



**FARKLI MEKANİK ÖZELLİKLERDEKİ DÖKME
DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Ahmet TUZER



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI MEKANİK ÖZELLİKLERDEKİ DÖKME DEMİRLERİN
İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Ahmet TUZER
0000-0002-1089-9377

Prof. Dr. Yahya IŞIK
0000-0002-1982-9666
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI MEKANİK ÖZELLİKLERDEKİ DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ahmet TUZER

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yahya IŞIK

Tez çalışmasında farklı mekanik özelliklere sahip küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliği karşılaştırılmıştır. Katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirlerin (SSF) yeni bir malzeme olmasından dolayı, küresel dökme demirlere göre işlenebilirliğinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kesme parametrelerinin her iki malzemede yüzey pürüzlülüğü ve kesici aşınmasına olan etkileri incelenmiştir. Optimum kesme şartlarının belirlenerek daha uzun takım ömrüne ve daha iyi bir yüzey kalitesine ulaşmak hedeflenmiştir. Yapısında bulunan yüksek silisyum nedeniyle tam ferritik yapı gösteren ve parça genelinde homojen ve dar bir aralıkta mekanik özelliklere sahip olan SSF malzemenin, ferritik/perlitik yapıda bulunan ve daha geniş bir aralıkta mekanik özelliklere sahip olan küresel grafitli dökme demirlere göre işleme yönünden avantaj ve dezavantajlarının araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Küresel grafitli dökme demirler, katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirler, işlenebilirlik, ssf, yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü.

2020, x + 119 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

COMPARISON OF MACHINABILITY OF CAST IRONS WITH DIFFERENT MECHANICAL PROPERTIES

Ahmet TUZER

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yahya IŞIK

In this thesis, machinability of ductile graphite cast irons with different mechanical properties were compared. It is aimed to compare the machinability of solid solution reinforced ferritic spheroidal cast irons (SSF) with respect to ductile cast irons, as it is a new material. The effects of cutting parameters on surface roughness and tool wear in both materials were investigated. By determining the optimum cutting conditions, it is aimed to reach a longer tool life and a better surface quality. The advantages and disadvantages of the SSF material, which shows a full ferritic structure due to the high silicon in its structure and has a homogeneous and narrow range of mechanical properties throughout the part, in terms of machining compared to spheroidal graphite cast irons with ferritic / perlitic structure and a wider range of mechanical properties have been investigated.

Key words: Ductile graphite cast iron, solid solution reinforced ferritic spheroidal cast iron, machinability, ssf, surface quality, tool life.

2020, x + 119 pages.

TEŞEKKÜR

Farklı mekanik özelliklere sahip dökme demirlerin işlenebilirliklerinin karşılaştırılması konusunda tezimi belirlerken ve tez hazırlama süreci boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, tezimin bilimsel bir yapı kazanmasında bilgi ve tecrübesinden yararlandığım tez danışmanım Prof. Dr. Yahya IŞIK’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecinde, işlenecek numunelerin üretilmesindeki yardım ve desteklerinden dolayı Döktaş A.Ş. Arge Müdürü Sn. Bülent ŞİRİN’e teşekkürlerimi sunarım.

Numune parçaların OYAK-RENAULT bünyesinde işlenmesi ve ölçümlerinin yapılması konusunda desteğini esirgemeyen başta departman müdürüm Sn. Hüseyin ZENGİN’e, Sn. Halil ONSEKİZOĞLU’na ve Sn. Ozan ÜNLÜ’ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca yaptığı yardımlardan dolayı değerli çalışma arkadaşlarım Mahmut KIZIL’a ve İbrahim BAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet TUZER
30/11/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1 Dökme demir ve türleri	11
2.1.1. Beyaz dökme demirler.....	12
2.1.2. Lamel grafitli dökme demirler	13
2.1.3 Temper dökme demirler	15
2.1.4 Vermiküler grafitli dökme demirler	17
2.2. Küresel grafitli dökme demirler.....	18
2.2.1. Küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması.....	19
2.2.2. Küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementlerin etkileri	20
2.2.3. Küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapı özellikleri.....	23
2.2.4. Küresel grafitli dökme demirlerin üretimi.....	26
2.2.5. Küresel grafitli dökme demirlerin kullanım alanları.....	26
2.3. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirler (SSF).....	27
2.3.1. SSF malzemelerin kimyasal ve mekanik özellikleri	27
2.3.2. SSF malzemelerin üretimi	31
2.3.3. SSF malzemelerin kullanım alanları	32
2.4. Talaşlı imalat	34
2.4.1. Talaşlı imalat yöntemleri.....	34
2.4.2. Talaş kaldırma işlemine etki eden faktörler.....	35
2.4.3. Kesici takımlar ve kesici takım malzemeleri.....	36
2.4.4. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler.....	38
2.4.5. Kesici aşınması ve türleri	41
2.4.6. Kesme Sıvıları.....	44
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	46
3.1. Deney numunelerinin hazırlanması	46
3.2. İş parçasının kimyasal ve sertlik özellikleri	50
3.3. Kesici takım ve takım tutucular	52
3.3.1 Deneylerde kullanılan kesici takım.....	52
3.3.2. Deneylerde kullanılan takım tutucular	53
3.4. Deneylerde kullanılan kesme sıvısı.....	56
3.5. Yüzey pürüzlülük ölçümü	56
3.6. Kesici takım aşınmasının ölçümü	57
3.7. Denemeler esnasında kesici uçtaki sıcaklığın ölçülmesi.....	60
3.8. İşleme parametrelerinin belirlenmesi ve deney şartlarının oluşturulması.....	60
3.9. Taguchi metodu	63
4. BULGULAR	65
4.1. Yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi.....	65

4.1.1. Yüzey pürüzlülük deneylerin sonuçları.....	65
4.1.2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranı yanıt tablosu.....	67
4.1.3. Yüzey pürüzlülüğü varyans analizi (ANOVA)	68
4.1.4. Kesme sıvılı/kuru işlemenin malzeme bazında ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	69
4.1.5. Yanaşma açısının malzeme bazında ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	71
4.1.6. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	73
4.1.7. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	74
4.1.8. Kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	75
4.2. Takım aşınması.....	76
4.2.1. Takım aşınması için S/N Oranı Yanıt Tablosu	79
4.2.2. Takım aşınması varyans analizi (ANOVA).....	80
4.2.3. Yanaşma açısının takım aşınmasına etkisi	81
4.2.4. Kesme sıvılı/Kuru işlemenin takım aşınmasına etkisi	85
4.2.5. İlerleme, kesme hızı ve derinliğin takım aşınmasına etkisi.....	89
4.3. Kesici uç ve iş parçası arayüzeyinde oluşan ısının takım aşınması ile ilişkisi	95
5. SONUÇ	102
KAYNAKLAR.....	105
EKLER.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	119

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
HRC	Rockwell sertliği
HB	Brinell sertliği
Ra	Değerlendirilen profilin aritmetik ortalama sapması (μm)
Rz	Profilin en büyük yüksekliği değerleri ortalaması
BUE	Yığılma talaş oluşumu
CE	Karbon eşdeğeri
$\emptyset$	Çap
μ	Mikron
μm	Mikrometre
m/dk	Metre/dakika
mm/dev	Milimetre/devir
V	Kesme hızı
d	Talaş derinliği
f	İlerleme miktarı
KAPR	Yanaşma açısı
r	Kesici uç radyüsü
Si	Silisyum
C	Karbon
Mg	Magnezyum
Si_3N_4	Silisyum nitrür
Mn	Mangan
P	Fosfor
S	Kükürt
Mpa	Megapaskal
t	Kalınlık
rpm	Revolution per minute (Dakikadaki devir sayısı)
kW	Kilowatt
dB	Desibel
μs	Mikrosiemens

Kısaltmalar Açıklama

SSF	Solid strengthened ferritic ductile iron
KGDD	Küresel grafitli dökme demir
DDK	Dökme demir küresel grafitli
DDL	Lamel grafitli dökme demir
DDTB	Beyaz temper dökme demir
TSE	Türk standartları enstitüsü
CNC	Computer numerical control
PVD	Physical vapor deposition (Fiziksel buhar biriktirme)
CVD	Chemical vapor deposition (Kimyasal buhar biriktirme)
HTCVD	High temperature chemical vapor depositon (Yüksek sıcaklık CVD)
ISO	Uluslararası standartlar teşkilatı
CBN	Kübik bor nitrür
S/N	Sinyal gürültü oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Beyaz dökme demirlerin mikro yapısı (Koç 2018).....	13
Şekil 2.2. Lamel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Ding ve ark. 2018)	14
Şekil 2.3. Temper dökme demirlerin mikro yapısı (Anonim 2015a).....	16
Şekil 2.4. Vermiküler dökme demirlerin mikroyapısı (Çetin 2016b).....	17
Şekil 2.5. Ferritik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Çetin 2016c).....	23
Şekil 2.6. Ferritik-Perlitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Çetin 2016c)	24
Şekil 2.7. Perlitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Anonim 2000a).....	24
Şekil 2.8. Martenzitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Anonim 2000a).....	25
Şekil 2.9. Östenitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Anonim 1990a) ...	25
Şekil 2.10. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Çetin 2016a)	29
Şekil 2.11. KGDD(b) ve SSF(a) akma dayanımının kopma dayanımına oranlarının karşılaştırılması (EN 1563 2012).....	29
Şekil 2.12. KGDD(a) ve SSF(b) dökme demirlerin aynı sertlikte vermiş oldukları akma dayanımlarının karşılaştırılması (EN 1563 2012)	30
Şekil 2.13. KGDD(a), SSF(b), besleyiciler büyütülmüş SSF(c) dökme demirlerin simülasyon sonrası çekinti adı verilen iç boşluklarının karşılaştırılması.....	32
Şekil 2.14. SSF malzeme ile dökülmüş biçerdöver makinesinde kullanılan arka aksı...	33
Şekil 2.15. SSF malzeme ile dökülmüş traktör aksonu	33
Şekil 2.16. SSF malzeme ile dökülmüş körüklü otobüs aks dingili	33
Şekil 2.17. Yüzey pürüzlülük cihazı ve iç yapısı	39
Şekil 2.18. Ra ortalama yüzey pürüzlülük grafik gösterimi.....	39
Şekil 2.19. Rz-tepe dip mesafe pürüzlülük grafiği	40
Şekil 2.20. Serbest yüzey aşınması (Anonim 1990b)	42
Şekil 2.21. Krater aşınması (Anonim 1990b).....	42
Şekil 2.22. Talaş yığılması (Anonim 1990b)	43
Şekil 2.23. Çentik aşınması (Anonim 1990b)	43
Şekil 2.24. Plastik deformasyon (Anonim 1990b).....	44
Şekil 2.25. Termal çatlaklar (Anonim 1990b).....	44
Şekil 2.26. Kesme sıvısı maliyetinin toplam üretim maliyeti içerisindeki yeri (Çakır 2017)	45
Şekil 3.1. Deney numuneleri	46
Şekil 3.2. Deney numunesinin aynaya bağlanma konumları	47
Şekil 3.3. Deney numunesinin tornalama öncesi yapılan hazırlığı.....	48
Şekil 3.4. Deney numunesinin aynaya bağlı hali.....	48
Şekil 3.5. Mazatrol 640T Cnc torna tezgâhı.....	49
Şekil 3.6. Mazatrol 640T CNC torna tezgâhı program sayfası.	50
Şekil 3.7. (A) EN GJS 500/7 (KGDD) ve (B) EN GJS 500/14(SSF) mikro yapıları	51
Şekil 3.8. TNMG 16 04 08-PF 4205 karbür kesici uç	52
Şekil 3.9. TNMG 16 04 08-PF 4205 karbür kesici uç geometrisi	53
Şekil 3.10. TNMG 16 04 08-PF 4205 karbür kesici uç yapısı	53
Şekil 3.11. Mitsubishi marka MTJNR2525M16N kodlu 93° yanaşma açılı takım tutucu	54
Şekil 3.12. MTJNR2525M16N kodlu 93° yanaşma açılı takım tutucu geometrisi	54
Şekil 3.13. MTENN 2525 M16 kodlu 60 ° yanaşma açılı takım tutucu	55

Şekil 3.14. MTENN 2525 M16 kodlu 60 ° yanaşma açılı takım tutucu geometrisi	55
Şekil 3.15. Mahr yüzey pürüzlülük cihazı	57
Şekil 3.16. Nikon SMZ800 marka binoküler mikroskop	58
Şekil 3.17. Nikon SMZ800 marka binoküler mikroskop ile ölçülmüş kesici aşınma fotoğrafı	58
Şekil 3.18. ZOLLER GENİUS 3S marka üniversal ölçüm tezgâhında ölçülmüş kesici aşınması	59
Şekil 3.19. ZOLLER GENİUS 3S marka üniversal ölçüm tezgâhı	59
Şekil 3.20. BOSCH GIS 1000 marka ısı detektörü	60
Şekil 3.21. İş parçasının tornalama öncesinde ve sonrasındaki hali	63
Şekil 4.1. Kesme parametrelerin S/N oranları	68
Şekil 4.2. Kesme sıvılı/Kuru kesme şartlarının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisi	70
Şekil 4.3. İlerleme miktarının kesme sıvılı/kuru kesme şartlarında yüzey pürüzlülüğüne etkisi	71
Şekil 4.4. Yanaşma açısının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisi	72
Şekil 4.5. İlerleme miktarının farklı yanaşma açılarında yüzey pürüzlülüğüne etkisi. ..	73
Şekil 4.6. İlerleme miktarının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisi	74
Şekil 4.7. Kesme hızlarının ilerleme miktarlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etkisi	75
Şekil 4.8. Kesme derinliğinin ilerleme miktarlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etkisi ..	76
Şekil 4.9. Kesme parametrelerinin S/N oranına etkisi	80
Şekil 4.10. Yanaşma açısının ortalama takım aşınmasına etkisi	82
Şekil 4.11. Yanaşma açısının malzeme bazında takım aşınmasına etkisi	83
Şekil 4.12. Yanaşma açısının ilerleme miktarına göre takım aşınmasına etkisi	84
Şekil 4.13. Yanaşma açısı ve kesme hızının takım aşınmasına etkisi	85
Şekil 4.14. Kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının takım aşınmasına etkisi	86
Şekil 4.15. Kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının malzeme bazında takım aşınmasına etkisi	87
Şekil 4.16. Kesme sıvılı/kuru kesme şartlarında oluşan takım aşınmasına yanaşma açısının etkisi	88
Şekil 4.17. Kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının farklı ilerleme seviyelerindeki aşınmaya etkisi	89
Şekil 4.18. İlerleme miktarının takım aşınmasına etkisi	90
Şekil 4.19. Kesme hızının takım aşınmasına etkisi	91
Şekil 4.20. Derinlik miktarının takım aşınmasına etkisi	92
Şekil 4.21. İlerleme ve kesme hızının takım aşınmasına etkisi	93
Şekil 4.22. İlerleme ve derinliğin takım aşınmasına etkisi	94
Şekil 4.23. Kesme hızı ve derinliğin takım aşınmasına etkisi	95
Şekil 4.24. Kesme parametrelerinin takım ve iş parçası ara yüzeyinde oluşan ısıya etkinin S/N oranı	98
Şekil 4.25. Derinlik miktarının takım ve iş parçası ara yüzünde oluşan sıcaklığa etkisi.	99
Şekil 4.26. İlerleme miktarının kesme süresine etkisi	100
Şekil 4.27. İlerleme miktarının takım ve iş parçası ara yüzünde oluşan sıcaklığa etkisi	101

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Beyaz dökme demirlerin kimyasal analizi (Sağlam 2009).....	13
Çizelge 2.2. Lamel grafitli dökme demirlerin TSE'ye göre sınıflandırılması (Anonim 2013c).....	14
Çizelge 2.3. Lamel grafitli dökme demirlerin dünya standartları tablosu (Anonim 2013c).....	14
Çizelge 2.4. Lamel grafitli dökme demirlerin kimyasal analizi (Anonim 2016)	15
Çizelge 2.5. Temper dökme demirlerin mekanik özellikleri (Anonim 2000a)	16
Çizelge 2.6. Temper dökme demirlerin kimyasal analizi (Anonim 2015b)	17
Çizelge 2.7. Vermiküler dökme demirlerin ISO 16112 standardına göre sınıflandırılması (Çetin 2016b).....	18
Çizelge 2.8. Küresel grafitli dökme demirlerin Türk standartlarına göre sınıflandırılması (Anonim 2000a).....	19
Çizelge 2.9. Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 Avrupa standartlarına göre sınıflandırılması (Çetin 2016c).....	20
Çizelge 2.9. Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 Avrupa standartlarına göre sınıflandırılması (Çetin 2016c) (Devam)	20
Çizelge 2.10. Küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal analizi (Anonim 2015c)	22
Çizelge 2.11. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal analizi (Demirlek 2013)	27
Çizelge 2.12. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri (Demirlek 2013)	28
Çizelge 2.13. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin sertlik değerleri (EN 1563 2012).....	31
Çizelge 3.1. İş parçasının aynaya bağlanma değerleri.....	47
Çizelge 3.2. İş parçalarının kimyasal analizi	51
Çizelge 3.3. İş parçalarının sertlik değerleri	51
Çizelge 3.4. İş parçalarının mikroyapı değerleri	51
Çizelge 3.5. TNMG 16 04 08-PF 4205 karbür kesici ucun özellikleri.....	53
Çizelge 3.6. MTJNR2525M16N kodlu 93° yanaşma açılı takım tutucunun özellikleri.	55
Çizelge 3.7. MTENN 2525 M16 kodlu 60° yanaşma açılı takım tutucunun özellikleri	56
Çizelge 3.8. MEVAG ESTRA kesme sıvısı ölçüm değerleri	56
Çizelge 3.9. Taguchi deneyi için seçilen kriter ve seviyeler.....	61
Çizelge 3.10. Taguchi L ₃₆ deney tasarımı.....	61
Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları ve S/N oranları	65
Çizelge 4.2. Yüzey pürüzlülük S/N oranı yanıt tablosu	67
Çizelge 4.3. Yüzey pürüzlülük varyans analizi sonuçları.....	69
Çizelge 4.4. Takım aşınması ölçüm sonuçları ve S/N oranları	77
Çizelge 4.5. Takım aşınması S/N oranı yanıt tablosu.....	79
Çizelge 4.6. Takım aşınması varyans analizi sonuçları	81
Çizelge 4.7. Kesme sıcaklığı ve süreleri.....	96
Çizelge 4.8. Kesme parametrelerinin sıcaklık S/N yanıt tablosu	97

1. GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler, yapılarındaki grafitlerin küresel olmasından dolayı sfero döküm olarak da bilinirler. İkinci dünya savaşı yıllarında çokça kullanılan gri dökme demirin kırılğan bir malzeme olması, yapısında bulunan grafitin yapraksı ve ince uçlu olmasına bağlanmış ve 1948 yılında yapısındaki grafitleri küresel olan yeni bir malzeme keşfedilmiştir (Anonim 2013a). Gri dökme demirlerden daha mukavemetli, daha sünek ve yüksek uzamaya sahip bu malzemenin üretimi 1948 yılından günümüze kadar artarak devam etmektedir. 2017 Dünya döküm sayım sonuçlarına göre dünyadaki toplam döküm üretiminin %24'ünü küresel grafitli dökme demirler oluşturmaktadır (Wetzel ve ark. 2018).

