

**SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 52100 MALZEMENİN
AŞINDIRICI DİSKLE KESİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Muhammed ELİTAŞ

**SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 52100 MALZEMENİN AŞINDIRICI DİSKLE
KESİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Muhammed ELİTAŞ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2015**

Muhammed ELİTAŞ tarafından hazırlanan “SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 52100 MALZEMENİN AŞINDIRICI DİSKLE KESİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/ 06/ 2015

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)
Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)
Üye : Yrd. Doç. Dr. Yakup TURGUT (GÜ)

...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Muhammed ELİTAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SERTLEŞTİRİLMİŞ AISI 52100 MALZEMENİN AŞINDIRICI DİSKLE KESİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Muhammed ELİTAŞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Haziran 2015, 84 sayfa

Bu çalışmada, tasarım ve imalatı gerçekleştirilen abrasif kesme makinesi yardımıyla AISI 52100 rulman çeliğinin kesilebilirliği araştırılmıştır. Kesme işlemi için aşındırıcı bir disk kullanılmıştır. Numuneler kesme işlemi öncesinde ısıl işlem uygulanarak sertleştirilmiştir. Sertleştirilen parçaların, tarama optik mikroskobu ile mikroyapıları incelenmiştir. Kesme deneyleri 1600, 1800, 2000, 2200 dev/dk'da ve 5, 10, 15, 20 mm/dk ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen deneyler, kesme sıvısı kullanılarak tekrarlanmıştır. Kesme işlemi sonrasında kesilen yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiş ve makro sertlikleri incelenmiştir. İlerleme hızı düşüldükçe ve devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri düşmüştür. Kesilen yüzeyden uzaklaştıkça numunelerin sertliği artmıştır. Kesme sıvısı kullanılmadan yapılan deneylerde ilerleme hızı ve devir sayısı arttıkça numunelerin yüzey katmanlarının sertliği azalmıştır.

Kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde ise ilerleme hızı arttıkça numunelerin yüzey katmanlarının sertliği artmıştır.

Anahtar Szckler : AISI 52100, abrasif kesme, ısıl işlem, yüzey przllğ.

Bilim Kodu : 708.3.028

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

AN INVESTIGATION INTO THE CUTTING OFF OF HARDENED AISI 52100 MATERIAL BY ABRASIVE DISC

Muhammed ELİTAŞ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

June 2015, 84 pages

In this study, cutting of AISI 52100 material was carried out on a designed and manufactured abrasive cutting device. An abrasive disc was used to perform the cutting operation. The specimens were hardened through heat treatment before the cutting operation. Microstructures of the hardened specimens was examined by an optical microscope. Cutting tests were carried out at 1600, 1800, 2000 and 2200 rev/min disc revolution speeds and at 5, 10, 15, 20 mm/min feed rates. The cutting tests were carried out with and without a cutting fluid. After the cutting tests, surface roughness and macro hardness of the cut surface layer were determined. Surface roughness values were found to decrease with decreasing feed rate and increasing disc revolution speed. Hardness of the specimens increased as the distance from the cut surface increased. Hardness of the surface layer of the specimens decreased with increasing feed rate disc revolution speed when cutting dry. On the other hand, hardness of the surface layer increased with increasing feed rate when cutting with cutting fluid.

Key Word : AISI 52100, abrasive cutting, heat treatment, surface roughness.
Science Code : 708.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşturulmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışman hocam Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Tansel TUNÇAY ve Öğr. Gör. Dr. Mehmet BOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca yardımcı olan Arş. Gör. Yusuf AYAN'a, Arş. Gör. Mehmet Akif ERDEN'e, lisans öğrencilerime, ısıl işlem çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen Bodycote Istaş A.Ş. çalışanlarından Metalürji ve Malzeme Mühendisi Kamil DOĞRU Beye ve ÖYP programı kapsamında tez çalışmamda destek sağlayan Yükseköğretim Kuruluna teşekkür ederim. Ayrıca beni bugünlere getiren anne ve babama, tez çalışmasında hep yanımda hissettiğim biricik eşim Medine Nur'a şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1. AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİ, AŞINDIRICILARLA KESME, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY TOLERANSI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRME	2
BÖLÜM 3.	9
GENEL BİLGİLER	9
3.1. ABRASİF KESME.....	9
3.1.1. Abrasif Aşınmada Yüzeyden Malzeme Kaybı	10
3.1.2. Abrasif Aşınmayı Etkileyen Faktörler	12
3.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	12
3.2.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü	13
3.2.2. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü	14
3.2.3. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri.....	14
3.2.3.1. Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı.....	14

	<u>Sayfa</u>
3.2.3.2. Ortalama Çizgisi	15
3.2.3.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra).....	15
3.2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar.....	16
3.2.5. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler	16
3.3. GEOMETRİK TOLERANSLAR.....	17
3.3.1. Doğrusallık Toleransı	19
3.3.2. Düzlemsellik Toleransı.....	20
3.3.3. Dairesellik Toleransı.....	20
3.3.4. Silindiriklik Toleransı.....	21
3.3.5. Diklik Toleransı	21
3.3.6. Paralellik Toleransı.....	22
3.3.7. Açısallık (Eğrilik) Toleransı	22
3.3.8. Eş Eksenlilik Toleransı	23
3.3.9. Simetriklik Toleransı	23
3.3.10. SalgıToleransı	24
3.4. ISIL İŞLEM.....	25
3.4.1. Tavlama	26
3.4.2. Çökelme Sertleşmesi	26
3.4.3. Yüzey Sertleştirme.....	27
3.4.3.1. Karbürleme	27
3.4.3.2. Nitrürleme	27
3.4.3.3. Karbonitrürleme	28
3.4.3.4. Kromlama ve Borlama.....	28
3.4.4. Martenzitik Sertleştirme (İslah İşlemi).....	28
3.4.4.1. İslah İşlemine Tabi Tutulan Mühendislik Çelikleri	29
BÖLÜM 4.	31
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
4.1. ABRASİF KESME MAKİNESİNİN TASARIMI.....	31

4.2. ABRASİF KESME MAKİNESİNİN YAPIMINDA KULLANILAN PARÇALAR.....	33
4.2.1. Şase.....	33
4.2.2. Tabla.....	33
4.2.3. Z Eksen Hareket Modülü	34
4.2.4. Lineer Kızak Alt Destekleri	34
4.2.5. Vidalı Mil Somun Gövdesi	34
4.2.6. Vidalı Mil	34
4.2.7. Disk Flanşı	35
4.2.8. Lineer Kızak ve Araba	35
4.2.9. Step Motor	36
4.2.10. Kesici Disk Motoru	39
4.2.11. Kesme Sıvısı Pompası ve Haznesi.....	39
4.2.12. Step Motor Mil Bağlantısı Aparatı (Kaplin).....	40
4.2.13. Elektronik Donanım	40
4.2.14. Kesme Diski	42
4.3. ABRASİF KESME MAKİNESİNİN MONTAJI	43
4.4. AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİ VE KESME İŞLEMİ ÖNCESİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	44
4.4.1. AISI 52100 Rulman Çeliği	45
4.4.2. Tormalama İşlemi	45
4.4.3. Islah Isıl İşlemi	47
4.4.4. Sertlik Ölçümü.....	47
4.4.5. Mikroyapı	48
4.5. KESİLEBİLİRLİK ÇALIŞMALARI VE KESME İŞLEMİNDEN SONRA GERÇEKLEŞTİRİLEN İŞLEMLER	49
4.5.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	49
4.5.2. Makro sertlik Ölçümü.....	50
BÖLÜM 5.	51
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	51
5.1. MİKROYAPI ANALİZİ	51
5.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ.....	53

	<u>Sayfa</u>
5.3. MAKROSERTLİK DEĞERLERİ	60
BÖLÜM 6.	65
6.1. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	67
EK AÇIKLAMALAR A. MAKİNEYİ OLUŞTURAN PARÇALARIN YAPIM RESİMLERİ VE MAKİNENİN 2 BOYUTLU MONTAJ RESMİ.....	70
ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Abrasif aşınmanın oluştuğu tribolojik sistemler	9
Şekil 3.2. İki ve üç cisimli abrasif aşınmanın şematik gösterimi	10
Şekil 3.3. Tek bir abrasif ucun üzerinden geçmesi ile malzemede oluşan aşınma mekanizmaları	11
Şekil 3.4. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu	15
Şekil 3.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi	15
Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler.....	17
Şekil 3.7. Doğrusallık toleransı	19
Şekil 3.8. Düzlemsellik toleransı.....	20
Şekil 3.9. Dairesellik toleransı	20
Şekil 3.10. Silindiriklik toleransı	21
Şekil 3.11. Diklik toleransı	22
Şekil 3.12. Paralellik toleransı	22
Şekil 3.13. Açısallık toleransı	23
Şekil 3.14. Eş eksenlilik toleransı	23
Şekil 3.15. Simetriklik toleransı.....	24
Şekil 3.16. Toplam salgı toleransı	24
Şekil 4.1. Abrasif kesme makinesinin montaj tasarımı	32
Şekil 4.2. Abrasif kesme makinesinin kapalı montaj tasarımı	32
Şekil 4.3. Lineer kızak ve arabanın şematik görünümü	35
Şekil 4.4. Step motorun şematik görünümü	38
Şekil 4.5. GD 10 serisi inverterin boyutları, kontrol ve ana devresi.....	40
Şekil 4.6. Güç kaynağının şematik resmi.	42

Sayfa

Şekil 4.7. Abrasif kesme makinesi	44
Şekil 4.8. Abrasif kesme makinesinin kapalı görünüşü	44
Şekil 4.9. Kesilecek parçanın teknik resmi	46
Şekil 4.10. Qness GmbH Q10M model sertlik ölçüm cihazı.....	48
Şekil 5.1. Deneyleerde kullanılan 52100 rulman çeliğinin mikroyapısı.....	51
Şekil 5.2. Kesme sıvısı kullanılmadan 1600 dev/dk da elde edilen Ra değerleri	53
Şekil 5.3. Kesme sıvısı kullanılmadan 1800 dev/dk da elde edilen Ra değerleri	54
Şekil 5.4. Kesme sıvısı kullanılmadan 2000 dev/dk da elde edilen Ra değerleri	55
Şekil 5.5. Kesme sıvısı kullanılmadan 2200 dev/dk da elde edilen Ra değerleri	56
Şekil 5.6. Kesme sıvısı kullanılarak 1600 dev/dk da elde edilen Ra değerleri	57
Şekil 5.7. Kesme sıvısı kullanılarak 1800 dev/dk da elde edilen Ra değerleri	58
Şekil 5.8. Kesme sıvısı kullanılarak 2000 dev/dk da elde edilen Ra değerleri	59
Şekil 5.9. Kesme sıvısı kullanılarak 2000 dev/dk da 10 mm/dk ilerleme hızında kesilen parça.....	60
Şekil 5.10. Kesme sıvısı kullanılmadan farklı devirlerde elde edilen sertlik değerleri.....	61
Şekil 5.11. Kesme sıvısı kullanılarak farklı devirlerde elde edilen sertlik değerleri.....	63
Şekil Ek A.1. Abrasif kesme makinesinin 2 boyutlu montaj resmi	71
Şekil Ek A.2. Abrasif kesme makinesinin 2 boyutlu montaj resmi bilgileri.....	72
Şekil Ek A.3. Step motor plakasının yapım resmi	73
Şekil Ek A.4. Motor flanşının yapım resmi	74
Şekil Ek A.5. Tablanın yapım resmi	75
Şekil Ek A.6. Z ekseni kızığının yapım resmi.....	76
Şekil Ek A.7. Düz kızak plakasının yapım resmi.....	77
Şekil Ek A.8. Kızakların plakasının yapım resmi	78
Şekil Ek A.9. Düz plakanın yapım resmi	79
Şekil Ek A.10. Ayakların yapım resmi	80
Şekil Ek A.11. Yan plakaların yapım resmi.....	81
Şekil Ek A.12. Şasenin yapım resmi.....	82
Şekil Ek A.13. Motor flanşı kapağının yapım resmi.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Pürüzlülük değerleri ve sınıf numaraları.....	13
Çizelge 3.2. Geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma	19
Çizelge 4.1. Lineer kızak ve arabanın ölçüleri.....	36
Çizelge 4.2. Step motorların diğer elektrik motorlarıyla karşılaştırılması.....	37
Çizelge 4.3. Step motorun teknik özellikleri.....	39
Çizelge 4.4. GD 10 serisi inverterin teknik özellikleri.....	41
Çizelge 4.5. Numunenin sertlik değerleri	47
Çizelge 4.6. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	50
Çizelge 5.1. 1600 dev/dk da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	53
Çizelge 5.2. 1800 dev/dk da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	54
Çizelge 5.3. 2000 dev/dk da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	55
Çizelge 5.4. 2200 dev/dk da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri	56
Çizelge 5.5. Kesme sıvısı kullanılarak 1600 dev/dk da elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.....	57
Çizelge 5.6. Kesme sıvısı kullanılarak 1800 dev/dk da elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.....	58
Çizelge 5.7. Kesme sıvısı kullanılarak 2000 dev/dk da elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.....	59
Çizelge 5.8. Kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen kesme işleminde elde edilen makro sertlik değerleri.....	61
Çizelge 5.9. Kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen kesme işleminde elde edilen makro sertlik değerleri.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- Ra : Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
Rz : Ortalama pürüzlülük derinliği
Rmax : Maksimum tepe yüksekliği
N : Pürüzlülük sınıfı numarası
L : Örnekleme uzunluğu
Ln : Ölçüm uzunluğu
Y : Ortalama eksen çizgisinden bağımsız dikeydeki yer değiştirmeler
Al₂O₃ : Alüminyum oksit
SiC : Silisyum karbür

KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
KBN : Kübik Bor Nitrür
SEM : Scanning Electron Microscope (Tarama Elektron Mikroskobu)
TTT : Time-Temperature-Transformation Diagram (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm Diyagramı)
HV : Vickers Hardness (Vickers Sertliği)
HRC : Rockwell-C Hardness (Rockwell-C Sertliği)
HSS : High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

100Cr6 rulman çeliği olarak da bilinen AISI 52100 çeliği; kollu kılavuzlarda, freze çakılarına, millerde, burçlarda, yataklarda, rulman bileziği ve bilyelerinde, damgalama araçlarında, dişli takımlarda, ölçü aletlerinde, pimlerde, sıkma bileziklerinde, vidalarda, tezgah motor ve pompa parçalarında, makaralarda, silindir gömleklerinde, ve hidrolik ekipman parçalarında kullanımı geniş olan bir çelik türüdür [1].

Rulman çelikleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ağırlıklı olarak sertleştirilmiş rulman çelikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Rulman çeliğini kesme işlemi de bu çalışmalarla alakalı önemli bir konudur. Rulman çeliğini kesme işleminin minimum maliyetle gerçekleştirilmesi, kesme işleminin parça özelliklerini olumsuz etkilememesi ve kesme işlemi sonucunda parçada istenilen toleransların elde edilmesi çok önemlidir. İstenilen toleranslarda kesme işlemini gerçekleştirebilecek ve maliyet anlamında kazanım sağlayacak kesme makinesinin imalatı da bu bakımdan büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda yüzey kalitesinden ödün verilmeden maliyet açısından sağlanacak iyileştirme genel anlamda önemli kazanımları sağlar.

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin kesme işlemini gerçekleştirmek için bilgisayar kontrollü aşındırıcı diskle kesme makinesi imalatı gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, kesme işleminden önce istenilen boyutlara getirilen AISI 52100 rulman çeliği ısıtılma tabi tutularak sertleştirilmiştir. İstenilen sertlik değerine sahip olan AISI 52100 rulman çeliği numunelerinin aşındırıcı diskin farklı devir sayılarında ve tablanın farklı ilerleme değerlerinde kesilebilirlikleri incelenmiştir. Kesilen parçaların ortalama yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiş ve mikroyapı analizi gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, bu tez çalışmasına ait kaynaklar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Literatür araştırmasında aşındırıcılarla kesme, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey toleransı ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİ, AŞINDIRICILARLA KESME, YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY TOLERANSI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRME

Neugebauer vd. abrasif kesmede takım aşınmasını azaltmak için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Al_2O_3 esaslı 3 farklı tane boyutuna sahip aşındırıcı disk kullanılarak kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda en uzun takım ömrünün kübik taneli kesici diskle sağlandığı belirtilmiştir. Kübik taneli kesici disk için daha yüksek tane dayanımı ve bağlayıcı maddenin daha iyi adezyonunun takım ömrünün uzun olmasını sağladığı belirtilmiştir. Sivri taneli kesici diskte ise ilgili kuvvet ve sıcaklıkta düşük kesme gerilmesi değeri elde edilmesinin önemli bir avantaj sağladığı ifade edilmiştir. Gerilme arttığında bağlayıcı madde hatasının hızlandığı belirtilmiştir [2].

Anderson vd. aşındırıcılarla kesme işlemi ile ilgili deneysel gözlemleri ve sonlu elemanlar yöntemini birleştiren bir çalışma yapmışlardır. İş parçası malzemesi olarak AISI 4340 çeliği kullanılmıştır. Yarıçapı 0,508 mm olan küresel biçimli elmas kesici takım kullanılmıştır. Deneyde kesme hızı 5-30 m/s, kesme derinliği 0,3-7,5 mikrometre aralığında seçilmiştir. Sonuç olarak, kesme hızı arttığında normal kuvvetler artarken, teğetsel kuvvetlerin azaldığı belirtilmiştir. Kesme hızının arttırılmasının kesme mekanizmasında değişiklik meydana getirdiği belirtilmiştir. Kesme hızı arttırıldığında kesilmemiş talaş kalınlığındaki elastik deformasyondan

plastik deformasyona geçişin arttığı ifade edilmiştir. Bütün bu sonuçlardan sonra düşük kesilmemiş talaş kalınlığı değerinde saf sürtünme meydana geldiği, talaş kalınlığı arttırıldığında sürtünme oranının azaldığı ve talaş kalınlığı daha çok arttırıldığında kesmenin başlayıp sürtünmenin azaldığı belirtilmiştir [3].

Anderson vd. hibrit Euler-Lagrange sonlu eleman metodunu kullanarak 3 boyutlu aşındırıcı tane kesme modelini geliştirmişlerdir. Bu modelin taşlama operasyonu boyunca meydana gelen mikro mekanik kesmeyi daha iyi anlayabilmek için geliştirildiği belirtilmiştir. İdeal aşındırıcı taneleri temsil etmek için aşındırıcı disk formunda 2 kesici takım geometrisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada; yuvarlak burunlu takım, aşındırıcı tanelerin büyüklüğü için kullanılmıştır. Düz burunlu takımlar aşındırıcı tanelerin büyüklüğü ve aktif kesici kenar biçimi için kullanılmıştır. Bu modelde; malzeme akışının önceki 2 boyutlu modellerin tahminine göre daha karmaşık geliştirildiği belirtilmiştir. Geliştirilen modelin; aşındırıcı tanelerin kesme işlemine, işlem parametrelerini seçmeye, aşındırıcı diskin tasarımına izin verebilecek şekilde tasarlandığı belirtilmiştir. Bu doğrultuda, iş parçası kalitesinin gelişmesine ve imalatçılar için maliyetlerin düşmesine izin verdiği ifade edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, yuvarlak burunlu kesici takım kullanıldığında daha küçük aşındırıcı tanelerin, daha yüksek kesme hızlarının ve daha düşük kesme derinliğinin daha düşük kuvvetler meydana getirdiği ve yüzey gerilme alanlarının büyüklüğünü azalttığı belirtilmiştir. Fakat tane boyutundaki azalmayla orantılı olarak gerilmelerin arttığı belirtilmiştir. Yüzey gerilmelerinin hacmini azaltma ve talaş biçimini iyileştirme yönüyle düz burunlu kesici takımın yuvarlak burunlu kesici takıma göre sisteme daha iyi adapte edildiği belirtilmiştir [4].

Anderson vd. 2 farklı aşındırıcı tane geometrisinin kesme işlemini, deneysel çalışmalar ve sonlu elemanlar modelini kullanarak karşılaştırmışlardır. Küresel takım kör aşındırıcı olarak kullanılmıştır. Kesik konik biçimli takım ise iyi tanımlanmış kesici kenarlı aşındırıcı olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak, 2 takımın da benzer normal ve teğetsel kuvvetler meydana getirdiği ve kesme derinliğinin yaklaşık olarak 3 mikrometre olduğu belirtilmiştir. Kesik konik biçimli takımında küresel takıma göre birim genişlikteki normal kuvvetin azaldığı fakat birim genişlikteki teğetsel kuvvetin arttığı belirtilmiştir. Kesme işleminin verimliliği, gerilmenin dağılışı karşılaştırılarak

sonlu elemanlar metoduyla doğrulanmıştır. Kesik konik biçimli takımın, yıılmayı azaltma ve gerilmenin dağılımını düzeltme bakımından daha verimli olduğu, minimum yer değiştirme için gerekli enerjinin tane biçiminden bağımsız olduğu belirtilmiştir. Sonlu eleman modelinde; sürtünme enerjisinin katkısının küresel takımda yüksek, konik takımda düşük olduğu ifade edilmiştir [5].

Saraçyakupoğlu, iki farklı malzeme türü üzerinde hassas yüzey elde etmek için aşındırıcı su jeti ile kesme işlemi gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada BS 7191 355 EMZ ve ASTM A516 Gr.60 çelikleri; malzeme türü, basınç, ilerleme hızı ve su jeti çapı değiştirilerek karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda yüzey kalitesi incelenerek bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 3300 bar basınç, 20 mm/dk ilerleme hızı ve 1 milimetrelik nozul çapı kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde, BS 7191 355 EMZ çeliğinde ASTM A516 Gr.60 çeliğine göre daha iyi yüzey elde edildiği belirtilmiştir. Aynı malzeme türünde basınç, ilerleme hızı ve nozul çapı azaldıkça yüzey kalitesinin daha da arttığı ifade edilmiştir [6].

Coşansu, kolemanit ve zeolit tozlarının, aşındırıcı su jeti ile kesmede aşındırıcı olarak performanslarını garnet aşındırıcı performansını esas alarak değerlendirmiştir. Bu doğrultuda Al7075, mermer, cam, Ti6Al4V ve kompozit malzeme aşındırıcılarla kesilmiştir. Yapılan testlerde ilerleme hızı ve aşındırıcı debisinin yüzey özelliklerine olan etkisi de belirlenmiştir. Çalışmada kolemanit belirli oranlarda garnet ile karıştırılmıştır. Saf garnet ile karışım, gerçekleştirilen testlerle yüzey özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Karışımında kolemanit katkısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri ve kesme profili koniklik açılarında artış olduğu belirtilmiştir. Kolemanitle yapılan kesimlerde düşük ilerleme hızlarında hem kesme-aşınma bölgesinde hem de deformasyon aşınma bölgesinde daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edildiği; fakat yüzey kalitesindeki değişimin, deformasyon aşınma bölgesinde daha fazla olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, düşük ilerleme hızlarında küçük koniklik açısı sağladığı, aşındırıcı debisindeki artışın da pürüzlülük ve dalgalılık değerlerinde azalma sağlarken koniklik açısında iyileşme sağladığı belirtilmiştir [7].

Akkurt, endüstriyel olarak yaygın kullanılan metalik malzemelerin aşındırıcı su jeti ile kesilmesinde elde edilen yüzey özelliklerini ve farklı kesme yöntemleriyle kesilen

bu malzemelerde metalürjik özelliklerde meydana gelen değişimleri değerlendirmiştir. Ticari saf alüminyum, Al-6061 alüminyum alaşımı, pirinç-353, Ç 1030 düşük karbonlu imalat çeliği, D3 soğuk iş takım çeliği, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemelerden hazırlanan 5, 10, 15, 20 mm kalınlığındaki numuneler, işleme parametrelerinden yanal hız değişken diğer parametreler ise sabit tutularak aşındırıcı su jeti ile kesilmiştir. Elde edilen yüzeylerin yüzey özellikleri incelenerek, kesme önü geometrisinin karakterize edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, aynı malzemelerden 20 mm kalınlığındaki numuneler freze, şerit testere, oksijen alevi, lazer, plazma, su altı plazma, tel erozyon ve aşındırıcı su jetiyle kesme olmak üzere 8 farklı yöntemle ayrı ayrı kesilmiştir. Kesilen numunelerin tamamında, yüzeylerin üst bölgesinde nispeten daha düzgün yüzey özellikleri elde edilirken, alt bölgesinde eğrisel-çizgisel izler şeklinde oluşan yüzey dalgalanmalarının derinliği ve buna bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmiştir. Farklı yöntemlerle kesilen 20 mm kalınlığındaki numunelerin kesilen bölgedeki metalürjik özellikleri ve sertlik değişimleri dikkate alındığında en verimli kesme yönteminin aşındırıcı su jeti ile kesme olduğu belirtilmiştir. 5 mm kalınlığındaki pirinç-353, Ç 1030 düşük karbonlu imalat çeliği, D3 soğuk iş takım çeliği ve AISI 304 östenitik paslanmaz çelik numuneler ayrı ayrı değerlendirildiğinde, malzeme kalınlığındaki artışa bağlı olarak yüzeyde eğrisel-çizgisel izler halinde oluşan dalgalanmaların derinliği ve buna bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğünün arttığı ifade edilmiştir. 5 mm kalınlığındaki pirinç ve çelik grubu malzemelerde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin diğer kalınlıktaki malzemelere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde aşındırıcı su jeti ile kesilen bu malzemelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ticari saf alüminyum için $4,725 \mu\text{m} \sim 4,9 \mu\text{m}$, Al 6061 alüminyum alaşımı için $4,55 \mu\text{m} \sim 4,65 \mu\text{m}$, pirinç-353 için $2,65 \mu\text{m} \sim 3,475 \mu\text{m}$, Ç 1030 düşük karbonlu imalat çeliği için $2,79 \mu\text{m} \sim 3,55 \mu\text{m}$, D3 soğuk iş kalıp çeliği için $3,35 \mu\text{m} \sim 4,55 \mu\text{m}$ ve AISI 304 paslanmaz çelik için $2,66 \mu\text{m} \sim 2,8 \mu\text{m}$ civarında bulunduğu ifade edilmiştir. Tavsiye edilen hızlarda ve 20 mm/dk hızda kesilen numunelerin yüzey özellikleri değerlendirildiğinde işleme parametrelerinden yanal hızın, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin oldukça düşük olduğu belirtilmiştir [8].

Sevim, çeliklerin abrasif aşınmasında aşındırıcı tane büyüklüğünün aşınma direncine olan etkisini araştırmıştır. Bu amaçla 1010, 1030, 1040, 1050 ve 50CrV4 çeliklerini

deney malzemesi olarak kullanmıştır. Ayrıca bu çalışmada kaynak işlemi sonrası gevrek bir kaynaklı bölgenin olduğu kaynaklı bağlantılardaki aşınmanın da incelendiği belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda aşınma direncinin aşındırıcı tane çapına bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Aşındırıcı tane çapı, basınç ve sertliğin de fonksiyonu olan ampirik aşınma direnci bağıntıları elde edilmiştir. Çalışmada aşınma direnci ve sertlik arasındaki ilişkiye bağlı olarak 1. bölge ve 2. bölge olmak üzere 2 bölge belirtilmiştir. Bu doğrultuda izafi aşınma direncinin 1. bölgede aşındırıcı tane çapından bağımsız olduğu belirtilmiştir. 2. bölgede ise, izafi aşınma direncinin aşındırıcı tane çapına bağlı olduğu elde edilen ampirik denklemlerle ortaya konmuştur. 2. Bölgede kaynaklı parçalarda gevrekleşmiş kaynak bölgesinin kırılma tokluğunun aşınma direncine olan etkisini belirleyen ampirik bağıntılar geliştirildiği belirtilmiştir [9].

Çelik, laboratuvarında üretilen ZA-27 alaşımı ile piyasadan tedarik edilen $CuSn_{10}$ bronzunun abrasif aşınma performanslarını bir deney düzeneği yardımıyla karşılaştırmıştır. Dönme hızı, % SiC oranı, uygulanan yük, deney süresi, tane boyutu gibi değişkenlerin alaşımların aşınma performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, ZA-27 alaşımının $CuSn_{10}$ bronzundan daha iyi abrasif aşınma performansı sergilediği belirtilmiştir. Devir sayısı ve tane boyutu arttıkça alaşımların aşınma dayanımının düştüğü, uygulanan yük ve % SiC oranı arttıkça ZA-27 alaşımının ve $CuSn_{10}$ bronzunun aşınma miktarlarının arttığı belirtilmiştir. Her iki alaşımda da sürtünme kuvveti değerlerinin düzensiz bir davranış sergilediği ve sürtünme kuvveti değerlerinin uygulanan yük arttıkça arttığı belirtilmiştir [10].

