



**100Cr6 RULMAN DIŞ BİLEZİKLERİNİN YUVARLANMA YOLU
BİTİRME TAŞLAMA OPERASYONUNDA REÇİNE BAĞLAYICILI CBN
TAŞ İLE İŞLEME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Onur DAĞDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2020

Onur DAĞDEMİR tarafından hazırlanan “100Cr6 RULMAN DIŞ BİLEZİKLERİNİN YUVARLANMA YOLU BİTİRME TAŞLAMA OPERASYONUNDA REÇİNE BAĞLAYICILI CBN TAŞ İLE İŞLEME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mahmut İZCİLER

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çankırı Karatekin Üniversitesi

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

.....

Üye: Prof. Dr. Zafer TEKİNER

İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 08/06/2020

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Onur DAĞDEMİR

08/06/2020

100Cr6 RULMAN DIŞ BİLEZİKLERİNİN YUVARLANMA YOLU BİTİRME
TAŞLAMA OPERASYONUNDA REÇİNE BAĞLAYICILI CBN TAŞ İLE İŞLEME
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Onur DAĞDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

ÖZET

Rulman üretimindeki nihai talaş kaldırma operasyonu; bileziklerin yuvarlanma yolunun taşlanması işlemidir. Yuvarlanma yolu taşlama işlemi için genellikle Al_2O_3 taşlar tercih edilmektedir. Bu çalışmada; CBN aşındırıcıya sahip reçine bağlayıcılı taş kullanılarak yapılan taşlama işleminde, taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değerinin, bileziklerin yuvarlanma yolunun dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Minitab programı kullanılarak merkezi kompozit metodu ile deney tasarımı oluşturulmuştur. Deney sonuçları için varyans analizi yapılmıştır. CBN taş kullanılarak yapılan, rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yolunun taşlanması işleminde; girdi parametrelerinin, yuvarlanma yolunun dairesellik hatası üzerindeki etkisinin çoktan aza doğru sırası: taş devri, ilerleme değeri ve iş parçası devri olduğu görülmüştür. Taş devri ve ilerleme değerindeki artışın; dairesellik hatasını arttırdığı, iş parçası devrindeki artışın ise düşürdüğü tespit edilmiştir. İş parçası devrinin; bileziklerin yuvarlanma yolunun yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Ayrıca ilerleme değerinin, taş devrine kıyasla daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Taş devrinin artışı ile birlikte, yüzey pürüzlülüğü değerinde azalma olduğu görülmüştür. İlerleme değerinin artışı ise yüzey pürüzlülüğü değerinin artmasına sebep olmuştur. Bileziklerin yuvarlanma yollarında dairesellik hatasının ve yüzey pürüzlülüğünün düşük olması istenmektedir. Bu amaç doğrultusunda ideal parametreler bulunmuştur.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Rulman bileziği, Yuvarlanma yolu, Taşlama, 100Cr6, CBN
Sayfa Adedi : 67
Danışman : Prof. Dr. Mahmut İZCİLER

DETERMINATION OF PROCESS PARAMETERS IN FINISH GRINDING OF 100Cr6
BEARING OUTER RING RACEWAY USING RESIN BONDED CBN WHEEL

(M. Sc. Thesis)

Onur DAĞDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2020

ABSTRACT

The last material removal process in the bearing manufacturing is raceway grinding of the ring. In general, Al_2O_3 stones are chosen for raceway grinding. Raceway grinding is performed by CBN adhesives with resin bonding agents, effects of the different stone speed, workpiece speed and the feed rate to roundness error and surface roughness are examined in this study. Experiments are designed by using the central composite system via Minitab. Variance analysis is carried out for experiment results. Raceway grinding is performed by CBN Stones; the order of input parameters according to effect on roundness error of raceway is as follows: stone speed, feed rate, workpiece speed. It is found that increasing the stone speed and feed rate causes increase in roundness error. In fact increasing the speed of workpiece causes decrease in roundness error. It is observed that workpiece speed does not have significant effect on surface roughness of ring's raceway. Also, it is found that feed rate is more effective compared to stone speed. In accordance with the increase of stone speed, surface roughness value is decreased. It is observed that increasing the feed rate causes increase in surface roughness value. Lower values of roundness error and surface roughness are desired in the raceway of ring. In accordance with this purpose ideal parameters are found.

Science Code : 91438
Key Words : Bearing ring, Raceway, Grinding, 100Cr6, CBN
Page Number : 67
Supervisor : Prof. Dr. Mahmut İZCİLER

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlarken vaktini ayıran, bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, iyi bir çalışma ortaya koymama yardımcı olan, Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Mahmut İZCİLER' e, tezimi düzenlememde bana yol gösteren Sayın Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ ve Sayın Prof. Dr. Zafer TEKİNER' e, araştırmam için sağladığı destekler ve çalışma ortamı için ORTADOĞU RULMAN SANAYİ' ne teşekkür ederim.

Ayrıca, lisans sürecim boyunca bana yol gösteren ve desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER' e, çalışma hayatımda bana destek olan fabrika müdürümüz Sayın Dr. Feridun ÖZHAN, bölüm müdürüm Sayın Tarkan POLAT ve müdür yardımcım Niyazi SAYGILI' ya, üzerimde sonsuz emeği olan aileme ve manevi desteğini hiç esirgemeyen sevgili Şerife Gizem BACI' ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Rulman Bileziklerinin İmalatı	3
2.1.1. Dövme	3
2.1.2. Küreselleştirme ısıt işlemleri	4
2.1.3. Kumlama	5
2.1.4. Ovalama.....	5
2.1.5. Kaba taşlama.....	6
2.1.6. Tornalama.....	7
2.1.7. Isıl işlem	7
2.2. Taşlama.....	8
2.3. Taşlama Çeşitleri	8
2.3.1. Silindirik taşlama.....	9
2.3.2. Düzlem yüzey taşlama.....	10
2.4. Yüzey Pürüzlülüğü	10
2.5. Dairesellik Hatası.....	15
2.6. Taşlamanın Sistem Elemanları	16

	Sayfa
2.7. Kesme Sıvısı	17
2.8. Ortam	18
2.9. Rulman Bileziklerinin Taşlanması.....	20
2.10. Çevrimiçi Ölçüm Metodu	23
2.11. Talaş Kaldırma İşlemi.....	24
2.12. Taşlama İşleminde Kullanılan Aşındırıcılar	24
2.13. Aşındırıcı Tanecik Boyutu.....	26
2.14. Taşlama Taşı	27
2.15. Taş Bileme Metodu.....	32
2.16. Literatür Araştırması.....	36
2.16.1. Literatür araştırmasına giriş	36
2.16.2. Deneysel çalışmalar	36
2.16.3. Literatür araştırmasının değerlendirilmesi.....	43
3. MALZEME VE METOT	45
3.1. Deney Numunesi.....	45
3.2. Deneylerde Kullanılan Kesme Sıvısı.....	47
3.3. Deneylerde Kullanılan Taşlama Taşı.....	47
3.4. Taşların Bilenmesi	47
3.5. Taşlama Tezgahı Ölçüm Metodu.....	48
3.6. Taşlanmış Parçaların Ölçüm Metodu	48
3.7. Yanıt Yüzey Metodolojisi.....	49
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	51
4.1. Deney Tasarımı.....	51
4.2. Dairesellik Hatası.....	53
4.2.1. Varyans analizi ve regresyon denklemi.....	53
4.2.2. Etkinlik grafikleri	54

	Sayfa
4.3. Yüzey Pürüzlülüğü	56
4.3.1. Varyans analizi ve regresyon denklemi.....	56
4.3.1. Etkinlik grafiği.....	57
4.4. İdeal Parametrelerin Bulunması.....	58
5. SONUÇLAR.....	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deney numunesi malzemesinin kimyasal kompozisyonu	45
Çizelge 3.2. Deney numunelerinin ısıtma işlemi ile sertleştirildikten sonra mekanik özellikleri.....	45
Çizelge 4.1. Deney tasarımı için girdi değerlerinin maksimum ve minimum noktaları.	52
Çizelge 4.2. Merkezi kompozit deney tasarımı ve ölçüm sonuçları	53
Çizelge 4.3. Dairesellik hatası için varyans analizi çizelgesi	54
Çizelge 4.4. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi çizelgesi	57
Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatası için belirlenen amaçlar ve hedefler	59
Çizelge 4.6. İdeal parametrelerin bulunması	59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dövme ile form verme.....	3
Şekil 2.2. İç bilezik delik boşaltması	4
Şekil 2.3. Dövülmüş bileziklerin ayrılması.....	4
Şekil 2.4. Ovalama işlemi	6
Şekil 2.5. Isıl işlem fırını.....	7
Şekil 2.6. ISO 4287 Standardına göre koordinat sistemi	12
Şekil 2.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü üzerinde farklı yönlerin etkisi	12
Şekil 2.8. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri Ra' nın türetilmesi.....	13
Şekil 2.9. Aynı Ra değerine sahip ancak farklı fonksiyonel özellikleri olan iki yüzey .	14
Şekil 2.10. Rulman iç bileziği ve milde oluşan dairesellik hataları.....	16
Şekil 2.11. Taşlama işlemi sistem elemanları	17
Şekil 2.12. Kesme sıvısının yönlendirilmesi	18
Şekil 2.13. Rulman dış bileziğinin taşlama işlemi öncesi - sonrası	19
Şekil 2.14. Al ₂ O ₃ taş kullanılan rulman dış bileziği yuvarlanma yolu taşlama tezgahı..	20
Şekil 2.15. CBN taş kullanılan rulman dış bileziği yuvarlanma yolu taşlama tezgahı...	21
Şekil 2.16. Rulman bileziklerinin ısıtılma sonrası taşlama operasyonları	22
Şekil 2.17. Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolu taşlama operasyonu	22
Şekil 2.18. Çevrimiçi ölçüm aleti	24
Şekil 2.19. Aşındırıcıların sertlik değerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	26
Şekil 2.20. Geleneksel aşındırıcılara sahip taş etiketlendirmesi	27
Şekil 2.21. Süper aşındırıcılara sahip taş etiketlendirmesi	27
Şekil 2.22. Al ₂ O ₃ taş	28
Şekil 2.23. (a) 30 ve (b) 60 N yük altında ezilmiş Al ₂ O ₃ aşındırıcı parçacıkların SEM mikrografı.....	29

Şekil	Sayfa
Şekil 2.24. Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun taşlanması için kullanılan CBN taş	30
Şekil 2.25. Kesme hızı-talaş kaldırma grafiği.....	31
Şekil 2.26. CBN taş için geleneksel ve temas bileme teknikleri	33
Şekil 2.27. CBN taş ile kuru taşlama işleminden sonraki gerilmeler	34
Şekil 2.28. Tek nokta bileyici – Formlu bileyici	35
Şekil 2.29. CBN taşın formlu bileyici ile bilenmesi	35
Şekil 2.30. Farklı taş sertlikleri ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.....	37
Şekil 2.31. Farklı taş sertlikleri ve kesme derinliğinin taşlama kuvvetleri üzerindeki etkisi.....	37
Şekil 2.32. Taş hızı ve talaş derinliğinin taşlama kuvvetleri üzerine etkisi	39
Şekil 2.33. AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde talaş derinliği ve iş parçası devri parametrelerinin titreşime olan etkisi	40
Şekil 2.34. AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde taşlama taşı devri ve eksenel ilerleme parametrelerinin titreşime olan etkisi	41
Şekil 2.35. AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde talaş derinliği ve iş parçası devri parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	41
Şekil 2.36. AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde taşlama taşı devri ve eksenel ilerleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	42
Şekil 2.37. Farklı taş dokuları ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi	42
Şekil 2.38. Farklı taş dokuları ve kesme derinliğinin taşlama kuvvetleri üzerindeki etkisi.....	43
Şekil 4.1. Taş devri ve iş parçası devrinin dairesellik hatası üzerindeki etkisi	55
Şekil 4.2. Taş devri ve ilerleme değerinin dairesellik hatası üzerindeki etkisi.....	55
Şekil 4.3. İş parçası devri ve ilerleme değerinin dairesellik hatası üzerindeki etkisi	56
Şekil 4.4. Taş devri ve ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.....	58
Şekil 4.5. Yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatası için bütünleşik grafik.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
μm	Mikrometre (mikron)
$\mu\text{m/s}$	Mikron / saniye
100Cr6	Rulman çeliği
Al_2O_3	Alüminyum oksit
C	Karbon
Cr	Krom
devir/dk	Devir / dakika
GPa	Gigapascal
HRC	Rockwell C birimi sertlik
kg/m^3	Kilogram / metre küp
m/dk	Metre / dakika
m/s	Metre / saniye
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Newton
N/mm	Newton / mm
Ni	Nikel
P	Potasyum
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
S	Kükürt
Si	Silisyum
Si_3N_4	Silisyum nitrür
SiC	Silisyum karbür
ZrO₂	Zirkonyum oksit

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ANSI	American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Kurumu)
CBN	Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
DBYY	Dış Bilezik Yuvarlanma Yolu
DIN	Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
FEPA	Federation of European Producers of Abrasives (Avrupa Aşındırıcı Üreticileri Federasyonu)
HEDG	High Efficiency Deep Grinding (Yüksek Verimli Derin Taşlama)
MQL	Minimum Quantity Lubrication (Minimum Miktarda Yağlama)

1. GİRİŞ

Taşılama, üretimde talaşlı imalat sürecinin son ve en hassas aşamasını oluşturmaktadır. Taşılama, genellikle sert malzemelerin yüzey kalitesini arttırmak için en basit ve en ucuz işlemdir. Tornalama gibi alternatif işlemler uygulanabilir olsa da genellikle en ucuz olan taşılama işlemidir (Klocke, Brinksmeier ve Weinert, 2005). Taşılama işlemi, yüzey pürüzlülüğünün ve ölçü toleransının hassas olduğu iş parçalarında tercih edilen bir işleme yöntemidir. Üretimde hız ve kalite ön plana çıkan iki unsurdur. Taşılama işlemine ait kesme parametrelerinin arasındaki ilişkinin anlaşılması ile daha yüksek üretim hızlarına ve kalitesine ulaşılabilir. Bu durum beraberinde endüstriyel rekabet gücünün artışı da getirecektir. Inasaki, endüstriyel rekabet gücünün; rekabetçi maliyet, kalite ve üretim hızı gereklilikleri arasındaki denge olduğunu bildirmiştir (Inasaki, Tönshoff ve Howes, 1993).

Taşılama işleminden beklenen ölçüsel doğruluk, maliyet ve üretim hızının yakalanabilmesi için devirlerin ve ilerleme değerlerinin doğru seçimi büyük bir öneme sahiptir. Tecrübeye ve deneme yanılma yöntemlerine bağlı kesme parametrelerinin seçimi, verimsiz sonuçlara neden olacaktır. Ayrıca kesme parametrelerinin belirlenmesi için rastgele denemelerin yapılması ise yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açacaktır.

Rulman bileziklerinin talaşlı imalatının son aşaması taşılamadır. Taşılama; ısıtılma işlemi ile sertleştirilmiş (HRC 55-61) bileziklere nihai geometrisini ve yüzey kalitesini vermek amacıyla yapılmaktadır. Bileziklerin yanakları, iç ve dış çapları, yuvarlanma yolları taşlanmaktadır.

Rulman bileziklerinin taşılama operasyonlarında genellikle Al_2O_3 aşındırıcı taneciklere sahip taşlar kullanılmaktadır. Dış bileziklerin yuvarlanma yolu (DBYY), omuz çapından daha küçük bir taş ile işlenmektedir. Al_2O_3 aşındırıcı taneciğe sahip taşlar ile DBYY taşılama işleminde ortalama 6-8 parçada bir taş bilenmektedir. Bileme işlemi, taşın gözeneklerinde biriken talaşları temizler, keskinliği artırır ve tanecik dökülmeleri sonucu oval şeklini kaybetmeye başlayan taşın geometrisini tekrar kazandırır. CBN taşlarda ise bileme aralığının 200 parça mertebelerinde olduğu görülmüştür. Her bileme sonrası taş çapı küçülmesi ile birlikte taşın ömrü de azalmaktadır. Bu sebeple, taş bileme aralığı ne kadar sık olursa, taş ömrü de buna bağlı olarak daha az olacaktır. CBN taşların Al_2O_3 taşlara kıyasla daha uzun

aralıklarla bilenmesi sayesinde, bileme işlemi için harcanan süreden kazanç sağlamaktadır. Aynı zamanda CBN taşların daha uzun ömürlü olmaları da taş değişimi için harcanan zamandan kazanç sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı; 100Cr6 sertleştirilmiş rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun CBN taş ile bitirme taşlama işleminde uygun kesme parametrelerinin bulunmasıdır. Çalışmada; rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun CBN taş ile taşlanması sonrası dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu değerleri iyileştirmek amacıyla taşlama işleminin kesme parametrelerinden; taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değeri incelenmiştir. Numunelerin taşlama işlemi için beş seviyeli deney tasarımı oluşturulmuştur. Taşlama işleminin sonrasında yuvarlanma yolunun dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ile varyans analizleri yapılmıştır. Kesme parametrelerinin, bileziklerin yuvarlanma yolunun dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. Varyans analizleri değerlendirilerek, yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatasının birlikte en düşük olduğu kesme parametreleri belirlenmiştir.

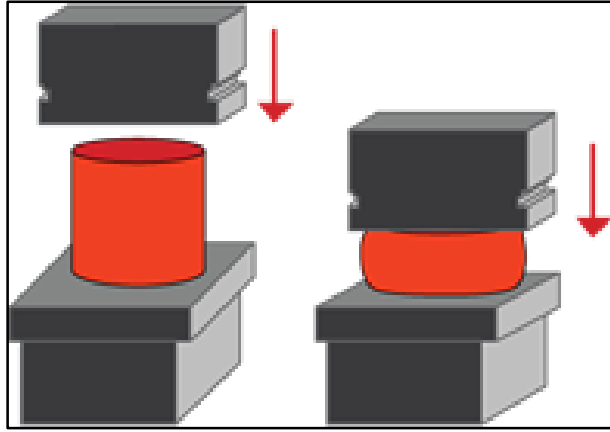
2. TEMEL KAVRAMLAR VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Rulman Bileziklerinin İmalatı

Rulman imalatı; boru veya çubuk formuna sahip malzemelerin tedariki ile başlamaktadır. Üretilcek rulman bileziklerinin çapına bağlı olarak, ilk aşama dövme veya çubuk kesme olarak belirlenmektedir.

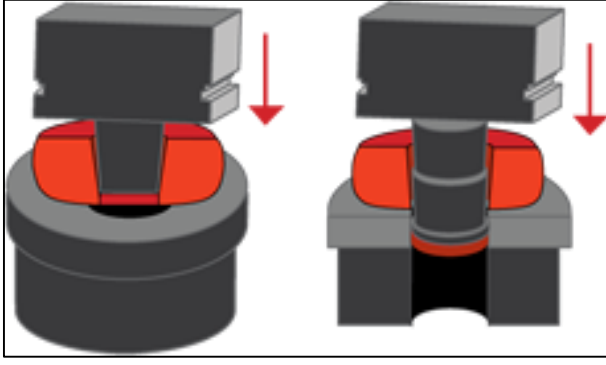
2.1.1. Dövme

Çubuk formuna sahip malzemeler, dövme tezgahına girmeden önce indüksiyon ısıtıcılar ile yüksek sıcaklıklara getirilmektedir. Dövme sırasında malzemeler kesilir ve ardından form verilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Dövme ile form verme (Scotforge, 2019)

Formunu alan malzemeler, iç ve dış bilezik olarak ayrılır. Sonraki istasyonda ise, iç bileziklerin delik kısmı boşaltılır (Şekil 2.2). Şekil 2.3’ de, dövme operasyonunun sonrasında bileziklerin tezgâhtan ayrılması gösterilmiştir.



Şekil 2.2. İç bilezik delik boşaltması (Scotforge, 2019)



Şekil 2.3. Dövmüş bileziklerin ayrılması

2.1.2. Küreselleştirme ısıt işlemleri

Rulman bileziklerinin, dövme işlemi sırasında yüksek sıcaklık ve deformasyona maruz kalmaları sebebiyle kristal yapılarında bozulmalar meydana gelmektedir. Bu kristal yapının tekrar düzenlenmesi ve sonraki işlemlerde malzemenin daha kolay şekillendirilebilmesi amacıyla küreselleştirme ısıt işlemleri uygulanmaktadır.

Küreselleştirme ısıt işlemleri, malzeme yapısında bulunan karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesidir. Tavllanmış ötektoid üstü çeliklerin kristal yapıları incelendiğinde, sert ve kırılgan sementit taneleri görülmektedir. Bu sementit taneleri, sonraki işlemler sırasında bileziklerin kırılmasına ve çatlamasına sebep olmaktadır. Bu tip durumlarda işlemeyi kolaylaştırmak ve sünekliği arttırmak amacıyla küreselleştirme ısıt işlemleri uygulanmaktadır.

100Cr6 rulman çeliği, yapısında yüksek miktarda karbon bulundurmaktadır. Bu sebeple, işlenebilirliğinin iyileştirilmesi amacı ile küreselleştirme ısı işlemi uygulanır (Motorcu, 2010).

2.1.3. Kumlama

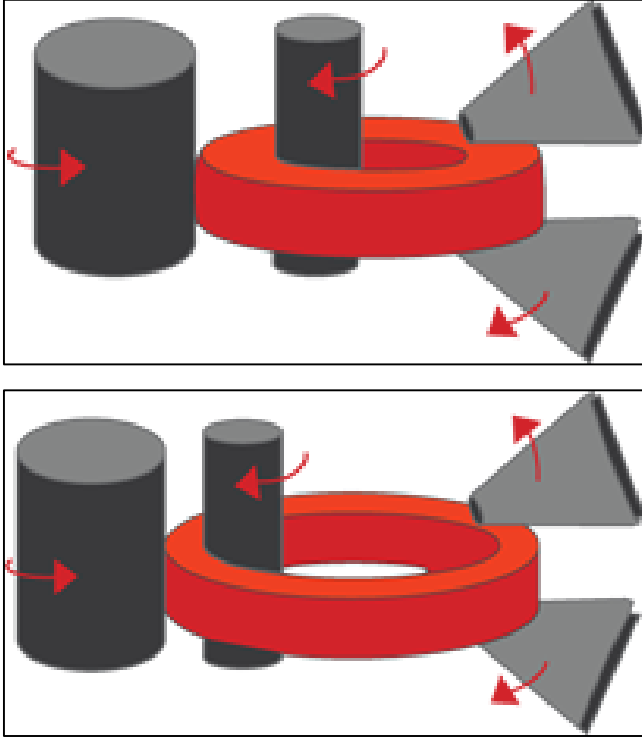
Ovalama işlemi esnasında malzeme üzerinde bulunan çapakların takıma zarar vermemesi amacıyla ovalama işleminin öncesinde kumlama yapılır. Kumlama işleminde; bileziklerin yüzeyinden hem çapak hem de küreselleştirme işleminde oluşan oksit tabakası alınır.

2.1.4. Ovalama

Kumlama işleminin ardından bilezikler ovalama işleminden geçmektedir. Ayrıca dövme işleminden geçmeyen; boru malzemedan kesilen bilezikler de istenen çapa bağlı olarak ovalama işlemine girebilmektedir.

Ovalama işleminin birçok avantajı bulunmaktadır. Çok az malzeme kaybı ile parçaya şekil verilen bir işlemdir. Ovalama işlemi sırasında tanecikler yönlenme eğilimindedir. Malzeme, bu işlem ile üstün yorulma özellikleri kazanmaktadır (Öztop, 2006).

Rulman bileziklerinin ovalama işlemi; malzeme ısıtılmadan, soğuk deformasyon ile gerçekleştirilmektedir. İşlem sırasında malzemenin çapı %30' a kadar arttırılabilmektedir. Ovalama işleminde bilezik, mandren ile form tamburu arasına yerleştirilerek form verilir (Şekil 2.4). Form tamburu dış bileziğe dış çapını ve en ölçüsünü verir; iç bilezikte ise yuvarlanma yolunu oluşturur. Mandren, iç bileziğin iç çapını belirler ve dış bileziğin yuvarlanma yolunu oluşturur.