Sıvı metale belirli oranda magnezyum veya seryum ilavesi ile elde edilen küresel grafitli dökme demirler, madencilik, metalürji, makine, otomotiv, tarım, inşaat ve kimya sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Madencilik sektöründe kırıcı gövdeler, metalürji sektöründe kalıplama dereceleri ve cüruf potaları, makine endüstrisinde dişli, aks, kalıp, otomotiv endüstrisinde krank milleri, bilezikler, diferansiyel dişli kutuları, tarımda traktör pedalları, aks dingilleri, inşaatta yağmur suyu ızgaraları küresel grafitli dökme demir malzemesinden üretilmektedir (Anonim 2020).

Küresel grafitli dökme demirlerin matris yapıları ferrit, perlit veya ferrit-perlit karışımı şeklindedir. Yüksek perlit oranı, malzemenin daha mukavemetli ama düşük bir uzamaya sahip olmasını, yüksek ferrit oranı ise malzemenin daha az mukavemetli, yüksek bir uzamaya ve iyi bir işlenebilirliğe sahip olmasını sağlamaktadır (Anonim 2013a). Küresel grafitli dökme demirlerin üretiminde istenen mekanik özelliklerin sağlanması ferrit/perlit oranının ayarlanması ile yapılmaktadır. İstenilen ferrit/perlit oranı kimyasal kompozisyondaki değişiklik ile sağlanmaktadır. Ferrit/perlit oranını etkileyen diğer bir durum ise soğuma hızıdır ki döküm sektöründeki en önemli problemlerden biri olan parça üzerinden homojen olmayan mekanik özelliklere sebep olmaktadır. Farklı kesit kalınlıklarından oluşan parçanın, daha ince olan kısımları hızlı soğuduğu için daha fazla perlit oranına sahip olmaktadır. Perlit oranının parça genelinde farklılık göstermesi geniş bir aralıkta parça sertliği, uzama ve mukavemet oluşturmaktadır. Aralığın geniş

olması istenilen mekanik özelliklerin yakalanmasını zorlaştırmakla beraber parçanın işlenebilirliğini de olumsuz etkilemektedir (Çetin 2016a).

Son dönemlerde, özellikle otomotiv sektöründe, daha mukavemetli, daha güçlü ama bir o kadar da hafif malzemelere olan ihtiyaç, yeni bir malzemenin doğmasını sağlamıştır. Katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demir (solid solution strengthened ferritic ductile iron, SSF) olarak isimlendirilen bu malzeme, küresel grafitli dökme demire kıyasla yüksek silisyum içermektedir. Bu içerik malzemenin daha yüksek akma mukavemetine ve daha yüksek uzamaya sahip olmasını sağlamıştır. Akma mukavemetinin yüksek olması, özellikle otomotiv sektöründe, parça ağırlığını hafifletmeye yönelik daha ince kesit kalınlığa sahip ve de daha mukavemetli parçaların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu malzeme 2012 yılında EN 1563 standardında yerini almıştır. Küresel dökme demirler, ferritik yapıdan perlitik yapıya doğru olacak şekilde EN-GJS-400/15, EN-GJS-500/7, EN-GJS-600/3 şeklinde standartta tanımlanmışlardır. Yani 400 MPa çekme mukavemetine karşılık %15 uzama sağlarken, 500 MPa çekme mukavemetine karşılık %7 uzama, 600 MPa gibi yüksek bir çekme mukavemetine karşılık da %3 gibi düşük bir uzama sağlamaktadır. Katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirler ise standartta EN-GJS-500/14, EN-GJS-600/10 şeklinde tanımlanmışlardır. Yani 500 MPa çekme mukavemetine karşılık %14 uzama, 600 MPa çekme mukavemetine karşılık %10 uzama sağlamaktadır. Matris yapıları tamamen ferritiktir. Ferritik yapı olduğundan dolayı yüksek uzama sağlanırken, aynı zamanda yüksek silisyum nedeniyle parça genelinde homojen sertlik ve yüksek akma mukavemeti de sağlanmış olmaktadır. Homojen mekanik özelliklerin sağlanması, istenilen mekanik özelliklerin karşılanması kolaylaştırırken aynı zamanda parçanın işlenebilirliğini de olumlu yönde etkilemektedir. (EN 1563 2012)

İşlenebilirlik, parça maliyetlerinde hesaba katılması gereken en önemli konulardan biridir. Talaşlı imalatı iyi bir işlenebilirliğin sağlanması için düşük güç tüketimi, iyi bir yüzey kalitesi ya da istenilen yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü gibi kriterlerin sağlanması gerekmektedir. Bu kriterlerin sağlanmasında parçanın mekanik özellikleri, ısıtılma işlem prosesi gibi parametrelerin yanı sıra kesici takım malzemesi, kesici takım

geometrisi, işleme operasyon tipi, kesme parametreleri ve kesme sıvısı gibi değişkenlerin önemi çok büyüktür. (Groover 2010)

Bu çalışmanın konusu Katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirlerin (SSF) işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılmasıdır. Deneyde kullanılacak SSF malzemesi olarak EN GJS 500/14 SSF seçilmiştir. Bu malzemenin işlenebilirliğini karşılaştırmak amaçlı küresel grafitli dökme demir malzemesi olarak da EN GJS 500/7 seçilmiştir. Her iki malzemedan 75 mm çapında 300 mm uzunluğundaki silindir bloklar dökülerek, farklı kesme parametreleri ve farklı kesici takımların kesme sıvılı/kuru kesme şartlarında, takım ömrü ve yüzey pürüzlülük değerlerine olan etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneylerde kesici takım malzemesi olarak CVD TiCN+AL₂O₃+TiN kaplamalı karbür kesici uç kullanılmıştır. Üç farklı kesme hızı (200, 250, 300 m/dk), üç farklı ilerleme (0,1-0,2 ve 0,3 mm/dev), üç farklı derinlik (0,5-1 ve 1,5 mm) seçilmiştir. Torna makinesinde kuru ve kesme sıvılı kesme şartlarında, 60° ve 93° yanaşma açıları ile yapılan denemeler Taguchi metodu ile belirlenmiştir. Taguchi L36 deney tasarımına göre CNC torna tezgahında yapılan kesme deneyleri sonucunda takım ömrü ve yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Ayrıca infrared termometre kullanılarak yapılan sıcaklık ölçümü ile kesme sırasında çıkan sıcaklıkların takım ömrüne olan etkisinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirlerin (SSF) yeni bir malzeme olmasından dolayı, küresel dökme demirlere göre işlenebilirliğinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Optimum kesme şartlarının belirlenerek daha uzun takım ömrüne ve daha iyi bir yüzey kalitesine ulaşmak hedeflenmektedir. Yapısında bulunan yüksek silisyum nedeniyle tam ferritik yapı gösteren ve parça genelinde homojen ve dar bir aralıkta mekanik özelliklere sahip olan SSF malzemenin, ferlitik/perlitik karışımı yapıda bulunan ve daha geniş bir aralıkta mekanik özelliklere sahip olan küresel grafitli dökme demirlere göre işleme yönünden avantaj ve dezavantajlarının araştırılmasıdır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde Küresel dökme demirlerin işlenebilirliği ile alakalı çok sayıda çalışma mevcuttur. Gri dökme demirlere göre üstün mekanik özelliklere sahip olması, kullanım alanının artmasına olanak sağladığı gibi işlenebilirliği hakkında da daha çok çalışma yapılmasını sağlamıştır.

İkinci nesil olarak da adlandırılan ve yeni bir malzeme olan katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirler ile alakalı çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Yapılan çalışmaların büyük bir kısmı bu malzemenin mekanik özelliklerine yönelik çalışmalardır. Yapılan çok az sayıda işlenebilirlik çalışması, bu malzeme ile alakalı daha çok işlenebilirlik deneylerinin yapılmasına ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Torre ve ark. (2014) yaptıkları bir çalışmada 25 adet ferritik dökme demir çubuğu mekanik özellikler açısından karşılaştırmıştır. 9 adet çubuğun Si miktarı %3'ün üzerinde ve C miktarı ise %3,60'ın altındadır. Yapılan çekme çubuğu testlerine göre, Si oranı arttıkça Akma, Çekme dayanımları ve sertlikte artış olduğu, uzama ve darbe özellikleri bakımından azalma olduğu görülmüştür.

Nová ve ark. (2009) SSF malzemenin parça genelindeki sertlik dağılımını görmek amacıyla yaptıkları bir deneyde, %3,92 oranında elde edilen yüksek Silisyum alaşımlı küresel dökme demirden değişik kesit kalınlıklarına sahip parçalar dökülmüştür. Dökülen parçaların kesit kalınlıkları 5 mm ile 55 mm arasında değişmektedir. Her kesitten yapılan sertlik ölçüm sonuçlarına göre, değerler 201 HB ile 193 HB arasında gelmiştir. SSF malzemedan oluşan parça, perlitik bir yapı bulundurmadığı için ve yüksek silisyum içerdiğinden dolayı, farklı kesit kalınlıklarına sahip olsa bile, çok dar bir aralıkta sertliğe sahip olmaktadır. SSF in bu özelliğinden dolayı, küresel grafitli dökme demirlere nazaran daha iyi bir işlenebilirliğe sahip olması gerektiği düşünülmektedir.

Scruton (2018) yaptığı tez çalışmasında ferritik yapıda bulunan SSF malzemenin içeriğinde bulunan ve perlitik yapma özelliğinde bulunan Bakır ve Manganez

elementlerinin miktarındaki farklılığın parçanın dayanımına ve parçadaki perlitik oranına olan etkisini incelemiştir. Bakır, manganez ve silisyum oranları sırasıyla %0,05-%0,3, %0,15-%0,4, %3,8-%4,3 arasında değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre, 3,8% ile 4,3% arasında değişen silisyum miktarına göre, silisyum oranı arttıkça akma ve kopma dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Akma ve kopma dayanımları için bakır, magnezyum ve silisyum oranları arasında bir bağıntı yapmanın zor olduğu sonucu görülmüştür.

Stets ve ark. (2014) SSF malzemenin içerisindeki %2,4 ile %6 arasında değişen silisyumun mekanik özelliklere olan etkisi incelemek üzere birtakım deneyler yapmışlardır. Silisyum oranı %2,4'ten %4,3'e kadar arttıkça, çekme dayanımı da artmıştır. %4,3 silisyum oranını aştıktan sonra çekme dayanımı düşmeye başlamıştır. Akma dayanımı ise %2,4'ten %4,6'e kadar arttıkça yükselmiş, sonrasında düşmeye başlamıştır. Dayanımlardaki düşmenin sebebi silisyumun kırılma etkisinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Dejenere olan grafit, çentik etkisi yapmaya başladığından dolayı kırılma etkisini açığa çıkarmıştır. Silisyum oranının %4,3'ü aşması ile birlikte uzama da dayanım gibi düşmeye başlamıştır ve %5 silisyum oranını aştıktan sonra uzama sifra yaklaşmıştır.

Nayyar ve ark. (2012) takım ömrü ve kesme kuvvetleri ölçümü yaparak, FGI adı verilen gri dökme demir ile CGI adı verilen vermiküler dökme demirin işlenebilirliğini karşılaştırılmıştır. Torna tezgâhında kesme hızı 300 m/dk, ilerleme 0,2 mm/dev, derinlik 1,5 mm olacak şekilde, kesme sıvısı kullanılarak denemeler yapılmıştır. Takım yanak aşınması 0,3 mm olduğunda takım ömrünü sonlandırmış kabul edilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda FGI, CGI ya göre 10 kat takım ömrüne sahip olduğu, 100 N daha düşük kesme kuvvet oluşturduğu görülmüştür.

Grzesik ve ark. (2009) yaptıkları bir çalışmada, perlitik/ferritik yapıda bulunan EN GJS 500/7 küresel grafitli dökme demir malzemesinden dökülmüş 100 mm çapındaki silindir bloğun, dört farklı kesici takım kullanarak kesme kuvvetlerinin ve takım-talaş ara yüzündeki sıcaklıkların incelenmesi hedeflenmiştir. Referans olarak seçilen ISO-P20 kaplamasız karbür kesici uca karşı, TiAlN kaplamalı karbür uç, katmanlı kaplamalı

TiC/Ti(C,N)/Al₂O₃/TiN karbür uç ve silisyum nitrür (Si₃N₄) esaslı seramik kesici uçların performanslarının incelenmesi hedeflenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre, en yüksek kesme kuvveti, silisyum nitrür (Si₃N₄) esaslı seramik kesici uçları kullanıldığı zaman görülmüştür. Kesme hızı arttıkça, kesme kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir. En düşük kesme kuvveti ise katmanlı kaplamalı TiC/Ti(C,N)/Al₂O₃/TiN karbür uç kullanıldığı zaman oluşmaktadır. İlerlemenin artması ile bütün kesici uçlarda kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür.

Tooptong ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada gri, vermiküler ve küresel grafitli dökme demirleri kuru kesme şartlarında, kaplamalı ve kaplamasız karbür kesiciler ile torna makinasında işleyerek, kesicilerin yanak aşınmalarını incelemişlerdir. Kaplamasız karbür kullanılarak yapılan deneylerde, vermiküler ve küresel grafitli dökme demirlerde yanak aşınması, takım ile parça ara yüzünde oluşan yapışma katmanı sebebi ile gri dökme demirlere göre daha fazla olmuştur. Çok katman kaplamalı karbür uçlardaki yanak aşınması kaplamasız karbür uçlara göre daha düşüktür. Yine vermiküler ve küresel grafitli dökme demirlerde yanak aşınması, gri dökme demirlere göre daha fazla olmuştur. Değişik kesme şartlarında, takımlarda oluşan sıcaklığı karşılaştırmak amaçlı sonlu elemanlar analizi yapılmış, vermiküler ve küresel grafitli dökme demirlerde daha yüksek sıcaklıklar tespit edilmiştir. Sonuç olarak vermiküler ve küresel grafitli dökme demirlerin gri dökme demirlere göre zayıf işlenebilirliğe sahip olması, takımlardaki yüksek kesme sıcaklığına ulaşmasına bağlanmıştır.

Bahkali ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada EN-GJS 500/7 küresel grafitli dökme demir malzemesinden üretilmiş 80 mm çapında 150 mm uzunluğundaki silindir bloğun torna makinasında değişik kesme şartlarının ve değişik kesici uç yarıçaplarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Kesici takım olarak 0,4 mm ve 0,8 mm uç yarıçaplı karbür uçlar kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi en fazla olan parametreler ilerleme ve kesici uç yarıçapı olduğu görülmüş, en düşük yüzey pürüzlülük değeri yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve kesme derinliği ile yüksek kesme ucu şartları sağlandığı zaman elde edilmiştir.

Camuşçu (2006) değişik kesme hızları ve değişik kaplamalı seramik uçlar kullanarak yaptığı çalışmanın takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemiştir. EN-GJS 600/3 malzemesinden üretilmiş 80 mm çapında ve 300 mm boyunda silindir blok torna makinesine bağlanarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Kesme hızları 300, 450, 600, 750 m/dk olarak belirlenmiş, kesme derinliği ve ilerleme 1 mm ve 0,1 mm/dev olacak şekilde sabit tutulmuştur. TiN (PVD) kaplı $Al_2O_3 + TiCN$ karışımlı seramik uç, kaplamasız SiC partikül takviyeli güçlendirilmiş Al_2O_3 seramik uç ve kaplamasız $Al_2O_3 + TiCN$ karışımlı seramik uç olmak üzere üç farklı seramik kesici uç kullanılmıştır. Takım aşınması açısından tüm hızlarda kaplamasız $Al_2O_3 + TiCN$ karışımlı seramik uç en kötü performansı gösterirken, TiN(PVD) kaplı $Al_2O_3 + TiCN$ karışımlı seramik uç ise en iyi performansı göstermiştir. Tüm hızlarda en düşük yüzey pürüzlülüğünü kaplamasız $Al_2O_3 + TiCN$ karışımlı seramik uç verirken, hıza bağlı olarak kaplamasız SiC partikül takviyeli güçlendirilmiş Al_2O_3 seramik uç en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerini göstermiştir. En yüksek kesme kuvvetleri olarak kaplamasız SiC partikül takviyeli güçlendirilmiş Al_2O_3 seramik uç kullanımında görülürken, yüksek hızlarda TiN(PVD) kaplı $Al_2O_3 + TiCN$ karışımlı seramik uç en düşük kesme kuvvet değerlerini göstermiştir. Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri bir arada hesaba katılacak olursa, TiN(PVD) kaplı $Al_2O_3 + TiCN$ karışımlı seramik uç, yüksek hızlarda ($V > 600$ m/dk) küresel grafitli dökme demirler için çalışma yapılan üç seramik kesici arasında en uygunu olduğu belirlenmiştir.

