



**EZME İLE TAMAMLANAN DELİKLERDE EZME PAYININ YÜZEY
KALİTESİNE ETKİSİ**

Barış Burak AYDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2019

Barış Burak AYDOĞAN tarafından hazırlanan “EZME İLE TAMAMLANAN DELİKLERDE EZME PAYININ YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Adnan AKKURT

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Hüdayim BAŞAK

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Şener KARABULUT

Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 29/11/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bariş Burak AYDOĞAN

29/11/2019

EZME İLE TAMAMLANAN DELİKLERDE EZME PAYININ YÜZEY KALİTESİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Barış Burak AYDOĞAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte yüzey bitirme işlemleri, parça performansını belirlemede büyük öneme sahiptir. Yüzey bitirme işlemlerinden ezme işlemi ile yüksek aşınma ve yorulma direncine sahip yüzeyler elde edilebilmektedir. Özellikle yüzey mukavemetindeki bu artışlar esas olarak iş parçasının dinamik yükler altında yorulma davranışını yüksek değerlere taşımaktadır. Bu durum diğer yüzey bitirme işlemleri ile karşılaştırıldığında ezme işlemi en iyi sonuçları veren işleme yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmada makina imalat sanayinde yaygın kullanıma sahip AISI 1020, AISI 1050 ve AISI 1060 karbon çeliklerine delme sonrası iç yüzey ezme işlemi uygulanmıştır. Deneysel çalışmada malzemeler tornalama işlemi ile belirli sabit bir çap değerine getirildikten sonra özel olarak imal edilmiş 3 farklı çaptaki matkap ucu ile delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Delme işleminden sonra ezme işlemi son çap 18 mm olacak şekilde ezilmiş olup ezme işlemi sırasında dinamometre kullanılarak ezme kuvveti ölçümü yapılmıştır. Ayrıca malzemelerin pürüzlülük değerlerindeki değişim, mikro sertlik ve mikro yapıları incelenmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde yapılan ölçüm ve testler sonucunda bulunan veriler kullanılarak sonlu elemanlar metodu uygulanarak analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak ezme işlemi analizleri yapılmıştır. Yapılan sonlu elemanlar çalışmalarında elde edilen veriler ile oluşturulan model kullanılarak deneysel olarak ezilen malzemeler dışında alüminyum, paslanmaz çelik ve pirinç malzemeler üzerine de analiz çalışmalar yapılmıştır. Ezme sırasında, ezme kuvveti sonlu elemanlar metodu kullanan ticari bir simülasyon programı ile analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışmada ezme ile elde edilen deliklerde ezme payının ve ezme parametrelerinin delik kalitesi ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının birbirine yakın olduğu, mikro sertlik sonuçları incelendiğinde ise ezilen yüzeylerin iç kısımlara göre sertliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Ezme işlemi, sonlu elemanlar metodu, delme, AISI 1020 çeliği

Sayfa Adedi : 95

Danışman : Prof. Dr. Adnan AKKURT

EFFECT OF ROLLER BURNISHING SHARE ON SURFACE QUALITY IN HOLES

COMPLETED BY ROLLER BURNISHING

(M. Sc. Thesis)

Barış Burak AYDOĞAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

Surface finishing process has a huge impact on component performance by developing technology. High abrasion and fatigue resistance surfaces can be obtained by one of the surface finishing process which is called Burnishing process. Especially, increases in surface strength mainly enhance the fatigue behaviour of the component under dynamic loads. Comparing with the other surface finishing process, Burnishing process is the best choice and giving best results. In this project AISI 1020, AISI 1050 ve AISI 1060 carbon steels are used which are commonly used in machinery manufacturing industry. Burnishing process is applied to steels after the drilling process. In the experimental study, the materials were machined to a certain fixed diameter by turning process and then drilling process was carried out with 3 drill bits which were specially manufactured. After the drilling process, burnishing process was applied till desired final diameter was occurred which is 18mm and dynamometer was used to measure burnishing force. Also, the changes in roughness value, micro hardness and micro structures were analyzed. Finite element method was used to analyze the data obtained from measurements and tests. The data obtained from analysis was used to analyze burnishing process. A model was made by using the data obtaining from finite element method and also aluminum, stainless steel and brass materials were used which are not in experiment. During burnishing process, burnishing force was calculated by a commercial simulation program using the finite element method. In this experiment, the effect of burnishing part and burnishing parameters on hole quality and surface roughness was investigated. The results were compared with each other. Experimental results and simulation results were close to each other and when the micro hardness results were examined, it was found that hardness of the burshed surface increased when it is compared with inner parts of component.

Science Code : 91438

Key Words : Burnishing, Finite Element Method, Drilling, AISI 1020

Page Number : 95

Supervisor : Prof. Dr. Adnan AKKURT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında desteğini eksik etmeyen değerli hocam Prof. Dr. Adnan AKKURT'a çok teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımda bana desteklerini esirgemeyen Dr. Selçuk YAĞMUR'a, Murat KURUCAN'a ve Fatih ÇELEBİ'ye teşekkür ederim. Bütün tez çalışması boyunca bana her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Burak ÖZCAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince her zaman yanımda olan, bana destek ve moral veren hayat arkadaşım Nihal ÜNAL AYDOĞAN'a çok teşekkür ederim. İlkokuldan üniversiteye kadarki öğretim hayatım boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemi ve bu değerli mesleğe sahip olmamı sağlayan, beni her anlamda yetiştiren sevgili annem ve babam Neşe-Zeki AYDOĞAN'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. EZME İŞLEMİ VE YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Ezme İşleminin Mekaniği	3
2.1.1. Plastik şekil değişimi	3
2.1.2. Artık gerilmelerin oluşumu	4
2.2. Ezme İşleminin Avantajları	10
2.2.1. Yorulma dayanımının iyileştirilmesi	10
2.2.2. Yöntemin uygulanabilirliği	13
2.2.3. Sürtünme katsayısı	15
2.3. Ezme İşleminin Dezavantajları	17
2.3.1. Ezme uygulanacak parçanın sertliği.....	17
2.3.2. İş parçalarının eksenel simetrikliği	17
2.3.3. Tolerans hassasiyeti	18
2.4. Ezme Yöntemleri	18
2.4.1. Mekanik yöntemler	18
2.4.2. Lazer şoku yöntemi.....	29
2.4.3. Bilye püskürtme ile ezme.....	31

Sayfa

2.4.4. Ultrasonik nanokristal yüzey modifikasyonu (Ultrasonic nanocrystal surface modification)	33
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	35
4. MATERYAL VE METOT	51
4.1. Ezme Deneyinde Kullanılan Malzemeler	51
4.2. Ezme Deneyinde Kullanılan Ezme Takımı.....	52
4.3. Numunelerin Ön İşlem İle Hazırlanması	53
4.4. Numunelerin Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçülmesi.....	59
4.5. Numunelerin Mikro Sertlik değerlerinin ölçülmesi	61
4.6. Numunelerin Mikro yapılarının incelenmesi	62
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71
5.1. Deneysel Sonuçlar	71
5.2. Simülasyon Sonuçları	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKÇA.....	91
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. AISI 1020 çeliğinin ağırlıkça % kimyasal bileşimi	51
Çizelge 4.2. AISI 1050 çeliğinin ağırlıkça % kimyasal bileşimi	51
Çizelge 4.3. AISI 1060 çeliğinin ağırlıkça % kimyasal bileşimi	52
Çizelge 4.4. Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri	52
Çizelge 4.5. Cnc Taksan TTC-630 torna tezgâhının teknik özellikleri	53
Çizelge 4.6. Kesici uç özellikleri (42)	54
Çizelge 4.7. Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri	59
Çizelge 4.8. 7075 alüminyumun yüzdesel kimyasal özellikleri	69
Çizelge 4.9. 316L paslanmaz çeliğin yüzdesel kimyasal özellikleri	69
Çizelge 4.10. C67300 bronzun yüzdesel kimyasal özellikleri	70
Çizelge 5.1. Delik ön çapları.....	71
Çizelge 5.2. Tornalama sonrası delik iç yüzeylerindeki pürüzlülük değerleri	71
Çizelge 5.3. Ezme işlemi sırasındaki ezme kuvveti.....	72
Çizelge 5.4. Alınan mikro sertlik sonuçları	73
Çizelge 5.5. Ezme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değerleri	77
Çizelge 5.6. Deneysel ve simülasyon sonuçlarının kıyaslanması.....	80
Çizelge 5.7. Ezme işlemi sırasında oluşan maksimum sıcaklık değerleri	85
Çizelge 5.8. Kalıntı gerilmesi ölçüm sonuçları.....	87

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Plastik şekil değişimi	3
Şekil 2.2. Artık gerilme tahmini (Wöhler tahmin yöntemi).....	5
Şekil 2.3. Haddeleme sonucu oluşan artık gerilmeler.....	6
Şekil 2.4. Sementasyon ve nitrürasyonda oluşan artık gerilmeler	7
Şekil 2.5. Soğuk şekil değiştirme ile iç artık gerilmelerin giderilmesinin şematik gösterimi	8
Şekil 2.6. Sert ve yumuşak fazların çekme yükü altında oluşturduğu artık gerilmelerin durumu.....	9
Şekil 2.7. Kafes yapıdaki hataların oluşturduğu artık gerilmeler	10
Şekil 2.8. Deney numunesi ölçüleri	11
Şekil 2.9. Deneyler sonucu ortaya çıkan çatlak boyu – çevrim sayısı.....	12
Şekil 2.10. Deneyler sonucu ortaya çıkan çatlak derinliği - çevrim sayısı	13
Şekil 2.11. Ezme takımının klasik tornaya bağlanma şekli	14
Şekil 2.12. Ezme takımının matkap tezgâhına bağlanma şekli.....	14
Şekil 2.13. Ezme takımının CNC tornaya bağlanma şekli.....	15
Şekil 2.14. Dikey yönde ezilen parçanın sürtünme katsayısı ve devri arasındaki ilişki .	16
Şekil 2.15. Yatay yönde ezilen parçanın sürtünme katsayısı ve devri arasındaki ilişki .	17
Şekil 2.16. Bilyeli ezme takımı ve iş parçası hareketi	19
Şekil 2.17. Temsili ezme yörüngesi	19
Şekil 2.18. Tek bilyeli ezme takımı	20
Şekil 2.19. Üç bilyeli ezme takımı.....	20
Şekil 2.20. Çift bilyeli ezme takımı	21
Şekil 2.21. Parça yüzeyindeki tepelerin makara ile ezerken çukurlara doldurma işleminin şematik gösterimi	21
Şekil 2.22. Makara ile ezme işleminin şematik gösterimi	22
Şekil 2.23. Ezme işlemi sırasındaki malzemede oluşan gerilmeler	23

Şekil	Sayfa
Şekil 2.24. Dış çap ezme takımı.....	24
Şekil 2.25. İç çap ezme takımı şematik gösterimi	25
Şekil 2.26. İç çap ezme takımı şematik gösterimi	25
Şekil 2.27. Uygulama örnekleri	26
Şekil 2.28. Uygulama örnekleri	26
Şekil 2.29. Tek bilyeli ezme takımı gösterimi	27
Şekil 2.30. Uygulama örnekler	27
Şekil 2.31. İç ve dış konik ezme takımları.....	28
Şekil 2.32. Düz alın ezme takımı	28
Şekil 2.33. Uygulama örnekleri şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.34. Lazer şoku ile ezme şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.35. 7075-T6 alüminyum malzemenin lazer şoku ile ezme sonrası artık gerilmesi.....	31
Şekil 2.36. Türbin kanatçığına lazer şoku ile ezme uygulaması.....	31
Şekil 2.37. Biye püskürtme ile ezme işlemi.....	32
Şekil 2.38. Ultrasonik nano kristal yüzey modifikasyonu yönteminin şematik gösteri..	33
Şekil 3.1. Yapılan ön işlemlere göre sertlik değerleri.....	37
Şekil 3.2. Matkap ile elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü.....	37
Şekil 3.3. Tornalama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü.....	38
Şekil 3.4. Raybalama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü	38
Şekil 3.5. Taşlama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü	38
Şekil 3.6. Honlama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü	39
Şekil 3.7. Ezme ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü	39
Şekil 3.8. Bilyeli ezme takımı.....	40
Şekil 3.9. Tek makaralı ezme takımı	40
Şekil 3.10. Çift makaralı ezme takımı	40
Şekil 3.11. Elde edilen yüzey pürüzlülükleri	41

Şekil	Sayfa
Şekil 3.12. Elde edilen yüzey sertlikleri	41
Şekil 3.13. Yüzey pürüzlülük değerinin deneysel ve simülasyon sonuçlarına göre gösterimi.....	42
Şekil 3.14. Deney sonrası yüzey pürüzlülüklerini görüntüsü	43
Şekil 3.15. Yorulma sonuçlarına göre ortalama ömür	44
Şekil 3.16. Ezme derinliği-ortalama ömür sonuçları	44
Şekil 3.17. Artık gerilmelerin programda gösterilmesi	45
Şekil 3.18. Yüzey pürüzlülüğü ve mikro sertlik sonuçları.....	45
Şekil 3.19. Kuvvet değişkeni sonucu mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü sonucu	46
Şekil 3.20. Hız değişkeni sonucu mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü sonucu	46
Şekil 4.1. a) Ezici takım görseli b) şematik resmi	53
Şekil 4.2. Ön işlemin yapıldığı CNC torna tezgâhı	54
Şekil 4.3. Kesici takım şekli a) şematik şekli b) görseli	55
Şekil 4.4. İşlem sonrası CNC torna tezgâhı görüntüsü	56
Şekil 4.5. İşlem sonrası iç çap mikrometresi ile ölçüm	56
Şekil 4.6. Kesici matkap takımları.....	57
Şekil 4.7. CNC dik işleme tezgâhı	58
Şekil 4.8. Tezgâha bağlanmış olan dinamometre	59
Şekil 4.9. Yüzey pürüzlülük cihazı görünümü.....	60
Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülük değerinin ölçüm sırasındaki görseli	61
Şekil 4.11. Mikro sertlik ölçüm cihazı.....	62
Şekil 4.12. Hassas kesim tezgahı	63
Şekil 4.13. Bakalite alma cihazı ve deney numunesinin bakalite alınmış hali	63
Şekil 4.14. Zımparalama tezgahı	64
Şekil 4.15. Nikon marka optik mikroskop	64
Şekil 4.16. Haddeleme analiz örneği	65
Şekil 4.17. Simülasyon başlangıcındaki mesh durumu	66

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Simülasyonun ilerleyen adımlarındaki mesh durumu	67
Şekil 4.19. Al 7075 cold malzemesinin farklı sıcaklık değerleri altındaki özellikleri....	68
Şekil 4.20. Al 7075 cold malzemesinin farklı sıcaklık değerleri altındaki yoğunluk değişimi.....	68
Şekil 4.21. Qform programının kullanıcı ara yüzünün özellikleri	70
Şekil 5.1. Ezme işlemi sonrası parçaların görüntüsü	72
Şekil 5.2. Sertlik ölçümü alınan değerlerin konumunun şematik gösterimi	73
Şekil 5.3. AISI 1020 için mikro sertlik ölçüm değerleri.....	74
Şekil 5.4. AISI 1050 için mikro sertlik ölçüm değerleri.....	74
Şekil 5.5. AISI 1060 için mikro sertlik ölçüm değerleri.....	75
Şekil 5.6. AISI 1020 deney numunesinin ezme işlemi öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüsü	76
Şekil 5.7. AISI 1050 deney numunesinin ezme işlemi öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüsü	76
Şekil 5.8. AISI 1060 deney numunesinin ezme işlemi öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüsü	76
Şekil 5.9. İşlem sonrası yüzey pürüzlülük değerlerindeki yüzdesel değişim	77
Şekil 5.10. Simülasyon sonucu elde edilen maksimum ezme kuvveti sonuçları.....	80
Şekil 5.11. AISI 1020 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği.....	81
Şekil 5.12. AISI 1050 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği.....	82
Şekil 5.13. AISI 1060 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği.....	82
Şekil 5.14. AISI 316L malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği	83
Şekil 5.15. Al 7075 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği.....	83
Şekil 5.16. C67300 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği.....	84
Şekil 5.17. Ezme işlemi sırasında oluşan sıcaklık değeri	85
Şekil 5.18. Ezilen malzemeler için sıcaklık değişimleri	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Cr	Krom
Cu	Bakır
dev/dk	Dakika başına devir
F _{max}	Maksimum Kuvvet
m	Metre
Ø	Çap
V	Vanadyum
max	Maksimum
Mg	Magnezyum
Mm	Milimetre
mm/dev	Devir başına milimetre cinsinden ilerleme
Ni	Nikel
P	Fosfat
Pb	Kurşun
Ra	Yüzey pürüzlülüğü mutlak değerler ortalaması
S	Kükürt
Al	Alüminyum
Si	Silisyum
Mo	Molibden
N	Newton
Sn	Kalay
Ti	Titanyum
Zn	Çinko
rpm	Dakika başına devir

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CNC

Computer Numerical Control

AISI

American Iron and Steel Institute

HV

Vickers Hardness

HRC

Rockwell Hardness C Scale

1. GİRİŞ

Yüzey işleme, tüm imalat yöntemleri arasında en önemlilerden birisi olmuştur. Endüstriyel uygulamalardaki parça kalitesi, malzeme seçiminin yanı sıra yüzey işleme ile elde edilen yüzeyin de kalitesine bağlıdır. Yüzey kalitesini geliştirmek için genel olarak 2 yöntem vardır. Bunlardan birisi taşlama, honlama gibi parça üzerinden talaş kaldırarak yapılan yüzey işlemleridir. Diğer ise parça üzerinden herhangi bir talaş parçası kaldırmadan, parça yüzeyinde plastik deformasyon ile gerçekleştirilen yüzey işlemleridir. Ezme talaşsız bir yüzey işlemi olup, talaşlı yöntemlerde elde edilemeyen özellikler bu yöntem ile elde edilebilmektedir. Bunlar genel olarak yüzeyden belli bir derinliğe kadar olan bölgede dayanım ve sertliğin artmasını sağlarken aynı zamanda iyi bir yüzey kalitesi de elde edilmesini sağlayan soğuk bir işleme yöntemidir. Bu avantajlarının yanı sıra ayrıca yorulma mukavemetinin, aşınma direncinin ve yük taşıma kapasitesinin artması gibi diğer özelliklere olumlu katkı sağlar.

Ezme yöntemi ilk olarak 1950-1960 yıllarında ortaya çıkmıştır. Yöntemin ilk kullanılmaya başladığı yıllarda yumuşak malzemelere uygulanmış ve istenilen sonuçlar alınmıştır. Ancak daha sonraki yıllarda gelişen takım ve tezgâhlar sayesinde daha sert malzemeleri işleyebileceği görülmüştür. Sert metal malzemeleri işleme durumu incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü bakımından ince taşlamaya alternatif bir yöntem olmuştur. Ayrıca maliyet olarak daha uygun, sağladığı yüzey sertliği gibi mekanik özelliklerle birlikte ince taşlamaya göre daha avantajlı bir yöntem olmuştur.

1950’li yıllara kadar ezme yöntemi genellikle mil ve borularda kullanılmaktaydı. Fakat daha sonraki yıllarda ezme takımlarının da gelişmesiyle birlikte Almanya ve Sovyet Rusya’da tren vagon dingillerinde ve otomobil krank millerinin iyileştirilmesinde kullanılmaya başlamıştır. İlerleyen yıllarda ise uygulama alanları gelişti. Hidrolik parçaların yüzeylerinde, sızdırmazlık istenen ve içinde keçe çalışan yüzeylerde ve mil yataklarında kullanılmaya başladı. Son yıllarda ise medikal, otomotiv, uzay ve havacılık vb. sektörlerde kullanılmaya başlamıştır.

Yapılan bu çalışmanın amacı özel ezme takımı kullanarak farklı tür çelik malzemelerde değişken ezme payı uygulanarak elde edilecek yüzey kalitelerinin karşılaştırılmasıdır. Çalışmada ilk olarak malzemeler torna tezgâhı kullanarak istenilen çaplara getirilmiş daha sonra ise dik işleme tezgâhında delik delme ve ezme işlemi yapılmıştır. Ezilerek elde edilen delik yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve mikro yapıları karşılaştırılmıştır. Ayrıca ezme sırasındaki ezme kuvveti ölçülmüş olup sonlu elemanlar metodu kullanan bir ticari program ile simülasyonu yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ezme işlemi sonrasında malzeme üzerinde beklenen kalıntı gerilmeler oluşmuş, X ışını yöntemi ile kalıntı gerilme ölçülmüş sonuçlar simülasyon programı ile kıyaslanmıştır.

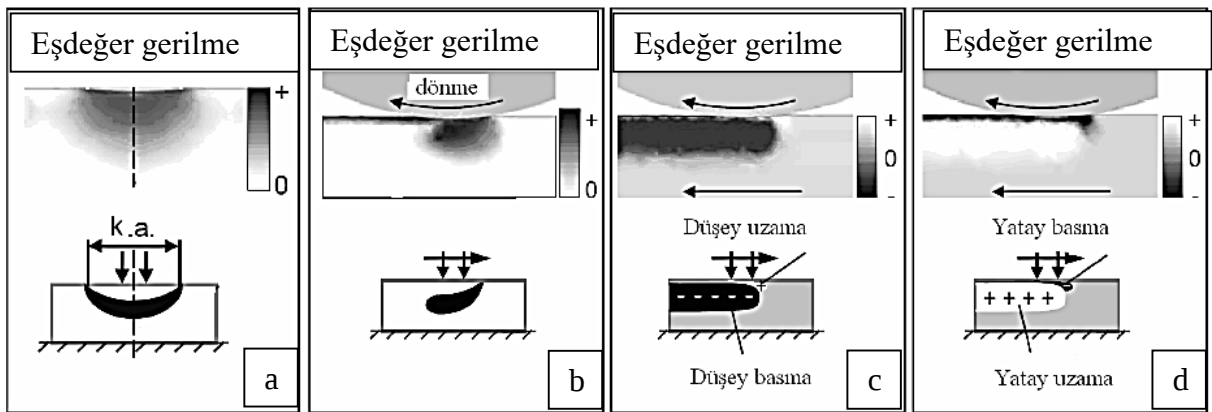
2. EZME İŞLEMİ VE YÖNTEMLERİ

2.1. Ezme İşleminin Mekanikliği

2.1.1. Plastik şekil değişimi

Ezme uygulamalarında genel olarak ezme takımı parça üzerinde hareket ederken yüzey tabakasında yerel plastik deformasyonlar oluşturarak parça yüzeyinin pürüzlülük değerinin iyileştirilmesini ve belirli bir oranda malzeme yüzeyinde artık basma gerilmeleri oluşumuna sebep olduğu belirtilmiştir.

Ezme işlemi sırasında oluşan ilk temasta eşdeğer gerilme durumu Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Eşdeğer gerilme şekilde görüldüğü gibi hilal şeklinde ve eksenel simetriktir. Ezme takımının hareket etmesiyle oluşan eşdeğer gerilme hali değişir ve simetrik olmayan damlacık şeklini alır (Şekil 2.1.b). Oluşan bu eşdeğer gerilme şekli takımın parça yüzeyine temas ettiği noktaya kadar devam eder. Ezme takımı altında kalan bölgede basma gerilmeleri oluşmakta olup takımın hareketi ile bu alandaki malzeme sürekli yatay plastik uzamaya neden olmaktadır. Bu yatay plastik uzama basma şeklinde bir gerilmeye neden olmakta ve bu basma gerilmesi akma dayanımını aşmaktadır. Bu şekilde malzemede plastik deformasyon meydana gelmektedir.



Şekil 2.1. Plastik şekil değişimi [1]

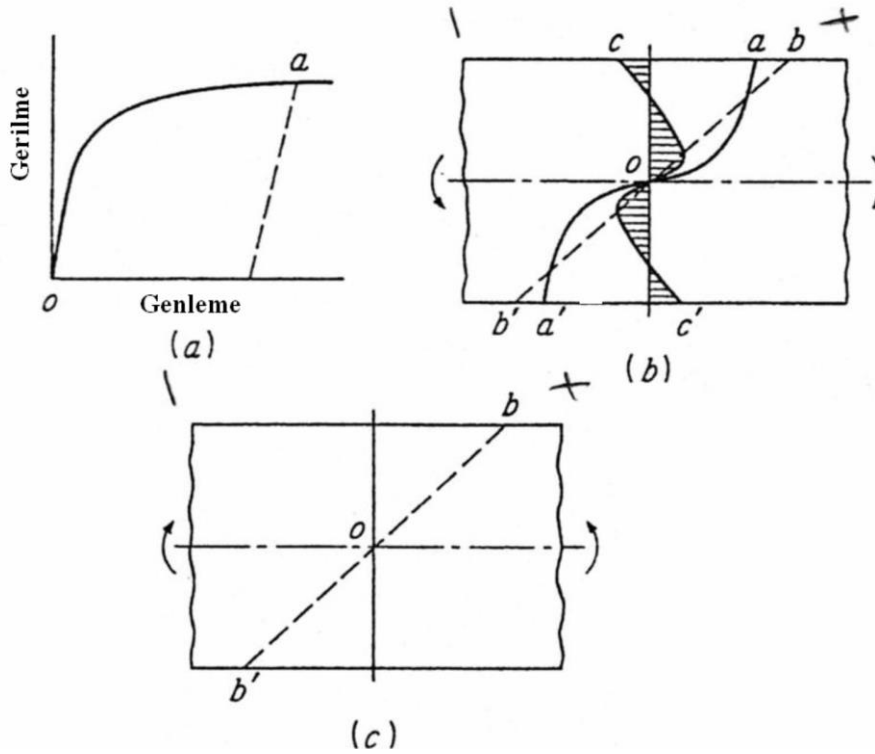
2.1.2. Artık gerilmelerin oluşumu

Artık gerilme malzeme üzerinde herhangi bir yük olmadığı durumda parçada bulunan malzemenin daha önceki durumdaki deformasyonun konumuna, malzemenin elastikliğine, sıcaklık değişimi ve diğer ısı etkilerinin şiddetine bağlı olarak değeri belirlenen gerilme halidir. Artık gerilmenin malzeme mekanik özelliklerine ve içyapısına olan etkilerinin araştırılması gün geçtikçe artmaktadır. Malzemelerin yapısında oluşan hasarlar dış yükler haricinde iç gerilmelerden de kaynaklı olabilmektedir. Bu nedenden dolayı artık gerilmelerin araştırılması ve bilinmesi önem taşımaktadır.

İmalat sırasında malzeme üzerinde genellikle artık gerilmeler oluşmaktadır. Bu artık gerilmeler ileride malzemede hasarlara sebep olabilmektedir. Fakat malzemede oluşan artık gerilmeler dış etkenlerin oluşturduğu gerilmelere ters değerde yani bası yönünde oluşturulmasıyla artık basma gerilmelerinden olumlu bir sonuç alacak şekilde yararlanılmaktadır.

Oluşan artık gerilmeler imalatın herhangi bir basamağı sonrasında malzemenin farklı bölgelerinde oluşabilmektedir. Bu artık gerilmeler farklı plastik şekil değişimi dağılımından, malzeme üzerindeki sıcaklık farklarından, işleme koşullarından veya hacim değişikliklerinden kaynaklı olabilmektedir. Malzeme yüzeyinde oluşan basma artık gerilmeleri yorulma ömrüne olumlu etki ederek malzeme ömrünü arttırmaktadır. Yüzeyde oluşan çekme artık gerilmeleri ise gerilmeli korozyon dayanımını olumsuz etki ederek malzemenin hasar alma süresini hızlandırmaktadır.

Gerilme/ birim şekil değiştirme grafiği Şekil 2.2 (a)'daki gibi olan bir malzeme bükülmeye maruz bırakıldığında malzeme kesitinde oluşacak gerilme/ birim şekil değiştirme grafiği Şekil 2.2 (c)'deki gibi olmaktadır. Bu iki eğri üst üste toplanacak olursa Şekil 2.2 (b)'de gösterilen taralı alan elde edilmektedir. Artık gerilmelerin tahmini için Wöhler'in geliştirdiği yöntem ile yüklemesiz durumdaki gerilmeyi plastik dağılımdan çıkararak oluşan artık gerilmeyi tanımlamaktır. Yükleme halinde bükülen çubuğun üst kısmı çekmeye maruz kalmakta ve sonucunda basma artık gerilmesi oluşmaktadır. Aynı şekilde çubuğun alt kısmı basmaya maruz kalmakta ve sonucunda bu bölgede de çekme artık gerilmelerinin oluştuğu gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Artık gerilme tahmini (Wöhler tahmin yöntemi) [2]

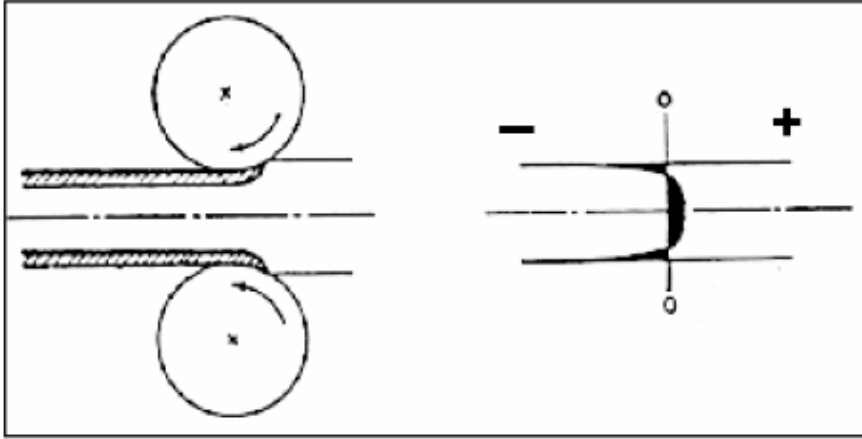
Artık gerilmelerin oluşmasındaki diğer bir neden ise iş parçasının soğuması esnasındaki farklı soğuma bölgelerinde farklı soğuma hızlarında soğuması nedeniyle ısı genleşme ve büzülme meydana gelmesi, iş parçasında çarpılmalara ve iç gerilmelere sebebiyet vermesi artık gerilmelere neden olabilir. Örnek olarak bir kalıp içerisindeki iş parçası soğuma esnasında kendini çekmesi, kaynak işlemi sırasında yüksek soğuma hızı nedeniyle faz dönüşümüne uğraması iç artık gerilmelerine neden olmaktadır.

İnce cidarlı bir iş parçasında cidar kalınlığındaki farklılıklar ve yapının karmaşıklığı iş parçasındaki oluşacak olan artık gerilmelerin farkını ve değişkenliğini etkilemektedir. İçi dolu ve kalın cidarlı iş parçalarında ise yüksek soğuma hızında iç kısımları ile dışı arasında sıcaklık farkı ortaya çıkmaktadır. Hızlı soğuyan yüzey büzülürken sıcak kalan orta bölgeler tarafından büzülmesi engellenmeye çalışılmakta bunun sonucu olarak iç bölgelerde basma artık gerilmeleri oluşmaktadır.

Bu artık gerilme durumu halen sıcak olan parçanın orta kısımlarının plastik şekil değişimi ile ortadan kalkmaktadır. İş parçasının soğuması devam ederek orta bölgeler de büzülmemektedir. Bu durumda ise soğuk olan kısımlar büzülmeyi engellemeye çalışmakta olup iş parçasının bu kısımlarında basma artık gerilmelerine sebep olur. Bu gerilme durumu,

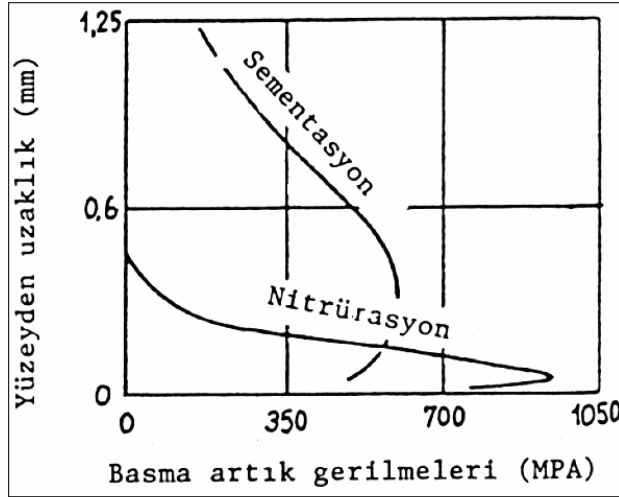
düşük sıcaklık değerlerinde plastik şekil değişiminin zorlaşması nedeniyle gerilmeler kalıcı olmaktadır. Sonuç olarak iş parçasının yüzey bölgesinde basma artık gerilmeleri, iç bölgeler ise çekme artık gerilmelere maruz kalmaktadır.

Artık gerilmeler iş parçasındaki plastik şekil değişiminin parça kesiti boyunca eşit dağılmaması sonucunda da ortaya çıkabilmektedir. Örnek olarak haddeme işlemi uygulanan çeliklerde, haddelenen yüzey bölgesi uzamaya zorlanır fakat iç bölgeler haddemeden etkilenmediği için uzamayı engellemeye çalışır. Haddeme bittikten sonra bu durum artık basma gerilmesine neden olur. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi parça içinde gerilme dengesi oluşması için yüzeydeki bu basma gerilmesi iç bölgelerde çekme gerilmesi ile dengelenmiş olur.



Şekil 2.3. Haddeme sonucu oluşan artık gerilmeler [3]

Şekil 2.4’de gösterildiği gibi endüksiyon ile sertleştirme, nitrürleme ve sementasyon gibi işlemler de yüzeyde hacim artışına sebep olduklarından iş parçasında artık basma gerilmeleri oluşturmaktadır.

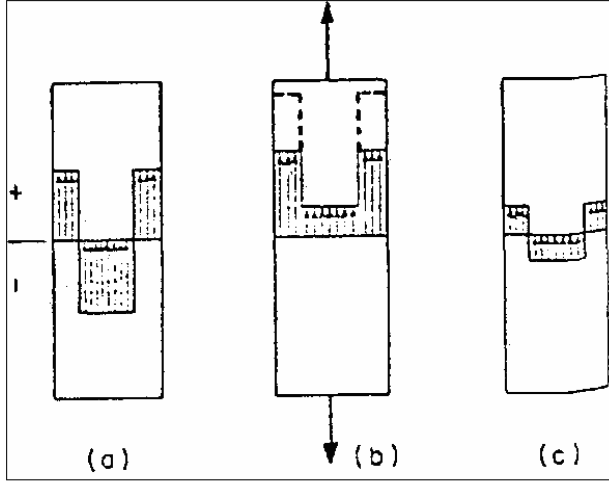


Şekil 2.4. Sementasyon ve Nitrürasyonda oluşan artık gerilmeler [3]

Benzer olarak faz dönüşümleri ve çökelme sırasında hacim değişiklikleri oluşabilmekte yüzey merkezli kübik olan yapıdan hacim merkezli kübik yapıya geçiş artık gerilmelere neden olabilmektedir.