Şekil 2.4. Ovalama işlemi (Scotforge, 2019)

2.1.5. Kaba taşlama

Bileziklerin, tornadaki bağlanma yüzeylerinin istenen ölçüye getirilmesi amacıyla kaba taşlama işlemi yapılır. Yanak taşlama ve puntasız taşlama olmak üzere iki işlem yapılmaktadır.

Yanak taşlama tezgahında, parçalar birbiri ile aynı yönde dönen iki taş arasında ilerlerken, yanak yüzeyleri taşlanır. Ardından bilezikler puntasız taşlama işlemine geçer.

Puntasız taşlama işleminde parçalar, eğimli iki silindir üzerinde kayarak ilerlemektedir. Bu esnada her parçanın yanağı, bir önceki parçanın yanağı ile temas halindedir. Bu sebeple ilk olarak yanak taşlama yapılmaktadır. Puntasız taşlamada, parçaların ilerleme hızını, sevk taşı belirler. Bileziklerin dış çaplarının taşlanması işleminde; sevk taşı, bileziklerin hem ilerlemesini hem de referansını sağlamaktadır. Taşlama esnasında herhangi bir sabitleme kullanılmaması nedeniyle bu işlemin adı puntasız taşlamadır.

2.1.6. Tornalama

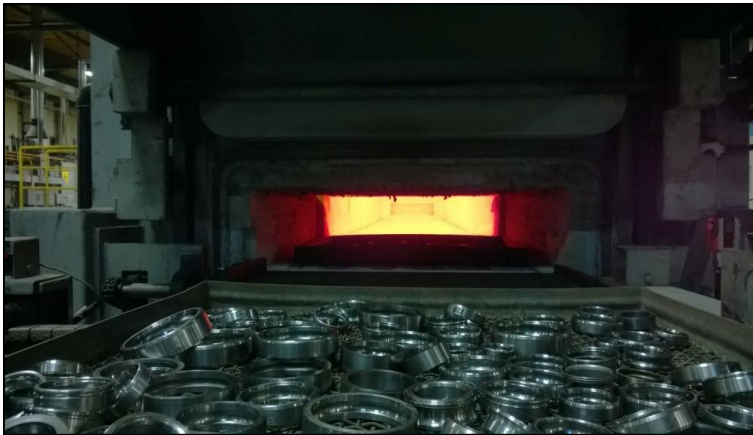
Kaba taşlamanın ardından parçalar tornalama işlemine sevk edilirler. Başlangıçta çubuk kesme imalatından gelen bilezikler de tornalama işlemine girmektedir. Tornalama işleminde, bileziklerin; yuvarlanma yolu, yanakları, köşe radyusu, iç-dış çapları ve kapak yuvaları işlenmektedir.

2.1.7. Isıl işlem

Bilezikler, tornalama işleminden sonra istenilen sertliğe ulaşabilmesi için ısıl işlemden geçmesi gerekmektedir.

Isıl işlem fırınında martenzit yapıyı elde edebilmek için; çelik, öncelikle ötektik noktanın üzerine çıkartılarak östenitlenmektedir. Östenitlemenin amacı ise, karbonların yer ve dağılımlarını değiştirerek östenit yapıyı elde etmektir.

Östenit yapı eldesinden sonra, yağda veya tuzda hızlı bir soğutma yapılarak martenzit yapı elde edilir. Hızlı soğutma sonucunda malzeme üzerinde oluşan gerilmeleri almak amacıyla bilezikler temperlenmektedir. Temperleme işlemi ile hem gerilim alınır hem de östenitleme sırasında HRC 65-66 değerine yükselen sertlik HRC 60 değerine kadar düşürülmektedir. Temperleme sonrasında malzemeler, temperlenmiş martenzit yapıya sahip olmaktadır. Bu yapıdaki malzemelerin kırılganlığı az, fakat darbe dayanımı yüksektir. Şekil 2.5'te, ısıl işlem fırınına girmek üzere olan bilezikler gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Isıl işlem fırını

Isıl işlem sonrasında bilezikler son ölçüsünü almak üzere, yanak-puntasız ve yuvarlanma yolu taşlama işlemine sevk edilmektedir. Isıl işlem sonrasında yapılan taşlama işlemleri, Başlık 2.9' da anlatılmıştır.

2.2. Taşlama

İş parçasından daha sert, birbirinden farklı ve düzensiz dağılmış taneciklerden oluşan taşların ve iş parçasının mekanik hareketi ile iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemine taşlama denir (Güllü, 1995). Taşlama, iş parçalarını gerekli geometri, boyutlar ve toleranslarla şekillendiren önemli bir üretim prosesidir (Demir, Gullu, Ciftci ve Seker, 2010). Malzemelere şekil vermek amacıyla aşındırıcı kullanımı, 2000 yıldan öncesine dayanmaktadır. İlk aşındırıcı taşlar; ilkel bıçaklar, aletler ve silahların keskinleştirilmesinde kullanılmıştır (Rowe, 2013). Aşındırıcılar; kesme ve parlatma işlemlerinde kullanılır. Aşındırıcılar, günümüzde giderek daha da çeşitli uygulamalarda kullanılmaya devam etmektedir ve modern teknoloji; aşındırıcı endüstrisinin varlığından güç almaktadır.

Taşlama bir aşındırma işlemi olduğundan, diğer metal işleme şekillerinin çoğundan farklıdır. Diğer işleme metotlarında kesici alet, keskin kenarlar yardımıyla metal üzerinden parça koparmaktadır. Taşlama işleminde, aşındırıcı taneler ile iş parçası üzerinden parça koparılmaktadır (Sak, 1986).

Taşlama operasyonu, ölçü tamlığı ve düşük yüzey pürüzlülüğü sunmaktadır. Hassas taşlama ile 0,002 mm ölçü tamlığı ve 0,05 µm ortalama yüzey pürüzlülüğü elde edilebilmektedir (Güllü, 1995).

2.3. Taşlama Çeşitleri

Taşlama işlemlerini, taş ve iş parçasının birbirine göre yaptıkları bağıl hareket temel alınarak iki ana grupta toplamak mümkündür (Sağlam, 2016);

1. Silindirik Taşlama
 - a. İç Yüzey Taşlama
 - b. Dış Yüzey Taşlama
 - c. Puntasız Taşlama

2. Düzlem Yüzey Taşlama

- a. Yatay Düzlem Yüzey Taşlama
- b. Dikey Düzlem Yüzey Taşlama

İş parçasının geometrisine ve verilmek istenen forma bağlı olarak taşlama tipi değişiklik göstermektedir.

2.3.1. Silindirik taşlama

İş parçası geometrisinin dairesel forma sahip olduğu taşlama işlemleri, silindirik taşlama olarak adlandırılmaktadır. Silindirik taşlama işlemlerinde hem iş parçası hem de takım dairesel harekete sahiptir.

İç yüzey taşlama

İş parçasının iç yüzeylerinde yapılan taşlama işlemleri, iç yüzey taşlama olarak sınıflandırılmaktadır. İç yüzey taşlama işlemlerinde taş çapı, iş parçasının işlenecek iç çapından daha küçük olmalıdır. İş parçasına verilmek istenen şekle bağlı olarak silindirik veya formlu taşlar ile taşlama operasyonu gerçekleştirilir.

Dış yüzey taşlama

İş parçasının dış yüzeylerinde yapılan taşlama işlemleri, dış yüzey taşlama olarak adlandırılmaktadır. Dış yüzey taşlama işlemlerinde; taş çapı kısıtlaması olmadığından, seri üretim yapılan tezgahlarda büyük çapa sahip taşlar tercih edilir. Büyük taşların, kesme yapan yüzey alanı da büyük olacağından, taşın gözeneklerine talaş birikme süresi ve bileme aralığı da uzayacaktır. Ayrıca büyük çapa sahip taşlar ile düşük devirlerde dahi yüksek çevresel hıza erişilebilmesi de beraberinde getirdiği avantajlardan biridir. İş parçasına verilmek istenen şekle bağlı olarak, silindirik veya formlu taşlar ile taşlama operasyonu gerçekleştirilmektedir.

Puntasız taşlama

Puntasız taşlama; iş parçası merkezi sabit olmayan, taşlama taşı ile sevk taşı arasında parçanın dış çapının taşlanması işlemidir. Seri üretimde, parçalar birbirlerinin yanaklarına temas ederek ve sevk taşı yardımıyla ilerleyerek dış yüzeyleri taşlanır.

2.3.2. Düzlem yüzey taşlama

Düzlem yüzey taşlama; iş parçası geometrisinden bağımsız olarak belli bir düzlemde iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemi olarak tanımlanabilir. Taş milinin konumuna bağlı olarak; yatay ve dikey düzlem yüzey taşlama olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Yatay düzlem yüzey taşlama

Yatay düzlem yüzey taşlama işleminde, taşın kendi eksenini etrafında dönmesi ve iş parçasının taş eksenine paralel düzlemsel hareketleri sonucu iş parçası üzerinden talaş kaldırılmaktadır.

Dikey düzlem yüzey taşlama

Dikey düzlem yüzey taşlama yönteminde; taş mili, yatay düzleme dik konumdadır. Taş kendi eksenini etrafında dönüş hareketi yaparken iş parçasının düzlemsel hareketleri ile talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

2.4. Yüzey Pürüzlülüğü

Genellikle iş parçalarının yüzeyi, insan gözüne düz ve pürüzsüz görünmektedir. Parmak ile yüzey üzerinde dolaşıldığında dahi pürüzsüz gibi hissedilebilir. Fakat mikroskop altında yüzey incelendiğinde; yüzeyin kristal yapısı ve üretim süreçlerinin meydana getirdiği karmaşık bir yapı görülecektir. Bu yapı “doku” olarak adlandırılmaktadır. Doku, bir ürünün performansını, kalitesini ve hizmet ömrünü etkilemektedir (Leach, 2014).

Yüzey pürüzlülüğü, ticari ve teknolojik birçok nedenden dolayı önemlidir (Groover, 2012);

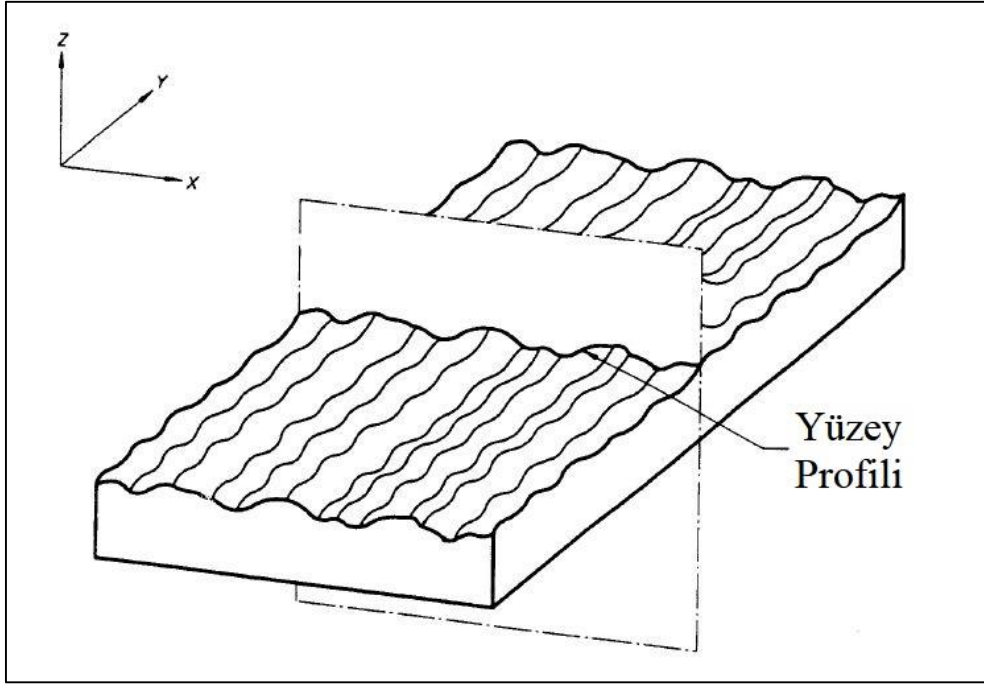
- Estetik nedenler; pürüzsüz ve çiziksiz bir yüzeyin müşteriler üzerinde olumlu etki bırakması,
- Sürtünme ve aşınma üzerinde yüzey pürüzlülüğünün etkisi,
- Yüzey kusurlarının olduğu bölgelerde stres konsantrasyonu oluşma ihtimali,
- Parçaların montajı üzerinde yüzey pürüzlülüğünün etkisi,
- Yüzey pürüzlülüğünün, temas ile elektrik aktarımındaki önemi.

Talaşlı imalatta, ürünlerin yüzey özelliklerini değerlendirmek ve kontrol etmek önem arz eder. Yüzey dokusunu kontrol altında tutmak için ilk yapılacak işlem ölçmektir. Ölçüm, yüzey kalitesinin kontrol altında tutulmasını ve optimize edilmesini sağlayan imalat süreçleri üzerinde alınan kararları etkileyerek ürünü iyileştirir (Leach, 2014). Üretim süreci, yüzey kalitesi üzerinde doğrudan etkilidir. Bazı üretim teknikleri, diğerlerine kıyasla çok daha iyi yüzeyler sunmaktadır. Genel olarak, yüzey kalitesi iyileştikçe işlem maliyetinin de arttığı söylenebilir. Bunun sebebi, daha iyi yüzey kalitesini elde etmek için ek işlemlere ve/veya daha fazla zamana ihtiyaç duyulmasıdır (Groover, 2012).

Bir ürünün ömrü, bileşen parçalarının aşınma oranına bağlıdır. Bu aşınma oranı, temas eden yüzey alanlarına ve malzemelerin fiziksel özelliklerine bağlı olacaktır. Yüzey dokusu ne kadar iyi olursa, ürünün ömrü de o kadar uzun olur. Büyük tepelere sahip pürüzlü bir yüzey, daha az temas alanına sahip olacaktır ve küçük tepelere sahip daha pürüzsüz bir yüzeyden daha hızlı aşınacaktır. Fakat mükemmel pürüzsüz bir yüzey de iyi bir yatak alanı değildir. Temas yüzeyleri arasında yağlama filminin muhafaza edilememesi sonucunda; iki metalin kuru teması, hızlı aşınmaya neden olmaktadır (Leach, 2014).

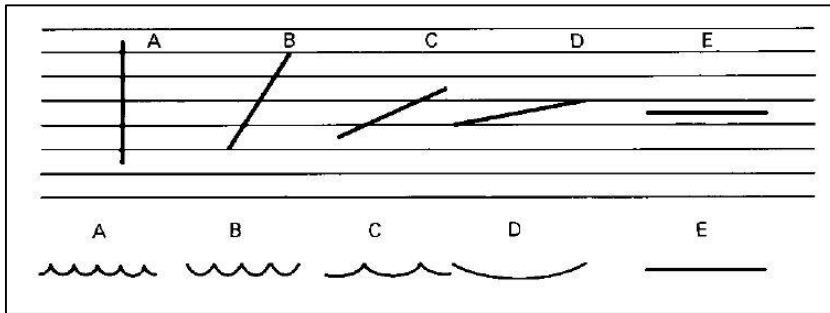
ISO 4287, yüzey dokusu ve parametreleri ile ilgili mevcut kullanımdaki terimleri ve tanımları ortaya koyan Uluslararası Standarttır. Şekil 2.6' da X ekseninin, malzeme yüzeyinde bulunan izlere dik yönde, Y ekseninin iz yönünde ve Z ekseninin de malzemeden dışarıya doğru konumlandırıldığı görülmektedir (Leach, 2014).

Gerçek yüzey, malzeme gövdesini sınırlayan ve malzemeyi çevredeki ortamdan ayıran bölge olarak tanımlanmaktadır. Yüzey profili, gerçek yüzeyin belirli bir düzlemle kesişmesi sonucu elde edilir (Şekil 2.6) (Leach, 2014).



Şekil 2.6. ISO 4287 Standardına göre koordinat sistemi (Leach, 2014)

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü, ölçüm yapılan yöne bağlı değişkenlik göstermektedir. Yüzeyde bulunan izler doğrultusunda yapılan ölçüm, izlere dik yapılan ölçüme kıyasla çok daha düşük değerlere sahip olacaktır (Şekil 2.7). Pürüzlülük ölçümünün doğru sonuçlar vermesi için yüzeyde bulunan izlere dik yönde ölçüm yapılması gerekmektedir. Eğer yüzeyde bulunan izler Şekil 2.7’ de olduğu gibi değil, çok yönlü karmaşık bir yapıya sahipse, birkaç doğrultuda ölçüm alınarak sonuçların ortalaması alınabilir (Neşeli, 2006).

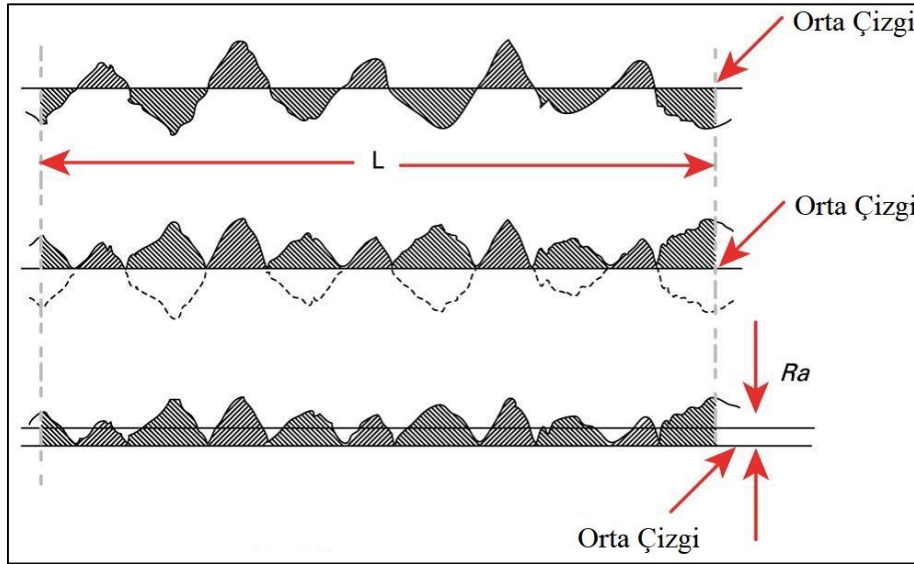


Şekil 2.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü üzerinde farklı yönlerin etkisi (Leach, 2014)

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, standartlara göre belli kriterler altında değerlendirilerek sayısal sonuçlar elde edilir. Belirli bir örnekleme uzunluğu ölçülür ve ardından çıkan profil

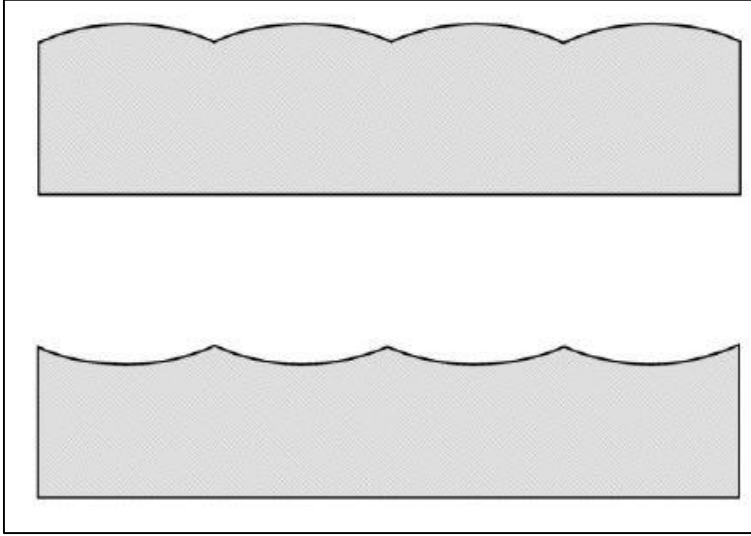
değerlendirmeye alınır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a), ürünlerin yüzey kalitesinin kontrolü amacıyla sık kullanılan bir pürüzlülük parametresidir (Motorcu, 2006).

R_a parametresinin türetilmesinin ilk aşamasında, ölçülen iki boyutlu yüzey profilinin ortasından geçen, yatay bir çizgi yerleştirilir. Bu orta çizginin üstünde kalan alanlar tepe ve altında kalan alanlar çukur olarak değerlendirilir. Sonrasında, çizginin altında kalan; yani çukur alanları, çizgiye göre simetrisi alınarak yukarıya taşınır. Tüm alanlar orta çizginin üzerine çıkarıldıktan sonra profil yüksekliklerinin ortalaması alınır. Profil yüksekliklerinin ortalaması, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini verir (Leach, 2014). Şekil 2.8’ de ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin nasıl türetildiği gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri R_a ’nın türetilmesi (Leach, 2014)

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde, sonuçların doğru yorumlanması önem arz eder. Aynı yüzey pürüzlülük değerine sahip iki yüzey dahi farklı fonksiyonel özelliklere sahip olabilir. Şekil 2.9’ da; üstte bulunan yüzey iyi aşınma özelliklerine sahipken, altta bulunan yüzey, yüzey pürüzlülüğü değeri olan R_a için aynı değere sahip olsa da yüzeydeki keskin tepeler nedeniyle daha hızlı aşınır (Leach, 2014).



Şekil 2.9. Aynı Ra değerine sahip ancak farklı fonksiyonel özellikleri olan iki yüzey (Leach, 2014)

Günümüzde yüzey pürüzlülüğü ölçümü için birçok metot kullanılmaktadır (Akkuş, 2010) (Neşeli, 2006):

- 1) Dokunma metodu
- 2) Mekanik metot
- 3) Hidrolik metot
- 4) Pnömatik metot
- 5) Yüzey dinamometresi metodu
- 6) Kapasitans metodu
- 7) X Işını metodu
- 8) Elektron mikroskobu metodu
- 9) Optik mikroskop metodu
- 10) Kesit alan metodu
- 11) Karşılaştırma mikroskobu metodu
- 12) Optik yansıtma metodu
- 13) Enterferometrik metotlar
- 14) İzleyici uçlu cihazlar metodu
- 15) Optik parazit aletleri metodu
- 16) Replika metodu
- 17) Elektro-fiber-optik sistem metodu

Rulmanlarda bulunan bilyeler ile bileziklerin yuvarlanma yolu arasındaki sürtünme sadece yuvarlanma hareketinden kaynaklanmamaktadır. Bu sürtünme, hem yuvarlanma hem de kayma hareketinin bir bileşimidir (Uysal, 2006).

Yuvarlanma yolunun yüzey pürüzlülüğünün artması, bilye ile pürüzlü yuvarlanma yolu arasındaki yağ film kalınlığının azalmasına neden olacaktır. Yani, yağlama performansının, yüzey pürüzlülüğünün artışı sonucu kötüleşeceği anlamına gelmektedir. Rulmanların dönüş hareketleri sırasında, metal-metal sürtünmesinden dolayı yapısal değişimler meydana gelmektedir. Bu durum, yuvarlanma yolunun aşınmasına ve yorulma mekanizmalarının hızlanmasına sebep olmaktadır (Uysal, 2006; Yunlong, Wenzhong, Shengguang ve Ziqiang, 2018).

Rulman bileziklerinin yuvarlanma yolu ile bilye arasında oluşan sürtünme kuvveti üzerinde, bileziklerin imalatı sırasında son aşama olan yuvarlanma yolu taşlama ve honlama işlemleri büyük rol oynamaktadır. Taşlama ve honlama işlemleri ile elde edilecek yüzey pürüzlülüğü, rulmanların dönme verimini doğrudan etkileyecektir.