Yiğit ve ark. (2010) yaptıkları deneyde, kaplamasız ve çok katmanlı karbür uçların farklı hızlarda yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve yanak aşınmasına olan etkilerini incelemişlerdir. 125, 150, 175 ve 200 m/dk deneme hızları belirlenmiştir. Birinci takım, kaplamasız WC+ (Ti, Ta, Nb, W)C+Co karbür uç, ikinci takım, 7,5 μm TiN (HTCVD) kaplı TiCN+TiC+TiCN+ $Al_2O_3 + TiN$ karbür uç, üçüncü takım, 10,5 μm TiN (HTCVD) kaplı TiCN+TiC+TiCN+ $Al_2O_3 + TiN$ karbür uç. İlerleme 0.25mm/dev, kesme derinliği de 1 mm seçilmiştir. Yanak aşınması yönü ile tüm hızlarda birinci takım en kötü sonuçları verirken, üçüncü takım en iyi sonuçları vermiştir. Tüm hızlarda en yüksek kesme kuvveti birinci takımda gözlenirken, en düşük kesme kuvveti ise üçüncü takımda

görülmüştür. Tüm hızlarda en yüksek yüzey pürüzlülüğü birinci takımda görülürken, en düşük yüzey pürüzlülüğü ise üçüncü takımda görülmüştür.

Grzesik ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, seramik ve karbür uçların perlitik/ferritik yapıda olan EN GJS 500/7 küresel grafitli dökme demir malzemesi üzerinde yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Değişik kesme parametreleri ve iki farklı kesme ucu (TiC/Ti(C,N)/Al₂O₃/TiN kaplı P20 karbür uç ve silisyum nitrit seramik uç) kullanılarak yüzey pürüzlülük sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonunda görülmüştür ki; silikon nitrit seramik uçlar, karbür uçlara göre daha iyi ve daha stabil bir yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır. Örneğin 270 m/dk hızda ilerleme 0,04 mm/dev ile 0,16 mm/dev arasında artarken, Ra 0,4 µm ile 1 µm arasında değişmiştir.

Işık (2014) östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinde seramik ve karbür kesici uçların performansını incelemiştir. TiN (PVD) kaplı Al₂O₃+Ti[C,N] karışımli alümina bazlı seramik kesiciler ile CVD kaplı TiC+ Al₂O₃+TiN karbür uçların performansı karşılaştırılmıştır. 43,5 HRC sertliğindeki iş parçası üzerinde tornalama işlemi gerçekleştirilerek kesme kuvvetleri, serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre yüksek hızlarda denemeler yapılmasına rağmen PVD kaplı seramik kesiciler CVD kaplı kesicilere göre daha uzun takım ömrü sunmuştur. Seramik kesiciler ortalama yüzey pürüzlülük bakımından daha düşük değer göstermiştir. Kuru kesme işlemlerinde PVD kaplı seramik kesiciler iyi bir aşınma direnci göstermiştir. PVD kaplı seramik kesicilerdeki serbest yüzey aşınması daha düşük çıkmıştır.

Kaçal ve Gülesin (2009) yaptıkları çalışmada ferritik yapıda bulunan EN GJS 400/15 küresel grafitli dökme demirlerin son tornalama işleminde, kesme parametreleri ve farklı tip kesicilerin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine olan etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneyde, seramik (CCGW 120404 TNCE) ve CBN (CCMW 120404T CBN) kesici uçlar kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, değişik kesme parametrelerine göre en düşük yüzey pürüzlülüğü seramik kesicilerde, yüzey pürüzlülüğüne en çok etkileyen kesme parametresinin ilerleme olduğu görülmüştür. İlerlemenin artması ile kesici kuvvetlerinde artma görülmüştür. Yüksek hızlarda ve

yüksek ilerleme ile yapılan deneylerdeki kesme kuvvetleri, yavaş veya orta hızda ve yüksek ilerleme ile yapılan deneylere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, yüksek hızlarda, kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasıyla akma mukavemetinin düşmesine ve böylece kesme kuvvetinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. CBN kesicilere göre seramik kesicilerde daha düşük kesme kuvvetleri görülmüştür.

Grzesik ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada EN GJS 500/7 küresel grafitli dökme demirin CBN kesici uç kullanarak değişik kesme parametreleri ile tornalanması sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerleri, kesme kuvvetleri ve sıcaklıkların incelenmesine yönelik araştırma yapmışlardır. İki farklı seri şeklinde yapılan deneylerin ilkinde, değişken kesme hızları olarak 100, 160, 240, 280, 320, 400 m/dk seçilirken, ilerleme ve derinlik sabit tutularak 0,12 mm/dev ve 3,3 mm seçilmiştir. İkinci seride ise, hız ve derinlik sabit tutularak 240 m/dk ve 3,3 mm seçilmiş, ilerleme ise değişken değerler olarak 0,04, 0,08, 0,12, 0,16, 0,2 0,24 mm/dev seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, kesme hızı arttıkça, kesme kuvvetlerinin azaldığı, ilerleme arttıkça da kesme kuvvetlerinin doğrusal olamayan şekilde arttığı görülmüştür. Kesme bölgesinde oluşan en düşük sıcaklık; 100 m/dk kesme hızı olan en düşük hızda ve 0,12 mm/dev ilerlemede görülürken, en yüksek sıcaklık 0,24 mm/dev olan en yüksek ilerleme ve 240 m/dk da görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 400 m/dk olan en yüksek hız ve 0,08 mm/dev olan en düşük ilerleme değerlerinde görülmüştür.

Ghani ve Choudhury (2002) yaptıkları çalışmada universal torna makinasında seramik kesiciler kullanarak küresel grafitli dökme demirlerde takım ömrü, yüzey kalitesi ve titreşim miktarını incelemişlerdir. Değişik kesme hızı, ilerleme ve derinlikte yapılan deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. (Al_2O_3+TiC) seramik kesiciler kullanılarak yapılan deneylerde, kesme hızı, ilerleme ve derinlik arttıkça kesici aşınmasının arttığı gözlemlenmiştir. Kesici aşınmasına en fazla etkisi olan parametre kesme hızı olarak belirlenmiştir. Bu kesicilerin özellikle yüksek devirlerde hızlı aşındığı ve 364–685 m/dk hız aralığında takım ömrünün yaklaşık 1,5 dk sürdüğü gözlemlendiği için küresel grafitli dökme demirlerin işlenmesinde bu kesiciler önerilmemektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ise hız, ilerleme ve derinliğe bağlı olarak değişmektedir. Kesici yanak aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisi olmadığı, hız, ilerleme ve derinliğe bağlı

olarak değişen yanak aşınmalarında yüzey pürüzlülüğün çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Yüksek ilerleme ve derinlikte, yüksek yüzey pürüzlülüğü gözlemlenmiştir. Yüksek hızlarda titreşim seviyesi minimumda görülmüştür ki bu sonuç da yüksek hızlı işleme takım-ış-makine sistemi için daha kararlı olduğu yorumunu açığa çıkarmaktadır. İlerlemenin ve derinliğin artmasıyla titreşimin arttığı görülmüştür.

Oh (2012) yaptığı çalışmada üniversal torna makinasında değişik kesme hızlarında sermet ve CBN kesiciler kullanarak küresel grafitli dökme demirlerde kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasını incelemiştir. Deney malzemesi olarak EN GJS 500/7 perlitik/ferritik yapıda bulunan küresel grafitli dökme demir seçilmiştir. Yapılan deneylere göre tüm hızlarda sermet kesiciler CBN kesicilere göre daha düşük kesme kuvveti gerektirmektedir. Sebebi ise, sermet kesicilerin CBN kesicilere göre daha düşük sertlikte olması olarak yorumlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğ değerleri karşılaştırıldığında CBN kesici sermet kesiciye göre daha iyi sonuç vermektedir. Her iki kesicide de en yüksek yüzey pürüzlülüğleri düşük hızlarda görülmüştür. Takım ömrü 0,25 mm yanak aşınması olarak kabul edilmiş ve düşük hızlarda (1000 dev/dk) hemen hemen yakın sonuçlar vermişlerdir. 1800 dev/dk gibi yüksek hızlarda ise sermet kesicilerin CBN kesicilere göre takım ömür üstünlükleri ortaya çıkmıştır.

Yiğit ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada küresel grafitli dökme demirlerin tornalanması işleminde kaplamalı ve kaplamasız karbür uçların takım aşınması, yüzey kalitesi ve takım ömürlerine olan etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneylerde kaplamasız karbür, 7,5 µm kalınlığında çok katmanlı TiCN+TiC+TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı karbür ve 10,5 µm kalınlığında çok katmanlı TiCN+TiC+TiCN+Al₂O₃+TiN kaplamalı karbür kullanılmıştır. EN GJS 500/7 küresel grafitli dökme demirden yapılmış silindir blok torna makinesine bağlanmıştır. İlerleme ve derinlik sabit tutulmuş, değişik hızlarda (125, 150, 175, 200 m/dk) denemeler yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, kaplamalı karbür uçların kaplamasız karbür uçlara göre daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. 125-200 m/dk hızlarda takım aşınma davranışının hem kaplamalı hem de kaplamasız karbür uçlarda benzer olduğu gözlenmiş olup, tüm hızlarda çok katmanlı kaplamalı karbürlerdeki takım aşınma performansının kaplamasız karbür uçlardaki takım aşınma performansına göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Hız arttıkça, bütün

kesme uçlardaki takım aşınma davranışının kötüleştiği görülmüştür. Bütün hızlarda en iyi yüzey pürüzlülüğünü 10,5 µm kalınlığındaki çok katmanlı karbür uçların sağladığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü bütün takımlar için yüksek hızlarda en iyi değerleri vermiştir. Düşük hızlarda daha kötü yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir.

2.1 Dökme demir ve türleri

Dökme demir terimi sadece bir malzemeyi ifade etmekten ziyade yüksek oranda demir içeren malzeme bileşimini ifade etmektedir. Demir elementinin yanında yine çok önemli olan karbon ve silisyum dökme demirlerin içeriğinde bulunan diğer elementlerdir. Karbon miktarı %2'nin üzerindedir. Yapıda bulunan karbon serbest grafit halinde bulunduğu gibi, sementit adı verilen bileşik halinde de bulunabilir. Grafitin miktarı, yapısı, sayısı, büyüklüğü malzemenin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini etkilemektedir (Anonim 2013b).

Dökme demirler sağladığı avantajlardan dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. En önemli avantajlarından biri düşük maliyetle üretilibilmeleridir. Ergime sıcaklıkları düşüktür. Döküm esnasında katılaşma sırasındaki büzülme miktarının az olması, besleme ihtiyacını azaltıp maliyet gerektiren malzemelerin kullanılmasının önüne geçmektedir. Akışkanlık özellikleri yüksektir. İşlenebilirlikleri iyi, basma mukavemetleri yüksektir. Termal iletkenlikleri çeliklere göre daha iyidir. Aşınma dirençleri yüksektir. Titreşimi söndüren yapılarından dolayı işleme tezgâhlarında kullanım alanı yaygındır. Dökme demirlerin avantajlarının yanında birtakım dezavantajları da vardır. Bazı dökme demir türlerinin düşük çekme mukavemeti ve sünekliği en önemli dezavantajlarını oluşturmaktadır (Göksu 2018).

Dökme demirlerin özellikleri mikro yapılarının farklılığına göre belirlenmektedir. Dökme demirlerde bulunan farklı içyapılar şunlardır;

Grafit, karbonun dökme demir içindeki kararlı halidir. Düşük sertlik, düşük yoğunluk, yüksek ısı iletkenlik ve kayganlık grafitin önemli özelliklerinden bazılarıdır. Grafit yapısı bazı dökme demirlerde yaprağımsı şekilde olduğunda dökme demir lamel grafitli dökme demir ismini alırken, küresel bir halde olduğunda küresel grafitli dökme demir

adını almaktadır. Yani dökme demire ismini veren grafit yapısının şekli olmaktadır. Grafit yapısının farklılığı dökme demirlerin farklı mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır.

Karbür, karbonun demir veya karbür yapıcı elementlerle yaptığı bileşim sonrasında oluşan kırılgan, sert bir yapıdır. Karbürler aşınma direncini arttırırken malzemeyi daha kırılgan ve zor işlenir hale getirmektedir.

Ferrit, dökme demir içerisindeki en saf fazdır. Ferrit yapı malzemeye düşük sertlik ve mukavemet sağlarken yüksek süneklik ve tokluk kazandırmaktadır.

Perlit, ferrite göre daha sert ve mukavemetli bir yapı sağlamaktadır. Ferrit fazının aksine perlitik yapılarda süneklik daha azdır. Bu yapıların etkisi sonucunda mühendislik tasarımlarında, mukavemet hesaplarında ve malzeme seçimlerinde malzemenin içerisindeki ferrit ve perlit oranları önemli rol oynamaktadır.

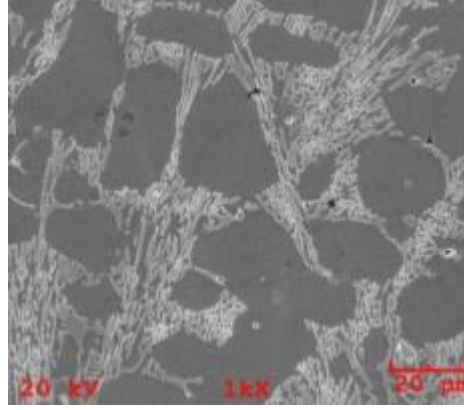
Martensit, hızlı soğuma yöntemi ile üretilen dökme demirin temperlenmemiş durumda sert ve kırılgan, temperlenme durumunda ise yüksek mukavemet ve aşınma direnci sağlayan bir yapıdır.

Östenit, demirin yüzey merkezli kübik kristal yapısında meydana gelen ve karbon elementi ihtiva eden faz olarak adlandırılmaktadır. Demir atomları 912 °C ile 1394 °C arasında östenit fazında bulunmaktadır. Bu yapı yüksek sıcaklıklarda görülse de, nikel elementi vasıtasıyla oda sıcaklığında bu yapıyı görmek mümkün olabilmektedir. Yüksek nikel oranına sahip olan paslanmaz çelikler oda sıcaklığında östenit yapıda bulunmaktadırlar (Kılınç 2009).

Dökme demirler, mikro yapılarının çeşitliliği nedeniyle farklı türlerde bulunmaktadır. Farklı mekanik ve termal özelliklere sahip bu demirlerin üretim yöntemleri de farklıdır.

2.1.1. Beyaz dökme demirler

Sementit ve perlit mikroyapısı sebebi ile sert ve aşınma direnci yüksek demirlerdir. (Yıldırım 2014). Şekil 2.1’de mikro yapı resmi görülmektedir.



Şekil 2.1. Beyaz dökme demirlerin mikro yapısı (Koç 2018)

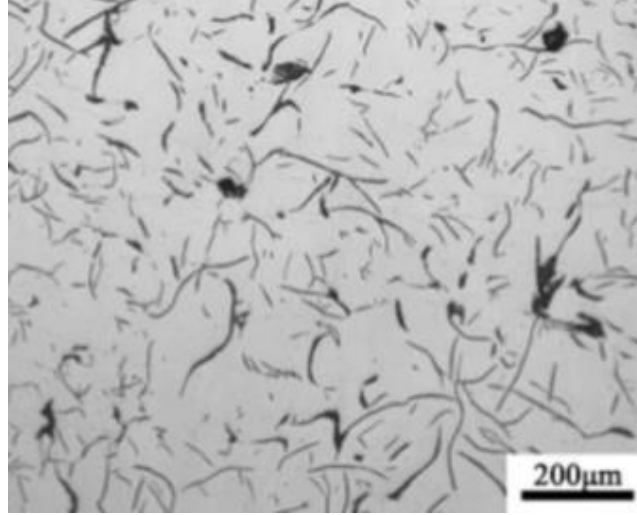
Katılaşma sıcaklığından hızlı soğuma tekniği uygulanarak elde edilirler. İşlenebilirliği zayıf malzemelerdir. Bu sebeple yaygın olarak kullanılmazlar. Genellikle aşınma direnci istenen ve süneklik istenmeyen uygulamalarda tercih edilirler. Kimyasal analizi Çizelge 2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Beyaz dökme demirlerin kimyasal analizi (Sağlam 2009)

Dökme Demir	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
Beyaz Dökme Demir	1,8-3,6	0,5-1,9	0,25-0,8	0,06-0,2	0,06-0,2

2.1.2. Lamel grafitli dökme demirler

Yapısında bulunan grafitlerin yapraksı ve kırıldığı zamanki yüzeyin gri görünümünden dolayı gri dökme demir veya lamel grafitli dökme demir adını almışlardır. Yapraksı grafit yapılarından dolayı kırılğan ve sert bir malzemedir. Lamel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Lamel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Ding ve ark. 2018)

Gri dökme demirler, Türk standartlarına göre DDL (Lamel grafitli dökme demir) olarak gösterilir. Ardında gelen rakam ise çekme mukavemetini kg-mm^2 cinsinden göstermektedir. Lamel grafitli dökme demirlerin TSE'ye göre sınıflandırılması Çizelge 2.2'de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Lamel grafitli dökme demirlerin TSE'ye göre sınıflandırılması (Anonim 2013c)

	DDL-15	DDL-20	DDL-25	DDL-30	DDL-35
Çekme dayanımı (N / mm^2)	150	200	250	300	350

Lamel grafitli dökme demirlerin dünya standartları tablosu Çizelge 2.3'te görülmektedir.

Çizelge 2.3. Lamel grafitli dökme demirlerin dünya standartları tablosu (Anonim 2013c)

TSE TS-552	DDL-15	DDL-20	DDL-25	DDL-30	DDL-35
EU-EN 1561	GJL 150	GJL 200	GJL 250	GJL 300	GJL 350
ALMAN-DIN 1691	GG 15	GG 20	GG 25	GG 30	GG 35

Çizelge 2.3. Lamel grafitli dökme demirlerin dünya standartları tablosu (Anonim 2013c) (Devam)

USA-ASTM A 4876	Class20 B	Class25 B	Class35 B	Class50 B	Class55 B
FRANSA- NF A32-101	Ft 15 D	Ft 20 D	Ft 25 D	Ft 30 D	Ft 35 D
İTALYA- UNI 5007	GG 15	GG 20	GG 25	GG 30	GG 35
JAPONYA- JIS G 5501	FC 150	FC 200	FC 250	FC 300	FC 350

Ferritik, perlitik veya her iki yapıyı da içerisinde bulundurabilir. Elastik davranış göstermezler. Isı iletimi yüksek olduğu için araçlarda motor bloğu ve fren diski gibi hızlı soğuma istenen durumlarda tercih edilebilen, üretim maliyeti düşük, işlenebilirliği yüksek çok yaygın bir şekilde kullanılan malzemedir. Çizelge 2.4'te lamel grafitli dökme demirlerin kimyasal analizi görülmektedir.