Parçalarda oluşan artık gerilmeleri, ısıtıl işlem sayesinde gerilme giderme tavı uygulayarak giderilebilir. Yüksek sıcaklık ile birlikte malzemenin akma dayanımı azalmakta ve oluşan artık gerilmeler eğilme, çarpılma veya açılma olarak plastik şekil değiştirerek üzerindeki artık gerilmeler ortadan kalkmaktadır.

Parçalarda oluşan artık gerilmeleri gidermenin diğer bir yöntemi ise statik zorlama veya titreşim ile parçaya soğuk şekil vermektir. Şekil verme kuvvetinin uygulanması ile parçanın farklı bölgeleri arasında gerilme düzeyi farkları azalmaktadır. Şekil 2.5’de gösterildiği gibi dış kuvvetlerin kaldırılması sonrası ortaya çıkan gerilme dengesi başlangıca göre düşmektedir.

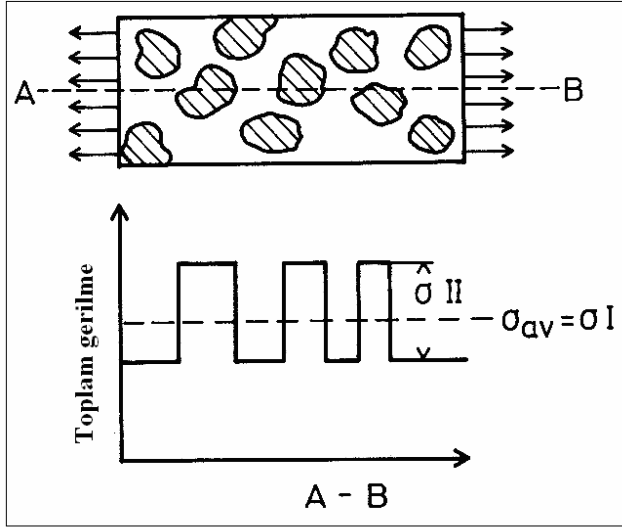


Şekil 2.5. Soğuk şekil değiştirme ile iç artık gerilmelerin giderilmesinin şematik gösterimi [3]

Artık gerilmeler genel olarak üç grupta incelenir. Bunlardan birincisi makro artık gerilmeleridir. Malzeme içinde bu artık gerilmeler bütün olarak dengeye ulaşmıştır. Yapı içerisinde farklı şekil değişim bölgelerinin oluşması bu tip artık gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. İkinci grup olan artık gerilme şekli ise mikro veya tane etkileşim artık gerilmeleridir. Malzeme içerisinde homojen olmayan yapılar ve ikincil fazlar bu tip artık gerilmeleri ortaya çıkarmaktadır. Üçüncü grup ise homojen olmayan mikro artık gerilmesidir. Bu tip artık gerilme çeşidi tane içinde, atomsal ölçüdedir ve dengededir. Fakat dislokasyonlar ve nokta kusurlarının olduğu yerlerde bu tip artık gerilme çeşidi görülür.

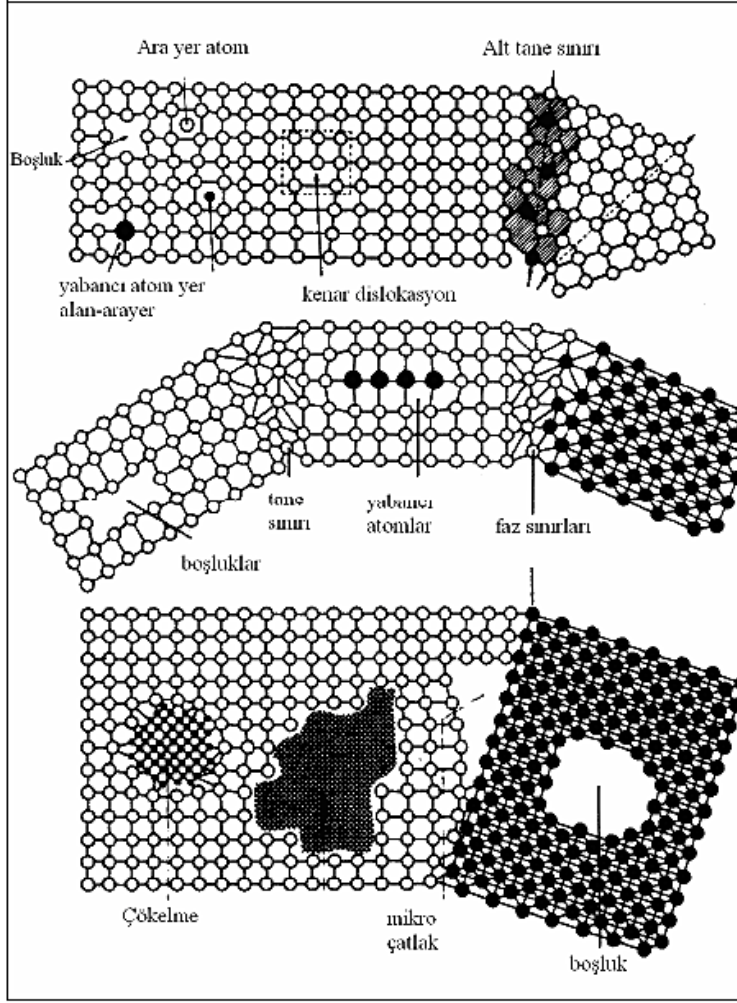
Genel olarak bu üç tip artık gerilmenin toplanması ile toplam artık gerilmeler bulunmaktadır. İş parçasının üretilmesi esnasında farklı plastik deformasyonların oluşması ile makro artık gerilmeler oluşmaktadır. Örnek olarak bükülen bir parçada bir taraf plastik şekil değişime maruz kalmakta diğer taraf ise elastikliğini koruyabilmektedir. Yüklemenin kaldırılmasıyla parçada artık gerilme oluşmaktadır.

Mikro artık gerilmelerin oluşumu faz farkından dolayı oluşabilir. Yumuşak ve sert fazlar içeren çoklu kristal yapıların yükleme durumlarında sert fazlar yumuşak olanlara göre daha fazla yük yüklenmesi olmaktadır. Çekme uygulanması durumunda sert faz çekme tane etkileşim gerilmesine, yumuşak faz ise basma tane etkileşim gerilmesine maruz kalacaktır. Bu durum şekil 2.6'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Sert ve yumuşak fazların çekme yükü altında oluşturduğu artık gerilmelerin durumu [4]

Malzemenin akma gerilme değerinin kristalografik yöne bağlı olması da yapıda mikro artık gerilmelerin oluşumuna sebep olabilir. Kafes hataları da artık gerilmelere neden olabilmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Kafes yapıdaki hataların oluşturduğu artık gerilmeler [4]

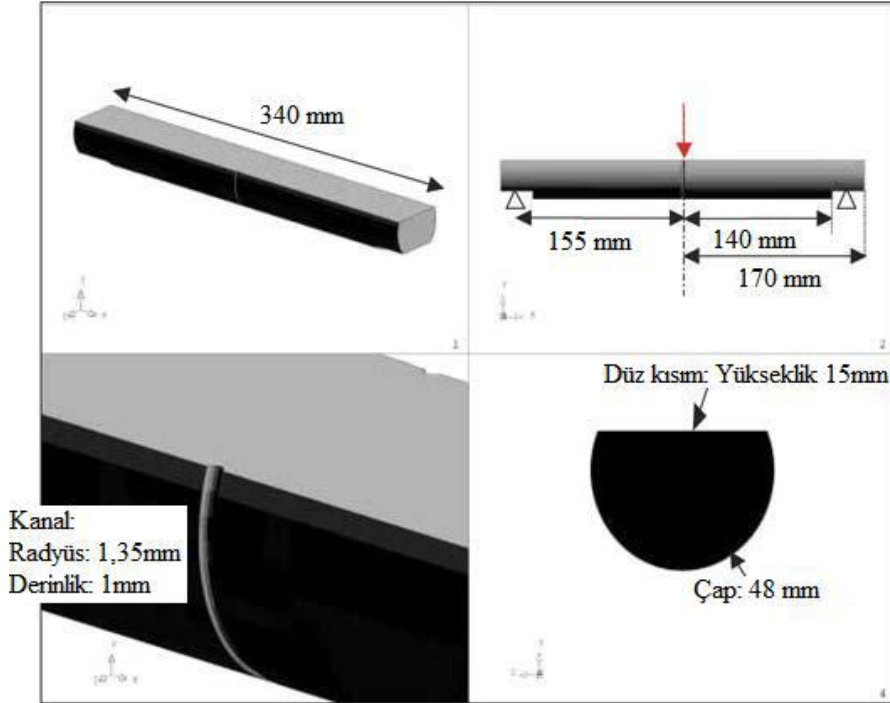
2.2. Ezme İşleminin Avantajları

2.2.1. Yorulma dayanımının iyileştirilmesi

Ezme yöntemi, iş parçasının yorulma dayanımını artırması sonucu ömrünü önemli ölçüde arttıran yüzey bitirme işlemlerinden birisidir. İş parçaları üzerindeki gerilmeler genel olarak parça yüzeyinde maksimum olduğundan dolayı yorulma dayanımı üzerinde etkisi olumsuz olacaktır. Uygulamalar yönünden bu oluşan gerilmeleri düşürmek veya tamamen kaldırmak iş parçasındaki artık gerilmeleri azaltmak, yüzeydeki gerilimi arttırıcı olan yüzey pürüzlülüklerini ve düzensizlikleri azaltarak mümkün olabilir.

Ezme işleminin yorulma dayanımına olan etkilerini araştıran Gardin vd. (2006) yaptıkları çalışmada üst kısmı düz olan bir mil şeklindeki parçaya merkezinde çentik etkisi yaratma

amacı olan kanal açılmış bir parça kullanmışlardır. Deney numunesi Şekil 2.8’de gösterilmiştir [5].



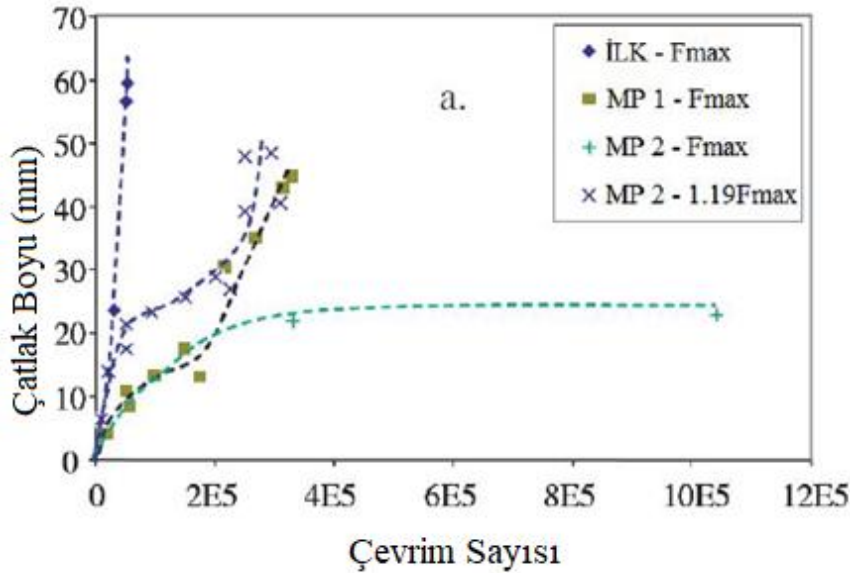
Şekil 2.8. Deney numunesi ölçüleri [5]

Deney numunesinin tasarımı yapılırken çağın teknolojik gereklilikleri düşünülerek Renault firmasının kullandığı krank milleriyle deney numuneleri arasında benzerlikler olmasını istemişler. Bu doğrultuda tasarımlar bu yönde yapılmıştır. Deney seti olarak makaralı ezme 1, makaralı ezme 2 ve makaralı ezme yapılmadan olacak şekilde üç farklı numune üretmişlerdir. Üretilen bu deney numuneleri üç noktadan bükme yöntemiyle yorulma testine tabi tutulmuşlardır. Yapılan deney sonuçlarında makaralı ezme işleminin deney numuneleri üzerinde etkileri ve çatlakların ilerle durumlarına hakkında bilgileri paylaşmışlardır.

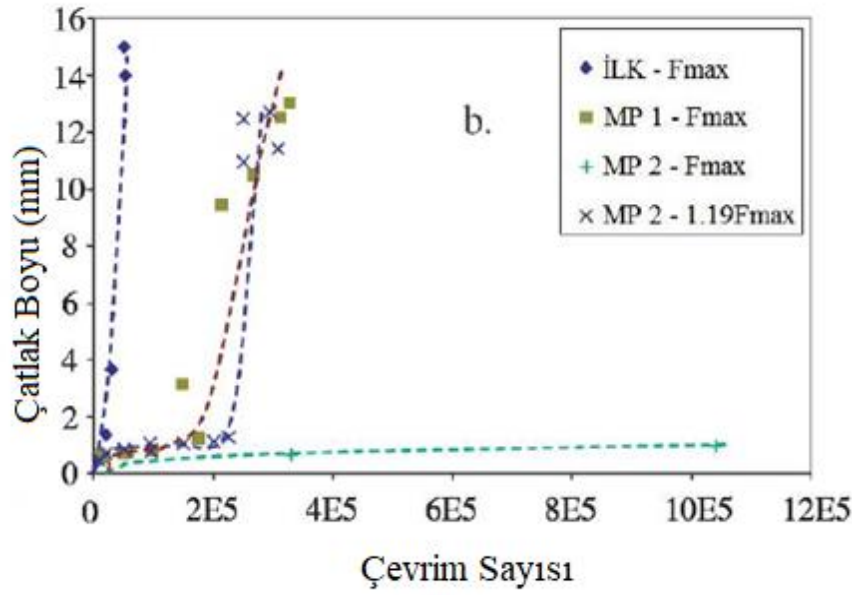
Makaralı ezme 1 deney numunesinde 140.000 çevrim sonrasında çatlak oluşumunun başladığı görülürken makaralı ezme 2 deney numunesinde 250.000 çevrim sonucunda çatlakların oluşmaya başladığını gözlemlemişlerdir. Ancak ezme işlemi uygulanmayan deney numunesinde çatlak oluşumunun 30.000 çevrime kadar düştüğünü deney sonuçlarında bulmuşlardır. Makaralı ezme 1 numunesinde 300.000 çevrim sonrasında çatlakların aşırı şekilde büyüdüğü gözlemlenmiştir. Makaralı ezme 2 numunesinde ise 1.000.000 çevrim sonrasında çatlakların durduğu ve yayılmadığı görülmüştür. Ancak ezme işlemi uygulanmayan numune ise 50.000 çevrim ile çatlakların büyük oranda büyüdüğünü

gözlemlenmişlerdir. Daha sonra makaralı ezme 2 numunesine uygulanan kuvvet 1.19 kat artırılarak tekrar uygulanmış çatlak uzunluğunun 22mm'den 30mm'ye kadar büyüdüğü ortaya konmuştur. Çatlak boyu (mm) ile çevrim sayısı arasındaki ilişki Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 10'da ise çatlak derinliği ile çevrim sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu çalışma ile makaralı ezme işlemi sonrasında oluşan artık basma gerilmesinin çatlakların yayılmasına ve yorulma ömrüne olan olumlu etkilerinin deneysel yolla gösterilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma, makaralı perdahlama işleminin çatlak yayılımı ve yorulma ömrü üzerindeki pozitif etkilerini ve işlemin sonucu olan bası artık gerilmelerinin çatlak başlangıcını ve yayılımını geciktirdiğini deneysel bir yolla göstermiştir.



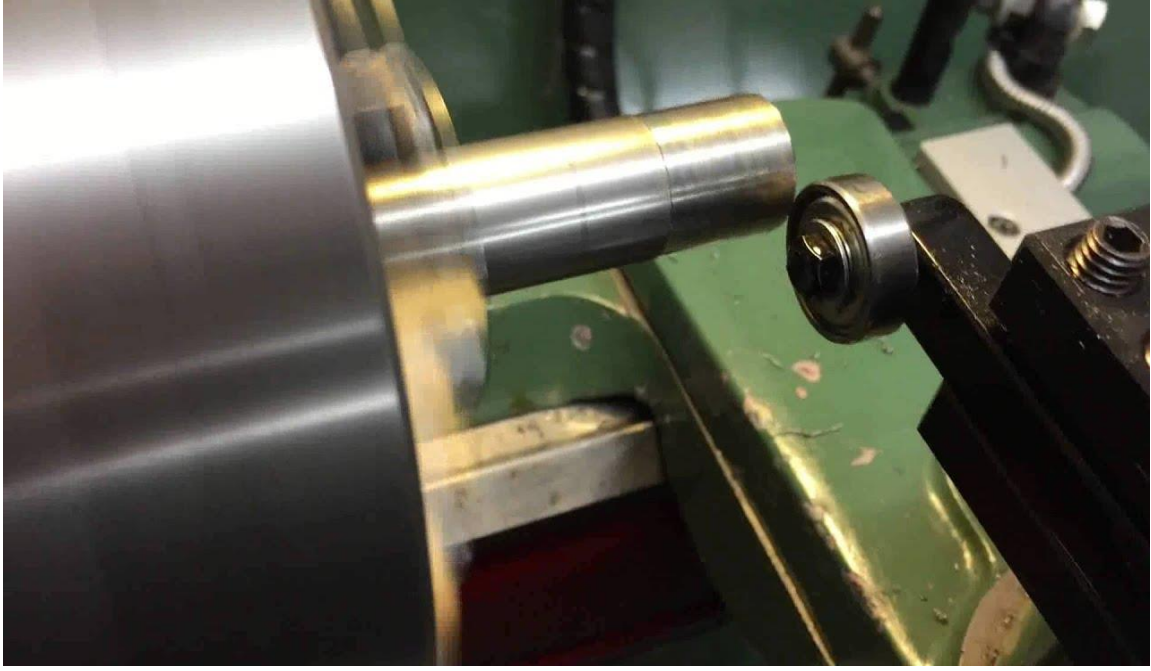
Şekil 2.9. Deneyler sonucu ortaya çıkan çatlak boyu – çevrim sayısı [5]



Şekil 2.10. Deneyler sonucu ortaya çıkan çatlak derinliği - çevrim sayısı [5]

2.2.2. Yöntemin uygulanabilirliği

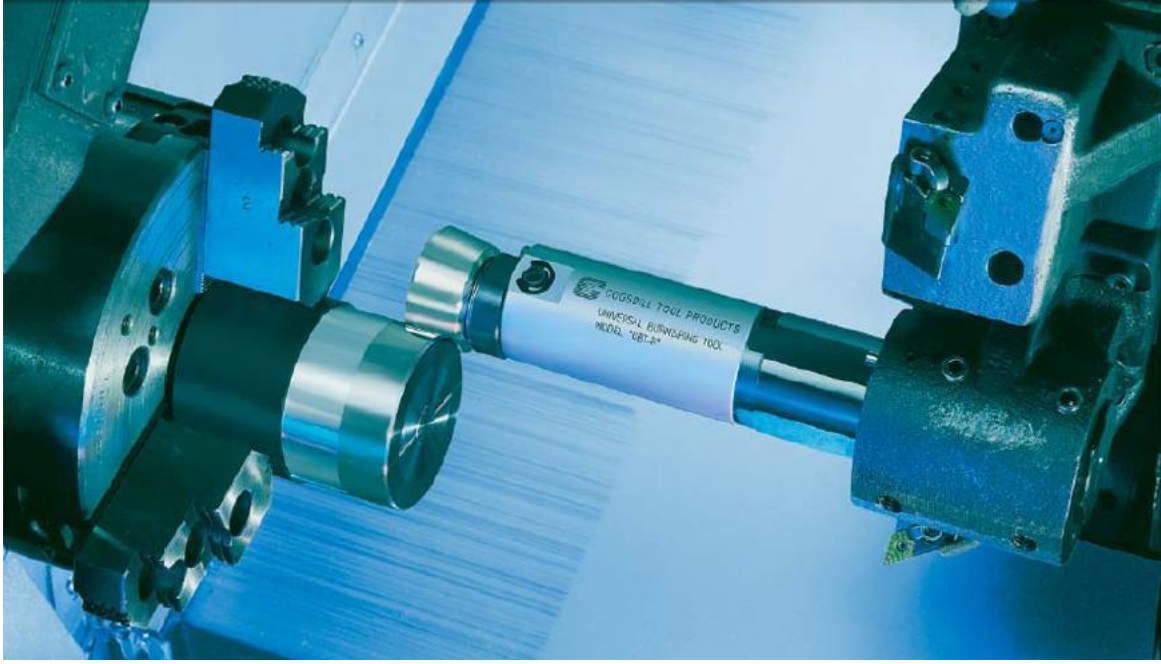
Makaralı ezme yönteminin en önemli avantajlarından birisi diğer yüzey bitirme yöntemlerine göre uygulanabilirliğinin daha fazla olmasıdır. Örnek olarak taşlama işleminin uygulanabilmesi için taşlama tezgâhı aynı şekilde honlama işlemi yapabilmek için özel honlama tezgâhı gerekirken makaralı ezme yöntemi için özel bir tezgâh gerekmemektedir. CNC freze veya torna tezgâhları, klasik torna tezgâhları veya sadece bir matkap tezgâhında bile ezme takımı monte edilip hızlı bir şekilde imalata başlanabilir. İlk yatırım maliyeti sadece satın alınacak olan ezme takımı olması nedeniyle diğer yüzey bitirme işlemlerine kıyasla daha ucuz bir yöntem olması da önemli avantajlarından. Klasik bir torna tezgâhına bağlanması Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13’de ise matkap ve CNC tezgâhına bağlanma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Ezme takımının klasik tornaya bağlanma şekli



Şekil 2.12. Ezme takımının matkap tezgâhına bağlanma şekli [6]



Şekil 2.13. Ezme takımının CNC tornaya bağlanma şekli [6]

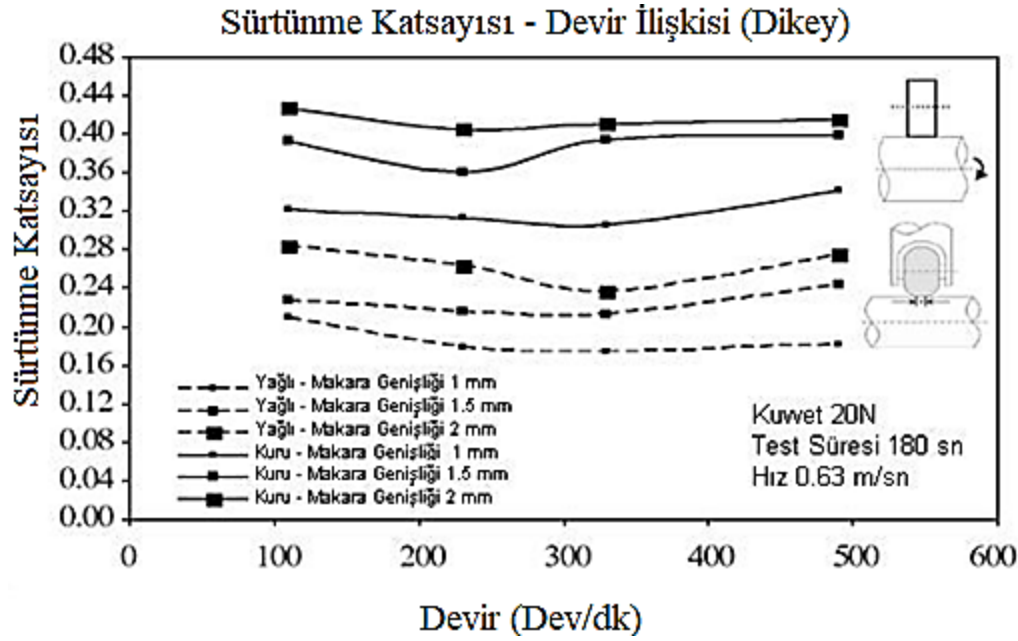
2.2.3. Sürtünme katsayısı

Sürtünme katsayısı birbirine temas ederek çalışan sistemlerde önemli bir faktör olmuştur. Sürtünmenin yarattığı ısı, sistemin enerji kayıpları arasında önemli bir ölçüttür. Ayrıca sürtünme çalışan parçaların aşınarak kullanılmaz hale gelmesinde de etkilidir. Sürtünmeyi azaltarak enerji kayıpları azaltılabilir böylece enerjinin daha verimli kullanılması sağlanacaktır. Sonuç olarak maddi kayıplar azaltılmış olacaktır. Makaralı ezme yönteminin sürtünme katsayısına olan etkisini inceleyen El-Tayeb ve arkadaşları, Al 6061 malzemesi üzerine araştırmalar yapmıştır [7].

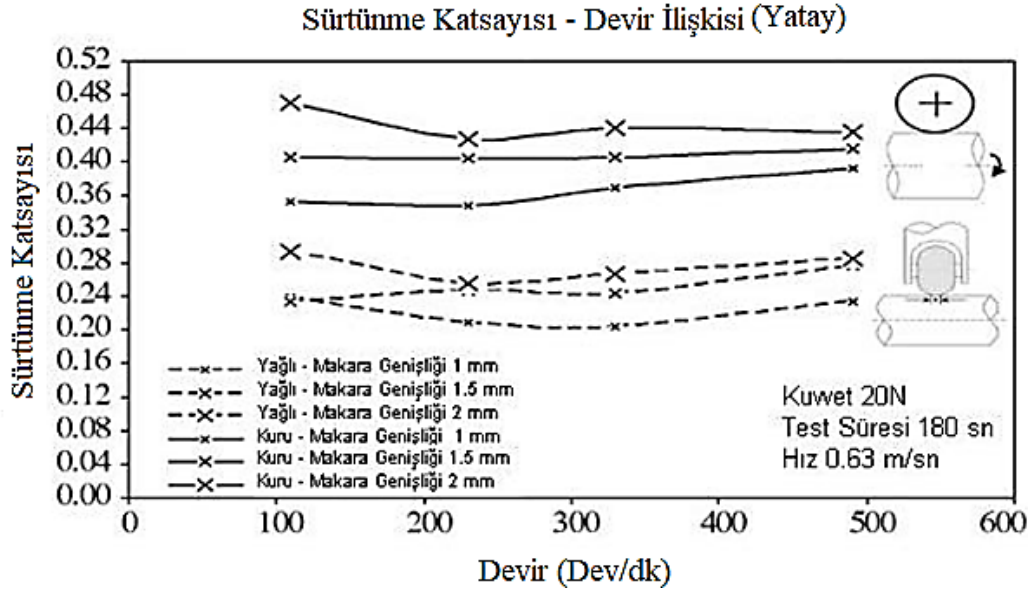
Yaptıkları çalışmada genişliği 10 mm ve çapı 25 mm olan tek makaralı ezme takımı kullanmışlar ve sonuçları incelemişlerdir. İş parçası eksenine paralel ve dik yönde aynı zamanda işlem sırasında yağlama yaparak ve yağlama yapılmadan deneysel çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde paralel yönlü ezme işleminin dikey yönlü ezme işlemine göre daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Yağlama işlemi yapılmayan yüzeylerde ise devir sayısının artması ile sürtünme katsayısının arttığı sonucu ortaya çıkmıştır. Bunun nedeninin ise yüksek çalışma hızlarında ezme takımı ile iş parçasının arasında oluşan sürtünmenin oluşturduğu ısının artması olduğunu ortaya koymuşlardır. İş parçasının yağlanarak yapılan deneylerde ise sürtünme katsayısını % 65 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Yağlama sayesinde iş parçası ile ezme takımı

arasındaki sürtünme azalmış ve ortaya çıkan ısı miktarı azalmıştır. Bu sayede daha iyi bir ilerleme sağlanmış, daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada makaranın genişliğinin sürtünme katsayısına olan önemli etkilerinin de olduğunu görmüşlerdir. 1 mm genişliğe sahip ezme makarası ile deneyler arasındaki en düşük sürtünme katsayısını elde etmişlerdir. 1,5 mm genişliğindeki ezme takımında ise sürtünme katsayısı değerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Son olarak 2 mm kalınlığındaki makara genişliğinde ise en büyük sürtünme katsayısı değerine ulaşmışlardır. Ezme makarası genişliği 1 mm ve 330 devir/dakika devir sayısında yağlama yapılarak gerçekleştirilen deneyde %65'lik bir iyileştirme yapılarak sürtünme katsayısını 0,18'e indirildiğini gözlemlemişlerdir [7].



Şekil 2.14. Dikey yönde ezilen parçanın sürtünme katsayısı ve devri arasındaki ilişki [7]



Şekil 2.15. Yatay yönde ezilen parçanın sürtünme katsayısı ve devri arasındaki ilişki [7]

2.3. Ezme İşleminin Dezavantajları

2.3.1. Ezme uygulanacak parçanın sertliği

Makaralı ezme yönteminde ezme uygulanacak olan iş parçasının sertliği maksimum 40 HRC olacak şekilde seçilmelidir. Ancak bazı özel takımlar sayesinde bu sertlik değeri 65 HRC'ye kadar yükseltilebilir. Daha sert iş parçaları son işlem için talaşlı işleme yöntemleri kullanılmalıdır çünkü makaralı ezme takımları bu sertlikteki malzemeleri ezebilecek şekilde tasarlanmamışlardır. Bu da iş parçalarının belirli sertlik değeri içinde ezme işleminin yapılacağı dolayısıyla her tür malzemenin rahatlıkla işlenemeyeceği anlamına gelmektedir.

2.3.2. İş parçalarının ekstenel simetrikliği

Makaralı ezme yönteminin en önemli dezavantajlarından birisi işlenecek olan iş parçasının ekstenel olarak simetrik olma zorunluluğudur. Ekstenel simetriğe sahip olmayan iş parçaları için makaralı ezme yöntemi yerine bilyeli veya talaş kaldırarak yüzey işleme tercih edilmelidir. Bu nedenle makaralı ezme yöntemi kullanım alanı açısından daralmaktadır.

2.3.3. Tolerans hassasiyeti

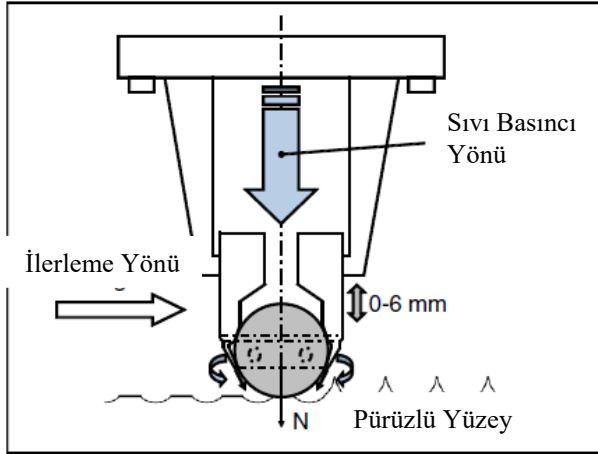
Makaralı ezme yönteminin diğer bir dezavantajı ise ezme işlemi yapılmadan önce son ölçünün toleransıdır. Makaralı ezme işlemi yapılmadan önce parçanın türüne göre son ölçüye bırakılan maksimum tolerans 0,02 ile 0,10 mm arasındadır. Örnek olarak iç yap ezme işleminde istenilen iç çap $\varnothing 40,40$ mm olsun istenmektedir. İş parçasının ön yüzey işlemi olarak torna tezgâhında iç çapının $\varnothing 40,38$ mm'ye getirilmesi gerekmektedir. Ancak taşlama işlemi göz önüne alındığında istenilen ölçüye getirilmesi için herhangi bir sınırlama yoktur. İş parçasının yüzeyinden talaş kaldırılarak istenilen ölçü elde edilebilir. Sonuç olarak makaralı ezme yöntemi öncesinde son ölçüye bırakılacak ölçünün toleransının hassas olması yöntemin dezavantajıdır.

2.4. Ezme Yöntemleri

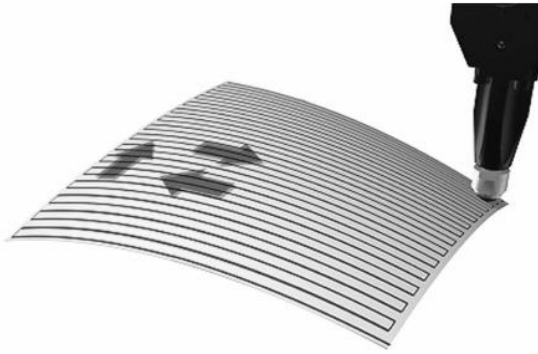
2.4.1. Mekanik yöntemler

Tek nokta temaslı ezme

Tek nokta temaslı ezme yöntemi, serbest dönme hareketi yapan bir bilye tarafından ileri geri hareket ederek parça yüzeyinde küçük plastik deformasyonlar olmasını sağlayan bir yöntemdir. Ezme takımının içerisinde bilye üzerine sağlanan bir sıvı basıncı sayesinde bilye, parça yüzeyinden kalkmadan serbest bir şekilde her yöne hareket edebilmektedir. Şekil 2.16'da bilyeli ezme takımının ve iş parçasının şematik hareket şekli gösterilmiştir. İstenilen yüzeyin bir bölümüne veya tamamına bilyeli ezme takımı ile belirli bir yörüngede takip etmesi ile ezme işlemi sağlanmaktadır. Şekil 2.17'de ise ezme takımının izlediği temsili bir yörünge gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Bilyeli ezme takımı ve iş parçası hareketi [8]



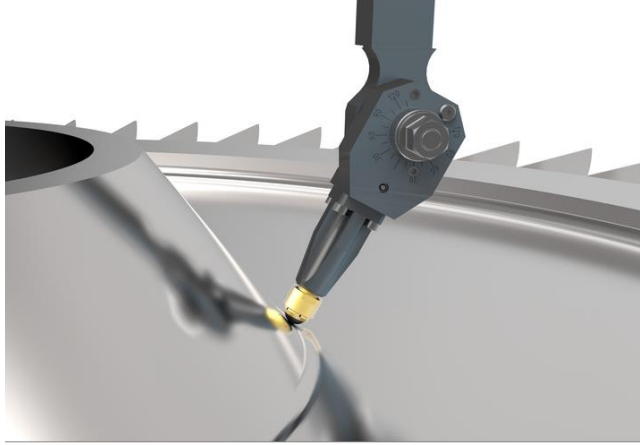
Şekil 2.17. Temsili ezme yörüngesi [8]

Ezme takımı içerisinde bulunan basınçlı sıvı (bor yağı) ile işlem sırasında oluşan ısınma yağ sayesinde azaltılmaktadır. Böylece herhangi bir harici bir soğutucuya ihtiyaç duyulmamakta ve maliyetler azaltılmaktadır. Ayrıca işlem sırasında kullanılan yağ, yağlayıcıyı görevi yaparak işlemin daha az sürtünme olacak şekilde yapılmasını sağlamaktadır.

Tek nokta temaslı ezme yöntemi uygulanacağı malzeme ve parçaya göre farklılıklar göstermektedir. Farklı kalınlıklarda ve uygulama alanlarında farklı bilyeler kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile bu uygulama alanları ve uygulanabilecek malzemeler gün geçtikçe artmaktadır.

