

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOBİLLERDE KULLANILAN SALINCAK SAÇLARINDA
KESME KALIBI SONRASI OLUŞAN GERİLME
YİĞİLMALARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
ANALİZİ

UĞUR PONÇAKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. FEVZİ BEDİR

ARALIK 2023

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOBİLLERDE KULLANILAN SALINCAK SAÇLARINDA
KESME KALIBI SONRASI OLUŞAN GERİLME
YIĞILMALARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
ANALİZİ

UĞUR PONÇAKLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. FEVZİ BEDİR

ARALIK 2023

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES

FINITE ELEMENT METHOD ANALYSIS OF
STRESS GENERATION AFTER CUTTING DIE IN SHEET
WISHBONE USED IN AUTOMOBILES

UĞUR PONÇAKLI

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

ADVISOR: PROF. DR. FEVZİ BEDİR

DECEMBER 2023



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/07/2023 tarih ve 2023/40 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/10/2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Uğur PONÇAKLI'nın tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Fevzi Bedir

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Recep Önler

ÜYE

: Doç. Dr. Bilal Kurşuncu

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.....tarih vesayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Otomotiv sektöründe, metal şekillendirme öncesi, şekil verilecek sacın kabaca dış hatlarının belirlendiği kesme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem açınım kesme ya da blanking operasyonu olarak adlandırılır. Kesme işleminden sonra kesim yüzeyinde düzensiz bölgeler oluşmaktadır. Çünkü bu yüzeyde aslında tamamen kesme işlemi gerçekleşmez. Bir kısımda kesme oluşurken bir kısımda kopma gerçekleşir. Bu ölçü kesme boşluklarına, zımba kaplamasına, zımba sertliğine ve kalıp tasarımı gibi parametrelere bağlıdır. Fakat kabaca tabirle tanımlamak gerekirse kesme işlemi sac kalınlığının 1/3'lük kısmında oluşurken 2/3'lük kısmı kopma bölgesi görülür. Kesme zımbasının saca ilk temas ettiği yüzeyde kesme işlemi olur. Kesme yüzeyi temiz ve çapaksızdır. Bu bölge düzenli ve stres yığılmalarının çok az olduğu bölgedir. Bu bölgenin altında kalan bölgede zımba önüne gelen sacı yığarak ilerleyeceği için sac parçada kopma görülmeye başlar. Kopma olan yüzey ise düzgün ve temiz bir yüzey değildir. Mikro çatlakların çok olduğu bu yüzey form verme işleminde sac üzerinde oluşacak yırtılmaların temel sebebidir. Bu çalışmada, kesme işleminde oluşan kopma bölgesini minimum seviyeye çekmeye çalışılmıştır. Kesme operasyonundan çıkan sacların form verme işlemine olan etkisini öğrenmek için kesilen sacların kesme kenarları incelenmiştir. Kalıp tasarımları simufact programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile simüle edilmiştir. Deneylerde, süspansiyon parçalarından olan sac salıncak üretiminde kullanılan 3mm S355mc sacı kullanılmıştır. Deneylerde geleneksel klasik kesme yöntemi ve hassas kesim yöntemi kıyaslanmıştır. Hassas kesme kalıbı için farklı tasarımlar yapıp kalıp üzerindeki tırnakların sayısının, altta veya üstte olma durumunun sonuca etkileri incelenmiştir. Tırnak yapılarının konumunun kesme kenarına pozitif ve negative etkileri incelenmiştir. Kesme işlemleri sonrası sac kenarında oluşan çapak yükseklikleri, stres yığılmaları ve kavislenme bölgeleri incelenmiştir. Kesme kenarlarında oluşan negatif etkiler azaltılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sac Salıncak, Hassas Kesim, Çentik Etkisi, Stres Yığılması, Kesme Kenarı

ABSTRACT

In the automotive sector, before metal forming, the cutting process is carried out in which the outline of the sheet to be shaped is roughly determined. This operation is called blanking operation. After the cutting process, irregular areas are formed on the cutting surface. Because on this surface, the cutting process does not actually take place completely. While cutting occurs in one part, rupture occurs in another part. This size depends on parameters such as cutting gaps, punch coating, punch hardness and die design. But to define it roughly, the cutting process occurs in $1/3$ part of the sheet thickness, while the $2/3$ part is the rupture zone. The cutting process takes place on the surface where the cutting punch first contacts the sheet. The cutting surface is clean and burr-free. This region is the region where the stress concentrations are very low and regular. In the area under this area, the sheet metal coming in front of the stapler will pile up, so rupture begins to appear. The ruptured surface is not a smooth and clean surface. This is the main reason for the tearing that will occur on the sheet in this surface forming process, where there are many micro-cracks. In this study, it was tried to minimize the rupture region formed during the cutting process. The cutting edges of the cut sheets were examined in order to learn the effect of the sheets coming out of the cutting operation on the forming process. Both operations were simulated using the finite element method using the simufact forming program. In the experiments, 3mm S355MC sheet, which is used in the production of the sheet wishbone, which is one of the suspension parts, was used. In the experiments, the traditional cutting method and the precision cutting method were compared. Burr heights and stress concentrations formed on the sheet edge after all cutting processes were investigated.

Keywords Sheet Wishbone, Precision Cutting, Sheared Edge, Stress Concentration, Cutting Edge, Fine Blanking

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesinde destek olan danışman hocam Prof. Dr. Fevzi BEDİR 'e ve gösterdikleri desteklerden ötürü her zaman yanımda olan sevgili eşim Büşra PONÇAKLI ve değerli oğlum Ömer Tuna PONÇAKLI 'ya ve bugünlere ulaşmamı sağlan kıymetli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2.OTOMOBİL SÜSPANSİYON GRUBU PARÇALARI	4
2.1. Otomotiv Süspansiyon Sistemleri Nedir ve Neden Önemlidir?	4
2.2. Süspansiyon Sistemi Temelleri ve Amacı	4
2.3. Süspansiyon Sistemi Bileşenleri	5
2.3.1. Salıncak ve Denge Kolları	5
2.4. Süspansiyon Tipleri	7
3.SAC PARÇALARIN ÜRETİMİ	8
3.1. Sac Parçaların Yaygın Kullanımı ve Önemi	8
3.2. Sac Malzemelerinin Farklı Özellikleri ve Seçim Kriterleri	8
3.3. Sac Malzemelerin Üretim Süreçleri	9
3.3.1. Sac Kesim Yöntemleri	9
3.3.2. Sac Form Verme Yöntemleri	12
4.SAC KESME İŞLEMİ	13
4.1. Deformasyon Aşaması	13
4.1.1. Kesme Olayı	14
4.1.2. Kopma Olayı	14
4.2. Kesme Kalıbı Tasarım Parametreleri	16
4.2.1. Kesme Boşluğu	16
4.2.2. Kesme Boşluğunun Hesaplanması	18
4.2.3. Kesme Kuvvetinin Hesaplanması	19
4.2.4. Kesme Kuvvetine Etki Eden Faktörler	21
4.2.5. Kesme Kalıbı Elemanları	21
5.HASSAS KESME İŞLEMİ	25
5.1. Hassas Kesme Kalıbı Çalışma Prensibi	27
6.YÖNTEM	30
6.1. Malzeme Seçimi	30
6.2. Hassas Kesme Kalıbı Tasarımı	32
6.3. Klasik Kesme Kalıbı Tasarımı	33
6.4. Kesme boşluğunun hesaplanması	34
6.5. Kesme Kuvvetinin Hesaplanması	34

7.SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	35
8.TEK TIRNAKLI HASSAS KESME KALIBI İLE KLASİK KESME KALIBI ÇAPAK YÜKSEKLİKLERİ KİYASLAMALARI	51
9.SONUÇLAR VE TARTIŞMA	54
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	61



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Otomobil süspansiyon sistemi.	6
Şekil 2.2: Otomobil sac salıncak.	6
Şekil 3.1: Sacların plaka durumları.	9
Şekil 3.2: Kesme kalıbından çıkan hurdalar.	11
Şekil 3.3: Kesme kalıbından çıkan iş parçası.	11
Şekil 4.1: Kesme kalıbı deformasyon aşaması.	13
Şekil 4.2: Kesme anı gösterimi.	14
Şekil 4.3: Kesme kenarların oluşan kesme ve kopma bölümleri.	15
Şekil 4.4: Kesme kenarlarında oluşan temiz ve kaba yüzeyler.	16
Şekil 4.5: Kolon ve burç görseli.	22
Şekil 4.6: Kalıp yayları.	23
Şekil 4.7: Gazlı yayları.	23
Şekil 4.8: Kesme kalıbı.	24
Şekil 5.1: Hassas kesim kalıbından çıkmış saat parçası.	26
Şekil 5.2: Klasik ve Hassas Kesme kalıbı kuvvetleri.	28
Şekil 5.3: Klasik ve Hassas Kesme kalıbı.	29
Şekil 6.1: S355MC sacı FLD diyagramı.	31
Şekil 6.2: Hassas kesme kalıbı kesit görüntüsü.	33
Şekil 7.1: Klasik kesme kalıbı tasarımı (tırnaksız).	35
Şekil 7.2: Klasik kesme kalıbı simülasyon görüntüsü (tırnaksız).	36
Şekil 7.3: Klasik kesme kalıbı kesme kenarı gerilimi.	36
Şekil 7.4: Tek üstten tırnaklı hassas kesme kalıbı tasarımı.	37
Şekil 7.5: Tek üstten tırnaklı hassas kesme kalıbı simülasyon görüntüsü.	38
Şekil 7.6: Tek üstten tırnaklı hassas kesme kalıbı kesme kenarı gerilimi.	38
Şekil 7.7: Üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı.	39
Şekil 7.8: Üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı simülasyon görüntüsü.	39
Şekil 7.9: Üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı kesme kenarı gerilimi.	40
Şekil 7.10: Üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbında sacın pozisyonu.	41
Şekil 7.11: Çift üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı.	42
Şekil 7.12: Çift üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme simülasyonu.	42
Şekil 7.13: Çift üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı kesme kenarı gerilimi.	43
Şekil 7.14: Çift üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbında sacın pozisyonu.	43
Şekil 7.15: Simülasyon kalıp çalışma aralığı verisi.	44
Şekil 7.16: Simülasyon deforme olabilen iş parçası seçimi.	45
Şekil 7.17: Simülasyon FLD kullanım seçimi.	46
Şekil 7.18: Simülasyon S355mc malzeme kartı.	46
Şekil 7.19: Simülasyon yer çekimi ve sıcaklık etkileri seçimi.	47
Şekil 7.20: Simülasyon kalıp hızı belirlenmesi.	47
Şekil 7.21: Simülasyon üst baskı için gazlı yay kuvveti tanımı.	48
Şekil 7.22: Simülasyon alt destek için gazlı yay kuvveti tanımı.	48
Şekil 7.23: Simülasyon kalıp ve iş parçası ısı tanımları.	49
Şekil 7.24: Simülasyon kalıp için sürtünme katsayısı tanımı.	49
Şekil 7.25: Simülasyon iş parçası mesh tanımlanması.	50
Şekil 8.1: Normal açınım kesme kalıbından kesme kenarına ait kavis bölgesi.	51

Şekil 8.2: Hassas açınım kesme kalıbı simülasyonundan çıkan kesme kenarı kavis	52
Şekil 8.3: Normal açınım kesme kalıbından kesme kenarına ait çapak yüksekliği.	52
Şekil 8.4: Hassas açınım kesme kalıbı kesme kenarına ait çapak yüksekliği.	53



TABLolar/ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1: Malzemelerin kesme dayanımlarına göre kesme boşlukları.	17
Tablo 4.2: Kesme dayanımları.	20
Tablo 6.1: S355MC sacı kimyasal bileşimi.	30
Tablo 6.2: YO 700 gazlı yayının kuvvet ve çalışma aralığı eğrisi.	32



1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründe çeşitli formlarda saclar kullanılmaktadır. Bazı saclar aracın görsel kısımlarını oluştururken bazıları emniyet parçası, bazıları da aracın iskelet yapısını oluştururlar. Özellikle emniyet parçası olarak kullanılan sacların imal sürecinde hata payı çok düşük olmalıdır. Araç seyir halinde iken bu saclarda meydana gelecek bir deformasyon hiç beklenmedik kazalar ile sonuçlanabilir.

Endüstride sac şekillendirmenin en yaygın yöntemi kalıplardır. Saclar nihai şekillerine gelene kadar birçok farklı kalıplara girer. En yaygın olarak kullanılan kalıplar ise saca çevre hattını veren açınım kesme kalıbı, sac üzerinde bulunan deliklerin oluşumunu sağlayan delme kalıpları ve saca şeklini veren form kalıplarıdır. Teknolojinin ilerlemesi ile kalıp üretimindeki hassasiyet de artmıştır. Daha hassas CNC ve tel erozyon makineleri gibi cihazlar kalıplar yüksek hassasiyet ile üretilmelerine olanak sağlamaktadırlar.

Saclar üzerinde bazen form verme kalıplarında yırtılmalar gözlemlenebilir. Bu yırtılmaların temel sebebi sacların açınım kesme operasyonundan çıktıktan sonra kenarlarında çok fazla stres yığılması ve mikro çatlakların kalmasıdır. Endüstride bazen açınım kesme operasyonundan sonra sac kenarlarındaki stres gerilmelerini ve mikro çatlakları yok etmek için ek operasyonlar yapılır. Sacın kesim yüzeyinden talaş kaldırma yöntemi ile sac istenmeyen yüzeyden arındırılmış olur. Diğer bir yöntem ise saca form verilirken sacın yırtılan bölgelerini bölgesel ısıtma yaparak daha kolay şekil alabilmesi sağlanır. Fakat ek operasyon ek zaman ve ek maliyet anlamına geleceği için tercih edilmek istenmez. Ayrıca bölgesel ısıtma yapmak sacın iç yapısını da bozabileceği gibi sacın akma mukavemetini de düşürebilir. Özellikle güvenlik parçalarında mukavemetin düşmesi büyük risk taşıyacaktır. Sacın iç yapısını bozmadan ve ek operasyon gerektirmeden sacın kesme kenarında stres gerilmelerini ve mikro çatlakları yok etmek için açınım kesme kalıbı tasarımı üzerinde çalışmalar yapılabilir.

Öte yandan genellikle saat parçaları gibi birbiri ile çok hassas geçme halinde çalışan parçaların üretimi için hassas kesme kalıpları kullanılmaktadır. Bu sacların kalınlıkları

1mm altındadır diye tanımlanabilir. Otomotiv sektöründe kullanılan saclara daha düşük mukavemetli ve daha ince olan bu sacların açınım kesme kalıplarında hassas açınım kesme kalıplar tercih edilmek zorundadır. Aksi takdirde hassas bir şekilde kesilemeyen saclar, birbiri ile senkron halde çalışmaz ya da çalışma ömürleri kısa olur. Bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan sacın hassas kesme kalıbından ve normal kesme kalıbından çıkan sacın kesme kenarlarındaki stres yığılmaları, mikro çatlaklar gibi form verme operasyonunda yırtılmalara sebebiyet verebilecek parametreler incelenmiştir. Açınım kesme sonrası sacın kenarında oluşan stres yığılmaları ve mikro çatlaklar kalıp tasarımına bağlıdır. Kalıbın kesme boşluğu, kesici zımbanın kaplaması, kalıp ve sac arasındaki sürtünmeler, ortam sıcaklığı, kalıbın bağlı olduğu presin hareket hızı ve saca etki eden kuvvetler sacın kesme kenarını değiştirir.

Tez kapsamında yapılan simülasyon neticesinde hassas açınım kesme kalıbından çıkan sacların kesme kenarlarında iyileşmeler görülmüştür. Bu iyileşmeler neticesinde form verme operasyonlarında oluşacak yırtılmaların olasılıkları düşürülmüştür.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Sac şekillendirme işlemlerinde saclar üzerinde istenmeyen deformasyonlar oluşabilir. Bunlar yırtılma, incelme, çapaklanma gibi başlıklar altında incelenebilir. Yırtılmalar genelde saclara form verme operasyonunda gözlemlenir. Saclar açınım kesme kalıbından çıktıktan sonra kenarlarında stres yığılması ve mikro çatlaklar oluşur. Kesme kalıbında aslında tam olarak kesme işlemi gerçekleşmez. Sacın bir kısmında kesme olurken kalan kısmında kopma meydana gelir. Kesme olan yüzey düzgün, pürüzsüz, stres yığılmalarının az olduğu bölgedir. Kopma bölgesi ise düzensiz bir bölgedir. Zımbanın saca ilk temas ettiği bölgede kesme oluşurken altta kalan kısımlarda zımba önüne gelen sacı yığarak ilerler ve kesme yapamaz. Bu durumun başladığı yerde kesme biter ve kopma başlar.

Kopma bölgesinin azaltılması sacın daha düzenli kesimi ile yapılabilir. Sac daha düzenli bir kesme kalıbından çıkar ise kenarlarındaki çapaklar ve çatlaklar az olacağı için form verme operasyonunda görülen yırtılmaların önüne geçilebilir.

Form verme kalıbının tasarımı, çekme derinliği, kalıp yüzey işleminin kalitesi, sac ve kalıp arasındaki sürtünme katsayısı gibi etmenler sacın yırtılmasına sebebiyet vereceği gibi ürünün alacağı geometrik şekilde yırtılmalara etki eder.

Otomotiv süspansiyon grubu elemanlarından olan salıncak dinamik yükler altında çalışmaktadır. Bu dinamik yükler altında maruz kalacağı kuvvetler neticesinde sağlam kalabilmesi için geometrik yapısının, üzerine etki eden kuvvetleri sönümleyecek şekilde olması gerekir. Sac salıncak üzerinde keskin hatlar ve derin girintiler olabilmektedir. Eğer açınım kesmeden çıkan sac kenarları düzgün ve temiz değil ise bu keskin hatların formunun verildiği kalıp tam da bu bölgelerde yırtılma başlangıcı görülür. Bu yırtılmalar ürünün hurda olması ile neticelenir. Hurda sayısının fazla olması maliyeti arttıracak minimum seviyede olmalıdır. Sacların form verme sırasındaki yırtılmaların en büyük sebebi sacın kenarında kalan stresler ve mikro çatlaklardır.

Bu çalışmada saat parçalar tasarlanan hassas kesim kalıbı, kalınlığı 3mm olan S355MC sacı için entegre edilerek kesim yapılmıştır. Sonuçların kıyası için hassas olmayan kesme kalıbından çıkan aynı sacın kesme kenarları ve bunların form verme operasyonuna etkisi yorumlanmıştır.

2. OTOMOBİL SÜSPANSİYON GRUBU PARÇALARI

2.1. Otomotiv Süspansiyon Sistemleri Nedir ve Neden Önemlidir?

Otomotiv süspansiyon sistemleri, araçların tekerleklerinin yüzeydeki çeşitli engelleri geçerken hareketini kontrol etmek için kullanılan bir dizi bileşendir. Bu sistemler, aracın sürüş konforu, yol tutuşu ve güvenliği gibi önemli faktörleri belirleyen unsurlardan biridir.

Süspansiyon sistemi, aracın ağırlığını taşıyan yaylar ve çoğunlukla hidrolik ya da gaz basıncı kullanan amortisörlerden oluşur. Amortisörler, tekerleklerin ani hareketlerine karşı direnç göstererek çevresel koşullara uyum sağlar ve tekerleklerin yoldaki temasını korur. Bu da aracın daha iyi bir yol tutuşu ve sürüş konforu sağlamasına yardımcı olur.

Süspansiyon sistemi ayrıca aracın frenleme ve hızlandırma performansını da etkiler. Özellikle virajlı yollarda süspansiyon sistemi, aracın kaymasını ve dengesini sağlayarak sürücünün kontrolünü artırır. Bunun yanı sıra, süspansiyon sistemi titreşimleri de emerek sürüş sırasında oluşabilecek rahatsızlıkları en aza indirir.

Tüm bunlar göz önüne alındığında, otomotiv süspansiyon sistemleri araçların sürüş konforu, yol tutuşu ve güvenliği açısından hayati öneme sahiptir. Aynı zamanda, süspansiyon sisteminin tasarımı ve kalitesi, aracın maliyetini ve dayanıklılığını da etkileyen faktörlerdir.

2.2. Süspansiyon Sistemi Temelleri ve Amacı

Süspansiyon sistemi, aracın şasi veya gövdesi ile tekerlekleri arasındaki bağlantıyı sağlayan bir sistemdir. Amacı, aracın yol koşullarına uyum sağlaması ve sürüş konforunu arttırmasıdır. Süspansiyon sistemi, yol çukurları, tümsekler ve diğer engellerden kaynaklanan titreşim ve şokları azaltarak sürücüye ve yolculara daha

pürüzsüz ve rahat bir sürüş deneyimi sunar. Ayrıca, süspansiyon sistemi aracın yönetimini de geliştirir ve fren mesafesini kısaltır.

2.3. Süspansiyon Sistemi Bileşenleri

Yaylar: Aracın yükünü taşıyan ve tekerleklerin yol koşullarına uyum sağlamasını sağlayan esnek elemanlardır.