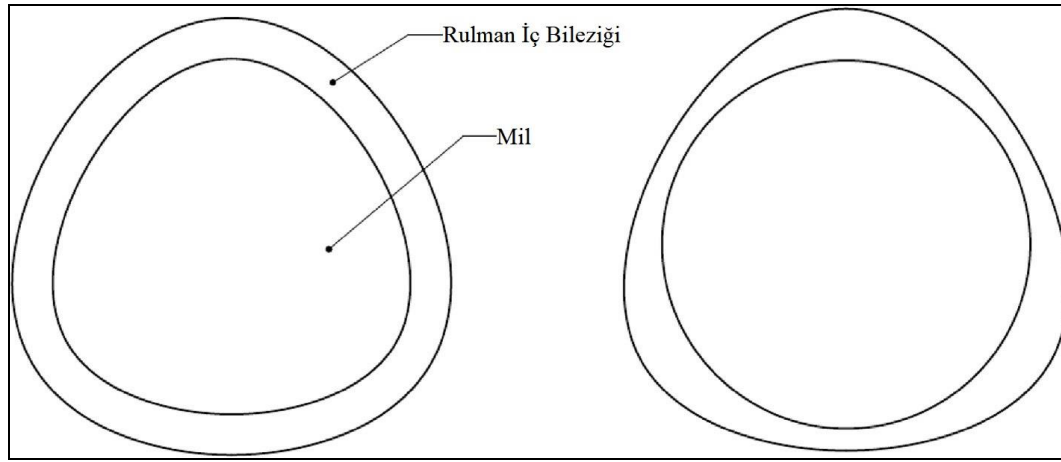
2.5. Dairesellik Hatası

Dairesellik, silindirik bir parçanın eksenine dik kesit alındığında yüzey üzerindeki noktaların, merkeze eşit mesafede olması şartıdır. Bu noktaların merkeze olan mesafesindeki değişkenlik, dairesellik hatası olarak değerlendirilir (Kına, 2011).

Yatak bileşenlerinde, dairesellik hatasının az olması istenmektedir. Yatak bileşenlerinin dairesellik hataları, milin merkez eksenini saptırabilir ve istenmeyen titreşimlere sebep olabilir (Viitala, Widmaier, Hemming, Tammi ve Kuosmanen, 2018).

Bir milin dönüş hassasiyeti, mil sisteminin çekirdek bileşenleri olan yatak ve rulmanlardan büyük ölçüde etkilenir. Rulmandaki iç bilezik, dış bilezik ve yuvarlanma elemanları (bilye, makara) sahip oldukları geometrik hatalar sebebiyle milin dönüş frekansı ile orantılı bir frekansta titreşime yol açabilir. Yataklamalarda meydana gelen titreşimler konusunda en dikkat çeken nokta; milin yataklandığı, mil ile aynı devirde dönen rulman iç bileziğinin sahip olduğu dairesellik hatasıdır (Viitala ve diğerleri, 2018).

Yataklamada kullanılan rulman iç bileziğinin sahip olduğu dairesellik profili zararlı titreşimlere sebep olabilmektedir. Mil, iç bilezik tarafından doğal frekansında uyarıldığında zararlı rezonanslar gözlemlenir. Rulman iç bileziğindeki üçgen dairesellik hatası, mili her bir devir için üç kez uyarır ve doğal frekansın $1/3$ 'ünde rezonansa yol açar. Dairesellik hatasının sahip olduğu form, titreşim genlikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Viitala ve diğerleri, 2018). Şekil 2.10' da üçgen formunda dairesellik hatasına sahip rulman iç bileziği ve mil şematize edilmiştir. Sol tarafta, mil çapına nispeten daha küçük çapta rulman iç bileziği takılması sonucu mil ve iç bilezik deforme olmuştur ve üçgen formlu dairesellik hatası ortaya çıkmıştır. Sağ tarafta ise, rulman iç bileziğinin üretiminden kaynaklanan bir dairesellik hatası görülmektedir (Viitala ve diğerleri, 2018).



Şekil 2.10. Rulman iç bileziği ve milde oluşan dairesellik hataları (Viitala ve diğerleri, 2018)

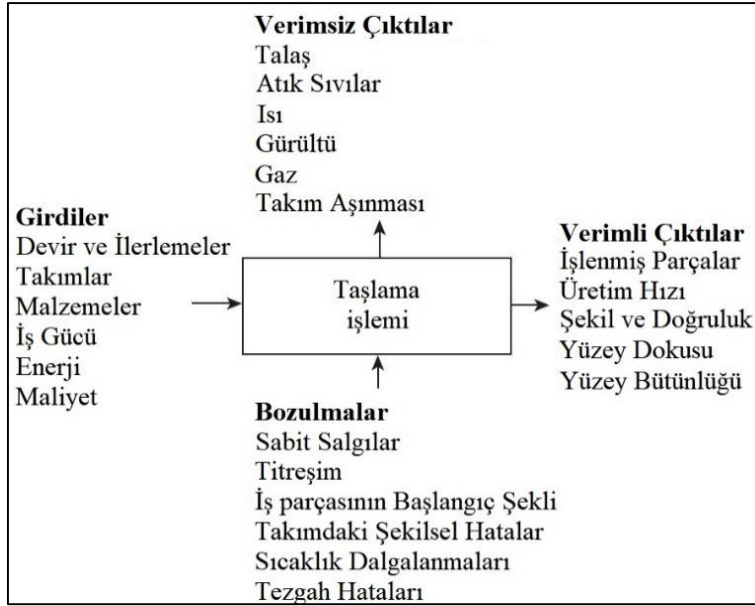
2.6. Taşlamanın Sistem Elemanları

Taşlama işlemi; girdiler, verimli çıktılar, verimsiz çıktılar ve bunlara ek bozulmalar olmak üzere dört başlık altında incelenebilir (Rowe, 2013). Kalite ve üretim hızı başlıca verimli çıktılardandır. Titreşim, salgı vb. hatalar verimli çıktıları doğrudan etkilemektedir. Taş kaynaklı titreşimler, dalma taşlamada yüksek kaliteli iş parçası yüzeylerinin ekonomik üretimi söz konusu olduğunda sınırlayıcı bir faktördür (Ahrens, Damm, Dagen, Denkena ve Ortmaier, 2017).

Enerji girdisi, sistem üzerinde verimli ve verimsiz çıktılarına dönüşür. Mekanik enerjinin çoğu ısıya dönüşmektedir. Talaş kaldırma sırasında meydana gelen bu ısı; iş parçası, talaş, taş ve

kesme sıvısına dağılmaktadır. Enerjinin geri kalanı ise yüzey oluşumu ve artık gerilmelerin üretilmesinde rol oynamaktadır (Brinksmeier ve diğerleri, 2006).

W. Brian Rowe taşlama işlemi için sistem elemanlarının şematik gösterimini (Şekil 2.11) aşağıdaki gibi belirtmiştir (Rowe, 2013).



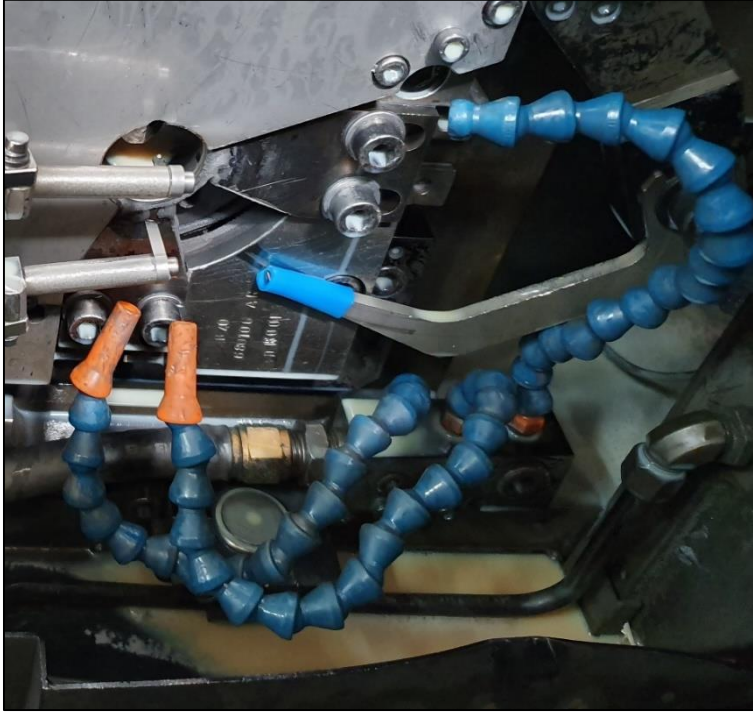
Şekil 2.11. Taşlama işlemi sistem elemanları (Rowe, 2013)

2.7. Kesme Sıvısı

Kesme sıvısı üç ana işlevi yerine getirmektedir (Rowe, 2013):

- Taş aşınmasını azaltır
- İş parçasını soğutur
- Çıkan talaşı uzaklaştırır

Taşlama işleminde, taş ile iş parçasının temas bölgesine etkili kesme sıvısı temini önemli bir rol oynamaktadır. Soğutma işlemi yeterli değilse, iş parçasında termal hasar meydana gelebilmektedir. Aynı zamanda, çıkan talaşın hızlı bir şekilde ortamdan uzaklaştırılması ile birlikte daha iyi kaliteye sahip yüzeyler elde edilebilmektedir. Şekil 2.12' de, rulman bileziklerinin taşlama işleminin yapıldığı tezgâhta kullanılan kesme sıvısının yönlendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Kesme sıvısının yönlendirilmesi

2.8. Ortam

Etkili bir taşlama işlemi için ortam faktörü önemli rol oynamaktadır. Talaş kaldırma işlemi sırasında çoğu metal iki etkiden dolayı kimyasal reaktivite yaşar (Rowe, 2013):

- Yeni ortaya çıkan yüzey, daha önceden oksidasyona uğramış yüzeyden daha yüksek bir kimyasal reaktiviteye sahiptir
- Ara bölgelerdeki yüksek sıcaklık ve sürtünme reaksiyon hızını artırır

Oksitler ve diğer bileşikler iş parçasının yeni yüzeylerinde hızla oluşmaktadır. Düşük kayma dayanımına sahip oksitler sürtünmeyi azaltırken sert oksitler taş aşınmasına sebep olmaktadır (Rowe, 2013). Şekil 2.13' de, rulman dış bileziğinin, taşlama işleminin öncesi ve sonrası fotoğraflanmıştır.



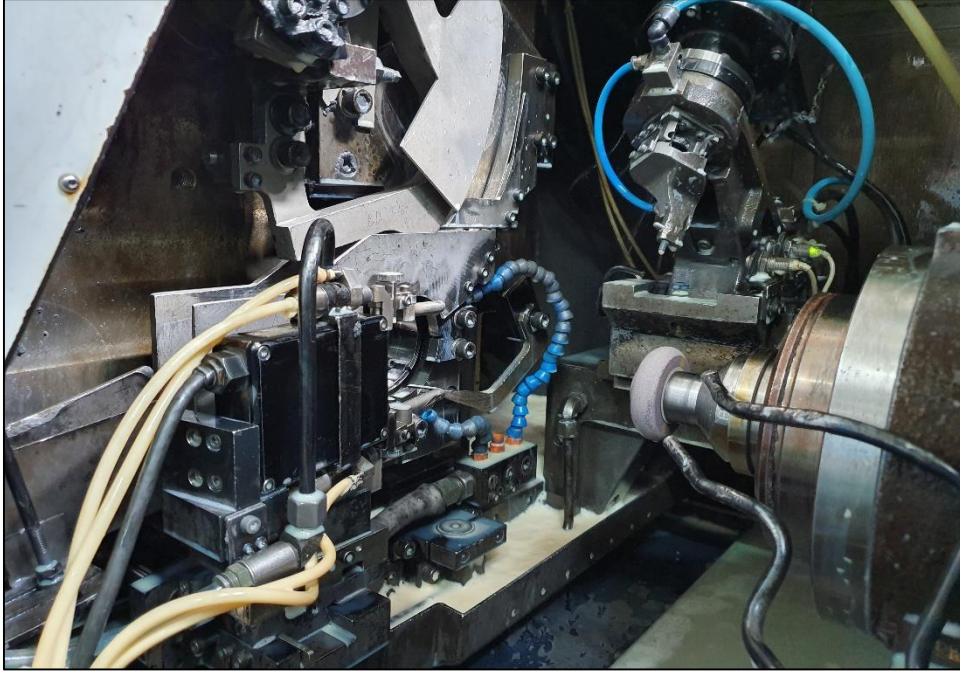
Şekil 2.13. Rulman dış bileziğinin taşlama işlemi öncesi- sonrası

Taşlama işleminde kullanılan kesme sıvısı, yüksek sıcaklıklarından dolayı ortamda gaz oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan gazlar, iş parçasının yeni yüzeylerinde oksidasyona yol açacağından, bu gazların ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir.

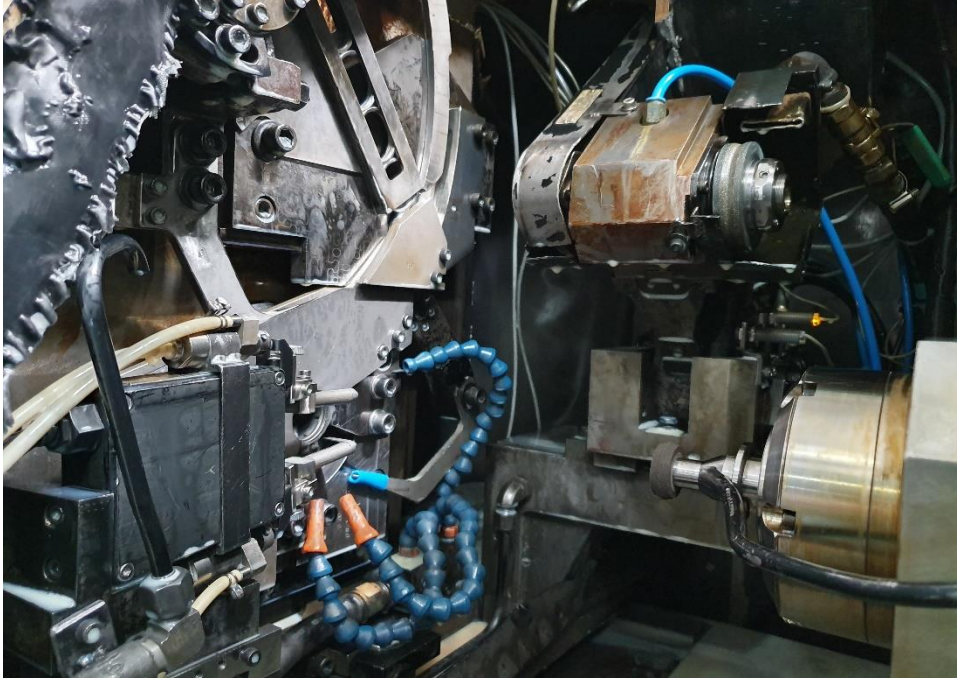
2.9. Rulman Bileziklerinin Taşlanması

Rulman dış bileziklerinin, ısıl işlem ile sertleştirilmesi sonrasında sırasıyla; yanak, puntasız ve yuvarlanma yolu yüzeyleri ayrı birimlerde taşlanmaktadır.

Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun taşlama işleminde, CNC taşlama tezgâhları kullanılmaktadır. Rulman dış bileziği, manyetik kuvvet ile aynaya bağlanır. Ayna belirlenen devirde dönme hareketini gerçekleştirirken iş parçasını da manyetik kuvvet ile kendisine çekerek iş parçasına dönme hareketini iletir. İş parçasının devri, taş devrinin 1/42' si olarak ayarlanır. Taş devri ise, kesme hızı formülünden yola çıkılarak, taşın çapına bağlı olan bir değişkendir. Taş ve iş parçası aynı yönde dönmektedir, aralarındaki devir farkı sonucunda talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Al_2O_3 taş kullanılan (Şekil 2.14) ve CBN taş kullanılan (Şekil 2.15), rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun taşlandığı tezgahlara ait fotoğraflar aşağıda yer almaktadır.

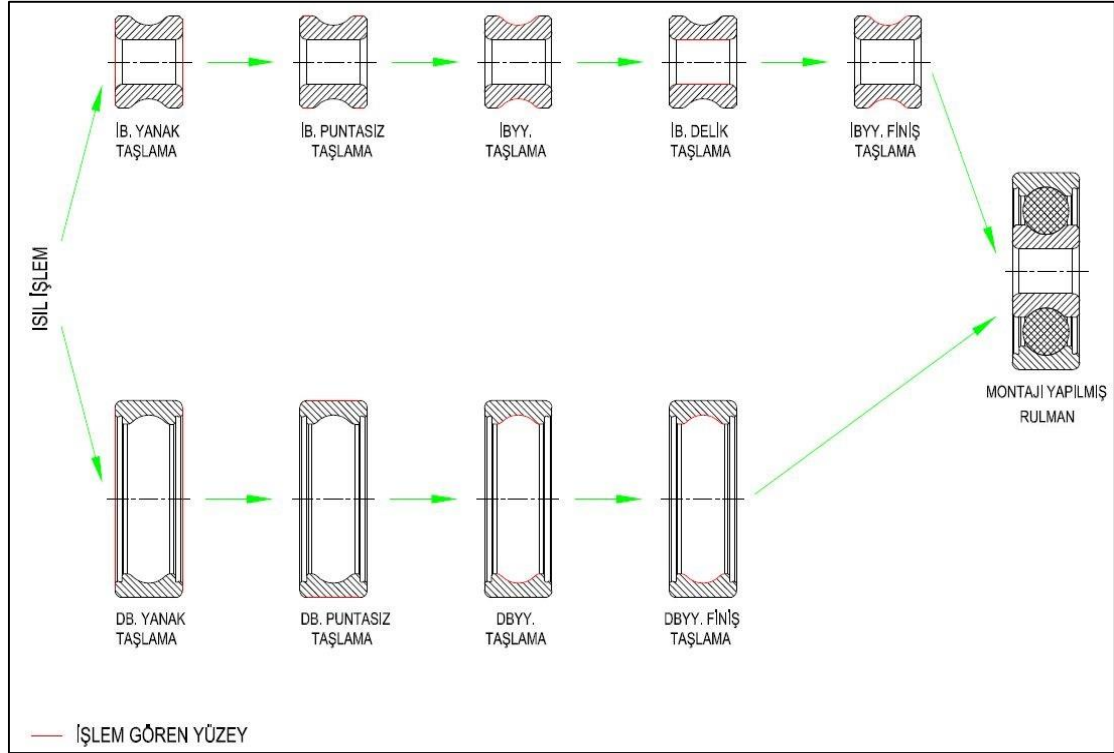


Şekil 2.14. Al_2O_3 taş kullanılan rulman dış bileziği yuvarlanma yolu taşlama tezgahı



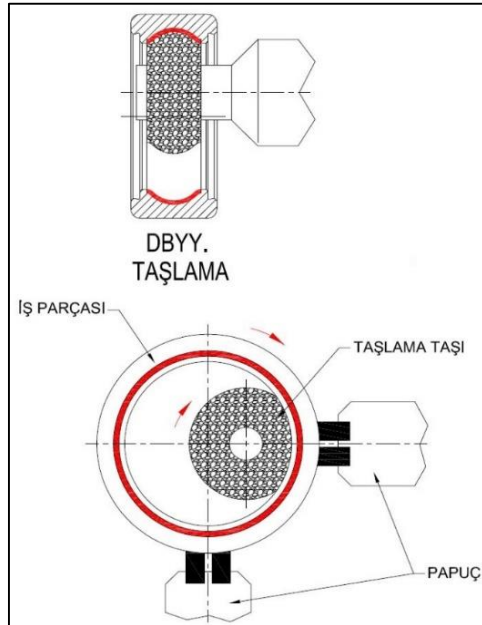
Şekil 2.15. CBN taş kullanılan rulman dış bileziği yuvarlanma yolu taşlama tezgahı

Parçalara hassas şekil verilmesi gereken durumlarda, dalma taşlama metodu kullanılmaktadır. Dalma taşlama metodunda; dairesellik hatası, yuvarlanma yolu yarıçapı ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için istenen hassasiyet elde edilebilmektedir. Taşlama esnasında oluşan taş baskısı altında, bileziğin sabit kalması için pabuçlar kullanılmaktadır. Bu pabuçlar; dış bileziği, dış çapından (puntasız) referans olarak sabitlemektedir (Şekil 2.17). İşlem sırasında, iş parçasına dönüş hareketini veren manyetik ayna ile bileziklerin yanak yüzeyleri temas halindedir. Bu sebeple diğer referans yüzeyi de dış bileziğin yanak yüzeyidir. Bileziklerin puntasız ve yanak yüzeylerindeki hatalar, yuvarlanma yolu taşlama işlemini doğrudan etkileyecektir. Bu sebeple bilezikler; yuvarlanma yolu taşlama işleminden önce, yanak ve puntasız taşlama işlemlerinden geçmesi gerekmektedir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Rulman bileziklerinin ısıtma işlem sonrası taşlama operasyonları

Dış bilezik yuvarlanma yolu taşlama operasyonlarında bilezik boyutlarına bağlı olarak 300-500 μm talaş kaldırılmaktadır. Taş devri, ortalama 45-60 m/s çevresel hıza sahip olacak şekilde ayarlanır.



Şekil 2.17. Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolu taşlama operasyonu

Taşılama işlemlerinde, çevrimiçi ölçüm cihazı ile iş parçasının yuvarlanma yolu çap değerinin kontrolü yapılmaktadır. Çevrimiçi ölçüm cihazından gelen bilgi doğrultusunda tezgah; kaba talaş, ince talaş ve işlem bitiş noktalarını algılar. Ayrıca tezgahın sahip olduğu koordinat bilgisi ve çevrimiçi ölçüm cihazından gelen veriler ile anlık taş çapı hesaplanabilmektedir.

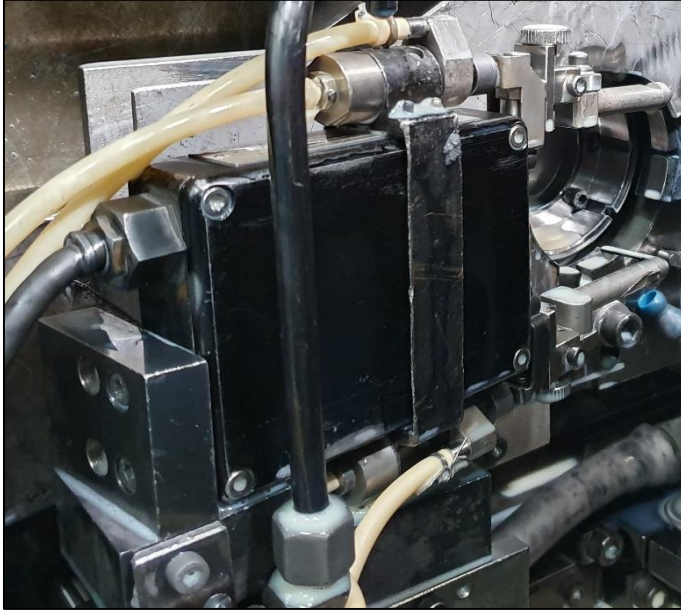
Rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yolu taşılama işleminin ardından, yuvarlanma yolu honlama işlemi yapılır. Honlama işlemi; yüzey pürüzlülüğünü düşürür ve parlatır. Bu işlem; rulmanların dönüş hareketi sırasında, bilye ile yuvarlanma yolu temasından kaynaklanan sürtünmeyi azaltmak amacıyla yapılmaktadır.

2.10. Çevrimiçi Ölçüm Metodu

Rulman bilezikleri, tornalama işlemlerinden sonra ısıtma işlemi ile sertleştirilmektedir. Bileziklerde, ısıtma işlem sonrasında boyutsal artış görülmektedir. Bilezik boyutlarındaki artış, bileziklerin fırın içerisinde bulundukları konuma bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tornalama işlemlerindeki toleranslar ve ısıtma işlem büyümeleri göz önüne alındığında, taşılama işlemine giren bileziklerde ölçüsel farklılıklar mevcuttur.