Marteau vd. AISI 316L çeliğine ultrasonik bilyeli dövme işlemini uygulayarak yüzey sertliği ve pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi gösteren bir çalışma yapmışlardır. Farklı işlem parametreleri kullanılarak, yüksek yüzey pürüzlülüğüne rağmen malzemenin sertliğinin belirlendiği, girinti büyüklüğünün etkisinin karakterize edildiği ve aynı bulunduğu belirtilmiştir. Çünkü girinti büyüklüğünün işlem parametrelerinden bağımsız olduğu ifade edilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve standart sapma değerlerinin, girinti değerinde lineer ilişki gösterdiği ifade edilmiştir. Bu durumun önceki bulunan sonuçları doğruladığı belirtilmiştir. Hesaplanan sertlik değerleri kullanılarak, ultrasonik bilyeli dövme işlemi uygulanan numuneler için sertlik ve

pürüzlülük arasındaki en iyi ilişki araştırılmıştır. Çeşitli yüzey pürüzlülük parametrelerinin farklı fitreler ve kesme uzunlukları kullanılarak hesaplandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak; 5 girinti nokta yüksekliği parametresi, 100 µm kesme uzunluğuna sahip yüksek geçişli filtre kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değer, ultrasonik bilye işleme tabi tutulan numuneler için yüzey pürüzlülüğü ve sertliği arasındaki en iyi ilişkiyi verdiği belirtilmiştir. Sonuç olarak, belirlenen ilişkinin referans alınan numunedeki pürüzlülüğü sağlam bir şekilde tahmin ettiği ve böylece modeli doğruladığı belirtilmiştir [11].

Silberschmidt vd. bakır, alüminyum, paslanmaz çelik, nikel ve titanyum esaslı alaşımlar için yüzey pürüzlülüğü üzerinde ultrasonik destekli tornalama işleminin etkisini analiz etmişlerdir. İşlem parametrelerinin etkisi geleneksel tornalama ve ultrasonik destekli tornalama için araştırılmıştır. Böylece her malzeme için optimum değişim aralığı sağlandığı ve yüzey pürüzlülüğü ile olan ilişkisinin belirlendiği ifade edilmiştir. Sonuç olarak bütün çalışılan alaşımlar için yüzey pürüzlülüğünde fark edilir gelişmeler görüldüğü belirtilmiştir. Bu durumun ana sebebinin kesme kuvvetlerindeki azalmadan kaynaklandığı vurgulanmıştır. Kullanılan kesme parametrelerinin bütün kombinasyonları için bu sonucun görüldüğü belirtilmiştir [12].

Ballıkaya, 100Cr6 rulman çeliğinin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemiyle işlenebilirliğini incelemiştir. Tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemi kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; iş parçası devri, kesici takım devri, aksel ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kesme parametrelerinden kesici takım devri ve iş parçası devrinin belli bir değere kadar artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği bu değerden sonraki değerlerde tekrar arttığı belirtilmiştir. En iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin her 2 parametrenin ikinci seviyelerinde elde edilen 0,82 µm olarak taşlamaya yakın bir değer olduğu belirtilmiştir. Kesme derinliğinin ve aksel ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı ifade edilmiştir. En uygun seviyelerin birinci seviyeler olduğu gözlemlenmiş, bu değer 0,82 µm'den talaş derinliği ve aksel ilerleme miktarı arttıkça 3,2 µm'ye kadar arttığı belirtilmiştir. Ayrıca tüm şartlarda yüzey kalitesi için optimum değer sağlayan

bir formül geliştirildiği belirtilmiştir. Bu işlem ile elde edilen yüzey kalitelerinin uygun kesme parametreleri kullanıldığında taşlama işlemine gerek kalmaksızın imalatta iyi bir yüzey kalitesi oluşturduğu, böylece tek bir bağlamada parçalara nihai kalitenin verilebileceği, zaman ve maliyetin bu şekilde azaltılabileceği belirtilmiştir[13].

Literatür araştırmasında çalışmanın amacı doğrultusunda bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmeyle genel anlamda aşağıda belirtilen hususların ön plana çıktığı görülmektedir:

Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, devir sayısı gibi kesme parametrelerinin yanında aşındırıcı cinsi, aşındırıcı boyutu gibi değişkenlerinde aşındırıcılarla kesme işleminde kesmenin verimliliği üzerinde çok büyük öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda, kesme sonucunda elde edilen yüzeyin kalitesi, yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal doğruluğu ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

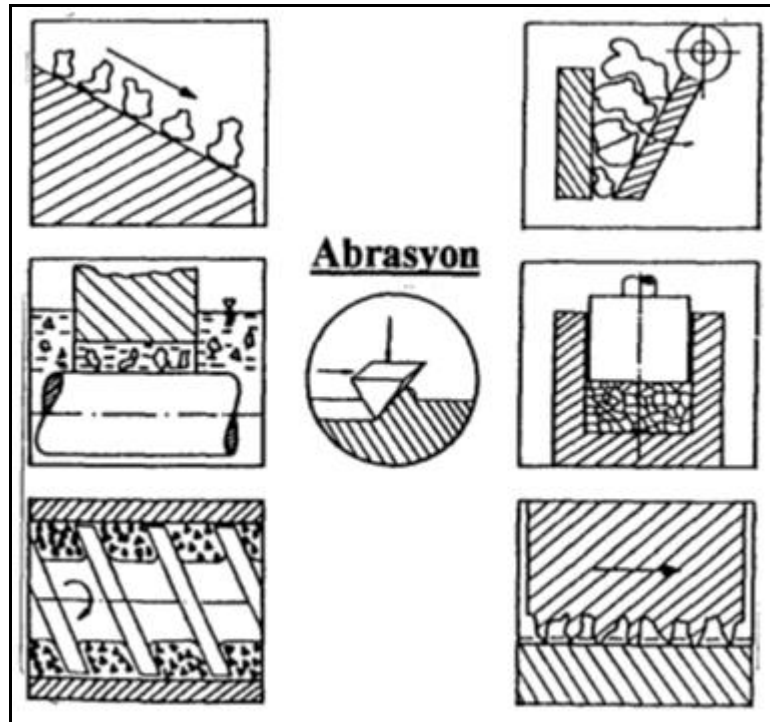
Bu deneysel çalışmada sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin, tasarım ve imalatı gerçekleştirilen abrasif kesme makinesi yardımıyla kesilebilirliği araştırılmıştır. İstenilen yüzey pürüzlülüğü ve tolerans aralığında parçaları kesebilmek için farklı ilerleme hızı ve devir sayılarında kesme işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen yüzeylerin mikroyapıları incelenmiştir. Bu doğrultuda en uygun kesme parametresi değerleri belirlenmiştir. Çalışmalara başlamadan, daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve öneriler dikkate alınmıştır.

BÖLÜM 3

GENEL BİLGİLER

3.1. ABRASİF KESME

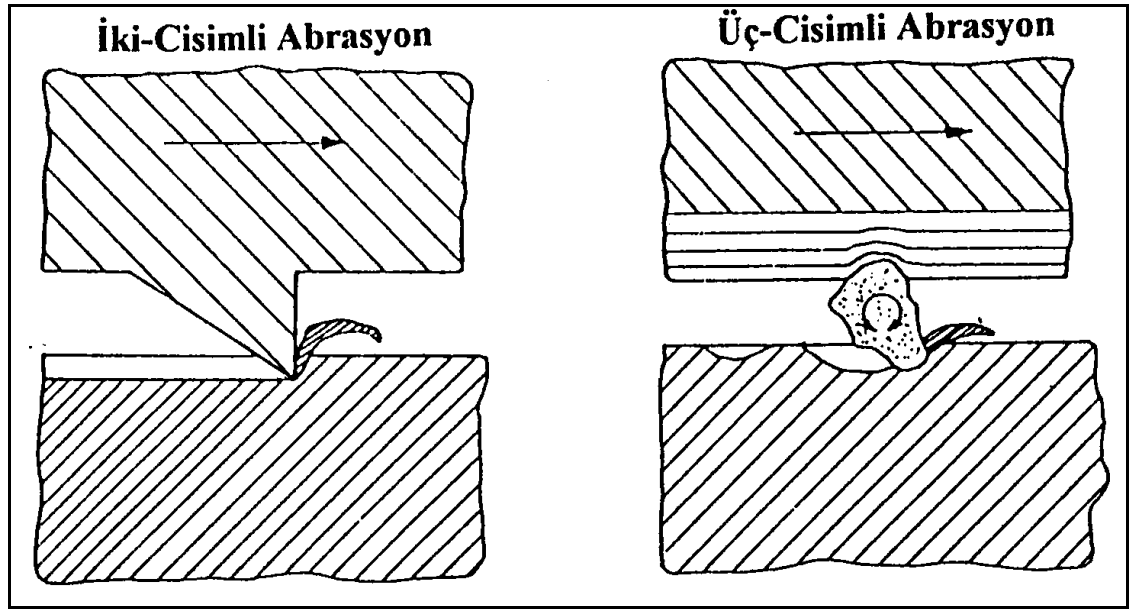
Abrasif aşınma, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle temas eden iki cisimden daha sert olanın, pürüz tepelikleri ya da taneleri vasıtasıyla diğer cismi çizerek üzerinden mikron mertebesinde talaş kaldırması olayıdır. Aşınma talaşları; çizme, kesme, raybalama ve çarpma sonucunda meydana gelebilir. Burada katı/katı, tanecik/katı, katı/sıvı gibi pek çok aşınma çiftleri oluşabilir. Abrasif aşınmanın olduğu tribolojik sistemler Şekil 3.1’de gösterilmiştir [9].



Şekil 3.1. Abrasif aşınmanın olduğu tribolojik sistemler [9].

Abrasif aşınma iki şekilde meydana gelir:

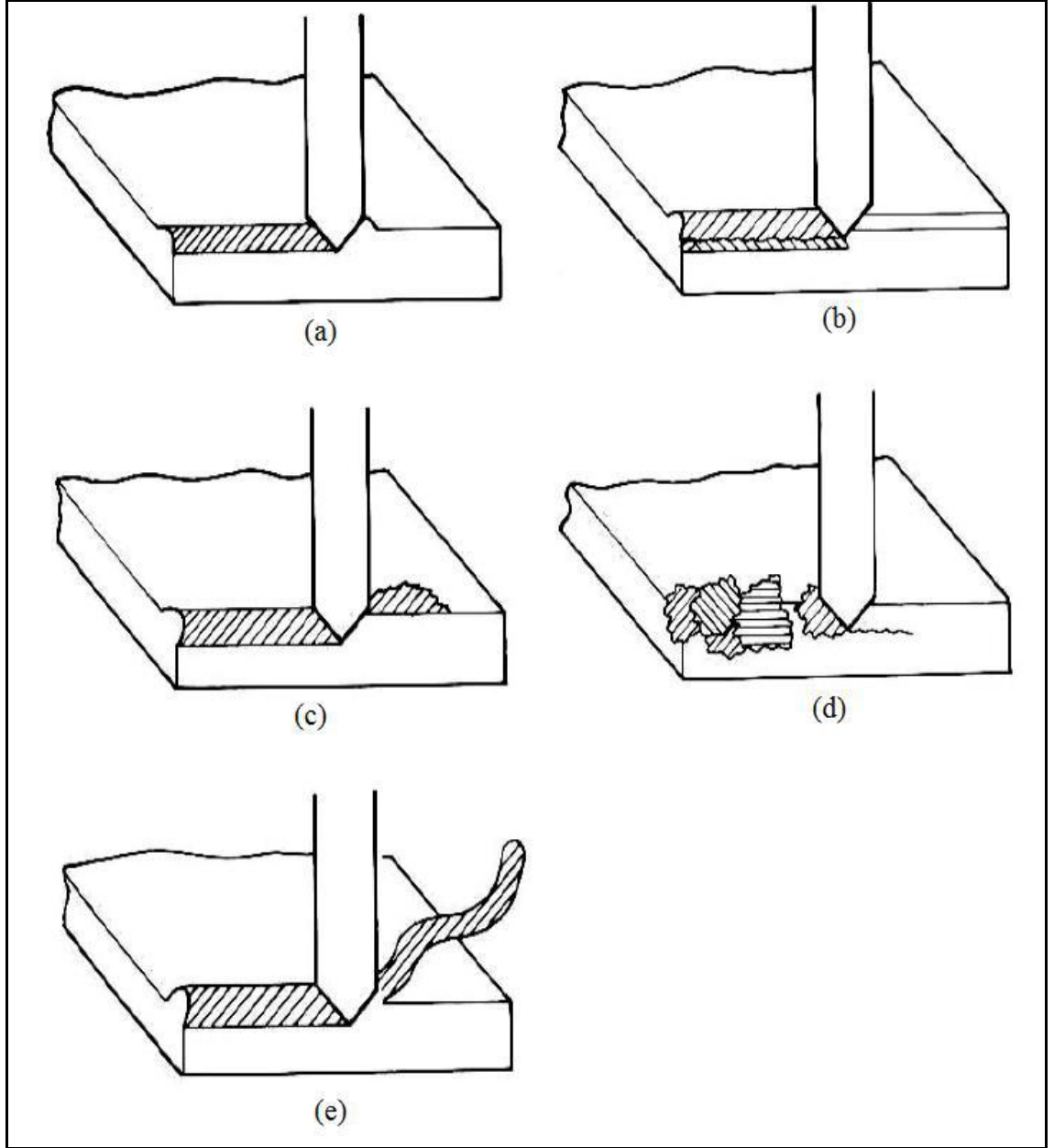
- Sürtünen iki malzemeden daha sert olanın yüzeyindeki pürüzleri ile daha yumuşak olan malzeme yüzeyini çizerek tahrip etmesi şeklindeki aşınmaya "İki Cisimli Abrasif Aşınma" denir.
- Sürtünen yüzeyler arasında yuvarlanan sert taneciklerin yüzeyleri çizerek tahrip etmesi şeklindeki aşınmaya da "Üç Cisimli Abrasif Aşınma" denir. Şekil 3.2’de iki ve üç cisimli abrasif aşınma şematik olarak gösterilmiştir [14].



Şekil 3.2. İki ve üç cisimli abrasif aşınmanın şematik gösterimi [9].

3.1.1. Abrasif Aşınmada Yüzeyden Malzeme Kaybı

Abrasif aşınmada yüzeyden malzeme kaybı; kırılma, yorulma, kesme ve ergime şeklinde olur. Bazen başka bir mekanizma veya birçok mekanizma birlikte oluşur. Bu mekanizmalardan bazıları pulluklama (Ploughing), mikro yorulma (Mikrofatigue), takozlama (Wedging), mikro çatlak (Mikrocracking), kesme (Cutting)' dir. Malzemede oluşan aşınma mekanizmaları Şekil 3.3’de şematik olarak gösterilmiştir [10].



Şekil 3.3. Tek bir abrasif ucun üzerinden geçmesi ile malzemede oluşan aşınma mekanizmaları a) pulluklama b) mikro yorulma c) takozlama d) mikro çatlak e) kesme [10].

Pulluklama, bir yivden malzemenin kenarına doğru transferdir. Hafif yüklerde oluşur. Mikro yorulma, malzeme yüzeyinde oluşan hasarlar dislokasyonları üretir. İlave hasar (aşınmanın devam ettirilmesi) malzemenin mikro çatlak yorulmasına yol açar. Takozlama, aşındırıcının kesme kuvveti/ aşınan kütlenin kesme mukavemeti= 0,5-1 arasındadır. Abrasif ucun önünde takoz şeklinde malzeme transferi oluşur. Mikro çatlak, yüzeye çarpan sert partikül veya iki yüzey arasında yüksek gerilme

konsantrasyonlu bölgelerin çatlak oluşarak kopmasıdır. Kesme, şiddetli aşınmadır. Abrasif uç talaşlar halinde malzemeyi yüzeyden transfer eder [10].

3.1.2. Abrasif Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Abrasif aşınma direnci aşağıdaki faktörlerin artması ile artar:

- Sertlik
- Azalan deformasyon sertleşmesi hızı (Deformasyon kabiliyetinin düşmesi)
- Alaşımlama [10].

Yabancı partiküller aşınma direncini arttırabilir. Ana fazdan daha sert, tok, elastiklik modülü yüksek ve iri boyutlu partiküller aşınma direncini arttırır [10].

3.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Yüzey pürüzlülüğünden önce yüzey bütünlüğünden bahsetmek gerekir. Yüzey bütünlüğü ise yalnızca yüzeylerin geometrik özellikleri ile ilgili olmayıp aynı zamanda yüzeylerin mekanik ve metalürjik niteliklerini de tanımlar. İmalat işlemlerinde yüzey bütünlüğü dikkate alınması gereken önemli bir faktördür çünkü yüzey bütünlüğü imal edilen parçanın yorulma dayanımını, korozyon direncini ve çalışma ömrünü etkiler [15].

Parçanın imal edilmesinden veya imal edilmesi esnasında meydana gelen çeşitli kusurlar, kusurlu yüzey bütünlüğünün nedenidir. Bu kusurlar çoğunlukla orijinal iş parçasındaki kusurlardan, yüzeyin imal edilmesi metodundan, aşırı derecede gerilme ve sıcaklığa neden olan işlem parametrelerinden kaynaklanır. Yüzey bütünlüğü; yüzey pürüzlülüğü, kalıcı gerilmeler ve yüzey katmanındaki değişikliklerin toplamıdır [15].

İmalatı yapılan iş parçasının yüzey pürüzlülüğünün, elemanların yataklama ve aşınma özelliklerinin incelenmesi ile malzeme yorulması için son derece önemli olduğu yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Yüzey kalitesinin

değerlendirilmesi ve matematiksel büyüklüklere (parametrelere) çevrilmesi için pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi gerekir. Pürüzlülük ölçümlerini değerlendirmek amacıyla ölçülen profilde pürüzlülük, form ve dalgalılık sapmaları birbirinden ayrılır [16].

Birçok makinenin performansını arttırmak için daha hassas işlenmiş yüzeyler gerekir. Bu amaçla, istenen yüzey kalitesinin elde edilmesinde esas alınacak standart yüzey pürüzlülük değeri belirlenir ve bu değer resim üzerinde bir sembol ile gösterilir. Pürüzlülük değerleri, sınıf ve numaraları TS 2040 ile standartlaştırılmıştır. Pürüzlülük değerleri ve sınıf numaraları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir [16].

Çizelge 3.1. Pürüzlülük değerleri ve sınıf numaraları [16].

Pürüzlülük Değeri (Ra)		Pürüzlülük Sınıfı Numarası (N)
μm	$\mu\text{inç}$	
50	2000	N12
25	1000	N11
12,5	500	N10
6,3	250	N9
3,2	125	N8
1,6	63	N7
0,8	32	N6
0,4	16	N5
0,2	8	N4
0,1	4	N3
0,05	2	N2
0,025	1	N1

3.2.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü

İdeal yüzey pürüzlülüğü; kesici takımlardaki hatalar, vurunular, kesici takımında talaş yığılması gibi faktörler azaltıldığında, kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı oluşturulan en iyi bitirme değerlerini gösterir. Sayısal karşılaştırmalar ve analizler

için, bir dizi veya tek bir faktöre göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek çok kullanışlı bir yöntem olabilir. Bu amaçla en genel kullanılan dizi "Ra" aritmetik ortalama değeri olarak bilinir. Genellikle, pratik kesme işlemlerinde kullanılan takımların uçları yuvarlatılmıştır [17].

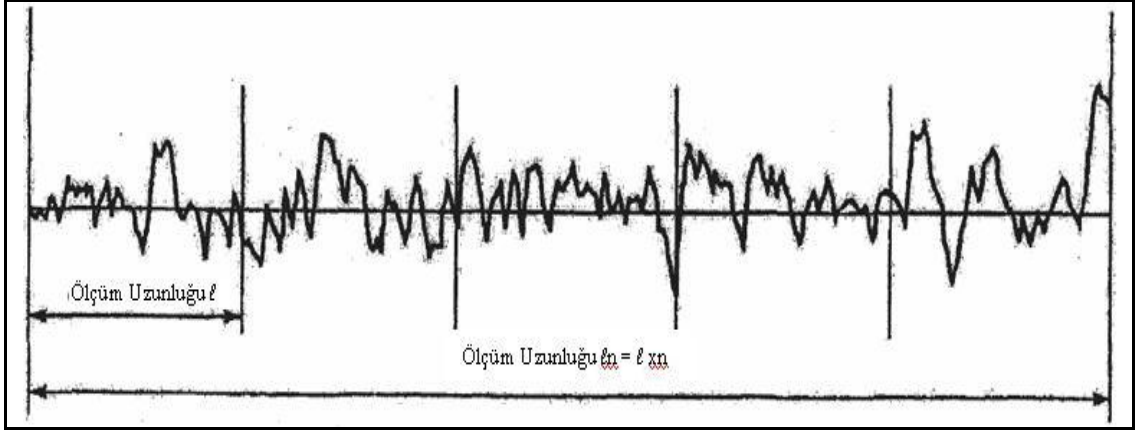
3.2.2. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü

Tabii yüzey pürüzlülüğü, gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir kısmını içerir. Tabii yüzey pürüzlülüğünü; takım tezgâhı, iş bağlama sistemi, takım sistemi ve çalışma ortamı gibi faktörler etkiler. Bununla birlikte kesici kenardaki yığılmalar da tabii yüzey pürüzlülüğünü arttıran faktörlerdendir. Kesme hızındaki artışla ideal yüzey pürüzlülüğüne yaklaşılabılır. Uç yarıçapı sabit kalmak şartıyla, ilerleme hızındaki artış ise yüzey pürüzlülüğünü artırır [17].

3.2.3. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

3.2.3.1. Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı

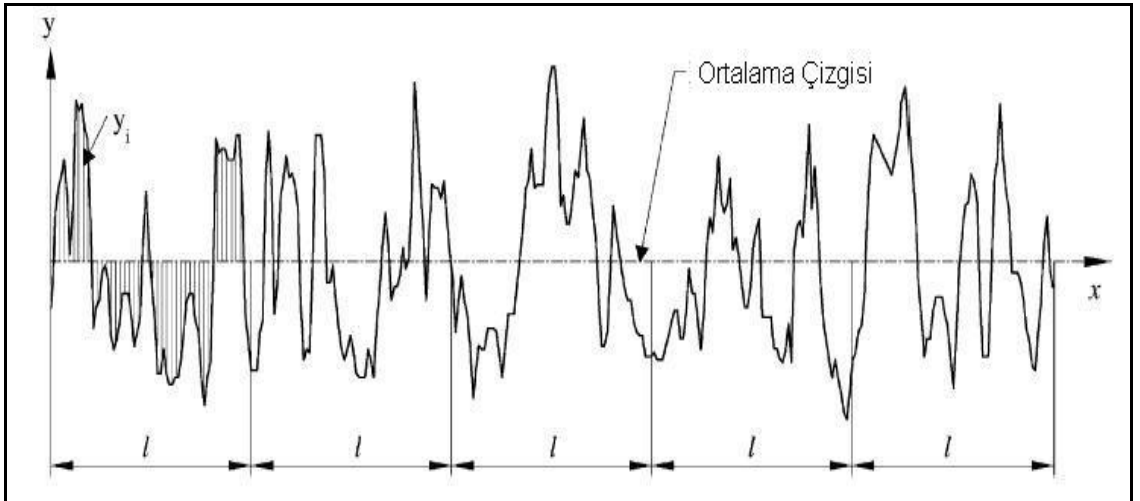
“l” ile ifade edilen örnekleme uzunluğu kullanılan kesici takımın ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir arada toplanmasıyla “ln” ile ifade edilen ölçüm uzunluğu meydana gelir. “ln” uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu ile n çarpılarak elde edilir ($ln=l*n$). Şekil 3.4’de örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu şematik olarak gösterilmiştir [18].



Şekil 3.4. Örneklem uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [18].

3.2.3.2. Ortalama Çizgisi

Ölçme işlemi yapıldığında ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur. Şekil 3.5'de tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde oluşan ortalama çizgisi gösterilmiştir [18].



Şekil 3.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi [18].

3.2.3.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)

Ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır.

Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [17].

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^1 |y(x)| dx \quad (3.1)$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (3.2)$$

3.2.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunlardan bazıları;

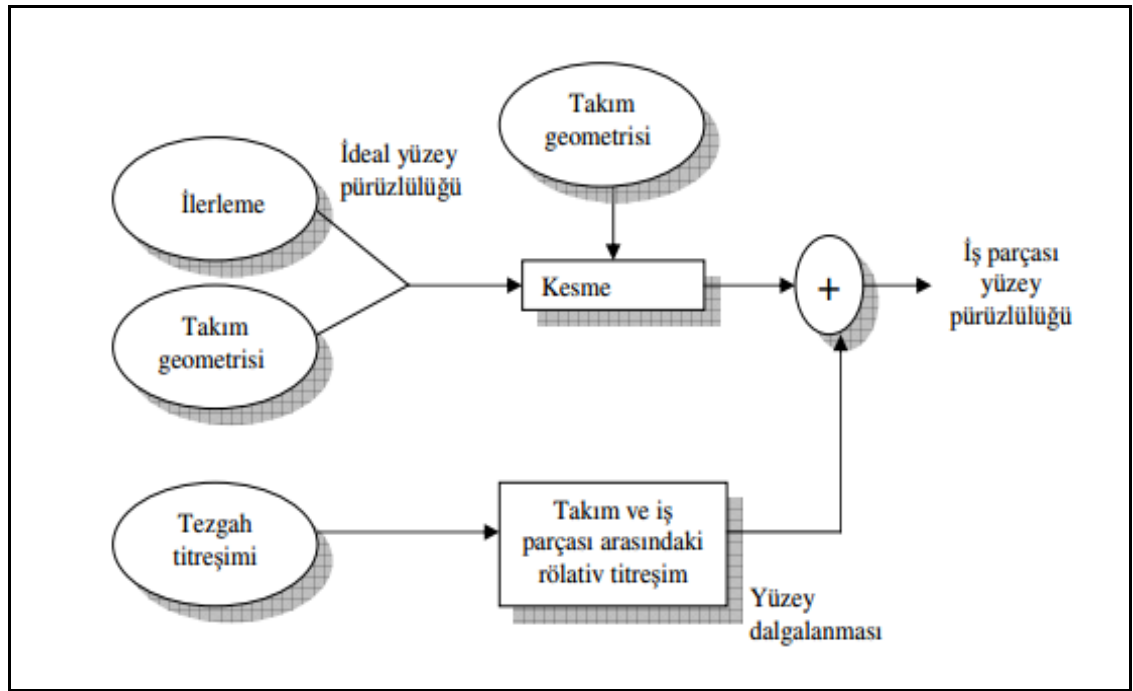
- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb. [19].

3.2.5. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır:

- Takım tezgâhının rijitlik durumu
- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar
- Takım tutucusunun rijitlik durumu
- Takım aşınması
- Takım geometrisi
- Kesme parametreleri
- Malzemenin mekanik özellikleri
- Soğutma sıvısıdır [20].

Şekil 3.6’da yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler [1].

3.3. GEOMETRİK TOLERANSLAR

İmalatta parçaların teknik resminde verilen ölçülerinde, istenilen kalitede üretilmesi mümkün değildir. Parçaların tam olarak elde edilmesine çalışmak ise gereksiz zaman kaybına ve maliyetin artmasına yol açar. Parçaların imalatı sonucu elde edilen değerler esas ölçülerden farklı olabilir. Ancak iş parçasındaki bu farklılık birbiri ile temas eden veya birbirinin içine giren parçaların bir arada uyumlu olarak çalışmasını aksatmayacak kadar olmalıdır. Bunu ise toleranslar sağlar [21].

Parçaların bir arada istenilen özelliklerde çalışmasını, kolayca montajını ve de montajını sağlamak için ilgili resimlerinde ölçü, şekil ve konum toleransı, yüzeyi ve malzeme özellikleri verilir. Bu değerler parçanın çalışma özelliği göz önünde bulundurularak seçilir. Özellikle bozulan, aşınan ve bu yüzden değiştirilmesi gereken parçaların yerine geçecek yedek parçaların üretiminde toleransların önemi büyüktür. Arıza sonucu değiştirilmesi gereken bir parçanın sökülüp, yerine karşılıklı değiştirilebilme prensibi temelinde üretilmiş yenisinin takılması, makineyi hemen

faaliyete geçireceğinden ekonomik açıdan önem taşır. Bütün bu sebeplerden dolayı teknik resimlerde toleransların gösterilmesi zorunlu hale gelmiştir [21].

Sadece ölçü toleransları makine parçalarının hassas şekilde işlenmesini sağlamak için yeterli olmayabilir. Mesela, makine parçasındaki bir yüzeyin aynı parçanın bir başka yüzeyine belli tolerans dâhilinde paralel veya dik olmasını sağlamak veya bir delikteki ovallik ya da bu deliğin başka bir delikle aynı ekseninde olması sadece boyut toleransı ile sağlanamaz. Bu durumlarda geometrik toleranslar kullanılmaktadır.