Şok sönmüleyicileri: Yol koşullarından kaynaklanan titreşim ve hareketleri emen, amortisör olarak da bilinen hidrolik sistemlerdir.

Salıncak ve denge kolları: Tekerlek hareketlerini yönlendiren ve aracın dengesini koruyan parçalardır.

Rot ve rulmanlar: Tekerleklerin dönmesini sağlayan parçalardır.

Süspansiyon yayı destekleyicileri: Yayların montajını sağlayan ve tekerlek hareketlerini kontrol eden parçalardır.

Bağlantı elemanları: Süspansiyon sisteminin diğer bileşenlerinin birbirine bağlı olmasını sağlayan vidalar, somunlar, pimler vb. gibi parçalardır.

Lastikler: Süspansiyon sistemi ile birlikte çalışarak aracın yol koşullarına uyum sağlamasını sağlayan lastikler, araç ağırlığını taşıyarak sürtünmeyi artırır ve yolu tutarlı kılar.

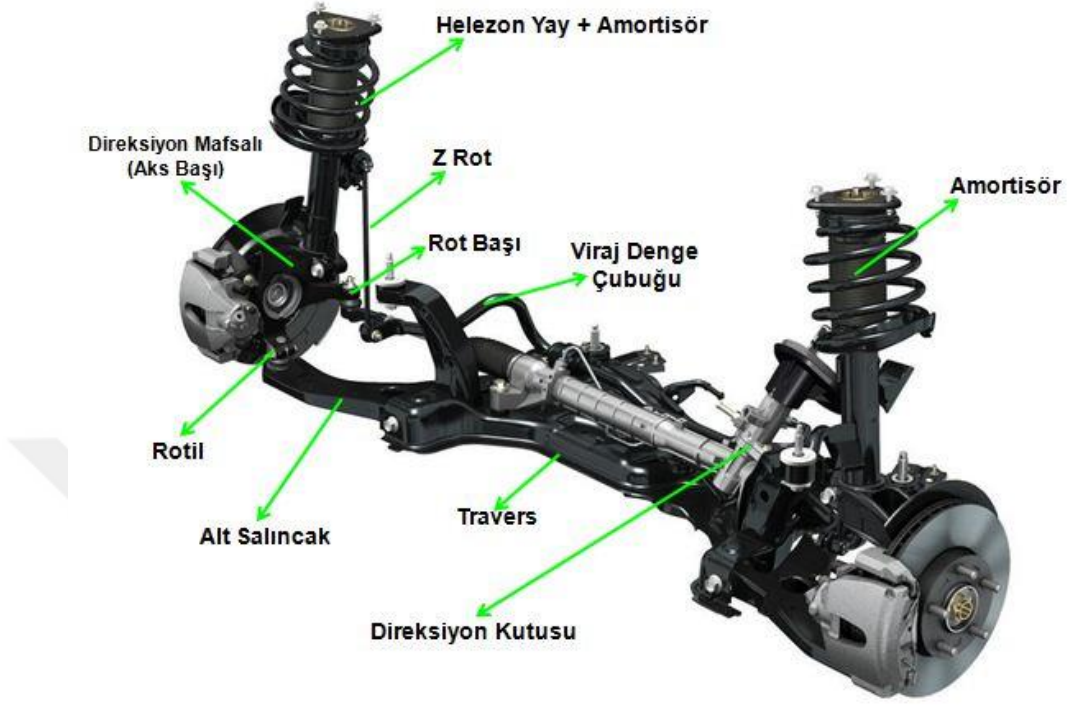
2.3.1. Salıncak ve Denge Kolları

Salıncak ve denge kolları, araçların süspansiyon sistemi bileşenlerinden birer parçadır. Salıncaklar, aracın tekerlekleriyle şasi arasındaki bağlantı elemanlarıdır. Aracın hareketi sırasında salıncaklar, tekerleklerin hareketine uyum sağlayarak yol koşullarından kaynaklanan titreşimleri emer. Salıncaklar, sürücünün aracı rahat ve güvenli bir şekilde kullanabilmesi için önemlidir.

Denge kolları ise, süspansiyon sistemindeki kontrol kollarına benzer şekilde çalışan bağlantı elemanlarıdır. Denge kolları, aracın eğilme ve yana kayma hareketlerini engelleyerek sürüş konforunu artırır. Ayrıca, aracın yol tutuşunu ve fren mesafesini de iyileştirir.

Hem salıncaklar hem de denge kolları, aracın sönmüleme özelliklerini ve yol tutuşunu arttırmaya yardımcı olur. Bu bileşenlerin doğru tasarımı ve uygun şekilde montajı, aracın performansını artırabilir ve sürüş konforunu yükseltebilir.

Şekil 2.1’de aracın süspansiyon sistemi parçaları gösterilmiştir. Bu sistemde yer alan sac salıncak Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Otomobil süspansiyon sistemi [1].



Şekil 2.2: Otomobil sac salıncak [2].

2.4. Süspansiyon Tipleri

Süspansiyon, aracın veya makinenin şokları emmesine ve titreşimleri azaltmasına yardımcı olan bir sistemdir. Süspansiyonların çeşitli tipleri vardır:

Bağımsız süspansiyon: Her tekerlek ayrı ayrı çalışır ve birbirinden bağımsızdır. Bu, daha pürüzsüz bir sürüş sağlar.

Bağımlı süspansiyon: Tekerlekler birbirine bağlıdır ve birbirlerinin hareketlerini etkiler. Bu, daha sert bir sürüş sağlar.

MacPherson süspansiyonu: Yay ve amortisör bir arada kullanılır ve genellikle ön tekerleklerde kullanılır.

Çoklu bağlantı noktalı süspansiyon: Tekerlekleri tutan birden fazla koldan oluşur. Daha pürüzsüz sürüş için tasarlanmıştır.

Havalı süspansiyon: Basınçlı hava kullanarak sürüş yüksekliğini ayarlayabilen bir süspansiyondur. Otomobil, kamyon, otobüs ve trenlerde kullanılır.

Elektronik süspansiyon: Bu tür süspansiyonlar, araçtaki sensörler tarafından toplanan verilere göre amortisörlerin sertliğini ve süspansiyon yüksekliğini ayarlayabilen bir sistemdir.

3. SAC PARÇALARIN ÜRETİMİ

3.1. Sac Parçaların Yaygın Kullanımı ve Önemi

Sac parçalar, birçok endüstriyel ve ticari uygulamada kullanılan önemli bir malzeme türüdür. Özellikle metal işleme sektöründe, sac parçalarının çeşitli formları yaygın olarak kullanılır. Sac parçaların yaygın kullanım alanları arasında otomotiv, havacılık ve uzay sanayi, inşaat, mobilya, elektronik, enerji üretimi, tarım ve gıda endüstrileri bulunur. Çatı kaplamaları, su depoları, kabinler, gövde parçaları, motor parçaları, elektrik panoları, beyaz eşya parçaları ve benzeri birçok ürün, sac parçalarının kullanımıyla üretilir.

Sac parçalar, galvanizli, paslanmaz, alüminyum, bakır ve diğer metallerden yapılmış olabilir. Malzemenin özellikleri, kullanım amaçlarına bağlı olarak değişebilir. Örneğin, paslanmaz çelik sac parçaları, neme ve kimyasallara dayanıklı oldukları için gıda işleme endüstrisinde sıkça kullanılırken, alüminyum sac parçaları hafif ve kolay şekillendirilebilir olduklarından havacılık ve otomotiv endüstrilerinde tercih edilirler. Bu nedenlerden dolayı, sac parçalarının üretimi ve kalitesi, birçok endüstride büyük bir öneme sahiptir.

3.2. Sac Malzemelerinin Farklı Özellikleri ve Seçim Kriterleri

Sac malzemelerinin farklı özellikleri ve seçim kriterleri şu şekilde gruplandırabiliriz. Malzeme Türü: Sac parçalar, genellikle çelik, alüminyum, bakır, paslanmaz çelik ve galvanizli çelik gibi birçok metalden yapılmıştır. Her tür malzemenin özellikleri, mukavemeti, dayanıklılığı, ağırlığı ve maliyeti farklıdır [3].

Kalınlık: Sac parçaların kalınlığı, kullanım amaçlarına bağlı olarak değişebilir. Örneğin, ince sac parçaları, kutu imalatında veya elektronik cihazların yapımında kullanılabilirken, daha kalın sac parçaları, köprüler, depo tankları ve benzeri yapısal uygulamalar için tercih edilir.

Kaplama Türü: Sac parçaları, koruyucu bir kaplama ile kaplanabilir. Bu kaplama, sacın dayanıklılığını artırabilir, paslanmayı önleyebilir ve estetik bir görünüm sağlayabilir.

Galvanizli çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum gibi malzemeler, yaygın olarak kullanılan kaplamalardan bazılarıdır.

Şekil ve Boyut: Sac parçaların şekli ve boyutu, üretim sürecinde belirlenir ve kullanım amacına göre değişebilir. Örneğin, bir çatı kaplaması için kullanılan sac parçası, diğer endüstriyel uygulamalar için kullanılanlardan farklı şekillerde kesilir ve şekillendirilir.

Üretim Süreci: Sac parçalarının üretimi, kullanılan malzemeye bağlı olarak farklı olabilir. Örneğin, paslanmaz çelik sac parçaları, yüksek sıcaklıkta kaynaklanabilirken, alüminyum sac parçaları, presleme işlemiyle şekillendirilebilir.

3.3. Sac Malzemelerin Üretim Süreçleri

3.3.1. Sac Kesim Yöntemleri

Sac parçalarının üretiminde kullanılan çeşitli kesim teknikleri vardır. Bu kesimler sac parçalara şekil vermeden önce rulo ya da plaka şeklinde gelen saclara uygulanır. Sacların kesilmeden öncesi plaka durumları **Şekil 3.1**'de gösterilmiştir. Saclar şekil verme işlemi öncesi kabaca dış hatlarınca aşağıdaki yöntemler ile kesilmiş olur.



Şekil 3.1: Sacların plaka durumları [4].

Lazer Kesim: Bu teknoloji, yüksek yoğunluklu bir lazer ışınının metal üzerine yönlendirilmesiyle çalışır. Çok hassas ve doğru kesimler yapılabilir ve genellikle ince

sac malzemelerinin kesimi için tercih edilir. Bu yöntemin dezavantajı ise lazerin etkisi ile sac kenarlarında oluşan yüksek ısı sacın iç yapısını bozabilir. Isıdan etkilene bölgede malzemenin akma dayanımı düşebilir.

Su Jeti Kesim: Bu yöntemde, yüksek basınçlı su jeti ile metal üzerinde kesme işlemi gerçekleştirilir. Su jeti kesim mükemmel sonuçlar verir ve aynı zamanda çevre dostudur. Su jeti kesim, daha kalın sac malzemelerini kesmek için kullanılır.

Plazma Kesim: Plazma kesim, yüksek sıcaklıkta plazma gazı kullanarak metalin kesilmesini sağlar. Bu yöntem, kalın sac malzemelerinin kesimi için tercih edilir. Bu yöntem ile kesilen sacların kenarlarında çok fazla çapak kalır. Bu çapakların farklı bir operasyon sacdan arındırılması gerekir.

Kesme Kalıpları: Kesme kalıpları, önceden tasarlanmış şekillerde metal parçalar kesmek için kullanılır. Bu yöntem, büyük miktarlarda parça üretimi için idealdir ve daha düşük maliyetlidir. Bu yöntem seri imalat için en uygun yöntemdir. Eksantrik preslere bağlanan kalıplar ile kesme işlemi yapılır. Eksantrik preslerin hızlı çalışmasından ötürü hızlı bir şekilde kesme işlemi yapılır. Bu yöntem ile yapılan kesme işlemlerinde en önemli faktör kalıp tasarımıdır. Kesme boşluğu, zımba kaplaması, kalıp içi sürtünmeler ve sıcaklık gibi etmenler kesme kalitesini etkiler. Kesme işleminin kalitesine göre kesilen ürünün kesme kenarlarında çapaklar oluşur. Bu kalıplardan çıkan ürünler şekil vermek üzere form kalıplarına girer ve kesme kenarlarında oluşan çapaklar, stres yığılmaları, mikro çatlaklar sacın yırtılmasına sebebiyet verebilir. Bu yüzden kalıp tasarımları sacın kimyasal bileşimine, akma dayanımına, kalınlığına göre optimum düzeyde iyi tasarlanmalıdır [5]. Form verme kalıplarına girecek olan ürünler **Şekil 3.3**'te gösterilmiştir. Kesme kalıbından çıkan hurda saclar **Şekil 3.2**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Kesme kalıbından çıkan hurdalar [6].



Şekil 3.3: Kesme kalıbından çıkan iş parçası [7].

Kesme Makasları: Bu yöntem, daha küçük işlerde kullanılır ve manuel olarak veya makine ile gerçekleştirilebilir. Metalin belirli bir bölgesinde kesme işlemi gerçekleştirilir.

3.3.2. Sac Form Verme Yöntemleri

Form (şekil) verme işlemi sacın nihai şekline göre özel olarak tasarlanmış kalıpların yüksek tonajları presler altında kullanılarak yapılan bir süreçtir. Sac parça pres altında form verme kalıbı içerisinde sıkıştırılır ve nihai şeklini almaya başlar. Sacın nihai şeklinin karmaşıklığına göre kalıp sayısı artabilir.

Sacın şekil alabilirliğine bağlı olarak form verme öncesi ya da sonrası sacın üzerindeki delikler de açılır. Bu işlemi yapan kalıplar delme kalıpları olarak adlandırılır. Delme işlemi form vermeden önce yapılacaksa, delme kalıbından çıkan deliğin form verme işleminde bozulmayacağından emin olunmalıdır.

Sacın şekline göre birden fazla delme ve form verme kalıpları olabilir. Pres hattının da uygunluğuna bağlı olarak bazen delme ve form verme kalıpları birleştirilir ve tek pres altında arka arkaya tüm işlemler yapılacak şekilde kalıp tasarımları yapılır. Bu tür kalıplara prograssif kalıplar denir. Prograssif kalıpta sac rulo halinde temin edilir ve bir itici motor yardımı ile rulo açılarak kalıp içine itilir. Pres kapanıp açılmasında bir ürün üretilmiş olur. Seri üretim için oldukça uygundur [8].

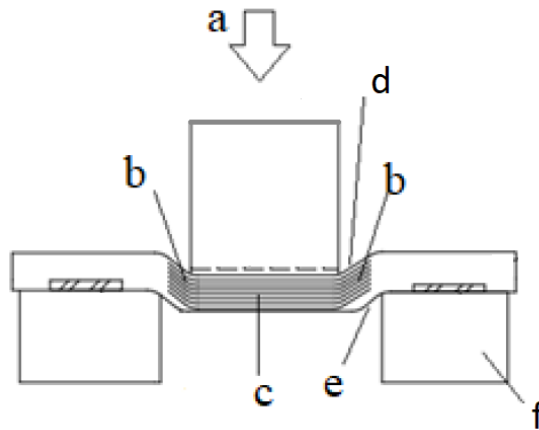
Prograssif kalıplara benzer, sacı kalıp içinde özel tutucular ile hareket ettiren otomatik kalıplarda vardır. Bunlara ise transfer kalıplar denir. Seri için bunlar da oldukça uygundur. Prograssif ve transfer kalıplar tekil kalıplara göre yüksek maliyetlidir ve bu kalıpların kullanılacağı presler ebat ve tonaj olarak büyüktür. Bu sebeple endüstride bazen tercih edilemezler [9].

4. SAC KESME İŞLEMİ

Kesme kalıbı içerisinde zımba ile kesici ağız (dişi kalıp) arasında kalan sacın istenen dış hattı ile şerit sacdan ayrılma işlemine kesme denir. Kesme kalıbında aslında tamamen kesme işlemi gerçekleşmez. Sac kalınlığınca bir kısımda kesme oluşurken diğer kısımlarda kopma oluşur. Kesici zımbanın saca temas ettiği ilk yüzeyde kesme oluşurken, zımba sac içinde önüne gelen malzemeyi yığarak ilerlerler. Bu da zımbanın sacı kesmenin zorlaştırır ve kopma başlangıcı olur [10].

4.1. Deformasyon Aşaması

Kalıp içinde pres hareketine bağlı olan zımba, presin hareketi ile saca doğru ilerler. Saca ilk temas oluşur ve prestan aldığı kuvveti saca iletir. Bu kuvvet sacın elastik sınırını aşmadan geri çekilir ise sac'ta kalıba deformasyon oluşmaz ve sac ilk haline geri döner. **Şekil 4.1**'de sac üzerinde oluşan ilk deformasyon yığılmaları görülebilir. Burada a, zımba baskı kuvveti; b, basma kuvveti; c, çekme gerilmesi; d, alt radyus; e, üst radyus; f, kesme ağzını temsil etmektedir. Fakat kesme işleminin oluşması için presin zımbaya ilettiği kuvvet sacın elastik sınırından fazla olmalıdır ki istenen çevre hattı şerit sacdan ayrılabilir.

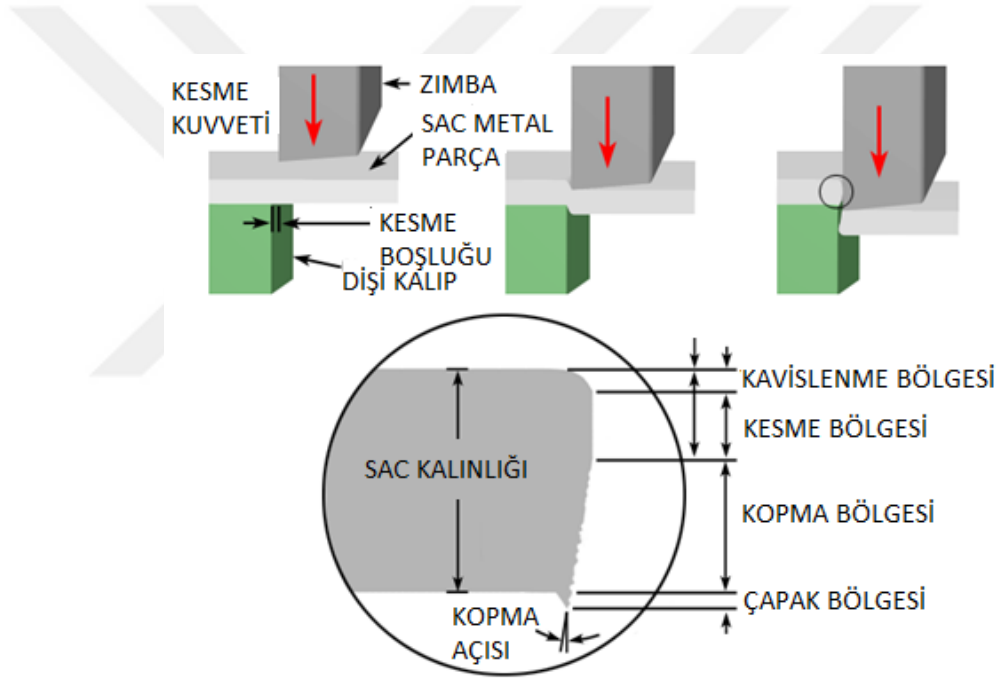


Şekil 4.1: Kesme kalıbı deformasyon aşaması [11].

4.1.1. Kesme Olayı

Kesme zımbası saca temas ettikten sonra sacı aşağı yönde iter. Sac kesme ağzı ile zımba arasında sıkışır ve kesme ağzı (dişi kalıp) sac üzerinde plastik deformasyon oluşturmaya başlar. Zımbanın saca temas ettikten sonra sacı kesme boşluğuna itmeye devam eder. Zımba önüne gelen malzemeyi yığarak aşağı yönlü hareketine devam eder [12].

Endüstride kesme boşluğu genelde sac kalınlığının %8'i olarak alınır. Bu orana göre genelde sacın 1/3'lük kısmı kesilir. Kesme yüzeyi temiz ve düzenlidir. Kesme işlemi sonra sac kenarında oluşan bölümler **Şekil 4.2**'de gösterilmiştir. Kesme bölgesi ne kadar fazla ise yırtılmaların oluşma riski daha azdır.