Bileziklerin yuvarlanma yolu taşılama işleminde; talaş miktarı, tezgah tarafından hesaplanır ve buna bağlı parametreler doğrultusunda taşılama işlemi gerçekleştirilir. İşlem sırasında çevrimiçi ölçüm cihazı ile bileziklerin talaş miktarları belirlenir ve ilerleme hızlarının değişim noktaları tezgah tarafından hesaplanır.

Rulman dış bileziğinin tezgaha bağlanmasının ardından, çevrimiçi ölçüm aletinin ölçüm ayakları, bileziğin yuvarlanma yoluna temas ederek talaş miktarının ölçümünü yapmaktadır (Şekil 2.18). Bu esnada taş, yuvarlanma yoluna yaklaşır ve çevrimiçi ölçüm aletinden gelen veriler doğrultusunda taşılama işlemine başlar. Kaba ilerlemeden, hassas ilerlemeye geçiş ve bitiş noktası çevrimiçi ölçüm aleti tarafından gelen bilgiler doğrultusunda uygulanmaktadır.



Şekil 2.18. Çevrimiçi ölçüm aleti

2.11. Talaş Kaldırma İşlemi

Taşılama işlemi; çok sayıda rastgele konumlandırılmış taneciklerden oluşan, taşılama taşıını kullanan bir talaş kaldırma işlemidir. Tanecikler, malzemeyi çıkarmak için iş parçasına nüfuz eder. Talaş kaldırma işlemi; sürtünme, sürünme ve kesme olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. Sürtünmeden, sürünmeye ve ardından sürünmeden, kesmeye geçiş; taneciklerin yüzeye nüfuz etme derinliğinin artmasına bağlıdır (Rowe, 2013).

Taşılama işlemi, bir çeşit aşınma türü olması nedeniyle öncelikle aşınma mekanizmasının incelenmesinde fayda vardır. Aşınma mekanizması; aşınma sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal olaylar olarak tanımlanmaktadır. Aşınma; birbirine sürtünen iki gövdenin birbirinden parça koparması ile gerçekleşmektedir. Aşındırıcı malzemenin sertliği, boyutu, pürüzlülüğü, temas açısı ve malzemenin kırılma tokluğu aşınma mekanizmalarında önemli faktörler arasındadır (Tabur, Izciler, Gul ve Karacan, 2009).

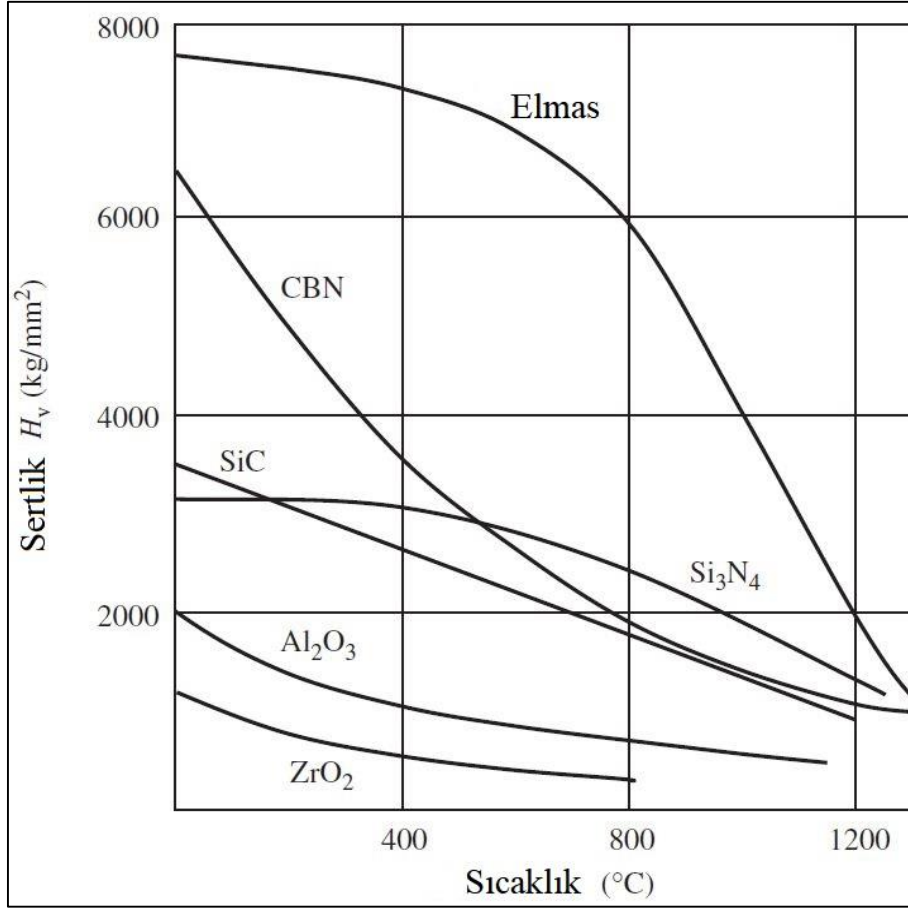
2.12. Taşılama İşleminde Kullanılan Aşındırıcılar

Taşılama taşları, aşındırıcı ve bağlayıcı iki malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu kompozit ürünlerdir. Aşındırıcı malzemeler, doğal ve yapay olmak üzere iki grupta incelenebilir. Doğal aşındırıcılara örnek olarak elmas, zımpara ve korindon gösterilebilir.

Yapay aşındırıcılar ise silisyum karbür, alüminyum oksit ve yapay elmas olarak gruplandırılabilir (Demir ve Güllü, 2001).

Aşındırıcı malzemelerden, sahip olması beklenen birtakım mekanik özellikler vardır. Bu özellikler; sertlik, tokluk, aşınma direnci ve kırılma direnci olmak üzere 4 grup altında incelenebilir. Aşındırıcı sertliği; taşlama sırasında taşın, işlenen malzemeye nüfuz etme kabiliyetini belirlemektedir. Tokluk ise değişken yükler altında aşındırıcı dayanımını ifade etmektedir. Taşlama esnasında aşındırıcı taneciklerin keskinliğini kaybetmesine yol açan ve körlenmeye sebep olan durum; aşındırıcının aşınma direnci olarak nitelendirilmektedir. Kırılma direnci ise, aşındırıcının kristal yapısının kırılması durumudur (Demir ve Güllü, 2001).

Bir aşındırıcıda aranan en önemli özellik sertliktir. Taşlama esnasında oluşan yüksek sıcaklıklar sebebiyle aşındırıcı sertliğinin korunması önem arz etmektedir. Aşındırıcılar genel olarak artan sıcaklığa bağlı sertliklerini kaybederler (Şekil 2.19). SiO_2 bir istisna olarak sıcaklığa bağlı daha yüksek sertlik değerlerine ulaşmaktadır. En yüksek sertlik değerine sahip aşındırıcı elmadır ve ardından CBN gelmektedir. En düşük sertliğe sahip aşındırıcı ise ZrO_2 ’ dir. ZrO_2 , kırılma tokluğunu arttırmak için genellikle kompozit seramik oksitler halinde kullanılmaktadır (Rowe, 2013).



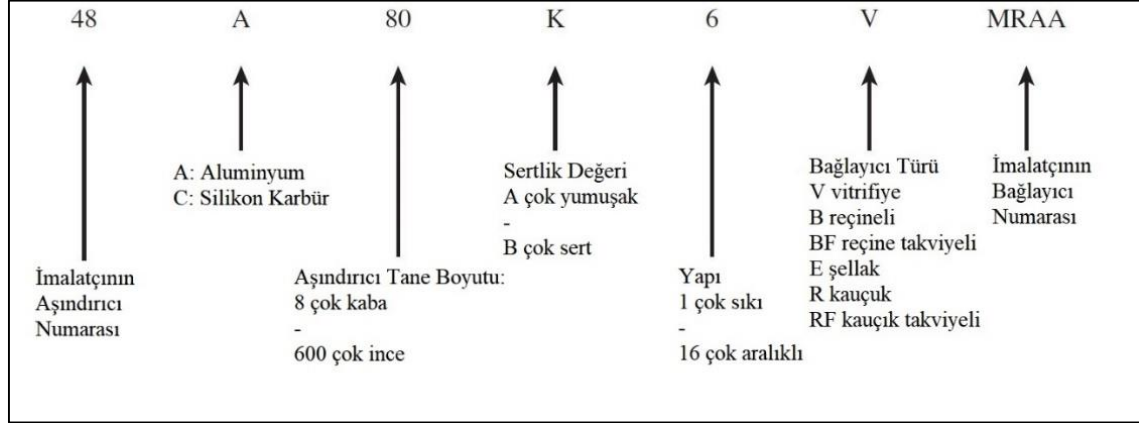
Şekil 2.19. Aşındırıcıların sertlik değerinin sıcaklığa bağlı değişimi (Rowe, 2013)

2.13. Aşındırıcı Tanecik Boyutu

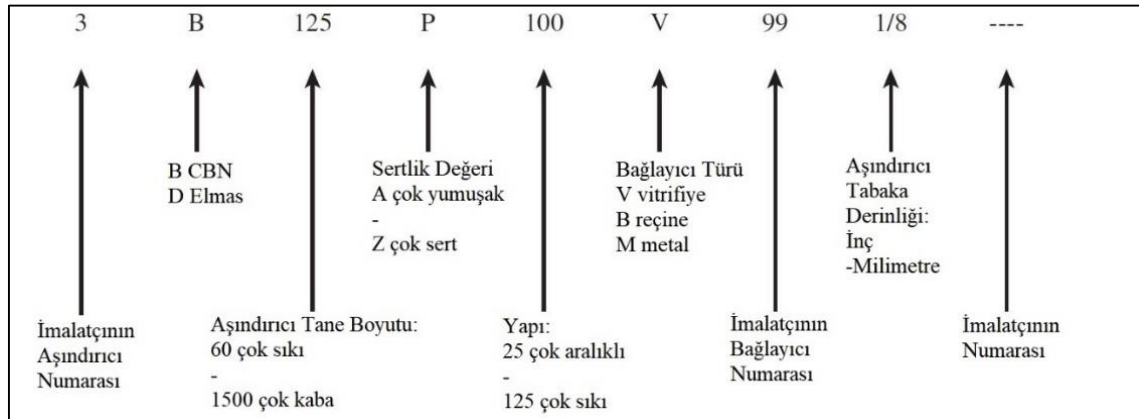
Taşılama işlemlerinde; aşındırıcı taneciklerin boyutuna bağlı olarak, yüzey pürüzlülük değeri değişim göstermektedir. Tanecik boyutunun büyümesi ile yüzey pürüzlülüğü ve taşılama kuvvetleri artış göstermektedir (Demir ve diğerleri, 2010). Bu sebeple, düşük yüzey pürüzlülüğü istenen operasyonlarda ince taneler kullanılmaktadır. Büyük aşındırıcı taneciklere sahip taşların talaş kaldırma oranı daha yüksektir. Küçük aşındırıcı taneciklere sahip taşların ise darbelere karşı dayanımı daha yüksektir (Rowe, 2013).

Taşılama taşlarında kullanılan aşındırıcı tane büyüklükleri için iki standart vardır: Amerikan Ulusal Standartlar Kurumu (ANSI) ve Avrupa Aşındırıcı Üreticileri Federasyonu (FEPA) ISO. ANSI Standardı daha çok geleneksel aşındırıcıya sahip taşlar için kullanılmaktadır (Şekil 2.20). FEPA standardı ise süper aşındırıcıya sahip taşlar için kullanılmaktadır (Şekil 2.21). FEPA Standardı'nda aşındırıcı tane boyutları mikro metre cinsinden verilirken; ANSI Standardı'nda, kafes büyüklüğünün ölçüsü verilir. ANSI Standardı'ndaki kafes büyüklüğü,

taneciklerin geçirildiği eleğin inç başına olan boşluk miktarını ifade etmektedir (Rowe, 2013).



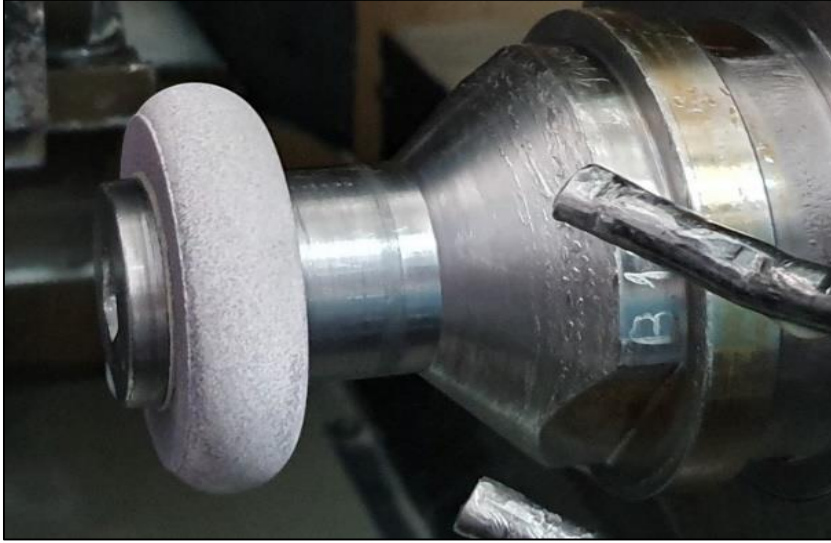
Şekil 2.20. Geleneksel aşındırıcılara sahip taş etiketlendirmesi (Rowe, 2013)



Şekil 2.21. Süper aşındırıcılara sahip taş etiketlendirmesi (Rowe, 2013)

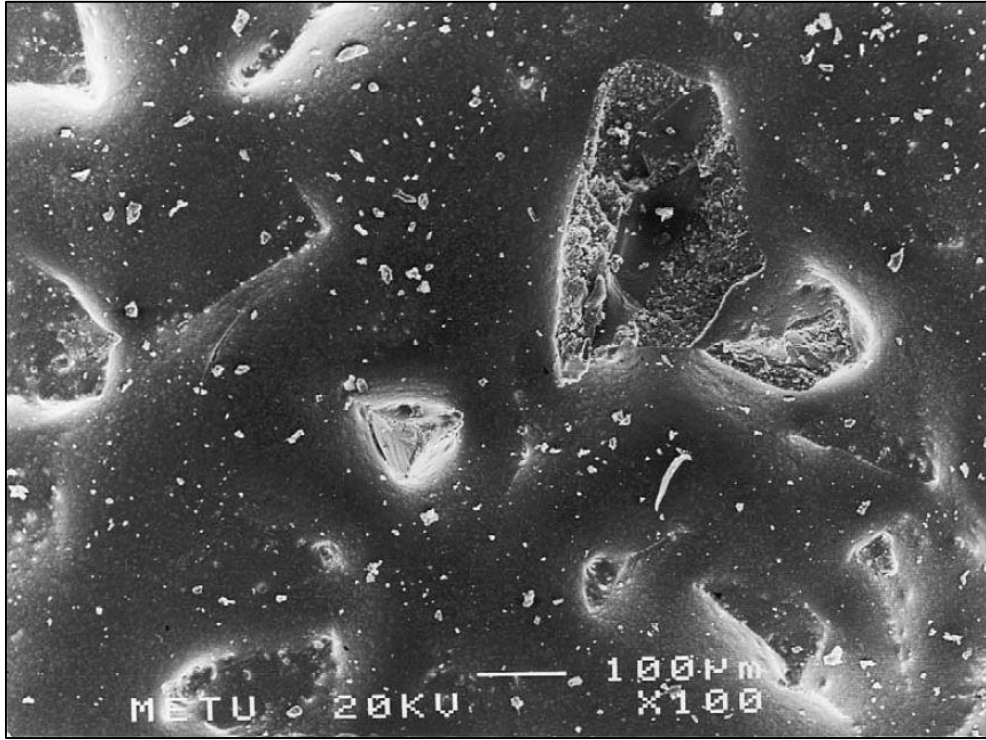
2.14. Taşlama Taşı

Aşındırıcı; iş parçasının aşınmasını tetikleyen, sürtünme işlemine maruz kalan ve iş parçasını şekillendirmek - son halini vermek için kullanılan bir mineral maddedir (Bhowmik ve Naik, 2018). Rulman üreticileri, 100Cr6 malzemelerin taşlama operasyonu için genellikle Al_2O_3 taşlar kullanmaktadır (Şekil 2.22). Al_2O_3 Taşlar hem fiyat olarak uygundur hem de taşlama sonrası istenilen ölçü ve yüzey toleranslarını karşılamaktadırlar.

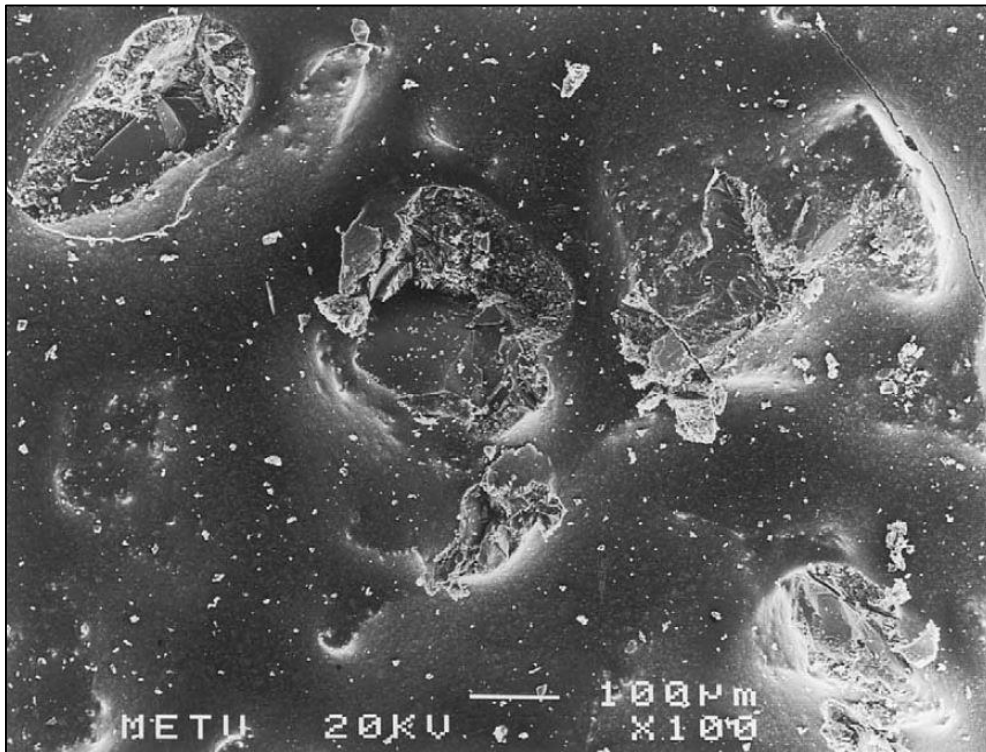


Şekil 2.22. Al_2O_3 taş

Taşılama işlemi sırasında taşın ilerleme hızına bağlı olarak, aşındırıcı tanecikler üzerine gelen yükler de paralel artış göstermektedir. Uygulanan yük arttıkça, aşındırıcı parçacıklar küçük parçalar halinde ezilir ve çoğu keskinliğini kaybeder (Izciler ve Muratoglu, 2003). Şekil 2.23, 30 ve 60 N yük altındaki ezilmiş Al_2O_3 parçacıklarını göstermektedir (Izciler ve Çelik, 2000).



(a)



(b)

Şekil 2.23. (a) 30 ve (b) 60 N yük altında ezilmiş Al_2O_3 aşındırıcı parçacıkların SEM mikrografı (Izciler ve Çelik, 2000)

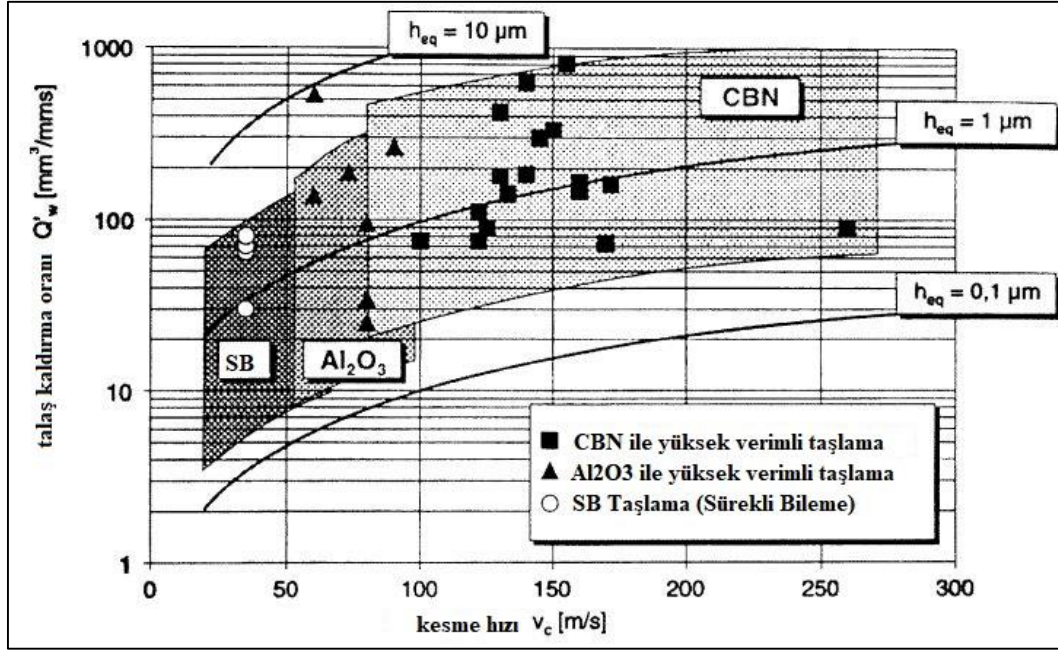
CBN taneleri, Al_2O_3 ve SiC tanelerinden çok daha serttir. CBN, elmas ile benzer bir yapıya sahiptir. Elmastan daha yüksek termal ve kimyasal stabiliteye sahiptir. Bununla beraber elmastan daha uygun bir fiyat sunmaktadır. Kesme ve taşlama uygulamalarında, elmasın

yerini almak için iyi bir adaydır (Irshad ve diğerleri, 2017; Miab ve Hadian, 2014). CBN taşlar için; geleneksel taşlara kıyasla daha yüksek aşınma direncine sahip olması sebebiyle, daha iyi boyut toleransları ve daha uzun bileme ömrü olduğu söylenebilir (Chen, Rowe ve Cai, 2002). Taşlama işlemi sırasında oluşan termal yükler; taşın ömrünü ve derin malzeme kaldırma limitini belirlemektedir (Kopac ve Krajnik, 2006). CBN taşlar ile termal hasar ve artık gerilme oluşturmada daha yüksek talaş kaldırma oranlarına ulaşılabilmektedir (Chen ve diğerleri, 2002). Şekil 2.24’ de, rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun taşlama operasyonunda kullanılan CBN taş yer almaktadır.



Şekil 2.24. Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun taşlanması için kullanılan CBN taş

Yüksek hızlı taşlama işlemleri için, taşlardan beklenen birtakım özellikler vardır; aşınmaya karşı direnç, iyi bir sönümlenme ve termal iletkenlik. Bunları sağlayabilmek için; taşın yüksek dayanımlı bir gövdeye, iyi bir bağlayıcıya ve ince tanelerden oluşan aşındırıcılara sahip olması gerekmektedir. CBN taşların, çok sert ve kimyasal - termal dayanımının yüksek olması; diğer aşındırıcı malzemelere kıyasla daha iyi bir talaş kaldırma kabiliyeti sunmaktadır (Şekil 2.25) (Jackson, Davis, Hitchiner ve Mills, 2001).



