

**TREN TEKERLEĞİNİN İŞLENEBİLİRLİK
PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE
ARAŞTIRILMASI**

2018

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Anıl RIDVANOĞULLARI

**TREN TEKERLEĞİNİN İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN
TAGUCHI YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI**

Anıl RIDVANOĞULLARI

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2018

Anıl RIDVANOĞULLARI tarafından hazırlanan "TREN TEKERLEĞİNİN İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üy. Mehmet Emin AKAY
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 26/06/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Serkan ISLAK (KÜ)

İmzası


Üye : Dr. Öğr. Üy. Mehmet Emin AKAY (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üy. M. Hüseyin ÇETİN (KBÜ)

.../.../2018

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ
Fen Bilimleri Enstitü Müdür V.





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

Anıl RIDVANOĞULLARI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TREN TEKERLEĞİNİN İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

Amı RIDVANOĞULLARI

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üy. Mehmet Emin AKAY

Haziran 2018, 65 Sayfa

Demiryolu araçları üzerinde bulunan tekerlek setindeki her bir tekerlek, aksa sıkı geçme yöntemiyle birleştirilmektedir. Tren tekerleği ve tren akslarının ülkemizde henüz üretimi yapılmadığından ve üzerinde taşıdığı statik ve dinamik yükler nedeniyle demiryolu araçları için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca sıkı geçme esnasında uygulanan yüksek kuvvetler sebebiyle uygun birleşmenin olmaması tekerlek veya aksların ıskat olmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı sıkı geçme için tekerlek iç çap tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünün 0,8 – 3,2 µm tolerans değerlerinde minimum seviyeye ulaşılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, tren tekerleğinin iç çap yüzey kalitesinin optimum işlenebilirlik koşulları araştırılmıştır.

Deneyle, tren tekerleği için özel olarak imal edilmiş SIRMU – mt VTF 150/160 dikey CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Deneylede  farklı kesme derinliği (0,5 – 1 – 1,5 mm),  farklı ilerleme miktarı (0,1 – 0,2 – 0,3 mm/dev) ve  farklı kesme hızı (250, 350, 450 dev/dak) uygulanmıştır. Ayrıca deneyleleri gerçekleştirmek için bir adet titanyum nitrür ve alüminyum oksit kaplama kesici uç tercih edilmiştir. Deneyle tasarımı Taguchi L9 (3^3) metodu esas alınarak belirlenmiştir. ıkış parametresi olarak her deneyle sonrası profilometre ile  kez yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılmış ve ortalama yüzey pürüzlülüğü belirlenmiştir. Tornalama parametrelerinin etkilerini analiz edebilmek için işaret/ gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi kullanılmıştır.

Genel olarak deneysel sonuçların analizi, Taguchi ve ANOVA yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve ortalama yüzey pürüzlülüğü için en uygun işlenebilirlik parametreleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Tren, tren tekerleği, işlenebilirlik, sıkı geçme, Taguchi, ANOVA, ortalama yüzey pürüzlülüğü, Dikey CNC Torna.

Bilim Kodu : 914.3.028

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY PARAMETERS OF THE TRAIN WHEEL BY TAGUCHI METHOD

Anıl RIDVANOĞULLARI

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Dr. Mehmet Emin AKAY

June 2018, 65 Pages

Each wheel on the set of wheels on the railway cars is connected to the axle by a tight fitting connection. Train wheels and train axles are of great importance for railway vehicles due to the static and dynamic loads they have been carrying and the fact that they are not yet produced in our country. In addition, due to the high forces applied during tightening, the lack of proper coupling can cause the wheels or axles to be damaged. For these reasons, it is aimed to reach the minimum level in the tolerance values of 0,8 – 3,2 μm for surface roughness in wheel turning. For this purpose, the optimum machinability conditions of the internal diameter surface quality of the train wheel have been investigated.

Experiments were carried out on SIRMU – mt VTF 150/160 vertical CNC lathe specially designed for train wheels machining. Three different cutting depths (0,5 – 1 – 1,5 mm), three different feed rates (0,1 – 0,2 – 0,3 mm / g) and three different cutting speeds (250, 350, 450 rpm) was applied. In addition, one titanium nitride and aluminum oxide sheathed insert is preferred in order to carry out the experiments. The design of the experiment was based on the Taguchi L9 (3^3) method. The surface roughness was measured three times with the profilometer after each test as the output parameter and the average surface roughness was determined. The signal / noise (S / N) ratio and variance analysis were used to analyze the effects of the turning parameters.

In general, the analysis of the experimental results was carried out by Taguchi and ANOVA methods and the most suitable machinability parameters for the average surface roughness were determined.

Keywords : Train, train wheel, machinability, close fit, Taguchi, ANOVA, average surface roughness, Vertical CNC Lathe.

Science Code : 914.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üy. Mehmet Emin AKAY' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimde yaptığım deney ve ölçümler boyunca yanımda olan, bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşarak yol gösteren Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekan Yrd. Dr. Öğr. Üy. Muhammet Hüseyin ÇETİN' e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaların yapılmasında, Ankara Etimesgut' ta bulunan Yüksek Hızlı Tren Bakım – Onarım Tesisinde, yaptığımız çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Şuayip SEZER ve Sedat SARI' ya, KBÜ MARGEM laboratuvarında numunelerin test ve ölçüm işlemlerine imkân sağlayan meslektaşlarıma da teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiğim annem Feyruza RIDVANOĞULLARI ve babam Edip RIDVANOĞULLARI' na teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasını, KBÜBAP17YL – 456 numaralı proje kapsamında maddi olarak destekleyen KBÜ BAP ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	6
TREN TEKERLEĞİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	6
3.1. TREN TEKERLEĞİ ÜRETİM PROSESİ	7
3.2. TREN TEKERLEĞİNİN ÖZELLİKLERİ VE MALZEME YAPISI.....	8
3.3. FARKLI TREN TEKERLEKLERİNİN YAPISI VE ÇEŞİTLERİ	10
3.4. TEKERLEĞİN TORNALANMA İHTİYACI.....	13
3.5. TEKERLEĞİN TORNALANMASI	14
3.5.1. Üretim Esnasında Yapılan Tornalama.....	14
3.5.2. Montaj Öncesi Yapılan Tornalama.....	16
3.5.3. Belirli Mesafe Sonrası Yapılan Tornalama	19

BÖLÜM 4	22
TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK	22
4.1. TALAŞLI İMALAT	22
4.2. TORNALAMA	23
4.3. KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİ VE GEOMETRİSİ.....	24
4.4. TALAŞ OLUŞUMU	26
4.5. GERÇEK TALAŞ OLUŞUMU	27
4.6. TAKIM AŞINMASI.....	28
4.7. İŞLENEBİLİRLİK	29
4.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	30
4.9. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK PARAMETRELERİ.....	31
4.9.1. Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değeri (Ra)	32
4.9.2. Ortalamaların Kareleri Toplamının Karekökü (Rq, Rms).....	32
4.9.3. Profil Maksimum Tepe Yüksekliği (Rp)	33
4.9.4. Profil Maksimum Çukur Derinliği (Rv, Rm)	33
4.9.5. Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği (Rt, Rmax)	33
4.9.6. On Nokta Yüksekliği (Rz).....	34
4.10. YÜZEY KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	34
BÖLÜM 5	36
TREN TEKERLEĞİ – AKS SIKI GEÇME UYGULAMASI.....	36
5.1. GİRİŞ.....	36
5.2. TREN TEKERLEĞİ – AKS SIKI GEÇME UYGULAMASI.....	38
5.3. SIKI GEÇMEDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖNEMİ	39
BÖLÜM 6	40
DENEYSEL METOD VE MATERYAL	40
6.1. DENEY MALZEMESİ	40
6.2. SERTLİK ÖLÇÜMÜ VE CİHAZI.....	41
6.3. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ	42
6.3.1. Takım Tezgâhı	42
6.3.2. Takım Tutucu.....	43

	<u>Sayfa</u>
6.3.3. Kesici Takım.....	44
6.3.4. Kesme Parametreleri.....	44
6.4. TAKIM YÜZEYİ GÖRÜNTÜLEME CİHAZLARI	45
6.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM CİHAZI	46
BÖLÜM 7	47
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
7.1. TAGUCHI DENEY TASARIMINA GÖRE İŞLENEBİLİRLİK.....	47
7.2. KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	50
7.2.1. Varyans Analizi (ANOVA)	50
7.2.2. İlerleme – Kesme Hızı ve İlerleme – Kesme Derinliği Parametrelerinin Etkileşimli Olarak Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	52
7.3. TAGUCHI ANALİZİ İÇİN OPTİMİZASYON VE REGRESYON DENKLEMİNİN ELDE EDİLMESİ	54
7.4. TAGUCHI ANALİZİ VE REGRESYON DENKLEMLERİ İÇİN GÜVENİLİRLİK TESTİ.....	56
7.5. İŞLEME ZAMANI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ PARAMETRELERİNE BAĞLI OPTİMİZASYON.....	57
BÖLÜM 8	60
SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Tren tekerleği ve profil kesiti.....	6
Şekil 3.2. Tren tekerleği üretim prosesi, 1) Yarı mamullerin kesilmesi, 2) Döner fırında yarı mamullerin ısıtılması, 3) Sıkıştırılmalı dövme işlemi, 4) Delik zımbalama işlemi, 5) Haddeleme, 6) Bükme işlemi, 7) Sertleştirme işlemi – suyla soğutma, 8) Mekanik test, 9) Tekerlek tornalama, 10) Tahribatsız test	7
Şekil 3.3. Tren tekerleğinin bölümleri. 1) Jant, 2) Gövde, 3) Göbek.....	10
Şekil 3.4. Tekerlek jant bölümleri [20].	11
Şekil 3.5. Tekerlek şekilleri. a) Düz tekerlek şekli, b) dalgalı tekerlek şekli.....	12
Şekil 3.6. Göbek kısmına sıkı geçme vasıtasıyla birleştirilmiş aks	12
Şekil 3.7. Üretim esnasında yapılan tornalama, torna kalem ucu (RCMX 320900)..	15
Şekil 3.8. Tren tekerleklerinin göbek şekillerine göre farklı tipleri, a) Tip A, b) Tip B, c) Tip C	15
Şekil 3.9. Tren tekerleği gövde işleme prosesi [21].	16
Şekil 3.10. Göbek tornalama, kaba işleme torna ucu (4325).	17
Şekil 3.11. Göbek tornalama, ince işleme torna ucu (4315).	17
Şekil 3.12. Dik CNC torna tezgâhında tren tekerleği göbeğinin işlenmesi.	18
Şekil 3.13. İç göbeğinde kanal açma işlemi tamamlanmış tren tekerleği.	18
Şekil 3.14. SAFOP UGL 30D / Tek aksta bulunan iki tekerleğin bandaj tornalamasını yapabilen yeraltı tandem torna tezgâhı.....	20
Şekil 3.15. Tekerleğin ilerleme bölgesi, 1-Tekerlek konikliği, 2- İlerleme / Bandaj yüzeyi, 3- Boden / Flanş bölgesi.	21
Şekil 3.16. Bandaj tornalama, kesici uç (Kennametal / LNUX – RRH).....	21
Şekil 3.17. Tren tekerleği bandajının 3 noktada işlenmesi.	21
Şekil 4.1. Tornalama için kesme parametreleri, a_p ; kesme derinliği, f_n ; ilerleme, n ; fener mili hızı [28].....	24
Şekil 4.2. Tek ve çok kesme ağızlı kesici takımlar, a) tek kesici uçlu takım, b) çok kesme kenarlı takım	25

Şekil 4.3. Yaygın takma uç şekilleri: (a) yuvarlak, (b) kare, (c) eşkenar dörtgen iki 80 derece uç açısı ile, (d) altıgen üç uç 80 derece açı ile, (e) eşkenar üçgen, (f) eşkenar dörtgen iki uç 55 derece açı ile, (g) eşkenar dörtgen iki uç 35 derece açı ile [26].	26
Şekil 4.4. Ortogonal kesme: (a) 3 boyutlu kesme işlemi olarak, (b) iki boyuta indirgenmiş hali, yan görünüş [26].	27
Şekil 4.5. Metal kesme sırasında talaş oluşumunun dört tipi: (a) Süreksiz talaş, (b) Sürekli talaş, (c) Yapışan köşe talaşı, (d) Tırtıklı talaş [26].	28
Şekil 4.6. Aşınmış kesici takım şekli, meydana gelen aşınma tipleri ve oluşum yerleri [25].	28
Şekil 4.7. Tek noktalı takımların geometrik faktörlerinin teorik yüzey kalitesine etkisi: (a) burun açısının etkisi, (b) ilerlemenin etkisi, (c) ön kesici kenar açısının etkisi [26].	30
Şekil 4.8. Pürüzlülük için kullanılan parametreler	32
Şekil 4.9. Rz hesaplaması için yükseklik ve derinlikler	34
Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler [29].	35
Şekil 5.1. Göbek – Mil sıkı geçme bağlantısı	36
Şekil 5.2. Sıkı geçme uygulama çeşitleri, a) Düz pres sıkı geçme bağlantısı, b) Konik pres sıkı geçme bağlantısı, c) Sıkma pres türü geçme, d) Germe halkaları bağlantısı, e) Germe bilezikleri [31].	37
Şekil 5.3. Tekerlek pres makinası, teker-aks sıkı geçme uygulaması.	38
Şekil 5.4. Pürüz yüksekliğinin sıkı geçme montajı esnasında azalmasının şematik görünümü	39
Şekil 6.1. Sertlik ölçüm cihazı.	41
Şekil 6.2. SIRMU – mt VTF 150 Dik CNC torna tezgâhı.	42
Şekil 6.3. Takım tutucunun boyutsal özellikleri	43
Şekil 6.4. Kesici takım geometrik özellikleri	44
Şekil 6.5. a) Nikon ShuttlePix dijital mikroskop, b) alınan yüzey görüntüsü.	45
Şekil 6.6. a) SEM cihazı, b) SEM cihazı ile X500 büyütmede alınmış aşınma görüntüsü.	46
Şekil 6.7. Ortalama yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.	46
Şekil 7.1. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre kesme parametrelerinin S/N oranları.	49

Sayfa

Şekil 7.2. İlerleme – kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne göre etkileşimli grafiği... 52
Şekil 7.3. İlerleme – kesme derinliği yüzey pürüzlülüğüne göre etkileşimli grafiği. 53
Şekil 7.4. Taguchi Full Factor analizi ile elde edilen optimum nokta. 59



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Tren tekerleği sınıflandırılmasına göre elementlerin maksimum %' si..	9
Çizelge 3.2. İşlenen tren tekerleğinin kimyasal analizi.....	9
Çizelge 3.3. Standartlarda belirtilen minimum sertlik değerleri.....	9
Çizelge 3.4. İşlenen tren tekerleğinin sertlik değerleri.	10
Çizelge 6.1. Deney numunesinin kimyasal analizi (% ağırlıkça).	40
Çizelge 6.2. Tren tekerleğinin mekanik ve fiziksel özellikleri [10].....	40
Çizelge 6.3. Dik CNC torna tezgahının özellikleri [32]	43
Çizelge 6.4. Kesme parametreleri	45
Çizelge 7.1. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri	48
Çizelge 7.2. ANOVA sonuçları	50
Çizelge 7.3. Optimum seviyeler.....	55
Çizelge 7.4. Güvenilirlik deneyleri	57
Çizelge 7.5. Taguchi Full Factor analizi ile elde edilen yüzey pürüzlülük ve işleme süresi değerleri.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a	: Talaş açısı
a_p	: Kesme derinliği (mm)
a_0, a_1, a_2, a_3	: Denklem katsayıları
C	: Karbon
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
ER (6,7,8,9)	: Tekerlek çelik sınıfı
f_n	: İlerleme (mm/dev)
I_s	: Kayma düzlemi
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
n	: Devir sayısı (mil hızı) (dev/dak)
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
R_{max} (Rt)	: Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği
R_p	: Profil Maksimum Tepe Yüksekliği
R_v (Rm)	: Profil Maksimum Çukur Derinliği
R_z	: On Nokta Yüksekliği
R_q (Rms)	: Ortalamaların Kareleri Toplamının Karekökü
R6 – R7	: Tren tekerleği sınıfı
S	: Kükürt (Sülfür)
Si	: Silisyum
t_0	: Talaş kalınlığı (kesme öncesi) (mm)
t_c	: Talaş kalınlığı (kesme esnasında) (mm)
V	: Vanadyum
V_c	: Kesme hızı (m/dak)
$v_{ilerleme}$: İlerleme hızı (mm/dev)

μm	: Mikrometre
ε	: Hata
ϕ	: Yüzey arası oluşan boşluk açısı

KISALTMALAR

AA	: Arithmetic Average (Aritmetik Ortalama)
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Kurumu)
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
BUE	: Build Up Edge (Yığıntı Talaş)
CLA	: Center Line Average (Merkez Hat Ortalama)
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrollü
CVD	: Kimyasal Buhar Çökertme (Chemical Vapor Deposition)
EN	: European Norm (Avrupa Standartları)
kg	: Kilogram
kW	: Kilowatt
kN	: Kilonewton
L	: Örnekleme uzunluğu (μm)
MARGEM	: Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi
mN	: Milinewton
mm/s	: milimetre/saniye
N	: Gürültü
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
S	: Sinyal (İşaret)
S/N	: Sinyal/Gürültü Oranı
sn	: Saniye
TiN	: Titanyum Nitrür
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
UIC	: Union International Chemin de Fer (Uluslararası Demiryolları Birliği)
YHT	: Yüksek Hızlı Tren

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demiryolu taşımacılığının gelişimiyle beraber, imal edilen araç ve komponentlerinde kullanılan malzemelerdeki güvenlik faktörü beklentisi giderek artmaktadır. Özellikle son on yıl içinde ülkemizde büyük gelişim gösteren raylı sistemlere, yük ve yolcu taşımacılığında öncelik verilmesi gerekli olmuştur. Bu nedenle demiryolu araç imalatında yeni adımlar atılmış ve üretime daha çok özen gösterilmeye başlanmıştır.

Demiryolu araçları, yürüyüş takımı ve gövde kısmından meydana gelmektedir. Yürüyüş takımı ise kendi içerisinde boji ve dingilli olmak üzere ikiye ayrılmakta olup, iki sistemde de tekerlek setleri bulunmaktadır. Tekerlek setleri bir aks ve iki tekerlekten oluşmaktadır. Tekerlekler, akslara sıkı geçme bağlantılarıyla bağlanarak birleştirilmektedir. Tekerlek setlerinde, aksların tekerleklere göre daha uzun ömürlü olmasından kaynaklı tekerleklerin belirli aralıkları değiştirilmesi gerekebilmektedir. Sıkı geçme bağlantılarının uygulamasının kolaylığı ve konstrüksiyonda sağladığı avantajlardan dolayı aks tekerlek bağlantılarında sıkı geçme tercih edilmektedir. Sıkı geçme bağlantısı, tekerlek ve aks çifti arasında tork iletimini sürtünmeye bağlı olarak sağlamaktadır. Demiryolu araçlarının ağırlığı ve taşıdığı yüksek tonajlı yükler düşünüldüğünde çok ağır dingil yüklerine maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle sıkı geçme esnasında kolay birleşme sağlanabilmesi ve malzemeyi herhangi bir zarara uğratmamak adına tekerlek iç göbeğinde düşük pürüzlülük değerleri istenmektedir. UIC standartlarında belirtilen sınır değerler Ra: 0,8 – 3,2 µm arasındadır.

Tren tekerleklerinin üretiminden sonra aksa birleşeceği göbek kısmında yüzey pürüzlülük değeri Ra: 10,65 – 12,50 µm arasında ölçülmektedir. Bu nedenle aksa sıkı geçme yapılacak tekerleklerin büyük bir kısmı montaj öncesi son halini talaşlı imalat yöntemleriyle almaktadır. Fakat tren tekerleğinin işlenebilmesi için özel dik CNC tezgâhlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Tren tekerleğinin aks ile birleştirilecek i göbeğinde UIC standartlarına uygun düşük yüzey pürüzlülüğünün istenmesi, talaşlı imalatta kesme işlemlerinin optimizasyonu üzerinde çalışılması gerektiğini ön plana çıkarmıştır. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, tren tekerleğinin (R6 – R7), dik CNC torna (SIRMU – mt VTF 150/160) tezgâhında tornalanmasında TiN ve Al₂O₃ kaplama kesici takım kullanılarak işleme parametrelerinin (kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarı) ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Raylı taşımacılık sistemleri; yük ve yolcu taşımacılığının emniyetli ve etkin bir şekilde gerçekleştirildiği ayrıca kirletici emisyon değerlerinin de asgari seviyelerde tutulabildiği temel bir lojistik alanıdır. Raylı sistemler sektörünün temel bileşenleri raylı taşıtlar, alt yapı, üst yapı, sinyalizasyon sistemleri ve işletme yönetimidir. Bu sistemler içerisinde raylı sistem taşımacılığında yüksek etkisi olan alan, yaklaşık olarak %35 – %45 seviyesi ile raylı taşıtlar alanıdır [1].