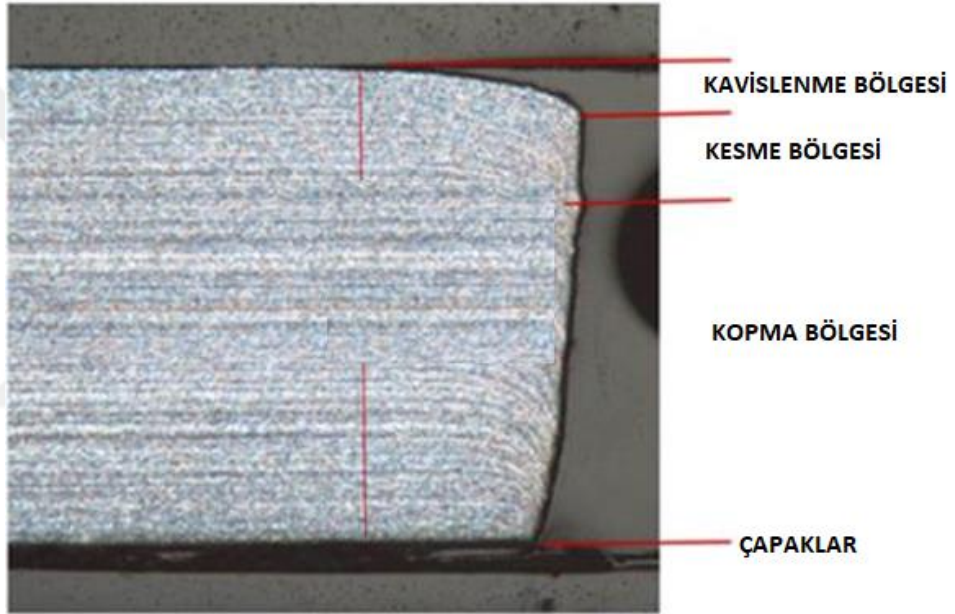


Şekil 4.2: Kesme anı gösterimi [13].

4.1.2. Kopma Olayı

Presin etkisi ile zımba hareketine devam eder. Devam ederken önüne sac malzemeyi yığarak ilerler. Zımba derine girdikçe malzeme yığılması artar ve kesme işlemi gittikçe zorlaşır. Zımbanın aşağı yönlü hareketi devam ettikçe kesme olayı biter ve kopma

olayı başlar. Kopma bölgesi düzensizdir. Kesme kenarlarında stres yığılmaları ve mikro çatlaklar oluşur. Bu mikro çatlaklar ve stresler form verme işleminde yırtılmaların başlangıcı olacaktır. Kopma ve kesme bölgesi **Şekil 4.3**'te gösterilmiştir. Kesme kenarlarında oluşan düzensiz yüzeyler çıplak gözle bile görülebilir. **Şekil 4.4**'te delme işlemi sonrası oluşan temiz ve düzensiz bölümler çıplak gözle görülebilir. Endüstride form verme operasyonunda yırtılmaların önüne geçmek için, kesme kalıbından çıkan ürünün kesme kenarlarından talaş kaldırma işlemi yapılır. Bu zahmetli ve zaman alan ek operasyon kesme kenarlarında oluşan düzensiz bölgeyi yok eder ve form verme işlemi için daha temiz bir yüzey oluşturur [14].



Şekil 4.3: Kesme kenarların oluşan kesme ve kopma bölümleri [15].



Şekil 4.4: Kesme kenarlarında oluşan temiz ve kaba yüzeyler [16].

4.2. Kesme Kalıbı Tasarım Parametreleri

4.2.1. Kesme Boşluğu

Kesme boşluğu zımba kesme ağzı arasında kalan mesafedir. Kesme boşluğunun çok büyük ya da çok küçük olması istenmez. Her iki durumda da negatif etkiler vardır.

Kesme boşluğu az verilir ise zımba ile kesme ağzı dar kalacağı için zımba aşırı zorlanacaktır ve kolay aşınacaktır. Seri üretimde uzun ömürlü olması beklenen zımba kesme boşluğu düşük verilirse, kısa ömürlü olacaktır ve kalıp bakım maliyetleri çıkacaktır [17].

Kesme boşluğu fazla verilir ise kesme kenarında kopma bölgesi artışı gözlenir. Bu da kesme kenarlarının düzensiz ve stres yığılmalarının fazla olacağı anlamına gelir ki form verme kalıbında hiç istenmeyen bir durumdur.

Kalıp tasarımı kadar kalıp imalatının gerçekleştiği tezgâh da çok önemlidir. Kalıp imal edilirken CNC ya da torna tezgahında gerekli hassasiyet gösterilmez ise zımba kesme ağzının tam ortasında olmaz. Bu yüzden zımbaya uygulanan kuvvet eşit bir şekilde iletilemez ve zımbada ya da kesme ağzında kırılmalar gözlenir. Bu sebeple kalıp imalatı gerçekleştirilen tezgahların bakım ve kalibrasyonlarının yapılması önemlidir.

Tel erozyon kısaca, metalin üzerinde yüksek yoğunlukta elektrik akımı geçirilen bir tel vasıtası ile kesme işlemidir. Tel erozyon tezgâhı, erozyon yöntemiyle en hassas

kesimi yapabilen bir imalat yöntemidir. Birbirinden ayrı iki adet makara sistemine geçirilen bir tel yardımıyla çalışmaktadır.

Geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor olan sertleştirilmiş çelik, titanyum ve karbür gibi çok sert malzemeleri kesebilir. Ayrıca yüksek hassasiyet ve doğrulukla çok karmaşık şekiller üretebilir. Ancak tel erozyon, diğer makineyle işleme süreçlerinden daha yavaş olabilir ve tutarlı sonuçlar elde etmek için yetenekli operatörler gerektirir [18].

Tablo 4.1'de malzeme kesme dayanımı ve kesme boşluğu arasındaki ilişki verilmiştir. Endüstride kalıp tasarımı yapılırken bu tablodan faydalanılır. Kesme boşluğunun hesaplanmasına gerek kalmadan bu değerler kullanılarak yapılan kalıp tasarımlarında herhangi bir sorun görülmemektedir.

Tablo 4.1: Malzemelerin kesme dayanımlarına göre kesme boşlukları [19].

SAC KALINLIĞI, mm	MALZEME KESME DAYANIMI, $\tau_k = \text{kg/mm}^2$										
	5-10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70
	Kesme Boşluğu (2C), mm										
0,250	0,008	0,010	0,011	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,021
0,500	0,016	0,019	0,022	0,025	0,027	0,030	0,030	0,034	0,035	0,039	0,042
0,750	0,024	0,029	0,034	0,038	0,041	0,044	0,047	0,050	0,053	0,058	0,063
1,000	0,032	0,039	0,045	0,050	0,055	0,059	0,063	0,067	0,071	0,078	0,084
1,250	0,040	0,048	0,056	0,063	0,069	0,074	0,079	0,084	0,088	0,097	0,105
1,500	0,047	0,058	0,067	0,075	0,082	0,089	0,091	0,099	0,106	0,116	0,126
1,750	0,055	0,068	0,078	0,088	0,096	0,104	0,111	0,117	0,124	0,136	0,147
2,000	0,063	0,077	0,089	0,100	0,110	0,118	0,126	0,134	0,141	0,155	0,167
2,250	0,071	0,087	0,100	0,113	0,123	0,133	0,142	0,151	0,159	0,174	0,188
2,500	0,079	0,097	0,112	0,125	0,137	0,148	0,158	0,168	0,177	0,194	0,210
2,750	0,087	0,107	0,123	0,138	0,151	0,163	0,174	0,185	0,195	0,213	0,230
3,000	0,095	0,106	0,124	0,150	0,164	0,178	0,190	0,201	0,212	0,232	0,250

Tablo 4.2.devam: Malzemelerin kesme dayanımlarına göre kesme boşlukları [19].

3,500	0,127	0,155	0,179	0,200	0,219	0,237	0,253	0,268	0,283	0,310	0,335
4,000	0,158	0,194	0,224	0,250	0,274	0,296	0,316	0,336	0,354	0,388	0,420
4,500	0,190	0,232	0,268	0,300	0,329	0,355	0,379	0,400	0,424	0,465	0,500
5,000	0,220	0,270	0,313	0,350	0,384	0,415	0,442	0,470	0,495	0,543	0,586
6,000	0,285	0,350	0,400	0,450	0,493	0,533	0,569	0,605	0,636	0,698	0,750
7,000	0,348	0,425	0,490	0,550	0,603	0,651	0,695	0,738	0,778	0,850	0,920
8,000	0,410	0,500	0,580	0,650	0,710	0,780	0,820	0,920	1,008	1,050	1,100
10,000	0,540	0,658	0,760	0,850	0,970	1,008	1,075	1,140	1,202	1,318	1,423
12,000	0,665	0,812	0,940	1,050	1,150	1,243	1,327	1,410	1,485	1,625	1,750

4.2.2. Kesme Boşluğunun Hesaplanması

Kesme boşluğunun hesaplanmasında ilk olarak sac kalınlığı referans alınır. 3mm kalınlığın altındaki saclar ince saclar olarak değerlendirilir ve aşağıdaki denklem (4.1) ile hesaplanır [20]. 3mm'den kalın saclar için denklem (4.2) kullanılır.

$s \leq 3$ mm (3mm ve daha ince saclar için)

τ = Malzemenin kesme gerilmesi (kg/ mm²,)

s=Sac kalınlığı

C=kesme boşluğu

$$C = as\sqrt{\tau} \quad (4.1)$$

$s > 3$ mm (3mm kalınlıktan daha kalın saclar için)

$$C = \lfloor (1,5as - 0,15)\sqrt{\tau} \rfloor \quad (4.2)$$

Kesme işlemi sonrası temiz yüzey elde etmek $a=0,005$ alınır,

Kesme yüzeyin çok önemli olmadığı durumlarda ise $a=0,035$ yada 0,04 alınır,

Endüstride genel olarak $a=0,01$ alınır.

Kesme kalıbı ve delme kalıbı tasarımında kesme boşluğu aynı formüllerde hesaplanır. Sadece delme kalıbında kesme boşluğu kesme ağzına verilir. Delici zımba parça üzerindeki olmasını istediğimiz delik ile aynı ölçüde olmalıdır. Kesme kalıbında ise kesme boşluğu zımbaya verilir.

Diğer bir bakış açısı ile kesme boşluğundan aşağı düşen parça hurda olacaksa kesme boşluğu kesme ağzına verilir, zımba tam ölçüde yapılır. Kesme boşluğuna düşen parça iş parçası olarak kullanılacaksa kesme boşluğu zımbaya verilir, kesme ağzı tam ölçüsünde imal edilir [21].

4.2.3. Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

Kesme işlemi, malzemeyi ve ürünü birbirinden ayırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu işlem sırasında zımba ve matris arasındaki kuvvete kesme kuvveti denir. Zımbanın malzemeye temas etmesiyle birlikte, malzeme kesilmeye direnç gösterir ve zımbanın uyguladığı kuvvet plastik deformasyon aşamasında artar. Malzemede hasar oluştuğunda, kuvvet ani olarak serbest kalır ve kesme limitinin altına ulaşınca kadar azalır. Kesme kuvveti belirlenirken malzemenin çevre uzunluğu, kalınlığı ve kesme dayanımı gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde, kalite standartlarına uygun bir kalıp tasarlanamaz ve kolayca deforme olabilir. Kesme kuvvetini azaltmak için zımba uzunlukları farklı yapılabilir veya zımba ucuna eğim verilebilir. Kesme kuvveti hesaplaması için denklem (4.3) kullanılabilir [22].

$$F_k = U s \tau_k = N, (kg) \quad (4.3)$$

F_k =Gerekli kesme Kuvveti N (kg)

U =Kesilen malzemenin kesme hattının uzunluğu (mm)

s =Malzeme kalınlığı (mm)

τ_k =Kesilen malzemenin kesme dayanımı N/ mm², (kg/ mm²)

Sac malzemelerin genellikle 6 mm kalınlığa kadar kesilebildiği bilinir. Ancak, daha kalın sac malzemeleri düşük kuvvette kesmek için parçanın sıcak olarak kesilmesi gerekir. Bu nedenle, elde edilen veriler ışığında, yaklaşık 900 °C sıcaklığının ideal olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık, kesme direnci değerini düşürdüğü için kesme kuvvetini de azaltarak en büyük avantajı sağlar. Isıtılmış malzemelerin kesme kuvveti hesaplaması için aşağıdaki denklem (4.4) kullanılabilir.

$$F_k = U_s \tau_k 0,4 = N, (kg) \quad (4.4)$$

Tablo 4.3: Kesme dayanımları [23].

Malzemenin Cinsi	Kesme Direnci $\tau_k = \text{kg/mm}^2$
Kalay	3,5
Kurşun	2,5
Alüminyum	5,6
Bakır	10
Nikel	20-25
Piriç	15,5
% 0,1 C Çelikler	
Soğuk haddelenmiş	30
Tavlanmış	25-30
% 0,2 C Çelikler	
Soğuk haddelenmiş	30-40
Tavlanmış	30
% 0,3 C Çelikler	
Silisyum çelikleri	45
Soğuk Haddelenmiş	45-50
Paslanmaz Çelikler	40
Tavlanmış	35

Kesme kuvveti hesaplanırken, malzemenin türü ve % C oranı göz önünde bulundurularak malzemenin kesme dayanımı belirlenir. Malzeme tipine ve yoğunluğuna bağlı olarak, kesme kuvveti hesaplaması için kullanılacak kesme direnci Tablo 4.2'deki verilerden seçilir. Bu sayede, doğru kesme kuvveti değerleri elde edilerek, istenilen kalitede ürünlerin kesimi sağlanabilir [24].

4.2.4. Kesme Kuvvetine Etki Eden Faktörler

Tasarladığımız kalıpların kesme kuvveti, kullanacağımız presin gücünden daha yüksek olabilir ve bu durum olumsuz sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, kalıbın kesme kuvvetini azaltmak için iki farklı yöntem kullanılabilir. İlk yöntem, zımba veya kesme ağzına açi vermek suretiyle yapılır. Bu sayede malzemenin temas alanı azaltılmış ve parçaya etki eden kuvvet artmış olur [25]. Kesme işlemi kolaylaşır. İkinci yöntem ise, zımba boylarını kademeli olarak arttırmak suretiyle kesme kuvveti azaltılabilir. Ancak, zımba uzunlukları arasındaki fark, sac kalınlığından fazla olmamalıdır. İnce malzemelerde, fark sabit bir değer olarak belirlenebilirken, kalın malzemelerde fark sabit değil, sac kalınlığının yarısı kadardır. Bu sayede, tasarım sırasında elde edilen kesme kuvveti, makine kapasitesinden büyükse veya kesme işlemi sırasında oluşabilecek diğer olumsuzluklar önlenabilir ve istenilen kalitede ürünler elde edilebilir [26].

4.2.5. Kesme Kalıbı Elemanları

Elde edilecek ürünlerin şekillerine göre tasarlanan sac kesme kalıpları, sac malzemelerin belirli bir formda kesilmesi için kullanılır. Bu kesme işlemi, genellikle pres, kesme makineleri veya hidrolik sistemler gibi araçlarla gerçekleştirilir. Sac kesme kalıbı elemanları, kesme işleminin başarılı bir şekilde yapılmasını sağlayan temel bileşenlerdir. Kalıp elemanları şunlardan oluşur:

Kesme ağzı: Bu eleman, kesme işlemi sırasında sac malzemenin dışı kesme ağzına elemanına temas ederek kesilmesini sağlar. Kesme ağzı, sac malzemenin istenilen şekillerde kesilmesinde önemli bir role sahiptir. Tasarımlarda bu parça dışı blok çelikten ayrı bir parça olarak tasarlanır. Bu sayede kesme ağzı aşındığı durumlarda bu parça kalıp içerisinden sökülebilir ve revizyon edilerek ya da yeniden işlenerek kalıba montajı sağlanır. Bu sayede kalıbın geri kalanı sökülmemiş ve hızlı bir şekilde revizyon işlemi yapılmış olur.

Zımba: Kesme ağzı ile birlikte sac malzemenin kesilmesinde görev alır ve malzemenin üzerine inen kuvvetle hareket ederek kesme işlemini gerçekleştirir. Zımba, kesilecek malzemeye göre farklı şekillerde tasarlanabilir. Zımbalar da kesme kalıplarında çok önemli parçalardır. Kalıbın içinde aktif olarak hareket ettiği için ve iş parçasının içerisine girdiği için aşınmaların çok görüldüğü kalıp elemanıdır. Aşınmaların çok

olmaması için zımbalar sert malzemelerden tercih edilir. Bunlara ek olarak zımbaların dış yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmak için özel kaplamalar yapılır. Bu sayede seri üretim hızlı bir şekilde çalışan zımbaların ömürleri arttırılmış olur.

Kılavuzlar: Malzemenin doğru bir şekilde yerleştirilmesini ve kesimin hassasiyetini arttırmak için kullanılır. Kılavuzlar, sac malzemenin doğru pozisyonunda kalmasını sağlayarak kesme işleminin doğru bir şekilde gerçekleşmesine yardımcı olur. Kılavuzlar kesme işlemi sonrası yukarı çıkan zımba ve kalıp üst parçaları tasarıma bağlı olarak yukarı yönde hareket eder ya da alt parçalara sabittir. Burada kılavuzun en önemli işlevi, kesme işleminden sonra zımbaya tutunmuş iş parçasının yukarı yönde hareketini engellemek ve kesme boşluğuna düşmesini sağlamaktır.

Kolon ve burçlar: Kolon ve burçlar kalıp içinde farklı gruplarda yer alırlar. Genelde kolonlar kalıbın alt plakasına bağlı olur, burçlar ise kalıbın üst plakasına bağlı olur ve üst plaka ile beraber aşağı yukarı yönde hareket eder. Kolon ve burçlar oldukça hassas imal edilmiş parçalardır. Kalıp ve burç görseli **Şekil 4.5**'te gösterilmiştir. Kalıbın üst plakası ile alt plakasının birbirini tam olarak karşılaması için kalıp içinde kullanılır. Kolon alt plakada sabit dururken burç yataklama yaparak, alt plaka ile üst plakanın olası sapmaları engellenmiş olur.



Şekil 4.5: Kolon ve burç görseli [27].

Yaylar: Kalıp üst baskı plakası üzerine sabitlenir. Klasik kesme kalıplarında genelde tercih edilmezler. Klasik kesme kalıplarında kılavuz genelde alt plakaya sabitlenmiş haldedir. Delme kalıplarında ya da çeşitli form verme kalıplarında kullanılırlar. Şekil 4.6'da kalıp yaylarına ait görseller gösterilmiştir. Yayların renkleri yayların kuvvetlerini simgeler. Yayların kuvvetleri ve boyları kalıp tasarımına uygun olarak

seçilir. Performans olarak yüksek düzeyde olan gazlı yaylar da kalıp tasarımıda oldukça yaygın kullanılır. Gazlı yaylar düşük boyları ve yüksek kuvvetleri ile çok kalıp boylarının yüksek olmadan istenilen kuvvetlerin elde edilebilmesi ile tercih edilirler. Gazlı yayların çalışma prensibi içinde azot gazı bulunan kapalı bir haznenin sıkıştırılması ile yaylanma kuvveti elde edilir. **Şekil 4.7**'de gazlı yay görselleri paylaşılmıştır.



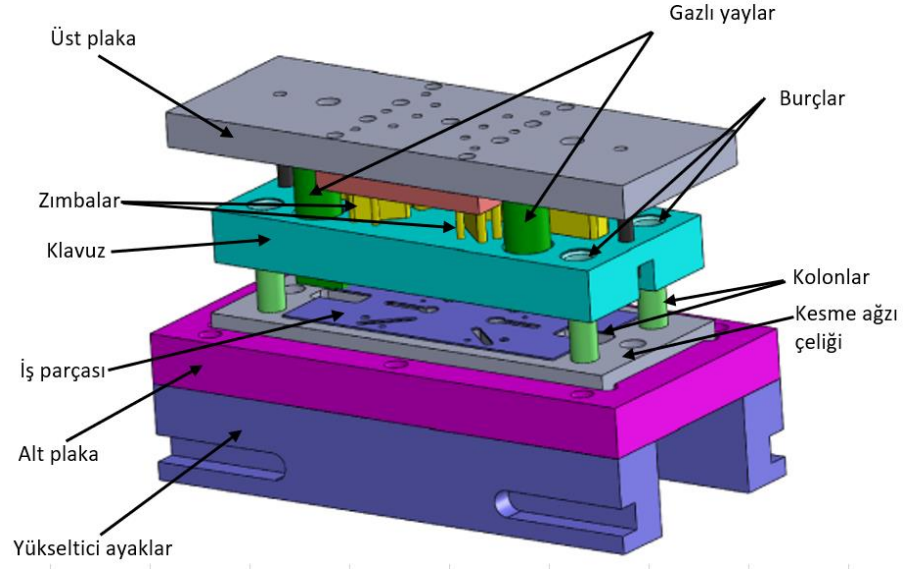
Şekil 4.6: Kalıp yayları [28].



Şekil 4.7: Gazlı yayları [29].

Tüm bu elemanların birbiriyle uyumlu ve doğru bir şekilde tasarlanması, kesim işleminin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için önemlidir. Ayrıca, sac kesme kalıpları, kesilecek malzemeye ve ürüne göre farklı şekillerde tasarlanabilir ve

bunların hepsi de kesme işleminin doğru bir şekilde gerçekleşmesi için büyük önem taşır. **Şekil 4.8**'da basit bir kesme kalıbı bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Kesme kalıbı [30].

