



**ALÜMİNYUM 1100 VE ALÜMİNYUM 5005 SERİSİ
SAÇLARIN FARKLI ZIMBA UÇLARI İLE DELME
İŞLEMİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Abdullah YETGİN

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bilge DEMİR**

**ALÜMİNYUM 1100 VE ALÜMİNYUM 5005 SERİSİ SAÇLARIN FARKLI
ZIMBA UÇLARI İLE DELME İŞLEMİNİN TEORİK VE DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Abdullah YETGİN

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Temmuz 2021**

Abdullah YETGİN tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM 1100 VE ALÜMİNYUM 5005 SERİSİ SAÇLARIN FARKLI ZIMBA UÇLARI İLE DELME İŞLEMİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bilge DEMİR

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 06 / 07 / 2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hakan GÜRÜN (GÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdullah YETGİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÜMİNYUM 1100 VE ALÜMİNYUM 5005 SERİSİ SAÇLARIN FARKLI ZIMBA UÇLARI İLE DELME İŞLEMİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Abdullah YETGİN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Bilge DEMİR

Temmuz 2021, 82 sayfa

Alüminyum, yer kabuğunda en çok bulunan üçüncü elementtir. Alüminyum hafiflik, yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci, iyi şekillendirilebilirlik, iyi ısı ve elektrik iletkenliği, zehirleyici olmaması ve yüzde yüz geri dönüştürülebilirlik özellikleri ile günümüz teknoloji ve yaşamının en çok kullanılan metalidir. Sahip olduğu bu özellikler nedeniyle alüminyumu otomotiv sanayi, ambalajlama, hava yolu araçları, demiryolu araçları, deniz uygulamaları, yapı ve mimari, elektrik ve elektronik alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Geniş kullanım alanı alüminyumu stratejik ve önemli bir metal haline getirmiştir.

Sac metal şekillendirme işlemlerinde en çok kullanılan yöntemler kesme ve delmedir. Sac malzemelerde delme işlemi basit bir süreç olmasına rağmen birçok parametreye bağlıdır. Parametre sayısının fazla olması delme işleminde yüksek

kalitede ürünler elde etmeyi zorlaştırmaktadır. Kaliteli bir delme işlemi boşluk, kesme kuvveti, delme hızı, zımba geometrisi gibi parametrelere bağlıdır. Kesme kuvveti, bu parametrelerden en karmaşık olanıdır. Kesme kuvvetini etkileyen en önemli parametre, zımba geometrisidir. Farklı zımba geometrilerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileri konusunda literatürde çalışmalar bulunmasına rağmen, zımba geometrilerinin delme işlemi için bir kalite kriteri olan kesme yüzeyi özellikleri üzerindeki etkileri de incelenmelidir. Bu nedenle, zımba geometrisi ile kesme yüzeyi arasındaki ilişki belirlenmeli ve farklı geometrilerin neden olduğu kesme kuvvetlerindeki farklılıklar incelenmelidir.

Bu tez çalışmasında ticari alüminyum sac kaliteleri AA1100 ve AA5005 sac malzemeler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda farklı geometrilere sahip 5 farklı tipte zımba kullanılmıştır. Delme işlemleri sabit boşlukta ve kesme hızında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu oluşan kesme yüzeyleri optik, stereo ve shuttlepix mikroskoplar yardımıyla incelenmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak zımba ile delme işlemlerinde teorik çalışmaların etkinliği ve kullanılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır. Delme işlemi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak deneysel çalışmalara eş değer bir şekilde teorik olarak incelenmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalar karşılaştırılarak modelin tutarlılığı analiz edilmiştir.

Sonuç olarak; en yüksek kesme kuvveti düz zımba geometrisi kullanıldığında, en düşük kesme kuvveti ise açılı zımba geometrisi kullanıldığında meydana geldi. Delik çapı boyutsal doğruluğu ve ideal kesme yüzeyi düz zımba geometrisi kullanıldığında elde edilmiştir. Deneysel ve teorik çalışmaların birbiri ile iyi kesiştiği görülmüştür. Sonlu elemanlar yazılımlarının malzemelerin kesme kuvvetinin belirlenmesinde zaman ve maliyet tasarrufu açısından kazanç sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler : Alüminyum, sac metal şekillendirme, zımba ile delme, kesme yüzeyi, kesme kuvveti.

Bilim Kodu : 91416, 91433

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PUNCHING PROCESS OF ALUMINUM 1100 AND ALUMINUM 5005 SERIES SHEET METAL WITH DIFFERENT PUNCH TIPS

Abdullah YETGİN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Bilge DEMİR

July 2021, 82 pages

Aluminum is the third most abundant element in the earth's crust. Aluminum is the most used metal in today's technology and life with its lightness, high strength, high corrosion resistance, good formability, good heat and electrical conductivity, non-toxicity and 100% recyclability. Due to these properties, aluminum is widely used in the automotive industry, packaging, airline vehicles, railway vehicles, marine applications, construction and architecture, electricity and electronics. Its wide usage area has made aluminum a strategic and important metal.

The most commonly used methods in sheet metal forming processes are shearing and punching. Although punching in sheet materials is a simple process, it depends on many parameters. The high number of parameters makes it difficult to obtain high quality products in punching. A quality punching process depends on parameters

such as clearance, cutting force, punching speed, punch geometry. Shear force is the most complex one of these parameters. The most important parameter affecting the shearing force is the punch geometry. Although there are studies in the literature on the effects of different punch geometries on the shearing force, the effects of punch geometries on the shearing surface properties, which is a quality criterion for punching, should also be examined. Therefore, the relationship between the punch geometry and the shearing surface should be determined and the differences in shearing forces caused by different geometries should be examined.

In this thesis, sheet materials with commercial aluminum sheet qualities AA1100 and AA5005 were used. In the experimental studies, 5 different types of punches with different geometries were used. Punching operations were carried out at constant clearance and cutting speed. The shearing surfaces formed as a result of experimental studies were examined with the help of optical and stereo microscopes. In the study, the efficiency and usability of theoretical studies in punching processes were tried to be determined by using the finite element method. The consistency of the model was analyzed by comparing experimental and numerical studies.

In conclusion; the highest cutting force occurred when flat punch geometry was used, while the lowest cutting force occurred when angled punch geometry was used. Hole diameter dimensional accuracy and ideal cutting surface are achieved when using flat punch geometry. It has been observed that experimental and theoretical studies intersect well with each other. It is thought that finite element software can provide time and cost savings in determining the cutting force of materials.

Keywords : Aluminum, sheet metal forming, punching, shearing surface, shear force.

Science Code : 91416, 91433

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Bilge DEMİR'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Analiz çalışmalarının yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Khalil ABUBAKER BELRAS ALI'ye teşekkür ederim.

Dualarını benden esirgemeyen, her daim destekçim olan aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	7
ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLAR.....	7
3.1. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ	7
3.1.1. Atom Yapısı ve Kristal Kafesi.....	8
3.1.2. Yoğunluk	9
3.1.3. Elektrik İletkenliği.....	9
3.1.4. Isıl İletkenlik.....	10
3.1.5. Yansıtma ve Emisyon.....	11
3.1.6. Korozyon Direnci	11
3.1.7. Termal Uzama	12
3.1.8. Şekillendirilebilme.....	12
3.1.9. Toksikite.....	12

	<u>Sayfa</u>
3.1.10. Geri Dönüşüm.....	12
3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI	13
3.2.1. Alüminyum Dövme Alaşimleri	13
3.2.2. Alüminyum Döküm Alaşimleri	18
3.3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ETKİLERİ	21
3.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI	24
3.4.1. Ambalajlama.....	24
3.4.2. Ulaşım.....	24
3.4.3. Yapı ve Mimari.....	24
3.4.4. Folyolar.....	25
3.4.5. Elektrik Elektronik.....	25
BÖLÜM 4	27
SAC METAL İŞLEMLERİ VE SAC MALZEMELERDE KESME	27
4.1. KESME, SAC PARÇA ÇIKARMA VE DELME	30
4.2. SAC METAL KESME İŞLEMİNİN ANALİZİ	31
4.2.1. Kesme Boşluğunu Hesaplanması	31
4.2.2. Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	34
BÖLÜM 5	35
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
5.1. MALZEMELER.....	35
5.2. ZIMBA İLE DELME İŞLEMLERİ VE DENEY SİSTEMATİĞİ	37
5.2.1. Zimba Ucu Tipleri-Geometrileri.....	39
5.2.2. Hasar Analizi	39
5.3. SONLU ELEMANLAR YAZILIMLARI İLE DELME İŞLEMİNİN MODELLENMESİ	40
BÖLÜM 6	42
DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	42

6.1. DELME İŞLEMİNDE OLUŞAN KESME KUVVETLERİNİN İNCELENMESİ	42
6.1.1. Sonlu Elemanlar Yazılımı ile Yapılan Kesme Kuvveti Analizleri.....	48
6.2. DELME DENEYİ SONUCU OLUŞAN DELİKLERİN BOYUT ANALİZLERİ	54
6.2.1. Çaptan Sapmalar ve Dairesellikten Sapma (Ovalite)	58
6.3. DELME İŞLEMİ SONUCU OLUŞAN KESME YÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	59
BÖLÜM 7	72
GENEL DEĞERLENDİRME SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR	74
EK AÇIKLAMALAR.....	79
ZIMBA UCU GEOMETRİLERİ TEKNİK RESİMLERİ.....	79
ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Alüminyumun atomik yapısı.	8
Şekil 3.2. Alüminyumun elektriksel özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması.	10
Şekil 3.3. Alüminyumun ısı iletkenliğinin diğer metallerle karşılaştırılması.	10
Şekil 4.1. Plastik deformasyon aşaması.	28
Şekil 4.2. Batma aşaması.	28
Şekil 4.3. Kırılma aşaması.	29
Şekil 4.4. İş parçasının karakteristik kesilen yüzeyleri.	29
Şekil 4.5. Kesme işlem: a) kesme işleminin yandan görünüşü b) üst kesme bıçağı eğimli olan giyotinde kesme işleminin önden görünüşü.	30
Şekil 4.6. Sac parça çıkarma ve delme işlemi.	30
Şekil 4.7. Kesme boşluğunun etkisi.	31
Şekil 4.8. Kesme boşluğunun hesaplanması.	33
Şekil 5.1. Deneysel çalışmalar akış şeması.	35
Şekil 5.2. AA1100 sac metal malzeme çekme testi sonucu.	36
Şekil 5.3. AA5005 sac metal malzeme çekme testi sonucu.	37
Şekil 5.4. Deneysel kurulum.	38
Şekil 5.5. Zımba ile delme işlemlerindeki önemli parametreler.	38
Şekil 5.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan zımba geometrileri.	39
Şekil 5.7. Hasar analizi incelemeleri akış şeması.	39
Şekil 5.8. Sonlu elemanlar yazılımında modellenmiş deneysel kurulum.	41
Şekil 6.1. AA1100 metal sac malzeme tüm zımba geometrileri için delme işleminden elde edilen kesme kuvvetleri.	42
Şekil 6.2. P1 (0°) düz zımba ile P5 (V16) ve P3 (R1) zımba kesme kuvveti karşılaştırması.	43
Şekil 6.3. P1 (0°) düz zımba ile P4 (R2) ve P1 (16°) zımba kesme kuvveti karşılaştırması.	43
Şekil 6.4. AA5005 metal sac malzeme delme işleminden elde edilen kesme kuvvetleri.	44
Şekil 6.5. P1 (0°) düz zımba ile P5 (V16) ve P3 (R1) zımba kesme kuvveti karşılaştırması.	45

Şekil 6.6. P1 (0°) düz zımba ile P4 (R2) ve P2 (16°) zımba kesme kuvveti karşılaştırması	45
Şekil 6.7. AA1100 sac malzemenin delme işlemi P1 (0°) ve P2 (16°) zımbalar için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.....	48
Şekil 6.8. AA1100 sac malzemenin delme işlemi P3 (R1) ve P4 (R2) zımbalar için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.....	48
Şekil 6.9. AA11100 sac malzemenin delme işlemi P5 (V16) zımba için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.....	49
Şekil 6.10. P1 (0°) düz zımba ve P2 (16°) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri	50
Şekil 6.11. P3 (R1) zımba ve P4 (R2) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri	50
Şekil 6.12. V16 zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri.....	50
Şekil 6.13. AA1100 sac metal malzeme analiz ve deneysel çalışma tüm zımba türleri kesme kuvvetleri	51
Şekil 6.14. AA5005 sac metal malzemenin delme işlemi P1 (0°) ve P2 (16°) zımbalar için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.....	51
Şekil 6.15. AA5005 sac metal malzemenin delme işlemi P3 (R1) ve P4 (R2) zımbalar için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.....	52
Şekil 6.16. AA5005 sac metal malzemenin delme işlemi P5 (V16) zımba için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.....	52
Şekil 6.17. P1 (0°) düz zımba ve P2 (16°) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri	53
Şekil 6.18. P3 (R1) zımba ve P4 (R2) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri	53
Şekil 6.19. P5 (V16) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri	53
Şekil 6.20. AA5005 sac metal malzeme analiz ve deneysel çalışma tüm zımba türleri kesme kuvvetleri	54
Şekil 6.21. AA1100 sac metal malzeme zımba geometrisine göre oluşan delik çapları	55
Şekil 6.22. AA5005 sac metal malzeme zımba geometrisine göre oluşan delik çapları	55
Şekil 6.23. AA1100 sac metal malzeme çap değerleri ve hasar noktalarının görüntüsü	57
Şekil 6.24. AA5005 sac metal malzeme çap değerleri ve hasar noktalarının görüntüsü	57
Şekil 6.25. AA1100 sac metal zımba geometrisine göre çaptan sapma .	60
Şekil 6.26. AA5005 sac metal zımba geometrisine göre çaptan sapma .	60

Şekil 6.27. AA1100 ve AA5005 sac metal zımba geometrisine göre dairesellikten sapma	60
Şekil 6.28. AA1100 sac metal malzeme P1 (0°) düz zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	60
Şekil 6.29. AA1100 sac metal malzeme P2 (16°) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	61
Şekil 6.30. AA1100 sac metal malzeme P3 (R1) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	61
Şekil 6.31. AA1100 sac metal malzeme P5 (V16) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	62
Şekil 6.32. AA1100 sac metal malzeme P4 (R2) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	62
Şekil 6.33. AA1100 sac metal malzeme P3 (R1) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda malzemede oluşan hasar bölgesi görüntüsü	62
Şekil 6.34. AA1100 sac metal malzeme P5 (V16) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda malzemede oluşan hasar bölgesi görüntüsü	63
Şekil 6.35. AA5005 sac metal malzeme P1 (0°) düz zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	64
Şekil 6.36. AA5005 sac metal malzeme P2 (16°) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	64
Şekil 6.37. AA5005 sac metal malzeme P3 (R1) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	64
Şekil 6.38. AA5005 sac metal malzeme P5 (V16) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	65
Şekil 6.39. AA5005 sac metal malzeme P4 (R2) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.	65
Şekil 6.40. AA5005 sac metal malzeme P3 (R1) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda malzemede oluşan hasar bölgesi görüntüsü	65
Şekil 6.41. AA5005 sac metal malzeme P5 (V16) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda malzemede oluşan hasar bölgesi görüntüsü	66
Şekil 6.42. AA1100 tüm zımba geometrileri için kesme yüzeyi bölgeleri	67
Şekil 6.43. AA1100 tüm zımba geometrileri için kesme yüzeyi bölgeleri	67
Şekil 6.44. P1 (0°) düz zımba artık parça profili	69
Şekil 6.45. P2 (16°) zımba artık parça profili	70
Şekil 6.46. P3 (R1) zımba artık parça profil	70
Şekil 6.47. P4 (R2) zımba artık parça profili	70
Şekil 6.48. P5 (V16) zımba artık parça profili	71
Şekil Ek 1. P1 (0°) düz zımba zımba ucu geometrsi.....	80

	<u>Sayfa</u>
Şekil Ek 2. P2 (16°) açılı zımba zımba ucu geometrsi.....	80
Şekil Ek 3. P3 (R1) konkav zımba zımba ucu geometrsi.....	80
Şekil Ek 4. P4 (R2) konkav zımba zımba ucu geometrsi.....	80
Şekil Ek 5. P5 (V16) zımba zımba ucu geometrsi	81



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Alüminyumun tipik özellikleri.....	7
Çizelge 3.2. 20 °C deki tavllanmış katı metalin saflık-yoğunluk değerleri.	9
Çizelge 3.3. Alüminyumun elektrik iletkenliğinin bakırla karşılaştırılması	9
Çizelge 3.4. Alüminyum dövme alaşımlarının sınıflandırılması.	13
Çizelge 3.5. 1XXX serisi yaygın olarak kullanılan alüminyum dövme alaşımlarının nominal bileşimleri.	15
Çizelge 3.6. 5XXX serisi yaygın olarak kullanılan alüminyum dövme alaşımlarının nominal bileşimleri	16
Çizelge 3.7. Alüminyum döküm alaşımlarının sınıflandırılması.	18
Çizelge 3.8. Alaşım elementlerinin alüminyum alaşımlarının özelliklerine etkileri.	23
Çizelge 3.9. Alüminyum dövme alaşımlarının kullanım alanları	26
Çizelge 3.10. Alüminyum döküm alaşımlarının kullanım alanları	26
Çizelge 4.1. Müsaade edilebilir boşluk değerleri.....	32
Çizelge 5.1. AA1100 kimyasal kompozisyonu.....	36
Çizelge 5.2. AA5005 kimyasal kompozisyonu.....	36
Çizelge 5.3. Zimba ile delme işleminde kullanılan sınır koşulları.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A _e	: müsaade edilebilir boşluk
Al	: alüminyum
C	: santigrat
c	: boşluk
cm	: santimetre
Cr	: krom
Cu	: bakır
Fe	: demir
g	: gram
kal	: kalori
kN	: kilonewton
Li	: lityum
Mg	: magnezyum
kg	: kilogram
m	: metre
m/dk	: metre/dakika
m/s	: metre/saniye
mm/s	: milimetre/saniye
µm	: mikrometre
mm	: milimetre
µΩ	: mikroohm
Mn	: manganez
MPa	: megapascal
Ni	: nikel
Si	: silisyum
Ti	: titantum

Zn : çinko
Zr : zirkonyum

KISALTMALAR

AA : Alüminyum Alaşımı
AHSS : Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelik
CNC : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
CPU : Merkezi İşlem Birimi
DP : Çift Fazlı Çelik
FEA : Sonlu Elemanlar Analiz
FEM : Sonlu Elemanlar Metodu
HERF : Yüksek Enerji Girdili Şekillendirme
IADS : Uluslararası Alaşım Tanımlama Sistemi
UV : Ultraviyole

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mühendislik metal malzemesi olarak çelikten sonra en çok kullanılan malzemeler alüminyum alaşımlarıdır. Bilindiği üzere alüminyum alaşımların çelik malzemelere göre özgül ağırlığı yaklaşık olarak 1/3 oranındadır. Ayrıca saf metal olarak her ne kadar mekanik özellikleri düşük olsa da alaşımlama, yaşlandırma, soğuk deformasyon gibi dayanımlandırma mekanizmaları ile çelik malzemeler yerine kullanılabilir seviyede mekanik özellikler kazandırılabilir. Dolayısıyla bazı uygulamalarda çelik metal malzeme yerinde kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarının sac malzeme olarak endüstride kullanılması yaygındır, civatalı ve perçinli bağlantılar için ihtiyaç duyulan delme işlemleri çoğunlukla ekonomik ve teknolojik faydasından dolayı klasik pres tezgahlarında ve CNC pres tezgahlarında zımba ile delme yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Her proseste olduğu gibi zımba ile delme işleminin de anlaşılması ve analizi hem prosesin optimizasyonu hem de prosesin ürünler üzerinde ki etkilerinin analizi ve doğru yönlendirilmesi için önemlidir. Genel olarak bakıldığı zaman zımba ile delme işlemi ile ortaya çıkan kesme kuvveti ve kesme yüzey kalitesi prosesin optimizasyonu ve ürünün servis şartlarındaki kalitesini belirleyen iki önemli faktördür.

AA5005 alüminyum alaşımı nominal olarak %0,8 magnezyum içerir. Deniz ortamlarında orta mukavemete, iyi kaynaklanabilirliğe ve iyi korozyon direncine sahiptir. Ayrıca, tüm alüminyum alaşımlarında ortak olan düşük yoğunluklu ve mükemmel termal iletkenliğe sahiptir. Alüminyumun sac ve levha formunda en çok kullanılan çeşitlerinden birisidir. AA5005 sac metal genellikle sıcak işlenmez. Nispeten yumuşak ve sünek bir alaşım olduğu için tavllanmış durumda kolayca soğuk şekillendirilebilir. Şekillendirme yükleri, takım ve pres aşınması genellikle karbon çeliğinden daha azdır. Delme ve körleme için, zımba-kalıp açıklığı, malzeme kalınlığının yaklaşık %4-6'sı olmalıdır.

AA1100 alüminyum alaşımı ticari olarak saf bir alüminyum olarak isimlendirilir. Mükemmel kaynak kabiliyeti, yumuşak ve sünek olması dolayısıyla mükemmel şekillendirme özelliklerine sahip en yaygın kullanılan alaşımlardan biridir. Bükme, eğirme, çekme, damgalama ve rulo şekillendirme gerektiren uygulamalar için uygun olabilir. İyi bir ısı iletkenliğine sahiptir ve genellikle ısı eşanjörlerinde ve elektrik uygulamalarında ısı emici olarak kullanılır. AA1100 sac metal korozyona karşı mükemmel bir dirence sahip olduğundan, kimya ve gıda işleme endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük mukavemetli olması sebebiyle yüksek mukavemet veya sertlik gerektiren uygulamalarda kullanılmaz.

Sac metal işlemleri nispeten ince sacların kesme ve şekillendirme işlemlerini içermektedir. Tipik sac metal kalınlıkları 0.4 mm ile 6 mm arasındadır. Sac metal işlemlerinde kullanılan sac ve plaka stokları düz hadde ile üretilmektedir. Sac metal işlemleri kesme, eğme ve derin çekme olmak üzere 3 temel kategoride incelenmektedir. Kesme, büyük sac malzemeyi küçük parçalar kesmek, parçanın çevre kesimi ve delik açmak için kullanılır. Eğme ve derin çekme işlemleri ise sac parçayı istenen şekle getirmeyi sağlayan işlemlerdir.

Yapılan literatür incelemesinde alüminyum alaşımı sacların zımba ile delme işlemiyle ilgili özellikle de bu çalışmadan kullanılan AA1100 ve AA5005 seri alaşımlarla ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bununla birlikte yukarıda da izah edildiği gibi sac malzemelerde delme işleminin basit bir süreç olmasına rağmen birçok parametreye bağlı olması, optimizasyon çalışmaları nedeniyle kaliteli çıktılar elde etmeyi zorlaştırmaktadır. Kaliteli bir zımba ile delme işlemi, delinen malzemenin cinsinin yanında, iki parça arasındaki boşluk, kesme kuvveti, kesme hızı, zımba ucu geometrisi gibi bazı parametrelere bağlı olarak şekillenmektedir. Kesme kuvveti, birçok parametreye bağlı olduğu için bu parametrelerden en karmaşık olanıdır. Kesme kuvvetini etkileyen en önemli parametre, zımba ucu geometrisidir. Bütün bunlardan dolayı bu çalışmada farklı zımba ucu geometrilerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan delme-kesme kuvveti ve kesme yüzeyi kalitesi hem deneysel hem de teorik olarak araştırılmış ve sektörel uygulamaya dönük bilgiler üretilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Jaafar, vd. (2018), delme kalıbı açısal boşluğunun delik kalitesi üzerindeki etkisi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda aşınmanın göstergesi olan kalıp ağırlık kaybının vuruş sayısı arttıkça arttığını ve en fazla kayıpların delme işleminin ilk aşamalarında olduğunu göstermişlerdir. En düşük ağırlık kaybı, en düşük aşınma oluşumuna karşılık gelen $0,75^\circ$ açısal açıklığa sahip kalıplar için elde etmişlerdir. Düşük aşınmada, kesme kenarının nispeten keskin kaldığını ve dolayısıyla iyi kalitede delikler üretebildiğini göstermişlerdir. Kaliteli delikler üretmek ve takım ömrünü uzatmak için, delme kalıplarının tasarımında $0,75^\circ$ 'lik bir açısal açıklığın dikkate alınmasını tavsiye etmişlerdir.

Göktaş, vd. (2012), kesme kalıplarında açılı zımbaların kesme kuvvetine etkisi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Beş farklı açığa sahip 20 mm çapında zımbalar ve 3 farklı kesme boşluğu parametreleri ile gerçekleştirdikleri bu çalışmada zımbaya verilen eğim miktarı arttıkça batma derinliğinin arttığı ve kesme kuvvetinin 1/5 kata kadar azaldığı tespit etmişlerdir.

Küçüktürk, (2016), AA5754 sac malzemenin kesme işlemlerinde kesme boşluğunun ürün kalitesine etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarında kesme boşluğu ve sac kalınlığının kesme parametrelerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Farklı kalınlıklardaki AA5754 sac malzemeleri 20 mm çapındaki zımba ile yedi farklı kesme boşluğu kullanarak delme işlemine tabi tutmuştur. Deneysel çalışmalar ile kesme boşluğu azaldıkça kesme kuvvetinin arttığı, kesme boşluğu arttıkça zımba batma yüksekliğinin arttığı ve kesme düzlüğünün azaldığı sonuçlarına ulaşmıştır. Kesme boşluğunun artmasının çapak oluşumunu ve çapak yüksekliğini artırdığını da ifade etmiştir. Bulanık mantık sistemi ile analizleri de içeren bu çalışmada analiz sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılmış ve analiz sonuçlarının

anamlı ve kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir. Kesme kuvvetinin ve apak yksekliliğinin tahmini amacı ile hazırlanan bulanık mantık sisteminden elde edilen tahmin değerleri ile deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen değerler arasında maksimum 0,005 sapma olduğu ve AA5754 malzemelerin farklı kalınlık ve kesme bulanık mantık sisteminin kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Yıldız, (2013), sac metal kesme işleminin modellenmesi üzerine yaptığı çalışmada kesme boşluğu arttıka yuvarlanma değerini genişlik ve derinliğinin arttığını, kesme dzliği ve kopma dzliği değerlerinin azaldığını ve apak değerinin arttığını tespit etmiştir.

Helimergin, ve şen (2020), DP600 otomobil çeliğinin kesme ve hassas kesme işlemleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarında 1mm kalınlığında sac malzeme kullanmışlardır. Deneyler sonucunda kesme yönteminin ve hassas kesme yönteminde kullanılan farklı ykseklilikteki v çentikli baskı bileziğinin malzemede meydana getirdiği gerilme, kavislenme genişliği ve derinliği, apak yüksekliliği değerlerini incelemişlerdir. Yaptıkları alışmalar sonucu kesme kalıbında parçanın koparak şeridi terk ettiği, hassas kesme kalıbında parçanın kopmadan kesildiği, v çentik yüksekliliği arttıka zımba kuvvetinin azaldığı ve kavislenme derinliği ve genişliğinin dştğiğini ifade etmişlerdir. Hassas kesme kalıbı ile elde edilen parçalarda kesme kalıbıyla elde edilen parçalara kıyasla kavislenme derinliği ve genişliğinin daha düşük olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Taşdemir, (2018), hassas kesme işlemine malzeme kalınlığı ve kalıp boşluğunun etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda dört farklı kalıp boşluğu ve iki farklı kalınlıkta malzeme kullanmıştır. Çalışma sonucu kalıp boşluğunun artması ile kavislenme değerinin ve kırılma bölgesi yüksekliliği ile açısının arttığı, gerilme dağılımlının ise azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca malzeme kalınlığının ise kavislenme değerini etkileyen önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuştur.

Günay, vd. (2020), elik delme zımbalarının kaplanması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarında dört farklı kaplama türü kullanmışlar ve kaplamaların zımba ömrüne etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucu kaplama

işleminde yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısı kombinasyonunun en iyi kombinasyon olduğu tespit etmişlerdir.