Demiryolu araçları gövde ve yürüyüş takımı kısımlarından oluşmaktadır. Yürüyüş takımı kısmında bulunan metal tekerlekler günümüze kadar birçok değişim geçirerek en son monoblok tekerlek halini almıştır. Monoblok tekerlekler %90 oranında bütün demiryolu araçlarında tren tekerleği olarak kullanılmakta ve Dünya’da sadece belirli ülkeler tarafından üretilmektedir [2]. Bu durum tekerleğin önemini daha da arttırmaktadır.

Tekerleklerin şu anda ülkemizde üretilmediği ve tekerleğin bir demiryolu aracı için ciddi teknik öneme sahip olmasından dolayı tekerleklerin işlenebilirliği konusunda akademik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Tren tekerleğinin işlenebileceği önemli iki yüzeyi bulunmaktadır. Bunlar; trenin aksına montaj edilen iç çap yüzeyi ve ray üzerinde ilerleyen bandaj yani dış çap yüzeyidir. Tekerleğin bandaj yüzeyi işlenirken amaç; minimum talaş kaldırarak maksimum yüzey kalitesi elde etmek ve tekerlek üzerindeki çap farklılaşması probleminin izin verilen toleranslar dahilinde giderilmesidir.

Tren tekerleklerinin aynı dingil üzerinde bulunan tekerlekler arasındaki tolerans çap farkı 0.5 mm’den fazla olmamalıdır [3]. Kusurlu tekerin minimum talaş kaldırılarak

işlenmesi aynı dingil üzerinde bulunan diğer tekerlekten daha az talaş kaldırılmasını sağlayacak ve teker ömrü uzatılabilecektir [4, 5].

Tren tekerleklerinin işlenmesiyle ilgili literatürde genellikle tekerleğin mikro yapı incelemesi, kimyasal bileşenlerinin analizi ve farklı üretim yöntemleri çalışmalarına rastlanmıştır. Ayrıca; Kılıçlı ve ark. İle Motorcu ve Sahin tren tekerleğinin kimyasal bileşenine benzer AISI 4140 ıslah çeliğinin işlenebilirliği ve talaş atılabilirliği ile ilgili Taguchi ve ANOVA metodu kullanarak çalışmalar yapmış ve farklı malzemelerin işlenebilirliğini tespit etmişlerdir [6, 7].

Çuğ ve Candan, tren tekerleğinin farklı bir üretim metoduyla üretilmesi adına “Döküm Yöntemi ile Tren Tekerleği Üretilebilirliğinin Araştırılması” çalışmasını yapmış ve sonucunda orijinal tren tekerleğinin mukavemet değerlerine yakın değerlerde mekanik özellikler elde edilebileceğini saptamışlardır [8].

Çetin ve ark. tarafından AISI 304L çeliğinin farklı kesme hızlarında işlenebilirliği araştırılmış ve sonuçlarının Taguchi ve varyans analizi (ANOVA) metotlarıyla analiz edildiği görülmüştür. Genel bir değerlendirme olarak optimizasyon çalışması yapılmıştır [9].

Mädler ve Bannasch, yüksek performanslı çeliklerin tren tekerleğine uygulanmasını ve tren tekerleğinin mikroyapısını incelemişlerdir. Çalışmalarını gerçek demiryolu araçları ve Deutsche Bahn' in tekerlek ray sistemi test platformu üzerinde, gerçek yükleme koşullarında test etmişlerdir. Sonuç olarak, malzeme bileşenleriyle birlikte imalat kalitesine özellikle dikkat edilmesi gerektiğini tespit etmişlerdir [10].

Vuković ve ark. UIC 812-3 standardında belirtildiği şekilde tren tekerleğinin kimyasal, mekanik ve yapısal özellikleri incelemiş ve incelemeleri doğrultusunda R7T monoblok tekerleğin ön ısıtma koşullarını yeniden ortaya çıkarmak için tekerleği ilave malzeme ile kaplamışlardır. Kaplanan tekerleğin ayrıca soğuma hızını da incelemişlerdir. Sonuç olarak bu yeniden kaplamanın tekerlek ömrünü uzattığını ve ekonomik olarak işletmenin iyileştirildiği kanısına varmışlardır [11].

Zucarelli ve ark. tren tekerleğine farklı sıcaklıklarda mekanik testler uygulayarak hata tanımlaması çalışması yapmışlardır. Sonuç olarak tekerlek malzemesinde çekirdeklenme ve çatlak yayılmasına maruz kaldığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak yükleme koşullarının geliştirilmesi ve yeni çalışmalar için kaynak oluşturabileceği kanısına varmışlardır [12].

Rende ve Güven, sıkı geçme bağlantılarında yüzey pürüzlülüğünün önemini araştırabilmek adına “Sıkı Geçme Bağlantılarında Malzemeye Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Kayıp Katsayısının Belirlenmesi” çalışmasını yapmış ve yaptıkları çalışmalar sonucunda yüzey pürüzlülüğü nedeniyle oluşan kayıpların sabit katsayılarla hesaplanmaması gerektiği kanısına varmışlardır. Kaybın sıklık derecesine ve malzemeye göre hesaplanması gerektiği kanısına varmışlardır [13].

Ayrıca; yüzey pürüzlülüğü kayıplarından dolayı, oluşan sıklık kaybını azaltmak için sıkı geçme bağlantılarında uygulanacak yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin olabildiğince küçük olması gerektiğini tespit etmişlerdir. İşletmenin sahip olduğu imalat imkânları ve maliyet dikkate alınarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinin belirlenmesi gerektiği görüşüne varmışlardır. En genel sonuç olarak; pürüzlülük kaybı az olan bir sıkı geçme bağlantısının, yüzey pürüzlülüğü kaybı daha fazla olana göre seçilebilecek küçük sıklık değerlerinde yapılması eşdeğer bir tork iletilebileceği ve böylece montaj için gereken enerjinin daha az olacağı gibi, maliyeti de düşüreceği sonucuna varmışlardır [13].

Mevcut literatürde elde edilen veriler, malzemelerin optimum parametrelerin bulunmasına, mikroyapı incelemelerine ve farklı üretim yöntemlerine yöneliktir. Bu çalışmada minimum talaş kaldırma koşullarında optimum yüzey kalitesi ve takım aşınması değerleri belirlenecektir. Böylelikle sıkı geçme bağlantısı için optimum bir yüzey elde edilecek ve iş gücünden tasarruf edilecektir.

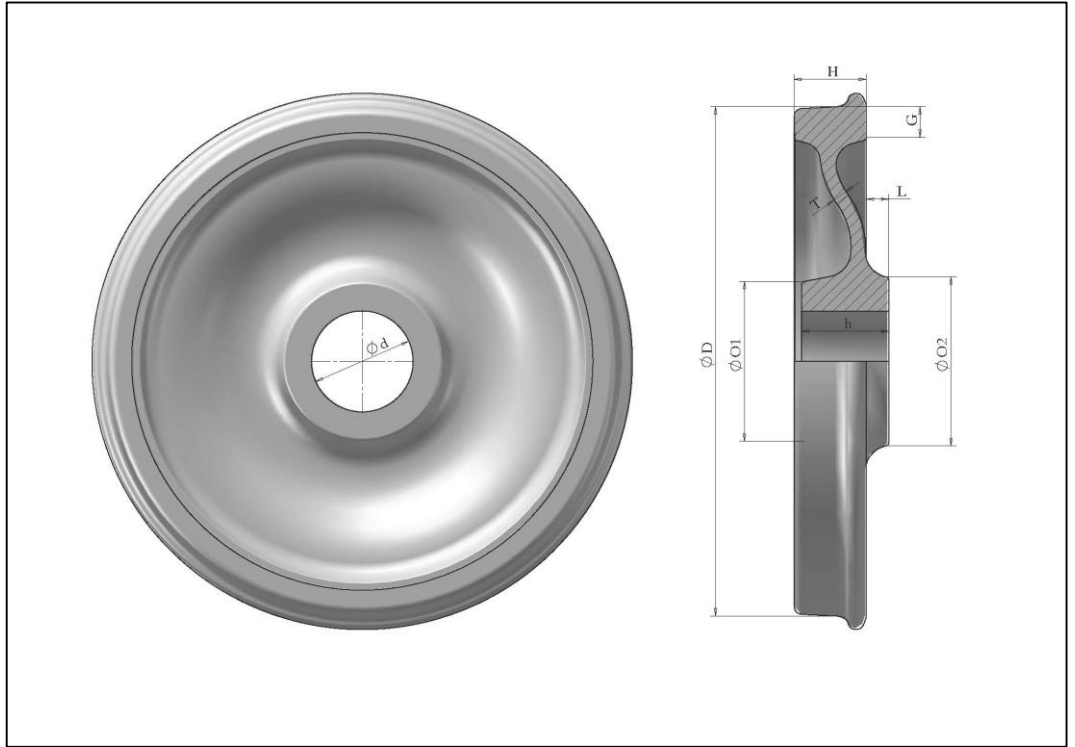
Ayrıca literatürde direkt olarak tren tekerleğinin işlenebilirliği ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla tren tekerleklerinin işlenebilirliği deneysel tasarım metotları kullanılarak detaylı bir şekilde incelenecektir.

BÖLÜM 3

TREN TEKERLEĞİNİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Tren tekerleği ray üzerinde ilerleyebilmek için özel olarak tasarlanmış bir tekerlek türüdür. Yuvarlanan bir bileşen olduğundan dolayı hareketi doğru iletilebilmesi için direkt olarak aksa sıkı presleme vasıtasıyla birleştirilir ve tekerlek seti meydana getirilir. Tekerlek setleri bir boji vasıtasıyla dolaylı olarak veya doğrudan demiryolu aracına monte edilir. Tekerlekler döküm, dövme veya presleme işlemleriyle belirli bir sertliğe kadar ısı ile işlenir ve son geometrik şekli basitçe verilmeye çalışılır.

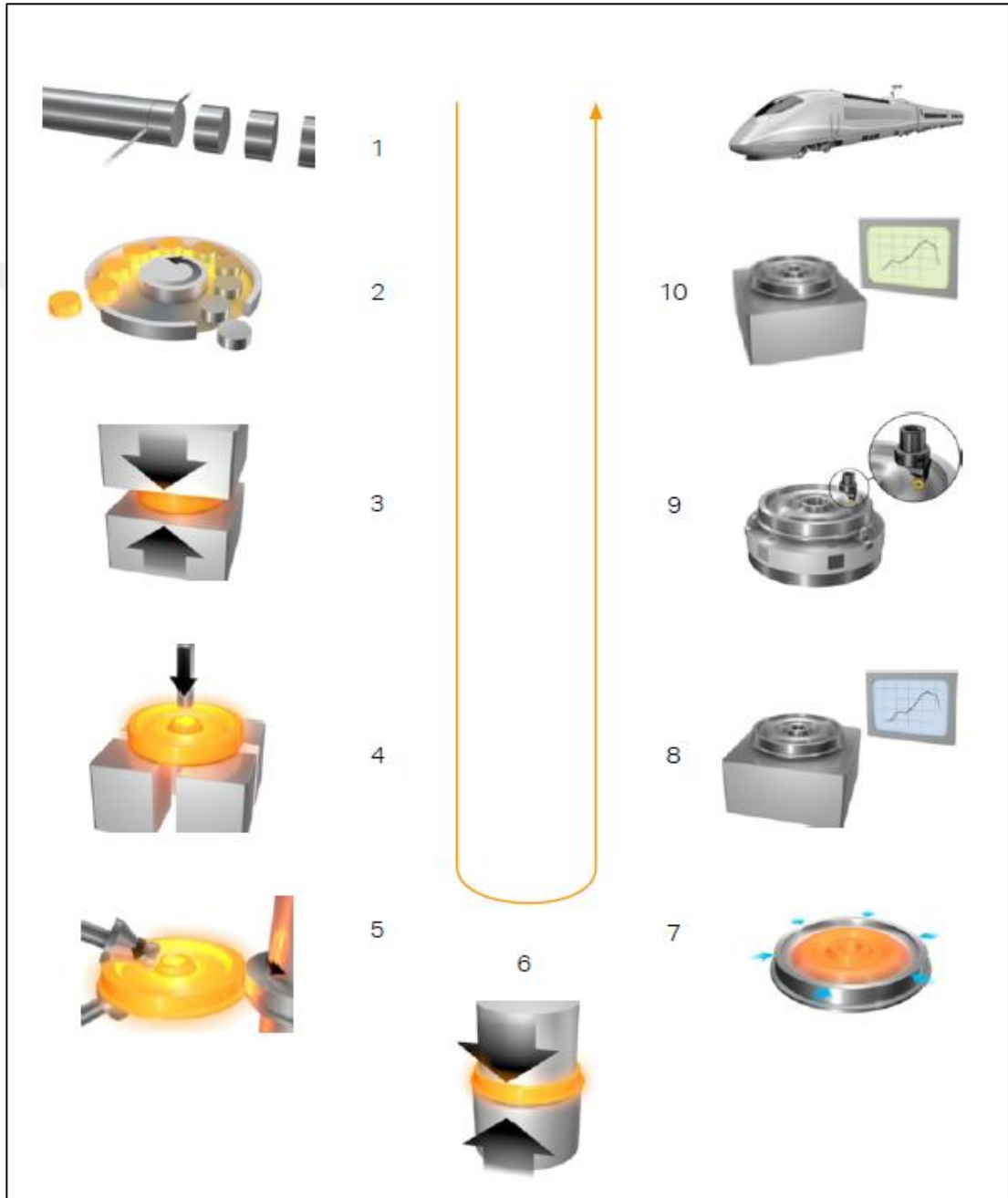
Çoğu tren tekerleği konik bir yapıya ve rayda kalmayı sağlayacak boden kısmına sahip olacak şekilde imal edilir. Boden, trenin ray üzerindeki hareketin sürekli olarak devam edebilmesi için birinci şart olarak göz önüne çıkmaktadır [14].



Şekil 3.1. Tren tekerleği ve profil kesiti [15].

3.1. TREN TEKERLEĞİ ÜRETİM PROSESİ

Bir tren tekerleği imalat prosesi Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Önce tren tekerlekleri, yarı mamul olarak uzun formda istenilen malzeme kalitesinde üretilip, tekerlek şeklini alabilecek şekilde kesilir.



Şekil 3.2. Tren tekerleği üretim prosesi, 1) Yarı mamullerin kesilmesi, 2) Döner fırında yarı mamullerin ısıtılması, 3) Sıkıştırılmalı dövme işlemi, 4) Delik zımbalama işlemi, 5) Haddelme, 6) Bükme işlemi, 7) Sertleştirme işlemi – suyla soğutma, 8) Mekanik test, 9) Tekerlek tornalama, 10) Tahribatsız test [16].

Dairesel biçimde kesilmiş parçalar daha sonra döner fırınlarda ısıtılarak sıkıştırılmalı dövme yapıldıktan sonra delik zımbalama işlemine tabi tutulur ve bu işlem sonucunda tekerleğin aksa oturacağı iç çap yüzeyi ortaya çıkmış olur. Zımbalama işlemi tamamlanan malzeme, tekerlek şeklini alabilmesi için özel olarak imal edilmiş hadde merdaneleri vasıtasıyla şekil verme işlemine tabi tutulur. Daha sonra son şeklini verebilmek için yüksek tonajlı preslerde bükme işlemi yapılır ve su ile soğutularak malzemenin sertleştirme işlemi tamamlanarak imalat süreci noktalanır.

Üretim prosesi tamamlanan tekerlek, belirli mekanik testlere tabi tutularak UIC 812-3 standardında belirtilen değerlere uygunluğu kontrol edilir. Kontrol sonrası onay alan tekerleklerin belirli yüzeylerinde pah kırma ve pürüz gidermek için ince talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilir. Bütün bu işlemler tamamlandıktan sonra tekerleğin çatlak ve yapısal kusurlarının kontrol edilebilmesi için tahribatsız ultrasonik testler yapılır ve onay alan tekerlekler kullanıma hazır halinin alır. Yukarıdaki şekil 3.2' de örnek bir tren tekerleği imalat prosesi gösterilmiştir.

3.2. TREN TEKERLEĞİNİN ÖZELLİKLERİ VE MALZEME YAPISI

Tren tekerleği malzeme sınıfı çelik olup, çeşitlerine göre bünyesinde bulundurduğu C (karbon) miktarı incelendiğinde orta karbonlu çelikler sınıfına girmektedir. UIC 812-3 ve EN 13262 standartlarında belirtildiği gibi C (karbon) değeri göz önüne alındığında ER6, ER7, ER8 ve ER9 olmak üzere dört farklı sınıflandırılma yapılmaktadır. Ayrıca bünyesindeki C (karbon), Si (Silisyum) ve Mn (Mangan) değerlerine bakılarak yapılabilen A, B ve C sınıfı gibi sınıflandırmalarda bulunmaktadır [17, 18]. Aşağıdaki çizelgelerde sınıflandırma ve kimyasal analiz ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. Tren tekerleği sınıflandırılmasına göre elementlerin maksimum %' si [18].

Çelik Sınıfı	Maksimum % içerik										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr + Mo + Ni
ER6	0,48	0,40	0,75	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER7	0,52	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER8	0,56	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50
ER9	0,60	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Çizelge 3.2. İşlenen tren tekerleğinin kimyasal analizi.

Alaşım Elementi	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V
%	0,544	0,303	0,703	0,010	0,015	0,20	0,027	0,20	0,251	0,002

İşlenecek tren tekerleğinin çelik sınıfını tam olarak belirleyebilmek amacıyla, alaşım elementi benzerliğinin yanında sertlik değerlerinin de standart değer – ölçüm değeri karşılaştırılması yapılması tekerlek sınıfını daha net belirlememize yarayacaktır.

Çizelge 3.3. Standartlarda belirtilen minimum sertlik değerleri [18].

Çelik Sınıfı	Minimum Brinell Sertlik (BHN) Değeri	
	Kategori 1	Kategori 2
ER6	-	225
ER7	245	235
ER8	245	245
ER9	-	255

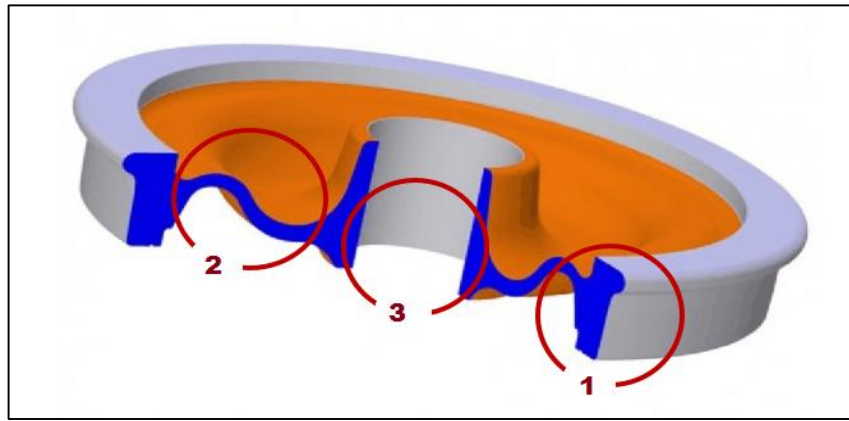
Çizelge 3.4. İşlenen tren tekerleğinin sertlik değerleri.

Ölçme Parametresi	Brinell Sertlik Ölçüm (BHN) Sonuçları		
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
HBW 2.5 / 187.5	245	249	252

Kimyasal analizi ve sertlik değerleri ölçülen tren tekerleğinin standartlarda belirtilen değerler ile karşılaştırılması yapıldığında, işlenen malzemenin çelik sınıfı, standartlarda belirtilen ER8 olduğu tespit edilmektedir.

