



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

**YÜKSEK MUKAVEMETLİ SACLARIN HASSAS KESME
YÖNTEMİYLE KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

FATİH HELİMERGİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ NURİ ŞEN**

DÜZCE, 2020

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK MUKAVEMETLİ SAÇLARIN HASSAS KESME
YÖNTEMİYLE KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Fatih HELİMERGİN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi M. Hüseyin ÇETİN

Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 16/01/2020

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

16 Ocak 2020

Fatih HELİMERGİN



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Selver HELİMERGİN'e ayrıca Siemens NX ve Cimetron Cam programlarıyla lisans desteği sağlayan ve kalıp parçalarının CNC tezgahında işlenmesinde büyük katkı sağlayan Ensar Kalıp Makine Metal San. Tic. ve Ltd. Őti. ortakları sayın Fahri CEYLAN ve Arif AYDOĞAN'a AEB Tel erozyon sahibi sayın Ayhan BÜYÜKAYDIN'a, Simufact forming V16 analiz programının lisanslanmasında yaptıkları destekten dolayı NETFORM Mühendislik Makina Metal San. ve Tic. Ltd. Őti., Ali Baran METE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir.
(Proje no: 2019.06.05.901)

16 Ocak 2020

Fatih HELİMERGİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER.....	3
2.1. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN KULLANIMI.....	3
2.2. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK TÜRLERİ.....	7
2.2.1. Fırında Sertleşebilen (BH) Çelikler.....	7
2.2.2. İzotropik (IS) Çelikler.....	7
2.2.3. Yüksek Mukavemetli Arayer Atomsuz (IF-HS) Çelikler.....	7
2.2.4. Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımli (HSLA) Çelikler.....	8
2.3. GELİSTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER.....	8
2.3.1. Çift Fazlı Çelikler (DP).....	8
2.3.2. Kompleks Faz (CP) Çelikler.....	9
2.3.3. Ferrit-Beynit (FB) Çelikler.....	9
2.3.4. Martensitik (M) Çelikler.....	9
2.3.5. Prete Sertleştirilen Çelik (PHS).....	9
2.3.6. Dönüşüm Etkili Plastisite (TRIP) Çelikleri.....	10
3. KESME OLAYI VE KESME PARAMETRELERİ.....	11
3.1.KESME TEORİSİ.....	12
3.1.1.Plastik Deformasyon Aşaması.....	13
3.1.2 Kesme Aşaması.....	14
3.1.3. Kopma Aşaması.....	15
3.2.KESME BOŞLUĞUNUN ÖNEMİ.....	15
3.2.1.Açısal Boşluğun Verilmesi.....	18
3.2.2.Kesme Boşluğu Hesaplanması.....	19
3.2.3. Kesme Boşluğunun Matriste Olması.....	19
3.2.4. Kesme Boşluğunun Zımbada Olması.....	19
3.2.5. Kesme Boşluğunu Etkileyen Prosesler.....	20
3.3. KESME KUVVETİ.....	21
3.3.1. Kesme Kuvvetini Azaltma Yöntemleri.....	22
4 . HASSAS KESME YÖNTEMİ.....	23
4.1. HASSAS KESME PROSESİNİN ÇALIŞMASI.....	25
4.2. HASSAS KESMEDE KUVVETLER.....	28
4.3. HASSAS KESME KALIBININ TASARIMI.....	29
4.3.1 V Çentikli Baskı Bileziğinin Etkisi.....	30

4.3.2. Hassas Kesmede Kalıp Kavisi.....	32
4.3.3. Kesme Yüzeyi Parametreleri	33
4.3.4. Çapak Durumu.....	33
4.3.5. Takım Geometrisi Ve Önemi.....	34
4.3.6. Parça Geometrisinin Önemi	34
4.3.7. Yağlama Etkisi.....	35
4.3.8. Hassas Kesme Yöntemi İçin Uygun Olan Malzemeler	36
4.3.9. Hassas Kesme Yönteminde Kullanılan Kalıp Malzemeleri.....	36
4.3.10. Hassas Kesme Presleri	36
5 MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
5.1. MALZEME	37
5.1.1. Malzeme Seçimi.....	37
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
6.1 KALIP TASARIMI.....	41
6.1.1 Kesme Boşluğu Hesaplama	44
6.1.2. Kesme Kuvveti Hesaplanması.....	44
6.1.3. Çökertme Kuvveti Hesaplama	44
6.1.4. Karşı Baskı Kuvveti Hesaplama	44
6.1.5. Zimba Tasarımı.....	45
6.1.6 Matris Tasarımı.....	46
6.1.7 Sıyırıcı Plaka Tasarımı	49
6.1.8 Üst Tabla	49
6.1.9. Alt Tabla	50
6.1.10. Kolon- Burç.....	50
6.2. DENEY MALZEMELERİNİN HAZIRLANMASI.....	51
6.2.1. Docol DP600 ve Docol DP800 Deney Malzemelerinin Hazırlanması	52
6.2.2. PLC Kontrollü Pres	52
6.2.3. Tel Erozyon.....	56
7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
7.1. HASSAS KESME VE KESME YÖNTEMİ AY YILDIZ PARÇALARI.....	57
7.1.1. Kesme Yöntemi Docol DP800 Kesimi	57
7.1.2. Hassas Kesme Yöntemi Docol DP600 Kesimi.....	58
7.1.3. Hassas Kesme Yöntemi Docol DP800 Ay Yıldız Parçaları.....	59
7.2. SEM GÖRÜNTÜLERİNİN İNCELENMESİ	60
7.2.1. Kesme Yöntemi Docol DP800 Yüzey İncelenmesi.....	60
7.2.2. Hassas Kesme Yöntemi Docol DP600 Yüzey İncelenmesi.....	62
7.2.3. Hassas Kesme Yöntemi Docol DP800 Yüzey İncelenmesi.....	65
8. ANALİZ SONUÇLARI	68
8.1. SIMUFACT FORMING V16 SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI	68
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
9.1. SONUÇLAR.....	74
9.2. ÖNERİLER.....	76
10. KAYNAKLAR.....	77



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. AHSS çelikleri, HSS çelikleri, LSS çelikleri arasındaki çekme gerilmesi ve % uzama değerleri	5
Şekil 2.2. Otomotiv sektöründe kullanılan çelik türleri	6
Şekil 2.3. Çeliklerin çevrimi	10
Şekil 3.1. Malzeme şeridi ve oluşan parçalar.....	11
Şekil 3.2. Malzeme şekil değiştirme grafiği. a) Belirgin akma göstermeyen malzemeler b) Belirgin akma gösteren malzemeler	12
Şekil 3.3. Kesim sonrası malzemede oluşan hasar bölgeleri.	13
Şekil 3.4. Plastik deformasyon.	14
Şekil 3.5. Kesme aşaması.	14
Şekil 3.6. Kopma aşaması.....	15
Şekil 3.7. Malzeme kalınlığı ve kesme boşluğu arasındaki ilişki a) Kesme yöntemi b) Hassas kesme yöntemi	16
Şekil 3.8. a) Düz boşluk ve b) Açısal boşluk.....	18
Şekil 3.9. Kesme boşluğunun verilmesi a) Zımbaya b) Matrise.....	20
Şekil 4.1. Hassas kesme yöntemiyle elde edilen parçalar a) Otomotiv b) Tekstil c) Büro malzemeleri	24
Şekil 4.2. Kesilen yüzeyin kalitesi a) Kesme yöntemi b) Hassas kesme yöntemi	25
Şekil 4.3. Kalıp uygulaması a) Hassas kesme yöntemi b) Kesme yöntemi.....	26
Şekil 4.4. Hassas kesme evreleri.....	27
Şekil 4.5. Baskı bileziğinin konumu a) Kılavuz plakası b) Kalıp plakası.	32
Şekil 4.6. Farklı türdeki geometrik şekillerin kalıp kavis durumu a) Ön görünüş b) Yan görünüş.	33
Şekil 4.7. Takım geometrilerinin etkisi.	34
Şekil 4.8. Parça geometrisinin etkisi.....	35
Şekil 5.1. 0°,45°,90° göre çekme testi sonuçları a) Docol DP600 b) Docol DP800.....	37
Şekil 5.2. Docol ürünlerinin araçlarda kullanıldığı bölgeler	38
Şekil 5.3. DP çeliklerin mikro yapısı.....	38
Şekil 5.4. Graphite 702.	40
Şekil 6.1. Katı modelleme a) Üst yük hücresi b) Alt yük hücresi c) Sabitleme vidası d) Sabitleme kılavuzu.....	41
Şekil 6.2. Zımba katı modeli.....	42
Şekil 6.3. a) Kolon burç b) Somun.	42
Şekil 6.4. Matris katı modeli a) Kesme yöntemi matrisi b) Hassas kesme yöntemi matrisi.....	42
Şekil 6.5. Sıyırıcı plaka katı modeli.....	43
Şekil 6.6. a) Üst tabla b) Alt tabla.....	43
Şekil 6.7. Hassas kesme ve kesme yönteminde kullanılan kalıbın bileşenleri.	43
Şekil 6.8. Zımba teknik resim görüntüsü.....	46
Şekil 6.9. Matris dış çerçeve v çentikli baskı bileziği teknik resim görüntüsü.....	47
Şekil 6.10. Matris ay yıldız v çentikli baskı bileziği teknik resim görüntüsü.....	47
Şekil 6.11. Hassas kesme matrisi teknik resim görüntüsü.....	48
Şekil 6.12. Kesme matrisi teknik resim görüntüsü.....	48
Şekil 6.13. Sıyırıcı plaka teknik resim görüntüsü.....	49
Şekil 6.14. Üst tabla teknik resim görüntüsü.....	49

Şekil 6.15. Alt tabla teknik resim görüntüsü.	50
Şekil 6.16. Kolon burç teknik resim görüntüsü.	50
Şekil 6.17. Docol DP600 deney malzemesi.....	51
Şekil 6.18. Docol DP800 deney malzemesi.....	51
Şekil 6.19. PLC kontrollü derin çekme presi.....	52
Şekil 6.20. a) Sıyırıcı plaka montajı b) Kesme kalıbının prese montajı.	53
Şekil 6.21. Kesme zımbasının üst tablaya montajı.	53
Şekil 6.22. Hassas kesme kalıbının prese montajı.	54
Şekil 6.23. a) Kesme yöntemi matrisi b) Hassas kesme yöntemi matrisi.	54
Şekil 6.24. a) Arion IMM 1100 dik işleme tezgahı b) Çap 63 tarama c) Çap 24 hızlı takım.....	55
Şekil 6.25. Sıyırıcı plaka.....	55
Şekil 6.26. a) Çap 24 kolon, çap 26 burç b) Sıyırıcı plaka çap 24 pulları c) Ay yıldız pim delikleri.	56
Şekil 6.27. a) Sodick AQ600 L Tel erozyon tezgahı b) Tel erozyon telinin geçmesi için açılan delik konumları.	56
Şekil 7.1. Docol DP800 Kesme yöntemi a) Deney malzemesi ve parça boşlukları b) Yıldız parçası.....	57
Şekil 7.2. Docol DP600 hassas kesme yöntemi a) Deney malzemesi ve parça boşlukları b) Ay parçası c) Yıldız parçası.....	58
Şekil 7.3. Docol DP800 hassas kesme yöntemi a) Deney malzemesi ve parça boşlukları b) Ay-yıldız parçaları.	59
Şekil 7.4. Kesme yöntemi Docol DP800 1000X ay parçası kesim yüzeyi.	60
Şekil 7.5. Kesme yöntemi Docol DP800 1000X yıldız parçası kesim yüzeyi.....	60
Şekil 7.6. Kesme yöntemi Docol DP800 1000X ay deney malzemesi kesim yüzeyi.....	61
Şekil 7.7. Kesme yöntemi Docol DP800 1000X yıldız deney malzemesi kesim yüzeyi.	61
Şekil 7.8. 1.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP600 500X ay parçası kesim yüzeyi.....	62
Şekil 7.9. 1.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP600 500X yıldız parçası kesim yüzeyi.	63
Şekil 7.10. 2.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP600 500X ay parçası kesim yüzeyi.....	63
Şekil 7.11.2.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP600 500X yıldız parçası kesim yüzeyi.	64
Şekil 7.12.1.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP800 1000X yıldız parçası kesim yüzeyi.	65
Şekil 7.13.1.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP800 1000X ay parçası kesim yüzeyi.....	66
Şekil 7.14.2.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP800 1000X yıldız parçası kesim yüzeyi.	66
Şekil 7.15.2.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP800 1000X ay parçası kesim yüzeyi.	67
Şekil 8.1. Docol DP600 malzemesi kesme yöntemi gerilme analizi.....	68
Şekil 8.2. Docol DP800 malzemesi kesme yöntemi gerilme analizi.	69
Şekil 8.3. Docol DP600 malzemesi hassas kesme yöntemi gerilme analizi.....	69
Şekil 8.4. Docol DP800 malzemesi hassas kesme yöntemi gerilme analizi.....	70
Şekil 8.5. Kesme yöntemi kavislenme genişliği (k1,k2), kavislenme derinliği (L1,L2), çapak yüksekliği(H1,H2) a) Docol DP600 b) Docol DP800.....	71

Şekil 8.6. Hassas kesme ve kesme yöntemi kavislenme genişliği (k_3, k_4), kavislenme derinliği (L_3, L_4), çapak yüksekliği (H_3, H_4) a) Docol DP600 b) Docol DP800.....	71
Şekil 8.7. Kesme yöntemi zımba kuvveti a) Docol DP600 b) Docol DP800	72
Şekil 8.8. Hassas kesme yöntemi zımba kuvveti a) Docol DP600 b) Docol DP800.....	72



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Malzemelerin kesme dayanımlarına göre kesme boşlukları.....	17
Çizelge 3.2. Kesme dayanımları	22
Çizelge 4.1. Tek yönlü v çentikli baskı bileziği ölçüleri.....	31
Çizelge 4.2. Çift yönlü v çentikli baskı bileziği ölçüleri.	31
Çizelge 5.1. Docol DP600'ün kimyasal özellikleri.....	39
Çizelge 5.2. Docol DP800'ün kimyasal özellikleri.	39
Çizelge 5.3. 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal özellikleri	40
Çizelge 6.1. Matris v çentik geometrisi ölçüleri	47
Çizelge 6.2. Matris ay yıldız v çentik geometrisi ölçüleri	47



KISALTMALAR

AHSS	Advanced High Strength Steel-Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik
BH	Fırında sertleşebilen çelik
Cad	Computer Aided Design-Bilgisayar destekli tasarım
Cam	Computer Aided Manufacturing-Bilgisayar destekli imalat
Cae	Computer Aided Engineering-Bilgisayar destekli mühendislik
CP	Complex Phase-Kompleks fazlı çelikler
DP	Dual Phase-Çift fazlı çelikler
DIN	Deutsches Institut für Normung-Alman standartlar Enstitüsü
DC	Mikro alaşımlanmış çelikler
EU	European Union-Avrupa birliği
FeCl ₃	Demir klorür
FB	Ferritic-Bainitic- Ferritik bainitik çelikler
HSLA	High Strengh Low Alloy-Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı saclar
HSS	High Strengh Steel-Yüksek mukavemetli çelik
IF-HS	Interstitial free high strength -Yüksek mukavemetli arayer atomsuz çelikler
IS	İzotropik çelik
ISO	International Organization of Standardization-Uluslararası standartlar teşkilatı
LSS	Low Strength Steel-Düşük mukavemetli çelik
M	Martenzitik çelikler
Mpa	Megapaskal
PHS	Preste sertleştirilen çelikler
PLC	Programmable Logic Controller -Progranabilir mantıksal hesaplama
RoHS	Restriction of Hazardous Substances-Belirli zararlı maddelerin kullanımını kısıtlama
SEY	Sonlu elemanlar yöntemi
SEM	Scanning Electron Microscope-Taramalı elektrom mikroskobu
TRIP	Transformation Induced Plasticity -Dönüşüm Etkili Plastisite Çeliği
USB	Universal Serial Bus
UC	Uncoated-Kaplamasız
YP	Mikro alaşımlanmış çelik
ZA	Galfan

SİMGELER

Al	Alüminyum
C1	Kesme boşluğu
C	Karbon
Cr	Krom
F _{TP}	Toplam kuvvet
G	Ay yıldız v çentik geometrisi genişliği
G2	Dış çerçeve matrisi v çentik geometrisi genişliği
HV	Vickers sertliği
HRC	Rockwell sertliği
I _{XG}	Ay atalet momenti
I _Ü	Yıldız atalet momenti
kN	Kilonewton
Mo	Molibden
Mn	Mangan
Nb	Niobyum
P	Fosfor
P1	Ay yıldız ve dış çerçeve v çentik yüksekliği
R1	Ay yıldız v çentik geometrisi kenar radyüsü
R2	Ay yıldız v çentik geometrisi iç radyüsü
R3	Ay yıldız v çentik geometrisi uç radyüsü
R4	Matris dış çerçeve v çentik geometrisi tepe radyüsü
R5	Matris dış çerçeve v çentik geometrisi sol radyüsü
R6	Matris dış çerçeve v çentik geometrisi sağ radyüsü
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
u	Ay yıldız v çentik geometrisi pah yüksekliği
V	Çentik değeri
β	Ay yıldız v çentik geometrisi açısı
ε	Matris dış çerçeve v çentik geometrisi açısı
°	Derece
%	Yüzde değeri

ÖZET

YÜKSEK MUKAVEMETLİ SACLARIN HASSAS KESME YÖNTEMİYLE KESME PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Fatih HELİMERGİN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nuri Şen

Ocak 2020, 79 sayfa

Hassas kesme yöntemi, bilinen kesme yöntemlerinden farklı olarak üç etkili baskı sistemi kullanılarak daha kaliteli kenar kesim yüzeyleri elde etmek için geliştirilen sac kesme yöntemidir. İlk olarak saat endüstrisinde gelişmiş olan İsviçre’de uygulanmış bir yöntemdir. Ülkemiz de ise yeni tanınmaya ve uygulanmaya başlanmıştır. Ülkemizin otomotiv sektörü atılımları göz önüne alındığında birçok farklı ürünün ülkemizde üretilme potansiyeli vardır. Yeni nesil yüksek mukavemetli sac metal malzemeler akademik anlamda çalışılması gereken bir alan olarak görülmektedir. Gerçekleştirilen bu yüksek lisans teziyle yüksek mukavemetli sacların kesme ve hassas kesme yöntemi arasındaki farklar ortaya konmuştur. Hassas kesmenin kesme işleminde oluşması muhtemel çatlakların önlediği görülmüştür. Gerçekleştirilen deneylerde Docol DP600 ve Docol DP800 soğuk haddelenmiş çelik malzeme kullanılmıştır. Malzeme kalınlığı 1 mm olarak belirlenmiştir. Deney malzemeleri 92 mm çapında su jetiyle kesilmiştir. Kalıp modeli Siemens NX programında tasarlanmıştır. Tasarlanan kalıp Cimatron Cam programında işlenmiş ve zımba, hassas kesme kalıbı matrisi, kesme kalıbı matrisi ve sıyırıcı plakada ki ay yıldız figürü tel erozyon yöntemiyle oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar neticesinde hassas kesme yönteminin kalıpcılık tekniğinde kolay uygulanabilirliği olduğu ve parçanın kenar kesim kalitesini artırarak yük altında kolay deforme olmasının engellendiği görülmüştür. SEM incelemelerinde kesme yöntemindeki kopma mesafesinin hassas kesme yöntemine göre daha uzun olduğu, hassas kesme yöntemindeki kesme mesafesi ise kesme yöntemine göre daha uzun olduğu görülmüştür. Ayrıca hassas kesme deneyin de ay ve yıldız parçalarının deney malzemesinden tamamına yakını kesilerek ayrıldığı, kesme yönteminde ise ay ve yıldız parçalarının deney malzemesinden koparak ayrıldığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Hassas kesme yöntemi, Yüksek mukavemetli saclar, Kesme parametreleri

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CUTTING PARAMETERS OF THE HIGH STRENGTH SHEETS WITH FINE BLANKING METHOD

Fatih HELİMERGİN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Composite Material Technology

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nuri Şen

January 2020, 79 pages

Fine blanking method is a sheet metal cutting method developed to obtain better quality cutting surfaces using three effective pressure systems unlike conventional cutting methods. It is method that was first applied in Switzerland, which was developed in the watch industry. In our country, it has just started to be recognized and applied. Considering the breakthroughs of our country's automotive industry, many different products have the potential to be produced in our country. New generation high strength sheet metal materials are seen as an area to be studied academically. With this master thesis, the difference between the cutting and fine blanking method of high strength sheet metal is revealed. It has been observed that fine blanking prevents the possible burrs during the cutting process. Docol D600 and Docol DP800 cold rolled steel material was used in the experiments. The material thickness was determined as 1 mm. The test materials were cut with a 92 mm diameter water jet. Mold model was designed in Siemens NX program. The designed mold has been processed in the Cimtron Cam program and the punch, fine blanking matrix, cutting matrix and scraper plate, the star shape of the star are created by wire erosion method. As a result of the studies, it has been observed that the fine blanking method is easily applied in the molding technique and it is prevented from deforming under load by increasing the edge cutting quality of the part. In SEM studies it was observed that the cutting distance of the cutting method was longer than fine blanking method, and the cutting distance in the fine blanking method was longer than the cutting method. In addition, it has been observed that the fine blanking and cutting pieces of the moon and star segments are separated from the test material by cutting almost, and in the cutting method, the pieces of moon and stars are separated from test material.

Keywords: Fine blanking method, High strength sheets, Cutting parameters

1. GİRİŞ

İnsan hayatı, üretmek ve ürettiğini kullanmasıyla bir hayli kolaylaşmıştır. Üretilen makine araç ve gereçlerin farklı üretim yöntemleri kullanılarak üretilmesi birtakım parametrelerinin gelişmesine ve bazılarının ise değişmesine sebep olmuştur. Birçok ürün kullanıldığı sektöre göre sac şekillendirme kalıplarıyla seri olarak üretilmektedirler. Teknolojinin ilerlemesiyle beraber kullanılan CNC tezgahların gelişmesi ve üretimdeki optimum kalite rekabeti, kısa zamanda daha kaliteli ve daha verimli ürünleri elde etme isteği, üretilen ürünün kalite verilerinin yükselmesi ve bu veriler ışığında üreticilerin daha güncel bilgileri kullanma, daha önce uygulanmış yöntemlerin ve teknik bilgilerin göz önünde bulundurulması, kalıp tasarımcılığı ve kalıpların kullanımlarında meydana gelen zorluklar ve hatalar üreticileri farklı üretim yöntemlerine itmiştir [1].

Hassas kesme yöntemi ile kesme yöntemini karşılaştırdığımızda daha kaliteli kenar kesim yüzeyi elde edilen bir sac şekillendirme yöntemi olduğu söylenebilir. Hassas kesme yöntemi ile kesilmiş parçaların kenar kesim yüzeyine baktığımızda ise bu kalitedeki kenar kesim yüzeyi başka bir sac şekillendirme yöntemi ile elde edilemediği görülmüştür. Hassas kesme yönteminin elde ettiği bu avantaj, yöntemin kullanılabilirlik oranını her geçen gün daha da artırmaktadır [2].

Hassas kesme yöntemi kaliteli kenar kesim yüzeyi ve yüksek verimlilik nedeniyle seri üretimde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [3]. Ayrıca sac malzemelerin kesiminde, kenar yüzeyde çatlak oluşturmayan bir üretim yöntemidir [4]. Hassas kesme yöntemi üstün özelliklerinden dolayı makine sektöründe, otomotiv sektöründe ve havacılık sektörü başta olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılan sac metal kesme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir [5].

Yüksek mukavemetli saçların hassas kesme yöntemiyle kesme parametrelerinin incelenmesi hususunda yurt içi ve uluslararası literatürde sınırlı sayıda bilimsel çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda ise çoğunlukla sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanılmış ve deneylerle desteklenmemiştir.

Yüksek mukavemetli sac malzemelerin kesme yöntemleri ve yenilikçi bir yöntem olan hassas kesme yöntemi ile v çentikli baskı bileziği tasarımı, kesme boşluğu tespiti yapılarak kenar kesim kalitesi deneysel olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan yüksek mukavemetli çelik sacların bir problemi olarak bilinen ve hassas olmayan kesimlerde oluşan çatlaklardan dolayı dinamik yüklemeler altında parça hasarı meydana gelmektedir. Bu çalışma bu problemin giderilmesi konusunda nitelikli bir çalışma ortaya koymuştur.

Hassas kesme yöntemi uygulanmış bir parçanın milli projemiz olan yerli otomobil içinde yüksek mukavemetli saclar kullanılmasına mümkün kılacaktır. Yapılan bu tezle otomotiv üretiminde ve yedek parça üretiminde de ülkemize katma değer katacağı düşünülmektedir.

Bilindiği gibi sac metal kalıpları ile kesilen parçalarda her zaman istenen kesme yüzey kalitesine ulaşamayabilir. Bu, çeşitli tasarım ve imalat hatalarının dışında kesme yönteminden de kaynaklanmaktadır. Hassas kesme kalıpcılık tekniği bu problemi çözmüştür. Kesme kalıplarında elde edilmeyen yüzey kalitesine ulaşılmıştır. Kesme kalıbında kesilen parçanın bir bölümü kesilme yüzeyini bir bölümü ise kopma bölümünü oluşturmaktadır. Hassas kesmede ise parçanın kesilme yüzeyinin tamamına yakını kesilmeye uğradığı görülmektedir. Gerçekleştirilen bu yüksek lisans teziyle v çentikli baskı bileziği geometrik yapısının yüzey kesim kalitesine etkisi görülmüştür. Çalışma sonunda elde edilecek veriler hem yeni üretim metotlarının geliştirmesine ışık tutacak hem de ulusal ve uluslararası kapsamda literatüre büyük katkı sağlayacaktır.

2. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER

2.1. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN KULLANIMI

Doğa birçok elemente ev sahipliği yapmaktadır ve bu elementlerin sayısı üretim prosesleri için azalmaktadır. Elementler bilindiği gibi saf ve bileşikler olarak farklı üretim proseslerini gerçekleştirmek ve farklı ürünler elde etmek için kullanılır. Genellikle metal grubundaki elementler diğer metal grubu ya da metal olmayanlar ile karıştırılarak alaşımlar elde edilir ve bu şekilde insan ihtiyaçları karşılamak için kullanıma sunulur. İnsan gereksinimlerini karşılamak ve insanın hayatını devam ettirebilmesi için kullanılan her maddeye ise malzeme adı verilir [6].

Çelikler insan yaşamı için vazgeçilmez bir üretim materyalidir. İnsan yaşamını kolaylaştıran bu çeliklerin en önemlileri arasında yüksek mukavemetli çelikler gelmektedir. Yüksek mukavemetli çelikler tasarımda hafif imalat malzemesi olarak bilinir. Kolay kaynak edilebilirliği ve kolayca şekil alabilme özelliklerinden dolayı kullanım yerleri oldukça fazladır ve her geçen gün kullanımını artmaktadır. Her türlü kara araçları, deniz araçları, demiryolu araçlarının üretiminde, her türlü kargo taşımacılığında, forklift gibi kaldırma makinelerinde, büyük saklama depoların yapımında bu çeliklerin kullanımını hızla artmaktadır [8].

Otomotive ya da diğer üretim proseslerinin tasarımında yüksek mukavemetli çelik malzeme kullanıldığı zaman üretilen parçanın kalınlığında büyük oranda azalma sağlanabilmektedir. Birbirine yakın mekanik özelliklere sahip malzemelerle karşılaştırıldığında örnek verilecek olunursa 1,60 mm kalınlığa sahip yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelik (High Strength Low Alloy-HSLA) 350/450 malzemesinden üretilmiş olan bir tasarımın çift fazlı (Dual Phase-DP) 500/800 malzemesinden üretilmiş olan bir tasarıma göre 1,25 mm kalınlığa sahip parça ile aynı dayanım değerine sahip olduğu bilinmektedir. Malzemedeki bu kalınlık farkının üretilen prosesin yaklaşık % 24 oranında daha hafif olduğu sonucunu ortaya koymuştur [7].

Günümüzde üretilen araçların büyük bir kısmı bilinen çelik ve demir malzemeler kullanılarak üretilmektedir.

Oldukça yüksek değerdeki mekanik dayanım kolay deformasyona uğramaması ve kolay şekil alabilme özelliklerinden dolayı Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler (Advanced High Strength Steel-AHSS) ve Yüksek Mukavemetli Çelikler (High Strength Steel-HSS) araçların şasi ve diğer konstrüksiyonları hafifletmek için büyük bir avantaj sağladığı ve bu malzemelerle üretilen konstrüksiyonların yaklaşık % 25 oranında daha hafif olduğu söylenebilir [7].

Günümüzdeki araçlarda konfor kadar sürüş güvenliği de önemlidir. Artık sürüş güvenliği için kalın sac kullanmaya gerek yoktur. AHSS ve HSS sac kullanımı araç konstrüksiyonunda yerini hızla almaktadır. Araç ağırlığının yakıt tüketimi arttırdığı bu tüketime bağlı olarak artan çevre kirliliği göz önünde bulundurulduğunda yakıt tüketimini ve emisyon oranının en aza indirme çalışmaları için bu malzemeler araçlarda kullanıldığı bölgelerde ağırlık oranını oldukça hafifletmektedir. Başka bir deyişle otomobillerde ve taşımacılıkta kullanılan ağır tonajlı araçların sac kalınlığı günümüzde azalmakta ve kullanılan sacların mekanik dayanımları tokluk değerleri ise ihtiyaç duyulan güvenlik ihtiyaçlarını karşılayabilmek için artırılmaktadır [9].