Geometrik ölçülendirme ve toleranslamanın kullanımı giderek daha da yaygınlaşmakta ve standartlarına yeni boyutlar ve uygulamalar getirilmektedir. Mekanik parçaların beklenen tamlıkta, çok sayıda ve ekonomik olarak üretiminde tasarımın önemi ve etkisi çok büyüktür. Geometrik ölçülendirme ve toleranslama, bu konudaki etkinliği nedeni ile daha da yaygınlaşarak tasarım, üretim ve ölçme kontrol aşamalarındaki yerini almaktadır. Geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma Çizelge 3.2'de gösterilmiştir [22].

Teknik resimlerde bulunan tüm bilgilerin kolay, anlaşılır ve yanlışlığa neden olmayacak biçimde tek anlamlı olmaları beklenir. Bazı özelliklerde kullanılmakta olan toleransların çoğu yerini geometrik toleranslara bırakmıştır. Oldukça karmaşık gibi görünen toleranslamanın yanlışlıklara neden olmayacak biçimde kullanımı önemlidir [22].

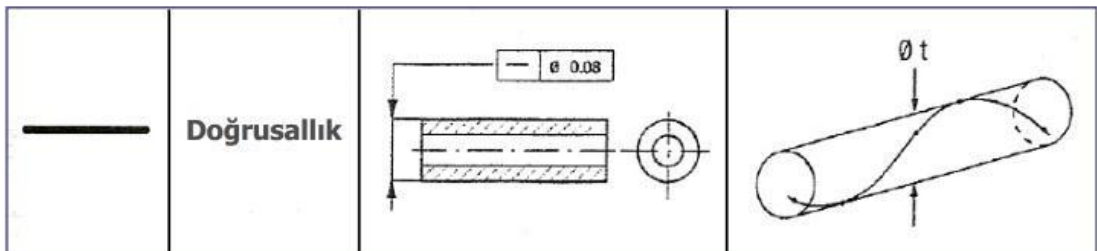
Parçaların ortak konum ve yönlerini belirli sınırlara koymak amacıyla konum, yön ve salgı toleransları belirlenmiştir. Geometrik toleranslar gerçek şekilde bulunan konum ve yön sapmalarını limitler içine alır. Konum ve yön ile ilgili üç tolerans; yön toleransları, konum toleransları ve salgı toleranslarıdır [23].

Çizelge 3.2. Geometrik boyutlandırma ve toleranslandırma [24].

	TOLERANS TİPİ	ÖZELLİKLER	SEMBOL
TEK ELEMANLAR İÇİN	ŞEKİL	DOĞRUSALLIK	—
		DÜZLEMSELLİK	
		DAİRESELLİK	
		SİLİNDİRİKLİK	
		HERHANGİ BİR ÇİZGİNİN ŞEKLİ	
		HERHANGİ BİR YÜZEYİN ŞEKLİ	
BİRBİRİYLE İLGİLİ ELEMANLAR İÇİN	YÖN	PARALELLİK	
		DİKLİK	
		EĞİKLİK	
	KONUM	KONUM	
		EŞEKSENLİLİK	
		SİMETRİKLİK	
	KOMPOZİT	YALPALAMA	
		TOPLAM YALPALAMA	

3.3.1. Doğrusallık Toleransı

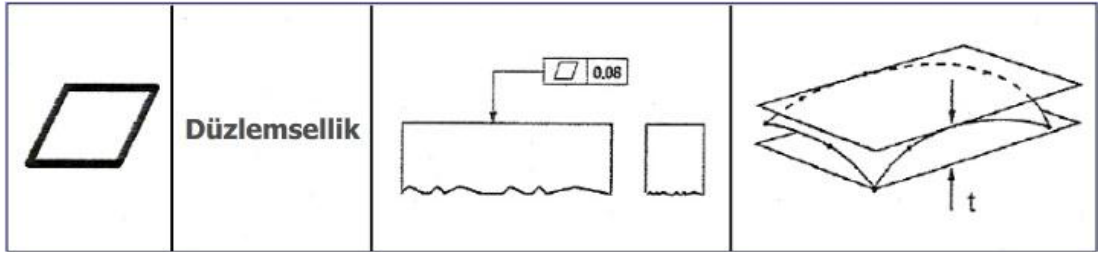
Doğrusallık, bir yüzeye veya bir eksene ait elemanların, sınırları belirlenmiş bir bant içerisinde bulunmaları koşuludur. Doğrusallık toleransı kontrol edilen yüzey veya eksene ait tüm elemanların içinde bulunması istenilen bant genişliğidir. Doğrusallık toleransı Şekil 3.7’de şematik olarak gösterilmiştir [23].



Şekil 3.7. Doğrusallık toleransı [23].

3.3.2. Düzlemsellik Toleransı

Düzlemsellik, bir yüzeye ait bütün elemanların paralel iki düzlem arasında bulunma koşuludur. Düzlemsellik toleransı, kontrol edilen yüzeyi içine alan iki düzlem arasında bulunan genişliktir. Düzlemsellik toleransı düz yüzeylere uygulanır. Şekil 3.8’de düzlemsellik toleransı şematik olarak gösterilmiştir [23].

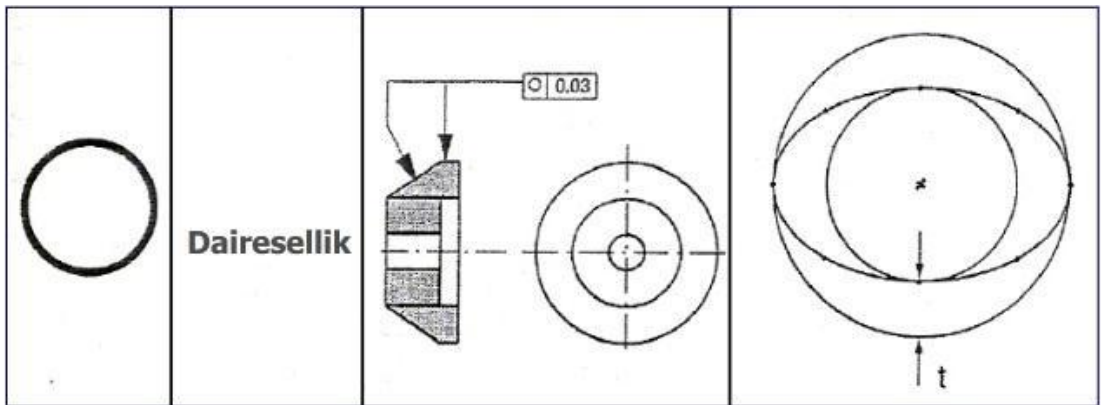


Şekil 3.8. Düzlemsellik toleransı [23].

3.3.3. Dairesellik Toleransı

ISO 1101’e göre dairesellik toleransı; kendi eksenini etrafında dönen simetrik yüzeylerin ve karşı çalışma parçalarının (delik) toleranslandırılmasında kullanılır. Dairesellik toleransı Şekil 3.9’da şematik olarak gösterilmiştir [22].

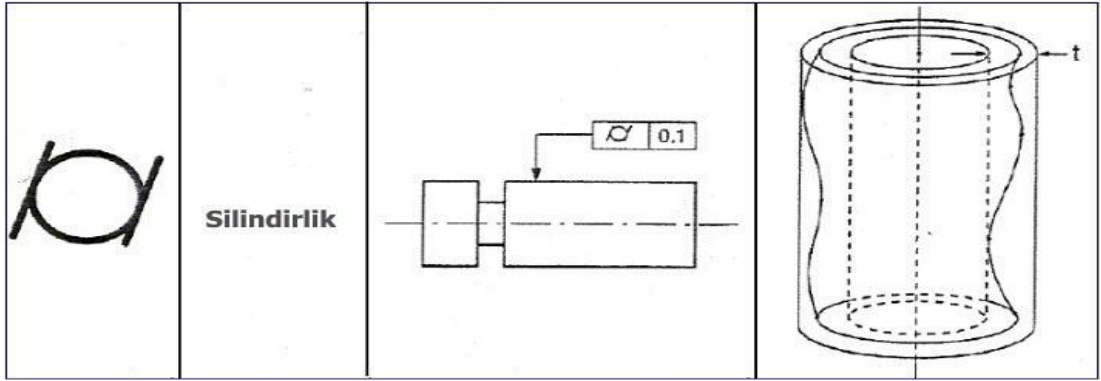
Dairesellik toleransı, bir yüzeyin bütün dairesel elemanlarının içerisinde bulunması gereken, eş merkezli iki daire arasında kalan bölgedir. Dairesellik toleransı, şekil bakımından kontrol edildiğinden, ayrı bir referans elemanı verilmez [23].



Şekil 3.9. Dairesellik toleransı [23].

3.3.4. Silindiriklik Toleransı

Silindiriklik, bir dönme yüzeyine ait elemanların dönme ekseninden eşit uzaklıkta bulunmaları koşuludur. Silindiriklik toleransı, yüzeyin içerisinde bulunması gereken, eş eksenli iki silindir arasındaki yarıçap farkıdır. Şekil 3.10’da silindiriklik toleransı şematik olarak gösterilmiştir [23].

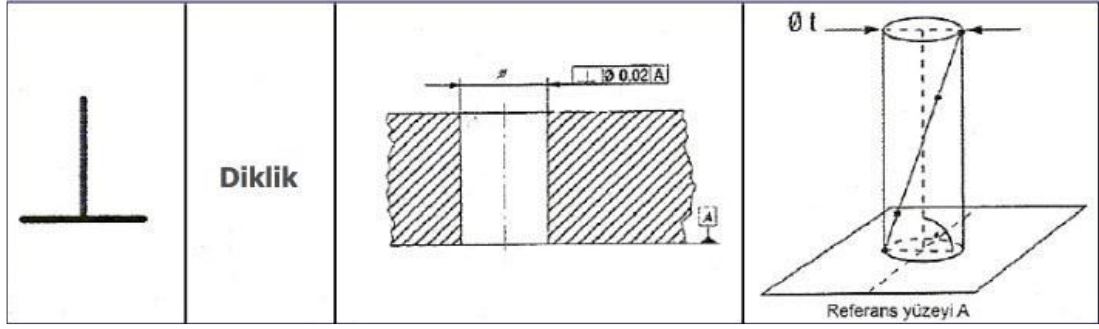


Şekil 3.10. Silindiriklik toleransı [23].

3.3.5. Diklik Toleransı

ISO 1101’e göre diklik toleransı, herhangi bir geometrik parçanın birbirine dik doğrultudaki doğru çizgilerinin, eksenlerinin, köşelerinin ve yüzeylerinin toleranslandırılmasında kullanılır [22].

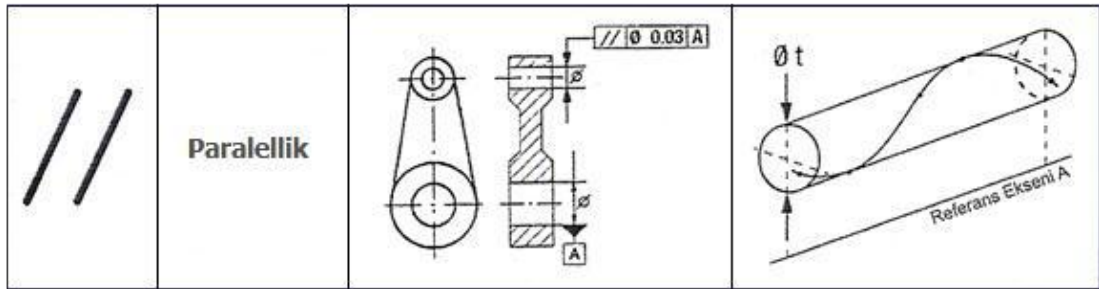
Diklik toleransı, dik olması istenilen unsurun içerisinde bulunması gereken paralel iki yüzey arasındaki açıklığın ölçüsüdür. Şekil 3.11’de diklik toleransı şematik olarak gösterilmiştir [23].



Şekil 3.11. Diklik toleransı [23].

3.3.6. Paralellik Toleransı

Paralellik, bir yüzey veya eksene ait bütün elemanların bir referans elemandan eşit uzaklıkta olması durumudur. Şekil 3.12’de paralellik toleransı şematik olarak gösterilmiştir [23].

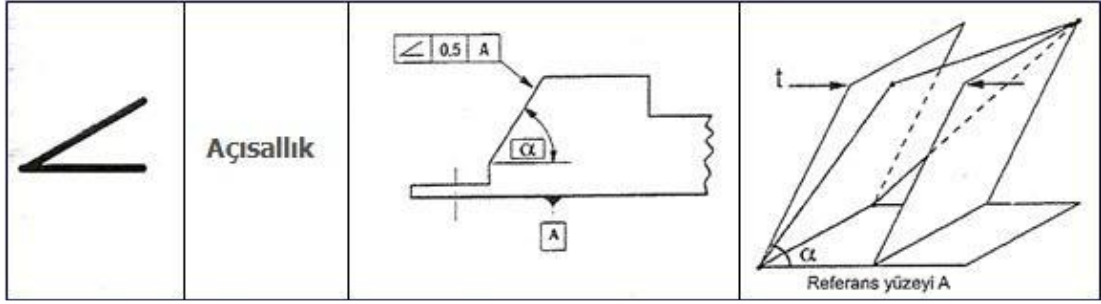


Şekil 3.12. Paralellik toleransı [23].

3.3.7. Açısallık (Eğrilik) Toleransı

ISO 1101’e göre açısallık toleransı, herhangi bir geometrik parçanın birbirine göre açısallık doğrultudaki doğru çizgilerinin, eksenlerinin, köşelerinin ve yüzeylerinin toleranslandırılmasında kullanılır [22].

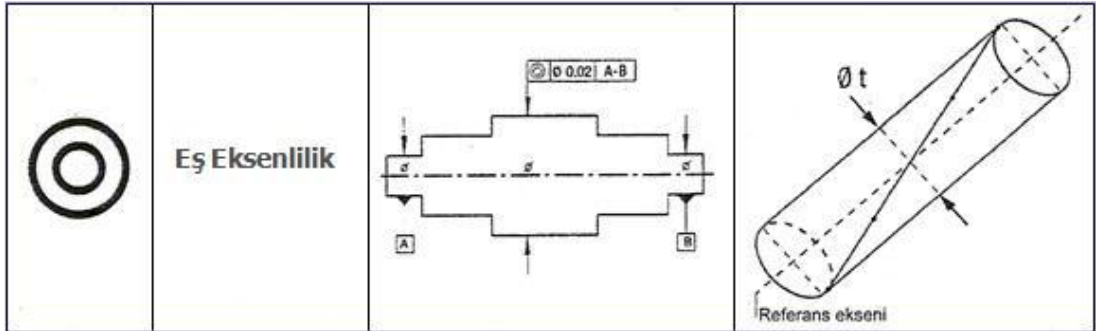
Açısallık toleransı, içerisinde toleranslandırılmış yüzeyini eksenin veya orta düzlemin bulunmasının istendiği, referans düzlemine veya eksenine göre tam belirtilen açıda olan, paralel iki yüzey arasındaki bölgedir. Şekil 3.13’de açısallık toleransı şematik olarak gösterilmiştir [23].



Şekil 3.13. Açısalılık toleransı [23].

3.3.8. Eş Eksenlilik Toleransı

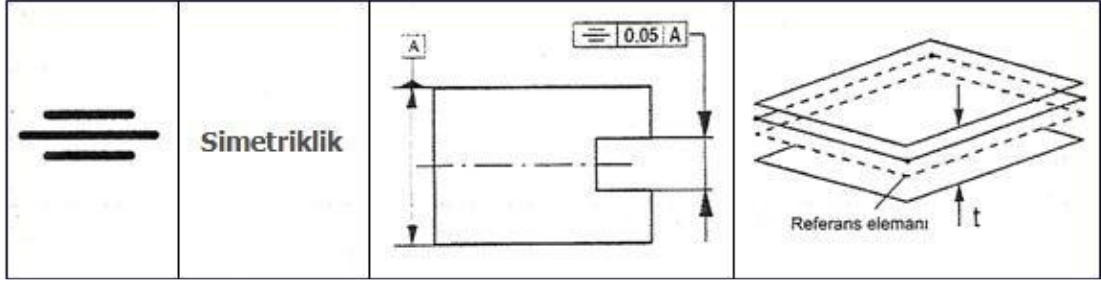
Bir elemanın bütün ara kesitlerinin, eksenlerinin bir referans eksenine aynı olması durumudur. Eş eksenlilik genellikle çizgi veya eksenler için uygulanır. Noktalar için eş merkezlilik terimi bulunmaktadır. Eş eksenlilik toleransı Şekil 3.14’de şematik olarak gösterilmiştir [23].



Şekil 3.14. Eş eksenlilik toleransı [23].

3.3.9. Simetriklik Toleransı

Simetriklik, bir elemanın bir referans düzlemine veya başka bir elemana göre simetrik olması koşuludur. Simetriklik toleransı, kontrol edilecek elemanın içinde bulunması gereken tolerans bölgesinin genişliğidir. Bir çizginin veya düzlemin simetriklik toleransında, tolerans bölgesi iki doğru veya iki düzlemlle sınırlanmış veya dikdörtgen prizma şeklinde olabilir. Simetriklik toleransı, eş eksenlilik toleransının silindirik olmayan bir parçaya uygulanmış hali gibidir. Şekil 3.15’de simetriklik toleransı şematik olarak gösterilmiştir [23].

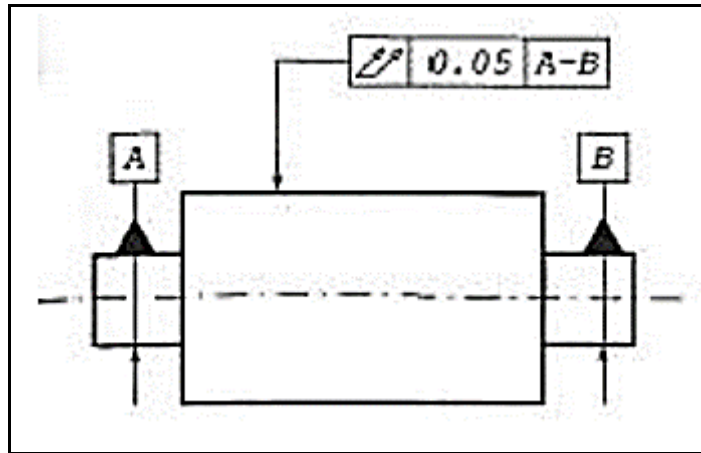


Şekil 3.15. Simetriklik toleransı [23].

3.3.10. Salgı Toleransı

Salgı toleransı genel olarak iş parçalarındaki silindirik yüzeylerin, teorik olarak kesin belirtilmiş silindirik yüzeylere göre sapmalarını sınırlandırır. Bu nedenle, tolerans bölgeleri daire veya silindirik bir bölge olmaktadır ve belirlenmiş tolerans değerlerine göre çap değerleriyle belirtilmektedir. Dairesel salgı ve toplam salgı olarak ikiye ayrılabilirler. Bu iki tolerans arasındaki fark, tolerans bölgeleriyle ilişkileri ve yüzey üzerindeki farklı noktaların ölçülendirilmesinden meydana gelmektedir [23].

Salgı toleransı kompozit bir toleranstır. Yani aynı anda bir parça elemanının yönlenmesini, yerleşimini ve şeklini kontrol eder. Ayrıca çaplar için eş eksenliliği kontrol etmek için de kullanılır. Salgı toleransı daima bir referans eksen gerektirir. Şekil 3.16'da salgı toleransı şematik olarak gösterilmiştir [25].



Şekil 3.16. Toplam salgı toleransı [23].

3.4. ISIL İŞLEM

Isıl işlem, malzemelerin belli özelliklere kavuşturulabilmeleri için, belli sıcaklıklara kadar ısıtılmaları, belli süreler beklendikten sonra belli ortam ve hızlarda soğutulma işlemlerine denir. Bir ısıtım işlem uygulamasında üç aşamadan oluşan bir çalışma süreci söz konusudur;

- Isıtma periyodu: Isıtma fırınıyla birlikte ya da fırın, önceden arzulanan sıcaklığa çıktıktan sonra yapılabilir.
- Bekleme periyodu: Bekleme süresinin belirlenmesinde parça kalınlığı ve sıcaklık önemli faktörlerdir.
- Soğutma periyodu: Seçilecek ortam, duruma göre hızlı veya yavaş soğutma ortamı olabilir. Burada, hedeflenen yapı dönüşümleri soğutma hızının ve ortamının ne olacağını belirleyen temel faktörlerdir [26].

Isıl işlemlerin yapılmasını gerektiren birçok neden vardır. Bu nedenlerden en önemlileri aşağıda sıralanmıştır.

- Sıcak ve soğuk biçimlendirme gerginliklerini gidermek
- Darbelere karşı tokluğu artırmak
- Kesici takımları sertleştirmek
- Aşınma özelliğini iyileştirmektir [26].

Malzemelerin belli özelliklere kavuşturulabilmeleri için çeşitli ısıtım işlemler uygulanmaktadır. Başlıca ısıtım işlemler;

- Tavlama
- Çökelme sertleşmesi
- Yüzey sertleştirme
- Martenzitik sertleştirmedir [27].

3.4.1. Tavlama

Tavlama, bir metali uygun sıcaklığa kadar ısıtma, bu sıcaklıkta belirli bir süre tutma ve yavaşça soğutmadan ibaret bir ısıtma işlemidir. Bir metalin tavlama işlemi;

- Sertliğini ve kırılabilirliğini azaltmak
- İstenilen mekanik özellikleri elde etmek için mikroyapısını değiştirmek
- İşlenebilirlik ve şekillendirilebilirliğini iyileştirmek için yumuşatmak
- Soğuk işleme tabi tutulduğunda yeniden kristalleştirmek
- Daha önce maruz kaldığı şekillendirme işlemleri sonucu oluşan kalıcı gerilmeleri gidermek amaçlarıyla yapılır [27].

Yapılan işlemin ayrıntılarına ve işleme tabi tutulan metalin yeniden kristalleşme sıcaklığına göre kullanılan sıcaklık yönünden tavlama işlemleri farklı kategorilere ayrılabilir. Tam tavlama, demir esaslı metallerle (çoğunlukla düşük ve orta karbonlu çelikler) ilgili olup, bu metallerin östenit bölgesine kadar ısıtılıp kaba perlit oluşturmak için fırın içerisinde yavaş bir şekilde soğutulmasından ibarettir. Normalleştirme işlemi ısıtma ve ısıtma sonucu erişilen sıcaklıkta bekletme bakımından tam tavlama benzer ancak daha hızlı soğutma yapılır. Normalleştirme işleminde soğutma çoğunlukla açık atmosferde yapılır. Tam tavlama ise fırın içerisinde yapılır. Normalleştirme işlemini müteakip malzemenin yapısında ince perlit oluşturularak dayanım ve sertliği artırılır ancak sünekliği azalır [27].

Soğuk işleme tabi tutulmuş parçalarda tavlama ile deformasyon sertleşmesinin etkisi azaltılır ve sünekliği artırılır. Bir metalde önceden maruz kaldığı şekillendirme işlemleri sonucu oluşan kalıcı gerilmeleri gidermek amacıyla gerilim giderme tavlama uygulanır. Bu işlem sayesinde parçanın maruz kalabileceği çarpılmalar ve boyutsal değişimler önlenmiş olur [27].

3.4.2. Çökeltme Sertleşmesi

Çökeltme sertleşmesi işleminde ince parçacıklar (çökelekler) oluşturulur. Bu çökelekler dislokasyonların hareketini engeller ve dolayısıyla metalin dayanımı ve

sertliği artar. Bu ısıl işlem ile alüminyum, bakır, magnezyum, nikel ve diğer demir dışı metallerin ve bunların alaşımlarının sertliği ve dayanımı artırılır. Çökeltme sertleştirmesi işlemi, geleneksel metot ile martenzit oluşturulamayan çeşitli çelik alaşımlarının dayanımının artırılmasında da kullanılır. Bu işlem bazen yaşlandırma sertleştirmesi olarak da isimlendirilir [27].

3.4.3. Yüzey Sertleştirme

Yüzey sertleştirme işlemleri ile mühendislik malzemelerinin yalnızca yüzeyleri sertleştirilerek aşınma dirençleri artırılır. Aynı zamanda bu malzemelerin iç kısımlarının yumuşak kalması ile de darbelere karşı dayanımları artırılır. Yüzey sertleştirme işlemleri;

- Karbürleme
- Nitrüleme
- Karbonitrüleme
- Kromlama ve borlamadır [27].

3.4.3.1. Karbürleme

Karbürleme, en yaygın yüzey sertleştirme işlemidir. Bu işlemde, karbonca zengin bir ortamda ısıtılan düşük karbonlu bir çeliğin yüzeyine karbon emdirilir. Yani yüzey yüksek karbonlu bir çeliğe dönüştürülür. Karbürleme işlemine tabi tutulmuş çelik malzemeye su verilerek yüzeyin yaklaşık olarak 60 HRc sertliğe ulaşması sağlanır. Ancak, bu parçanın yüzeyi sertleşirken, iç kısmı su verme işleminden etkilenmez yani sertleşmez ve dolayısıyla tok ve sünek kalır. Bu tokluk ve süneklik bu malzemenin darbe yorulma yüklerine dayanıklı olmasını sağlar [27].

3.4.3.2. Nitrüleme

Nitrüleme işleminde özel alaşımlı çeliğin yüzeylerine azot emdirilerek yüzey katmanında ince ve sert bir tabaka oluşturulur. Bu işlemin etkin olabilmesi için yani yüzeyin sertleşebilmesi için çelik malzeme, alüminyum (% 0,85 ila % 1,5) ve krom

(% 5 veya daha fazla) gibi bazı alaşım elementlerini ihtiva etmelidir. Bu elementler çeliğin yüzey katmanında çok ince parçacıklar şeklinde çökelerek çeliği sertleştiren nitrür bileşiklerini oluşturur. Nitrürleme işlemi ile 0,025 ila 0,5 mm katman kalınlıklarındaki yüzey katmanları sertleştirilebilir. Ulaşılan sertlik değeri 70 HRC sertliğe kadar çıkabilir [27].

3.4.3.3. Karbonitrürleme

İsminden de anlaşıldığı üzere karbonitrürleme işleminde karbon ve azot, çeliğin yüzeyine emdirilir. Emdirilen yüzey kalınlığı çoğunlukla 0,07 ila 0,5 mm arasında değişir. Bu metotla, karbürleme nitrürleme işlemi ile elde edilen sertlik değerlerine ulaşılabilir [27].

3.4.3.4. Kromlama ve Borlama

Kromlama işleminde krom ve borlama işleminde de bor çelik malzemelerin yüzeylerine emdirilerek 0,025 ila 0,05 mm kalınlıklarında yüzey katmanları oluşturulur. Kromlama ile elde edilen yüzey katmanı sert, aşınmaya dirençli ve aynı zamanda ısıya ve korozyona dirençlidir. Bu işlem genellikle düşük karbonlu çeliklere uygulanır. Borlama işlemi ise karbonlu çeliklere ilave olarak takım çeliklerine, nikel ve kobalt esaslı çeliklere ve dökme demire uygulanır. Borlama işlemi ile oluşturulan çok ince yüzey katmanı, yüksek aşınma direncine ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin yüzeylerine borlama işlemi yapıldığında korozyon dirençleri de artar [27].

3.4.4. Martenzitik Sertleştirme (Islah İşlemi)

Martenzitik sertleştirme veya su verme de denilen nötür sertleştirme, çeliğin yüksek sertlik/mukavemet seviyelerine ulaşması için yapılan bir işlemdir. Burada bahsedilen ıslah işleminden kasıt; proses boyunca çelik parça yüzeyinin kimyasal bileşiminde bir değişiklik olmayışıdır. Islah işleminde uygulanan aşamalar aşağıda belirtilmiştir [28].

- İlk aşama çeliğin sıcaklığını sertleştirmeye uygun dereceye getirmektir ki bu derece çeliğin türüne göre 800 ile 1220° arasında değişir. 730 ile 900° (çeliğin türüne göre değişir) arasında sıcaklığa ulaşıldığında, mikroyapı östenite dönüşmeye başlar.
- İkinci aşama, parçayı östenitleme sıcaklığında tutarak, parçanın her tarafının homojen ısınmasını sağlayıp, içyapının östenitleşmesini sağlamaktır. Hacimde bir miktar azalma olur.
- Üçüncü aşama, parçanın östenitleme sıcaklığından doğrudan soğuk ortama daldırılarak su verilmesidir. Burada kullanılan su verme ortamları, çeliğin çeşidine ve parçaların boyutlarına göre genellikle su, sıvı tuz, yağ veya yüksek basınçlı azottur. Parçanın kendi orijinal yumuşak yapısına dönüşmesine engel olmak için su verme işi yeterli hızda yapılmalıdır [28].