3.3. FARKLI TREN TEKERLEKLERİNİN YAPISI VE ÇEŞİTLERİ

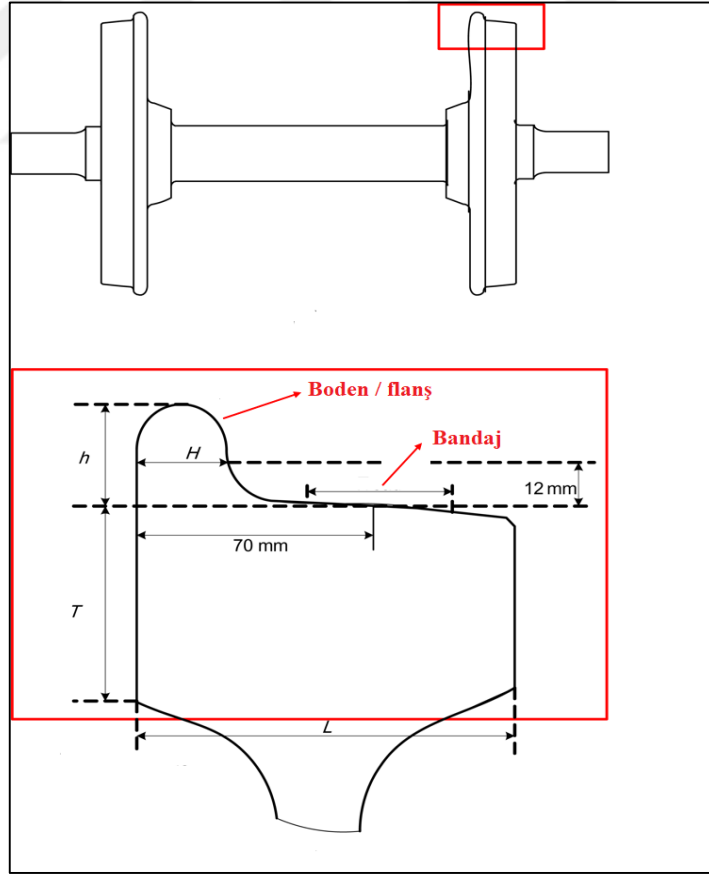
Tren tekerlekleri, demiryolu araçlarının farklı sınıflara ayrılmasıyla yapı ve özellik olarak değişebilmektedir. Özellikle hız, yük ve kurb dönme kabiliyetleri ayrı ayrı düşünülerek tasarım ve imalatı yapılan tren tekerlekleri, farklı tipte ve boyutsal özelliklerde olabilmektedir. Demiryolu araçları, en genel haliyle üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; yük taşıyan araçlar, yolcu taşıyan araçlar ve kentsel raylı sistem araçlarıdır. Araçların özellikleri farklı olsa dahi, tren tekerleğini oluşturan 3 ana kısım bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde, tren tekerleğinde türü fark etmeksizin bulunan 3 bölge gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Tren tekerleğinin bölümleri. 1) Jant, 2) Gövde, 3) Göbek.

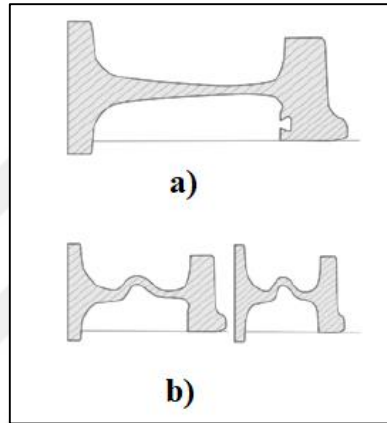
Yukarıdaki şekilde gösterilen bölümlerin kendine ait özellikleri bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir;

- 1 numaralı kısımda gösterilen jant bölümü, trenin rayda kalmasını sağlayan boden veya flanş denilen kısmı ve tekerleğin ray üzerinde ilerlediği bandaj kısmını içermektedir. Tekerleğin bu bölümü ray-tekerlek etkileşimine maruz kaldığından dolayı aşınmalara maruz kaldığından belirli aralıklarla yüzey tornalama ihtiyacı göstermektedir. Tren üzerinde bulunan sensörler vasıtasıyla veya makinist tarafından hissedilen yalpalanma hareketi sonucu tekerlekler tezgâh altı torna birimine alınarak yüzey tornalanarak istenilen toleranslara getirilir. Burada istenen tolerans UIC standartlarında belirtilen 0.5mm farktır. Tren tekerleklerinin aynı aks üzerinde bulunan veya boji araçlarda hem aynı aks üzerinde hem de çapraz tekerlekler arasındaki tolerans çap farkı 0.5 mm'den fazla olmamalıdır [19].



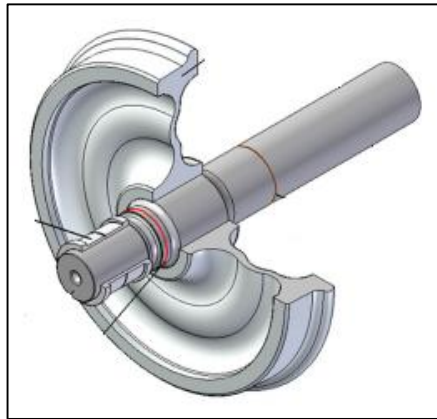
Şekil 3.4. Tekerlek jant bölümleri [20].

- 2 numaralı kısımda gösterilen gövde bölümünde tekerleklerin şekli dalgalı veya düz olabilir. Her tür raylı sistem aracında farklı şekiller görülebilir, ancak tekerlek ve fren sistemlerine ayrılan alan sınırlı olduğu ve güvenlik faktörü yüksek olduğu için lokomotif ve metrolarda düz şekil daha yaygındır. Dalgalı şekil genellikle vagonlarda daha yaygın olarak görülmektedir. Şeklin tipi tekerlek ölçüsüne, kullanım amacına ve gürültüyü azaltma vb. sebeplerle vagonlara mı lokomotiflere mi yoksa tekerleklere mi kanal ekleneceğine bağlı olabilir [21].



Şekil 3.5. Tekerlek şekilleri, a) düz tekerlek şekli, b) dalgalı tekerlek şekli.

- 3 numaralı kısımda gösterilen göbek bölümü tren aksının montaj edildiği kısımdır. Bu bölüme sıkı geçme uygulaması yapıldığından ve trenin hareket eksenine sahip olduğundan bir tork iletimi söz konusudur. Torkun en iyi seviyede iletilmesi adına göbek kısmının işlenmesi sonrası yüzey pürüzlülüğü değeri minimum seviyelerde ($Ra: 0,8 - 3,2 \mu m$) olmalıdır.



Şekil 3.6. Göbek kısmına sıkı geçme vasıtasıyla birleştirilmiş aks [22].

Tren tekerleğinin kısımlarının yanı sıra birde boyutsal özellikleri mevcuttur. Farklı tren tiplerinde farklı çap değerlerinde tekerlekler kullanılmaktadır. Çap aralığı 400 – 1200 mm arasında değişmektedir [21].

- Kentsel raylı sistem araçlarında 400 – 650 mm çap aralığında tekerlekler tercih edilmektedir. Yüksek ivmelenme ve seri frenleme etkisi küçük çaplı tekerleklerle daha kabiliyetle yapılabilmektedir.
- Yük vagonlarında 800 – 950 mm çap aralığında tekerlekler tercih edilmektedir. Bu boyutlarda tekerleklerin taşıma kabiliyetleri daha iyi olabilmektedir.
- Lokomotif ve yüksek hızlı trenlerde 900 – 1200 mm çap aralığındaki tekerlekler tercih edilmektedir. Bu tekerleklerin hız kabiliyetleri iyi olabilmektedir.

3. 4. TEKERLEĞİN TORNALANMA İHTİYACI

Tren tekerleğinin üç farklı tornalanma ihtiyacı bulunmaktadır. Bunlar; üretim esnasında yapılan tornalama, montaj öncesi yapılan tornalama ve araçların belirli mesafe yolda gitmesi sonrası yapılan tornalama işlemleridir.

Üretim esnasında yapılan tornalama, haddeme ile üretilen tekerleğin kusurlarını giderebilmek amacıyla ince talaş kaldırma işlemi tüm yüzeylere uygulanır. Burada amaç ölçü toleransları dışına çıkmadan iyi yüzey kalitesini yakalamaktır. Bu nedenle yüksek devir hızı ile işleme yapılır ve yuvarlak kesici uçlar tercih edilir.

Montaj öncesi yapılan tornalama, aksın sıkı geçme yapılabilmesi için uygun çap değerlerine ve düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerini elde edebilmek amacıyla yapılır. Uygun çap değerine gelebilmek için genellikle kaba işleme, düşük yüzey pürüzlülüğü için ise ince işleme yapılır. Her iki işlemde de üçgen kesici uç tercih edilir.

Belirli mesafe sonrası tornalama, araçların üzerinde bulunan tekerlek setlerinin yol şartlarında karşılaştıkları zorlanmalar sonucu toleranslarında değişiklikler veya ilerleme profillerinde bozulmalar olabilmektedir. Bu bozulmaların sebepleri, ray-tekerlek etkileşimi sonucu genellikle kurplarda yaşanan sürtünmeler ve yoldaki bozukluklar sebebiyle tekerleklerde apleti oluşumudur. Yoldaki bozukluklar, rayın belirli sebeplerle şeklinde yaşanan değişimler olarak, apleti ise tekerleğin ilerleme yüzeyindeki bozukluk veya parça kopması olarak tanımlanmaktadır. Bu iki bozulma türlerinden en çok görüleni apleti olarak ön plana çıkmaktadır [23]. Çünkü tekerleğin sertlik değeri raya göre daha düşük olduğundan tekerlek üzerinde bozulmalar raya göre daha sık görülebilmekte ve tornalanma ihtiyacı belirli sıklıklarda doğmaktadır. Bu tornalamada farklı kesme parametreleri uğranan zarara göre belirlenmekte ve kare kesici uç tercih edilmektedir.

3. 5. TEKERLEĞİN TORNALANMASI

Tekerleğin tornalanması yukarıda 3.4 bölümünde anlatıldığı gibi üç farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu bölümde bu uygulamaların nasıl gerçekleştirildiği anlatılacaktır.

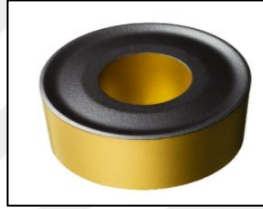
3.5.1. Üretim Esnasında Yapılan Tornalama

Bu tornalama tipi, tren tekerleğinin üretimim sonrası yeni tekerlek tornalama prosesine girmektedir. Tornalama yapılmadan önce parça ve tezgâh yönünden dikkate alınması gereken hususlar bulunmaktadır. Parçanın sertliği ve yüzey kalitesi, işlenecek profil özellikleri (dar veya geniş profil), soğutma sıvısı gibi özellikler kontrol edilmeli ve ona göre kesme yapılmalıdır.

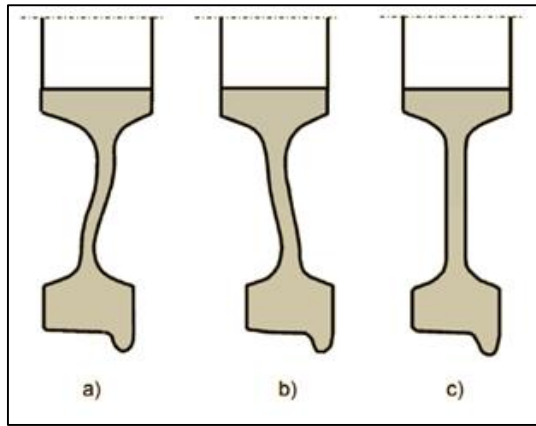
Günümüzde tren tekerleği üretimi ve işlenmesi modern bir hal aldığı için kullanılan tezgâhlarda modernleştirilmiştir. Eski tezgâhlar, açık ünite şeklinde yüksek sesli, sıcak ve tozlu olarak çalışmakta ve daha az güç isteyen tiptelerdi.

Yeni tezgâhlarda, bağlama ve sökme işlemleri pençeli bağlama stiliyle daha güvenli, kapalı üniteler şeklinde ve fiziksel etmenleri daha düşük olabilmektedir. Ayrıca bu tezgâhlar eskilerine göre çok daha güçlü tasarlanmaktadır.

Üretim esnasında yapılan tornalama bir ince işleme operasyonudur. Burada amaç ölçü toleransını bozmadan pah kırmaktır. İnce işleme, hafif kesme derinliği ve düşük ilerleme hızlarına sahip operasyonlardır. Kesilen yüzeyde iç – dış bükeyler bulunduğu ve düşük kesme kuvveti gerektirdiğinden kesici takım yuvarlak formda (Sandvik C. / RCMX 320900) tercih edilmektedir. Ayrıca bu kesme işleminde yüksek hassasiyetli kesme sıvıları da kullanılmaktadır.



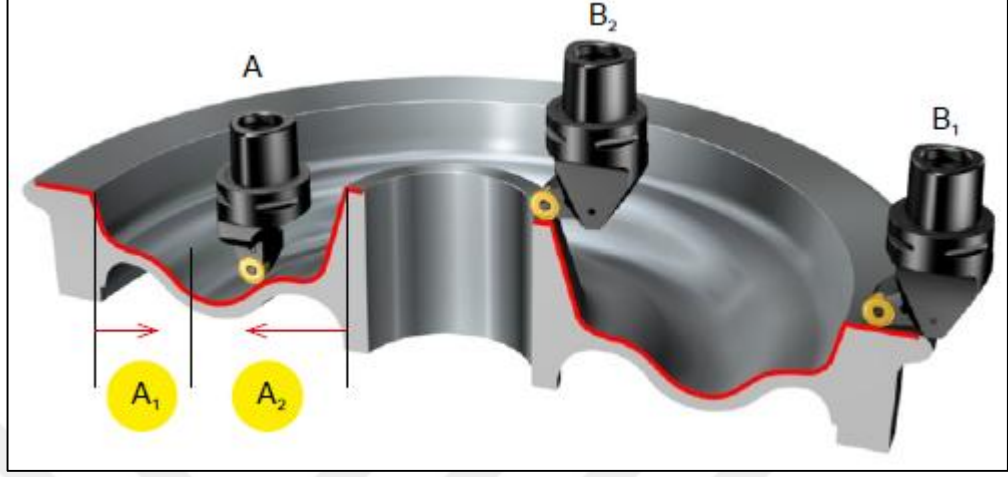
Şekil 3.7. Üretim esnasında yapılan tornalama, torna kalem ucu (RCMX 320900).



Şekil 3.8. Tren tekerleklerinin göbek şekillerine göre farklı tipleri, a) Tip A, b) Tip B, c) Tip C.

Tip A, aksi belirtilmedikçe en çok tercih edilen tren tekerleği tipidir, Tip B, fren diski veya tahrik dişlisi montajı için yer yaratmak için tasarlanmış bir tren tekerleği tipidir, Tip C, genellikle her iki tarafta da fren diski montajı yapılması gereken sistemler için tasarlanmış bir tren tekerleği tipidir [24].

Her üç tipin üretim sonrası tornalanması aynı şartlarda, aynı uç seçimi ve aynı kaliteyi verecek şekilde tercih edilmelidir.



Şekil 3.9. Tren tekerleği gövde işleme prosesi [21].

Yukarıda gösterilen şekilde köşelerde bulunan (B1 – B2) torna takımları jantların alın tornalamasını, A sekmesinde bulunan takım ise gövde tornalamasını yapmaktadır. A operasyonunda, göbeğe (A2) en yakın parçayı işlerken kesme hızının yükseltilmesi ve profil şekline bağlı olarak, ilerlemenin de değiştirilmesi (içbükey ise ilerleme düşürülür, dışbükey ise ilerleme yükseltilir) gerekebilmektedir.

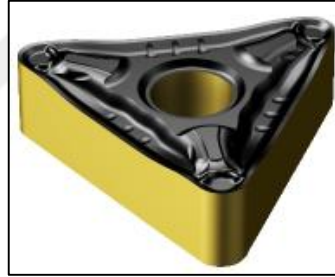
İşleme ilk olarak A1 sekmesinden başlar ve sırasıyla A2 – B1 – B2 sırasını takip eder. İşlem sonucunda tekerlekte doğru kalınlığı ve iyi yüzey kalitesini elde etmek temel amaçtır.

3.5.2. Montaj Öncesi Yapılan Tornalama

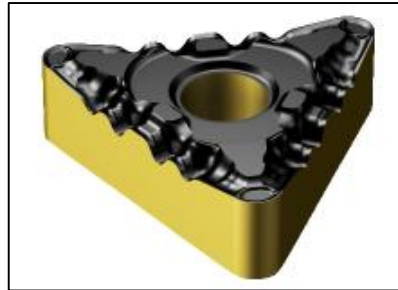
Tekerlek – aks montajı yapılmadan önce son işlem göbeğin tornalanma işlemidir. Tekerleğin bu kısmına sıkı geçme uygulanacağı için bu tornalama işleminde yüzey kalitesinin çok iyi olması amacı ortaya çıkmaktadır. Aks dış çapına bağlı olarak göbek birden fazla kesme işlemiyle istenilen ölçülere getirilmektedir.

Göbek işlemede iki farklı uygulama kullanılmaktadır. Bunlar; kaba ve ince işleme operasyonlarıdır. Kaba işleme genellikle son pasoya gelene kadar yapılan işlemlerdir. Yüksek kesme derinliği, ilerleme hızı kombinasyonları ve en yüksek kenar güvenliği gerektiren operasyonlar olduğundan dolayı göbek için üçgen formda uç tercih edilir (Sandvik C. / TNMG 16 04 08-PM 4325). İnce işleme, son kesme ve yüzey kalitesini iyileştirme işlemidir. Genellikle yüksek hızlarda ve düşük kesme derinliğinde yapılır. Yukarıda anlatılan benzer sebeplerle bu işlemde de üçgen formda uç tercih edilmektedir (Sandvik C. / TNMG 16 04 08-PF 4315). Her iki kesme operasyonunda da yüksek performanslı seyreltilmiş soğutucu bor yağı kullanılmaktadır.

İki ucunda boyutsal özellikleri benzemekte ve kimyasal buhar biriktirme metodu olarak tanımlanan CVD ile üretilmektedirler. Kaplama olarak ise üç fazlı metot tercih edilmiş ve Ti (C, N) alt katman, Al₂O₃ orta katman ve TiN üst katmandan oluşturulmuşlardır [7, 21].



Şekil 3.10. Göbek tornalama, kaba işleme torna ucu (4325).



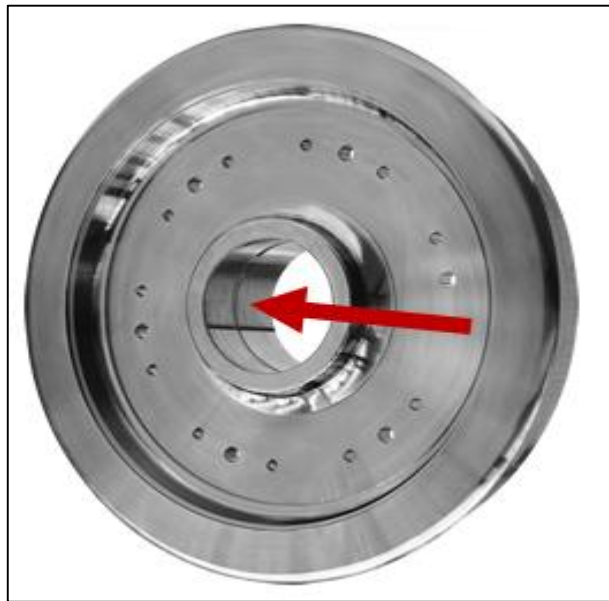
Şekil 3.11. Göbek tornalama, ince işleme torna ucu (4315).

Tren tekerleği göbeğinin tornalanması dik CNC tezgahlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Tezgâha yatay olarak bağlanan tekerlek, tekere 90° açı yapacak şekilde dik olarak bağlanan kesici takım aparatı vasıtasıyla dik kesme işlemleri yapılarak göbek işlemleri tamamlanmaktadır. Kesme işlemleri yapılmadan önce tekerin bağlanacağı aparatın ve kesici takım aparatının her kesme işlemi öncesi kontrol ve gerekirse kalibre edilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.12. Dik CNC torna tezgâhında tren tekerleği göbeğinin işlenmesi.

İstenilen çap ve tolerans değerleri elde edilen tekerleğin kesme işlemi tamamlandıktan sonra iç göbeğin orta kısmına bir kanal açılmaktadır. Bu kanal, tekerleğin değiştirilmesi gereken durumlarda söküm işleminin kolay yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.13. İç göbeğinde kanal açma işlemi tamamlanmış tren tekerleği.