Tek bilyeli ezme takımı ile gaz türbini gibi kalın ve düz yüzeye sahip parçalar Şekil 2.18’de gösterildiği gibi ezilmektedir. Ayrıca çok ince cidara sahip boru parçaları uygulama esnasında eğilip bükülebildiğinden dolayı Şekil 2.19’da gösterilen 3 bilyeli ezme takımları kullanılmaktadır. Uygulama esnasında 2 bilye parçanın eğilmesi ve bükülmesini engellerken

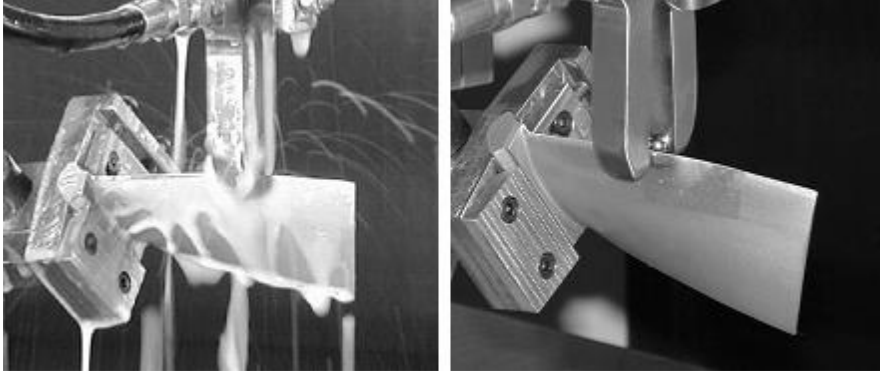
3. bilye ezme işlemini yapmaktadır. Diğer bir ezme takımı ise ince cidarlı parçaların aynı anda ezilmesi için tasarlanmış olan ve Şekil 2.20’de gösterilen çift bilyeye sahip ezme takımları da uygulamalarda kullanılmaktadır. Serbest forma sahip düz yüzeyler içinde özel tasarlanmış ezme takımları da bulunmaktadır.



Şekil 2.18. Tek bilyeli ezme takımı [9]



Şekil 2.19. Üç bilyeli ezme takımı [8]

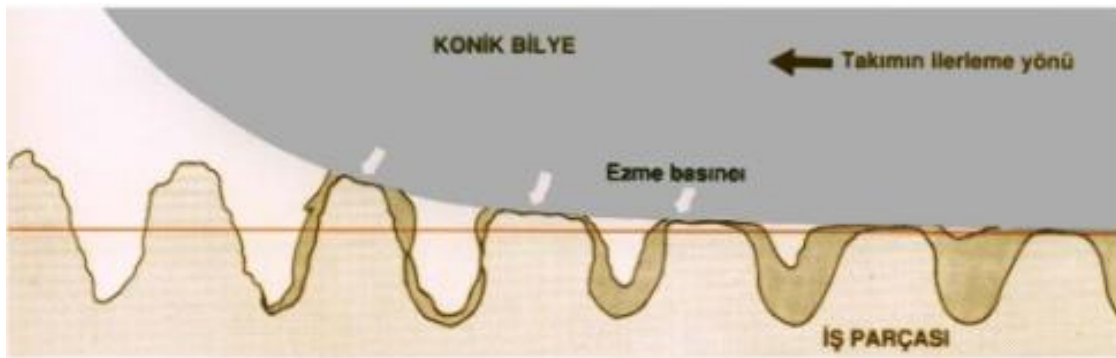


Şekil 2.20. Çift bilyeli ezme takımı [9]

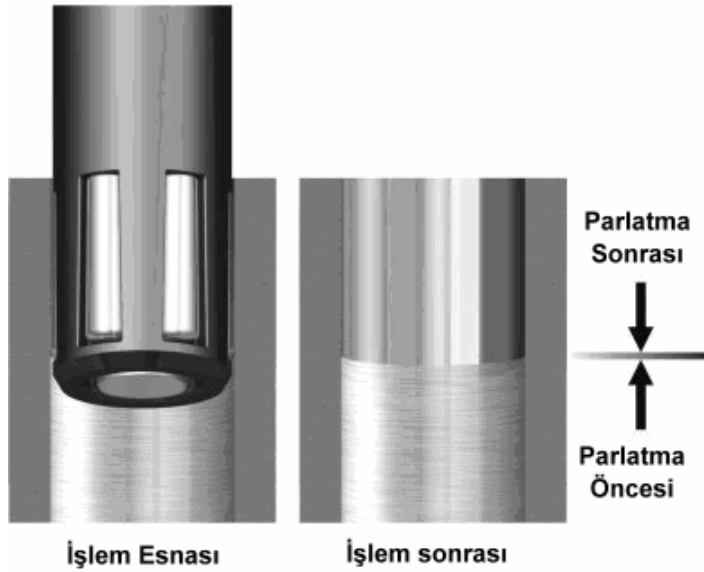
Çizgisel temaslı ezme

Çizgisel temaslı takım ile ezme yaygın bir mekanik yüzey bitirme işlemi olup kullanım alanının genişliği ve sağlandığı avantajları bakımından önemli bir ezme yöntemidir. Makaralar yardımı ile parça yüzeyinde oluşturulan kuvvet sayesinde malzeme yüzeyi üzerindeki gerilmeler akma gerilmesini geçmekte ve yüzeyde plastik deformasyonlar meydana gelmektedir.

Makara ile ezme yönteminde diğer yüzey bitirme işlemlerine göre parça yüzeyinden talaş kaldırmadan parça yüzeyi üzerindeki tepeleri yine parça yüzeyindeki çukurlara doğru doldurarak yüzeyin daha iyi bir pürüzlülük değerine ulaşmasını sağlamaktadır. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 2.21 ve 2.22’de gösterilmiştir.



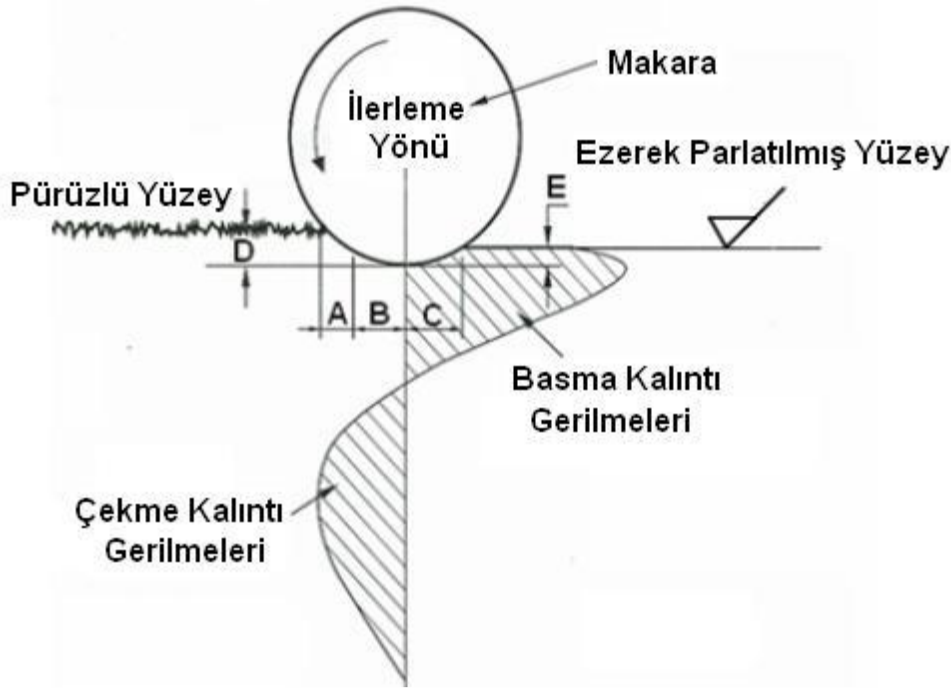
Şekil 2.21. Parça yüzeyindeki tepelerin makara ile ezerken çukurlara doldurma işleminin şematik gösterimi [10]



Şekil 2.22. Makara ile ezme işleminin şematik gösterimi

Ayrıca bu yöntem ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesinin yanında yüzeyde mikro sertliğe, yorulma dayanımı da bir artışa ve yüzeyde basma artık gerilmelerine sebep olur. Makaralı ezme yöntemi iş parçasında birçok bakımdan fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesine olanak sağlayan bir yöntemdir. Makaralı ezme yönteminde genel olarak pirinç malzemeler, alüminyum alaşımları, alaşımlı çelikler gibi endüstride çokça kullanılan malzemelere rahatlıkla uygulanabilir olmuştur.

Şekil 2.23’de ezme işlemi gösterilmiştir. Ezme işlemi yapılacak malzeme ilk önce ön işlemi yapılır. (Tornalama, delme vb.) Daha sonra malzeme yüzeyi ilk teması (A) bölgesinde olur ve metal (B) bölgesine geldiğinde akma dayanımının üzerinde bir gerilmeye maruz kalır. Böylece bu bölgede malzemede plastik deformasyon meydana gelir ve malzeme yüzeyinde çok küçük boyutlarda ezilme olur (D). (C) bölgesine gelindiğinde ise oluşan plastik deformasyonun ardından yükün azalması nedeni ile bir miktar elastik dönüşüm (E) gerçekleşir. Bu alanda ezme takımının malzemeye son teması ile malzeme yüzeyi pürüzsüz ve parlak olan son şeklini alır.



Şekil 2.23. Ezme işlemi sırasındaki malzemede oluşan gerilmeler [10]

Ezme işlemi sırasında iş parçasında oluşturulan gerilim yüzeyden eksene doğru azalır. Bu gerilim, malzemeye, ezme miktarına ve çalışma şekline bağlı olarak 1mm derinliğe kadar nüfuz eder. Ezme kuvveti kalktıktan sonra, dislokasyon artışı ve pekleşmeye bağlı sertleşen yüzey tabakasının altında gerilim yığılmasından dolayı kalıntı gerilmeleri oluşur.

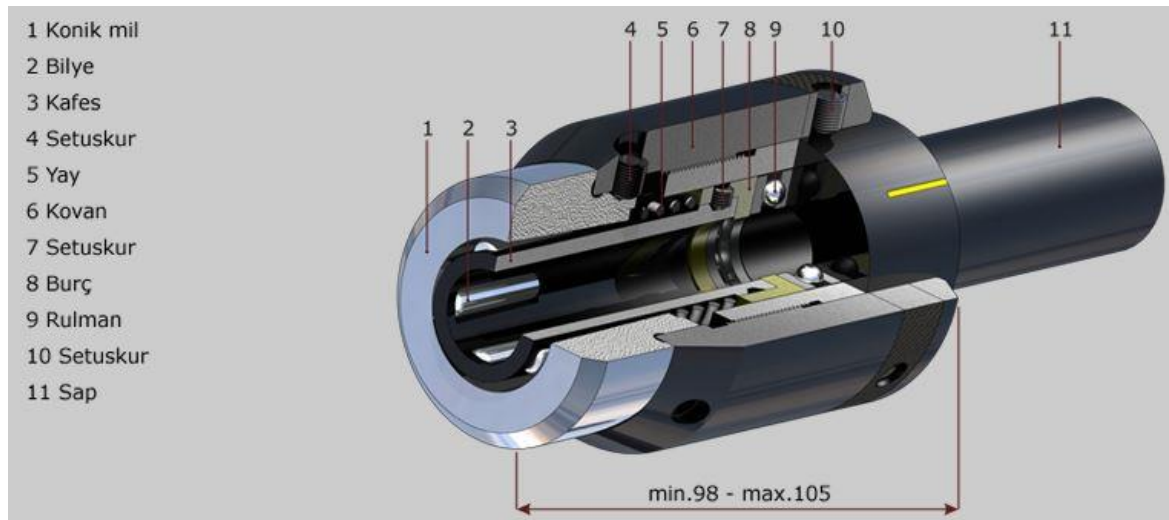
Geleneksel yüzey işleme yöntemleriyle işlenen parça yüzeyinde işlemeden dolayı oluşan düzensiz enerji dağılımı etkisi ile yüzey bozukluğuna sebep olmakta ve parçaların performansını olumsuz etkilemektedir. Ezme işlemi ile yüzeylerin oksitlenmeye, aşınmaya ve korozyona karşı dayanımını artmakta ve bu sayede bu özellikleri sayesinde ezme iyi bir çözüm sunmaktadır.

Uygulamada birçok çeşidinin olmasının yanı sıra özel amaçlar için de uygulamaları mevcuttur. Bunlar genel olarak dış çap, iç çap, tek makaralı, düz ve konik şekiller için takımlar olmak üzere çeşitli tipleri mevcuttur.

Bunlardan ilki dış çap ezme takımları düz miller ve silindirik kademeli milleri ezme ve parlatma amaçlı kullanılır. Ezme takımları parçaları ezmenin yanında yüzey sertliği ve düşük oranlarda ölçümleme için de kullanılabilirler. Takımların yüksek işleme gücü ve hızları

sayesinde seri üretimler için zaman tasarrufu sağlaması yöntemin avantajlarından birisi olmuştur.

Dış çap ezme takımları Ø3mm ile Ø110 mm'ye kadar işleyebilmesi sayesinde geniş çapta parçaları işleyebilmektedir. Ayrıca takımın ayarlanabilir kafası sayesinde belli çap aralığında istenilen iş parçası ezilebilmektedir. Örnek bir dış çap ezme takımı Şekil 2.24'de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Dış çap ezme takımı [8]

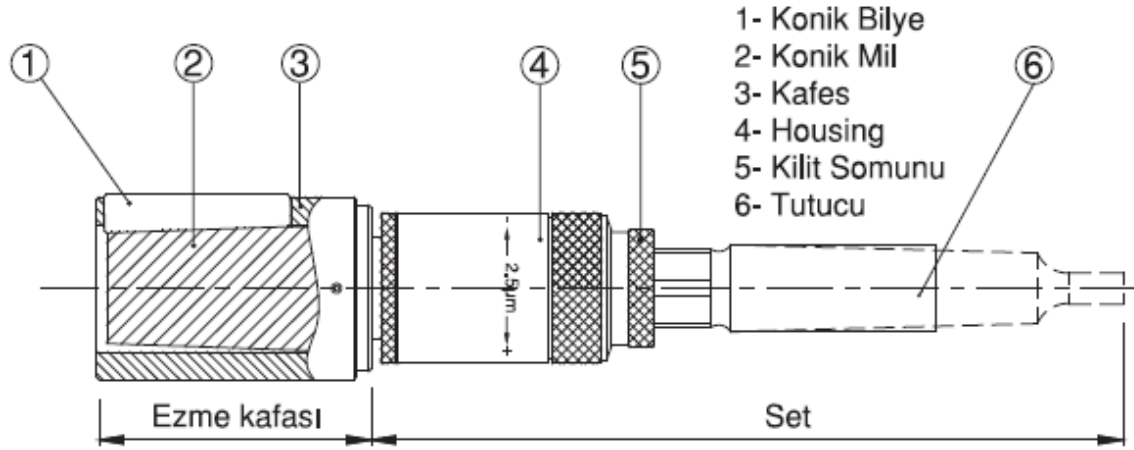
Ezme takımı gövde ve ezme başlığından oluşmaktadır. Takım gövdesinde hassas ayar yapabilme özelliğine sahip bir mekanizma bulunmaktadır. Ezme başlığı konik mil, kafes ve ezme bilyelerinden oluşur. Takımın makinalara bağlantı sapı ise silindirik veya konik şekilde yapılabilir. Uygulama örnekleri ise amortisör milleri, pnömatik silindir milleri, dişli şaftları, kasnaklar, pimler ve hassas miller olarak gösterilebilir [8].

Bir diğeri ise iç çap ezme takımları ile açık veya kör deliklere ezme işlemi uygulanabilir. Bu takımlar ile hem ölçü tamlığı sağlanır hem de yüzey parlatılmış ve sertleştirilmiş olur. Takımların yüksek işleme hızları ve gücüne sahip olması sebebiyle sanayide birçok alanda kullanımı yaygınlaşmıştır.

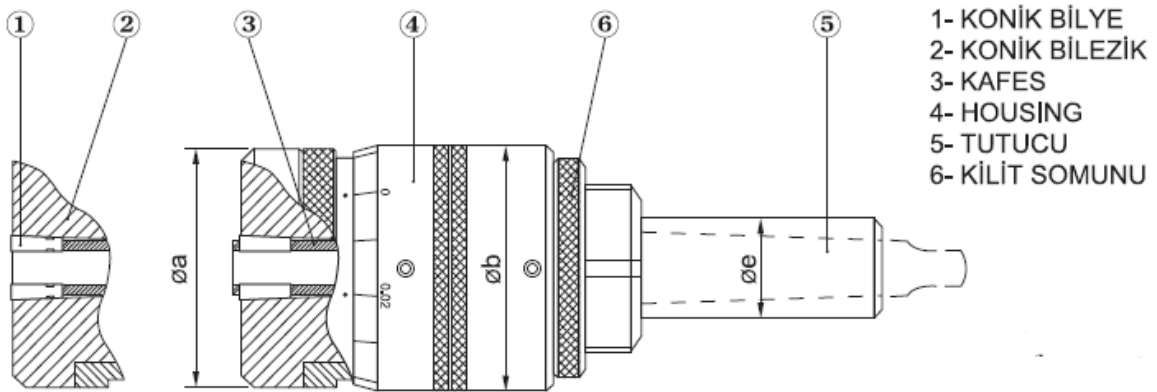
İç çap ezme takımları Ø6 mm ile Ø300 mm'ye kadar iç çap ezme özelliğine sahiptir. Ayrıca bu takımlar hassas ölçülere ayarlanabilmesi özelliğine sahip olması nedeniyle değişik

çaplardaki iş parçalarını ezabilmektedir. Bu özellik sayesinde Ø5-85 mm arasındaki takımlarda 0,025 mm,

Ø86-200 mm arasındaki takımlarda ise 0,005 mm hassasiyette çap ayarı yapabilme kabiliyetine sahiptir. Şekil 2.25 ve 2.26’ da iç çap ezme takımı gösterilmiştir.



Şekil 2.25. İç çap ezme takımı şematik gösterimi [10]



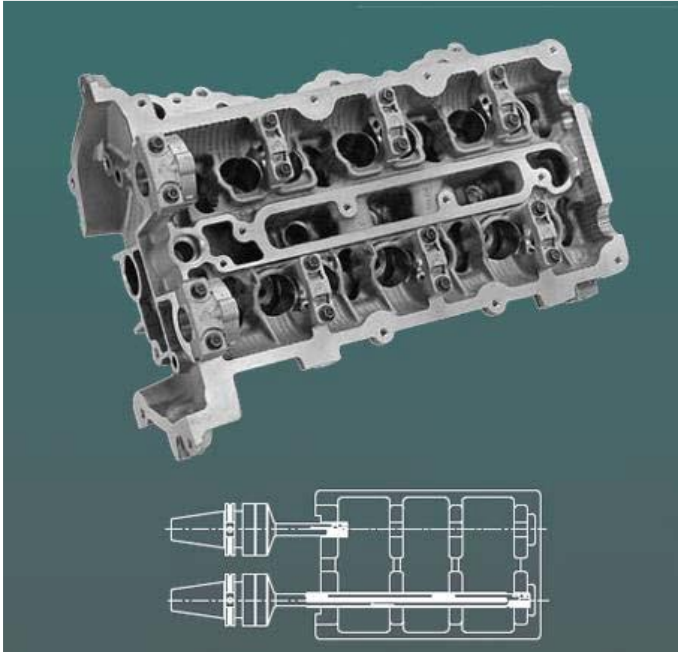
Şekil 2.26. İç çap ezme takımı şematik gösterimi [10]

Ezme takımları Cnc torna, klasik torna, işleme merkezi, matkap, freze gibi tezgâhlarda kolaylıklar montesi yapıp ezme işlemi gerçekleştirilebilir. Ayrıca bir tezgâha ihtiyaç duymaması yöntemin avantajları arasındadır. Uygulama örnekleri ise pistonlar, kardan milleri, rulman yatakları gibi sanayide çokça kullanılan ürünlerdir [10].

İç ezme takımlarının uygulama alanları ile alakalı örnekler Şekil 2.27 ve 2.28’de gösterilmiştir.

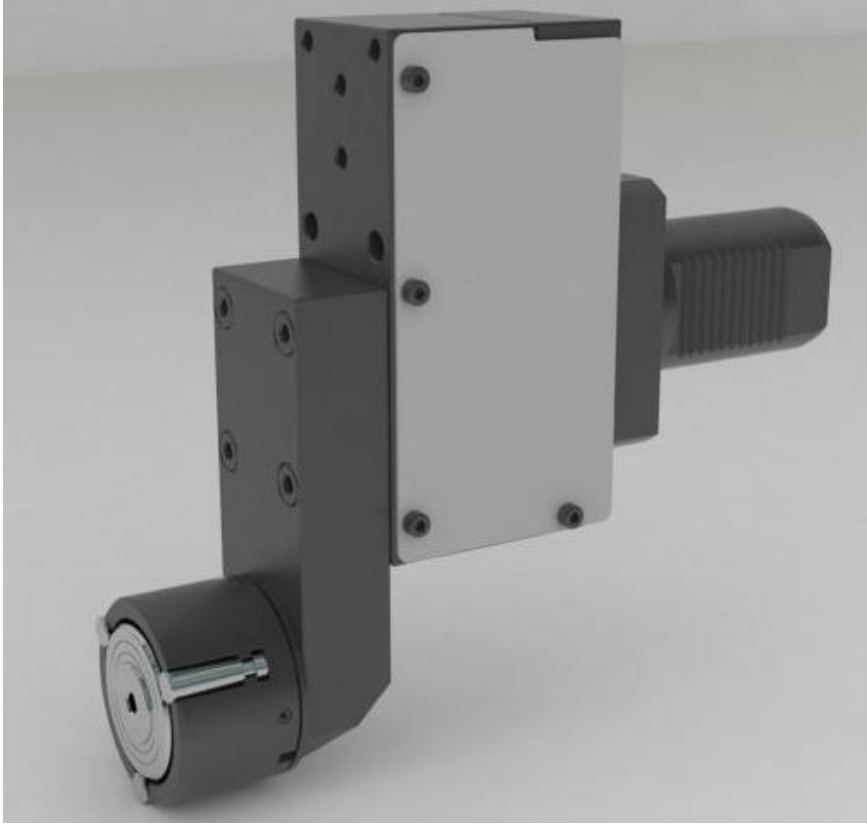


Şekil 2.27. Uygulama örnekleri



Şekil 2.28. Uygulama örnekleri

Tek makaralı ezme takımları silindirik düz bir yüzey ile birleşen radüs, düz, konik, alın ve küresel yüzeyleri ezme amaçlı kullanılır. Bu takımlar ayrıca bağlantı sapı, makara ve hassas gövdeden oluşur. Bazı modellerinde ezme kuvvetinin ölçülmesi için ayrıca bir göstergede bulunur. Şekil 2.29’de tek bilyeli ezme takımı gösterilmiştir. Uygulama alanları ise dişli şaftları, fren diskleri, pistonlar, kasnaklar, rodlar ve millerdir. Şekil 2.30’da ise uygulama örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.29. Tek bilyeli ezme takımı gösterimi [10]



Şekil 2.30. Uygulama örnekler [10]

Bu ezme takımları düz, dış konik ve iç konik parçaları ezme işleminde kullanılırlar. Ezme takımı ezme başlığı ve gövdeden oluşur. Takımın gövdesi yay sistemi ve takımın tezgâha bağlanmasını sağlayan bir saptan oluşur. Bağlantı sapı silindirik veya konik şekilde olabilir. Ezme başlığı makara, konik mil ve kafesten oluşur. İç ve dış konik ezme takımları Şekil 2.31’de, düz alın ezme takımı ise Şekil 2.32’de gösterilmiştir. Şekil 2.33’de ise genel

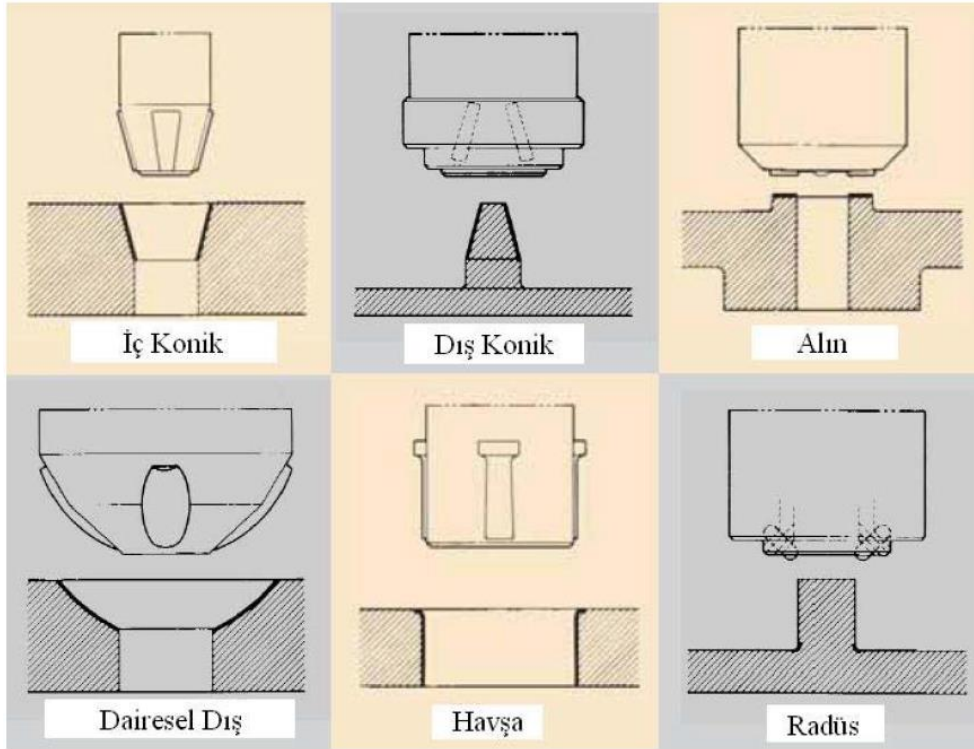
kullanım alanlarına örnekler gösterilmiştir. Uygulama örnekleri ise valf gövdelerinin konik oturma yüzeyleri, kompresör parçalarının düz yüzeyleri, küre vidası conta yatağı, conta flanş yüzeyleri vb. parçalardır.



Şekil 2.31. İç ve dış konik ezme takımları [10]



Şekil 2.32. Düz alın ezme takımı [10]



Şekil 2.33. Uygulama örnekleri şematik gösterimi [6]

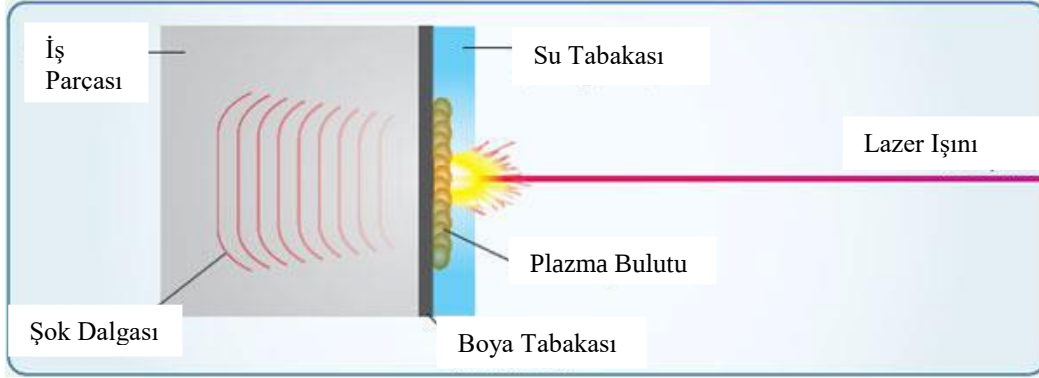
2.4.2. Lazer şoku yöntemi

Lazer şoku ile ezme işleminde yüksek enerjiye sahip lazer ışını sayesinde ezme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. İşleme başlamadan önce saydam olmayan bir tabaka yüzeye sürülmektedir. Saydam olmayan yüzey için kuru veya ıslak boya, metal folyo veya siyah bant kullanılabilmektedir.

Saydam olmayan bu yüzeyin amacı, parçaya gönderilen yüksek enerjili lazer ışınının parçada herhangi bir termal etkisinin olmaması ve uygulanan malzemeden bağımsız olarak bütün yüzeye homojen bir şekilde uygulanmasıdır. İşlem sırasında ayrıca parça yüzeyinde saydam bir tabaka oluşturulmaktadır. Bu tabaka genellikle su olmakla beraber amacı ise lazer ışınını geçirmek ve işlem sırasında plazma bulutunun oluşmasını sağlamaktır.

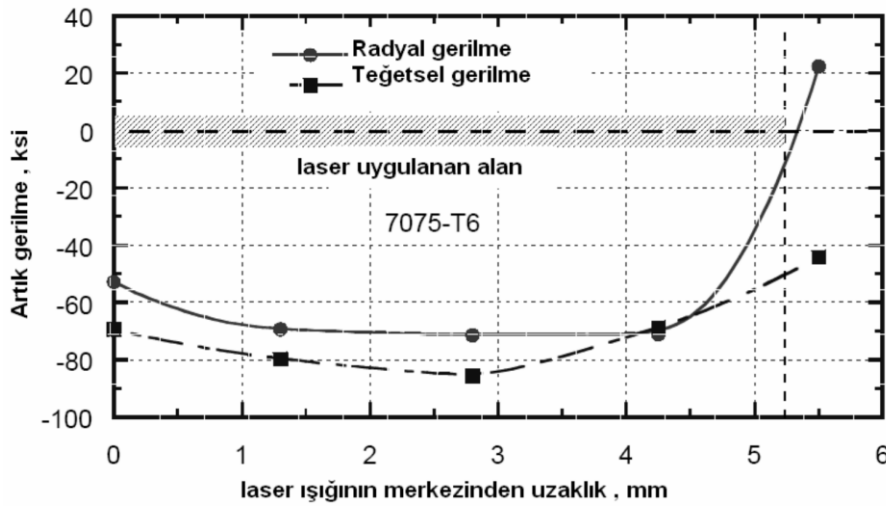
İşlem sırasında lazer ışını parçaya gönderilir, yüzeye yapılmış olan saydam olmayan tabakaya çarpar ve ilerleyemez. İlerlemeyen lazer ışını o ortamda bulunan suyu buharlaştırır. Ortamda oluşan su buharı tabakası lazer ışınını içine çekmekte ve plazma bulutu hızla büyümektedir. Oluşan plazma bulutu parça yüzeyi ile sınırlanması sayesinde yüksek basınç dalgaları oluşmaktadır. Oluşan bu yüksek basınç dalgaları malzeme içerisine şok dalgası

olarak yayılmaktadır. Şok dalgalarının oluşturduğu kuvvet sayesinde oluşan gerilme, malzemenin akma gerilmesini geçmesi ile malzemenin yüzeyinde bir şekil değişimi olmaktadır. Oluşan plastik deformasyonlar sayesinde malzeme yüzeyinde basma artık gerilmesi oluşmaktadır. Lazer şoku ile ezme işleminin şematik gösterim Şekil 2.34’de gösterilmektedir.

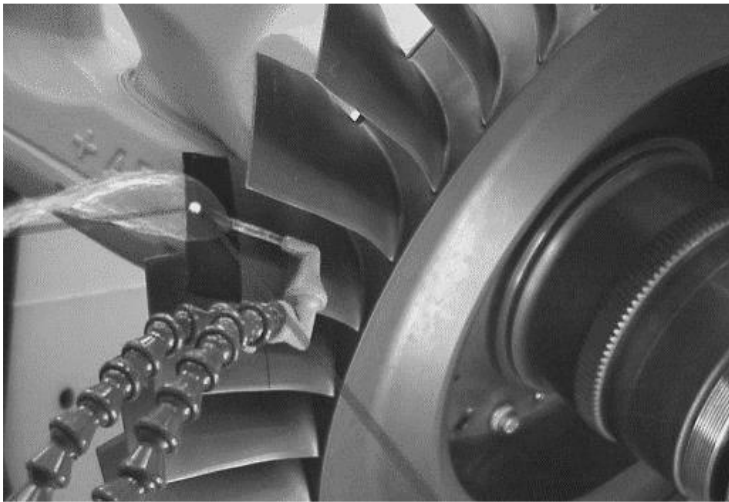


Şekil 2.34. Lazer şoku ile ezme şematik gösterimi

Yapılan çalışmalarda, uygulanan işlem sonrası iş parçasının performansının önemli ölçüde iyileştirildiği görülmüştür. Uygulanan iş parçasının yüzeyinde oluşan basma artık gerilmeler sayesinde yorulma dayanımı önemli ölçüde artmış, yorulmadan kaynaklı oluşabilecek hasarlardan iş parçası korunmuştur [11]. İş parçasında oluşan artık gerilmeler 7075 t6 alüminyum malzeme için Şekil 2.35’de verilmiştir. Bu yöntem alüminyum ve titanyum alaşımlarına, çeliklere, nikel bazlı çeliklere ve dökme demirlere uygulanabilmektedir [12]. Şekil 2.36’da ise uygulama örneklerinden türbin kanatçıklarına uygulaması gösterilmektedir. Uygulamada yatırım maliyetlerinin çok olması ve deneyimli personel ihtiyacı yöntemin dezavantajlarından en önemlileridir.



Şekil 2.35. 7075-T6 Alüminyum malzemenin lazer şoku ile ezme sonrası artık gerilmesi [11]



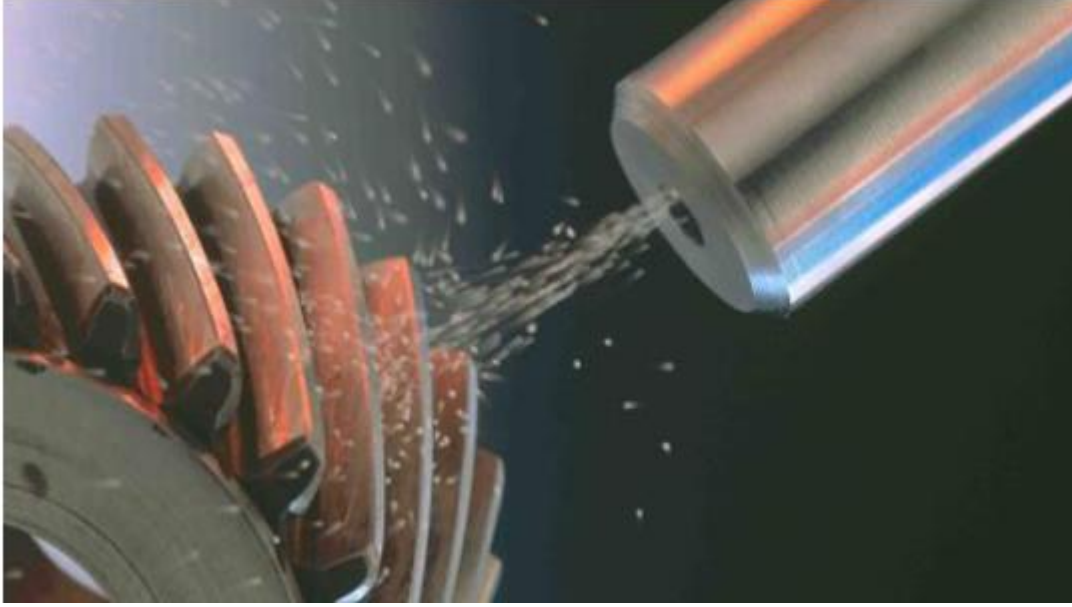
Şekil 2.36. Türbin kanatçığına lazer şoku ile ezme uygulaması [11]

2.4.3. Bilye püskürtme ile ezme

Bilye püskürtme ile ezme işlemi, küçük çaptaki demir veya demir dışı malzemeden yapılmış olan silindirik parçaların ezmesi istenilen parça üzerine bombardımanı ile malzeme yüzeyinde sınırlı plastik deformasyon oluşturma işlemidir. Bilye püskürtme ile ezme işleminin şematik gösterimi Şekil 2.37’de gösterilmiştir.