Islah işleminin çelik türüne bağlı olarak birçok avantajları vardır:

- Ağır yüklemeye maruz kalan parçalara yüksek dayanım, tokluk ve uygulanabildiğinde yüksek ısı direnci sağlayacak ideal özellikler elde edilebilir.
- Parçalar daha yüksek dayanıma sahip oldukları için, daha hafif ve daha pek hale getirilebilir.
- Tokluk seviyeleri korunarak, takım ve kalıpların istenilen yüksek aşınma ve yüksek ısı direnci kazanımları sağlanır.
- Pürüzlülüğü azaltmak için taşlama gereksinimi duyulan parçaların ihtiyacı olan işlenebilirlik sağlanır.
- Tüm bu amaçlar doğrultusunda, parçalar eğer martensitik paslanmaz çelikten yapılmışsa, korozyon direnci ancak ısıl işlemten sonra elde edilebilir [28].

3.4.4.1. Islah İşlemine Tabi Tutulan Mühendislik Çelikleri

Islah işlemleri aşağıda belirtilen çeliklerin yanında birçok çelik malzeme türüne de uygulanmaktadır.

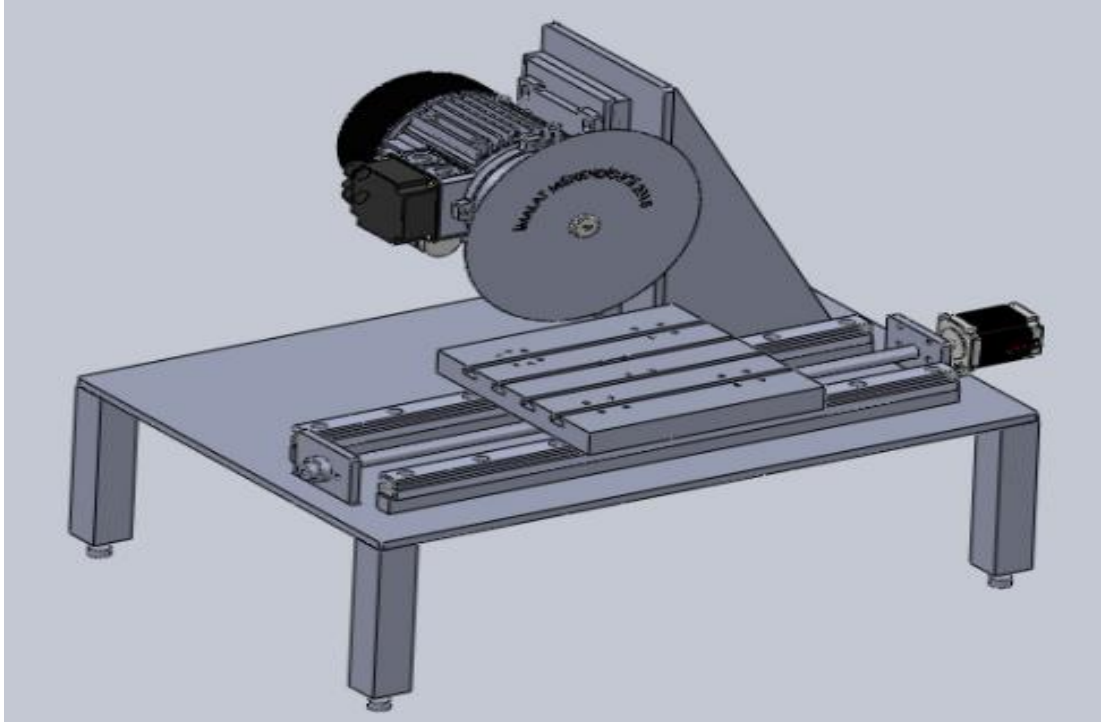
- Tahrik shaftı, taşıyıcı çubuklar, forklift uzantıları, cıvata ve somunlar, kaldırma halkaları gibi ağır yüke maruz kalan parçalar,
- Yüksek sıcaklıklara göre hazırlanmış benzer parçalar,
- Her çeşit ve boyutta yaylar,
- Takımlar: kesici aletler, çelikler, haddeleme işi yapan takımlar vb. her türlü sıcak ve soğuk iş takım çeliklerinden yapılan parçalar,
- Kalıplar: kesme, haddeleme, presleme, çakma, plastik ve alüminyum döküm ve ekstrüzyon kalıpları,
- Yüksek korozyon direnci isteyen paslanmaz çelik parçalara uygulanmaktadır [28].

BÖLÜM 4

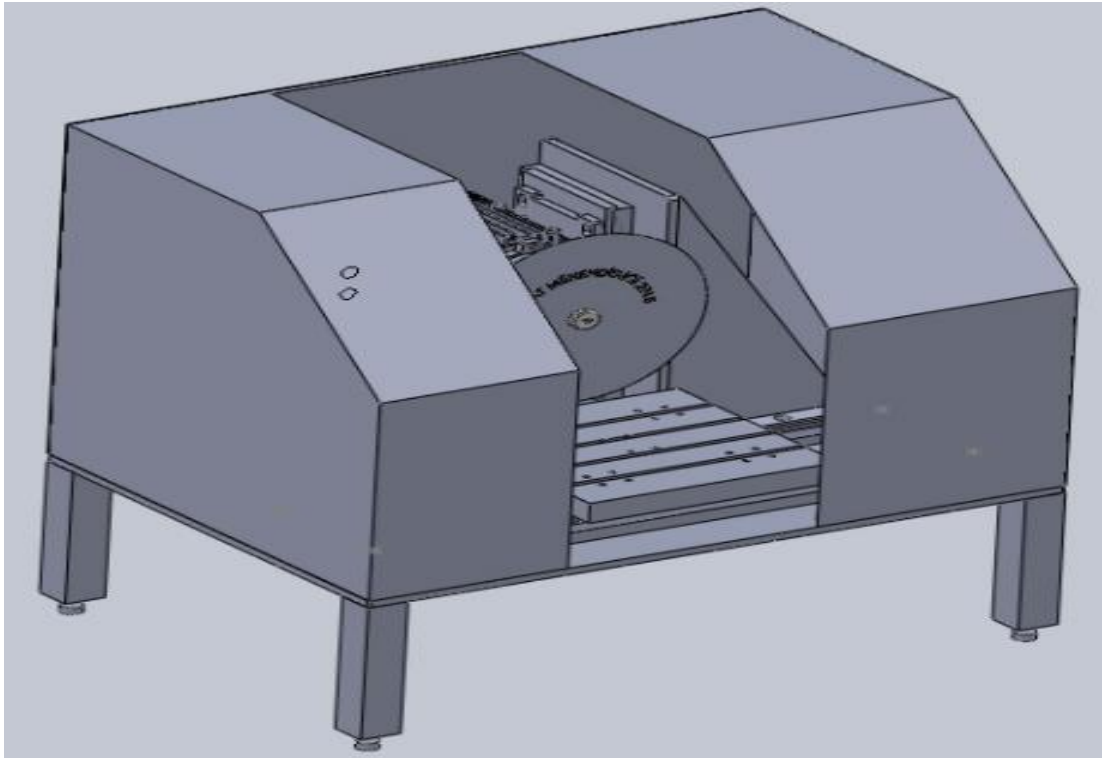
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. ABRASİF KESME MAKİNESİNİN TASARIMI

Abrasif kesme makinesinin tasarımı, Solidworks programında gerçekleştirilmiştir. Abrasif kesme makinesinin montaj ve kapalı montaj tasarımları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Makinenin her parçası belirlenen ölçüler doğrultusunda ayrıntılı bir şekilde tasarlanmıştır. Sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin belirlenen tolerans aralığında kesme işlemini gerçekleştirebilmek için parçaların ölçülerinin yanında malzeme türleri de tasarım aşamasında dikkatlice belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada önem taşıyan maliyet kriteri de, bu aşamada dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin belirlenen tolerans aralığında kesme işlemini gerçekleştirebilecek abrasif kesme makinesi tasarlanmıştır. Makine parçalarının tasarımları ve makinenin 2 boyutlu montaj resmi Ek Açıklamalar A’da sunulmuştur.



Şekil 4.1. Abrasif kesme makinesinin montaj tasarımı.



Şekil 4.2. Abrasif kesme makinesinin kapalı montaj tasarımı.

4.2. ABRASİF KESME MAKİNESİNİN YAPIMINDA KULLANILAN PARÇALAR

Sertleştirilmiş 100Cr6 rulman çeliğini kesmek amacıyla imalatı gerçekleştirilen makinenin yapımında kullanılan parçalar aşağıda belirtilmiştir.

- Şase
- Tabla
- Z eksenli hareket modülü
- Lineer kızak alt destekleri
- Vidalı mil somun gövdesi
- Vidalı mil
- Disk flanşı
- Lineer kızak ve araba
- Step motor
- Kesici disk motoru
- Kesme sıvısı haznesi
- Kesme sıvısı pompası
- Step motor mil bağlantısı aparatı (kaplin)
- Elektronik donanım
- Kesme diskidir.

4.2.1. Şase

Makinenin şase kısmı, Ç 1040 plaka malzemenen yapılmıştır. 505*705*5,5 mm boyutunda temin edilen malzeme, CNC freze tezgâhında 20 mm çapında parmak freze kullanılarak işlenmiştir. Uygulanan frezeleme işlemi sonucunda, 500*700*5 mm boyutunda şase elde edilmiştir.

4.2.2. Tabla

Tabla, 252*252*32 mm ölçülerinde 7000 serisi alüminyum malzemenen yapılmıştır. Tabla, CNC freze tezgâhında etrafından 2 mm alınarak temizlenmiştir. Bu işlem

sonucunda 250*250*30 mm ölçüsünde tabla elde edilmiştir. Daha sonra, T kanal açılmak üzere üst kısmından gerekli boşaltmalar yapılmıştır. Tablaya T kanal takımı ile 4 adet 20*12*7 mm boyutlarında kanal açılmıştır. Bu işlemlerden sonra, CNC tezgâhında lineer kızak arabalarının ve somun gövdesinin cıvata delikleri hassas şekilde delinmiştir.

4.2.3. Z Eksen Hareket Modülü

Z eksen hareket modülü, Ç 1040 plaka malzemedan yapılmıştır. CNC freze tezgâhında kesilerek 200*400*10 mm boyutlarında elde edilmiş ve kaynak işlemi için hazır hale getirilmiştir. Önceden CNC tezgâhında 4*4 T kanalı açılmış 190*136*20 mm boyutlarında z eksen yatağı yan plakalara kaynak edilmiştir. Bu işlemler sonucunda, motorun yukarı aşağı hareketini sağlayan Z eksen hareket modülü elde edilmiştir.

4.2.4. Lineer Kızak Alt Destekleri

Lineer kızak alt destekleri, Ç 1040 plaka malzemedan CNC freze tezgâhında üst kısmı tarama kafası ile 1 mm alınarak 700*20*10 mm ölçülerinde yapılmıştır. Lineer kızak cıvata bağlantı delikleri, CNC tezgâhında 3,3 mm çapındaki matkapla eş merkezli olarak delinmiştir. CNC tezgâhında deliklere metrik 4 kılavuz çekilmiştir. Böylece kızak destekleri montaja hazır hale getirilmiştir.

4.2.5. Vidalı Mil Somun Gövdesi

Sert alüminyum malzemedan yapılmış olan bu aparat, vidalı millerin somun kısmının gövdeye sabitlenmesi için kullanılmıştır ve piyasadan hazır olarak temin edilmiştir.

4.2.6. Vidalı Mil

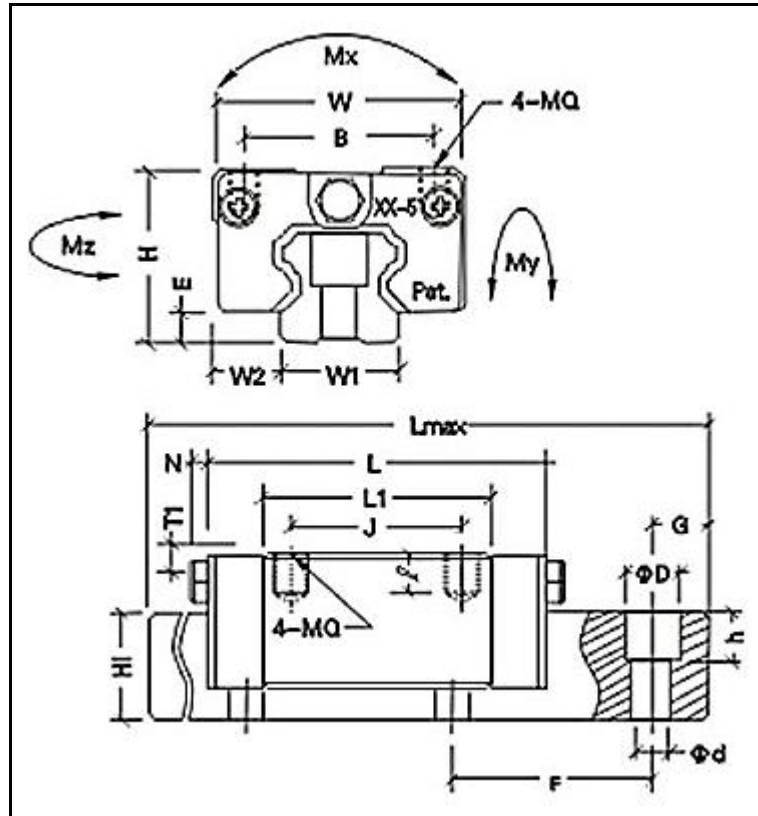
Servo motor, step motor, redüktörlü motor gibi motorlarla birlikte hareketi sağlayan bu aparat piyasadan temin edilmiştir. Mil çapı 16 mm, yatak çapı 28 mm ve boyu 60 mm'dir.

4.2.7. Disk Flanşı

Disk flanşı, 1040 çelik malzemeden yapılmıştır. Torna tezgâhında çapı 60 mm, kalınlığı 7,5 mm olacak şekilde işlenmiştir. Bu aparat yardımıyla kesici diskin motor miline güvenli şekilde bağlanması sağlanmıştır.

4.2.8. Lineer Kızak Ve Araba

Tablanın lineer kızak üzerinde hassas şekilde doğrusal olarak hareket etmesini sağlayan SHN 15 B ürün kodlu 4 adet araba piyasadan temin edilmiştir. Lineer kızak ve arabanın şematik görünümü ve ölçüleri sırasıyla Şekil 4.3 ve Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Lineer kızak ve arabanın şematik görünümü [29].

Çizelge 4.1. Lineer kızak ve arabanın ölçüleri [29].

Ürün kodu	mm								Kgf*m		
	H	W	W2	E	L	BXJ	MQXL	L1	Mx	My	Mz
SHN 15 B	28	34	9,5	4,6	66	26*26	M4*6,4	40	10	8	8
	T1	N	W1	H1	F	d*D*h	Lmax	G			
	8,3	5	15	14	60	4,5*7,5*5,3	4000	20			

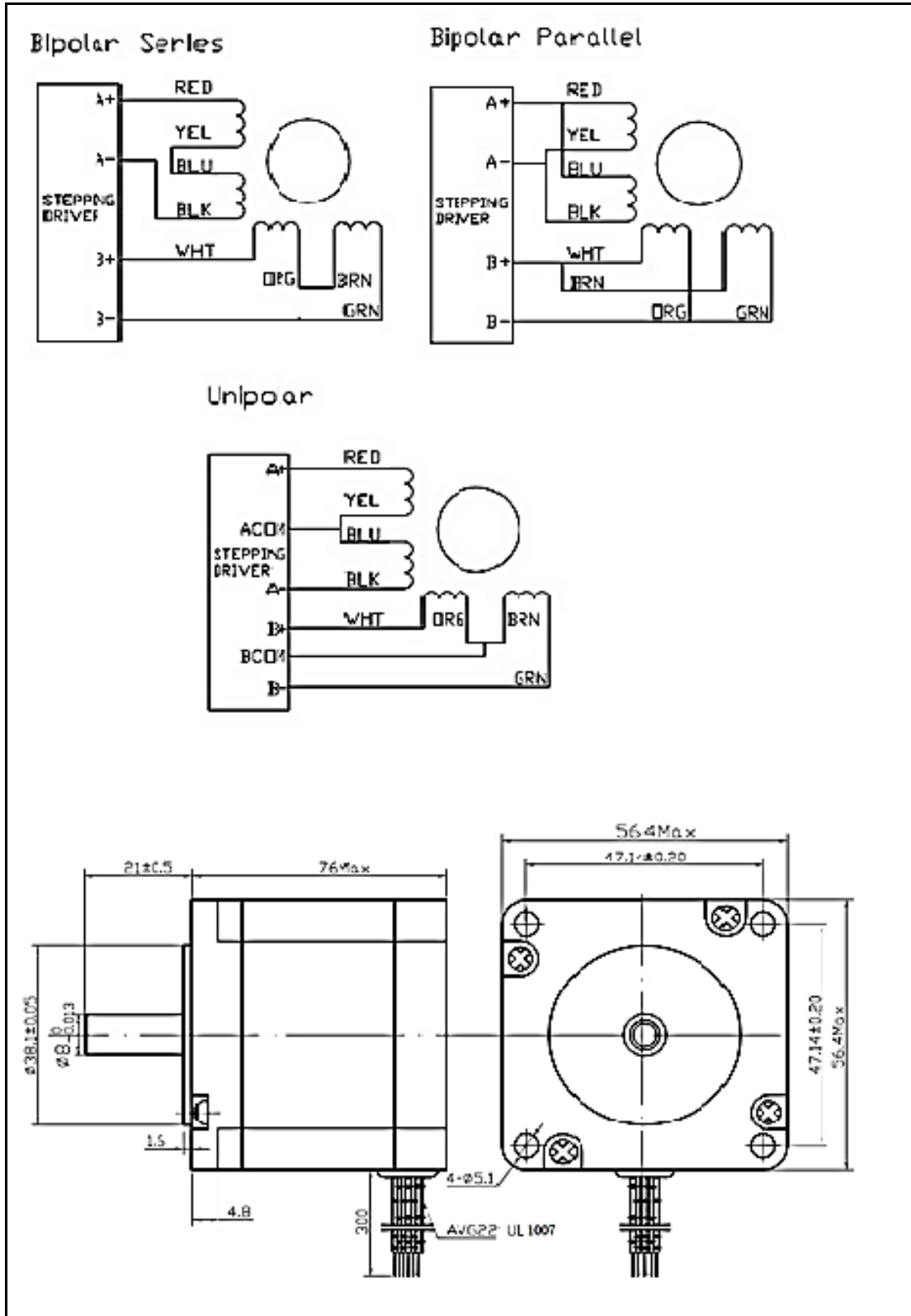
4.2.9. Step Motor

Step motorlar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çoğunlukla kapalı bir döngüye gerek kalmadan sadece açık döngü kontrol sistemi ile kolayca kontrol edilmeleri onların başlıca avantajlarından biridir. Ayrıca maliyetlerinin düşük olması step motorlarını başta servo motorlar olmak üzere özellikle robotik uygulamalarda birçok motor türüne göre tercih sebebi haline getirmiştir. Step motorların endüstride kullanılan diğer DC ve AC motorlara göre avantaj ve dezavantajları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir [30].

Çizelge 4.2. Step motorların diğer elektrik motorlarıyla karşılaştırılması [30].

	STEP MOTOR	DC SERVO MOTOR	FİRÇASIZ DC MOTOR	AC İNDÜKSİYON MOTOR
AVANTAJLARI	<ul style="list-style-type: none"> ● Açık döngü kontrolü ● Düşük hızda dönme ● Düşük hız-yüksek tork karakteristiği ● Sıralı darbe girişi ● Yüksek hızda adım alma kabiliyeti 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kapalı döngü kontrolü ● Yüksek tork ● Yüksek dönme verimi 	<ul style="list-style-type: none"> ● Yüksek hız-yüksek tork ● Yüksek dönme verimi 	<ul style="list-style-type: none"> ● Yüksek hız ● Yüksek verim
DEZAVANTAJLARI	<ul style="list-style-type: none"> ● Adım hatası ● Manyetik gürültü 	<ul style="list-style-type: none"> ● Fırçalı çalışma ● Doğrultma limiti ● Düşük güvenilirlik 	<ul style="list-style-type: none"> ● Servo motora göre yüksek maliyet 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alternatif frekans limiti ● Hız kontrol zorluğu

Şekil 4.4’de şematik görünümü ve Çizelge 4.3’de teknik özellikleri verilen step motor piyasadan tedarik edilmiştir. Step motor yardımıyla vidalı milin dönmesi sağlanıp tabla hareket ettirilmiştir.



Şekil 4.4. Step motorun şematik görünümü [31].

Çizelge 4.3. Step motorun teknik özellikleri [31].

Step açısı (derece)	1,8
Ön kare flanş ebatları (mm)	57 *57
Amper (A)	3.0
Induktans (mH)	3.0
Rezistans (ohms)	0,9
Tutma torku (Nm)	2,2
Faz numarası	2
Ağırlık (Kg)	1,1
Uzunluk (mm)	76
Mil kalınlığı (mm)	8
Tel sayısı	8

4.2.10. Kesici Disk Motoru

Motor gücü 750 watt olan, Volt marka inverterlı motor piyasadan tedarik edilmiştir. İnverterlı motor yardımıyla aşındırıcı diskin devri 0-3000 dev/dk aralığında ayarlanabilmiştir.

4.2.11. Kesme Sıvısı Pompası Ve Haznesi

Kesme sıvısı haznesine piyasadan temin edilen santrifüj pompa monte edilmiştir. Kesme sıvısı pompası dakikada 5 litre su pompalama kapasitesine sahiptir. Kesme sıvısı haznesi makinenin altına yerleştirilmiştir. Haznedeki kesme sıvısı, hortum vasıtasıyla kesme anında parça ile kesici disk temas yüzeyine verilmiştir.

Kesme işlemi esnasında önemli derecede ısı açığa çıkarak sıcaklığı yükseltir. Oluşan bu ısı kesici disk aşınmasında ve iş parçasının yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme sıvısının soğutucu etkisi takım ve iş parçasında oluşan sıcaklığı düşürmekte ve takım aşınmasını önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, iş parçasının sıcaklığının düşürülmesi boyutsal hassasiyet açısından çok önemlidir. Talaşlı imalatta kesme sıvısının işlevi takım-talaş ve takım iş parçası arasındaki

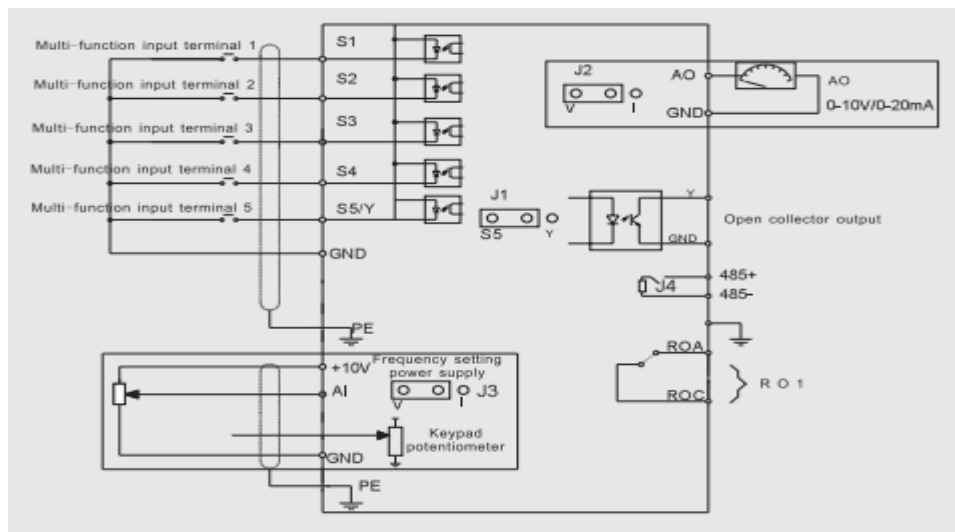
sürtünmeyi azaltmaktadır. Kesme sıvısı, işleme sırasında takım iş parçasında oluşan ısıyı azaltmakta, yüzey kalitesini arttırmakta, kesme kuvvetini azaltmakta ve takım ömrünü arttırmaktadır [17].

4.2.12. Step Motor Mil Bağlantısı Aparatı (Kaplin)

Step motordaki hareketin, vidalı mile ve vidalı milin bağlı olduğu parçalara aktarılabilmesi için kaplin kullanılmıştır.

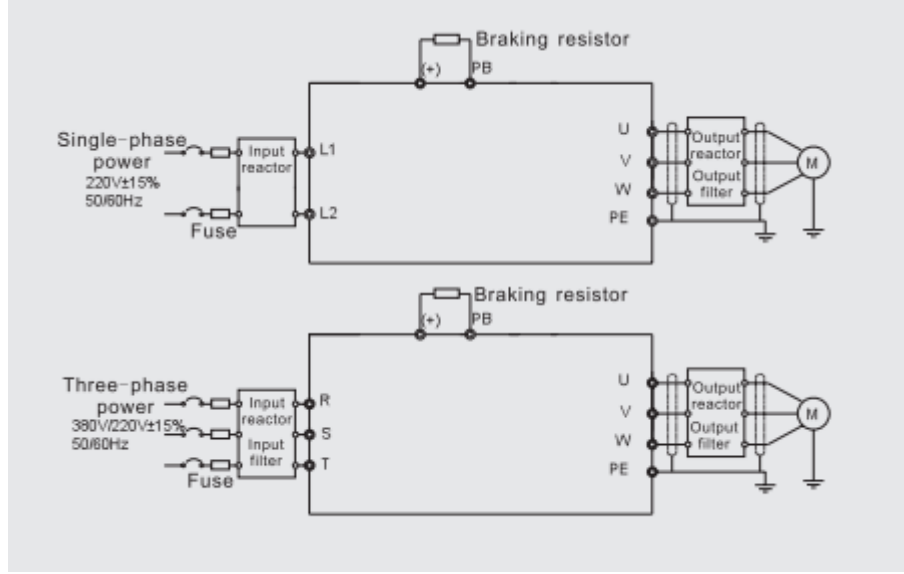
4.2.13. Elektronik Donanım

Tablanın istenilen ilerleme hızında hareketini sağlayabilmek için step motora sürücü kartı bağlanmıştır. Sürücü kartına bilgisayardan gelecek komut doğrultusunda gereken gücün karşılanması için güç kaynağı bağlanmıştır. Mach3 programına G kodları yazılarak tablanın istenilen ilerleme hızında hareketi sağlanmıştır. Kesici motorun devri ise inverter yardımıyla 0-3000 dev/dk aralığında manuel olarak ayarlanmıştır. Inverter, kontrol kartı ve sürücü kartı makinenin yanına montajlanan panonun içine yerleştirilmiştir. Kullanılan GD 10 serisi inverterin boyutları, kontrol ve ana devresi Şekil 4.5 a), b) ve c)'de; teknik özellikleri Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

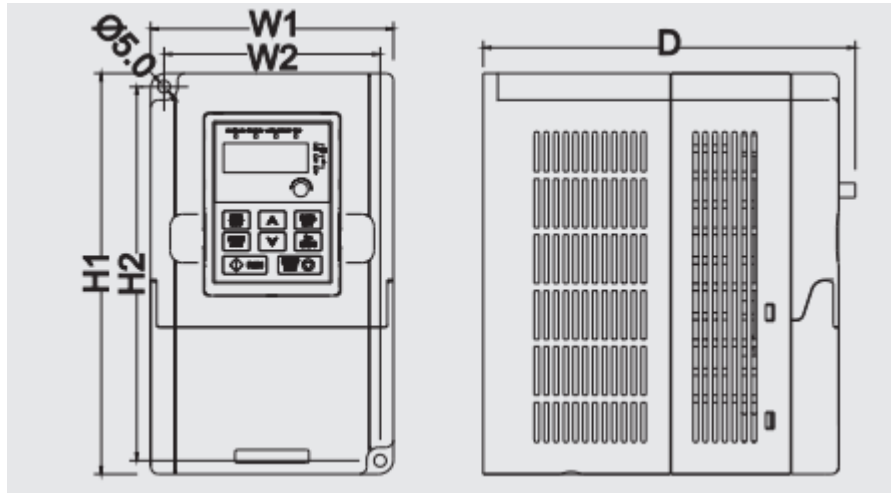


(a)

Şekil 4.5. GD 10 serisi inverterin boyutları, kontrol ve ana devresi, a) Kontrol devresi
b) Ana devresi c) Boyutları [32].