Şekil 2.25. Kesme hızı-talaş kaldırma grafiği (Jackson ve diğerleri, 2001)

CBN taşların taneciklerinin; Al_2O_3 ve SiC taneciklerinin boyutuna oranla daha küçük olması sebebiyle; daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilebilmektedir (Chen ve diğerleri, 2002). CBN taşların camısı bağlarının mekanik mukavemeti, aynı tanecik boyutundaki geleneksel taşlara oranla daha yüksektir. Bu sebeple; tanecikler, ana yapıdan kolayca kopmamakta ve aşınma direnci yüksek olmaktadır (Chen ve diğerleri, 2002). Yüksek aşınma direnci ve uzun bileme ömrü, CBN taşların en önemli avantajlarındanıdır.

Üretimde duruş sürelerinin %20' si takımların aldığı hasarlar neticesinde gerçekleşmektedir. Zarar gören takımlar ve bu takımların değişimi için geçen süre, üretim maliyetinin %6 ile %12' sini oluşturmaktadır (Nguyen, Yin, Tang ve Son, 2019). Taş değişimi ve bileme süreleri, üretimde duruşa sebep olmaktadır. CBN taşlar, Al_2O_3 taşlar ile kıyaslandığında bileme aralığı ve taş ömrü açısından çok daha avantajlı bir konumdadır.

CBN taşların fiyatları, Al_2O_3 taşlara oranla oldukça yüksektir. Taşların, işledikleri parça başına maliyetleri hesaplandığında ise CBN taşlar, Al_2O_3 taşlara kıyasla daha avantajlı bir konuma sahiptir. Beraberinde CBN' in sunduğu üretim kapasitesindeki artış, ölçüsel doğruluk gibi avantajlar da göz önünde bulundurulduğunda; Al_2O_3 taşlara kıyasla CBN taşların daha iyi bir konumda olduğu söylenebilir.

2.15. Taş Bileme Metodu

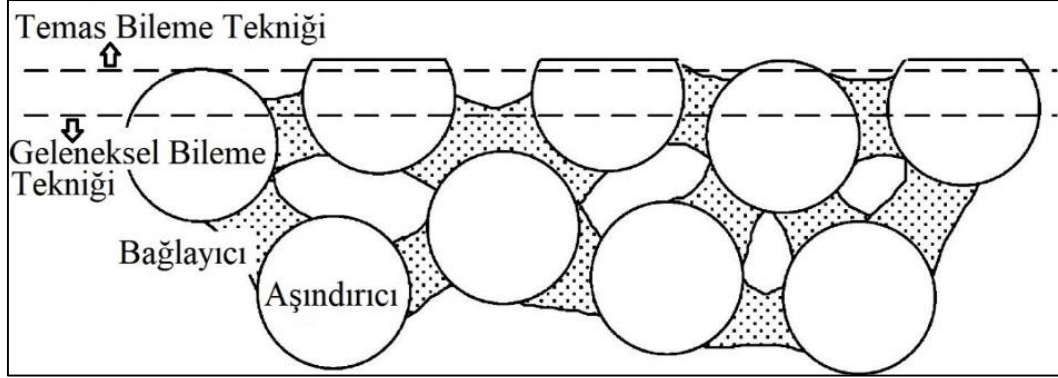
Bileme işlemi, taşlama operasyonunda oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Doğru bilenmiş bir taşlama taşı; düşük kesme kuvveti, düşük sıcaklık, belirlenen toleranslara uygun, tutarlı ve istenen yüzey pürüzlülüğünü sunar.

Taşlama taşlarının aşınması birçok faktöre bağlı ve doğrusal olmayan bir olgudur (D'Addona ve diğerleri, 2017). Keskin taneciklerden oluşan etkin kesici kenar, zamanla meydana gelen tıkanma ve taş dökülmesi sonucu düzleşme eğilimi göstermektedir (Nguyen ve diğerleri, 2019). Bu durum yüzey pürüzlülüğünü azaltırken, kesme işlemindeki kuvvetleri artırır. Taşın körlenmesi sonucunda işlem süresi uzar ve sürtünen yüzey alanındaki artış sebebiyle sıcaklık yükselir. Taşın bileme zamanı geldiğinde ise, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü aniden artar; kesme hızı eşiği ise çok hızlı bir düşüş gösterir (Nguyen ve diğerleri, 2019).

Konvansiyonel taşlarda uygulanan bileme parametreleri, CBN taşlar için uygun değildir. CBN taşların standart parametreler ile bilenmesi sonucunda; taşlama kuvvetleri oldukça yüksek değerlere çıkarken talaş kaldırma oranları da düşüş göstermektedir. Bileme takımının, CBN tanelerini kesebilmesi için gereken kuvvet, CBN tanelerinin sertliği nedeniyle çok yüksektir. Bu nedenle, standart parametreler ile bileme esnasında CBN taneleri kesilmek yerine bağlayıcı malzemeden dışarı itilir. Taşın bilenmesinden sonraki ilk taşlama işlemi, CBN taş yüzeyinin düzleşmesi ve parça ile doğrudan bağlayıcı malzemenin temas etmesi sebebiyle yüksek güç gerektirmektedir. Bağ malzemesi aşınıp CBN tanecikleri tekrar yüzeye çıktıktan sonra kuvvetler düşer ve etkili bir taşlama işlemi gerçekleştirilir (Chen ve diğerleri, 2002).

Standart bileme derinliklerinde ($\sim 30\mu\text{m}$), CBN taneciklerini bağlayıcıdan ayırmak için gereken kuvvet; kesmek için gereken kuvvetten daha düşük olması sebebiyle tanecikler ana yapıdan koparılır ve yüzeyde sadece bağlayıcı malzeme kalır. Temas bileme tekniği ile CBN taşlar; minimum derinlikte (genellikle $5\mu\text{m}$ ' den az) bilenerak yüzeyi temizlenir, aşındırıcı tanecikler çıkarılmadan taş keskinlik kazandırılır. Bu sayede taşın bilenmesinden sonraki ilk taşlama işleminde daha düşük bir taşlama kuvveti beklenmektedir. Ayrıca temas bileme tekniği için taşlama kuvvetlerindeki değişim, geleneksel tekniklere kıyasla daha düşük olacağından daha kararlı bir taşlama performansı elde edilebilmektedir. Geleneksel bileme

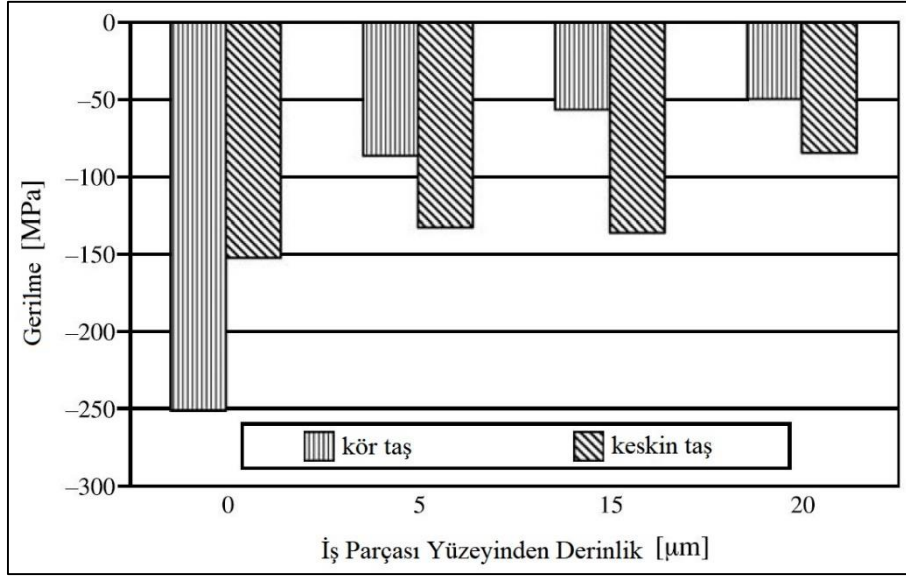
teknîği ile yapılan bileme koşullarında işlenen parçaların yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark, bir bileme döngüsü sırasında iki katına çıkarken; temas bileme tekniği ile yapılan bileme koşullarında, yüzey pürüzlülükleri benzer seviyelerde kalmaktadır (Chen ve diğerleri, 2002). Şekil 2.26’ da temas bileme tekniği ile geleneksel bileme tekniği arasındaki fark ifade edilmiştir.



Şekil 2.26. CBN taş için geleneksel ve temas bileme teknikleri (Chen ve diğerleri, 2002)

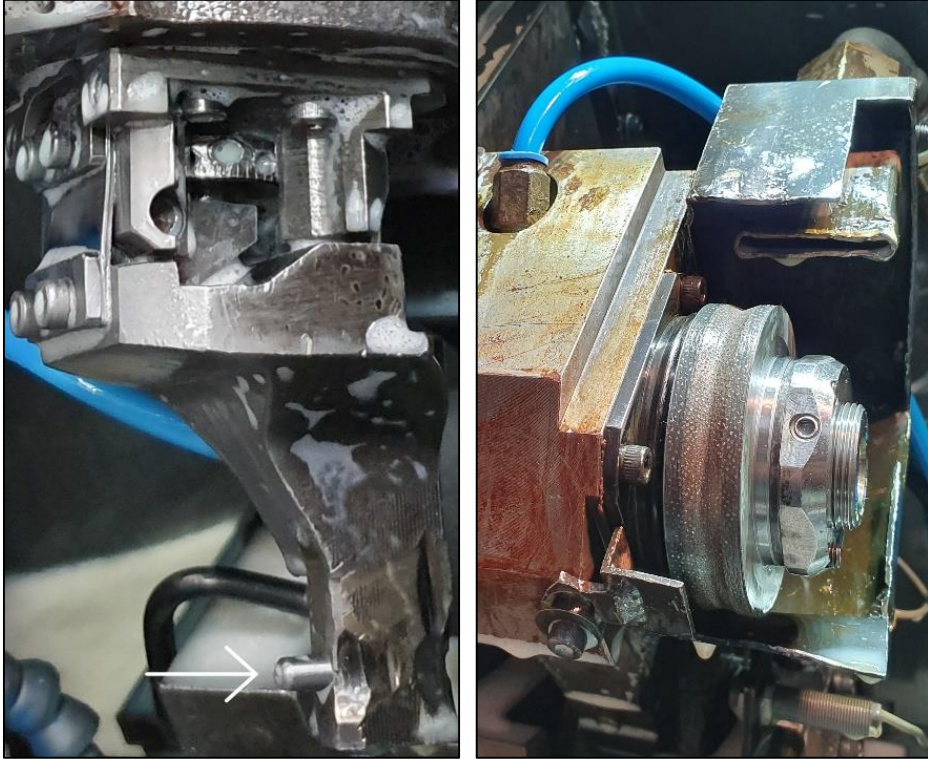
Temas bileme tekniği ile bileme derinliğinin azalması sonucunda; taş ömrü uzamaktadır. Geleneksel bileme koşulları ile kıyaslandığında; temas bileme tekniği, taş ömrünü üç katından fazlasına çıkarmaktadır (Chen ve diğerleri, 2002).

A Gołabczak araştırmasında, kör ve keskin CBN taşların, taşlama işleminin sonrasında iş parçası yüzeyinde bıraktığı gerilmeyi incelemiştir (Gołabczak ve Koziarski, 2005). İş parçasının yüzeyinde kör taşın sebep olduğu gerilme, keskin taşa kıyasla daha yüksektir. Fakat yüzeyden daha derine indikçe; kör taşın neden olduğu gerilmenin hızla azalarak, keskin taşınkine kıyasla daha düşük seviyelere indiğini gözlemlemiştir (Şekil 2.27).

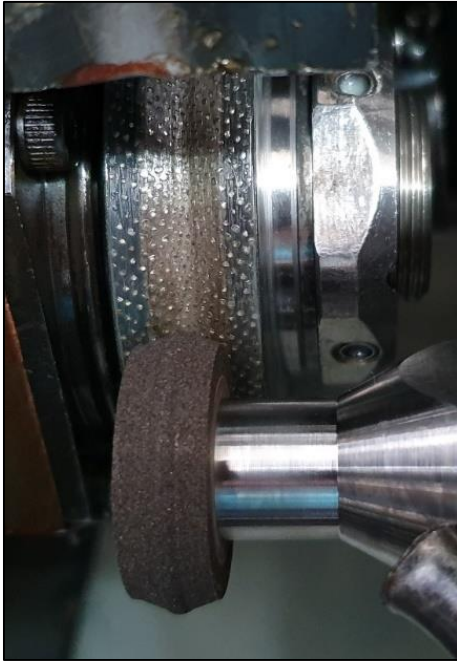


Şekil 2.27. CBN taş ile kuru taşlama işleminden sonraki gerilmeler (Gołabczak ve Koziarski, 2005)

Yuvarlanma yolu taşlama operasyonu, dalma tipi taşlama metodu ile gerçekleştirildiği için taşın formu, yuvarlanma yolunun formu ile aynıdır. Taş bileme işlemi için; tek nokta bileyici ve formlu bileyici olmak üzere iki tip elmas kullanılmaktadır. Tek nokta bileyici kullanılarak yapılan bileme işleminde; motorlu bir sistem üzerine bağlanmış tek bir elmas tanesi ile yuvarlanma yolunun formu taşta verilmektedir. Formlu bileyici ile bileme işleminde ise; rulman iç bileziği şekline sahip bir gövde üzerine yerleştirilen elmas tanecikleri ile taş form verilir (Şekil 2.28). Tek nokta bileyici daha düşük bir maliyete sahip olduğu için ilk tercihtir. Fakat CBN taşların kullanıldığı veya omuz taşlama işleminin de içinde olduğu taşlama işlemlerinde formlu bileyici kullanılamamaktadır. CBN taneciklerinin sertliğinden dolayı, tek bir elmas ile yapılan bileme işlemi verimsiz olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan CBN taş, formlu bileyici ile bilenmiştir (Şekil 2.29).



Şekil 2.28. Tek nokta bileyici – Formlu bileyici



Şekil 2.29. CBN taşın formlu bileyici ile bilenmesi

2.16. Literatür Araştırması

2.16.1. Literatür araştırmasına giriş

İmalat endüstrisinde; kesme parametrelerinin, malzeme yüzeyi üzerindeki etkisinin modellenmesi ve yorumlanması ile birlikte optimize etme işlemi, yıllar boyunca üzerine çalışmalar yapılmış ve halen çalışmaların devam etmekte olduğu bir konudur.

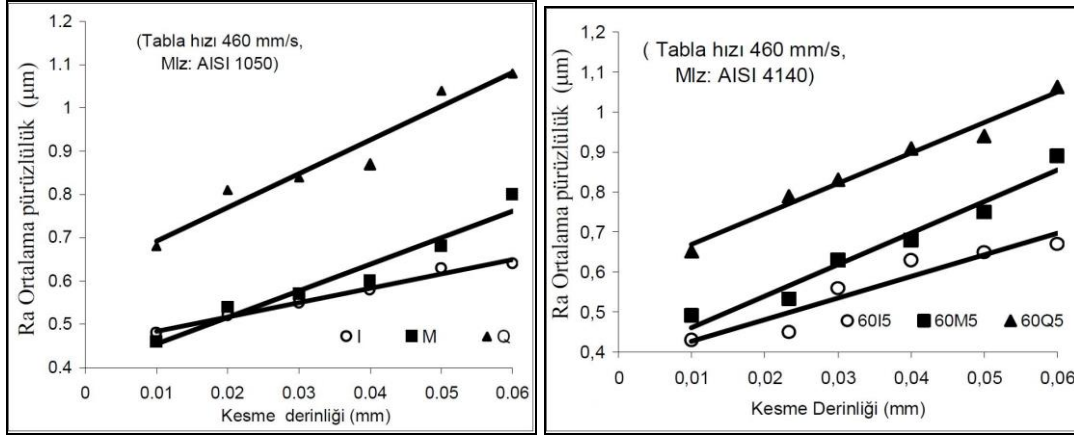
2.16.2. Deneysel çalışmalar

Yapılan çalışmalardan birinde (Rabiei, Rahimi, Hadad ve Ashrafijou, 2015) taşlama işlemi için sert çelikleri temsilen yüksek hız çeliği ve 100Cr6; yumuşak çelikleri temsilen de CK45 ve S305 malzemeleri kullanılmıştır. İlerleme değeri, talaş derinliği ve kesme hızı parametreleri girdi seçilerek; kuru, konvansiyonel kesme sıvısı ve minimum yağlayıcı miktarı (MQL) şartları altında deneyler yapılmıştır. Deneylerde, rulman çeliklerinin taşlama operasyonunda tercih edilen Al_2O_3 taş kullanılmıştır. Taşlama işlemlerinin ardından elde edilen yüzey pürüzlülüğü, sürtünme katsayıları ve kesme kuvvetleri değerlendirmeye alınarak bir model oluşturulmuştur. Model, varyans analizi yapılarak doğrulanmıştır. Devamında yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu parametreler genetik algoritma aracılığı ile elde edilmiştir.

Rabiei ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; teğetsel kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri için en iyi sonuçlar, minimum yağlayıcı ile yapılan deneylerde elde edilmiştir. Kuru şartlarda yapılan deneylerde ise teğetsel kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülük değerlerinin en yüksek yani en kötü olduğu sonuçlar elde edilmiştir. Minimum yağlama şartları altında; aşındırıcı ile kesme bölgesi arasındaki temas yüzeyinde film tabakası oluştuğunu, bu film tabakasının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü için olumlu bir etki sağladığını belirtmişlerdir (Rabiei ve diğerleri, 2015).

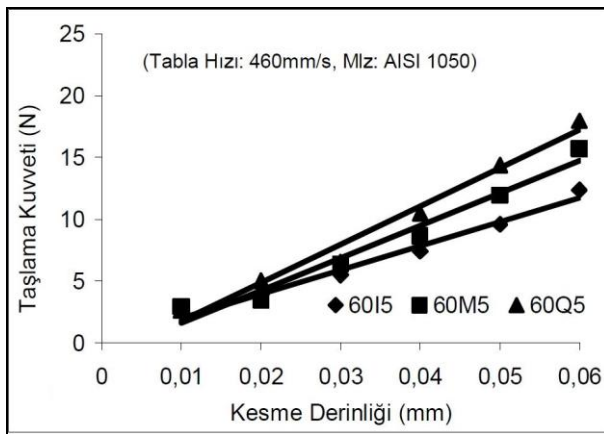
Taş sertliği ve işleme parametrelerinin; yüzey pürüzlülüğü ve taşlama kuvvetlerine etkilerinin incelenmesi konusunda Halil Demir çalışma yapmıştır (Demir ve Güllü, 2008). Çalışmasında numune olarak AISI 1050 ve AISI 4140 malzemelerini kullanmıştır. Deneylerde, taş tane büyüklüğü orta grupta olan 60 taneli ve 5 dokulu taşlar seçilmiştir. Taş sertlikleri; yumuşak I, orta sertlikte M ve sert olarak da Q serisi taşlar seçilmiştir. Yapılan

deneylerde; her iki numune malzemesi için de taş sertliğinin artışı, yüzey pürüzlülüğünde artışa sebep olmuştur (Şekil 2.30). Yüksek sertliğe sahip taşlarda, bileme işlemi sırasında bazı taneler kesilmek yerine kırıldıkları için uygun kesme geometrisi oluşmadığı belirtilmektedir. Sonuç olarak; sert taşlarda, düşük kesme derinliklerinde dahi yüzey pürüzlülükleri yüksek olmaktadır (Demir ve Güllü, 2008).



Şekil 2.30. Farklı taş sertlikleri ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (Demir ve Güllü, 2008)

Taşlama işleminde; taş sertliğinin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine olan etkilerinin benzer olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 2.31’ de, taş sertliğinin artışı ile birlikte, her iki numune malzemedede kesme kuvvetleri artış göstermektedir (Demir ve Güllü, 2008).



Şekil 2.31. Farklı taş sertlikleri ve kesme derinliğinin taşlama kuvvetleri üzerindeki etkisi (Demir ve Güllü, 2008)

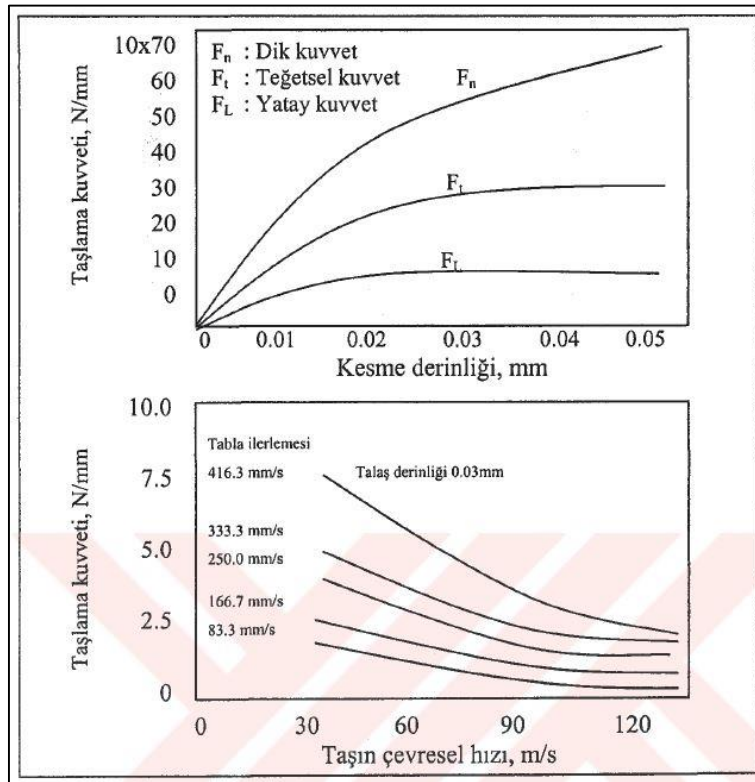
Yumuşak taşlarda, kesme kuvvetlerinin sonucunda; taş taneleri yerlerinden koparak talaş kaldırma işlemini kısmen gerçekleştirir. Bu sebeple; yumuşak taşlarda, taşlama kuvvetleri de düşük seviyelerde olmaktadır. Sert yapıya sahip iş parçalarının işlenmesi için, yumuşak taş seçimi yapılarak; taşlama kuvvetlerinin ve iş parçasında oluşabilecek problemlerin azaltılması hedeflenmektedir (Demir ve Güllü, 2008).

Janardhan tarafından yapılan çalışmada ise AISI 4340 çeliğinin, Al_2O_3 taş ile taşlanması işleminde; yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranının optimizasyonu, genetik algoritma aracılığı ile yapılmıştır (Janardhan, 2015). İşlemin modellenmesinde yanıt yüzey metodu kullanılmıştır. Taş devri, talaş derinliği ve ilerleme değeri girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. Talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü, çıktı olarak değerlendirilmiştir. Deney tasarımı, tam faktöriyel 3. seviye olarak belirlenmiş olup, toplam 27 deney yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; talaş kaldırma oranının artışı ile yüzey pürüzlülüğü değeri de artış göstermektedir. Bu sebeple minimum yüzey pürüzlülüğü ve maksimum talaş kaldırma oranı hedeflenerek optimizasyon işlemi yapılmıştır.

Yu ve arkadaşları çalışmalarında; Inconel 718 süper alaşımının CBN taş ile taşlanması işleminde, taş aşınmasını esas alarak deneyler yapmışlardır (Yu, Bastawros ve Chandra, 2017). Farklı taşlama parametreleri altında, taş ömrünün modelini oluşturmuşlardır. Termal yüklerin, kesme kuvvetine kıyasla taş ömrüne çok daha fazla etki ettiğini tespit etmişlerdir. Taş ömrünü ve derin malzeme kaldırma limitini, termal yüklerin belirlediğini ifade etmişlerdir. Taşların aşınmasında; ilerleme hızının, taşın devrine kıyasla daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek verimli taşlama işleminin (HEDG), normal yüksek hızlı taşlama işlemine kıyasla aynı taş aşınması için çok daha yüksek oranda talaş kaldırma kabiliyeti sunduğunu ifade etmişlerdir.