5. HASSAS KESME İŞLEMİ

1923 yılında Fritz Schiess'in yaptığı çalışmalar sonucu, hassas kesme yöntemi ilk kez sac kesme işlemleri için geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde, diğer sac şekillendirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha kaliteli kenar kesim yüzeyleri elde edilebilmiştir. Günümüzde ise hassas kesme yöntemi sürekli olarak geliştirilmekte ve birçok sektörde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Saat endüstrisinde kullanılan hassas parçaların üretiminden, otomotiv sektörüne, işyerlerinin büro malzemelerine ve dekoratif malzemelerine kadar geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. **Şekil 5.1'**de hassas kesme kalıbından çıkmış bir saat parçası gösterilmektedir. Ayrıca hidrolik-pnömatik sistemlerden medikal ürünlere, elektrikli ev aletlerine ve hassas ölçülü hava araçları bileşenlerine kadar her alanda kullanılmaktadır. Son olarak, hassas kesme yöntemi tekstil makinelerinin bileşenleri dahil olmak üzere farklı parça üretimleri için idealdir.

Hassas kesme yöntemiyle üretilen konstrüksiyonlar ve makine parçaları, diğer sac şekillendirme yöntemleriyle elde edilen parçalara göre hasar alma ve ömür gibi faktörler açısından daha iyi performans sergiler. Bu parçaların deforme olma riski daha düşüktür ve kullanım ömürleri daha uzundur. Bu nedenle, hassas kesme yöntemi kullanılarak üretilen parçalar, birçok sistemde tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir.

Hassas kesme yönteminin bir avantajı, malzemenin basınç altında sabit tutulması sayesinde yarı delme, delme ve kesme işlemlerinin aynı anda gerçekleştirilebilmesidir. Bu durum, birden fazla işlemi aynı yerde yapabilme imkânı sağlayarak maliyet ve iş gücü açısından verimliliği artırır. Bu nedenle, hassas kesme yöntemi kullanılarak üretilen parçalar daha ekonomik ve hızlı bir şekilde üretilbilir [31].

Sac metal kalıpları ile kesilen parçalarda, tasarım ve üretim hatalarının yanı sıra kullanılan kesme yönteminden kaynaklanan pürüzlü kesme yüzeyi sorunuyla karşılaşılabilir. Ancak hassas kesme kalıpcılık tekniği sayesinde bu sorun büyük ölçüde giderilmiştir. Hassas kesme yöntemi kullanıldığında kesilen parçanın yüzeyinin tamamına yakını kesilmekte ve sonuç olarak daha pürüzsüz bir kesme yüzeyi elde

edilmektedir. Bu yöntemle, kesme kalıbında kesilen parçanın hem kesilme hem de koparma bölümleri daha homojen hale getirilebilir ve optimum seviyede kesme yüzeyi elde edilebilir [32].

Hassas kesme yönteminde, kesme işlemi yapmadan önce malzeme diğer kalıp elemanlarıyla aynı ekseninde olmalı ve sıkıştırılmalıdır. Böylece, kalıp elemanları yalnızca kesme doğrultusunda hareket eder ve doğru bir kesim gerçekleştirilir. Kesme kalıpları, dışarıdan kalıp ve tırnaklı baskı plakası tarafından çevrelenirken, içeriden ise zımba ve karşı zımba ile desteklenirler. Bu sayede kesme işlemi, kesme kalıbının etrafında baskı uygulanarak titizlikle kontrol edilebilir ve hassas kesimler elde edilebilir.

Hassas kesme işlemi sırasında sac malzeme, tırnaklı baskı plakası tarafından uygulanan gerilim altındadır. Bu sayede, kesme kalıbında ürün malzemeden ayrılırken kavislenme bölgesi azalır ve kopma gibi hasarlar meydana gelmez. Daha rijit bir kesim işlemi yapılmış. Sac malzeme kalıp içinde sıkıca tutulur ve hareket edemez. Hassas kesme yöntemi, aynı zamanda kesme ve delme işlemlerinin tek bir kalıpta uygulanabilmesine olanak tanır. Sonuç olarak, hassas kesme yöntemi daha az hasarlı ve daha doğru kesimler sağlayarak, daha hassas ürünlerin üretilmesine imkân verir [33].

Hassas kesme yöntemi, parçaların daha düzgün bir geometriye sahip olmasını sağlamaktadır. Kesilen yüzeyde herhangi bir yırtılma veya mikro çatlak görülememesi, hassas kesme yönteminin kalıpcılık sektöründe tercih edilmesine neden olmuştur. Kenar kesimindeki kalite açısından da hassas kesme yöntemi diğer yöntemlere göre avantajlıdır ve elde edilen kesme yüzeyi daha pürüzsüz ve homojendir. Sonuç olarak, hassas kesme yöntemi ile üretilen parçalar daha yüksek bir kalite standardına sahiptir ve birçok endüstride kullanım alanı bulmaktadır.



Şekil 5.1: Hassas kesim kalıbından çıkmış saat parçası [34].

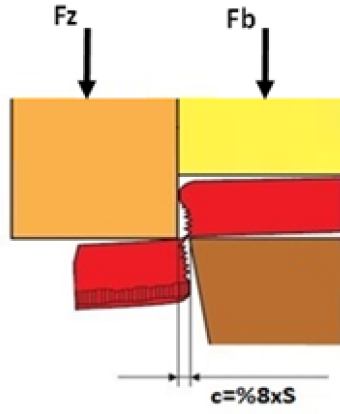
Hassas kesme yöntemi ile üretilen parçalarda, zımba kalıptan ayrıldıktan sonra kesme kenarının alt yüzeyinde çapaklar oluşabilir. Çapak yüksekliği, kesme kenarlarının durumuna, kesilen malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Yeni bir kalıpla yapılan kesme işleminde çapak yüksekliği genellikle 0,01 ila 0,08 mm arasındadır. Ancak, kalıpların seri üretimde kullanılması ve kalıpta iyileştirici revizyonların yapılmaması durumunda, zımbanın ve kesme ağzının aşınması gibi etmenler çapak yüksekliği 0,1 ila 0,3 mm arasında artabilir. Çapaklar istenmeyen bir durumdur ve ekstra maliyet ve işgücü gerektiren yüzey temizleme işlemleriyle kaldırılabilir. Bu işlemler arasında en sık kullanılanı yüzey taşlamadır. Kesme sonucu oluşan çapakların yüksekliği, yüzey temizleme işlemlerinin türüne ve yoğunluğuna göre değişebilir. Sonuç olarak, hassas kesme yöntemi ile üretilen parçalarda çapak sorunu ortaya çıkabilir ve bu sorun ekstra maliyetler doğurabilir [35].

5.1. Hassas Kesme Kalıbı Çalışma Prensibi

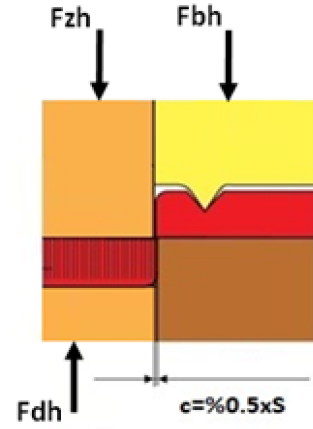
Hassas kesme kalıpları, klasik kesme kalıplarından biraz farklı yapıya sahiptir ve **Şekil 5.2'**de gösterilen hassas kesme kalıbında üç etkili kuvvet kullanılırken, kesme kalıbı tek etkili kuvvet kullanır. Klasik kesme kalıbında sadece kesme zımbası presten aldığı kuvveti iletir ve kesme işlemi gerçekleşir. Hassas kesme kalıbında ise saca dıştan baskı kuvvetleri uygulanır ve sacın kalıp içindeki hareketi önlenir. Bu şekilde, hassas kesme kalıpları daha yüksek kesme kuvvetleri gerektiren işlemler için idealdir [36].

Hassas kesme kalıplarının diğer önemli özelliği, kılavuz ya da üst baskı plakası olarak adlandırılan plakada bulunan tırnaklı yapıdır. Bu plaka malzemeye batmaktadır ve bu sayede malzeme üzerindeki yatay yükleri engelleyerek malzemenin kalıp içinde kaymasını önlemektedir. Kesme kalıpları ise böyle bir kılavuz plakasına sahip değildir ve bunların kullanımı daha basit ve düşük kuvvetli kesme işlemleri için uygundur.

Sonuç olarak, hassas kesme kalıpları klasik kesme kalıplarından farklıdır ve daha zorlu kesme işlemleri için tasarlanmıştır. Kılavuz plakasındaki tırnak geometrisi, hassas kesme kalıplarında kullanılan bir teknoloji olup malzeme kaymasını önleyerek yüksek hassasiyet sağlar [37].



Klasik kesme kalıbı



Hassas kesme kalıbı

Şekil 5.2: Klasik ve Hassas Kesme kalıbı kuvvetleri [38].

Fz: Klasik kesme kalıbı kuvveti

Fb: Klasik kesme kalıbı baskı kuvveti

Fzh: Hassas kesim kalıbı zımba kuvveti

Fbh: Hassas kesim kalıbı baskı kuvveti

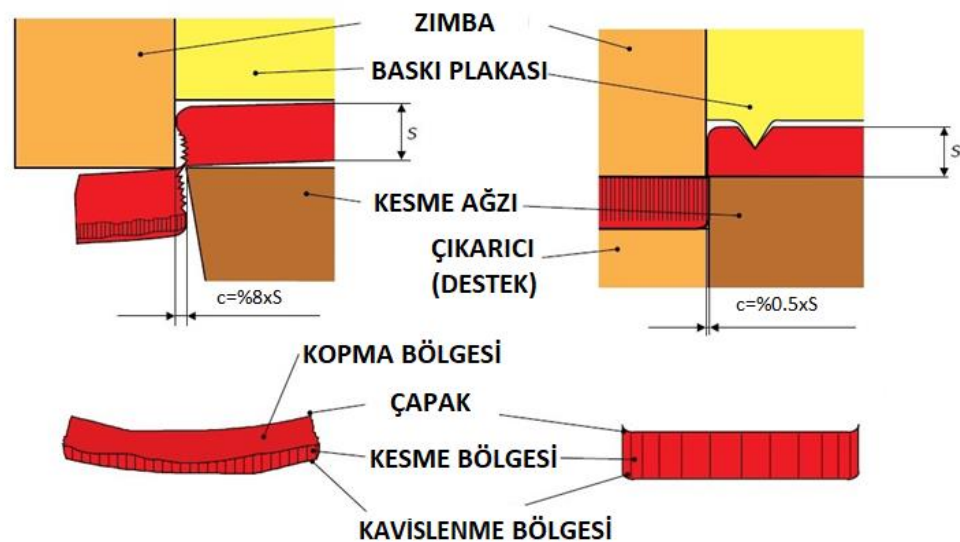
Fdh: Hassas kesim kalıbı destek kuvveti

Klasik kesme kalıbında $F_b=0$ 'dır. Baskı plakasının üzerine etki edecek bir kuvvet yoktur. Sacı sıkıştırmak amaçlanmaz.

Hassas kesme kalıbında malzemenin kesme aşamaları şu şekildedir:

1. Kalıp önce yukarı kalkar, zımba ve üst baskı parçaları yukarı hareket eder ve malzeme kalıp içine yerleştirilir.
2. Daha sonra, presin etkisi ile kalıp aşağı yönde hareket ederek kapanır. Sac parça, dışarıdan tırnaklı geometrinin bulunduğu baskı plakası ve içerden çıkarıcı zımbanın baskısı altındadır. Bu sayede, malzeme kesilme çevresine tırnak çentik geometrisi sayesinde sıkıştırılır.
3. Kesme kuvveti, tırnaklardaki kuvvet ve destek kuvvetinin etkisiyle, kalıp içinde sabitlenen malzeme kesilmeye başlar.
4. Hassas kesme kalıbının zımbası işlemi tamamladığında, kesilen ürün matrisin içinde, kesilen hurda da alt destek parçası üzerindedir.

5. Tırnaklı baskı plakası parçayı sıkıştırır ve işlemi tamamlar, daha sonra kalıp yukarı kalkarak açılır.
6. Tırnaklı üst baskı plakası üzerine uygulanan sıyırma kuvveti sayesinde malzeme zımbadan çıkartılır. Sonrasında, aktif olan sıyırıcı kuvvet itici zımbayı etkileyerek kesilen hurdaları zımbadan dışarı iter [39].
7. Alt destek parçası, kesilen ürünü kalıptan dışarı çıkartır. Sac şerit ilerlemeye devam eder.
8. Pnömatik hava sistemleri sayesinde kesilen ürün ve hurdalar kesme ağzından uzaklaştırılır.



6. YÖNTEM

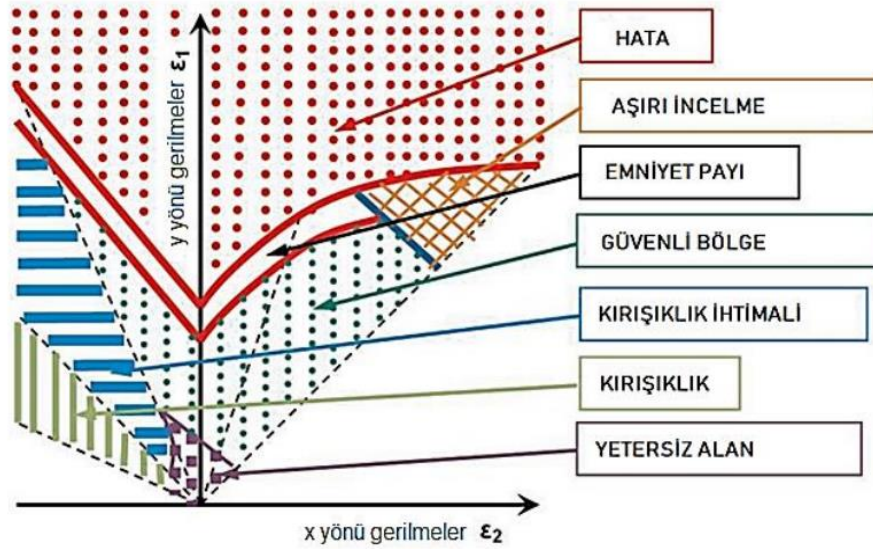
6.1. Malzeme Seçimi

S355MC, otomotiv, inşaat ve ağır makine gibi çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılan, yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı bir çelik sacdır. İyi soğuk şekillendirme özelliklerine sahiptir ve mukavemetinden ödün vermeden kaynaklanabilir, bükülebilir ve çeşitli şekillerde şekillendirilebilir. S355MC'deki "S" yapısal çeliği, 355 ise MPa cinsinden minimum akma dayanımını gösterir. "MC", termomekanik olarak haddelenmiş çeliği ifade eder; bu, belirli mekanik özellikler elde etmek için kontrollü bir ısıtma, haddeleme ve soğutma işlemi kullanılarak üretildiği anlamına gelir. Sacın kimyasal bileşimi **Tablo 6.1**'de gösterilmiştir ve saca ait forming limit diyagram **Şekil 6.1**'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada otomotiv süspansiyon grubu elemanlarından olan salıncak parçası imalatında kullanılan S355mc sacı kullanılmıştır. Malzeme kalınlığı 3mm olarak alınmıştır. 355MPa akma dayanımına sahip olan bu sac otomotiv sektöründe salıncak ve denge kolu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Tablo 6.1: S355MC sacı kimyasal bileşimi [42].

Kimyasal Bileşim (%)											
Standart Karşılığı		Erdemir Kalite No ⁽¹⁾	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb ⁽²⁾	Ti ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾
Standart	Kalite		maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	min.	maks.	maks.	maks.
DIN EN 10149-2	S315MC	4932	0.12	0.50	1.30	0.025	0.020	0.015	0.09	0.15	0.20
DIN EN 10149-2	S355MC	4936	0.12	0.50	1.50	0.025	0.020	0.015	0.09	0.15	0.20
DIN EN 10149-2	S420MC	4942	0.12	0.50	1.60	0.025	0.015	0.015	0.09	0.15	0.20
DIN EN 10149-2	S460MC	4946	0.12	0.50	1.60	0.025	0.015	0.015	0.09	0.15	0.20
DIN EN 10149-2	S500MC	4950	0.12	0.50	1.70	0.025	0.015	0.015	0.09	0.15	0.20

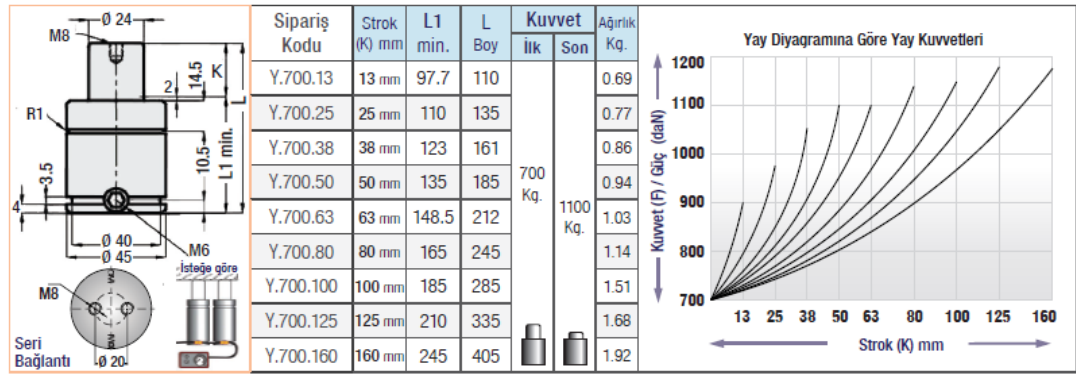


Şekil 6.1: S355MC sacı FLD diyagramı [43].

Kalıp tasarımlarında üst tırnaklı baskı plakası ve alt destek çıkarıcı parçaya gazlı yaylar bağlanmıştır. Bu sayede 3mm kalınlıktaki S355mc sacı için hassas kesme kalıbı entegre edilmiştir. Üstteki gazlı yayların sıkıştırma kuvveti ile sac kalıp içinde hareket etmeden rijit bir şekilde kesilecektir. Sacın kesme anında kavislenme bölgesini azaltmak için üstteki tırnaklar ve alt destek parçasının kuvvetinden faydalanılacaktır. Alt destek parçasının kuvvetinin çok yüksek olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde zımba üzerine etki eden kuvvet çok fazla olacaktır ve zımba ömrü azalacaktır.

Kalıbın üst baskı ve alt destek plakası için gerekli kuvvet kalıp elemanlarından olan gazlı yay sayesinde elde edilmiştir. Çalışmada YO 700.25 kodlu gazlı yay kullanılmıştır. YO 700 gazlı yayının kuvvet-çalışma aralığı grafiği **Tablo 6.2**'de gösterilmiştir. Burada gazlı yayın başlangıç kuvveti 700daN ve çalışma stroğu 25mm uygun olacağı bu gazlı yay tercih edilmiştir. Üst baskı için 6 adet gazlı yay alt destek plakası için ise 1 adet gazlı yay kullanılmıştır. Üstte kullanılan yaylar 10mm, alttaki yay ilse 6mm sıkışarak proses tamamlanacaktır. Gazlı yayın 10mm sıkıştığı durumdaki kuvveti 722daN, 6mm sıkıştığı durumdaki kuvveti ise 716dan'dır.Üst baskıda toplamda 4332daN, alt çıkarıcıda ise 716daN'luk kuvvet oluşacaktır.

Tablo 6.2: YO 700 gazlı yayının kuvvet ve çalışma aralığı eğrisi [44].



6.2. Hassas Kesme Kalıbı Tasarımı

Kesme kalıpları, birçok bileşenin bir araya gelmesiyle oluşan yapılardır. Bu bileşenler arasında üst tabla, alt tabla, kesme ağzı, tırnaklı baskı parçası, zımba, sıyırıcı plaka, bağlantı vidası, hizalama kılavuzu, kolon ve burç yer almaktadır.

Tasarım sürecinde ilk olarak ölçüler belirlenerek CATIA V5 programında sanal ortamda üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. CATIA CAD/CAM/CAE yazılımı, tasarım aşamasında hızlı, kaliteli ve düşük maliyetli geliştirme sağlayan bir mühendislik programıdır. Bu sayede, kesme ve hassas kesme kalıpları gibi karmaşık yapılar daha verimli bir şekilde üretilebilmektedir.

Zımba Ø10mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Simülasyonlarda deforme olmayacak şekilde tanımlanmıştır.

Üst baskı plakasının içinde zımba hareket edecektir ve zımbanın kesme ağzına girmesi için kılavuzluk edecek parçadır. Zımbanın geçeceği delik Ø10.1mm olarak tasarlanmıştır. Analizlerde deforme olmayacak malzeme şekilde tanımlanmıştır.