Bilye püskürtme ile ezme işlemi yaygın olarak soğuk uygulanan bir ezme yöntemi olup son yıllarda yarı sıcak uygulamaları üzerine çalışmalar devam etmektedir. Yüzeye yüksek hızlarda gönderilen bilye, parça yüzeyine yüksek hızda çarpması sonucunda parça yüzeyi

plastik deformasyona uğramakta ve yüzey tabasında bir pekleşme meydana gelmektedir. Böylelikle yüzey kalitesi artmaktadır. Bilyenin malzemesi genellikle dökme demir, çelik, cam, dökme demir ve seramik olabilmektedir.



Şekil 2.37. Biye püskürtme ile ezme işlemi

Uygulama genel olarak korozyon çatlak oluşumunda ve yorulma performansında iyileştirmeler sağlamaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda çalışan parçalara uygulanması halinde ısı etkisi ile malzemede bulunan artık gerilmeleri ortadan kalkmakta dolayısıyla uygulama özelliğini kaybetmektedir [13].

Bilye püskürtme ile ezme işlemi ekonomik bir yöntem olmasının yanında uygulama olarak basit bir işlemdir. Gerekli parametreler ayarlandığı takdirde işlem kolaylıkla birçok defa uygulanabilir. Yöntem ayrıca çok karmaşık bir yapıya sahip parçalara da uygula bilir olması yöntemin avantajlarındanır.

İstenilen özelliklerin elde edilmesi için belirlenmesi gereken parametreler vardır. Bunlar; bilye sertliği, bilye çapı, uç ile malzeme arası mesafe, örme oranı, püskürtme açısı gibi parametrelerdir. Bu parametrelerden en önemlisi örtme oranı ve şiddetidir. Örtme oranı parça yüzeyine gönderilen bilyelerin yüzeyi etkileme oranıdır. İstenilen bir yüzey için örtme oranı ve şiddeti ayarlanarak yüzeyde istenilen basma gerilmesi oluşturulabilir. Gerekli parametrelerin belirlenmesinde genel olarak deneme yanılma yöntemi kullanılmakta fakat bu yöntem malzemelerin hurdaya gitmesine neden olmakta, gereksiz maliyetler

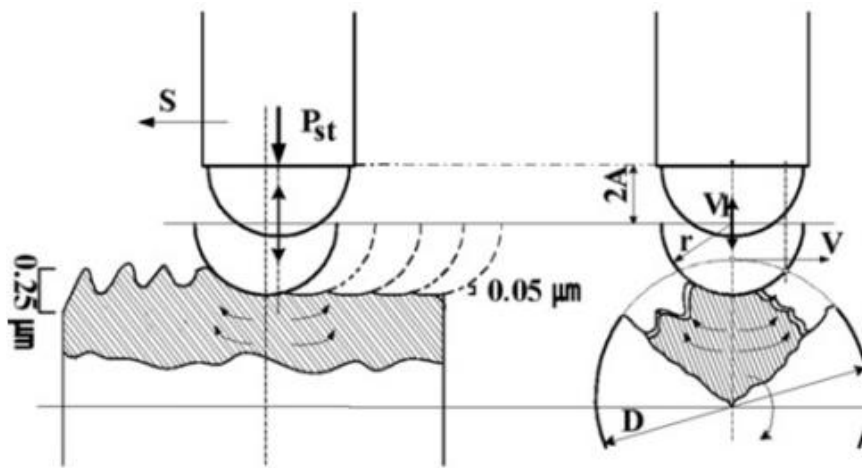
yaratabilmektedir. Bunun önlenmesi için parametre çalışmalarına sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilerek istenilen gerilmelerin elde edilip edilemeyeceği öngörülebilir.

Parametrelerin kontrolü zor olmakla beraber sanayide birçok alanda çokça kullanılmaktadır. Türbin kanatlarına, disklerine, millere, dişli çarklara ve endüstriyel yaylara uygulanabilmekte ve istenilen mekanik sonuçlar alınabilmektedir.

2.4.4. Ultrasonik nanokristal yüzey modifikasyonu (Ultrasonic nanocrystal surface modification)

Yeni mekanik yüzey işleme teknolojilerinden bir tanesi de Ultrasonik Nanokristal Yüzey Modifikasyonudur.(UNSM) Ultrasonik bir cihaza bağlı tungsten karbür toplu bir takım ile iş parçası yüzeyine saniyede 20.000 kere veya daha fazla vurması şeklinde uygulanan bir ezme yöntemidir.

İşlem genel olarak mikro soğuk ezme olarak nitelendirilebilirken yüzeydeki mikro plastik deformasyonlar yüzeyde bir dayanım artışına sebep olmakta aynı zamanda yüzeydeki basma gerilmeleri sayesinde yorulma dayanımı da arttırmaktadır. Endüstride çokça kullanılan paslanmaz çelik gibi çeliklere uygulanan bu yöntem yorulma dayanımında iyi bir sonuç vermektedir [14]. Şekil 2.38’de bu yöntemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.38. ultrasonik nano kristal yüzey modifikasyonu yönteminin şematik gösterimi [15]

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ezme ile ilgili yapılan çalışmalar ezme takımı teknolojisinin gelişmesiyle birlikte artışa geçmiştir. Ezme yöntemi ile ilgili yapılan literatür çalışmalarının bazıları aşağıdaki gibidir:

E. Rafati vd. yaptıkları çalışmada Taguchi yaklaşımı kullanarak ezme işlemi parametrelerinin yüzey kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Al-2014 malzemesi üzerine yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda dönüş hızının, takımın parçaya nüfus derinliğinin ve ilerleme oranının ezme işleminde en önemli faktörler olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca ezme takımının ilerleme oranının azaltılması ve dönüş hızının artırılması sonucunda yüzey kalitesinin iyileştiğini gözlemlemişlerdir [16].

F. Gharbi vd. çalışmalarında AISI 1010 çelik plakaya ezme işlemi uygulamışlar ve yüzey kalitesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucu olarak en uygun ezme parametrelerinin ezme hızının 235 rpm, 400 N ezme kuvveti ve 0,18 mm/devir ilerleme oranı ile elde edilebileceğini görmüşlerdir. Deney sonucunda ayrıca yüzey pürüzlülük değerinin $Ra=2.48\mu m$ den $Ra=1.75\mu m$ ye iyileştiğini, sertliğin ise 59 HRB den 65.5 HRB değerine yükseldiğini gözlemlemişlerdir [17].

Khalid. S. Rababa vd. çalışmalarında O1 alaşımlı çelikler üzerinde ezme işleminin mekanik davranışını ve yüzey kalitesine etkisini incelememişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmada farklı ezme kuvvetlerinde malzemeleri ezmiş ve sonuç olarak hem malzemenin yüzey kalitesinde %12,5 lik bir iyileştirme hem de mekanik özelliklerinde iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir [18].

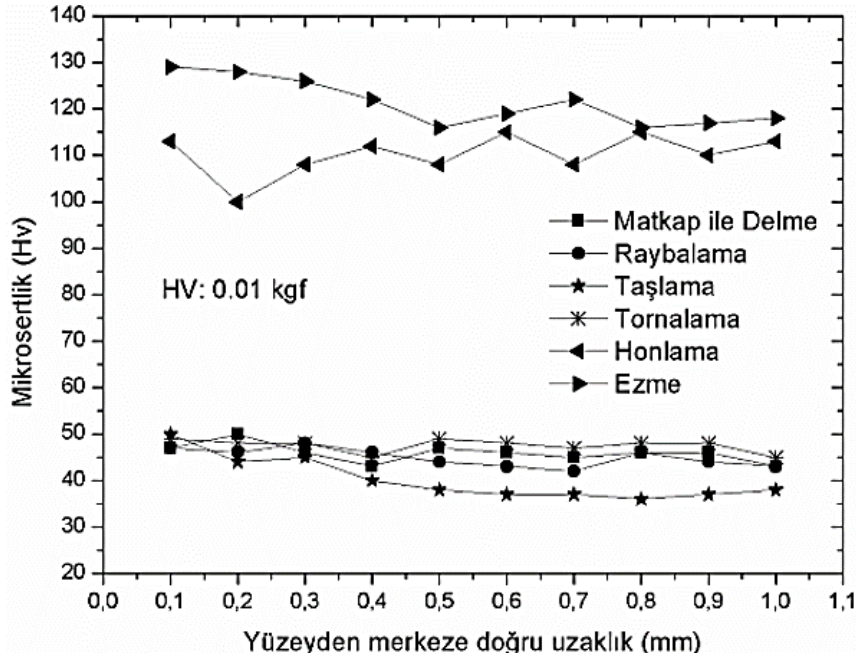
M. Sayahi vd. sonlu elemanlar metodu sonucunda buldukları sonuçlar ile yaptıkları deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonlu elemanlar metodu sonuçları için 2 boyutta ve 3 boyutta çözüm yapmışlar. Çalışmada elastik-plastik malzeme modelini kullanarak sonuçları elde etmişlerdir. 3 boyutlu modelin artık gerilmeyi tahmin etmesi ve parametler için daha doğru sonuçlar verdiğini sonucuna varmışlardır. Ayrıca ezme basıncının artmasının malzemedeki kalıntı gerilme miktarını arttırdığını analiz sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırarak gözlemlemişlerdir [19].

P. Balland vd. ise yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanmış ve elde ettikleri sonuçları yine yaptıkları deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen deneysel pürüzlülük ve artık gerilme değerlerinin simülasyon sonucuna yakın olduklarını görmüşlerdir [20].

A.Akkurt çalışmasında AISI 304 paslanmaz çeliğin delik yüzeylerine ezme işlemi uygulamış ve diğer yüzey bitirme işlemleri ile ezme işlemini karşılaştırmıştır. Sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında deliklerdeki en dairesellik ve en yüksek mikro sertlik ezme ile elde edilmiştir. Yüzey kalitesine bakıldığında honlama ile yakın sonuçlar alınsa da ezme ile elde edilen yüzeyde daha düzgün bir yapı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca ezme işlemi yapılmış yüzeyin aşınma direncinin arttığını, ezme işleminden dolayı yüzeydeki çentik etkisinin ortadan kalktığını ve mühendislik ömrünün arttığını gözlemlemişlerdir [21].

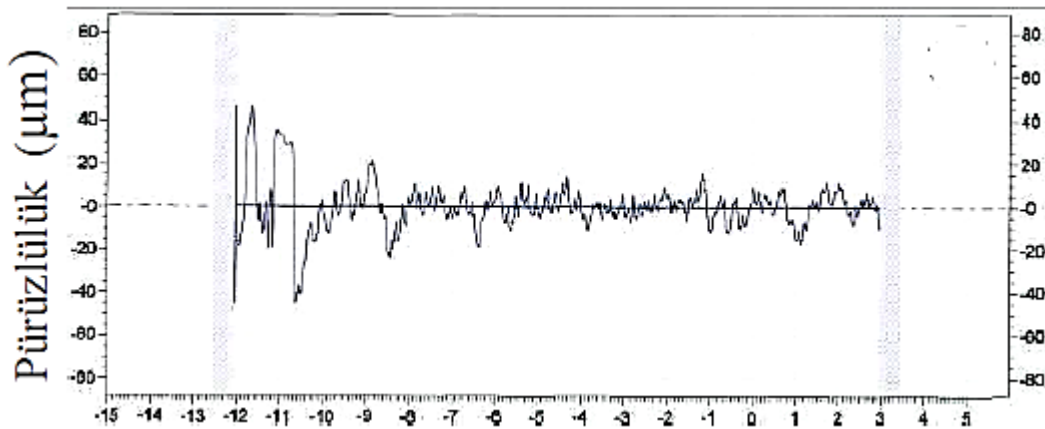
A. Akkurt vd. yaptıkları çalışmada bakır malzemeler üzerinde delik yüzeyleri için ezme işlemi uygulamıştır. Çalışmalarının sonucunda diğer yüzey işleme yöntemlerine göre ezme işleminin yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü bakımından çok iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü bakımından ikinci en iyi honlama olduğunu görmüşlerdir. Fakat daha doğru ve düzgün yüzeyler ezme sonucunda oluşan yüzeyler olduğunu bulmuşlardır [22]

A.Akkurt yaptığı çalışmada Al 6061 malzeme üzerine yaptığı çalışmada diğer işleme yöntemleri ile ezme yönteminin kıyaslamasını yapmıştır. Alüminyum malzeme üzerine açılan ön delik sonrası ezme işlemi uygulanmış ve Ø20 mm olacak şekilde ezme işlemi uygulanmıştır. Ezme işlemi için 1,5 m/s ezme hızı kullanmış ve 0,5 mm ezme derinliğinde iç delik elde etmiştir. Yapılan çalışmada uygulanan ön delik için matkap ile delme, torna ile işleme, raybalama, taşlama, honlama ve ezme ile ön delikler hazırlanmıştır. Yapılan çalışma sonrasında delik yüzeyinden içe doğru sertlik ölçümü yapılmıştır. Şekil 3.1’de yüzeyden merkeze doğru sertlik değerleri gösterilmiştir [23].

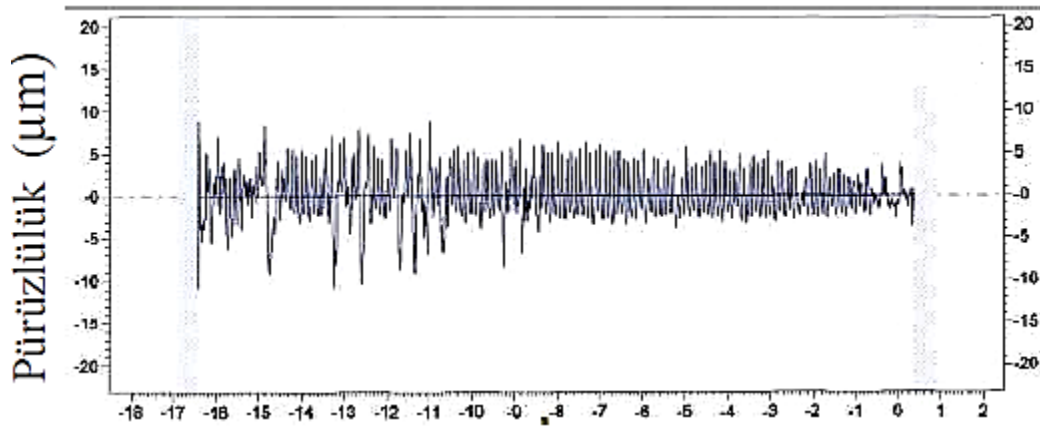


Şekil 3.1. Yapılan ön işlemlere göre sertlik değerleri [23]

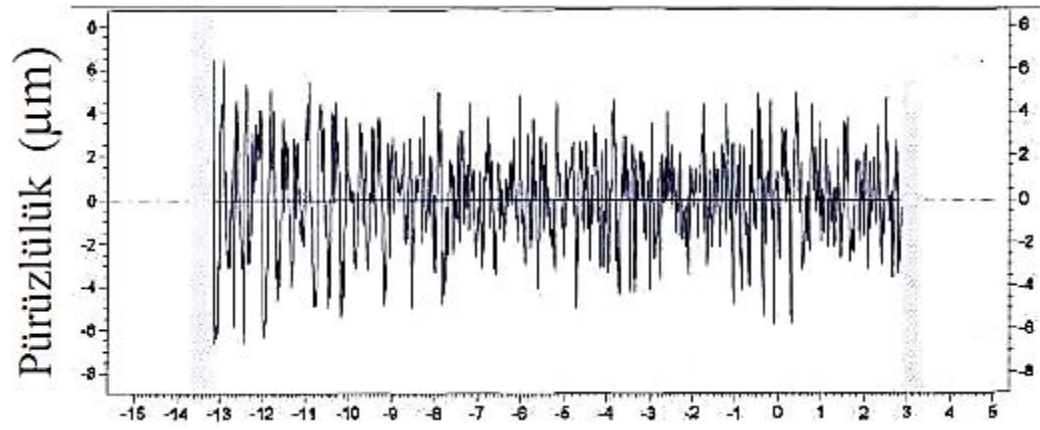
Şekilden de anlaşılacağı gibi en yüksek yüzey sertliği ezmede elde edilmiştir. Yapılan çalışmaları sonucunda diğer yüzey işlemlerine göre en iyi yüzey kalitesinin ve en düşük yüzey pürüzlülüğünün ezme ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün en kötü olduğu işlemin matkap ile delmede en iyinin ise ezme de elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca matkap ile delme işleminde düzensiz kesme kuvvetleri sebebiyle yoğun plastik deformasyonlardan dolayı yüzey kalitesinin en kötü olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 3.2-3-4-5-6-7’de gösterilmiştir [23]



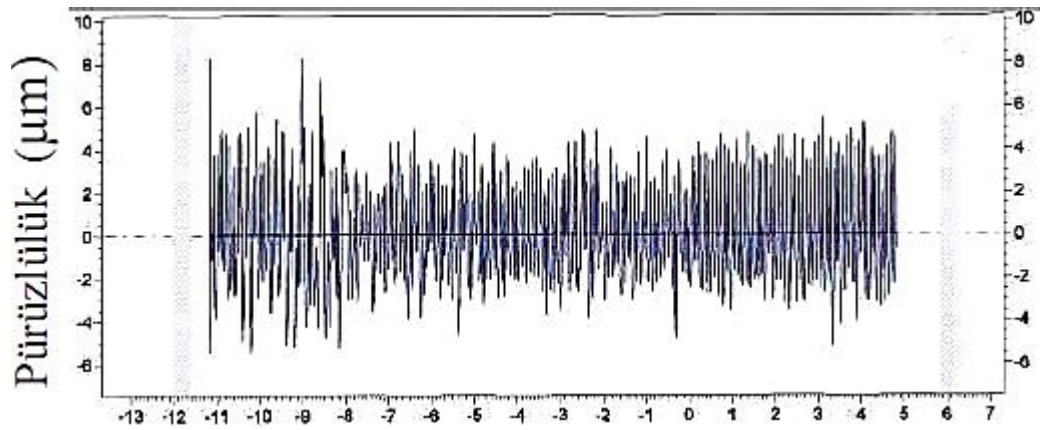
Şekil 3.2. Matkap ile elde edilmiş yüzey pürüzlülüğü [23]



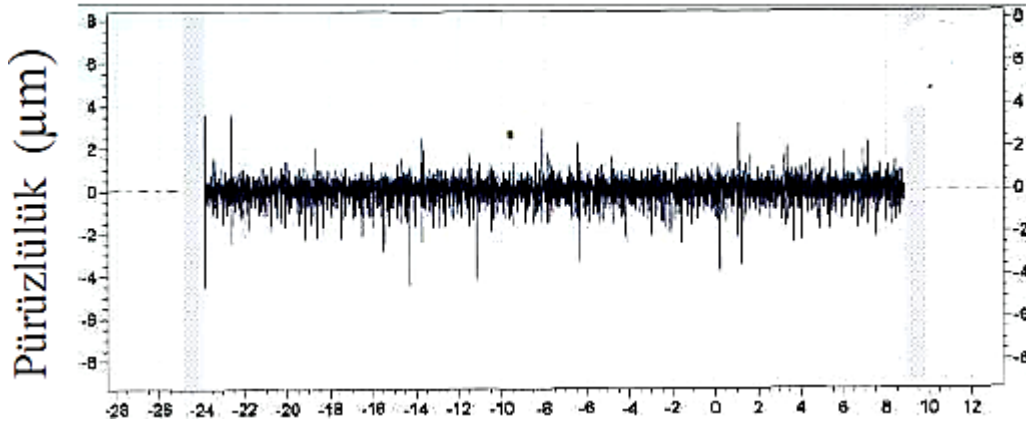
Şekil 3.3. Tornalama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü [23]



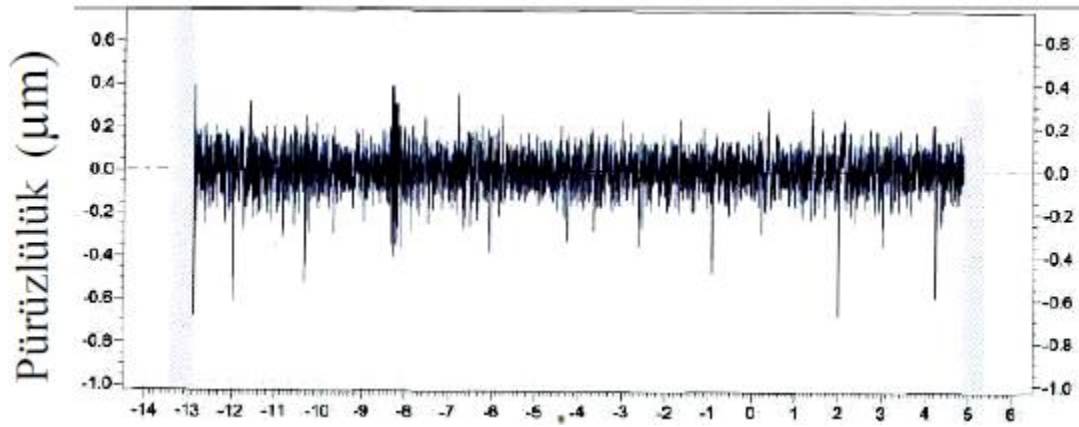
Şekil 3.4. Raybalama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü [23]



Şekil 3.5. Taşlama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü [23]

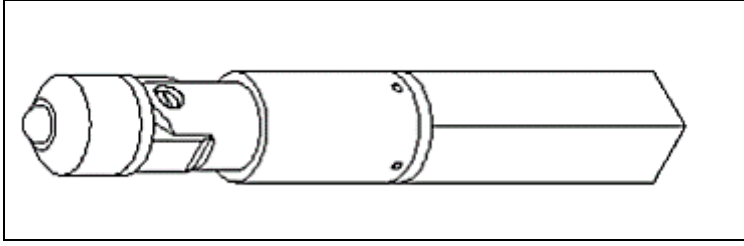


Şekil 3.6. Honlama ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü [23]

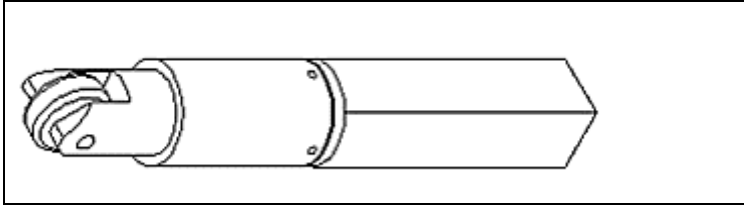


Şekil 3.7. Ezme ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü [23]

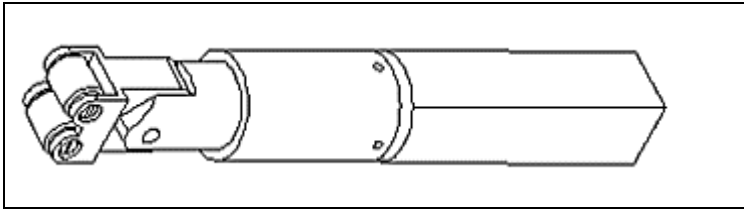
H. Başak vd. yaptıkları çalışmada Al-6061-T6 malzeme üzerinde farklı tip ezme takımı ve parametreleri kullanarak (ezme kuvveti, ilerleme ve paso sayısı) ezme işlemi yapmışlar ve yüzey pürüzlülüğü, sertliği bakımında sonuçları incelemişlerdir. Deney malzemesinin işlemlerden önce yüzey pürüzlülük değeri $R_a 3,2$ olarak ölçülmüş ve 139,2 Brinell sertliğine sahip olduğu bilinmektedir. Deney parametrelerimden ezme kuvveti sırasıyla 30,50,65,80 Newton, ilerleme hızı 0,12-0,24-0,36 mm/ devir, paso sayısı 1-2-3 olacak şekilde 3 farklı ezme takımı ile işlemi gerçekleştirmiştir. Ezme takımları Şekil 3.8-9-10'da gösterilmiştir [24].



Şekil 3.8. Bilyeli ezme takımı [24]

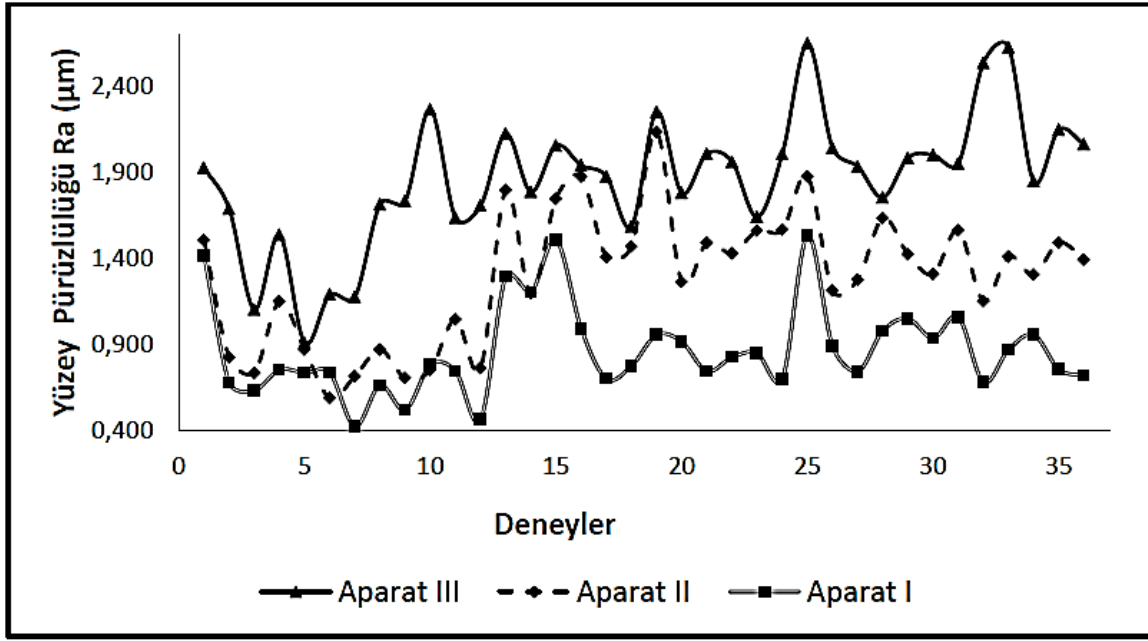


Şekil 3.9. Tek makaralı ezme takımı [24]



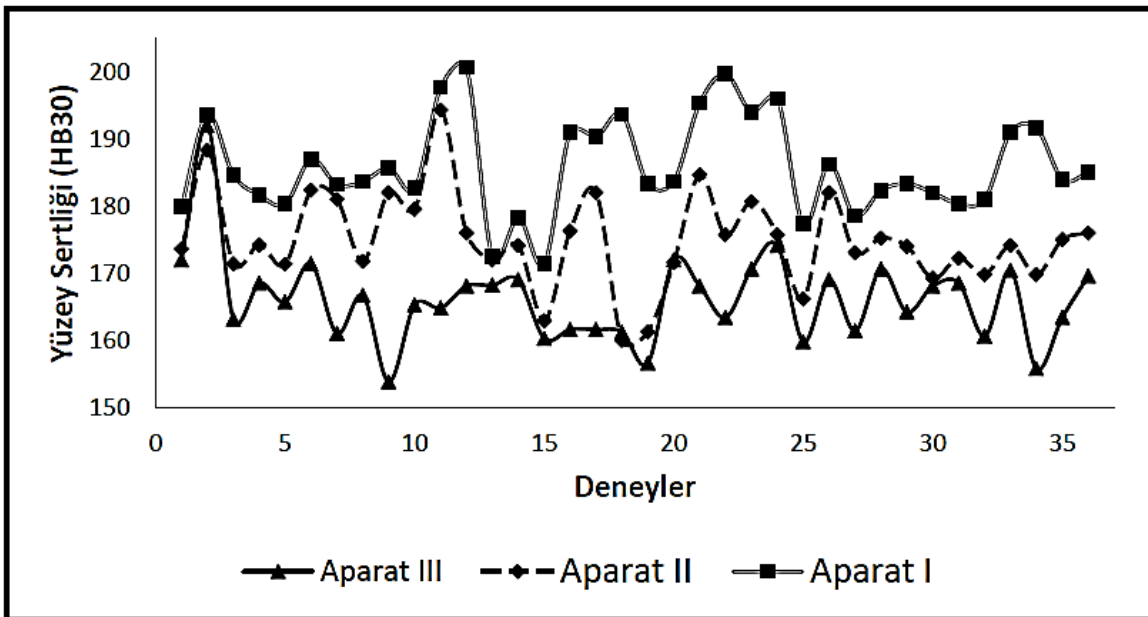
Şekil 3.10. Çift makaralı ezme takımı [24]

Ayna dönüş hızı 500 devir/ dakika sabit kalacak şekilde ezme işlemi gerçekleştirmişler. Elde edilen yüzey pürüzlülükleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Elde edilen yüzey pürüzlülükleri

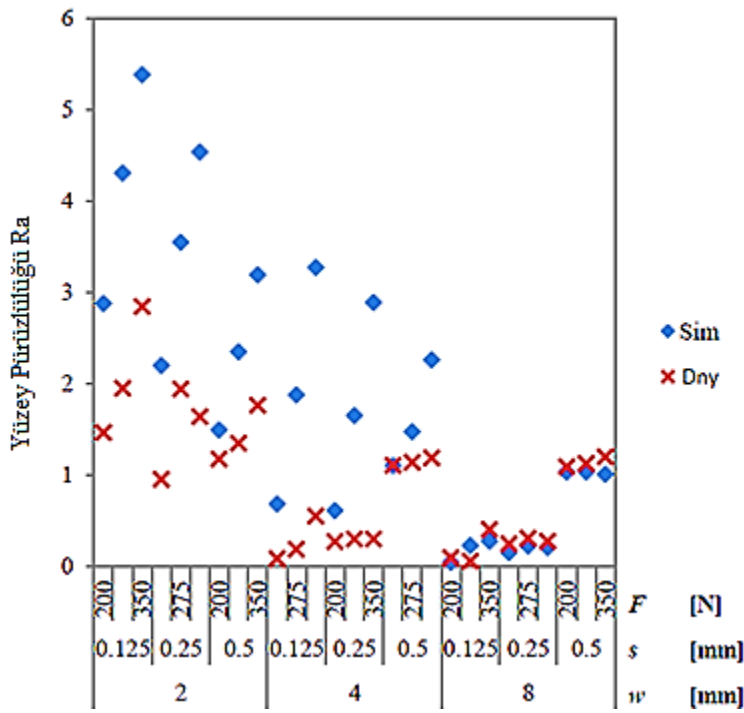
Yapılan deneyler sonrasında en iyi iyileştirme yüzey pürüzlülüğünün $0,423 \mu\text{m}$ ile bilyeli ezme takımında elde edildiği gözlemlenmiştir. En az yüzey iyileştirmesi ise $2,643 \mu\text{m}$ ile çift makaralı ezme takımında elde edildiği görülmüştür. Yüzey sertliği bakımından sonuçlar ise Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Elde edilen yüzey sertlikleri

Yüzey sertlikleri açısından bakıldığında bilyeli ezme takımı ile 139,2 Brinell sertliğe sahip malzeme 200,67 Brinell sertliğine çıkarak %45'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Düşük ilerleme hızı, yüksek ezme kuvveti ve yüksek paso sayısı yüzey sertliği ve pürüzlülüğü bakımından en iyi sonucu verdiği sonucuna varmışlardır [24].

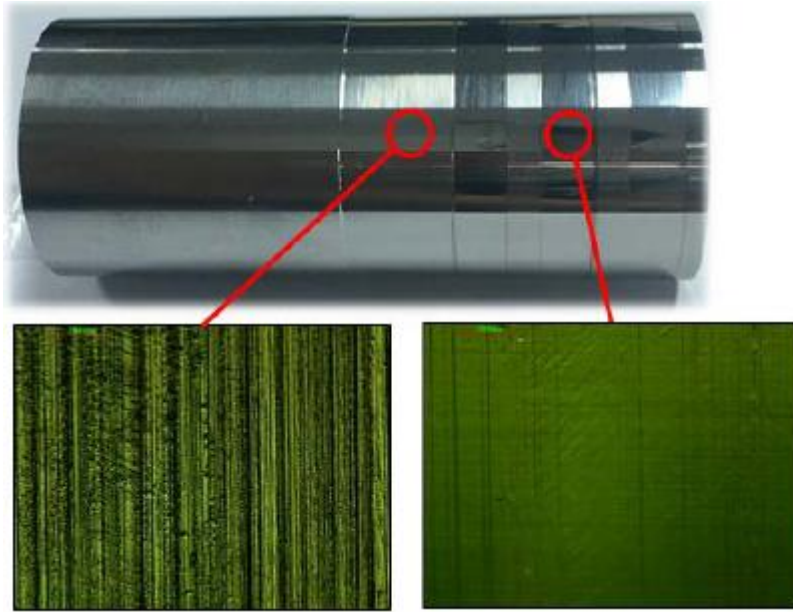
Stöckmann ve arkadaşları yaptıkları çalışmada EN AW-2007 alüminyum malzeme üzerine deneysel ve bilgisayar destekli yapısal analizler yapmışlardır. Çalışmada yapılan simülasyon 3 boyutlu olarak değil sadece 2 boyutta yapılmış böylelikle zamandan tasarruf etmişlerdir. Deneysel çalışmada ezme kuvveti, ezilen toplam genişlik ve bir seferdeki ezme genişliği parametreleri kullanmışlardır. Kullandıkları simülasyon programı ile deney parçasındaki çentik ve tepe noktalarını hesaplamışlar ve yüzey pürüzlülük değerini bulmuşlardır. Yüzey pürüzlülük değerini kullandıkları parametrelere göre deneysel ve analiz sonuçlarını Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Yüzey pürüzlülük değerinin deneysel ve simülasyon sonuçlarına göre gösterimi [25]

Bu sonuçlara göre toplam ezme genişliği w 8 mm olan deney setleri için deneysel ve simülasyon sonuçları en yakın sonucu almıştır. Ezme kuvvetinin yüzey pürüzlülüğüne kayda değer bir etki etmediğini değerlendirmişlerdir [25].