(b)



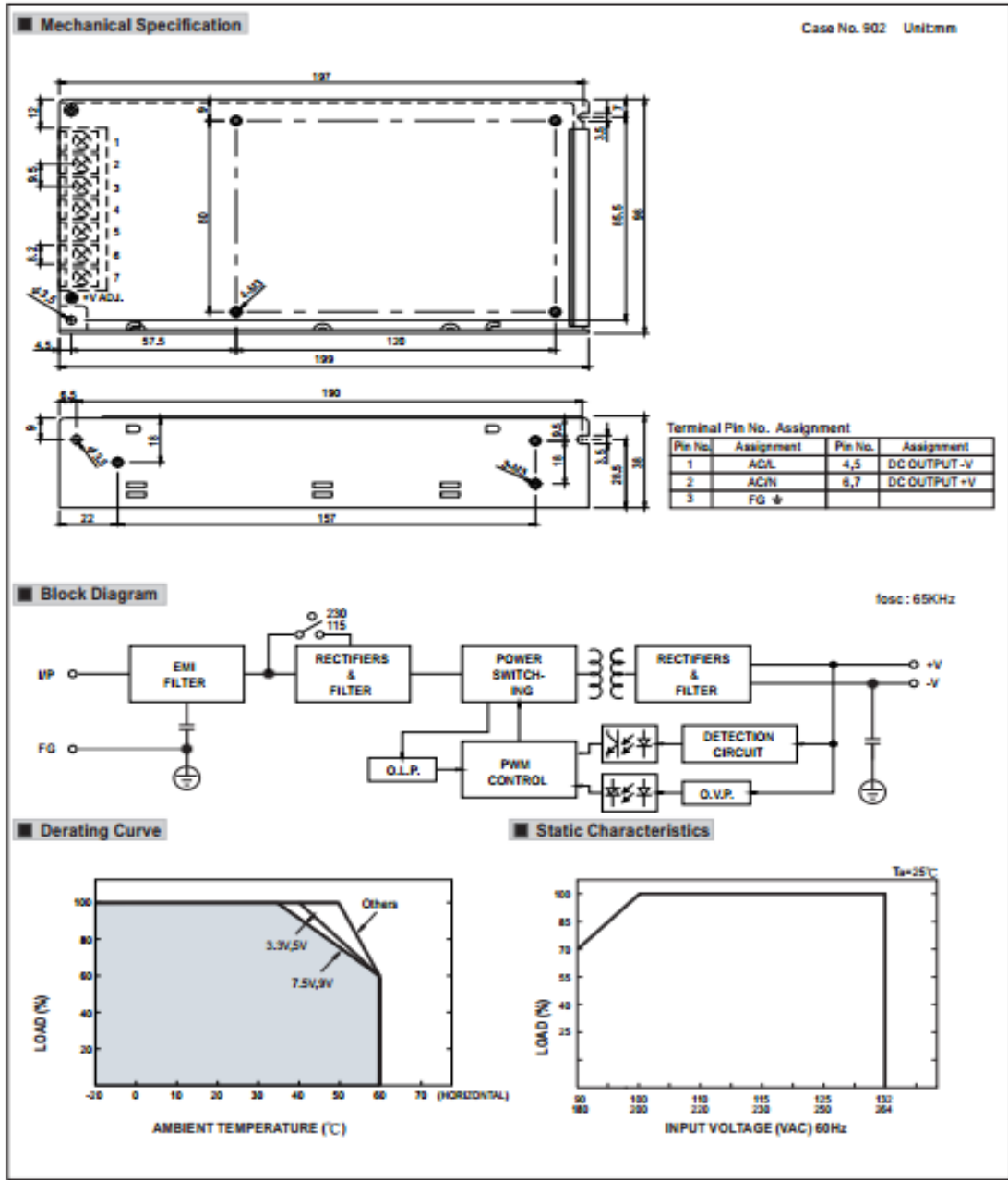
(c)

Şekil 4.5. (devam ediyor)

Çizelge 4.4. GD 10 serisi inverterin teknik özellikleri [32].

mm					kw	Akım (A)	
W1	W2	H1	H2	D	Güç	Giriş	Çıkış
85	74	140	131,5	153,2	0,75	9,3	4,2

Gücü 150 watt, çıkış voltajı 24 volt ve çıkış akımı 6,5 amper olan güç kaynağının şematik görünümü Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Güç kaynağının şematik resmi [33].

4.2.14. Kesme Diski

Isıl işlem sonrası yaklaşık 62 HRC sertliğe sahip olan numuneler, Al_2O_3 esaslı aşındırıcı disk kullanılarak kesilmiştir. Dış çapı 250 mm, iç çapı 32 mm ve kalınlığı 1,5 mm olan kesme diski piyasadan tedarik edilmiştir.

4.3. ABRASİF KESME MAKİNESİNİN MONTAJI

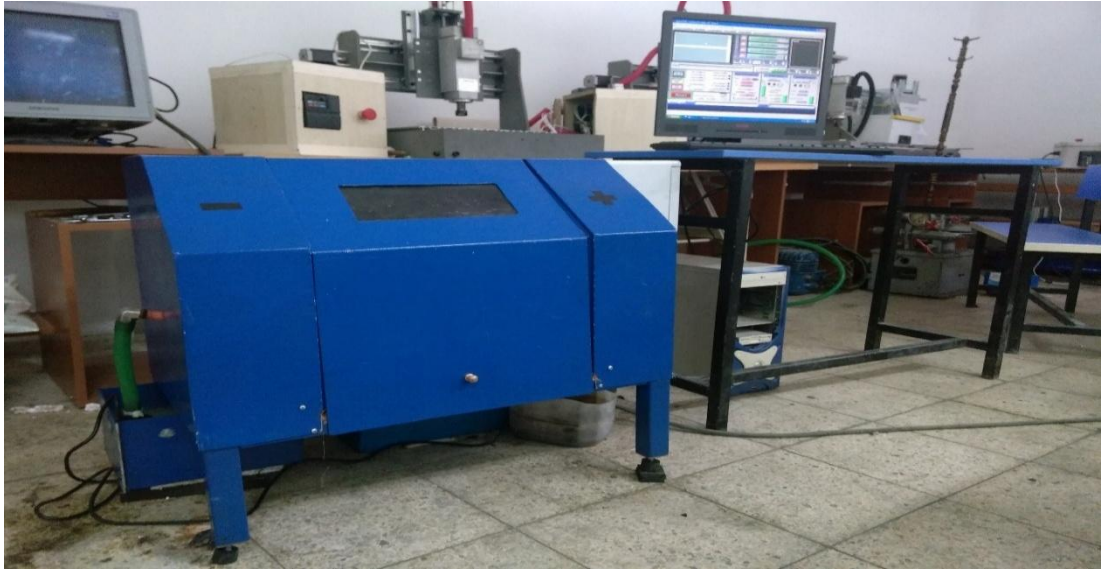
Tedarik edilen parçalardan belirlenen ölçülerde olmayanlar öncelikle CNC freze tezgâhında işlenerek istenilen ölçülere getirilmiştir. Bu aşamadan sonra montaj işlemi gerçekleştirilmiştir. Montaj aşamasında gerçekleştirilen işlemler sırasıyla şu şekildedir:

- Lineer kızak alt destekleri şaseye kaynaklanmıştır.
- Kesici disk yükseklik ayarı için gerekli olan Z eksen hareket modülü, alt şaseye kaynaklanmıştır.
- Kaynak işlemlerinden sonra vidalı birleştirme işlemi yapılacak olan diğer parçalar deneme amaçlı montaj edilmiştir.
- Yapılan denemelerin olumlu sonuçlanmasıyla vidayla birleştirilen parçalar sökülmüş ve şase boyanmıştır.
- Bu işlemlerden sonra; kızaklar, vidalı mil ve somun gövdesi, step motor, tabla, kesici disk motoru sırasıyla montajlanmıştır.
- Sac levhadan yapılmış olan üst kapama kısmı ve kapak kısmı takılmıştır.
- Makinenin yan tarafına bilgisayara kontrollü kesme işlemini gerçekleştirebilmek için gerekli olan elektronik tertibat yerleştirilmiştir.
- Son aşamada, bilgisayara Mach3 programı kurulmuş ve kesme makinesi ile adaptasyonu sağlanmıştır.

Abrasif kesme makinesi ve kapalı görünüşü sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Abrasif kesme makinesi.



Şekil 4.8. Abrasif kesme makinesinin kapalı görünüşü.

4.4. AISI 52100 RULMAN ÇELİĞİ VE KESME İŞLEMİ ÖNCESİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

AISI 52100 rulman çeliği, 4 adet 1 metre boyunda ve 22,5 mm çapında çubuklar halinde piyasadan tedarik edilmiştir. Kesme işleminden önce belirlenen ölçülere getirilmiş ve ısıtılarak sertleştirilmiştir.

4.4.1. AISI 52100 Rulman Çeliği

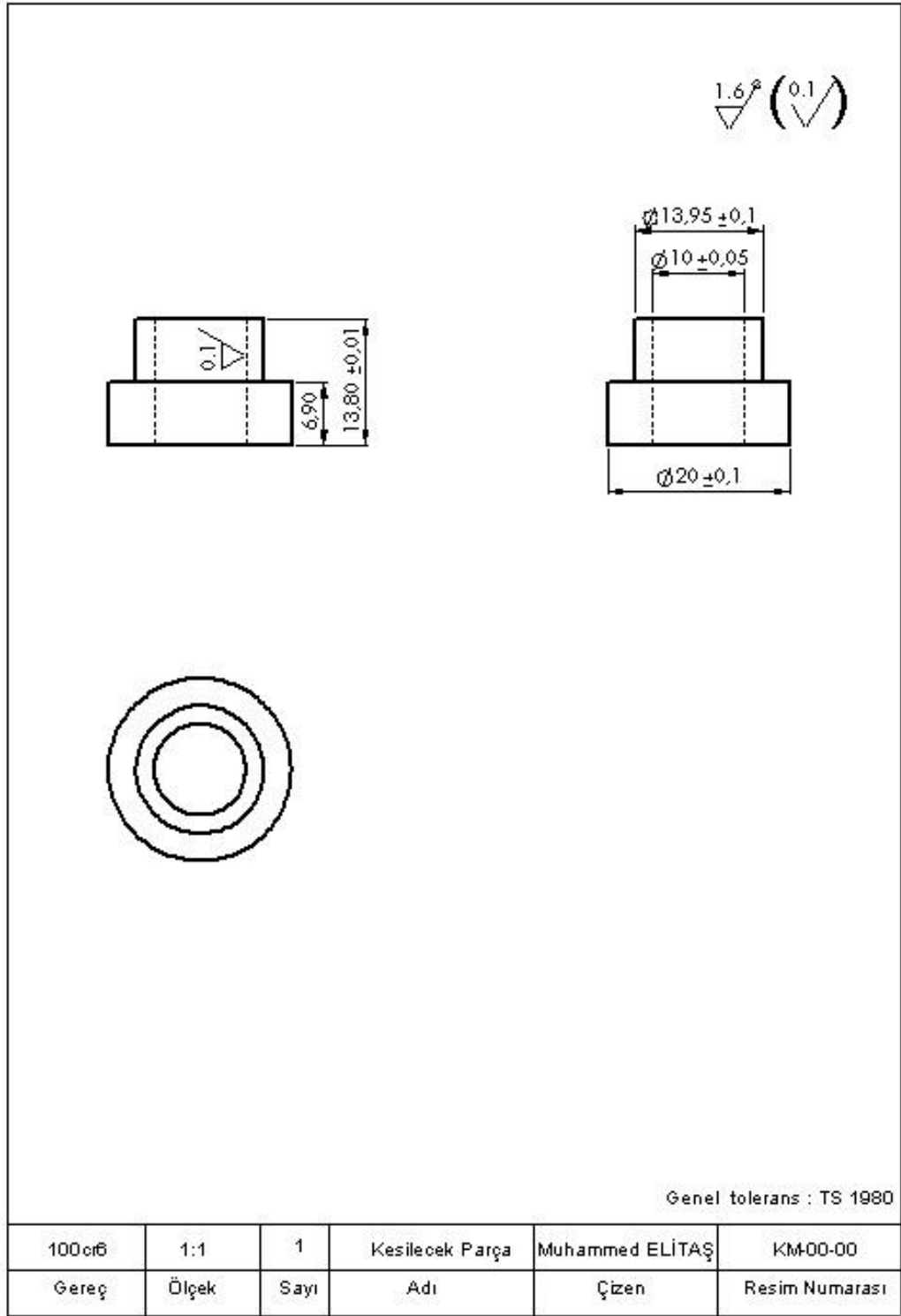
Bu çalışmada 52100 rulman çeliğinin farklı devir sayısı ve ilerleme hızı değerlerinde kesilmesiyle elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri ve kesme işleminin yüzey katmanı mikroyapısına etkileri incelenmiştir.

4.4.2. Tornalama İşlemi

AISI 52100 rulman çeliği, üniversal torna tezgâhında karbür takımlarla işlenerek kesme işleminden önce seri olarak kesme işlemini gerçekleştiren firma tarafından istenilen boyutlara getirilmiştir. Uygulanan işlemler sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

- AISI 52100 malzeme, kesme kalemikle 14 mm boyunda 50 adet parçaya ayrılmıştır.
- Her numuneye, boyunun yarısı 20 mm çapında ve diğer yarısı 14 mm çapında olacak şekilde kademeli olarak tornalama işlemi uygulanmıştır.
- Deney numunelerine 9,8 mm çapında HSS matkapla delik açılmış ve 10 mm çapında rayba kullanılarak deliklere rayba çekilmiştir.

Kesilecek parçanın teknik resmi Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kesilecek parçanın teknik resmi.

4.4.3. Islah Isıl İşlemi

50 adet numuneye kesme işlemi öncesinde Bodycote Istaş ısıtıl işlem firmasında ısıtıl (nötür sertleştirme) ısıtıl işlemi uygulanmıştır. Isıtıl işlemin uygulama aşamaları şu şekildedir:

- İlk aşamada numuneler 870°C'e kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta parçanın mikroyapısı östenit fazına dönüşmüştür.
- İkinci aşamada ise parça östenitleme sıcaklığında 90 dakika bekletilmiştir. Böylece, parçanın her tarafının homojen ısınması sağlanıp içyapısının östenitleşmesi sağlanmıştır.
- Üçüncü aşamada numunelere 70°C yağda (Petrofer Isorapid 277 HM) su verme işlemi uygulanmıştır.
- Son aşamada ise numunelerin hem gevrekliğini gidererek tok bir yapı elde etmek hem de meydana gelen iç gerilmelerini azaltmak için 180°C'de 120 dakika temperleme ısıtıl işlemi uygulanmıştır.

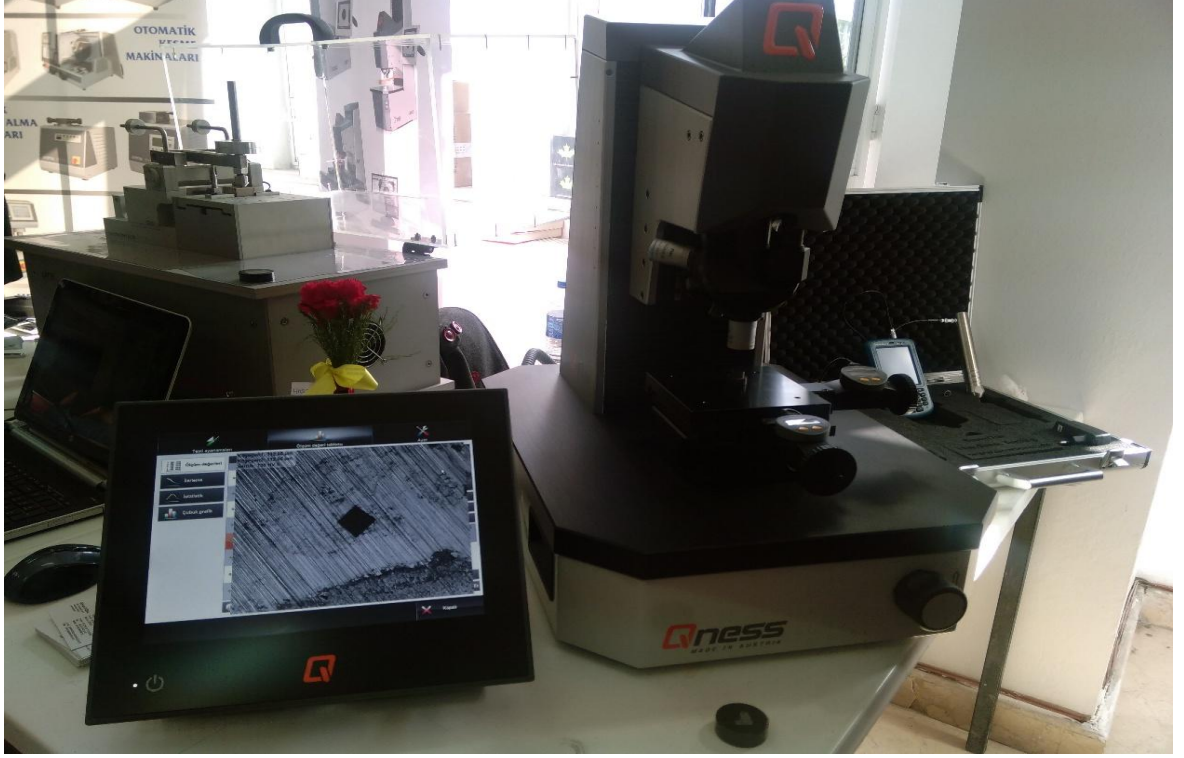
4.4.4. Sertlik Ölçümü

Isıtıl işlemden sonra Qness GmbH marka Q10M model Vickers sertlik ölçüm cihazı kullanılarak numunelerin sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Numune üzerinde iki farklı noktaya 5 kg yük uygulanmıştır. Yapılan iki deney sonucunda Vickers sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu değerler, cihazdaki sertlik dönüşüm tablosu kullanılarak HRc sertlik değerlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen sertlik değerleri Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Numunenin sertlik değerleri.

Deney No	Uygulanan Yük (kg)	Vickers Sertlik Değeri (HV)	Dönüştürülmüş Rockwell Sertlik Değeri (HRc)
1	5	738	61,74
2	5	763	62,61

Sertlik ölçümünün gerçekleştirildiği Qness GmbH marka Q10M model Vickers sertlik ölçüm cihazı Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Qness GmbH Q10M model sertlik ölçüm cihazı.

4.4.5. Mikroyapı

Sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin kesme işlemi öncesinde mikroyapı analizi için gerçekleştirilen adımlar sırasıyla şu şekildedir;

- Numune yüzeyi öncelikle 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000 mesh’lik zımparalarla zımparalanıp metanol (CH_3OH) ile temizlenerek basınçlı havada kurutulmuştur.
- Numune, çuha ile sırasıyla 1 mikron ve 0,1 mikron alümina (Al_2O_3) ile Metkon Forcipol 2V marka parlatma cihazında 300 dev/dk’da parlatılmıştır.
- Numune, %3 lük nital (% 3 HNO_3 - %97 CH_3OH) çözeltisinde 34 saniye dağlanmıştır.

Bu işlemler sonunda numune mikroyapı analizi için hazır hale getirilmiştir. Mikroyapı analizi, Nikon EIPHOT 200 marka mikroskop yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

4.5. KESİLEBİLİRLİK ÇALIŞMALARI VE KESME İŞLEMİNDEN SONRA GERÇEKLEŞTİRİLEN İŞLEMLER

İmalatı gerçekleştirilen abrasif kesme makinesi yardımıyla 4 farklı ilerleme hızı (5, 10, 15, 20 mm/dk) ve 4 farklı devir sayısında (1600, 1800, 2000, 2200 dev/dk) AISI 52100 rulman çeliğinin kesilebilirliği incelenmiştir. İlk aşamada kesme sıvısı kullanılmadan 16 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada, suya bor yağının 1/20 oranında ilave edilmesiyle elde edilen kesme sıvısı kullanılarak 1600, 1800, 2000 dev/dk'da; 5, 10, 15, 20 mm/dk ilerleme hızı değerlerinde 12 deney gerçekleştirilmiştir.

4.5.1. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Parçaların kesilen yüzeyleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümü öncesinde saf alkolle temizlenip basınçlı havayla kurutulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, deney numunesinin kesilen yüzeyine paralel olacak şekilde üç ayrı ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) hesaplanmıştır. Bu doğrultuda ilerleme hızı, devir sayısı ve kesme sıvısının yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri belirlenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Marsurf PS1 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri [1].

Model	Marsurf PS1
Ölçüm ucu (μm)	2 μm uç Radiuslu
Baskı Kuvveti (mN)	0,7
Ölçüm kursu (μm)	350
Parametreler	Ra, Rp, Rz (Ry), Rmax, Rpm, Rpk, Rk, Rvk, MR1, MR2, A1, A2, Vo, Rt, R3z, RPc, Rmr, RSm, R, Ar, Rx
Çözünürlük	32 nm profil çözünürlüğü
Filtreler	DIN EN ISO 11562 (Gauss); DIN EN ISO 13565; DIN EN ISO 3274
Kesme boyu (mm)	0,25-0,8-2,5 (otomatik seçim)
Tarama boyu (mm)	1,75-5,6-17,5 (ISO) 1-2-4-8-16 (CNOMO)
Kalibrasyon	Dinamik kalibrasyon
Bellek	15 profil, 20.000 ölçüm
Boyutlar (mm)	140*50*70
Bağlantı	USB ve RS232 çıkışı
Yaklaşık ağırlık (gr)	400

4.5.2. Makro sertlik Ölçümü

Kesme işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler reçine-kurutucu karışımli bakalite alınmış ve zımparalanarak makro sertlik ölçümü için hazır hale getirilmiştir. Bu doğrultuda kesme sıvısı kullanılmadan ve kesme sıvısı kullanılarak 1600, 1800, 2000 dev/dk'da ve 5, 20 mm/dk ilerleme hızlarında gerçekleştirilen 12 adet kesme işleminde elde edilen numunelerin makro sertlikleri ölçülmüştür. Shimadzu marka sertlik ölçüm cihazı kullanılarak her numune için kesme bölgesinden itibaren 30 μm aralıklarla 5 adet ölçüm yapılmıştır. Her numuneye 10 saniye süreyle 2 kg yük uygulanmıştır.

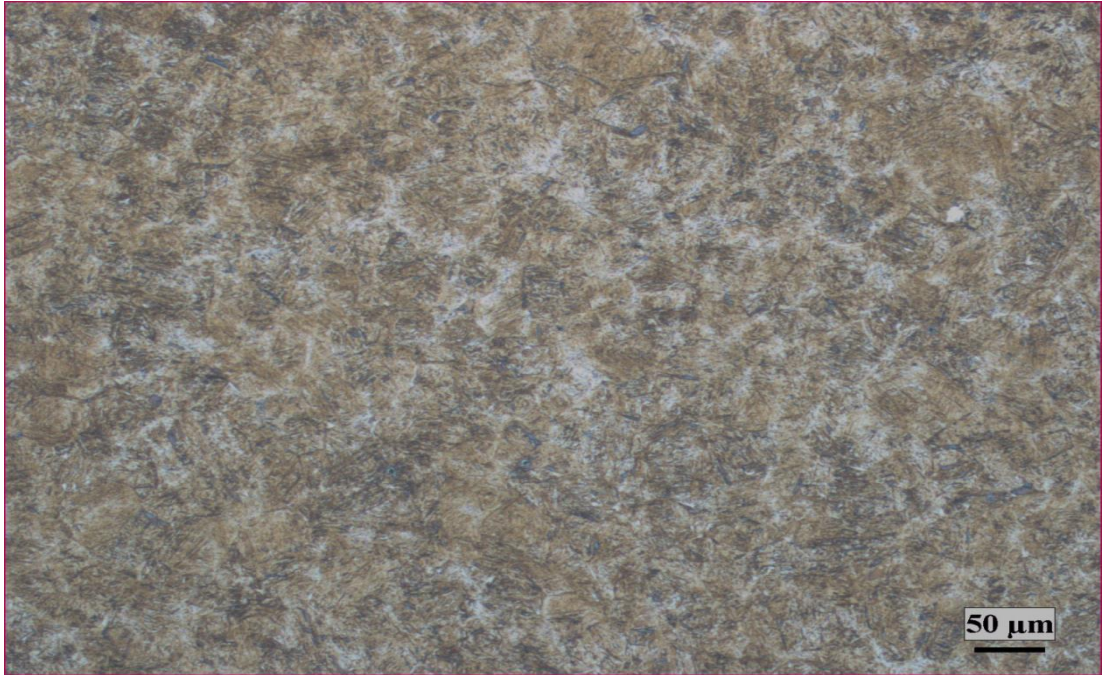
BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde; kesme işlemi öncesinde sertleştirilmiş deney numunesinin 200X, 500X ve 1000X büyütmede elde edilen mikroyapı fotoğrafları, kesilebilirlik çalışmaları sonucunda elde edilen yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri ve numunelerin makro sertlik değerleri sunulmuştur.

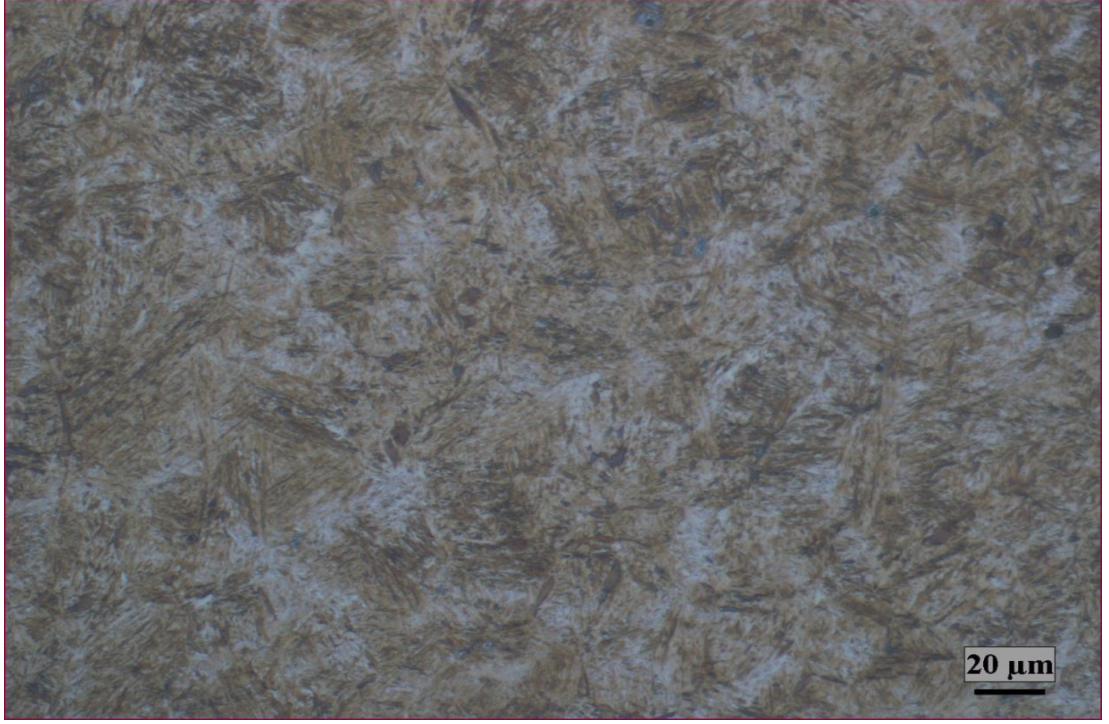
5.1. MİKROYAPI ANALİZİ

Numunenin 200X, 500X ve 1000X büyütmede elde edilen mikroyapı fotoğrafları şekil 5.1 a), b) ve c)'de gösterilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin martenzit bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

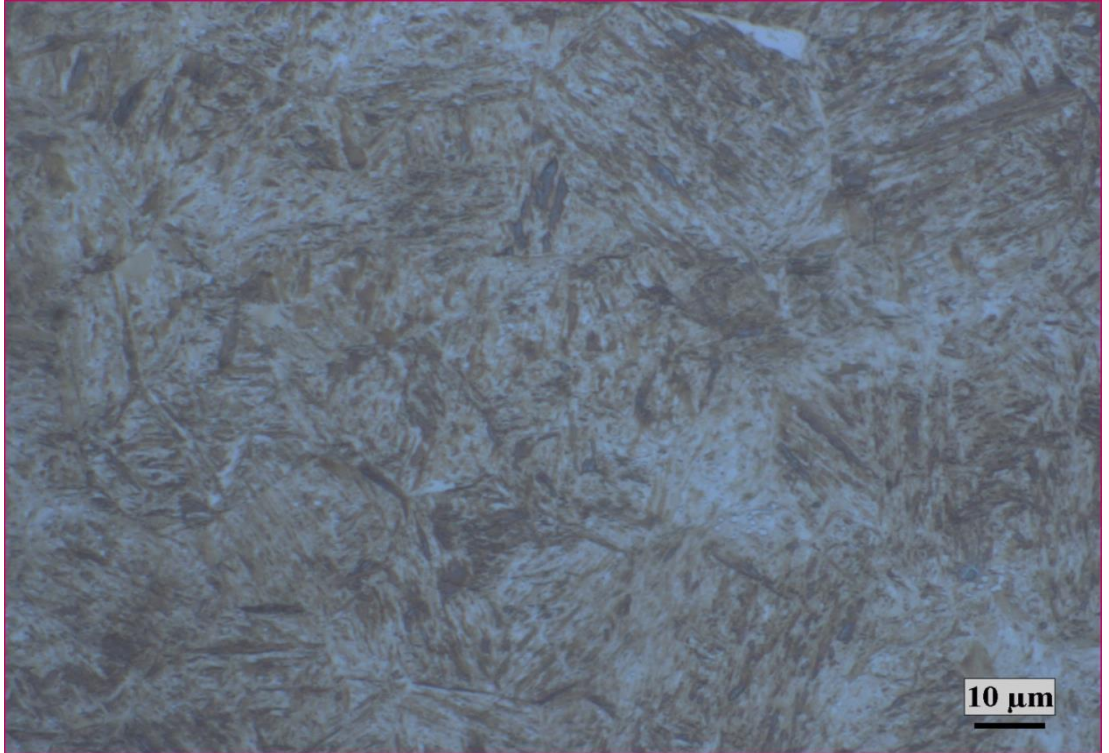


(a)

Şekil 5.1. Deneyslerde kullanılan 52100 rulman çeliğinin mikroyapısı a) X200 b) X500 c)X1000.