Kanca, vd. (2016), sac parça çıkarma hızının yumuşak çeliklerin kesme yüzeylerine etkileri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda, sac parça çıkarma hızının, yumuşak çelik kesme ve kırılma yüzeyinin kalitesi ve korozyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kesme ve kırılma yüzeylerinin pürüzlülüğünde sac parça çıkarma hızının çok etkili olduğu, sac parça çıkarma hızı arttığında, kesme ve kırılma yüzeyleri pürüzlülüğünün büyük ölçüde azaldığını ifade etmişlerdir. HERF yöntemi ile kesilmiş numunenin korozyon direncinin hidrolik ve mekanik preslerle kesilmiş numunelerden daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Avadhani vd. (2017), kesme ve delme işlemi için bir kalıp zımbası tasarlanmış ve bileşenlerini analiz etmişlerdir. Projelerinin temel amacı, verimliliği artırmak ve üretim maliyetini düşürmektir. sac parça çıkarma ve delme işlemi için çıkış döngü süresi yaklaşık dört dakikadır ve üretim maliyeti yaklaşık altı rupidir. Bu projenin uygulanmasından sonra döngü süresinin 30 ila 40 saniye ve maliyetin yaklaşık 1,5 ila 2 rupi olacağını beklemektedirler.

Saier, (2021), farklı zımba uçları ile delme işlemini teorik ve deneysel olarak araştırmıştır. Yaptığı çalışmada 5 farklı geometri zımba kullanmış, sabit açıklık ve kesme hızlarında yaptığı deneyler sonucu kesme kuvvetleri ve kesme yüzeylerini incelemiştir. Deneysel çalışmalar sonucu eğimli yüzeyli zımbalarda kesme açısına bağlı olarak zımba kuvvetlerinin azaldığını ifade etmiştir. Farklı zımba geometrilerinin iş parçasındaki gerilme dağılımını, kırılma oluşumunu ve zımba ucu yüzey alanının zımba kuvvetini etkilediği sonucuna varmıştır. Teorik olarak sonlu elemanlar yöntemiyle yaptığı çalışmalar ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin birbiri ile eşleştiği, kesme kuvveti belirlemede sonlu elemanlar yönteminin kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Ramah, (2021), farklı zımba uçları ile delme işlemini teorik ve deneysel olarak araştırmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucu açılı zımbaların kesme kuvvetlerini düşürdüğü, bu zımbaların kesme kuvvetlerinin azaltılması için pratik ve uygun

maliyetli bir yaklaşım olmasına rağmen malzemeleri deforme ettiğini ifade etmiştir. Uygun form ve boyutsal doğruluk için düz zımbaların daha verimli olduğu sonucuna varmıştır. Deneysel çalışmalar ile simülasyon çalışmalarının birbiri ile uyumlu olduğu, simülasyon çalışmalarının uygulanabilirliğinin zımba ile delme işleminde maliyet ve zaman tasarrufu açısından faydalı bir kazanç sağlayacağını ifade etmiştir.

Hambli vd. (2006), çeşitli hasar kriterleri kullanılarak sac parça çıkarma sürecinin analizi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Kalıp delme yarıçapının çatlağın başlangıcı üzerindeki etkilerini Goijaerts kriterini kullanılarak açıklamışlardır. Kesme kenarı bölgelerini de inceledikleri bu çalışmada parlak kesilme bölgesi uzunluğunun kalıp açıklığı ile azaldığını ve yuvarlanma bölgesi uzunluğunun kalıp açıklığı ile arttığını ifade etmişlerdir.

Zımba ile delme işlemlerinin uygulanması ve devamında modellenmesi diğer şekillendirme işlemlerinde olduğu gibi deneysel çalışmanın yanında maliyet ve kapsamlı bir çalışma için modelleme ile de yapılmaktadır. Literatür araştırmalarında farklı tipte zımba kullanılarak AA1100 ve AA5005 alüminyum alaşımlarında delme işleminin yeterince çalışılmadığı görülmektedir.

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

3.1. ALÜMİNYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ

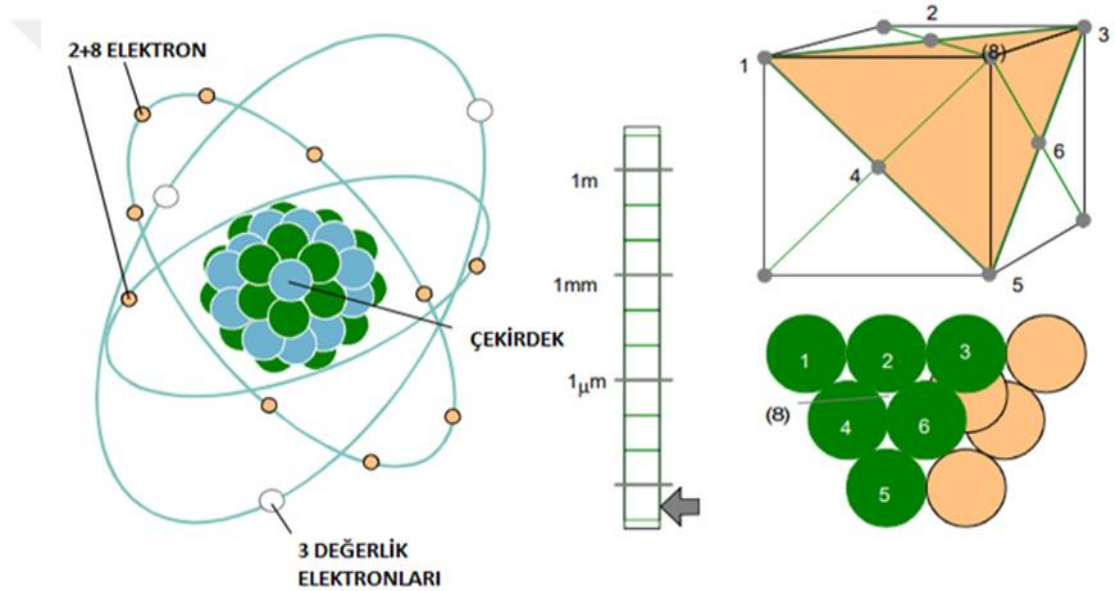
Metaller çok eski dönemlerden beri doğada bulunmaktadır. Tabiatta en çok bulunan metallere biri olan alüminyumun keşfedilmesi 19. yüzyıla dayanmaktadır. Alüminyum günümüzde endüstri, teknoloji ve yaşamsal uygulamaların tamamında çelikten sonra en çok kullanılan ikinci metal durumundadır. Bu başlık altında alüminyumun atom yapısı ve kristal kafesi, yoğunluğu, ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon dayanımı, termal uzaması, şekillendirilebilirliği, toksisitesi, geri dönüşümü, yansıtma ve emisyon özellikleri incelenmiştir.

Çizelge 3.1. Alüminyumun tipik özellikleri (Al_saadi ve Tuncay, 2017).

Alüminyumun Tipik Özellikleri	
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı (g/mol)	26,98
Değerlik Elektron Sayısı	3
Kristal Kafes Yapısı	FFC
Erime Noktası (°C)	660,2
Kaynama Noktası (°C)	2480
Ortalama Özgül Isı (0-100 °C) (kal/g °C)	0,219
Termal İletkenlik (0-100 °C) (kal/cms. °C)	0,57
20 °C'de Elektriksel Direnç ($\mu\Omega$.cm)	2,69
Yoğunluk (g/cm ³)	2,6898
Elastisite Modülü (GPa)	68,3
Poissons Oranı	0,34

3.1.1. Atom Yapısı ve Kristal Kafesi

Alüminyum, doğada oksijen ve silikondan sonra en bol bulunan 3. elementtir. Alüminyum, periyodik sistemde 3. gruptadır. Alüminyum elementinin kimyasal sembolü Al ve atomik numarası 13'tür. Günümüzde bilinen yapılaraya göre; bir alüminyum atomu, +13 yüklü, hayli yoğunlaşmış bir çekirdeğin etrafındaki üç yörüngeye dağılmış, her biri bir birim eksi yük içeren, 13 elektrondan meydana gelmektedir. En dış yörüngedeki üç elektron, alüminyum atomuna +3 kimyasal bağ oluşturma gücünü verir (Cobden, vd. 1994).



Şekil 3.1. Alüminyumun atomik yapısı (Cobden, vd. 1994).

Metaller eriyik halden katı hale geçişlerinde, kristal yapılar oluşturmaktadırlar. Atomlar, metalurjistlerin kafes yapılar olarak bahsettikleri belirli sıralı simetrik modellerde kendilerini düzenlerler. Alüminyum, bakır, gümüş ve altın gibi sünek metallerin çoğunda ortak olan yüzey merkezli kübik yapıda kristalleşir. Bu atomların bir küpün köşelerini oluşturdukları ve küpün her yüzeyinin merkezinde bir atomun olduğu yapıdır. Yüksek saflıktaki alüminyumlar için küpün kenarlarının uzunluğu 4.049×10^{-8} cm olarak belirlenmiştir (Cobden, vd. 1994).

3.1.2. Yoğunluk

Hafiflik, alüminyumun olağanüstü ve en iyi bilinen özelliğidir. Metalin atom ağırlığı 26.98 ve özgül ağırlığı 2.70 gr/cm³'tür. Bu özgül ağırlık yaygın olarak kullanılan çeliğin yaklaşık üçte birine karşılık gelmektedir. Katı ve sıvı alüminyumun yoğunluğu, alüminyumun saflığı oranında azalmaktadır. Çizelge 3.2.'de saflığın yoğunlukla bağıntısı görülmektedir(Cobden, vd. 1994; Coşkuner, 2001).

Çizelge 3.2. 20 °C deki tavlanmış katı metalin saflık-yoğunluk değerleri (Coşkuner, 2001).

Alüminyum yüzdesi (%)	99,25	99,40	99,75
Alüminyum yoğunluğu (g/cm ³)	2,727	2,706	2,703

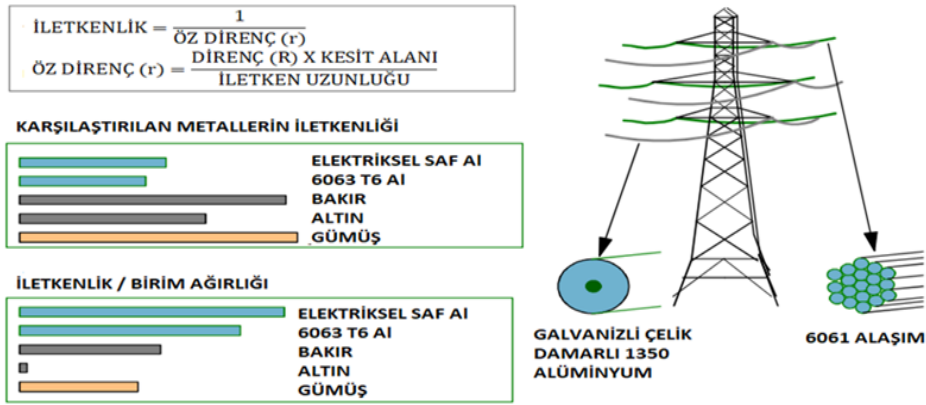
3.1.3. Elektrik İletkenliği

Ticari olarak kullanılan alüminyumun elektrik iletkenliği 37 siemens civarındadır. 20°C de ve %99,99 saflıktaki alüminyumun elektrik iletkenliği bakırın %65,45'i seviyesindedir (Cobden, vd. 1994). Aynı ağırlıktaki bakırla karşılaştırıldığında alüminyum bakırdan iki kat daha fazla elektrik iletmemektedir (Aalco Metals Limited, 2019b).

Çizelge 3.3. Alüminyumun elektrik iletkenliğinin bakırla karşılaştırılması (Coşkuner, 2001).

Alüminyum (%)	Sıcaklık (°C)	Bakır (%)
99,50	0	62,5
99,95	0	64,5
99,971	20	64,9
99,996	20	65,45

Düşük yoğunluğu sebebiyle, saf alüminyumun kütleli elektrik iletim kabiliyeti, diğer tüm metallere daha iyidir. Şekil 3.2. de Alüminyumun elektriksel özelliklerinin diğer metallere karşılaştırılması verilmiştir (Cobden, vd. 1994).

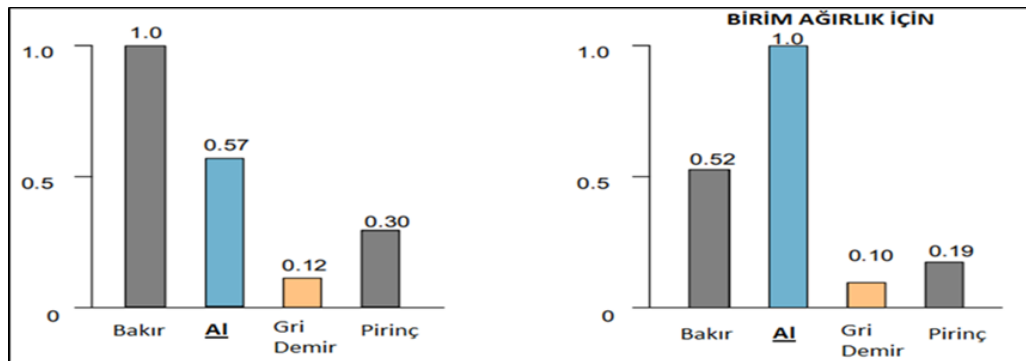


Şekil 3.2. Alüminyumun elektriksel özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması (Cobden, vd. 1994).

3.1.4. Isıl İletkenlik

Yüzde 99,99 saflıktaki alüminyumun 0-100 °C arasındaki ısı iletkenliği temperlenmiş bakırın %61,9 dur. Alüminyumun düşük yoğunluğu sayesinde kütle iletkenliği bakırın yaklaşık iki katıdır. Isıl iletkenlik, $k = 5,02\lambda T \times 10^{-9} + 0,03$ formülü kullanılarak elektrik özdirenç ölçümlerinden hesaplanabilir. Burada k ısı iletkenliktir, λ elektriksel iletkenliktir ve T kelvin derece cinsinden mutlak sıcaklıktır.

Alüminyumun ısı iletkenliği alaşım elementlerinin eklenmesiyle bir miktar azalır. Şekil 3.3.'de alüminyumun ısı iletkenliğinin diğer metallerle karşılaştırılması verilmiştir (Cobden, vd. 1994).



Şekil 3.3. Alüminyumun ısı iletkenliğinin diğer metallerle karşılaştırılması (Cobden, vd. 1994).

Alüminyumun ısı iletkenliği çeliğin yaklaşık üç katıdır. Bu yüksek ısı iletkenlik ve iyi şekillendirilebilirlik özellikleri alüminyumu ısı eşanjörleri gibi hem soğutma hem de ısıtma uygulamaları için önemli bir malzeme haline getirmektedir. Ayrıca zehirleyici olmaması alüminyumun yaygın olarak yemek pişirme kapları ve mutfak eşyaları için kullanılmasını da sağlamıştır (Aalco Metals Limited, 2019b).

3.1.5. Yansıtma ve Emisyon

Bir maddenin kendi termal enerjisini yayma özelliği olan emisyon, yansıtıcılık özelliği ile yakından ilişkilidir. En iyi yansıtıcı özelliğe sahip yüzey en zayıf emisyon özelliğine sahiptir ve tersine en kötü yansıtıcı özelliğe sahip yüzey en iyi emisyon özelliğine sahiptir. Düz alüminyum, üzerine düşen ışığın yaklaşık %75'ini ve ısı radyasyonunun %90'ını yansıtır. Bununla birlikte, aynı alüminyum parçasının emisyon özelliği zayıftır (Cobden, vd. 1994) Yüksek yansıtma ve düşük emisyon özelliği alüminyumun yazın güneş ışınlarından koruyan bir yalıtım malzemesi olarak ideal kılarken, kışın da ısı kaybına karşı yalıtım malzemesi olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Aalco Metals Limited, 2019b).

3.1.6. Korozyon Direnci

Alüminyum ve alaşımlarının atmosfere açık şartlarda kullanımında nem ve oksijenin varlığından dolayı yüzeylerinde Al_2O_3 tabakası oluşur. Oluşan bu tabaka genel olarak bilindiği gibi oldukça niteliklidir, koruyucu ve dayanıklıdır. Dolayısıyla metalin yüzeyinin korunmasını sağlar. Ayrıca korozyon tabakası ilerleyen süreçte sabit kaldığı için metal ile atmosfer arasında izolasyonu sağlayarak korozyonun ilerlemesi önlenmiş olur. (Aalco Metals Limited, 2019b). Oksit film tabakasının sağladığı koruma neticesinde alüminyum, diğer birçok metale göre daha yüksek bir korozyon direncine sahiptir. Oksijen atmosferinde oksit film tabakası her zaman alüminyumun yüzeyinde oluşmaktadır. Londra da Piccadilly Alanı'ndaki ünlü Eros heykeli, alüminyumun korozyon dayanımı için iyi bir örnektir. Londra atmosferine seksen yıl maruz kaldıktan sonra yapılan bir incelemede, heykelde sadece yüzeysel korozyon oluştuğu gözlemlenmiştir (Cobden, vd. 1994).

3.1.7. Termal Uzama

Alüminyumun termal uzama katsayısı, -200 ile 600°C arasında doğrusal değildir ancak pratik kullanım amacı için 20 ile 100°C aralığında sabit olduğu varsayılır. Alüminyum alaşımlarının termal uzama katsayıları içerdikleri alaşım elementi ve oranına göre farklılık gösterir. Örneğin alaşım elementlerinden silikon ve bakırın varlığı termal uzamayı azaltırken magnezyum artırmaktadır. Yaygın olarak kullanılan alüminyum dövme alaşımlarından %4,6 bakır içeren alaşımın termal uzama katsayısı $23,5 \times 10^{-6}/K$ ve %4,5 magnezyum içeren alaşımın termal uzama katsayısı $24,5 \times 10^{-6}/K$ olmakla birlikte bu değerler çeliğin termal uzama katsayısının iki katıdır (Cobden, vd. 1994).

3.1.8. Şekillendirilebilme

Alüminyumun kristal kafes yapısı yüzey merkezli kübik yapıdır. Sahip olduğu bu yapı sayesinde alüminyum kolay şekillendirilebilir özelliğe sahiptir. Alüminyum ve alaşımları her türlü imalat yöntemiyle kolayca şekillendirilebilir (Ölmez, 2016).

3.1.9. Toksikite

Alüminyum zehirleyici değildir, aynı zamanda temas ettiği ürende herhangi bir koku veya leke bırakmaz. Bu alüminyumu gıda ve ilaç sektöründeki hassas ürünlerin paketlenmesinde kullanıma uygun hale getirmektedir. Alüminyumun zehirleyici olmaması yaygın olarak yemek pişirme kapları, mutfak eşyaları ve gıda ambalajlaması için kullanılmasını da sağlamıştır (Aalco Metals Limited, 2019b).

3.1.10. Geri Dönüşüm

Alüminyumun iki dikkat çekici özelliğinin birleşimi, metalin geri dönüştürülmesi ihtiyacını bariz hale getirmektedir. Bunlardan ilki, işlenmemiş alüminyum ile geri dönüştürülmüş alüminyum arasında hiçbir fark olmamasıdır. İkinci faktör ise geri dönüştürülmüş alüminyumun işlenmemiş alüminyumu üretmek için gereken enerjinin yalnızca %5'i ile tekrar kazanılabilmesidir. Şu anda alüminyum metalinin

yaklaşık %60'ı yaşam döngüsünün sonunda geri dönüştürülmektedir, ancak bu yüzde hala büyük ölçüde iyileştirilebilecek durumdadır (Aalco Metals Limited, 2019b).

3.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması, Amerika Birleşik Devletleri Alüminyum Derneği tarafından geliştirilen sınıflandırmaya dayalı olarak Uluslararası Alaşım Tanımlama Sistemi (IADS) tarafından oluşturulmuştur. Bu sınıflandırma çoğu ülke tarafından kabul edilmektedir (Kopeliovich, 2012). Alüminyum alaşımları, imalat yöntemine bağlı olarak dövme ve döküm alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Al_saadi ve Tuncay, 2017).

3.2.1. Alüminyum Dövme Alaşımları

Külçe veya kütük halinde dökülen alaşımların, plastik şekil verme ile kullanıma hazır ürün haline getirilmesi işlemidir. Alüminyum dövme alaşımlarının üretiminde; haddeleme, ekstrüzyon, dövme, çekme veya diğer metal işleme prosesleri kullanılabilir (Ölmez, 2016). Alüminyum dövme alaşımlarının sınıflandırılması ana alaşım elementine göre yapılır. Ayrıca alaşımlar ısıl işlem uygulanabilirliği (yaşlandırma) yönünden de ele alınmaktadır. Alüminyum dövme alaşımları Çizelge 3.4.' de gösterilen numaralama sistemi ile belirtilir.

Çizelge 3.4. Alüminyum dövme alaşımlarının sınıflandırılması (Ölmez, 2016).

Seri No	Alaşım Elementi	Isıl İşlem Özelliği
1XXX	Ticari Saf Alüminyum	Yaşlandırılabilir
2XXX	Bakır	Yaşlandırılabilir
3XXX	Manganez	Yaşlandırılmaz
4XXX	Silisyum	Yaşlandırılmaz
5XXX	Magnezyum	Yaşlandırılmaz
6XXX	Magnezyum ve Silisyum	Yaşlandırılabilir

Çizelge 3.4. Alüminyum dövme alaşımlarının sınıflandırılması (devamı).

7XXX	Çinko	Yaşlandırılabilir
8XXX	Diğer Elementler	Yaşlandırılabilir
9XXX	Kullanılmayan Seri	-

Alüminyum dövme alaşımları, dört basamaklı sayılar ile adlandırılmaktadır (Kopeliovich, 2012).

- Birinci rakam, ana alaşım elementini ifade etmek için kullanılır. Örneğin, 2XXX serisi alüminyum dövme alaşımlarında ana alaşım elementi olarak bakır ifade ederken 5XXX alaşımlarda magnezyumu ifade etmektedir.
- İkinci rakam, alaşım elementlerinden birinde özel bir değişiklik yapıldığını gösterir. Bu kontroller IADS'ye kaydedilir ve belirli IADS belgelerine ihtiyaç duyar.
- Üçüncü ve dördüncü rakamlar, özel alaşımı etiketlemek için kullanılır. Bu sayılar, 1xxx serisi alüminyum haricinde keyfidir. 1xxx serisinde, son iki hane minimum alüminyum içeriğini %99 ile %100 arasında belirtir. Örneğin, 1060 alüminyum, %99,60'lık bir minimum saf alüminyum içeriğine sahip olacaktır.

1XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: 1XXX serisi alaşımları, %99,00 ile %99,99 oranında alüminyum içerebilmektedir. Ayrıca saflığı etkilemeyecek derecede silisyum, demir, bakır, manganez, magnezyum, çinko ve titanyum da içerebilir. Bu serinin alaşımları düşük mekanik özelliklere, yüksek sünekliğe, mükemmel korozyon dayanımına, yüksek ısı-elektrik iletkenliğine ve mükemmel işlenebilirlik özelliklerine sahiptir. Dayanımdaki hafif artışlar gerinim sertleşmesi ile elde edilebilir. Demir ve silikon, bu konuda ana malzemelerdir (Kaufman, 2000; Davis, 2001).

1XXX serisi çoğunlukla elektrik telleri, kimyasal malzemeler, folyo ve dekoratif ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan alüminyum 1XXX serisi dövme alaşımları Çizelge 3.5. de verilmiştir. (Davis, 2001).

Çizelge 3.5. 1XXX serisi yaygın olarak kullanılan alüminyum dövme alaşımlarının nominal bileşimleri (Davis, 2001).

Alaşım Numarası	Alaşım elementi, % ağırlık					
	Al	Si	Cu	Mn	Mg	Diğer
1050	99.50 min	-	-	-	-	-
1060	99.60 min	-	-	-	-	-
1100	99.00 min	-	0.12	-	-	-
1145	99.45 min	-	-	-	-	-
1199	99.99 min	-	-	-	-	-
1350	99.50 min	-	-	-	-	-

2XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: Bu seri ana alaşım elementi olarak bakır içermektedir. Ayrıca alaşımlara minör alaşım elementleri olarak Magnezyum, nikel ve titanyum eklenebilmektedir. 2XXX serisi alüminyum-bakır alaşımları ısıtılabilir. Yaşlandırma ve ısıtılabilir işlem çökmesi sonucu akma mukavemeti önemli ölçüde artmaktadır. Alaşımın sünekliği ise ısıtılabilir işlem sonucunda azalmaktadır. Bu serinin alaşımları ısıtılabilir işlem sonrası çok yüksek mekanik özelliklere ve düşük korozyon direncine sahiptir. Alüminyum-bakır alaşımlarından yapılmış parçaların korozyon direncini arttırmak için saf alüminyum veya 6XXX alaşımları ile kaplama yapılmaktadır (Kaufman, 2000; Davis, 2001).

2XXX serisi alaşımları, uçak tasarımlarında, otomobil gövdelerinde ve vida bağlantı parçalarında kullanılır (Davis, 2001).

3XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: Bu seri ana alaşım elementi olarak manganez içermektedir. Ayrıca alaşımlara minör alaşım elementleri olarak magnezyum eklenebilmektedir. 3XXX serisi alaşımları ısıtılabilir işlem görmez ve soğuk işlemle güçlendirilebilir. Bu serinin alaşımları orta derecede mekanik özelliklere, yüksek sünekliğe ve mükemmel korozyon direncine sahiptir (Kaufman, 2000; Davis, 2001).

3XXX serisi alaşımları folyo, tavan levhaları, pişirme kapları, sert kaplar ve içecek kutuları üretiminde kullanılmaktadır (Davis, 2001).

4XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementi olarak silisyum içerir. Alüminyum-silisyum alaşımların çoğunluğu ısıl işleme tabi tutulamamaktadır. (Kaufman, 2000) Alaşımlar daha çok kaynak teli veya lehim çubuğu olarak kullanıldığından sıvılaşma sıcaklıklarını dūřürmek ve akışkanlıklarını artırmak için bu alaşımlara %12'e varan miktarda silikon eklenebilmektedir. Alaşımların bir kısmı anodize edildiklerinde elde ettikleri koyu gri renklerinden dolayı mimari uygulamalarda kullanılmaktadır (Davis, 2001).

5XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementi olarak magnezyum içerir. Ayrıca alaşımlara minör alaşım elementi olarak manganez eklenebilir. Alüminyum-magnezyum alaşımları ısıl işlem görmez ve soğuk işleme güçlendirilebilir. Bu serinin alaşımları, yüksek süneklik, iyi korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik, orta ila yüksek mekanik özelliklere sahiptir. (Kaufman, 2000; Davis, 2001).

5XXX serisi alaşımları, yüksek mukavemetli folyo, boşaltma yolu gövdeleri, benzin tankları, basınçlı kriyojenik kaplar, deniz yapıları, bağlantı parçaları, otomotiv kaplamaları ve mimari bileşenler için kullanılır. Yaygın olarak kullanılan alüminyum 1XXX serisi dövme alaşımları izelge 3.6. da verilmiştir. (Davis, 2001).

Çizelge 3.6. 5XXX serisi yaygın olarak kullanılan alüminyum dövme alaşımlarının nominal bileşimleri (Davis, 2001).

Alaşım Numarası	Alaşım elementi, % ağırlık							
	Al	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Diğer
5005	99.2	-	-	-	0.8	1.0	-	-
5052	97.2	-	-	-	2.5	0.25	-	-
5056	95.0	-	-	0.12	5.0	0.12	-	-

Çizelge 3.6. 5XXX serisi yaygın olarak kullanılan alüminyum dövme alaşımlarının nominal bileşimleri (devamı).

5083	94.7	-	-	0.7	4.4	0.15	-	-
5086	95.4	-	-	0.4	4.0	0.15	-	-
5182	95.2	-	-	0.35	4.5	-	-	-
5252	97.5	-	-	-	2.5	-	-	-
5254	96.2	-	-	-	3.5	0.25	-	-
5356	94.6	-	-	0.12	5.0	0.12	-	0.13 Ti
5454	96.3	-	-	0.8	2.7	0.12	-	-
5457	98.7	-	-	0.3	1.0	-	-	-
5652	97.2	-	-	-	2.5	0.25	-	-
5657	99.2	-	-	-	0.8	-	-	-

6XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementleri olarak magnezyum ve silisyum içerir. Alüminyum-magnezyum-silikon alaşımları ısıl işlem görebilir. Alaşımın süneklığı, ısıl işlem sonucunda azalır. Bu serinin alaşımları, iyi şekillendirilebilirlik ve korozyon direnci özelliklerine sahiptir (Kaufman, 2000; Davis, 2001). 6XXX serisi alaşımları, uçak ve otomotiv uygulamalarında, mimari uygulamalarda ve yapısal malzeme olarak kullanılır (Davis, 2001).

7XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementleri olarak çinko ve magnezyum içerir. Ayrıca alaşımlara minör alaşım elementleri olarak bakır, manganez eklenebilir. Alüminyum-çinko-magnezyum alaşımları ısıl işlem görebilir (Kaufman, 2000). 7XXX serisi, alaşımları çeşitli uçak yapılarında ve hidrolik ekipman üretiminde kullanılmaktadır (Davis, 2001).

8XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementleri olarak lityum içerir. Ayrıca alaşımlara minör alaşım elementleri olarak bakır, manganez, gümüş ve zirkonyum eklenebilir. Alüminyum-lityum alaşımları ısıl işlem görebilir (Kaufman, 2000). 8XXX serisi alaşımları, uçak ve havacılık yapılarının ağırlıklarını

azaltmak için geliştirilmiştir. Alaşımara %1 lityum eklenmesi ile alaşımın yoğunluğu %3 oranında azaltılabilmektedir. Alüminyum-lityum alaşımları, uçak yapıları, havacılık ve uzay aracı kaplamaları, uzay aracı yakıt tankları üretiminde kullanılır (Prasad ve Wanhill, 2017)

9XXX serisi alüminyum dövme alaşımları: Bu seri henüz kullanılmamaktadır.

3.2.2. Alüminyum Döküm Alaşımları

Alüminyum çıkarılıp işlendikten sonra ürün formuna dökülür. Alüminyum dökümler, erimiş metalin istenen nihai ürünün bir deseni ile şekillendirilmiş kalıplara dökülmesiyle oluşturulur. Alüminyum döküm alaşımlarının sınıflandırılması ana alaşım elementine göre yapılır. Ayrıca alaşımlar ısıl işlem uygulanabilirliği (yaşlandırma) yönünden de ele alınmaktadırlar. Alüminyum döküm alaşımları Çizelge 3.7.'de gösterilen numaralama sistemi ile belirtilir.

Çizelge 3.7. Alüminyum döküm alaşımlarının sınıflandırılması.

Seri No	Alaşım Elementi	Isıl İşlem Özelliği
1XX.X	Saf Alüminyum	Yaşlandırılmaz
2XX.X	Bakır	Yaşlandırılabilir
3XX.X	Manganez, Bakır ve Silisyum	Yaşlandırılabilir
4XX.X	Silisyum	Yaşlandırılabilir
5XX.X	Magnezyum	Yaşlandırılmaz
6XX.X	Kullanılmayan Seri	-
7XX.X	Çinko	Yaşlandırılabilir
8XX.X	Kalay	Yaşlandırılabilir
9XX.X	Diğer Elementler	-

Her bir alüminyum döküm alaşımı, dört basamaklı bir sayı ve bir ondalık nokta ile belirtilmiştir (Davis, 2001).

- Birinci rakam, ana alaşım elementini ifade etmek için kullanılır. Örneğin, 2XX.X serisi alüminyum dövme alaşımlarında ana alaşım elementi olarak bakır ifade ederken 5XX.X alaşımlarda magnezyumu ifade etmektedir.
- İkinci ve üçüncü rakamlar alüminyum alaşımlarını tanımlamak ve saflıklarını ifade etmek için kullanılır.
- Ondalık noktadan sonraki son rakam, alüminyum alaşımlarının külçe veya döküm olduklarını ifade etmekte kullanılır. Döküm “0” ile külçe “1” ile gösterilmektedir.

1XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri, %99,00 ile %99,99 arası alüminyum içermektedir. Yüksek oranda alüminyum içermesi ve diğer alaşım elementleri miktarının saflığı etkilemeyecek derecede olması sebebiyle saf alüminyum alaşım serisi olarak da tanımlanmaktadır. 1XX.X serisi alaşımları ısıtma işlemi görmezler (Ölmez, 2016). Saf alüminyumun sahip olduğu yüksek elektrik iletkenliği sebebiyle elektrik telleri ve elektrik motor rotorlarında kullanılmaktadır (Kılıç, 2020).

2XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementi olarak bakır içerir. Alüminyum-bakır döküm alaşımları ısıtma işlemi görebilir. Bu serinin alaşımları yüksek mukavemet, düşük korozyon direnci, düşük süneklik, yüksek sıcaklık çatlaklarına karşı hassaslık özelliklerine sahiptir (Davis, 2001).

Alüminyum-bakır döküm alaşımları, otomotiv ve uçak motorları için silindir kapakları, dizel motorlar için pistonlar ve egzoz sistemi parçaları üretimi için kullanılmaktadır (Kaufman, 2000).

3XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementi olarak bakır ve/ya manganez eklenmiş silisyum içerir. Alüminyum-silisyum-bakır/magnezyum döküm alaşımları ısıtma işlemi görebilir. Yüksek mukavemet, düşük korozyon direnci, düşük süneklik, yüksek aşınma direnci, iyi işlenebilirlik gibi özelliklere sahiptir.

Bakır içeren alaşımlarda korozyon direncinde ve işlenebilirlik de azalmalar görülmektedir(Ölmez, 2016).

3XX.X serisi alaşımları, otomotiv silindir blokları ve kafası, araba tekerlekleri, uçak bağlantı parçaları, muhafazalar, kompresör ve pompa parçaları üretiminde kullanılmaktadır (Davis, 2001).

4XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementi olarak silisyum içerir. Alüminyum-silisyum döküm alaşımları ısıl işlem görmez. Yüksek korozyon direnci, orta derecede süneklik, yüksek aşınma direnci, çok iyi döküm özelliklerine sahiptir. Alüminyum-silisyum döküm alaşımları, pompa muhafazaları üretiminde kullanılmaktadır (Davis, 2001).

5XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementi olarak magnezyum içerir. Alüminyum-magnezyum döküm alaşımları ısıl işlem görmez. Yüksek korozyon direnci, iyi işlenebilirlik, orta düzeyde döküm özelliklerine sahiptir. Alüminyum-magnezyum döküm alaşımları, kum kalıba döküm parçalar üretiminde kullanılmaktadır (Kaufman, 2000; Davis, 2001).

6XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri henüz kullanılmamaktadır.

7XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementi olarak çinko içerir. Alüminyum-çinko döküm alaşımları ısıl işlem görebilir. İyi korozyon direnci, iyi boyutsal kararlılık, kötü döküm özelliklerine sahiptir. Ayrıca bakır içeren alaşımlarda iyi işlenebilirlik özelliği görülmektedir (Kaufman, 2000; Davis, 2001)

8XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri, ana alaşım elementi olarak kalay içerir. Alüminyum-kalay döküm alaşımları ısıl işlem görebilir. Çok iyi aşınma direnci ve iyi işlenebilirlik özelliklerine sahiptir(Kaufman, 2000).

9XX.X serisi alüminyum döküm alaşımları: Bu seri, diğer alüminyum döküm serilerinde kullanılmayan elementlerin alaşım üretme işleminde kullanılarak üretilen dökümler için ayrılmıştır (Kılıç, 2020).

3.3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ETKİLERİ

Alüminyum alaşımlarında başlıca kullanılan alaşım elementleri, bakır, silisyum, magnezyum, demir, çinko, krom, kalay, mangan, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur (Ölmez, 2016). Bu alaşım elementlerinden bazılarının alüminyum alaşımlarına etkileri bu başlık altında verilmiştir.

Silisyumun Etkisi: Silisyum, alüminyum döküm alaşımlarının çoğunda kullanılan en önemli alaşım elementlerindedir. Yüksek akışkanlık ve düşük büzülme sağlayarak alüminyum alaşımlarının dökülebilirliğini artırır. Düşük yoğunluğu ile (2.34 gr/cm^3) döküm bileşenin toplam ağırlığını azaltmada avantajlı olur. (Rana, ve Purohit, 2012). Silisyumun magnezyum ile kombinasyonu çökelme sertleştirmesi ısı işlemleri ile dökme ve döküm alüminyum alaşımlarının güçlendirilmesine olanak sağlar. Alaşımların mukavemetini artırır (Kopeliovich, 2012b).

Bakırın Etkisi: Bakır hem ısı işlem görmüş hem de ısı işlem görmemiş alüminyum döküm alaşımlarının, ortam sıcaklığı ile yüksek çalışma sıcaklıklarında mukavemetini ve sertliğini etkiler. Bakır ilavesinin en büyük avantajları hem döküm durumunda hem de ısı işleminden sonra mukavemet ve sertlikte artış sağlamasıdır. Genellikle alaşıma %0,5-4 oranında eklenir, çünkü bu aralıkta alaşım, döküm sırasında daha iyi bir davranış ve ısı işleminden sonra daha iyi özellikler gösterir. Bakır ilavesinin dezavantajı ise bakırın genellikle alüminyumun korozyon direncini azalması ve gerilme korozyonu duyarlılığını artırmasıdır (Fracasso, 2010 ve Kopeliovich, 2012b).

Magnezyumun Etkisi: Magnezyum, alüminyum alaşımlarının sertleşme özelliklerinin önemli ölçüde iyileştirilmesinde etkilidir. Yüksek korozyon direnci, iyi işlenebilirlik, yüksek mukavemet sağlamaktadır. Magnezyum ilavesi silisyumun tersine dökülebilirliği azaltmaktadır. (Fracasso, 2010).

Demirin Etkisi: Demir, alüminyum içinde doğal olarak bulunan en yaygın elementtir. Erimiş alüminyumda yüksek bir çözünürlüğe sahiptir ve bu nedenle üretimin tüm

aşamalarında kolayca çözünür. Alüminyum alaşımlarında hafif bir mukavemet artışı ve orta derecede yüksek sıcaklıklarda daha iyi süneklik özellikleri sağlamaktadır. Demir alüminyum alaşımlarında tane küçültücü etkiye de sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artırmak için alüminyum-bakır-nikel alaşım grubuna demir eklenir (Davis, 2001).

Manganın Etkisi: Manganez, alüminyum alaşımlarında çok sınırlı bir çözünürlüğe sahiptir, ancak soğuk döküm sırasında çözelti içinde kalır, böylece eklenen manganezin çoğu, büyük külçelerde bile büyük ölçüde çözelti içinde tutulur. Alüminyum alaşımlarında mukavemeti arttırmak ve tane yapısını kontrol etmek için kullanılır, korozyon direncine ise olumsuz etkisi yoktur. Manganezin etkisi, yeniden kristalleşme sıcaklığını artırmak ve tane büyümesini engellemektir (Davis, 2001).

Çinkonun Etkisi: Çinko ilavesiyle bütün alüminyum alaşımlarının çekme mukavemeti, haddelenebilme ve işlenebilme kabiliyeti artmaktadır. Çinko magnezyumla birlikte ilave edildiğinde yüksek darbe mukavemeti kazandırır. Çinko, alüminyum silisyum alaşımlarında çökelme sertleşmesine sebep olduğundan dolayı aşınma direncini artırıcı etki yapar. Alaşımın dökülebilirlik özelliğini düşürür (Ölmez, 2016).

Titanyumun Etkisi: Titanyum, tane inceltme etkisi nedeniyle alüminyum alaşımlarında borla birlikte kullanılır. Ayrıca titanyum kaynak yapısını incelttiği için ve kaynak çatlağını önlediği için dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Titanyum, alüminyum alaşımlarında çekme mukavemeti ve sünekliği artırır fakat elektrik iletkenliğini düşürücü etki yapmaktadır (Davis, 2001).

Nikelin Etkisi: Nikel, dövülmüş alüminyum-bakır ve dövülmüş alüminyum-silikon alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda sertliğini ve mukavemetini artırmaktadır. Termal genişleme katsayısı ve korozyon direncini ise azalmaktadır (Kopeliovich, 2012b). Nikel, yüksek saflıktaki alüminyum alaşımlarının dayanımını arttırmakta fakat sünekliğini azaltmaktadır.

Kromun Etkisi: Krom, alaşımlarda tane yapısını kontrol etmek, alüminyum-magnezyum alaşımlarında tane büyümesini önlemek ve sıcak işleme veya ısı işlem

sırasında alüminyum-magnezyum-silikon veya alüminyum-çinko alaşımlarında yeniden kristalleşmeyi önlemek için kullanılır. (Davis, 2001; Kopeliovich, 2012b).

Hidrojen Etkisi: Alüminyum alaşımlarında istenmeyen elementtir. Alaşıma hava yoluyla yapıya girer ve soğuma esnasında gaz boşlukları oluşturmaktadır. Tane sınırlarında gerilmeli korozyona sebep olur. Alüminyum alaşımlarında hidrojeni engellemek amacıyla, berilyum, bakır, kalay, silisyum elementleri kullanılır (Ölmez, 2016).

Zirkonyum Etkisi: Alüminyumun tane yapısını kontrol etmek için kullanılır. Tekrar kristalleşmesini engelleyici özelliktedir. Yüksek kalınlıktaki plakalarda yüksek mukavemet oluşmasını sağlar (Ölmez, 2016). Çizelge 3.8.'de alaşım elementlerinin alüminyum alaşımlarına etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Alaşım elementlerinin alüminyum alaşımlarının özelliklerine etkileri (Ölmez, 2016).

Alaşım Özelliği	Alaşım Elementi										
	Fe	Si	Mg	Mn	Cu	Zn	Ti	Cr	Ni	Li	Zr
Yoğunluk	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑
Akışkanlık	↓	↑	↑	↓	↓	--	↓	NA	NA	NA	NA
Sertlik	↑	↑	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑	↑	NA	NA	NA
Mukavemet	↑	↑	↑	↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	NA	↑	NA	NA
Elektrik İletkenliği	↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓↓	↓↓	↓	↓↓↓	↓	↓↓↓	↓↓
Korozyon Direnci	NA	↑	↑↑↑	↑↑	↓	↓	NA	NA	↓	NA	NA
Isıl Genleşme	NA	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	NA	↓
↑: Artırır, ↓: Azaltır, --: Değiştirmez, NA: Uygulanmaz											

3.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI

Alüminyum, hafif, dayanıklı, kolay şekillendirilebilir, korozyona karşı dirençli, ısı ve elektrik iletkenliği yüksek bir metaldir. Ayrıca doğal özelliklerini kaybetmeden geri dönüştürülebilir ve geri dönüşüm süreci için alüminyum üretiminde kullanılan enerjinin yalnızca %5'ine ihtiyaç duyar. Sahip olduğu bu özellikler alüminyumun birçok farklı endüstri alanında yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Bu başlık altında alüminyumun kullanım alanlarının bazıları örneklendirilmiştir.

3.4.1. Ambalajlama

Korozyon direnci, nem ve koku muhafazası, UV ışığına karşı koruma, alüminyumun zehirleyici olmaması, ürünlerin sızıntı yapmaması ve lekelenmemesi, alüminyum folyoların ve tabakaların gıda ambalajlama ve korumada yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Alüminyumun ambalaj sektörü içinde en yaygın kullanımı alüminyum içecek kutularında olmuştur. Alüminyum kutular şu anda küresel alüminyum tüketiminin yaklaşık %15'ini oluşturmaktadır (Aalco Metals Limited, 2019).

3.4.2. Ulaşım

Alüminyum güçlü, dayanıklı ve hafif bir metaldir. Günümüzün enerji bilincine sahip toplumunda, bu üç temel özellik bir araya gelerek alüminyumu ulaşım sektörü için tercih edilen ana yapı malzemesi haline getirmiştir. Yakıt tüketiminin azaltılması ve yük taşıma kapasitesinin artırılması için ağırlıktan tasarrufun hayati önem taşıdığı otomobiller, uçaklar, gemiler, kamyonetler ve trenler ulaşım sektöründe alüminyum kullanımının artışının önemli örnekleridir (Aalco Metals Limited, 2019).

3.4.3. Yapı ve Mimari

Alüminyum hem güçlü hem de hafif olduğu için mimari uygulamalar için idealdir. Hem kaplama panelleri sac olarak hem de panel iskeleti ekstrüzyon olarak kullanılır, iyi bir ısı yalıtıcıdır ve eloksallı kaplamalı olup minimum bakım gerektirir. İmalatı da

nispeten kolay olduğu için, mimarların ihtiyaç duyduğu istenen stil ve görünüme göre kesilebilir, kavisli, delinebilir ve katlanabilir. Bu, modern mimarların istedikleri bir binayı yaratma özgürlüğüne sahip olmalarını ve eloksal gibi gerekli yüzey işlemlerini gerçekleştirmelerini sağlar(Aalco Metals Limited, 2019).

3.4.4. Folyolar

Alüminyumdan 6,5 µm'ye kadar ince ticari folyolarda üretilmektedir. Alüminyum folyo ışığa, gazlara, sıvı-katı yağlara, uçucu bileşenlere ve su buharına karşı dayanıklıdır. Ayrıca alüminyumun yüksek şekillendirilebilirlik, sıcağa ve soğuga dayanıklılık, toksik olmama, ısı ve ışığı yansıtma özelliklerine de sahiptir. Bu özellikler alüminyum ve alüminyum folyoların birçok uygulamada kullanılmasına olanak sağlamıştır (Aalco Metals Limited, 2019).

3.4.5. Elektrik Elektronik

Alüminyum, elektrik uygulamalarında kullanılan en yaygın biridir ve havai enerji nakil hatları ve yerel güç dağıtım hatları dahil elektrik şebekelerinin kablolanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca elektronik üreticileri son zamanlarda çelik ve plastiğin yerini alüminyum kullanmaya başlamışlardır. Yüksek ısı iletkenliği CPU ve grafik işlemcilerini soğutma işleminde alüminyumu ideal bir seçim haline getirmiştir. (Aalco Metals Limited, 2019). Çizelge 3.9. ve Çizelge 3.10.'da alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 3.9. Alüminyum dövme alaşımlarının kullanım alanları (The Aluminum Association, 1998).

Alüminyum Dövme Alaşımlarının Kullanım Alanları	
1XXX	Elektriksel ve kimyasal uygulamalar
2XXX	Uçak tasarımları, taşımacılık uygulamaları
3XXX	Isı transferi ekipmanları, paketleme, çatı kaplama uygulamaları
4XXX	Pistonlar ve karmaşık şekilli dövmeler
5XXX	Yapı ve inşaat, otomotiv, denizcilik uygulamaları
6XXX	İnşaat, otomotiv, demiryolu araçları, denizcilik uygulamaları
7XXX	Havacılık, otomotiv uygulamaları
8XXX	Elektrik, havacılık, rulman uygulamaları
9XXX	Bu seri henüz kullanılmamaktadır

Çizelge 3.10. Alüminyum döküm alaşımlarının kullanım alanları (The Aluminum Association, 1998).

Alüminyum Döküm Alaşımlarının Kullanım Alanları	
1XX.X	Elektrik uygulamaları
2XX.X	Uçak, otomotiv uygulamaları ve motorları
3XX.X	Otomotiv uygulamaları, pistonlar, pompalar ve elektrik uygulamaları
4XX.X	Daktilo çerçeveleri, diş ekipmanları, denizcilik ve mimari uygulamalar
5XX.X	Pişirme kapları, gıda işleme, uçak ve otoyol donanımları
6XX.X	Bu seri henüz kullanılmamaktadır
7XX.X	Mobilya, bahçe aletleri, ofis makineleri, çiftlik ve madencilik ekipmanları
8XX.X	Rulmanlar ve burçlar
9XX.X	-

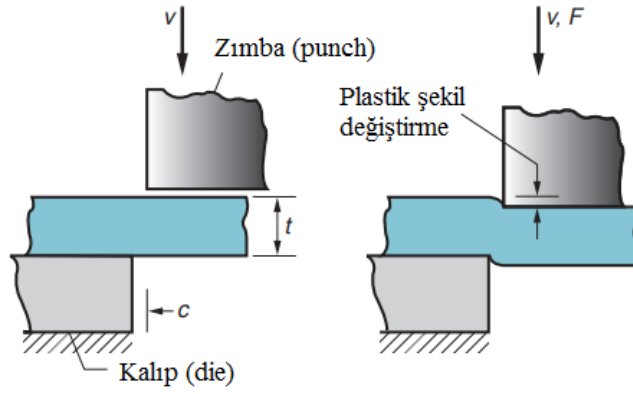
BÖLÜM 4

SAC METAL İŞLEMLERİ VE SAC MALZEMELERDE KESME

Sac metal işlemleri nispeten ince sacların kesme ve şekillendirme işlemlerini içermektedir. Tipik sac metal kalınlıkları 0.4 mm ile 6 mm arasındadır. Sac metal işlemlerinde kullanılan sac ve plaka stokları düz hadde ile üretilmektedir. Sac metal işlemleri kesme, eğme ve derin çekme olmak üzere 3 temel kategoride incelenmektedir. Kesme, büyük sac malzemeyi küçük parçalar kesmek, parçanın çevre kesimi ve delik açmak için kullanılır. Eğme ve derin çekme işlemleri ise sac parçayı istenen şekle getirmeyi sağlayan işlemlerdir (Groover, 2019).

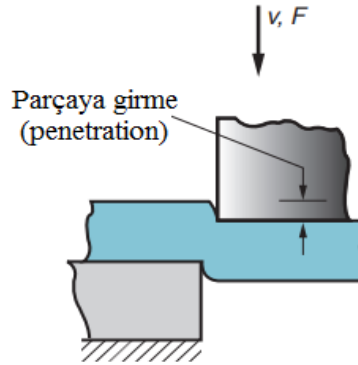
Kesme, levhalar ve plakalar halindeki düz malzeme formlarını mekanik, hidrolik veya pnömatik güçle çalışan özel makinelerde birbirinden ayırma işlemidir. Kesme işlemi bir hat boyunca ve planlanan geometrik yapıya uygun olarak, malzemelerden talaş kaldırmadan gerçekleştirilir. Kesme işlemi temel olarak 3 aşamada gerçekleşmektedir (Boljanovic, 2004; Megep, 2010).

1. Aşama Plastik Deformasyon: F kesme kuvvetinin etkisiyle zımba kesilecek yüzeye basar. Bu aşamada malzeme üzerindeki gerilim, akma geriliminden daha düşüktür ve malzemenin elastikiyet sınırları içerisindeydir. Zımbanın etkisi devam ederek malzeme üzerindeki gerilimin akma gerilmesi sınırını aşmasıyla plastik deformasyon oluşur (Boljanovic, 2004). Kesme işlemindeki bu safha plastik deformasyon veya kesme başlangıcı adlandırılmaktadır (Kahraman, 2006). Kesme işleminde plastik deformasyon aşaması Şekil 4.1. verilmiştir.



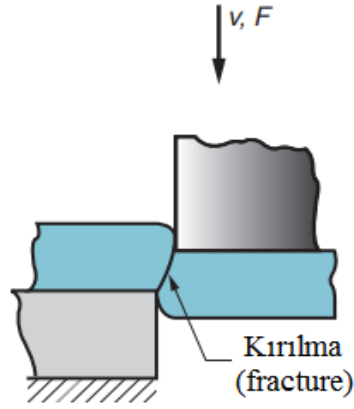
Şekil 4.1. Plastik deformasyon aşaması (Groover, 2019).

2. Aşama Batma: Zımba aşağı doğru hareketine devam ederek sacın içine girer. Zımbanın sacının içine girdiği kalınlık genellikle sac malzemenin kalınlığının 1/3'ü ölçüsündedir (Groover, 2019). Zımbanın malzemeye batmasıyla kesilen parçanın da matrise aynı oranda girmesi sağlandığında kısa bir parlak kesilme şeridi oluşur. Parlak kesilme şeridinin kalınlığı malzemeye göre değişmekle beraber sac kalınlığının 1/3'ü kadardır (Kahraman, 2006) Kesme işleminde batma aşaması Şekil 4.2. de verilmiştir.



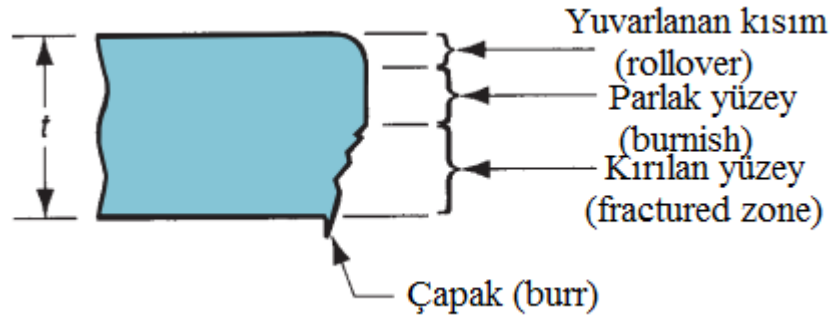
Şekil 4.2. Batma aşaması (Groover, 2019).

3. Aşama Kırılma: Malzemede ilk çatlak görülür ve ayrılma başlar. Zımbanın malzeme içine hareketine devam etmesiyle birlikte kırıklar derinleşir ve nihayet buluşur. Kesik şeritten ayrılır ve kalıba itilir. Bu aşamada malzemede kırılma olayı meydana gelir (Boljanovic, 2004; Suchy, 2006). Kesme işleminde kırılma aşaması Şekil 4.3. de verilmiştir.



Şekil 4.3. Kırılma aşaması (Groover, 2019).

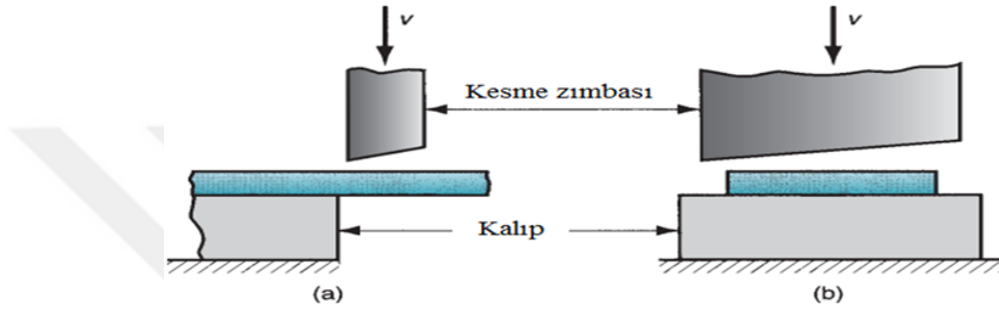
Kesilen yüzeyler çeşitli karakteristik özelliklere sahiptir. Bu özellikler Şekil 4.4.' de gösterilmiştir. Kesme yüzeyinin en üst kısmının olduğu bölge yuvarlanma bölgesi (rollover) olarak adlandırılır. Bu bölge kesme işleminden hemen önce zımba tarafından malzemeye yapılan girintiye karşılık gelmektedir ve ilk plastik deformasyon burada oluşmaktadır. Yuvarlanmadan hemen sonraki daha düzgün ve parlaktır. Bu bölge (burnish) kırılma başlamadan hemen önceki durumdur. Parlak bölgenin hemen altındaki kısım kırılma (fractured zone) bölgesi'dir. Kırılma bölgesi diğer bölgelere göre nispeten daha kaba bir yüzeye sahiptir. Zımbanın malzemeye doğru batma hareketi ile kırılma olayı meydana gelmektedir. Kırılma olayı sonucu malzemenin en alt kenarında iki parçanın son ayrılması sırasında metalin uzamasının neden olduğu keskin bir köşe oluşur ve bu kısım çapak (burr) olarak adlandırılır (Groover, 2019).



Şekil 4.4. İş parçasının karakteristik kesilen yüzeyleri (Groover, 2019).

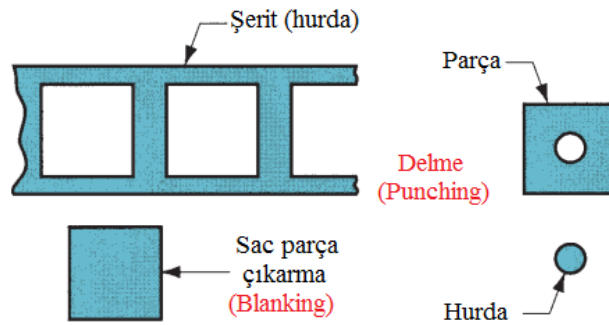
4.1. KESME, SAC PARÇA ÇIKARMA VE DELME

Kesme, iki kesme kenarı arasındaki düz bir çizgi boyunca bir sac metal malzemenin kesilmesi işlemidir. Kesme işlemi tipik olarak geniş sacları daha sonraki işlemler için kullanılacak küçük sacları kesmek için yapılan bir işlemdir. Bu işlem giyotin ve kare makas olarak isimlendirilen preslerle yapılmaktadır. Giyotin presin st bıçağı kesme kuvvetini düşürmek için eğimli olarak yapılmaktadır (Groover, 2019).