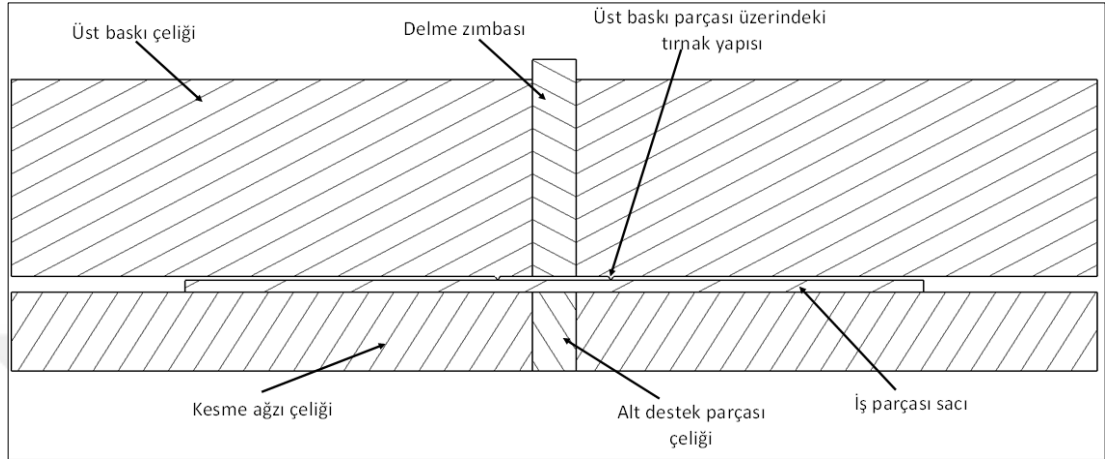
Kenarlardaki hiçbir etkinin parçanın ortasına açılacak deliğe etki etmemesi için iş parçası çapı 220mm olarak tasarlanmıştır. Simülasyonlarda deforme olacak malzeme olarak seçilmiştir.

Kesme ağzı hassas kesim kalıplarında olduğu gibi düşük bir kesme boşluğu verilerek tasarlanmıştır. Sac kalınlığının %0.5 ile kesme ağzı Ø3.15mm olarak tasarlanmıştır. Simülasyonlarda deforme olmayacak malzeme olarak seçilmiştir.

Alt destek parçası sacın kesme anında saca alttan destek olacak ve sacın kalıp içindeki hareketini önleyecektir. Bu sayede daha düzgün bir kesim oluşacak ve kesim bölgesi

artacak kopma bölgesi azalacaktır. Simülasyonlarda deforme olmayan malzeme olarak tanımlanmıştır.

Şekil 6.2'de simülasyonlarda kullanılacak olan tek tırnaklı hassas kesme kalıbı bileşenleri kesit görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Hassas kesme kalıbı kesit görüntüsü.

6.3. Klasik Kesme Kalıbı Tasarımı

Klasik kesme kalıbı tasarımı hassas kesim kalıbından türetilmiştir. Klasik kesme kalıbında üst baskı parçasına kuvvet etki etmeyecektir. Aynı zamanda üst baskı plakasında tırnak tasarımları da olmayacaktır.

Klasik kesme kalıplarında alt destek parçası da bulunmaz. Kesilen sac doğrudan kesme boşluğuna düşer ve hurda ya da iş parçası olmasına göre akıbeti belirlenir.

Bu kalıplarda kesme boşluğu hassas kesme kalıbına göre büyüktür. Sac kalınlığının %8'i kadar kesme boşluğu verilir. Çalışmada kullanılan tasarımda da bu şekilde kesme ağızı tasarlanmıştır.

Bu parametrelerin dışındaki tasarımlar aynı kalmıştır.

6.4. Kesme boşluğunun hesaplanması

Saç kalınlığı 3 mm olan malzeme için kesme boşluğu denklem (4.1)'de verilmiştir. S355mc sacı için kesme gerilmesi $\tau_a:40 \text{ kg/mm}^2$ 'dir. Kesme sonrası temiz yüzey elde edilmesi amaçlandığı için $a = 0,005$ alınacaktır.

$$C = as\sqrt{\tau}$$

$$C = 0,005 \times 3 \times \sqrt{40}$$

= 0,095 mm tek taraflı kesme boşluğudur.

6.5. Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

Kesme uzunluğu hesabını denklem (4.3)'te belirttiği gibi burada uygulanabilir. Kullanılan malzeme S355mc kesme gerilmesi $\tau_a:40 \text{ kg/mm}^2$ 'dir. Buradan, 10mm çapta olan zımbanın çevre uzunluğu;

$$\text{Zımba çevresi} = 2\pi r$$

$$= 2\pi 10$$

$$= 62,831\text{mm}$$

$$\text{Kesme kuvveti} = F_s = 62,831 \times 3 \times 40$$

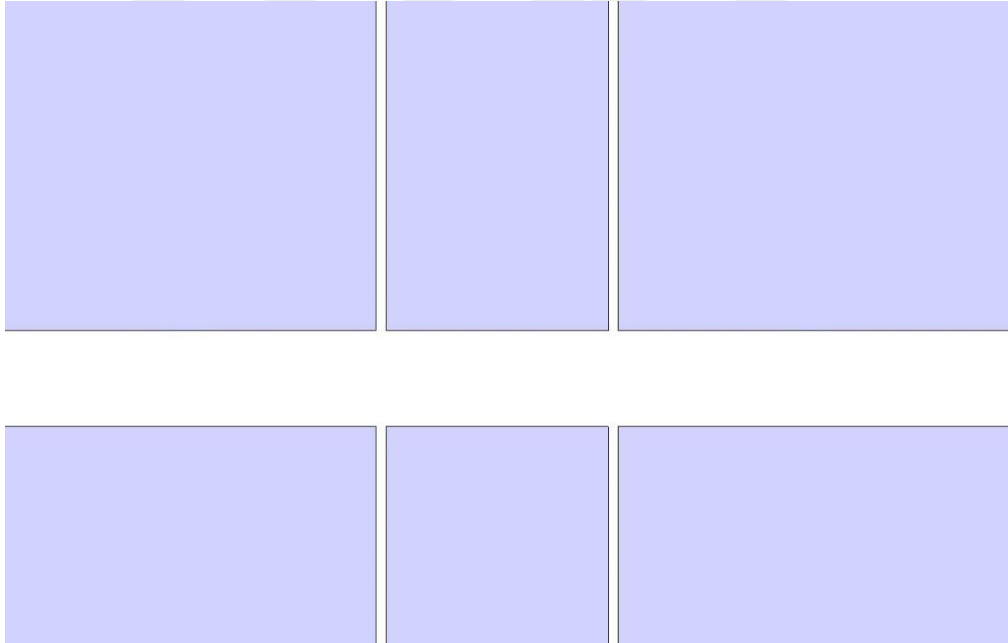
$$F_s = 7539,720 \text{ kg}$$

7. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

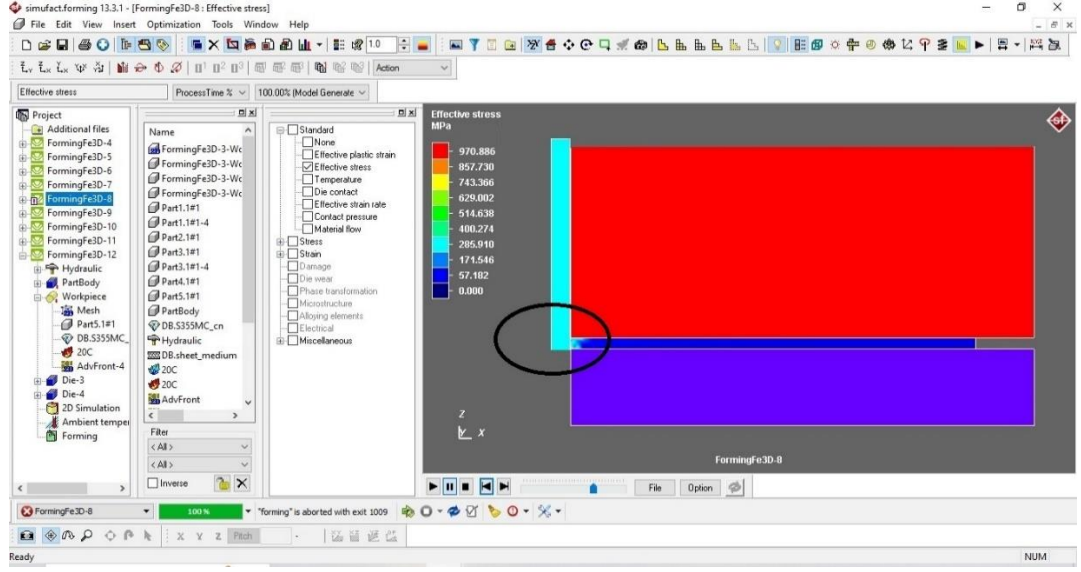
Bu çalışmada saat parçaları gibi ince kalınlıktaki parçaların imalatında kullanılan hassas kesme kalıbı 3mm S355mc sacına entegre edilmiştir. Hassas kesim kalının üst ve alt tarafında prestan aldığı kuvveti gazlı yaylardan alınarak kalıp tasarımları yapılmıştır. Yapılan kalıp tasarımı Simufact Forming programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Diğer yandan klasik kesme kalıbı tasarımı da yapıp hassas kesme kalıbı ile olan farklar yorumlanmıştır. Çalışmada 4 farklı kalıp tasarımı simüle edilip kenarlarda oluşan efektif stres değerleri kıyaslanmıştır.

İlk simülasyonda klasik kesme kalıbı tasarımı kullanılmıştır. **Şekil 7.1**'de klasik kesme kalıbı gösterilmiştir. Herhangi bir tırnak yapısı yoktur ve kesme boşluğu hassas kesmeye göre daha fazladır.

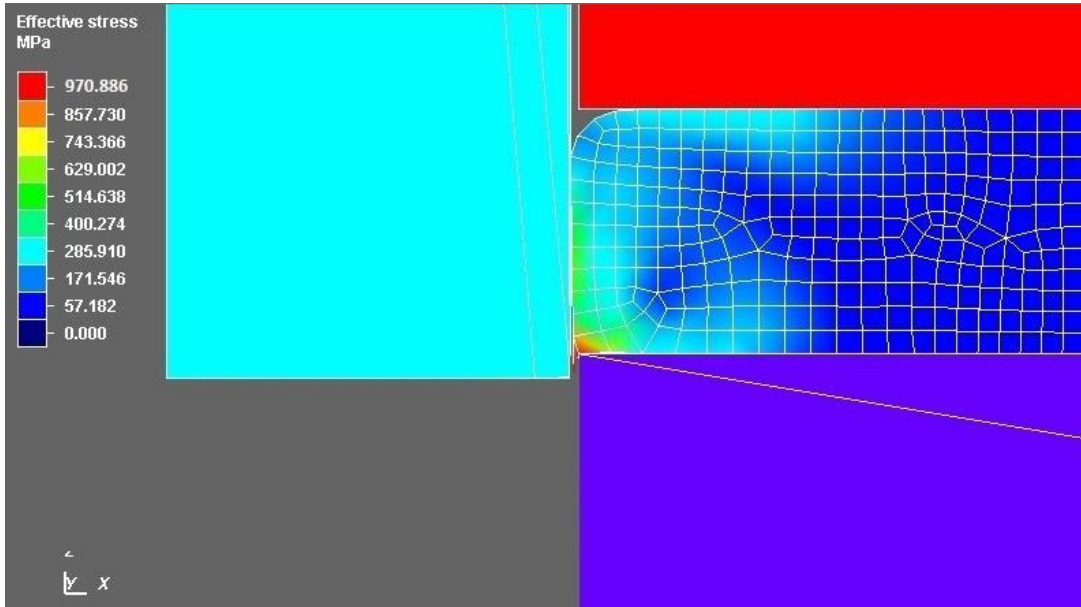


Şekil 7.1: Klasik kesme kalıbı tasarımı (tırnaksız).



Şekil 7.2: Klasik kesme kalıbı simülasyon görüntüsü (tırnaksız).

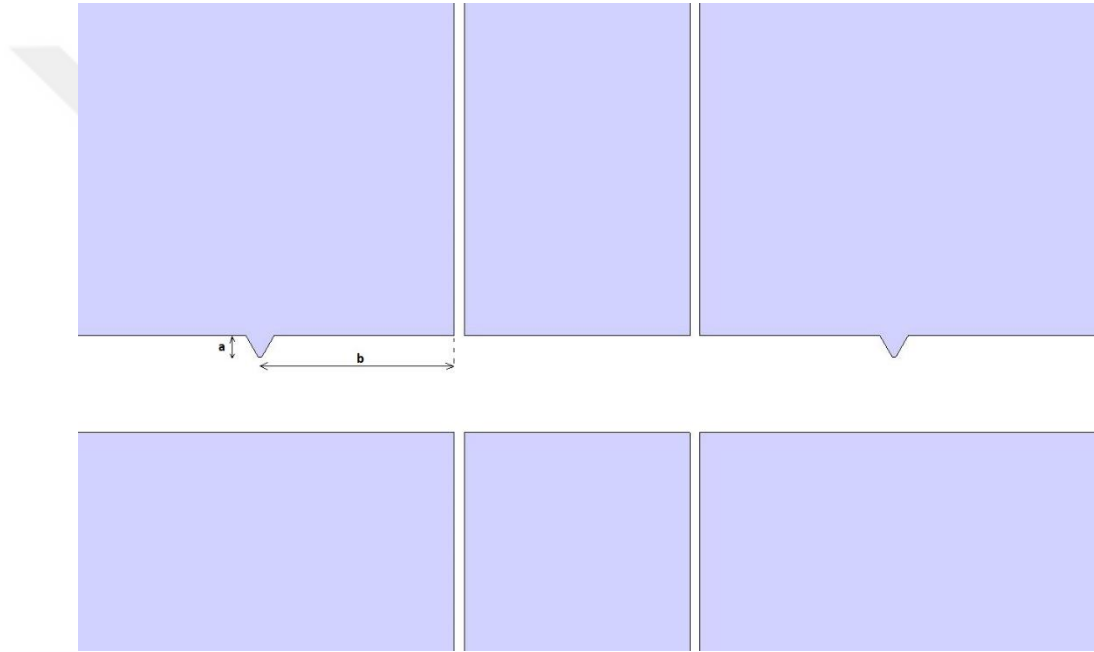
Şekil 7.2’de daire içine alınmış alanda sacın kesildiği, kesilen sac ile hurda sacın birbirinden ayrıldığı görülmektedir. Daire içindeki alan Şekil 7.3’te detaylı olarak gösterilmiştir. Burada gerilemenin maksimum olduğu bölümler görülebilmektedir.



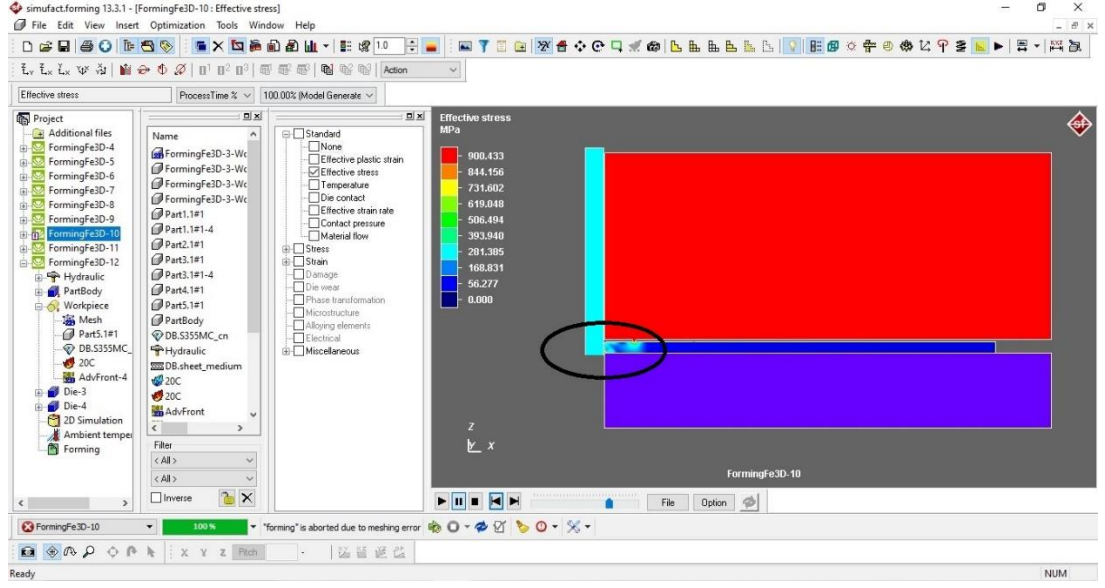
Şekil 7.3: Klasik kesme kalıbı kesme kenarı gerilimi.

Klasik kesme kalıbından çıkan sacın kesme kenarında maksimum 970MPa bir gerilme görülmektedir. Bu gerilme iş parçası ve hurda sacın birbirinden kopma bölgesinde olduğu görülmektedir. Burası sacın alt kısmıdır. Maximum gerilmenin burada olmasının sebebi kesme anında zımba bu noktaya en son olarak temas eder. Temas ederken önüne kestiği sacı yığarak ilerlediği için bu noktada kesim işlemi düzgün olmaz.

2. sıradaki simülasyonda tek üstte tırnak tasarımı olan hassas kesme kalıbı kullanılmıştır. **Şekil 7.4**'te bu kalıbın tasarımı görülmektedir. Üst baskı grubu üzerinde tırnak yapıları da kalıp tasarımı üzerinde bulunur.

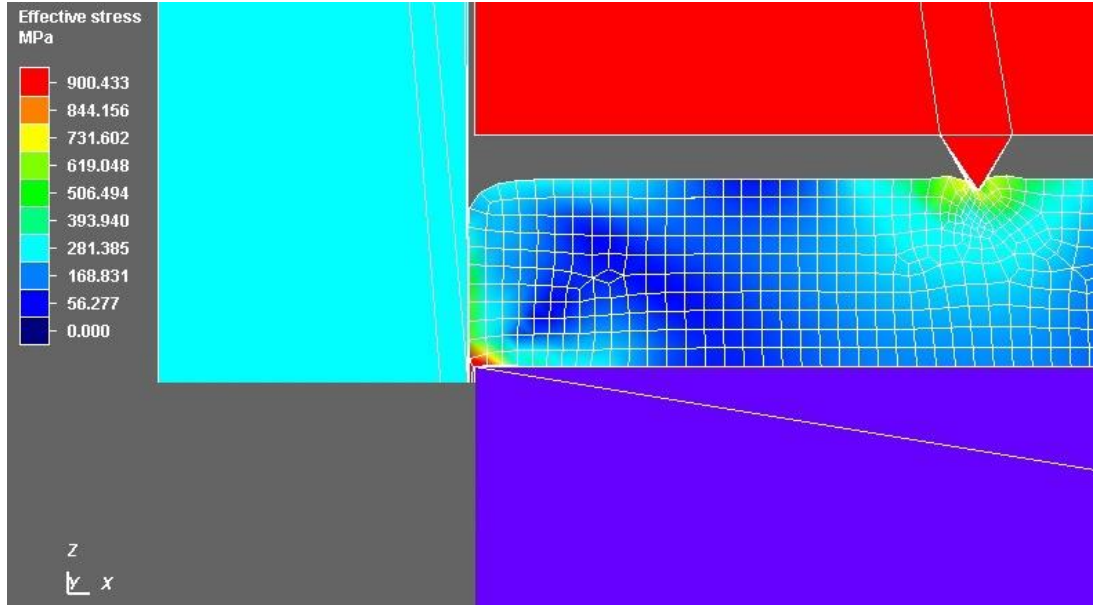


Şekil 7.4: Tek üstten tırnaklı hassas kesme kalıbı tasarımı.



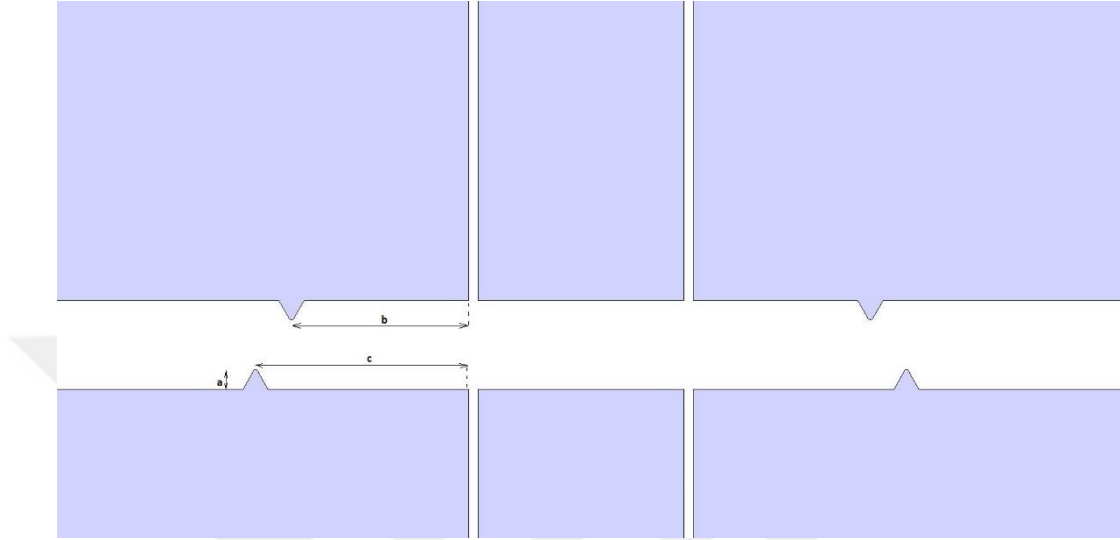
Şekil 7.5: Tek üstten tırnaklı hassas kesme kalıbı simülasyon görüntüsü.