3.5.3. Belirli Mesafe Sonrası Yapılan Tornalama

Belirli mesafe sonrası yapılan tornalama tren tekerleğinin jant veya bandaj kısmına uygulanan bir operasyondur. Demiryolu araçlarında bulunan yürüyüş takımları, hat geometrisi ve karakteri sebeplerinden dolayı kara nakil vasıtalarında olduğu gibi bir diferansiyel sisteme sahip değildir. Diferansiyel sistemi karşılayabilmek adına tekere belirli bir konik yapı ve boden / flanş çıkıntıları verilmektedir. 1/25 – 1/40 oranlarında değişen bu koniklik sayesinde, kurb dönerken dış tekerlek büyük çaplı yüzeyde (büyük çevre, $\Pi \times D$), iç tekerlek de küçük çaplı yüzeyde (küçük $\Pi \times d$) yuvarlanmakta, böylece kayma olmamaktadır.

Araçlar, yol üzerinde hareketlerine devam edebilmek için demiryolu hatlarının virajı olan kurplarda belirli ölçülerin altında kalan yarıçaplarda kurb dönüşlerinin sağlıklı yapılmasına müsaade etmemektedir. Bu nedenle bazı yürüyüş takımlarında esneklik kabiliyetleri bulunmaktadır. Yürüyüş takımlarının esneklik kabiliyeti ne kadar iyi olursa tekerleklerde aşınma o kadar azalır ve tornalanma ihtiyacı da aynı şekilde düşer. Belirli mesafe sonrası yapılan tornalama sadece aracın yürüyüş takımına bağlı değildir. Demiryolu üzerinde yaşanan hat bozuklukları sebebiyle tekerleğin bandaj ve boden kısımları hasara uğrayabilir ve seyir kalitesi bozulabilir. Bu gibi durumlarda da tren tekerleğinin jant kısmının tornalanması gerekebilir.

Sonuç olarak araçların üretimi sonrası kullanıma başlandığından itibaren işletme şartları sebebiyle ray-tekerlek etkileşimi sonucu tekerleğin dış çapında aşınmalar meydana gelmekte ve bu aşınmalar tekerler arasında olması gereken ölçü toleransını bozmakta ve tornalama gereksinimi doğurmaktadır.

Bandaj tornalama işleminde kesme sıvısı kullanılmaz ve bir kuru kesme işlemidir. Bu kesme işleminde yüzey pürüzlülüğünün çok önemi yoktur fakat istenilen derinliklerde kesme yapılması gerekmektedir. Ayrıca tekerlekten az talaş kaldırılması teker ömrünü uzatacağından kesme işlemine başlamadan önce tekerlek setinde bulunan tüm tekerleklerin ölçümü yapılır ve tekerlek seti için optimum kesme verileri belirlenerek kesme yapılır.

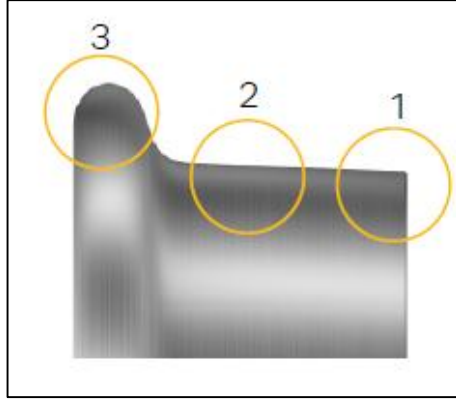
Eğer tekerlek setinde bulunan tekerleklerden herhangi birinde bir kusur tespit edilmişse kusur ölçüsü belirlenir ve o tekerdeki kusur giderildikten sonra tekrar ölçüm yapılarak tekerlek seti için yeniden optimum kesme verileri tespit edilerek kesme işlemi yapılır.

Kesme işlemleri demiryolu araçları için özel olarak imal edilmiş yeraltı tandem torna tezgâhında gerçekleştirilir. Bu tür tezgâhların en büyük avantajı demiryolu araçlarından tekerlek setini ayırmaksızın gereken bütün bandaj tornalama işlemlerinin yapılabilmesidir. Tezgâhlar tek aksta bulunan iki tekeri ve çift aksta bulunan dört tekeri aynı anda tornalayabilen çeşitlerine ayrılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak İtalyan SAFOP tezgâhları tercih edilmektedir.



Şekil 3.14. SAFOP UGL 30D / Tek aksta bulunan iki tekerleğin bandaj tornalamasını yapabilen yeraltı tandem torna tezgâhı.

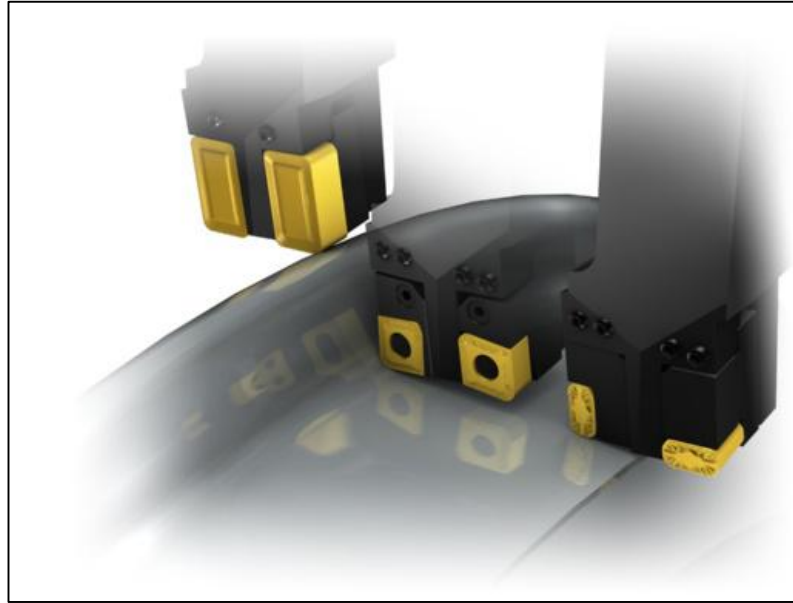
Aşağıda şekilde gösterilen tekerleğin 3 farklı noktasında (1-Tekerlek konikliği, 2-İlerleme / Bandaj yüzeyi, 3- Boden / Flanş bölgesi) ilerleme yüzeyi için farklı kesme parametreleri ve farklı takım bağlama şekli gerekebilmektedir. Her üç nokta içinde kaba işleme operasyonları uygulanır ve ayrıca yüksek kesme derinliği ve yüksek ilerleme hızı kombinasyonu istendiğinden kare uç tercih edilmektedir (Kennametal / LNUX – RRH). Kare uçların yüzey şekilleri talaş atma kabiliyetini göre değişebilmektedir ancak bu kesme işleminde bir öncelik değildir. Aynı uç ile 3 noktanın da kesme işlemleri yapılabilmektedir.



Şekil 3.15. Tekerleğin ilerleme bölgesi, 1-Tekerlek konikliği, 2- İlerleme / Bandaj yüzeyi, 3- Boden / Flanş bölgesi.



Şekil 3.16. Bandaj tornalama, kesici uç (Kennametal / LNUX – RRH).



Şekil 3.17. Tren tekerleği bandajının 3 noktada işlenmesi.

BÖLÜM 4

TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

İmalat işlemi, bir malzemenin değerini arttırmak amacıyla fiziksel veya kimyasal olarak değişimine yönelik tasarlanmış bir yöntemdir. Bir imalat işlemi genellikle birim işlem olarak, yani başlangıç malzemesini son ürün haline dönüştürmek için gerekli işlem basamaklarından yalnızca biri olarak gerçekleştirilir. İmalat işlemleri iki temel işleme ayrılır. Bunlar: (1) işleme yöntemleri ve (2) montajdır. İşleme yöntemlerinin amacı hammadde halinde bulunan malzemeyi çeşitli üretim yöntemleri ile istenilen boyut ve geometrideki ürün haline dönüştürmektir [25]. İşleme yöntemleri talaşlı imalat ve talaşsız imalat yöntemleri olmak üzere genel olarak iki gruba ayrılır.

Talaşlı İmalat: Talaşlı imalat, şekil verme işleminde malzemenin kütlesinin azaldığı ve son istenen şeklinin verildiği imalat yöntemlerine denir. Tornalama, delik delme frezeleme, planyalama, honlama, taşlama ve vargelleme bu işlemlere örnektir.

Talaşsız İmalat: Talaşsız imalat yöntemleri, üretim boyunca malzemenin kütlesinin korunduğu yöntemlerdir. İmalatın temel prensibi şekil vermedir. Döküm, plastik şekil verme, toz metalürjisi, haddeleme ve kaynak yöntemleri bu işlemlere örnek verilebilir.

4.1. TALAŞLI İMALAT

Malzeme kaldırma işlemleri fazla malzemenin iş parçasından kaldırılması ile istenen geometrinin elde edildiği şekil verme işlemleridir. Talaşlı imalat kesme takımları kullanarak iş parçasından malzemeyi çıkartarak hedeflenen parça şeklini elde etmektir.

Talaşlı imalatta, hâkim olan kesme eylemi, iş parçasının kayma deformasyonu ile talaş oluşturulması ve talaş çıkarılıp atıldıkça yeni yüzeylerin açığa çıkmasıdır. Talaş kaldırma imalat işlemleri arasında en önemli olanıdır ve metallere şekil vermede en yaygın kullanılan teknolojidir [25, 26].

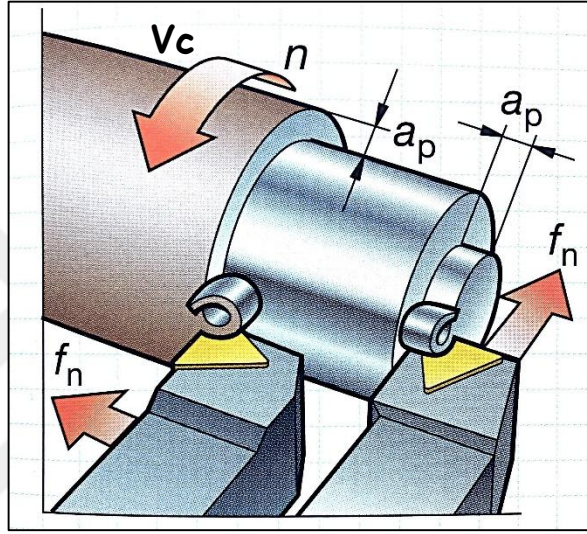
Talaşlı imalat bir grup işlemlerden oluşur. Ortak özellikleri kesici bir takım ile iş parçasından talaş kaldırmasıdır. Operasyonun uygulanması için takım ile iş arasında bağıl harekete ihtiyaç duyulur. Birçok talaş kaldırma operasyonunda kesme hızı olarak adlandırılan birincil hareket ve ilerleme olarak adlandırılan ikincil hareket ile gerçekleştirilir. Kesici takım ve iş parçasının yüzeyinden içeri girmesi (kesme derinliği) bağıl hareket ile birleşerek bitmiş iş parçasının istenilen geometrisini üretirler. Talaşlı imalatın üç temel işlemi vardır. Bunlar, tornalama, frezeleme ve delik delme işlemleridir [25, 26].

4.2. TORNALAMA

Tek uçlu takım ile gerçekleştirilen, silindirik parçalar üreten, birçok durumda döner bir iş parçası ve doğrusal hareket / ilerleme yapan takımın kullanıldığı bir işlemdir. Birçok açıdan fazla karmaşık tanımlamalar gerektirmeyen, en bilinen talaşlı imalat yöntemidir. Öte yandan; en yaygın kullanım alanına sahip, gelişmeye açık, uygulamalarda çeşitli faktörlerin büyük bir hassasiyetle belirlenmesini gerektiren, optimize edilmiş bir yöntemdir [25].

Talaş kaldırma operasyonun gerçekleşmesi için kesme takımı ile iş parçası arasında bağıl hareketin oluşması gereklidir (Şekil 4.1). Birincil hareket kesme hızıdır. Bir torna tezgahında iş parçası dev/dak cinsinden belirli bir fener mili hızı (n) ile döner. Bu dönme hızı iş parçasının işlendiği noktada, işlenen çapa bağlı olarak, bir kesme hızının veya çevresel hızın ($V_c - m/dak$) ortaya çıkmasına neden olur. Ek olarak, takım iş parçası üzerinde doğrusal olarak hareket etmelidir. Bu harekete ilerleme denir. İlerleme hızı ($f_n - m/dak$), takımın çeşitli yönlerde hareketinde dakikada ilerleme miktarıdır. Devir başına ilerleme ($f_n - mm/dev$) ise takımın iş parçasının bir devrinde yaptığı ilerlemedir.

İşlenen yüzeyin kalitesini belirlemede en temel faktör olan bu büyüklüğün talaş kalınlığı ve talaş kırma kalitesinin üzerinde de etkisi bulunur. Kesme ile ilgili kalan boyut, kesici takımın orijinal iş yüzeyine girmesidir. Buna kesme derinliği (a_p – mm) denir. Kesme derinliği, işlenmiş çap ile işlenmemiş çap arasındaki farkın yarısıdır. Talaş derinliği her zaman kesici kenara değil, takımın ilerleme yönüne dik açı yapacak şekilde ölçülür. Hız, ilerleme ve kesme derinliği toplu olarak kesme derinliği olarak ifade edilir [26, 27].



Şekil 4.1. Tornalama için kesme parametreleri, a_p ; kesme derinliği, f_n ; ilerleme, n ; fener mili hızı [28].

4.3. KESİCİ TAKIM ÖZELLİKLERİ VE GEOMETRİSİ

Kesici takımlar, işlenecekleri malzemeden daha sert bir yapıya, uygun kaplamaya ve geometrisi işleme operasyonuna uygun olmalıdır. Takımın giriş açısı ve kesici ucun köşe radyüsü talaş kesit alanını değiştireceğinden talaş oluşumunu da etkilemektedir. Uygun takım seçimi ve uygun geometri belirlenmesi talaş kontrolü açısından bu nedenlerden dolayı büyük önem arz etmektedir.

Kesici takımların sınıflandırılmasında kullanılan bir diğer önemli yöntem ise takımların kullanıldığı işleme operasyonlarıdır. Bu durumda; tornalama takımları, freze çakıları, matkap uçları, raybalar, kılavuzlar ve diğer çoğu kesici takımlar

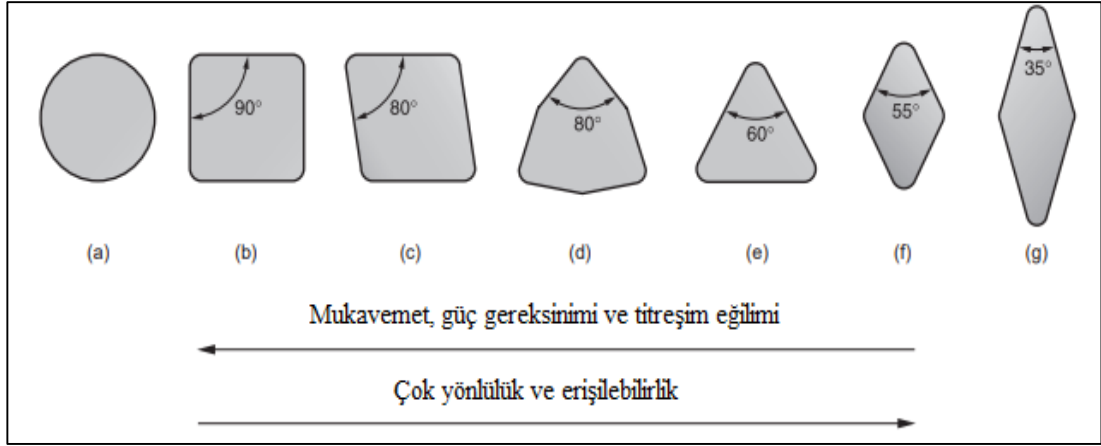
kullanıldıkları işlemin ismi ile anılmakta olup her biri kendine has kesme geometrisine sahip, bazı durumlarda ise kendine özgü tasarıma sahiptir [26].

Kesme takımları tek kesici uçlu takımlar ve çok kesme kenarlı takımlar olmak üzere iki ana başlık altında bölümlenebilir (Şekil 4.2). Tek kesici uçlu takımlar, tornalama, delik işleme ve planyalama işlerinde kullanılır. Çok kesme kenarlı takımlar ise delik delme, raybalama, diş açma, frezeleme, honlama ve testere ile kesme işlemlerinde kullanılır.



Şekil 4.2. Tek ve çok kesme ağızlı kesici takımlar, a) tek kesici uçlu takım, b) çok kesme kenarlı takım.

Kesici takımların tekli ve çoklu olarak sınıflandırılmasıyla beraber bu takımlara bağlanacak takma uçlarında büyük önemi bulunmaktadır. Talaş akış ve formunun, işleme verimliğinin, kesme kuvvetlerinin ve iş parçası kalitesinin kontrol edilebilmesi ayrıca istenen kalitenin yakalanması adına takma uçların geometrik özelliği ve giriş açıları da çok iyi seçilmeli ve belirlenmelidir. En uygun takma ucu belirleyebilmek için sırasıyla ölçü ve işleme tipi, iş parçası malzemesi ve miktarı, tezgâh parametreleri, kesme değerleri dikkate alınmalıdır. Aşağıdaki şekilde tormalamada kullanılan yaygın uç tipleri gösterilmiştir (Şekil 4.3). Uçlar, çeşitli geometrik formlarla beraber farklı giriş açlarına sahiptir. Her bir ucun geometrik şeklinin ve giriş açısının oluşturduğu avantajlar ve dezavantajlar bulunmaktadır. Kesme yapılmadan önce başlangıç parametrelerinin çok iyi belirlenmesi bu nedenlerden dolayı büyük önem taşımaktadır.



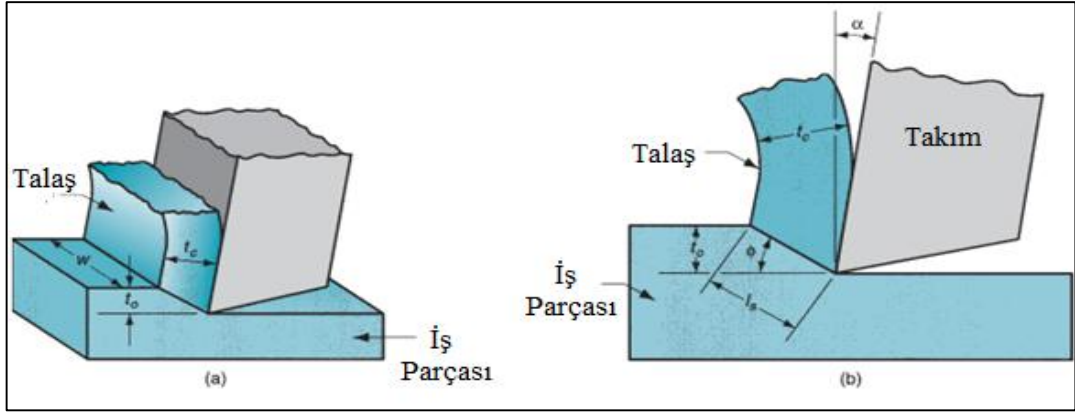
Şekil 4.3. Yaygın takma uç şekilleri: (a) yuvarlak, (b) kare, (c) eşkenar dörtgen iki 80 derece uç açısı ile, (d) altıgen üç uç 80 derece açı ile, (e) eşkenar üçgen, (f) eşkenar dörtgen iki uç 55 derece açı ile, (g) eşkenar dörtgen iki uç 35 derece açı ile [26].

Yukarıda gösterilen Şekil 4.3'te mukavemet, güç gereksinimi ve titreşim eğilimi sola doğru artar; öbür yandan, çok yönlülük ve erişilebilirlik ise sağ taraftaki şekillerde daha iyi olma eğilimi gösterir [26].

4. 4. TALAŞ OLUŞUMU

Talaşlı imalat işlemlerinin çoğunun geometrisi karmaşıktır. Üç boyutlu ve karmaşık olan işlemin mekaniğinin tanımlanabilmesi için iki boyutlu dik kesme modeli olan ortogonal kesme modeli tercih edilmektedir (Şekil 4.4). Bu yaklaşım basit olmakla birlikte talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat işleminin analizinde önemli bir rol oynar.

Bu modele göre, kesici takımın iş parçasını plastik deformasyona zorlamasıyla, kesme parametreleri ve kesici takım geometrisine bağlı olarak farklı açılarda oluşan kayma düzleminde, iş parçasını oluşturan tanelerin, taneler arası yer değiştirmesinin bir fonksiyonu olan elastikiyet modülüne bağlı olarak, kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir [25, 26].