şekil 4.5. Kesme işlem: a) kesme işleminin yandan görünüşü b) st kesme bıçağı eğimli olan giyotinde kesme işleminin nden görünüşü (Groover, 2019).

Sac parça çıkarma, istenilen şeklin sac malzemenin tek bir aşamada kesilerek elde edilmesi işlemidir. Elde edilen sac metal parça sac metal iş parçası olarak adlandırılmaktadır. Delme, bu işlem sac parça çıkarma işlemine benzer olmakla birlikte bu işleminde delik delinir. Delik boşluğundan atılan sac metal parça hurda olarak isimlendirilir. Kalan parça ise istenilen parçadır. Sac parça çıkarma ve delme işlemi şekil 4.6. da verilmiştir (Groover, 2019).



şekil 4.6. Sac parça çıkarma ve delme işlemi (Groover, 2019).

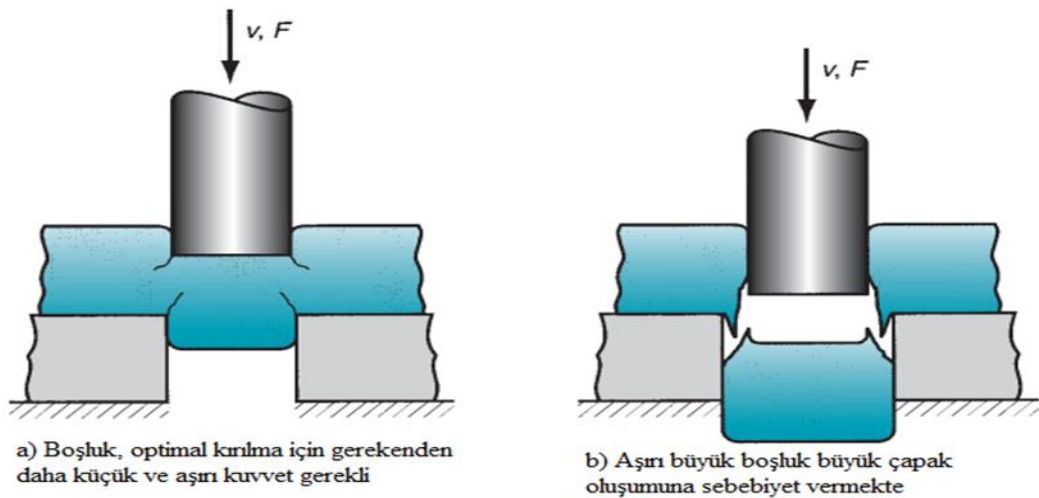
4.2. SAC METAL KESME İŞLEMİNİN ANALİZİ

Sac metal işleme parametreleri zımba ile kalıp arasındaki boşluk, sac kalınlığı, malzeme cinsi, malzeme mukavemeti ve kesme uzunluğu olarak tanımlanabilir.

4.2.1. Kesme Boşluğunu Hesaplanması

Kesme işleminde zımba ile kalıp arasında her iki taraftan bırakılan açıklık boşluk olarak adlandırılır. Kesme boşluğunun büyüklüğü kesilen malzemenin cinsi ve kalınlığına bağlıdır. Zımba ile kesme işlemlerinde boşluk malzeme kalınlığının bir yüzdesi olarak ifade edilir. Kesme boşluğu genellikle kesilecek sac malzeme kalınlığının %4-8'i arasındadır. Kesme boşluğunun uygun bırakılması kesme işlemi için çok önemlidir ve kalıbın rahat kesme yapabilmesi, kalıp ömrünün uzun olması ve kesilen yüzeyin temiz çıkmasını sağlamaktadır (Boljanovic, 2004; Megep, 2010; Groover, 2019).

Uygun olmayan kesme boşluğunun etkileri aşağıda Şekil 4.7. de gösterilmiştir. Kesme boşluğu küçük olursa, kırılma çizgileri birbirini geçerek çift taraflı parlak yüzey oluşur. Ayrıca sac malzemeleri birbirinden ayırmak için gerekli kesme kuvveti artar. Kesme boşluğu büyük olduğunda ise metal kesme kenarları arasında sıkışır ve aşırı çapak oluşur (Boljanovic, 2004; Yıldız, 2013).



Şekil 4.7. Kesme boşluğunun etkisi (Groover, 2019).

Kesme boşluğunu etkileyen faktörler dört ana grupta toplanır (Megep, 2012).

- Zımbanın şekli ve malzemesi
- Kalıp, delme hızı, yağlama
- Kesilecek malzemenin kalınlığı
- Kesilecek malzemenin türü

Sac metal malzemeler için tavsiye edilen kesme boşluğu aşağıda verilen formül ile hesaplanır:

$$c = A_c \cdot t \quad (4.1)$$

c: boşluk (mm) - A_c : müsaade edilebilecek boşluk - t: sac kalınlığı (mm)

Malzemeler kolaylık açısından üç gruba ayrılmıştır ve müsaade edilebilecek boşluklar aşağıda Tablo 4.1.'de gösterilmiştir (Demirkol, 2010).

Çizelge 4.1. Müsaade edilebilir boşluk değerleri.

Metal grubu	A_c (%)
Yumuşak Al alaşımları	4
Sertleştirilebilir Al alaşımları, pirinç, yumuşak çelik ve paslanmaz çelik	6
Soğuk haddelenmiş sertleştirilmiş çelik, paslanmaz çelik	7,5

Kesme işleminde kalıp açıklığı zımba boyutundan büyük olmak zorundadır. Boşluk değerinin kalıba veya zımbaya verilmesi işlemi, kesilip çıkarılacak parçanın iş parçası veya hurda olmasıyla alakalıdır (Groover, 2019).

Çapı D_b olan yuvarlak bir sac iş parçasının zımba ve kalıp boyutları aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\text{Sac iş parçasının zımba çapı} = D_b - 2c \quad (4.2a)$$

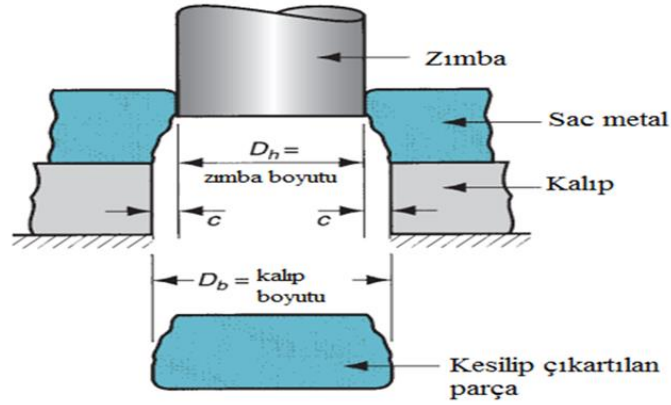
$$\text{Sac iş parçası kalıp çapı} = D_b \quad (4.2b)$$

Çapı D_h olan yuvarlak bir delik açma işlemi için zımba ve kalıp boyutları ise aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\text{Delik zımba çapı} = D_h \quad (4.3a)$$

$$\text{Delik kalıp çapı} = D_h + c \quad (4.3b)$$

Daha anlaşılır bir şekilde ifade edecek olursak, iş parçası üzerinde belirli çaplarda ve belirli ölçülerde boşaltmalar yapılacaksa kesme boşluğunu kalıba vermemiz gerekir. Eğer malzemeden belirli ebatlarda iş parçası üretilecekse kesme boşluğunu zımbaya vermemiz gerekir (Megep, 2012).



Şekil 4.8. Kesme boşluğunun hesaplanması (Groover, 2019).

$$T \leq 3\text{mm saclar için}; c = \frac{k.T.\sqrt{\tau_m}}{2} \quad (4.4)$$

$$T > 3\text{mm saclar için}; c = \frac{(1,5.k.T-0,015).\sqrt{\tau_m}}{2} \quad (4.5)$$

T: malzeme kalınlığı (mm) - τ_m : malzemenin kesme gerilmesi (kg/mm²) - k: katsayı; (0,005 – 0,035).

4.2.2. Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

Kalıplama anında parçanın şerit malzemedan ayrılmasına karşı göstermiş olduğu toplam dirence kesme kuvveti denir (Megep, 2012). Sac metal kesme işlemlerinde kesme kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanır (Groover, 2019).

$$F = S \cdot t \cdot L \quad (4.6)$$

F: kesme kuvveti (N) – S: sac metalin kayma mukavemeti (MPa) – t: sac metalin kalınlığı (mm) – L: kesme kenarı uzunluğu

Sac metal parça çıkarma, delme, boşluk oluşturma gibi benzer işlemler için L sac metal iş parçasının veya kesilen deliğin çevre uzunluğudur. Eğer kayma mukavemeti bilinmiyorsa kesme kuvvetini belirlemek için çekme mukavemeti kullanılmaktadır (Groover, 2019).

$$F = 0,7(UTS) \cdot t \cdot L \quad (4.7)$$

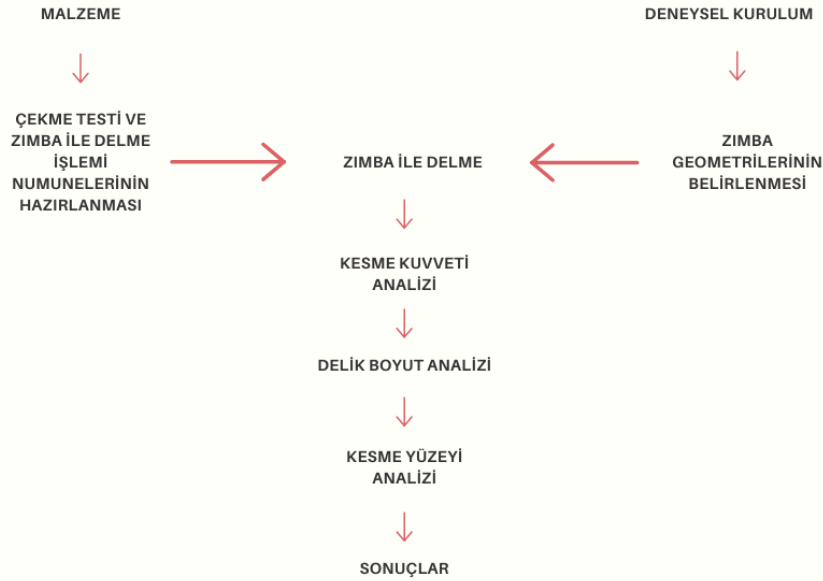
UTS: malzemenin maksimum çekme dayanımı

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada farklı dayanım seviyelerine sahip iki farklı alüminyum alaşımı sac metal malzeme kullanılmıştır. Zimba ile delme işlemlerinde 5 farklı geometriye sahip zimba kullanılmıştır. Dolayısıyla iki farklı malzeme için 10 adet numune elde edilmiş ve numuneler stereo mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Çalışmanın genel aşamaları ve metodolojisi Şekil 5.1.'de verilen akış şeması ile gösterilmiştir.

Deneysel Çalışmalar Akış Şeması



Şekil 5.1. Deneysel çalışmalar akış şeması.

5.1. MALZEMELER

Bu çalışmada kullanılan ticari alüminyum sac kaliteleri AA1100 ve AA5005 malzemelerinin kimyasal bileşimleri sırasıyla Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de verilmiştir. Sac kalınlıkları AA1100 ve AA5005 için 1,4 mm'dir. Sac metal malzemeler

çalışmalar için 130x27 mm boyutlarında küçük şerit parçalar halinde kesilmiştir. Sac malzemeler ticari olarak tedarik edilmiştir.

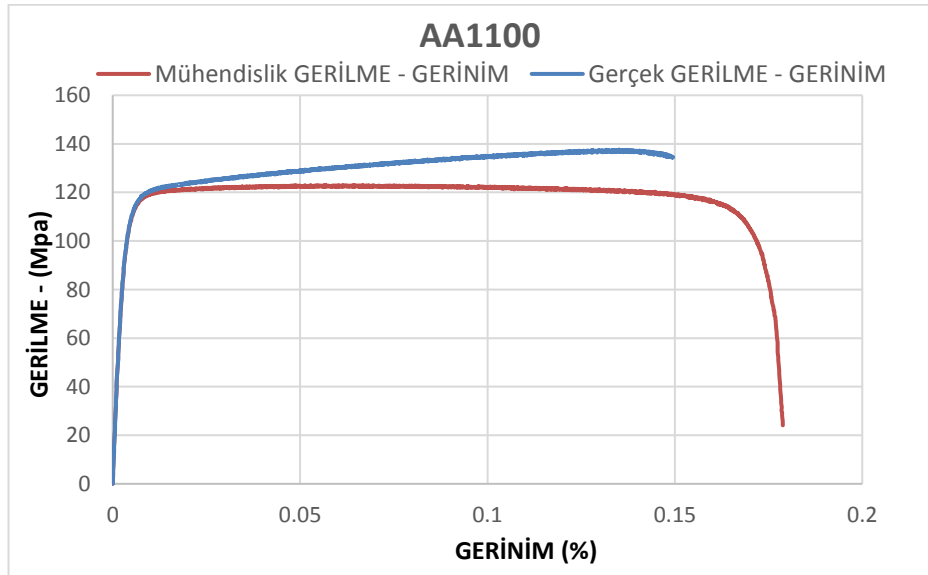
Çizelge 5.1. AA1100 kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	P	Ca	Si	Ga	Mg	Fe	Al
Alüminyum	0,01	0,05	0,6	0,02	0,09	0,55	98,66

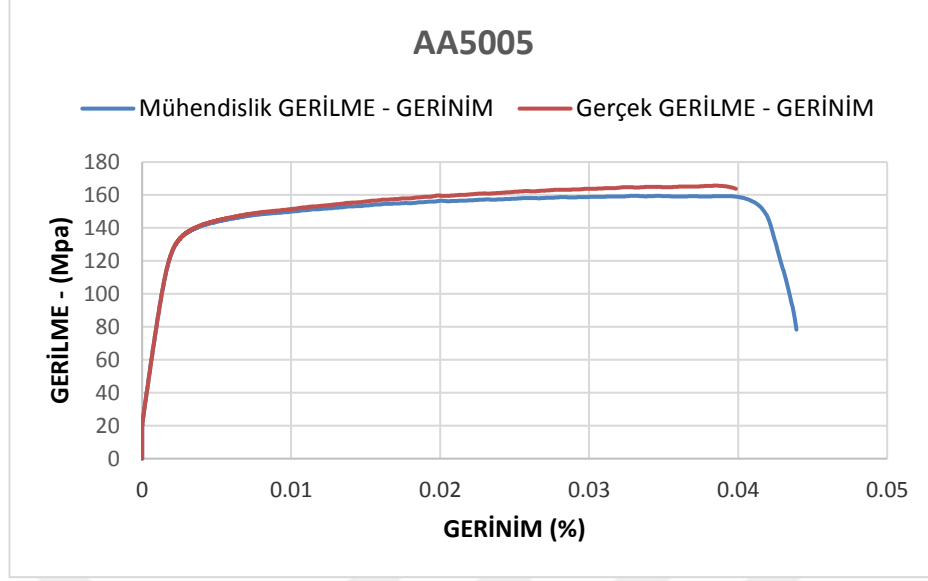
Çizelge 5.2. AA5005 kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	Zn	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Al
Alüminyum	0,25	0,2	0,3	0,3	1,1	0,7	97,15

Sonlu elemanlar yazılımında malzeme özelliklerini tanımlamak için malzemelerin çekme testi sonuçları kullanılmıştır. Testlerden elde edilen mühendislik gerilme-gerinim eğrileri, gerçek gerilme-gerinim eğrilerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Kullanılan AA1100 ve AA5005 metal sac malzemeler için çekme testi sonuçları sırasıyla Şekil 5.2. ve Şekil 5.3. verilmiştir.



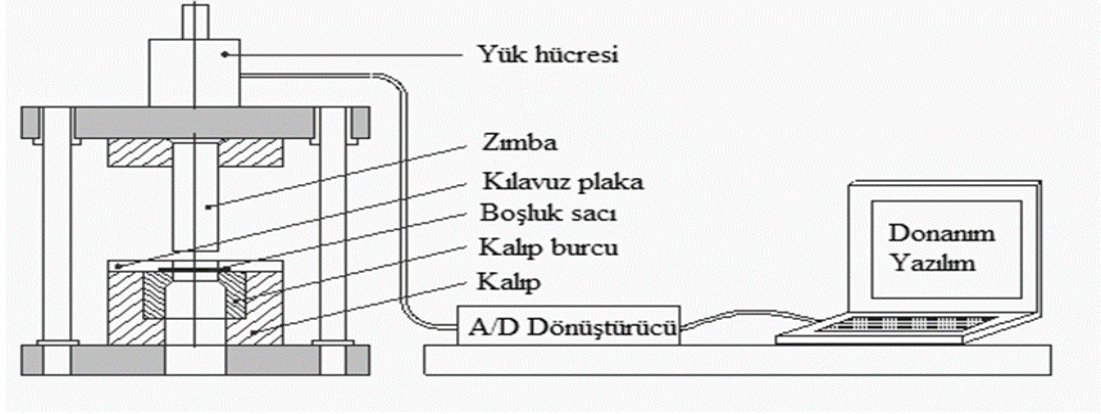
Şekil 5.2. AA1100 çekme testi sonucu.



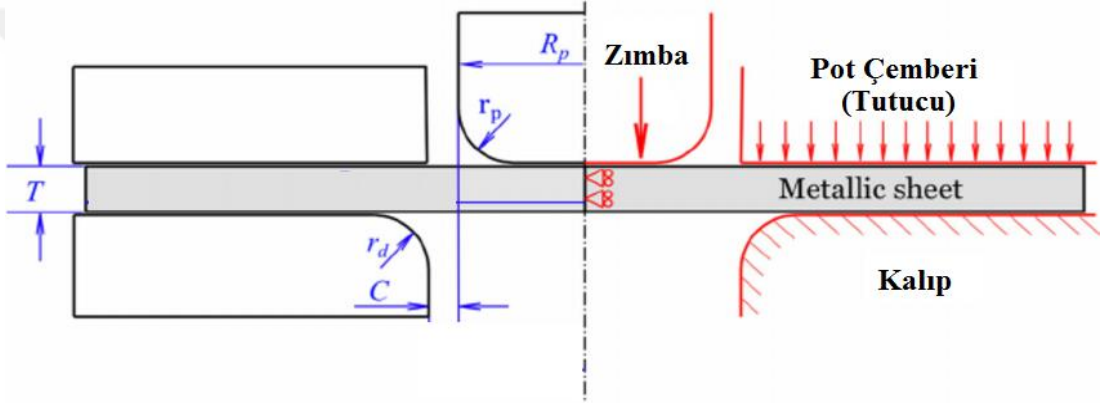
Şekil 5.3. AA5005 çekme testi sonucu.

5.2. ZIMBA İLE DELME İŞLEMLERİ VE DENEY SİSTEMATİĞİ

Bu çalışmada zimba ile delme deneylerinin yapıldığı pres, kalıp, loadcell ve bilgisayardan oluşan sistem şematik olarak Şekil 5.4'de gösterilmektedir. Delme işlemlerinde modüler bir kalıp kullanılmıştır. Şekil 5.4'de verildiği gibi zimbanın devamına 240kN kapasiteli loadcell yerleştirilerek delme işlemlerinde ortaya çıkan yük tespit edilmiştir. Bu loadcell saniyede 10000 yük verisi ölçebilmekle birlikte bu çalışmada veri miktarı saniyede 2000 olarak sınırlandırılmıştır. Sonuçlar, yükleme hücresi, veri kartı, amplifikatör ve bilgisayar yazılımı kullanılarak kalıptan bilgisayara aktarılmıştır. Zimba ile delme deneylerinden önce deney sistemi kuvvet-zaman verilerinin doğruluğu üzerine kalibre edilmiştir. Bu deney sistematiği ile zimba ile delme deneylerinde ortaya çıkan kuvvet zamana bağlı veri olarak alınmış ve sonradan grafik haline getirilmiştir. Literatürde, kesme ve delme işlemleri gerçekleştirilirken kullanılan kesme boşluğu değerlerinin kesme kuvveti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Çavuşoğlu, vd. 2017; Çavuşoğlu, vd. 2017b). Bu nedenle, deneysel çalışmalarda en iyi sonuçları elde etmek için %0,4'lük kesme boşluğu kullanılmıştır. Zimba ile delme işlemlerinde kullanılan sınır koşulları Şekil 5.5. ve Tablo 5.3.'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Deneysel kurulum.



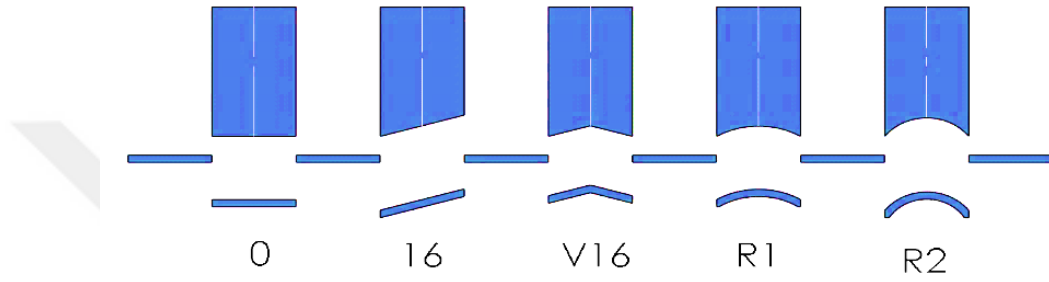
Şekil 5.5. Zimba ile delme işlemlerindeki önemli parametreler (Canales, vd., 2017).

Çizelge 5.3. Zimba ile delme işleminde kullanılan sınır koşulları.

Sac metal malzeme kalınlığı, T	1,5 mm
Zimba ile kalıp arasındaki boşluk, C	$\%4 \times T$
Zimba yarıçapı, R_p	10 mm
Kalıp köşe yarıçapı, r_d	0,01 mm
Zimba köşe yarıçapı, r_p	0,01 mm
Sürtünme katsayısı	0,1
Press hızı, V_p	1,5 m/dk

5.2.1. Zımba Ucu Tipleri-Geometrileri

Zımba ile delme deneylerinde 20 mm çapında ve yüksek hız çeliğinden (EN 1.3355) üretilmiş zımbalar kullanılmıştır. Delme deneyleri P1 (0°) düz, P2 (16°) açılı, P3 (R1) konkav, P4 (R2) konkav ve P5 (V16) olmak üzere beş farklı zımba geometrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu zımba ucu tipleri-geometrileri Şekil 5.6.'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan zımba geometrileri.

5.2.2. Hasar Analizi

Zımba ile delme işlemleri sonrasında ürün çapı boyut ölçümleri ve kesme yüzey analizleri stereo mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyut ölçümleri stereo mikroskopta dikey olarak yapılmıştır. Kesme yüzeyi analizleri için numuneler testere kullanılarak eksenden ikiye ayrılmıştır. Kesme yüzeyleri, kesme profili bakış açısı ile incelenmiştir. Kesme yüzey incelemesinde literatürde dikkat edilen kesme bölgelerinin görüntülerinin alınması sağlanmıştır. Çalışmada yapılan hasar analizi incelemelerinin aşamaları Şekil 5.7.'de verilen akış şemasında gösterilmiştir.

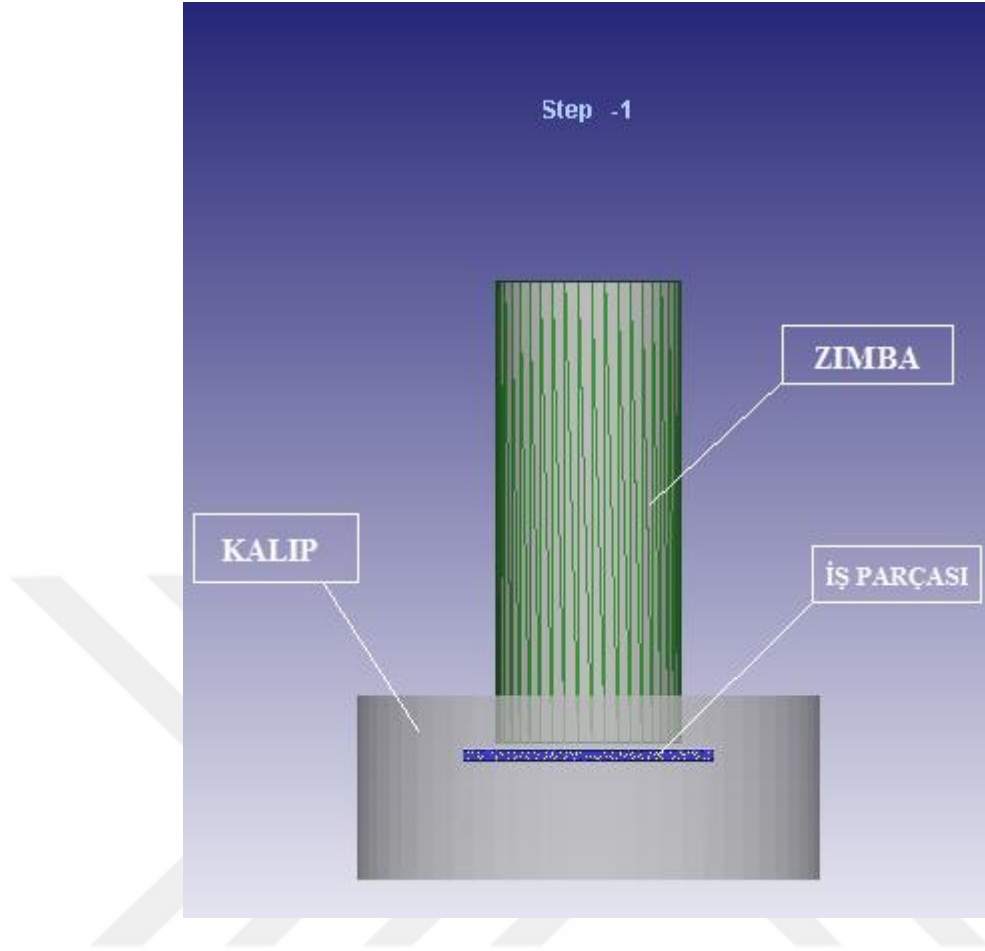


Şekil 5.7. Hasar analizi incelemeleri akış şeması.

5.3. SONLU ELEMANLAR YAZILIMLARI İLE DELME İŞLEMİNİN MODELLENMESİ

Sonlu elemanlar analizi (FEA), herhangi bir fiziksel olgunun sonlu elemanlar metodu (FEM) adı verilen sayısal teknik kullanılarak simülasyonudur. Basitçe ifade etmek gerekirse, bir sınır değer problemi, bir veya daha fazla bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler alanı içinde birçok diferansiyel denklemi çözmesi ve alanın sınırlarındaki belirli koşulları sağlaması gereken bir matematiksel problemdir(Hutton, 2004). Mühendisler, fiziksel prototiplerin ve deneylerin sayısını azaltmak ve tasarım aşamasında bileşenleri optimize etmek için FEA yazılımını kullanarak kaliteli ürünleri daha hızlı ve maliyetlerden tasarruf ederek geliştirmek için kullanırlar(Logan, 2007). Sonlu elemanlar prosedürleri şu anda mühendislik analizinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu kullanımın önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde artmasını beklenmektedir(Bathe, 2014).

Sayısal analiz olarak sonlu elemanlar yazılımı ile çalışmada öncelikli olarak alüminyum alaşımı sac metal malzemelerin programın veri bankasından otomatik olarak ve manuel olarak el ile kimsayal ve mekanik özellikleri tanımlanmış, analizler ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarla tutarlılığı sağlamak ve yazılımın zımba ile delme işlemlerinin simülasyonundaki performansını görmek için analizlerde 3D modeller kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yazılımında delme prosesi modellendikten sonra deneysel ortamlar aynı sınır koşullarında (sabit kesme boluğu ve kesme hızı) tüm zımba geometrileri için 3 farklı delme işlemi gerçekleştirilmiş analiz sonuçları zımba ile delme işleminden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada sonlu elemanlar yazılımı ile oluşturulan modellenmiş deneysel kurulum Şekil 5.8.'de verilmiştir.