Shiou ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ezme parametrelerini yeni tasarlamış oldukları ve içine yük hücresi koyduğu bir takım sayesinde yapmışlardır. Bu sayede pahalı bir dinamometre kullanmaksızın çalışmalarını tamamlamışlardır. Yaptıkları çalışmada deneysel çalışmalar için Taguchi metodunu kullanmışlar ve L18 matris tipini kullanmışlardır. Çalışmada ezme takım malzemesi olarak tungsten karbür ve Silisyum karbür kullanmışlar. Ezme kuvveti olarak 250,450 ve 650 N, ilerleme miktarı olarak 0.02,0.05 ve 0.08 mm/devir kullanmışlar. Ayrıca yapılan paso miktarları ise 1,2 ve 3, dönüş hızını ise 25,50 ve 75 m/dk olarak belirlemişlerdir. Deney numunesi olarak piyada AISI 420 paslanmaz çeliğini kullanmışlardır. Şekil 3.14’de deney sonrasında malzeme üzerindeki işlem yapılmış ve yapılmamış bölgeleri üzerinden mikroskop görüntüleri verilmiştir. Çalışmalar sonucunda AISI420 paslanmaz çelik için en iyi sonucun tungsten karbür ile 650 N kuvvet, 0.05 mm/devir, 25 mm/dk hız ve 3 paso sayısında ulaştığı sonucunu varmışlardır [26].

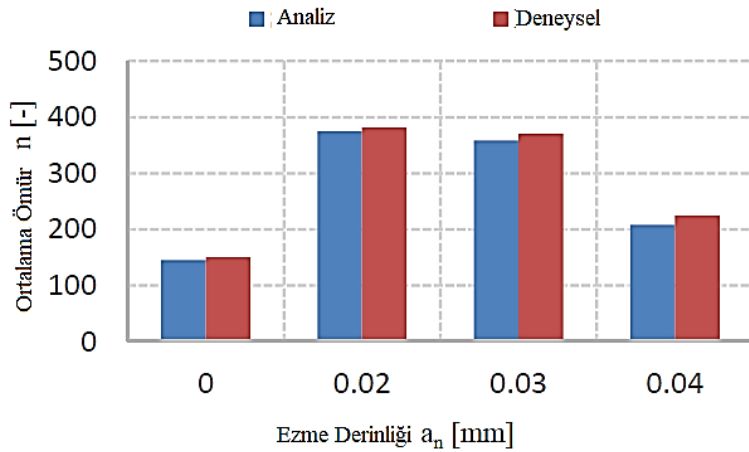


Şekil 3.14. Deney sonrası yüzey pürüzlülüklerini görüntüsü [26]

Kaldunski ve arkadaşları çalışmalarında millerdeki yorulma direncini ezme yöntemi kullanarak deneysel ve nümerik olarak araştırmışlardır. Araştırmalarında sonlu elemanlar metodu kullanmışlar ve nümerik sonuçları yorumlamışlardır. Yaptıkları deneylerde ezme miktarları 0,02-0,03-0,04 mm olacak şekilde parametreleri belirlemişlerdir. Elde ettikleri ezme miktarı sonucu ortaya çıkan gerilmeleri yorulma analizi yaparak sonuçlandırmışlardır. Deneyler sonucunda ise yüzey pürüzlülük değerlerini kıyaslamışlardır. Tornalama işlemi sonrasında yüzey pürüzlülüğünü $Ra=0,909 \mu m$ bulurken 0,02 mm ezme işlemi yapıldıktan

sonra $R_a=0,101 \mu\text{m}$ bulmuşlardır. 0,03 mm ezme işlemi yapıldıktan sonra $R_a=0,043 \mu\text{m}$ sonucunu bulmuşlar ve son olarak 0,04mm ezme miktarı ile 0,317 μm deneysel sonuçlarını elde etmişlerdir [27].

Deneysel ve analiz sonuçları incelendiğinde ezme işleminin yorulma direncini önemli oranda etkilediği, çok fazla ezme işlemi yapılması durumunda yüzey pürüzlülüğü ve yorulma direnci etkisine olumsuz yönde etkileyeceği sonucuna varmışlardır.(0,04 mm ezme miktarı olan deney sonucu bu olumsuzluğu göstermiştir.) Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da sonuçlara göre ortalama ömür sonucunu göstermişlerdir [27].



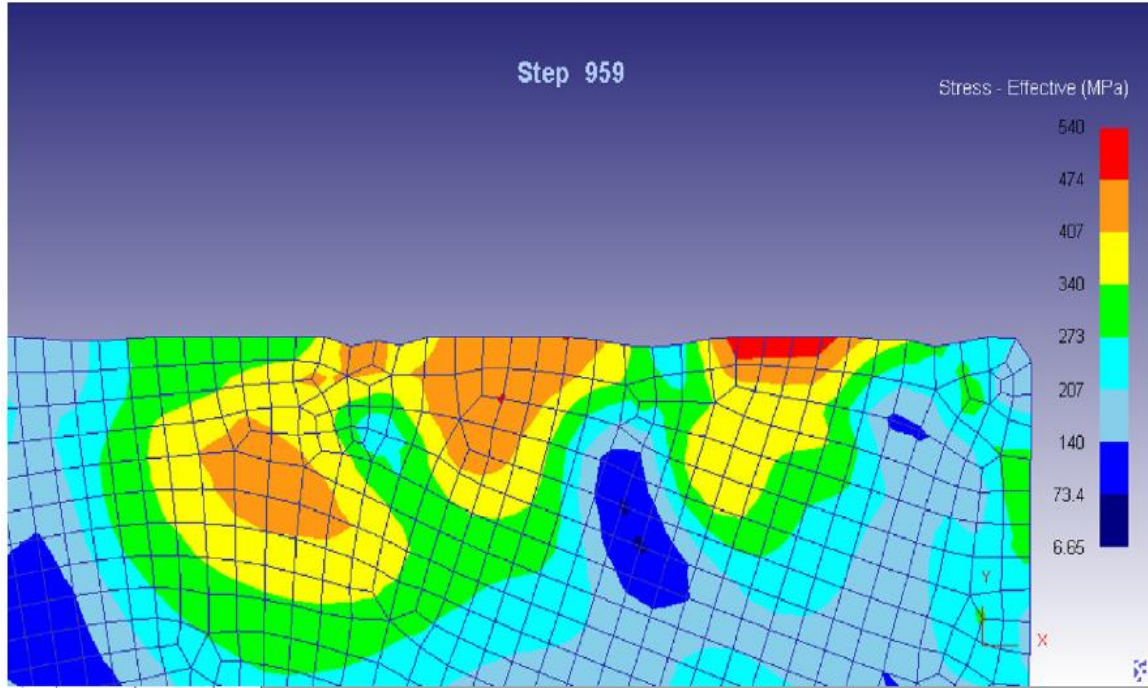
Şekil 3.15. Yorulma sonuçlarına göre ortalama ömür [27]

Ezme Derinliği a_n [mm]	Ortalama Ömür	
	Simulation	Experiment
0	145	151
0.02	375	381
0.03	368	370
0.04	238	225

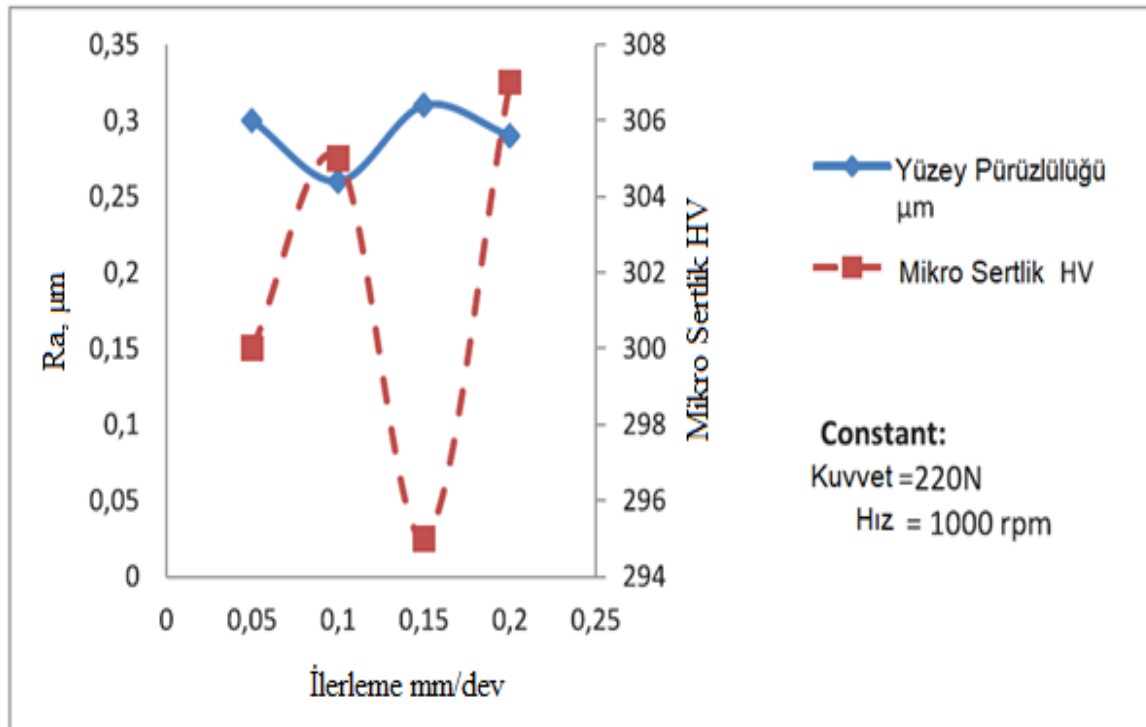
Şekil 3.16. Ezme derinliği-ortalama ömür sonuçları [27]

John ve arkadaşları yaptıkları çalışmada CNC torna tezgâhı kullanarak ezme işleminin sonlu elemanlar analizi ve deneysel çalışmasını yapmışlar. Ezme işlemini D3 takım çeliği kullanarak deneylerinde kullanmışlar. Deneylerindeki değişken parametreler ise hız, ezme kuvveti, ilerleme miktarı iken bu değişken parametrelerin sonucu ise yüzey pürüzlülüğü, mikro sertlik ve artık gerilme olmuştur. Sonlu elemanlar metodu çözümleyicisi olarak DeForm ticari programını kullanmış olup Şekil 3.17’de ezme işlemi sonunda artık

gerilmesinin sonucu gösterilmiştir. Şekil 3.18’de ise deneysel sonrası ilerleme miktarına göre yüzey pürüzlülüğü ve mikro sertlik sonuçları verilmiştir [28].

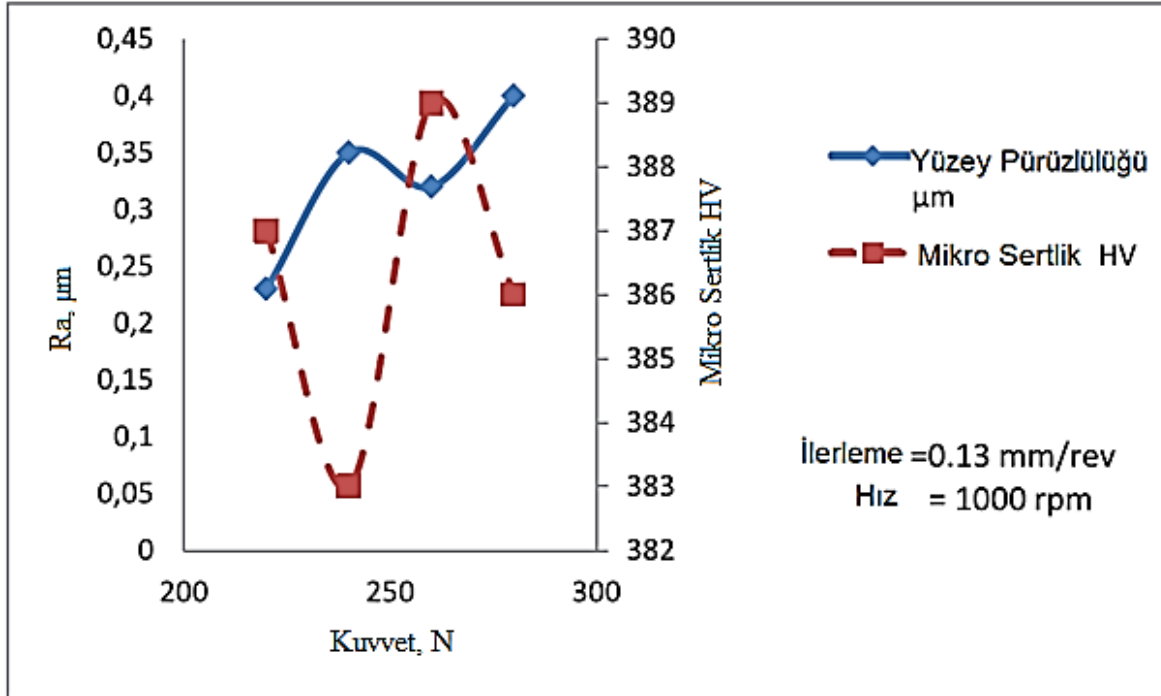


Şekil 3.17. Artık gerilmelerin programda gösterilmesi [28]

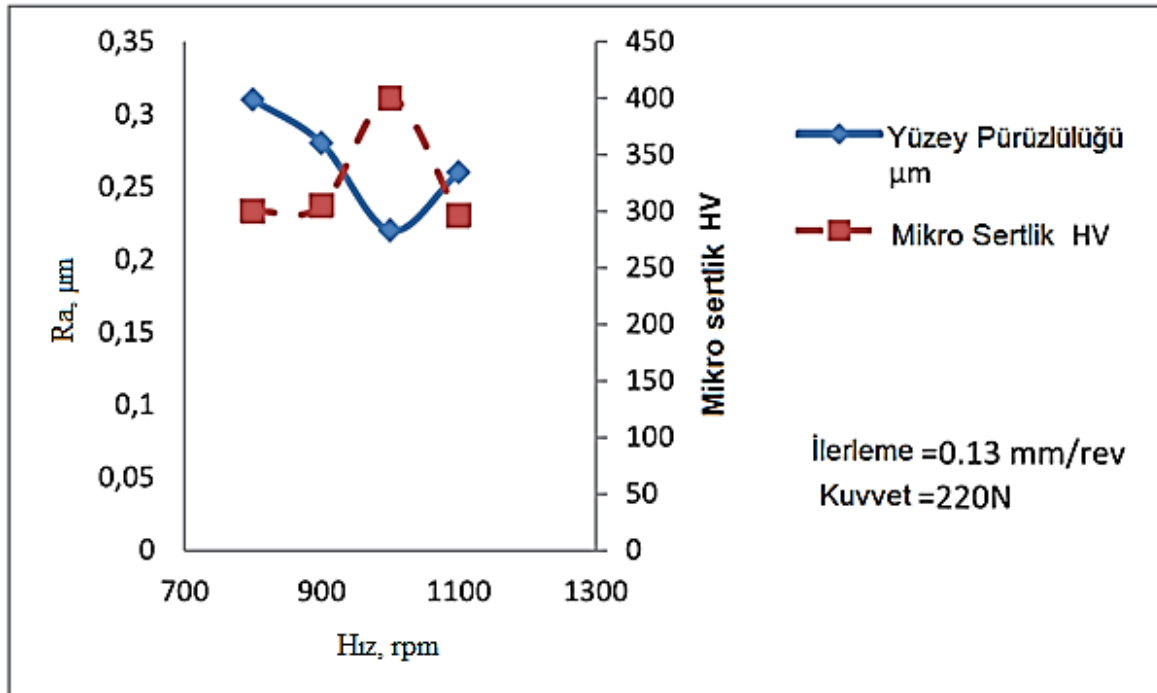


Şekil 3.18. Yüzey Pürüzlülüğü ve Mikro Sertlik sonuçları [28]

Şekil 3.19’da ise kuvvet değişkenine göre, Şekil 3.20’de ise hız değişkenine göre mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü sonucu gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Kuvvet değişkeni sonucunda mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü sonucu [28]



Şekil 3.20. Hız Değişkeni sonucunda mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü sonucu [28]

Sonuçlar değerlendirildiğinde minimum yüzey pürüzlülüğü 0.22 μm olduğu görülmüş, bu sonuç İlerleme = 0.13 mm/dev, Kuvvet = 220 N, Hız = 1000 dev/dk parametreleri kullanılarak eldi edildiği görülmüştür. Yüzey ezme işlemi ile % 86,2 iyileştirildiği sonucuna varılmıştır. Sonulu elemanlar analizi ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında artık gerilme değerlerindeki sapma %3,94 olduğu saptanmıştır [28].

Revankar ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada Ti6Al4V malzemesini bilyalı ezme yöntemi kullanarak ezmişlerdir. Yüzey sertliğinin ve yüzey pürüzlülüğünün paso sayısı, besleme hızı, takım hızı ve ezme kuvveti parametreleri kullanarak etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda minimum yüzey pürüzlülük değeri için takım dönme hızının ve besleme hızının en etkili parametre olduğunu gözlemlemişler. Ayrıca maksimum yüzey sertliği değeri için ise ezme kuvveti ve paso sayısının en etkili parametreler olduğunu görmüşler. Orta derecede takım dönüş hızı, üç paso ve düşük ezme kuvveti ve besleme hızında pürüzlülüğün düştüğünü tespit etmişler. Diğer taraftan ise orta derece takım dönüş ve besleme hızı, daha yüksek ezme kuvveti ve paso sayısı kullanarak da pürüzlülüğün düşürüldüğünü görmüşler [29].

Borkar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada havacılık sektöründe çokça kullanılan Inconel 718 malzemesine makaralı ezme işlemi uygulamışlar. Uygulama öncesi ve sonrası olmak üzere sonuçları kıyaslamışlar. Çalışma parametreleri ise ezme kuvveti, takım dönüş hızı, takım besleme hızı ve paso sayısı olarak belirlemişler. Takımın dönme hızının artması pürüzlülük değerini belli bir değere kadar düşürmüş sonrasında tekrar arttığını görmüşler. Aynı şekilde sertlik belli bir değere kadar artış gösterirken daha sonrasında düşüş göstermiş. Takım besleme hızının artması ile pürüzlülüğün arttığını belli bir değerden sonra düştüğünü, yüzey sertliğinin ise sürekli artış gösterdiğini gözlemlemişler. Paso sayısının artışı ile birlikte yüzey pürüzlülüğünün bir miktar arttığını daha sonrasında azaldığını tespit etmişler. Bu sırada yüzey sertliğinin önce azaldığını sonrasında arttığını görmüşler [30].

Patil ve arkadaşları EN 8 malzemesi üzerinde ezme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlar. Yüzey pürüzlülüğünün takım besleme hızı arttıkça pürüzlülüğün arttığını, paso sayısının artması ile pürüzlülüğün azaldığını ezme derinliği ve ezme kuvvetinin artması ile belli bir değere kadar arttığını daha sonra ise azaldığını gözlemlemişler. Takım dönme hızının artması ile belli bir değere daha azalırken daha sonrasında arttığını görmüşler [31].

Deshmukh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AL 6061 malzemesi üzerinde ezme işleminin yüzey sertliğine etkisini araştırmışlar. Paso sayısının artması yüzey sertliğini arttırdığını gözlemişler. Ayrıca takım dönüş hızının yüzey sertliğine etkisinin olduğunu tespit etmişler ve ezme kuvvetinin artması ile sertliğin arttığını görmüşlerdir. Ezme kuvvetinin yüzey sertliğine etkisinin en önemli parametre olduğunu ikinci parametrenin ise takım ilerleme hızının etkisi olduğunu görmüşlerdir [32].

Hasan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada pirin malzemeler üzerine bilyeli ezme işlemi uygulamışlar. Paso sayısı, takım dönme hızı ve ilerleme miktarı, ezme kuvveti parametrelerini kullanarak ezme işleminin yüzey sertliği ve aşınma miktarına etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda yüzey sertliğindeki artışa bağlı olarak aşınma direncinin arttığını gözlemlemişlerdir [33].

Saini ve arkadaşlarının yaptıkları deneysel çalışmada düşük karbonlu çeliklerin silindirik ezme yöneteme kullanarak yüzey sertliğini araştırmışlardır. Takım ilerleme haizinin artması ile birlikte yüzey sertliğinin arttığını, takım donuş hızının artması ise yüzey pürüzlülük değerinin azalmasına neden olduğunu görmüşlerdir [34].

Solanki ve arkadaşları havacılık sektöründe kullanılan al 6061 malzemesi üzerine silindirik ezme işlemi uygulamışlardır. Yaptıkları deneysel çalışma sonucunda ezme miktarının artması sonucunda yüzey pürüzlülüğünün azalmasına neden olduğunu, takım ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, paso sayısının artışının pürüzlülüğü belli bir noktaya kadar arttırdığı sonrasında azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünde en etkili parametrenin takım donuş hızı olduğunu belirtmişlerdir. Daha sonrasında bunu paso sayısı, ezme derinliği ve takım ilerleme miktarı olduğunu gözlemlemişlerdir [35].

Omar ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmada Ti6Al4V malzemesine üzerinde silindirik ezme işlemi yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda ezme derinli artması sonucunda yüzey sertliğinin arttığını görmüşlerdir. Ayrıca ezme kuvveti, ilerleme miktarı ve takım dönüş hızının artması sonucunda yüzey sertliğini arttırdığını gözlemlemişlerdir. İşlenen malzemenin işlem sonrasında yüzeyinin parlak bir yapıya ulaştığını tespit etmişlerdir [36].

Mahajan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bilyeli ezme işlemi uygulanan çalışmalarını derlemiştir. Buna göre çelik ve alüminyum malzemeler ezme işleminde en çok tercih edilen malzemeler olmuşlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği çalışmalarda en çok incelenen sonuçlar olduğunu görmüşlerdir. En çok kullandıkları yağlayıcı olarak Sae, dizel ve kerosen olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca takım dönüş hızı, ilerleme miktarı ve ezme kuvveti en çok kullanılan parametreler olduğunu tespit etmişler [37].

J. ve R. yaptıkları çalışmada HCHCr çelik malzeme üzerinde ezme işlemi yapmışlardır. Ezme sonrası yüzey pürüzlülük ve yüzey sertliğini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda ezme sertliği arttıkça yüzey sertliği artmakta, yüzey pürüzlülüğü azalmakta olduğunu gözlemlemişler. Takımın dönüş hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü artmakta, yüzey sertliği ise azalmakta olduğunu tespit etmişlerdir. Paso sayısının artması ise yüzey sertliğini arttırmakta yüzey pürüzlülüğünü azalttığını görmüşlerdir. Takım ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülüğünü ve sertliğini arttırdığını gözlemlemişler [38].

Kamble ve arkadaşları EN 8 malzemesi üzerinde silindirik ezme işlemi uygulamış sonuçları yüzey sertliği ve pürüzlülüğü açısından değerlendirmiştir. Takım ilerleme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü düşürmüş, en yüksek yüzey sertliği düşük ilerleme hızlarında olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüzey sertliği ve pürüzlülüğünün optimum değerleri için paso sayısının 1 olduğunu söylemişlerdir. Paso sayısının artması sonuçları kötü şekilde etkilediğini görmüşler. Takım dönüş hızı belli bir değere kadar arttığında pürüzlülük düşmekte sonrasında arttığını görmüşlerdir. Yüzey sertliği açısından takım dönüş hızının etkisi belli bir noktaya kadar düşürmekte sonrasında ise arttığını gözlemlemişlerdir [39].

Toledo Üniversitesi (ABD), Ecoroll firması ve Lambda Araştırma Merkezi ezme ile ilgili önemli çalışmalarda bulunmuşlardır. Toledo Üniversitesi'nde yapılan çalışmada, ezme işleminin yorulma dayanımı ve yüzey kalitesindeki değişimi incelenmiş olup yorulma dayanımında %31'lik bir iyileşme, yüzey kalitesinde ise 0.4 μm 'lik pürüzlülük değeri elde edildiği gözlemlenmiştir [40].

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Ezme Deneyinde Kullanılan Malzemeler

Yapılacak olan ezme deneyinde amaç farklı tip çelik türlerinde ezme ile elde edilen deliklerde ezme payını ve ezme parametrelerinin delik kalitesi ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisinin araştırması olmuştur. Bu kapsamda sanayide çokça kullanılan 3 tip çelik malzeme seçilmiştir. Bunlar:

- AISI 1020
- AISI 1050
- AISI 1060'dır.

Bu malzemelerin ağırlıkça % kimyasal özellikleri Çizelge 4.1-2-3'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. AISI 1020 çeliğinin ağırlıkça % kimyasal bileşimi [41]

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Mo
Min.	0,17	0,4	-	-	-	-	-	-
Maks.	0,24	0,7	0,4	0,045	0,045	0	0,1	0,4

Çizelge 4.2. AISI 1050 çeliğinin ağırlıkça % kimyasal bileşimi [41]

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni
Min.	0,45	0,6	-	-	-	-	-	-
Maks.	0,55	0,9	0,4	0,035	0,035	-	-	-

Çizelge 4.3. AISI 1060 Çeliğinin Ağırlıkça % Kimyasal Bileşimi [41]

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Mo
Min.	0,57	0,6	-	-	-	-	-	-
Maks.	0,65	0,9	0,4	0,045	0,045	0	0,1	0,4

Bu malzemelere ait mekanik özellikler ise Çizelge 4.4’de verilmiştir.

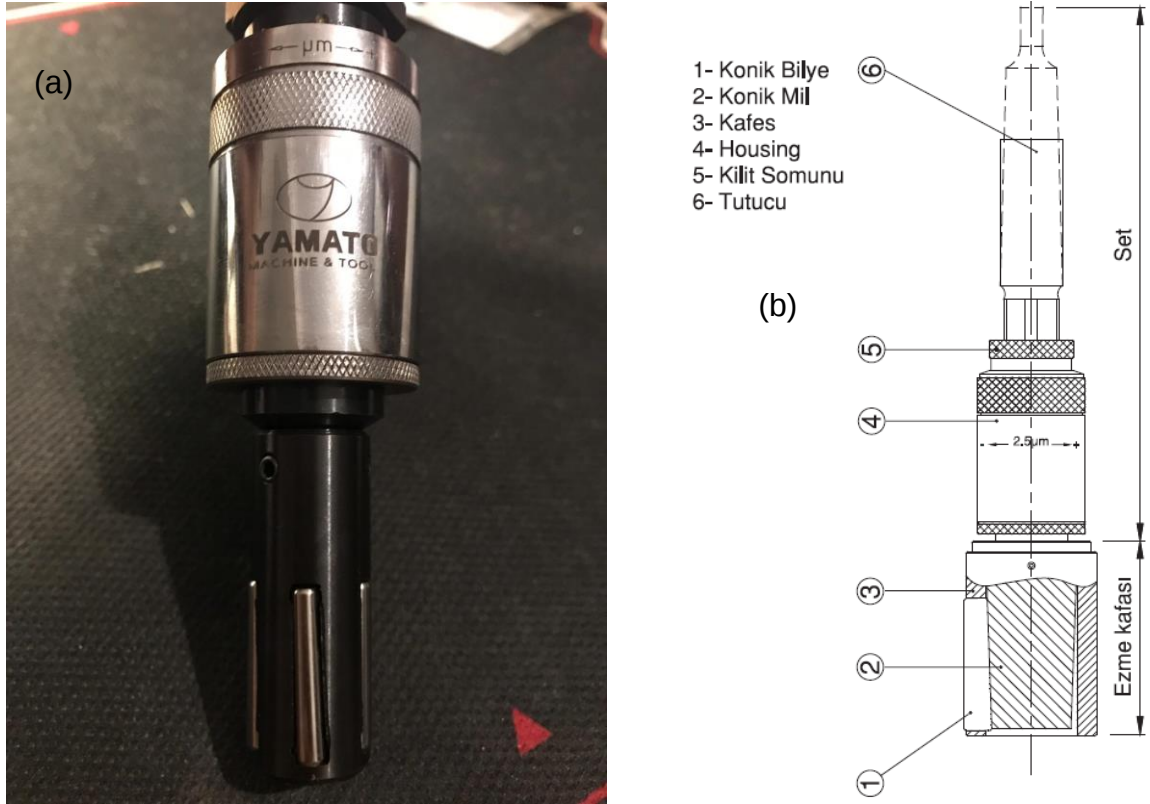
Çizelge 4.4. Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme Adı	Elastiklik Modülü	Poisson oranı	Yoğunluk	Akma dayanımı	Çekme dayanımı
AISI 1020	190-210 GPa	0,3	7,87 gr / cm ³	295 MPa	395 MPa
AISI 1050	190-210 GPa	0,3	7,85 gr / cm ³	580 MPa	690 MPa
AISI 1060	190-210 GPa	0,3	7,87 gr / cm ³	485 MPa	620 MPa

4.2. Ezme Deneyinde Kullanılan Ezme Takımı

Yapılan deneyde kullanılan ezme takımı ile ilgili ezme takımının ezici ucunun şekli Şekil 4.1’de verilmiştir.

Şekildeki ezme takımı çap ölçülerini kontrollü olarak değiştirme imkânı veren mikrometreye sahiptir. Ezme takımı çapı kademeli olarak büyütülüp küçültülebilir. Bu değişim “4” numara olan housing de görülebilir. Böylelikle istenilen çaplar istenilen ayarlanabilir ve ezilebilir.



Şekil 4.1. a) Ezici takım görseli b) Şematik resmi [10]

4.3. Numunelerin Ön İşlem İle Hazırlanması

Ezme deneyinin yapılmasından önce bazı ön işlemler yapılması gerekmektedir. Başarılı bir ezme işleminin ilk şartı iyi bir ön işlemdir. Ezilecek olan yüzeyin mikro profili büyük öneme sahiptir. Profilin mümkün oldukça üniform olması ve yüzeydeki pürüzlerin eşit dağılımlı olması ezme işleminin başarısını arttıracaktır. Pürüzlerin derinlikleri ve dağılımı ezilebilecek payı belirleyen en önemli etkidir. Deneyi yapılan malzemeler TAKSAN TTC-630 Cnc torna tezgâhında işlenmiş olup tezgâhın teknik özellikleri Çizelge 4.5’de, tezgâhın şekli ise Şekil 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5. CNC Taksan TTC-630 Torna Tezgâhının teknik özellikleri

Kapasite				
Maks. İş parçası Çevirme Çapı	Aynada İşlenebilecek maks. İş parçası Ağırlığı	Maks. İş parçası Tornalama Boyu	X Ekseni Hareket - Hız değerleri	Z Ekseni Hareket - Hız değerleri
500 mm	150 kg	630 mm	197- 30 mm - m/dk	630 - 30 mm - m/dk

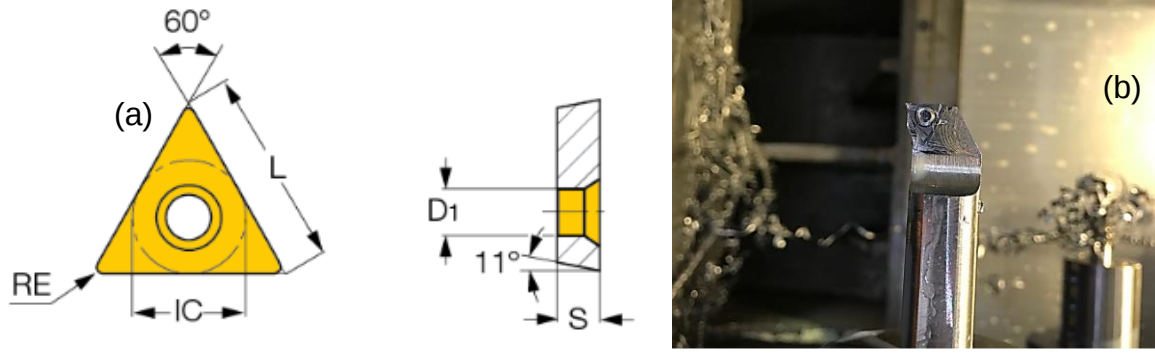


Şekil 4.2. Ön işlemin yapıldığı CNC torna tezgâhı

Ön işlemin hazırlanabilmesi için Cnc torna tezgâhında kesici uç olarak Şekil 4.3’de görülen uç kullanılmıştır. “ISKAR” marka kesici uç ile ilgili bilgiler Çizelge 4.6’da verilmiştir. Daha önceden ayarlanan iç çap tornalama takımı ile delik içi rahatlıkla işlenebilmiştir [42].

Çizelge 4.6. Kesici uç özellikleri [42]

L mm	IC mm	S mm	RE mm	D1 mm
9,52	5,56	2,38	0.20	3.00



Şekil 4.3. Kesici takım şekli a) şematik şekli b) görseli [42]

Çubuk halinde gelen deney numuneleri $\varnothing 35 \times 1000$ mm olarak Cnc torna tezgâhına bağlanmıştır. Dış çapı 30mm gelecek şekilde dış çap tornalama işlemi yapılmıştır. Daha sonra ise iç deliğin açılması için $\varnothing 10$ mm matkap takımıyla delik delme işlemi yapılmıştır. Sonra ki işlem ise deney numuneleri son çapa getirmek için yukarıda gösterilen torna kesici takımı ile 1500 dev/dk dönüş hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme miktarı ile $\varnothing 17,70$ mm olacak şekilde son tornalama işlemleri yapılmıştır. Şekil 4.4’de işlem sonrası görüntüsü ve Şekil 4.5’de ise işlem sonrası iç delik mikrometresi ile ölçüm kontrolü yapılmıştır.