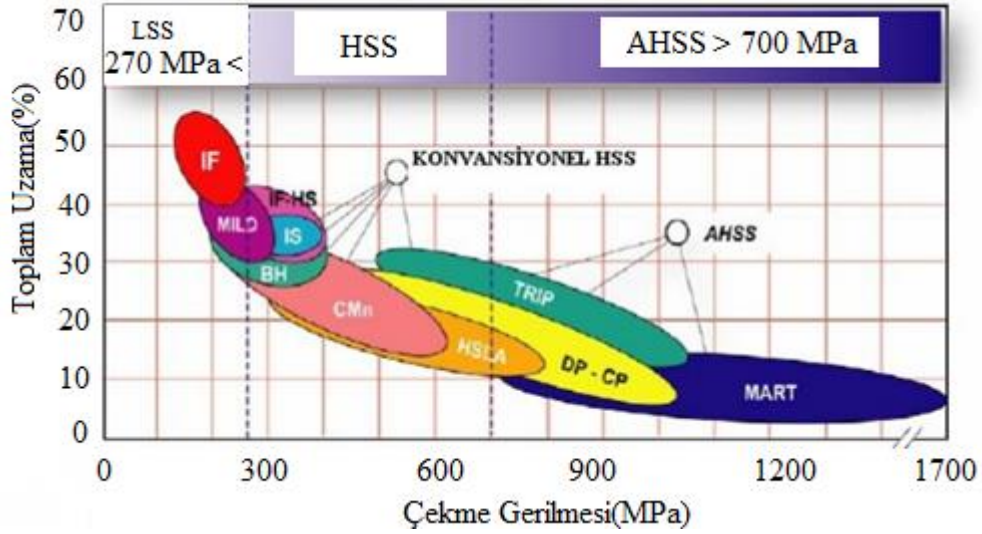
Bu atılımların sonucunda AHSS çelikler otomobil konstrüksiyonunda ve diğer araçlarda giderek daha yoğun oranda kullanılmaya başlanmıştır [9].

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin kullanıldığı yerler aşağıda belirtilmiştir;

- Yüksek tonajlı araçlarda
- Otomobillerin şasisi ve güvenlik komponentlerinde
- Kaldırma makinelerinde (Vinç vb.)
- Binek araçların koltuklarında
- Değişik tip tasarımlarda, bebek araçlarının konstrüksiyonu ve iki tekerlekli binek araçlarda [9].

Otomotiv endüstrisinde yoğun olarak kullanılan sac malzemeler mekanik tasarımlarına ve mukavemetlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [9].

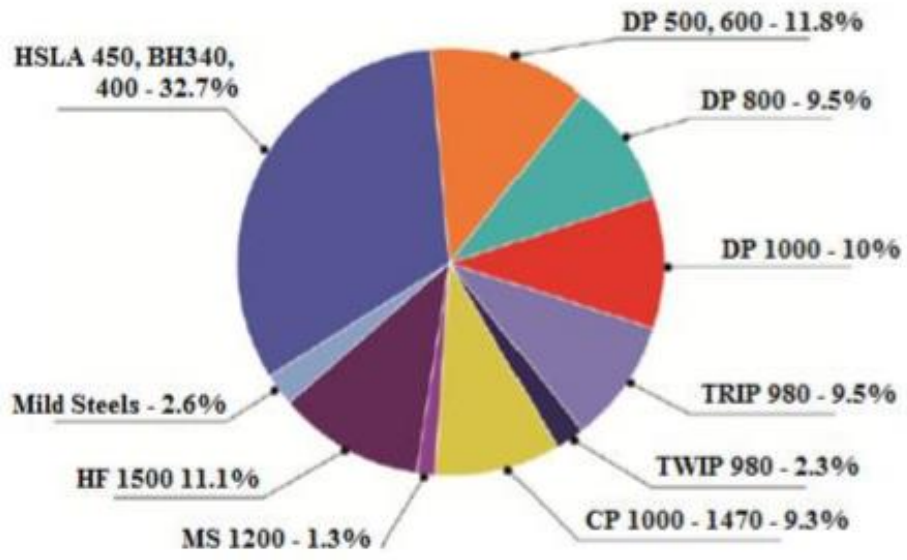
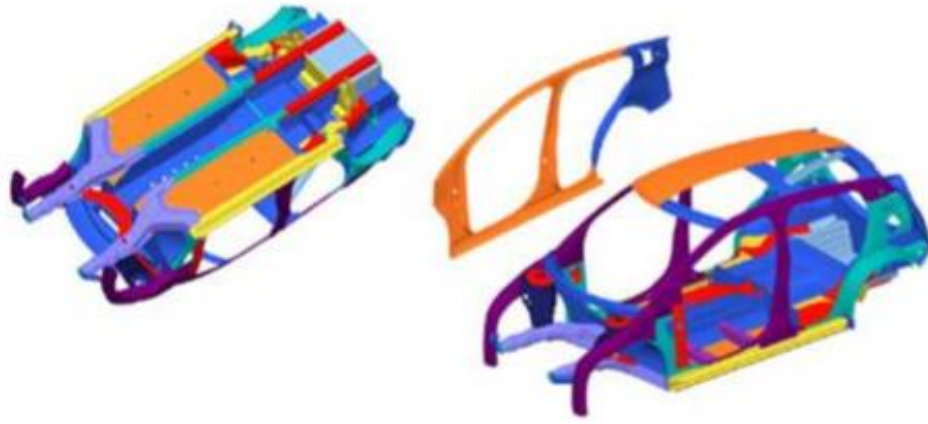
Şekil 2.1’de AHSS çelikler ile diğer çelikler arasındaki toplam uzama ve çekme gerilmesi arasındaki bağlantı verilmiştir. Aşağıdaki şekilde HSS’nin, çekme gerilmesi oranında AHSS çeliklerin içinde kaldığı görülüyor. Bu sonuca göre, AHSS çelikleri benzer çekme dayanımlarında HSS çeliklerine göre daha fazla toplam uzama miktarına sahiptir [10].



Şekil 2.1. AHSS çelikleri, HSS çelikleri, LSS çelikleri arasındaki çekme gerilmesi ve % uzama değerleri [11].

AHSS çeliklerin, tasarlanan kesme ve soğuk şekillendirme kalıplarında bilinen kalıpchılık proseslerinde malzemesinin birtakım problemler gözlenebilir. Kalıpchılık tekniklerinin sürekli gelişmesi güncel bilgilerin takip edilmesi gerekmektedir [12]. AHSS çeliklerin şekillendirilmesinde kullanılan 1.2080 ve 1.2379 soğuk iş takım çelikleri yüksek miktarda deformasyona uğramasından dolayı kullanım ömrü ve şekillendirme performansları yetersiz kalmaktadır [13].

Kalıp malzemesinin kolay deforme olması, kullanılan AHSS çeliklerin akma, çekme ve elastisite modülünün yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca akma dayanımı ve çekme dayanımı arasında ki oran kritik bir seviyede olduğu zaman bu durum hem kesme hem de şekillendirme esnasında önemli problemler ortaya çıkarabilir [13].



Şekil 2.2. Otomotiv sektöründe kullanılan çelik türleri [39].

2.2. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK TÜRLERİ

Yüksek mukavemetli çeliklerin çekme dayanımları 270-700 MPa arasındadır. Fırında Sertleşebilen Çelikler (BH), İzotropik Çelikler (IS), Yüksek Mukavemetli Arayer Atomsuz Çelikler (Interstitial Free High Strenght-IF-HS), Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımli Çelikler (High Strenght Low Alloy -HSLA) olarak adlandırılır.

2.2.1. Fırında Sertleşebilen (BH) Çelikler

BH çelikler otomotiv sektöründe kullanılan preslerde rahat şekil alabilen ve düşük dayanımlı fırında sertlik kazandırılan çeliktir. Vakumlayarak gazı alınmış bu çelik türü özel bir yaşlanma yöntemiyle (yani akma dayanımını artırma) karakteristiği olan ürünler elde edilebilir. Otomotiv sektöründe kullanılan bu çelik fırında sertleştirilen malzeme olarak bilinmektedir. Bu çelikler preslerde şekil verilerek otomotiv sektöründe kullanılmadan önce normal depolanma sırasında yaşlanmaya karşı dayanım göstermesi için dirençli şekilde tasarlanırlar. Daha sonra çelik malzeme kullanılan forma göre şekil verme esnasında yaşlanma işlemi başlar ardından boyasının kurutulduğu fırınlarda ısıtılmasıyla ürünün tamamı yaşlanmış hale gelir. Bu durum çeliğin mekanik ve kimyasal özelliklerine göre 34-70 MPa'lık arasında akma dayanımı artışına sebep olabilir. Sonuç olarak şekil alabilme özelliğinden taviz vermeden kullanıldıkları alanlarda deformasyona karşı yüksek oranda direnç gösteren ürünler elde edilebilir [38].

2.2.2. İzotropik (IS) Çelikler

IS çelikler ferritik mikro yapıya sahiptir. Düzlem anizotropinin değeri "0" olmasından dolayı çekme işlemi yapıldığı esnada kulaklanma hatası küçük bir değere sahiptir. Malzemenin çekilmesi ya da gerilmesi ile şekil verilme durumu oldukça kolaydır [38].

2.2.3. Yüksek Mukavemetli Arayer Atomsuz (IF-HS) Çelikler

IF-HS çeliklerinin akma dayanımları çoğunlukla düşük seviyededir ve akma dayanımları 150 MPa, çekme dayanımları 300 MPa seviyesindedir. Bu çeliklere fosfor, silikon ve mangan eklenerek dayanımları artırılabilir [38].

2.2.4. Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımli (HSLA) Çelikler

HSLA çelikleri, çekme ile akma dayanımı arasında küçük bir fark olan bir çelik türüdür. Bu yüzden son derece iyi şekil alabilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca içeriğinde az miktarda bulunan perlit ile, çift faz çeliklerine göre daha iyi hassas kalıplama ve kesme özellikleri sunar ayrıca sade birleşimi sayesinde çok kolay kaynak edilebilir [14].

2.3. GELİSTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER

Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler; çift fazlı (Dünya Fazı-DP), Kompleks Faz (Complex Phase-CP), Dönüşüm Etkili Plastisite Çelikler (Transformation Induced Plasticity-TRIP), Ferrit-Beynit (FB), Martenzitik (M) çelikler ve Prestesertleştirilen Çelik (PHS) kalitelerinde bilinir ve çekme dayanımları 450–1700 MPa olan malzemelerdir. Bu çeliklerin tanımlarından da anlaşılacağı gibi minimum değerleri çekme dayanımı değerleridir. Örnek verilecek olursak DP600 çift fazlı çelik malzemenin minimum çekme dayanımı 600 MPa'dır, Dönüşüm etkili plastisite çelikleri TRIP 800 malzemenin minimum çekme dayanımı 800 MPa'dır

2.3.1. Çift Fazlı (DP) Çelikler

Bu çelikler kullanıldıkları tasarımlarda kolay deformasyona uğramayan yüksek çekme dayanımının sahip olmasında dolayı diğer çelik türlerine göre daha fazla kullanılır. DP çeliklerin, mekanik dayanımı ve verimlilik ile karşılaştırıldığında daha kolay soğuk şekillendirilir. Fakat dezavantaj olarak genleşmesi sınırlıdır. Tek bileşimlerinde ise kaynak edilebilmesi kolaydır ve ısı işleme ise ($>200\text{ }^{\circ}\text{C}$) kadar hassas olduğu söylenebilir [14].

Ayrıca şekillendirilebilme kabiliyeti ve iyi kaynak edilebilirlik avantajlarında dolayı araçlarda kullanıldığı aksamda daha hafif konstrüksiyon sunması ve bu şekilde yakıt tasarrufu sağladığından dolayı otomotiv sektöründe çok fazla kullanılan çelik türüdür [15].

2.3.2. Kompleks Faz (CP) Çelikler

CP çelikleri, DP çeliklerine göre daha yüksek mukavemet daha yüksek akma dayanımına, düşük çalışma aralığına sahiptir [14].

Beynit/ferrit matrisi içinde, az miktarda perlit, martenzit ve östenit bulunur. Yüksek darbe emici, kolay hasara uğramama, kalıpla yada diğer şekillendirme öğeleriyle şekillendirme sonrası kenar yüzeyinde meydana gelen çatlak ve kopmaya karşı direnç gösterebilme özelliğine sahiptir. Araçlarda kullanım yerleri pencerelerin alt en kirişi, şasi parçaları, yatay kiriş, araç gövdesi, destek direkleri, alt ray, tampon kirişi, çamurluk gibi konstrüksiyonlarda kullanılır [15].

2.3.3. Ferrit-Beynit (FB) Çelikler

FB çelikler, CP çeliklerine benzer mekanik ve dayanım özelliklere sahiptir, ancak akma ve çekme dayanımı arasında farklar daha yüksektir. FB çelikleri, iyi şekil alma yeteneğine ve gerilme özelliğine sahiptir. Uzatmalı profillerde kullanımı için uygundur [14].

2.3.4. Martensitik (M) Çelikler

M çelikler çok yüksek çekme dayanımına çok yüksek akma dayanımına sahip bir çelik türüdür. Ayrıca martensitik çelik oldukça iyi çekme yeteneğine ve optimum seviyede kenar germe özelliklerine sahiptir. Kaynak edilebilme özelliği de iyidir [14].

Çekme dayanımı 1200-1900 MPa üzerindeki aralığa sahiptir. Bu malzemeye temperleme yapılarak süneklik özelliği kazandırılabilir ve bu durum aynı zamanda şekil alabilme özelliği vermektedir. Martensitik çelik otomotiv komponentleri için vazgeçilmez çelik türlerinden biridir. Özellikle gövde kısmında kullanılarak herhangi bir çarpma veya deforme anında yüksek çarpma direnci sağlar. [15].

2.3.5. Preste Sertleştirilen Çelik (PHS)

PHS çelikler malzemenin son mekanik dayanımını belirleyen şekillendirme işlemidir. Yüksek sıcaklık kullanılarak şekillendirme yapılabilir karmaşık yapıları kolaylaştırma özelliğine sahiptir, çünkü dayanımı artıran martensitli mikroyapı preste sertleştirildikten sonra oluşmaktadır. Ayrıca PHS'nin kaynak yapılabilme özellikleri sınırlıdır [14].

2.3.6. Dönüşüm Etkili Plastisite (TRIP) Çelikleri

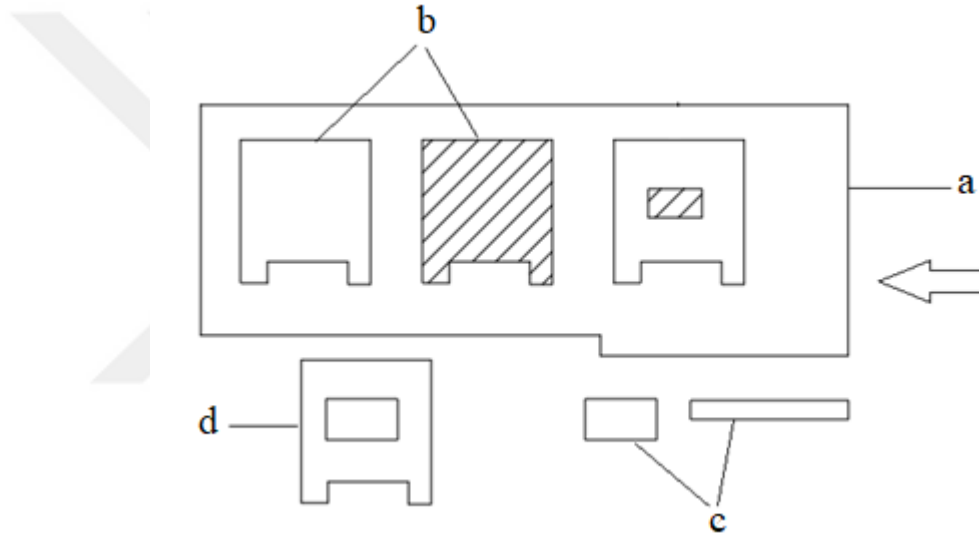
Bu çeliklerin ferrit fazında matris içinde dağılmış halde bulunan martenzit ve/veya beynitin, % 5 oranından fazla östenit fazı bulundurur. Dönüşüm etkili plastisite çeliklerin deforme olması ile beraber östenitin martenzite dönüşmesi ile daha iyi şekil alabilme yeteneği kazandırılır. Otomotiv sektöründe özellikle pencerelerin üst ve en kirişlerinde, şasilerin yan kollarında, tavanın ray kısmında, koltukların çerçevesinde, üst tavanı destekleyen sac parçalarında kullanılmaktadır [15].



Şekil 2.3. Çeliklerin çevrimi [39].

3. KESME OLAYI VE KESME PARAMETRELERİ

Kesme olayı, birbirine zıt yönde hareket eden ve şerit malzemeyi iki simetrik ağız tarafından sıkıştırıp kesici takım veya kesici makas kullanarak malzemede herhangi bir çapak ve talaş oluşturmada şerit malzemenin ve ürünün birbirinden ayrılması olarak tanımlanır. Malzemenin kesiminde etkili olan kuvvetler kesme olayının oluşmasında etkili olur [16]. Kesme olayı uç kesme, ayırma, yarma ve etek kesme olarak yapılabilir. Şekil 3.1’de malzeme şeridinde oluşan ürün ve hurdalar görünmektedir.



a. Malzeme b. Üretilen parça boşluğu c. Hurda d. Üretilen parça

Şekil 3.1. Malzeme şeridi ve oluşan parçalar.

Uç kesmeyle yapılan işlemde levha şeklinde bulunan metal veya metal dışındaki ürünlerin ayarlanan uzunluk ve şekilde, hurda verilmeden kesilirse bu yöntem uç kesme yöntemi denilir. Uç kesme yöntemi makas ile beraber yapılabilir. Ayrıca uç kesme yöntemi seri üretimde kalıp kullanılarak, birbirini tamamlamasıyla oluşan simetrik parçaların imalatında dilimleyerek, ayırarak, çentik açarak veya yarma işlemi uygulayarak yapılabilir [16].

Ayırma yöntemi kullanılarak yapılan kesme işleminde, ardın sıra kesilerek oluşturulan iki ürünün ayrıldıkları kenarların, birbirlerinde ters ve simetrik pozisyonda olduğunda ve birbirlerine uyumsuz olduğunda, uç kesmede kullanılan zımba kullanılır ve kesme

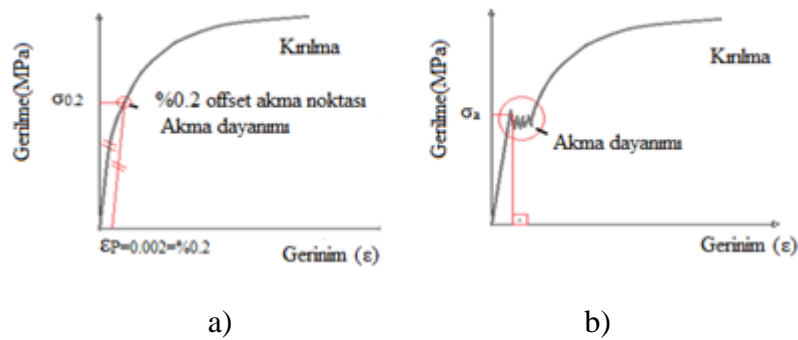
işlemini ayırma zımbası yapar. Bunun sonucunda ardın sıra kesilerek elde edilen iki ürün arasında bir kısım malzeme hurda olur [16].

Yarma yönteminde ise sac malzemenin, zımbanın üç kenar kısmıyla kesilmesiyle beraber malzemenin dördüncü kenar kısmında bükülerek kesilmesi ve şekillendirilmesi işlemine yarma yöntemi denir. Bu yöntemde atık malzeme çıkmamaktadır [16].

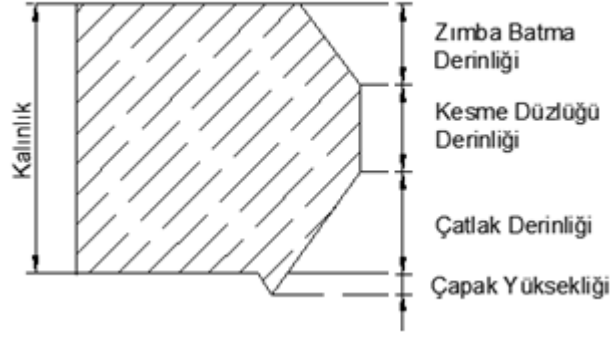
Bir diğer kesme yöntemi olan etek kesmede ise derin çekilmeyeyle oluşturulan flanşlı kabın sahip olduğu flanş çevresi ve flanşsız kabın üst kısmı istenilen düzgünlükte olmayabilir. İstenilen düzgünlüğü elde etmek için yapılan kesme yöntemine etek kesme yöntemi denilmektedir [16].

3.1.KESME TEORİSİ

Kesme veya delme işlemi yapılacak olan kalıpların hangisinin kesme ya da hangisinin delme kalıbı olmasını şu şekilde kolayca anlayabiliriz; kullanılan malzemenin kesilmesi işleminde kesilen parça ürün olarak kullanılacaksa kalıp kesme kalıbı, kesilen parça atılacak olan hurda yani hurda ürün olarak kullanılacaksa kalıp delme kalıbı olarak adlandırılır. Ürünlerin seri üretiminde kullanılan metal yada metal dışı malzemelerin birbirinden farklı şekilde boşluk bırakılarak üretiliyorsa bu yöntemde kapalı kesme, üretimi gerçekleştiren kalıba ise kesme kalıbı denir [16].



Şekil 3.2. Malzeme şekil değiştirme grafiği. a) Belirgin akma göstermeyen malzemeler
b) Belirgin akma gösteren malzemeler [41].



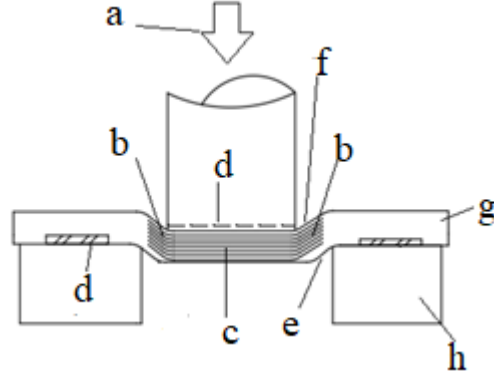
Şekil 3.3. Kesim sonrası malzemede oluşan hasar bölgeleri.

Malzemenin zımba ile kesilmesi esnasında, kesme işlemi üç aşamadan oluşur.

- Plastik Deformasyon aşaması
- Kesme aşaması
- Kırılma (kopma) aşaması

3.1.1. Plastik Deformasyon Aşaması

Plastik deformasyon, zımbaya ilk hareket verilmesinden sonra zımba kesilecek olan malzemeye doğru hareket eder ve malzemenin yüzeyine temas ettiği anda malzemeyi etkileyerek burada kuvvetler oluşturur. Bu kuvvetler malzemenin esneklik sınırını aştığı zaman malzemede plastik şekil değişimi meydana gelir. Eğer zımbanın etkisiyle oluşan kuvvetler elastik sınırı içerisinde kalırsa ve zımba kaldırılırsa, malzemede herhangi bir şekil değişimi olmaz. Zımbanın etkisi devam ederse, malzemede plastik deformasyon oluşur. İşte bu aşamaya kesme olayında, plastik deformasyon aşaması denir [16]. Şekil 3.4'te plastik deformasyonun malzemede meydana getirdiği değişimler görülmektedir.

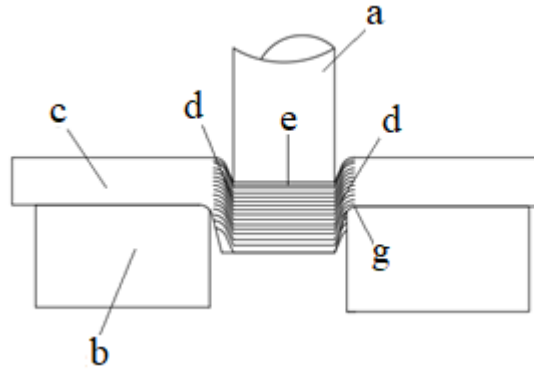


- a. Zımba baskı kuvveti b. Basma gerilmesi c. Çekme gerilmesi d. Yüksek basınç
 e. Üst radyus f. Alt radyus g. Malzeme h. Matris

Şekil 3.4. Plastik deformasyon.

3.1.2 Kesme Aşaması

Bu aşamada plastik deformasyona uğrayan malzeme ilk olarak zımba tarafından kesme boşluğuna doğru hareket ettirilir. İşlemin bu noktasında kesilerek oluşturulan ürün zımba ve matris yardımıyla birbirinden kesilerek ayrılmaya başlar. Malzeme zımba ve matrisin alt kenarında bulunan radyuslu kesme kenarında deforme olmaya zorlanır. Bu şekilde malzeme matris kenarlarında kesilmeye başlar ve ürün kesme boşluğuna doğru hareket ettirilir. Zımba stroğunun devam etmesi sonucu malzeme tekrar ikinci kez deformeye zorlanarak kesme boşluğunda kesilmeye başlar. Bu ikinci işlem malzemenin üst kenarında 1/3 ve delik kenarında 1/3 oranında bir kesme bandı ile radyus bandı oluşturur [17]. Şekil 3.5’de kesme anında malzemede meydana gelen değişimler görülmektedir.

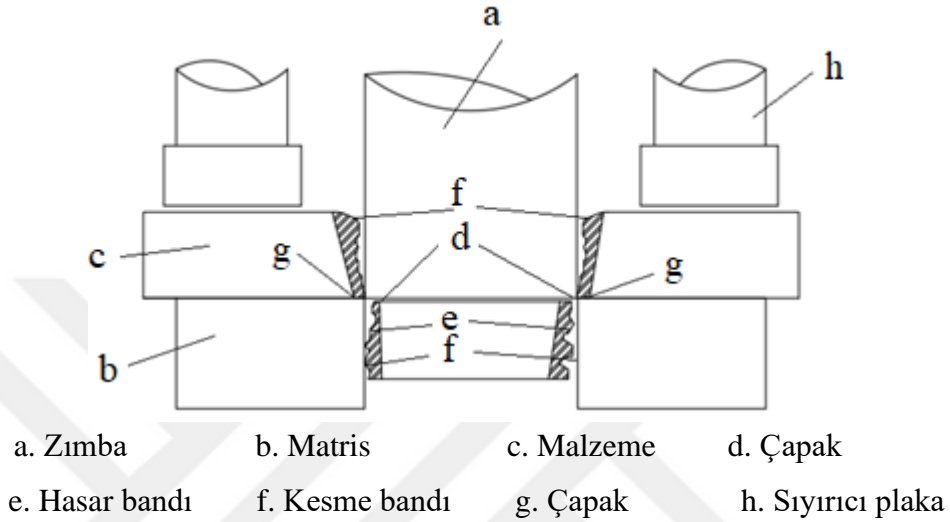


- a. Zımba b. Matris c. Malzeme
 d. Kesme bandı e. Zımba kuvveti g. Matris kuvveti

Şekil 3.5. Kesme aşaması.

3.1.3. Kopma Aşaması

Zımba etkisinin devam etmesi sonucu malzeme deforme olur. Matris ve zımbanın kesme kenarları arasındaki kesme boşluğundan dolayı malzemedeki direnç kuvveti bir hasar bandında ve belirli bir yönde meydana gelir [17]. Malzemenin direnci kesme kuvvetlerine karşı koyamadığı zaman zımbanın ve matrisin figürüne göre, ürün malzemedan ayrılır.



Şekil 3.6. Kopma aşaması.

3.2.KESME BOŞLUĞUNUN ÖNEMİ

Kesme boşluğu; zımbanın doğrusal hareketini kolaylaştıran zımba ile matris arasında bulunan mesafeye denir. Kalıp tasarımında kesme boşluğu verilmediği zaman ya da verilen boşluk miktarının optimum seviyeden az olmasından dolayı zımba çok fazla zorlanır ve istenmeyen kenar kesim yüzeyleri elde edilebilir. Bu durum kesme işlemi tamamlandıktan sonra ekstra maliyet olan çapak kaldırma işlemine sebep olmaktadır. Kesme boşluğunun diğer önemli bir parametresi de boşluğun kesme ağızları boyunca her iki tarafta eşit mesafede olmalıdır [18].

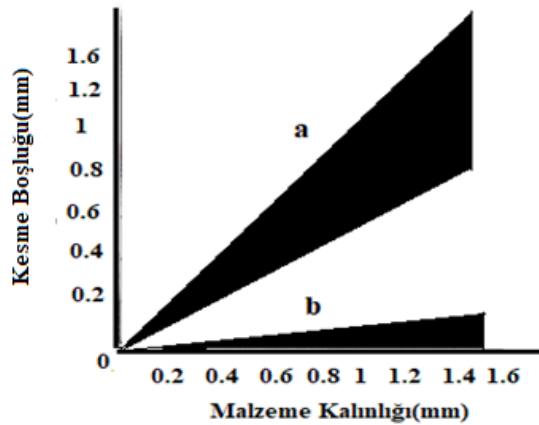
Zımbanın malzeme yüzeyine doğru hareket ettirildiğinde ve malzeme yüzeyine temas ettiğinde yüzeyde herhangi bir hasar meydana getirmeden bir miktar deformasyon oluşturur. Bu deformasyon miktarı, malzemedeki oluşturduğu hasar bölgesi ve kesilen yüzeyin alacağı deforme çatlakları, zımba ile matris arasındaki kesme boşluğuna bağlıdır [18].

Kesme boşluğunun kullanılacak olan kalıbın her iki tarafında da eşit ölçüde olmasının diğer önemli bir maddesi de matriste oluşan yatay kuvvetleri aynı oranda tutarak kesilen malzemenin yüzeyine aynı oranda dağıtmasıdır. Kalıp tasarlanırken zımba ile matris arasına eşit ölçüde verilmeyen kesme boşluğunda ise malzemenin kesilen kenarında üretim hatası olan çapaklar oluşmaktadır [18].

Zımba ile matris arasındaki kesme boşluğu optimum seviyeden fazla verilen veya bakımı yapılmayan körelmiş zımba ile yapılan üretimde malzeme istenildiği optimum düzeyde kesilemeyeceği için eğilerek kopar [18].

Kalıp tasarımında kesme boşluğu hesaplanırken matris ve zımba gibi kesme boşluğuna doğrudan etkisi olan kalıp elemanlarının mekanik ve kimyasal özellikleri, kesilen malzemenin kimyasal ve mekanik özellikleri malzeme kalınlığı, zımbaların ölçüleri, ve zımbanın figürü dikkate alınmalıdır [18].