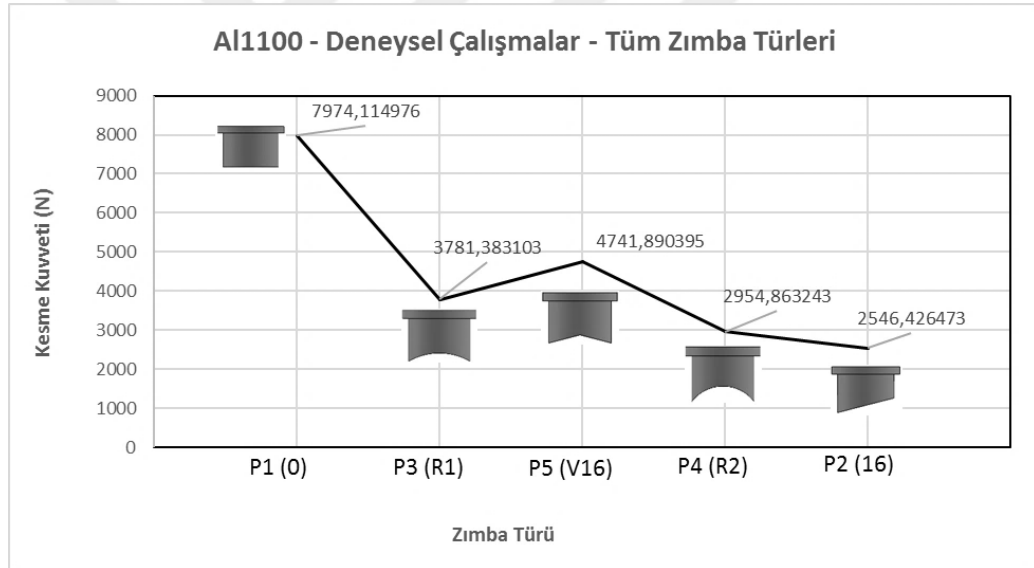
Şekil 5.8. Sonlu elemanlar yazılımında modellenmiş deneysel kurulum.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. DELME İŞLEMİNDE OLUŞAN KESME KUVVETLERİNİN İNCELENMESİ

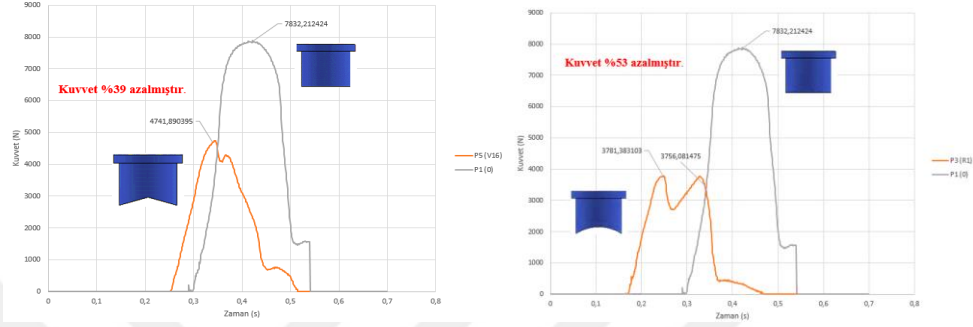
AA1100 metal sac malzemeyle yapılan zımba ile delme işlemlerinden elde edilen kesme kuvvetleri tüm zımba geometrileri için Şekil 6.1’de verilmiştir.



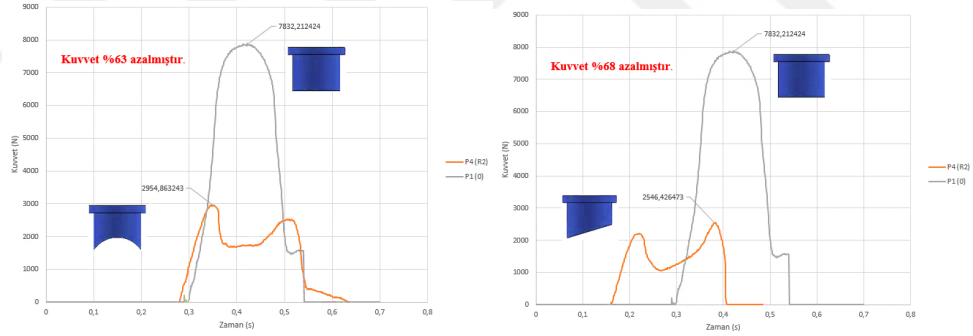
Şekil 6.1. AA1100 metal sac malzeme tüm zımba geometrileri için delme işleminden elde edilen kesme kuvvetleri.

Farklı zımba geometrileri, sabit kesme hızı ve sabit kesme boşluğu kullanılarak uygulanan zımba ile delme işlemlerinde Şekil 6.1.’de gösterildiği gibi; AA1100 metal sac malzeme için kesme kuvveti 7974,114 N’dur. P2 (16°) açılı zımba için kesme kuvveti 2546,426 N, P5 (V16) zımba için kesme kuvveti 4741,89 N, P3 (R1) ve P4 (R2) konkav zımbalar için kesme kuvveti sırasıyla 3781,383 N ve 2954,863 N olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla, farklı zımba geometrileri kullanılarak zımba ile delme deneylerinde en yüksek kesme kuvveti P1 (0°) düz zımba geometrisin de ve

en düşük kesme kuvveti ise P2 (16°) açılı zımba geometrisi kullanıldığında elde edilmiştir. Zımba türüne göre kesme kuvvetleri en yüksek kesme kuvvetinin elde edildiği P1 (0°) düz zımba ile karşılaştırılmıştır. Kesme kuvvetleri karşılaştırma işlemi sırasıyla P5 (V16), P3 (R1) konkav, P4 (R2) konkav ve P2 (16°) açılı zımbalar için yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar Şekil 6.2. ve Şekil 6.3. da verilmiştir.



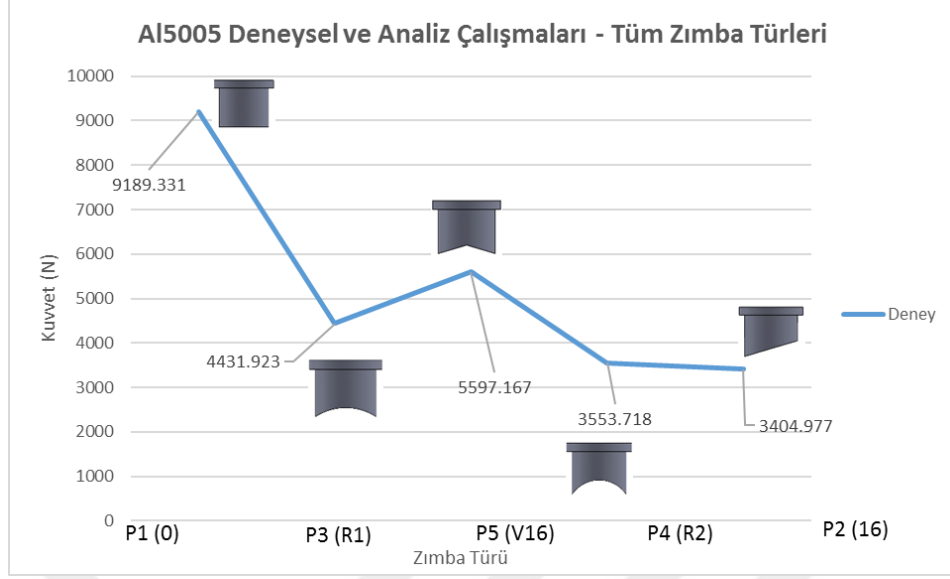
Şekil 6.2. P1 (0°) düz zımba ile P5 (V16) ve P3(R1) zımba kesme kuvveti karşılaştırması.



Şekil 6.3. P1 (0°) düz zımba ile P4 (R2) ve P2 (16°) zımba kesme kuvveti karşılaştırması.

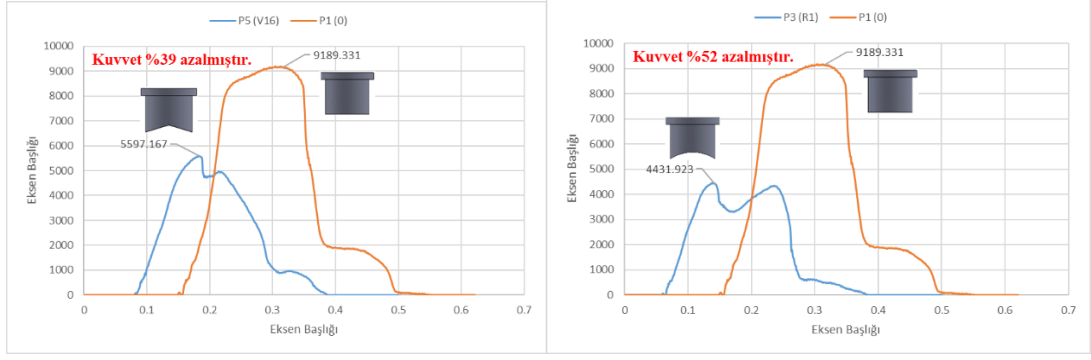
Şekil 6.2. ve Şekil 6.3. incelendiğinde açılı-egimli zımba geometrileri kullanıldığında kesme kuvvetlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Zımba ile delme işlemlerinde kesme kuvvetleri düz uçlu zımbaya göre sırasıyla %39, %53, %63, %68 oranında azalmıştır.

AA5005 metal sac malzemeye yapılan zımba ile delme işlemlerinden elde edilen kesme kuvvetleri tüm zımba geometrileri için Şekil 6.4'de verilmiştir.

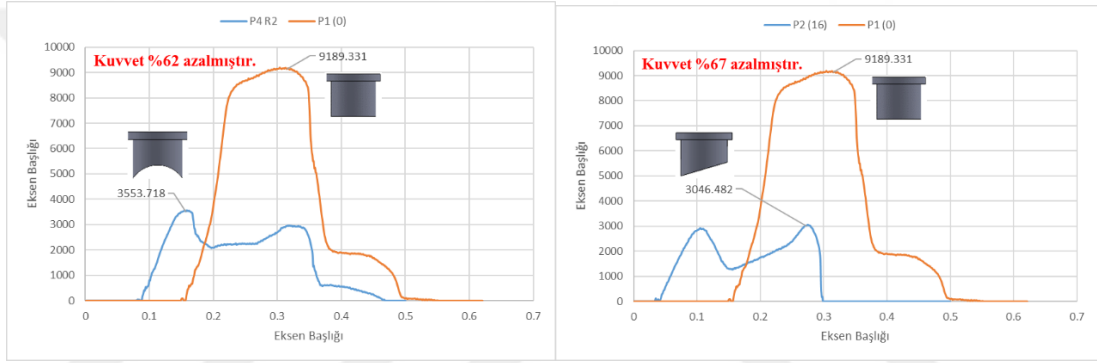


Şekil 6.4. AA5005 metal sac malzeme delme işleminden elde edilen kesme kuvvetleri.

Farklı zımba geometrileri, sabit kesme hızı ve sabit kesme boşluğu kullanılarak uygulanan zımba ile delme işlemlerinde Şekil 6.1.'de gösterildiği gibi; AA1100 metal sac malzeme için kesme kuvveti 9189,331 N'dur. P2 (16°) açılı zımba için kesme kuvveti 3404,977 N, P5 (V16) zımba için kesme kuvveti 5597.167 N, P3 (R1) ve P4 (R2) konkav zımbalar için kesme kuvveti sırasıyla 4431,923 N ve 3553,718 N olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla, farklı zımba geometrileri kullanılarak zımba ile delme deneylerinde en yüksek kesme kuvveti P1 (0°) düz zımba geometrisin de ve en düşük kesme kuvveti ise P2 (16°) açılı zımba geometrisi kullanıldığında elde edilmiştir. Zımba türüne göre kesme kuvvetleri en yüksek kesme kuvvetinin elde edildiği P1 (0°) düz zımba ile karşılaştırılmıştır. Kesme kuvvetleri karşılaştırma işlemi sırasıyla P5 (V16), P3 (R1) konkav, P4 (R2) konkav ve P2 (16°) açılı zımbalar için yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar Şekil 6.5. ve Şekil 6.6. da verilmiştir.



Şekil 6.5. P1 (0°) düz zımba ile P5 (V16) ve P3 (R1) zımba kesme kuvveti karşılaştırması.



Şekil 6.6. P1 (0°) düz zımba ile P4 (R2) ve P2 (16°) zımba kesme kuvveti karşılaştırması.

Şekil 6.5. ve Şekil 6.6. incelendiğinde açılı-egimli zımba geometrileri kullanıldığında kesme kuvvetlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Zımba ile delme işlemlerinde kesme kuvvetleri P1 (0°) düz uçlu zımbaya göre sırasıyla %39, %52, %62, %67 oranında azalmıştır.

Al1110 ve AA5005 metal sac malzemelerin farklı geometrilere sahip zımbalarla delinmesi işleminde iki malzemede de en yüksek kesme kuvveti P1 (0°) düz zımba geometrisi ile en düşük kesme kuvveti ise P2 (16°) açılı zımba geometrisi kullanıldığında elde edilmiştir. Saier, (2021), DP800 otomotiv çeliği ile düz, konkav, açılı zımba geometrileri kullanarak yaptığı zımba ile delme çalışmalarında en yüksek kesme kuvvetinin düz zımba geometrisi kullanıldığında en düşük kesme kuvvetinin ise açılı zımbalar kullanıldığında elde edildiğini ifade etmiştir. Aynı çalışmada zımba

ucu açısının malzeme ile zımbanın temas alanını etkilediği için çok önemli olduğunu, dolayısıyla zımba kuvvetini de etkilediği belirtmiştir.

Göktaş, vd. (2012), DKP sac malzeme ile 0°, 2°, 4°, 8°, 16° açılı zımbalar kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarda zımba açısı arttıkça kesme kuvvetinin önemli ölçüde düştüğünü ifade etmişlerdir. Al1110 ve AA5005 metal sac malzemelerin farklı geometrilere sahip zımbalarla delinmesi işleminde yukarıdaki benzer çalışmalarda ifade edildiği gibi temas alanı kesme kuvveti ilişkisi nedeniyle zımba açısının kesme kuvvetini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Şekil 6.2. ve Şekil 6.3. incelendiğinde AA1100 metal sac malzemenin zımba ile delme işlemlerinde kesme kuvvetleri P1 (0°) düz uçlu zımbaya göre sırasıyla P5 (V16) zımba için %39, P3 (R1) konkav zımba için %53, P4 (R2) konkav zımba için %63, P2 (16°) açılı zımba için %68 oranında azaldığı, benzer şekilde AA5005 metal sac malzeme zımba ile delme işlemlerinde P5 (V16) zımba için %39, P3 (R1) konkav zımba için %52, P4 (R2) konkav zımba için %62, P2 (16°) açılı zımba için %67 oranında azaldığı görülmüştür. Bu kuvvet değişimlerinin sebebi P1 (0°) düz zımba geometrisinde tüm yüzey boyunca kesme işlemi gerçekleşmesi, P2 (16°) açılı zımba geometrisinde bir noktada, P3 (R1), P4 (R2) konkav zımba geometrilerinde ve P5 (V16) iç bükey zımba geometrisinde iki noktada kesme işleminin gerçekleşmesidir. Altan ve Tekkaya, (2012), 0° düz zımba geometrisinde yüksek kesme kuvvetleri, iki noktadan kesme işleminde düşük kesme kuvvetleri ve tek noktadan kesme işleminde yani açılı zımbalarda en düşük kesme kuvvetlerinin oluşacağını ifade etmişlerdir.

Subramonian, (2013) zımba ile delme işlemlerinde zımba ömrü, kalıp ömrü ve parça kalitesinin iyileştirilmesi konusunda çalışmalar yapmıştır. Tek kesme (açılı zımbalar) kullanıldığında zımba yükü neredeyse yarıya indiğini, çift kesme kullanıldığında hafifçe azaldığını ve düz zımba hariç, kesme kuvvetinin asla aniden yükselmeyeceğini ifade etmiştir. Ayrıca tek kesme (açılı zımbalar) kullanıldığında en düşük kesme kuvvetlerinin elde edileceğini ve yüksek mukavemetli veya kalın sac malzemelerin kesildiği uygulamalarda açılı zımbalarının kullanılabilceğini belirtmiştir.

Shih, vd. (2017), farklı zımba geometrilerinin zımba kuvveti ve kesme yüzeyi üzerindeki etkilerini ayrıca zımbaların aşınma özelliklerini araştırmak için AHSS çelikleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 6° açılı zımbadan 0 düz zımbaya zımbaya göre %50 daha az zımba kuvveti elde edilmiştir.

Khleif ve Jasim (2018), AISI 1008 düşük karbonlu çelik ile 0°, 5°, 10°, 15° ve 20° açılı zımbalar ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında 10° açılı zımba geometrisi kullanıldığında kesme kuvvetinin geleneksel düz zımbaya göre %90,5'e kadar düşürülebileceğini söylemişlerdir.

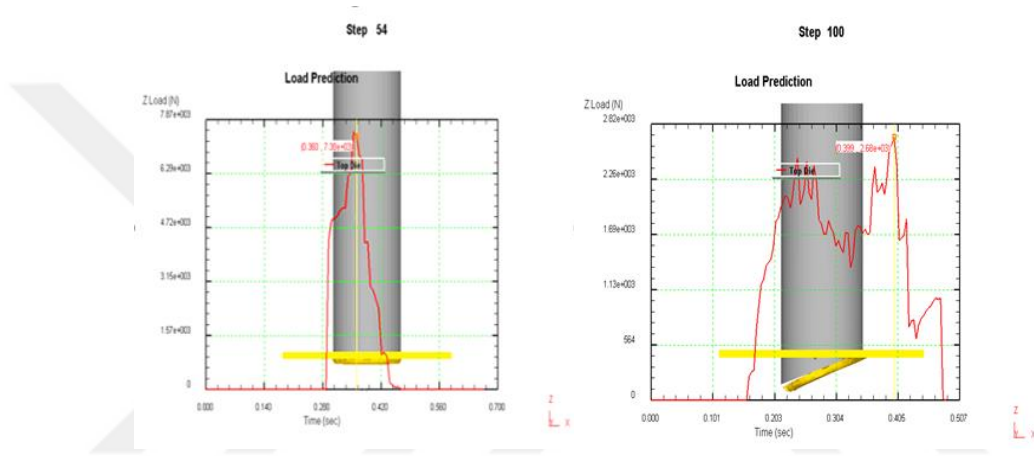
Ramah, (2021), DP600 otomotiv çeliği ile 0° düz, 4°, 16°, R olmak üzere farklı zımba geometrileri kullanarak gerçekleştirdiği çalışmalarında açılı-eğimli zımba geometrileri kullanıldığında kesme kuvvetlerinin geleneksel düz zımbaya göre %50'nin üzerinde azaldığını söylemiştir.

Gürün, vd. (2016), kesme kuvvetini azaltmak için kullanılan çeşitli zımba açılarının körleme/delme işlemi üzerindeki etkileri araştırmışlardır. 0° düz, 2°, 4°, 8° ve 16° açılı zımbalar kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında 16° zımba açısı kullanıldığında kesme kuvvetlerinin %80 oranında azaltılabileceğini ifade etmişlerdir. Açılı zımbalar kullanılarak kesme kuvvetlerinin azaltılması pratik ve uygun maliyetli bir yöntem olmasına rağmen, zımbalanan parçada deformasyonlara yol açtığını belirtmişlerdir. Açılı zımba kullanılarak açılan parçalar, zımba eğiminin düzlemlerine paralel ve ortogonal olarak dilimlenmiş ve ortaya çıkan deformasyon miktarı incelemişlerdir. Zımba açısı arttıkça deformasyon miktarının arttığını ancak şeritte herhangi bir deformasyon olmadığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak açılı zımbaların delme kalıpları için daha uygun olabileceğini söylemişlerdir.

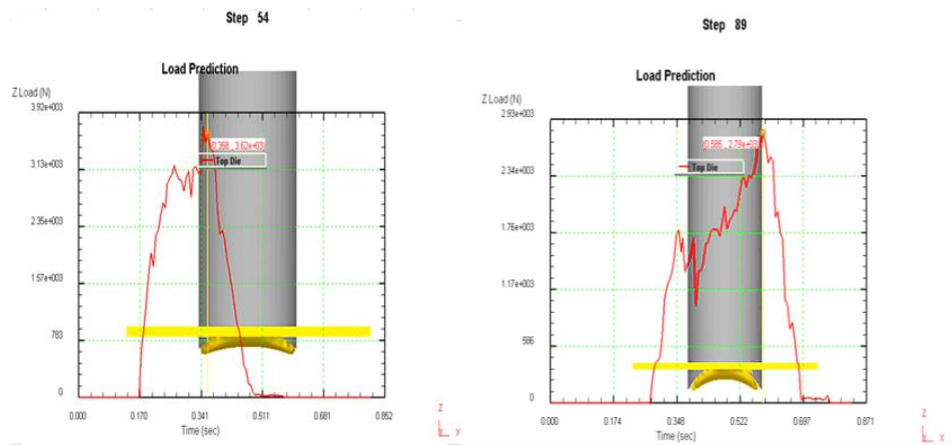
Saier, (2021), yukarıda adı geçen çalışmalarında da açılı-eğimli zımba geometrileri kullanıldığında kesme kuvvetlerinin düz zımbaya göre %78 oranında azaldığını belirtmiştir. Göktaş, vd. (2012), yukarıda adı geçen çalışmalarında zımba ucuna verilen açı miktarı arttığında kesme kuvvetlerinin 1/5 oranında azaltılabileceğini ifade etmişlerdir.

6.1.1. Sonlu Elemanlar Yazılımı ile Yapılan Kesme Kuvveti Analizleri

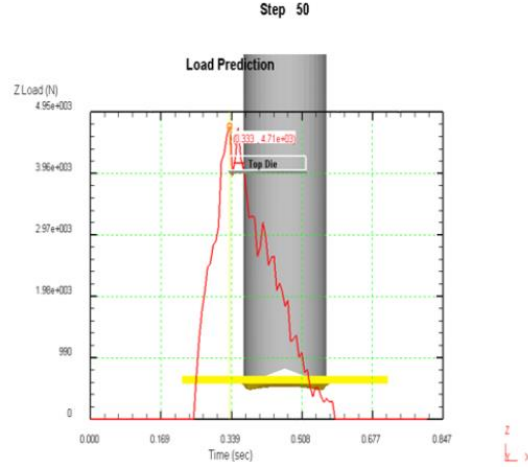
Sonlu elemanlar yazılımları kullanılarak analizler ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarla tutarlılığı sağlamak ve yazılımın zımba ile delme işlemlerinin simülasyonundaki performansını görmek için analizlerde 3D modeller kullanılmıştır. AA1100 metal sac malzemenin P1 (0°) düz, P2 (16°) açılı, P3 (R1), P4 (R2) konkav ve P5 (V16) zımbalarla delme işlemi için 3D modeller kullanılarak elde edilen tüm analiz sonuçları Şekil 6.7-9.'de verilmiştir.



Şekil 6.7. AA1100 sac malzemenin delme işlemi P1 (0°) ve P2 (16°) zımbalar için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.

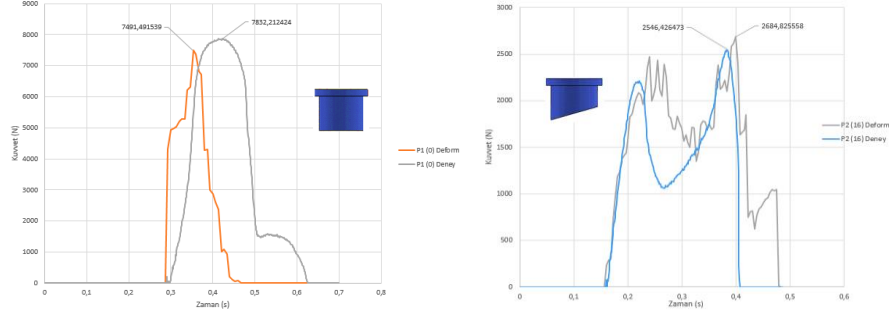


Şekil 6.8. AA1100 sac malzemenin delme işlemi P3 (R1) ve P4 (R2) zımbalar için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.

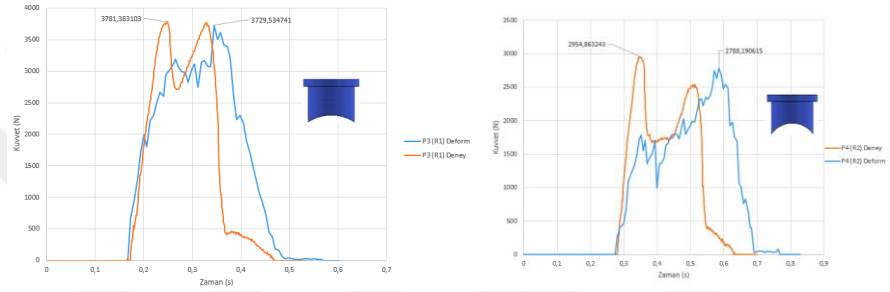


Şekil 6.9. A111100 sac malzemenin delme işlemi P5 (V16) zımba için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.

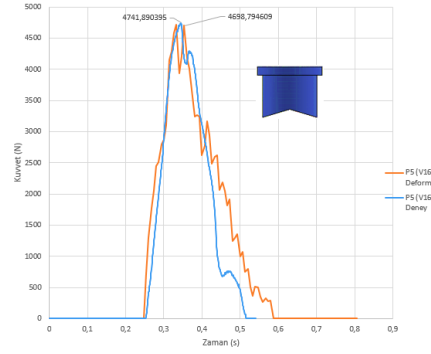
Sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak P1 (0°) düz zımba için elde edilen kesme kuvveti 7491,491 N ve deneysel çalışma sonucu elde edilen kesme kuvveti 7974,114 N'dur. Benzer şekilde P3 (R1) konkav zımba için 3729,534 N ve 3781,383 N, P4 (R2) konkav zımba için 2788,190 N ve 2954,863 N, P2 (16°) açılı zımba için 2684,825 N ve 2546,426 N, P5 (V16) zımba için 4713,906 N ve 4741,89 N olarak elde edilmiştir. İlk değerler sonlu elemanlar yazılımı ile yapılan analiz sonuçlarına ikinci değerler ise deneysel çalışmalara aittir. Sonlu elemanlar yazılımından ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, kullanılan zımbalar geometrileri için Şekil 6.10-12.'de verilmiştir. Ayrıca AA1100 metal sac malzeme için sonlu elemanlar yazılımından ve zımba ile delme işlemlerinden elde edilen kesme kuvvetlerinin bir karşılaştırması, kullanılan tüm zımba geometrileri için Şekil 6.13.'da verilmiştir.



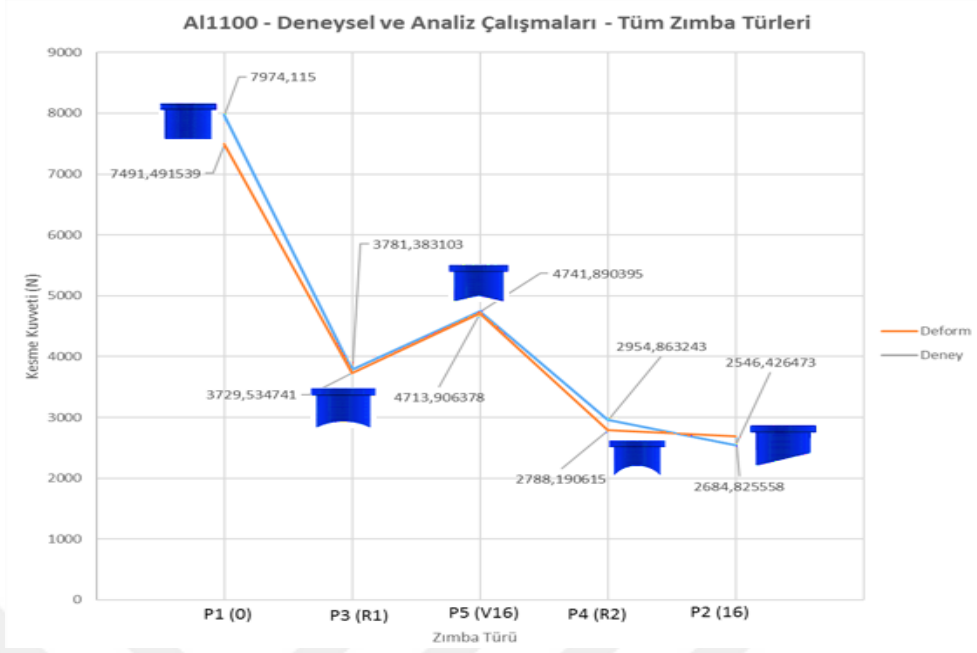
Şekil 6.10. P1 (0°) düz zımba ve P2 (16°) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri.