Çizelge 2.4. Lamel grafitli dökme demirlerin kimyasal analizi (Anonim 2016)

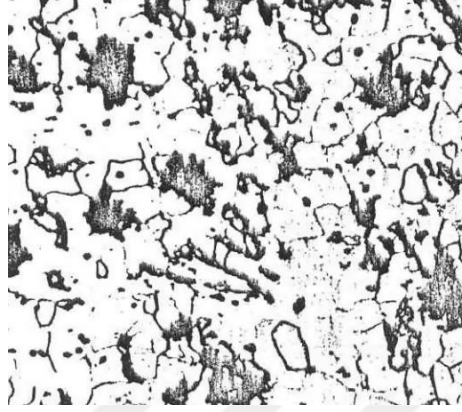
Dökme Demir	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
Gri Dökme Demir	2,5-4,2	1,0-3,0	0,15-1,0	0,02-0,25	0,02-1,0

Gri dökme demirler, sıvı halde iken akıcılığı çok yüksektir. Bu sebeple karmaşık yapıda bulunan parçaların dökümüne elverişli bir malzemedir. Akıcı olması bileşiminde bulunan elementlerin miktarına ve sıvı madenin sıcaklığına bağlıdır. Kimyasal birleşimde bulunan fosfor miktarı akışkanlığı arttıran elementtir.

2.1.3 Temper dökme demirler

Beyaz dökme demirin ısıtılma işlem uygulanmış halidir. Isıl işlem sürecinde beyaz dökme demir içerisinde bulunan karbür ve perlit yüksek sıcaklıklarda parçalanmaktadır. Serbest

kalan karbon yavaş soğuma ile temper karbonu denilen rozet grubu halini alır. Şekil 2.3'te mikro yapı resmi görülmektedir.



Şekil 2.3. Temper dökme demirlerin mikro yapısı (Anonim 2015a)

Temper dökme demirlerin mekanik özellikleri Çizelge 2.5'te görülmektedir.

Çizelge 2.5. Temper dökme demirlerin mekanik özellikleri (Anonim 2000a)

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
DDTB-35	350	--	4
DDTB-40	400	220	5
DDTB-45	450	260	7
DDTB-55	550	360	5
DDTB-65	650	430	3
DDTB-K38	380	200	12

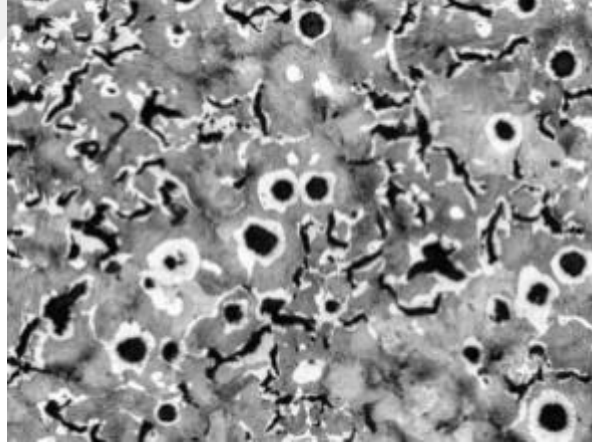
Temper dökme demirlerin ferritik ve perlitik olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Ferritik temper dökme demir de beyaz ve siyah temper dökme demir olarak iki gruba ayrılmaktadır. Temper dökme demirlerin kimyasal analizi çizelge 2.6'da görülmektedir.

Çizelge 2.6. Temper dökme demirlerin kimyasal analizi (Anonim 2015b)

Dökme Demir	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
Temper Dökme Demir	2,2-2,9	0,9-1,9	0,15-1,2	0,02-0,2	0,02-0,2

2.1.4 Vermiküler grafitli dökme demirler

Lamel grafitli dökme demirler ile küresel grafitli dökme demirler arasında geçiş formuna sahip dökme demirlerdir. Mekanik özellikleri yüksek olmasından dolayı lamel grafitli dökme demirlere göre daha avantajlıdır. Isı iletimleri küresel grafitli dökme demirlere göre daha iyidir. Bu özelliklerinden dolayı otomotivde motor bloğu ve fren diski gibi parçalarda tercih edilmektedirler. Yapılarındaki grafit görünümü solucanı andırdığı için Alman dökümcüler tarafından vermiküler olarak adlandırılmışlardır. Şekil 2.4'te vermiküler grafitli dökme demir mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 2.4. Vermiküler dökme demirlerin mikroyapısı (Çetin 2016b)

Vermiküler dökme demirler uluslararası ISO 16112 standardına göre GJV olarak adlandırılmaktadırlar. En düşük çekme kuvvetine göre 5 farklı grupta sınıflandırılmaktadırlar. Çizelge 2.7'de vermiküler dökme demirlerin sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.7. Vermiküler dökme demirlerin ISO 16112 standardına göre sınıflandırılması (Çetin 2016b)

	GJV300	GJV350	GJV400	GJV450	GJV500
Çekme Dayanımı*(Mpa)	300-375	350-425	400-475	450-525	500-575
Akma Dayanımı*(Mpa)	210-260	245-295	280-330	315-365	350-400
Uzama (%)	2,0-5,0	1,5-4,0	3,5	1,0-2,5	0,5-2,0
Elastik Modül (GpA)	130-145	135-150	140-150	145-155	145-160
*15mm kesit kalınlığı içindir.					

Vermiküler dökme demir üretimi, küresel grafitli dökme demir üretimine benzemektedir. Yapıdaki küre miktarı oranı %20'nin altında olması gerekmektedir. Yapıda kesinlikle lamel grafitli yapıya müsaade edilmemektedir. GJV300 tamamen ferritik bir yapıda iken, GJV500 tamamen perlitik yapıdadır. Aradaki alaşımlar ise ferritik/perlitik yapıda bulunmaktadır.

2.2. Küresel grafitli dökme demirler

Küresel grafitli dökme demirlerin bu şekilde isim almasının temel sebebi yapılarındaki grafitlerin küresel formda olmasından dolayıdır. Gri dökme demirlerin grafit yapısının yapraksı olmasından dolayı oluşturduğu kırılgan yapının aksine küresel grafitli dökme demirler küresel grafitlerinden dolayı yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler.

Küresel grafitli dökme demirlerin diğer bir özelliği ise geniş bir çekme, kopma ve uzama değer aralığı sunmalarıdır. Diğer dökme demir türlerine göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Bunun sebeplerinden en önemlisi ise eklenen alaşım elementlerinin çeşidi ve miktarıdır. Buna bağlı olarak da oluşan grafitin şekli, büyüklüğü ve miktarı da mekanik özellikleri değiştirmektedir (Hasırcı 2017).

2.2.1. Küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması

Küresel grafitli dökme demirler Türk standartlarına göre ise DDK olarak yazılmaktadır. DDK açılım olarak ‘Dökme Demir Küresel Grafitli’ manasına gelmektedir. DDK arkasından gelen rakamlar ise kg/mm^2 birimiyle ifade edilen minimum çekme dayanımını ifade etmektedir. Çizelge 2.8’de küresel grafitli dökme demirlerin Türk standartlarına göre sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.8. Küresel grafitli dökme demirlerin Türk standartlarına göre sınıflandırılması (Anonim 2000a)

TS-526	Çekme Dayanımı Kgf/mm^2 min.	Akma Dayanımı Kgf/mm^2 min.	Kopma Uzama (%) min.	Sertlik (HB)	Mikroyapı
DDK-40	42	28	12	140-201	Daha çok ferritik
DDK-50	50	35	7	170-241	Ferritik / Perlitik
DDK-60	60	40	3	192-269	Perlitik / Ferritik
DDK-70	70	45	2	229-302	Daha çok Perlitik
DDK-80	80	50	2	248-352	Perlitik
DDK-35,3	35	22	22	-	Ferritik
DDK-40,3	40	25	18	-	

EN 1563 Avrupa standardında küresel grafitli dökme demirler EN GJS formunda yazılmaktadır. EN GJS arkasından gelen rakamlar sırasıyla minimum çekme dayanımını ve % uzama değerini göstermektedir. Çizelge 2.9’da küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 Avrupa standartlarına göre sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.9. Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 Avrupa standartlarına göre sınıflandırılması (Çetin 2016c)

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
EN-GJS-350-22-LT	350	220	22
EN-GJS-350-22-RT	350	220	22
EN-GJS-350-22	350	220	22

Çizelge 2.9. Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 Avrupa standartlarına göre sınıflandırılması (Çetin 2016c) (Devam)

EN-GJS-400-18-LT	400	240	18
EN-GJS-400-18-LT	400	250	18
EN-GJS-400-18	400	250	18
EN-GJS-400-15	400	250	15
EN-GJS-450-10	450	310	10
EN-GJS-500-7	500	320	7
EN-GJS-600-3	600	370	3
EN-GJS-700-2	700	420	2
EN-GJS-800-2	800	480	2
EN-GJS-900-2	900	600	2

2.2.2. Küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementlerin etkileri

Karbon (C), küresel grafitli dökme demir içerisinde bulunan elementler arasında en önemli etkilere sahip elementtir. Genellik %3 ile %4 arasında kompozisyonda yerini alır. Grafitin yapıtaşıdır. Küresel grafit sayısının artmasını sağlarken, yapıdaki perlit miktarının azalmasını, ferrit miktarının da artmasını sağlamaktadır. Kimyasal kompozisyondaki karbon miktarının artması sıvı madenin akıcılığını arttırarak dökümün kolaylaşmasını sağlamaktadır. Karbon miktarının artması ile sertlik ve dayanımın düştüğü, sünekliğin ve ısı iletkenliğin arttığı gözlenmektedir. Isı iletkenliğin artmasının iki nedeni bulunmaktadır. Grafitin demire göre ısı iletkenliğinin fazladır. Karbon

miktarının artması ile grafit miktarının artmasından dolayı ısı iletkenliği de artacaktır. Bir diğer neden ise, grafitin şekli ile alakalı olarak aynı hacme sahip yuvarlak yapıya sahip grafitin yüzey alanı lamel yapıya sahip grafitten daha az olduğu için soğuma daha yavaş olacaktır. Bu nedenle fren diski, motor bloğu gibi parçalarda küresel grafitli dökme demirler yerine lamel grafitli dökme demirler tercih edilmektedir.

Silisyum (Si) elementi de alaşım elementleri içinde önemli etkilere sahip olan bir diğer elementtir. Grafit yapıcı bir elementtir. Genellikle %1,8 ile %2,8 arasında kimyasal kompozisyonda bulunmaktadır. Silisyum elementinin kompozisyondaki miktarının artması yapının ferritik olmasını sağlamaktadır. Bunun en güzel örneği yüksek silisyum miktarına sahip olan katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin yapısının tamamen ferritik olmasıdır. SSF olarak adlandırılan bu dökme demirlerde yaklaşık olarak %4 ile %4,3 arasında Si bulunmaktadır. Daha fazla Si kullanımı malzemeyi kırılgan hale getirmektedir.

Magnezyum (Mg), küresel grafitli dökme demirlerde grafitlerin küresel olmasını sağlayan elementler içerisinde en çok kullanılanıdır. Magnezyum elementinin yerine seryum (Ce), tellür (Te) ve itriyum (Y) elementleri de kullanılabilir. Magnezyum elementi, grafitler küresel hale geldikten sonra kompozisyonda %0,035 ile %0,055 arasında kalmaktadır. Magnezyum elementinin miktarının fazla olması büzülmeyi arttırarak çekinti boşluklarının oluşmasına ve cüruf oluşumunun artmasına neden olmaktadır.

Bakır (Cu), küresel grafitli dökme demirlerde yapının perlitik olması istenildiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu şekilde malzemenin akma ve çekme dayanımını arttırırken sünekliği azaltmaktadır.

Mangan (Mn), perlitik yapının oluşmasında kullanılan bir diğer elementtir. Kükürt elementini MnS şeklinde bağlamaktadır. Kompozisyonda %0,1 ile %1 arasında bulunmakta olup daha fazlası karbür oluşumuna sebep olmaktadır. Kompozisyon olması gereken Mangan miktarı şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\% \text{ Mn} = \%0,3 + (\% \text{ S} \times 1,7) \quad (2.1)$$

Fosfor (P), madenin akışkanlığını arttırarak ince kesitli parçalarda dökümün daha rahat yapılmasını sağlamaktadır. Gereğinden fazla kullanılması durumunda demirle birleşerek Fe_3P oluşmasını sağlayarak kırılğan bir faz oluşturmaktadır. Bu şekilde mekanik özelliklere olumsuz etki edebilmektedir. Genellikle %0,01 ile %0,1 arasında karışıma eklenirken, minimum seviyede tutulması tavsiye edilmektedir.

Kükürt (S), küresel grafitli dökme demirlerde en fazla %0,03 oranında kullanılmaktadır. Daha fazla olması karbür oluşumuna neden olmaktadır. Aşılama işlemi için gereklidir.

Kalay (Sn), perlit yapıcı bir elementtir. Bu yüzden çekme dayanımı ve sertliği arttırırken sünekliği azaltmaktadır. Perlit yapmak için bakır elementi yerine de kullanılmaktadır. Yalnız bakır elementinden daha az bir miktarda kullanımı perlit oluşumu sağladığı için hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Krom (Cr), karbür yapıcı bir elementtir. Karbür miktarını arttırırken grafit miktarını azaltmaktadır.

Molibden (Mo), karbür yapıcı bir elementtir. %0,3 ten fazla kullanılması karbür oluşumu artmaktadır. Düşük miktarda kullanılması perlit inceltici bir etkisi vardır. Bu şekilde malzemenin tokluğu artarken, malzeme içerisindeki sertlik dağılımının homojen olmasını sağlamaktadır.

Vanadyum (V), karbür yapıcı bir elementtir. Sertlik ve aşınma direncini arttırmaktadır.

Nikel (Ni), östenit yapıcı bir elementtir. Düşük miktarda kullanılması perlit inceltici etkisi olmaktadır. Bu şekilde tokluk artarken sertliğin homojen olmasını sağlamaktadır.

Küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal analizi Çizelge 2.10'da görülmektedir.

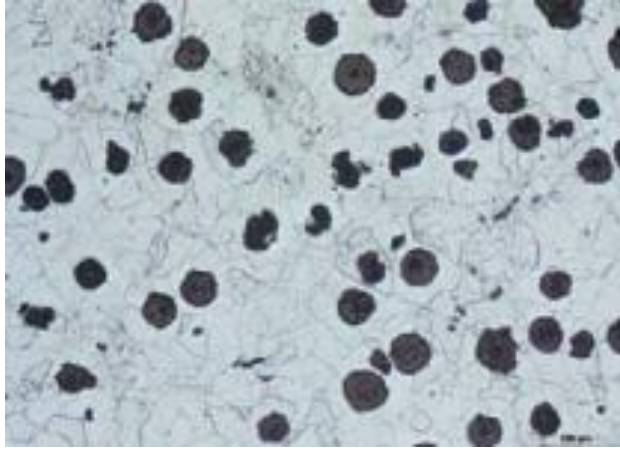
Çizelge 2.10. Küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal analizi (Anonim 2015c)

Dökme Demir	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
Küresel Grafitli Dökme Demir	3-4	1,8-2,8	0,1-1	0,01-0,03	0,01-0,1

2.2.3. Küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapı özellikleri

Küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapıları, kimyasal analizde bulunan elementlerin varlığına ve miktarına göre değişmektedir. İlave edilen bakır, nikel, titanyum ve mangan gibi alaşım elementleri mikro yapıyı etkilemektedir. Bunun yanında döküm sıcaklığı, kalıbın soğuma hızı ve basıncı gibi dökümden kaynaklı işlemler de mikro yapıyı etkilemektedir. Sıvı metale belirli oranda ilave edilen magnezyum elementi, grafitlerin küresel hale gelmesinde etkilidir. Mikro yapının üzerinde etken olan maddeler dolaylı olarak mekanik özellikleri de etkilemektedirler.

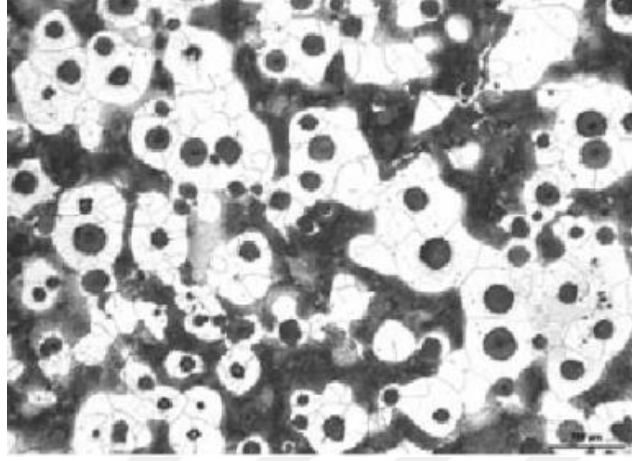
Ferritik küresel grafitli dökme demirler, yüksek uzamaya ve düşük çekme mukavemetine sahip demirlerdir. İlave edilen magnezyum miktarı ile ayarlanabildiği gibi perlitik yapıda bulunan küresel grafitli dökme demire ısıtılarak da elde edilebilir. Bunların yanında sıvı metalin katılaşma ve soğuma hızını azaltarak da yapı ferritik hale getirilebilmektedir. Şekil 2.5'te ferritik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 2.5. Ferritik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Çetin 2016c)

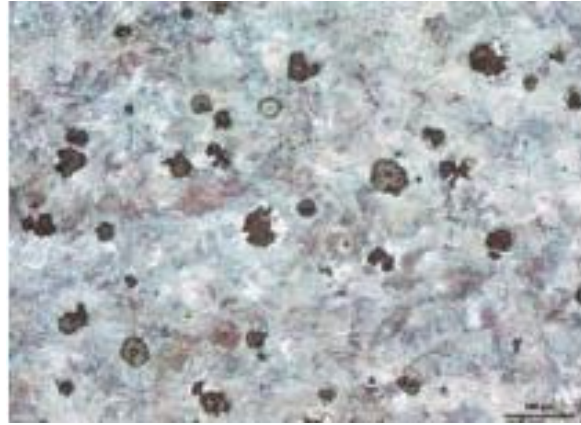
Ferritik-Perlitik küresel grafitli dökme demirler, ferritik ve perlitik yapıda bulunan demirlerin arasında bir özellik göstermektedirler. Kimyasal analizin uygun şekilde hazırlanması sonucu döküm sonrası herhangi bir işlemten geçmeden elde edilebilirler.