Her iki yöntemde de kesme boşluğu aslında kesilen malzemenin kalınlığı arasındaki bağlantıya karşılık gelen bir yüzde değerle ifade edilebilir. İki bağlantı arasında ki karşılaştırmaya göre, kesme boşluğu kesme yöntemi için % 5-10 arasındayken, hassas kesme de bu oran % 0,5'dir. Hassas kesme kalıbı takımı için kesme boşluğu belirlendiğinde kesilen malzemenin kalınlığı ve zımbanın yapısı dikkate alınır [23].



Şekil 3. 7. Malzeme kalınlığı ve kesme boşluğu arasındaki ilişki a) Kesme yöntemi
b) Hassas kesme yöntemi.

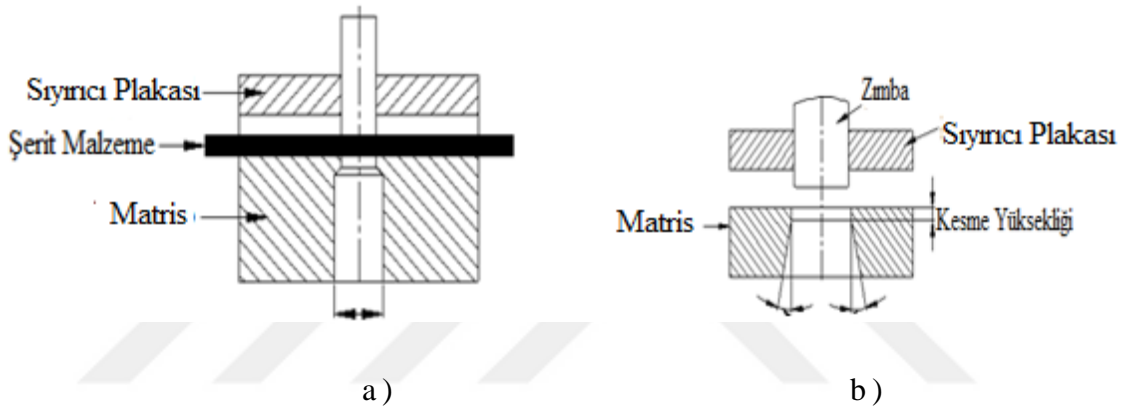
Kesme kalıplarında, zımba ve matris arasındaki kesme boşluğu malzemenin kesme dayanımı ve sac kalınlığı dikkat alınarak Çizelge 3.1'den okunabilir.

Çizelge 3.1. Malzemelerin kesme dayanımlarına göre kesme boşlukları [18].

SAC KALINLIĞI	MALZEME KESME DAYANIMI, $\tau_b = \text{kg/mm}^2$										
	5-10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70
	Kesme Boşluğu (2C) , mm										
0,25	0,008	0,010	0,011	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,021
0,50	0,016	0,019	0,022	0,025	0,027	0,030	0,030	0,034	0,035	0,039	0,042
0,75	0,024	0,029	0,034	0,038	0,041	0,044	0,047	0,050	0,053	0,058	0,063
1	0,032	0,039	0,045	0,050	0,055	0,059	0,063	0,067	0,071	0,078	0,084
1,25	0,040	0,048	0,056	0,063	0,069	0,074	0,079	0,084	0,088	0,097	0,105
1,50	0,047	0,058	0,067	0,075	0,082	0,089	0,091	0,099	0,106	0,116	0,126
1,75	0,055	0,068	0,078	0,088	0,096	0,104	0,111	0,117	0,124	0,136	0,147
2	0,063	0,077	0,089	0,100	0,110	0,118	0,126	0,134	0,141	0,155	0,167
2,25	0,071	0,087	0,100	0,113	0,123	0,133	0,142	0,151	0,159	0,174	0,188
2,50	0,079	0,097	0,112	0,125	0,137	0,148	0,158	0,168	0,177	0,194	0,210
2,75	0,087	0,107	0,123	0,138	0,151	0,163	0,174	0,185	0,195	0,213	0,230
3	0,095	0,106	0,124	0,150	0,164	0,178	0,190	0,201	0,212	0,232	0,250
3,50	0,123	0,155	0,179	0,200	0,219	0,237	0,253	0,268	0,283	0,310	0,335
4	0,151	0,194	0,224	0,250	0,274	0,296	0,316	0,336	0,354	0,388	0,420
4,50	0,199	0,232	0,268	0,300	0,329	0,355	0,379	0,400	0,424	0,465	0,500
5	0,227	0,270	0,313	0,350	0,384	0,415	0,442	0,470	0,495	0,543	0,586
6	0,283	0,350	0,400	0,450	0,493	0,533	0,569	0,605	0,636	0,698	0,750
7	0,349	0,425	0,490	0,550	0,603	0,651	0,695	0,738	0,778	0,850	0,920
8	0,415	0,500	0,580	0,650	0,710	0,780	0,820	0,920	1,008	1,050	1,100
10	0,541	0,658	0,760	0,850	0,970	1,008	1,075	1,140	1,202	1,318	1,423
12	0,667	0,812	0,940	1,050	1,150	1,243	1,327	1,410	1,485	1,625	1,750
15	0,853	0,990	1,200	1,350	1,480	1,600	1,710	1,812	1,910	2,090	2,260

3.2.1. Açısal Boşluğun Verilmesi

Kalıplarda açısal boşluk; kesmenin başladığı noktadan itibaren matrisin bitişine doğru verilen açı olarak tanımlanır. Genellikle tek taraflı boşluk açısı $1/4^\circ$ ya da 2° derece olarak kullanılması gerekir. Zımbanın malzemeyi kestikten sonra kalıbı terk ederken çapak oluşturur ve bu çapak açısal boşluğun artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca açısal boşluk kesilen malzemenin matrise sıkışmasını engeller. Bu sayede malzeme kalıptan daha kolay alınabilir. Matrise iki farklı türde boşluk verilebilir. Bunlardan biri düz boşluk diğeri ise açısal boşluktur. Açısal boşluk günümüzde tel erozyon tezgahlarının yoğun kullanılmasıyla beraber kolay olarak açılabilir [19]. Şekil 3.8’de matrise verilen iki farklı boşluk türü görülmektedir.



Şekil 3.8. a) Düz boşluk ve b) Açısal boşluk.

3.2.2. Kesme Boşluğu Hesaplanması

$s \leq 3$ mm (ince saçlar malzemeler için)

$$CI = a \cdot s \cdot \sqrt{\tau} \quad a = 0,005 - 0,035 \quad (3.1)$$

τ = Malzemenin kesme gerilmesi (kg/mm^2)

s = Saç kalınlığı

$s > 3$ mm (Kalın saçlar için)

$$CI = [(1,5 \cdot a \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau}] \quad (3.2)$$

Kesme de temiz yüzey elde etmek için $a = 0,005$

Yüzeyin önemsiz olduğu yerlerde ise $a = 0,035 - 0,04$

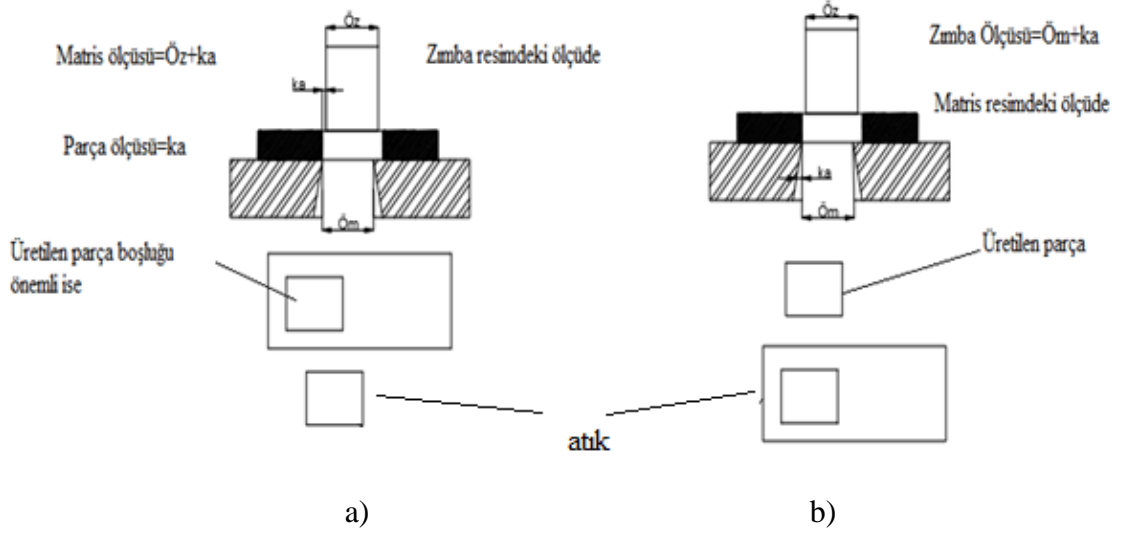
Genel kullanım kalıpları için $a = 0,01$ alınır [19].

3.2.3. Kesme Boşluğunun Matriste Olması

Kesilen malzemenin üzerine belirli ölçülerde figürler koyulacaksa, kesme yüzeyi hassasiyeti ve kesme kalitesi göz önünde bulundurularak kesme boşluğu matrise verilir. Bu durumda matris, gerçek ölçüden kesme boşluğu ölçüsü kadar geniş üretilebilir. Bu kalıpta kesme işlemini ise zımba yapar. Dolayısıyla üretilen parçanın ölçüsünü zımba ölçüsü belirler [19].

3.2.4. Kesme Boşluğunun Zımbada Olması

Malzemedan belirli ölçülerde parçalar üretilecekse yada malzemenin kesme kalıbında kesildikten sonra malzemedan çıkan parça ürün olarak kullanılacaksa kesme boşluğu zımbaya verilir. Yani zımba, kesme boşluğu kadar küçük yapılır Burada kesme işlemini matris yapar. Dolayısıyla parçanın ölçüsünü matris ölçüsü tayin eder [19].



Şekil 3.9. Kesme boşluğunun verilmesi a) Zimbaya b) Matrise

3.2.5. Kesme Boşluğunu Etkileyen Prosesler

- Zimbanın, zımba tutucusunda açılı durması.
- Matris kalınlığının optimum değerde olmaması, kesme kuvvetinin etkisi ile kesme işlemi sırasında hasara uğraması.
- Sapın kalıp ağırlık merkezinden kayması.
- Kesme boşluğunun her iki tarafta eşit mesafede olmaması [23].
- Kesilecek malzemenin türü
- Kesilecek malzemenin yüksekliği
- Zimbanın geometrik ölçüleri [19].

3.3. KESME KUVVETİ

Malzeme ve ürünün kesilerek birbirinden ayrılması işleminde zımbaya ve matrise uygulanan kuvvete kesme kuvveti denir [13]. Zımba malzemeye ile temas ettiği anda malzeme kesilmeye karşı direnç göstermeye başlar. Malzemeye zımba tarafından uygulanan kuvvet plastik deformasyon aşamasında sürekli artar. Malzemede hasar meydana geldiği zaman artan kuvvet ani olarak serbest kalır. Malzemeye binen kuvvetin eğrisi sıfır seviyesine inemez ve kesme limitinin altına ulaşmıyca kadar azalmayı sürdürür. Bunun sonucunda kuvvet azalır , çünkü matris figüründe bulunan açısız boşluk kesilen malzemenin daha kolay bir şekilde hareket etmesini ve matrisi terk etmesini sağlar [20].

Kesme kuvveti belirlenirken kesilen malzemenin çevre uzunluğu, malzeme kalınlığı ve malzemenin kesme dayanımı dikkate alınmalıdır. Bu parametreler dikkate alınmadığı takdirde istenilen kalitede bir kalıp tasarlanamaz ve kalıp kolay deformasyona uğrayarak iş gücü kaybına neden olur. Ayrıca kesme kuvvetini azaltmak için zımba uzunlukları farklı yapılabilir veya deneyler sonucu elde edilen miktar kadar zımba ucuna eğim verilir. Kesme kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanabilir [20].

$$Pk = U \cdot s \cdot \tau_K = N, (kg) \quad (3.3)$$

P_k =Oluşan kesme Kuvveti N (kg)

U =Kesilen malzemenin çevre uzunluğu mm

s =Malzeme kalınlığı mm

τ_K =Kesilen malzemenin kesme dayanımı N/mm^2 , (kg/mm^2) [20].

Sac malzemeler genel olarak 6 mm kalınlığa kadar kesilebilir. Bu kalınlığın üzerindeki sac malzemeleri daha düşük kuvvette kesmek istiyorsak parça sıcak olarak kesilmelidir. Bu sıcaklık değeri elde edilen veriler ışığında yaklaşık olarak 900 °C olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın en büyük avantajı kesme direnci değerini düşürmesinden dolayı kesme kuvvetini de düşürmesidir. Elde edilen kesme kuvveti aşağıdaki denklemlerle bulunabilir [20].

$$Pk = U \cdot s \cdot \tau_K \cdot 0,4 = N, (kg) \quad (3.4)$$

Çizelge 3.2. Kesme dayanımları [13].

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 malzeme türü ve % C oranı dikkate alınarak malzemenin kesme dayanımı Çizelge 3.2'den okunarak kesme kuvveti hesaplanabilir.

3.3.1. Kesme Kuvvetini Azaltma Yöntemleri

Yaptığımız tasarım sonunda elde edilen kesme kuvvetinin değeri kullanacağımız presin kesme gücünden yüksek çıkabilir. Bu gibi olumsuzlukları gidermek için kesme kuvvetini düşürmemiz gerekebilir [20]. İki farklı yöntemler kesme kuvveti azaltılabilir. Bunlardan biri kesme ağızlarına aç verilerek, aç zımba ve matrise verilebilir. Eğer içeriden çıkan hurda kullanılacaksa aç matrise, açılan delik kullanılacaksa açlandırma zımbaya verilir [20]. Zımba boylarını kademeli yaparak kuvveti azaltmak mümkündür. Zımba uzunlukları arasındaki fark, sac kalınlığından fazla olmamalıdır. Zımbalar arası uzunluk farklılıkları, ince malzemelerde; sac kalınlığı, kalın malzemelerde sac kalınlığının yarısı kadar yapılabilir [20].

4 . HASSAS KESME YÖNTEMİ

Hassas kesme yöntemi ilk olarak, Fritz Schiess tarafından, 1923 yılında yapmış olduğu sac kesme yöntemleri üzerindeki çalışmalar sonucunda geliştirilmiştir. Hassas kesme yönteminin bu dönemde elde edilen kenar kesim kalitesinin diğer sac şekillendirme yöntemlerine oranla daha kaliteli kenar kesim yüzeyleri elde edildiği anlaşılmıştır. Bu yöntem günümüzde sürekli olarak geliştirilmekte ve birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Hassas kesme yöntemi ilk olarak saat endüstrisinde kullanılan hassas parçaların üretiminde kullanılmıştır. Hassas kesme yöntemi günümüzde otomotiv sektöründe, işyerlerinin büro malzemelerinde ve dekoratif malzemelerinde, hidrolik-pnömatik sistemler, medikal ürünlerde, elektrikli ev aletlerinde, hassas ölçüde tasarlanan hava araçları komponentlerinde, her türlü dişlide, tekstil makinelerinin parçalarının üretimlerine kadar geniş bir kullanım alanı vardır [21].

Hassas kesme yöntemiyle üretilen konstrüksiyonların ve makine parçalarının kullanıldıkları sistemlerde hasara uğrama ve ömür gibi parametrelerini diğer sac şekillendirme yöntemiyle elde edilen parçalara göre karşılaştıracak olursak bu parçaların kolay deforme olmadığı ve kullanım ömürlerinin daha fazla olduğu sonucu elde edilmiştir [22].

Hassas kesme yöntemini avantajlarından biride malzemenin bası altında sabit tutulmasıyla yarı delme, delme ve kesme işleminin aynı anda yapılabiliyor olmasıdır. Bu durum birkaç işlemin burada yapılana biliniyor olması, maliyet ve iş gücünden tasarruf verimlilik açısından ise erişilemez bir fayda sunmaktadır [23].

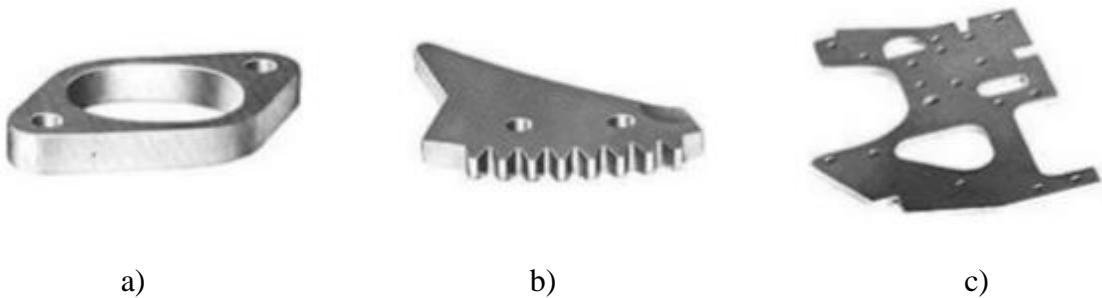
Bilindiği gibi sac metal kalıpları ile kesilen parçalarda her zaman istenilen optimum seviyede kesme yüzeyi elde edilemeyebilir. Bu çeşitli tasarım ve üretim hatalarının dışında daha çok kullanılan kesme yönteminden kaynaklanmaktadır. Hassas kesme kalıpcılık tekniğinde ise bu problemi büyük oranda giderilmiştir. Kesme kalıplarında elde edilemeyen pürüzsüz kesme yüzeyine ulaşılmıştır. Kesme kalıbında kesilen parçanın bir bölümü kesilme yüzeyini bir bölümü ise koparma bölümünü oluşturmaktadır, hassas kesmede ise parçanın yüzeyinin tamamına yakını kesilmeye uğradığı görülmektedir.

Hassas kesme yönteminde kesme işlemi başlamadan önce malzeme diğer kalıp öğeleriyle aynı ekseninde olmalı ve birbirleriyle sıkıştırılarak tutulmalıdır. Bu şekilde sadece tek doğrultuda yani kesim doğrultusunda kalıp elemanları hareket etmelidir. Kesme kalıplarının da malzeme dışardan kalıp ve v çentikli baskı plakası ile çevrili iken içeriden ise zımba ve karşı zımba ile çevrilidir [24].

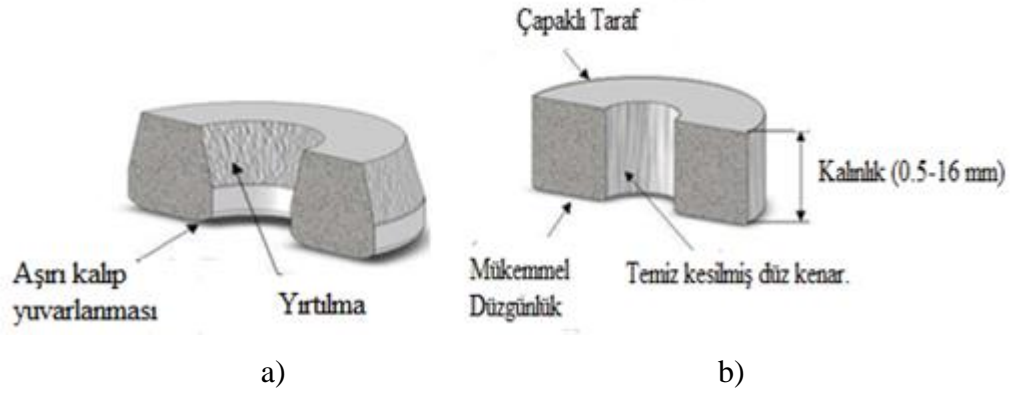
Kesme işlemi sırasında sac malzeme zımba tarafından uygulanan yüksek gerilme altındadır. Çünkü kesme kalıbında ürün malzemeden ayrılırken kırılma ve kopma ile birbirinden ayrılmaktadır. Hassas kesme yönteminde ise durum farklıdır ve yöntem sayesinde hassas ürünler herhangi bir kırılma gibi bir hasar göstermeksizin tamamına yakını kesilerek malzemeden ayrılmaktadır. Bu durum aynı kalıpta kesme ve delme işlemi olarak uygulanabilmektedir [25].

Ayrıca hassas kesme yöntemiyle üretilen parçalar daha düzgün bir geometriye sahiptir. Kenar kesim kalitesi olarak kesilen yüzeyde herhangi bir yırtılma, mikro çatlak görülmediği için kalıplılık sektöründe yerini almaya başlamıştır [26].

Hassas kesme yöntemi kesme yöntemine göre daha yüksek kesim hassasiyetine ve daha pürüzsüz bir yüzey sağlamaktadır. Üretimde sac kalınlığını dikkate aldığımızda yaklaşık olarak 0,05 ve 0,8 mm arasında değişkenlik gösteren bir değere sahiptir. Hassas kesme yöntemiyle tasarlanan kalıbının optimum düzeyde çalışması durumunda kesilen parça yüzeyi 90°'lik kesilmiş kenar elde edilebilir. Bunun sonucu olarak da kesmenin dezavantajı olan pürüzlülük sayısı (Ra) 0,4-1,5 mikron gibi küçük bir değer aralığına düşmektedir. Üretilen parçaların kenar kesim yüzeyleri istenilen optimum kalitede ve kenarlarda ise herhangi bir mikro ya da makro boyutta çatlak görülmemekte ve kesilen kenarların %100' ün de herhangi yırtılma meydana gelmemektedir [26].



Şekil 4.1. Hassas kesme yöntemiyle elde edilen parçalar a) Otomotiv b) Tekstil c) Büro malzemeleri [37].

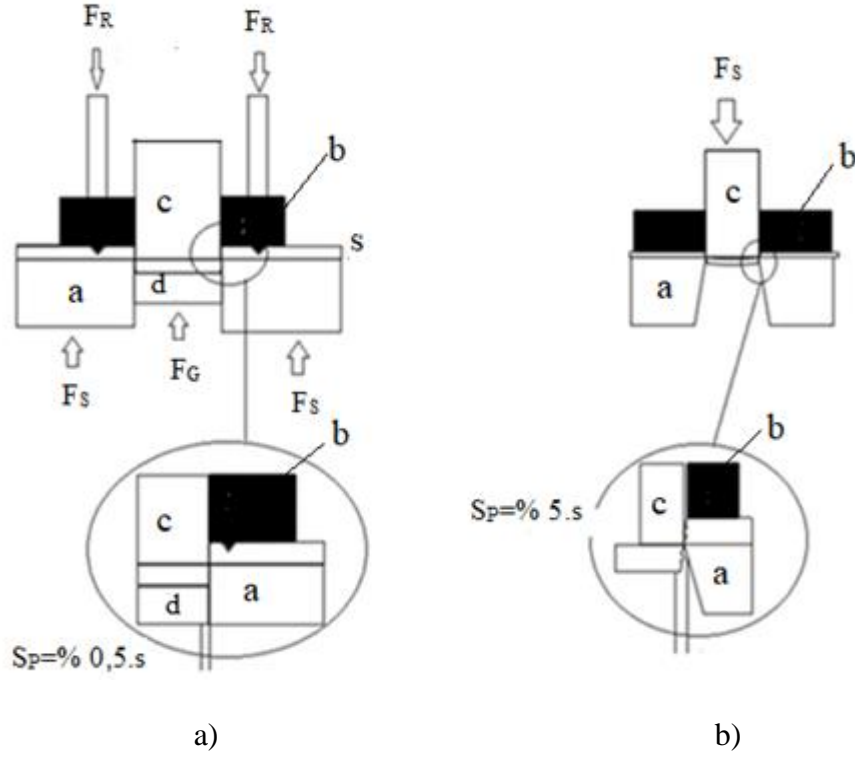


Şekil 4.2. Kesilen yüzeyin kalitesi a) Kesme yöntemi b) Hassas kesme yöntemi [26].

Elde edilen üründe zımba kalıptan ayrıldıktan sonra ürünün alt kenar yüzeyinde çapak olarak adlandırılan çıkıntı bulunur. Bu çapağın yüksekliği kesme kenarlarının durumuna ve kesilen malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Kesme kenarları iyi durumda olan yeni kalıpla yapılan kesme işleminde çapak yüksekliği genellikle 0,01 - 0,08 mm arasındadır. Kalıpları seri üretimde kullandıkça ve kalıpta iyileştirici bir takım revizyonlar yapılmadığı zaman malzemeye batan kesme kenarlarının körelmesiyle çapak yüksekliği artar ve 0,1-0,3 mm arasındaki değere kadar yükselir. Çapak üretimde istenmeyen bir durumdur ve kaldırılması için ekstra maliyet ve işgücüne ihtiyaç vardır. Kesme sonucu oluşan çapak parçaların yüksekliğine göre bir takım yüzey temizleme işlemleri yapılır. Bunlar arasında yüzey taşlama en çok kullanılanlar arasındır [26].

4.1. HASSAS KESME PROSESİNİN ÇALIŞMASI

Hassas kesme kalıpları, bileşik kesme kalıplarına benzer ancak kesme kalıplarından farklı yapıdadır. Hassas kesme ve kesme kalıbı kalıp elemanları Şekil 4.3'de görülmektedir. Hassas kesme kalıbında üç etkili bir pres vardır. Kesme kalıbı ise tek etkili bir prese sahiptir. Hassas kesme kalıbını kesme kalıbından ayıran diğer önemli etken ise kılavuz olarak adlandırılan ve v çentikli baskı bileziğinin bulunduğu plakadır. Bu plakadaki v çentik geometrisi malzemeye batar ve malzemeye etki eden yatay yükleri engeller. Bu durum malzemenin kalıp içinde kaymasını engeller [26].



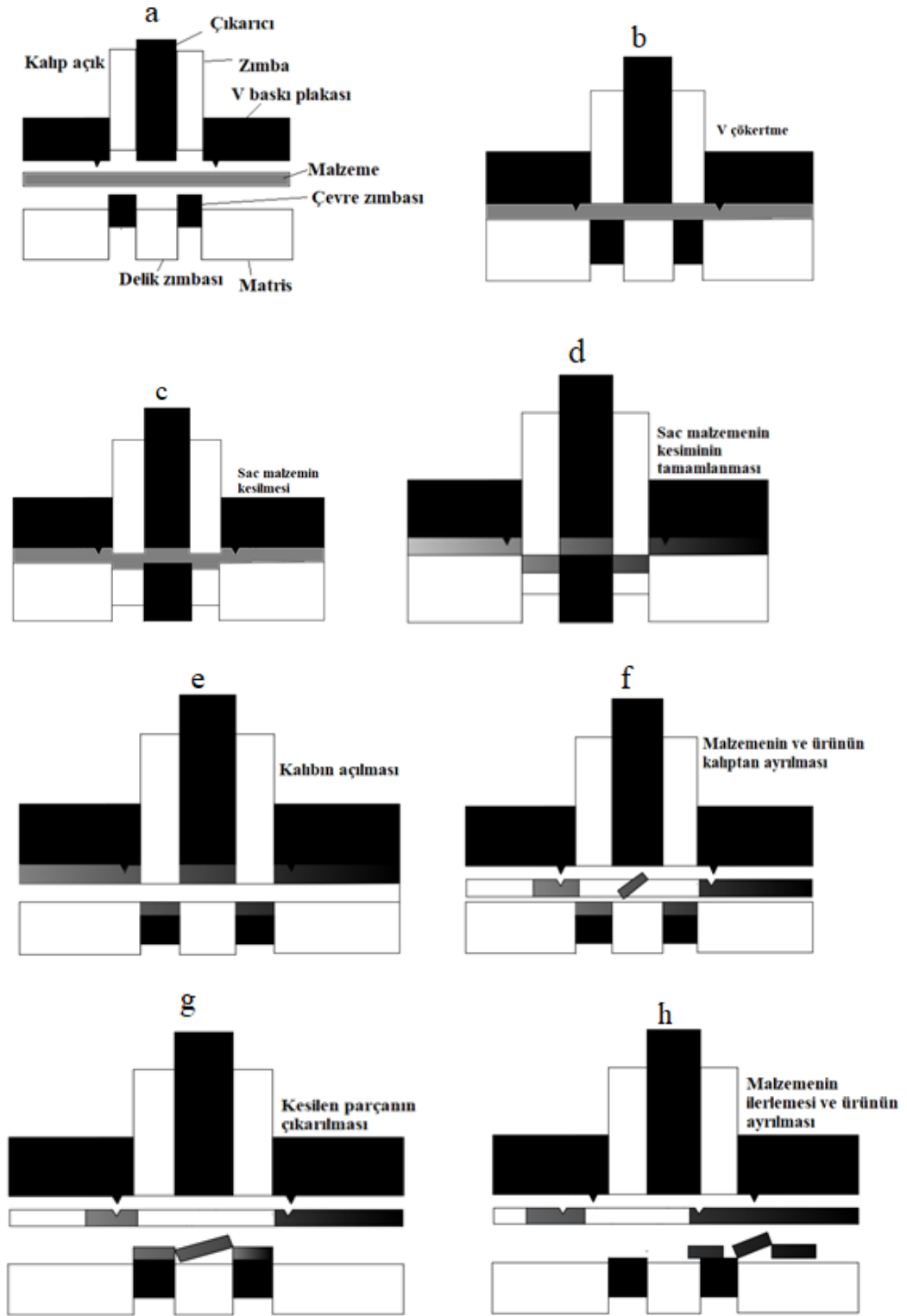
- a. Matris b. Sıyırıcı plaka c. Zimba s. Malzeme kalınlığı
d. Karşı zımba F_s . Kesme kuvveti F_G . Karşı zımba kuvveti F_R . Çökertme kuvveti

Şekil 4.3. Kalıp uygulaması a) Hassas kesme yöntemi b) Kesme yöntemi.