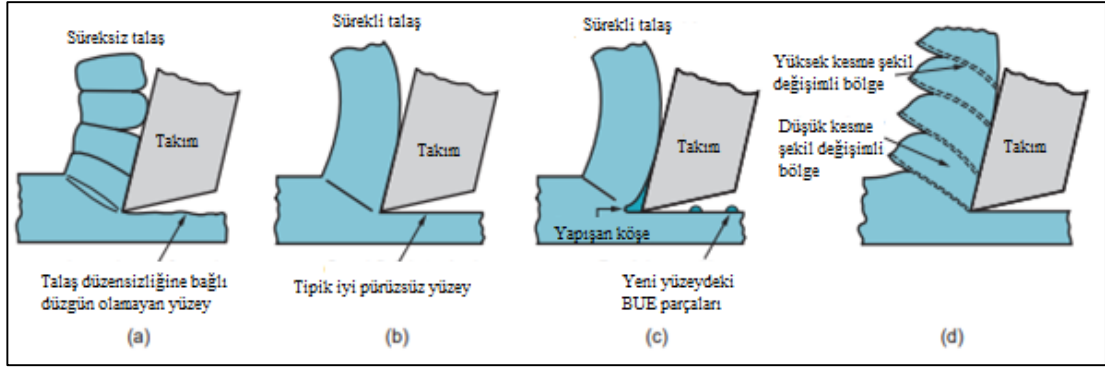
Şekil 4.4. Ortogonal kesme: (a) 3 boyutlu kesme işlemi olarak, (b) iki boyuta indirgenmiş hali, yan görünüş [26].

Ortogonal kesmede, takım geometrisi sadece iki elemana sahiptir. Bunlar; (1) talaş açısı ve (2) boşluk açısıdır. Talaş açısı α , iş parçasından çıkan talaşın doğruluğunu tanımlar. Boşluk açısı ise takım yan yüzeyi ile yeni oluşan yüzey arasındaki boşluğun (ϕ) oluşturduğu açıdır. l_s kayma düzlemi veya kesme düzlem uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Talaş oluşumundan önceki talaş kalınlığı t_0 'dır. Kesme düzlemi boyunca şekillenen talaşın kalınlığı ise t_c 'dir [26].

Talaş oluşumu ilk kıvrımla başlar ve kesme verileri (özellikle ilerleme ve talaş derinliği), talaş açısı, iş parçası malzemesinin tipi ve koşulları, köşe radyüsünün büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir. Tipik bir kesme işleminde dairesel ve spiral iki temel talaş tipi oluşur [25].

4.5. GERÇEK TALAŞ OLUŞUMU

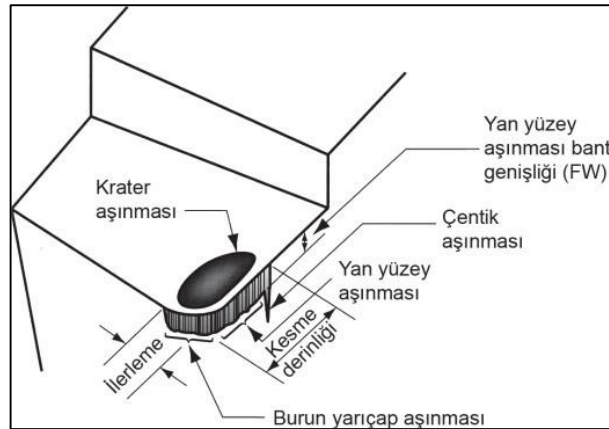
Ortogonal model ile gerçek talaşlı imalat arasında farklar bulunmaktadır. İlk olarak kesme (kayma) deformasyon işlemi bir düzlem boyunca olmaz ve gerçekte bir bölgede oluşur. İkinci olarak kesme bölgesinin dışında talaş oluştuktan sonra ikinci bir bölgede daha kesme deformasyonu oluşmaktadır. Üçüncü olarak talaşın oluşumu kesilen malzeme ve kesme koşullarına bağlıdır. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi dört farklı talaş tipi oluşmaktadır.



Şekil 4.5. Metal kesme sırasında talaş oluşumunun dört tipi: (a) Süreksiz talaş, (b) Sürekli talaş, (c) Yapışan köşe talaşı, (d) Tırtıklı talaş [26].

4.6. TAKIM AŞINMASI

Talaşlı imalat sırasında oluşan yüksek güçler, gerilmeler ve sıcaklıklar takımlar için zararlı ortamlar oluşturur. Eğer kesme kuvveti çok yüksek değere ulaşırsa, takım kırılır veya kesme sıcaklığı çok artarsa, takım malzemesi yumuşar ve görevini yerine getiremez. Takımda kırılmaya ve yumuşamaya neden olan yüksek kesme kuvveti ve sıcaklık artışı olmazsa kesici takım işleminin sürekliliğiyle beraber doğal bir aşınmaya maruz kalır ve sonunda kesme işlemlerini sağlıklı yapamayacak duruma gelerek ömrünü tamamlar. Şekil 4.6’ da kesici takım üzerindeki aşınmalar şematik olarak gösterilmiştir [26].



Şekil 4.6. Aşınmış kesici takım şekli, meydana gelen aşınma tipleri ve oluşum yerleri [25].

Talaş kaldırma işlemi esnasında aşağıda sıralanan aşınma tipleri oluşur [27];

- Serbest yüzey aşınması
- Krater aşınması
- Plastik deformasyon
- Yardımcı kenarda çentik oluşumu
- Isıl çatlaklar
- Mekanik yorulma çatlakları
- Kesici kenarda parça kopması
- Kesici kenarın kırılması
- Yığılma kenar

4.7. İŞLENEBİLİRLİK

Talaşlı imalat işlemlerinin başarısı üzerinde iş parçalarının özellikleri önemli etkiye sahiptir. İş parçalarının bu ve diğer karakteristik özellikleri genellikle İşlenebilirlik teriminde toparlanmaktadır. İşlenebilirlik, bir malzemenin (genellikle metal) uygun takım ve kesme koşullarında işlenmesinin göreceli kolaylığını gösterir. İşlenebilirliği değerlendirmek için çeşitli kriterler mevcuttur ve en önemlileri;

- Kesici takım ömrü
- Kesme kuvvetleri ve gücü
- İşlenen yüzey kalitesi (yüzey pürüzlülüğü)
- Talaş atılabilirliği (işleme esnasında talaş boşaltma kolaylığı) [26].

İşlenebilirlik genellikle iş parçasıyla ilgili olmasına rağmen, işleme performansı malzemedен çok daha önemli olabilmektedir. İşlem tipi, takım ve kesme koşulları önemli faktörlerdir.

İşlenebilirlik testi genellikle iş parçalarının karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Bir malzemeyle uzun takım ömrü elde edilirken diğer bir malzeme ile çok iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilebilir. Bu farklılıklar işlenebilirliğin incelenmesini zor hale getirmektedir [25].

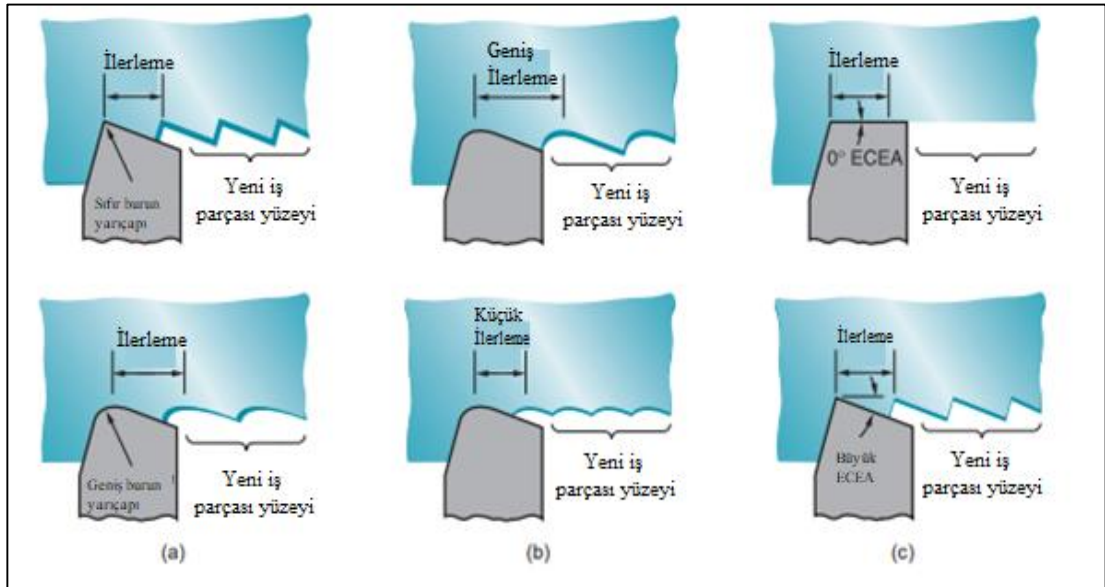
4.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı imalat genellikle parçanın son geometrisini ve ölçülerini belirleyen bir imalat işlemi olduğundan aynı zamanda yüzey kalitesinin de belirlendiği işlemdir. Modern ve iyi bakımlı tezgahlar ile uygun işleme koşullarıyla istenen değerlere rahatlıkla ulaşılabilir [26].

Talaşlı imalat operasyonlarındaki yüzey pürüzlülüğü en temelde üç farklı faktöre bağlıdır. Bunlar;

- Geometrik faktörler
- İş parçası malzeme faktörleri
- Titreşim ve tezgâh faktörleridir.

Geometrik faktörler arasında; (1) talaşlı imalat işlem tipi, (2) kesme takım geometrisi (en önemli kısım burun yarıçapıdır) ve (3) ilerlemedir. Takım geometrisi ve ilerleme birleşerek yüzeyi oluştururlar. Takım ucunun şekli önemli bir geometri faktörüdür. Aşağıda gösterilen Şekil 4.7’de tek uçlu takım için işleme operasyonlarında geometrinin etkileri gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Tek noktalı takımların geometrik faktörlerinin teorik yüzey kalitesine etkisi: (a) burun açısının etkisi, (b) ilerlemenin etkisi, (c) ön kesici kenar açısının etkisi [26].

İdeal bir yüzey elde etmek için iş parçası malzemesi ve malzeme ile kesme takımı arasındaki etkileşim ile ilgili faktörlerden dolayı mümkün değildir. Yüzey kalitesini etkileyen iş parçası malzemeleri faktörleri arasında;

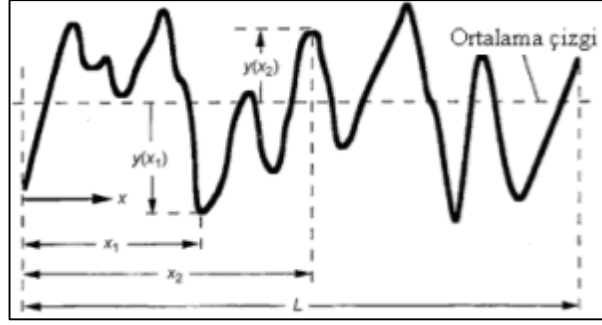
- Yapışkan köşe (talaş yapışması)
- İş parçasının üzerine talaşın kıvrılarak geri dönerek zarar vermesi
- Sünek malzemelerin talaş oluşumu sırasında iş parçası yüzeyinin yırtılması
- Kırılgan parçalar işlendiğinde sürekli talaş oluşumundan kaynaklanan yüzey çatlakları
- Takımın yan yüzeyi ve yeni yüzey arasındaki sürtünme etkileri görülmektedir [26].

Titreşim ve makine takım faktörleri talaşlı imalat esnasında iş parçasının yüzeyinde önemli pürüzlülüklere sebep olur. Tırlama veya titreşim oluştuğunda deneyimli bir operatör tarafından tanınabilecek belirli bir gürültü ortaya çıkar. Titreşimin ortadan kaldırılması için alınabilecek önlemler arasında;

- Kurulum katılık veya sönümleyici ekleme
- Tezgâhı uygun frekanslarda çalıştırmak
- Kesme sırasında oluşan kuvvetleri azaltmak için ilerleme ve kesme derinliğini azaltmak
- Kuvvetleri azaltmak için kesme takım tasarımını değiştirmek olabilir [26].

4.9. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK PARAMETRELERİ

Yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntıların alan bakımından eşitlendiği orta eksenin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arası mesafe **R_a**, orta eksenin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeri **R_q** (Rms), değerlendirme aralığındaki en yüksek beş çıkıntı ile en derin beş girintinin mutlak değerlerinin ortalaması **R_z**, değerlendirme aralığındaki filtre edilmemiş pürüzlülüğün en yüksek çıkıntısı ile en derin girintisi arasındaki mesafe **R_{max}**, filtre edilmiş pürüzlülüğün en yüksek tepesi ile en derin girintisi arasındaki mesafe de **R_t** olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.8) [29].



Şekil 4.8. Pürüzlülük için kullanılan parametreler.

4.9.1. Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değeri (Ra)

Bu parametre aritmetik ortalama pürüzlülük değeri AA (arithmetic average) veya CLA (center line average) olarak bilinir ve pürüzlülüğün en çok kullanılan parametresi olup genel olarak Ra diye tanımlanır. Ra, profil düzensizliklerinin ortalamasını vermesi sebebiyle, genel yüzey yapısı hakkında önemli bir kriterdir. Ra, ortalama profil doğrusundan y aritmetik ortalama olarak sapmasıdır [29]. Matematiksel olarak şöyle açıklanır:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (4.1)$$

L: Örneklem uzunluğu

4.9.2. Ortalamaların Kareleri Toplamının Karekökü (Rq, Rms)

Seçilen örneklem uzunluk sınırlarında, eksen çizgisinin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeridir. Matematiksel olarak şöyle açıklanabilir:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx} \quad (4.2)$$

4.9.3. Profil Maksimum Tepe Yüksekliği (R_p)

Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en yüksek tepe (çıkıntı) ile temas eden ve eksen çizgisine paralel olan çizgi ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir. Böylece R_p değeri geniş çıkıntı ve dar girintilerden oluşan yüzeylerde küçük, dar çıkıntı ve geniş girintilerden oluşan yüzeylerde büyük olur [29].

$$R_p = \max y(x), 0 < x < L \quad (4.3)$$

4.9.4. Profil Maksimum Çukur Derinliği (R_v , R_m)

Seçilen örnekleme uzunluk sınırlarındaki en dip girintiye temas edecek şekilde ve eksen çizgisine paralel olarak çizilen doğru ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir [29].

$$R_v = |\min y(x)|, 0 < x < L \quad (4.4)$$

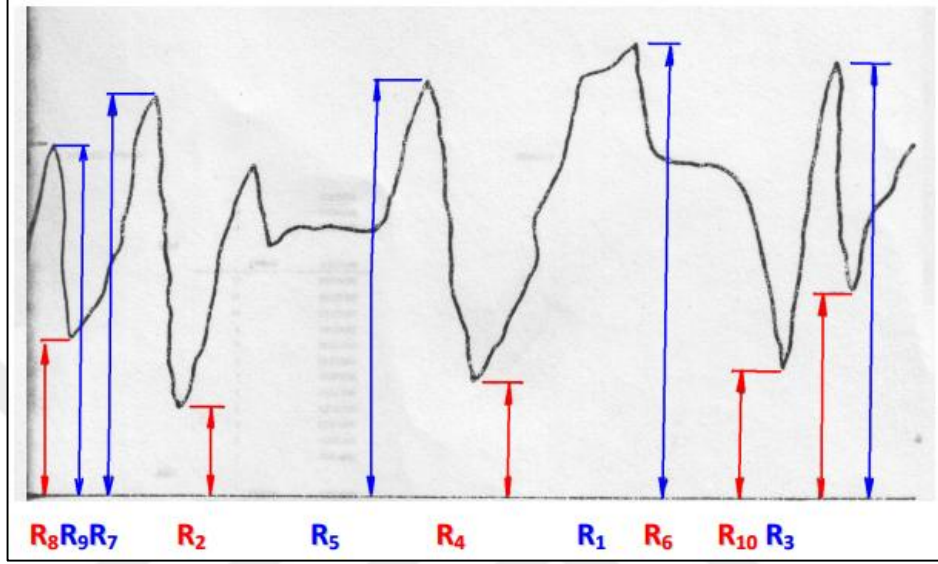
4.9.5. Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği (R_t , R_{max})

Örnekleme boyunda dikkate alınan en yüksek tepe ve en düşük dip arasındaki mesafe tepe-dip yüksekliği olarak adlandırılır. Bu R_t değeri, örnekleme boyundaki yüzey düzensizliklerinin frekansı göz önüne alınmazsa yüzey pürüzlülüğünün tam bir tanımıdır. Tepe-dip yüksekliği ortalama değerini daha da iyileştirmek için, en yüksek tepe ve en düşük dip hesaba katılmaz. Böylece örnekleme uzunluğunda çok yüksek tepe ve dibin bulunması etkili olmaz [29].

$$R_t = R_p + R_v \quad (4.5)$$

4.9.6. On Nokta Yüksekliği (Rz)

Rz, 10 nokta yüksekliği olup örnekleme uzunluğu içinde 5 en derin çukur ve 5 en yüksek tepe noktaları arasında ortalama mesafeyi gösterir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Rz hesaplaması için yükseklik ve derinlikler.

Bu parametrenin bulunuşunun gösterimi Ra' nın gösteriminden daha kolaydır. Önce profile, bir paralel eksen çizilir. Bu profilden sırayla 5 en dip nokta uzaklıklar ölçülür. Ortalama değer matematiksel olarak şöyle açıklanabilir;

$$R_z = \frac{1}{5} [(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})] \cdot \frac{1000}{v_q} \quad (4.6)$$

4.10. YÜZEY KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Genellikle yüzey kalitesini etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

- Takım tezgâhlarının yeterli rijitlikte olmaması,
- Tezgâhın kinematik mekanizması,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan tezgâh hataları,

- Takım ucu ve takım tutucunun rijit olmamasından kaynaklanan imalat hataları,
- Takım konumlama ve bağlama hataları,
- Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
- Çevrenin etkisi ile oluşan hatalar olarak sayılabilir [29].

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenebilmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak dört önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesme sıvısı için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır [29].

Şekil 4.10'da yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır. İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi, kesme sıvısı ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere dört kısma ayrılmıştır.



Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler [29].

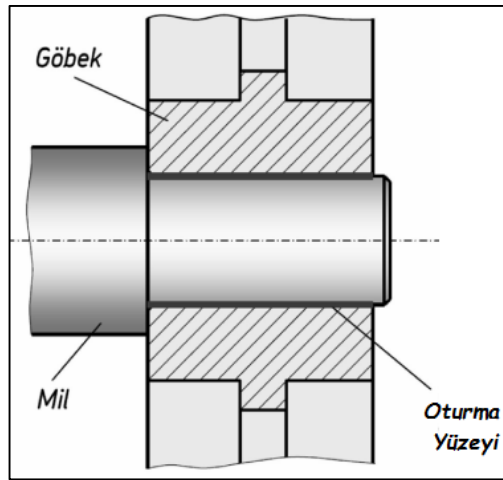
BÖLÜM 5

TREN TEKERLEĞİ – AKS SIKI GEÇME UYGULAMASI

5.1. GİRİŞ

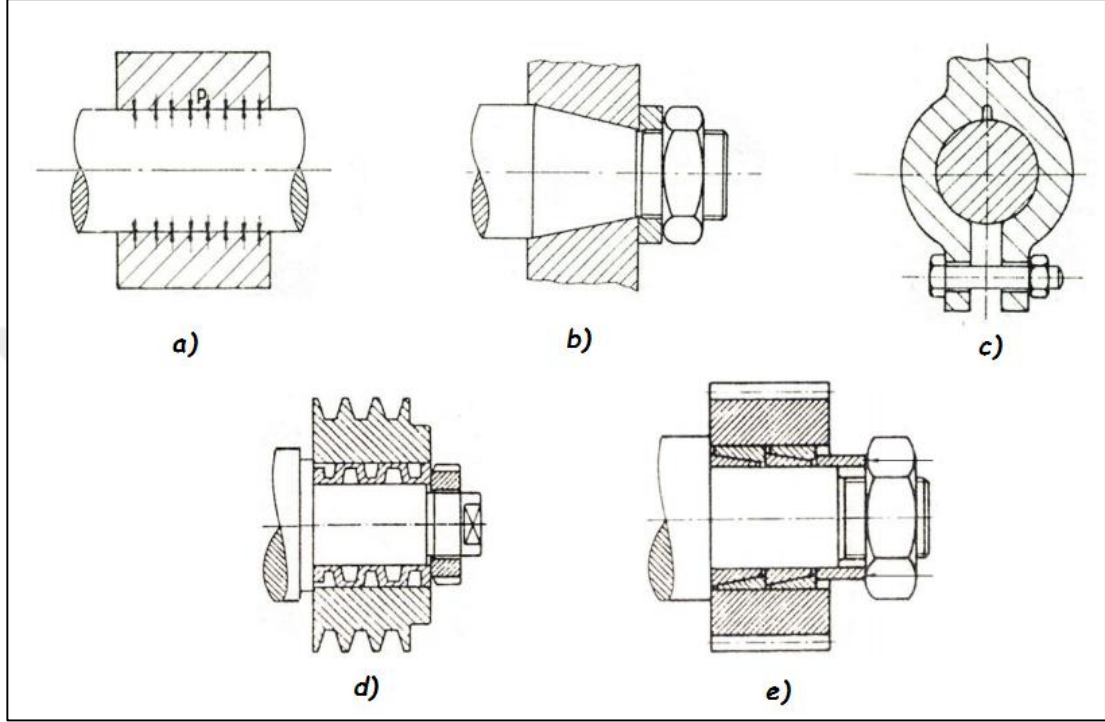
Sıkı geçme, iki makine parçası arasında hareket ve moment iletiminin sıkıca üst üste oturan geçme yüzeyleri arasında oluşan sürtünme etkisiyle sağlandığı bağlantı şeklidir. En yaygın olarak mil ile göbek elemanı arasında uygulanmaktadır. Sıkı geçme bağlantılarında iki elemanın (mil-göbek) birbirine göre dönme veya kayma yapmalarını önlemek için ayrıca kama veya benzeri başka bir eleman çakılmasına gerek duyulmamaktadır. Genel anlamda sıkı geçme uygulamaları hiçbir şekil bağı bulunmayan, sadece kuvvet bağı esasına dayalı genellikle tork ileten bağlantılardır [30].