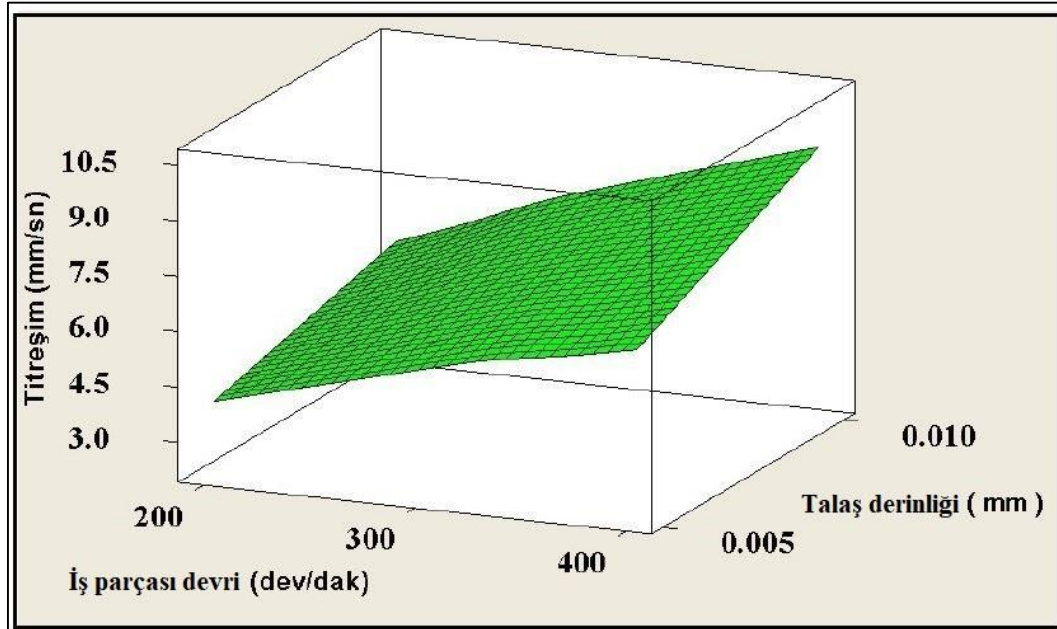
Halil Demir çalışmasında; düzlem taşlama operasyonunda, taşlama parametrelerinin yüzey kalitesine ve taşlama kuvvetlerine olan etkilerini gözlemlemiştir. Deneylerde, AISI 1050 ve AISI 4140 çelik malzemelerini kullanmıştır (Demir, 2003). Taşlama kuvvetlerini ölçmek amacıyla iki adet yük hücresi kullanan bir dinamometre tasarlamıştır. Dört farklı taş tane büyüklüğü, üç farklı taş dokusu, üç farklı taş sertliği ve altı farklı kesme derinliği ile deneyler gerçekleştirilip taşlama kuvvetleri değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde ise paso sayısı ile kesme sıvısı değişken olarak kabul edilmiştir. Deneylerde kesme kuvvetinin; 0,01-0,03 mm kesme derinliklerinde, tane boyutuna bağlı

önemli bir farklılık göstermediği fakat artan kesme derinliklerinde, tane boyutu ile doğru orantılı olarak kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir. İlerleme hızının artışı ile kesme kuvvetlerinin arttığı ve bu artışın büyük taneli taşlarda daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Kesme derinliğinin artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün de arttığı ifade edilmektedir. 0,04 mm' den fazla derinliklerde ve yüksek ilerleme değerleri altında, taş sertliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerinde belirgin bir artıştan söz edilmektedir. Düzlem taşlama operasyonunda, yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden faktörün paso sayısı olduğu ve paso sayısının artışı ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilebileceği ifade edilmiştir. Kesme sıvısı kullanılan deneylerde; taş yüzeyinde az miktarda talaş yapışmasına rastlanırken, kuru taşlama işleminde; taş gözenekleri dolmuş ve malzeme üzerinde kesme yerine kazıma işlemi gerçekleşmesinden dolayı iş parçasının yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Ayrıca gözeneklerin dolması sonucunda; kazıma işleminden kaynaklı sürtünmenin artışı yüksek sıcaklıklara neden olduğundan, iş parçası yüzeyinde metalürjik yanıklar oluştuğu belirtilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; kesme derinliğindeki artışın kesme kuvvetlerini arttırdığı, taşın çevresel hızının ise kesme kuvvetlerini düşürdüğü ifade edilmiştir ve aşağıdaki grafik oluşturulmuştur (Şekil 2.32).

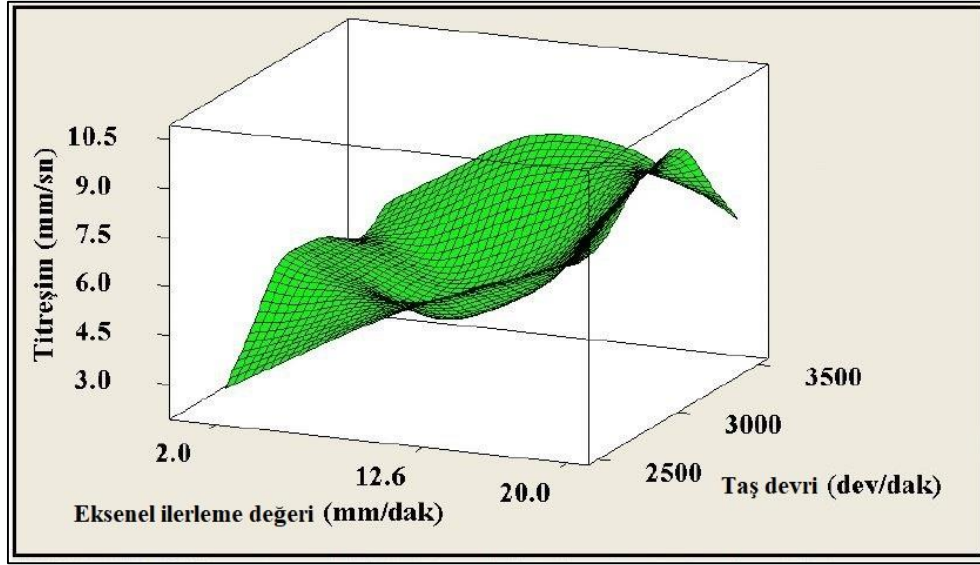


Şekil 2.32. Taş hızı ve talaş derinliğinin taşlama kuvvetleri üzerine etkisi (Demir, 2003)

Diğer bir çalışmada ise Mehmet Sağlam; AISI 8620 sementasyon çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde, kesme parametrelerinin etkisini araştırmıştır (Sağlam, 2016). İlerleme değeri, taş devri, iş parçası devri ve talaş derinliği parametrelerini girdi olarak değerlendirmiş; yüzey pürüzlülüğü, titreşim ve talaş kaldırma oranları üzerindeki etkilerini Minitab 15 programı ile inceleyerek varyans analizi yapmıştır. Deneylerde, iş parçası devrinin artışı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı fakat belli bir devirden sonra yüzey pürüzlülüğünün tekrar artış gösterdiğini tespit etmiştir. Taş devrinin artışı ile de yüzey pürüzlülüğünün devamlı azalış eğilimi gösterdiğini belirtmiştir. İş parçası devrinin, taş devrinin ve ilerleme değerinin artışının; titreşimin artışına sebep olduğunu gözlemlemiştir. Deneylerde; talaş kaldırma oranını hesaplamak için, ağırlık değişimi metodu kullanılmıştır. Taşlama işlemi öncesinde ve sonrasında parçaların ağırlıkları ölçülüp, işleme zamanına oranlanarak birim zamandaki malzeme kaldırma oranı tespit edilmiştir. Talaş derinliğinin ve ilerleme hızının artışı ile talaş kaldırma oranının arttığı; ilerleme hızının, talaş kaldırma oranı üzerinde en etkili parametre olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2.33’ de, AISI8620 Sementasyon çeliği için, talaş derinliğinin ve iş parçası devrinin artışıyla doğru orantılı olarak titreşim değeri de artış göstermektedir. İlerleme değeri parametresinin, titreşim üzerinde olan etkisi; taş devrine bağlı olarak düzensiz bir değişkenliğe sahiptir (Şekil 2.34).

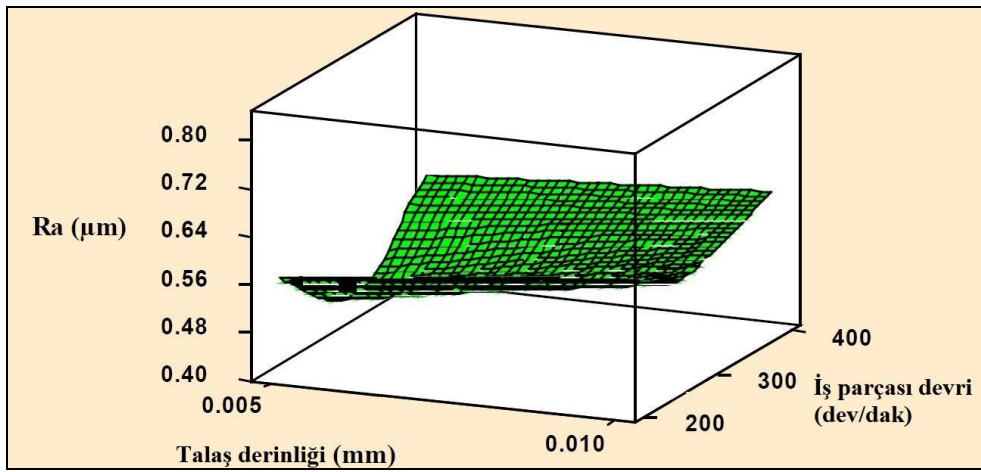


Şekil 2.33. AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde talaş derinliği ve iş parçası devri parametrelerinin titreşime olan etkisi (Sağlam, 2016)

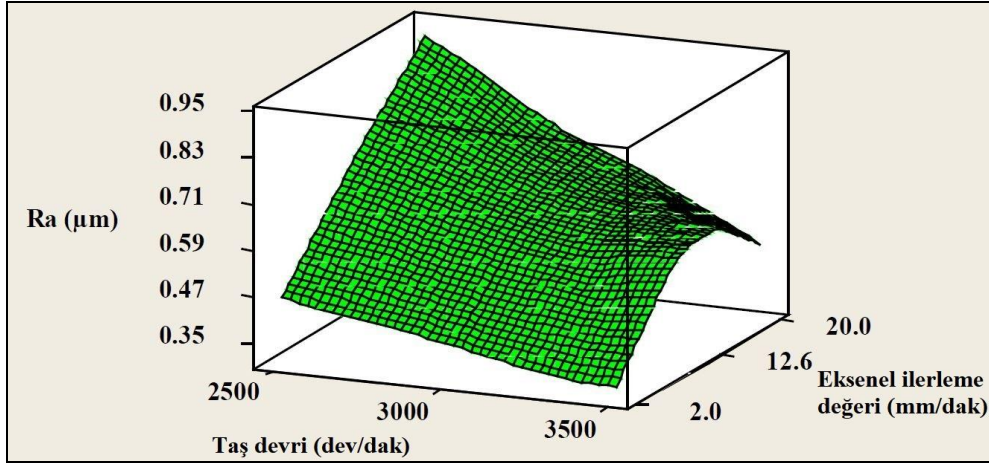


Şekil 2.34. AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde taşlama taşı devri ve eksenel ilerleme parametrelerinin titreşime olan etkisi (Sağlam, 2016)

Şekil 2.35 – 2.36 incelendiğinde; iş parçası devrinin artışı, yüzey pürüzlülüğü değerini arttırmaktadır. Talaş derinliğinin ve ilerleme değerinin artması ile talaş kaldırma oranı artmaktadır. Buna bağlı olarak kesme kuvvetlerinin yükseleceği belirtilmektedir. Bu durumun, titreşimi artırarak yüzey pürüzlülük değerinde artışa sebep olacağı belirtilmiştir. Taş devrinin artmasıyla birlikte, tanecik başına düşen talaş kaldırma miktarı azalacağından, yüzey kalitesinin iyileşeceği yani yüzey pürüzlülük değerinin azalacağı ifade edilmiştir (Sağlam, 2016).

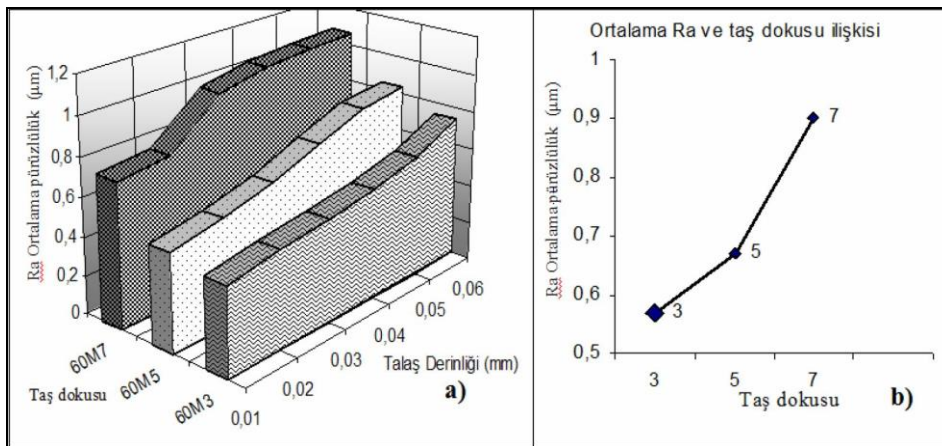


Şekil 2.35. AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde talaş derinliği ve iş parçası devri parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Sağlam, 2016)



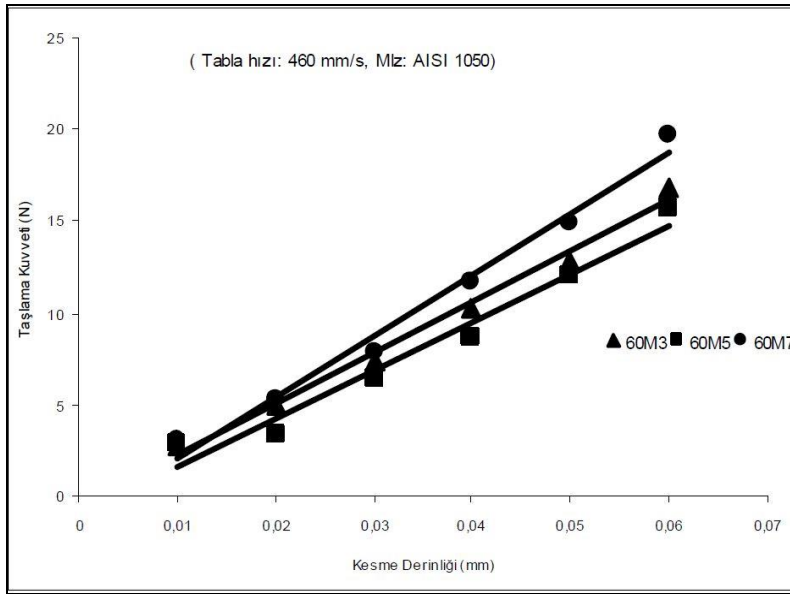
Şekil 2.36. AISI 8620 sementasyon çeliğinin işlenmesinde taşlama taşı devri ve eksenel ilerleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Sağlam, 2016)

Yüzey taşlama işlemlerinde, taş dokusunun yüzey pürüzlülüğüne ve taşlama kuvvetlerine etkilerini incelemek amacıyla Halil Demir tarafından çalışma yapılmıştır (Demir ve Güllü, 2008). Taşlama kuvvetlerini ölçebilmek amacıyla bir dinamometre tasarlanmıştır. Ölçüm hassasiyetini arttırmak için; iş parçası, rulmanlı bir yatak ile bağlanarak sürtünme kuvveti en düşük seviyede tutulmuştur ve çalışma ortamından etkilenmeyecek bir yük hücresi seçimi yapılmıştır. Deney numunesi olarak HRC 50 sertliğinde AISI 1050 malzeme kullanılmıştır. Deneylerde, taş devri 1 596 dev/dakika olarak alınmıştır. Çalışmada, taş dokusunun artışı ile taneler arasındaki mesafenin arttığı ve buna bağlı olarak daha yüksek talaş kaldırma oranlarına ulaşılabildiği belirtilmektedir. Şekil 2.37’ de görüldüğü üzere taş dokusunun artması, yüzey pürüzlülük değerinin artmasına sebep olmaktadır (Demir ve Güllü, 2008).



Şekil 2.37. Farklı taş dokuları ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (Demir ve Güllü, 2008)

Halil Demir, düzlem taşlama işleminde; taş dokusunun artması ile kesme kuvvetlerinin arttığını gözlemlemiştir. 460 mm/s tabla hızında; kesme derinliğinin artışı, taşlama kuvvetlerini doğrusal olarak arttırmıştır. Taşlama işleminde dikkat edilmesi gereken bir diğer noktanın da taş gözeneklerine giren talaşların taştan atılabilmesi olduğu belirtilmiştir. Şekil 2.38’ de, en yüksek kesme derinliğinde; dokusu 3 olan taşın talaş tahliyesinin zor olması sebebiyle taşlama kuvvetleri, diğer taş dokularına kıyasla daha fazla artış göstermiştir (Demir ve Güllü, 2008).



Şekil 2.38. Farklı taş dokuları ve kesme derinliğinin taşlama kuvvetleri üzerindeki etkisi (Demir ve Güllü, 2008)

2.16.3. Literatür araştırmasının değerlendirilmesi

Bu çalışmada kullanılan taşlama tezgahı ve bağlı olduğu merkezi sıvı sistemi sebebiyle, deneylerde konvansiyonel kesme sıvısı kullanılmıştır. Rabiei ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada görüldüğü üzere yüzey pürüzlülük değerlerinin en düşük olduğu sonuçlar minimum yağlama sistemi ile yapılan deneylerde elde edilmiştir (Rabiei ve diğerleri, 2015). Bu çalışmanın, minimum yağlama sistemi ile tekrarlanması durumunda; rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yolunda daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilebileceği öngörülmektedir.

Halil Demir çalışmasında; düzlem taşlama işleminde, taşlama parametrelerinin yüzey kalitesine ve taşlama kuvvetlerine olan etkilerini gözlemlemek amacıyla; AISI 1050 ve AISI

4140 çelik malzemelerini kullanmıştır (Demir, 2003). Deneylerin sonucunda; ilerleme değerindeki artış, taşlama kuvvetlerini arttırmıştır. Taşın çevresel hızının artması da taşlama kuvvetlerini azaltmıştır. Literatürde; taşlama kuvvetleri ile yüzey pürüzlülüğü genellikle birbirine paralel olarak değişim göstermektedir. Bu çalışmada yapılan deneylerin sonucunda; ilerleme değerinin artışı ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Taş devrinin artışı yani taşın çevresel hızın artışı, yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Bu bilgiler, iki çalışmanın da benzer sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

Janardhan tarafından yapılan çalışmada; AISI 4340 çeliğinin, Al_2O_3 taş ile taşlanması işleminde, taş devrinin artmasıyla yüzey pürüzlülük değeri artmıştır (Janardhan, 2015). Bu çalışmada ise AISI 52100 çeliğinin CBN taş ile taşlanması işleminde; taş devrinin artmasıyla, yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. Mehmet Sağlam' ın yaptığı çalışmada da bu çalışmaya benzer şekilde taş devrinin artması ile yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır (Sağlam, 2016). Mehmet Sağlam' ın yaptığı çalışma ve bu çalışmada ortak olarak; ilerleme değerinin artışı, yüzey pürüzlülük değerinde artışa sebep olmuştur. Bu çalışmada yapılan varyans analizinin sonucunda, iş parçası devrinin yüzey pürüzlülük değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Fakat Mehmet Sağlam' ın çalışmasında, iş parçası devrinin artışı, yüzey pürüzlülük değerinde artışa yani olumsuz bir etkiye sebep olmuştur.

3. MALZEME VE METOT

Bu çalışmada; rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yolunun taşlama işlemi incelenmiştir. CBN taşlar kullanılarak yapılan taşlama işleminde, minimum yüzey pürüzlülüğü ve minimum dairesellik hatası için; taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değerinin ideal noktalarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

3.1. Deney Numunesi

Deney numunesi olarak DIN 100Cr6 – ASTM/SAE 52100 malzeme kullanılmıştır. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 ‘de üretici firma tarafından; deney numunesine ait kimyasal kompozisyon ve ısıtıl işlem sonrası mekanik özellikler verilmiştir.

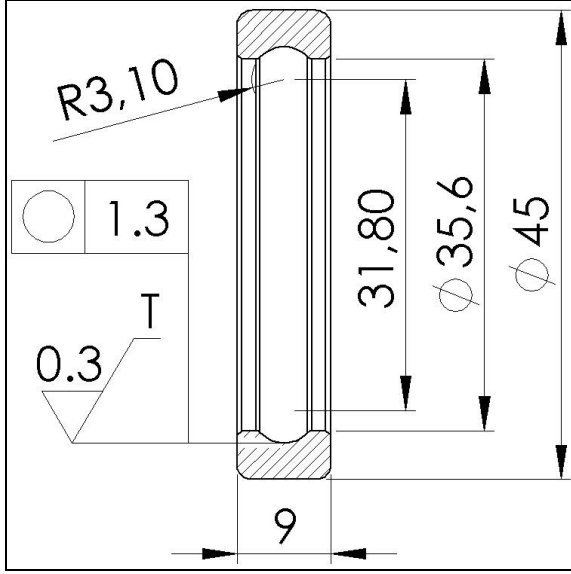
Çizelge 3.1. Deney numunesi malzemesinin kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
En Düşük	0,95%	0,20%	0,20%	0%	0%	1,35%	0%	0%
En Yüksek	1%	0,35%	0,40%	0,025%	0,015%	1,60%	0,25%	0,08%

Çizelge 3.2. Deney numunelerinin ısıtıl işlem ile sertleştirildikten sonra mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Sertlik	Young Modülü	Kayma Modülü	Poission Oranı	Öz Kütle
	HRC 61	210 GPa	80 GPa	0,3	7800 kg/m ³

Çalışmada, tek sıralı sabit bilyeli bir rulmana ait dış bileziğin yuvarlanma yolunun taşlama işlemi incelenmiştir. Her bir deney numunesinin seçiminde; bileziklerin yatak yüzeylerinin düzlemsellik değeri, puntasız çapı ve yuvarlanma yolu talaş miktarı kontrol edilerek deney sonuçlarında oluşabilecek gürültüye karşın değişkenlik en aza indirgenmiştir. 20 farklı parametre değerinde yapılan deney tasarımı, 60 adet numune kullanılmıştır. Deneylerde, numune olarak kullanılan dış bileziklerin teknik resmi Şekil 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.1. Numune dış bileziklerin teknik resmi

Deneylerde, rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yolunun çapından 30 μ talaş kaldırılmıştır. Kaldırılan talaş miktarı 10,62 mm³ tür. Bileziğin üzerinden kaldırılan talaş modellenmiş ve Şekil 3.2’ de kırmızı renk ile ifade edilmiştir.