Şekil 6.11. P3 (R1) zımba ve P4 (R2) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri.

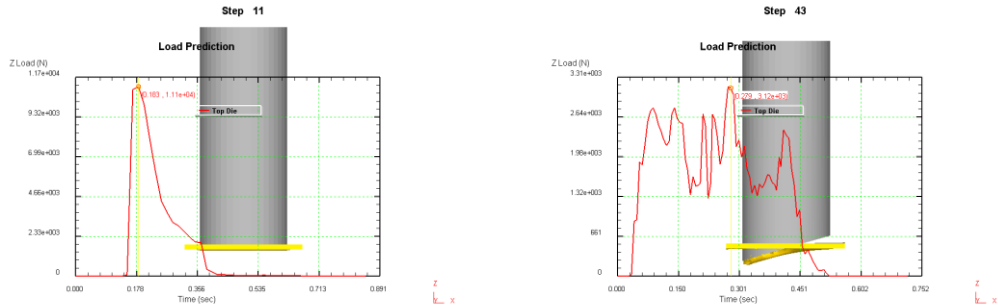


Şekil 6.12. P5 (V16) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri.

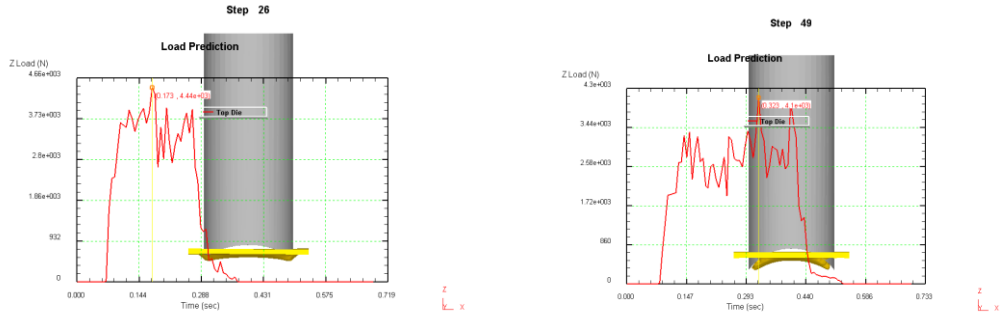


Şekil 6.13. AA1100 sac metal malzeme analiz ve deneysel çalışma tüm zımba türleri kesme kuvvetleri.

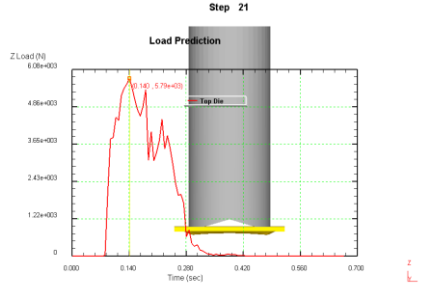
AA5005 metal sac malzemenin P1 (0°) düz, P2 (16°) açılı, P3 (R1), P4 (R2) konkav ve P5 (V16) zımbalarla kesilmesi için 3D modeller kullanılarak elde edilen tüm analiz sonuçları Şekil 6.14-16.'da verilmiştir.



Şekil 6.14. AA15005 sac metal malzemenin delme işlemi P1 (0°) ve P2 (16°) zımbalar için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.

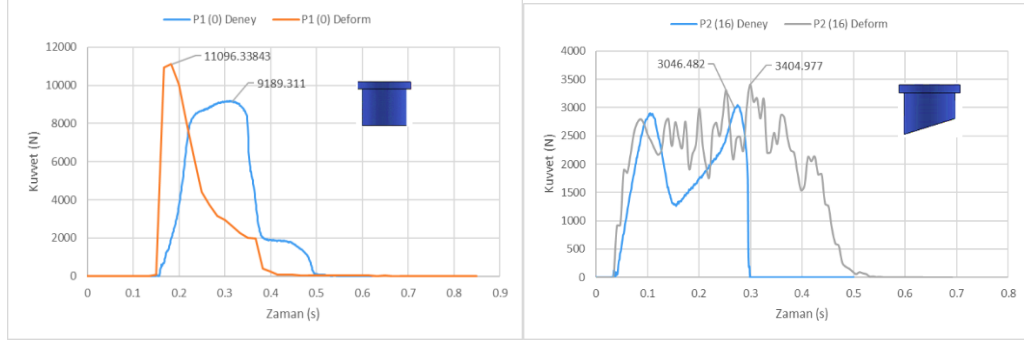


Şekil 6.15. AA5005 sac metal malzemenin delme işlemi P3 (R1) ve P4 (R2) zımbalar için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.

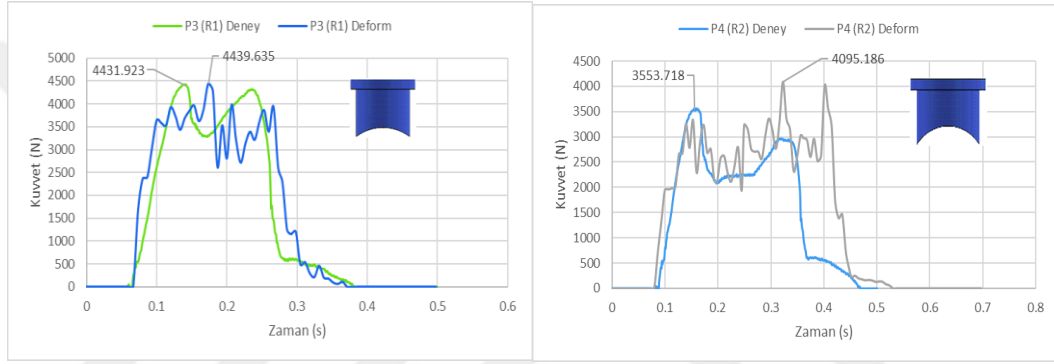


Şekil 6.16. AA5005 sac metal malzemenin delme işlemi P5 (V16) zımba için 3D modeli kullanılarak elde edilen analiz sonucu.

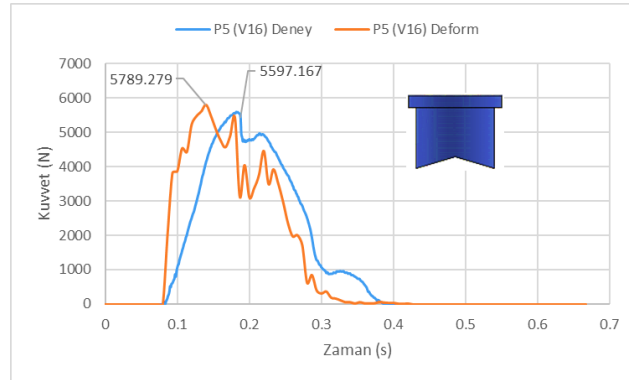
Sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak P1 (0°) düz zımba için elde edilen kesme kuvveti 11096,340 N ve deneysel çalışma sonucu elde edilen kesme kuvveti 9189,331 N'dur. Benzer şekilde P3 (R1) konkav zımba için 4439,635 N ve 4431,923 N, P4 (R2) konkav zımba için 4095,186 N ve 3553,718 N, P2 (16°) açılı zımba için 3046,482 N ve 3404,977 N, P5 (V16) zımba için 5789,279 N ve 5597,167 N olarak elde edilmiştir. İlk değerler sonlu elemanlar yazılımı analiz sonuçlarına ikinci değerler ise deneysel çalışmalara aittir. Sonlu elemanlar yazılımı ve deneylerden elde edilen sonuçlar, kullanılan zımbalar türleri için Şekil 6.17-19.'da verilmiştir. Ayrıca AA5005 metal sac malzeme için sonlu elemanlar yazılımında ve zımba ile delme işlemlerinden elde edilen kesme kuvvetlerinin bir karşılaştırması, kullanılan tüm zımba geometrileri için Şekil 6.20. 'de verilmiştir.



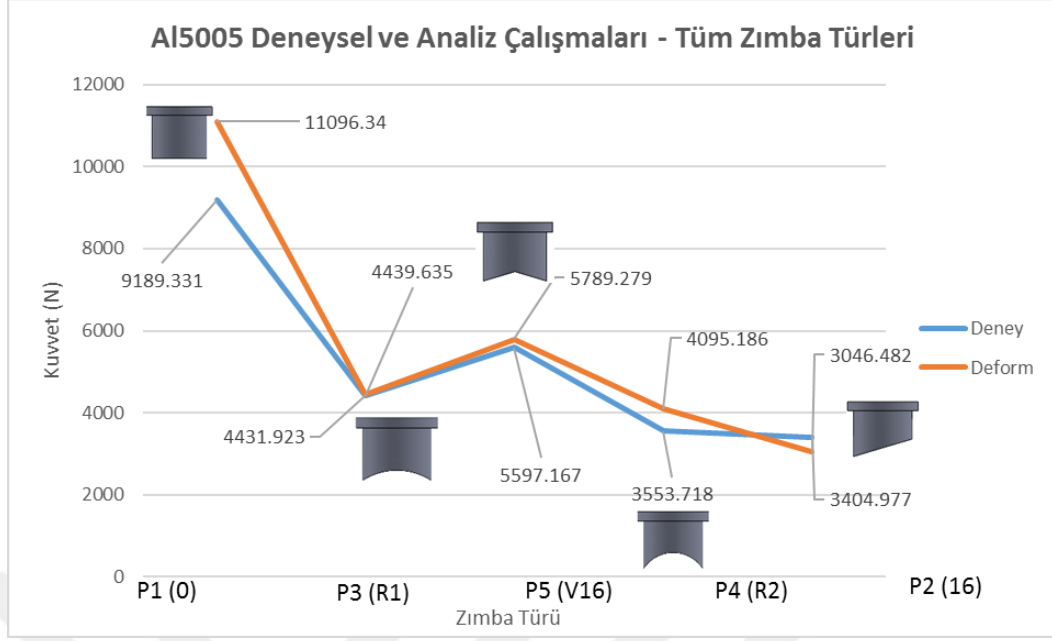
Şekil 6.17. P1 (0°) düz zımba ve P2 (16°) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri.



Şekil 6.18. P3 (R1) zımba ve P4 (R2) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri.



Şekil 6.19. P5 (V16) zımba analiz ve deneysel çalışma kesme kuvvetleri.

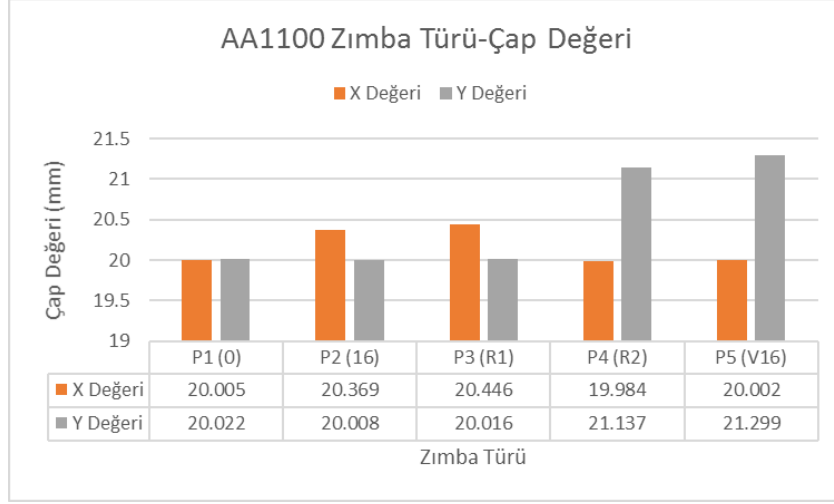


Şekil 6.20. AA5005 sac metal malzeme analiz ve deneysel çalışma tüm zımba türleri kesme kuvvetleri.

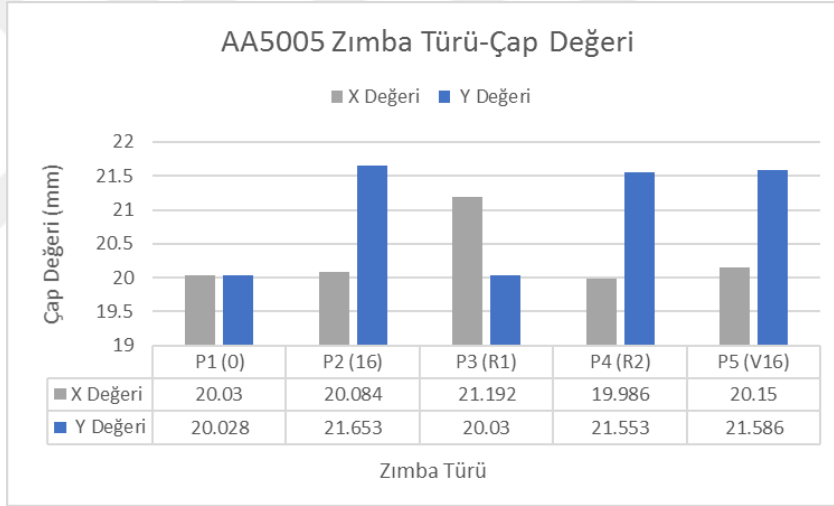
AA1100 ve AA5005 metal sac malzemenin sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak yapılan analiz çalışmaları sonucu elde edilen kesme kuvvetleri ile zımba ile delme işlemlerinden elde edilen kesme kuvvetlerinin birbirleriyle çok yakın olduğu fakat küçük farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Bu farkların oluşma sebebinin ağ oluşturma yoğunluğundan, malzemenin tam olarak modellenememiş olmasından veya malzemede var olan kusurların modellenememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonlu elemanlar yazılımı ile yapılan analiz sonuçlarına göre metal sac malzemelerin zımba geometrilerine göre yaklaşık kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

6.2. DELME DENEYİ SONUCU OLUŞAN DELİKLERİN BOYUT ANALİZLERİ

AA1100 ve AA5005 metal sac malzemelerin zımba ile delme işleminde delik çaplarında oluşan değişimler tüm zımba geometrileri için Şekil 6.21. ve Şekil 6.22 'da verilmiştir.



Şekil 6.21 AA1100 sac metal malzeme zımba geometrisine göre oluşan delik çapları.



Şekil 6.22. AA5005 sac metal malzeme zımba geometrisine göre oluşan delik çapları.

Şekil 6.21. ve Şekil 6.22. incelendiğinde AA1100 ve AA5005 sac metal malzemeler ile yapılan delme işlemlerinde en az sapmanın P1 (0°) düz zımba geometrisi elde edildiği görülmektedir. Ramah, (2021), DP600 otomotiv çeliği ile düz, 4° ve 16° açılı, R konkav olmak üzere farklı zımba geometrileri kullanarak gerçekleştirdiği çalışmalarında delik çapı boyutsal doğruluğunda en az sapmanın 0° düz zımba kullanıldığında oluştuğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada açılı ve eğimli zımba geometrilerinin delik çapı hassasiyetini etkilediği ve delik çapı boyutsal doğruluğunda önemli ölçüde farklar oluşturduğu ifade edilmiştir.

AA1100 ve AA5005 metal sac malzemelerle diğerk zımba geometrileri ile yapılan delme işlemlerinde AA1100 sac metal malzeme için en yüksek sapmanın sırasıyla P5 (V16), P4 (R2) konkav, P3 (R1) konkav, P2 (16°) açılı zımbalarda AA5005 sac metal malzeme için sırasıyla P2 (16°) açılı, P4 (R2) konkav, P5 (V16), P3 (R1) konkav zımbalarda oluştuğu gözlemlenmiştir. Zımba ucu geometrilerinden kaynaklı delik çaplarında önemli boyutsal farklılıklar oluşmuştur. Bu nedenle, farklı uç geometrileri AA1100 ve AA5005 metal sac malzemelerin delik çapı boyutsal doğruluğunu önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

Kwak vd. (2018), AHSS çelikler ile farklı açılarda (3°, 7° ve 14°) zımbalar kullanarak yaptıkları çalışmalarda delik boyutlarında sapmalar gözlemlenmişlerdir. Benzer şekilde Jia ve arkadaşları 3°, 7° ve 14° açılı zımba geometrilerini kullanarak delik boyutunda oluşan sapmaları araştırmışlar ve kullanılan zımba geometrisi değiştiiğinde delik boyutlarında sapmalar olduğunu gözlemlenmişlerdir(Jia, Y., vd. 2018).

AA1100 ve AA5005 metal sac malzemelerin farklı geometrilere sahip zımbalarla delinmiş numunelerinin üstten görünüşlerini Şekil 6.23. ve Şekil 6.24'de sırasıyla gösterilmiştir. Delme işleminde oluşan hasar bölgeleri görüntüler üzerinde işaretlenmiştir. Zımba ucu geometrilerinden kaynaklı iş parçası ile zımbanın ilk temasının gerçekleştiği noktalarda hasar bölgeleri belirgin şekilde görülebilir.

Yapılan çap ölçümlerinde AA1100 metal sac malzeme delme işleminde tüm zımba geometrileri için boyut farklılıkları $20^{+1,299}_{-0,016}$ mm arasında, AA5005 sac metal malzeme için $20^{+1,684}_{-0,014}$ mm arasında değişmektedir.



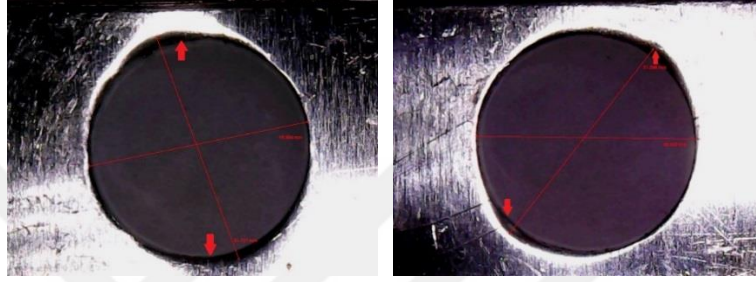
P1 (0°) Zımba

P2 (16°) Zımba

P3 (R1) Zımba

P4 (R2) Zımba

P5 (V16) Zımba

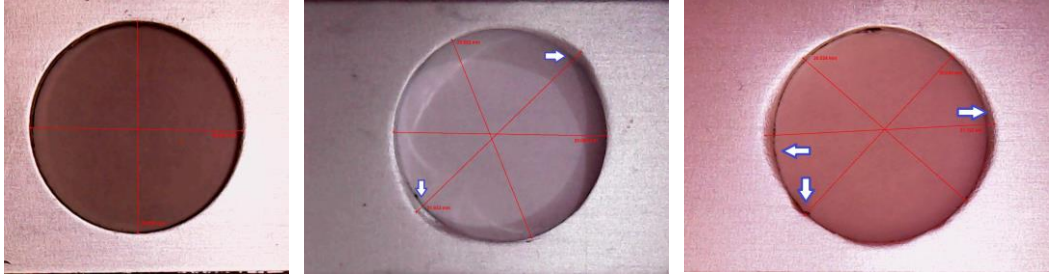


Şekil 6.23. AA1100 sac metal malzeme çap değerleri ve hasar noktalarının görüntüsü.

P1 (0°) Zımba

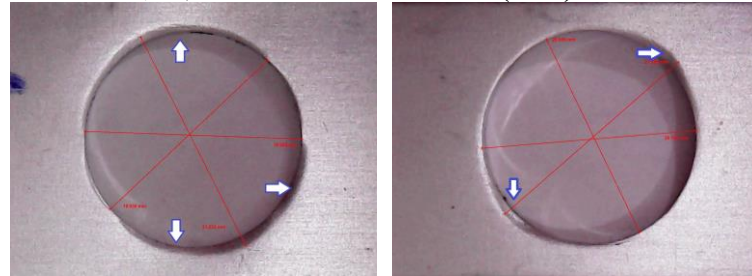
P2 (16°) Zımba

P3 (R1) Zımba



P4 (R2) Zımba

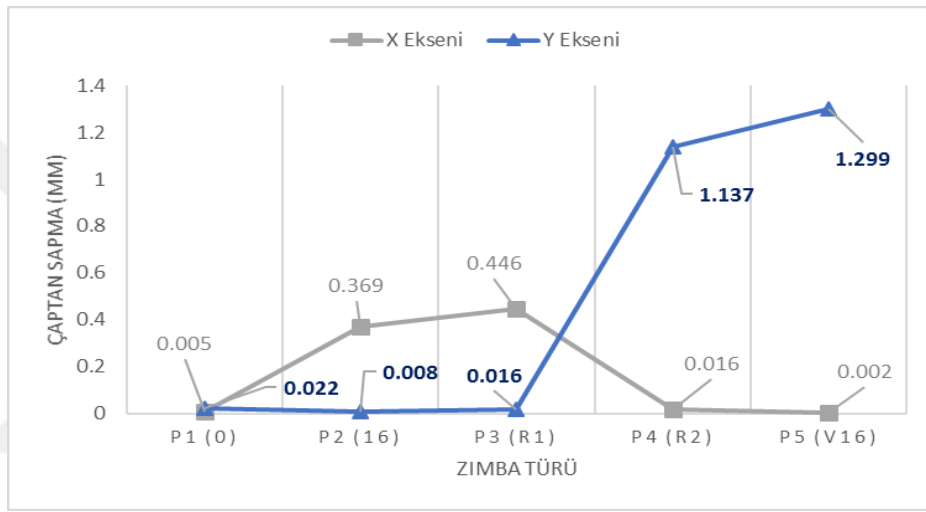
P5 (V16) Zımba



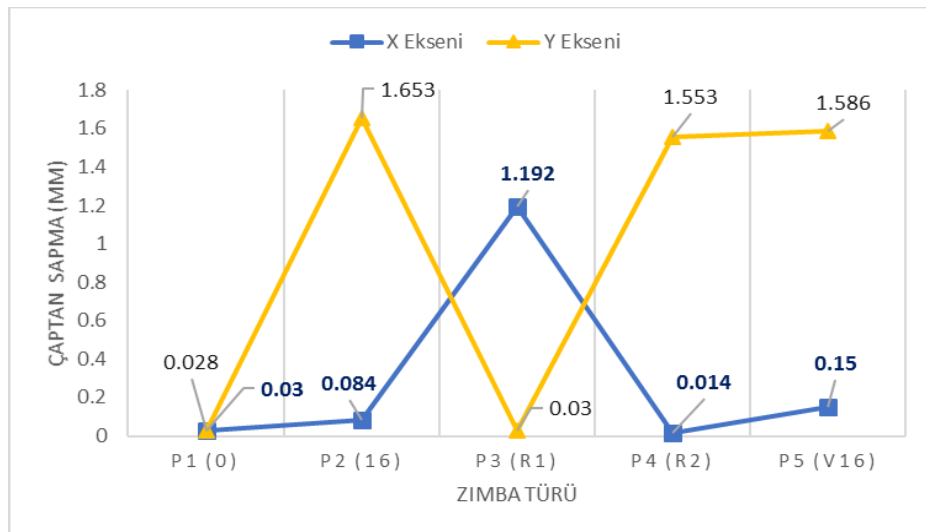
Şekil 6.24. AA5005 sac metal malzeme çap değerleri ve hasar noktalarının görüntüsü.

6.2.1. Çaptan Sapmalar ve Dairesellikten Sapma (Ovalite)

Zımba ile delme işlemlerinde ideal çapta delik elde edilmesi temel amaçtır. Zımba ile delme işlemi ile elde edilen deliklerde çap zımba geometri, kesme boşluğu, kesme hızı, malzeme mukavemeti gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Bir kalite unsuru olarak zımba ile delme işlemlerinde zımba geometrisinin çaptan sapma değerine etkisi incelenmiştir. AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerin delme işleminde meydana gelen sapma değerleri Şekil 6.25. ve 6.26.'da verilmiştir.



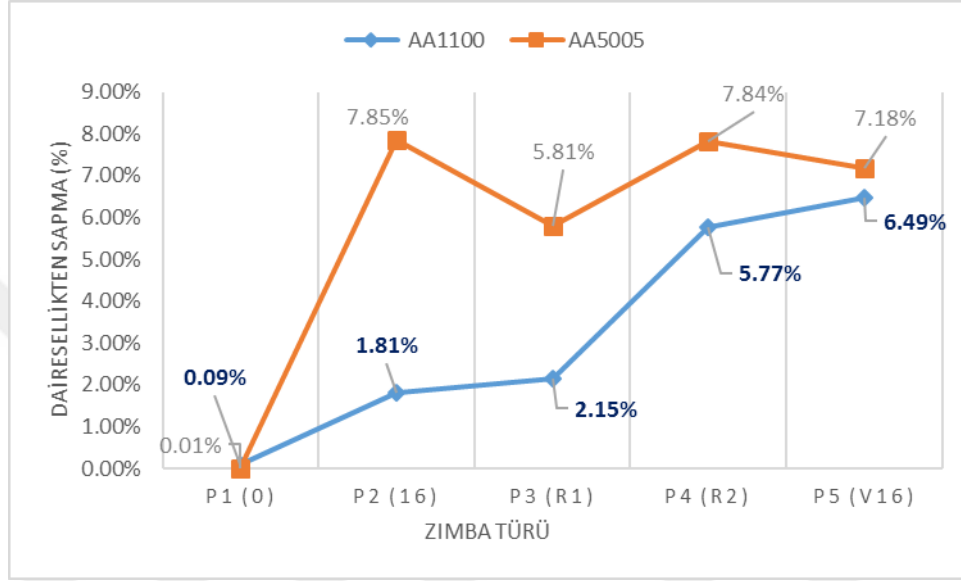
Şekil 6.25. AA1100 sac metal zımba geometrisine göre çaptan sapma.



Şekil 6.26. AA5005 sac metal zımba geometrisine göre çaptan sapma.

Yapılan ölçümler AA1100 metal sac malzeme delme işleminde tüm zımba geometrileri için çaptan sapma değerleri 0,005-1,299 mm arasında, AA5005 sac metal malzeme için 0,028-1,586 mm arasında değişmektedir.

AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerin delme işleminde meydana gelen dairesellikten sapma değerleri Şekil 6.27.'de verilmiştir.



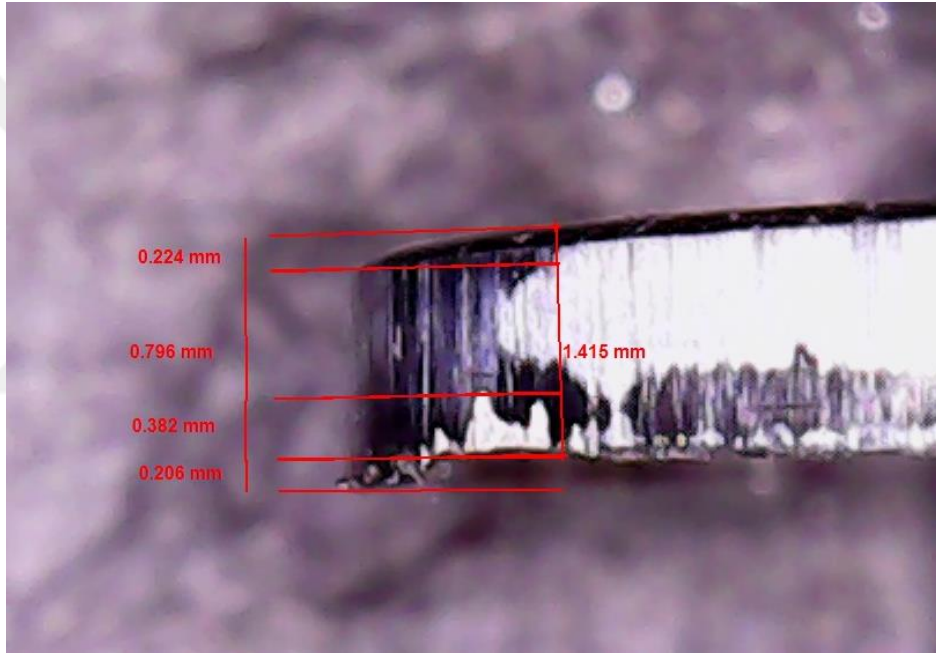
Şekil 6.27. AA1100 ve AA5005 sac metal zımba geometrisine göre dairesellikten sapma.