Göbek, delik çeperinin mil yüzeyi üzerine sıkıca oturması sonucu bu sıkılıktan doğan yüzey basıncı ve buna bağlı olarak da moment iletimini gerçekleştirecek olan sürtünme kuvveti bağının oluşması sıkı geçme uygulamalarında temel prensiptir [30].



Şekil 5.1. Göbek – Mil sıkı geçme bağlantısı.

Yukarıda Şekil 5.1’de gösterilen oturma yüzeyindeki sıkılığın elde edilebilmesi için çeşitli yöntemler uygulanabilmektedir. Aşağıda Şekil 5.2’de, çeşitli sıkı geçme konstrüksiyon uygulama örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Sıkı geçme uygulama çeşitleri, a) Düz pres sıkı geçme bağlantısı, b) Konik pres sıkı geçme bağlantısı, c) Sıkma pres türü geçme, d) Germe halkaları bağlantısı, e) Germe bilezikleri [31].

Sıkı geçme yapılacak malzemelerin yüzeyleri silindir şeklinde düz ise düz pres geçme bağlantısı yapılmış olur. Çapı delik çapından daha büyük olan bir mil aksenal doğrultuda bir presleme kuvveti uygulanarak sıkı geçme uygulaması konik mil-göbek yüzeyleri için geçerlidir. Yukarıda gösterilen bağlantı türlerini tanımlayabilmek için birçok farklı tanımlara rastlamak mümkündür. Tüm bağlantı türlerinde amaç kaymadan istenen kuvvetler, gerilmeler olmadan iletilmesidir.

5.2. TREN TEKERLEĞİ – AKS SIKI GEÇME UYGULAMASI

Tren tekerlekleri, birleştirilecekleri aks milinin uygun değerlerine gelecek şekilde talaşlı imalat yöntemleriyle işlenir. İşlenen tekerlekler hem boyutsal hem de yüzey pürüzlülük değerlerinde uygunluğa getirildikten sonra teker-aks için özel olarak imal edilmiş yüksek tonajlı kuvvetlere sahip özel pres makinası vasıtasıyla birleştirilir.

Birleştirme çeşidi olarak aks milinin yapısına göre farklılıklar olabilmektedir. Aks millerinin tekere bağlanacak kısımları konik olarak imal edilmiş ise konik pres sıkı geçme bağlantısı, düz silindir olarak imal edilmişse düz pres sıkı geçme bağlantısı uygulanmaktadır.

Teker-aks sıkı geçme işleminde çakma kuvveti, 500 kN' a kadar baskı kuvvetleriyle yapılabilmektedir. Teker-aks birleşmesinde aks milinin oturma yüzeyine çatlak oluşmaması için yağlayıcı eleman kullanılmaktadır. Yağlayıcı eleman ince bir film tabaksı olarak milin oturma yüzeyine kuru bir bez yardımıyla sürülmektedir. Ayrıca bu yağ presleme tamamlandıktan sonra kaygan yapı oluşturmaması adına çakma işlemi sonlandıktan kısa bir süre içinde katılaşma özelliğine sahip bir kimyasal yapıdadır.

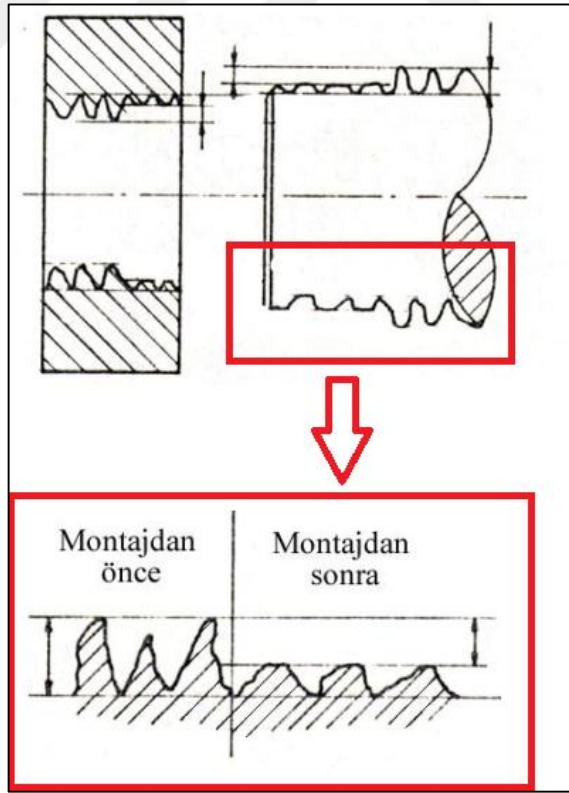


Şekil 5.3. Tekerlek pres makinası, teker-aks sıkı geçme uygulaması.

5.3. SIKI GEÇMEDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖNEMİ

İşlenmiş malzeme yüzeyleri incelendiğinde optimum şartlarda işlenen yüzeylerde bile pürüzlerin olduğunu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü optik ve mekanik esaslı ölçü aletleriyle ölçülebilir ve kaydedilebilir. Pürüzün en yüksek tepesi ile en düşük çukuru arasındaki derinliğe pürüz yüksekliği denir [31].

Yapılan sıkı geçme deneyleri sonucunda pürüz yüksekliğinin sıkı geçme montajından sonra %60'nın ezilerek düzleştiğini göstermektedir. Montaj işlemi tamamlandıktan sonra oturma yüzeyinde boşluk oluşmaması için çap farkları iyi kontrol edilmelidir. Ezilmenin aynı oranda hem mil hem de delikte olacağını düşünüldüğünde ve çap yönünde iki kat büyüyeceği ele alındığında, sıkı geçmede çap farkında oluşacak kayıp hesap edilmeli ve işlenecek parçalarda kaybı karşılayacak minimum yüzey pürüzlülüklerine izin verilmelidir. Böylece montajdan sonra yüzeyler düzelinece esas istenen gerçek oturma yüzeyi sağlanmış olur [31].



Şekil 5.4. Pürüz yüksekliğinin sıkı geçme montajı esnasında azalmasının şematik görünümü.

BÖLÜM 6

DENEYSEL METOD VE MATERYAL

6.1. DENEY MALZEMESİ

Deneyleer için Yüksek Hızlı Trenlerde (YHT) kullanılan ER8 çelik sınıfına sahip tam profil tren tekerleği kullanılmıştır. Tren tekerleğinin çelik sınıfına göre kimyasal analizi 3. Bölüm 3.2 başlığında verilmişti. Deney numunesine ait kimyasala analiz Çizelge 6.1’de, mekanik ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney numunesinin kimyasal analizi (% ağırlıkça).

Çelik Sınıfı	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr + Mo + Ni
ER8	0,56	0,40	0,80	0,020	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Çizelge 6.2. Tren tekerleğinin mekanik ve fiziksel özellikleri [10].

Boyut (mm)	920...1040
Çekme Dayanımı (MPa)	820...940
Akma Dayanımı (MPa)	540
Uzama (%)	13
Sertlik (HBW)	245

6.2. SERTLİK ÖLÇÜMÜ VE CİHAZI

Tren tekerleği sertliği, tüm profilden bir kesit numune alınarak Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan Q10 A+ QNESS Mikro Sertlik Cihazı kullanılarak Brinell yöntemi ile ASTM E10 standardına göre ölçülmüştür. Ölçümler numunenin yüzeyine 2,5 µm tungsten karbür bilya ile 187,5 kg yükün 10-30 sn uygulanması esasıyla ölçülmüştür. Numunenin 3 farklı bölgesinde ölçüm yapılmış ve sonuçların ortalama değeri sertlik değeri olarak alınmıştır (Çizelge 3.4).



Şekil 6.1. Sertlik ölçüm cihazı.

6.3. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ

Yapılan çalışmada son yıllarda kullanımı giderek artan ve yolcu taşımacılığında önemli bir yer edinen, üretimi maliyetli ve hassas şekillendirme istenen Yüksek Hızlı Tren tekerleği malzemesinin talaşlı imalat prosesinde en uygun koşullarda işlenmesini belirlemek amacıyla işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde; tornalamada kullanılan kesici takım özellikleri ve buna bağlı kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) göz önüne alınarak belirlenmiş ve ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

6.3.1. Takım Tezgâhı

İşlenebilirlik deneyleri, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD)'na ait, Yüksek Hızlı Tren Bakım Merkezi'nde yer alan SIRMU – mt marka, VTF150 model, Bilgisayarlı Sayısal Kontrollü (CNC), dik torna tezgahında yapılmıştır. Dik torna tezgahının görünümü Şekil 6.2'de, teknik özellikleri de Çizelge 6.3'te verilmiştir.



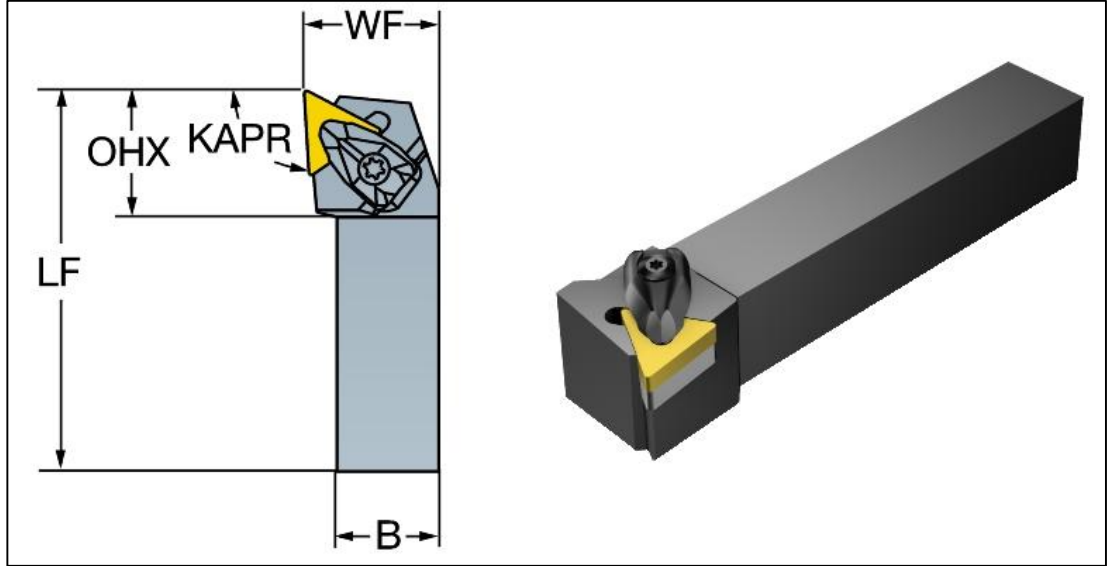
Şekil 6.2. SIRMU – mt VTF 150 Dik CNC torna tezgâhı.

Çizelge 6.3. Dik CNC torna tezgahının özellikleri [32].

Marka	SIRMU – mt
Model	VTF 150
Platform Çapı	1250 – 1500 mm
Maksimum Dönüm Çapı	1800 mm
Motor Mili Gücü	60 – 71 – 100 kW
Platform Hızı	3 – 450 min ⁻¹

6.3.2. Takım Tutucu

Tekerleğin işlenebilmesi amacıyla bir adet DTJNL 1616H 16 kodlu Sandvik Coromant marka takım tutucu kullanılmıştır. Bu takım tutucu tren tekerleğinin işlenmesi için özel olarak imal edilmiş Dik CNC tezgâhına ve işlenecek malzemenin kesici takımına uygun olarak seçilmiştir. Takım tutucunun boyutsal özellikleri aşağıda Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Takım tutucunun boyutsal özellikleri.

WF, fonksiyonel genişlik: 20 mm

B, saft genişliği: 16 mm

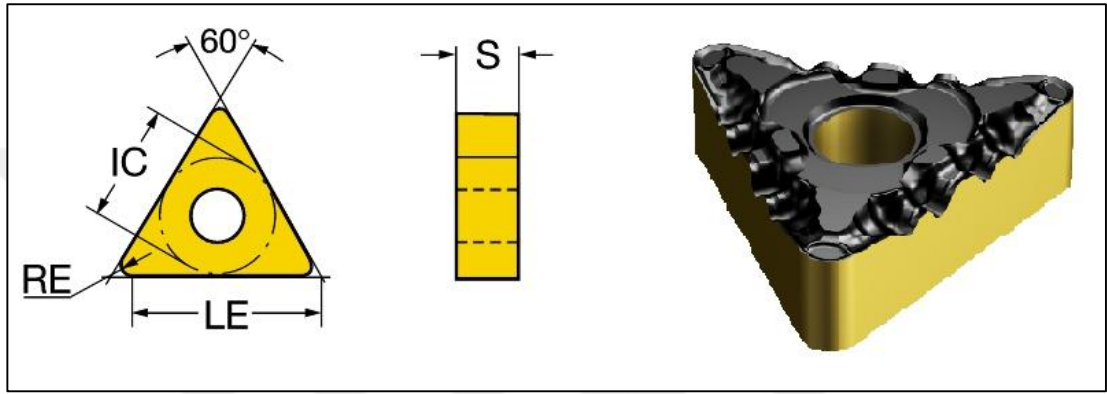
LF, takım tam boyu: 100 mm

OHX, maksimum bağlama boyu: 24,9 mm

KAPR, takım kesme kenar açısı: 93°

6.3.3. Kesici Takım

İşlenebilirlik deneylerinde, uygun yüzey pürüzlülüğü elde edebilmek adına tren tekerleği malzemesine uygun Finishing işlem tipine sahip kesici takım kullanılmıştır. Kesici takım TNMG 16 04 08-PF 4315 kodlu Sandvik Coromant firması tarafından üretilen CVD (Ti(C, N) + Al₂O₃ + TiN) kaplama yöntemi kullanılarak kaplanmış kesicilerdir. Kesici takıma ait geometri özellikleri Şekil 6.4’te verilmiştir.



Şekil 6.4. Kesici takım geometrik özellikleri.

IC, iç teğet daire çapı: 9,525 mm

RE, köşe radyüsü: 0,794 mm

LE, etkin kesme kenar uzunluğu: 15,698 mm

S, kesici uç kalınlığı: 4,763 mm

6.3.4. Kesme Parametreleri

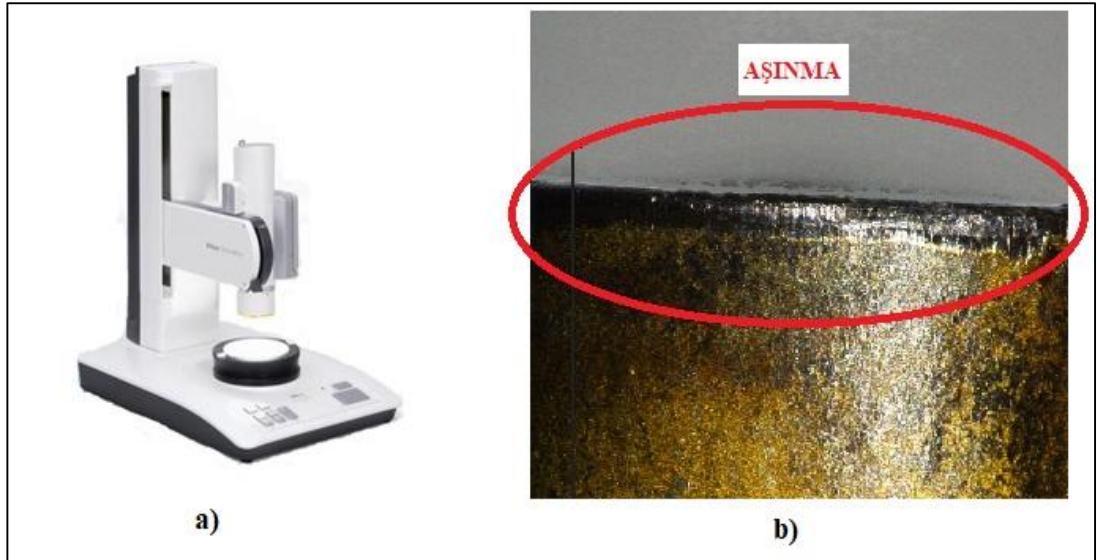
İşlenebilirlik deneylerinin tümü, soğutucu bor yağı (seyreltilmiş) kesme sıvısı kullanılarak üç farklı kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri (kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızı) üretici firma önerilerine bağlı olarak belirlenmiştir. Seçilen kesme parametreleri aşağıda Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Kesme parametreleri.

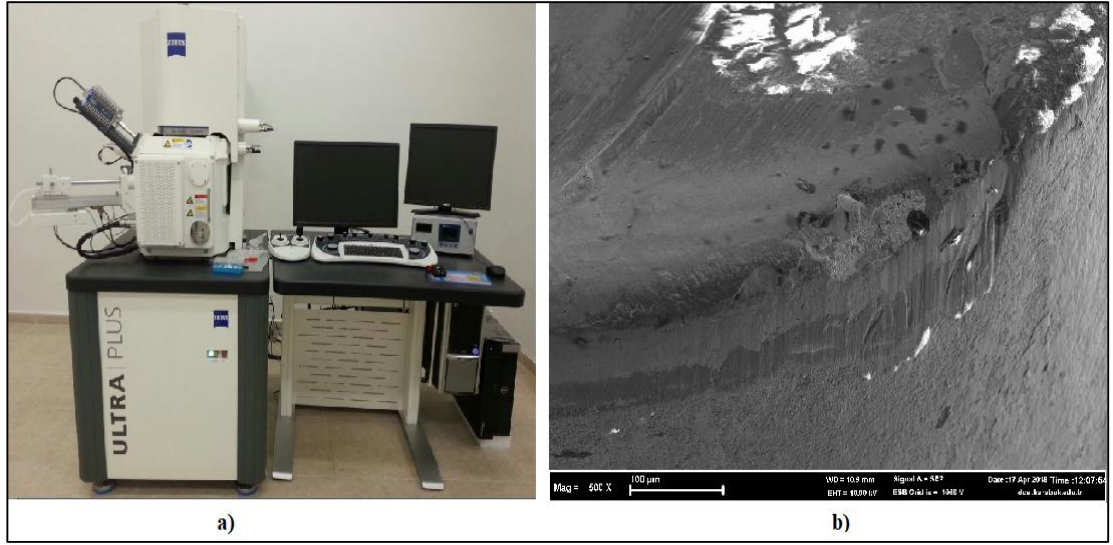
Kesici Takım	Kesme Derinliği (a_p), mm	İlerleme Miktarı (f_n), mm/dev	Kesme hızı (V_c), dev/dak
TNMG 16 04 08-PF 4315	0,5 – 1 – 1,5	0,1 – 0,2 – 0,3	250 – 350 – 450

6.4. TAKIM YÜZEYİ GÖRÜNTÜLEME CİHAZLARI

İşlenebilirlik deneylerinde bir adet ucun dört farklı köşesi kullanılmıştır. Deneylerin ardından takım yüzeylerinde meydana gelen hasarların analizi için iki farklı ölçüm yöntemiyle yüzey görüntüleri alınmıştır. İlk olarak Nikon marka ShuttlePix Three Point Motorize Portable model dijital kamera vasıtasıyla X250 büyütme kullanılarak yüzey görüntüleri incelenmiştir (Şekil 6.5). İkinci olarak Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) yöntemi kullanılarak, Karabük Üniversitesi MARGEM 'de bulunan CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM model cihaz ile X100, X250, X500 ve X1000 büyütme kullanılarak yüzey görüntüleri incelenmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.5. a) Nikon ShuttlePix dijital mikroskop, b) alınan yüzey görüntüsü.