(b)



(c)

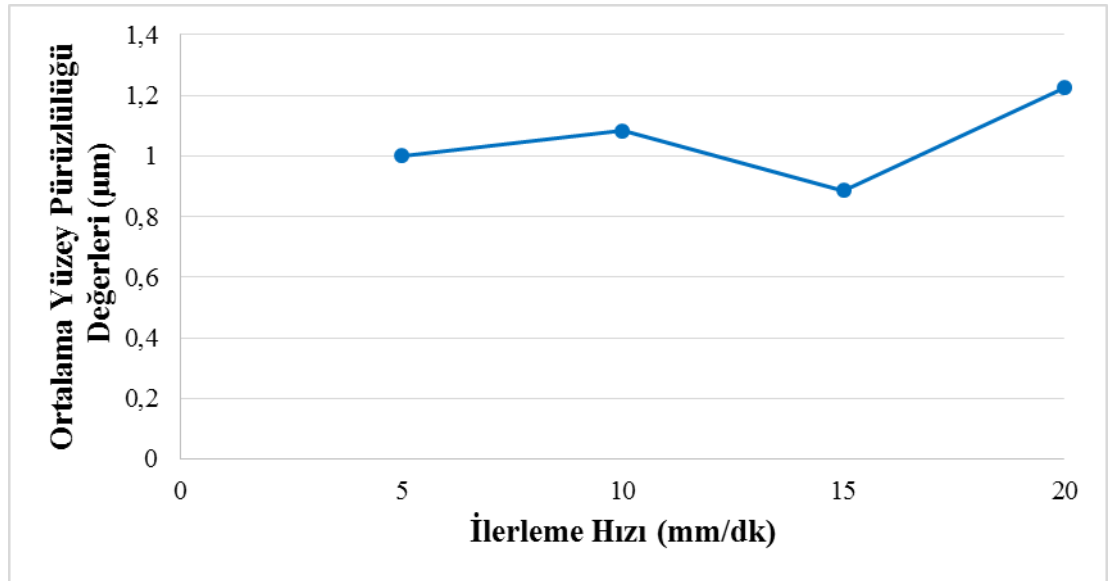
Şekil 5.1. (devam ediyor)

5.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ

Kesme sıvısı kullanılmadan 1600 dev/dk'da 5, 10, 15 ve 20 mm/dk ilerleme hızlarında kesilen numunelerin yüzeylerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. 1600 dev/dk'da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Devir Sayısı	İlerleme Hızı (mm/dk)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}
1600 dev/dk	5	0,932	1,057	1,013	1,0007
	10	0,998	1,116	1,135	1,083
	15	0,934	0,769	0,954	0,8857
	20	1,358	0,995	1,319	1,224



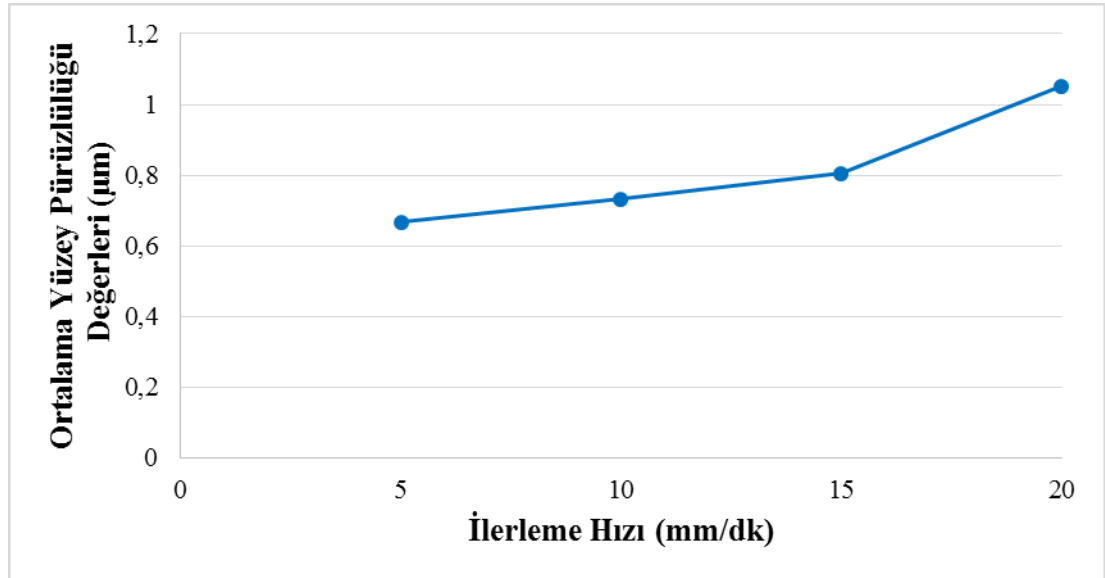
Şekil 5.2. Kesme sıvısı kullanılmadan 1600 dev/dk'da elde edilen Ra değerleri.

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde 15 mm/dk ilerleme hızında yüzey pürüzlülük değerinde bir düşme gerçekleşmiştir. Diğer veriler incelendiğinde ise ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri artmaktadır. Ayrıca kesilen parçaların yarıçap değerleri bütün ilerleme hızlarında 6,3 mm bulunmuştur.

Kesme sıvısı kullanılmadan 1800 dev/dk'da 5, 10, 15 ve 20 mm/dk ilerleme hızlarında kesilen numunelerin yüzeylerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.2 ve Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. 1800 dev/dk'da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Devir Sayısı	İlerleme Hızı (mm/dk)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}
1800 dev/dk	5	0,707	0,576	0,716	0,6663
	10	0,933	0,665	0,601	0,733
	15	0,799	0,861	0,755	0,805
	20	0,978	1,000	1,179	1,0523



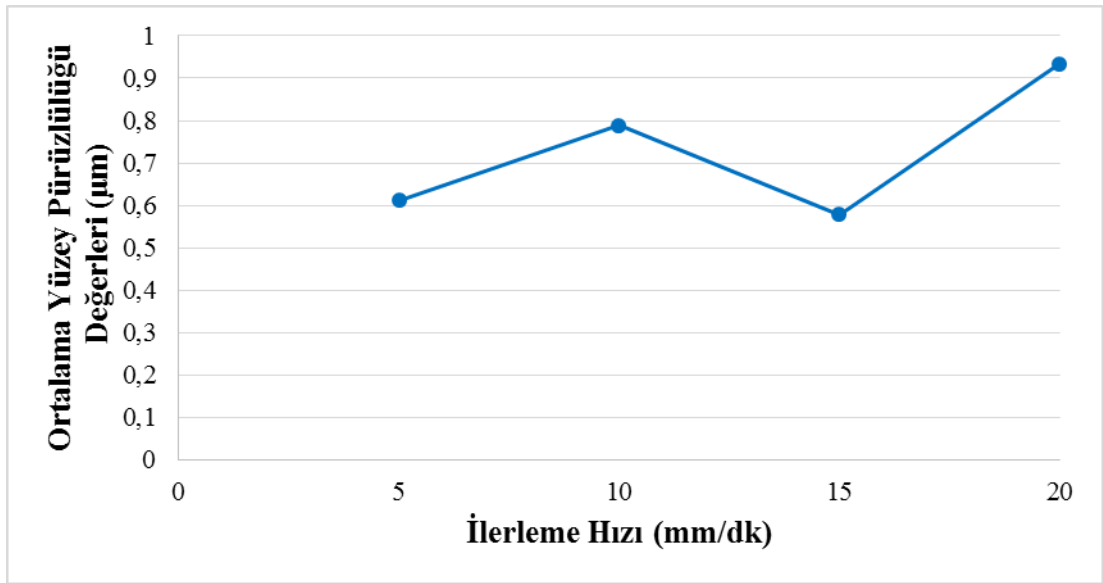
Şekil 5.3. Kesme sıvısı kullanılmadan 1800 dev/dk'da elde edilen Ra değerleri

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ilerleme hızı arttıkça yüzey kalitesi düşmüştür. 1600 dev/dk'da gerçekleştirilen kesme işlemiyle kıyaslandığında ise ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

Kesme sıvısı kullanılmadan 2000 dev/dk'da 5, 10, 15 ve 20 mm/dk ilerleme hızlarında kesilen numunelerin yüzeylerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. 2000 dev/dk'da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Devir Sayısı	İlerleme Hızı (mm/dk)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}
2000 dev/dk	5	0,807	0,895	0,133	0,6117
	10	0,872	0,855	0,638	0,7883
	15	0,467	0,509	0,759	0,5783
	20	0,569	1,297	0,937	0,9343



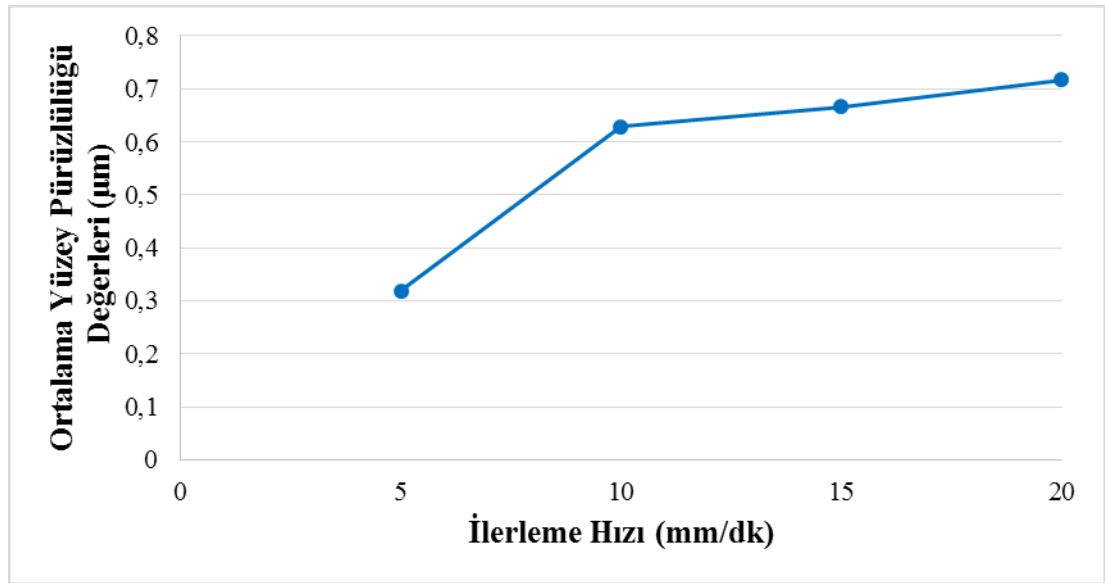
Şekil 5.4. Kesme sıvısı kullanılmadan 2000 dev/dk'da elde edilen Ra değerleri

Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde 15 mm/dk ilerleme hızında ortalama yüzey pürüzlülük değerinde düşüş meydana gelmiştir. Ancak diğer ilerleme hızları incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü değerleri artan ilerleme hızıyla birlikte artmıştır. 2000 dev/dk'da elde edilen değerler incelendiğinde 1600 dev/dk ve 1800 dev/dk'da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Kesme sıvısı kullanılmadan 2200 dev/dk'da 5, 10, 15 ve 20 mm/dk ilerleme hızlarında kesilen numunelerin yüzeylerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.4 ve Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. 2200 dev/dk’da elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

Devir Sayısı	İlerleme Hızı (mm/dk)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}
2200 dev/dk	5	0,567	0,228	0,162	0,319
	10	0,615	0,762	0,507	0,628
	15	0,577	0,480	0,943	0,6667
	20	0,646	0,683	0,822	0,717



Şekil 5.5. Kesme sıvısı kullanılmadan 2200 dev/dk’da elde edilen Ra değerleri

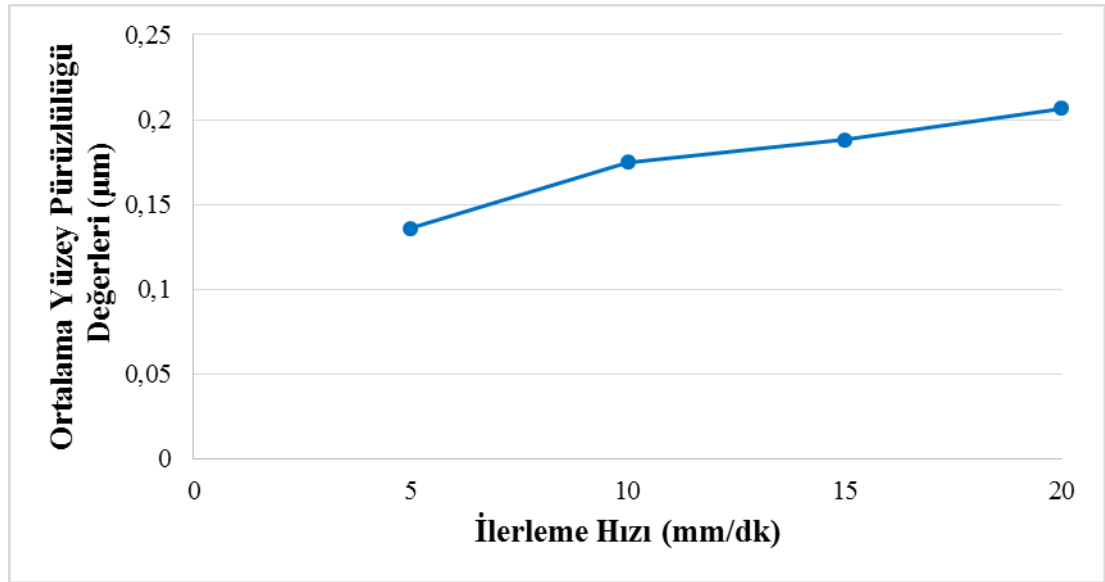
2200 dev/dk’da elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. 2200 dev/dk’da ilerleme hızı 15 mm/dk ve 20 mm/dk olarak ayarlandığında diskte kırılma meydana gelmiştir. Disk değiştirilerek deney tekrarlanmıştır. Ancak sistemde duraksamalar meydana gelmiştir. Bu değerlerde parça yüzeyinde de yanmalar meydana gelmiştir. 2200 dev/dk’da 15 ve 20 mm/dk ilerleme hızları için numunelerin kesilmesi elverişli değildir.

Kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen 16 deney sonucunda genel olarak ilerleme hızı düştükçe daha iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Diskin devir sayısı arttırıldıkça genel olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Kesme sıvısı kullanılarak 1600 devir/dk'da ve 5, 10, 15, 20 mm/dk ilerleme hızlarında kesilen numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Kesme sıvısı kullanılarak 1600 dev/dk'da elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

Devir Sayısı	İlerleme Hızı (mm/dk)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}
1600 dev/dk	5	0,114	0,136	0,158	0,136
	10	0,138	0,153	0,234	0,175
	15	0,122	0,167	0,276	0,1883
	20	0,232	0,196	0,192	0,2067



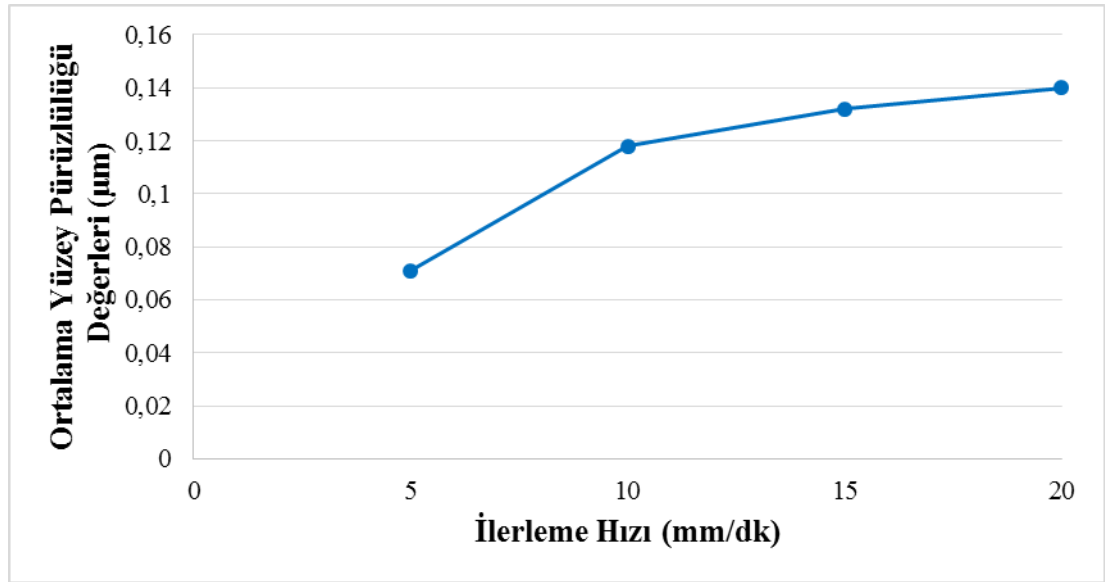
Şekil 5.6. Kesme sıvısı kullanılarak 1600 dev/dk'da elde edilen Ra değerleri

Gerçekleştirilen 4 deney sonucunda kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen kesme işlemine göre yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. İlerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. Kesilen parçaların yarıçap değerleri bütün ilerleme hızlarında 6,3 mm elde edilmiştir.

Kesme sıvısı kullanılarak 1800 devir/dk'da ve 5, 10, 15, 20 mm/dk ilerleme hızlarında kesilen numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.6 ve Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Kesme sıvısı kullanılarak 1800 dev/dk'da elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

Devir Sayısı	İlerleme Hızı (mm/dk)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}
1800 dev/dk	5	0,010	0,100	0,105	0,071
	10	0,116	0,118	0,120	0,118
	15	0,106	0,136	0,155	0,132
	20	0,117	0,138	0,166	0,140



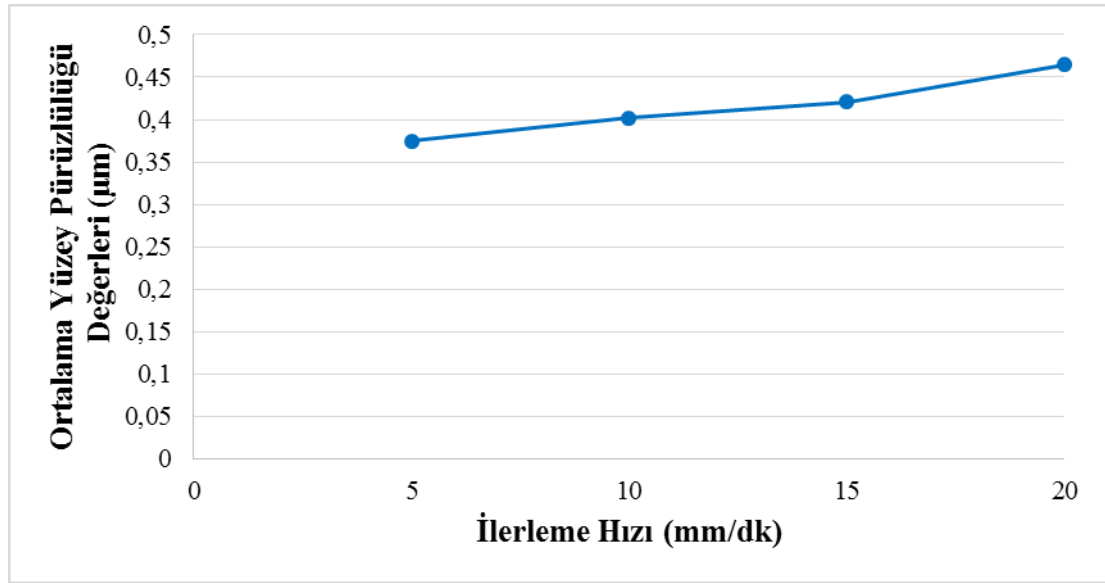
Şekil 5.7. Kesme sıvısı kullanılarak 1800 dev/dk'da elde edilen Ra değerleri

1800 dev/dk'da gerçekleştirilen kesme işlemlerinde de ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Kesme sıvısı kullanılarak 2000 devir/dk'da ve 5, 10, 15, 20 mm/dk ilerleme hızlarında kesilen numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Kesme sıvısı kullanılarak 2000 dev/dk'da elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri.

Devir Sayısı	İlerleme Hızı (mm/dk)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{ort}
2000 dev/dk	5	0,355	0,377	0,393	0,375
	10	0,374	0,326	0,506	0,402
	15	0,428	0,387	0,449	0,421
	20	0,474	0,462	0,459	0,465



Şekil 5.8. Kesme sıvısı kullanılarak 2000 dev/dk'da elde edilen Ra değerleri

2000 dev/dk'da gerçekleştirilen kesme işlemleri sırasında aşındırıcı disk kırılmıştır. Disk değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Ancak aşındırıcı diskte ciddi salınımlar meydana gelmiş ve sağlıklı bir kesme işlemi gerçekleştirilememiştir. Ayrıca gerçekleştirilen 4 deneyde de kesme işleminin son aşamasında aşındırıcı diskin numuneden ayrılırken ucundan parça kopardığı gözlemlenmiştir. Kesilen numune Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

2000 dev/dk'da diskteki patlamadan ve yarıçap değerlerinde sağlıklı sonuçlar elde edilememesinden dolayı 2200 dev/dk'da kesme sıvısı kullanılarak yapılacak olan kesme işlemleri gerçekleştirilmemiştir. Sonuç olarak, kesme sıvısı kullanılarak 2000

dev/dk ve daha yüksek devir sayılarında gerçekleştirilecek kesme işlemleri için abrasif kesme makinesinde sağlıklı sonuçlar elde edilemeyeceği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.9. Kesme sıvısı kullanılarak 2000 dev/dk'da 10 mm/dk ilerleme hızında kesilen parça.

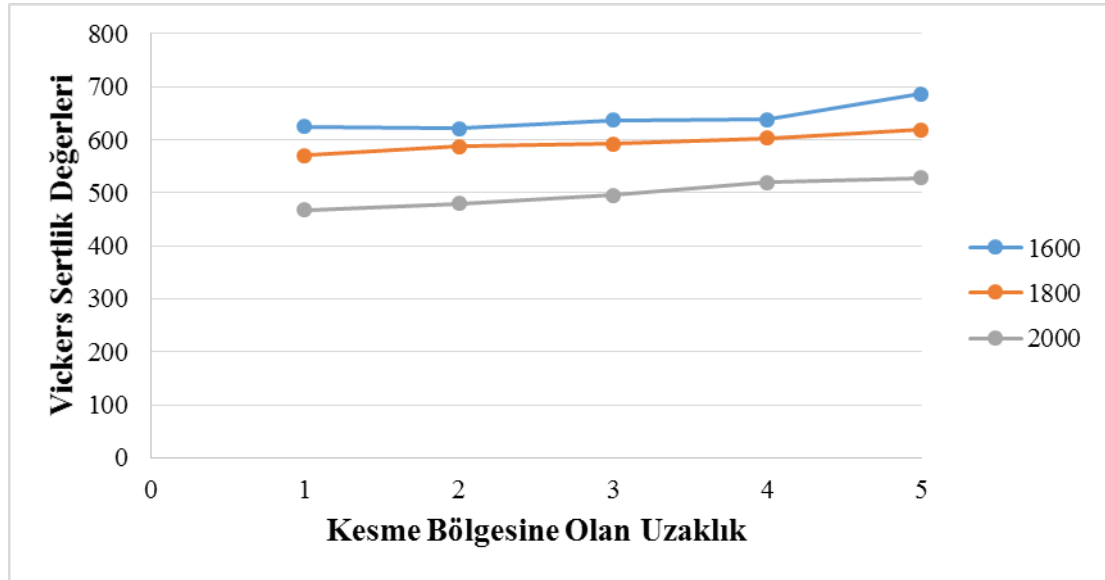
Kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen kesme işlemlerinde ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri, genel olarak devir sayısı arttıkça düşmüştür. 2000 dev/dk'da yüksek ilerleme hızlarında aşındırıcı tanelerin araya girmesinden dolayı disk patlamıştır. 2000 dev/dk'da sağlıklı bir kesme işlemi gerçekleştirilemediği için ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

5.3. MAKRO SERTLİK DEĞERLERİ

Kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen kesme işleminde elde edilen numunelerin Vickers sertlik değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.8 ve Şekil 5.10 a) ve b)'de gösterilmiştir.

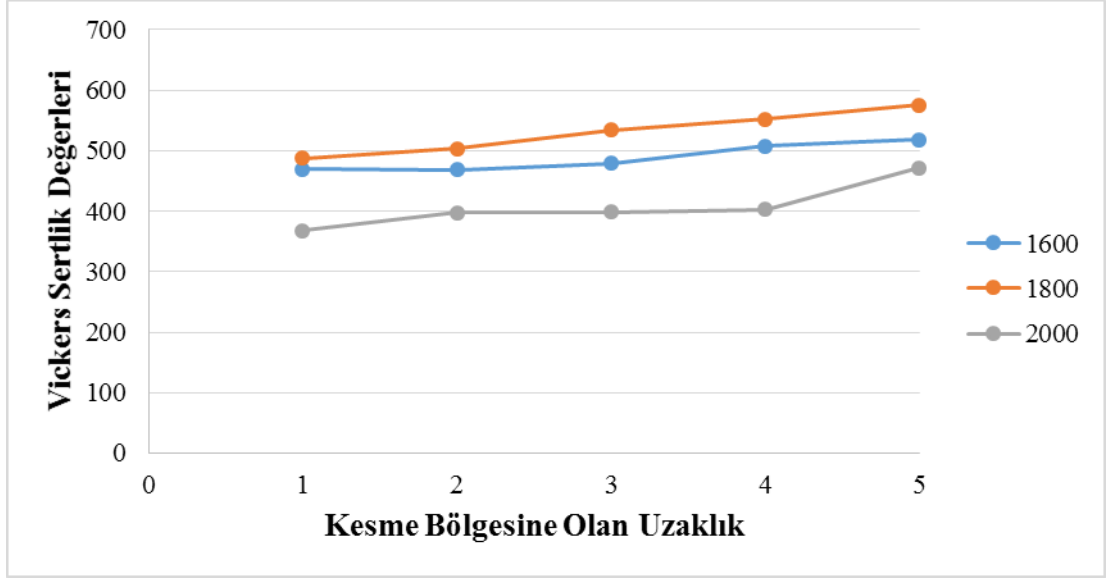
Çizelge 5.8. Kesme Sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen kesme işleminde elde edilen makro sertlik değerleri.

Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Vickers Sertlik Değerleri				
		1	2	3	4	5
1600	5	625	621	637	638	687
	20	470	469	479	508	518
1800	5	570	588	592	603	619
	20	488	503	534	552	575
2000	5	468	480	496	520	528
	20	368	398	399	403	472



(a)

Şekil 5.10. Kesme sıvısı kullanılmadan farklı devirlerde elde edilen sertlik değerleri, a) 5 mm/dk ilerleme hızında farklı devirlerde elde edilen sertlik değerleri, b) 20 mm/dk ilerleme hızında farklı devirlerde elde edilen sertlik değerleri.