Şekil 7.5’te tek üstten tırnaklı hassas kesme kalıbı simülasyon görüntüsü görülebilir. Daire içine alınmış alanda sacın koptuğu görülebilmektedir. Daire içine alınmış Şekil 7.6’da detaylı olarak gösterilmiştir.

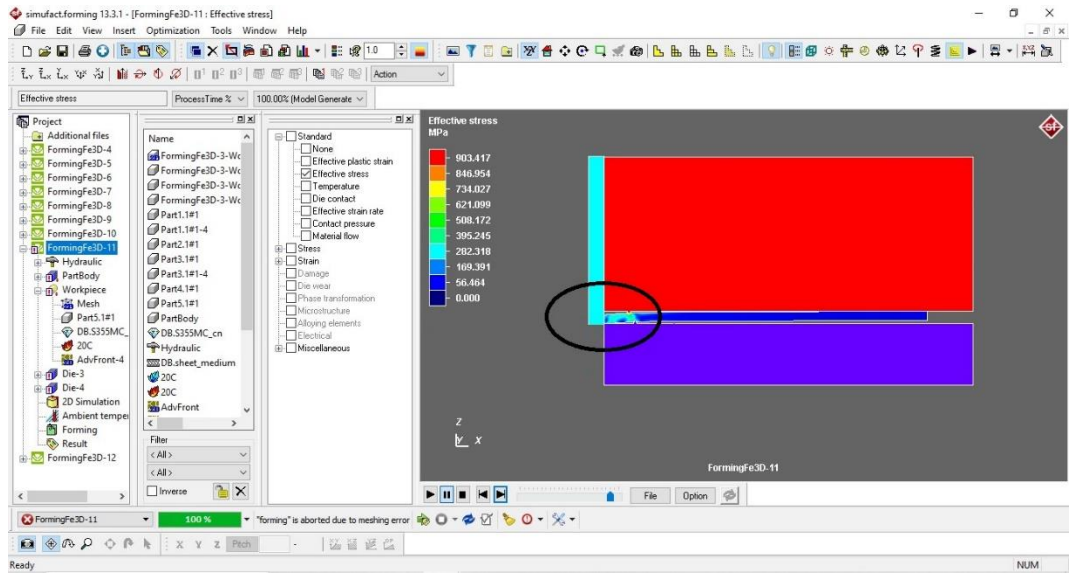


Şekil 7.6: Tek üstten tırnaklı hassas kesme kalıbı kesme kenarı gerilimi.

Tek üstten tırnaklı hassas kesme kalıbından çıkan sacın kesme kenarında maksimum 900MPa bir gerilim vardır. Klasik kesme kalıbına göre 90MPa daha az bir gerilme olduğu görülebilmektedir. Maximum gerilmenin olduğu yer yine sacın alt kısmıdır. Sonraki simülasyonda altta ve üstte 1 tırnak yapısı bulunan hassas kesme kalıbı kullanılmıştır. **Şekil 7.7**'de kalıbın tasarımını görülmektedir.

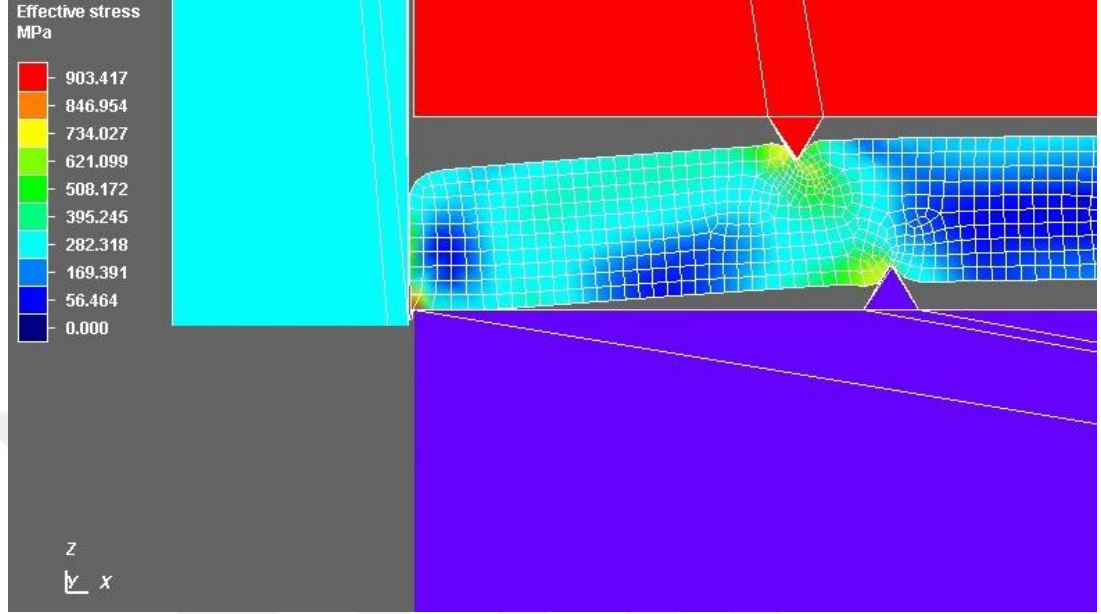


Şekil 7.7: Üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı.



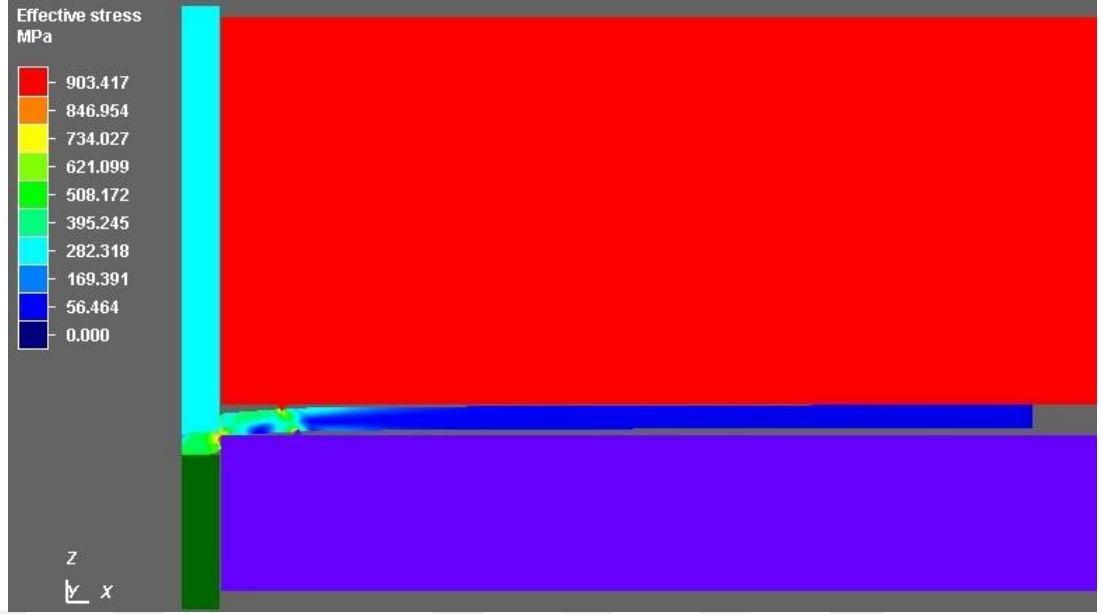
Şekil 7.8: Üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı simülasyon görüntüsü.

Şekil 7.8’de Üstte ve altta tırnak olan hassas kesme kalıbın kesme anı görülebilmektedir. Daire içine alınmış alan Şekil 7.9’da detaylı olarak görülebilir.



Şekil 7.9: Üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı kesme kenarı gerilimi.

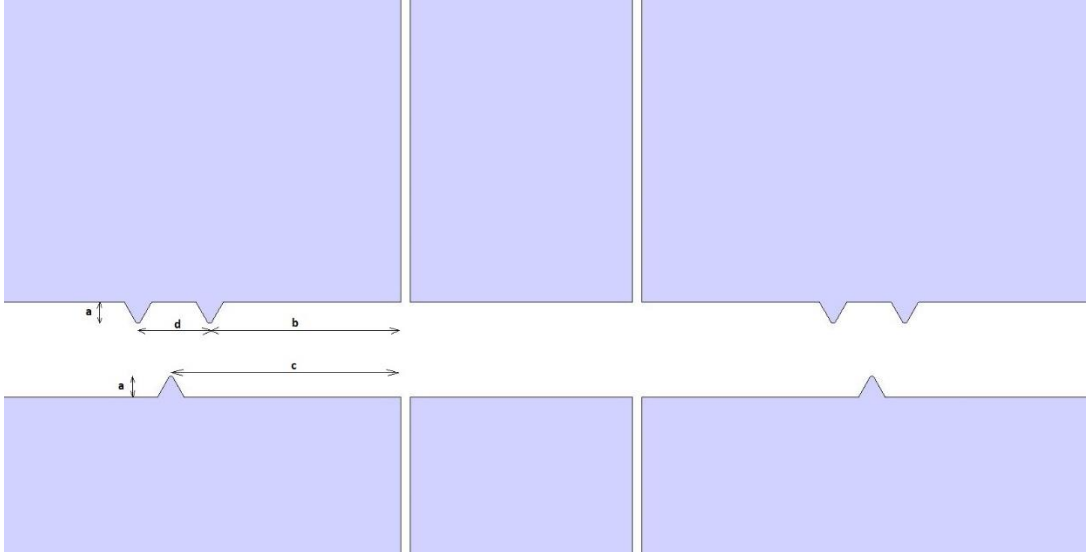
Hassas kesme kalıbında üstte ve altta tırnak olması durumunda kesme kenarında oluşan gerilim yine 900MPa civarındadır. Altta tırnak olmasının gerilimi azaltma noktasında pozitif bir etkisi olmamıştır. Altta tırnak yapısı sacın kalıp içinde rijit duruşunu engellemiştir. Sac altta ve üstteki tırnaklar arasında çapraz tutularak kesilmiştir. Şekil 7.10’da sacın kalıp içinde durumu görülmektedir.



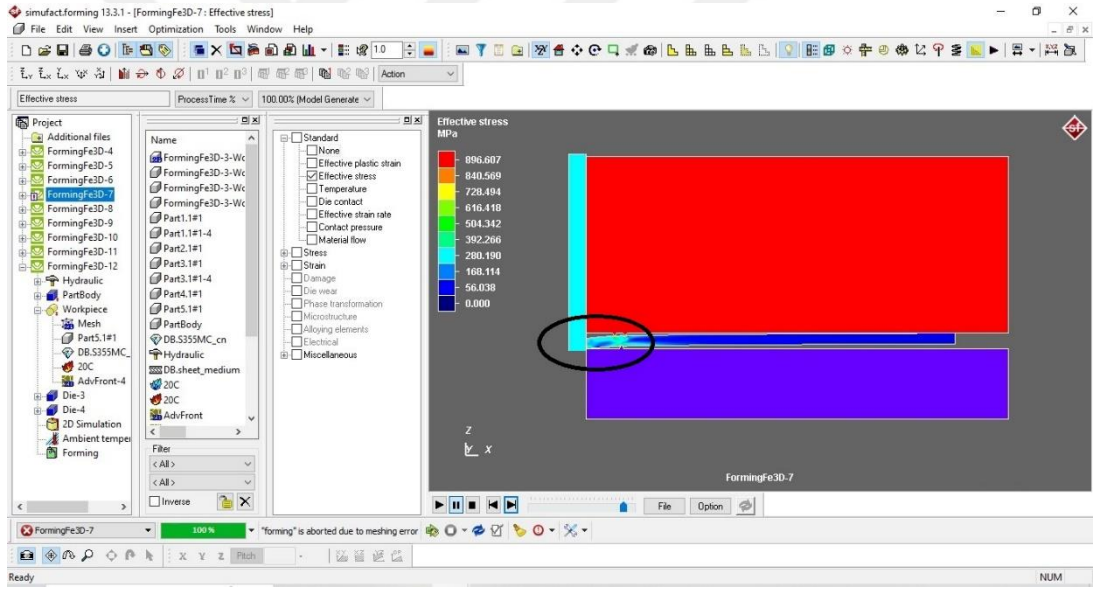
Şekil 7.10: Üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbında sacın pozisyonu.

Hassas kesme kalıbında üstte ve altta tırnak olması durumunda sacın kalıp içindeki pozisyonu düz değildir. Sac eğik bir şekilde kesilmiştir. Bu çalışmada amaçlanan noktalardan biri sacı kesim esnasında kalıp içinde oldukça sabit tutup düzgün bir kesme işlemi yapmaktır. Fakat alttaki tırnak yapısı sacı yukarıda tutmuş ve sacın düz yüzeye oturmasını engellemiştir. Altta tırnak olması sacın kesme kenarı iyileştirmesi için istenen bir tasarım değildir.

Son simülasyonda ise üstte 2 altta 1 tırnak yapısı bulunan kalıp tasarımı simüle edilmiştir. **Şekil 7.11**'de bu kalıba ait tasarım gösterilmiştir.

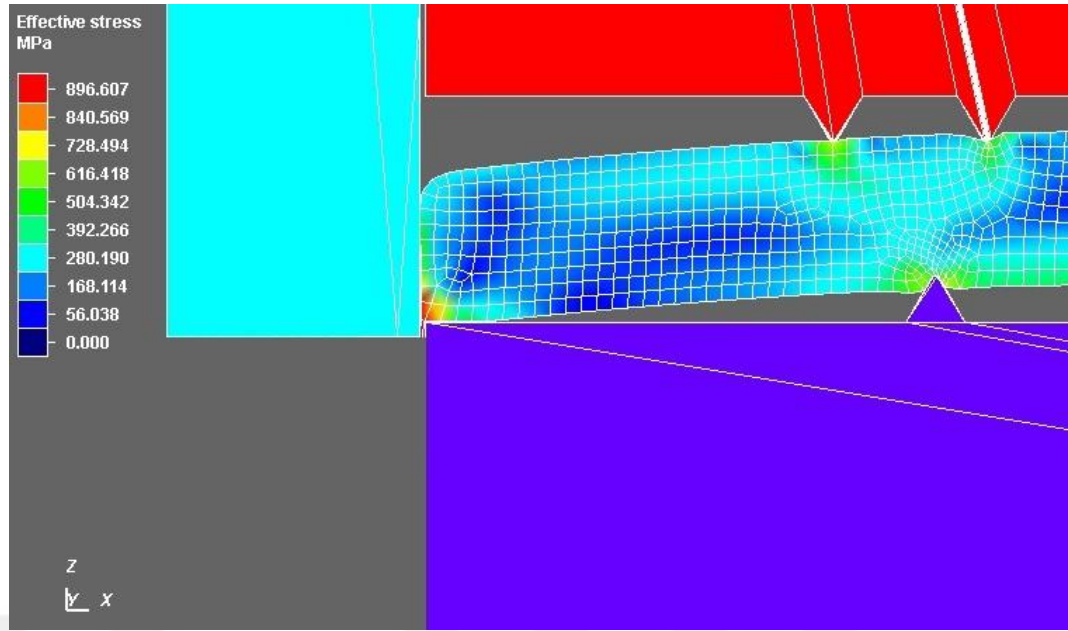


Şekil 7.11: Çift üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı.



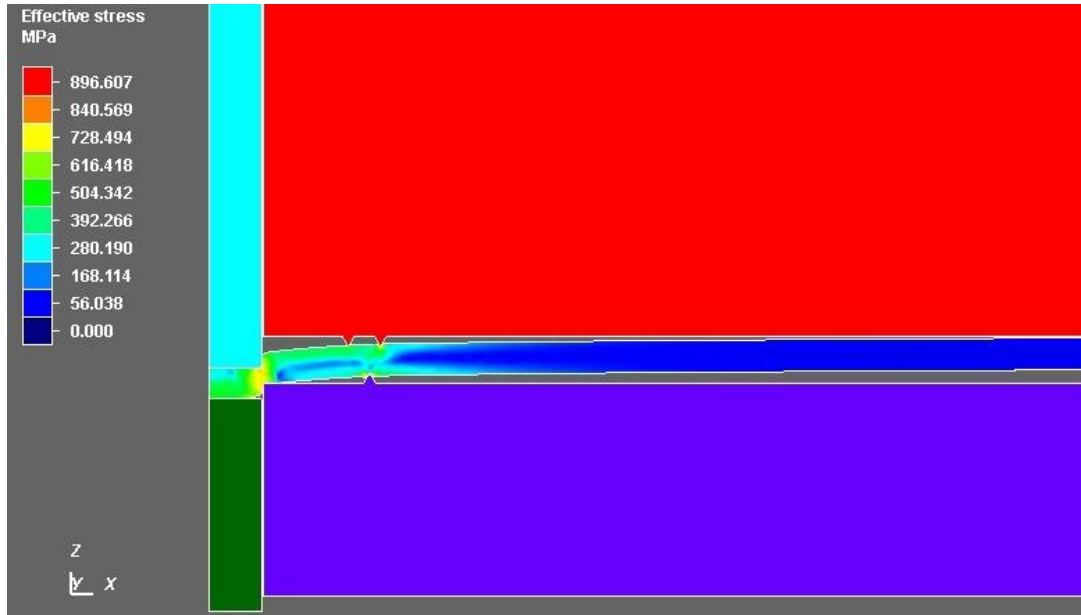
Şekil 7.12: Çift üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme simülasyonu.

Şekil 7.12’da üstte çift altta tek tırnaklı hassas kesme kalıbı görülmektedir. Daire içine alınmış kesme anı Şekil 7.13’te detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.13: Çift üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbı kesme kenarı gerilimi.

Hassas kesme kalıbında üstte çift tırnak olması da kesme kenarında oluşan gerilme yığılmasını azaltmak için etki etmemiştir. Çünkü kesme kenarında yine oluşan stres 900MPa değerine çok yakındır.



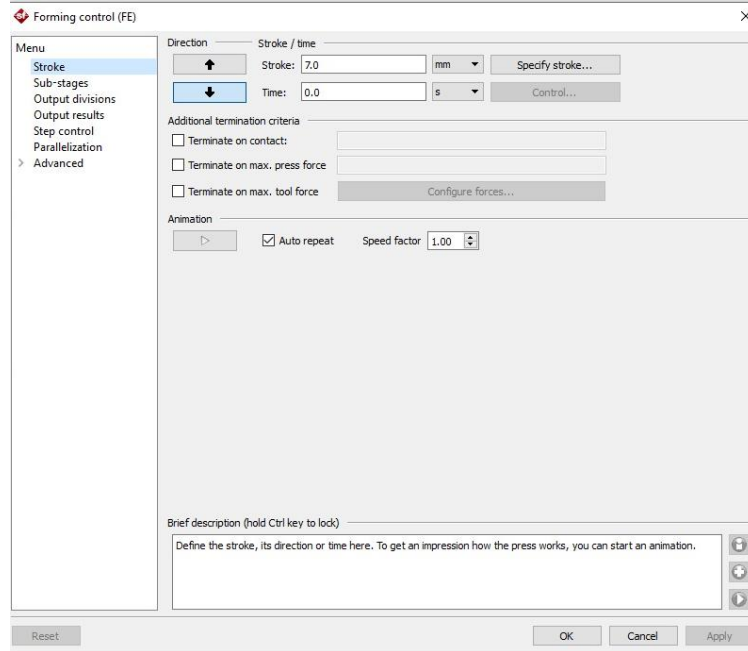
Şekil 7.14: Çift üstten ve alttan tırnaklı hassas kesme kalıbında sacın pozisyonu.

Şekil 7.7'de de görüldüğü gibi altta tırnak yapısının olması sacın kalıp içinde düzgün durmasına engeldir. Sacın kalıp içinde sabit tutulup rijit bir kesme işlemi yapılması için sacın düz bir yüzeye basması gerekmektedir. Altta bulunan tırnak yapısı sacı yukarı kaldırmaktadır. **Şekil 7.14**'te de benzer bir durum olduğu gösterilmiştir.

Tüm kalıp tasarımlarına kullanılan tırnak yükseklikleri **(a)** 1mm'dir. Ayrıca tırnak uçlarına 0.1mm radyus kırılmıştır. Üst tırnağın kesme boşluğuna uzaklığı **(b)** 8mm'dir. Alt tırnağın kesme boşluğuna uzaklığı **(c)** 9,5mm'dir. Üstteki iki tırnağın arasındaki mesafe **(d)** 3mm'dir.

Cad ortamında tasarımı tamamlanan kalıp ve iş parçası simülasyon ortamına aktarılmıştır. Ve simülasyon adımları aşağıdaki seçilerek kalıplar simüle edilmiştir. Tüm kalıplar için simülasyon şartları aynıdır sadece kalıp tasarımı farklıdır. Simülasyon şartları aşağıdaki gibidir.