Şekil 2.6’da ferritik-perlitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı görülmektedir.



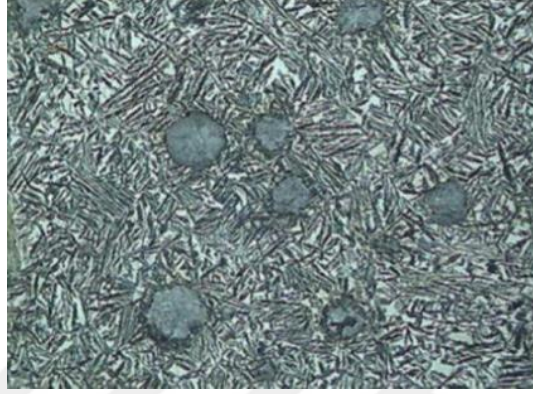
Şekil 2.6. Ferritik-Perlitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Çetin 2016c)

Perlitik küresel grafitli dökme demirler, matris yapılarının perlit olmasından dolayı yüksek mukavemet ve düşük uzama sağlarlar. Aşınma ve darbe dirençleri yüksektir. Kimyasal analizin uygun şekilde hazırlanması sonucu döküm sonrası herhangi bir işlemten geçmeden elde edilebilirler. Şekil 2.7’de perlitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı görülmektedir.



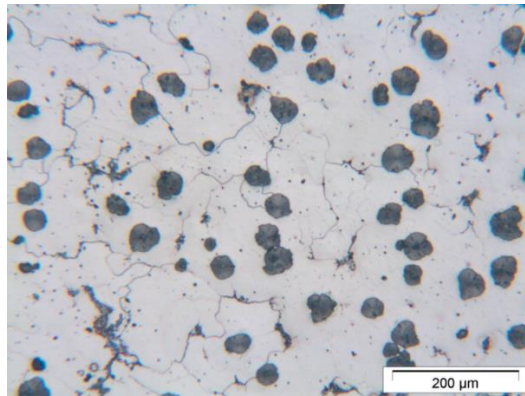
Şekil 2.7. Perlitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Anonim 2000a)

Martenzitik küresel grafitli dökme demirleri elde etmek için alaşım elementlerini eklemek veya ısıtım işlem yapmak gereklidir. Bu yapıda olan demirlerin aşınma dirençlerinin yüksek, kırılğan bir yapıda ve düşük süneklığe sahip olduğu görölmektedir. Şekil 2.8’de martenzitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı görölmektedir.



Şekil 2.8. Martenzitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Anonim 2000a)

Östenitik küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri ve korozyona dayanımı iyidir. Normal küresel grafitli dökme demirle arasındaki fark kimyasal kompozisyonudur. Östenitik küresel grafitli dökme demirde ilave olarak belirli oranda nikel ve krom vardır. Yapı olarak östenit ve bir miktar da perlit bulunmaktadır (Anonim 1990a). Şekil 2.9’da östenitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı görölmektedir.



Şekil 2.9. Östenitik küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Anonim 1990a)

2.2.4. Küresel grafitli dökme demirlerin üretimi

Uygun bir küresel grafit dökme demir üretimi için doğru bir kimyasal kompozisyon sağlamak gerekmektedir. Dökme demir üretimi, sıvı haldeki eriyiğin kalıba dökülerek, kalıbın şeklini alması sonucu oluşan bir süreçtir. Kimyasal kompozisyonun ayarlanması, sfero treatmentı denilen magnezyum ilavesinin yapılması ve madenin uygun sıcaklığa getirilmesi maden sıvı halde iken yapılmaktadır. Sıvı haldeki dökme demirin sfero treatmentı yapıldıktan sonraki kimyasal analizinde bulunan karbon, silisyum ve fosfor elementlerinin miktarı dökme demirin ötektik noktaya referansla nasıl bir kimyasal analize sahip olacağını göstermektedir. CE ile gösterilen karbon eşdeğeri dökme demirlerin kompozisyonunu değerlendirmek amacıyla hesaplanmaktadır. Eğer bu eşdeğer %4,3'ün altında ise ötektik altı, üzerinde ise ötektik üstü olarak adlandırılmaktadır ki ikisi arasındaki en önemli fark katılaşma yapı ve sıralamanın farklı olmasıdır.

$$CE = \%C + (\%Si + \%P)/3 \quad (2.2)$$

Küresel grafitli dökme demir üretiminde grafitlerin küresel hale gelmesini sağlamak için sfero treatmentı denilen işlem den geçirmek gerekmektedir. Sıvı metal içerisine atılan magnezyum veya serum elementleri yapıdaki grafitlerin küreselleşmesini sağlamaktadır.

2.2.5. Küresel grafitli dökme demirlerin kullanım alanları

Küresel grafitli dökme demirler gösterdikleri üstün performans ve iyi mekanik özellikler sayesinde birçok alanda geniş bir yelpazede kullanım alanına sahiptirler. Tarım sektöründe traktör parça ve donanımlarında, pedal ve transmisyon kutularında, otomotiv sektöründe krank milleri, ön takım tutucu aksonlarda, dişli kutularında, madencilik sektöründe kasnaklarda, vinç tamburlarında, kırıcı gövdelerde, makine sanayide tezgâh gövdelerinde torna aynalarında, dişlilerde ve silindirlere, inşaat sektöründe yağmur suyu ızgara ve rögar kapaklarında, vinç parçalarında kullanılmaktadırlar.

2.3. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirler (SSF)

Küresel grafitli dökme demirler incelendiğinde EN-GJS-400-15 sınıfından EN-GJS-900-2 sınıfına doğru gidildikçe malzemenin yapısı ferritikten perlitik yapıya geçmektedir. Malzemenin dayanımı 400 MPa dan 900 MPa'a çıkarken uzama miktarının %15'ten %2 lere düştüğü görülmektedir. Bu durumun nedeni ise perlitik yapının malzemenin sünekliğini azaltmasından kaynaklanmaktadır. Yani malzemenin dayanımı artırmak için uzama miktarından feragat edilmesi gerekirken, yüksek uzama istenildiğinde ise malzemenin dayanımından feragat edilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda malzemenin kimyasal birleşimine ilave edilecek olan %3,2 ile %4,3 arasındaki silisyum elementinin, malzemenin dayanımını artırdığı gibi sünekliği de arttırarak uzama miktarının artmasını sağlamıştır.

2.3.1. SSF malzemelerin kimyasal ve mekanik özellikleri

Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirler 1990 yıllarında keşfedilmiş olup EN 1563:2011 standardında yerini almış yeni bir malzeme türüdür. Küresel grafitli dökme demirlerden farkı yüksek oranda silisyum miktarına sahip olmalarıdır. Çizelge 2.11'de SSF malzemenin kimyasal analizi görülmektedir.

Çizelge 2.11. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal analizi (Demirlek 2013)

Malzeme	Si % *	P %	Mn % **
EN-GJS-450-18	3,2	0,05	0,5
EN-GJS-500-14	3,8	0,05	0,5
EN-GJS-600-10	4,3	0,05	0,5
*Silisyum miktarı alaşım elementlerinin miktarına göre azaltılabilir.			
**Mn değerinin düşük (0,30%) tutulması işlenebilirliği ve uzamayı iyileştirebilir.			

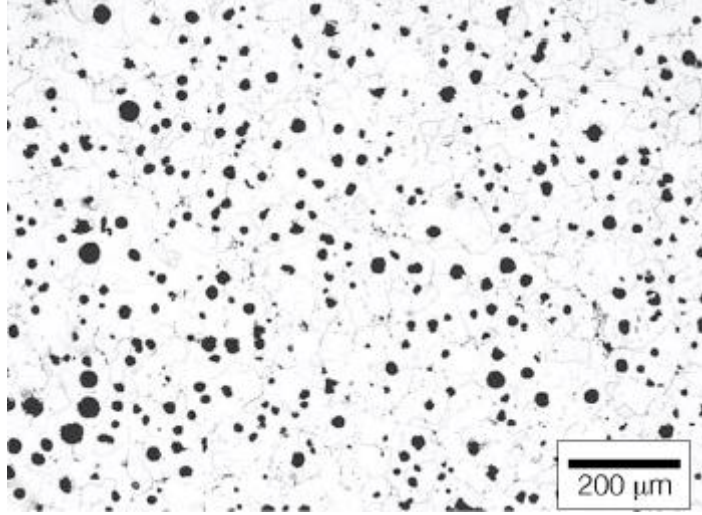
Küresel grafitli dökme demirler ile katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin karşılaştırılması yapıldığında, her iki malzemenin de çekme dayanımı 500 MPa iken küresel grafitli dökme demirin akma dayanımının 320 MPa, katı çözelti ile

güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirin ise 400 MPa olduğu görülmektedir. Akma dayanımının yüksek olması tasarım aşamasında malzeme seçimi konusunda avantaj sağlamaktadır. Yine 500 MPa dayanımda küresel grafitli dökme demirin uzama miktarının %7 olduğu, katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirin ise %14 olduğu görülmektedir. Aynı çekme dayanımına sahipken daha yüksek uzama miktarına sahip olması SSF malzemenin ön plana çıkmasına sebep olmaktadır. Çizelge 2.12’de SSF malzemenin mekanik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.12. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri (Demirlek 2013)

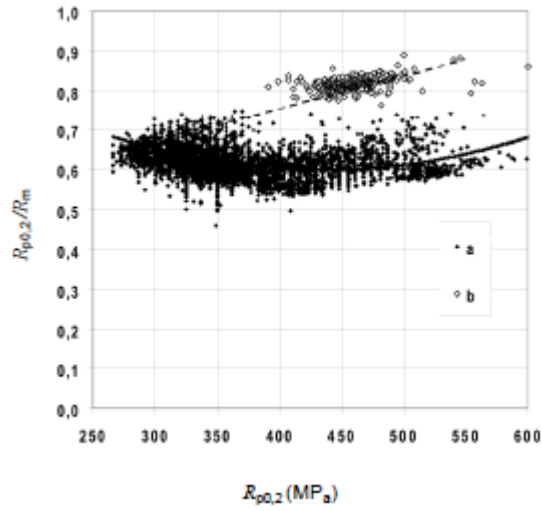
Malzeme	Kesit kalınlığı(mm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
EN-GJS-450-18	$t \leq 30$	450	350	18
	$30 < t \leq 60$	430	340	14
	$60 < t \leq 200$	Alıcı ve tedarikçi arasında karar verilir.		
EN-GJS-500-14	$t \leq 30$	500	400	14
	$30 < t \leq 60$	480	390	12
	$60 < t \leq 200$	Alıcı ve tedarikçi arasında karar verilir.		
EN-GJS-600-10	$t \leq 30$	600	470	10
	$30 < t \leq 60$	580	450	8
	$60 < t \leq 200$	Alıcı ve tedarikçi arasında karar verilir.		

Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin yapıları ferritiktir. Yapıda bulunmasına izin verilen perlit oranı en fazla %5’dir. Serbest sementit oranı ise %1’i aşmamalıdır. Silisyum oranının artması küreselleşmeyi olumsuz etkilemesinden en fazla dolayı %20 oranında vermiküler yapının oluşmasına izin verilmektedir. Şekil 2.10’da SSF malzemenin mikro yapısı görülmektedir.



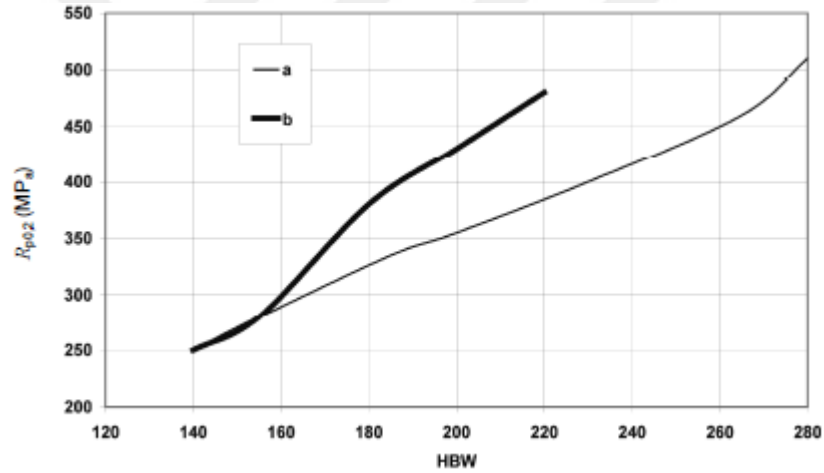
Şekil 2.10. Katı çözelti ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapısı (Çetin 2016a)

Küresel grafitli dökme demirlerin akma dayanımının kopma dayanımına oranı yapılan deney ve çalışmalarda %55-60 bandında olduğu görülürken, SSF malzemelerde bu oranın %75-80 bandında olduğu görülmüştür. Şekil 2.11’de KGDD ve SSF malzemelerin akma dayanımlarının kopma dayanımlarına oranı görülmektedir.



Şekil 2.11. KGDD(b) ve SSF(a) akma dayanımının kopma dayanımına oranlarının karşılaştırılması (EN 1563 2012)

SSF malzemelerdeki yüksek dayanımı oluşturan yapı perlit yerine katı çözelti ile güçlendirilmiş ferrit yapıdır. Silisyum miktarının artması, ferrit yapının içinde daha çok silisyumun çözünmesine ve böylece daha dayanımlı bir ferrit yapının oluşmasını sağlamaktadır. Malzeme seçimi yapılırken, mukavemet hesapları içerisinde akma noktasının önemi çok büyüktür. Çünkü tasarımcı, yük esnasında malzemenin plastik bölgeye geçmesini istemez. Bunun için aldığı kritik nokta akma noktasıdır. Belli bir güvenlik katsayısı vererek akma noktasına ulaşmayacak şekilde malzeme seçilir. Burada SSF malzemenin önemi ortaya çıkmaktadır. Daha ince et kalınlığı kullanılarak, KGDD ile aynı veya daha güçlü bir malzeme seçilmiş olmaktadır. Bu şekilde parçanın ağırlığı hafıflemiş olmaktadır. Şekil 2.12’de gösterildiği gibi aynı sertli değerin de SSF malzemenin akma dayanımı KGDD’e göre daha yüksek olduğu görölmektedir..



Şekil 2.12. KGDD(a) ve SSF(b) dökme demirlerin aynı sertlikte vermiş oldukları akma dayanımlarının karşılaştırılması (EN 1563 2012)

SSF malzemenin içeriğinde yaklaşık olarak %3,2 ile %4,3 arasında değişen silisyum kullanılmaktadır. Bu değerler alaşım elementlerin miktarına göre azaltılabilmektedir. Yapısında bulunan %0,5 Mn miktarı ise eğer daha az kullanılma durumlarında işlenebilirliği arttırdığı gibi uzama miktarının da fazla olmasını sağlamaktadır.

EN 1563:2011 standardına göre EN GJS 500/7 ile EN GJS 500/14 malzemenin sertlik değerleri Çizelge 2.13’te gösterilmiştir. Sertlik değerleri karşılaştırıldığında EN GJS

500/14 malzemenin sertlik değeri aralığı EN GJS 500/7 malzemeye göre daha dar olduğu görülmektedir. Malzemenin homojen bir yapıda sertliğe sahip olmasından dolayı parça genelinde daha dar bir aralıkta sertliğe sahip olmasını sağlamaktadır. Çizelge 2.13'te SSF malzemenin sertlik değerleri görülmektedir.

Çizelge 2.13. Katı çözeltili ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin sertlik değerleri (EN 1563 2012)

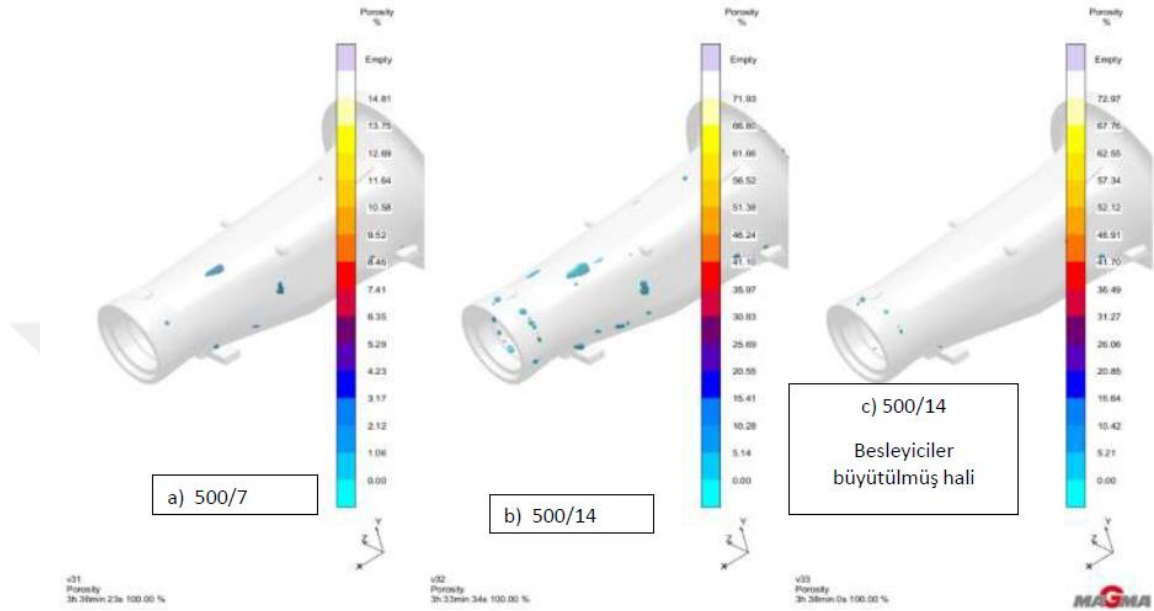
Sertlik değerleri (HB)		
	$t \leq 60 \text{ mm}$	$60 \text{ mm} < t \leq 200 \text{ mm}$
EN GJS 500/7	170 - 230	150-130
EN GJS 500/14	185 - 215	170 - 200

2.3.2. SSF malzemelerin üretimi

Katı çözeltili ile güçlendirilmiş küresel grafitli dökme demirlerin üretimi normal küresel grafitli dökme demirlerin üretimine benzerdir. Yalnız SSF üretiminde çok daha hassas olunması gereken noktalar vardır. Küreselleştirme işlemi KGDD malzemelerde magnezyum ve seryum elementleri ile yapılırken, SSF malzemelerde sadece magnezyum ile yapılması tavsiye edilmektedir. Perlitik yapıya en fazla %5 oranında müsaade edildiği için ocak hazırlığı sırasında perlitik yapıcı elementlerin döngüde bulunmaması veya çok az miktarda olmasına hassasiyet gösterilmelidir.