Yapılan ölçümler AA1100 metal sac malzeme delme işleminde tüm zımba geometrileri için dairesellikten sağma değerleri %0,09-6,49 ve AA5005 sac metal malzeme için %0,01-7,85 oranında değişmektedir.

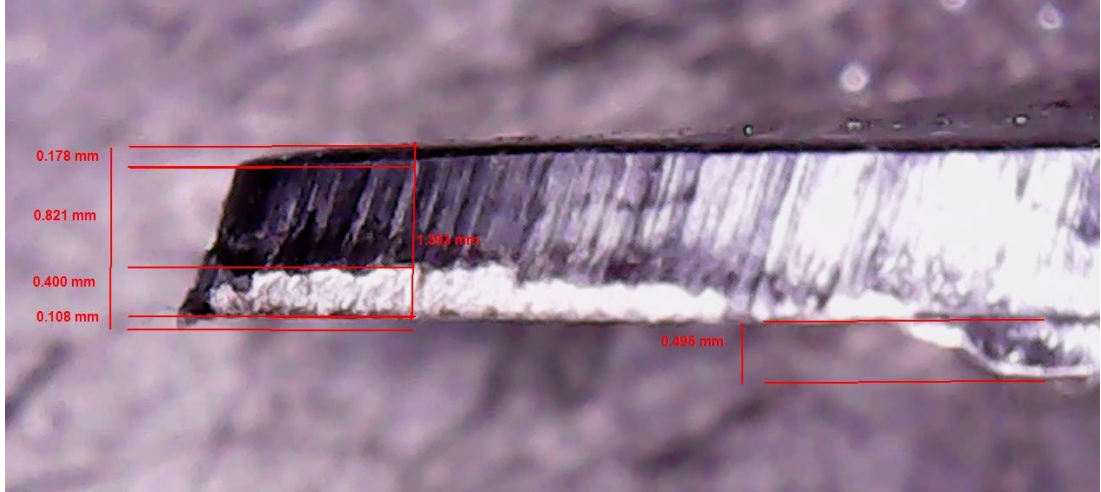
6.3. DELME İŞLEMİ SONUCU OLUŞAN KESME YÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ

Kesme yüzeyi dört farklı bölgeden oluşmaktadır. Kesme yüzeyinin en üst kısmının olduğu bölge yuvarlanma bölgesi (rollover) olarak adlandırılır. Bu bölge kesme işleminden hemen önce zımba tarafından malzemeye yapılan girintiye karşılık gelmektedir ve ilk plastik deformasyon burada oluşmaktadır. Yuvarlanmadan hemen sonraki daha düzgün ve parlaktır. Bu bölge (burnish) kırılma başlamadan hemen önceki durumdur. Parlak bölgenin hemen altındaki kısım kırılma (fractured zone)

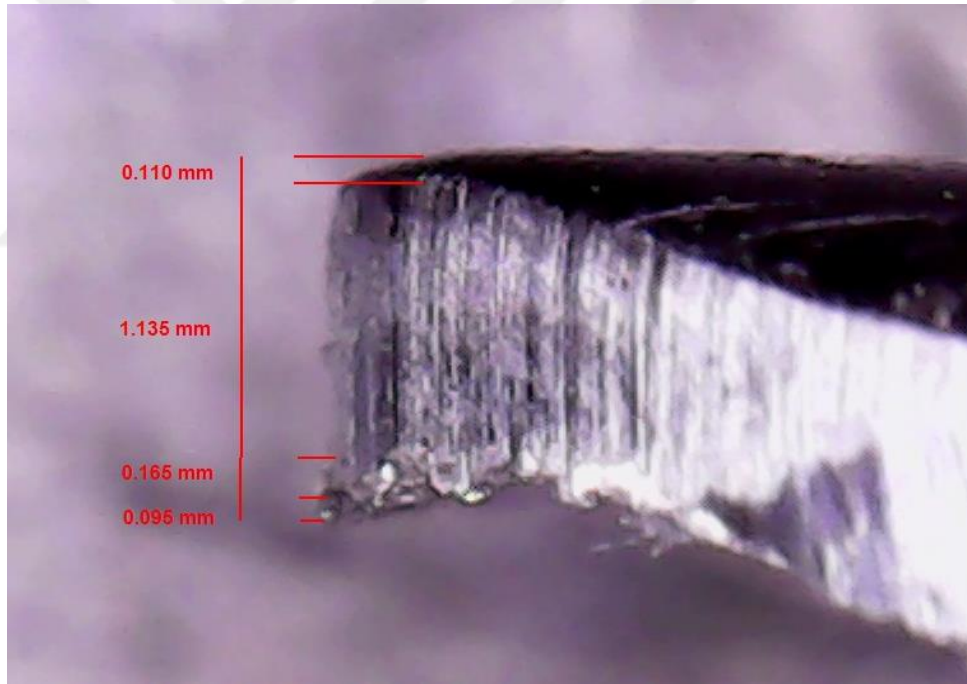
bölgesi'dir. Kırılma bölgesi diğer bölgelere göre nispeten daha kaba bir yüzeye sahiptir. Kırılma olayı sonucu malzemenin en alt kenarında iki parçanın son ayrılması sırasında metalin uzamasının neden olduğu keskin bir köşe oluşur ve bu kısım çapak (burr) olarak adlandırılır(Groover, 2019). AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerin zımba ile delme işlemi sonucu numuneleri testere ile eksenden ikiye kesilmiş ve kesme yüzeyi bölgelerini belirlemek için stereo mikroskopta incelenmiştir. Delme işlemi sonucu oluşan farklı kesme bölgeleri için ölçümler yapılmıştır. AA1100 sac metal malzeme için kesme yüzeyi görüntüleri Şekil 6.28-34.' de gösterilmiştir.



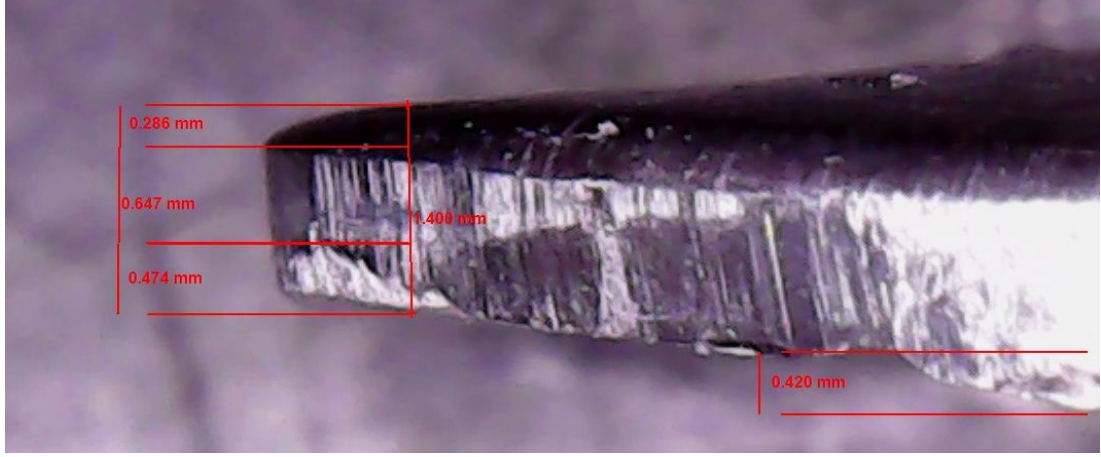
Şekil 6.28. AA1100 sac metal malzeme P1 (0°) düz zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



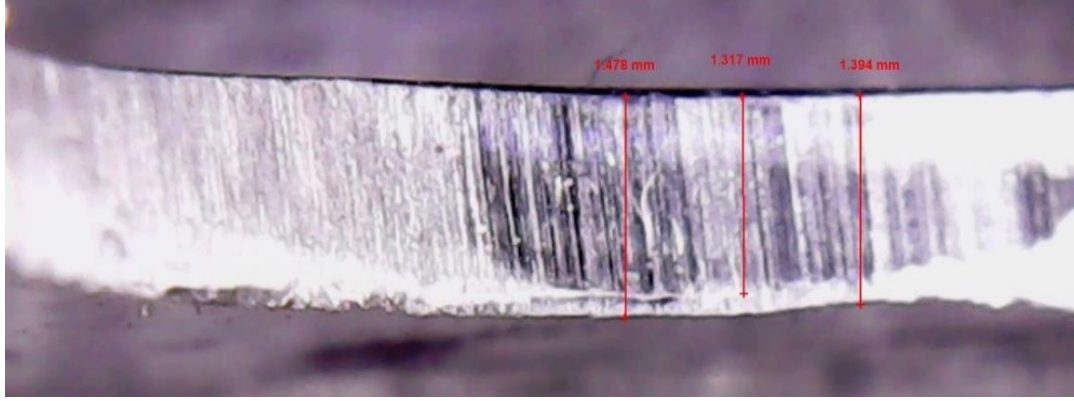
Şekil 6.29. AA1100 sac metal malzeme P2 (16°) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



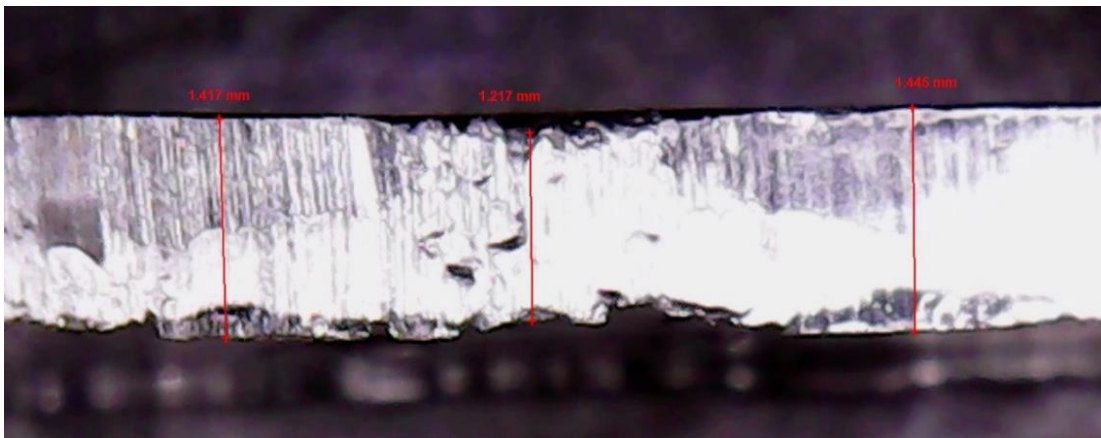
Şekil 6.30. AA1100 sac metal malzeme P3 (R1) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



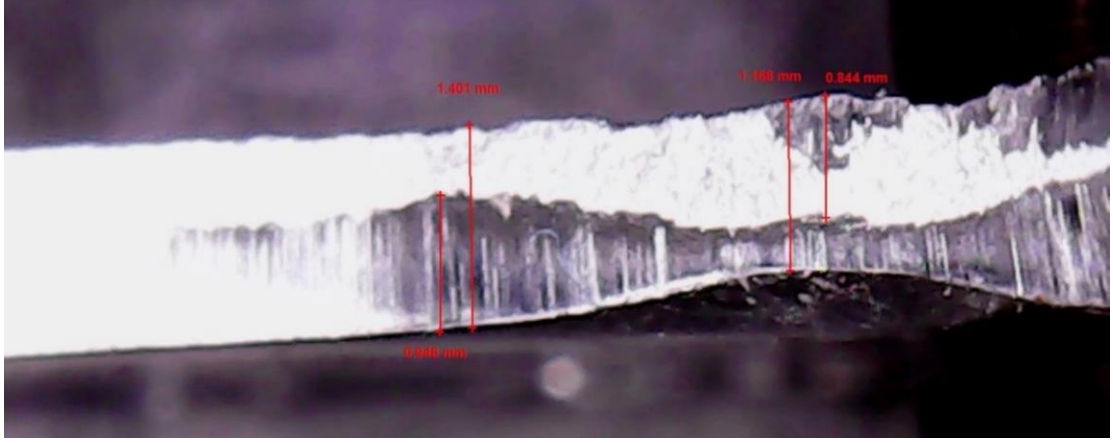
Şekil 6.31. AA1100 sac metal malzeme P5 (V16) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



Şekil 6.32. AA1100 sac metal malzeme P4 (R2) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



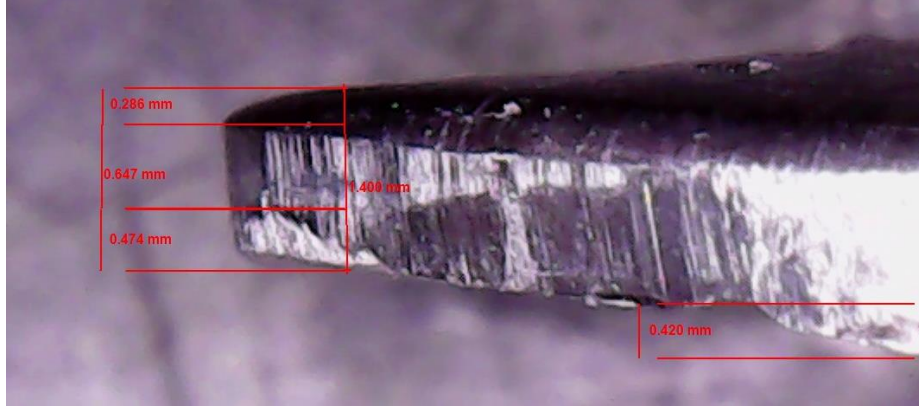
Şekil 6.33. AA1100 sac metal malzeme P3 (R1) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda malzemede oluşan hasar bölgesi görüntüsü.



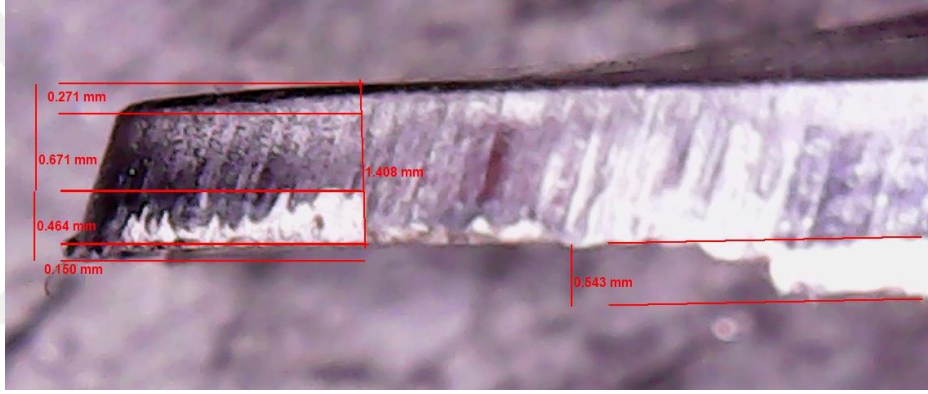
Şekil 6.34. AA1100 sac metal malzeme P5 (V16) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda malzemede oluşan hasar bölgesi görüntüsü.

Şekil 6.28-34. incelendiğinde AA1100 sac metal malzemeyle yapılan zımba ile delme işlemlerinde en homojen kesme yüzeyi P1 (0°) düz zımba ile elde edildiği görülmektedir. P1 (0°) düz, P2 (16°) açılı, P3 (R1) konkav, P5 (V16), uç geometrili zımbalar ile gerçekleştirilen delme işleminde elde edilen kesme yüzeyi görüntülerinde yuvarlanma (rollover), parlak kesilme bölgesi, kırılma bölgesi ve çapak oluşumu net olarak görülmektedir. Zımba ile delme işlemlerinde kullanılan P4 (R2) zımba geometrisinde birden fazla bölgede deformasyon olduğu için kesme yüzeyi bölgeleri görüntülenememiştir. Şekil 6.32-34. İncelendiğinde AA1100 sac metal malzeme zımba ile delme işlemlerinde kullanılan P3 (R1), P4 (R2), P5 (V16) zımba geometrilerinde iş parçası ile ilk temasın gerçekleştiği noktalarda oluşan yüksek gerilmelerden dolayı çeşitli hasarlar meydana geldiği görülmektedir. Bu hasarlar sonucu iş parçası kalınlıklarında ve çaplarında değişiklikler meydana gelmiştir. P3 (R1) geometrili zımba kullanıldığında hasar bölgesinde iş parçası kalınlığı 1,217 mm'ye, P4 (R2) geometrili zımba kullanıldığında 1,394 mm'ye, P5 (V16) geometrili zımba kullanıldığında ise 1,168 mm'ye kadar düşmüştür.

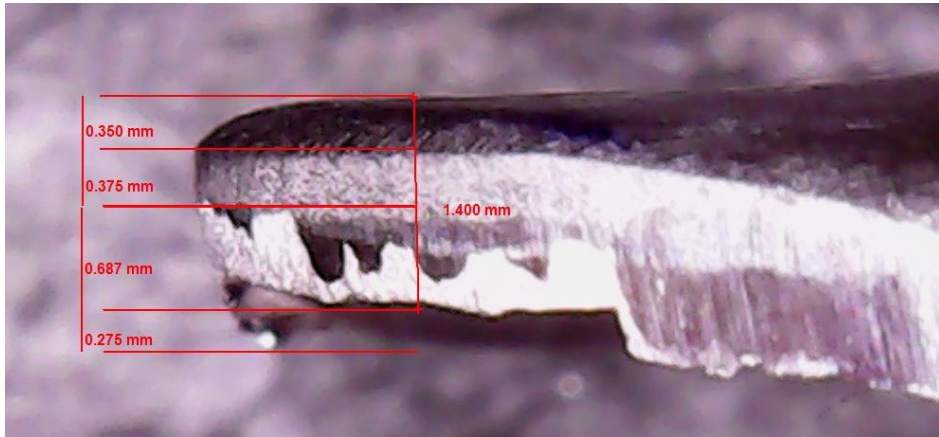
AA5005 sac metal malzeme için stereo mikroskopta elde edilen kesme yüzeyi görüntüleri Şekil 6.35-41.' de gösterilmiştir.



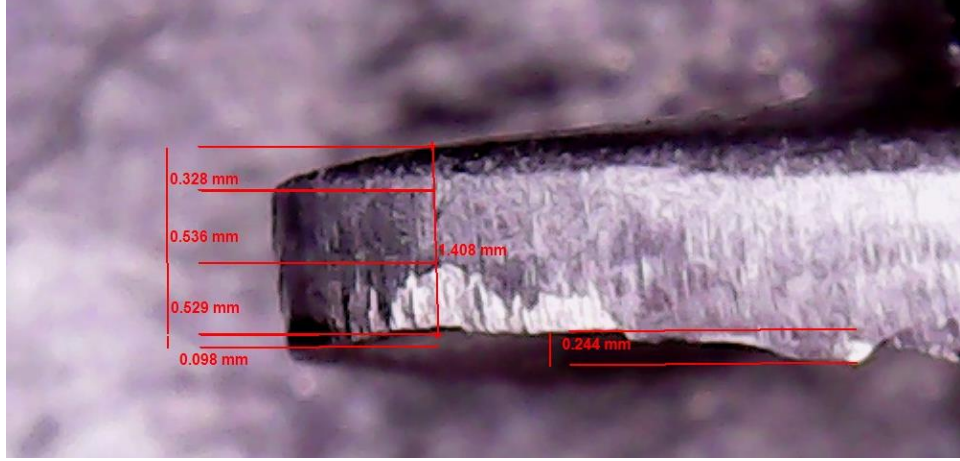
Şekil 6.35. AA5005 sac metal malzeme P1 (0°) düz zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



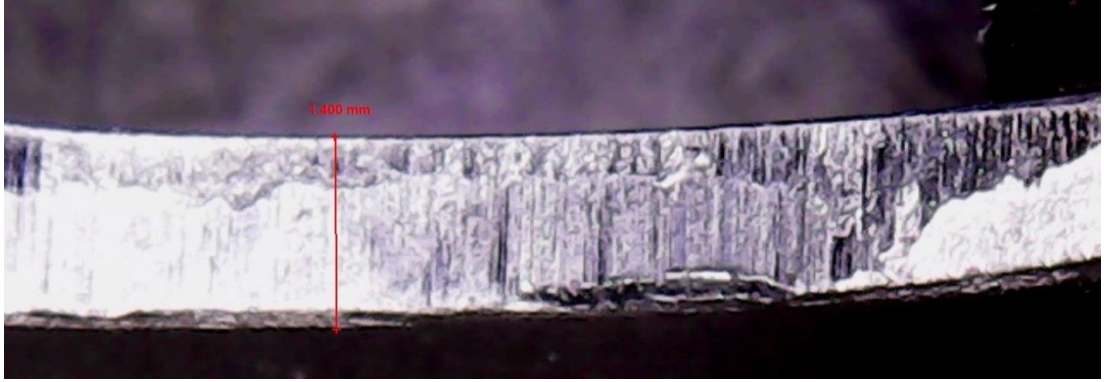
Şekil 6.36. AA5005 sac metal malzeme P2 (16°) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



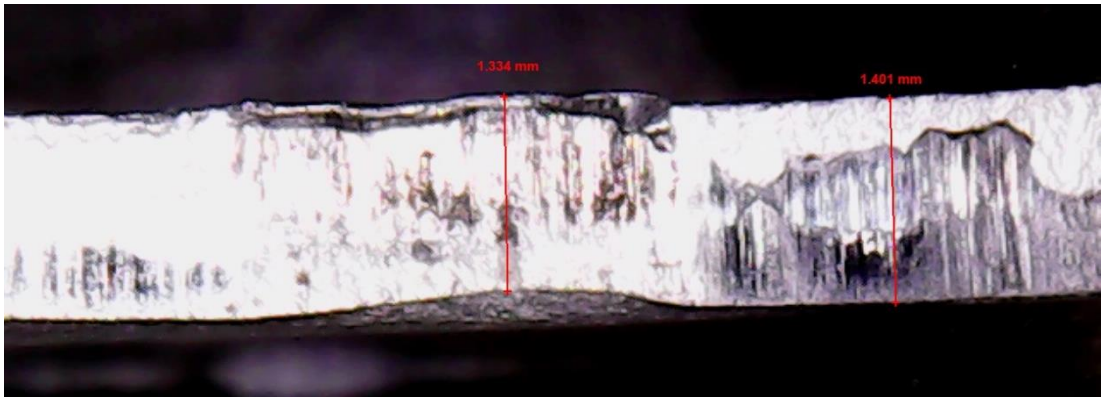
Şekil 6.37. AA5005 sac metal malzeme P3 (R1) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



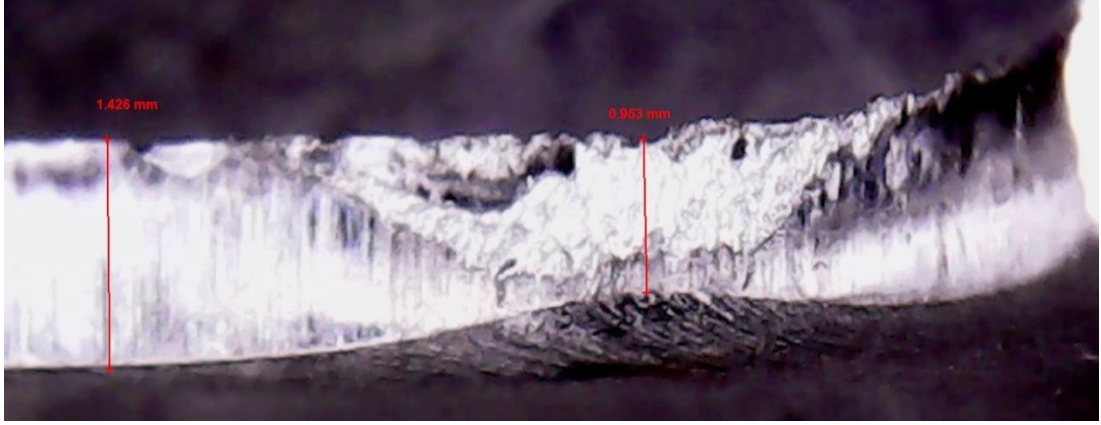
Şekil 6.38. AA5005 sac metal malzeme P5 (V16) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



Şekil 6.39. AA5005 sac metal malzeme P4 (R2) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda oluşan kesme yüzeyi görüntüsü.



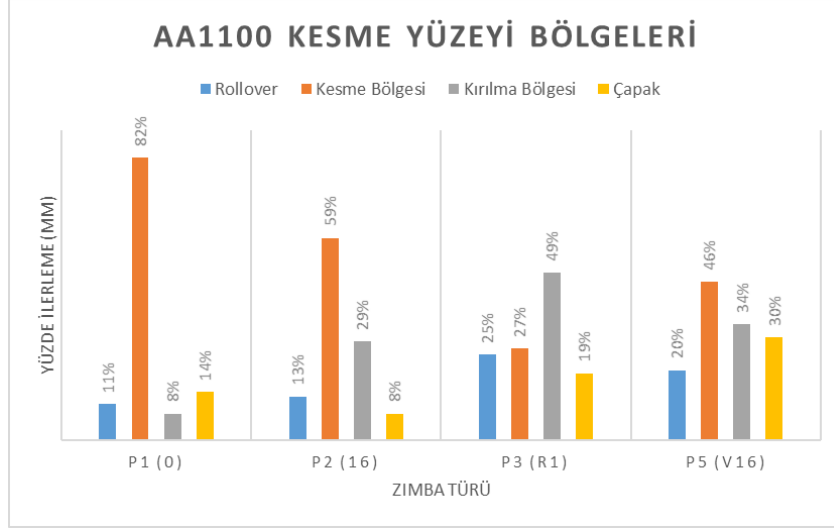
Şekil 6.40. AA5005 sac metal malzeme P3 (R1) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda malzemede oluşan hasar bölgesi görüntüsü.



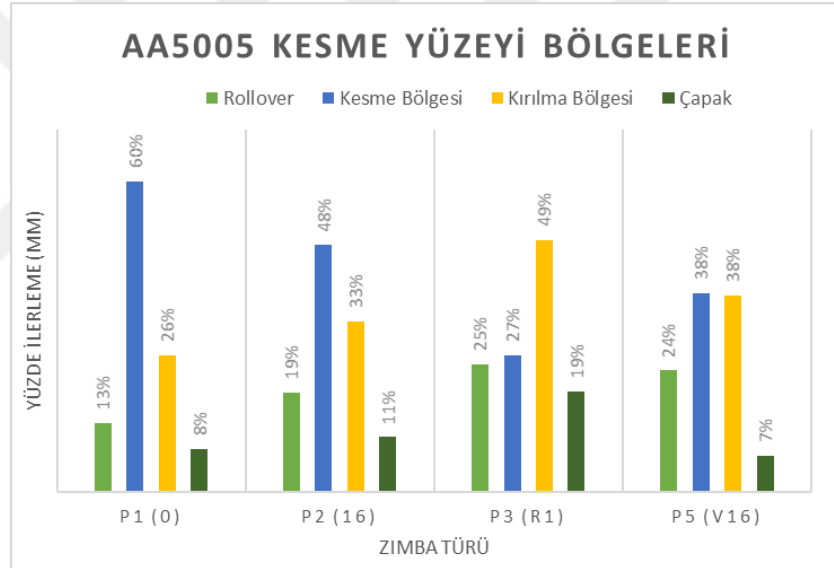
Şekil 6.41. AA5005 sac metal malzeme P5 (V16) zımba ile yapılan delme işlemi sonucunda malzemede oluşan hasar bölgesi görüntüsü.