Şekil 4.4. İşlem sonrası CNC torna tezgâhı görüntüsü



Şekil 4.5. İşlem sonrası iç çap mikrometresi ile ölçüm

Kuvvet ölçümü yapılacak olan deney numuneleri özel olarak imal edilmiş matkap takımları ile delme işlemi gerçekleştirilmiş olup takımların çapları sırasıyla $\text{Ø}17,95$ / $17,90$ / $17,85$ mm olacak şekilde “Karcan Kesici Takım” firmasında özel olarak imal edilmiştir. Şekil 4.6’da kesici matkapların görüntüleri verilmiştir. Takımlar ile ilgili teknik bilgiler aşağıda verilmiştir. Delme işlemi ise dinamometre bağlı olan Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilen CNC dik işleme tezgâhında yapılmıştır. Boyu 30 mm olan deney numuneleri Cnc dik işleme tezgâhına bağlanmış daha sonra istenilen çaptaki karbür takım ile delinmiştir. Delik delme işleminde 2500 dev/dk dönüş hızı ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarı ile parça başarılı bir şekilde delinmiştir. Daha sonra eksen kayması olmaması amacıyla parça bağlandığı yerden çıkarılmadan ezme takımıyla ezilmiş, ezme esnasındaki kuvvet ölçümleri yapılmıştır. Ezme işlemi sırasında takımın devri 500 dev/dk olup ilerleme miktarı ise 0.2 mm/dev olacak şekilde son çap 18 mm olacak şekilde ezme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6. Kesici matkap takımları [43]

Matkap takımları ile ilgili teknik bilgiler:

- Özkütle: 14,38 g/cm³
- Sertlik: 1600 HV30 – 91,9 HRA
- Enine Kopma: 4000 MPa – 580.100 psi

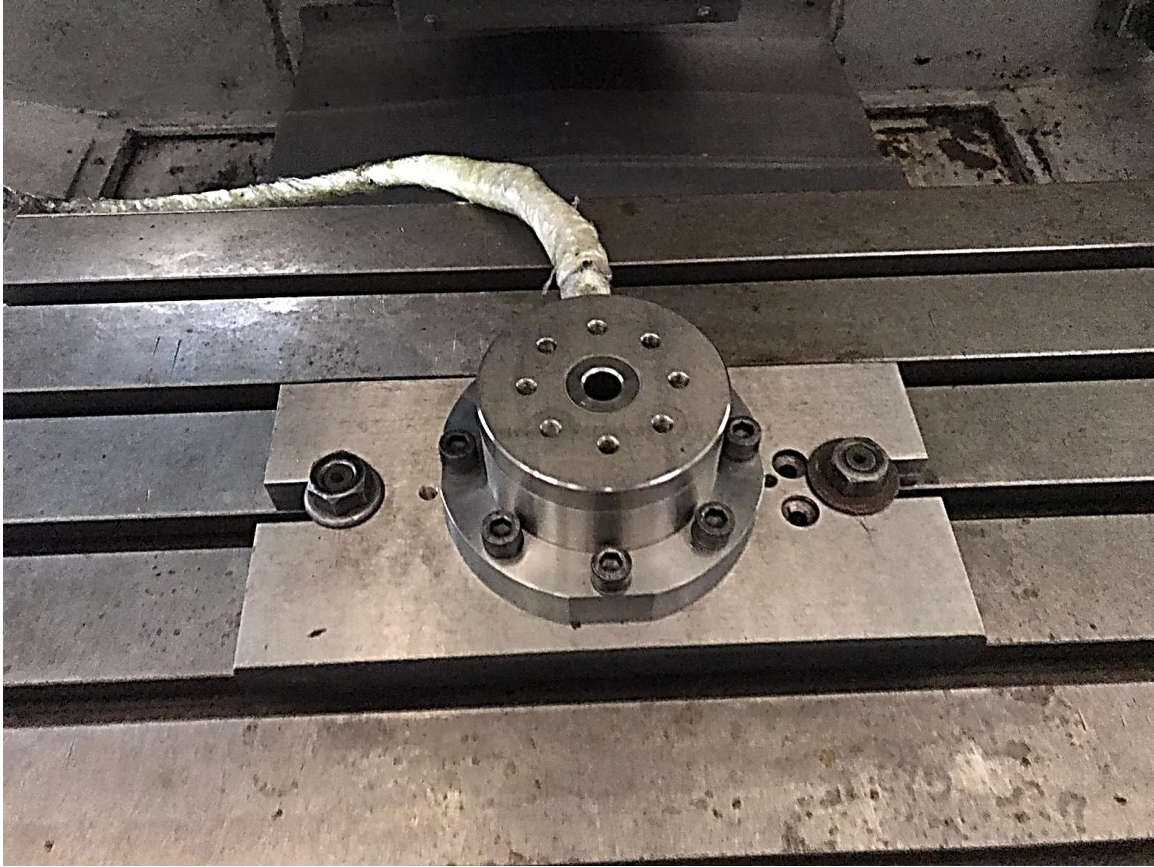
Matkapların kaplaması TiAlN bazlıdır. Takımlar PVD yöntemiyle kaplanmıştır.

Kaplamanın Bazı özellikleri şöyledir:

- Mikro Sertlik (HC 0,05):3200
- Sürtünme Katsayısı: 0,25
- Kalıntı Gerilmesi: -2,5
- Maksimum Çalışma Sıcaklığı: 1000 °C
- Kaplama Sıcaklığı: <600°C
- İşleme sırasında yüksek ısı ve aşınma direnci sağlamaktadır.



Şekil 4.7. CNC dik işleme tezgâhı



Şekil 4.8. Tezgâha bağlanmış olan dinamometre

4.4. Numunelerin Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçülmesi

Tornalama işlemi ile ön işlemi hazırlanan deney parçaları ve daha sonra matkap ucu ile delinip ezme işlemi yapılan deney parçalarının yüzey pürüzlülüklerini ölçmek için “Mahr” marka perthometer M1 tipi, masa üstü, pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 4.7’de gösterilmiş olup ölçüm cihazının görseli Şekil 4.9’da gösterilmiştir [44]

Çizelge 4.7. Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri

Ölçüm Birimi	Ölçüm Aralığı	Standartlar	Geçiş uzunluğu	DIN/İSO göre ölçülebilen pürüzlülük tipleri		
μm	$0 \mu\text{m}$	DIN	1,75 mm, 5,6 mm, 17,5 mm	Ra	Rz	Rmax



Şekil 4.9. Yüzey pürüzlülük cihazı görünümü

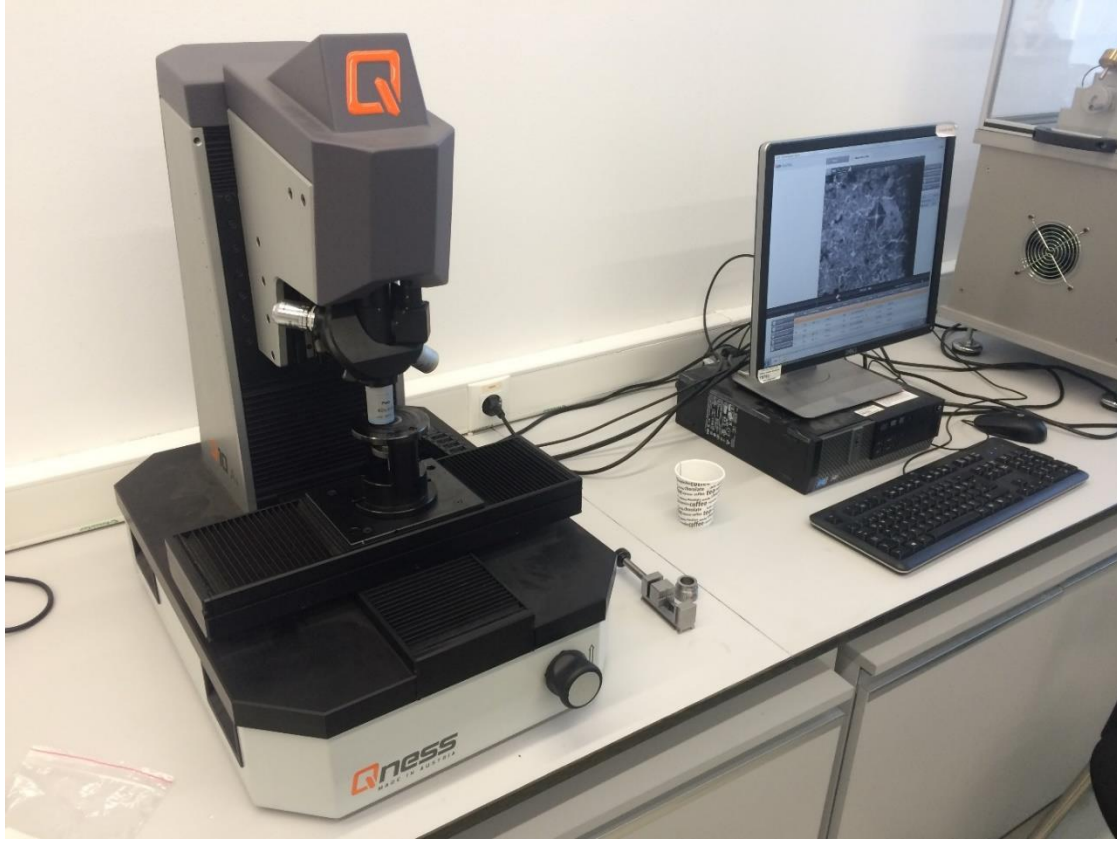
Yüzey pürüzlülük değerleri ezme işlemi öncesinde ve sonrasında yapılmak üzere toplam 2 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçüm Şekil 4.10'da gösterilmiş olup R_a ve R_z olarak ölçümler yapılmıştır.



Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülük değerinin ölçüm sırasındaki görseli

4.5. Numunelerin Mikro Sertlik değerlerinin ölçülmesi

Ön işlemleri tamamlanan numuneler, ezme işlemi yapılmadan önce QNESS firması ürünü Q10/30/60 A serisi mikro sertlik ölçüm cihazında ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler aksiyel olarak iç çap yüzeyinden dış çapa doğru olacak şekilde yapılmıştır. Şekil 4.11’de mikro sertlik ölçüm cihazının görseli verilmiştir.



Şekil 4.11. Mikro sertlik ölçüm cihazı

4.6. Numunelerin Mikro yapılarının incelenmesi

Ezme işlemi gerçekleştirilen ezme numuneleri mikro yapılarının incelenmesi için bir takım işlemlere tabi tutulmuştur. Bunlar sırasıyla;

- Ezme işlemi gerçekleştirilen numune hassas kesim tezgâhında enine kesme işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.12’de hassas kesim cihazının görseli verilmiştir.
- Kesilen parçalar mikro yapının doğru bir şekilde bakılması ve daha sonraki işlemlerin kolay bir şekilde uygulanabilmesi için bakalit içine alınmıştır. Bakalite alınma işlemi ve kesilen parçaların bakalite alınmış hali Şekil 4.13’de gösterilmiştir.
- Bakalite alınmış deney numuneleri zımpara işlemi yapılmak üzere Şekil 4.14’de gösterilen zımparalama cihazına bağlanmıştır. Zımparalama işlemi 60, 80, 120, 150, 180, 240 zımpara kâğıtları ile kalın zımparadan inceye doğru yapılmıştır.
- Zımpara işlemi tamamlanan numuneler iyi bir dağlama sonucu alabilmek için parlatma işlemi uygulanmıştır.

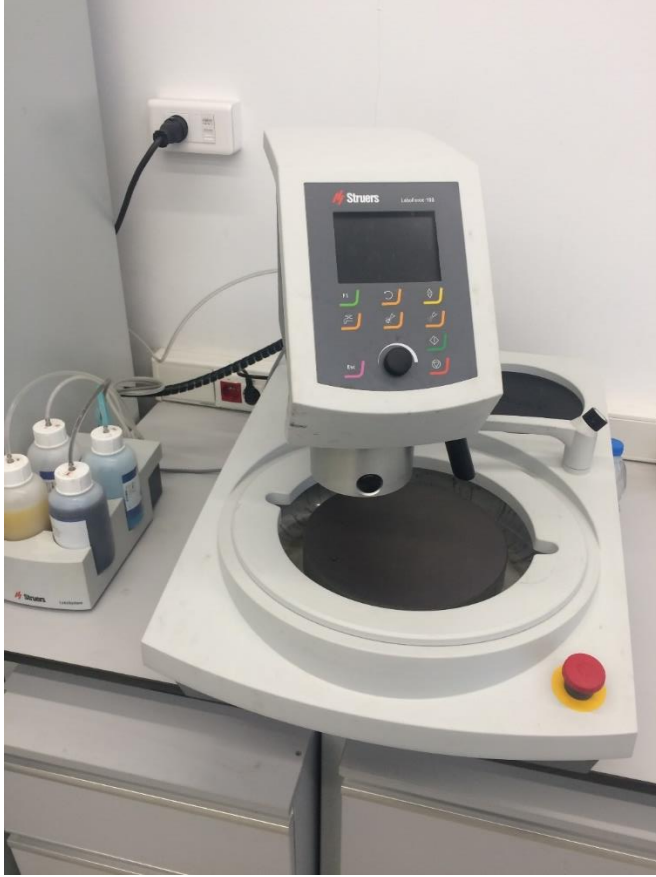
- Parlatma işleminden sonra son işlem olan ve mikro yapının görüntülenmesini sağlayan dağlama bölümüne gelinmiştir. Dağlama işlemi %3'lük bir nitrik asit çözeltisinde yapılmış olup mikro yapıları görüntülemek için Şekil 4.15'de gösterilen mikroskopta görüntülenmiştir.



Şekil 4.12. Hassas kesim tezgahı



Şekil 4.13. Bakalite alma cihazı ve deney numunesinin bakalite alınmış hali



Şekil 4.14. Zımparalama tezgahı



Şekil 4.15. Nikon marka optik mikroskop

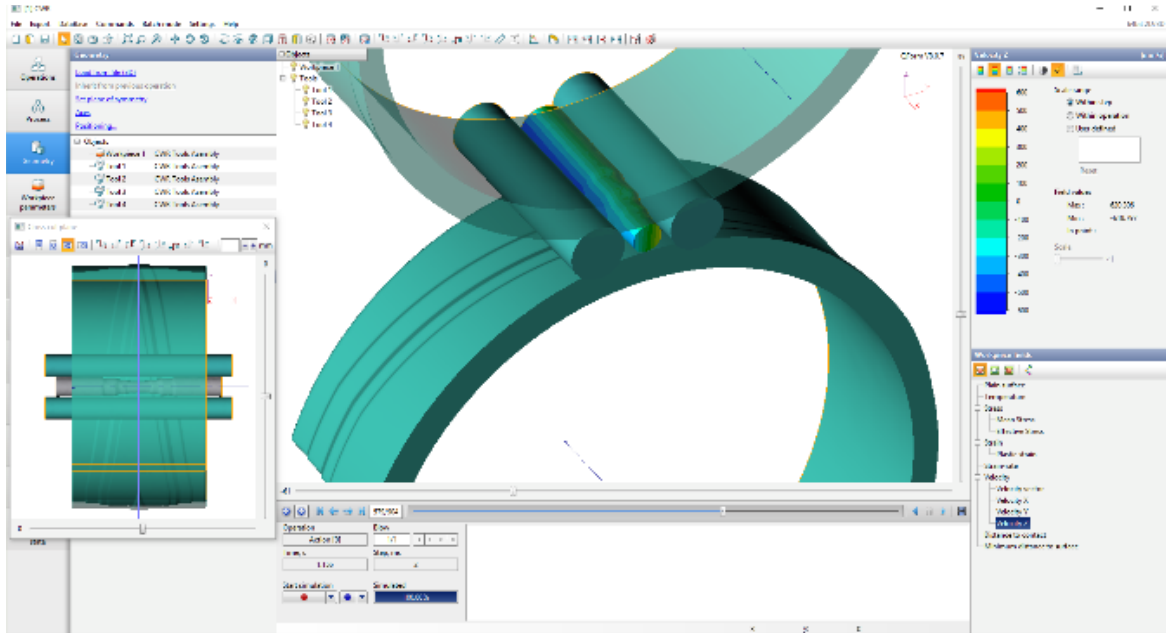
4.7. Simülasyon Programının Teknik özellikleri ve kabiliyetleri

Ezme işlemi uygulanan deney numuneleri aynı zamanda ticari bir program olan “Qform” adlı program ile analiz edilmiş olup program ile ilgili olarak gerekli teknik bilgiler aşağıda verilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmasında Ø17,95 / 17,90 / 17,85 mm olan parçalar analiz edilmiş olup ezme işlemi sırasında kuvvet ölçümü yapılan deney çalışmasıyla sonuçlar kıyaslanmıştır.

QFORM programı, soğuk ve sıcak dövme, açık kalıpta dövme, haddeleme, ekstrüzyon ve diğer metal şekillendirme süreçlerinin simülasyonu ve optimizasyonu için tasarlanmıştır. Ayrıca mikro yapı tahmini ve ısıl işlem simülasyonu gibi ek modüllere de sahiptir.

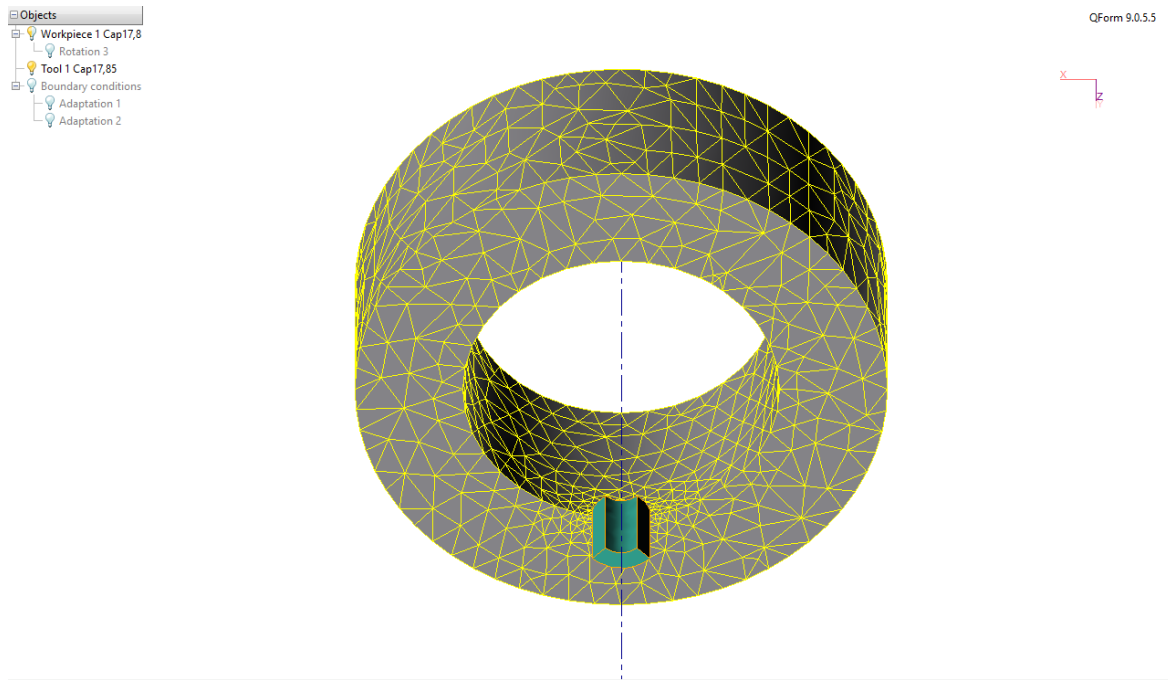
Soğuk şekillendirme sürecini doğru bir şekilde analiz etmek için, soğuk dövme sıcaklıklarında test edilen malzemelerin reolojik modellerini kullanmak gereklidir. Dövülmüş parçanın şekli üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğu için, soğuk dövme işlemlerinde takımın elastik deformasyonunu hesaba katan bir programdır [45].

Program ara yüzü ve kullanımı ile Şekil 4.16’da örnek verilmiştir.

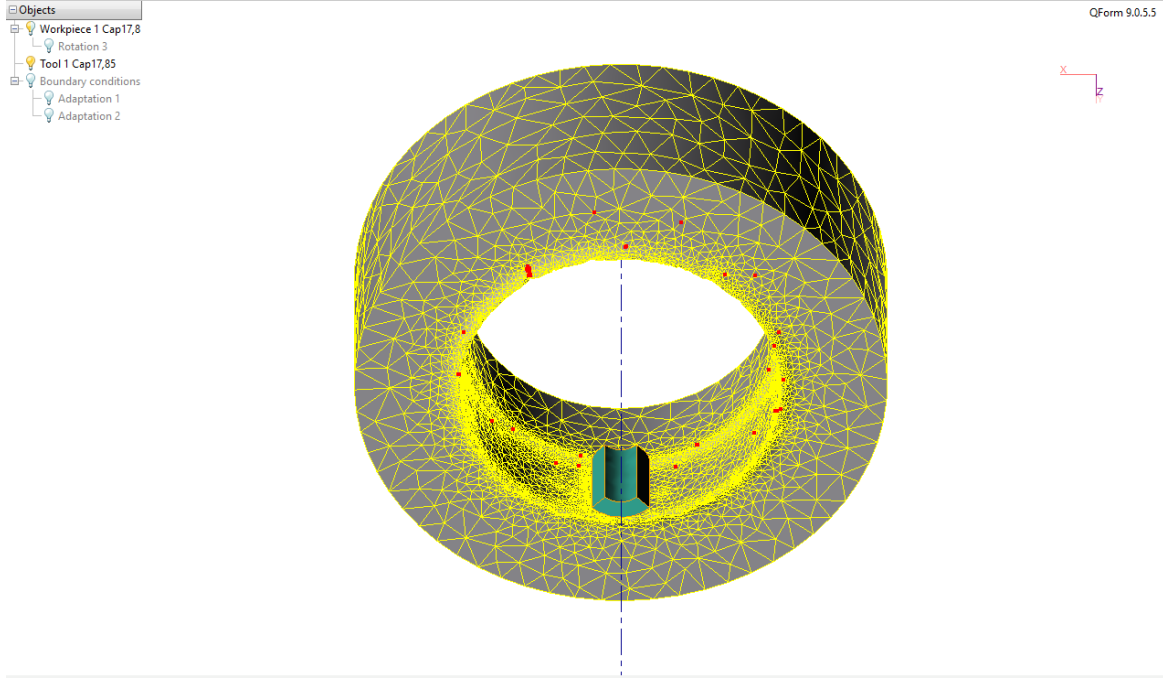


Şekil 4.16. Haddeleme analiz örneği

Yapılan simülasyon çalışmasında kullanılan “Qform” programının, diğer simülasyon programlarına göre en büyük avantajı analiz sırasında her çözüm adımı için tekrar mesh atma özelliğinin bulunmasıdır. Bu özellik sayesinde ezme takımı malzeme üzerinde şekil değişikliğini başlatmasıyla deforme olmuş yapının yüzey özelliği ve şekli değişecek, deforme olmuş yapı bir sonraki çözüm adımında aynı mesh ile çözümü yapılmamış olacaktır. Yani yapı deforme oldukça yeni bir mesh atılacak, bir önceki adımda deforme olmuş yüzeyler tekrar mesh atılıp çözüm gerçekçiliği artmış olacaktır. Her adımda atılan bu yeni mesh sayesinde çözümün doğruluğu arttırılmış olacak, çözüm gerçeğe yaklaşmış olacaktır. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de simülasyon başlangıcındaki mesh görseli ile simülasyonun ilerleyen adımlarındaki mesh farkı gösterilmiştir. Ayrıca programın diğer bir özelliği ile ezme takımının iş parçasına temas ettiği bölgelerindeki mesh yoğunluğu diğer bölgelere göre daha yoğun olacak şekilde ayarlanabilmektedir.

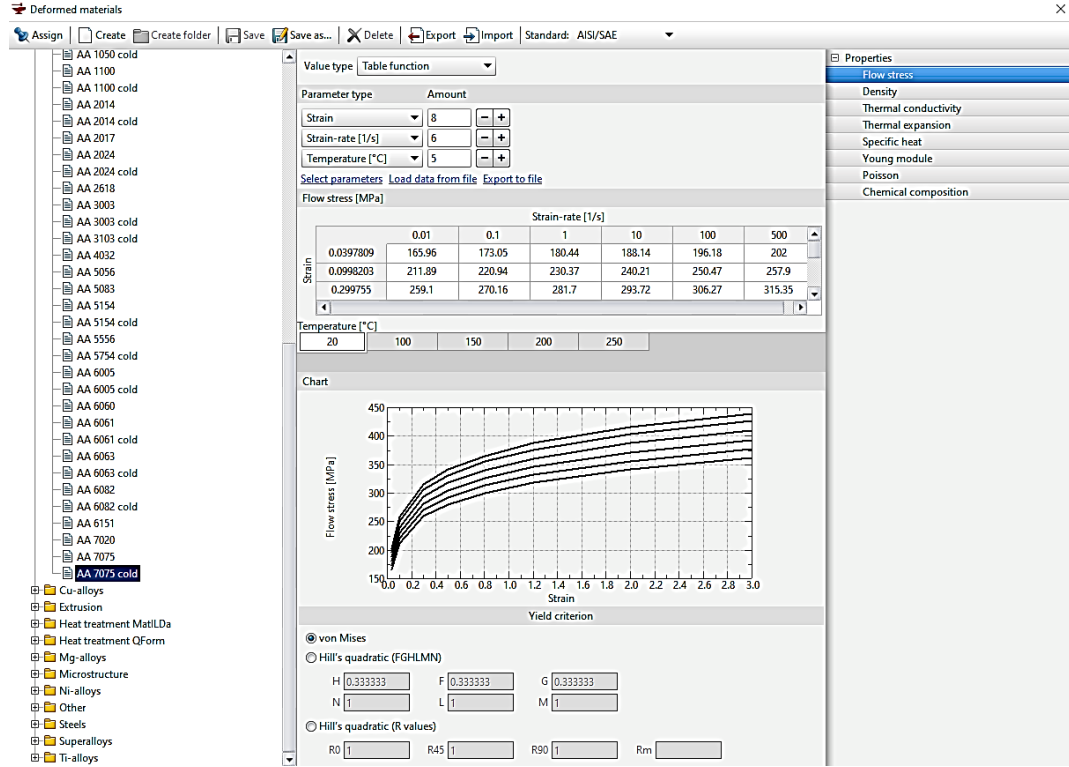


Şekil 4.17. Simülasyon başlangıcındaki mesh durumu

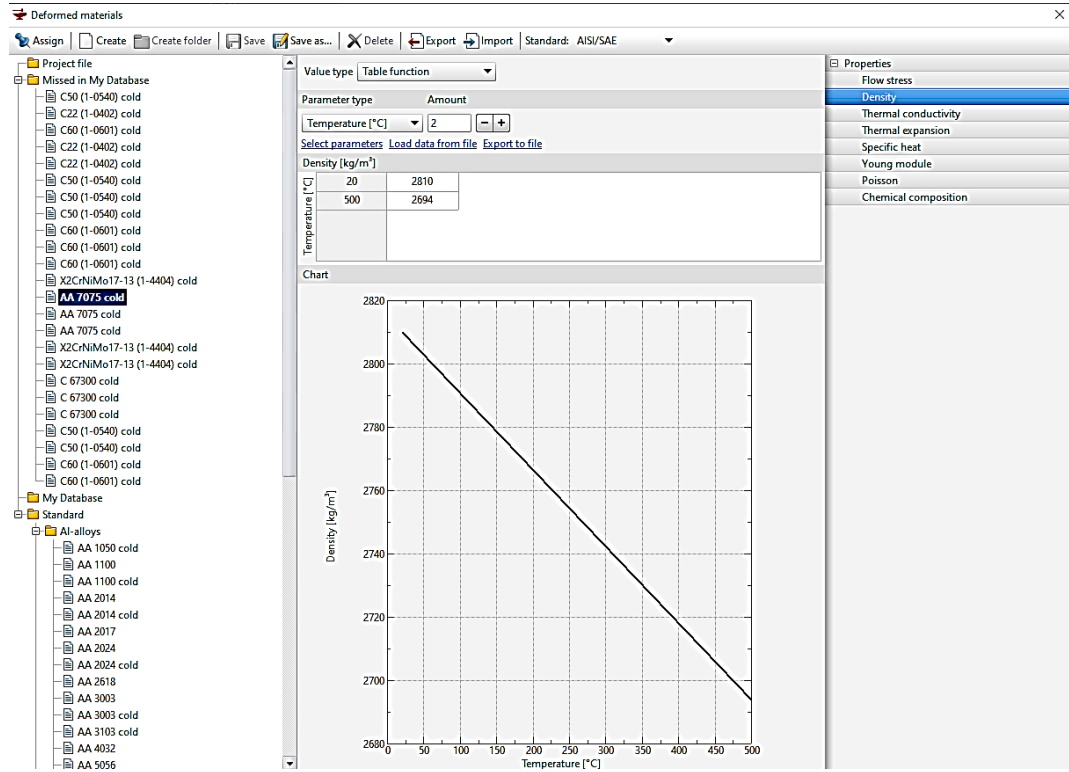


Şekil 4.18. Simülasyonun ilerleyen adımlarındaki mesh durumu

Qform programında malzemeler soğuk haddeleme için ayrı bir şekilde kategorize edilmiştir. Her malzemenin soğuk işlem sırasındaki farklı mekanik davranışlarını da hesaba katarak işlemlerin daha doğru bir şekilde yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. İşlem sırasında oluşan ısı değişimi malzemelerin mekanik özelliklerinde bir değişime neden olmaktadır. Örneğin işlem sırasındaki sıcaklık değişimleri malzemenin yoğunluğunun, akma mukavemetinin, young modülünün değişmesine sebep olmakta ve bu değişim ile sonuçlar gerçeğe daha yakın elde edilebilmektedir. Bu özelliği ile diğer programlara göre önemli bir avantaj sağlamaktadır. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi Al 7075 Cold malzemesinin farklı sıcaklık değerleri altındaki akış gerilmeleri, Şekil 4.20’de ise farklı sıcaklık değerleri altındaki yoğunluğunun değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.19. Al 7075 cold malzemesinin farklı sıcaklık değerleri altındaki özellikleri



Şekil 4.20. Al 7075 cold malzemesinin farklı sıcaklık değerleri altındaki yoğunluk değişimi

Yapılan simülasyon çalışmasında Ø17,95 / 17,90 / 17,85 mm olan farklı çaplardaki malzemeler üzerine ezme takımı yardımı ile Ø18 mm olacak şekilde soğuk işleme yapılmıştır. Bu işlemde malzemeler yukarı çaplar olacak şekilde katı model olarak çizilmiştir. Ezme takımının ucundaki ezici kısım çapı tam olarak 18 mm olacak şekilde katı modelin üzerine yerleştirilmiştir. İşlem sırasında malzemelerin dönüş hızı 500 dev/dk olacak şekilde modellenmiş ve ezme takımı 0.2 mm/dev ilerleme miktarı ile ezme işlemini gerçekleştirmektedir. Programda kullanılan ezme takımı AISI H11 takım çeliğinden yapılmış, HRC 51 sertliğe sahip bir malzemedir. Simülasyon çalışmasında deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 1020-1050-1060 malzemelerden farklı olarak alüminyum (Al 7075), bronz(C67300) , paslanmaz çelik(AISI 316L) malzemelerin de analizleri yapılmıştır.

Alüminyum (Al 7075), bronz(C67300) ve paslanmaz çelik(AISI 316L) malzemelerin kimyasal özellikleri analiz programında Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. 7075 alüminyumun yüzdesel kimyasal özellikleri

	Fe	Mn	Si	Mg	Cu	Cr	Ti	Zn
Min.			-	2.1	1.2	0.18	-	5.1
Maks.	0,5	0,3	0,4	2.9	2	0,28	0,2	6.1

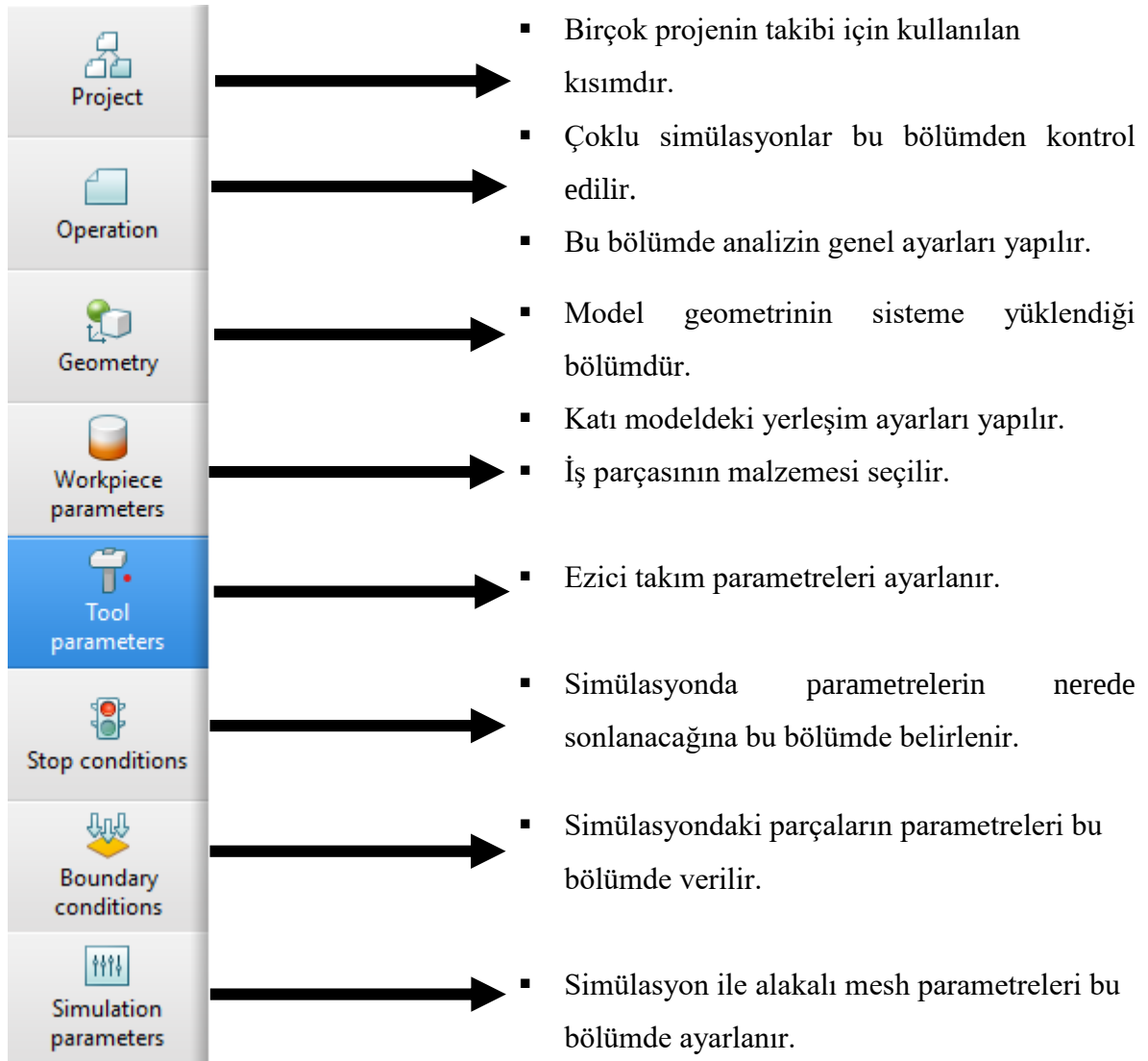
Çizelge 4.9. 316L paslanmaz çeliğin yüzdesel kimyasal özellikleri

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni
Min.		0,4	-	-	-	16.5	2	10
Maks.	0,03	2	1	0,045	0,03	18.5	2.5	13

Çizelge 4.10. C67300 bronzun yüzdesel kimyasal özellikleri

	Fe	Mn	Si	Ni	Al	Sn	Pb	Zn
Min.		2	0.5				0.4	27.2
Maks.	0,5	3.5	1.5	0.25	0.25	0.3	3	37.3

Qform programının ayarlarının yapıldığı ara yüzü Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Bu bölümden simülasyona başlamadan önce gerekli ayarlamalar yapılır.



Şekil 4.21. Qform programının kullanıcı ara yüzünün özellikleri

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. DeneySEL Sonuçlar

Bu çalışmada, dairesel kesitli AISI 1020-1050-1060 çeliklerinin ezme takımı ile delik içi ezme işlemi uygulanmıştır. Yapılan deneylerde tornalama işlemi tamamlandıktan sonra tezgâha bağlanan numuneler Çizelge 5.1’de gösterilen matkap uçları ile delinmiştir. Daha sonra ezme takımı ile ezme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1. Delik ön çapları

Malzeme	Çap 1	Çap 2	Çap 3
AISI 1020	17,95 mm	17,90 mm	17,85 mm
AISI 1050	17,95 mm	17,90 mm	17,85 mm
AISI 1060	17,95 mm	17,90 mm	17,85 mm

Farklı çap ve malzemelerden oluşan deney numuneleri tornalama işlemi sonrası Şekil 81’de gösterilen yüzey pürüzlülük ölçme cihazında iç deliğin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Bulunan ortalama sonuçlar Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Ölçülen pürüzlülük değerleri Ra ve Rz cinsinden verilmiştir.