Silisyum miktarının artması malzemede büzülme miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu artış dökme demirlerde çekinti adı verilen iç boşlukların daha büyük olmasına sebep olmaktadır. Dökümhanelerde kalıpların üst ve yanına besleyici adı verilen bir malzeme konularak büzülme miktarı kadar madenin sonradan kalıba verilmesi sağlanmaktadır. Besleyiciler, yandığında ısıveren veya ısıyı tutan malzemelerden yapıldığı için içinde bulunan maden kalıptaki madenden uzun süre sıvı kalmaktadır. Bu sayede büzülme esnasında besleyicideki sıvı maden kalıbı besleyerek çekinti boşluklarının engellenmesi veya daha küçük olmasını sağlamaktadır. Şekil 2.13'te görülen simülasyon sonuçlarına göre, EN GJS 500/7 (a) ile EN GJS 500/14 (b) malzemelerindeki çekinti miktarı karşılaştırıldığında, EN GJS 500/14 (b) resmindeki çekintilerin EN GJS 500/7 (a) resmindeki çekintilere göre daha büyük olduğu

gözenmiştir. EN GJS 500/14 (c) resminde ise daha büyük besleyiciler kullanılarak çekintilerin küçüldüğü görülmüştür. Yapılan simülasyon sonuçları ve gerçek dökümler gösteriyor ki, SSF malzemenin dezavantajlarından birisi üretim maliyeti olmaktadır.



Şekil 2.13. KGDD(a), SSF(b), besleyiciler büyütülmüş SSF(c) dökme demirlerin simülasyon sonrası çekinti adı verilen iç boşluklarının karşılaştırılması

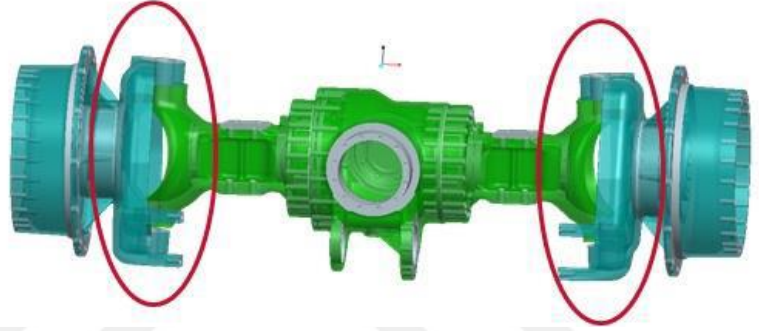
2.3.3. SSF malzemelerin kullanım alanları

SSF malzemeler yüksek dayanım ve uzama gerektiren yerlerde tercih edilmektedirler. Tarım sektöründe traktör ve biçerdöverlerde arka aks, traktör aksonları ve egzoz borusu desteği gibi parçalarda SSF malzemeler tercih edilmektedirler. Karayolu körüklü otobüslerdeki aks dingili parçalarda SSF malzemeler tercih edilmektedirler. Şekil 2.14'te SSF malzeme ile dökülmüş biçerdöver makinesinde kullanılan arka aks parçası görülmektedir.



Şekil 2.14. SSF malzeme ile dökülmüş biçerdöver makinesinde kullanılan arka aksı

Şekil 2.15’te SSF malzeme ile dökülmüş traktör akson parçası görülmektedir.



Şekil 2.15. SSF malzeme ile dökülmüş traktör aksonu

Şekil 2.16’da SSF malzeme ile dökülmüş körüklü otobüs aks dingili parçası görülmektedir.



Şekil 2.16. SSF malzeme ile dökülmüş körüklü otobüs aks dingili

2.4. Talaşlı imalat

Talaşlı imalat, iş parçasından malzeme koparılarak, iş parçasının istenilen boyut ve ölçülere gelmesini sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Talaşlı imalat, iş parçasına şekil verme işlemi kesici takımlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Kesici takımın iş parçasından daha sert olması şekil verme işlemine olanak sağlamaktadır.

Talaş kaldırma işlemi, sert malzemeden imal edilmiş, iş parçasından malzeme koparılmasını sağlayan kesici takımlar ile yapılmaktadır. Bu işlemin gerçekleşmesi, hareketin ve gücün sağlanabilmesi için de takım tezgâhları ile gerçekleşmektedir. Yani talaşlı imalatın olmazsa olmaz üçlüsü “Kesici Takım, takım tezgâhı ve iş parçası malzemesidir.” İyi bir talaş kaldırma süreci, doğru malzeme ve takımların seçilmesiyle beraber, uygun kesme parametrelerin tanımlanması ile gerçekleştirilmektedir (Groover 2010).

2.4.1. Talaşlı imalat yöntemleri

Tornalama işlemi geleneksel ve CNC torna tezgâhlarında gerçekleşmektedir. İş parçası dönme hareketi yaparken, kesici takım sabittir. Genellikle silindirik ve konik parçaların işlenmesine elverişlidir. Tornalama ile dış yüzeyde işleme yapılırken aynı zamanda silindir boru iç yüzeyde de işleme yapılmaktadır. Alın tornalama, pah ve yarıçap oluşturma işlemleri, konik tornalama ve kanal açma, tornalama işlemlerinde çokça kullanılmaktadır.

Frezeleme işlemi genel olarak geleneksel ve CNC freze tezgâhlarında gerçekleşmektedir. Frezeleme işleminde kesici takım dönme ve eksen hareketleri yaparken, iş parçası sabit kalmakla beraber hareketli de olabilmektedir. Frezeleme işlemi ile kenar, yüzey, profil, kanal ve pah kırma frezeleme tiplerinde işlemler yapılabilmektedir.

Delik delme işlemi genel olarak matkap ve CNC tezgâhlarında yapılmaktadır. Delik delme işleminde matkap, dönme ve eksen hareket işlemlerini gerçekleştirirken, iş parçası sabit veya eksen hareketleri yapmaktadır. İş parçası üzerinde istenilen ölçüde

açık veya kapalı deliklerin oluşmasını sağlamaktadır. Delik delme işlemi talaşlı imalatla en çok kullanılan yöntemdir (Anonim 2000b).

Raybalama işlemi, delinen iş parçasının delik ölçüsünün hassas bir tolerans içerisine getirilmesi ve çok kaliteli bir yüzey elde etmek amacıyla yapılmaktadır. İnce bir talaş kaldırılarak yapılmaktadır. Delik delme işleminde matkap kullanılırken, raybalama işleminde ise rayba kullanılmaktadır. Silindirik raybalama yapılabildiği gibi konik raybalama da yapılmaktadır.

Taşılama, sert ve aşındırma özelliğine sahip, istenilen ölçülerde imal edilmiş taşın yüksek hızlarda dönme hareketi yaparak iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemidir. Silindirik taşılama, delik taşılama ve düzlem yüzey taşılama türleri mevcuttur. İnce bir talaş kaldırılarak, kaliteli ve düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip bir yüzey elde edilirken, hassas ölçü toleransı da elde edilebilmektedir.

Yukarıda belirtilen yöntemler, en önemli talaş kaldırma yöntemleridir. Bu yöntemlerin yanında broşlama, planyalama, testere ile kesme ve vargelleme de diğer yöntemlerdir.

2.4.2. Talaş kaldırma işlemine etki eden faktörler

Talaşlı imalat işleminin amacı iş parçasının istenilen ölçülere getirilmesini sağlamaktır. Talaş kaldırma işlemi, birçok farklı bilim dalını içeren çok yönlü bir işlemdir. Talaş kaldırma işlemine etki eden faktörler şunlardır;

- Kesme hızı (V)
- Talaş derinliği (d)
- İlerleme miktarı (f)
- Takım yanaşma açısı (KAPR)
- Soğutma sıvısı
- Kesici ve iş parçası malzemesi
- Kesici uç radyüsü (r)
- Titreşim

Yukarıda belirtilen her faktörün yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, talaş tipi, işlem süresi, açığa çıkan ısı miktarı üzerinde değişik etkileri bulunmaktadır. İyi bir talaş kaldırma işlemi gerçekleştirmek için en uygun parametre değerleri bulunarak işlem yapılmalıdır. Talaş kaldırmaya etki eden faktörlerin sonuçlarını görmek amaçlı birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar, iş parçası üzerinde kaliteli bir yüzey elde etmek için referans olmakla birlikte, takım ömrünü arttırarak daha az maliyetli işlemler yapılmasını sağlamaktadır.

2.4.3. Kesici takımlar ve kesici takım malzemeleri

Talaşlı imalatta, iş parçasına şekil verme işlemi kesici takımlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Şekil verme esnasında talaş kaldırma olayı gerçekleşmektedir. Kesici takımın iş parçasından talaş kaldırabilmesi için kesme esnasında oluşan yüksek zorlamaların üstesinden gelecek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Kesici takımın performansı, takımın ömrüne, yüzey kalitesine etkisine, takım maliyetine göre farklılık göstermektedir.

İşlenecek olan iş parçasının geometri ve malzemesine bağlı olarak seçilecek en uygun kesici takım malzemesi ve geometrisi kaliteli bir işleme sürecinin en önemli parametrelerinden birisidir.

CNC tezgâhlar, yüksek performansta işleme yapabilme kapasiteye sahip olmaları yönüyle bilinmektedir. İşleme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar ve yüksek kesme kuvvetleri kesici takım performansına olumsuz yönde etki etmektedir. Bu sebeple kesici takımların ve bu takım tutucuların CNC tezgâh performansında önemi çok büyüktür.

CNC tezgâhlarda kesici takımların aşağıdaki özelliklerde olması beklenmektedir;

- Takım tutucu ve kesici ucun kolay sökülebilir ve takılabilir olması gereklidir.
- Kesici ucun talaş kırıcı yapısı olmalıdır.
- Takım tutucu ve kesici uç bağlama sonrası sağlam kalabilmelidir.
- Kesici ucun performansı yüksek sıcaklıklarda kaybolmamalıdır.

Kesici uçlar farklı sayıda kesme kenarlarına sahiptirler. Aşınan ve kullanılamaz duruma gelen kenar değiştirilerek diğer kenar ile işlemeye devam edilir.

Kesici takım malzemesinden şu özellikler beklenmektedir;

- Dayanıklı ve sert olmasının yanında kolay kırılıp çatlamamalıdır.
- Aşınmaya karşı dirençli olmalıdır.
- Yüksek sıcaklıklarda performansı bozulmamalıdır.
- İş parçası ile kimyasal reaksiyon oluşturmamalıdır.

Karbon çelikleri ve takım çelikleri, düşük hızlarda ve yumuşak malzemelerde iyi performans gösterirler. Genellikle plastik ve ağaç türü malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar.

Tok bir yapıya sahip olan yüksek hız çelikleri düşük maliyetli olmaları ve bilerek tekrar kullanılabilme özelliklerinden dolayı yaygın kullanım alanlarına sahiptirler. Genellikle matkaplar, kılavuzlar ve parmak freze türü takımların malzemesini oluştururlar.

Seramik kesiciler, alüminyum oksit (Al_2O_3) esaslı, metal olmayan ve yüksek hızlarda iyi bir aşınma direnci gösteren kesicilerdir. Yüksek sıcaklıklarda performansları iyidir. Kırılgan yapılarından dolayı titreşimli ortamda kolay kırılabilirler. Dökme demir ve çeliklerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sermetler, seramiklerin metalik faz ile bağlanmasından dolayı bu ismi almıştır. Dökme demir ve çeliklerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Yüksek hızlarda iyi bir performans göstermektedirler.

Coroniteler, parmak frezelerde kullanılan, uzun bir takım ömrü ve kaliteli bir yüzey sağlayan kesicilerdir. Coronite takımlar çelik bir içyapının üzerinde koronite tabakası ve bu tabakanın üzerinde kaplama yapılarak oluşturulmaktadır.

Siyalonlar, silisyum alüminyum oksinitrür (SiAlON) elementlerinden oluşur ve kesici uç kırılmalarına karşı dirençli malzemelerdir. Kaba işleme süreçlerinde tercih edilirler. Uzun bir takım ömrüne sahip değildirler.

CBN kesiciler, çok sert malzemedir. Yüksek hızlarda çok iyi bir aşınma direncine sahip olmakla birlikte ve mükemmel bir yüzey kalitesi oluşturmaktadırlar. Yüksek sertlikteki (48 HRC) iş parçası malzemelerindeki yüksek performansları sayesinde kullanım alanları yaygınlaşmaktadır.

Çok kristalli kübik bor nitrür (PCBN), yüksek sertliğe sahip (35 HRC) iş parçalarının işlenmesinde, yüksek hızlarda ve derin talaş kaldırmada iyi performans göstermektedirler. Tornalama, frezeleme ve delik büyütme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Elmas takımlar, çok sert ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Uzun takım ömrü sağladıkları gibi hassas ve düşük tolerans ölçülerinde parça üretimini sağlarlar.

Sert maden uçlu kesiciler, yüksek sıcaklığa karşı dayanıklıdır. Karbür tozlarının preslenmesi ve ardından sinterlenmesi ile üretilirler. Aşınma dirençleri, kalite ve dayanımları yüksektir. Yüksek hızlarda ve sıcaklıklarda performansları yüksek olup piyasada en çok kullanılan takımlardan biridir.

2.4.4. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler

Yüzey pürüzlülüğü, talaşlı imalat üretimlerinde göz önünde bulundurulacak en önemli parametrelerden biridir. Yüzey kalitesinin belirlenmesindeki en önemli etken yüzey pürüzlülüğüdür. İşleme esnasında değişkenlik gösteren hemen hemen tüm parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi bulunmaktadır. Mükemmel bir yüzey kalitesi demek pürüzsüz bir yüzey demek olsa da üretimde maliyet konusu da göz önünde bulundurulduğunda tasarım esnasında belirlenen yüzey kalitesini elde etmek amaçlanmaktadır. Çok kaliteli bir yüzey elde etmek, maliyeti artırdığı için gerekli yüzey pürüzlülüğünü elde etmek maliyet ve zaman yönüyle üreticiye kazanç sağlamaktadır.

Şekil.2.17’de görülen yüzey pürüzlülük cihazları ile ölçülen yüzey pürüzlülüğü, yüzey özelliklerinin karakterizasyonunu belirlemek, kalite kontrol yapmak, aşınmayı ölçmek, yüzey kalitesini iyileştirmek ve ürün maliyetini azaltmak amacıyla gerçekleştirilmektedir.

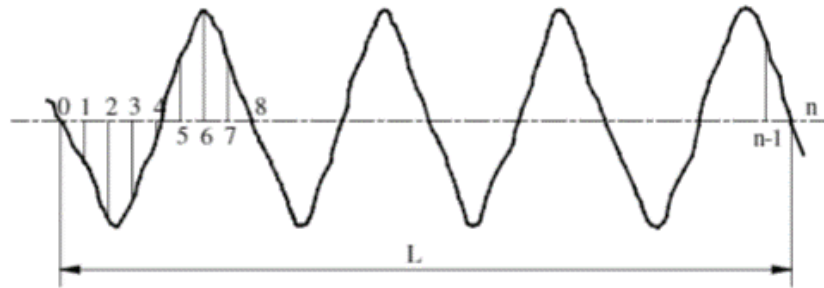


Şekil 2.17. Yüzey pürüzlülük cihazı ve iç yapısı

Profil parametreleri R, W ve P olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bu harfler, pürüzlülük, dalga ve profil kelimelerin ingilizce baş harfleridir.

R profiller yüzey pürüzlülüğü değerlerinden hesaplanmaktadır.

Ra aritmetik ortalama pürüzlülük değerini ifade etmektedir. Yüzey kalitesi ölçümlerinde en çok değerlendirilen parametre olarak bilinmektedir. Yüzey pürüzlülük cihazında, belirlenen uzunlukta alınan ölçümdeki, merkez çizginin üstünde ve altında oluşan sapmaların aritmetik ortalama değerini ifade etmektedir. Şekil 2.18’de Ra ortalama yüzey pürüzlülük grafiği görülmektedir.



