealing on combined forming, fracture and wrinkling limit diagram of Aluminium 5086 alloy sheets, *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, (pp.122-131) Tamil Nadu, India: National Institute of Technology, December 4.

[37] Mori K., Maki S., and Tanak Y. (2005), Warm and Hot Stamping of Ultra High Tensile Strength Steel Sheets Using Resistance Heating, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (pp.209-212), Toyohashi, Japan: Toyohashi University of Technology, December 17.

[38] Lenze F.J., and Sikora S. (2006), Hot Forming Process Important Parameters for The Production of High Strength BIW, *International Deep Drawing Research Group IDDRG*, (pp.295.301) Porto, Portugal: June 19-21, ISBN:972-8953-06-2

[39] https://www.ikinciyeni.com/blog/oto-hayat-detay/suspansiyon-nedir-ne-ise-yarar, Erişim tarihi: 12 Mart 2020

[40] https://www.otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/05/suspansiyon-sistemi-nedir-cesitleri-neler.html, Erişim tarihi: 12 Mart 2020

[41] https://www.otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/02/macpherson-bagimsiz-suspansiyon-sistemi.html, Erişim tarihi: 12 Mart 2020

[42] https://www.otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/02/cift-salincakli-bagimsiz-suspansiyon.html, Erişim tarihi: 12 Mart 2020

[43] https://www.otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/05/havali-suspansiyon-sistemi-nedir-nasil-calisir.html, Erişim tarihi: 12 Mart 2020

[44] Hac A., Rollover stability index including effects of suspension design, *Sae Technical Paper*, vol. SP-1656, no. 724, pp. 68-78, 2002.

[45] Emekli M. E., "Hafif ticari bir araç için yarı aktif süspansiyon sistemi tasarımı," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.

[46] https://mekanikdunyasi.wordpress.com/2014/11/02/suspansiyon-sistemi-nedir-nasil-calisir, Erişim 20 Mart 2020

[47] Çalışkan K., Ünlüsoy Y.S. ve Dağ S., Otomobil denge çubuğu için otomatik tasarım analizi, *Otomobil Teknolojileri Kongresi*, Ankara, Türkiye, 2004, ss. 8

[48] https://en.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluoroethylene Erişim: 20 Ağustos 2020

[49] Krupa R., Biskup K., "Pre-Forming in Sheet Metal Stamping for Part Made of High Strength Low Alloy Steel S355mc", Journal of Manufacturing Technologies, Vol. 42 No. 3, 7-10, 2017.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : **Melih TUYAN**
Doğum Tarihi ve Yeri : [redacted]
E-posta : [redacted]

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2012, Sezai Türkeş Feyzi Akkaya ATL, Makine Bölümü
- **Lisans** : 2016, Dumlupınar Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2021, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İmalat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017-2018 Haziran aralığında (16 ay) plastik kalıp tasarım mühendisi. (ALBA Plastik Sanayi ve Ticaret A.Ş.)
- 2018 Ağustostan beri sac kalıp tasarım mühendisliği. (Teknorot Otomotiv Ürünleri San ve Tic. A.Ş)

YAYINLAR

- Tuyan M. and Uzun H., Ultrasonik Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Cam Fiber Takviyeli PP Kompozitlerin Birleştirme Mukavemetine Enerji Yönlendirici Türünün Etkisi - 2018 Published in 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 09-11 November 2018 (ISITES2018 Alanya – Antalya - Turkey)
- Tuyan M. and Demirer A., "Otomotiv Süspansiyon Sisteminde Kullanılan DD11 ve DD13 Sac Malzemelerin Yırtılma Davranışlarının İncelenmesi" Uluslararası

Bilimsel Çalışmalar Kongresi, UBCAK2020, 399-410, Eylül 2020. ISBN: 978-625-7813-17-4

- Tuyan M. and Demirer A., “Sac Kalıplama Prosesinde DD13 ve S355MC Malzemelerin Yırtılma Davranışlarının İncelenmesi ve Çözümü” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, EJOSAT Aralık 2020. (DOI: 10.31590/ejosat.828066)