Şekil 6.6. a) SEM cihazı, b) SEM cihazı ile X500 büyütmede alınmış aşınma görüntüsü.

6.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM CİHAZI

İşlenebilirlik deneyleri sonrasında işlenmiş yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülüğünün tespiti için Mitutoyo marka SJ – 210 model portatif profilometre cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.7). İşlenen yüzeylerin pürüzlülük ölçümleri, kesici takım ilerleme yönünde ve oda sıcaklığında ölçülmüştür.

Profilometre iğnesinin uç yarıçapı 2 µm, uç açısı 60°, ölçme kuvveti 0,75 mN ve tarama hızı 0,25 – 0,5 – 0,75 mm/s hızlarındadır.



Şekil 6.7. Ortalama yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

7.1. TAGUCHI DENEY TASARIMINA GÖRE İŞLENEBİLİRLİK

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin analizi için, Taguchi deney tasarımında kesme parametreleri bağımsız değişken, ortalama yüzey pürüzlülüğü ise bağımlı değişken olarak deneysel plana dâhil edilmiştir.

Taguchi deney tasarım metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt S/N oranıdır. Sinyal (S), sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değerdir. Gürültü (N) ise ölçülen değer içerisindeki kontrol edilemeyen, istenmeyen faktörlerin payını gösterir. 3 tip S/N oranı vardır [29].

Tip N: Hedef değer en iyi, hedef nominal bir değere ulaşmak.

$$S/N = -10 \cdot \log\left(\frac{Y^2}{S}\right) \quad (7.1)$$

Tip S: En küçük en iyi, hedef en düşük değere ulaşmak.

$$S/N = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i:1}^n Y_i^2\right) \quad (7.2)$$

Tip B: En büyük en iyi, hedef en yüksek değere ulaşmak.

$$S/N = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i:1}^n \frac{1}{Y_i^2}\right) \quad (7.3)$$

Y: Y değerlerinin (performans karakteristiklerinin değerlerinin) ortalaması

S: Y değerlerinin standart sapması

n: Y değerlerinin sayısı

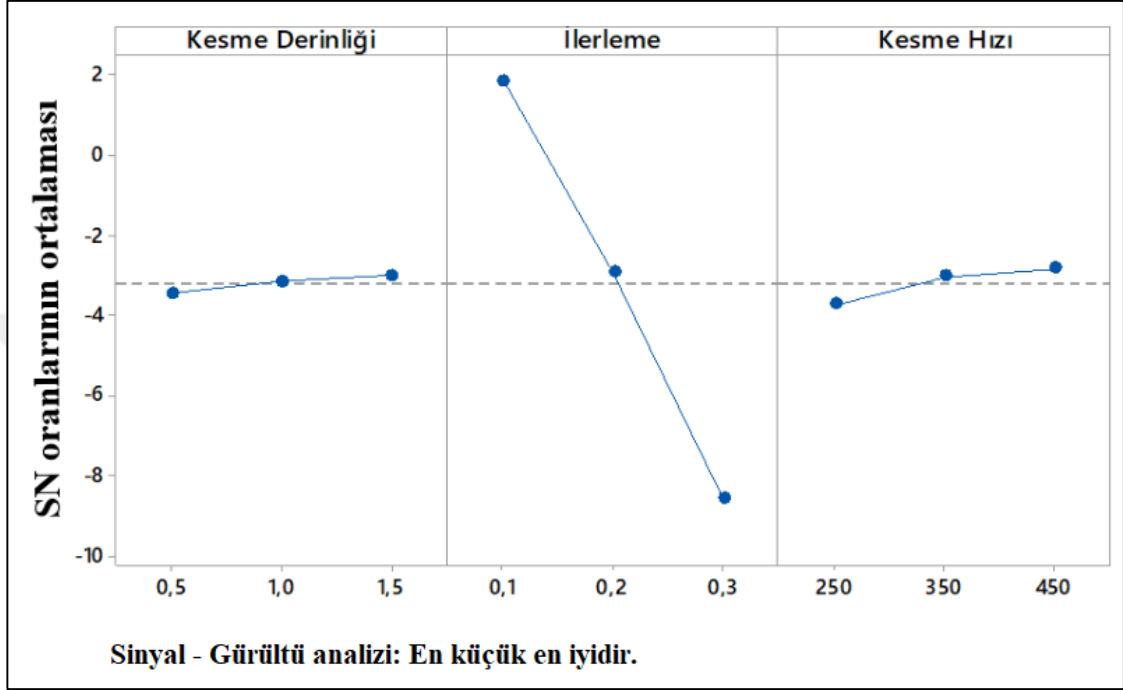
Bu üç durumda da amaç S/N oranını maksimize etmektir. Bu oranların maksimize edilmesi, sinyali arttırırken, varyansı azaltmaktadır [29].

Bu çalışmada optimum işlenebilirlik verilerinin belirlenmesi için kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğü ölçüldüğü için, deneylerin analizinde en küçük en iyi yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranı kullanılmıştır. Çizelge 7.1’de kesme parametreleri ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin S/N oranları verilmiştir.

Çizelge 7.1. Taguchi deneyleri sonucu ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Deney No	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme (mm/dev)	Kesme Hızı (dev/dak)	Yüzey Pürüzlülüğü – Ra(μm)			
				1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
1	0,5	0,1	250	1,036	0,951	1,011	0,9993
2	0,5	0,2	350	1,351	1,461	1,512	1,4413
3	0,5	0,3	450	2,252	2,331	2,243	2,2753
4	1	0,1	350	0,627	0,700	0,703	0,6767
5	1	0,2	450	1,638	1,494	1,414	1,5153
6	1	0,3	250	2,891	2,894	2,884	2,8897
7	1,5	0,1	450	0,720	0,794	0,803	0,7723
8	1,5	0,2	250	1,281	1,154	1,319	1,2513
9	1,5	0,3	350	2,966	2,887	2,914	2,9223

Şekil 7.1’de tornalama da kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini göstermektedir. Her faktör için hesaplanan S/N oranının en yüksek olduğu değer, en iyi deney sonucunu (yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu deney sonucu) göstermektedir.



Şekil 7.1. Ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre kesme parametrelerinin S/N oranları.

Hızlı tren tekerleklerinin kimyasal analizine bakıldığında mangan (Mn) elementinin %0,703 ve silisyum (Si) elementinin %0,303 oranıyla yüksek miktarlarda bulunduğu görülmektedir (Çizelge 3.1 ve 3.2). Mangan ve silisyum elementi, Ferrit fazının dayanımını arttırırken malzemenin sünekliliğini düşürücü etki göstermektedir. Malzemenin sertliğinin artması sebebiyle, yüksek kesme derinliklerinde oluşan yüksek kesme kuvvetlerinin etkisiyle malzeme gevrek kırılarak yüzeyden ayrılmıştır. Gevrek kırılma sebebiyle yüzey üzerinde oluşan pürüzlülük değerleri azalmış ve yüzey kalitesinde artış görülmüştür.

7.2. KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

7.2.1. Varyans Analizi (ANOVA)

Kesme parametrelerinin etkileri varyans analizi metodu (ANOVA) ile niceliksel olarak belirlenmiştir. Deney seti için elde edilen ANOVA sonuçları Çizelge 7.2’de verilmiştir. ANOVA giriş parametrelerinin (Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği) çıkış parametresi (ortalama yüzey pürüzlülüğü) üzerindeki etkisinin niceliksel olarak belirlenebildiği istatistiki bir analiz metodudur. Çalışma kapsamında istatistiki olarak %95 güven aralığında çalışıldığı için, Çizelge 7.2’de verilen p – değerine göre 0.05 değerinin altındaki parametreler yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiki olarak anlamlılık göstermektedir. Giriş parametrelerinin % olarak niceliksel etki oranlarını elde edebilmek için ANOVA sonuç tablosunda verilen kareler toplamı değerleri, toplam kareler toplamı değerine oranlanır (Çizelge 7.2).

ANOVA yoluyla elde edilen bir diğer istatistiki parametre ise R-Sq ve Adj. R-Sq ile ifade edilen regresyon katsayısı değerleridir. Bu değerler belirlenen giriş parametrelerinin ölçülen çıkış parametresini açıklayabilme oranını göstermektedir. Tek giriş parametresi olan sistemlerde R-Sq değeri, birden fazla giriş parametresi olan sistemlerde ise Adj. R-Sq değeri dikkate alınmaktadır. İstatistiki olarak başarılı ve anlamlı bir deney tasarımı için ölçüt %80 ve üzeri olarak kabul edilmiştir [32].

Çizelge 7.2. ANOVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	% Etki	p
Kesme Derinliği (mm)	2	0,02278	0,01139	0,38	0,096
İlerleme (mm/dev)	2	5,54933	2,77467	93,94	0,047
Kesme Hızı (dev/dak)	2	0,06346	0,03173	1,08	0,811
Hata	2	0,27147	0,13574	4,60	-
Toplam	8	5,90705	-	100	-
R-Sq: %95,40			Adj R-Sq: %81,62		

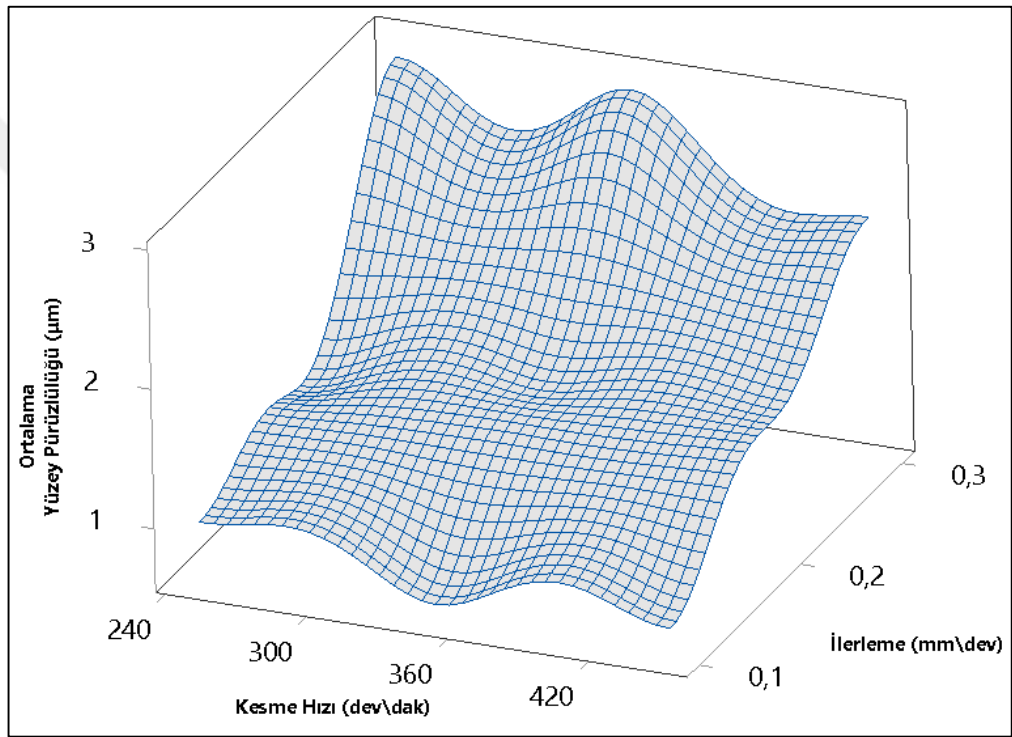
ANOVA sonuçlarına göre ölçülen yüzey pürüzlülüğü, belirlenen kesme parametrelerine göre %81,62 (Adj R-Sq) oranında açıklanabilmektedir (Çizelge 7.2). %18,38'lik açıklanamayan kısmın ise tezgâh titreşimi, uç geometrisi, kaplama türü, malzeme kusurları vb. faktörlere bağlı olarak değiştiği söylenebilir. Parametrelerin tekil analizinde, kesme derinliğinin %0,38, ilerleme hızının %93,94 ve kesme hızının %1,08 oranında yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7.2 – % Etki). İstatistiki anlamlılık değerlerine göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde sadece ilerleme hızı anlamlı sonuç vermektedir (Çizelge 7.2 – p).

Şekil 7.1'de verilen kesme parametrelerinin Taguchi analizine bakıldığında ANOVA sonuçlarına göre tespit edilen en önemli etken faktörün kesme parametreleri içerisinde ilerleme olduğu doğrulanmakta ve sonuçlar birbiriyle örtüşmektedir. Burada açıklanması gereken kısım kesme derinliği ve kesme hızının neden bu kadar düşük etkilere sahip olduğudur.

Kesme derinliği ve kesme hızı etkilerinin az olmasının sebebi tekerlek malzemesi, kesici uç geometrisi ve kesici ucun talaş kırma formu ile açıklanabilmektedir. İlerleme yüzey kalitesinin bir fonksiyonudur ve yüzey kalitesinin karesiyle doğru orantılıdır. Bu nedenlerden dolayı kesme hızı kesme parametreleri içerisinde etkisizdir. Fakat kesme derinliği iyi yüzey elde etmede önemli olabilen bir faktördür. Derinlik arttıkça kesilen yüzey artacağından ve buna bağlı talaş kırıcılığı değişeceğinden ortalama yüzey pürüzlülüğü değişecektir. İşlenen (tekerlek) malzemenin 250 Brinell civarı bir sertliğe sahip olması (Çizelge 3.3 ve 3.4) ve kesici takımın kaplamasının aşınmaya karşı dayanıklı olması sebebiyle kesme derinliği etkisi en az görülmüştür. Kesici takımın geometrisi ve yapısı itibarıyla üzerinde bulundurduğu talaş kırma formları (Şekil 6.4) vasıtasıyla zorlayıcı etkenler azalmış ve istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmede bu faktör en etkisiz sonuç olarak ortaya çıkmıştır.

7.2.2. İlerleme – Kesme Hızı ve İlerleme – Kesme Derinliği Parametrelerinin Etkileşimli Olarak Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Yapılan deneyler sonucunda daha net bilgiye ulaşılabilmesi amacıyla faktörlerin birbirine göre davranışının incelenmesi gerekmektedir. ANOVA tablosuna göre (Çizelge 7.2) yüzey pürüzlülüğü üzerinde en yüksek etkiyi gösteren parametrenin ilerleme olması sebebiyle sadece ilerleme – kesme hızı ve ilerleme – kesme derinliği etkileşimleri grafiksel olarak analiz edilmiştir.

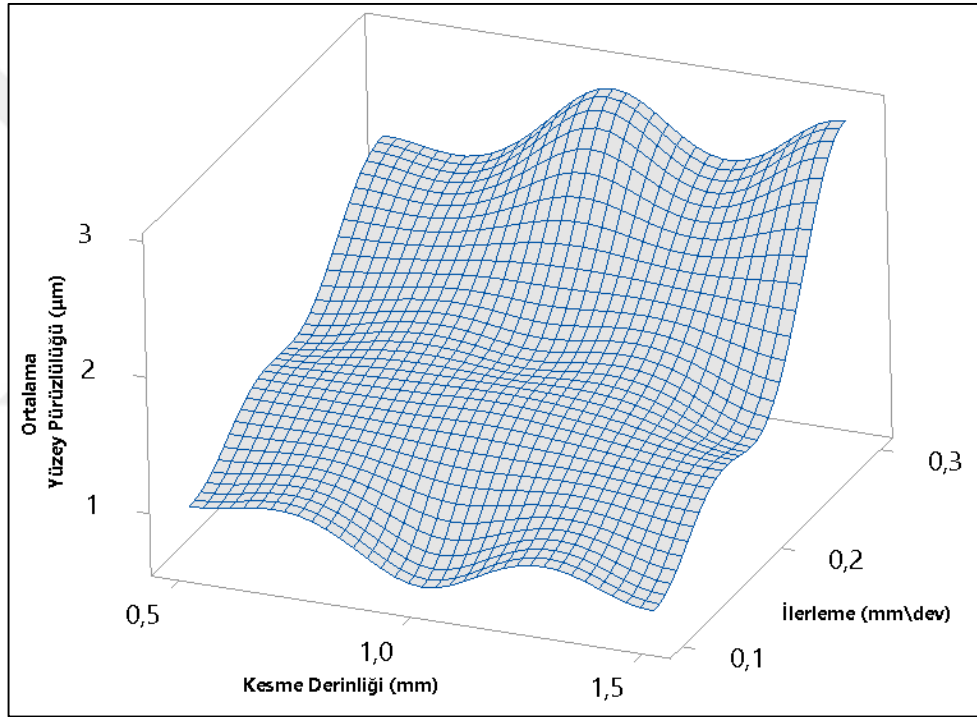


Şekil 7.2. İlerleme – kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne göre etkileşimli grafiği.

Şekil 7.2’de verilen ilerleme – kesme hızı etkileşim grafiğine göre elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Yüksek ilerleme hızında ($v_{ilerleme} > 0,2$) kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi daha belirgin hale gelmektedir.
- Yüksek ilerleme hızında kesme hızının değeri arttıkça yüzey kalitesi artmaktadır. Bu duruma göre daha iyi yüzey elde edebilmek için ilerleme arttıkça kesme hızının da artırılması gerekmektedir.

- Düşük ilerleme hızlarında ($v_{ilerleme} \leq 0,2$) ise kesme hızı değişiminin yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin ve anlamlı bir trend göstermediği görülmektedir. Bu sebeple düşük ilerleme hızında birim zamanda daha fazla talaş kaldırılabilmesi için yüksek kesme hızında çalışılabilir.
- İlerleme ve kesme hızına göre optimum kesme parametresi belirlenmek istenirse ilerleme için 0.1 mm/dev, kesme hızı için de 360 dev/dak veya 420 dev/dak parametreleri tercih edilebilir.



Şekil 7.3. İlerleme – kesme derinliği yüzey pürüzlülüğüne göre etkileşimli grafiği.

Şekil 7.3’de verilen ilerleme – kesme derinliği etkileşim grafiğine göre elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Yüksek ilerleme hızında ($v_{ilerleme} > 0,2$) kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi daha belirgin hale gelmektedir.

- Yüksek ilerleme hızında kesme derinliğinin değeri azaldıkça yüzey kalitesi artmaktadır. Bu duruma göre daha iyi yüzey elde edebilmek için ilerleme arttıkça kesme derinliğinin de azaltılması gerekmektedir.
- Düşük ilerleme hızlarında ($v_{ilerleme} \leq 0,2$) ise kesme derinliğinin değişimi yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin ve anlamlı bir trend göstermediği görülmektedir. Bu sebeple düşük ilerleme hızında daha iyi yüzey elde edilebilmesi için kesme derinliği 1 – 1,5 mm aralığında çalışılabilir.
- Analiz sonucu kesme derinliğinin optimum değerinin yüksek çıkması işlenebilirlik açısından tezat bir durumdur. Bu durum işlenebilirliğin enerji balansı ile açıklanabilir. Kesme işlemleri esnasında yüksek kesme derinliği ile çalışıldığında kuvvet, güç ve enerji artacağından malzemede bir miktar sıcaklık artışı beklenir. Bu artış sonucunda malzemenin akma ve çekme değerleri düşer ve malzeme daha rahat işlenir. Tüm bu nedenlere bağlı olarak yüzey kalitesinde bir miktar artma gözlenebilmektedir.
- İlerleme ve kesme derinliğine göre optimum kesme parametresi belirlenmek istenirse ilerleme için 0.1 mm/dev, kesme derinliği için de 1 mm – 1.5 mm aralığında parametreler tercih edilebilir.

7.3. TAGUCHI ANALİZİ İÇİN OPTİMİZASYON VE REGRESYON DENKLEMİNİN ELDE EDİLMESİ

Her faktör için hesaplanan S/N oranının en yüksek olduğu değer, en iyi deney sonucunu (yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu deney sonucunu) göstermektedir. S/N oranları kullanılarak her bir kesme parametresi için belirlenen optimum noktadaki yüzey pürüzlülüğü hesaplanabilir. Elde edilen optimum yüzey pürüzlülüğü sonuçları Çizelge 7.3'te gösterilmektedir. Çizelge 7.3'te elde edilen optimum veriler ticari istatistiksel paket program Minitab 18 vasıtasıyla elde edilmiştir.