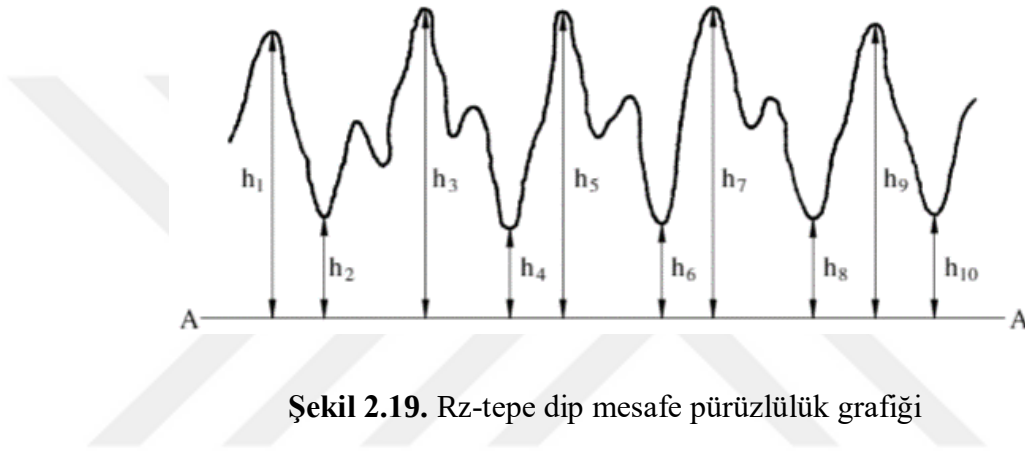
Şekil 2.18. Ra ortalama yüzey pürüzlülük grafik gösterimi

L uzunluğunda alınan ölçümde, 1'den n'e kadar olan belirlenen ordinatlar ve bu ordinatlardaki dikey uzunluklar ise h_1 'den h_n 'e kadar belirlenmiştir.

$$Ra = (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) / n = \Sigma h / n \quad (2.3)$$

Şekil 2.19'daki grafikte görülen Rz ise alınan 5 ölçü bölümü içerisindeki tepe noktaları ile dip noktaları arasındaki dikey mesafelerin ortalamasını ifade etmektedir.

$$Rz = [(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})] / 5 \quad (2.4)$$



Şekil 2.19. Rz-tepe dip mesafe pürüzlülük grafiği

Yüzey pürüzlülüğünün istenilen değerlerde tutulması öncelikle kesme hızı, ilerleme ve derinlik miktarı parametreleri ile sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda, genellikle ilerleme ve derinlik miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu parametrelerin yanında kesme sıvılı ve kuru kesmenin, takım yavaşma açısının, kesici malzemesi ve geometrisinin, kesici uç yarıçapının ve iş parçası malzemesinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bu parametrelerin yanında yüzey kalitesini etkileyen diğer hususlar şunlardır;

- Tezgâhın sağlam olmaması ve titreşime müsait olması
- Tezgâhın iş parçasını sıkma veya sabitleme hatalarının olması
- Kesici ucun takım tutucuya düzgün şekilde sabitlenememesi
- Kesici ucun erken aşınmasından kaynaklı hatalar

- Döküm parçaların işlenmesinde, parçada bulunan kum ve cüruf benzeri maddeler
- Döküm parçalarına yaşlanma işlemi yapılmadan işleme yapılması

Her üretici, iş parçası ve malzemesine göre kesici uç firmalarının da önerdiği parametre değerlerini dikkate alarak en uygun yüzey pürüzlülüğünü bulmak adına denemeler yapmaktadır. Bulunan uygun yüzey pürüzlülüğü, uzun takım ömrü ve istenilen parça geometrisi elde edildikten sonra parametre değerleri kaydedilerek seri üretim başlamaktadır.

2.4.5. Kesici aşınması ve türleri

Kesici aşınması üretimde maliyet konusunu etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Kesici aşınmasına bağlı olarak belirlenen kesici kullanım ömrü ne kadar uzun ise daha az kesici kullanılarak yapılan üretim miktarı o kadar fazla olmaktadır. Kesici aşınmasına yönelik belirlenen kesici ömür süresinin arttırılması için kesme parametrelerinde değişiklik yapılmaktadır. Talaş kaldırma derinliği, ilerleme, hız, yanaşma açısı, iş parçası malzemesi, kesme sıvılı ve kuru kesme parametreleri kesici aşınması üzerinde farklı etkilere sahiptirler.

Birçok kesici aşınma türü bulunmaktadır. Bu aşınma türlerinin iyi analiz edilmesi, uzun ömür tayini için yapılan çalışmalarda hatanın kök sebebini bulma konusunda yönlendirici olmaktadır.

Serbest yüzey aşınması, iş parçası malzemesinin sertliğinden kaynaklı oluşan, kesicinin iş parçası ile temasta bulunduğu yüzeyde meydana gelen aşınma türüdür. Şekil 2.20’de serbest yüzey aşınması görülmektedir.



Şekil 2.20. Serbest yüzey aşınması (Anonim 1990b)

Krater aşınması, kesici uç ile iş parçası arasındaki reaksiyon sonucu oluşan kimyasal bir aşınma türüdür. Kesme hızı arttıkça aşınmanın arttığı gözlemlenmiştir. Krater aşınması, kesici ucun kırılmasına sebep olabilecek bir aşınma türüdür. Şekil 2.21’de krater aşınması görülmektedir.



Şekil 2.21. Krater aşınması (Anonim 1990b)

Talaş yığılması (BUE), düşük kesme hızlarında, kesici uç üzerinde talaşın baskı ile kaynaması kaynaklı oluşan hata türüdür. Şekil 2.22’de talaş yığılması görülmektedir.



Şekil 2.22. Talaş yığılması (Anonim 1990b)

Çentik aşınması, kesici ucun iş parçası ile temas eden yüzeyi arasında ve eğimli yüzeyde oluşan, talaşın baskı ile yapışıp kaynaşmasından veya sert bir yüzeyden kaynaklı hasarlanan bir çeşit aşınma türüdür. Şekil 2.23'te çentik aşınması görülmektedir.



Şekil 2.23. Çentik aşınması (Anonim 1990b)

Plastik deformasyon, kesme işlemi sırasında yüksek sıcaklıklar meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklığın kesici uçta meydana getirdiği geri dönülmez deformasyon türüdür. Şekil 2.24'te oluşan plastik deformasyon görülmektedir.



Şekil 2.24. Plastik deformasyon (Anonim 1990b)

Termal çatlaklar, kesme işlemi sırasında kesici ucun ani sıcaklık değişimine bağlı olarak oluşan hata türüdür. Yaygın olarak kesme sıvılı kesme şartlarında meydana gelmektedir. Şekil 2.25’te termal çatlaklar görülmektedir.



Şekil 2.25. Termal çatlaklar (Anonim 1990b)

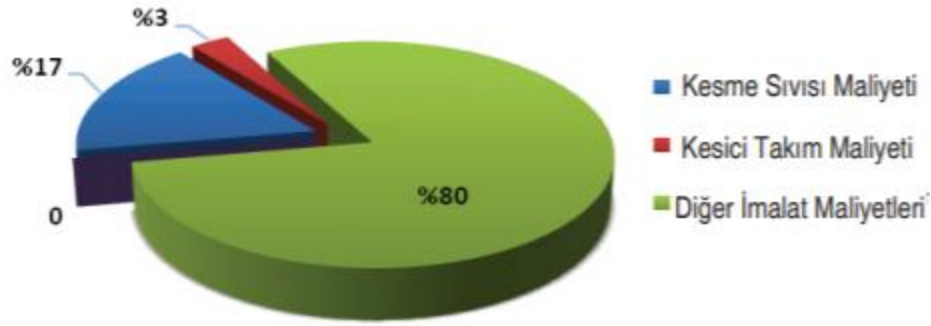
Kesici kenarında oluşan kopma ve kırılmalar, kesici üzerinde oluşan mekanik yükün kesici direncinden büyük olduğu durumlarda görülmektedir. Yüksek talaş payı ve ilerleme gibi kesme parametreleri sebep olurken iş parçası yüzey ve içinde bulunan kum taneleri, uzaklaştırılamayan talaşlar da bu hataya sebep olabilmektedir (Anonim 1990).

2.4.6. Kesme Sıvıları

Kesme sıvılarının, talaşlı imalatta kullanıldığı yere bağlı olarak ciddi önemi bulunmaktadır. Kesme sıvılarının kullanıldığı işleme süreçlerde, kesici ucun ve takımın yüksek sıcaklıklara çıkmasını önlerken kesici ucun ömrünü de arttırmaktadır. İçindeki

yağ konsantrasyonu sebebi ile kesici uç, iş parçası ve talaş arasında oluşan sürtünmeyi azaltmaktadır. Bu sebeple daha iyi bir yüzey kalitesine de olanak sağlamaktadır. Yani kesme sıvıları hem soğutucu hem de yağlayıcı özelliklere sahip olduğu gibi işleme türüne bağlı olarak ya soğutucu özellikleri üstün olan veya yağlama özellikleri üstün olan kesme sıvıları tercih edilebilmektedir. Bu şekilde aşırı güç gerektiren işleme süreçlerinde güç sarfiyatını azaltmaktadır. Aynı zamanda kesme anında oluşan talaşın uzaklaştırılmasına ve böylelikle takım ömrüne ve yüzey kalitesine olumlu etki yapmasına olanak sağlamaktadır.

Kesme sıvısının avantajlarının yanında bazı önemli dezavantajları da mevcuttur. Atık yönetimi iyi olmayan durumlarda kesme sıvısının doğaya karışması mümkün olabilmektedir. Bu durum doğaya ciddi zararlar vermektedir. Yapılan araştırmalara göre, kesme sıvısının kullanıldığı işleme süreçlerinde, kesme sıvısının maliyeti, toplam üretim maliyetinin %7 ile %17 arasında bir bölümünü oluşturmaktadır. Şekil 2.26'da görüldüğü üzere, bu araştırmalarda kesici takım maliyetinin %3 ile %4 civarında olduğu göz önünde bulundurulursa, kesme sıvısının maliyetinin gayet ciddi bir maliyet olduğu anlaşılmaktadır (Çakır 2017).



Şekil 2.26. Kesme sıvısı maliyetinin toplam üretim maliyeti içerisindeki yeri (Çakır 2017)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada farklı mekanik özelliklere sahip küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliği karşılaştırılmıştır. Silindir blok şeklinde üretilen EN GJS 500/7 ve EN GJS 500/14 dökme demirler, CNC torna tezgâhında farklı kesme parametreleri ile işlenerek, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması yönüyle karşılaştırılmıştır. Tüm deneylerde işleme uzunluğu eşit ve 350 mm olarak belirlenmiştir. Her denemede yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Deney sonunda tüm kesici uçların aşınma miktarları ölçülmüştür.

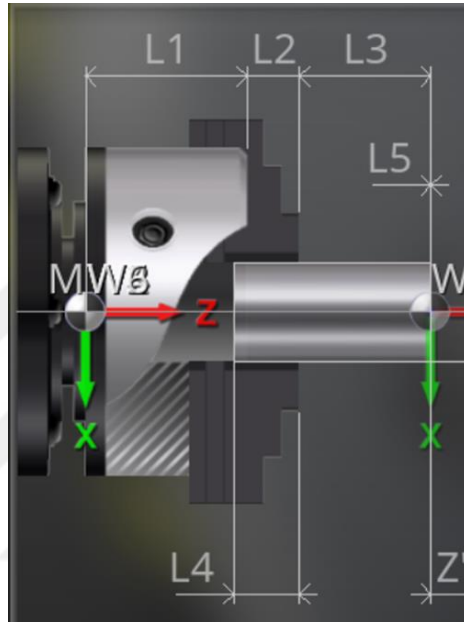
3.1. Deney numunelerinin hazırlanması

İş parçası olarak, 2 adet malzeme seçilmiştir. EN GJS 500/7 küresel grafitli dökme demir bilinen ve birçok alanda kullanılan, aynı zamanda kolay bulunabilen bir malzemedir. Deneylerde EN GJS 500/7 ile katı çözeltiyle güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demir grubundan EN GJS 500/14 malzeme karşılaştırılmıştır. Döktaş Döküm A.Ş.'de 4 adet EN GJS 500/7 ve 4 adet SSF 500/14 malzemeden, 75 mm çapında 300 mm uzunluğunda içi dolu silindir bloklar dökülmüştür. Deney numuneleri Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Deney numuneleri

75 mm çapında ve 300 mm uzunluğunda dökülen parçalar CNC torna tezgahında işlenebilmesi için ikiye kestirilmiş ve 150 mm uzunluğunda olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan 150 mm uzunluğundaki parçaların 50 mm uzunluğundaki kısmı aynanın parçayı tutması için belirlenirken, takımın aynaya çarpmaması için geriye kalan 100 mm uzunluğun 70 mm kadarı işlenerek denemeler yapılmıştır. Şekil 3.2 ve Çizelge 3.1’de numune parçanın aynaya bağlanma ölçüleri görölmektedir.

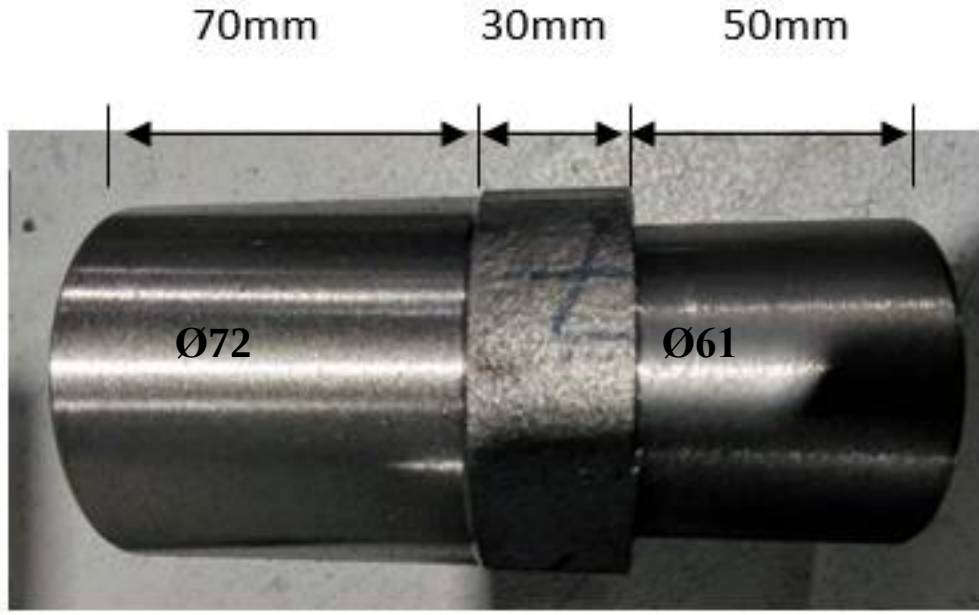


Şekil 3.2. Deney numunesinin aynaya bağlanma konumları

Çizelge 3.1. İş parçasının aynaya bağlanma değerleri

İş parçasının aynaya bağlama değerleri		
L3	Aynanın parçanın işleme başlangıç noktasına uzaklığı	100 mm
L4	İş parçasının pens içerisinde tutulan kısmı	50 mm

Deneme öncesi, tüm parçaların ayna sıkma bölgesi Ø 61 mm ve 50 mm uzunluğunda işlenerek hazırlanmıştır. İşlenecek bölge ise Ø 72 mm kadar işlenmiş ve işleme uzunluğu 70 mm olarak hazırlanmıştır. Şekil 3.3’te iş parçasının deneme öncesi hazırlık yapılmış hali görölmektedir. Her denemede toplam işleme uzunluğu 350 mm olmasını sağlamak için 5 paso tornalama yapılmıştır.



Şekil 3.3. Deney numunesinin tornalama öncesi yapılan hazırlığı

Her numune şekil 3.3'te gösterilen ölçülerde hazırlanıp denemeye hazır hale getirilmiştir. Bu şekilde döküm yüzeyi giderilmiş ve tüm denemeler işlenmiş yüzey üzerinden yapılacak hale getirilmiştir. Aynı zamanda parçanın salgısı alınarak işlenmeye uygun hale getirilmiş olmaktadır. İş parçasının aynaya bağlanmış hali Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Deney numunesinin aynaya bağlı hali.

Tornalama deneyleri Şekil 3.5'te görülen Mazatrol 640T Cnc torna tezgâhında yapılmıştır. Tezgâhın özellikleri;

- X / Z / W en fazla hareket mesafesi 230 mm/575 mm/585 mm.
- En fazla dönme çapı 380 mm
- Sıkıştırma çeneleri arasındaki mesafe 575 mm
- Ana iş mili motoru AC 26/22 Kw
- Ana iş mili en fazla hız 5000 rpm



Şekil 3.5. Mazatrol 640T Cnc torna tezgâhı.

Mazak Cnc tezgâhında çalışmaya uygun hale getirilen iş parçalarının istenilen ölçülerde işlenebilmesi için tezgâhta yeni program oluşturulmuştur. Yazılan program sayesinde, her denemede eşit ve 350 mm uzunluğunda tornalama yapılmıştır. Şekil 3.6'da program sayfası görülmektedir.



Şekil 3.6. Mazatrol 640T CNC torna tezgâhı program sayfası.

Her denemede kesme parametreleri farklı olduğu için programa her deneme başında müdahale edilmiş ve belirlenen kesme şartlarında denemeler gerçekleştirilmiştir. Çap işleme yapıldığı için devir sabit tutulmayıp, hız sabit tutulmuştur. Böylelikle çap küçüldükçe sabit kesme hızı ile denemeler gerçekleştirilmiştir. İlerleme ve derinlik de her denemede belirlenen değerlere getirilmiştir. İki farklı yanaşma açılı takım tutucular türelde farklı pozisyonlara takılarak deneme öncesi belirlenen takım tutucu çağırılmıştır. Tezgâh hem kuru hem de kesme sıvılı işleme özelliğine sahip olduğu için her iki durumda da denemeler gerçekleştirilmiştir.

3.2. İş parçasının kimyasal ve sertlik özellikleri

Çizelge 3.2’de EN GJS 500/7 ve EN GJS 500/14 malzemelerin kimyasal kompozisyonları gösterilmiştir. Döktaş A.Ş. de spektral analiz yöntemi ile kimyasal analiz yapılmıştır. Spektrometre cihazı ile alınan bu değerlerde görüldüğü gibi EN GJS 500/7 ve EN GJS 500/14 malzemelerin kimyasal analiz değerleri, standart değerler ile örtüştüğü görülmüştür. Çizelge 3.3’te iş parçasının sertlik değerleri, Çizelge 3.4’te mikro yapı bilgileri görülmektedir.