Hassas kesme kalıbında malzemenin kesme aşamaları;

- İlk olarak kalıp yukarı kalkar. Malzeme kalıbın içine sürülür.
- Kalıp aşağı yönde hareket ederek kapatılır. Malzemeyi dışarıdan v çentik geometrisinin bulunduğu baskı plakası, içerden ise çıkarıcı zımbanın baskısı altındadır. Malzemenin kesilme çevresine v çentik geometrisi sayesinde baskı yapılır.
- Kalıp içine sabitlenen malzeme; kesme kuvveti, v çentikli çökertme kuvveti ve karşılık kuvvetinin etkisiyle kesilmeye başlar.
- Hassas kesme presinin koçu kesimi tamamlamıştır. Kesilen ürün matrisin, kesilen hurda da kesme zımbasının içindedir.
- V çentikli baskı bilezikli baskı bileziği kuvveti ve karşı baskı kuvvet kursunu tamamlar. Kalıp yukarı kalkarak açılır.
- V çentikli baskı bilezikli baskı plakası üzerine sıyırma kuvveti etki ederek malzemeyi zımbadan çıkartır. Daha sonra aktif olan sıyırıcı kuvvet itici zımbayı etkileyerek kesilen hurdayı zımbadan dışarı iter.
- İtici kuvveti ürünü kalıptan dışarı çıkartır. Şerit yeni ürün için ileri sürülür.

h. Kesilen ürün ve hurda pnömatik hava düzeneği ile kalıp ağzından uzaklaştırılır. Malzeme şeridi ilerlemesi sona erer. Artık yeni ürün için çevrim tekrar başlayabilir [26].



Şekil 4.4. Hassas kesme evreleri.

Hassas kesme kalıplarının kesme kalıplarından önemli bir farklılığı da çok küçük ölçüde kesme boşluğu kullanılmış olmasıdır. Küçük ölçüde verilen kesme boşluğu malzemenin daha temiz ve daha kaliteli kesme yüzeyi elde edilmesi sağlanabilir. Matrisle zımba arasında bırakılan bu boşluğun değeri malzeme kalınlığına, kesilen malzemenin çevresine ile malzemenin kesme gerilmesine bağlıdır [26].

4.2. HASSAS KESMEDE KUVVETLER

Hassas kesme yönteminde kesmeden farklı olarak birbirinden bağımsız olarak çalışan üç ayrı kuvvet vardır. Kesme yönteminde ise tek kuvvet malzeme üzerine etki eder [23]. Hassas kesme yöntemindeki bu kuvvetler; (F_R) çökertme kuvveti, (F_G) karşı baskı kuvveti ve (F_S) kesme kuvvetidir. Bu kuvvetler aynı zamanda sıyırıcı plaka, karşı zımba ve zımbanın, kalıp parçalarının hareketi durumunda bu kalıp parçalarının yer değiştirmesini sağlar [23].

Malzemenin zımba ve matris arasında kesilmesini sağlayan kesme kuvvetinin büyüklüğü malzemenin toplam kesilen çevre uzunluğu, kesilen malzemenin kalınlığına ve çekme mukavemetine bağlıdır [26],[27]. Kesme kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$F_S = U \cdot s \cdot \sigma_b \cdot f \text{ (kg)} \quad (4.1)$$

U: Malzemede kesilen iç ve dış toplam uzunluk(mm)

s: Kesilen malzemenin kalınlığı (mm)

σ_b : Kesilen malzemenin çekme dayanımı(kg/mm²)

f: Kesme gerilimi ve çekme dayanımı arasındaki oranına bağlı katsayısı 0,6 - 0,9 arasında alınabilir [26]. Çökertme kuvveti kesme işlemi tamamlanıncaya kadar malzemeye sıyırıcı plaka tarafından uygulanmaktadır [26]. Çökerme kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$F_R = k \cdot L_R \cdot h \cdot \sigma_b \text{ (kg)} \quad (4.2)$$

k: katsayı yaklaşık olarak 3 - 4 arasında alınabilir.

L_R : Çökertme çenesi yüksekliği (mm)

h: v çentik geometrisi yüksekliği (mm)

Karşı baskı kuvveti kesme işleminde sırasında malzemeyi zımbaya sıkıştırarak malzeme üzerinde baskı kuvveti oluşturur. Karşı zımba kuvveti malzemenin daha kaliteli kesme

yüzeyi elde etmemizi sağlar. Karşı baskı zımbası ve oluşturduğu karşı baskı kuvveti ve hassas kesme yöntemine ait bir özelliktir [26]. Karşı baskı kuvveti aşağıdaki formülle bulunur.

$$F_G = A_s \cdot p \text{ (kg)} \quad (4.3)$$

A_s : Kesilen parçanın alanı (mm²)

p : Özgül karşı baskı basıncı 2 - 7 alınabilir (kg/mm²)

Toplam kuvvetin değeri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$F_{TP} = F_S + F_R + F_G \text{ (N)} \quad (4.4)$$

Malzeme kesildikten sonra sıyırma kuvveti (F_{RA}) kesilecek malzemeyi zımbadan sıyırmaya, itme kuvvet (F_{GA}) ise kesilerek oluşturulan ürünü dış tarafa itmeye yarar. Sıyırma kuvveti ve itme kuvveti kesme kuvvetinin % 15'i kadar alınabilir. Bu değer kompleks dış formu ve çok fazla deliği olan parçalarda kullanılır. Kesilecek olan malzemedeki figürler daha basit figürlüyse itme kuvveti kesme kuvvetinin %10 değeri alınabilir [26]. Aşağıdaki formülde itme kuvveti ve sıyırma kuvvetinin hesaplanması görülmektedir.

$$F_{RA} = F_{GA} (0,1 \text{ veya } 0,15) \cdot F_S \text{ (kg)} \quad (4.5)$$

4.3. HASSAS KESME KALIBININ TASARIMI

Hassas kesme kalıpları tasarlanırken bu kalıpların kolay deformasyona uğramaması için parçanın şekillendirilmesi esnasında dikkat edilmesi gereken ve parçanın istenilen optimum düzeyde şekillendirilmesini doğrudan etkileyen birtakım tasarım özellikleri vardır. Bunların başında malzemenin soğuk şekillendirebilme kabiliyeti, şekillendirmeyi sağlayan takımın ömrü ve geometrik şekli, kalıbın yağlama seçenekleri, kalıp malzemesi ve ısı işlem değeri gelmektedir. Bunlara dikkat edilmediği zaman kalıp daha erken deformasyona uğrayarak ekstra maliyet ve iş kaybına neden olur [26].

Yapılan analizlerin ve deneylerin göstermiş olduğu veriler sonucunda zımbanın matrisse göre üç kat daha fazla deformasyona uğradığı görülmektedir.

Bu yüzden kalıp elemanları tasarlanırken keskin kenardan çok radyusl kenarlar kullanılmalıdır. Zimbada kullanılan radyus miktarının tasarıma uygun olarak miktarının büyüklüğü kesilen yüzeyin daha kaliteli ve pürüzsüz olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Eğer dik açılı parça kullanılacaksa köşe kavis değeri kesilen malzemenin kalınlığının % 10'dan daha az yapılmamalıdır. Kesilen üründe tasarlanan geometrik şekillerin ve deliklerin kesilen malzemenin kenar noktasına uzaklığı malzeme kalınlığının en az % 60'a kadar olmalıdır. Tasarımda kullanılan delik çapları ve geometrik ölçüleri sac kalınlığının % 60'ından daha küçük tutulmamalıdır. Hassas kesme kalıbıyla imal edilecek olan dişli çarkların her bir dişin genişliği malzeme kalınlığının en az % 60'a kadar yapılmalıdır. Kesme işlemi tamamlandıktan sonra malzeme kalınlığının % 10,25'i kadar bir köşe kavis oluşur ve bu oran diş genişliği için ayrı bir risk oluşturur [27].

Hassas kesme yönteminde kullanılan kalıplar iki farklı türde tasarlanır. Bunlardan biri hareketli kalıplar diğeri ise zımbanın hareket etmediğı yani sabit zımbalı kalıplardır.

Malzeme üzerinde daha büyük ve daha kompleks geometrik şekiller varsa bu malzeme sabit zımbalı hassas kesme kalıbıyla kesilir. Daha küçük ve az sayıda geometrik şekiller bulunan malzemeler ise hareketli zımbanın bulunduğu hassas kesme kalıbında kesilir. Hareketli kalıp sisteminin kullanıldığı hassas kesme kalıplarında zımbanın kesme doğrultusunda kesme mesafesi kadar hareket etmesi sağlanır. Hassas kesme kalıplarında sabit zımba bir vida yardımıyla üst tablaya sabitlendiğı için hareketli kalıba göre çok daha dayanıklı bir kalıplama yöntemi sağlanabilir [27].

Hassas kesme kalıbında kesme esnasında oluşan kuvvetler, kesme kalıbında oluşan kuvvetlerin yaklaşık 1,5 – 2,5 katı arasındadır. Bu yüzden hassas kesme kalıpları kesme kalıplarına göre daha fazla deformasyona uğramaktadır. Hassas kesme kalıbının elemanları bu sebepten dolayı deformasyona ve aşınmaya karşı daha sağlam olmalıdır. Hassas kesme kalıbında zımba ve matris için yüksek kromlu ve yüksek karbonlu takım çelikleri, ayrıca yüksek karbonlu yüksek hız çelikleri veya bazen de karbür ve tungsten kullanılmalıdır. Zımba ve matris ısıl işlem değeri ise 60-62 HRc yapılmalıdır [28].

4.3.1 V Çentikli Baskı Bileziğinin Etkisi

V çentik geometrisi tasarımında kullanılan geometrik ölçüleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir. Baskı bileziğinin malzeme üzerindeki etkileri aşağıda verilmiştir. Bunlar;

- Malzeme yüzeyine batarak burada bası gerilmelerini meydana getirir.
- Malzemeyi matris üzerinde yatay hareketlere karşı sabitler ve malzemenin kaymasını önler.
- Kalıp elemanlarını aynı eksende tutar ve dengeyi sağlar.

Kesme süresince, malzemenin kesildiği bölgede çekme gerilmesi yükselir. V çentik geometrisinin malzemeye temas etmesiyle, temas bölgesinde bası gerilmesi meydana gelir ve bu bası gerilmeleri kesme bölgesindeki malzeme akışı yönündeki çekme gerilemesi oluşmasını engeller. Ayrıca ek olarak baskı plakasında bulunan v çentik geometrisi, malzemenin matris üstünde kaymasına sebep olan yatay kuvvetleri de engellemektedir [23].

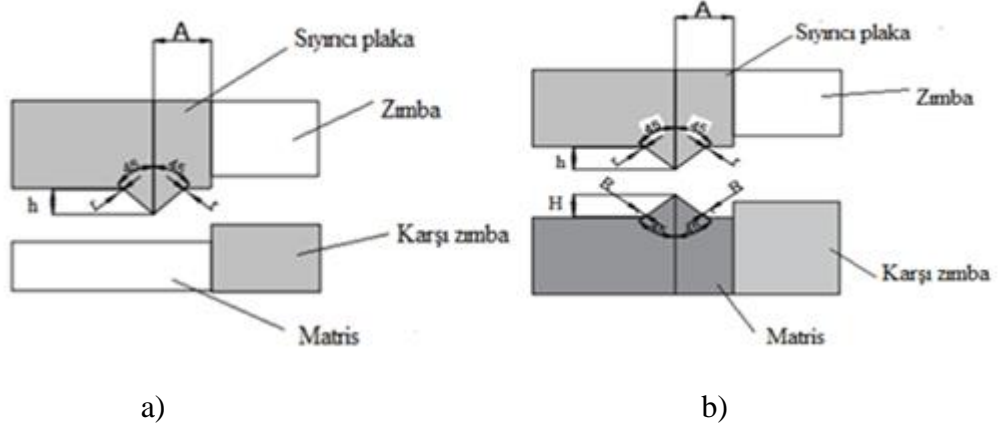
V çentikli baskı bileziği sıyrıcı plakada veya matris yüzeyinde ya da ikisinde de bulunabilir. V çentikli baskı bileziğinin geometrisinin tasarımı optimum seviyede kullanılması birtakım elde edilmiş tecrübe sonuçlarına dayanmaktadır [23]. Son yıllarda sonlu elemanlar yönteminin kullanılması v çentik geometrisinin malzeme üzerindeki etkisini simülasyon ortamında görmemize olanak sağlamıştır.

Çizelge 4.1. Tek yönlü v çentikli baskı bileziği ölçüleri.

Malzeme Kalınlığı(mm)	A(mm)	H(mm)	R(mm)
1,0-1,7	1	0,3	0,2
1,8-2,2	1,4	0,4	0,2
2,3-2,7	1,7	0,5	0,2
2,8-3,2	2,1	0,6	0,2
3,3-3,7	2,5	0,7	0,2
3,8-4,5	2,8	0,8	0,2

Çizelge 4.2. Çift yönlü v çentikli baskı bileziği ölçüleri.

Malzeme Kalınlığı(mm)	A(mm)	H(mm)	R(mm)	h(mm)	r(mm)
4,5-5,5	2,5	0,8	0,8	0,5	0,2
5,6-7	3	1	1	0,7	0,2
7,1-9	3,5	1,2	1,2	0,8	0,2
9,1-11	4,5	1,5	1,5	1	0,5
11,1-13	5,5	1,8	2	1,2	0,5
13,1-15	7	2,2	3	1,6	0,5



Şekil 4.5. Baskı bileziğinin konumu a) Kılavuz plakası b) Kalıp plakası.

h: Sıyrıcı plakada bulunan v çentikli baskı bileziğinin yüksekliği,

r: Sıyrıcı plakasında bulunan radyus değeri,

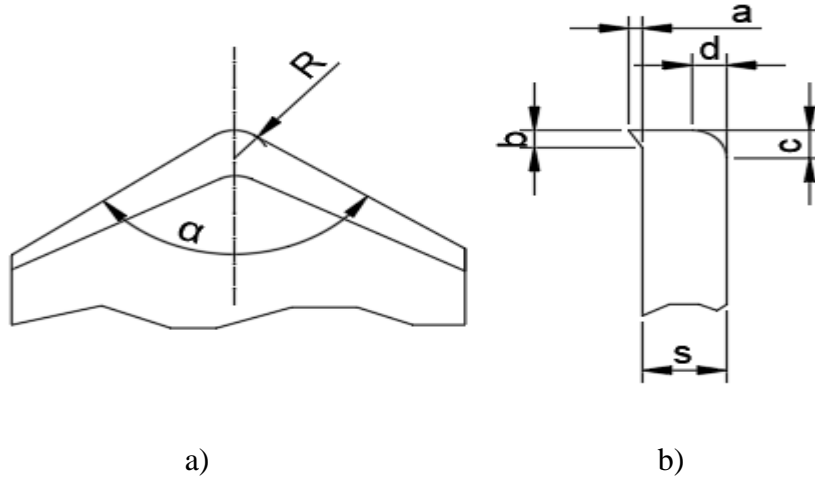
A: V çentik geometrisinin kalıp köşelerine mesafesi.

H: Matris üzerindeki v çentik geometrisinin yüksekliği.

R: Matris üzerindeki radyus değeri [23].

4.3.2. Hassas Kesmede Kalıp Kavisi

Hassas kesme yönteminde kullanılan terimlerden biride kalıp kavisi dir. Kalıp kavisi mm cinsinden değerlendirilir. Kalıp kavisinin ölçüsü aslında, tasarlanan geometrik şekle, köşeler arasındaki açığa ve radyus miktarına bağlıdır. Aşağıdaki şekilde kalıp kavisiyle alakalı durumları inceleyeceğiz. Şekle baktığımızda kalıp kavisinin genişlik miktarı (c) kavis boyunun (d) beş katı bir uzunluğa sahiptir. Malzemedeki kimyasal bileşim, mukavemet özellikleri, ısıl işlemi ve takımın deforme olup olmadığı gibi durumlar, kalıp kavisinin geometrik yapısında yüksek oranda etkilidir. Sonuç olarak, tasarım kısmında yüksekliğin takibi optimum seviyede belirlenmelidir [23].



R. Köşe radyus ölçüsü a. Çapak uzunluğu c. Kavis eni α . Açık miktarı
 b. Çapak eni d. Kavis uzunluğu s. Malzeme kalınlığı

Şekil 4.6. Farklı türdeki geometrik şekillerin kalıp kavis durumu a) Ön görünüş b) Yan görünüş.

4.3.3. Kesme Yüzeyi Parametreleri

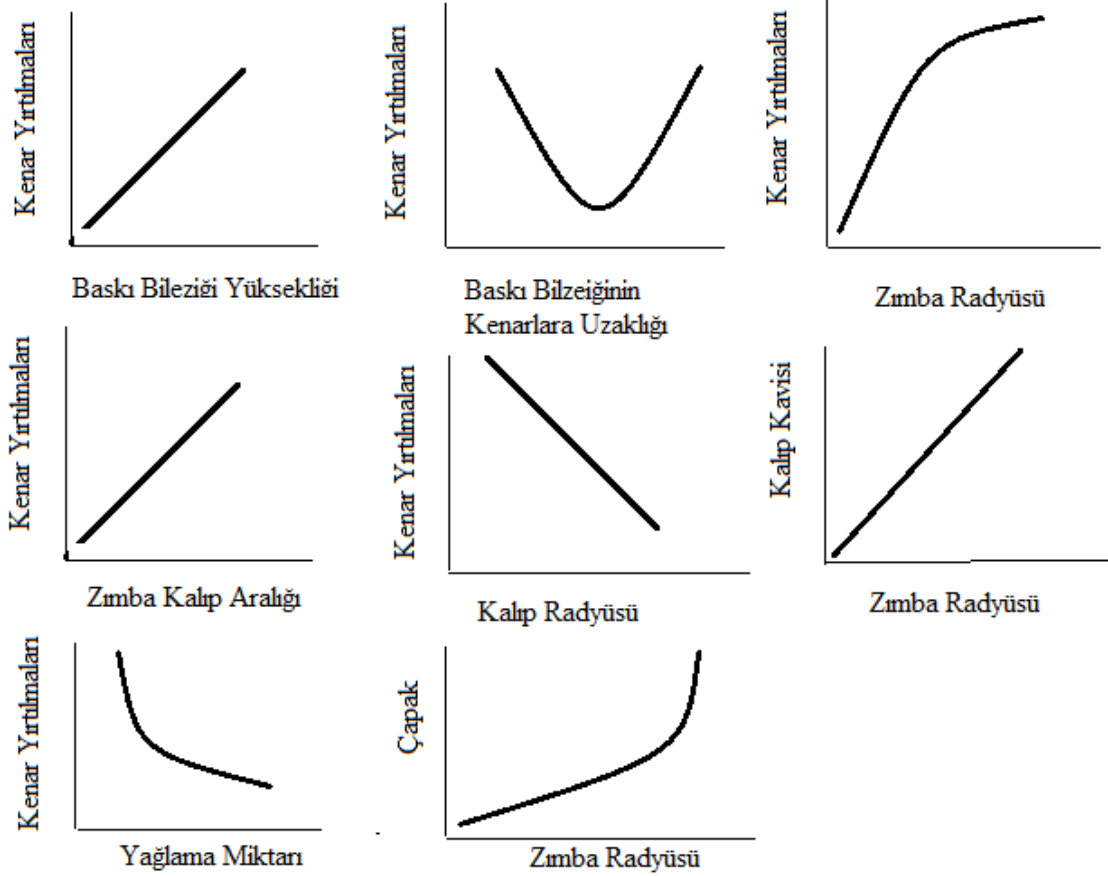
Üretilen parçaların kesim yüzeylerinin istenilen kalite de ve düzgünlükte olmasını kullarılan kalıbın mekanik yüklemeleri ve şekil verme performansı doğrudan etkilemektedir. Hassas kesme yönteminin, kesme yönteminden farkı ise, kullarılan karşı baskı kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne doğrudan etki etmesidir. Karşı zımbanın, zımbaya ters yöndeki ve aynı eksenindeki hareketi parçanın kalıp içindeki hareketini kısıtlamaktadır [23].

4.3.4. Çapak Durumu

Hem hassas kesme yönteminde hem de kesme yönteminde zımba malzemeyi kestikten sonra bir miktar çapak bırakarak kalıbı terk eder. Çapaklar büyük çoğunlukla kalıp kavisinin ters yüzeyinde oluşmaktadır. Çapak uzunluğu ise parçanın seri üretimdeki sayısına ve takımın deformasyonuna bağlı olduğu söylenebilir. Bu yüzden körelmiş kalıp elemanlarının zamanında revizyon yapılması gerekmektedir. Revizyon yapılmayan kalıplarla yapılan üretimlerde çapakların temizlenmesi için birtakım işlemlere ve maliyete gerek duyulacaktır ve bu da hassas kesmenin verimliliğini düşürecektir [23].

4.3.5. Takım Geometrisi Ve Önemi

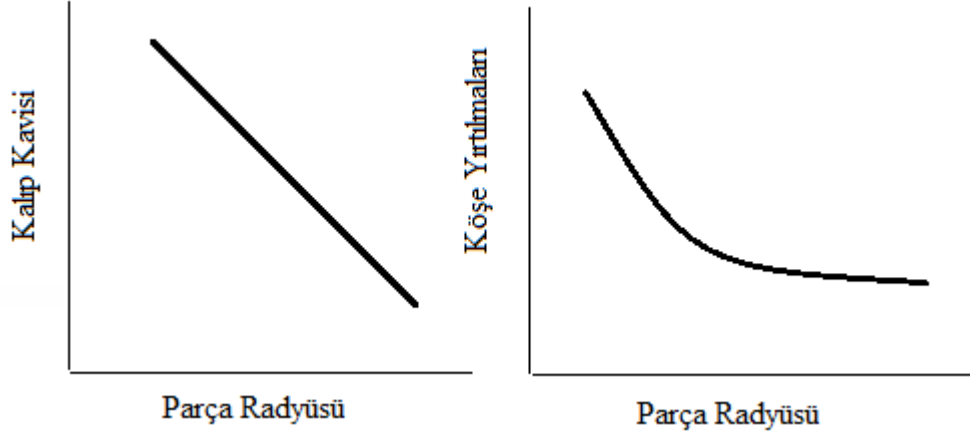
Kalıp kullanılarak birçok farklı türdeki malzemeyi şekillendirmek mümkündür. Şekillenecek malzemeler için uygun geometrik şekilde ve sertlikte kesici takım seçilmelidir. Şekil 4.7’de kesilen malzemenin kenar kesim kaliteleri için, kesici takım parametrelerinin nasıl bir etkide bulunduğu görülmektedir [23].



Şekil 4.7. Takım geometrilerinin etkisi.

4.3.6. Parça Geometrisinin Önemi

Hassas kesme yönteminde parça geometrisinin ayrı bir yeri vardır. Tasarımda parça geometrisi için olması gereken en yüksek radyus değerinin verilmesi şekillendirme işleminin hızını artırmakta ve kullanılan takımları daha az deformasyona uğratarak kullanım sürelerini uzatmaktadır. Şekil 4.8’de parçanın şekillendirme esnasındaki parça radyüsü etkisi verilmiştir [23].



Şekil 4.8. Parça geometrisinin etkisi.

4.3.7. Yağlama Etkisi

Hassas kesme kalıplarında kalıp elemanlarının yağlanması gerekmektedir. Kullanılan kalıba özel yağlar kalıp elemanlarını aşınmaya bağlı olarak meydana gelen oksidasyon ve adezyona karşı korur. Kesme kalıpları kesme esnasında yüksek sıcaklık değerlerinde çalışması gerekebilir. Bu yüzden takım yüzeyleri kaplanarak hasara uğraması engellenebilir. Kaplanmamış takımların yağlama işlemi ise ayrı bir öneme sahiptir [23].

Kalıp elemanlarının harekete başlamasıyla malzemenin alt ve üst yüzeyi, kesmeye ait özel yağla beraber yağlanmaya başlanmalıdır. Kalıp yağlarının viskozitesinden dolayı malzemenin iki yüzeyinde kalın bir tabaka oluşur. Bu durumdan dolayı kalıp elemanları özellikle zimba ve matris bileşenleri (vida, kolon, burç, pim, yay) kesme yağıyla sürekli yağlanmalıdır [23].

Hassas kesme kalıplarında kullanılmaya başlandığı zamanlarda kesme yağı olarak olarak klor kullanılmıştır. Kesilen malzemenin kalınlığının değişmesi ve farklı mekanik ve kimyasal özellikli malzemeler kesilmesi klor miktarında değişmelere neden olmuştur. Kesme yağı içindeki klor, takımın kesme aşamasında yüzeyde bulunan Fe ile birleşerek demir klorür (FeCl₃) meydana getirir. FeCl₃ yüzeyde bir tabakalı film oluşturarak oksidasyona ve aşınmalara karşı kalıp elemanlarını korur [23].

4.3.8. Hassas Kesme Yöntemi İçin Uygun Olan Malzemeler

Hassas kesme yöntemiyle kesilen çelik saclar açısından baktığımız zaman, kesilen yüzeyin kenar kesim kalitesi ve kullanılan kalıptaki takımın deforme olması ve kullanım ömrü göz önünde bulundurulduğunda en iyi kesme parametreleri çekme dayanımının $300 - 600 \text{ N/mm}^2$ arasında ve % C oranı 0,35 olan çelik malzemelerde elde dilmektedir. Aynı zamanda, % 0,7 C oranına kadar kullanılan alaşımsız çeliklerde de optimum kalitede kenar kesim yüzeyleri elde edilebilmektedir. Çelik saclarda en uygunları ise, DIN 1624 standardına göre üretilenlerdir. (Çekme dayanımı $400 - 500 \text{ N/mm}^2$) [2].

4.3.9. Hassas Kesme Yönteminde Kullanılan Kalıp Malzemeleri

Sıyırma plakası, zımbalar, karşı baskı zımbası, itici ve sıyırma zımbası, şekillendirme kalıp öğeleri ve takımlarda çalışan tüm vida somun ve pimler, yüksek basınç ve sürtünmeden kaynaklı olarak hasara uğrayabilmektedir. Zımbanın ve diğer sıkıştırıcı elemanlarının malzeme yüzeyine temas ettiğinde yüksek sıcaklık ortaya çıkmaktadır [23].

Ortaya çıkan bu sıcaklık değeri, kullanılan kalıp elemanlarının dış kesimlerinde oksidasyona sebep olabilmektedir. Gevrek kullanılan malzemeler ve oksitlenmiş elemanlar seri üretimde kullanıldıkları takdirde sürekli aşınırlar ve kullanılan takımların köşe bölgelerinde yırtılma, çatlama ve dolayısıyla kesme kabiliyetinde azalmalar meydana gelir, bunun sonucunda kalıp elemanları kullanılamaz hale gelir ve parçalar istenilen kalitede kesilemezler [23].

4.3.10. Hassas Kesme Presleri

Hassas kesme yönteminde kullanılan presler, gelişmiş sac kesme presleridir. İki farklı türde hassas kesme presi vardır [23]. Bunlar; mekanik hassas kesme presleri ve hidrolik hassas kesme presleridir [23].

Mekanik hassas kesme preslerinin en önemli özelliği kesintisiz yirmi dört saat üretim yapacak dayanıklılıkta ve sağlamlıkta olmasıdır. Dünya kullanılan binden fazla bu tip pres tasarımı vardır. Bu preslerin geliştirilmesi günümüzde de sürmektedir [23].

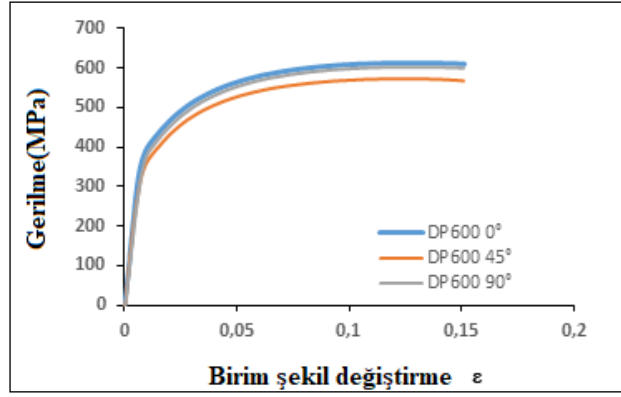
Hidrolik hassas kesme presleri ise pres başlığının rijitliği yüksektir ve iyi bir şekilde bağlandığında yüksek yükleme koşullarında bile stabil olarak kalabilmektedir. Kullanılan kalıpların prese yerleştirilmesinde kalıp yerinin geniş olmasında dolayı, birleşik ve ardışık kalıplar için kullanılması uygundur [23].

5. MATERYAL VE YÖNTEM

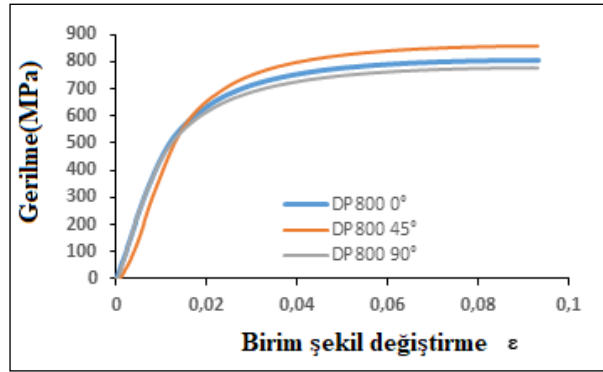
5.1. MALZEME

5.1.1. Malzeme Seçimi

Bu çalışmada; hem otomotiv sektöründe hem de yapı sektöründe yoğun olarak kullanılan Docol DP600 ve Docol DP800 soğuk haddelenmiş çelik saclar kullanılmıştır. Bu çelik saclar çarpma dayanımını artırarak ve otomotiv sektörü için hafif bir tasarım ve etkin maliyetli üretim yöntemleri sağlar.



a)



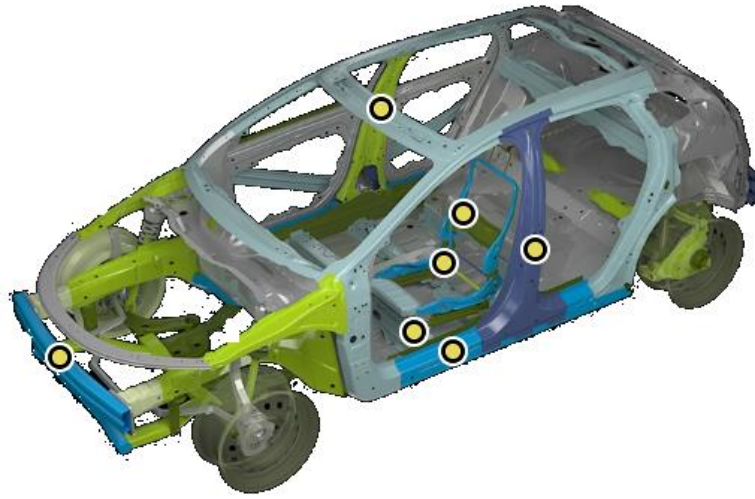
b)

Şekil 5.1. 0°, 45°, 90° göre çekme testi sonuçları a) Docol DP600 b) Docol DP800.