(b)

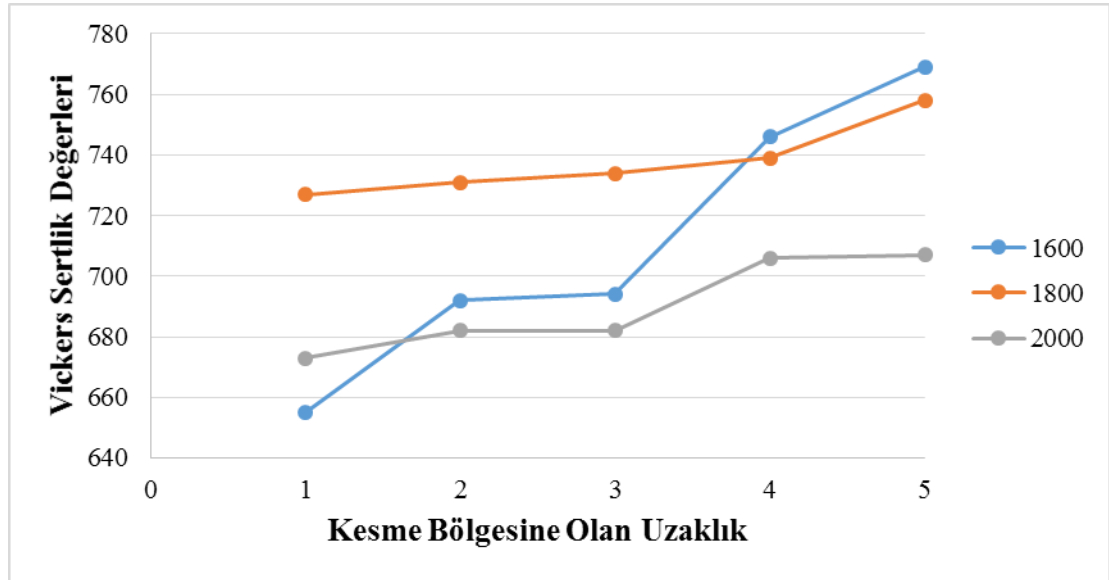
Şekil 5.10. (devam ediyor)

Elde edilen veriler incelendiğinde aşındırıcı diskle numunenin temas ettiği kesme bölgesinden uzaklaştıkça genel olarak numunenin sertliğinde artış görülmüştür. Çünkü kesme işlemi sırasında en fazla sıcaklık artışı aşındırıcı diskle numunenin temas ettiği yüzeyde olmuş ve bu yüzeyden uzaklaştıkça kademeli olarak sıcaklık azalmıştır. Ayrıca incelenen 3 devir sayısında da ilerleme hızı arttıkça malzemenin sertliğinde düşüş meydana gelmiştir. İlerleme hızı arttıkça kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın da artması numunelerin sertliğinde düşüşe neden olmuştur. Ayrıca, aynı ilerleme hızlarında devir sayısı arttıkça numunelerin sertliğinde düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir. Çünkü aynı ilerleme hızlarında devir sayısının artması kesici disk ile parçanın temas yüzeyinde sıcaklığın daha çok artmasına neden olmuştur. Bu durumda parçanın sertliğinde, düşük devir sayılarında gerçekleştirilen kesme işlemlerine göre daha çok düşüş meydana gelmiştir.

Kesme sıvısı kullanılarak farklı devir sayısı ve ilerleme hızlarında kesme işlemi gerçekleştirilen 6 adet numunenin Vickers sertlik değerleri ve grafiksel gösterimi sırasıyla Çizelge 5.9 ve Şekil 5.11. a) ve b)'de gösterilmiştir.

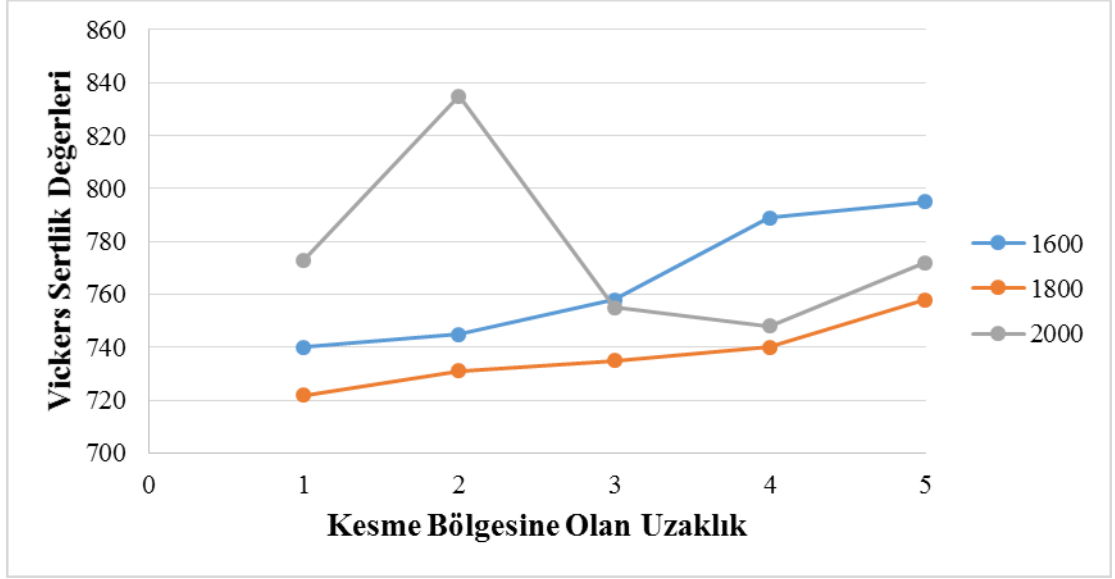
Çizelge 5.9. Kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen kesme işleminde elde edilen makro sertlik değerleri.

Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Vickers Sertlik Değerleri				
		1	2	3	4	5
1600	5	655	692	694	746	769
	20	740	745	758	789	795
1800	5	727	731	734	739	758
	20	722	731	735	740	758
2000	5	673	682	682	706	707
	20	773	835	755	748	772



(a)

Şekil 5.11. Kesme sıvısı kullanılarak farklı devirlerde elde edilen sertlik değerleri, a) 5 mm/dk ilerleme hızında elde edilen sertlik değerleri, b) 20 mm/dk ilerleme hızında elde edilen sertlik değerleri.



(b)

Şekil 5.11. (devam ediyor).

Elde edilen veriler incelendiğinde aşındırıcı disk ile numunenin temas ettiği yüzeyden uzaklaştıkça malzemenin sertliği artmıştır. Bu açıdan sonuçlar, kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen kesme işlemlerinde elde edilen makro sertlik değerleri ile paralellik göstermiştir. Ancak kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen kesme işleminin aksine bütün devir sayılarında ilerleme hızı arttıkça malzemenin sertliği artmıştır. Kesme sıvısı kullanılarak gerçekleştirilen kesme işlemlerinde malzemelerin sertlik değerleri ile devir sayısı arasında sağlıklı bir ilişki kurulamamıştır.

BÖLÜM 6

6.1. SONUÇLAR

Sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin tasarım ve imalatı gerçekleştirilen abrasif kesme makinesi yardımıyla farklı devir sayısı ve ilerleme hızlarında kesilerek yüzey pürüzlülüğünün ve mikroyapısının incelendiği bu çalışmada;

1. Numunenin kesme işlemi öncesinde 200X, 500X ve 1000X büyütmede elde edilen mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde martenzit bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.
2. Kesme sıvısı kullanılarak 2000 dev/dk'da gerçekleştirilen kesme işlemleri sırasında aşındırıcı disk kırılmıştır. Yüksek ilerleme hızlarında aşındırıcı tanelerin araya girmesi diskin kırılmasına neden olmuştur. Disk değiştirilerek deneyler tekrarlanmış ancak aşındırıcı diskte ciddi salınımlar meydana gelmiştir. Ayrıca 2000 dev/dk'da gerçekleştirilen 4 deneyde de kesme işleminin son aşamasında aşındırıcı diskin numuneden ayrılırken ucundan parça kopardığı gözlemlenmiştir.
3. Kesme sıvısı kullanılarak 2000 dev/dk'da gerçekleştirilen kesme işlemlerinde, diskteki patlamadan ve numunenin yarıçap değerlerinde sağlıklı sonuçlar elde edilememesinden dolayı 2200 dev/dk'da yapılacak olan kesme işlemleri gerçekleştirilmemiştir.
4. Genel olarak ilerleme hızı düştükçe ve diskin devir sayısı arttırıldıkça daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.
5. Gerçekleştirilen makro sertlik ölçümleri sonucunda aşındırıcı diskle numunenin temas ettiği kesme bölgesinden uzaklaştıkça numunenin sertliğinde artış gözlemlenmiştir. Kesme sıvısının kullanılmadığı deneylerde ilerleme hızı arttıkça

malzemelerin sertliğinde düşüş meydana gelmiştir. İlerleme hızı arttıkça kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın da artması numunelerin sertliğinde düşüşe neden olmuştur. Ayrıca aynı ilerleme hızlarında devir sayısı arttıkça numunelerin sertliğinde düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir.

6. Kesme sıvısı kullanılarak yapılan kesme işlemlerinde elde edilen makro sertlik değerleri incelendiğinde kesme bölgesinden uzaklaşıldıkça malzemenin sertliği artmıştır. Ancak kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilen kesme işlemlerinde elde edilen sertlik değerlerinin aksine bütün devir sayılarında ilerleme hızı arttıkça malzemelerin sertliği artmıştır. Malzemelerin sertlik değerleri ile devir sayıları arasında sağlıklı bir ilişki kurulamamıştır.
7. Bir CNC abrasif kesme makinesinin tasarım ve imalatı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

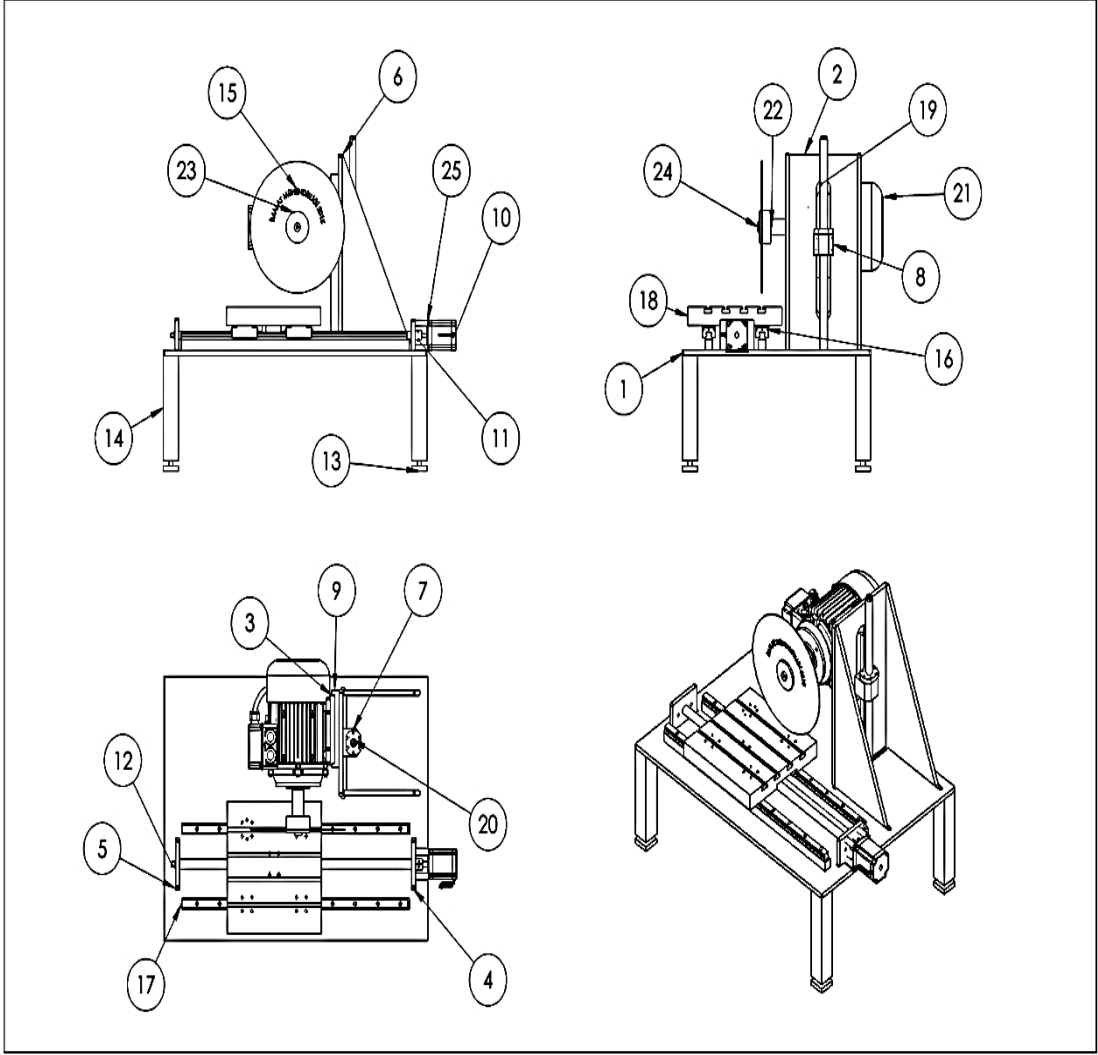
1. Kuş, A., “AISI 52100 rulman çeliğinin tornalanmasında uygun kesici takım ve kesme parametrelerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 2, 53, 59 (2013).
2. Neugebauer, R., Hess, K. U., Gleich, S., and Pop, S., “Reducing tool wear in abrasive cutting”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1120-1123 (2005).
3. Anderson, D., Warkentin, A., and Bauer, R., “Experimental and numerical investigations of single abrasive grain cutting”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51: 898-910 (2011).
4. Anderson, D., Warkentin, A., and Bauer, R., “Development of an experimentally validated abrasive-grain cutting model using a hybrid Euler-Lagrange finite element formulation”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 53: 1-12 (2012).
5. Anderson, D., Warkentin, A., and Bauer, R., “Comparison of spherical and truncated cone geometries for single abrasive-grain cutting”, *Journal of Materials Processing Technology*, 212: 1946-1953 (2012).
6. Saraçyakupoğlu, T., “Aşındırıcı su jeti ile kesmede malzeme, basınç, ilerleme hızı ve su jeti çapının yüzey kalitesine etkisinin analizi”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 102-120 (2012).
7. Coşansu, G., “Aşındırıcı su jeti ile kesmede kolemanit tozunun aşındırıcı olarak kullanılmasının deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 83-87 (2010).
8. Akkurt, A., “Çeşitli malzemelerin aşındırıcı su jeti ile kesilmesinde yüzey özellikleri, sertlik mikroyapı değişimlerinin farklı kesme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 272-278 (2002).
9. Sevim, İ., “Çeliklerin abrasif aşınmasında aşındırıcı tane büyüklüğünün aşınma direncine etkisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-13, 152-155 (1998).
10. Çelik, H. S., “ZA-27 alaşımının abrasif aşınma performansının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 17-20, 49-51 (2010).

11. Marteau, J., and Bigerelle, M., "Relation between surface hardening and roughness induced by ultrasonic shot peening", *Tribology International*, 83: 105-113 (2015).
12. Silberschmidt, V. V., Mahdy, S. M. A., Gouda, M. A., Naseer, A., Maurotto, A., and Roy, A., "Surface-roughness improvement in ultrasonically assisted turning", *Procedia CIRP*, 13: 49-54 (2014).
13. Ballıkaya, H., "100Cr6 çeliğinin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemiyle işlenmesinde kesme parametrelerinin deneysel araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 39-57 (2011).
14. Avcu, E., "Farklı büyüklüklere sahip aşındırıcı partikül karışımlarının Ti6Al4V alaşımının erozif aşınma davranışına etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 30-31 (2011).
15. Çiftçi, İ., "Mühendislik malzemelerinin işlenmesi", *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Lisansüstü Ders Notları, Karabük, 38-39 (2013).
16. Kına, M., "Silindirik yüzeylerin taşlanmasında değişik helis açılı taşların yüzey pürüzlülüğüne ve daireselliğe etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 26-27 (2011).
17. Aslan, N., "Ti-6Al-4V alaşımının işlenmesinde kriyojenik soğutmanın yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 25-26, 41 (2012).
18. Oktay, H., "Eğik yüzeylerin frezelenmesinde farklı işleme yönlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 22-25 (2011).
19. Yılmaz, E., "Dış tornalama işleminde, takım tutucu malzemesinin ve sertliklerinin (HRC) yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin gri ilişkisel analiz yöntemiyle belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 8 (2010).
20. Çakmak, İ., "Frezeleme işleminde takım talaş kırıcı formunun yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 36-37 (2013).
21. Hozatlı, B., "Silindirik parçaların şekil ve konum toleranslarının otomatik kontrolü ve sistem tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, 10-13 (2006).
22. Taghizadeh Gavgani, S., "Plastik ürünler için toleransların, kontrol edilebilen enjeksiyonla kalıplama değişkenleriyle teorik ve deneysel ilişkilendirilmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-14 (2014).

23. İşler, B., “Yüksek hassasiyette iş parçalarının geliştirilmesinde 3D ölçme teknolojisi ve geometrik toleranslandırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-19, 25-39 (2014).
24. Turhan, A., “Tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun geometrik toleranslara etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 67-68 (2008).
25. Aydoğdu, D., “Tel erozyonda kesme parametrelerinin parçanın boyut ve şekil toleranslarına etkilerinin deneysel incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 78 (2009).
26. Öteyaka, M. Ö., “DIN 115CrV3 çeliğinden; ısıtılmalı, TiN ve CrN ile kaplamalı üretilen kesici uçların, mikroyapı ve kesme performansının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 4-7 (2013).
27. Çiftçi, İ., “İmalat yöntemleri”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Lisansüstü ders notları, Karabük, 64-66 (2012).
28. İnternet: Bodycote İstaş Isıl İşlem Sanayi ve Ticaret A.Ş., “Isıl İşlem”, <http://www.bodycote.com/tr-TR/services/heat-treatment/harden-and-temper/neutral-hardening.aspx> (2015).
29. İnternet: Şahin Rulman Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., “Lineer Kızak Lineer Ray Araba SHN 15 B Serisi”, http://www.sahinrulman.com/site/index.php?option=com_content&view=article&id=111&Itemid=276&lang=en (2015).
30. Uygun, D., “Hibrit adım motorunun sayısal kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-7, (2006).
31. İnternet: Çetinkaya Makine Otomasyon ve Hareket Sistemleri Elektro-mekanik market, “2.2 Nm Step Motor”, <http://www.otomasyoncu.net/22NM-5757STH76-2108A-SOYO,PR-14.html> (2015).
32. İnternet: Kontek Otomasyon A.Ş., “GD10 Catalog”, <http://www.kontekotomasyon.com.tr/images/documents/Goodrive10%20Catalog.pdf> (2015).
33. İnternet: Mean Well Enterprises Co. Ltd., “NES-150 Series”, <http://www.meanwell.com/search/NES-150/NES-150-spec.pdf> (2015).

EK AÇIKLAMALAR A.

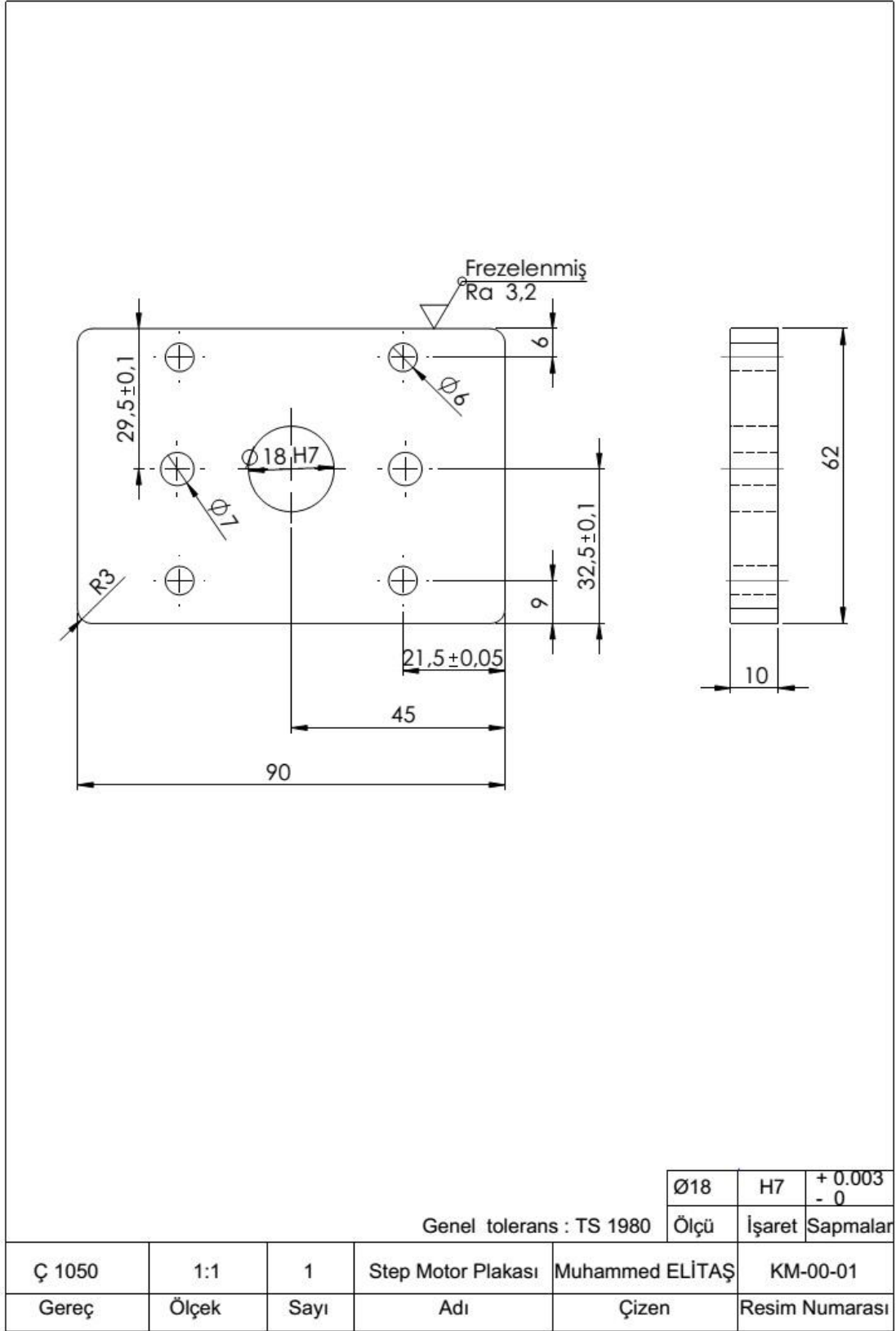
**MAKİNEYİ OLUŞTURAN PARÇALARIN YAPIM RESİMLERİ VE
MAKİNEİNİN 2 BOYUTLU MONTAJ RESMİ**



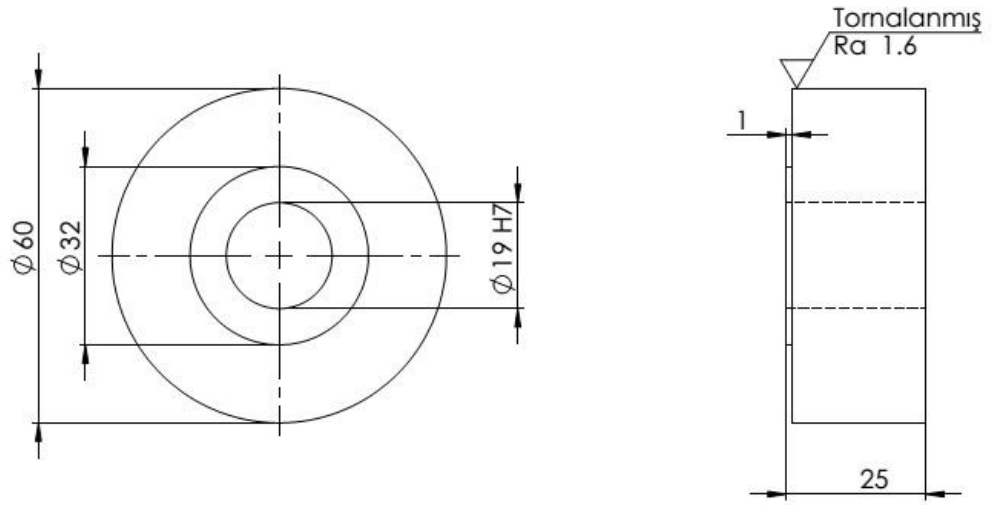
Şekil Ek A.1. Abrasif kesme makinesinin 2 boyutlu montaj resmi.

Parça No.	Adı ve Açıklamalar	Standart Nu. Resim Nu.	Adet	Malzeme	Açıklamalar
1	Şase	KM-00-10	1	Platina	-
2	Düz Plaka	KM-00-07	1	Ç 1050	-
3	Z Eksenli Kızağı	KM-00-04	1	Ç 1050	-
4	Step Motor Plakası	KM-00-01	1	Ç 1050	-
5	Kızakların Plakası	KM-00-06	1	Ç 1050	-
6	Yan Plakalar	KM-00-09	2	Platina	-
7	Vidalı Mil Somun Sfur 2005	-	2	-	Hazır
8	Vidalı Mil Somun Gövdesi BSG20H	-	2	-	Hazır
9	Düz Kızak Plakası	KM-00-05	1	Ç 1050	-
10	Step Motor	-	1	-	Hazır
11	Kaplin	-	1	AL 7075	Hazır
12	Vidalı Mil (300mm)	-	1	-	Hazır
13	Ayaklar	KM-00-08	4	Ç 1040	Hazır
14	Kavcuk Ayaklar	-	4	-	Hazır
15	Kesici Disk	-	1	AIO2	Hazır
16	Lineer Kızak Ray Arabası SHN B15	-	4	-	Hazır
17	Lineer Kızak SH 15	-	2	-	Hazır
18	Tabla	KM-00-03	1	AL 7000	-
19	Vidalı Mil (600mm)	-	1	-	Hazır
20	Somun	-	1	-	Hazır
21	AC Motor	-	1	-	Hazır
22	Motor Flanşı	KM-00-02	1	Ç 1040	-
23	Motor Flanşı Kapağı	KM-00-11	1	Ç 1040	-
24	Pul	-	1	-	Hazır
25	Step Motor Tutucusu	-	4	-	Hazır
	Tarih	Adı	İmza	Sayı	Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği
Çizen	10.05.2015	Muhammed ELİTAŞ		1	
Kontrol	20.05.2015	İbrahim ÇİFTÇİ			
Ölçek	Kesme Makinesinin Tasarımı				Resim Numarası
1:10					KM-01-00

Şekil Ek A.2. Abrasif kesme makinesinin 2 boyutlu montaj resmi bilgileri.



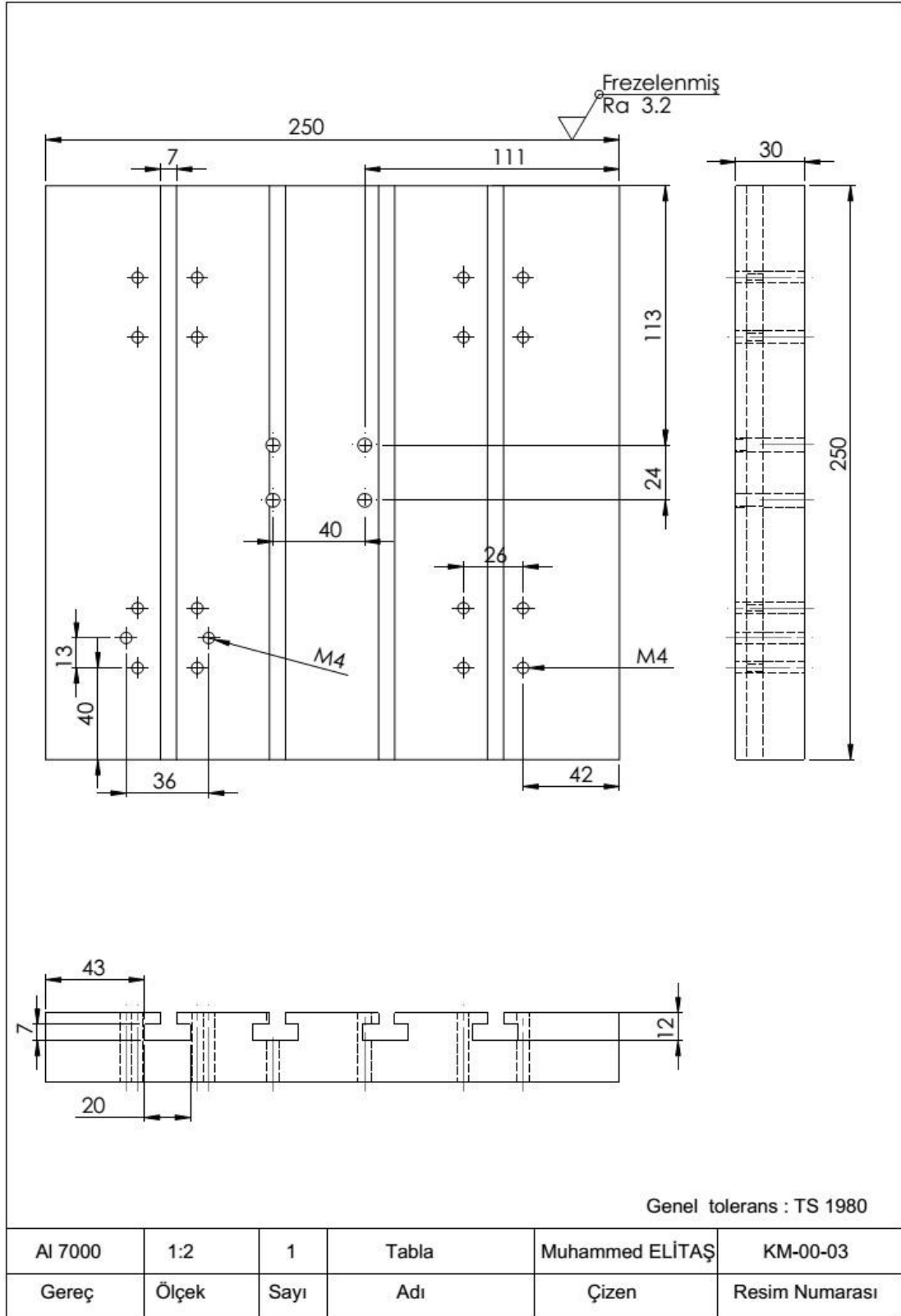
Şekil Ek A.3. Step motor plakasının yapım resmi.