Çizelge 5.2. Tornalama sonrası delik iç yüzeylerindeki pürüzlülük değerleri

Malzeme	AISI 1020		AISI 1050		AISI 1060	
Çap	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
17,95 mm	0,79	4,21	0,81	6,2	0,65	4,53
17,90 mm	0,86	5,44	0,65	4,62	0,68	4,7
17,85 mm	0,24	1,46	0,53	3,6	1,08	6,64

Pürüzlülük değerinin ölçülmesi ile 17,95 mm için en yüksek Ra ve Rz değerinin AISI 1050 çeliğinde olduğu, 17,90 mm için en yüksek Ra ve Rz değerinin AISI 1020 çeliğinde olduğu, 17,85 mm için en yüksek Ra ve Rz değerinin AISI 1060 çeliğinde olduğu gözlemlenmiştir.

17,95 mm çapındaki numunelerde en düşük Ra ve Rz değerinin AISI 1060 çeliğinde, 17,90 mm delik çapında AISI 1050 çeliğinde, 17,85 mm olan delikte AISI 1020 çeliğinin olduğu

görülmüştür. Bu sonuçlar tornalama işlemi sırasında meydana gelen kontrol dışında olan değişkenler dolayısı ile meydana gelebileceği düşünülmektedir.

Tornalama işlemi tamamlandıktan sonra deney numuneleri CNC Dik işleme tezgâhında ezme işlemi için hazırlanmıştır. Bu işlem sırasında ezme kuvveti ölçümü yapabilmek için deney numunelerinin bağlı olduğu bölümde bir dinamometre yardımıyla ezme işlemi sırasındaki ezme takımına gelen yüklerin ölçüm işlemleri yapılmıştır. Ezme işlemi yapılırken herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır. Bunun sebebi yağlama işleminin elle yapılmasından dolayı yağlayıcının parçanın her yerine homojen olarak dağılmayacağı düşünüldüğü için işlemde herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır. Kuvvet ölçümü için sadece AISI 1020 malzemeler kullanılmıştır. Ezme işlemi sırasındaki ezme kuvveti Çizelge 5.3’de gösterilmiştir. Şekil 5.1’de ezme işlemi tamamlanmış numuneler gösterilmektedir.



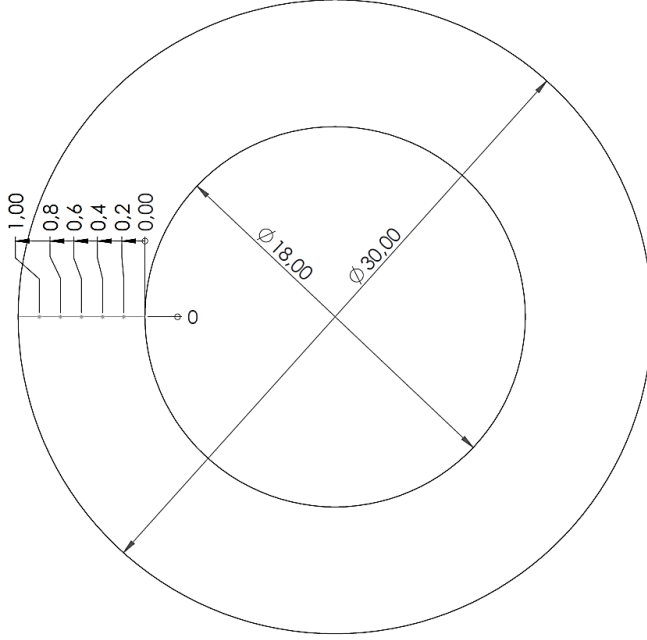
Şekil 5.1. Ezme işlemi sonrası parçaların görüntüsü

Çizelge 5.3. Ezme işlemi sırasındaki ezme kuvveti

	Malzeme	AISI 1020	AISI 1050	AISI 1060
	Çap	Kuvvet (N)	Kuvvet (N)	Kuvvet (N)
Deneysel Sonuçlar	17,95 mm	287	352	445

Ezme kuvvetinin ölçümü sonrasında deney numuneleri üzerinden mikro sertlik değerleri alınmıştır. Ölçüm için deliğin iç yüzeyinin başlangıcı referans noktası olmak üzere dışarı

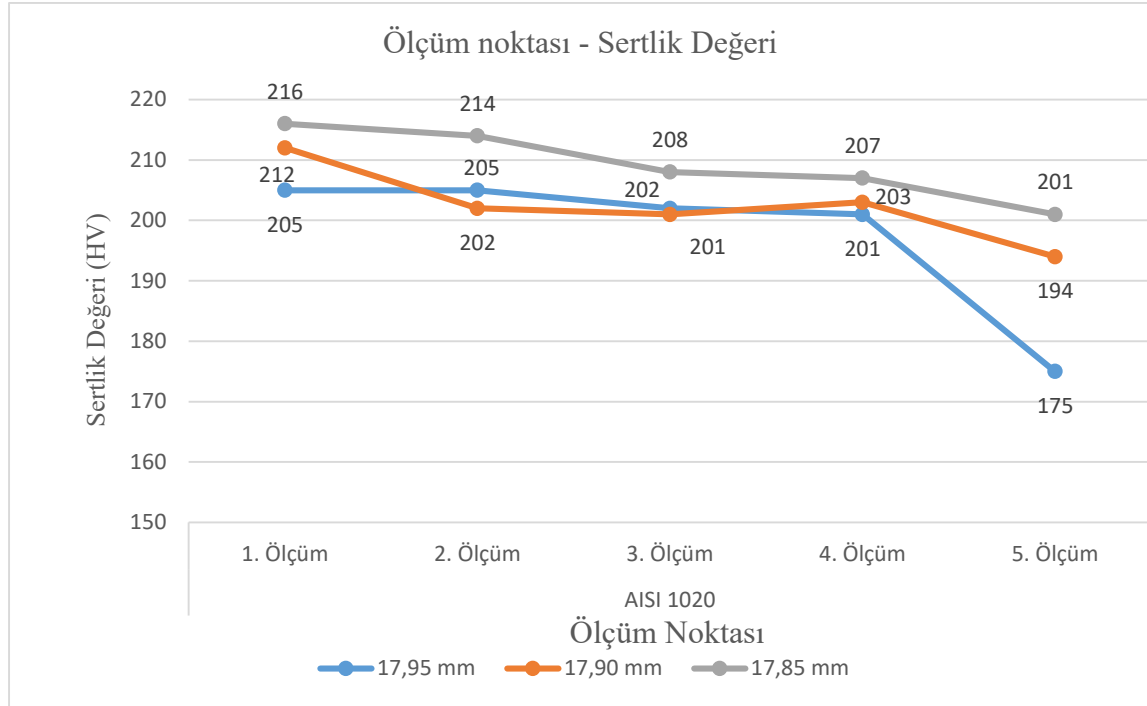
doğru 0,2 mm aralıklarla 5 adet mikro sertlik değerleri alınmıştır. Ölçüm alınan noktaların şematik gösterimi Şekil 5.2’de verilmiştir. Alınan sonuçlar ise Çizelge 5.4’de gösterilmiştir.



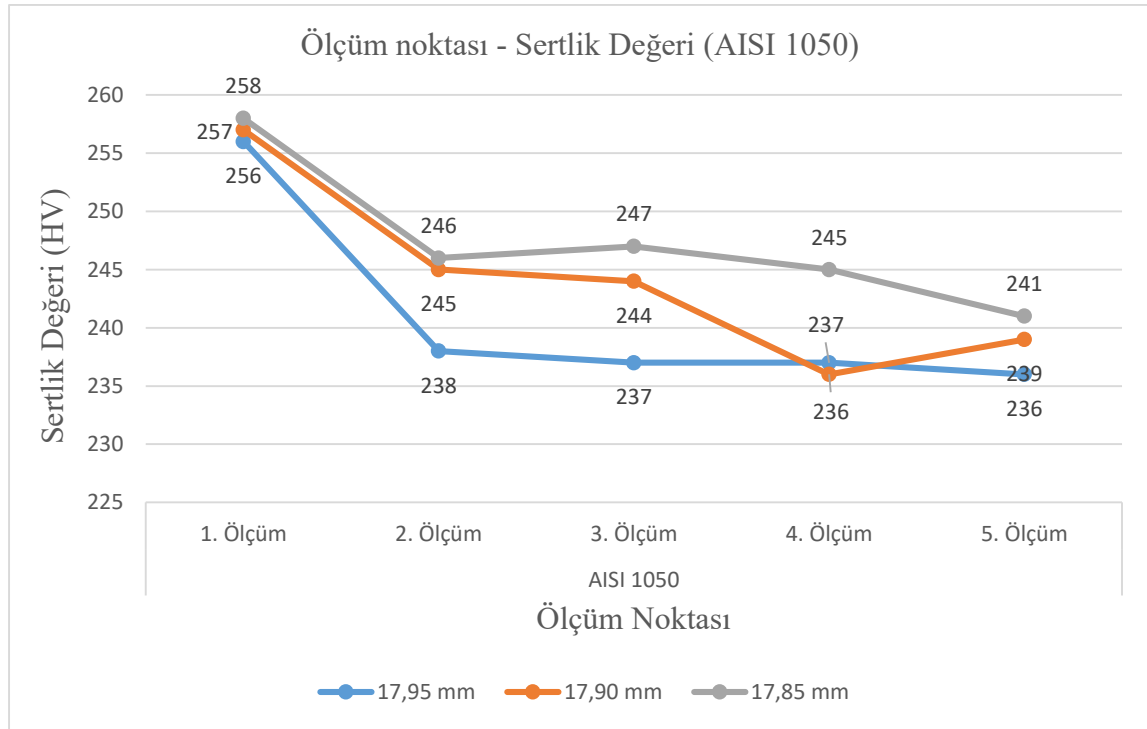
Şekil 5.2. Sertlik ölçümü alınan değerlerin konumunun şematik gösterimi

Çizelge 5.4. Alınan mikro sertlik sonuçları

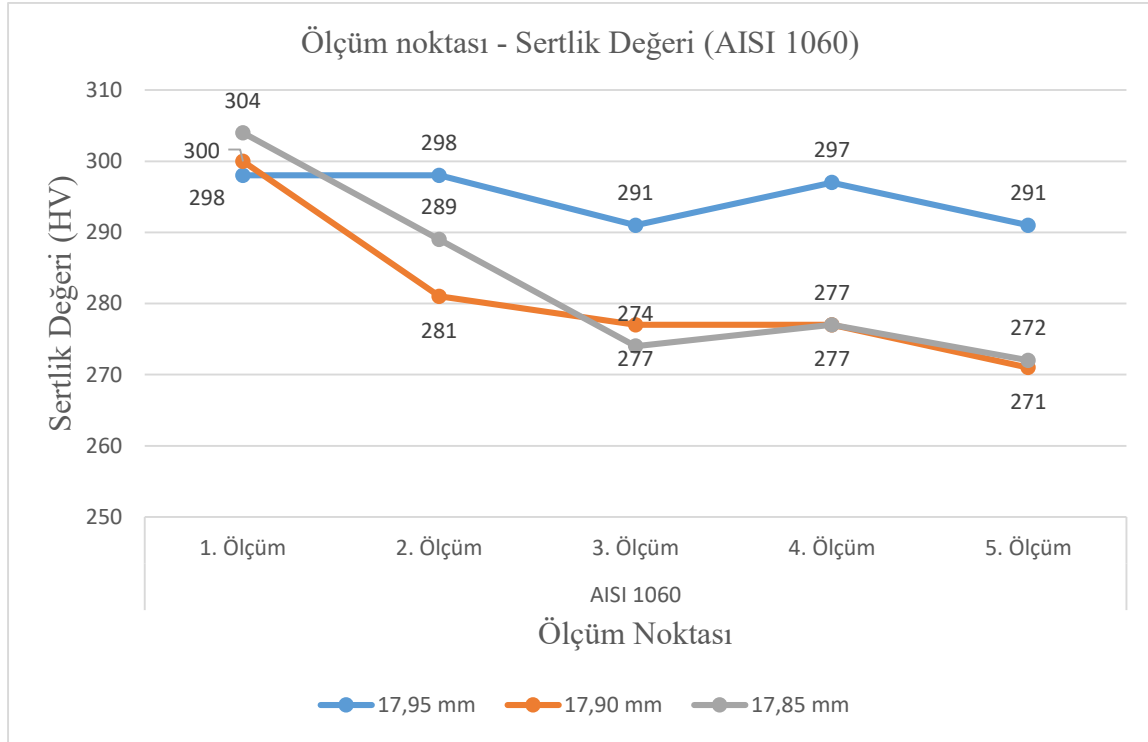
Malzeme	AISI 1020				
Çap	1. Ölçüm (0,2 mm)	2. Ölçüm (0,4 mm)	3. Ölçüm (0,6 mm)	4. Ölçüm (0,8 mm)	5. Ölçüm (1,0 mm)
17,95 mm	205	205	202	201	175
17,90 mm	212	202	201	203	194
17,85 mm	216	214	208	207	201
Malzeme	AISI 1050				
Ölçüm	1. Ölçüm (0,2 mm)	2. Ölçüm (0,4 mm)	3. Ölçüm (0,6 mm)	4. Ölçüm (0,8 mm)	5. Ölçüm (1,0 mm)
17,95 mm	256	238	237	237	236
17,90 mm	257	245	244	236	239
17,85 mm	258	246	247	245	241
Malzeme	AISI 1060				
Ölçüm	1. Ölçüm (0,2 mm)	2. Ölçüm (0,4 mm)	3. Ölçüm (0,6 mm)	4. Ölçüm (0,8 mm)	5. Ölçüm (1,0 mm)
17,95 mm	298	298	291	297	291
17,90 mm	300	281	277	277	271
17,85 mm	304	289	274	277	272



Şekil 5.3. AISI 1020 için mikro sertlik ölçüm değerleri

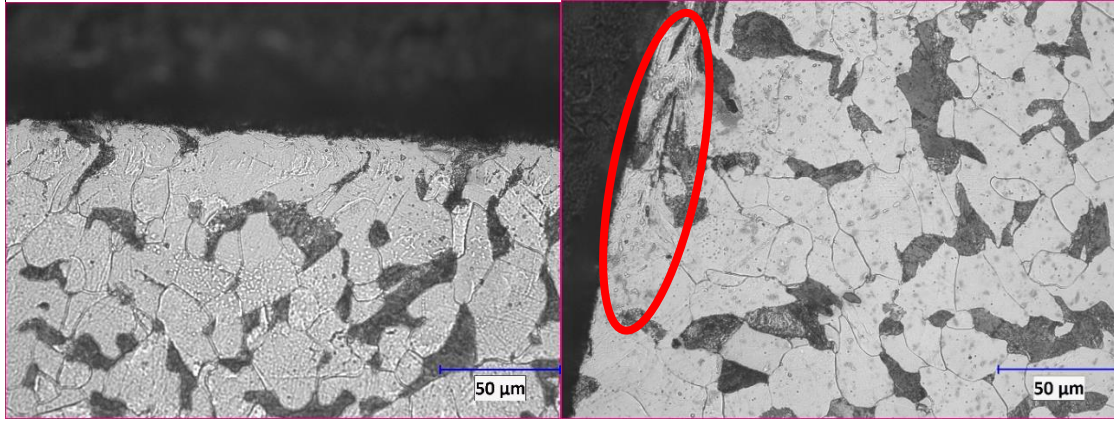


Şekil 5.4. AISI 1050 için mikro sertlik ölçüm değerleri

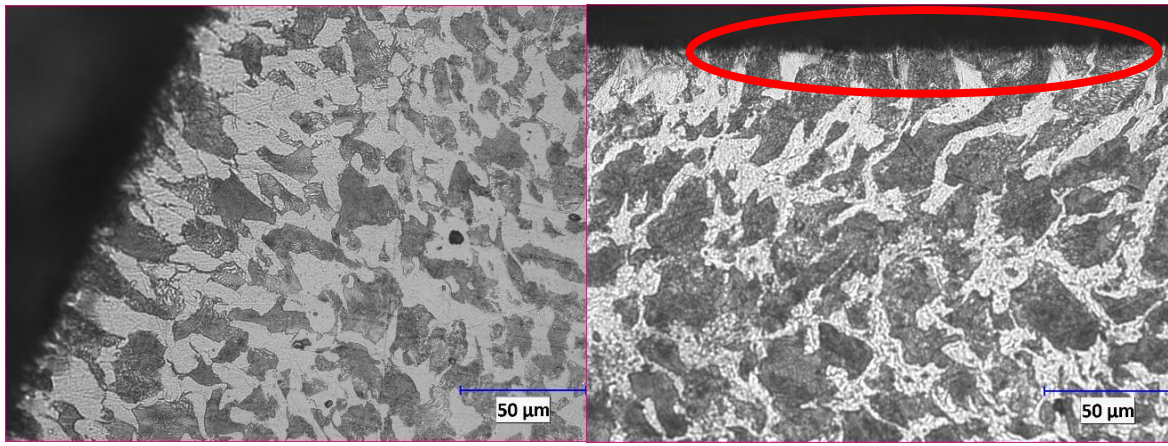


Şekil 5.5. AISI 1060 için mikro sertlik ölçüm değerleri

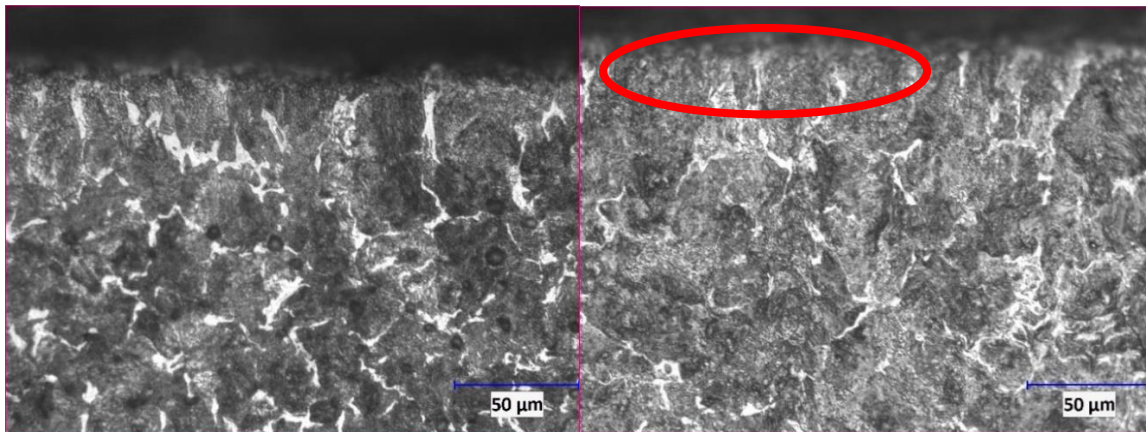
Mikro sertlik değerlerinin ölçülmesi sonrası malzemelerin içyapısına bakılmıştır. Materyal ve metod kısmında anlatılan adımlar yapıldıktan sonra aşağıdaki görüntüler alınmıştır.



Şekil 5.6. AISI 1020 deney numunesinin ezme işlemi öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüsü



Şekil 5.7. AISI 1050 deney numunesinin ezme işlemi öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüsü



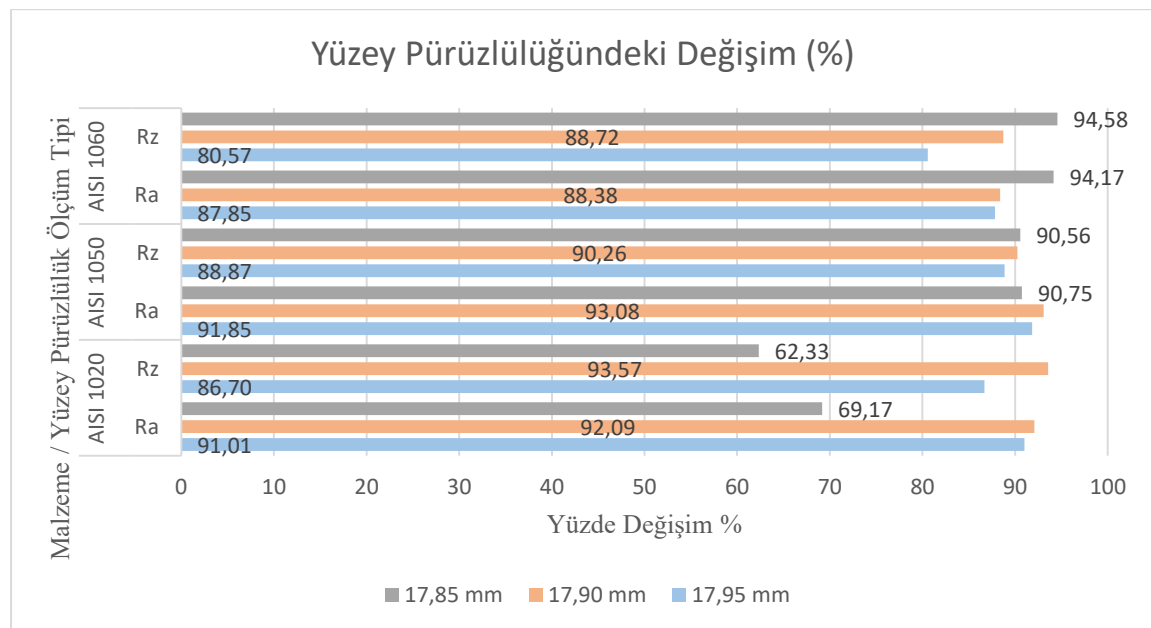
Şekil 5.8. AISI 1060 deney numunesinin ezme işlemi öncesi ve sonrası mikro yapı görüntüsü

Mikro yapılar incelendiğinde AISI 1020 malzemesi için işlem öncesi parça kenarında bulunan yapıların herhangi bir şekil değişiminin olmadığı, yapıların düzgün bir şekilde yayıldığı görülmektedir. Ancak işlem sonrasında şekilde görüldüğü gibi kenardaki yapının ezilen bölgede yapının değiştiği, yapının sıkıştığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde AISI 1050 malzemede ezilen bölgede yapının belli bir yönde sıkıştığı görülmektedir. Ancak AISI 1060 malzemede yapıdaki karbon oranının artması içyapıyı optik mikroskopta detaylı görüntü almasını zorlaştırmış olup ezilen yapının bu bölgede çok fazla görülememesine neden olmuştur. Ezme işlemi gerçekleştirildikten sonra tekrardan yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Ölçüm aynı şartlar altında yapılmış olup sonuçlar Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Ezme işlemi sonrası yüzey pürüzlülük değerleri

Malzeme	AISI 1020		AISI 1050		AISI 1060	
Çap	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
17,95 mm	0,071	0,56	0,066	0,69	0,079	0,88
17,90 mm	0,068	0,35	0,045	0,45	0,079	0,53
17,85 mm	0,074	0,55	0,049	0,34	0,063	0,36

Ezme işleminin yapılmasından sonra ölçülen pürüzlülük değerlerindeki yüzdesel değişim Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. İşlem sonrası yüzey pürüzlülük değerlerindeki yüzdesel değişim

Deney sonuçlar incelendiğinde;

- Deneysel olarak yapılan ezme kuvveti ölçme işleminde 17,95 mm matkap takımı ile delinmiş daha sonra ezilen numunelerde ezme kuvveti ölçümü yapılmıştır. Ezme işlemi her üç malzeme türüne de uygulanmıştır. Ezme işlemi sırasında dinamometre yardımı ile ezme kuvveti ölçümü yapılmıştır. En küçük ezme kuvveti değerinin AISI 1020 numunesinde, en yüksek ezme kuvvetinin ise AISI 1060 deney numunesinde olduğu görülmüştür.
- Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ise işlem öncesi ölçümlerde görülen AISI 1060/ Ø17,85mm deney numunesinin $R_a = 1,08 \mu m$ olan pürüzlülük değerinden işlem sonrası $R_a = 0,063 \mu m$ pürüzlülük değerine düşmesi ile %94,17'lik bir iyileşme sağlaması sebebiyle en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir. Aynı şekilde $R_z = 6,64 \mu m$ pürüzlülük değerinden işlem sonrası $R_z = 0,36 \mu m$ düşmesi deney numunesinde %94,57'lik bir iyileştirme olduğunu göstermiştir.
- AISI 1020 deney numuneleri için işlem öncesinde en yüksek pürüzlülük değerine sahip olan Ø17,90 mm, $R_a = 0,86 \mu m$ pürüzlülük değerinden işlem sonrası $R_a = 0,068 \mu m$ değerine düşmüş, % 92,09'luk iyileşme ile en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Aynı şekilde $R_z = 5,44 \mu m$ değerinden işlem sonrası $R_z = 0,35 \mu m$ değerine düşerek %93,57'lik bir iyileşme sağlandığı görülmüştür.
- AISI 1050 deney numuneleri için işlem sonrasında oluşan pürüzlülük değerlerine bakıldığında Ø17,90 mm olan numunelerde en düşük pürüzlülük değeri tespit edilmiştir.
- Ø17,95 mm için bütün malzeme grupları incelendiğinde en düşük değerin AISI 1050 deney numunelerinde olduğu, Ø17,90 mm için en düşük değerin yine AISI 1050 deney numunelerinde olduğu ve son olarak Ø17,85 mm olan deney numunelerinde de AISI 1050 numunelerinde olduğu gözlemlenmiştir.
- AISI 1020 ve AISI 1050 malzemelerinde en düşük sonuçları Ø17,90 mm'de verdiği ancak AISI 1060 malzemesine bakıldığında en düşük pürüzlülük değerini Ø17,85 mm'de verdiği anlaşılmıştır. Bunun nedeninin malzemeler arasında artan karbon

miktarı ile birlikte malzemenin sertliğinin artması sebebiyle AISI 1060 malzemesinde artan sertlikle birlikte daha yüksek ezme kuvveti gerektiğinden ve bu kuvvetin ezme payından dolayı bu çapta olacağından, en düşük pürüzlülük değerinin Ø17,85 mm’de olduğu düşünülmektedir.

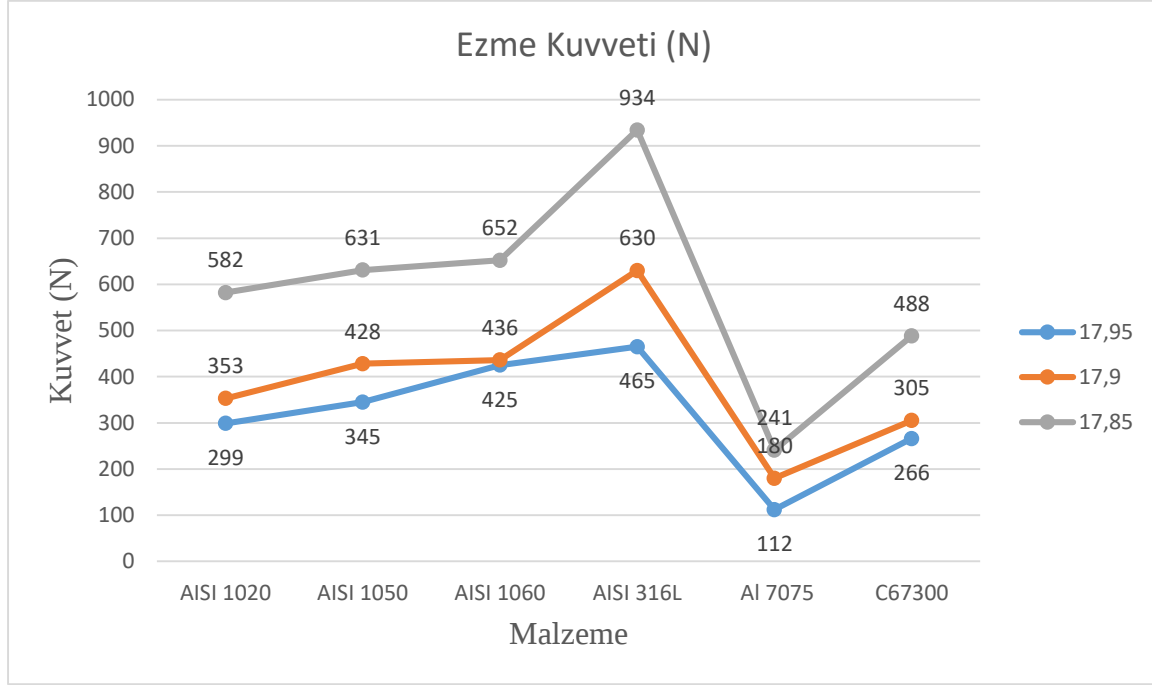
- Mikro sertlik değerleri incelendiğinde ise AISI 1020 malzeme için Ø17,85 mm delik değeri için yüzeye en yakın ölçüm noktasında en yüksek değeri verirken Ø17,95 mm deney numunesi için çok fazla yüzey sertliğini etkilemediği ve en düşük sertlik değerini verdiği görülmüştür. Deney numunelerinin sertlik değerleri ezme yüzeyinden gittikçe azaldığı gözlemlenmiştir.
- AISI 1050 deney numuneleri mikro sertlik yönünden incelendiğinde ezilen yüzeye en yakın noktadaki ölçüm noktasının değerlerinin birbirine yakın olduğu, ezme yüzeyinden uzaklaştıkça değerlerin düştüğü, malzemenin iç kısımlarının sertlik almadığı tespit edilmiştir. Ezmenin sertleştirmeye etkisinin 0,2 mm’ye kadar olduğu görülmüştür.
- Son olarak AISI 1060 deney numuneleri incelendiğinde Ø 17,95 mm olan numuneye mikro sertlik ölçümünde çok fazla etki etmediği görülmüş, Ø17,85 mm olan numunesinde ise sertliğe etkisinin en fazla olduğu görüşmüştür. Artan karbon miktarı ile sertliğin artması yüzeydeki etkiyi azaltmakta olduğu dolayısıyla ezme miktarı artışı ile bu etkiyi gözlemenin mümkün olduğu görülmüştür. Sertleştirme etkisinin 0,4 mm’ye kadar olduğu görülmüştür.

5.2. Simülasyon Sonuçları

Yapılan simülasyon çalışmasında ezme miktarına bağlı olarak ezme takımında oluşan ezme kuvvetlilerinin analizi yapılmıştır. Materyal ve metot bölümünde anlatıldığı gibi yapılan analiz çalışmasında her çözüm adımında tekrar mesh atılması ve malzemenin işlem sırasındaki sürtünmeden kaynaklı oluşan ısının da etkisini hesaba katılarak çözümler yapılmış olup ezme takımına gelen yükler hesaplanmıştır. Çalışmadan ayrıca AISI 1020/ 1050/ 1060 çeliklerinin yanında Alüminyum 7075, Paslanmaz çelik 316L ve Manganez Bronz C67300 için de analizler yapılmıştır. Simülasyon programda yapılan çalışmalar

sonucunda ezme takıma gelen kuvvetler ölçülmüş olup aşağıdaki şekillerde sonuçlar verilmiştir.

Bütün sonuçlar incelendiğinde simülasyondan elde edilen maksimum kuvvetler Şekil 5.10’da kıyaslanmıştır.



Şekil 5.10. Simülasyon sonucu elde edilen maksimum ezme kuvveti sonuçları

Ezme işlemi sırasında oluşan ezme kuvveti deneysel ve simülasyon programı üzerinden kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarının gerçek değerlere yakın olduğu Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

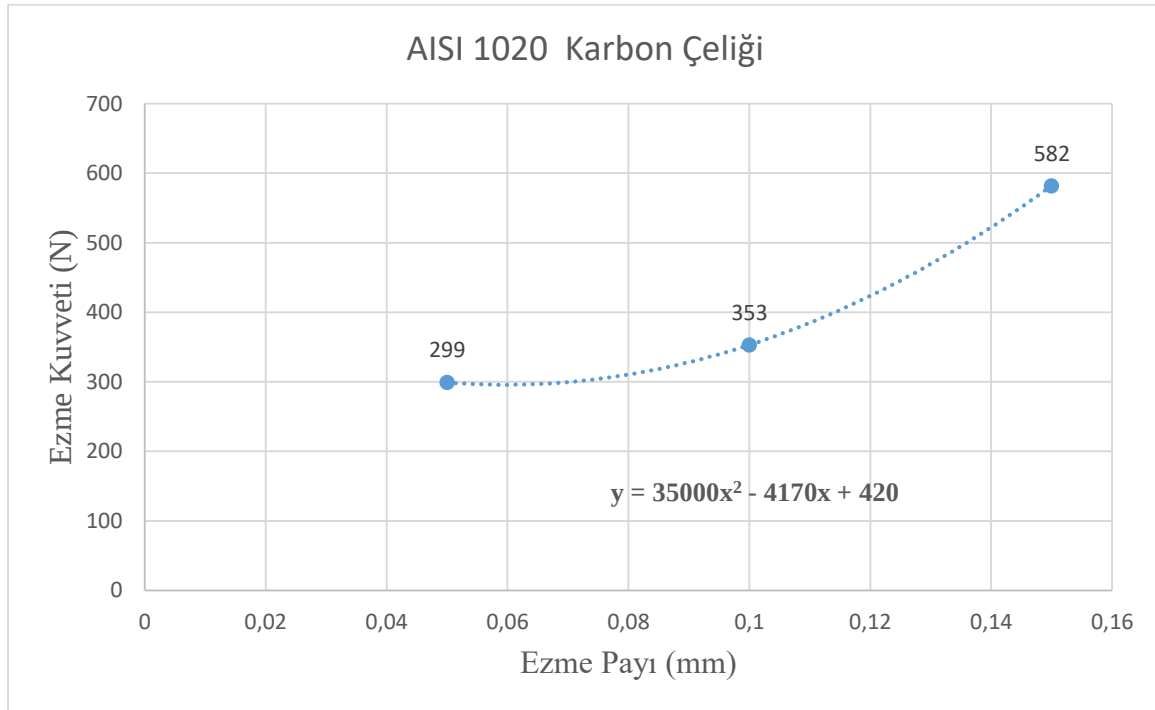
Çizelge 5.6. Deneysel ve simülasyon sonuçlarının kıyaslanması

	Malzeme	AISI 1020	AISI 1050	AISI 1060
	Çap	Kuvvet (N)	Kuvvet (N)	Kuvvet (N)
Deneysel Sonuçlar	17,95 mm	287	352	445
Simülasyon sonuçları	17,95 mm	299	345	425

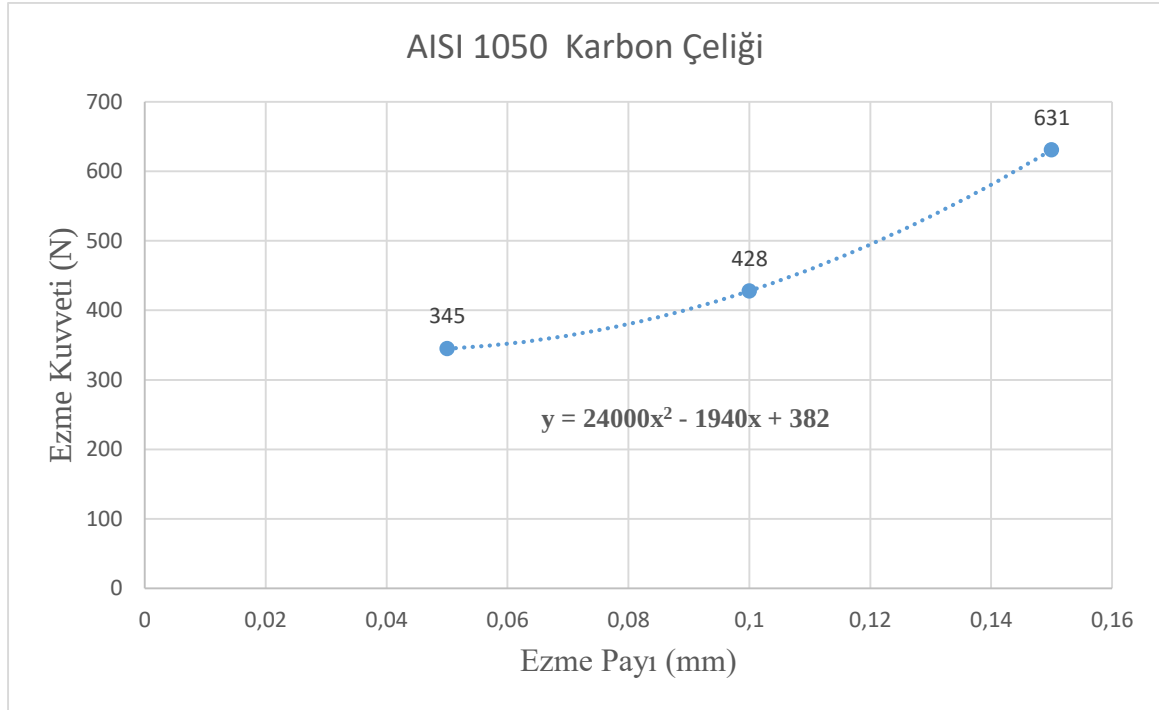
Simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde ezme payının artışı ile birlikte ezme kuvvetinin arttığı görülmüştür. AISI 1020/1050/1060/316L çelik malzemeleri incelendiğinde ise 316L

paslanmaz çeliğin diğer çelik türlerine göre daha fazla ezme kuvvetinin olduğu hesaplanmıştır. En düşük kuvvet ise Al 7075 malzeme için olduğu görülmüştür. Bronz parçanın ise Al7075'den daha fazla, diğer çelik türlerinden ise daha az bir ezme kuvveti oluşturduğu tespit edilmiştir.