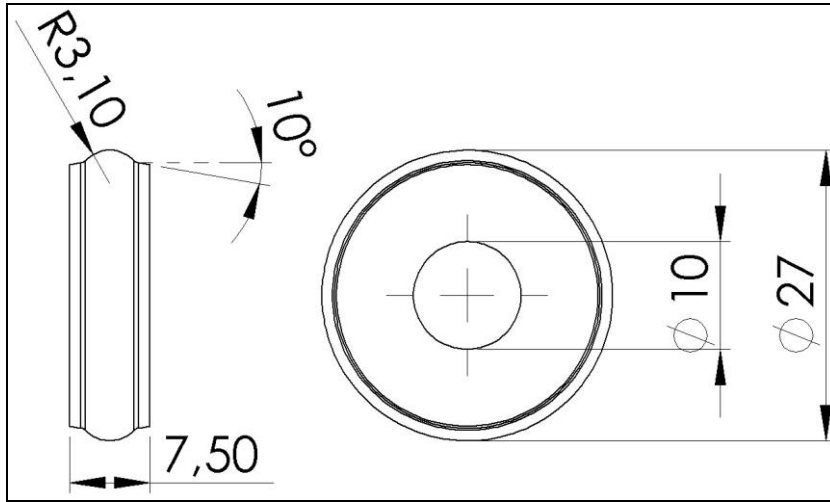
Şekil 3.2. Taşlama işlemi ile kaldırılan talaşın modeli

3.2. Deneylerde Kullanılan Kesme Sıvısı

Deneylerde kesme sıvısı olarak %3 derişime sahip bor yağı – su karışımı kullanılmıştır.

3.3. Deneylerde Kullanılan Taşlama Taşı

Deneylerde kullanılan CBN taşın dış çapı 27 mm' dir. Taşlama esnasında, bileziğin omuz kısmı ile taşın temas etmemesi amacıyla ilgili yüzeylere 10 derecelik aç verilmiştir (Şekil 3.3). Şekil 3.3' de deneylerde kullanılan CBN taşın teknik resmi verilmiştir.



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan CBN taşlama taşının teknik resmi

Fabrikada kullanılmakta olan Al_2O_3 taşlar ve deney yapılan CBN taş içerikleri Ortadoğu Rulman Sanayi tarafından belirlenmekte ve özel sipariş üzerine üretiliyor olması sebebiyle bilgiler gizli tutulmaktadır.

3.4. Taşların Bilenmesi

CBN taşlar; taş yüzeyinin temizlenmesi, keskinleşmesi ve form verilmesi amacıyla bilenmektedirler. Deneylerde bileme işlemi için temas bileme tekniği kullanılmıştır. Temas bileme tekniği ile kesme kuvvetlerinin ve deney numunelerinin işlenmiş yüzeylerindeki yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değişkenliği en düşük seviyede tutulmaktadır. Geleneksel bileme ile temas bileme teknikleri arasındaki farklar Başlık 2.15' de verilmiştir.

Taşlama operasyonlarında, taşın bilenmesinin ardından işlenen ilk parçanın yüzey pürüzlülüğünün yüksek olduğu görölmüştür. Bu sebeple deneylerde bileme işleminden sonra taşlanan ikinci numuneler üzerinden ölçüm alınmıştır.

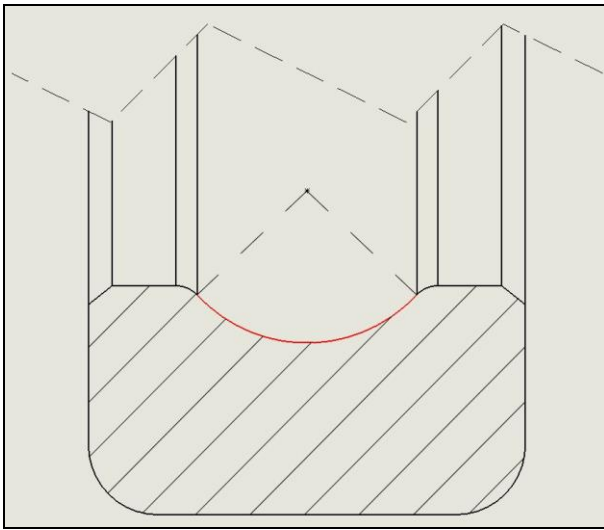
3.5. Taşlama Tezgahı Ölçüm Metodu

Deneylerde, talaş payı değişkenliğinin çıktıları etkilememesi için sabit ölçüde parçalar üzerinde taşlama işlemi uygulanmıştır. Çevrimiçi ölçüm cihazından gelecek bilgilerin değişken olabileceği öngörölerek deneylerde koordinat sistemi ile taşlama işlemi yapılmıştır. Çevrimiçi ölçüm metoduna ilişkin bilgiler Başlık 2.10' da verilmiştir.

3.6. Taşlanmış Parçaların Ölçüm Metodu

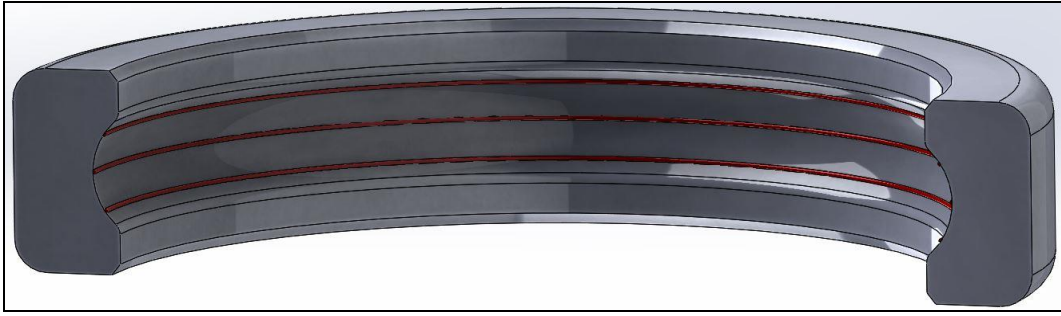
CBN taş ile numune rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yollarının taşlanması ardından yüzey pürüzlölükleri ve dairesellik hataları ölçölmüştür. Yüzey pürüzlölüklerinin ölçümünde, ORS bünyesinde bulunan Taylor Hobson Form Talysurf cihazı kullanılmıştır.

Numune bileziklerin yuvarlanma yolunun yüzey pürüzlölüğü ölçümü için; şekil 3.4' de kırmızı renk ile ifade edilen bölge, ölçüm ucu ile taranmaktadır. Ölçüm ucu, bileziklerin yuvarlanma yolu yüzeyini 0,5 mm/s hızla hareket ederek taramaktadır.



şekil 3.4. Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolu yüzeyinin pürüzlölük ölçüm bölgesi

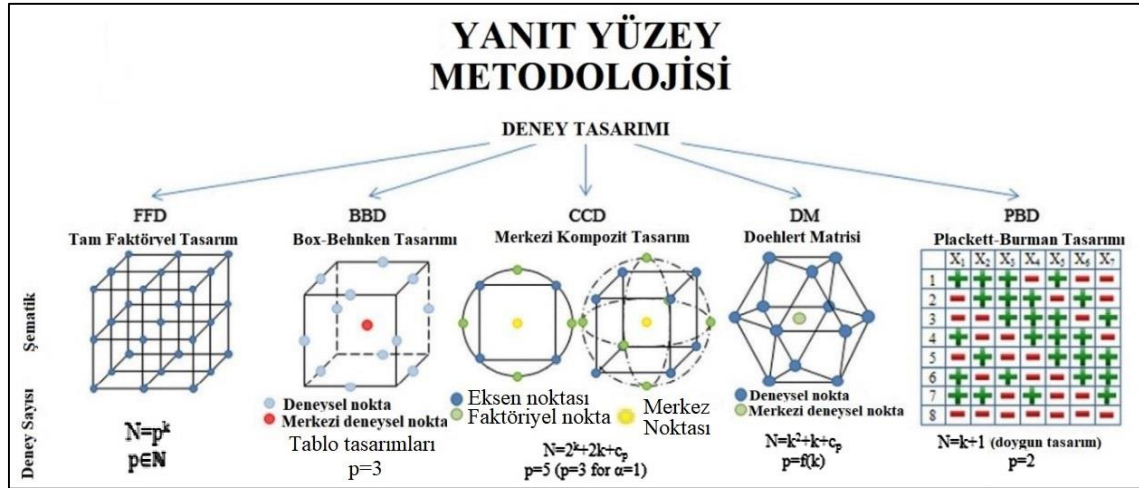
Numune bileziklerin, taşlama sonrasında dairesellik hatalarının ölçümü için, ORS bünyesinde bulunan Taylor Hobson Talysond cihazı kullanılmıştır. Dairesellik hatası ölçümünde; yuvarlanma yolunun yüzeyi, ölçüm ucu ile tam tur taranmaktadır. Yuvarlanma yolunun ortasında ve iki kenarında olmak üzere toplam üç defa tarama işlemi gerçekleştirilir. Şekil 3.5’ de bilezikten kesit alınarak tarama bölgeleri gösterilmiştir. Yapılan üç taramanın sonuçlarının ortalaması, dairesellik hatası değeri olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.5. Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun dairesellik hatasının ölçüm bölgeleri

3.7. Yanıt Yüzey Metodolojisi

Girdi değerlerinin, birbirleri ile etkileşimi ve çıktılar üzerindeki etkinliğinin belirlenmesi için yapılan deneylerde; diğer değişkenlerin sabit tutulması ve çıktıların doğru bir şekilde tanımlanması önem arz etmektedir. Bu çalışmada; CBN taşlar kullanılarak yapılan taşlama operasyonunun deney parametrelerinin belirlenmesi için, Minitab programından faydalanılmış ve merkezi kompozit deney tasarımı kullanılmıştır (Şekil 3.6). Yanıt yüzey metodolojisi kapsamında bulunan merkezi kompozit tasarım, yapısı itibarıyla diğer tasarımlara kıyasla daha az deney ile daha hassas sonuçlar üretmektedir.



Şekil 3.6. Yanıt yüzey metodolojisi (Witek-Krowiak, Chojnacka, Podstawczyk, Dawiec ve Pokomeda, 2014)

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Deney Tasarımı

Ortadoğu Rulman Sanayi Firmasının bünyesinde bulunan, deneylerin yapıldığı rulman tipinin dış bilezik yuvarlanma yolunun taşlama işlemini gerçekleştiren tezgahın taş motoru maksimum 50 000 devir/dk kapasiteye sahiptir. Kullanılan taşlama taşının çapı 27 mm’ dir. Rulman bileziklerinin taşlama operasyonunda; 60 m/s kesme hızının üzerine çıkıldığında, sıcaklığa bağlı olarak malzemenin yapısında bozulma görülmektedir. Bu durum, literatürde yanık olarak adlandırılmaktadır. Kesme hızının 45 m/s’ nin altına düşmesi durumunda ise yüzey pürüzlülüğü hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, Denklem 4.1’ de verilen kesme hızı formülüne göre; taş devrinin 40 000 devir/dk seçilmesi durumunda kesme hızı 56,5 m/s ve taş devrinin 35 000 devir/dk seçilmesi durumunda da kesme hızı 49,5 m/s olmaktadır (CBN taş çapı 27mm). Denklem 4.1’ de “V” kesme hızını, “D” taşlama taşının dış çapını ve “n” ise taşlama taşının devrini ifade etmektedir.

$$V \text{ (m/s)} = \pi * D * n / 60\,000 \quad (4.1)$$

Rulman bileziklerinin yuvarlanma yolunun taşlanması işleminde; iş parçası, taşlama taşı ile aynı yönde dönmektedir. Ortadoğu Rulman Sanayi firmasında; iş parçasının devrinin, taş devrine oranı için ortalama 1/42 değeri kullanılmaktadır. İş parçasının devri, bu orandan uzaklaşarak arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış görülmektedir; devir azaldıkça da sıcaklık artışı nedeniyle yanık ihtimali artmaktadır. Ayrıca iş parçası devrinin azalması ile dairesellik hatası da artmaktadır. Bu bilgiler göz önünde bulundurularak; deneylerde, iş parçası devri 900 ile 1 000 devir/dk aralığında seçilmiştir.

İlerleme değerinin belirlenmesinde ise yüzey pürüzlülüğü ve işleme zamanı kısıtları etkili olmuştur. Bitirme taşlama işlemi için bileziğin yuvarlanma yolunun çapından 30 µ talaş kaldırılmaktadır. 50 µm/s ilerleme değerinde talaş kaldırma işlemi için 0,6 s ve 10 µm/s ilerleme değerinde de 3 s zaman harcanmaktadır. 50 µm/s’ nin üstündeki ilerleme değerlerinde yüzey pürüzlülüğü artış göstermektedir. 10 µm/s’ nin altındaki ilerleme değerlerinde ise işleme zamanı, kabul edilebilir süre olan 3 s’ nin üzerine çıkmaktadır. Bu sebeple deneylerde ilerleme değeri için 10 ile 50 µm/s aralığı seçilmiştir.

Minitab 18 programı üzerinden 3 faktörlü merkezi kompozit deney tasarımı metodu seçimi yapılmıştır. Deney tasarımının oluşturulması aşamasında; taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değeri parametrelerinin en yüksek ve en düşük değerleri programa tanıtılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Deney tasarımı için girdi değerlerinin maksimum ve minimum noktaları

Girdi Değerleri	Taş Devri (devir/dk)	İş Parçası Devri (devir/dk)	İlerleme Değeri (µm/s)
Maksimum	40 000	1 000	50
Minimum	35 000	900	10

Merkezi kompozit deney tasarımının seviyesi, eksenel noktalar olarak belirlenmiştir. Her bir deney için taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değeri; eksenel noktalar ile belirlenen limitler içerisinde, Minitab programı tarafından otomatik atanmıştır (Çizelge 4.2).

Ölçümlerin kendi içerisindeki farklılıklarının gürültüye sebep olmaması amacıyla; her bir deney için üçer adet numune işlenmiştir. Numuneler, Çizelge 4.2’ de bulunan beş farklı taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değeri parametreleri ile taşlanmıştır. Ardından dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmış; her bir deney için ölçüm sonuçlarının ortalamaları alınıp Çizelge 4.2’ e eklenmiştir.

Taş ile iş parçası aynı yönde dönmektedir. Bu sebeple; taşın kesme hızından iş parçasının çevresel hızı çıkartılır ve net kesme hızı değeri bulunur. Çizelge 4.2’ de net kesme hızı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Merkezi kompozit deney tasarımı ve ölçüm sonuçları

Deney No.	Taş Devri (devir/dk)	İş Parçası Devri (devir/dk)	İlerleme Değeri ($\mu\text{m/s}$)	Dairesellik Hatası (μm)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Net Kesme Hızı (m/s)
1	39031	981	42	1,223	0,2779	53,2
2	39031	919	18	1,153	0,1941	53,4
3	35969	981	42	1,143	0,3155	48,9
4	37500	950	30	1,097	0,2476	51,1
5	37500	950	30	1,100	0,2429	51,1
6	35969	919	18	0,993	0,2505	49
7	37500	950	30	1,093	0,2414	51,1
8	39031	919	42	1,257	0,2680	53,4
9	37500	950	30	1,103	0,2477	51,1
10	35969	919	42	1,163	0,3148	49
11	35969	981	18	0,947	0,2589	48,9
12	39031	981	18	1,077	0,2066	53,2
13	37500	950	10	1,057	0,1918	51,1
14	35000	950	30	0,957	0,3099	47,6
15	40000	950	30	1,207	0,2133	54,7
16	37500	950	30	1,107	0,2512	51,1
17	37500	900	30	1,153	0,2312	51,2
18	37500	950	50	1,150	0,2651	51,1
19	37500	1000	30	1,000	0,2370	51
20	37500	950	30	1,103	0,2540	51,1

4.2. Dairesellik Hatası

4.2.1. Varyans analizi ve regresyon denklemi

Girdi parametrelerine bağlı çıktı değerlerindeki değişimin tespiti amacıyla, varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi, %95 güven aralığında seçilmiştir. Yani 0,05' in altındaki P değerlerinin sonuç üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. P değeri 0,05' in üzerinde olan girdi parametreleri, sıfır hipotezine göre sonuç üzerinde kesin bir etkiye sahip olmadığı için elenmiştir.

Varyans analizi çizelgesinde; P değeri “0” yazan bölgeler aslında “0,0005” in altında bir P değerine sahiptir ve program tarafından bu değerler “0” a yuvarlanmaktadır. P değeri en düşük olan parametre, çıktı üzerinde etkisi en yüksek olan parametredir. P değerleri “0” olan parametrelerde, F değerleri kıyaslanır. F değeri arttıkça, girdi parametresinin sonuç üzerindeki etkisi de artmaktadır.

Varyans analizinin çizelgesi incelendiğinde; taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değeri parametrelerinin tamamının dairesellik hatası üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Taş

devri ve ilerleme değeri parametrelerine ait P değerleri “0” a eşittir. İş parçası devri parametresinin P değeri ise “0,003” tür. Girdi parametrelerinin, dairesellik hatası üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla F değerleri kıyaslanır. F değerlerine bakıldığında; taş devri parametresi, ilerleme değeri parametresinden ve ilerleme değeri parametresi de iş parçası devri parametresinden daha etkindir. Çizelge 4.3’ de dairesellik hatasını değerlendirmek amacıyla yapılan varyans analizi çizelgesi görülmektedir.

Çizelge 4.3. Dairesellik hatası için varyans analizi çizelgesi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Model	3	0,11501	0,038338	34,41	0
Lineer	3	0,11501	0,038338	34,41	0
Taş Devri	1	0,05697	0,056974	51,13	0
İş Parçası Devri	1	0,01368	0,013678	12,28	0,003
İlerleme Değeri	1	0,04436	0,044361	39,81	0
Hata	16	0,01783	0,001114		
Toplam	19	0,13284			

Dairesellik hatası için %95 güven aralığında yapılan varyans analizinin regresyon denklemi Denklem 4.2’ de verilmiştir.

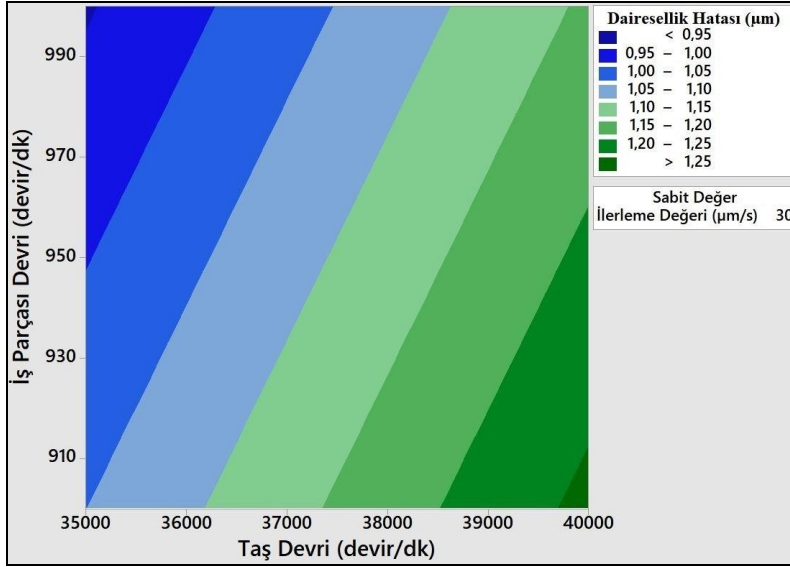
Denklemde taş devri “T”, iş parçası devri “A” ve ilerleme değeri “İ” olarak tanımlanmıştır.

$$\text{Dairesellik Hatası} = 0,355 + 0,000043 T - 0,001046 A + 0,004710 İ \quad (4.2)$$

4.2.2. Etkinlik grafikleri

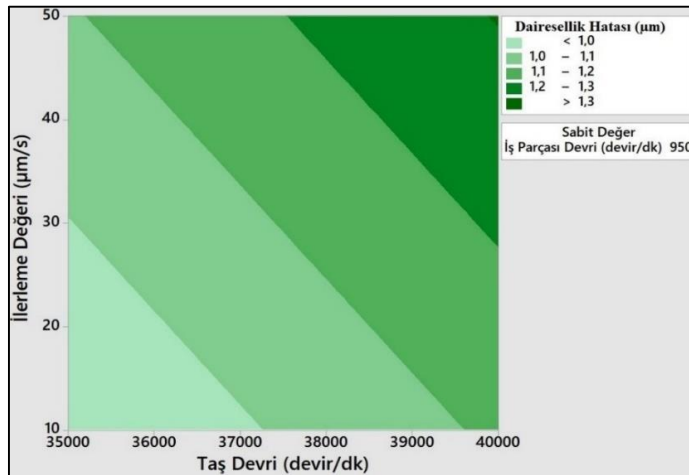
Rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yolunun taşlanması işleminde, yuvarlanma yolunda dairesellik hatasını incelemek üzere; taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değeri parametreleri ile deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; iş parçası devrinin artışı ile dairesellik hatasının azaldığı gözlemlenmiştir. İş parçası devrinin artışı; taşlanan bölge ile taşın temas süresinin azalmasına sebep olmaktadır. Temas süresinin azalması ile taşlanan bölgedeki sıcaklığın azalarak dairesellik hatasının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Taş devrinin artışı ise dairesellik hatasının artmasına sebep olmuştur. Taş devrinin artışı, kesme hızının da artışı anlamına gelmektedir. Kesme hızındaki artış ile dairesellik hatasının arttığı sonucuna varılabilir. Şekil 4.1’ de verilen grafikte; taş devri ve iş parçası devrinin, dairesellik hatası üzerindeki etkileri görülmektedir. Grafikte, dairesellik

hatası; 0,95 – 1,10 μm olan bölgeler mavi renk; 1,10 – 1,25 μm olan bölgeler ise yeşil renk ile ifade edilmiştir. Sabit ilerleme değeri için 10 ile 50 $\mu\text{m/s}$ nin ortalaması 30 $\mu\text{m/s}$ değeri alınmıştır.



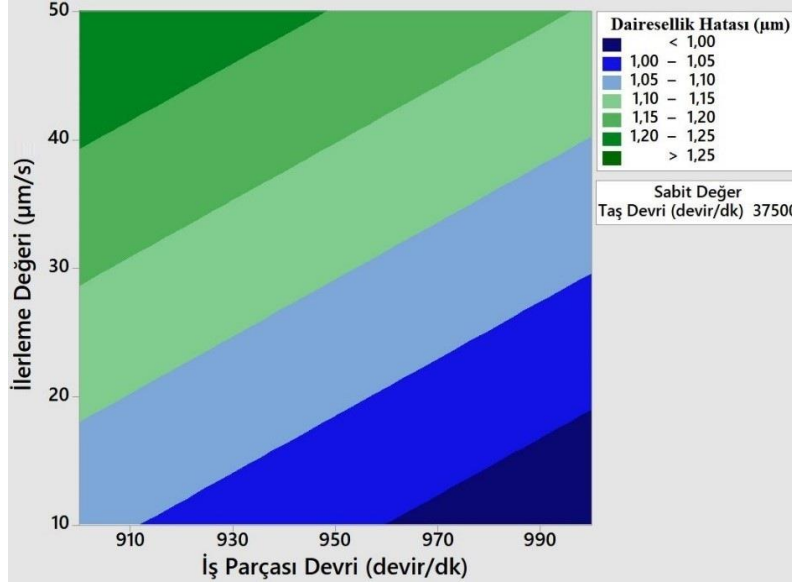
Şekil 4.1. Taş devri ve iş parçası devrinin dairesellik hatası üzerindeki etkisi

Deneylerin sonucunda; ilerleme değerindeki artış ile dairesellik hatası da artış göstermiştir. İlerleme hızının artışı, birim zamanda kaldırılan talaş miktarını arttırmaktadır. Bu durum, yüzey kalitesinin bozulmasına ve dairesellik hatasının artmasına sebep olmaktadır. Şekil 4.2’ de bulunan grafikte, dairesellik hatası için 1 – 1,3 μm değerleri arası yeşil rengin tonları ile ifade edilmiştir. Koyu tonlara sahip bölgeler, dairesellik hatasının arttığını ifade etmektedir. Sabit iş parçası devri, 950 devir/dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Taş devri ve ilerleme değerinin dairesellik hatası üzerindeki etkisi

İş parçası devri ve ilerleme değerinin, dairesellik hatası üzerindeki etkileri aşağıdaki grafikte verilmiştir. Şekil 4.3’ de, dairesellik hatası için 1 – 1,10 μm değerleri arasındaki bölge mavi renk ile ve 1,10 – 1,25 μm değerlerine sahip bölge yeşil renk ile ifade edilmiştir. Sabit taş devri, 37 500 devir/dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3. İş parçası devri ve ilerleme değerinin dairesellik hatası üzerindeki etkisi

4.3. Yüzey Pürüzlülüğü

4.3.1. Varyans analizi ve regresyon denklemi

Varyans analizinin sonucunda; taş devri, taş devrinin karesi ve ilerleme değeri parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu görülmüştür. İş parçası devrinin P değeri 0,05’ in üzerindedir. Sıfır hipotezine göre; P değeri 0,05’ in üzerinde olan parametrelerin, sonuç üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır. Bu sebeple, yüzey pürüzlülüğü incelenirken, iş parçası devri dikkate alınmamıştır. Taş devri ve ilerleme değeri parametrelerine ait P değerleri “0” a eşittir. Taş devrinin karesi parametresinin P değeri ise “0,002” dir. Girdi parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla F değerleri kıyaslanır. F değerlerine bakıldığında; ilerleme değeri parametresi, taş devri parametresinden daha etkindir. Çizelge 4.4’ de, yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek amacıyla yapılan varyans analizi çizelgesi görülmektedir.