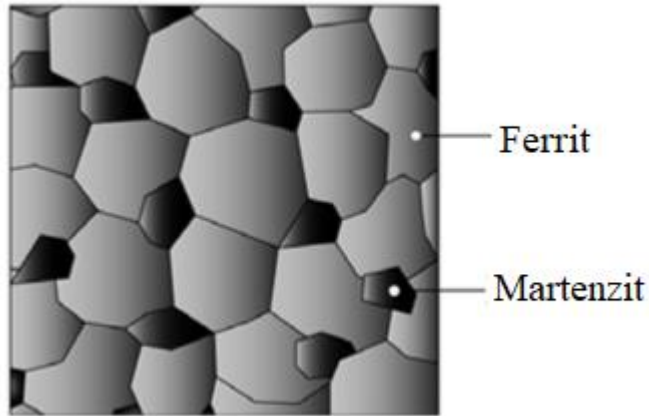
Docol DP600 ve Docol DP800 çekme testleri DIN ISO 6892-1 standardına göre 0°, 45° ve 90° doğrultularında hazırlanmış ve elde edilen çekme testi sonuçları Şekil 5.1.a ve b'de verilmiştir.

Soğuk haddelenmiş bu çelikler içeriğinde çok farklı çekme dayanımlarına sahip çelik türleri barındırmaktadır [29].

Docol DP600 bilinen çift fazlı en güçlü, soğuk haddelenmiş ve yüksek düzeyde mukavemete sahip çeliklerden biridir. Otomobil sektöründe oldukça yaygın bir kullanım alanı vardır. Otomobilin konstrüksiyonunda kullanılan Docol ürünleri Şekil 5.2’de görülmektedir. Yan darbe kirişleri, ön ve arka tampon ve yapısal öğeler gibi otomotiv tasarımlarına özel ve ihtiyaç duyulan malzeme halini almıştır [30].



Şekil 5.2. Docol ürünlerinin araçlarda kullanıldığı bölgeler [30].



Şekil 5.3. DP çeliklerin mikro yapısı [40].

Deneylerde kullanılan Docol DP600 ve Docol DP800 sac çelikler, SSAB firmasından temin edilmiştir. Docol DP600 çelik sac olarak, çelik sınıfı Docol CR350Y600T-DP ve standart tipi SSAB türü kullanılmıştır. Bu çeliğin akma mukavemeti 350-450 MPa arasındadır. Çekme mukavemeti ise 600-700 MPa arasındadır.

Docol DP800 çelik sac olarak Docol CR500Y800T-DP ve standart tipi SSAB türü kullanılmıştır. Bu çeliğin akma mukavemeti 500-650 MPa arasındadır. Çekme mukavemeti ise 800-950 MPa arasındadır.

Docol DP600 tavlama işleminde özel bir ısıl işlem yöntemi uygulanarak iki fazlı bir yapı üretilebilir. Bu yapılardan biri şekillendirmede kolaylık sağlayan ferrit, diğer yapı ise mukavemeti artıran martensit oluşturur [30]. Docol DP600 kimyasal özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Docol DP600’ün kimyasal özellikleri.

Malzeme	C	Si	Mn	P	Al	Nb	Ti
Docol DP600	0,097	0,225	0,823	0,0123	0,053	0,014	0,007

Docol DP800 Docol DP600 gibi çift fazlı bir çelik türüdür. Otomotiv sektöründe, genellikle güvenlik yapılarının üretimi için şekillendirmede büyük kolaylık sağlar. Docol DP800 iki fazlı olarak üretilir ve özel olarak ısıl işlem uygulanır. Daha sonra iki faz oluşur. Bu fazlardan biri saca şekillendirmede büyük kolaylık sağlayan ferrit diğeri ise mukavemeti artıran martensit fazıdır. Bainit ise tamamlayıcı faz olarak bulunabilir [31]. Çizelge 5.2’de DP800 ait kimyasal özellikler verilmiştir.

Çizelge 5.2. Docol DP800’ün kimyasal özellikleri.

Malzeme	C	Si	Mn	P	Al	Nb	Ti
Docol DP800	0,141	0,214	1,483	0,0106	0.085	0,18	0,09

Kalıp elemanlarının yağlanması özellikle zımba ve matris ay yıldız figürünün iç ve dış yüzeyleri için yapılan yağlama işleminde, ORAPI şirketi tarafından imal edilen “Graphene 702” isimindeki grafit bazlı sprey yağlayıcı ile iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sprey olarak imal edilmesinden dolayı kolaylıkla zımba, matris ve malzeme yüzeyine uygulanabilmiştir. Bu çalışmada da Graphite 702 yağlayıcı olarak kullanılmış ve Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.4. Graphite 702.

Metallerin kaplanması korozyon direnci ve yüzeyin aşınmaması için önem arz etmektedir. Deneylerde kullandığımız Docol DP600 ve Docol DP800 sac çelikler kaplamasız (Uncoated-UC) kullanılmıştır. Bu sac çelikler sıcak daldırma işlemlerinde galvanizli (ZA) ve kimyasal olarak pasifleştirilmiş şekilde bulunur. Tüm yüzey işlemleri RoHS direktifine (2011/65 / EU) uygundur ve krom VI içermez (Cr) [32].

Zımba, matris, sıyırıcı plaka malzemesi olarak 1.2379 (X153CrMoV12) soğuk iş takım çeliği seçilmiştir. Zımba için 55 mm yükseklik çap 170 mm genişliğinde hem kesme hem de hassas kesme matrisi için 50 mm yükseklik çap 170 genişlik ve sıyırıcı plaka içinde 195x195 mm uzunluğunda 30 mm yüksekliğinde kütükler kullanılmıştır. Bu kalıp malzemeleri 63 HRc'ye kadar sertleştirilmiştir.

1.2379 çelik malzemesi kesme kalıplarında soğuk zımba, plastik kırma bıçakları, hadde makaralarında, makas bıçaklarında, çapak temizleme kalıplarında ve mobilya sektöründe kullanılan tezgah takımlarında kullanılır [33].

% 0.70 Mo ve %1 Vanadyum (V), alaşımlarında oluşur ve karbür yapısı itibariyle yüksek aşınma direnci sağlar. Yapısında bulunan Cr' dan dolayı sertleşme ve ısıl işlem kabiliyeti artar. Isıl işlemden sonra yaklaşık olarak 63-65 HRc kadar sertliğe ulaşabilmektedir. Ayrıca nitrayon sonrası 1200 HV'ye kadar yüzey sertliği elde edilebilir [33]. Çizelge 5.3'de 1.2379'un kimyasal özellikleri verilmiştir.

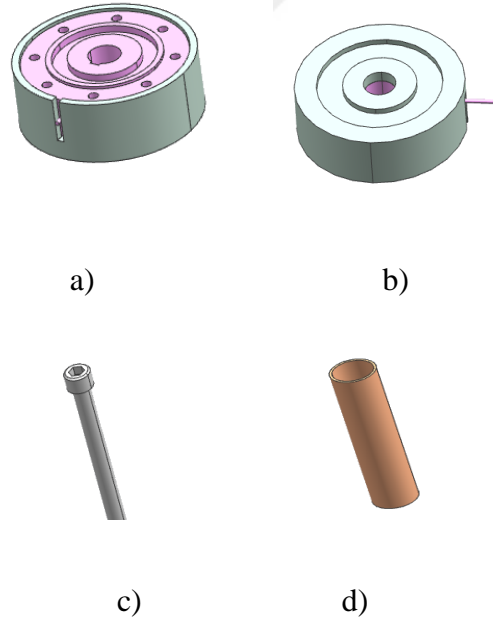
Çizelge 5.3. 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal özellikleri [33].

Malzeme	C	Cr	Mo	V	Si
1.2379	1.55	12	0.70	1	0.40

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

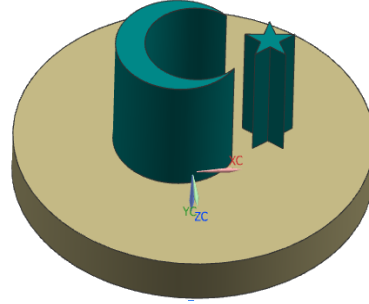
6.1 KALIP TASARIMI

Kesme kalıplarında birçok kalıp bileşeni bulunmaktadır. Tasarlanan kesme ve hassas kesme kalıbında; üst tabla, alt tabla, kesme yöntemi matrisi, hassas kesme yöntemi matrisi, zımba, sıyırıcı plaka, sabitleme vidası, sabitleme kılavuzu, yük hücreleri kolon ve burçtan oluşmaktadır. Bu bileşenler ilk olarak hesaplanan ölçülere göre sanal ortamda üç boyutlu olarak katı modelleri Siemens NX programında tasarlanarak üretime alınmıştır. Siemens NX Cad/Cam/Cae yazılımı tasarlanan ürünleri hızlı, kaliteli ve düşük maliyetle geliştirmeyi sağlayan günümüzde birçok alanda kullanılan mühendislik programıdır [34].



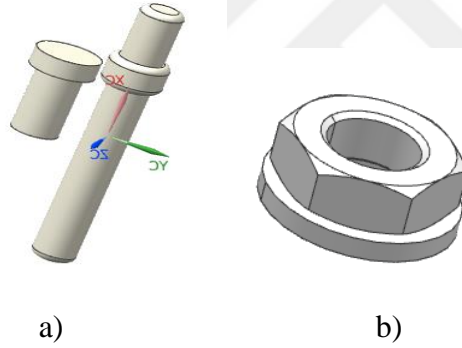
Şekil 6.1. Katı modelleme a) Üst yük hücresi b) Alt yük hücresi c) Sabitleme vidası d) Sabitleme kılavuzu.

Şekil 6.1.a’da zımba kuvvetini ölçen üst yük hücresinin katı modeli görülmektedir. Şekil 6.1.b’de matris kuvvetini ölçen alt yük hücresi verilmiştir. Şekil 6.1.c ve d’de sıyrıcı plakayı alt tablaya bağlayan sabitleme vidası ve kılavuzunun katı modeli görülmektedir.

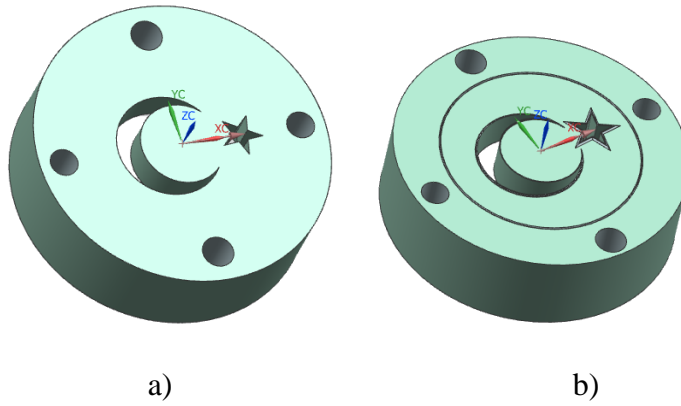


Şekil 6.2. Zımba katı modeli.

Şekil 6.2’de hassas kesme ve kesme yönteminde kullanılan ay yıldız figürünün bulunduğu zımbanın katı modeli verilmiştir.

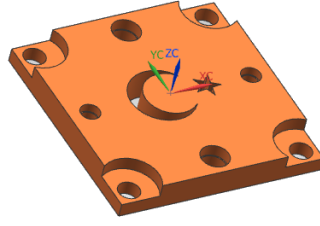


Şekil 6.3. a) Kolon burç b) Somun.

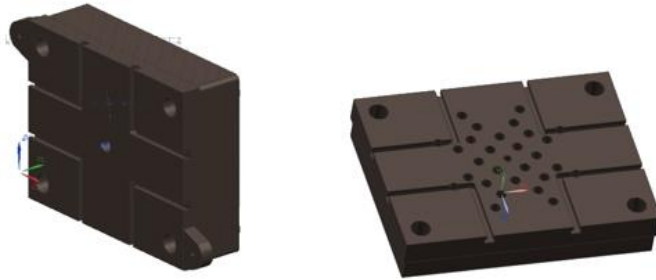


Şekil 6.4. Matris katı modeli a) Kesme yöntemi matrisi b) Hassas kesme yöntemi matrisi.

Şekil 6.3.a ve b’de hassas kesme yöntemi ve kesme yönteminde kullanılan matrisi sıyırıcı plakaya sabitleyen kolon ve burcun katı modeli görülmektedir.



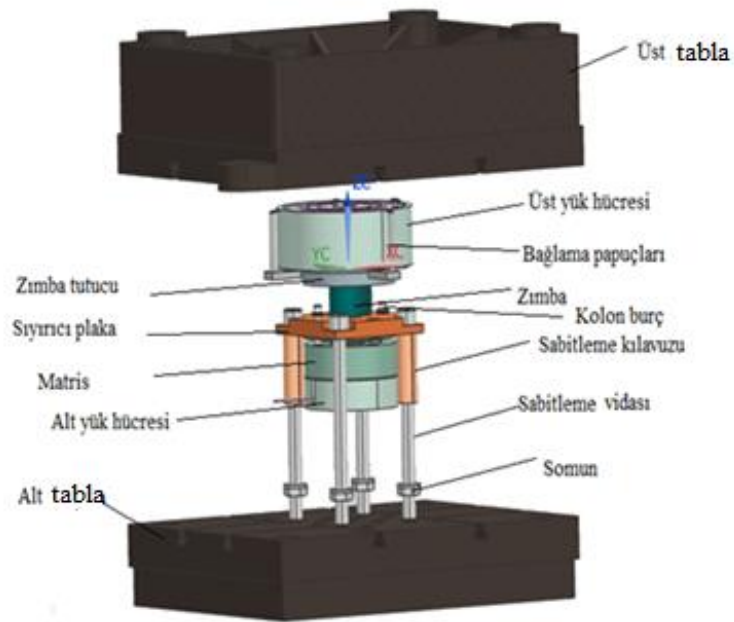
Şekil 6.5. Sıyırıcı plaka katı modeli.



a)

b)

Şekil 6.6. a) Üst tabla b) Alt tabla.



Şekil 6.7. Hassas kesme ve kesme yönteminde kullanılan kalıbın bileşenleri.

Şekil 6.4.a'da kesme yönteminde kullanılan matrisin katı modeli görülmektedir. Şekil 6.4.b'de v çentik geometrisine sahip hassas kesme yönteminde kullanılan matrisin katı modeli görülmektedir. Şekil 6.5'de deney malzemesini matrisin sıkıştırmasını sağlayan sıyırıcı plaka katı modeli görülmektedir. Şekil 6.6.a'da zımbanın papuçlar yardımıyla bağlandığı üst tabla görülmektedir. Şekil 6.6.b'de alt yük hücresi ve matrisin koyulduğu ayrıca sıyırıcı plakanın sabitlendiği alt tablanın katı modeli görülmektedir. Şekil 6.7'de hem kesme hem de hassas kesme yönteminde kullanılan deney düzeneğinin katı modeli görülmektedir.

6.1.1 Kesme Boşluğu Hesaplama

Saç kalınlığı 1 mm olan malzeme için kesme boşluğu;

$$\tau_a: 40 \text{ kg/mm}^2$$

$C1 \leq 3$ mm saclar için;

$$C1 = 0,005 \times 1 \times \sqrt{\tau} = 0,005 \times 1 \times \sqrt{40} = 0,031 \text{ mm tek taraflı kesme boşluğudur.} \quad (6.1)$$

6.1.2. Kesme Kuvveti Hesaplanması

Ayı ve yıldızın kesme çevresi uzunluğu Siemens NX analiz modülüyle hesaplanmıştır.

$$U_{YILDIZ} = 89,5 \text{ mm} \quad (6.2)$$

$$U_{AY} = 161,5 \text{ mm} \quad (6.3)$$

$$U_{Toplam} = U_{YILDIZ} + U_{AY} = 161,5 \text{ mm} + 89,5 \text{ mm} = 251 \text{ mm toplam kesme yüzeyi.} \quad (6.4)$$

$$F_S = 251 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 40 \text{ kg/mm}^2 \times 0,6 = 6024 \text{ kg zımba kuvveti.} \quad (6.5)$$

6.1.3. Çökertme Kuvveti Hesaplama

$$F_r = 3 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 0,8 \text{ mm} \times 40 \text{ kg/mm}^2 = 2880 \text{ kg çökertme çenesi kuvveti.} \quad (6.6)$$

6.1.4. Karşı Baskı Kuvveti Hesaplama

$$F_G = 1240 \text{ mm}^2 \times 3 \text{ kg/mm}^2 = 3720 \text{ kg'dır.} \quad (6.7)$$

Kesilen parça alanı Siemens NX analiz modülünden alınmıştır. Sıyırıcı kuvveti ve itici kuvveti hesaplamak için kullanılan figürün ölçüsü ve sayısı dikkate alınarak kesme kuvvetini 0,15 ve 0,10 ile çarpılarak bu iki kuvvetin etkisi de hesaplanabilir.

6.1.5. Zimba Tasarımı

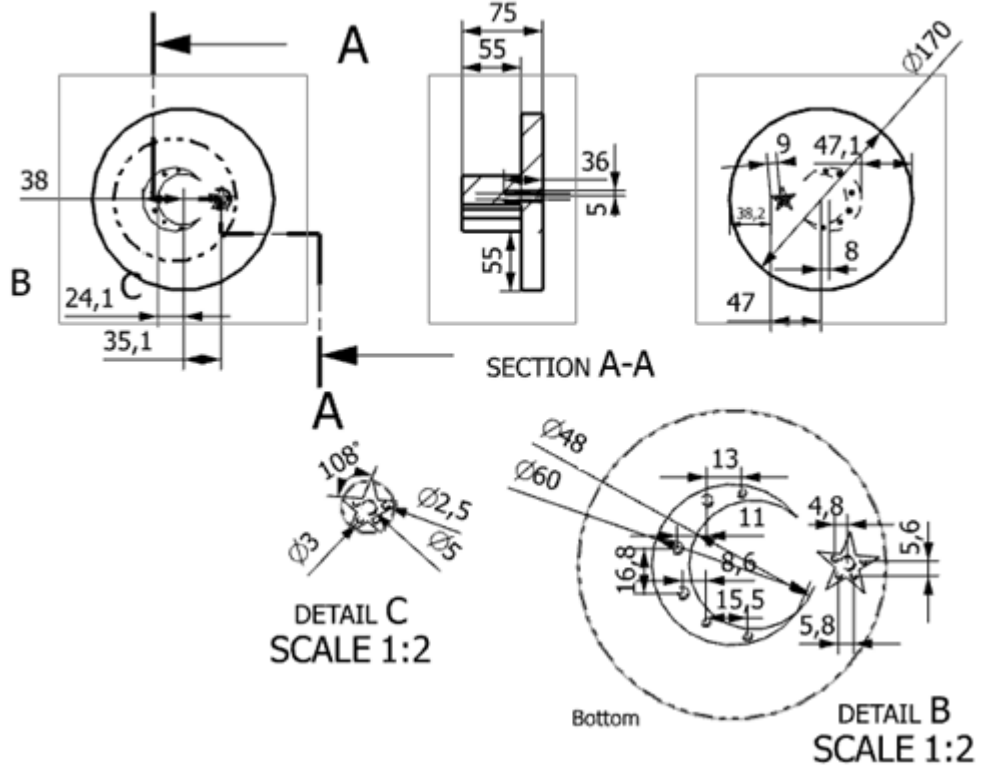
Şekil 6.8’de hassa kesme ve kesme yönteminde kullanılan ay yıldız figürlü zımbanın teknik resmi görülmektedir. Ay yıldız figürü pimler yardımıyla üst tutucuya sabitlenmiştir. Zimba tutucunun çapı 170 mm kalınlığı ise 20 mm’dir. Ay yıldızın yüksekliği 55 mm olarak tasarlanmıştır. Ay’ın iç çapı 48 mm dış çapı 60 mm olarak belirlenmiştir. Çap eksenleri arasındaki mesafe 8 mm olarak kabul edilmiştir. Yıldız geometrisinin kenar uzunluğu 8,95 mm olarak alınmıştır. Kenar uzunlukları arasındaki açı değeri 108°’dir. Zimba boyu hesaplanırken 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin Elastisite modülü (E), 21114 Kg/mm² alınmıştır. Kesme çevresi (U), 251 mm olarak hesaplanmıştır. Kullanılan sac kalınlığı (s), 1 mm olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan malzemelerin çekme dayanımı (τ_K), 40 kg/mm² olarak alınmıştır. Ay ve yıldızın atalet momentleri Siemens NX analiz modülünden alınmıştır.

$$I_{XG}=100,48 \text{ mm}^4 \text{ ay'ın atalet momenti.} \quad (6.8)$$

$$I_{\dot{U}}=44,52 \text{ mm}^4 \text{ yıldız'ın atalet momenti.} \quad (6.9)$$

$$I=I_{XG}+I_{\dot{U}}=145 \text{ mm}^4 \text{ toplam moment değeri.} \quad (6.10)$$

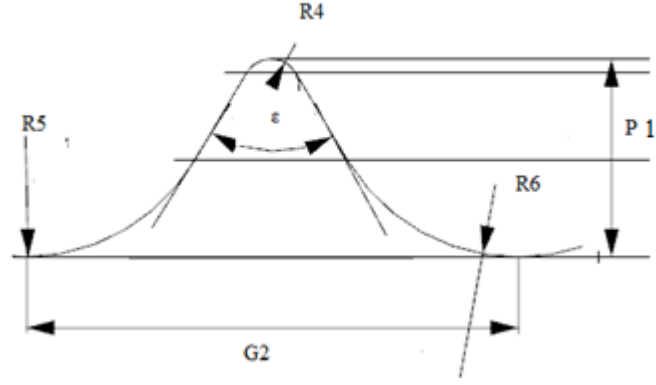
$$\text{Zimba Boyu}(L)=\pi\sqrt{(E \cdot I)/(U \cdot \tau \cdot s)} =55,21 \text{ mm zimba boyu.} \quad (6.11)$$



Şekil 6.8. Zımba teknik resim görüntüsü.

6.1.6. Matris Tasarımı

Hassas kesme yöntemi ve kesme yöntemi için birer adet matris tasarlanmıştır. Her iki yöntem içinde 50 mm yüksekliğinde, 170 mm genişliğinde dairesel kütükler kullanılmıştır. Matris kalıbına kesme boşluğu verileceği için matriste kullanılan ayın dış çapı 60,1 mm iç çapı 47,9 mm olarak hesaplanmıştır. Yıldızın kenar uzunluğu ise 8,98 mm olarak hesaplanmıştır. Ayın iç çap ve dış çap arasındaki mesafe 8 mm olarak alınmıştır. Yıldızın köşe uzunlukları arasındaki açı 108 ° olarak hesaplanmıştır. Her iki yöneme ait matris tasarımı yapılırken ilk olarak Cad programında kütüklerin geometrik ölçülerine göre katı modeli çizilmiştir. Daha sonra Ay yıldız figür belirlenen ölçülere göre kütüklerin üzerine yerleştirilerek figür Cad ortamında görülmüştür. Kütük ölçüleri dikkate alınarak matris üzerinde kolon burç yerleri belirlenmiştir. Deney malzemesinin matristen daha kolay çıkması için matrisin yük hücresine temas ettiği yüzey 30 mm yüksekliğine kadar iç boşaltma yapılmıştır.

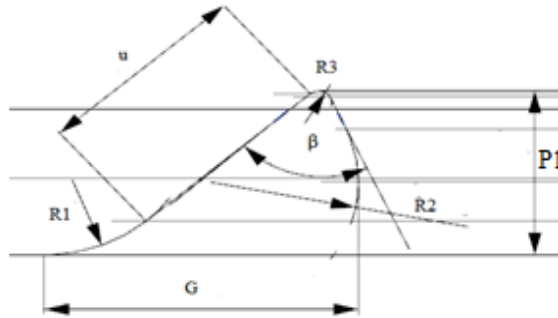


Şekil 6. 9. Matris dış çerçeve v çentikli baskı bileziği teknik resim görüntüsü.

Şekil 6.9’da hassas kesme yönteminde kullanılan dış çerçeve v baskı geometrisi görülmektedir. Çizelge 6.1’de v çentik geometrisinin mm olarak ölçüleri verilmiştir.

Çizelge 6.1. Matris v çentik geometrisi ölçüleri (mm).

Parametre	G2	P1	R4	R5	R6	ε
Değerler	1.2	0.8	0.05	0.6	0.6	90°

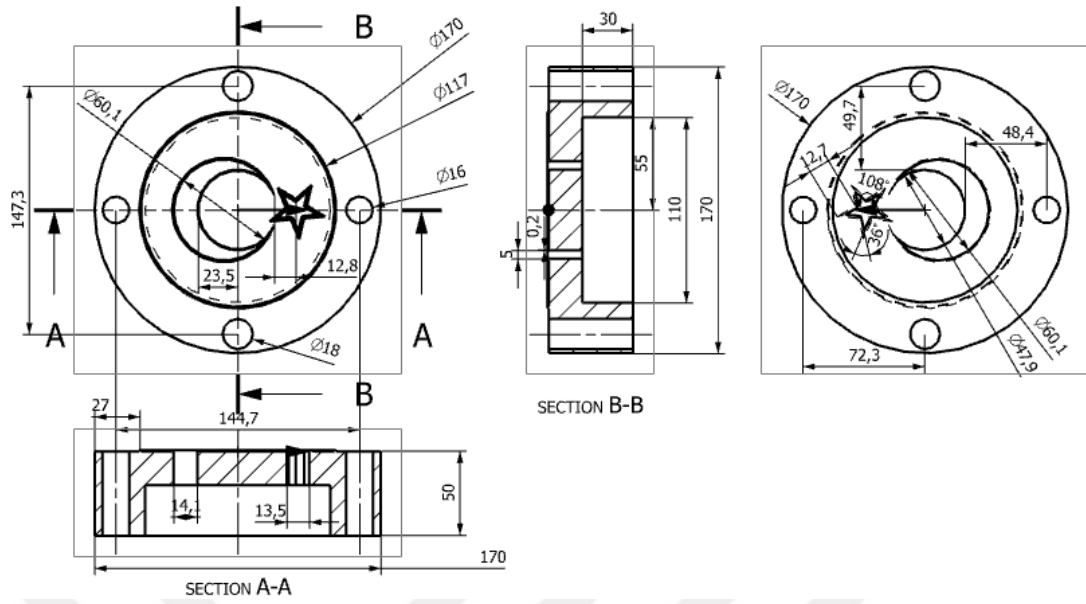


Şekil 6. 10. Matris ay yıldız v çentikli baskı bileziği teknik resim görüntüsü.

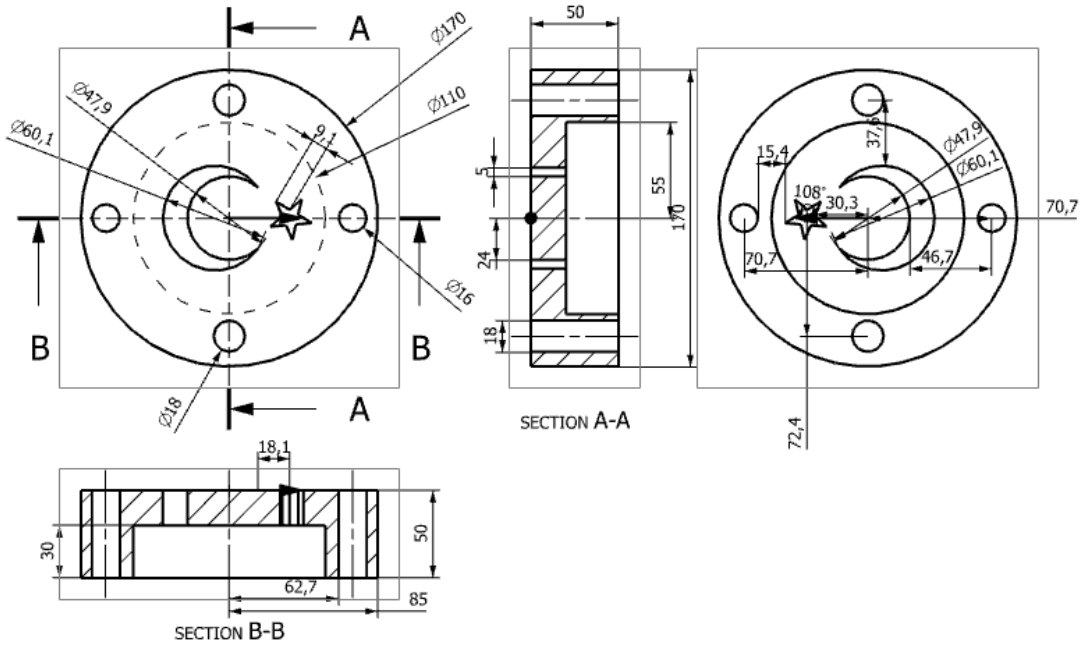
Şekil 6.10’da hassas kesme yönteminde kullanılan ay yıldız figürünü çevreleyen v baskı geometrisi görülmektedir. Çizelge 6.2’de v çentik geometrisinin mm olarak ölçüleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. Matris ay yıldız v çentik geometrisi ölçüleri (mm).