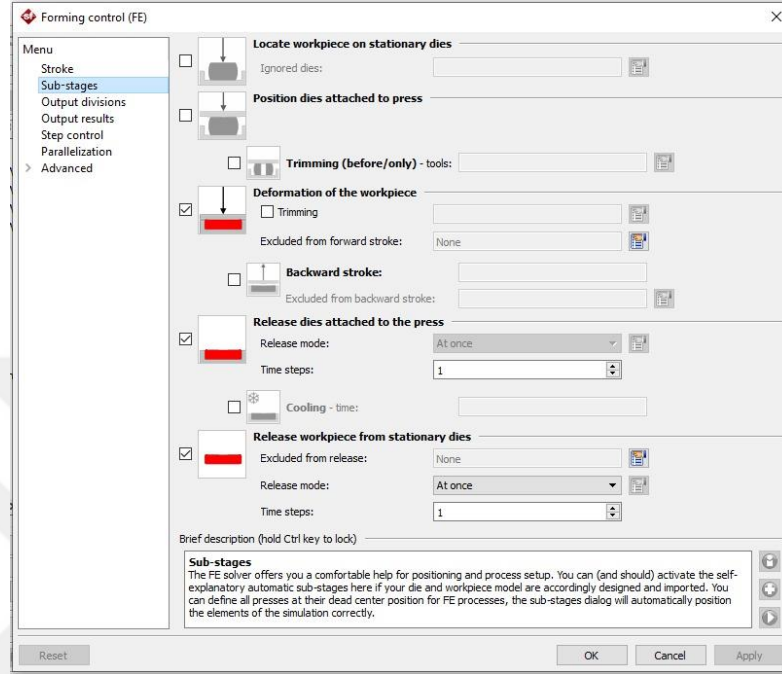
Kalıp üst grubunun sacı delip geçmesi için yeterli olan 7mm stroke olarak girilmiştir. Bu parametre ile üst grup 7mm aşağı yönde hareket edecektir. Üst grup için kuvvet kontrollü pres seçilmemiş, onun yerine stroke kontrollü pres ataması yapılmıştır. **Şekil 7.15**'te kalıp çalışma aralığının simülasyona girildiği gösterilmiştir.



Şekil 7.15: Simülasyon kalıp çalışma aralığı verisi.

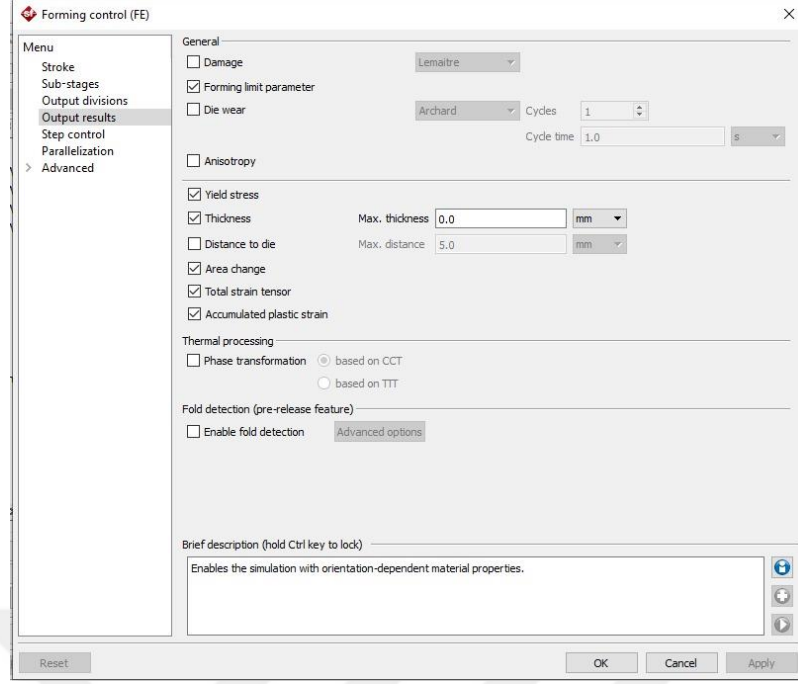
İş parçası üzerindeki deformasyonlar inceleneceği için bu seçenek aktif edilmiştir, **Şekil 7.16**'da bu seçim gösterilmiştir. Kalıp 7mm aşağı yönde hareketini

tamamladıktan sonra ortam sadece iş parçasının kalmasını istediğimiz için bu seçenekler de işaretlenmiştir. Kalıp ve iş parçası eksenel simetrik olduğu için simülasyonlar 2 boyutlu analiz edilmiştir.



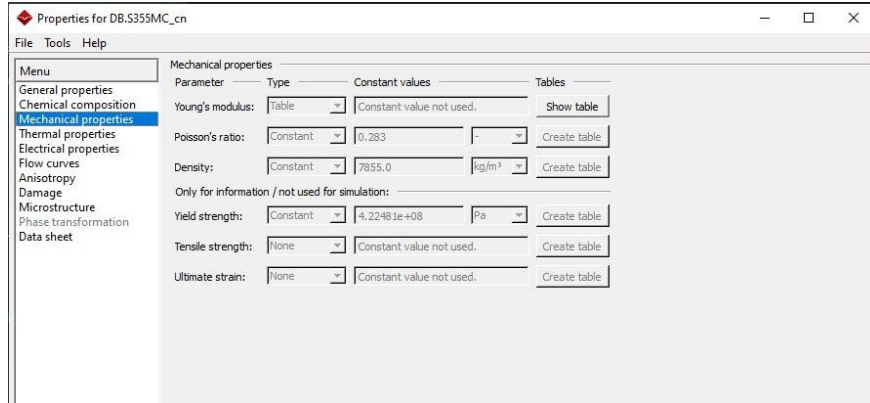
Şekil 7.16: Simülasyon deforme olabilen iş parçası seçimi.

Simülasyon sonuçları seçimi **Şekil 7.17**'de gösterilmiştir. Forming limit parametreleri, akma dayanımı gibi parametreler seçilmiştir.



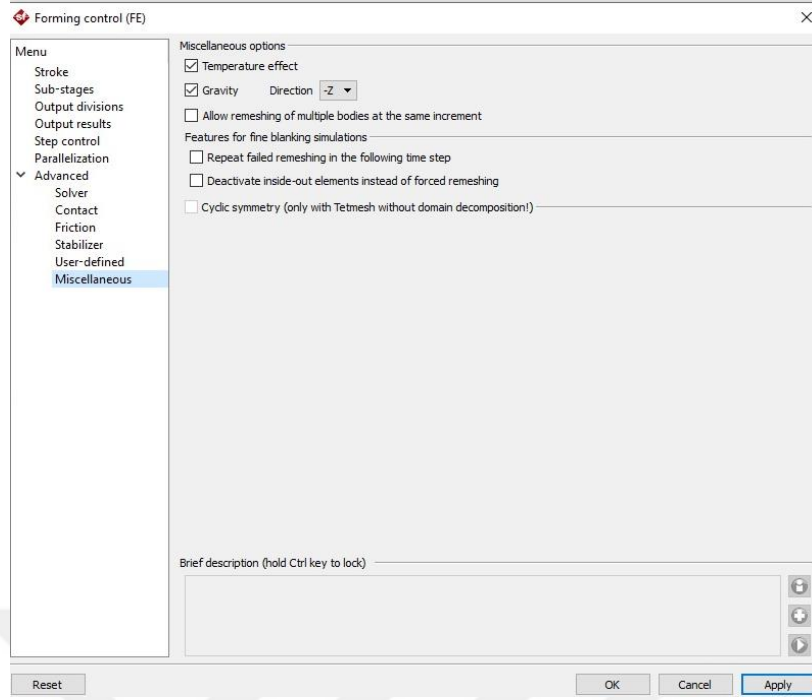
Şekil 7.17: Simülasyon FLD kullanım seçimi.

Simufact Forming programı kütüphanesinde S355mc sacı için malzeme kartı mevcuttur. Simülasyon çalışmalarında **Şekil 7.18**'deki gibi bu sac seçilmiştir.



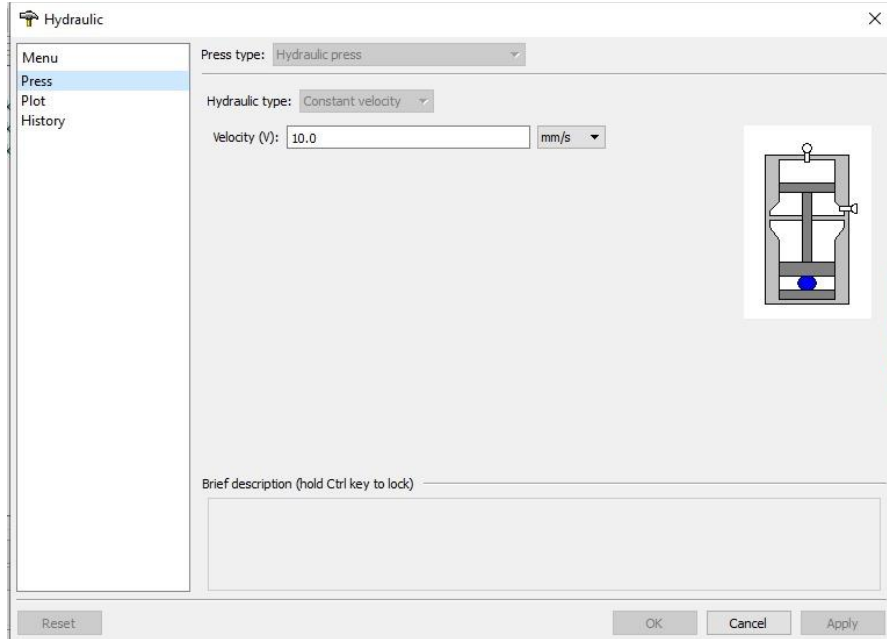
Şekil 7.18: Simülasyon S355mc malzeme kartı.

Sonuçların gerçek sonuçlara en yakın değerlerde çıkması için sıcaklık ve yer çekimi etkileri simülasyona dahil edilmiştir. **Şekil 7.19**'da bu değerler aktif edilmiştir.



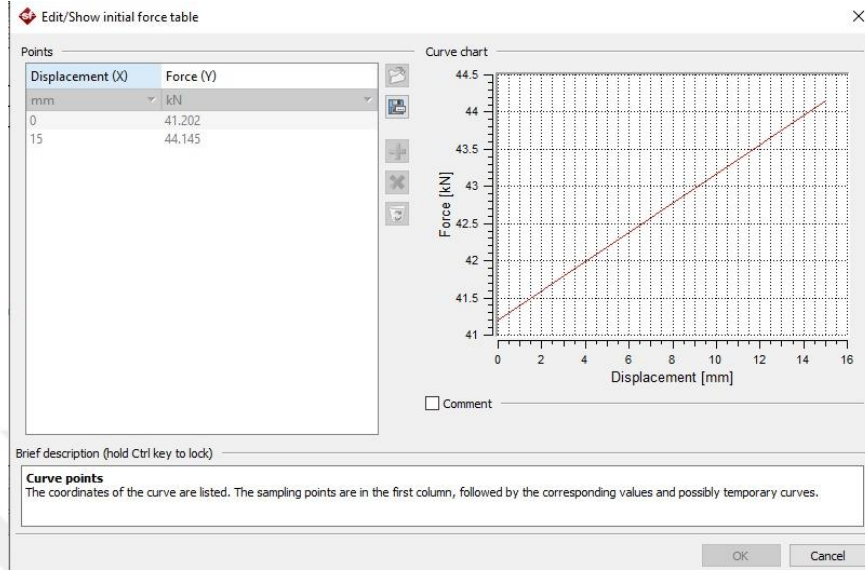
Şekil 7.19: Simülasyon yer çekimi ve sıcaklık etkileri seçimi.

Pres olarak sabit hızlı hidrolik pres seçilmiştir. Fiziksel olarak bir pres ölçülmüş ve hızı 10mm/s olarak kaydedilmiştir. Bu değerler **Şekil 7.20**'de sonuçların gerçeğe yakın olması için simülasyon parametrelerine girilmiştir.



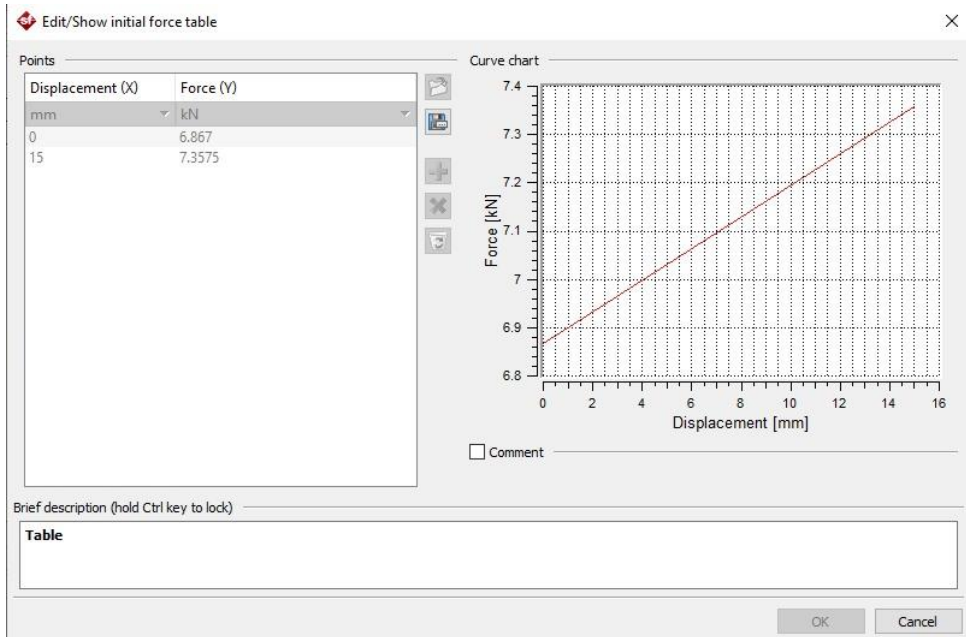
Şekil 7.20: Simülasyon kalıp hızı belirlenmesi.

Kalıbın üst grubu için 6 adet gazlı yay seçilmişti. Bunların toplam kuvvetleri **Şekil 7.21**'de görüldüğü gibi programa eklendi. Üst gazlı yayların toplam çalışma mesafesi 10mm olacağı kuvvet eğrisine 0 ve 15 mm'deki ölçüler girildi.



Şekil 7.21: Simülasyon üst baskı için gazlı yay kuvveti tanımı.

Alt destek parçası için ise 1 adet gazlı yay tanımlandı. Bu yayın çalışma mesafesi 6mm olduğu için kuvvet eğrisi oluşturulurken 0 ve 15mm'deki kuvvetleri **Şekil 7.22**'deki gibi simülasyona girilmiştir.



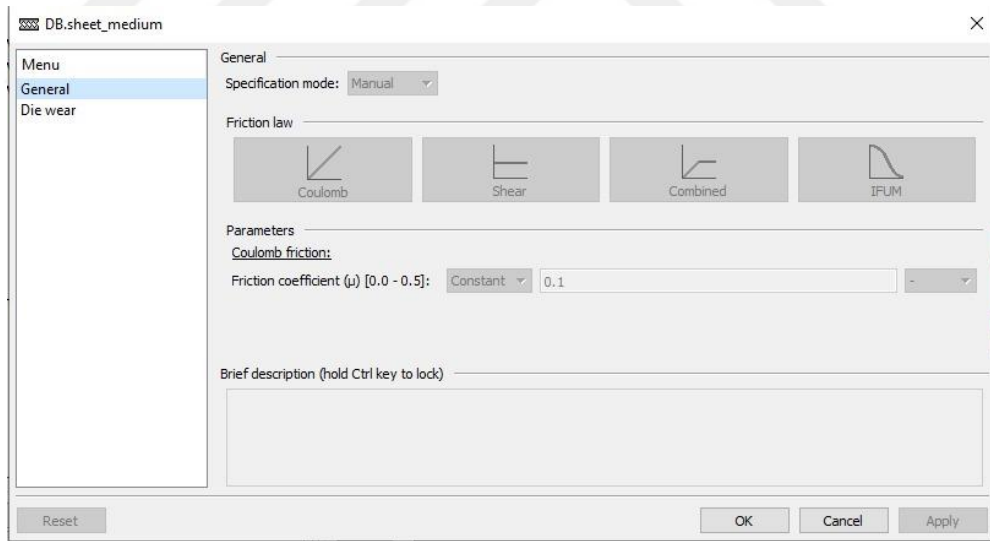
Şekil 7.22: Simülasyon alt destek için gazlı yay kuvveti tanımı.

Sonuçların gerçek test değerlerine yakın çıkması için kalıp ve iş parçasına sıcaklık ataması yapılmıştır. Her ikisi için de **Şekil 7.23**'te görüleceği gibi 20°C olarak atama yapılmıştır.



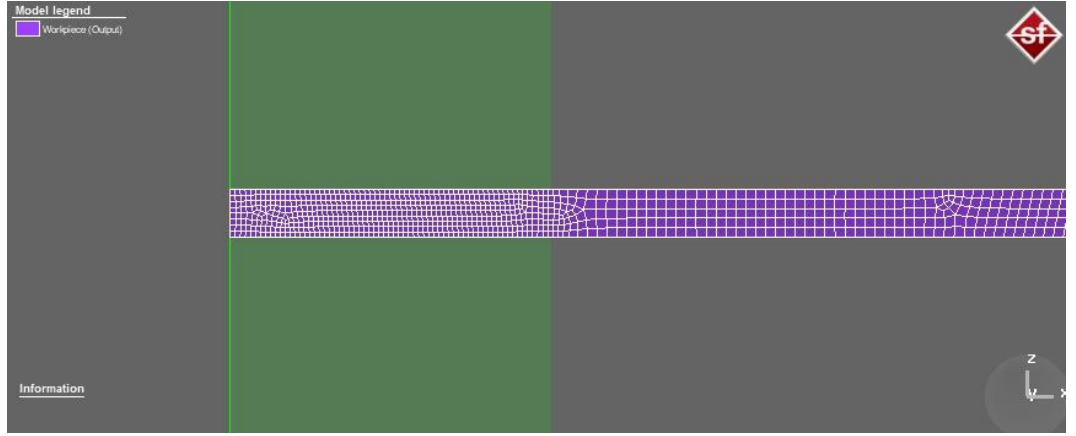
Şekil 7.23: Simülasyon kalıp ve iş parçası ısı tanımları.

Kalıp için sürtünme katsayısı programın kütüphanesinde bulunan orta düzey sac sürtünme katsayısı olarak belirlenmiştir ve **Şekil 7.24**'teki gibi atama yapılmıştır. Kalıp parçalarının arasındaki sürtünme önemli değildir çünkü kalıp malzemeleri deforme olamaz malzeme olarak seçilmişti fakat sac ile kalıp arasındaki sürtünme değeri sonuca etki edecektir.



Şekil 7.24: Simülasyon kalıp için sürtünme katsayısı tanımı.

İş parçasına mesh atılırken kesme olacak bölgeyi daha hassas incelemek için merkezden 40mm çapta bir daireye daha sık mesh ataması yapılmıştır. Bu bölgedeki eleman boyutu düşürülerek daha sık mesh ataması yapılmıştır. **Şekil 7.25**'te bu bölgedeki yoğun mesh yapısı görülmektedir.

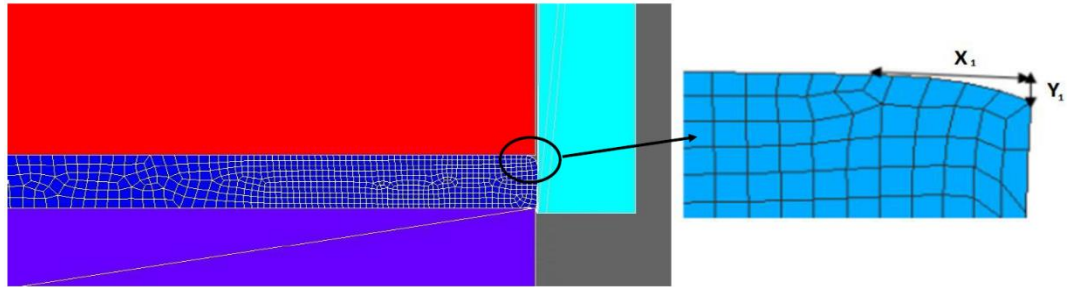


Şekil 7.25: Simülasyon iş parçası mesh tanımlanması.