Çizelge 4.4. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi çizelgesi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Model	4	0,02238	0,005596	55,8	0
Blok	1	0,00061	0,000614	6,12	0,026
Lineer	2	0,02039	0,010197	101,68	0
Taş Devri	1	0,00923	0,00923	92,04	0
İlerleme Değeri	1	0,01116	0,011164	111,33	0
Taş Devri*Taş Devri	1	0,00138	0,001376	13,73	0,002
Hata	15	0,0015	0,0001		
Toplam	19	0,02389			

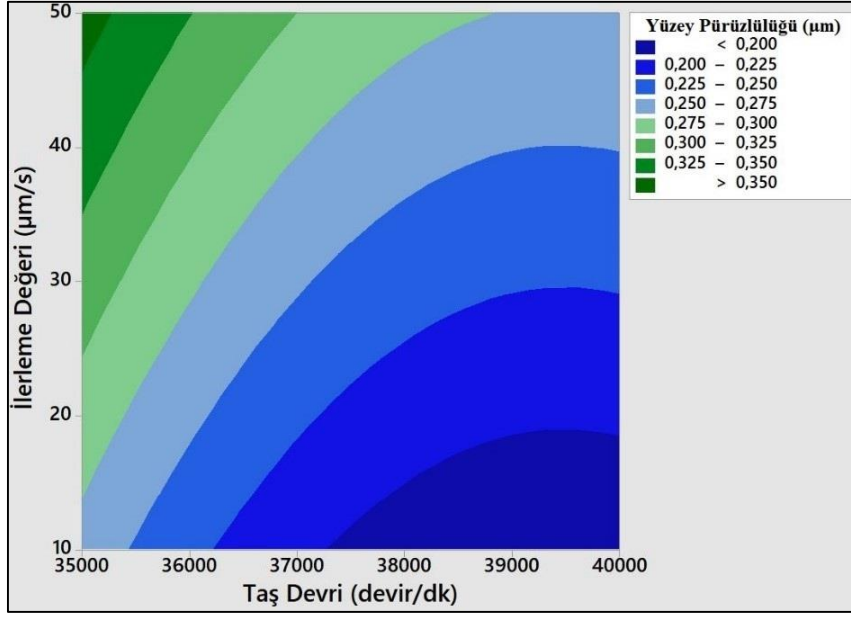
Yüzey pürüzlülüğü için %95 güven aralığında yapılan varyans analizinin regresyon denklemi Denklem 4.3' de verilmiştir.

Denklemde taş devri “T” ve ilerleme değeri “İ” olarak tanımlanmıştır.

$$\text{Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)} = 6,91 - 0,000342 T + 0,002363 İ + 0,0000000043 T^2 \quad (4.3)$$

4.3.2. Etkinlik grafiği

Rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yolunun taşlanması işleminde, yuvarlanma yolunun yüzey pürüzlülüğünü incelemek üzere deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde girdi olarak; taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değeri parametreleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; taş devrinin artışı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlemlenmiştir. Taş devrinin artışı, birim zamanda aşındırıcı tanecik başına düşen talaş miktarını azaltmaktadır. Taş devrinin artışı sonucunda yüzey pürüzlülüğünün azalması, literatürde de sıkça karşılaşılan bir durumdur. İlerleme değerindeki artış, birim zamanda kaldırılan talaş miktarını da arttırdığı için yüzey kalitesinin bozulmasına yani yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmuştur. Yapılan varyans analizinin sonucunda; iş parçası devrinin, yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Şekil 4.4' de verilen grafikte; taş devri ve ilerleme değerinin, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri görülmektedir. Grafikte, yüzey pürüzlülüğü değerleri; 0,200 – 0,275 µm olan bölgeler mavi renk; 0,275 – 0,350 µm olan bölgeler ise yeşil renk ile ifade edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde taş devrinin karesinin de etkili olması sebebiyle, eğrisel hatlara sahip bir grafik ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.4. Taş devri ve ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

4.4. İdeal Parametrelerin Bulunması

Rulman dış bileziğinin yuvarlanma yolunun taşlanması işleminin sonucunda elde edilen yüzeyin dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yorumlanabilmesi için varyans analizleri yapılmıştır. Rulmanlarda, bileziklerin yuvarlanma yollarının dairesellik hatalarının ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşük olması istenmektedir. Hem dairesellik hatasının hem de yüzey pürüzlülüğü değerinin düşük olmasını sağlayacak girdi değerlerinin belirlenmesi amacıyla, Minitab içerisinde bulunan “Response Optimizer” kullanılmıştır. Çizelge 4.5’ de görüldüğü üzere, dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü değeri için ilk olarak amaçlar ve hedefler belirlenir. Amaç; yüzey pürüzlülüğü değerinin ve dairesellik hatasının en düşük değerde olmasıdır. Bu sebeple hedef de ölçüm sonuçlarında bulunan en düşük değerleri elde edebilmektir. Taşlama işleminden sonra, bileziklerin yuvarlanma yolunda kabul edilebilir en yüksek değerler; yüzey pürüzlülüğü için 0,25 µm ve dairesellik hatası için de 1,1 µm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatası için belirlenen amaçlar ve hedefler

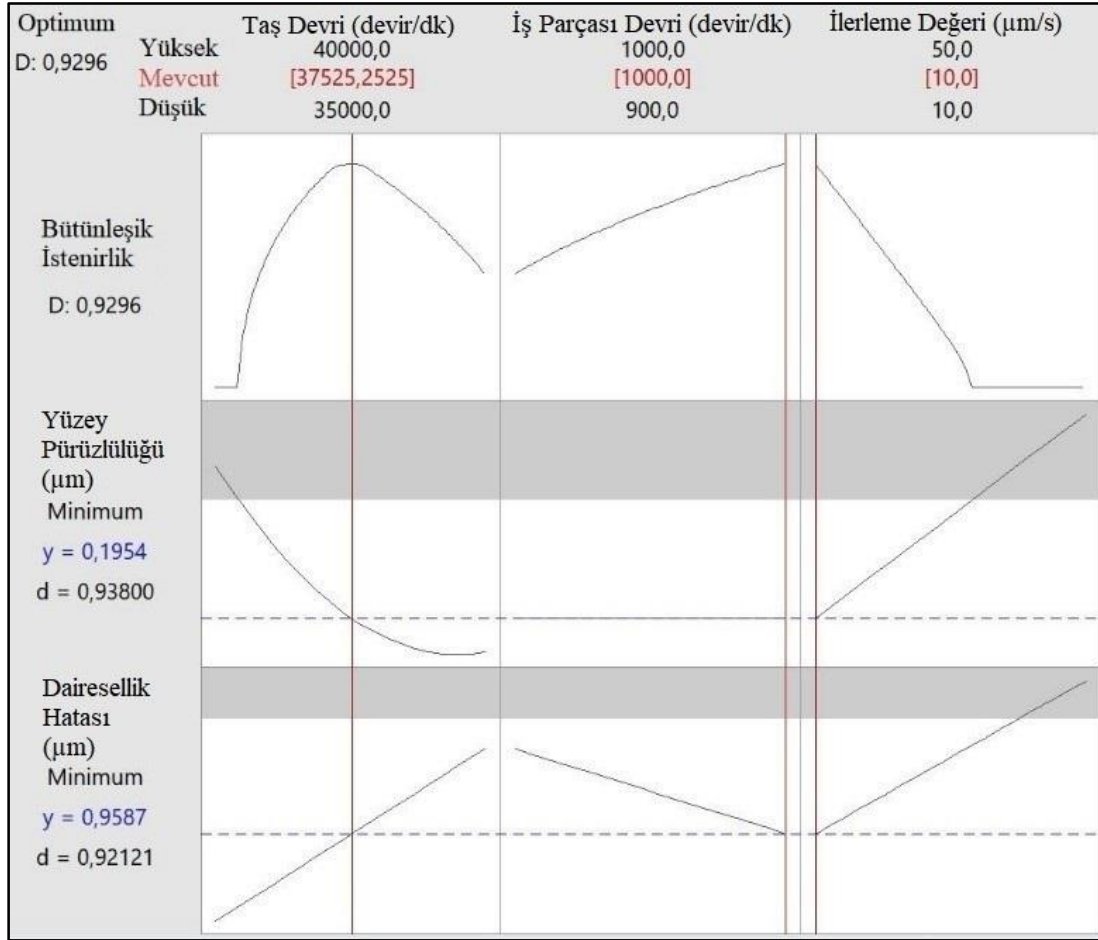
Çıktı	Amaç	En Düşük	Hedef	En Yüksek	Ağırlık	Önem
Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Minimum		0,191778	0,25	1	1
Dairesellik Hatası (μm)	Minimum		0,946667	1,1	1	1

Taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değerinin; yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatası üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatasının birlikte en düşük olduğu durum, Çizelge 4.6’ da verilmiştir. Bütünleşik istenirlik değeri, beklentinin karşılandığı oranda 1’ e yaklaşmaktadır.

Çizelge 4.6. İdeal parametrelerin bulunması

Çözüm	Taş Devri (devir/dk)	İş Parçası Devri (devir/dk)	İlerleme Değeri ($\mu\text{m/s}$)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Dairesellik Hatası (μm)	Bütünleşik İstenirlik
1	37525,3	1000	10	0,195388	0,958748	0,929565

Taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değerinin; yüzey pürüzlülüğü, dairesellik hatası ve bütünleşik istenirlik değeri üzerindeki etkileri Şekil 4.5’ de gösterilmiştir. Çizelge 4.6’ da sunulan çözüm ile yüzey pürüzlülüğü için hedeflenen değere %93,8 oranında yaklaşılmıştır. Dairesellik hatası için hedeflenen değere ise %92,121 oranında yaklaşılmıştır. Bütünleşik istenirlik değeri, %93,8 ile %92,121 değerlerinin ortalaması alınarak %92,96 hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Yüzey pürüzlülüğü ve dairesellik hatası için bütünleşik grafik

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, CBN taşlar kullanılarak rulman dış bileziklerinin (DIN 100Cr6 – ASTM/SAE 52100) yuvarlanma yolunun taşlama işlemi incelenmiştir. Yanıt yüzey metodolojisine bağlı merkezi kompozit yöntemi ile deney tasarımı yapılmıştır. Taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değeri, deney girdileri olarak değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında, bileziklerin yuvarlanma yollarının dairesellik hataları ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür.

Rulmanlarda; bileziklerin yuvarlanma yollarının dairesellik hatası titreşime, yüzey pürüzlülüğü ise sürtünmeye neden olmaktadır. Bu sebeple bileziklerin yuvarlanma yollarının, dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşük olması istenmektedir. Taş devri, iş parçası devri ve ilerleme değerinin; bileziklerin yuvarlanma yollarının dairesellik hatası ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla varyans analizleri yapılmıştır:

- Bulgular incelendiğinde; taş devrinin artışının, dairesellik hatasının artmasına sebep olduğu görülmüştür. Taş devrinin artması, kesme hızının da artması anlamına gelmektedir. Dairesellik hatasındaki artışın sebebi, kesme hızının artması olarak yorumlanabilir.
- Yapılan analizlerin sonucunda; iş parçası devrinin artması ile dairesellik hatasının azaldığı görülmüştür. İş parçası devrinin artması sonucunda, taşlanan bölge ile aşındırıcı taneciklerin temas süresi kısalmaktadır. Temas süresinin kısılması ile daha düşük sıcaklıklarda taşlama işleminin gerçekleşeceği öngörülebilir. Literatürde; taşlama işlemlerinde sıcaklık değişimlerinden kaynaklı yüzey kalitesinin bozulduğuna dair birçok ifade yer almaktadır.
- Bileziklerin yuvarlanma yolunun taşlanması işleminde; taşın ilerleme değerinin artışı sonucunda dairesellik hatasının arttığı görülmüştür. İlerleme değerinin artması, birim zamanda kaldırılan talaş miktarının da artması anlamına gelmektedir. Literatürde; birim zamanda kaldırılan talaş miktarı arttıkça, kesme kuvvetlerinin ve sıcaklıklarının arttığı belirtilmektedir. Ayrıca birçok çalışmada da taşlama işlemlerinde ilerleme değerinin artışı ile yüzey kalitesinin bozulduğu sonucuna varılmıştır.
- Deneylerde; taş devri 35 000 – 40 000 devir/dk, iş parçası devri 900 – 1 000 devir/dk ve ilerleme değeri 10 – 50 $\mu\text{m/s}$ aralıklarında değerlendirilmiştir. Verilen aralıklarda;

- dairesellik hatası üzerinde taş devrinin etkisi, ilerleme değerine göre %2,5 ve ilerleme değerinin etkisinin de iş parçası devrine göre %8,7 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Bulgular sonucunda; taş devrinin artışı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Taş devrinin artışı; birim zamanda tanecik başına düşen talaş kaldırma miktarının azalmasına neden olur. Bu sebeple kesme kuvvetlerinin azalıp yüzey pürüzlülüğünün daha iyi bir seviyeye geldiği de literatürde belirtilmektedir. Birçok çalışmada da taş devrinin artışı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı sonucuna varılmıştır.
 - Değerlendirmelerin sonucunda; ilerleme değerindeki artış ile yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görülmüştür. İlerleme değerinin artması sonucunda; birim zamanda kaldırılan talaş miktarındaki artış sebebiyle, yüzey pürüzlülüğü de artmaktadır. İlerleme değerinin artması sonucunda, yüzey kalitesi bozulur hem dairesellik hatası hem de yüzey pürüzlülüğü artar.
 - İş parçası devrinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı, ancak taş devrinin ve ilerleme değerinin önemli etkileri olduğu görülmüştür. Deneylerde; taş devri 35 000 – 40 000 devir/dk ve ilerleme değeri 10 – 50 $\mu\text{m/s}$ aralıklarında değerlendirilmiştir. Verilen aralıklarda, yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme değerinin etkisinin, taş devrine oranla %3,6 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
 - Deney sonuçlarına göre, rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yollarının CBN taş ile taşlanması işleminde; 37 525 devir/dk taş devrinde, 1 000 devir/dk iş parçası devrinde ve 10 $\mu\text{m/s}$ ilerleme değerinde dairesellik hatasının ve yüzey pürüzlülüğünün, birlikte en düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Verilen değerler ile yapılacak taşlama işleminin sonucunda; 0,9587 μm dairesellik hatası ve 0,1954 μm yüzey pürüzlülüğü elde edileceği öngörülmektedir.

Rulman bileziklerinin dış çaplarının, yanak yüzeylerinin ve delik çaplarının; CBN taş ile taşlanması işlemleri için benzer çalışmaların yapılması, bu konu için tamamlayıcı olacaktır. Benzer bir çalışma olarak da kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve sıcaklıklar üzerindeki etkisi araştırılabilir. Ayrıca benzer bir çalışmada da mikro çatlaklar ve işleme çatlakları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ahrens, M., Damm, J., Dagen, M., Denkena, B. and Ortmaier, T. (2017). Estimation of dynamic grinding wheel wear in plunge grinding. *Procedia CIRP*, 58, 422-427.
- Akkuş, H. (2010). *Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Bhowmik, S. and Naik, R. (2018). Selection of abrasive materials for manufacturing grinding wheels. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 2860-2864.
- Brinksmeier, E., Aurich, J., Govekar, E., Heinzl, C., Hoffmeister, H.-W., Klocke, F. and Uhlmann, E. (2006). Advances in modeling and simulation of grinding processes. *CIRP annals*, 55(2), 667-696.
- Chen, X., Rowe, W. and Cai, R. (2002). Precision Grinding Using Cbn Wheels. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(5), 585-593.
- D'Addona, D. M., Matarazzo, D., Teti, R., De Aguiar, P. R., Bianchi, E. C. and Fornaro, A. (2017). Prediction of Dressing in Grinding Operation via Neural Networks. *Procedia CIRP*, 62, 305-310.
- Demir, H. (2003). *Düzlem taşlamada taşlama parametrelerinin taşlama kuvvetlerine ve yüzey Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demir, H., Gullu, A., Ciftci, I. and Seker, U. (2010). An investigation into the influences of grain size and grinding parameters on surface roughness and grinding forces when grinding. *Journal of Mechanical Engineering*, 56(7-8), 447-454.
- Demir, H. ve Güllü, A. (2001). Taşlamada parametrelerin etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 189-198.
- Demir, H. ve Güllü, A. (2008). Taş Dokusunun Yüzey Pürüzlülüğü ve Taşlama Kuvvetlerine Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1).
- Demir, H. ve Güllü, A. (2008). Taş sertliği ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve taşlama kuvvetlerine etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3).
- Gołabczak, A. and Koziarski, T. (2005). Assessment method of cutting ability of CBN grinding wheels. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(11), 1256-1260.
- Groover, M. P. (2012). Dimensions, Surfaces, and their Measurement. *Handbook of Measurement in Science and Engineering*, 241-257.

- Güllü, A. (1995). *Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımı ile optimizasyonu*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Inasaki, I., Tönshoff, H. and Howes, T. (1993). Abrasive machining in the future. *CIRP annals*, 42(2), 723-732.
- Irshad, H. M., Ahmed, B. A., Ehsan, M. A., Khan, T. I., Laoui, T., Yousaf, M. R. and Hakeem, A. S. (2017). Investigation of the structural and mechanical properties of micro-/nano-sized Al₂O₃ and cBN composites prepared by spark plasma sintering. *Ceramics International*, 43(14), 10645-10653.
- Izciler, M. and Çelik, H. (2000). Two-and three-body abrasive wear behaviour of different heat-treated boron alloyed high chromium cast iron grinding balls. *Journal of Materials Processing Technology*, 105(3), 237-245.
- Izciler, M. and Muratoglu, M. (2003). Wear Behaviour of SiC Reinforced 2124 Al Alloy Composite in Rwt System. *Journal of Materials Processing Technology*, 132(1-3), 67-72.
- Jackson, M., Davis, C., Hitchiner, M. and Mills, B. (2001). High-speed grinding with CBN grinding wheels—applications and future technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 110(1), 78-88.
- Janardhan, M. (2015). An integrated evaluation approach for modelling and optimization of surface grinding process parameters. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 1622-1633.
- Kına, M. (2011). Silindirik yüzeylerin taşlanması değişik helis açılı taşların yüzey pürüzlülüğüne ve daireselliğe etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kütahya.
- Klocke, F., Brinksmeier, E. and Weinert, K. (2005). Capability profile of hard cutting and grinding processes. *CIRP annals*, 54(2), 22-45.
- Kopac, J. and Krajnik, P. (2006). High Performance Grinding a Review. *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1-3), 278-284.
- Leach, R. (2014). *Fundamental principles of engineering nanometrology*. Elsevier.
- Leach, R. K. (2014). The measurement of surface texture using stylus instruments.
- Miab, R. J. and Hadian, A. (2014). Effect of brazing time on microstructure and mechanical properties of cubic boron nitride/steel joints. *Ceramics International*, 40(6), 8519-8524.
- Motorcu, A. (2006). *Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin farklı takımlarla işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

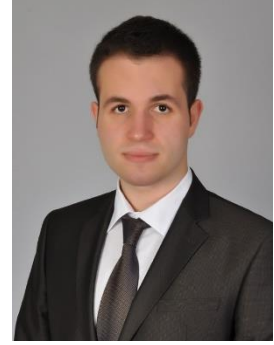
- Motorcu, A. (2010). Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde takım ömrü ve aşınmasının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1).
- Neşeli, S. (2006). *Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Nguyen, D., Yin, S., Tang, Q. and Son, P. X. (2019). Online Monitoring of Surface Roughness and Grinding Wheel Wear When Grinding Ti-6Al-4V Titanium Alloy Using Anfis-Gpr Hybrid Algorithm and Taguchi Analysis. *Precision Engineering*, 55, 275-292.
- Öztop, M. S. (2006). *Analysis on development of incremental ring rolling process*. Doctoral Dissertation, Middle East Technical University. Ankara.
- Rabiei, F., Rahimi, A., Hadad, M. and Ashrafijou, M. (2015). Performance Improvement of Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technique in Surface Grinding by Modeling and Optimization. *Journal of Cleaner Production*, 86, 447-460.
- Rowe, W. B. (2013). *Principles of Modern Grinding Technology*. William Andrew.
- Sağlam, M. (2016). *Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak sementasyon çeliğinin teğetsel silindirik taşlama yöntemi ile işlenmesinde kesme parametrelerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.
- Sak, C. (1986). *Genel taşlamacılık*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Scotforge. (December 14, 2019). Forging 101: Rolled Ring Forging (n.d). Web: <https://www.scotforge.com/Why-Forging/Forging-101/Rolled-Ring-Forging#490332-6-desired-size-is-achieved> 20 Mart 2020'de alınmıştır.
- Tabur, M., Izciler, M., Gul, F. and Karacan, I. (2009). Abrasive Wear Behavior of Boronized AISI 8620 Steel. *Wear*, 266(11-12), 1106-1112.
- Uysal, A. (2006). *Tek sıra sabit rulmanlı yataklarda sürtünme kaybının deneysel olarak incelenmesi*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Viitala, R., Widmaier, T., Hemming, B., Tammi, K. and Kuosmanen, P. (2018). Uncertainty analysis of phase and amplitude of harmonic components of bearing inner ring four-point roundness measurement. *Precision Engineering*, 54, 118-130.
- Witek-Krowiak, A., Chojnacka, K., Podstawczyk, D., Dawiec, A. and Pokomeda, K. (2014). Application of Response Surface Methodology and Artificial Neural Network Methods in Modelling and Optimization of Biosorption Process. *Bioresource technology*, 160, 150-160.

- Yu, T., Bastawros, A. F. and Chandra, A. (2017). Experimental and modeling characterization of wear and life expectancy of electroplated CBN grinding wheels. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 121, 70-80.
- Yunlong, W., Wenzhong, W., Shengguang, Z. and Ziqiang, Z. (2018). Effects of raceway surface roughness in an angular contact ball bearing. *Mechanism and Machine Theory*, 121, 198-212.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DAĞDEMİR, Onur
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 13.06.1993, Yozgat
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (554) 883 66 92
 e-mail : onurdagdemir@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İmalat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / İmalat Mühendisliği	2015
Lise	H.M.M. Bileydi Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş.	Taşıma & Montaj Kıd. Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Dağdemir O. (2019, Kasım). *Rulman dış bileziklerinin yuvarlanma yolu son taşıma operasyonlarında CBN taş kullanılmasının dairesellik ve yüzey pürüzlülük değerlerine etkilerinin incelenmesi*. VII. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumunda sunuldu. Ankara.

Hobiler

Model uçak ve arabalar, Bilim ve teknoloji, Fotoğrafçılık



GAZİ GELECEKTİR...