Parametre	G	u	R1	R2	R3	P1	β
Değerler	1.2	0.6	0.2	0.2	0.05	0.8	60°



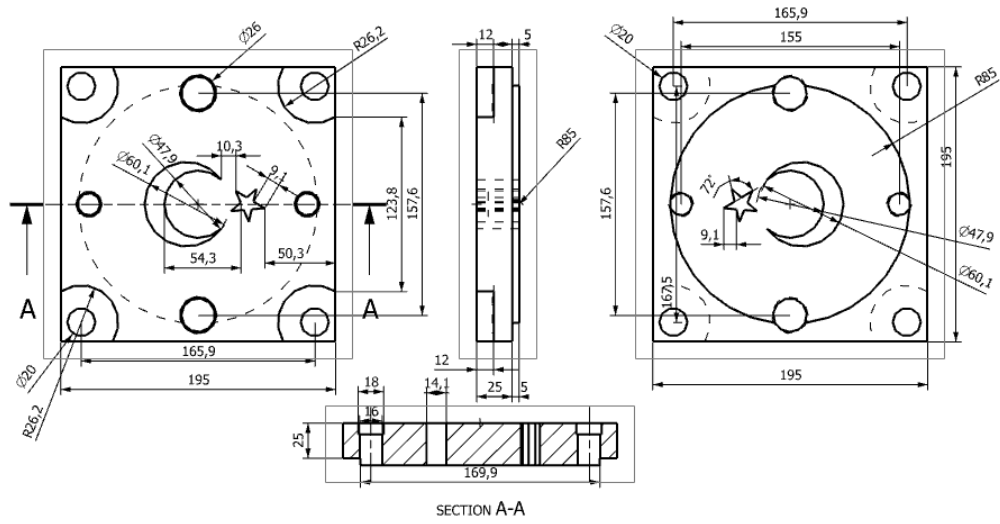
Şekil 6.11. Hassas kesme matrisi teknik resim görüntüsü.



Şekil 6.12. Kesme matrisi teknik resim görüntüsü.

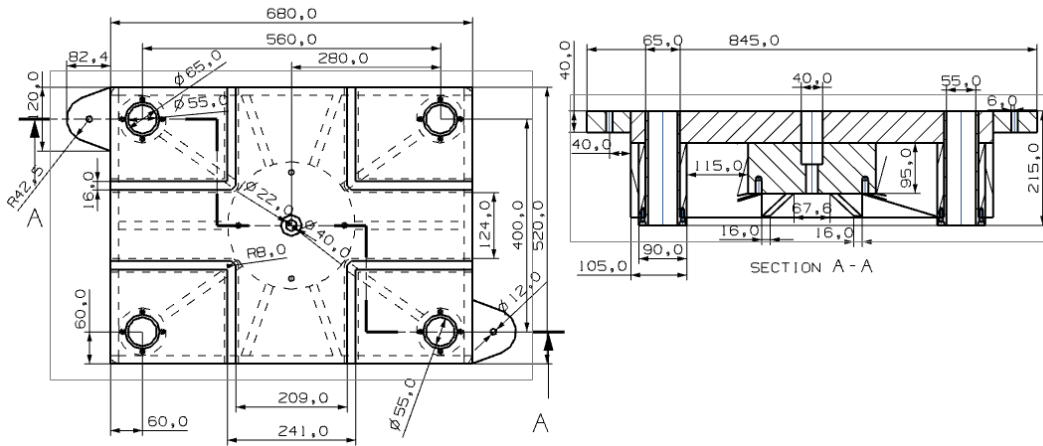
Şekil 6.11’de hassas kesme yöntemine ait matrisin teknik resmi görülmektedir. Matris yüzeyine hassas kesme yönteminin en önemli parametresi olan v çentik geometrisi açılmıştır. Şekil 6.12’de kesme yönteminde kullanılan matrisin teknik resmi görülmektedir. Kesme yöntemi matrisinde v çentik geometrisi kullanılmamıştır.

6.1.7 Sıyrıcı Plaka Tasarımı



Şekil 6. 13. Sıyrıcı plaka teknik resim görüntüsü.

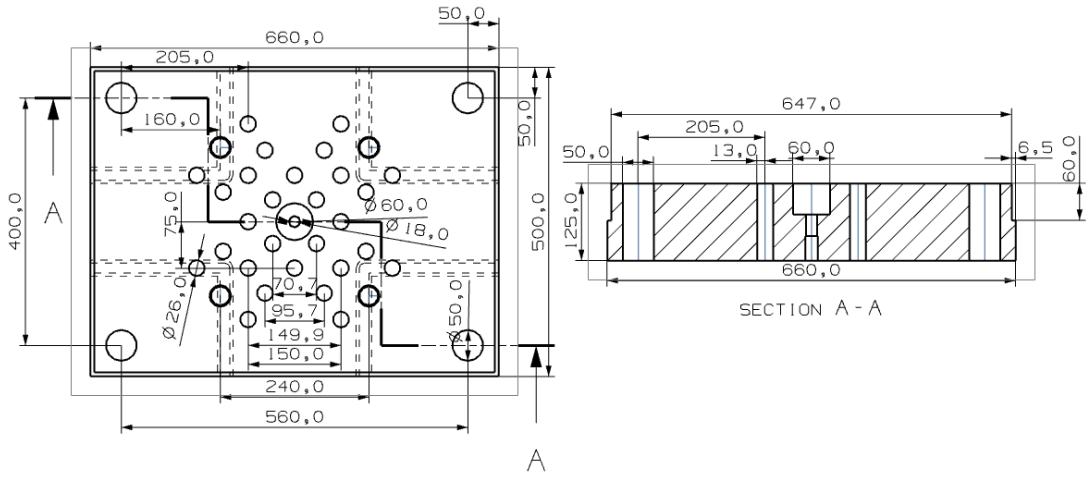
6.1.8 Üst Tabla



Şekil 6. 14. Üst tabla teknik resim görüntüsü.

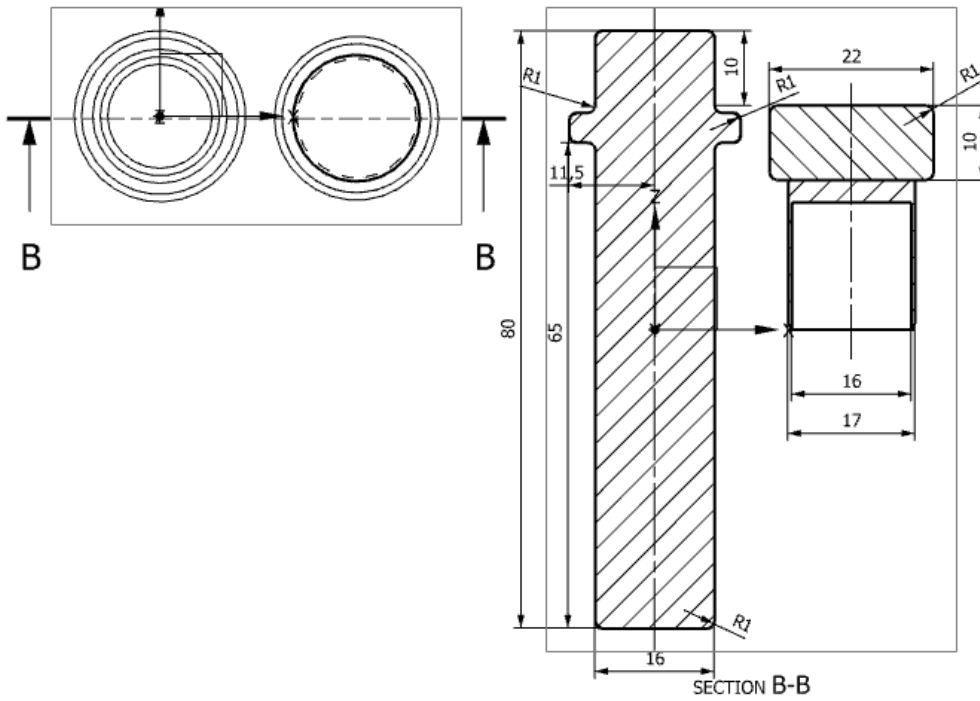
Şekil 6.13’de deney malzemesini matrise sıkıştıran ve sabitleyen sıyrıcı plakanın teknik resmi görülmektedir. Sıyrıcı plaka pres konstrüksiyonuna uygun olarak kare şeklinde tasarlanmıştır. Şekil 6.14’de zımbanın konumlandırıldığı üst tablanın teknik resmi görülmektedir.

6.1.9. Alt Tabla



Şekil 6.15. Alt tabla teknik resim görüntüsü.

6.1.10. Kolon- Burç



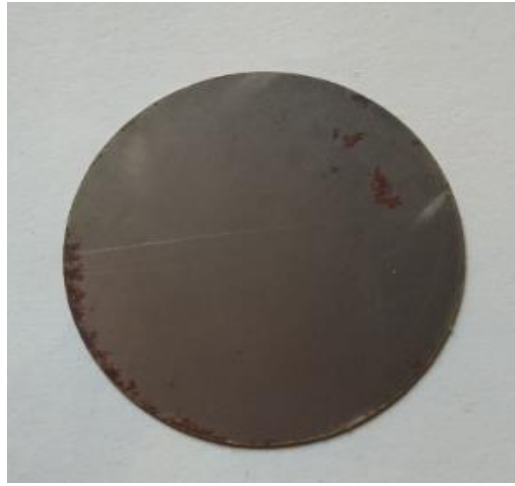
Şekil 6. 16. Kolon burç teknik resim görüntüsü.

Şekil 6.15’de sıyrıcı plakanın sabitleme vidası ve sabitleme kılavuzu yardımıyla takıldığı alt tablanın teknik resmi görülmektedir. Şekil 6.16’da kalıp bileşenlerini aynı eksenle sabit tutan kolon ve burcun teknik resmi verilmiştir.

6.2. DENEY MALZEMELERİNİN HAZIRLANMASI

6.2.1. Docol DP600 ve Docol DP800 Deney Malzemelerinin Hazırlanması

Hassas kesme yöntemi için 2 adet Docol DP600 ve 2 adet Docol DP800 kesme yöntemi için 1 adet Docol DP800 deney malzemeleri su jetiyle kesilerek plc kontrollü derin çekme presinde kesmek için uygun hale getirilmiştir. Deney malzemelerin çapı 92 mm kalınlığı 1 mm olarak belirlenmiştir. Deney malzemeleri Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de görülmektedir.



Şekil 6.17. Docol DP600 deney malzemesi.



Şekil 6.18. Docol DP800 deney malzemesi.

6.2.2. PLC Kontrollü Pres

Deneyler PLC kontrollü derin çekme presinde yapılmıştır. Yıllardır derin çekme işlerinde kullanılan hidrolik preslere kıyasla, derin çekme transfer presi ile yüksek üretim hızı ve yüksek ürün hassasiyeti elde etmek çok daha kolay ve ucuzdur [35].

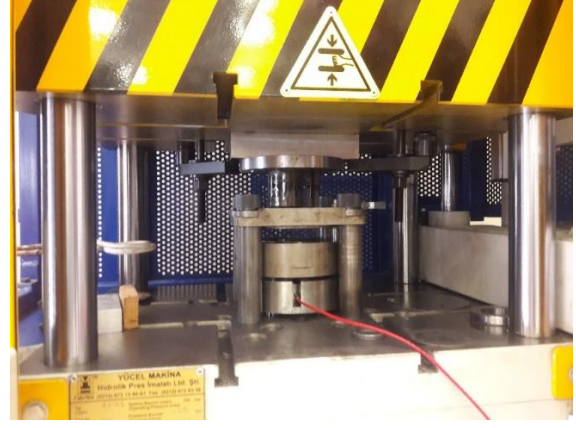


Şekil 6.19. PLC kontrollü derin çekme presi.

Ayrıca hidrolik presler de kullanılan karmaşık hidrolik tesisat sonucu oluşan yağ kaçaqları, hidrolik yağ sarfiyatı ve hidrolik pompaların çıkardığı gürültü de çevreyi olumsuz etkileyen unsurlardır. Üç eksen transfer sistemi ile hidrolik preslerde birkaç operasyonda yapılan işleri transfer kalıpları yardımıyla tek bir preste toplamak daha az eleman, pres, yer ve enerji kullanılarak daha verimli ve rekabetçi üretim gerçekleştirmek mümkündür [21]. Deneyler Şekil 6.19'da görülen PLC kontrollü derin çekme presinde yapılmıştır.



a)



b)

Şekil 6.20. a) Sıyırıcı plaka montajı b) Kesme kalıbının prese montajı.

Şekil 6.20.a'da sıyırıcı plaka 4 adet sabitleme kılavuzu yardımıyla alt tablaya sabitlenmiştir. Sabitleme kılavuzu içinden 4 adet çap 20 sabitleme vidası geçmektedir. Şekil 6.20.b'de kesme kalıbının montajı görülmektedir. Şekil 6.21'de zımba pabuçlar yardımıyla üst tabla sabitlenmiştir

Şekil 6.21'de zımbanın tutucuya ve üst tablaya montajı görülmektedir. Sıyırıcı plakada bulunan kolonun tutucu yüzeyine temas etmemesi için temas noktasına kare şeklinde torna tezgahında kare boşluk açılmıştır.



Şekil 6.21. Kesme zımbasının üst tablaya montajı.



Şekil 6.22. Hassas kesme kalıbının prese montajı.

Şekil 6.22’de hassas kesme yönteminde kullanılan kalıbın montajı görülmektedir. Şekil 6.23.a’da kesme yöntemi matrisi Şekil 6.23.b’de hassas kesme kalıbı matrisi görülmektedir. Şekil 6.23.b’de matris yüzeyinde bulunan v çentik geometrisi 0,8 mm yüksekliğine ve 1 mm genişliğine sahiptir. V çentik geometrisi ay yıldız kalıp figürünü çevrelemektedir. Ayrıca tasarımda ay yıldız kesme kenarından 25 mm uzaklıkta dış çerçeve v çentik geometrisi de kullanılmıştır. Farklı matris tasarımlarında v çentik geometrisi; matris, sıyrıcı plaka ya da her ikisinde de bulunabilir.



a)



b)

Şekil 6.23. a) Kesme yöntemi matrisi b) Hassas kesme yöntemi matrisi.

Hassas kesme ve kesme yönteminde kullanılan kalıp elemanlarının yüzeyi, Şekil 6.24.a’da görülen Arion IMM 1100 marka dik işleme tezgahında işlenmiştir. İlk olarak kalıp yüzeyinin pürüzsüz olabilmesi için, matris kütüğünden 2 mm talaş kaldırma işlemi Şekil 6.24.b’de görülen tarama takımıyla yapılmıştır.

Daha sonra hassas kesme v çentik geometrisi ölçüsü ilk olarak çap 32 hızlı takım ile kaba işleme yapılmış daha sonra Şekil 6.24.c’de görülen çap 24 takım ile çapak kaldırmaya devam edilmiştir. Sıyırıcı plakadaki çap 24 kolon deliği çap 26 burç delikleri hızlı takım ile açılmıştır. Sıyırıcı plakada bulunan çap 16 kolon deliği ise tel erozyon yöntemiyle açılmıştır. Takımların devir ve ilerleme miktarı optimum seviyede tutularak işlem tamamlanmıştır. Yüzeydeki çapakları temizlemek ve son v çentik geometrisinin figürünü oluşturmak için çap 12 ve çap 8 finiş takımıyla işlenerek istenilen v çentik figürü elde edilmiştir. Zımba, matris ve sıyırıcı plaka kalıp parçalarını işlemek için Cimetron Cam programı kullanılmıştır ve G kodları USB vasıtasıyla CNC tezgaha takılarak kalıp parçaları işlenmesinde büyük kolaylık sağlamıştır.



a)



b)



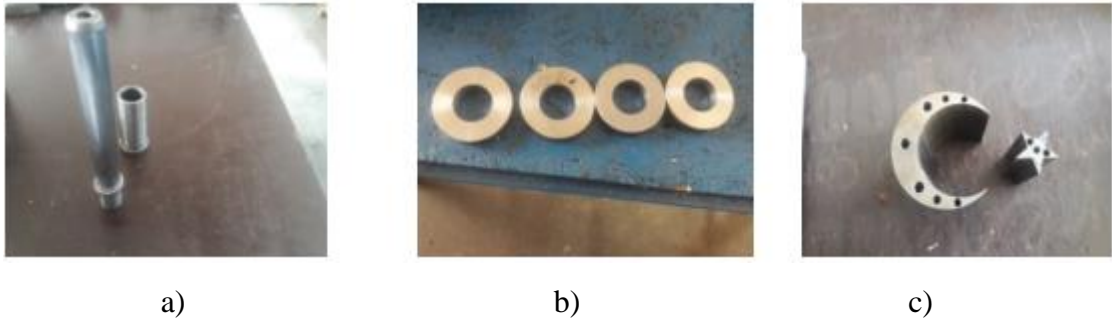
c)

Şekil 6.24. a) Arion IMM 1100 dik işleme tezgahı b) Çap 63 tarama c) Çap 24 hızlı takım.



Şekil 6. 25. Sıyırıcı plaka.

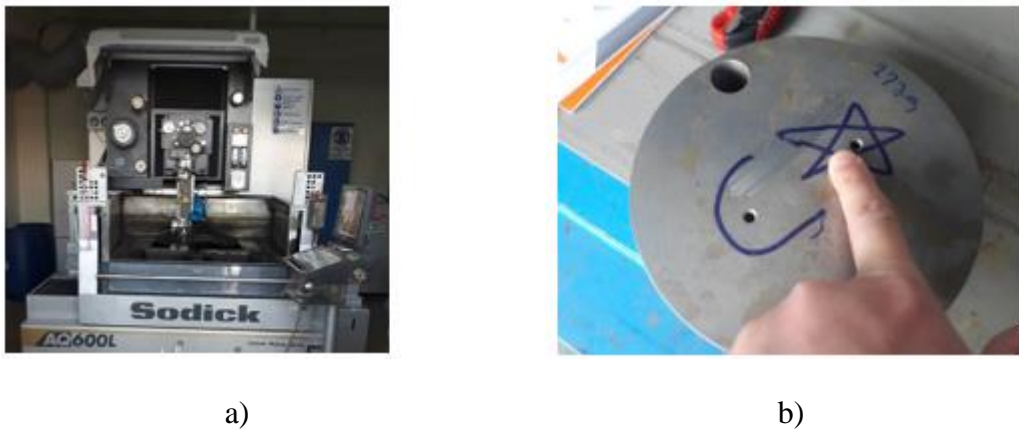
Şekil 6.25’de görülen sıyırıcı plaka kare olarak tasarlanmıştır. Şekil 6.26.a’da kalıp sıyırıcı plakayı ve matrisi sabitleyen kolon burç görülmektedir. Şekil 6.26.b’de görülen sıyırıcı plaka sabitleme vidası için 4 adet çap 24 pul yapılmıştır. Şekil 6.26.c’de ay yıldız zımbasının tutucu plakasına sabitlemek için açılan pim yerleri görülmektedir.



Şekil 6.26. a) Çap 24 kolon, çap 26 burç b) Sıyırıcı plaka çap 24 pulları c) Ay yıldız pim delikleri.

6.2.3. Tel Erozyon

Hassas kesme yöntemi ve kesme yönteminde kullanılan sıyırıcı plaka, zımba ve matris’de bulunan ay yıldız figürü ve çap 16 kolon deliği Şekil 6.27.a’daki tel erozyon tezgahıyla açılmıştır. Kalıbın tasarlandığı Cad programındaki eksenle tel erozyon tezgahında eksen aynı kullanılmıştır. Şekil 6.27.b’de görülen ay figürünün iç çap değerinden 20 mm mesafeye yıldız figürünün ise tam ortasından geçecek şekilde freze takımıyla delik açılarak buradan telin geçmesi sağlanmıştır. Tel erozyon yöntemi metallerin üzerinden tel vasıtasıyla elektrik akımının yoğun olarak geçirilmesiyle yapılan kesme işlemidir [36].

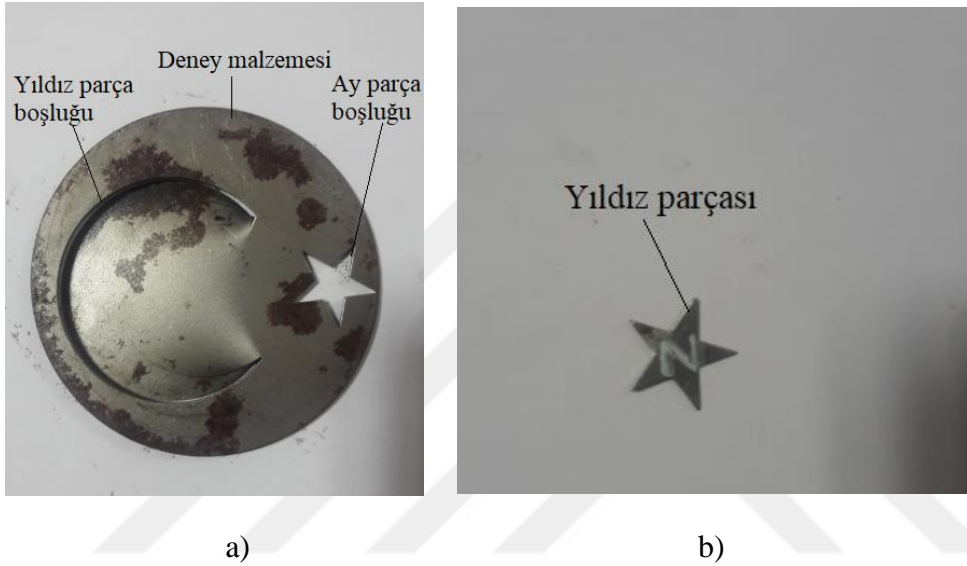


Şekil 6.27. a) Sodick AQ600 L Tel erozyon tezgahı b) Tel erozyon telinin geçmesi için açılan delik konumları.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. HASSAS KESME VE KESME YÖNTEMİ AY YILDIZ PARÇALARI

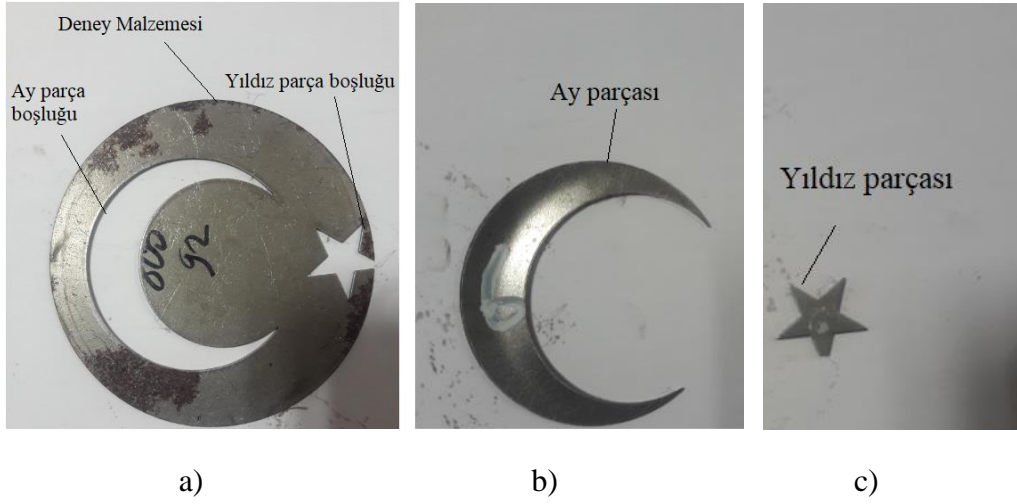
7.1.3. Kesme Yöntemi Docol DP800 Kesimi



Şekil 7.1. Docol DP800 Kesme yöntemi a) Deney malzemesi ve parça boşlukları b) Yıldız parçası.

Şekil 7.1.a'da deney malzemesi ve parça boşlukları görülmektedir. Şekil 7.1.a'da görüldüğü gibi ayın kenar kısmının koptuğu ve yıldızın ise deney malzemesinden tamamen ayrıldığı görülmektedir. Şekil 7.1.b'de ise deney malzemesinden ayrılan ay parçası görülmektedir. Kesme yönteminde deney malzemesi sıyırıcı plaka ve matris arasına koyularak zımba ve matrise zıt yönde hareket verilmiştir. Zımbanın deney malzemesi üzerine batmasıyla malzemeyi kesme boşluğuna itmiştir. Zımbada ve matriste bulunan köşe radyusleri yardımıyla deney malzemesinde ay yıldız figürlü radyus bantları oluşturmuştur [17]. Malzemenin kesme boşluğuna boyun vermesi sonucu elde edilecek ürün malzemedan belli bir miktar kesildikten sonra koparak ayrılır. Ay yıldız parçası da deney malzemesinden koparak ayrılmıştır.

7.1.2. Hassas Kesme Yöntemi Docol DP600 Kesimi

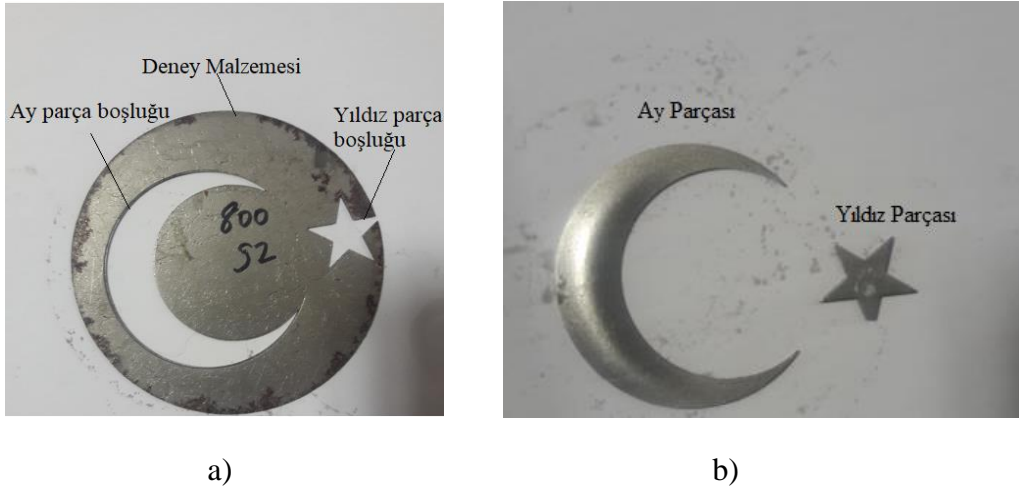


Şekil 7.2. Docol DP600 hassas kesme yöntemi a) Deneý malzemesi ve parça boşlukları
b) Ay parçası c) Yıldız parçası.

Docol DP600 deneý malzemesi hassas kesme yöntemiyle kesilerek ay yıldız parçaları oluşturulmuştur. İlk olarak deneý malzemesi sıyırıcı plaka ve matris arasında konularak çift etkili presin sıkıştırması sağlanmıştır. Daha sonra üst tablada bulunan zımba, sıyırıcı plaka içinden geçerek zıt yönde hareket eden matris vasıtasıyla deneý malzemesinin tamamına yakını kesmiştir.

Şekil 7.2.a'da Docol DP600 deneý malzemesinin hassas kesme yöntemiyle elde edilen ay ve yıldızın parça boşlukları görülmektedir. Şekil 7.2.b ve c'de görüldüğü gibi ay yıldız parçaları deneý malzemesinden tamamına yakını kesilerek ayrılmıştır.

7.1.1.Hassas Kesme Yöntemi Docol DP800 Ay Yıldız Parçaları



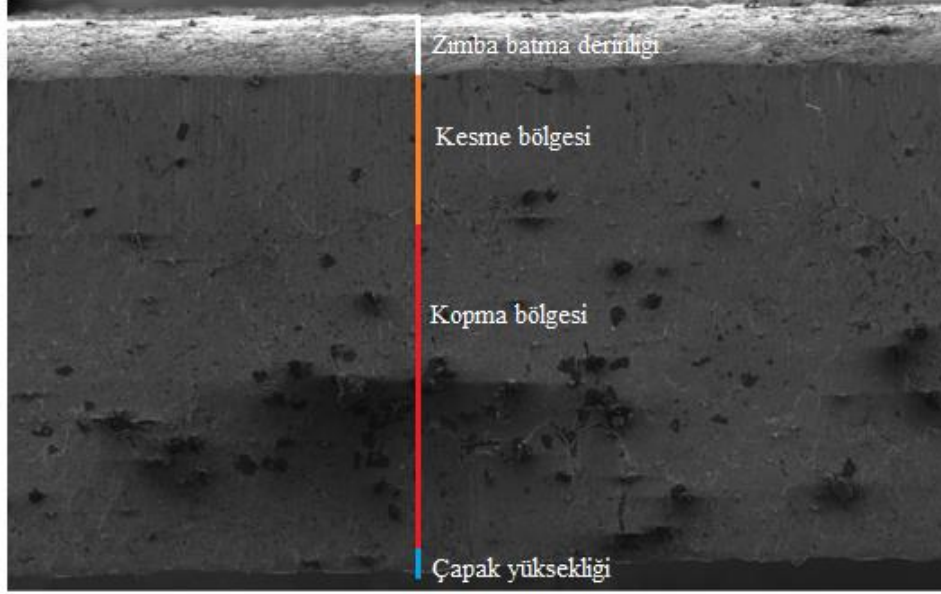
Şekil 7.3. Docol DP800 hassas kesme yöntemi a) Deney malzemesi ve parça boşlukları
b) Ay ve yıldız parçası.

Şekil 7.3.a’da Docol DP800 deney malzemesinin hassas kesme yöntemiyle kesilmiş ay ve yıldızın parça boşlukları görülmektedir. Şekil 7.3.b’de ise kesilen ay yıldız parçaları görülmektedir. Kesilen ay yıldız parçalarının kenar kesim kaliteleri ve v çentikli baskı bileziğinin hassas kesme yöntemindeki önemi incelenmiştir. Çift etkili PLC kontrolü preste çalışılan hassas kesme matrisi sıyrıcı plakayla beraber deney malzemesini tamamen sıkıştırması sonucunda matriste bulunan v çentikli baskı bileziğinin deney malzemesine batarak malzemeyi sabitlemiştir. V çentikli baskı bileziğinin sayesinde malzeme yatay yüklerden etkilenmediği için ay yıldız parçaları kopmaktan çok kesilerek malzemedan ayrılmıştır.