Şekil 6.35-41. incelendiğinde AA5005 sac metal malzemeyle yapılan zımba ile delme işlemlerinde en homojen kesme yüzeyi P1 (0°) düz zımba ile elde edildiği görülmektedir. P1 (0°) düz, P2 (16°) açılı, P3 (R1) konkav, P5 (V16), uç geometrili zımbalar ile gerçekleştirilen delme işleminde elde edilen kesme yüzeyi görüntülerinde yuvarlanma (rollover), parlak kesilme bölgesi, kırılma bölgesi ve çapak oluşumu net olarak görülmektedir. Zımba ile delme işlemlerinde kullanılan P4 (R2) zımba geometrisinde birden fazla bölgede deformasyon olduğu için kesme yüzeyi bölgeleri görüntülenememiştir. Şekil 6.40. ve Şekil 6.41. incelendiğinde AA5005 sac metal malzeme zımba ile delme işlemlerinde kullanılan P3 (R1), P4 (R2), P5 (V16) zımba geometrilerinde iş parçası ile ilk temasın gerçekleştiği noktalarda oluşan yüksek gerilmelerden dolayı çeşitli hasarlar meydana geldiği görülmüştür. Bu hasarlar sonucu iş parçası kalınlıklarında ve çaplarında değişiklikler meydana gelmiştir. P3 (R1) geometrili zımba kullanıldığında hasar bölgesinde iş parçası kalınlığı 1,217 mm'ye, P4 (R2) geometrili zımba kullanıldığında 1,280 mm'ye, P5 (V16) geometrili zımba kullanıldığında ise 1,168 mm'ye kadar düşmüştür.

AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerin zımba ile delme işlemlerinde kullanılan P1(0°) düz, P2 (16°), P3 (R1) ve P5 (V16) zımba geometrileri için rollover, parlak kesilme bölgesi, kırılma bölgesi ve çapak oluşumu ölçümlerinin bir karşılaştırması sırasıyla Şekil 6.42. ve Şekil 6.43.'de verilmiştir.



Şekil 6.42. AA1100 tüm zımba geometrileri için kesme yüzeyi bölgeleri.



Şekil 6.43. AA5005 tüm zımba geometrileri için kesme yüzeyi bölgeleri.

Kesme yüzeyi özellikleri, delinmiş parçanın mekanik performansını etkilemektedir. Bu nedenle kesme yüzeyi kalitesi çok önemlidir. İyi bir kesme yüzeyi için geniş bir kesme alanı ve daha küçük kırılma bölgesi istenir. Bu bölgelerin oranı, malzeme özellikleri, zımba geometrisi ve boşluk gibi birkaç unsurdan etkilenmektedir (Altan ve Tekkaya, 2012).

AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerle yapılan zımba ile delme işlemleri karşılaştırıldığında en homojen kesme yüzeyinin iki malzeme için de P1 (0°) düz

zımba geometrisi kullanıldığında elde edildiği görülmüştür. Şekil 6.42. ve Şekil 6.43. incelendiğinde kesme yüzeyi bölgeleri AA1100 sac metal için malzeme kalınlığının %82'si kesme bölgesi %8'i kırılma bölgesi ve AA5005 sac metal için malzeme kalınlığının %60'ı kesme bölgesi %26'sı kırılma bölgesi olarak oluşmuştur. Bu değerler diğer zımba geometrileri ile karşılaştırıldığında en geniş kesme bölgesi ve en düşük kırılma bölgesinin P1 (0°) düz zımba geometrisi kullanıldığında oluştuğu görülmektedir.

Ramah, (2021), DP600 otomotiv çeliği ile 0°, 4°, 16°, R konkav olmak üzere farklı zımba geometrileri kullanarak gerçekleştirdiği çalışmalarında uygun form ve boyutsal doğruluk için düz zımbaların daha verimli olduğu ifade etmiştir. AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerin P1 (0°) düz zımba geometrisinden elde edilen kesme yüzeyi bölgeleri karşılaştırıldığında malzeme dayanımı arttıkça kesme bölgesinin azaldığı ve kırılma bölgesinin ise arttığı sonucuna ulaşılabilir.

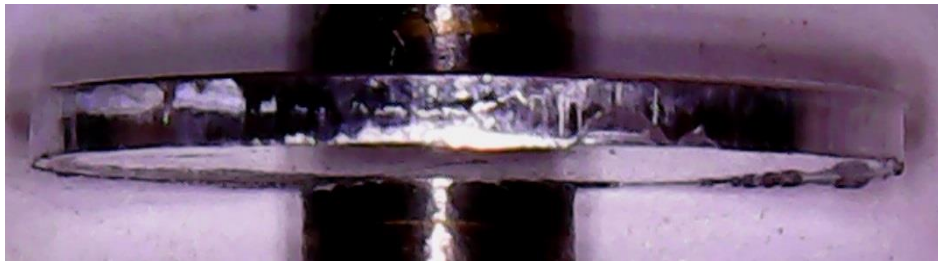
Şekil 6.42. ve 6.43. incelendiğinde P2 (16°) açılı zımba geometrisi kullanılarak gerçekleştirilen delme deneylerinde AA1100 sac metal malzeme için kesme bölgeleri malzeme kalınlığının %59'u kesme bölgesi, %29'u kırılma bölgesi ve AA5005 sac metal malzeme için kesme bölgeleri malzeme kalınlığının %48'i kesme bölgesi, %33'ü kırılma bölgesi olarak ölçüldüğü görülebilir. Bu ölçümler zımba ile delme işlemlerinde kullanılan P3(R1) konkav ve P5(V16) zımba geometrileri ile yapılan ölçümlerle karşılaştırıldığında P2 (16°) açılı zımba geometrisi kullanıldığında daha geniş kesme bölgesi ve daha küçük kırılma bölgesi oluşmuştur. P1 (0°) düz zımba geometrisinden sonra AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerin delme işleminde P2 (16°) açılı zımbanın kullanılmasının diğer zımba ucu geometrilerine göre daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Şekil 6.29., Şekil 6.31., Şekil 6.35-36. ve Şekil 6.38. incelendiğinde AA1100 ve AA5005 sac metal malzeme için kesme bölgelerinin kesme yüzeyinin her noktasında aynı olmadığı, bazı bölgelerde kesme bölgesi büyük, kırılma bölgesi küçük iken bazı noktalarda kesme bölgesinin küçülerek kırılma bölgesinin arttığı görülebilir. Ayrıca sac metal malzemelerde farklı bölgelerde farklı çapak uzunlukları oluştuğu da gözlemlenmiştir.

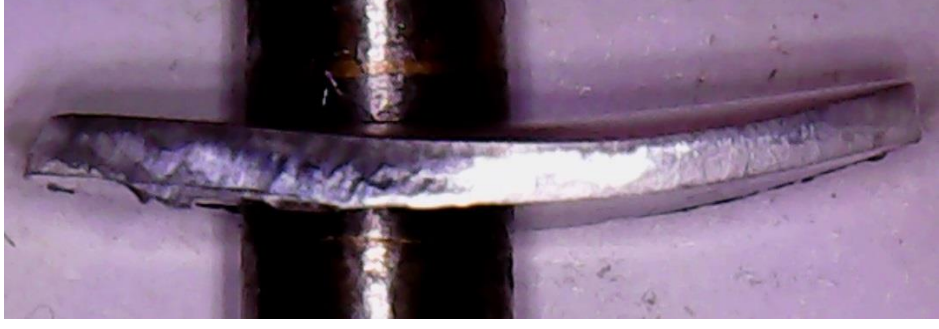
Subramonian, (2013), zımba ucuna verilen eğim miktarı arttıkça kırılma bölgesinin arttığını ve kesme bölgesinin azaldığını söylemiştir. Kesme bölgesi ile zımba ucu geometrisi arasındaki ilişkinin, kesme kuvvetiyle zımba ucu geometrisiyle çok benzer olduğunu zımba ucuna verilen açı ve eğim miktarı arttıkça kesme bölgesinin katlanarak azaldığını ifade etmiştir. Zımba ucu açısı ve eğimi ne kadar küçük olursa, deformasyon bölgesi boyunca levhadaki basınç gerilmeleri o kadar yüksek olur. Bu yüksek basınç geriliminin kırılmayı geciktireceğini ve dolayısıyla kesme boyunda bir artışa neden olacağını belirtmiştir.

Ramah, (2021), yukarıda adı geçen çalışmalarında farklı zımba geometrilerinin iş parçasındaki gerilme dağılımını ve kırılma oluşumunu etkilediğini, açılı ve eğimli zımba geometrileri kullanıldığında malzemelerin deformasyona uğradığı ifade etmiştir. AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerle gerçekleştirilen zımba ile delme işlemlerinde açılı-eğimli zımbalar kullanıldığında malzemelerin deforme olduğu, ayrıca malzemelerde hasarlar oluşarak malzeme kalınlıklarından ve delik çaplarında değişiklikler meydana geldiği görülmüştür. AA1100 sac metal malzeme için P3 (R1) konkav geometrili zımba kullanıldığında malzeme kalınlığı değeri 1,2177 mm'ye AA5005 sac metal malzeme için 1,334 mm'ye düşmüştür. P5 (V16) geometrili zımba kullanıldığında ise malzeme kalınlıkları AA1100 ve AA5005 sac metaller için sırasıyla 1,168 mm ve 0,953 mm'ye kadar düşmüştür.

Zımba ile delme işlemlerinde dikkat edilmesi gereken konulardan birisi de artık parça profilleridir. Deneysel çalışmalarda kullanılan tüm zımba geometrileri için oluşan artık parça profilleri Şekil 6.44-48.'de verilmiştir.



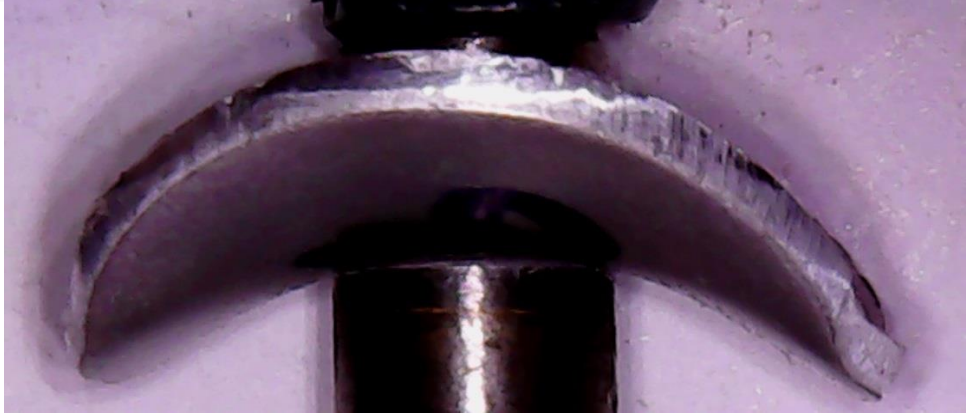
Şekil 6.44. P1 (0°) düz zımba artık parça profili.



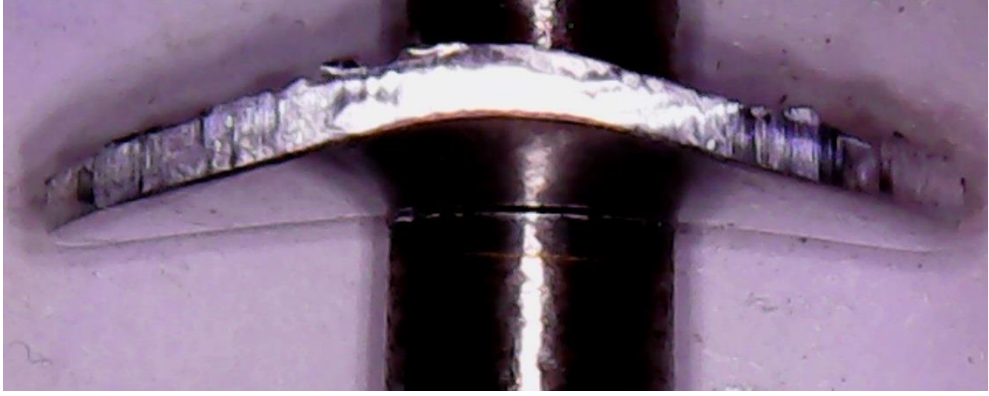
Şekil 6.45. P2 (16°) açılı zımba artık parça profili.



Şekil 6.46. P3 (R1) konkav zımba artık parça profil.



Şekil 6.47. P4 (R2) konkav zımba artık parça profili.



Şekil 6.48. P5 (V16) zımba artık parça profili.

Zımba ile delme işlemi sonucu oluşan artık parçaların profilleri zımba ucu geometrisine göre değişmektedir. P1 (0°) düz zımba kullanıldığında düzgün formda artık parça oluşurken, P2 (16°) açılı zımbada hafif deforme olmuş artık parça oluşmaktadır. P3 (R1) konkav P4 (R2) konkav ve P5 (V16) zımba geometrileri kullanıldığında tamamen deforme olmuş artık parça profili oluşmaktadır. Artık parça zımbalama işlemi sonucu bir numune olarak iş parçasıyla birlikte kullanılacaksa AA1100 ve AA5005 sac malzemeler için açılı ve eğimli zımbaların kullanılması tavsiye edilmez. İki malzeme için gerçekleştirilen zımba ile delme işlemlerinde yalnızca P1 (0°) düz zımba ucu geometrisinde oluşan artık parça profili, iş parçasıyla birlikte bir numune olarak kullanılabilir.

Gürün, vd. (2016), kesme kuvvetini azaltmak için kullanılan çeşitli zımba açılarının sac parça çıkarma ve delme işlemi üzerindeki etkileri araştırmışlardır. 0° düz, 2°, 4°, 8° ve 16° açılı zımbalar kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında açılı zımbalar kullanılarak kesme kuvvetlerinin azaltılması pratik ve uygun maliyetli bir yöntem olmasına rağmen, zımbalanan parçada deformasyonlara yol açtığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak açılı zımbaların delme kalıpları için daha uygun olabileceğini söylemişlerdir.

Khleif ve Jasim (2018), AISI 1008 düşük karbonlu çelik ile 0°, 5°, 10°, 15° ve 20° açılı zımbalar ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında zımbaya verilen açı miktarı arttıkça parçaların deformasyon miktarının arttığını ve parçaların eğildiğini ifade etmişlerdir.

BÖLÜM 7

GENEL DEĞERLENDİRME SONUÇLAR

Bu çalışmada günümüzde kullanım alanı ve miktarı sürekli artan bir malzeme olan alüminyum kullanılmıştır. Ticari olarak elde edilen AA1100 ve AA5005 serisi sac metal malzemelere farklı uç geometrilerine sahip 5 farklı zımba ile delme deneyi yapılmış ve kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Delme işlemi deneysel ortamla eş değer olacak şekilde sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Kesme yüzey kalitesi hasar analizi teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın esas amacı, alüminyum alaşımı metal sacların zımba ile delme işlemlerinin hem deney hem de teorik olarak incelenmesidir. Bunun yanında farklı zımba uçları kullanılarak rasyonel parametrelerin belirlenmesi de amaçlanmıştır. Sonuç olarak aşağıda belirtilen genel sonuçlara varılmıştır.

- AA1100 ve AA5005 sac metal malzemeler için en büyük kesme kuvveti P1 (0°) (düz) zımba kullanıldığında elde edilmiştir
- AA1100 ve AA5005 sac malzemeler için en düşük kesme kuvveti P2 (16°) zımba kullanıldığında elde edilmiştir.
- Zımba ucu geometrisinin kesme kuvveti üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu ve açılı zımbalar kullanılarak kesme kuvvetlerinin AA1100 sac metal malzeme için %68 ve AA5005 sac metal malzeme için %65 oranında azaltılabileceği görülmüştür.
- AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerde en homojen kesme yüzeyi P1 (0°) düz zımba kullanıldığında elde edilmiştir.
- Zımbaya verilen açı ve eğim miktarı arttıkça kesme bölgesinin azaldığı kırılma bölgesinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Açılı ve eğimli zımbalar kullanıldığında kesme kuvvetleri azalmasına rağmen alüminyum gibi yumuşak malzemelerde zımba ucu geometrilerinden kaynaklı hasarlar oluştuğu görülmüştür.

- AA1100 ve AA5005 sac metal malzemelerin delme deneylerinde P3 (R1), P4 (R2) konkav ve P5 (V16) zımba geometrileri kullanıldığında malzeme kalınlıklarında kayıplar ve delik çaplarında sapmalar olmuştur.
- AA1100 ve AA5005 sac metal malzemeler için en düzgün delik apı P1 (0°) düz zımba kullanıldığında elde edilmiştir.
- Açılı ve eğimli zımbalar kullanıldığında artık parçaların deforme olduğu ve zımba ile delme işleminin sonucu kullanılamayacağı görülmüştür. Bu nedenle artık parçaların kullanılacağı durumlarda P1 (0°) düz zımba geometrisi kullanılmalıdır.
- Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan delme deneylerinden elde edilen kesme kuvvetleri ile deneysel çalışmalardan elde edilen kesme kuvvetlerinin birbiri ile örtüştüğü görülmüştür.
- Sonlu elemanlar yazılımları sac metal malzemelerde delme işleminde maliyet tasarrufu ve üretim sürecinin hızlandırılıp zaman tasarrufu sağlanmasında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Aalco Metals Limited., “Aluminium Alloy: Introduction to Aluminium and its alloys”, United Kingdom, s.1-3 (2019).

Aalco Metals Limited., “Aluminium Alloy Specifications”, United Kingdom, s.1-6 (2019b).

Al_saadi, H. ve Tuncay, R., “Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi”, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5 (3): 526-527 (2017).

Altan, T. ve Tekkaya, E., “Sheet metal forming: Processes and Applications”, *ASM International*, Ohio, USA, (2012).

Avadhani, S. P., Phadnis, P., Nikhil. R., Pati, S.P., “Design and Analysis of Blanking and Piercing die punch”, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4 (5): 2760-2765 (2017).

Bathe, K. J., “Finite Element Procedures”, *Prentice Hall Pearson Education Inc.*, 1-17 (2014).

Boljanovic, V., “Sheet Metal Forming Processes and Die Desing”, *Industrial Pres*, New York, 21-43 (2004).

Canales, C., Bussetta, P., Ponthot, J. P., “On the numerical simulation of sheet metal blanking process”, *International Journal of Material Forming*, 10: 55-71 (2017)

Cobden, R., Alcan, Banbury, “Aluminum:Physical properties, Characteristics and Alloys”, *TALAT Lecture 1501*, European Aluminium Association, 9-13 (1994).

Coşkuner, A., “5000 Serisi Alüminyum-Magnezyum Alaşımlarının Döküm ve Termomekaniksel Prosesleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 9-11 (2001).

Çavuşoğlu, O., Güral, A., Gürün, H., “Influence of strain rate on tensile properties and fracture behaviour of DP600 and DP780 dual-phase steels”, *Ironmaking & Steelmaking*, 44 (10): 773-781 (2017)

Çavuşoğlu, O., Güral, A., Gürün, H., “Warm deformation and fracture behaviour of 6P1000 advanced high strength steel”, *Ironmaking & Steelmaking*, 45 (7): 618-625 (2017b)

Davis, J. R., “Alloying: Understanding the Basics”, *ASM International*, United States of America, 351-416 (2001).

Demirkol, M., “Plastik Şekil Verme Teknolojisi Ders Notları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 80-87 (2010).

Fracasso, F., “Materials and Manufacturing – Casting, Influence of Quench on the Hardness Obtained After Artificial Ageing of Al-Si-Mg Alloy”, *Tekniska Högskolan Jönköping Institute of Technology*, Sweden, 9-10 (2010).

Göktaş, M., Güldaş, A., Gürün, H., Çavuşoğlu, O., “Kesme Kalıplarında Açılı/Eğimli Zımbaların Kesme Kuvvetine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, *3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, 259-263 (2012).

Groover, M. P., “Modern İmalatın Prensipleri”, 4. Basımdan Çeviri, Çeviri Editörleri Mustafa Yurdakul – Yusuf Tansel İç, *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara, 434-441 (2019).

Günay, H., “1.2379 Soğuk İş Takım Çeliği Delme Zımbalarında AlTiN, TiSiN ve TiN, PVD Kaplamaların Takım Ömrüne Etkisi”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 154-159 (2020).

Gürün, H., Göktaş, M., Gültaş, A., “Experimental Examination Of Effects Of Punch Angle And Clearance On Shearing Force And Estimation Of Shearing Force Using Fuzzy Logic”, *Transactions Of Famena*, 40(3) :19-28 (2016)

Hambli, R., Farzin, M., Javani, H. R., Mashayekhi, M., “Analysis of blanking process using various damage criteria”, *Journal of Materials Processing Technology*, 177: 287-290 (2006).

Helimergin, F., ve Şen, N., “DP600 Çeliğine Uygulanan Kesme ve Hassas Kesme İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8: 306-316 (2020).

Hutton, D., “Fundamentals of Finite Element Analysis”, **The McGraw-Hill Companies Inc.**, United States, 1-19 (2004).

Jaafar, N. A., Abdullah, A. B., Samad, Z., “Effect of punching die angular clearance on punched hole quality of S275 mild steel sheet metal”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101: 1553-1563 (2018).

Kahraman, E., “Sac Metal Malzemelerin Kalıpta Kesilebilme Özelliklerine Kesme Boşluğunun Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).

Kanca, E., Eyercioğlu, O., Karahan, I. H., Günen, A., Göv, K., “Effects of Blanking Speed on the Shear Surface of Mild Steel (St37)”, *Special issue of the 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2015)*, 130 (1): 370-374 (2016).

Kaufman, J. G., “Introduction to Aluminum Alloys and Tempers”, *ASM International*, United States of America, 87-115 (2000).

Kılıç, Ö., “Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Yörüngesel Çalkalamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2020).

Khelif, A. A. ve Jasim A. S., “The Effect Of Blanking Shear Angle On The Shearing Forces Of Blanked Carbon Steel Sheets”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(11): 1120-1128 (2018).

Kopeliovich, D., “Classification of Aluminum Alloys”, *Substances& Technologies Knowledge source on Metarials Engineering*, 1-2 (2012).

Kopeliovich, D., “Effects of Alloying Elements on Properties of Aluminum Alloys”, *Substances&Technologies Knowledge source on Metarials Engineering*, 2 (2012b).

Küçüktürk, G., “AA5754 Malzemenin kesme işlemlerinde kesme boşluğunun ürün kalitesine etkilerinin deneysel incelenmesi ve bulanık mantık ile tahmini”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2) 285-294 (2016).

Kwak, T. S., Kim, Y. J., Bae, W. B., "Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking", *Journal of Materials Processing Technology*, 130 (1): 462-468 (2002).

Logan, D., “A First Course in the Finite Element Method”, *Nelson a division of Thomson Canada Limited*, Toronto, Canada, 1-17 (2007).

Megep., “Makine Teknolojisi Sac Metal Kalıp ve Mekanizmalar Resmi”, *T.C. Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 11-16 (2010).

Megep., “Makine Teknolojisi Klavuz Plakalı Delme Kesme Kalıpları 1”, *T.C. Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 11-16 (2012).

Ölmez, S., “Alüminyum Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıkta Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-25 (2016).

Pu, C., Zhou, D., Makrygiannis, P., Wu, W., Jia, Y., Zhu, F., Du, C., ve Wang, Y. W., "A Comprehensive Study of Hole Punching Force for AHSS", *SAE Technical Papers*, 2 (8): 1–9 (2018)

Prasad, N. E., Wanhill, R. J. H., “Aerospace Materials and Material Technologies Volume 1: Aerospace Materials”, *Springer Science+Business Media*, Singapore, (2017)

Ramah, M. M. M., “Theoretical and experimental investigation of the punching process of DP600 automotive sheet steel with different punch tips”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2021).

Rana, R. S., ve Purohit, R., “Reviews on the Influences of Alloying elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites”, *International Journal of Scientific and Research Publications*, (2012).

Saier, A. A. E., “Theoretical and experimental investigation of punching process of DP800 automotive steel sheet with different punch tips”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2021).

Subramonian, S., “Improvement of Punch and Die Life and Part Quality in Blanking of Miniature Parts” The PhD Thesis, *Graduate Program in Mechanical Engineering of The Ohio State University*, United States, (2013).

Suchy, I., “Handbook of Die Design”, *McGraw-Hill Companies*, United States of America, 82-85 (2006).

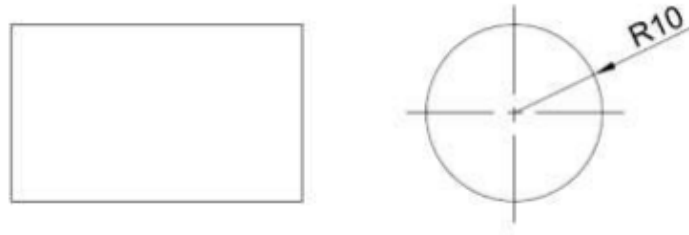
Taşdemir, V., “Hassas Kesme İşlemine Malzeme Kalınlığı ve Kalıp Boşluğunun Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi”, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, s.127-134 (2018).

The Aluminum Association, “Aluminium Alloy: Selection and Applications”, *The Aluminum Association, Inc.*, United States of America, 2-20 (1998).

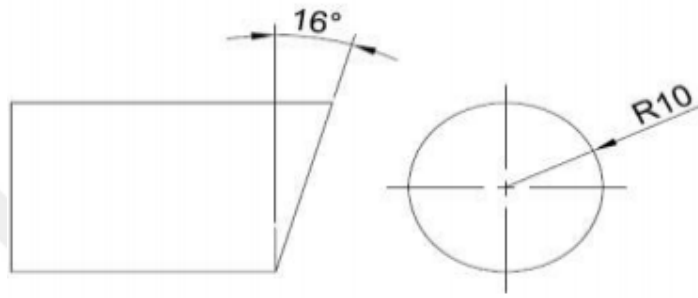
Yıldız, Y., “Sac Metal Kesme İşleminin Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2013).

EK AÇIKLAMALAR

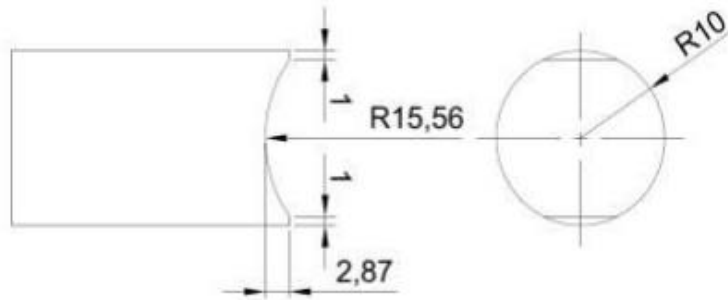
ZIMBA UCU GEOMETRİLERİ TEKNİK RESİMLERİ



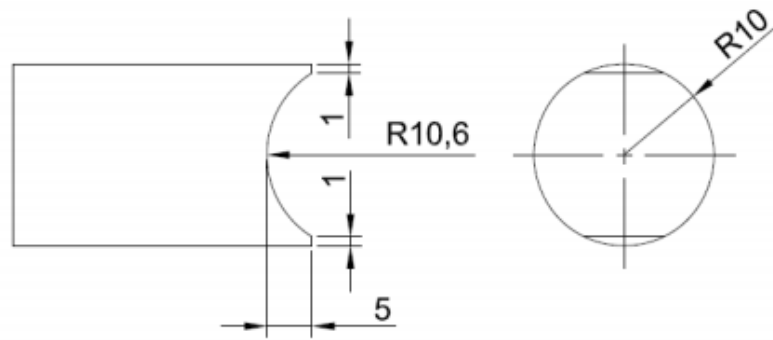
Şekil Ek 1. P1 (0°) düz zımba zımba ucu geometrisi.



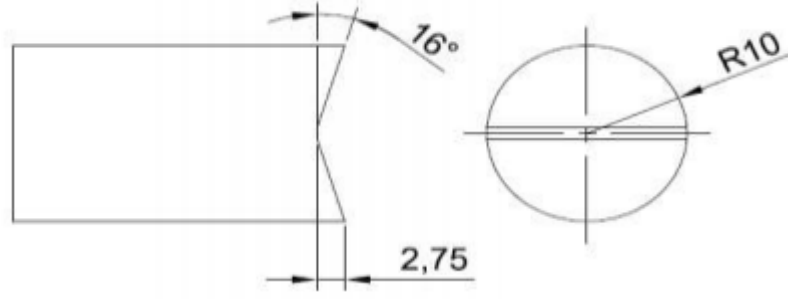
Şekil Ek 2. P2 (16°) açılı zımba zımba ucu geometrisi.



Şekil Ek 3. P3 (R1) konkav zımba zımba ucu geometrisi.



Şekil Ek 4. P4 (R2) konkav zımba zımba ucu geometrisi.



Şekil Ek 5. P5 (V16) zımba zımba ucu geometrsi.



ÖZGEÇMİŞ

Abdullah YETGİN ilk ve ortaöğrenimini Yavuz Selim İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2012 yılında Turhal Şeker Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği Lisans Programı Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2019 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı.