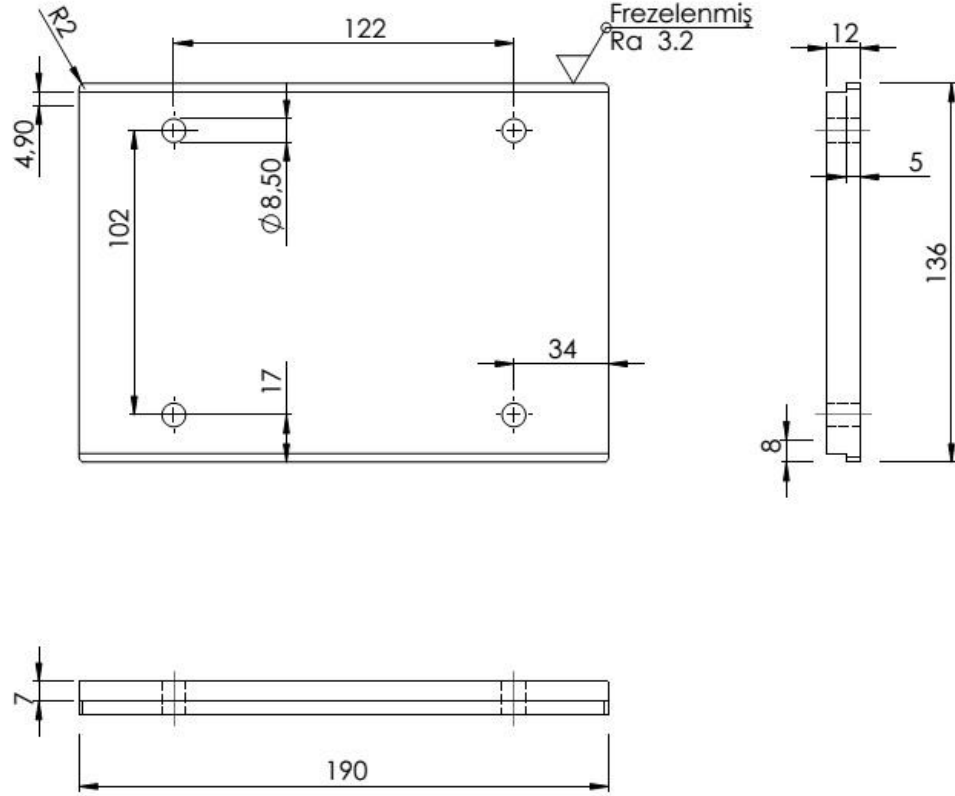
				$\varnothing 19$	H7	+ 0.003 - 0
				Ölçü	İşaret	Sapmalar
Ç 1040	1:1	1	Motor Flanşı	Muhammed ELİTAŞ		KM-00-02
Gereç	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim Numarası	

Genel tolerans : TS 1980

Şekil Ek A.4. Motor flanşının yapım resmi.



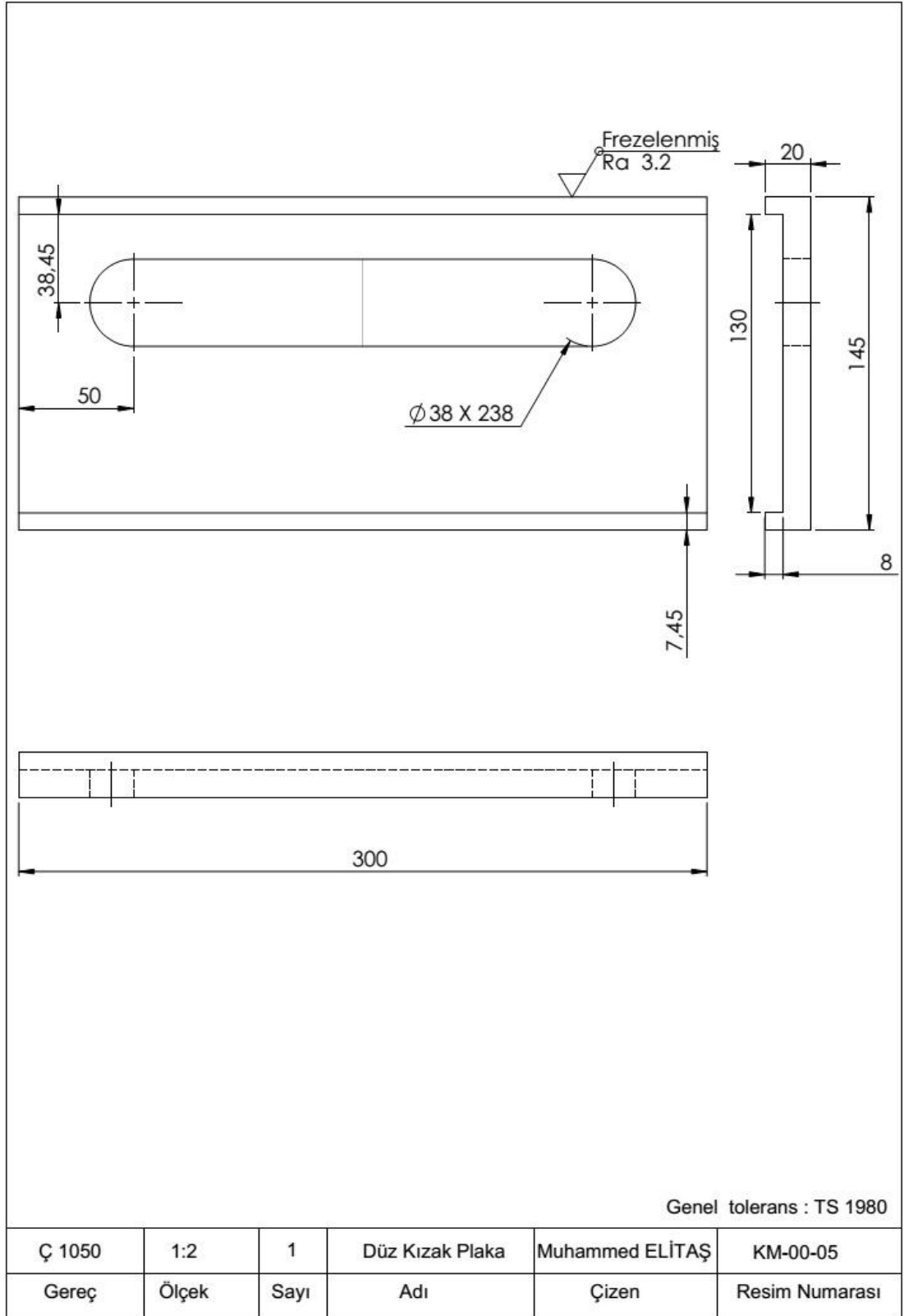
Şekil Ek A.5. Tablanın yapım resmi.



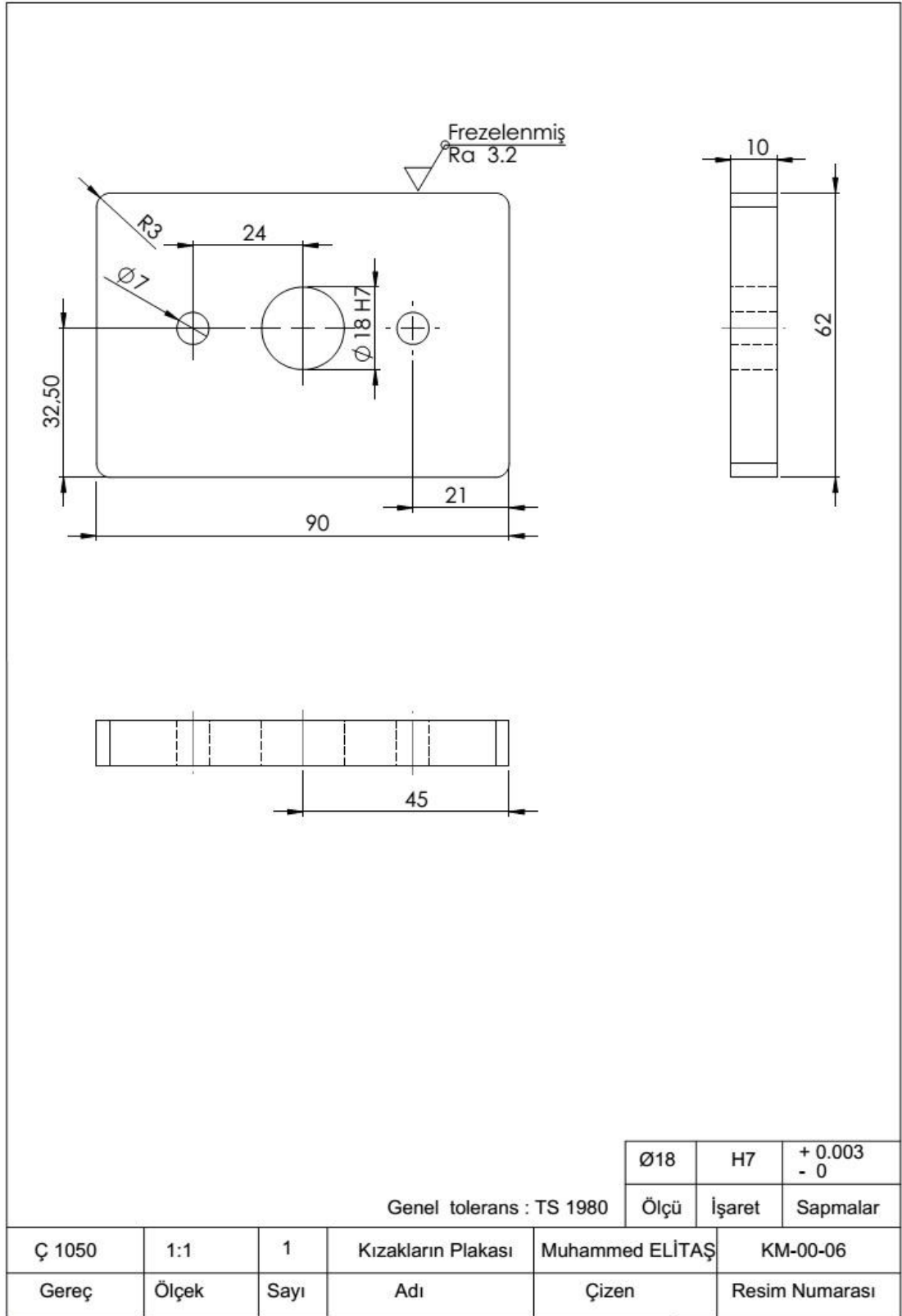
Genel tolerans : TS 1980

Platina	1:2	1	Z Ekseni Kızağı	Muhammed ELİTAŞ	KM-00-04
Gereç	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim Numarası

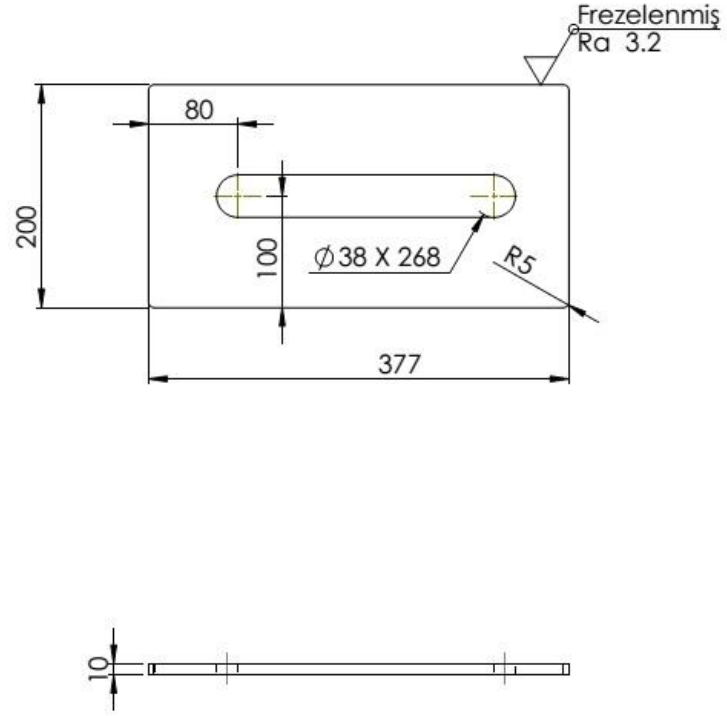
Şekil Ek A.6. Z ekseni kızağının yapım resmi.



Şekil Ek A.7. Düz kızak plakasının yapım resmi.



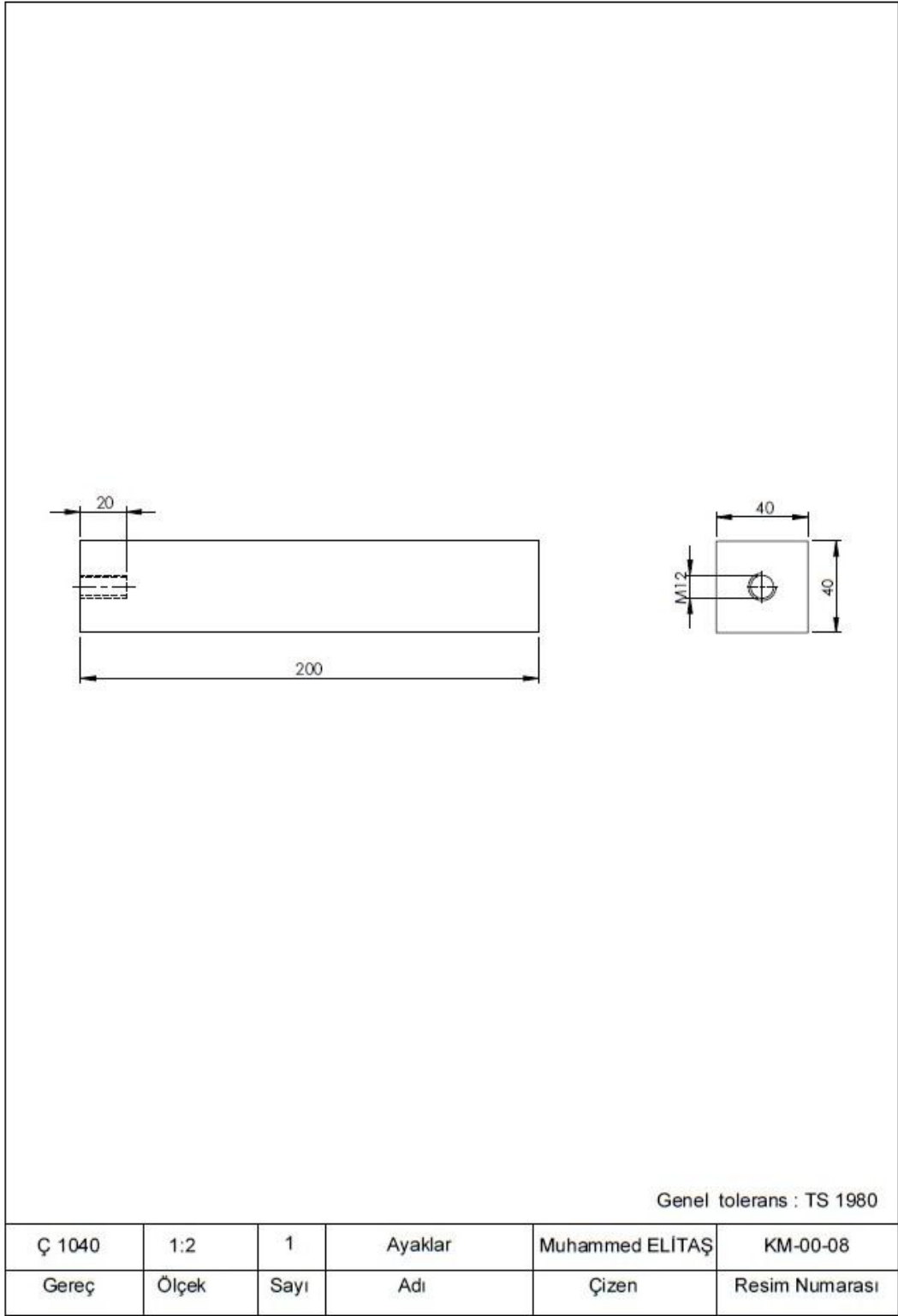
Şekil Ek A.8. Kızakların plakasının yapım resmi.



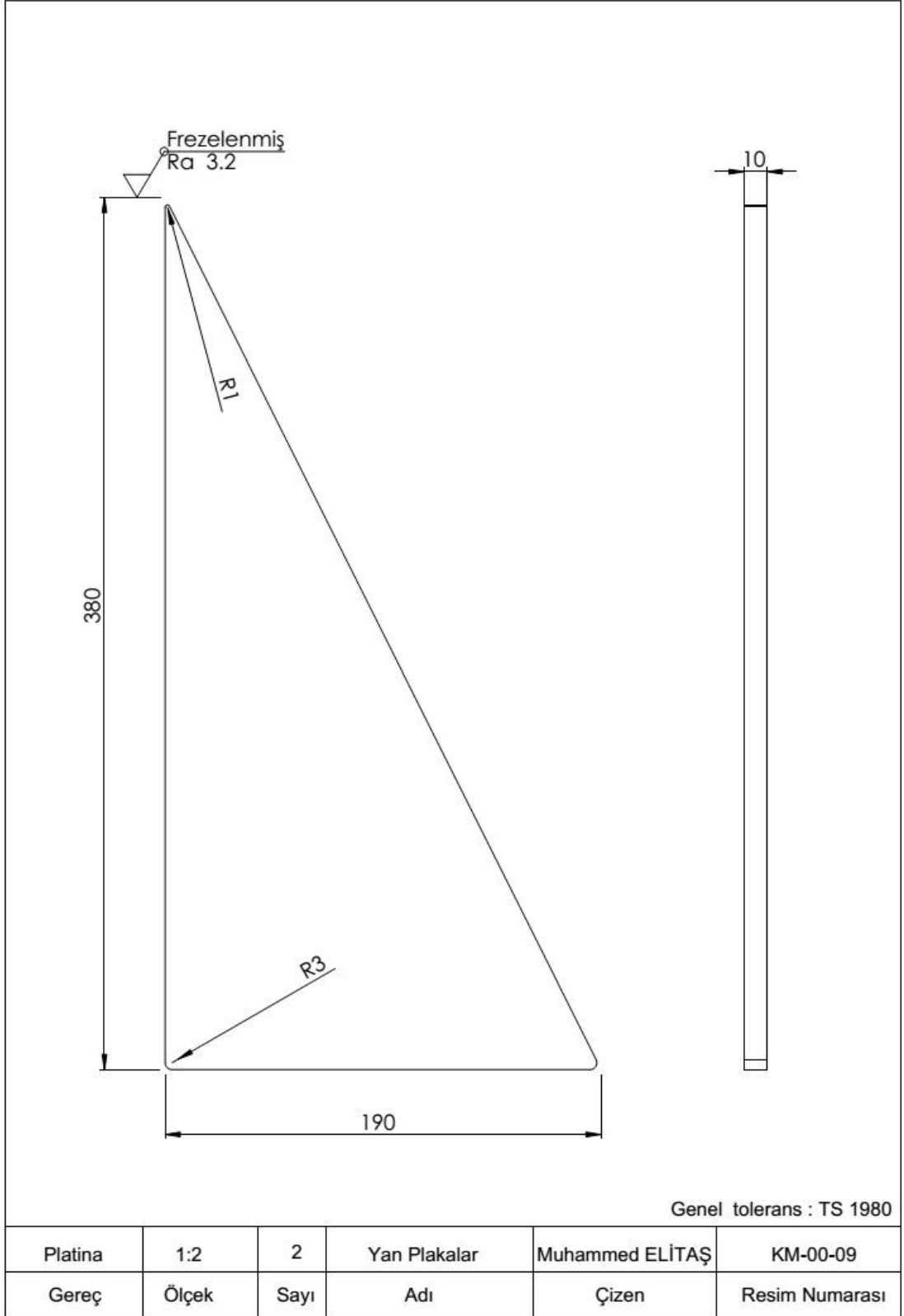
Genel tolerans : TS 1980

Ç 1050	1:5	1	Düz Plaka	Muhammed ELİTAŞ	KM-00-07
Gereç	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim Numarası

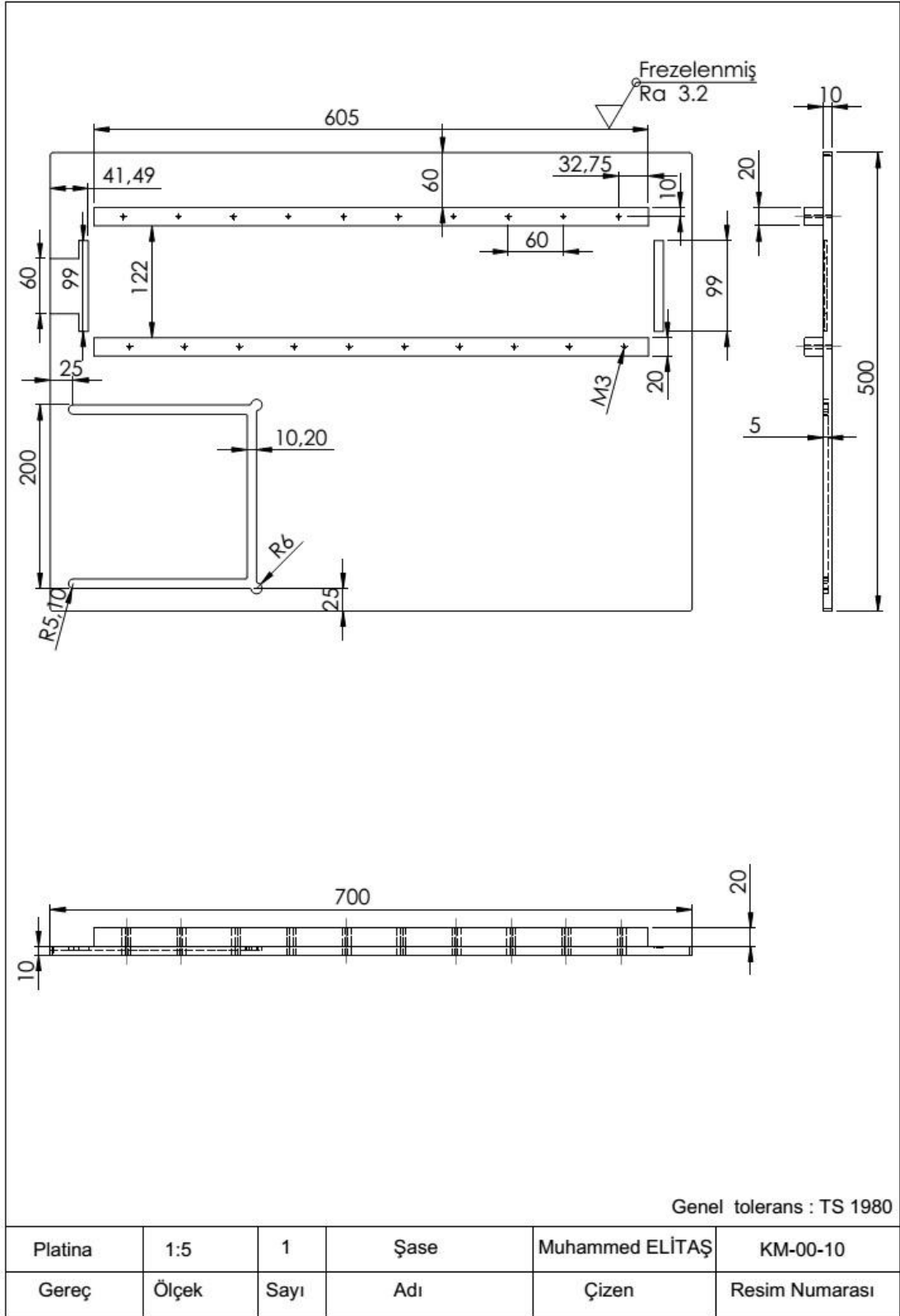
Şekil Ek A.9. Düz plakanın yapım resmi.



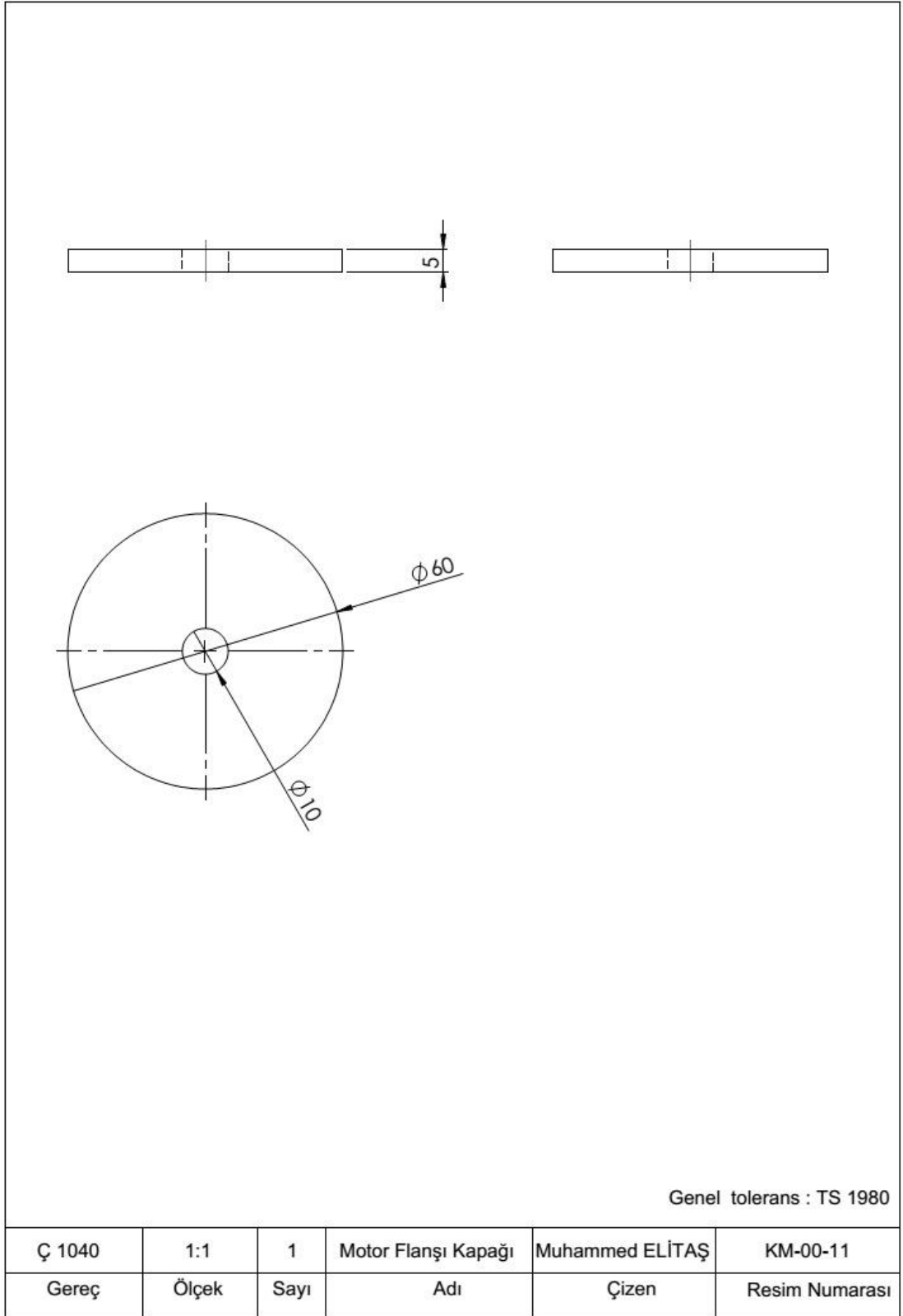
Şekil Ek A.10. Ayakların yapım resmi.



Şekil Ek A.11. Yan plakaların yapım resmi.



Şekil Ek A.12. Şasenin yapım resmi.



Şekil Ek A.13. Motor flanşı kapağının yapım resmi.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed ELİTAŞ 1990 yılında Bursa ilinin Mudanya ilçesinde doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı ilçede tamamladı. Osmangazi Gazi Anadolu Lisesinden 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünde öğrenime başlayıp 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans Programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : 100. Yıl Mah. Esenyuva Sitesi

B Blok No:8/ KARABÜK

Tel : (532) 164 4382

E-posta : melitas@karabuk.edu.tr