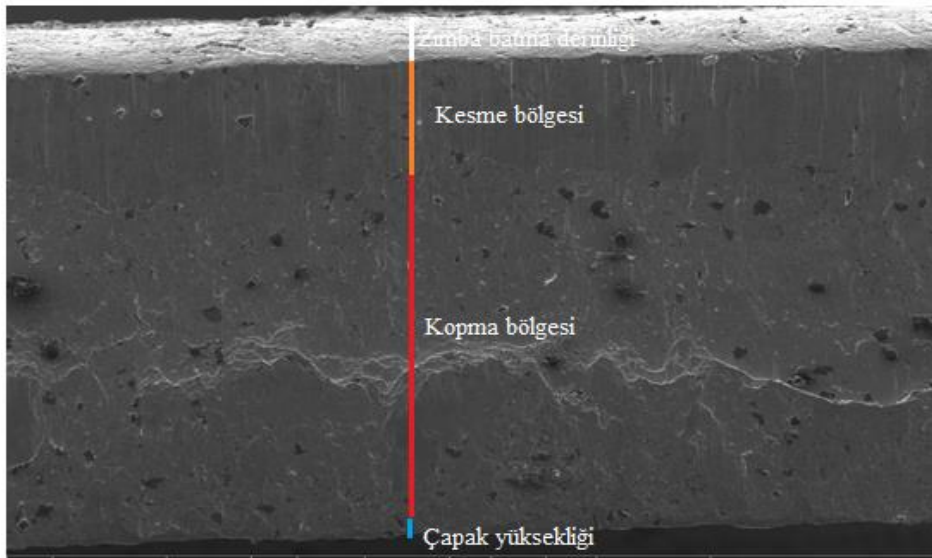
7.2. SEM GÖRÜNTÜLERİNİN İNCELENMESİ

Docol DP800 ve Docol DP600 sac malzemelerin hassas kesme yöntemi ve kesme yöntemiyle kenar kesim kaliteleri 500X ve 1000X mercekle görüntülenerek incelenmiştir.

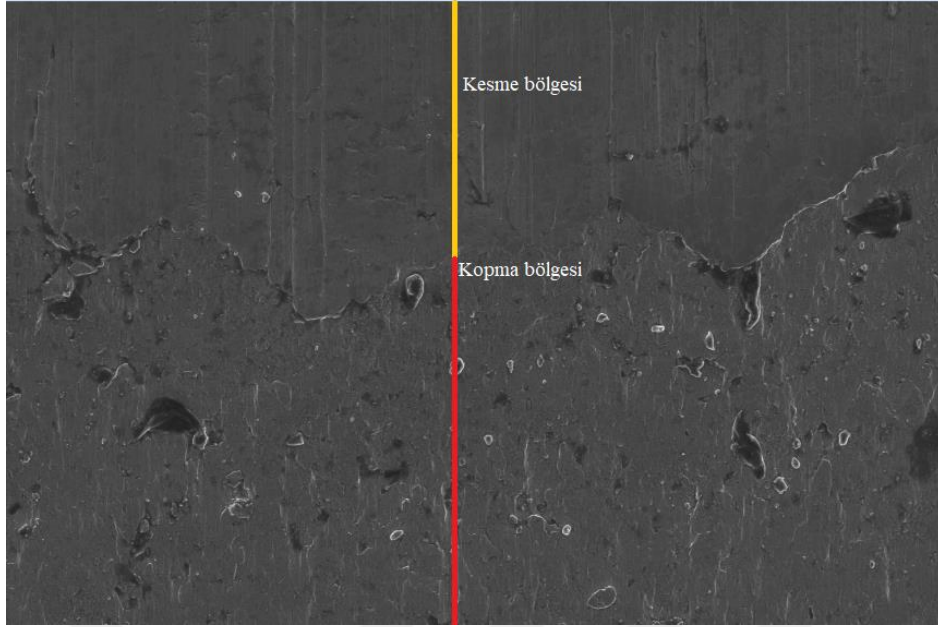
7.2.1. Kesme Yöntemi Docol DP800 Yüzey İncelenmesi



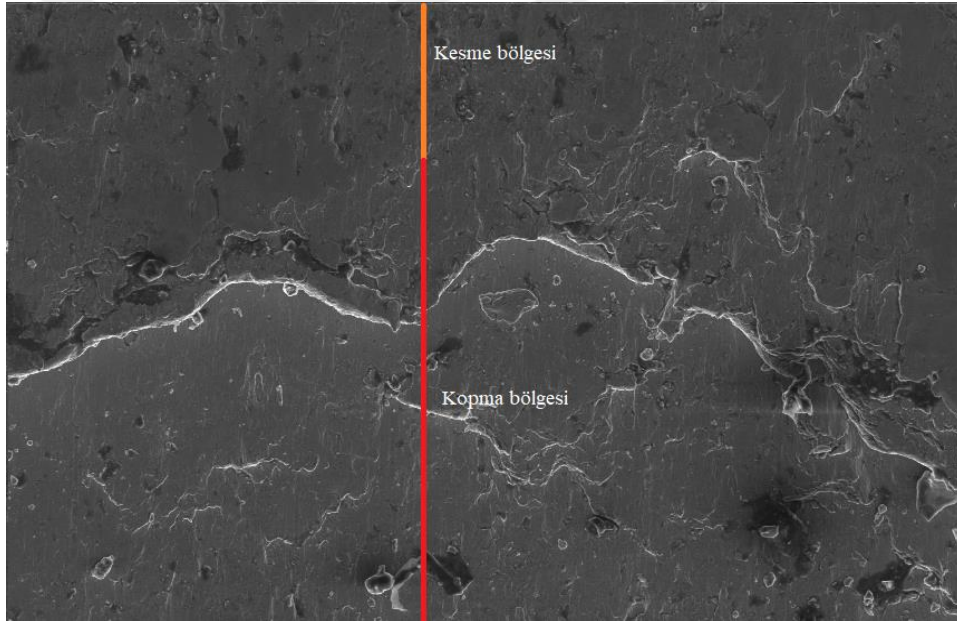
Şekil 7.4. Kesme yöntemi Docol DP800 1000X ay parçası kesim yüzeyi.



Şekil 7.5. Kesme yöntemi Docol DP800 1000X yıldız parçası kesim yüzeyi.



Şekil 7.6. Kesme yöntemi Docol DP800 1000X ay deney malzemesi kesim yüzeyi.



Şekil 7.7. Kesme yöntemi Docol DP800 1000X yıldız deney malzemesi kesim yüzeyi.

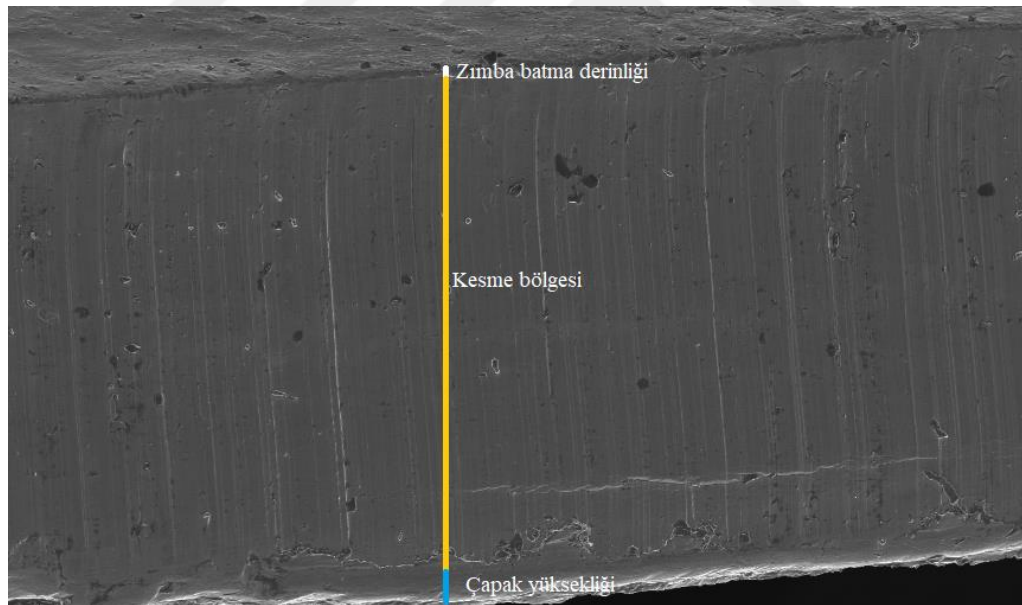
Kesme yöntemiyle yapılan deneyler; ay yıldız parça boşlukları ve deney malzemesinden ayrılan ay yıldız parçalarının kenar kesim yüzeyleri incelenmiştir. Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7 'de kesme yöntemiyle elde edilen taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope- SEM) görüntüleri verilmiştir. Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de yüzeyde çukurcuk ve kademeli kopma görülmüştür. Kesme boşluğunda matrisin kesme kenarında bulunan radyuslü kenarın deney malzemesine etki etmesiyle malzeme kesme boşluğunda boyun vermeye ve plastik şekil değiştirmeye başlamıştır. Daha sonra deney

malzemesi ay ve yıldızın geometrik şeklini alarak yüksek oranda kavislenme genişliği ve derinliği oluşmuştur. Bu durum üretim hatası olarak bilinir.

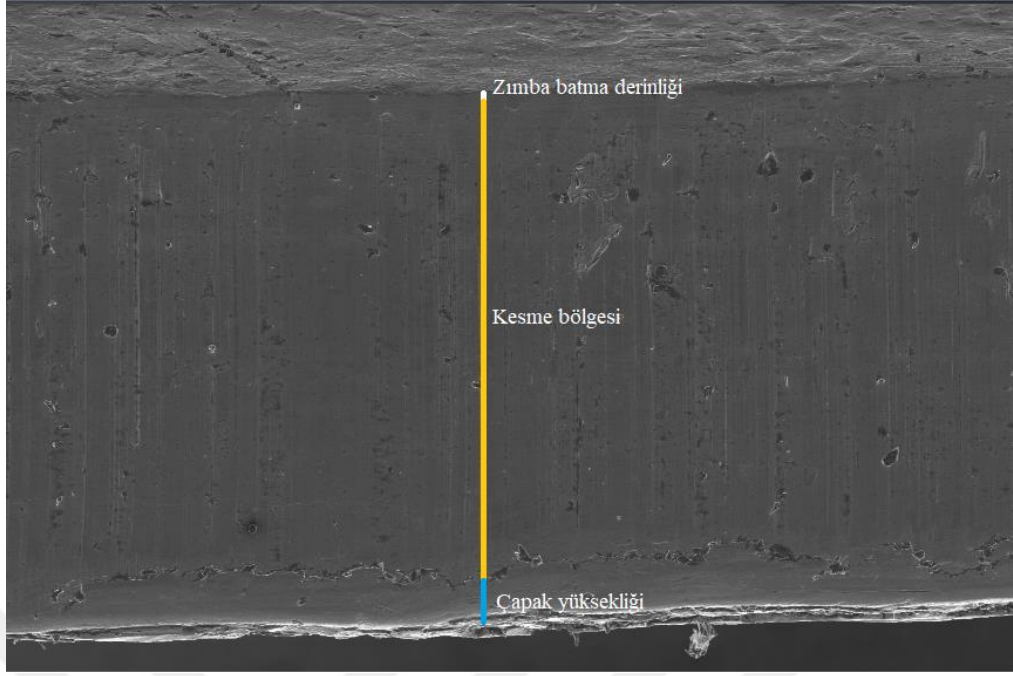
Şekil 7.4 ve Şekil 7.5’de kopma bölgesi uzunluğu kesme bölgesi uzunluğundan daha yüksektir. Zimba deney malzemesine battıktan sonra malzemeyi belli bir miktar kesmiş ve ardından malzemeyi kopartarak kalıptan ayırmıştır. Ay yıldız parçalarının deney malzemesinden koparak ayrılması üretim hatası olarak bilinen mikro çatlaklar ve kademeli kesitler oluşturmaktadır. Kopan parçaların oluşturmuş olduğu mikro çatlaklar parçanın kullanıldığı yerdeki yüklemeler altında birleşerek parçanın kolay deforme olmasına sebep olmaktadır. Bu durum sürekli parça değişimini ve ekstra maliyeti beraberinde getirmektedir.

Şekil 7.7’de yatay kademeler ve çukurlar bulunmaktadır. Buda parçanın art arda koptuğu anlamına gelir. Ayrıca bölgede kaba ve yüzeyde bir miktar çukurcuk ile mikro çatlaklar tespit edilmiştir.

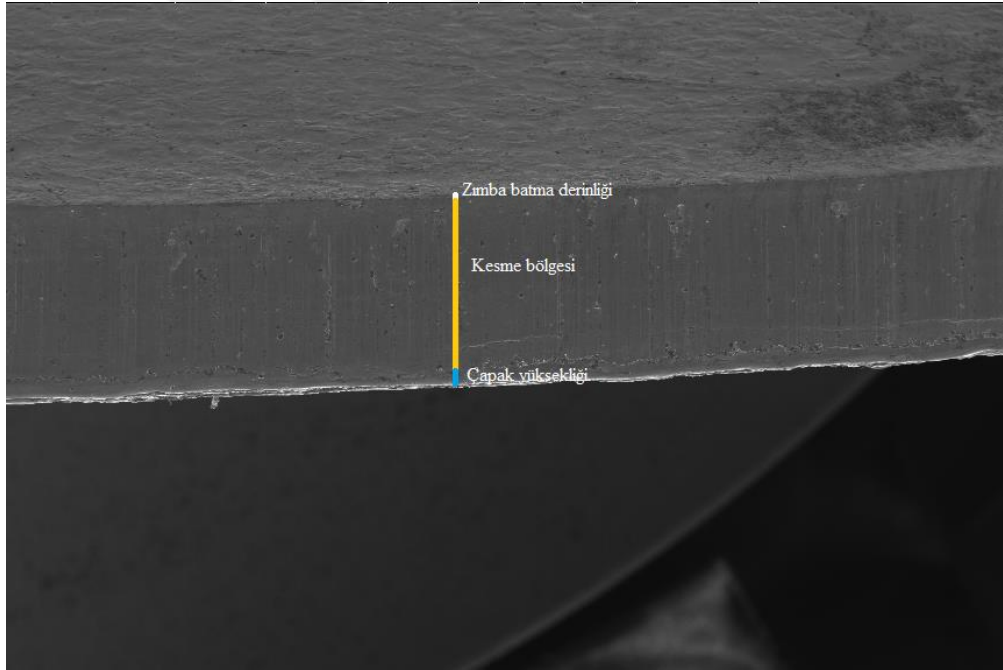
7.2.2. Hassas Kesme Yöntemi Docol DP600 Yüzey İncelenmesi



Şekil 7.8. 1.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP600 500X ay parçası kesim yüzeyi.

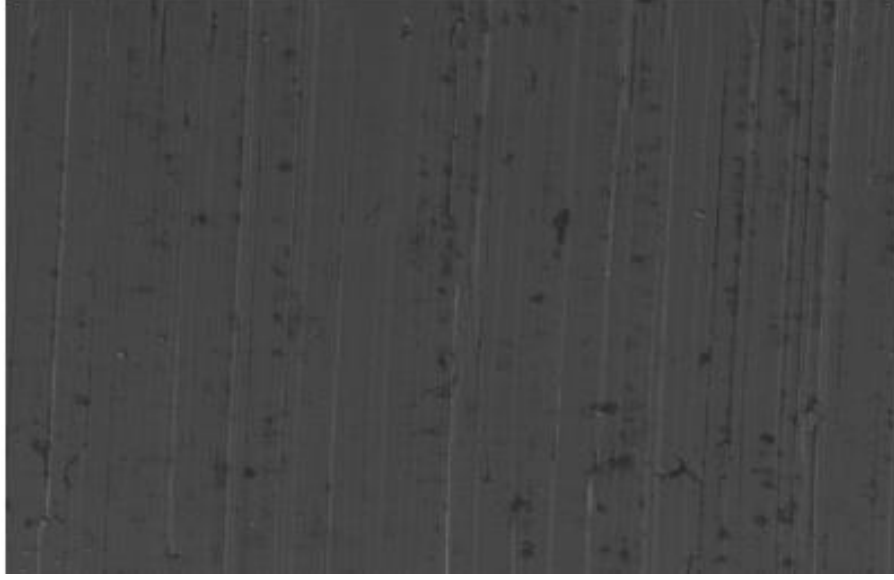


Şekil 7.9. 1.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP600 500X yıldız parçası kesim yüzeyi.



Şekil 7.10. 2.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP600 500X ay parçası kesim yüzeyi.

Şekil 7.9’da deney malzemesinin kenar kesim kalitesine baktığımızda mikro çatlak oluşmadığı yıldız parçasının deney malzemesinden kopmadan tamamına yakınının kesilerek ayrıldığı görülmüştür. Şekil 7.10’da ay parçasının deney malzemesinden kopmadan tamamına yakınının kesilerek oluştuğu görülmüştür.

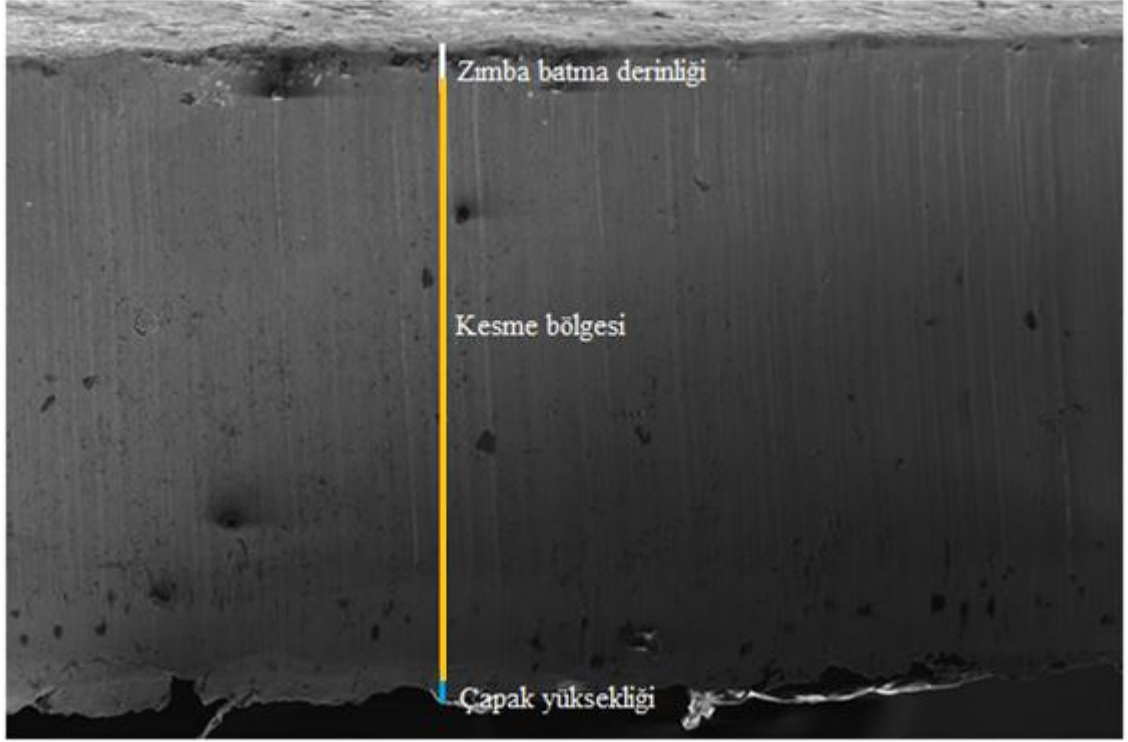


Şekil 7.11. 2.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP600 1000X yıldız parçası kesim yüzeyi.

Şekil 7.8’de 1. deney malzemesini ay kesim yüzeyi ve Şekil 7.9’da yıldız kesim yüzeyi SEM görüntüsü verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi parçanın tamamına yakının kesilerek deney malzemesinden ayrıldığı görülmektedir. Deney malzemesinden ayrılan parçaların tamamına yakınının kesilmesi kenar kesim kalitesi için önemlidir. Bu durum mikro çatlak oluşumunu büyük oranda engellemiştir. Şekil 7.11’de yıldız parçasının kesim yüzeyi görülmektedir. Kesim çizgileri eksen boyunca bir sapma göstermemiştir. Ayrıca zımba hareketinin doğrusal yönünü takip ederek istenilen kalitede yüzey elde edilmiştir.

Şekil 7.11’de görüldüğü gibi yüzeyde mikro çatlak, kademeli kopma ve çukurcuk gibi kesme yönteminde ortaya çıkan problemler görülmemiştir. Kaliteli kenar kesim yüzeyi elde etmek için hassas kesme yönteminde kullanılan v çentikli baskı bileziğinin ne kadar önemli olduğu görülmüştür.

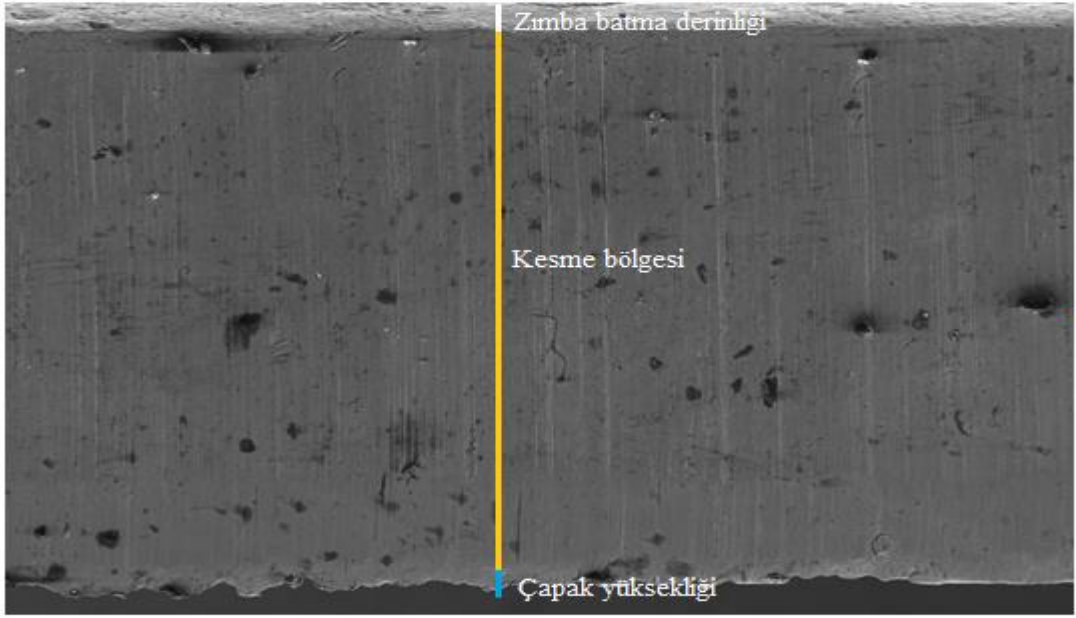
7.2.3. Hassas Kesme Yöntemi Docol DP800 Yüzey İncelenmesi



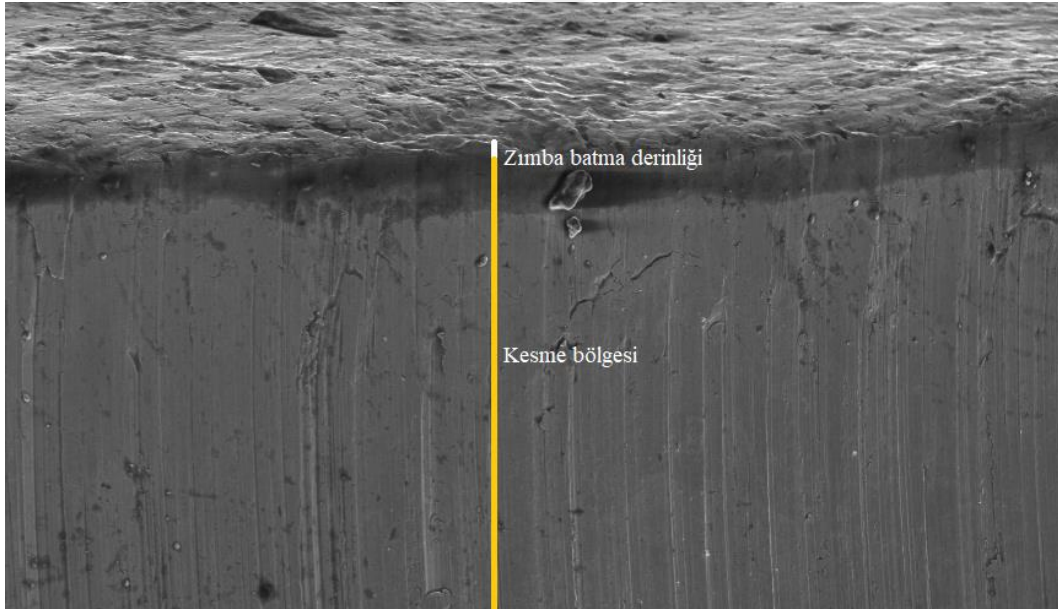
Şekil 7.12. 1.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP800 1000X yıldız parçası kesim yüzeyi.

Şekil 7.12’de deney malzemesinin hassas kesme yöntemiyle kesilerek elde edilen yıldızın kenar kesimindeki SEM görüntüsü verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kesme işlemi tamamlandıktan sonra kenar yüzeyde zımba batma derinliği, kesme bölgesi ve çapak yüksekliği oluşmuştur. Çapak yüksekliği v çentik geometrisi ölçülerine göre değişiklik göstermektedir. Şekil 7.12’de zımbanın deney malzemesine bir miktar battıktan sonra malzemenin tamamına yakını keserek yıldız parçasını oluşturduğu görülmektedir. Kesme bölgesinin uzunluğu zımba batma derinliğinden ve çapak yüksekliğinden oldukça yüksektir.

Şekil 7.12’de görüldüğü gibi deney malzemesinin kenar kesim yüzeyinde mikro çatlak görülmemiştir. V çentik geometrisinin avantajı deney malzemesinin kenar kesim yüzeyinde daha iyi anlaşılmasıdır.

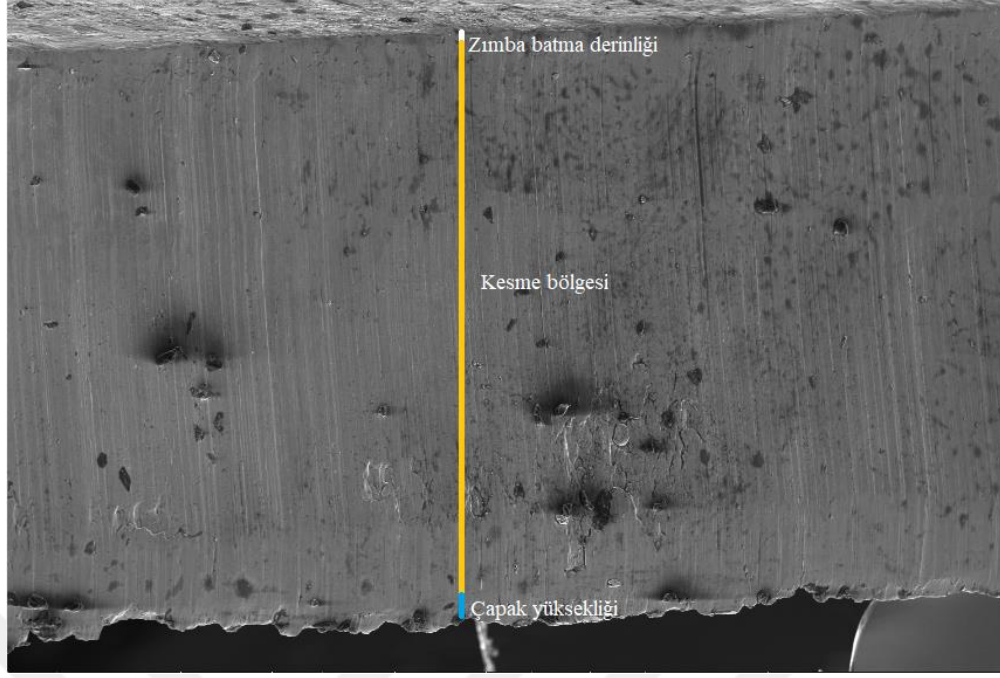


Şekil 7.13. 1.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP800 1000X ay parçası kesim yüzeyi.



Şekil 7.14. 2.Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP800 1000X yıldız parçası kesim yüzeyi.

Şekil 7.13’de kesilen ay parçasının yüzeyinde çatlak oluşmadığı görülmüştür. Ay parçası v çentik geometrisi sayesinde deney malzemesinde tamamına yakını kesilerek malzemedен ayrıldığı görülmüştür.



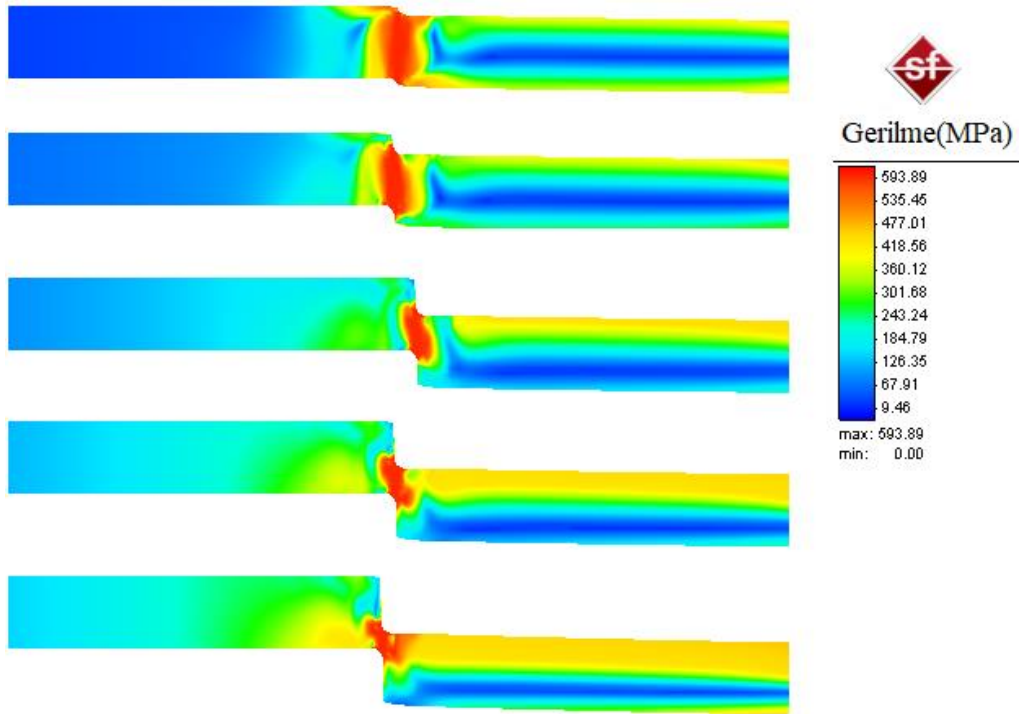
Şekil 7.15. 2. Deney malzemesi hassas kesme yöntemi Docol DP800 1000X ay parçası kesim yüzeyi.