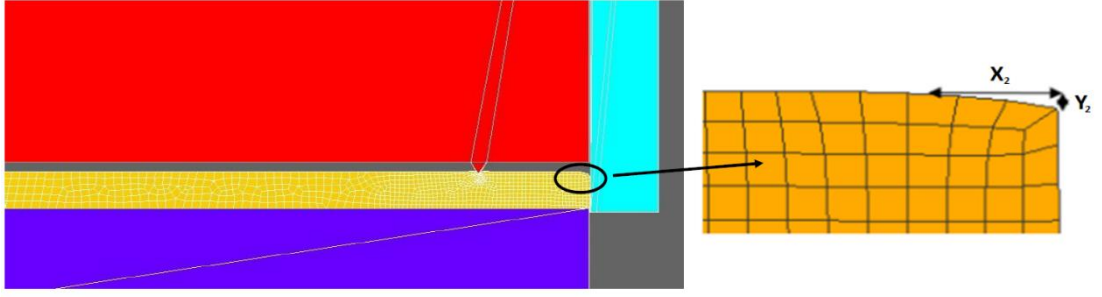
8. TEK TIRNAKLI HASSAS KESME KALIBI İLE KLASİK KESME KALIBI ÇAPAK YÜKSEKLİKLERİ KIYASLAMALARI

Zımba saca ilk temas ettiği anda sacı aşağı iterken kesme bölgesinde sac üzerinde kavislenme oluşur. Bu bölgeye kavislenme ya da yuvarlanma bölgesi denir. **Şekil 8.1**'de normal kesme kalıbı sonrası oluşan kavis bölgesi, **Şekil 8.2**'de hassas kesim sonrası oluşan kavis bölgesi gösterilmiştir. Simülasyonlar sonucu elde edilen veriler hassas açınım kesme kalıbından çıkan sacların kenarlarındaki kesme bölgesinin ve çapak boylarının daha uzun, kavislenme bölgelerinin daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Hassas açınım kesme kalıbının sacların kesme kenarlarında oluşan gerilmeleri azaltma konusunda pozitif etkisinin olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 8.1: Normal açınım kesme kalıbından kesme kenarına ait kavis bölgesi.

Yuvarlanma bölgesi genişliği $X_1=2.25\text{mm}$ ve derinliği $Y_1=0.44\text{mm}$ olarak ölçülmüştür.

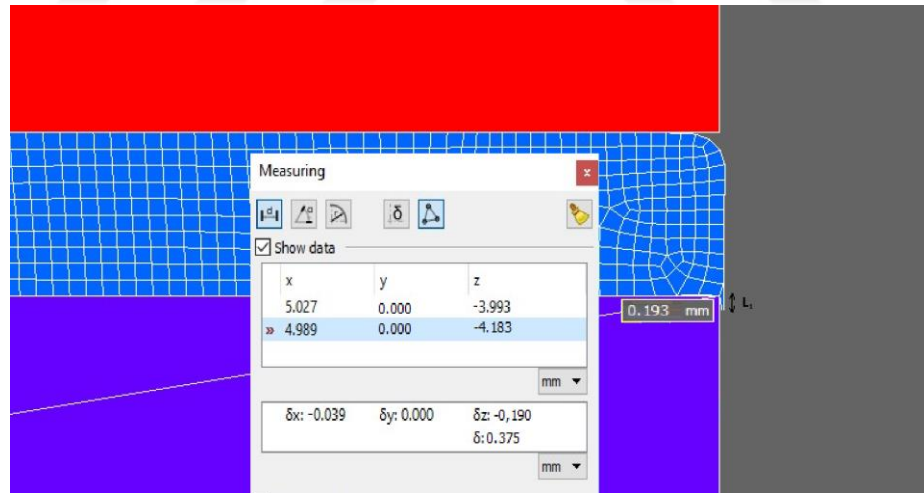


Şekil 8.2: Hassas açınım kesme kalıbı simülasyonundan çıkan kesme kenarı kavis

Yuvarlanma bölgesi genişliği $X_2=1.65\text{mm}$ ve derinliği $Y_2=0.28\text{mm}$ olarak ölçülmüştür.

Çapak yüksekliği ölçümü simülasyon programı üzerinden alınan ölçülerle sağlanmıştır. **Şekil 8.3**'te normal kesme kalıbından alınan ölçüler gösterilmiştir. Burada çapak yüksekliği için δ_z ölçüsüne bakılmalıdır. Diğer yazan Z değerleri koordinat noktalarını göstermektedir. Burada yazan 0.193mm olan uzunluk ise seçilen 2 nokta arasındaki mesafeyi gösterir.

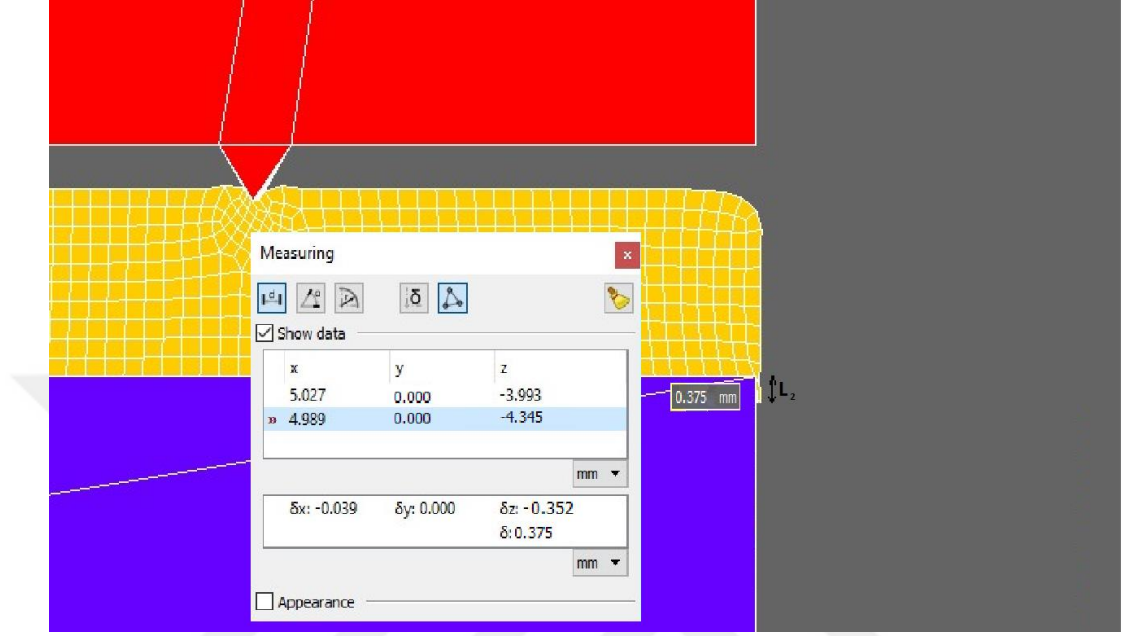
Çapak yüksekliği $L_1=0.19\text{mm}$ olarak ölçülmüştür



Şekil 8.3: Normal açınım kesme kalıbından çıkan kesme kenarına ait çapak yüksekliği.

Hassas kesme kalıbı çapak yüksekliği ölçüsü **Şekil 8.4**'te gösterilmiştir. Ölçümler simülasyon programı üzerinden alınmıştır. Burada çapak yüksekliği için δ_z ölçüsüne

bakılmalıdır. Diğer yazan Z değerleri koordinat noktalarını göstermektedir. Burada yazan 0.375 mm uzunluk ise seçilen 2 nokta arasındaki mesafeyi göstermektedir. Çapak yüksekliği $L_2=0.35\text{mm}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 8.4: Hassas açınım kesme kalıbı kesme kenarına ait çapak yüksekliği.

9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması, otomotiv süspansiyon grubu saclarının kesme kenarlarının form verme operasyonu üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır ve hassas kesme yöntemiyle elde edilen sacların kesme kenarlarındaki iyileştirmeleri göstermek istemektedir. Çalışmada, hassas kesme yönteminin kesme yöntemine göre sağladığı avantajlar ele alınmış ve özellikle tırnaklı baskı plakası geometrisinin tasarımı ve iş parçası üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analizlerde, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan salıncak ve denge kolu gibi parçaların imalat malzemesi olan 3mm kalınlıkta S355mc sacı tercih edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, hassas kesme yönteminin bu tür malzemelerin kesimi için daha uygun olup olmadığını belirlemek ve kesme işlemi için en iyi uygulamaları tanımlamaktır.

Hassas kesme ve klasik kesme yöntemi arasındaki farklar gösterilmiş. Yapılan simülasyonlar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki belirtilmiştir.

- Hassas kesme yöntemi ile kesilen sacların hurda kısmında, üst baskı plakasında bulunan tırnak yapısından dolayı batma izleri oluşmuştur. Batma işleminin ardından sac kesilmiştir
- Hassas kesme ile kesilen sacın kesme bölgesinin kopma bölgesine kıyasla daha uzun olduğu gözlenmiştir. Klasik kesme kalınlığına göre kesme bölgesinde artış olmuştur.
- Hassas kesme yöntemi uygulandığında saclar üzerinde baskı gerilmeleri olduğu gözlenmiştir.
- Hassas kesme ile kesilen sacların, kalıbın kesme boşluğuna düşmesi gibi durum söz konusu olmadığından sacın kalıp içine akması engellenir ve kavislenme bölgesinde azalmalar görülür.
- Sac malzemesinin hassas kesme yöntemi ve klasik kesme yöntemiyle yapılan sonlu elemanlar analizine göre hassas kesme yönteminde kesme yönteminde daha fazla yüksekliği elde edildiği görülmüştür.
- Analiz sonuçlarına göre, hassas kesim yönteminin daha fazla zımba kuvveti gerektirdiği tespit edilmiştir. Bu durum, kesim işlemi sırasında daha yüksek bir enerji tüketimi anlamına gelmektedir. Yine de hassas kesme yöntemi ile kesilen malzemelerde daha düzgün ve temiz kesim yüzeyleri elde edildiği, malzeme

kaybının azaldığı ve toleransların daha iyi sağlandığı gözlenmiştir. Bu nedenle, kullanılacak kesme yönteminin uygulama gerekliliklerine göre seçilmesi gerekmektedir ve hassas kesme yöntemi uygun koşullar altında tercih edilebilir bir yöntem olabilir.

- Analiz sonuçlarına göre, hassas kesim yöntemiyle kesilen malzemelerde kesme yöntemine göre daha düşük gerilim değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durum, hassas kesim işleminde kesilen malzemelerin daha fazla enerjiye maruz kaldığı anlamına gelmektedir. Ancak, hassas kesme yöntemi ile kesilen malzemelerde daha düzgün ve temiz kesim yüzeyleri sağlandığı, malzeme kaybının azaldığı ve toleransların daha iyi sağlandığı da gözlenmiştir. Bu nedenle, kullanılacak kesme yönteminin uygulama gerekliliklerine göre seçilmesi gerekmektedir ve hassas kesme yöntemi uygun koşullar altında tercih edilebilir bir yöntem olabilir.
- Analiz sonuçlarına göre, klasik kesme yöntemiyle yapılan kesimlerde maksimum gerilmenin zımba ve kesme ağzının iş parçasını kesmeye başladığı bölgede olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, hassas kesme yöntemiyle yapılan kesimlerde maksimum gerilmenin üst baskı plakasında bulunan tırnak geometrisinin iş parçası malzemesine battığı bölgelerde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu sonuçlar, iki kesme yönteminin farklı özelliklere sahip olduğunu ve uygulanacak malzeme ve kesme koşullarına göre seçim yapılması gerektiğini göstermektedir.
- Yapılan analizler sonucu hassas kesim kalıbında tırnak yapısı geometrisin sac malzemenin kalınlığına ve sertliğine optimum yükseklikte olması gerekmektedir. Bu değer kalıp hızına, iş parçasının sertliğine göre değişiklik gösterebilir. Bu değer optimum seviyesini bulmak için birkaç farklı simülasyon yapmak gerekebilir.
- Kalıplar simüle edilirken deforme olmayan malzeme olarak seçilmiştir. Fakat fiziki kalıplar üretildiğinde tırnak yapısının kalıp üzerine işlenmesi çok zor olacaktır. Ve tırnak yapısının ince olması sebebi ile seri imalatla uzun ömürlü olmayabilir. Bu yüzden tırnak yapısını içeren kalıp parçası çok sert ve yüksek mukavemetli olmalıdır. Bu özellikleri taşıyan kalıp malzemesi ise yüksek maliyetli olabilir. Bu bilgiler ışığında hassas kesim kalıbı tasarımı tercih edilmelidir.
- Hassas kesim kalıplarında kesme ağzı ile zımba arasındaki boşluk çok düşük olduğu için kalıp imalat süreci de çok hassas olmalıdır. Aksi takdirde zımba kesme ağzına vurur ve zımba ya da kesme ağzını kırabilir. Bu denli yüksek hassasiyet isteyen

kalıpların imalatı için gelişmiş özellikli ve iyi kalibre edilmiş tezgahlar kullanmak gerekir.

- Hassas kesme kalıpları tasarımında tırnak sayısının fazla olması kesme kenarında oluşan gerilim yığılmalarına etkisi yok denecek kadar azdır.
- Hassas kesme kalıbında tırnak yapısı aşağıda olursa sac kalıp içinde düz bir şekilde duramaz ve kesme işlemi rijit bir şekilde gerçekleştirilemez. Sacın kalıp içinde düz bir yüzeye basması sacın sabit durması için önemlidir.



KAYNAKLAR

- [1] Web 1 (2023), <https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/02/macpherson-bagimsiz-suspansiyon-sistemi.html> Erişim Tarihi : 15.06.2023
- [2] Web 2 (2023), <https://aydtr.com/> Erişim Tarihi : 15.06.2023
- [3] Luo, C., Chen, Z., Zhou, K., Yang, X., & Zhang, X. (2017), “A novel method to significantly decrease the die roll during fine-blanking process with verification by simulation and experiments”, Journal of Materials Processing Tech, 250, 254–260.
- [4] (2023, 13 Temmuz). Teknorot Otomotiv Sac Salıncak Fabrikası
- [5] Djavanroodi, F., Pirgholi, A., & Derakhshani, E. (2010), “FEM and ANN Analysis in Fine-Blanking Process”, Materials & Manufacturing Processes, 25(8), 864–872.
- [6] (2023, 13 Temmuz). Teknorot Otomotiv Sac Salıncak Fabrikası
- [7] (2023, 13 Temmuz). Teknorot Otomotiv Sac Salıncak Fabrikası
- [8] Stanke, J., Unterberg, M., Trauth, D., & Bergs, T. (2020), “Development of a hybrid DLT cloud architecture for the automated use of finite element simulation as a service for fine blanking”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 108(11–12), 3717.
- [9] Yang, S. / 杨珊, Song, Y. / 宋燕利, & Zhang, M. / 张梅. (2014), “Effects of parameters on rotational fine blanking of helical gears”, Journal of Central South University: Science & Technology of Mining and Metallurgy, 21(1), 50.
- [10] Zhuang, X., Zhang, W., Wu, Y., & Zhao, Z. (2018), “Comprehensive prediction method for die-roll height of fine-blanking components”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 98(9–12), 2819.
- [11] MEB, (2012), Kılavuz Plakalı Delme Kesme Kalıpları 1. Ankara, Millî Eğitim Bakanlığı.
- [12] Lin Li-Feng, Wang Gui-cheng, Fan Shu-tian, & Zhang Yu-xin. (2009), “Fine-blanking Die Wear and its Effect on Product Edge Quality”, 2009 WRI World Congress on Software Engineering, Software Engineering, 2009. WCSE '09. WRI World Congress On, 2, 82–87.
- [13] G. Küçüktürk. (2016), “AA5754 malzemesinin kesme işlemlerinde kesme boşluğunun ürün kalitesi etkilerinin deneysel incelenmesi ve bulanık mantık ile tahmini”, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, c. 31, sayı 2, ss. 285–294.

- [14] Zhao, X., Liu, Y., Hua, L., & Mao, H. (2016), “Finite element analysis and topology optimization of a 12000KN fine blanking press frame”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 54(2), 375.
- [15] (2023, 13 Temmuz), Teknorot Otomotiv Kalıphane Fabrikası
- [16] F. Rustamov.,(2009), “Hassas kesmeyi etkileyen konstrüksiyon parametreleri”, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [17] Kwak, T. ., Kim, Y. ., & Bae, W. . (2002), “Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking”, *Journal of Materials Processing Tech*, 130, 462–468.
- [18] Web 3 (2023), <https://ektam.gazi.edu.tr/view/page/245047> Erişim Tarihi: 10.05.2023
- [19] C. Göloğlu., (1994), “Sac metal kalıp konstrüksiyonunda kesme kalıbı tasarımı,” Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi.
- [20] Sahli, M., Roizard, X., Assoul, M., Colas, G., Giampiccolo, S., & Barbe, J. P. (2021) “Finite element simulation and experimental investigation of the effect of clearance on the forming quality in the fine blanking process”, *Microsystem Technologies: Micro- and Nanosystems Information Storage and Processing Systems*, 27(3), 871.
- [21] Bo Wang. (2010). “Finite element simulation of blanking mechanism for precision progressive die”, 2010 2nd International Conference on Computer Engineering & Technology (ICCET), V4–V84.
- [22] TAŞDEMİR, V., (2018). “Finite element simulation of effect of material thickness and die clearance on fine blanking process”, *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(2), 127-134.
- [23] Web 4 (2023), http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf. Erişim Tarihi: 05.04.2023
- [24] Liu, Y., Hua, L., Mao, H., & Feng, W. (2014), “Finite Element Simulation of Effect of Part Shape on Forming Quality in Fine-blanking Process”, *Procedia Engineering*, 81, 1108–1113.
- [25] Mole, N., & Štok, B. (2009), “Finite element simulation of sheet fine blanking process”, *International Journal of Material Forming*, 2(1), 551.
- [26] Engin, K. E., & Eyercioğlu, Ö. (2018), “Kesme kalıplarında yüksek zımba hızının AISI 304 sac malzemenin kesme yüzeyi sıcaklığına ve kalitesine olan etkisinin incelenmesi” *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 2018(18, Part 2), 1–21.
- [27] Web 5 (2023), <https://dizayntekhirdavat.com/teknik-hirdavat/kalip-kolon-burclari/> Erişim Tarihi: 14.05.2023

- [28] Web 6 (2023), <https://www.guvenal.net/yaylar> Erişim Tarihi: 13.07.2023
- [29] Web 7 (2023), <https://www.guvenal.net/yaylar> Erişim Tarihi: 08.04.2023
- [30] Web 8 (2023), <http://www.ssab.com.tr/products/brands/ssab-domex/products/ssab-domex-mc-hsla> Erişim Tarihi: 27.04.2023
- [31] ENGİN, K. E., & EYERCİOĞLU, Ö. (2019), “Kesme kalıplarında yüksek zımba hızının AISI 304 sac malzemenin kesme yüzeyi sıcaklığına ve kalitesine olan etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 1427–1440.
- [32] ENGİN, K. E., & EYERCİOĞLU, Ö. (2019), “Kesme kalıplarında yüksek zımba hızının AISI 304 sac malzemenin kesme yüzeyi sıcaklığına ve kalitesine olan etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 1427–1440.
- [33] ENGİN, K. E., & EYERCİOĞLU, Ö. (2019), “Kesme kalıplarında yüksek zımba hızının AISI 304 sac malzemenin kesme yüzeyi sıcaklığına ve kalitesine olan etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 1427–1440.
- [34] Web 9 (2023), <http://www.turkcadcam.net/rapor/hassas-kesme/index.html> Erişim Tarihi: 06.06.2023
- [35] Chen, Z. H., Tang, C. Y., Lee, T. C., & Chan, L. C. (2002), “Numerical simulation of fine-blanking process using a mixed finite element method”, International Journal of Mechanical Sciences, 44(7), 1309.
- [36] Engin, K. E., & Eyercioğlu, Ö. (2019), “Kesme kalıplarında yüksek zımba hızının AISI 304 sac malzemenin kesme yüzeyi sıcaklığına ve kalitesine olan etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi”, Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 34(3), 1427–1441.
- [37] Suzuki, Y., Shiratori, T., Murakawa, M., & Yang, M. (2018), “Precision stamping process of metal micro gears”, Procedia Manufacturing, 15, 1445–1451.
- [38] Web 10 (2023), <https://www.cnstamping.com/difference-between-metal-stamping-and-fine-blanking/> Erişim Tarihi: 09.06.2023
- [39] Changjun Hu, Yunyang Shi, & Fangfang Liu. (2021), “Research on Precision Blanking Process Design of Micro Gear Based on Piezoelectric Actuator”, Micromachines, 12(200), 200.
- [40] Hu, C., Shi, Y., & Liu, F. (2021), “Research on Precision Blanking Process Design of Micro Gear Based on Piezoelectric Actuator”, Micromachines, 12(2).
- [41] Web 11 (2023), <https://www.cnstamping.com/difference-between-metal-stamping-and-fine-blanking/> Erişim Tarihi: 07.07.2023

[42] Web 12 (2023),
https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Yassi_Urun_Katalogu_2020_TR-4649.pdf. Erişim Tarihi: 18.06.2023

[43] M. Tayan., (2021), “Otomotiv süspansiyon sisteminde kullanılan sac malzemelerin yırtılma davranışlarının incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.

[44] Web 13 (2023), <https://www.guvenal.net/yaylar> Erişim Tarihi: 14.07.2023



ÖZGEÇMİŞ

Uğur Ponçaklı, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılından itibaren süspansiyon üretimi yapan farklı firmalarda çalıştı. 2020 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalına yüksek lisans öğrencisi olarak başladı. 2022 yılından bu yana FORD OTOSAN'da Elektrik Dağıtım Sistemleri Tasarım ve Yayın Mühendisi olarak çalışmaktadır.