Çizelge 7.3. Optimum seviyeler.

Parametre	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme (mm\dev)	Kesme Hızı (dev\dak)	Optimum S/N Oranı	Optimum Değer(μm)
R _a (μm)	1,5	0,1	450	2,43078	0,7094

ER8 tren tekerleği malzemesinin iç göbeğinin dik tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğü için optimum nokta 450 dev/dak (3. Seviye) kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme (1. Seviye), 1,5 mm talaş derinliği (3. Seviye) olmaktadır (Bkz. Şekil 7.1). Bu optimum noktada oluşması beklenen S/N oranı 2,43078, beklenen yüzey pürüzlülüğü değeri 0,7094 μm olarak bulunmuştur.

Optimum değerlerin tespitinde kullanılacak bir diğer yöntem ise regresyon denkleminin elde edilmesidir. Regresyon denklemi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ifade eder. Deneysel olarak elde edilen noktaları temsil eden en iyi eğriyi bulma işleminde genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılır. En küçük kareler yöntemi, hataların kareleri toplamı minimum olacak şekilde bir eğri denklemini bulma esasına dayanmaktadır [29].

Yüzey pürüzlülüğü denklemlerinin geliştirilmesinde kesme parametrelerinin etkilerini içeren birinci dereceden denklemler oluşturulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü; devir sayısının, ilerlemenin ve talaş derinliğinin lineer bir kombinasyonu olduğu düşünülürse, yüzey pürüzlülüğünü veren denklemler aşağıdaki gibi olacaktır:

$$R_a = a_0 + a_1 * a_p + a_2 * f - a_3 * n \quad (7.1)$$

Bu denklemlerde a_0 , a_1 , a_2 ve a_3 katsayılarıdır, ϵ ise hatadır ve Minitab 18 yazılımı yardımıyla bulunmuştur.

Yüzey pürüzlülüğü için regresyon denklemi:

Yüzey Pürüzlülüğü (μm) = 0,019+ 0,077 Kesme Derinliği (mm)
+ 9,40 İlerleme (mm/dev) – 0,00096 Kesme Hızı (dev/dak)

$$R_a = 0,019 + 0,077 * a_p + 9,40 * f - 0,00096 * n \quad (7.2)$$

R-Sq = %90,81 R-Sq(adj) = %85,29

Denklemlerde R_a yüzey pürüzlülüğünü, n devir sayısını, f ilerlemeyi, a_p talaş derinliğini ifade etmektedir. Çoklu regresyon analizinde, regresyon katsayısı R^2 (R-Sq)'nin 0.80'den büyük olması modelin istatistiki olarak yeterli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü için geliştirilen matematiksel model istatistiki olarak anlamlıdır ve yüzey pürüzlülüğü verilerini açıklamada yeterlidir.

7.4. TAGUCHİ ANALİZİ VE REGRESYON DENKLEMLERİ İÇİN GÜVENİLİRLİK TESTİ

Güvenilirlik testleri Taguchi deney tasarımında elde edilen optimum nokta, deney parametrelerinden rastgele seçilen noktalar ve regresyon analizi için uygulanmıştır. Güvenilirlik deneylerinin sonuçları Çizelge 7.4'te görülmektedir. Regresyon değerleri Denklem 7.2'ye göre hesaplanmıştır.

Çizelge 7.4'te deneysel verilerle kıyaslanan Taguchi tahmini verilerinin ve regresyon denkleminde elde edilen verilerin birbirlerine yakın oldukları görülmektedir. Güvenilir istatistiksel analizler için hata oranları %20'den düşük olmalıdır [29]. Elde ettiğimiz değerler güven aralığında kaldığından dolayı deneysel çalışma kabul edilebilir düzeydedir. Taguchi metodunun hata payı ortalaması ile regresyon denkleminde elde edilen sonuçların hata payı ortalaması sırasıyla %4,96 ve %11,74 şeklinde hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar Taguchi metodunun regresyon denklemine göre daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Çizelge 7.4. Güvenilirlik deneyleri.

		Taguchi metodu için			Regresyon denklemleri için		
Nokta		Yüzey pürüzlülüğü (μm)			Yüzey pürüzlülüğü (μm)		
		Deneysel	Hesaplanmış	Hata (%)	Deneysel	Hesaplanmış	Hata (%)
Optimum	$a_p = 1,5$ $f = 0,1$ $n = 450$	0,7723	0,7094	8,14	0,7723	0,6425	16,80
Rastgele	$a_p = 1$ $f = 0,3$ $n = 250$	2,8897	2,8267	2,18	2,8897	2,6760	7,30
Rastgele	$a_p = 0,5$ $f = 0,2$ $n = 350$	1,4413	1,3784	4,56	1,4413	1,6015	11,12
Ortalama Hata	Taguchi için			4,96	Regresyon için		11,74

7.5. İŞLEME ZAMANI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ PARAMETRELERİNE BAĞLI OPTİMİZASYON

Talaşlı imalatta daha iyi yüzey kalitesi elde edilebilmesi için işleme zamanı artmakta ve buna bağlı olarak proses maliyeti de artmaktadır. Yapılan deneylerin yorumlanabilmesi adına gerçekleştirilen optimizasyon ve regresyon analizleri sonucunda, UIC standartları tarafından belirlenen değerlerden ($R_a: 0,8 - 3,2 \mu\text{m}$) daha düşük bir yüzey pürüzlülük değeri optimum olarak tespit edilmiştir ($R_a: 0,7723 \mu\text{m}$). Burada tespit edilen optimum değer deney tasarımına aittir. Fakat tren tekerleği sıkı geçme montajı için UIC tarafından belirlenen standart $0,8 - 3,2 \mu\text{m}$ arasındadır. Böyle bir aralıkta olmasının sebebi malzemenin montaj esnasında belirli bir sürtünmeye ihtiyaç duymasından kaynaklıdır. Bu sebeple belirlenmiş aralıkta optimum noktanın tespiti için işlenebilirlik süresi de dikkate alınarak grafik tabanlı bir optimizasyon

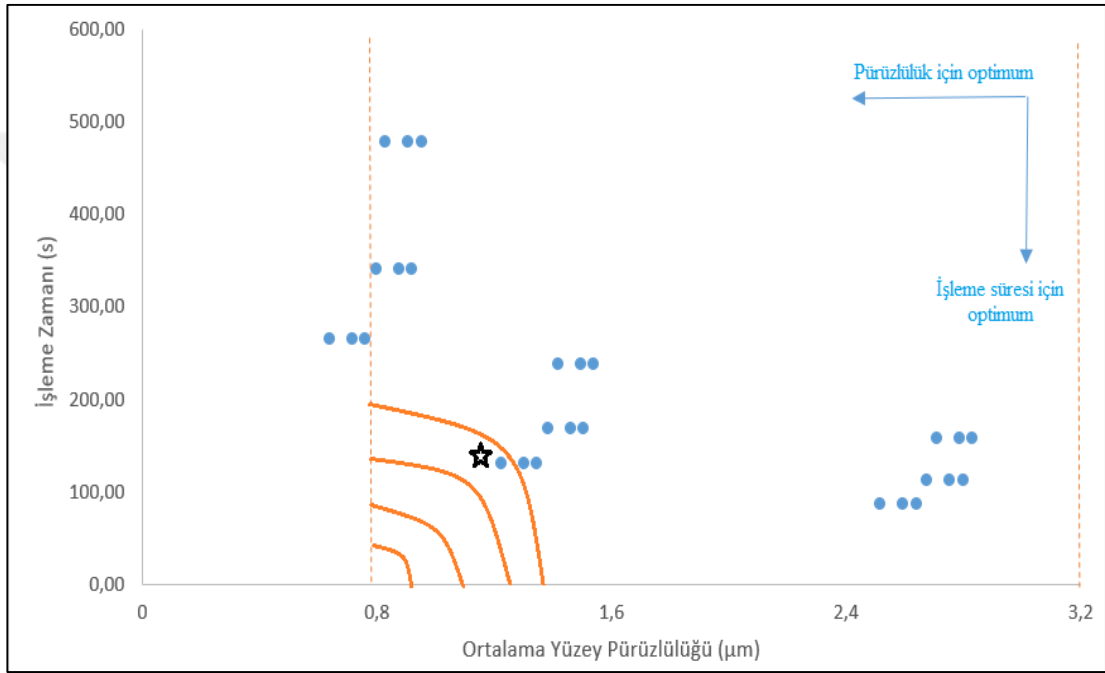
çalışması yapılmıştır. Şekil 7.4'te verilen grafikte yüzey pürüzlülüğü için belirlenmiş aralık değerlerinde sürenin minimum seviyede olduğu nokta optimum işlenebilirlik parametrelerini veren değer olarak tespit edilmiştir.

Değerlerin tespiti için Taguchi Full Factor analizi tercih edilmiştir. Bu analiz sonucunda gerçekleştirilmeyen ara deneyler, tahmin metodu kullanılarak yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir (Çizelge 7.5).

Çizelge 7.5. Taguchi Full Factor analizi ile elde edilen yüzey pürüzlülük ve işleme süresi değerleri.

Deney No	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme (mm/dev)	Kesme Hızı (dev/dak)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Süre (sn)
1	1	0,1	350	0,9137	342,86
2	1,5	0,1	450	0,7094	266,67
3	1,5	0,3	250	2,7815	160,00
4	1	0,2	250	1,5336	240,00
5	0,5	0,2	450	1,2192	133,33
6	1,5	0,1	350	0,8685	342,86
7	0,5	0,2	250	1,4117	240,00
8	0,5	0,1	450	0,6327	266,67
9	0,5	0,3	450	2,5124	88,89
10	1	0,3	250	2,8267	160,00
11	1	0,2	450	1,3411	133,33
12	1	0,1	450	0,7546	266,67
13	1	0,3	450	2,6343	88,89
14	1,5	0,2	450	1,2959	133,33
15	1,5	0,3	350	2,7481	114,29
16	0,5	0,3	350	2,6715	114,29
17	0,5	0,1	250	0,8251	480,00
18	1,5	0,3	450	2,589	88,89
19	1,5	0,2	250	1,4884	240,00
20	0,5	0,3	250	2,7048	160,00
21	1	0,1	250	0,9471	480,00
22	1,5	0,1	250	0,9018	480,00
23	0,5	0,1	350	0,7918	342,86
24	0,5	0,2	350	1,3784	171,43
25	1,5	0,2	350	1,455	171,43
26	1	0,3	350	2,7934	114,29
27	1	0,2	350	1,5003	171,43

Çizelge 7.5'te elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile beraber ilerleme ve kesme hızı parametreleri dikkate alınarak işleme süreleri de hesap edilmiştir. Şekil 7.4'te süre ve yüzey pürüzlülük değerlerine göre oluşturulmuş grafikte diyagonal alan çizgileri vasıtasıyla en az işleme süresi (133,33 sn) içinde elde edilen en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri (1,2192 μm) optimum değer olarak Çizelge 7.5'te gösterilen 5. deneyde (0,5 mm kesme derinliği, 0,2 mm/dev ilerleme ve 450 dev/dak) tespit edilmiş ve grafikte işaretlenmiştir.



Şekil 7.4. Taguchi Full Factor analizi ile elde edilen optimum nokta.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kimyasal özellikleri (Çizelge 3.1 – 3.2) ve sertlik değeri (Çizelge 3.3) verilen ER8 sınıfındaki Yüksek Hızlı Tren (YHT) tekerleğinin Sandvik Coromant firmasına ait tren tekerleği iç göbeğinin tornalanması için üretilmiş 4315 model finish tipi kesici takımlarla işlenmesinde kesme parametrelerinin (kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızı) ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Her bir kesme işleminden sonra yüzey pürüzlülüğü değeri üç defa ölçülerek ortalama değer belirlenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler çizelgeler ve grafikler yardımıyla (Çizelge 7.1 – 7.5 arası, Şekil 7.1 – 7.4 arası) yorumlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- ER8 yüksek hızlı tren tekerleğinin iç göbeğinin finish uçlar ile işlenmesinde, kesme derinliği, ilerleme miktarı ve kesme hızının etkisinin olduğu, en yüksek etkiyi %93,94 ile ilerleme miktarının gösterdiği tespit edilmiştir.
- İlerleme miktarının artmasıyla yüzey kalitesinin bozulduğu ve istenmeyen sınır değerine yaklaştığı tespit edilmiştir (Ra: 0,8 – 3,2 μm).
- Kesme derinliği ve kesme hızı ANOVA analizleri sonucunda sırasıyla %0,38 ve %1,08 oranlarında düşük etkili parametreler olarak tespit edilmiştir (Çizelge 7.2). Fakat ilerleme faktörüyle birlikte kesme hızı ve kesme derinliği parametreleri ilişkisel olarak değerlendirildiğinde ilerleme miktarı arttıkça kesme hızının etkisi daha net bir şekilde gözlemlenmiş ve etkili bir faktör olacağı belirlenmiştir.
- Yapılan deneyler sonucunun kontrol edilmesi adına güvenilirlik analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda Taguchi analizleriyle yaklaşık %5, Regresyon analizleriyle yaklaşık %12 hata ile deneysel sonuçlara yaklaşıldığı

görülmüştür. Bulunan her iki değerde kabul edilen %20 sınırının altında olduğundan deneylerin güvenilir oldukları tespit edilmiştir.

- Deneylerde elde edilen optimum sonuçların proses için istenen değerler (Ra: 0,8 – 3,2 μm) arasında olmadığı tespit edilmiş ve bir proses uygunluk optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.
- Proses ve standart uygunluğunu mühendislik ekonomisi açısından değerlendirebilmek adına yüzey pürüzlülük değerleriyle birlikte işleme süreleri Taguchi Full Factor yöntemi kullanılarak, ara deneylerin üretilmesiyle değerlendirilmiş ve prosese uygun (Ra: 0,8 – 3,2 μm) işlenebilirlik parametreleri 0,5 mm kesme derinliği, 0,2 mm/dev ilerleme ve 450 dev/dak olarak tespit edilmiştir.

ÖNERİLER

- İşlenebilirlik analizi, daha fazla deney yapılarak detaylandırılabilir ve yüzey pürüzlülüğü değerleri kıyaslanabilir.
- Farklı kesici uçların tren tekerleği işlenebilirliği üzerindeki etkileri daha ayrıntılı bir biçimde incelenebilir ve talaş morfolojisine bakılabilir.
- İşlenebilirlik deneylerinin yapıldığı tezgâha uygun dinamometre üretilip kuvvet ölçülebilir ve kuvvete bağlı analizler tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD), “2015 Demiryolu Sektör Raporu”, *TCDD Sektör Raporları*, Ankara, Türkiye (2016).
2. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD), “Hızlı Tren Ray ve Tekerlek Çelikleri”, *TCDD Eğitim Notları*, Ankara, Türkiye (2017).
3. International Union of Railway (UIC), “UIC 812-3 Standard, (Technical Specification for The Supply of Solid (Monobloc) Wheels in Rolled Non-Alloy Steel for Tractive and Trailing Stock)”, *UIC Standards* (1984).
4. Özçatalbaş, Y., “Kesici Takım Aşınması ve İş Malzemesi Mekanik Özelliklerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 4(1), 47-52 (2002).
5. Mickiewicz, A., “The Microstructure and Properties of The New Bainitic Rail Steels”, *Applied Surface Science*, 192-212 (2008).
6. Kılıçlı, V., Motorcu, A. R., Erdoğan, M., Şahin, Y., “Farklı Mikroyapılara Sahip AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Atılabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, *11. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Konferansı (UMTİK 2004)*, 875-890 (2004).
7. Motorcu, A. R., Şahin, Y., “AISI 4140 Çeliğinin Farklı Kaplamalı Karbür ve Sermet Kesici Takımlarla İşlenebilirliği”, *11. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Konferansı (UMTİK 2004)*, 850-865 (2004).
8. Çuğ, H., Candan, E., “Döküm Yöntemiyle Tren Tekerleğinin Üretilirliğinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük (2009).
9. Cetin, M. H., Ozcelik, B., Kuram, E., Demirbas, E., “Evaluation of Vegetable Based Cutting Fluids with Extreme Pressure and Cutting Parameters in Turning of AISI 304L by Taguchi Method”, *Journal of Cleaner Production*, 19, 2049-2056 (2011).
10. Mädler, K., Bannasch, M., "Materials used for wheels on rolling stock." *Deutsche Bahn AG, Technical Centre*, Brandenburg-Kirchmöser, 760-768 (2006).
11. Vuković, V., Radić, R., Čudić, S., “Resurfacing Monoblock of Steel R7t Wheel Rims (MBW) For The Train Wagons”, *Metalurgija*, 50, 2-20 (2011).
12. Zucarelli, T., Moreira F., L., Soares, H., Vieira, M., Reis, L., “Experimental Characterization of The Mechanical Properties of Railway Wheels Manufactured Using Class C Material”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 85, 134-139 (2016).

13. Rende, H., Guven, F., “Sıkı Geçme Bağlantılarında Malzemeye Bağlı Yüzey Pürüzlülüğü Kayıp Katsayısının Belirlenmesi”, *Engineer & The Machinery Magazine*, 56(665), 46-52 (2015).
14. İnternet: Train Wheel, https://en.wikipedia.org/wiki/Train_wheel (2018).
15. İnternet: Wheels World Product Catalog for Railway Wheels, <http://www.wheels-world.com/Wheels/?Show=Photos&AlbumID=3> (2018).
16. Coromant, S., “Demiryolu Tornalama Uygulama Kılavuzu”, *Sandvik Coromant, Türkçe Baskı* (2011).
17. Fajkoš, R., Zima, R., “Evaluation of Effect of Surface Quality of Machined Rail Way Wheels on Fatigue Strength”, *Technical Transactions*, 19-33 (2014).
18. Standard, E., “EN 13262 + A1 Railway Applications Wheelsets and Bogies”, *European Standard* (2009).
19. International Union of Railway (UIC), “Solid Wheels for Tractive and Trailing Stock. Tolerances”, *UIC 812-2-2002 Standard* (2002).
20. Zhang, Z. F., Gao, Z., Liu, Y. Y., Jiang, F. C., Yang, Y. L., Ren, Y. F., & Zhang, X. D., “Computer vision based method and system for online measurement of geometric parameters of train wheel sets.” *Sensors*, 12(1), 334-346 (2011).
21. Coromant, S., “Railway turning – A practical handbook”, *Sandvik Coromant, English Edition*, Sweden (1994).
22. Mineo, C., Cerniglia, D., & Pantano, A., “Numerical study for a new methodology of flaws detection in train axles.” *Ultrasonics*, 54(3), 841-849 (2014).
23. Cannon, D., F. “An international cross reference of rail defects, 2nd edition”, *UIC Rail Defect Management Report* (2003).
24. Okagata, Y., “Design technologies for railway wheels and future prospects” *Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report*, 105 (2013).
25. Yıldız T., “Ti6Al4V alaşımının tornalanmasında işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük (2015).

26. Groover, M. P., “Principles of Modern Manufacturing, 4th Edition”, Çeviri Editörü, Yurdakul, M., İç, Y.T., *Nobel Yayınları*, Ankara (2015).
27. Çakır, C. M., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, 2. Basım”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara (2006).
28. Coromant, S., “Talaşlı İmalat Teknolojisi, Eğitim Kitapçığı” *Sandvik Coromant, Türkçe Baskı* (2011).
29. Çetin, M. H., “Bitkisel Esaslı Kesme Sınırlarının Tornalamadaki Performansının Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze (2010).
30. Bozacı, A., “Makina Elemanları Cilt 1, 2. Baskı”, *Çağlayan Kitabevi*, İstanbul (2005).
31. Çayıroğlu, İ., “Makine Elemanları Ders Notları, Pres (Sıkı) Geçmeler-1” *Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*, Karabük (2016).
32. Montgomery, D. C., “Design and analysis of experiments”, *John wilet & sons*, (2017).

ÖZGEÇMİŞ

Anıl RIDVANOĞULLARI 1992 yılında Hatay'ın İskenderun ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Namık Kemal İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2010 yılında İskenderun Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği Lisans Programı Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2016 yılında onur öğrencisi olarak lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği'nde öğretim elemanı olarak görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (539) 219 0632

E-posta : ridvanogullari.anil@gmail.com