Şekil 7.14 ve Şekil 7.15' de 2. deney malzemesinin hassas kesme yöntemiyle kesilerek elde edilen yıldız ve ayın SEM görüntüsü verilmiştir. Yıldız ve ay parçasının şekilde görüldüğü gibi matriste bulunan v çentik geometrisi sayesinde deney malzemesini tamamına yakını kesilerek oluşturulduğu görülmektedir. Bu yüzden yıldız ve ay kesim yüzeyine benzer yapıda çapak ve kesme yüzeyi elde edilmiştir. Yukardaki şekillerde elde edilen kesme bölgesi yüksekliği zımba batma ve çapak yüksekliğinden uzundur. Parçanın tamamına yakını deney malzemesinden kesilerek ayrılması istenilen bir durumdur. Kenar kesim yüzeyinde mikro çatlak ve diğer kademeli kopma bölgeleri oluşmamasından dolayı parçanı herhangi bir yükleme altında kısa sürede deforme olmaması beklenir.

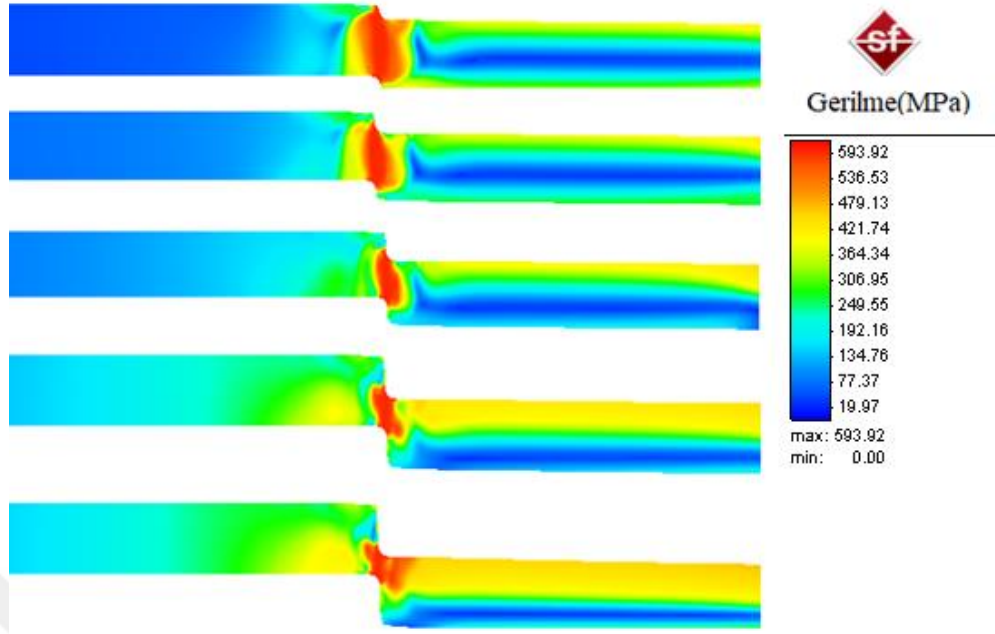
8. ANALİZ SONUÇLARI

8.1. SIMUFACT FORMING V16 SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI

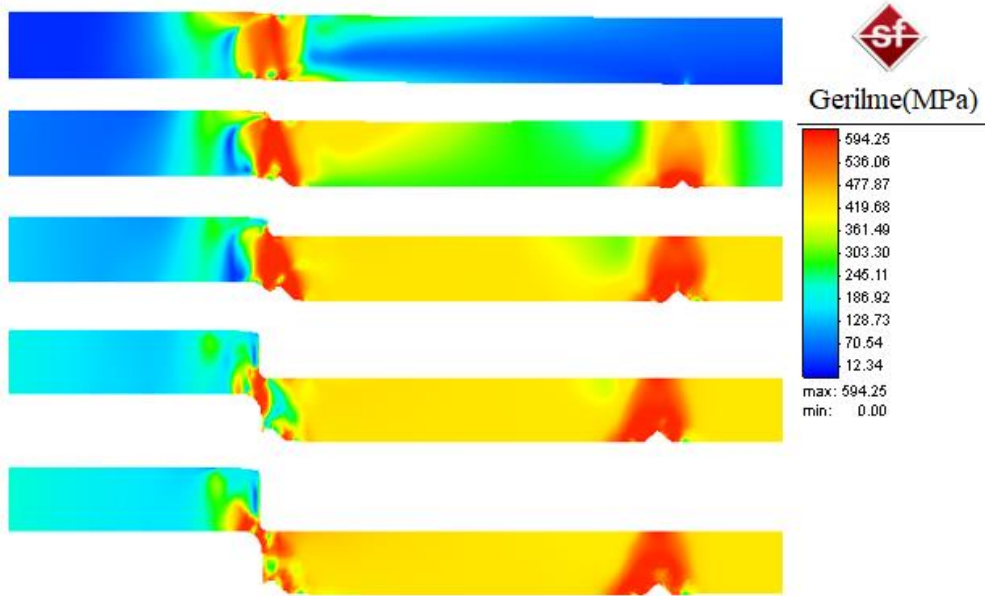
Docol DP600 ve Docol DP800 malzemelerinin simufact forming V16 fine blanking modülü kullanılarak hassas kesme yöntemi ve kesme yöntemindeki kesme parametreleri incelenmiştir. Deney malzemeleri 1 mm kalınlığında, 92 mm çapında Cad modeli tasarlanmıştır. Hassas kesme ve kesme yönteminde tek taraflı kesme boşluğu 0,031 mm olarak sabit tutulmuştur. Analizde ayrıca her iki yönteme ait gerilme, kavislenme genişliği ve derinliği, çapak yüksekliği, zımba kuvvetleri arasındaki farklarda görülmüştür.



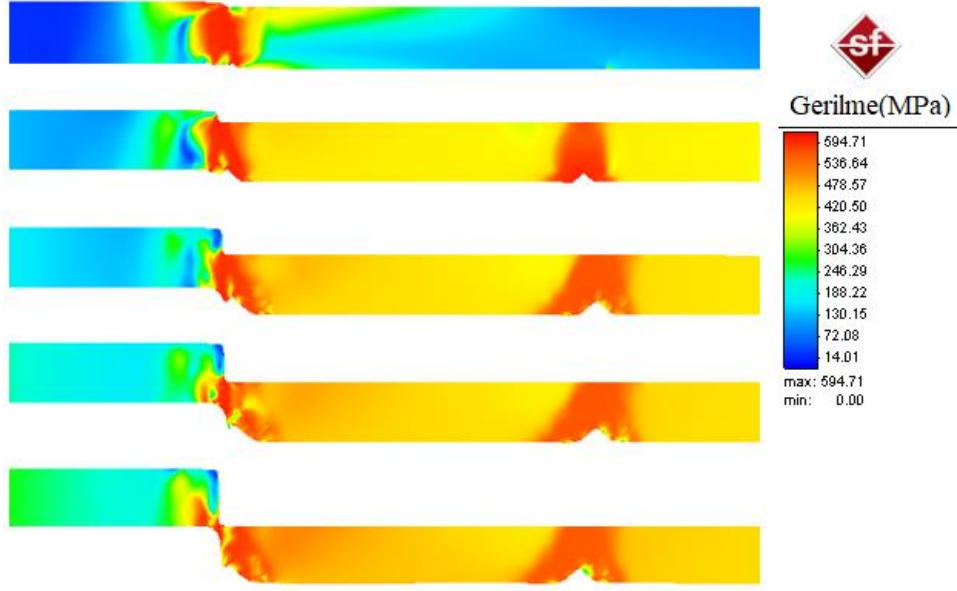
Şekil 8.1. Docol DP600 malzemesi kesme yöntemi gerilme analizi.



Şekil 8.2. Docol DP800 malzemesi kesme yöntemi gerilme analizi.

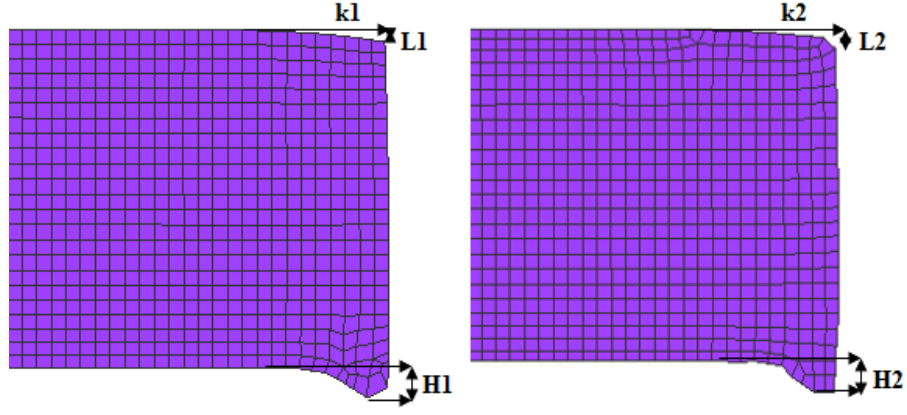


Şekil 8.3. Docol DP600 malzemesi hassas kesme yöntemi gerilme analizi.



Şekil 8.4. Docol DP800 malzemesi hassas kesme yöntemi gerilme analizi.

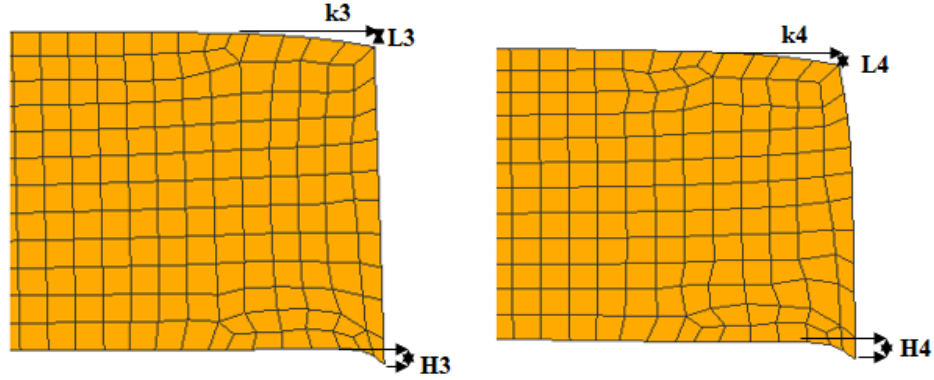
Hassas kesmenin önemini açıklamak ve hassas kesme kalıbının daha iyi anlaşılabilmesi için analizler kesme kalıpları ile de desteklenmiştir. Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de kesme yöntemiyle Docol DP600 ve Docol DP800 malzemelerine ait gerilme analizi görülmektedir. Kesme yönteminde en yüksek gerilme değeri Docol DP800 malzemesinde 593,92 MPa olarak meydana gelmiştir. En yüksek gerilme değeri ise zımba ve matrise yakın bölgede oluşmuştur. Ayrıca malzemenin kesme şeridi boyunca gerilmenin artarak devam ettiği görülmektedir. Şekil 8.3 ve Şekil 8.4’de Docol DP600 ve Docol DP800 malzemesinin hassas kesme yöntemiyle elde edilen gerilme analizi görülüyor. Burada en yüksek gerilme Docol DP800 malzemesinin kesildiği hassas kesme yönteminde 594,71 MPa olarak meydana gelmiştir. Gerilmenin malzemeye batan dış çerçeve v çentik geometrisi bölgesinde artarak malzemeyi sabit tuttuğu ve ay yıldız figürünü çevreleyen v çentik geometrisi bölgesinde ise kesilen kenar boyunca maksimum değerde olduğu görülmektedir. V çentikli baskı bilezikli kalıpta yüksek gerilme çıkmasının sebebi malzemenin yatay yükler nedeniyle sürtünme etkisinden ve temas basıncının artmasından kaynaklı olduğu söylenebilir.



a)

b)

Şekil 8.5. Kesme yöntemi kavislenme genişliği (k_1 , k_2), kavislenme derinliği (L_1 , L_2), çapak yüksekliği (H_1 , H_2) a) Docol DP600 b) Docol DP800



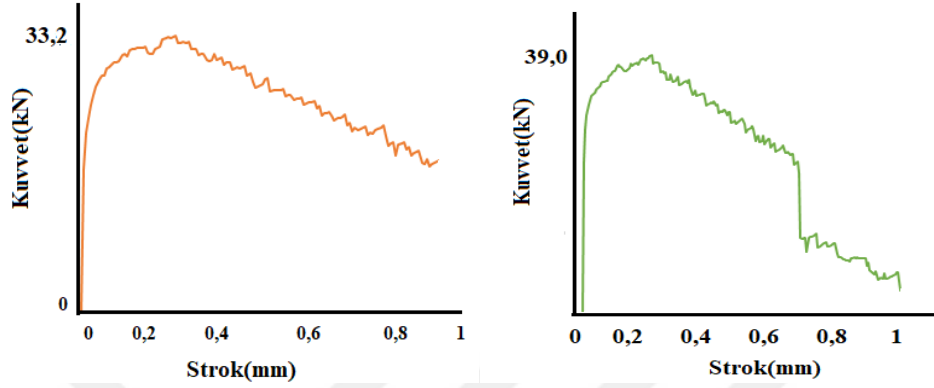
a)

b)

Şekil 8.6 Hassas kesme ve kesme yöntemi kavislenme genişliği (k_3 , k_4), kavislenme derinliği (L_3 , L_4), çapak yüksekliği (H_3 , H_4) a) Docol DP600 b) Docol DP800

Kesme yöntemi yöntemiyle yapılan Docol DP600 ve Docol DP800 deney malzemelerine ait analiz sonucu Şekil 8.5’de görülmektedir. Docol DP600 deney malzemesiyle yapılan analiz sonucuna göre kavislenme genişliği (k_1) 0,725 mm kavislenme derinliği (L_1) 0,157 mm çapak yüksekliği (H_1) 0,163 mm’dir. Docol DP800’de kavislenme genişliği (k_2) 0,798 mm, kavislenme derinliği (L_2) 0,161 mm, çapak yüksekliği (H_2) 0,191 mm olarak bulunmuştur. Hassas kesme yöntemiyle yapılan Docol DP600 ve Docol DP800 deney malzemesine ait analiz sonuçları Şekil 8.6’da görülmektedir.

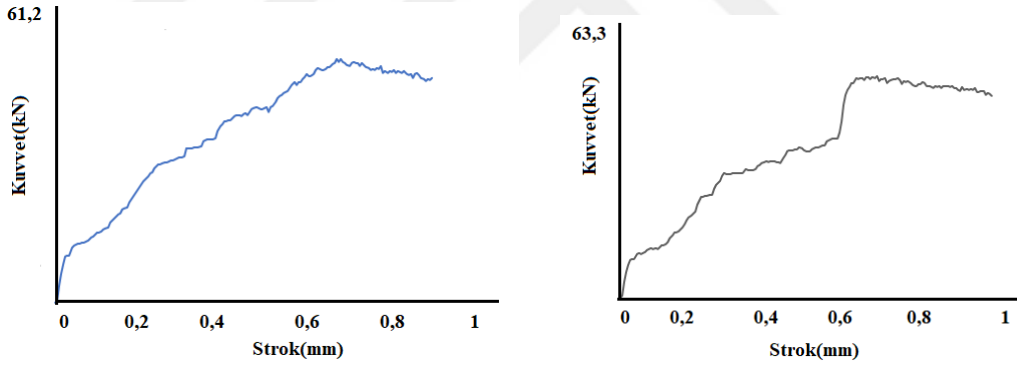
Docol DP600 deney malzemesiyle yapılan analiz sonucuna göre kavislenme genişliği (k3) 0,691 mm kavislenme derinliği (L3) 0,102 mm çapak yüksekliği (H1) 0,084 mm'dir. Docol DP800'de kavislenme genişliği (k4) 0,701 mm, kavislenme derinliği (L4) 0,120 mm, çapak yüksekliği (H4) 0,093 mm olarak bulunmuştur.



a)

b)

Şekil 8.7. Kesme yöntemi zımba kuvveti a) Docol DP600 b) Docol DP800



a)

b)

Şekil 8.8. Hassas kesme yöntemi zımba kuvveti a) Docol DP600 b) Docol DP800.

Şekil 8.7’de kesme yöntemiyle Docol DP600 ve Docol DP800 deney malzemesinin kesilmesi sonucu ortaya çıkan zımba kuvvetleri görülmektedir. Kesme yönteminde Docol DP600’ü kesmek için 33,2 kN kuvvete ihtiyaca duyulurken Docol DP800’de ise 39,0 kN’luk kuvvete ihtiyaç vardır. Şekil 8.8’de hassas kesme yöntemiyle Docol DP600 ve Docol DP800 deney malzemesinin kesilmesi sonucu ortaya çıkan zımba kuvveti görülmektedir. Docol DP600’de 61,2 kN’luk kesme kuvveti görülürken, Docol DP800’de ise 63,3 kN’luk kuvvet görülmüştür. Hassas kesme yönteminin kesme yöntemine göre daha yüksek zımba kuvveti çıkmıştır. Bunun sebebi ise deney malzemesini zımba ve karşı zımba tarafından ters simetrik olarak sıkıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Karşı zımbaya uygulanan yüksek orandaki kuvveti zımba karşılamaktadır. Deney malzemesi iki zımba arasında sıkıştırılarak matrisin malzemeyi istenilen kalitede kesilmesi sağlanır. Kesme yöntemiyle yapılan analiz sonucunda zımba kuvveti hassas kesme yöntemine göre daha az çıkmıştır. Deney malzemesinin hassas kesme yöntemindeki gibi başka bir kalıp elamanı tarafından sıkıştırılamamaktadır. Zımba deney malzemesini kalıp boşluğuna iterek matris yardımıyla kesilmesi sağlanır. Bu sayede zımbayı etkileyen deney malzemesindeki yüksek oranda ki direnç kuvvetidir.

9.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. SONUÇLAR

Yüksek mukavemetli sacların hassas kesme yöntemiyle kesme parametrelerinin incelenmesi isimli bu tez çalışmasında yaygın olarak kullanılan ve ülkemizde yeni yeni kullanılmaya başlanan hassas kesme yöntemi incelenmiştir. Çalışmada hassas kesme yönteminin kesme yöntemine göre ne gibi avantajları olduğunu hassas kesme yöntemi özel kılan v çentik geometrisinin tasarımını ve deney malzemesi üzerindeki etkisini inceledik. Deneyde kullanılan malzeme için özellikle otomotiv sektöründe şasi ve direklerde yaygın olarak kullanılan yüksek mukavemetli çelik sınıfında bulunan 1 mm kalınlığında Docol DP600 ve Docol DP800 sac malzemesini kullandık.

Hassas kesme ve kesme yöntemi arasında büyük farklar ortaya çıkmıştır. Yapılan deney neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki sıralanmıştır.

- Kesme yönteminde kullanılan Docol DP800 sac malzemesinin kesildikten sonra plakadan koparak ayrıldığı görülmüştür.
- Hassas kesme yönteminde ay yıldız parçalarının zımba batma derinliğinden sonra kesilerek deney malzemesinden ayrıldığı görülmüştür.
- Hassas kesme yönteminde kullanılan Docol DP800 sac malzemenin kesme yönteminde kullanılan Docol DP800'e göre yüzey kalitesinin daha düzgün, kopma mesafesinin daha az kesilme mesafesinin ise daha fazla olduğu görülmüştür.
- Hassas kesme yönteminde kullanılan v çentikli baskı bileziği Docol DP600 ve Docol DP800 deney malzemesine batarak malzemedeki bası gerilmesi oluşturduğu görülmüştür.
- Hassas kesme yönteminde kullanılan Docol DP800'ün kesme yönteminde kullanılan Docol DP800'e göre kesme boşluğuna daha az itildiği görülmüştür.
- Docol DP600 ve Docol DP800 sac malzemenin hassas kesme yöntemi ve kesme yöntemiyle yapılan sonlu elemanlar analizine göre hassas kesme yönteminde kesme yöntemine göre daha az kavislenme genişliği ve derinliği elde edildiği görülmüştür.

- Docol DP600 ve Docol DP800 sac malzemenin hassas kesme yöntemi ve kesme yöntemiyle yapılan sonlu elemanlar analizine göre hassas kesme yönteminde kesme yöntemine göre daha az çapak yüksekliği elde edildiği görülmüştür.
- Docol DP600 ve Docol DP800 sac malzemenin hassas kesme yöntemi ve kesme yöntemiyle yapılan sonlu elemanlar analizine göre hassas kesme yönteminde kesme yöntemine göre daha fazla zımba kuvvetine gerek duyulduğu görülmüştür.
- Kesme yöntemiyle yapılan sonlu elemanlar analizine göre Docol DP600'de Docol DP800'e göre daha az mesafede kavislenme genişliği ve derinliği gözlenmiştir.
- Kesme yöntemiyle yapılan sonlu elemanlar analizine göre Docol DP600 'de Docol DP800'e göre daha az çapak yüksekliği çıktığı görülmüştür.
- Hassas kesme yöntemiyle yapılan sonlu elemanlar analizine göre Docol DP600'de Docol DP800'e göre daha az miktarda kavislenme genişliği ve derinliğinin çıktığı gözlenmiştir.
- Hassas kesme yöntemiyle yapılan sonlu elemanlar analizine göre Docol DP600'de Docol DP800'e göre daha az çapak yüksekliğinin oluştuğu görülmüştür.
- Her iki yöntemde Docol DP600 ve Docol DP800'ü kesmek için yapılan sonlu elemanlar analizine göre Docol DP600'ü kesmek için daha az zımba kuvvetine ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.
- Sonlu elemanlar analizine göre hassas kesme yöntemiyle yapılan analiz sonucunda kesme yöntemindeki analiz sonucunda göre daha yüksek gerilme oluştuğu gözlenmiştir.
- Sonlu elemanlar analizine göre kesme yönteminde maksimum gerilme zımba ve matrisin deney malzemesini kesmeye başladığı bölgede oluşurken hassas kesme yönteminde ise matriste bulunan v çentik geometrisinin deney malzemesine battığı bölgelerde oluştuğu görülmüştür.

9.2. ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında yeni yapılacak çalışmalar için aşağıdaki öneriler verilebilir.

- Deneylerde kullanılan malzemeler haricinde farklı yüksek mukavemetli çelikler ve gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler kullanılabilir.
- Farklı kalınlıktaki malzemeler kullanılarak deneyler gerçekleştirilebilir.
- V çentikli baskı bileziğinin matris üzerindeki konumu ve çentiğin genişliği, yüksekliği, açısı gibi parametreler değiştirilebilir.
- V çentikli baskı bileziği sıyırıcı plaka ve matriste veya her ikisine de koyularak deneyler gerçekleştirilebilir.
- Değişken kalıp boşluklarında deneyler yapılabilir.
- Analiz sonuçları farklı sonlu elemanlar paket programları kullanılarak elde edilebilir.

10. KAYNAKLAR

- [1] A.R. Sorgenfrei, "Finite element modeling of fine blanking towards supervisory control of the production process," Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Michigan Technological University, 1997.
- [2] F. Brizer, "Fine blanking materials," *Fine Blanking Technical Review*, c. 29, ss. 22–28, 1999.
- [3] S. Thipprakmas, "Finite-element analysis of v-ring indenter mechanism in fine-blanking process," *Materials and Design*, c. 30, ss. 526–531, 2009.
- [4] G. Küçüktürk, "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, 2016.
- [5] W. F. Y. Liu, L. Hua ve H. Mao, "Finite element simulation of effect of part shape on forming quality in fine-blanking process," *Procedia Engineering*, c. 81, ss. 1108–1113, 2014.
- [6] Anonim. (2019, 20 Temmuz). [Online]. Erişim: <https://docplayer.biz.tr/2512187-Alasim-elementlerinin-celik-yapisina-etkisi.html>.
- [7] C. Yüce, "Yeni nesil ticari araçlar için hafifletilmiş yolcu koltuğu tasarımı ve prototip imalatı," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, 2013.
- [8] M. Yüksel ve Ç. A. Can, "İnce taneli çeliklerin kaynağı," *II. Ulusal Kaynak Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 1989, ss.369.
- [9] B. Carlsson, "Choice of tool materials for punching and forming of extra- and ultra high strength steel sheet," *3rd International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds*, 2004.
- [10] S. Apay ve İ. Kalkan, "Farklı özlü telle kaynatılan yüksek mukavemetli çeliğin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi," *I. Uluslar Arası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu*, Düzce, 2017, ss.2.
- [11] E. Erişir, "Plastik şekillendirme yöntemleri," *Ders Notları*, Kocaeli, 2013.
- [12] I. Casas, B. Marco ve D. Vals, "Tool steels for shaping AHSS," *7th International Tooling Conference*, Politecnico di Torino, 2006.
- [13] Anonim. (2019,20 Temmuz). [Online]. Erişim: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf.
- [14] Anonim.(2019,20 Temmuz). [Online]. Erişim: <https://www.ssab.com.tr/products/brands/docol/docol-product-overview>.
- [15] R. Uzun, "Ön deformasyon uygulanmış DP600 kalite çeliklerin punta kaynak özelliklerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Malzeme Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.

- [16] H. Kurt, *Kalıpçılık Tekniği ve Tasarım Kesme Kalıpları*, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 1999, ss. 20-24.
- [17] F. Mendi, “Kesme kalıplarının bilgisayar yardımıyla tasarımı ve tasarım süresinin etüdü,” *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, c. 1–2, ss. 127–137, 2001.
- [18] C. Göloğlu, “Sac metal kalıp konstrüksiyonunda kesme kalıbı tasarımı,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 1994.
- [19] Milli Eğitim Bakanlığı, *Kılavuz Plakalı Delme Kesme Kalıpları 1*, Ankara, 2012.
- [20] A. Kurt, “Sac metal kalıpçılığında delme-kesme işlemleri ve uygulamaları,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, 1998.
- [21] F. Birzer, “Fine blanking techniques for producing automotive and accessory components,” *Journal of Sheet Metal Industries*, c. 59, sayı 3, ss. 214–224, 1982.
- [22] F. Rotter, W. Koenig ve A. Krapoth, “Fine blanking of thick sheets,” *Industrie-Anzeiger*, c.106, ss. 24-28, 1984.
- [23] M. C. Alaybeyoğlu, “Hassas kesme işlemi ve hassas kesme işleminde yüzey kalitesine etki eden parametrelerin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2005
- [24] Anonim. (2019, 20 Temmuz). [Online]. Erişim: <https://www.openfos.com/supply/9061330-PARTECH-CORPORATION-in-Minneapolis-MN/>.
- [25] M. Karaman, “Hassas kesme kalıplarında kesme olayını etkileyen faktörlerin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, 1999.
- [26] A. Güneş, “Pres işleri tekniği,” *Makine Mühendisleri Odası*, c. 3, ss. 134–137, 2003.
- [27] A. Güneş, “Hassas kesme,” *Mühendis ve Makine Dergisi*, c. 26, sayı 301, ss. 11–14, 1985.
- [28] Ü.B. Darıcı, “Hassas kesme kalıpları,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1998.
- [29] Anonim. (2019,20 Temmuz). [Online]. Erişim: <https://www.ssab.com.tr/products/brands/docol/applications/advancing-chassis-with-docol-ahss>.
- [30] Anonim. (2019, 20 Temmuz). [Online]. Erişim: <https://www.ssab.com.tr/products/brands/docol/products/docol-600dp>.
- [31] Anonim. (2019, 20 Temmuz). [Online]. Erişim: <https://www.ssab.com.tr/products/brands/docol/products/docol-800dp>.
- [32] Anonim. (2019,20 Temmuz). [Online]. Erişim: <https://www.ssab.com.tr/products/brands/ssab-domex/products/ssab-domex-mc-hsla>.
- [33] Anonim. (2019,20Temmuz). [Online]. Erişim: <https://www.saglammetal.com/tr/urun-detay/takim-celikleri/toz-metalurjik-celikler/12379plus-toz-metal-celik>.
- [34] Anonim. (2019, 20 Temmuz). [Online]. Erişim: <https://www.bogaziciyazilim.com/cozumlerimiz/1/nx/>.
- [35] Anonim. (2019, 20 Temmuz). [Online]. Erişim: <http://biasmakina.com/urunler.php?id=38&parent=37>.

- [36] Anonim. (2019, 20 Temmuz). [Online]. Erişim: <http://www.emakalip.com/ema-kalip.html>.
- [37] F. Rustamov, "Hassas kesmeyi etkileyen konstrüksiyon parametreleri," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2009.
- [38] G.Uysal, "Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli sacların şekillendirilebilme özelliklerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, 2006.
- [39] S. Keeler ve M. Kimchi, "Advanced high-strength steels application," *Guidel Version 5.0*, ss. 276, 2014.
- [40] Committee on Automotive Applications , "Advanced high strength steel (AHSS) application guidelines," *International Iron & Steel Institute*, 2005.
- [41] Anonim. (2019, 20 Temmuz). [Online]. Erişim: www.abdullahdemir.net/wp-content/uploads/2013/05/Malzemelerin-Mekanik-Ozellikleri.pdf.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :FATİH HELİMERGİN
Doğum Tarihi ve Yeri :10.04.1989 DÜZCE
Yabancı Dili :İNGİLİZCE
E-posta :fatihhelimergin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kompozit Malzeme Tek.	Düzce Üniversitesi	2020
Lisans	Makine Müh.	Atatürk Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	Kaynaşlı Lisesi	2009

YAYINLAR

F. Helimergin ve N. Şen, “DP600 çeliğine uygulanan kesme ve hassas kesme işleminin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, ss. 306–316, 2020.