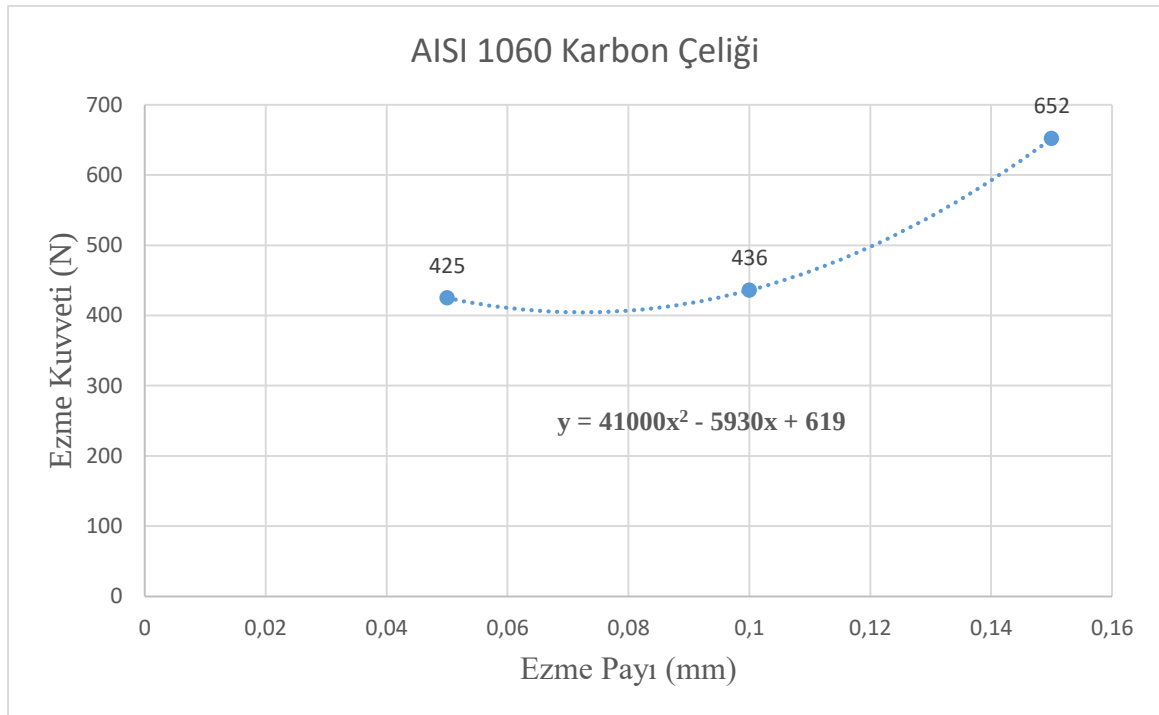
Simülasyon programı kullanarak elde edilen ezme kuvveti verilerinden yararlanarak ezme payının ezme kuvveti üzerine etkisini aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Ezme payı (0,05 mm-0,10 mm-0,15 mm) parametresi kullanarak bütün malzemeler için bir model yapılmış olup ezme payının değiştirilmesiyle elde edilecek kuvvet model üzerinden bulunabilmektedir.



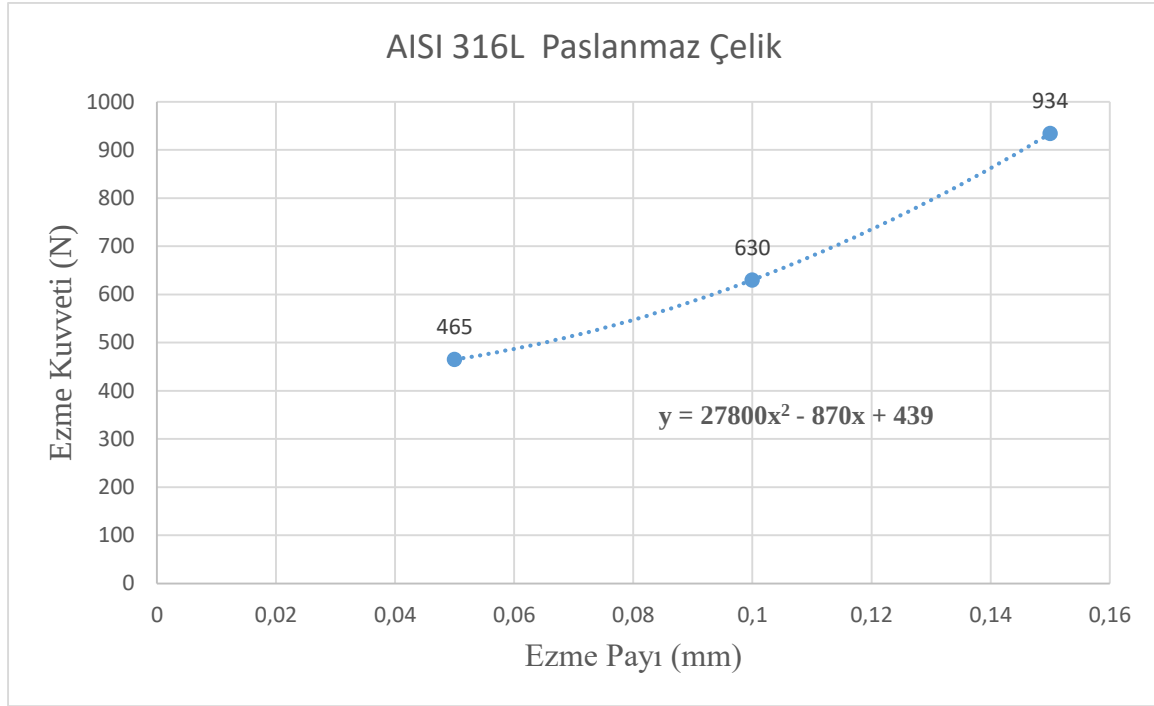
Şekil 5.11. AISI 1020 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği



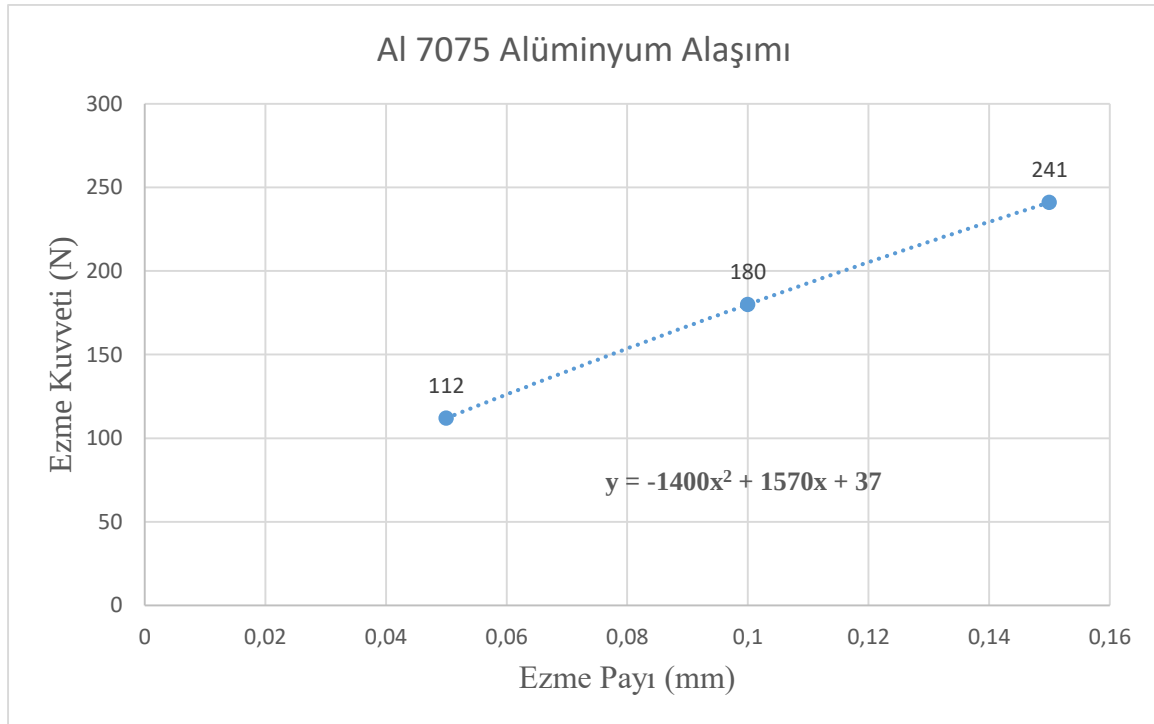
Şekil 5.12. AISI 1050 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği



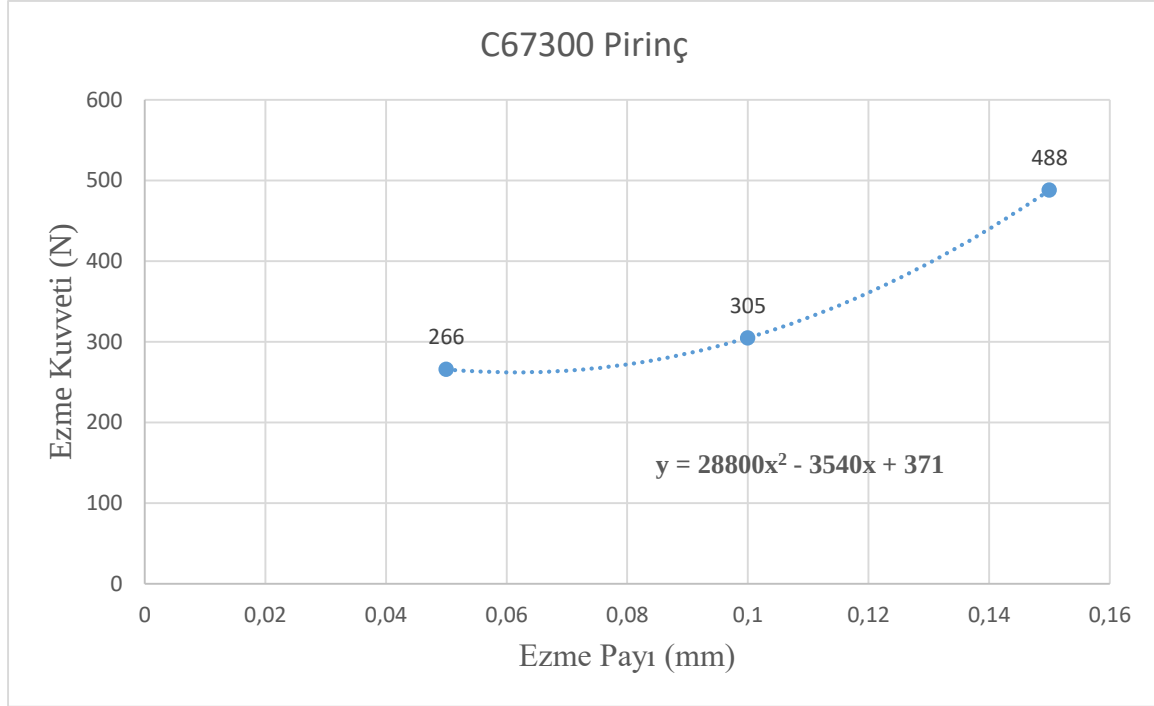
Şekil 5.13. AISI 1060 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği



Şekil 5.14. AISI 316L malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği



Şekil 5.15. Al 7075 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği

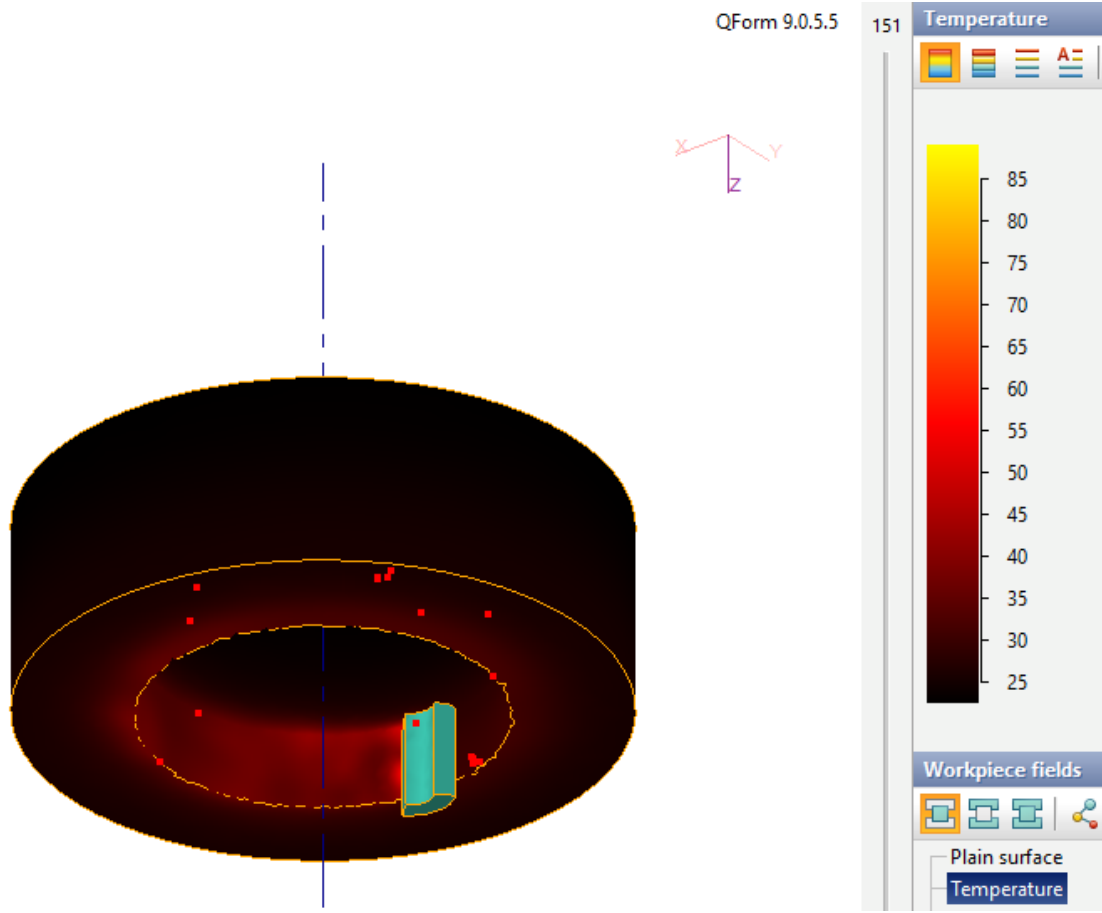


Şekil 5.16. C67300 malzemesinin ezme payı/ ezme kuvveti model grafiği

Modeller üzerinden istenilen ezme payı belirlenmek koşulu ile istenilen ezme payında oluşacak olan ezme kuvvetleri bu modeller üzerinden hesaplanabilmektedir.

Örnek verecek olursak AISI 1050 deney numunesi için bulunan denklem üzerinde ezme payının 0,08 mm olduğunu düşünelim. Bulunan denklemde “x” yerine 0,08 mm yazarsak elde edeceğimiz değer bizim için ezme kuvveti olacaktır. Bu da 380,4 N’luk bir ezme kuvveti gerektiğini göstermektedir.

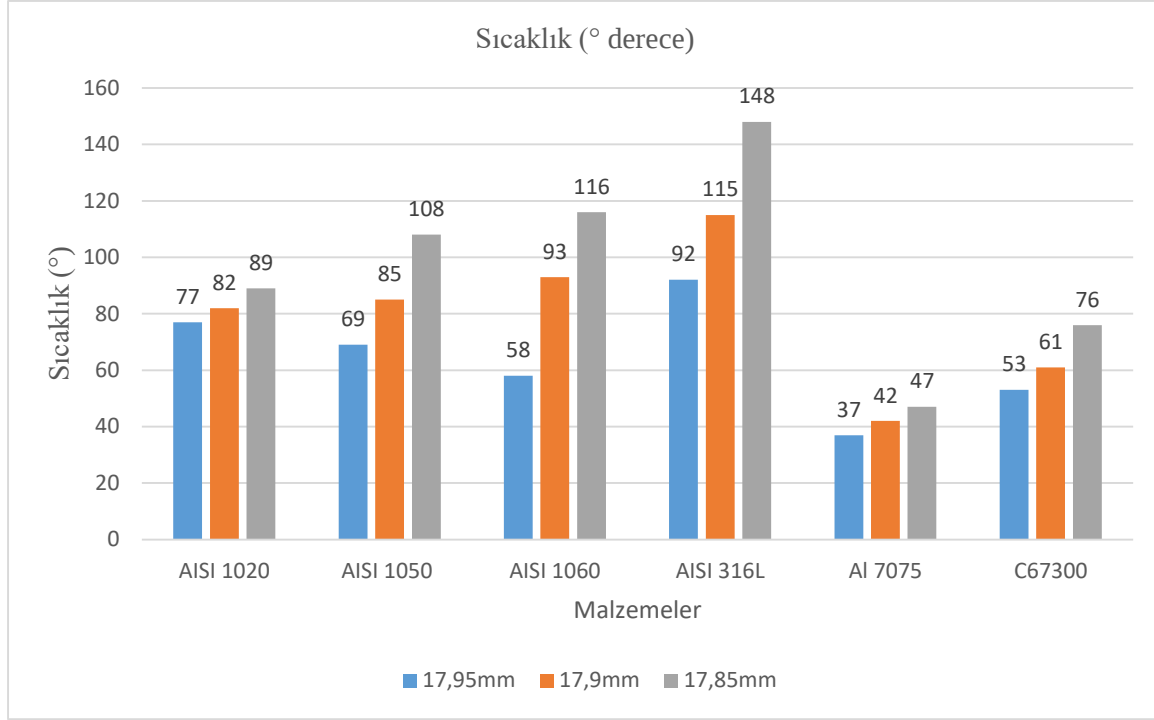
Ezme işlemi sırasında ezme takımının sürtünmesinden kaynaklı oluşacak olan sıcaklık değerleri ise Çizelge 5.7’de gösterilmiş olup Şekil 5.17’de program ara yüzünden görüntü verilmiştir.



Şekil 5.17. Ezme işlemi sırasında oluşan sıcaklık değeri

Çizelge 5.7. Ezme işlemi sırasında oluşan maksimum sıcaklık değerleri

Çap (mm)	Malzeme / Sıcaklık Değerleri (° Derece)					
	AISI 1020	AISI 1050	AISI 1060	AISI 316L	Al 7075	C67300
17,95	77°	69°	58°	92°	37°	53°
17,9	82°	85°	93°	115°	42°	61°
17,85	89°	108°	116°	148°	47°	76°



Şekil 5.18. Ezilen malzemeler için sıcaklık değişimleri

Ezme işlemi sırasında oluşan sıcaklık değişimleri Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Artan ezme payı ile birlikte oluşan sıcaklık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. En fazla oluşan sıcaklık değerinin AISI 316L malzemesinde olduğu tespit edilmiştir. En düşük sıcaklığın ise Alüminyum 7075’de olduğu görülmüştür. Çelik malzemeler birbiriyle kıyaslanacak olursa aynı ezme payları için en yüksek sıcaklığın AISI 316L’de en düşük sıcaklığın ise AISI 1060 numunesinde olduğu görülmüştür.

AISI 1050/ Ø17,95 mm deney numunesi üzerinden kalıntı gerilmesi ölçümü yapılmış olup ölçüm sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir. Kalıntı gerilmesi ölçümleri AISI 1050 malzeme üzerinde yapılmış olup torna işlemi yapıldıktan sonraki numunede ve Ø17,95 mm ezme işlemi yapılmış olan numunelerde yapılmıştır.

Çizelge 5.8. Kalıntı gerilmesi ölçüm sonuçları

Gerilme	Tornalama İşlemi Sonrası		Ezme işlemi sonrası		
Asal Gerilme	-78 MPa		-88,6 MPa		
Simülasyon Sonuçları					
AISI 1020	17,95 mm	-82,4 MPa	AISI 316 L	17,95 mm	-126,5 MPa
AISI 1020	17,90 mm	-110,7 MPa	AISI 316 L	17,90 mm	-175,3 MPa
AISI 1020	17,85 mm	-125,9 MPa	AISI 316 L	17,85 mm	-212,3 MPa
AISI 1050	17,95 mm	-96,2 MPa	Al 7075	17,95 mm	-45,8 MPa
AISI 1050	17,90 mm	-121,4 MPa	Al 7075	17,90 mm	-60,2MPa
AISI 1050	17,85 mm	-142,2 MPa	Al 7075	17,85 mm	-72,8 MPa
AISI 1060	17,95 mm	-101,3 MPa	C67300	17,95 mm	-85,3 MPa
AISI 1060	17,90 mm	-133,6 MPa	C67300	17,90 mm	-110,5 MPa
AISI 1060	17,85 mm	-149,8 MPa	C67300	17,85 mm	-120,3 MPa

Deneysel ölçüm sonucu ile simülasyon sonucu karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu kapsamda diğer malzemeler için de analizler yapılmış ve sonuçlar konulmuştur. Tornalama işleminde de malzeme bir basma kuvveti oluşmuş ancak ezme işlemi yapıldıktan sonra bu işlemin malzemede oluşturduğu basma gerilmesi değerinde bir artış olduğu görülmüştür. Bu beklenen bir sonuç olup ezme işleminin malzeme üzerinde bir basma kalıntı gerilmesi bırakması malzemenin yorulma direncinde bir iyileşme meydana getireceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ezme yöntemi ile tamamlanan delik yüzeylerinin kullanıldığı tüm alanlar değerlendirildiğinde ezme payının seçiminde takım üreticisinin önerisi doğrultusunda çaplar belirlenerek işlem yapıldığı görülmüştür. Ancak takım üreticilerinin önerileri kendi takımlarının özellikleri doğrultusunda olmakta ve çoğu zaman önerilen değerler hedeflenen sonuçlara ulaşmada yetersiz kalabilmektedir.

18mm çap için seçili delme çaplarına (17.85 mm, 17.90 mm ve 17.95 mm) ezme işlemi uygulanmış ve en iyi yüzey özellikleri malzeme özelinde aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü sonuçları incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değeri $R_a = 0,045 \mu m$ ile AISI 1050/ 17,90 mm deney numunesinde olduğu, yüzdesel değişim miktarı bakımından incelendiğinde ise AISI 1060/ 17,85 mm deney numunesinde en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Yüzey sertlik değerleri bakımından sonuçlar incelendiğinde en yüksek yüzey sertliğine yüzeye en yakın noktadan alınan ölçümde AISI 1060 deney numunesinde $\varnothing 17,85$ mm olan parçada ölçülmüştür.

Ezme işleminde parça ömrünü belirleyen en önemli parametrelerin biri olan kalıntı gerilim değerleri değerlendirildiğinde AISI 1050 karbon çeliği üzerinde X ışını ile yapılan kalıntı gerilim ölçümünde -88,6 MPa bulunan bu değer uygun analiz programında kullanılarak bu ve benzer malzemelerin farklı çaplarına ezme işlem yapıldığında nasıl bir kalıntı gerilimi oluşacağını ve miktarını bilerek parça ömrü değerlendirilebilir.

Ezilen yüzeylerden yapılan ölçümler ve analiz programı kullanılarak bulunan değerler kullanılarak oluşturulan denklemler kullanılarak her bir çapa işlem yapmadan hangi değerlerle karşılaşılacağı bilinerek işleme karar verilmesi daha verimli sonuçlar alınmasının yanı sıra oluşabilecek iş ve zaman kayıplarının önüne geçilerek ekonomik kayıpların engellenmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Klocke, F. and Mader, S. (2005). Fundamentals of the deep rolling of compressor blades for turbo aircraft engines. *Steel Research International*, 76(2-3), 229-235.
2. Has, E. (2007). *Bilyeli Perdahlama İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Simülasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
3. Aran, A. (1989). Makina parçalarının tasarım ve imalatında artık gerilmelerin önemi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 356, 5-9.
4. Hutchings, M. T. and Krawitz, A. D. (Eds.). (2012). *Measurement of residual and applied stress using neutron diffraction* (Vol. 216). Springer Science & Business Media, 115-130.
5. Gardin, C., Courtin, S., Bertheau, D., Bezine, G., and Ben Hadj Hamouda, H. (2007). The influence of roller burnishing on the fatigue crack propagation in notched round bars—Experimental observations under three-point bending. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 30(4), 342-350.
6. İnternet: Ezme takımı. URL: <https://cogsdill.co.uk>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2019
7. El-Tayeb, N. S. M., Low, K. O., and Brevern, P. V. (2007). Influence of roller burnishing contact width and burnishing orientation on surface quality and tribological behaviour of Aluminium 6061. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1-3), 272-278.
8. İnternet: Ezme takımı kullanımı ve ezme takımlarına ait örnekler. URL: <http://yamasa.com.tr/>, Son Erişim Tarihi: 25.04.2019
9. İnternet: Ezme takımı kullanım alanları ve ezme takım örnekleri. URL: <http://ecoroll.de>, Son Erişim Tarihi: 22.03.2019
10. İnternet: Ezme takımı kullanımı ve ezme takım örnekleri. URL: <http://yamato.com.tr>, Son Erişim Tarihi: 11.04.2019
11. İnternet: Lazer şoku ile ezme işlemi ve lazer ile ezme uygulamaları. URL: <http://lspstechnologies.com/>, Son Erişim Tarihi: 17.05.2019
12. Sokol, D. W., Clauer, A. H., Dulaney, J. L., and Lahrman, D. W. (2005, May). *Applications of laser peening to titanium alloys*. Paper presented at the Photonic Applications Systems Technologies Conference, Baltimore.
13. Lindemann, J., Buque, C., and Appel, F. (2006). Effect of shot peening on fatigue performance of a lamellar titanium aluminide alloy, *Acta Materialia*, 54, 1155–1164.
14. Cherif, A., Pyoun, Y., and Scholtes, B. (2010). Effects of ultrasonic nanocrystal surface modification (UNSM) on residual stress state and fatigue strength of AISI 304. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 19(2), 282-286.

15. Amanov, A., Cho, I. S., Pyoun, Y. S., Lee, C. S., and Park, I. G. (2012). Micro-dimpled surface by ultrasonic nanocrystal surface modification and its tribological effects. *Wear*, 286, 136-144.
16. Mahdieh, M. S., Rafati, E., and Kargar Sichani, S. (2013). Investigation of variance of roller burnishing parameters on surface quality by Taguchi approach. *Journal of Advanced Design and Manufacturing Technology*, 6(3), 77-81.
17. Gharbi, F., Sghaier, S., Al-Fadhalah, K. J., and Benameur, T. (2011). Effect of ball burnishing process on the surface quality and microstructure properties of AISI 1010 steel plates. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(6), 903-910.
18. Rababa, K. S. and Al-mahasne, M. M. (2011). Effect of roller burnishing on the mechanical behavior and surface quality of O_1 alloy steel. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3(3), 227-233.
19. Sayahi, M., Sghaier, S. and Belhadjsalah, H. (2013). Finite element analysis of ball burnishing process: comparisons between numerical results and experiments. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5-8), 1665-1673.
20. Balland, P., Tabourot, L., Degre, F., and Moreau, V. (2013). An investigation of the mechanics of roller burnishing through finite element simulation and experiments. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 65, 29-36.
21. Akkurt, A. (2011). Comparison of roller burnishing method with other hole surface finishing processes applied on AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(6), 960-968.
22. Akkurt, A., Kurt, A., Özdemir, A., and Şeker, U. (2014). Comparison of hole surface finishing processes with roller burnishing method applied in copper materials. *Gazi University Journal of Science*, 27(1), 721-734.
23. Akkurt, A. (2009, 13-15 Mayıs). *Delik Yüzeylerine Uygulanan Yüzey İyileştirme İşlemlerinin Alüminyum Alaşımı Malzemeler Üzerinde Araştırılması*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda sunuldu, Karabük.
24. Başak, H. ve Sönmez, F. (2015). Haddeleme İşleminde Haddeleme Aparat Tipinin (Bilyeli, Makaralı, Çift Makaralı) Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Sertliğine Etkilerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 18(3), 125-132.
25. Stöckmann, R. and Putz, M. (2019). Modelling of surface formation mechanism during burnishing of aluminium. *Procedia CIRP*, 82, 450-454.
26. Shiou, F. J., Huang, S. J., Shih, A. J., Zhu, J., and Yoshino, M. (2017). Fine surface finish of a hardened stainless steel using a new burnishing tool. *Procedia Manufacturing*, 10, 208-217.
27. Kaldunski, P., Patyk, R., Kukielka, L., Bohdal, L., Chodor, J., and Kulakowska, A. (2019, March). *Numerical Analysis and Experimental Researches of The Influence of Technological Parameters Burnishing Rolling Process on Fatigue Wear of Shafts*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.

28. John, M. S., Wilson, A. W., Bhardwaj, A. P., Abraham, A., and Vinayagam, B. K. (2016). An investigation of ball burnishing process on CNC lathe using finite element analysis. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 62, 88-101.
29. Revankar, G. D., Shetty, R., Rao, S. S., and Gaitonde, V. N. (2014). Analysis of surface roughness and hardness in ball burnishing of titanium alloy. *Measurement*, 58, 256-268.
30. Borkar, A. P., Kamble, P. S., and Seemikeri, C. Y. (2014). Surface integrity enhancement of Inconel 718 by using roller burnishing process. *Parameters*, 1(2), 3.
31. Qureshi, N. M., Patil Vaibhav, B., Teli Basavaraj, D., Mohite Radhika, S., and Patil Sonal, S. (2015). Analysis of effect of ball and roller burnishing processes on surface roughness on EN8 steel. *International Journal of Engineering Research of Technology*, 4(6), 311-315.
32. Deshmukh, A. and Patil, R. N. (2015). Analysis and optimization of roller burnishing process on cylindrical surface micro hardness of aluminium alloy. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(7), 6044-6055.
33. Hassan, A. M. and Al-Dhifi, S. Z. (1999). Improvement in the wear resistance of brass components by the ball burnishing process. *Journal of Materials Processing Technology*, 96(1-3), 73-80.
34. Saini, D., Kapoor, M., and Jawalkar, C. S. (2017). Parametric Analysis of Mild Steel Specimens Using Roller Burnishing Process. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 6(3), 45-51.
35. Solanki, R.G., Patel, A.K., and Dhruv, R.B. Effect of burnishing process parameters on surface quality- a review, *International Journal of Engineering Development and Research*, 4, 560-565.
36. Thamizhmnaii, S., Omar, B. B., Saparudin, S., and Hasan, S. (2008). Surface roughness investigation and hardness by burnishing on titanium alloy. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 28(2), 139-142.
37. Mahajan, D. and Tajane, R. (2013). A review on ball burnishing process. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(4), 1-8.
38. Jayakrishnan, J. and Suraj, R. (2014). Effect of roller burnishing process on tool steel material using CNC lathe. *International Journal of Design and Manufacturing Technology*, 5(3), 155-159.
39. Kamble, P. S. and Jadhav, V. S. (2012). Experimental study of Roller burnishing process on plain carrier of planetary type gear box. *Parameters*, 1(2), 3.
40. Luca, L. C. (2003). *Investigations into the use of ball-burnishing of hardened steel components as a finishing process*. PhD Thesis, University of Toledo, Ohio.
41. İnternet: Çelik özellikleri. URL: https://www.mib.org.tr/uploads/UserFile/Pdf/bb2_j03TptWY9K0xvTmufHdojBnUCGQNHrAj.pdf, Son Erişim Tarihi: 15.04.2019

42. İnternet: Kesici uç takımları ve kesici uçlara ait örnekleri URL:
<https://www.iscar.com.tr/>, Son Erişim Tarihi: 07.06.2019
43. İnternet: Matkap takımları ve matkap takımlara ait örnekler URL:
<https://www.karcan.com/>, Son Erişim Tarihi: 09.05.2019
44. İnternet: Ölçüm cihazları ve ölçüm cihazlarına ait örnekler URL:
<https://www.mahr.com/>, Son Erişim Tarihi: 17.05.2019
45. İnternet: Qform programının özellikleri ve kullanıcı ara yüzü URL:
<https://www.armadayazilim.com/>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDOĞAN, Barış Burak
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 11.10.1990 Kayseri/Kocasinan
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 05067628218
 e-mail : bburakaydogan1@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Teknoloji Fakültesi/ Endüstriyel Tasarım Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Erciyes Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2014
Lise	Kaya Beyazıtöğlü Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Milli Savunma Bakanlığı	Makine Mühendisi
2015-2016	Dolumsan Makina	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Aydoğan, B. B., Akkurt, A. and Özcan B. (2018, November). *AISI1020 Çeliğinin Ezme Parametrelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi*. Paper presented at the ISIDE 3rd International Symposium on Industrial Design and Engineering, Antalya.

Hobiler

Kampçılık, Yüzme



GAZİ GELECEKTİR..