Çizelge 3.2. İş parçalarının kimyasal analizi

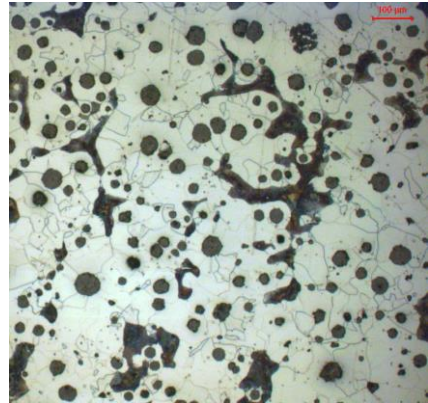
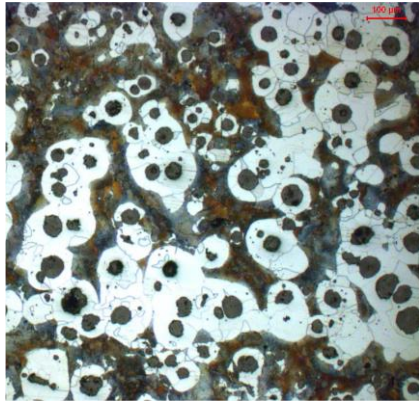
Kimyasal Birleşim (%)									
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mg
EN GJS 500/7	3,71	2,2	0,32	0,024	0,012	0,034	0,012	0,055	0,03
EN GJS 500/14	3,3	3,838	0,232	0,04	0,011	0,034	0,011	0,037	0,053

Çizelge 3.3. İş parçalarının sertlik değerleri

	Sertlik değerleri (HB)
EN GJS 500/7	187
EN GJS 500/14	197

Çizelge 3.4. İş parçalarının mikroyapı değerleri

	GRAFİT	ANAYAPI
EN GJS 500/7	Form I A+B 87 - 91 % küresel (sph) 175 - 240 küre / mm ²	Anayapı: Perlitik Ferrit: 40 - 45 % Fosfor ötektiği: Yok Sementit: Yok Dekarbürasyon: Yok
EN GJS 500/14	Form I A+B 90 - 93 % küresel (sph) 217 - 222 küre / mm ²	Anayapı: Ferritik Perlit: 5 - 10 % Fosfor ötektiği: Yok Sementit: Yok Dekarbürasyon: Yok



X100 DAĞLAMA %2 NITAL NUMUNE EN GJS 500/7 (A) X100 DAĞLAMA %2 NITAL NUMUNE EN GJS 500/14(B)

Şekil 3.7. (A) EN GJS 500/7 (KGDD) ve (B) EN GJS 500/14(SSF) mikro yapıları

3.3. Kesici takım ve takım tutucular

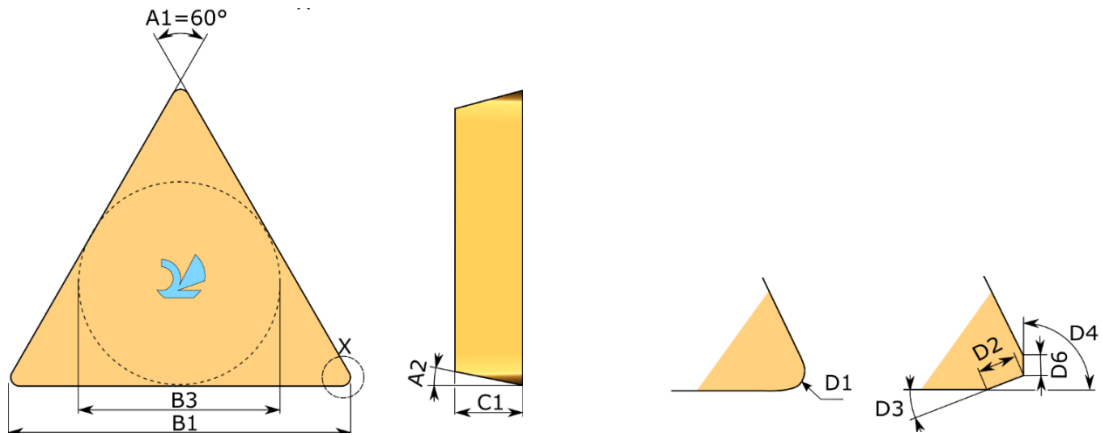
3.3.1 Deneylerde kullanılan kesici takım

Sandvik marka karbür TNMG 16 04 08-PF 4205 kodlu tek tip kesici uç kullanılmıştır. CVD $\text{TICN}+\text{AL}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ kaplamalı kesicinin uç radyüsü 0,8mm'dir. Şekil 3.8'de kesici uç resmi görülmektedir. Kesici uç farklı yanaşma açlarına sahip takım tutuculara takılarak performans karşılaştırılması yapılmıştır.

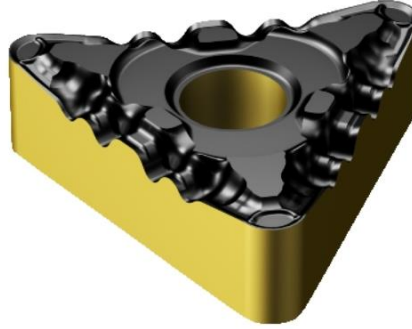


Şekil 3.8. TNMG 16 04 08-PF 4205 karbür kesici uç

Şekil 3.9 ve 3.10'da kesici uç geometrisi ve yapısı görülmektedir.



Şekil 3.9. TNMG 16 04 08-PF 4205 karbür kesici uç geometrisi



Şekil 3.10. TNMG 16 04 08-PF 4205 karbür kesici uç yapısı

Çizelge 3.5’te kesici ucun özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.5. TNMG 16 04 08-PF 4205 karbür kesici ucun özellikleri

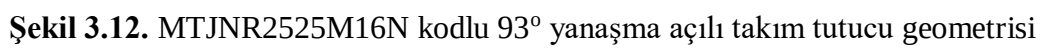
TNMG 16 04 08-PF 4205		
A1	Uç iç açısı	60 Derece
A2	Boşluk açısı	0 Derece
B1	Kesme kenar uzunluğu	16,498 mm
B3	Daire çapı	9,525 mm
C1	Kalınlık	4,763 mm
D1	Köşe yarıçapı	0,794 mm
D75	Ağırlık	0,007 kg
E41	Kesme kenar durum kodu	E - Yuvarlak

3.3.2. Deneylerde kullanılan takım tutucular

İki tip takım tutucu kullanılarak farklı yanaşma açılarının sonuçlara etkisi incelenmiştir. Birinci tip takım tutucu 93° yanaşma açısına sahiptir. Mitsubishi marka MTJNR2525M16N kodlu 93° yanaşma açılı takım tutucudur. Şekil 3.11 ve 3.12’de 93° yanaşma açılı takım tutucunun resmi ve geometrisi, Çizelge 3.6’da ise takım tutucunun özellikleri görülmektedir.



93^o yavaşma açısına sahip takım tutucu TNMG 16 04 08-PF 4205 kodlu kesici uç kullanımına uygun olarak seçilmiştir.



Çizelge 3.6. MTJNR2525M16N kodlu 93° yanaşma açılı takım tutucunun özellikleri

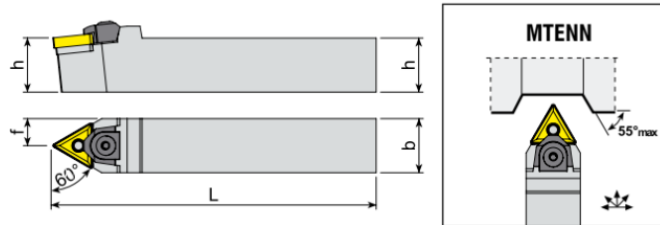
MTJNR2525M16N		
B	Kater gövde genişliği	25 mm
KAPR	Yanaşma açısı	93 Derece
LF	Toplam boy	150 mm
LH	Kater kafa boyu	31 mm
WF	Kater toplam genişliği	32 mm
H	Kater gövde yüksekliği	25 mm
HF	Kater kafa yüksekliği	25 mm

İkinci tip seçilen takım tutucu 60° yanaşma açısına sahip MTENN 2525 M16 kodlu takım tutucudur. Şekil 3.13 ve 3.14'te 60° yanaşma açılı takım tutucunun resmi ve geometrisi, çizelge 3.7'de ise özellikleri görülmektedir.



Şekil 3.13. MTENN 2525 M16 kodlu 60° yanaşma açılı takım tutucu

TNMG 16 04 08-PF 4205 kodlu kesici uç kullanımına uygun olarak seçilmiş takım tutucudur.



Şekil 3.14. MTENN 2525 M16 kodlu 60° yanaşma açılı takım tutucu geometrisi

Çizelge 3.7. MTENN 2525 M16 kodlu 60 ° yanaşma açılı takım tutucunun özellikleri

MTENN 2525 M16		
B	Gövde genişliği	25 mm
KAPR	Yanaşma açısı	60 Derece
L	Toplam boy	150 mm
F	Kesici ucun takım tutucu kenarına mesafesi	12,5 mm
H	Gövde yüksekliği	25 mm
H	Kafa yüksekliği	25 mm

3.4. Deneylerde kullanılan kesme sıvısı

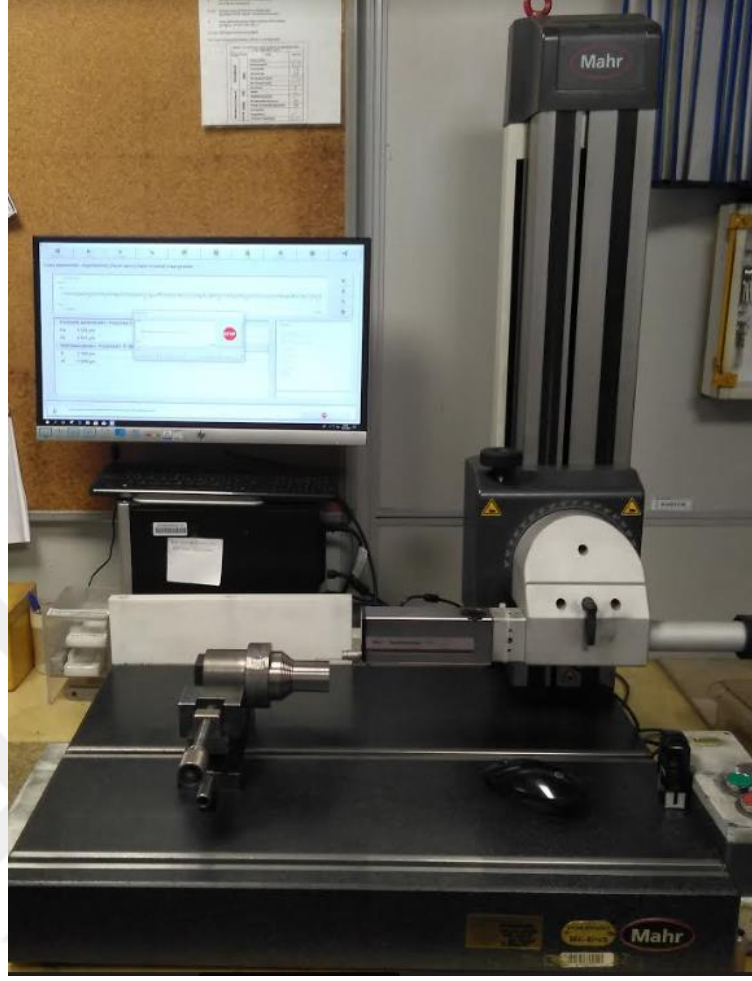
Deneyler hem kuru hem de kesme sıvılı kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede kuru ve kesme sıvılı kesme şartlarının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına olan etkileri incelenecektir. Kesme sıvısı MEVAG ESTRA serisi içerisinde yarı sentetik mikro emülsiyon metal işleme sıvısıdır. Çizelge 3.8’de MEVAG ESTRA kesme sıvısı ölçüm değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.8. MEVAG ESTRA kesme sıvısı ölçüm değerleri

KESME SIVISI ÖLÇÜM DEĞERLERİ		
	Önerilen Değer	Ölçülen Değer
Ph	8,5-9,5	9,25
Önerilen Karışım oranı (%)	5-7	6,8
İletkenlik (µs)	En fazla. 7500	2990

3.5. Yüzey pürüzlülük ölçümü

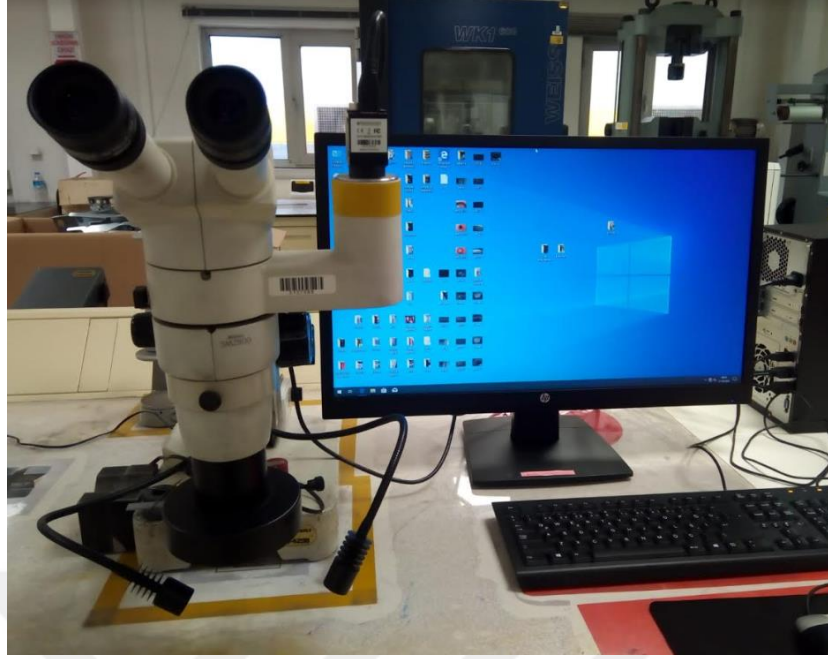
Yüzey pürüzlülüğü, Mahr marka cihazla gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Ra değerleri hesaba katılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri 16 mm uzunluğunda gerçekleştirilmiştir. Her deneme sonrası yüzeyin pürüzlülüğü ölçülüp diğer denemeye geçilmiştir. Şekil 3.15’te Mahr yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı görülmektedir.



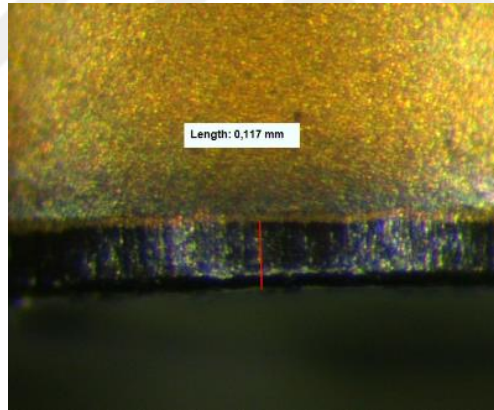
Şekil 3.15. Mahr yüzey pürüzlülük cihazı

3.6. Kesici takım aşınmasının ölçümü

Denemede kullanılan kesiciler Şekil 3.16’da görülen Nikon SMZ800 marka binoküler mikroskop altında incelenip, en yüksek aşınma miktarları kaydedilmiştir. Yapılan bütün denemelerde, işlenen boy eşit ve 350 mm olarak gerçekleştirilmiştir. Her denemede, kullanılmamış, farklı kesici uçlar ile denemeler yapılmıştır. Deney sonunda bütün kesicilerdeki en yüksek aşınma miktarları ayrı ayrı ölçülüp kaydedilmiştir. Şekil 3.17’de kesici aşınması görülmektedir. Aşınma miktarı ile karşılaştırmak amaçlı, her denemenin gerçekleşme süresi ölçülmüştür.

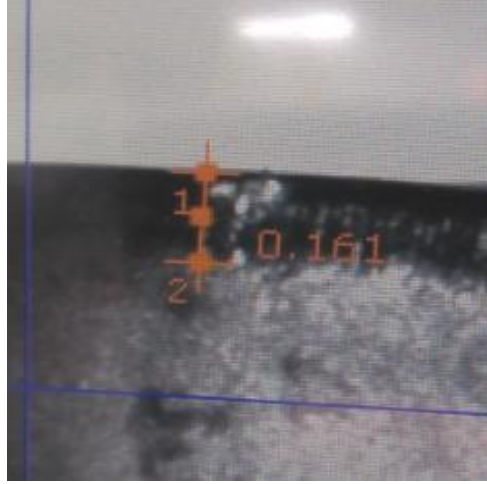


Şekil 3.16. Nikon SMZ800 marka binoküler mikroskop



Şekil 3.17. Nikon SMZ800 marka binoküler mikroskop ile ölçülmüş kesici aşınma fotoğrafı

Kesici aşınmalarının ölçümünün doğrulanması amacı ile kesici aşınmaları ZOLLER GENIUS 3S marka universal ölçüm tezgâhında ölçülmüştür. Şekil 3.18’de aşınma resmi görülmektedir. Her iki ölçüm sonucundan alınan değerler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Uygun olan aşınma değeri belirlenip kaydedilmiştir.



Şekil 3.18. ZOLLER GENIUS 3S marka universal ölçüm tezgâhında ölçülmüş kesici aşınması

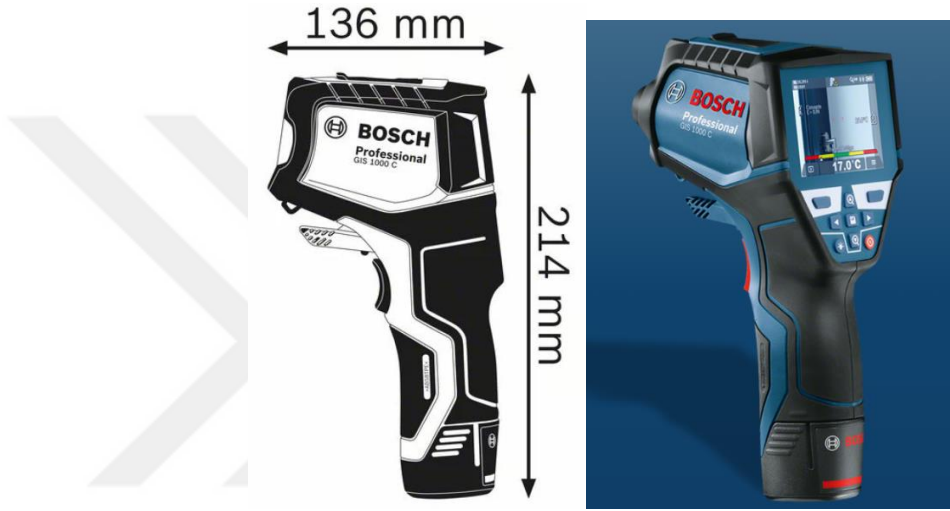
ZOLLER GENIUS 3S takım ayarlama, ölçü ve kontrolü yapan otomatik bir makinedir. Kesici uçların takıma bağlanmasından sonra işleme makinesinde daha önce belirlenmiş tolerans aralığına göre takımın boy ve çap kontrolünü otomatik yapmaktadır. Sonucu uygun veya değil şeklinde kullanıcıya bildirerek ilk parçada doğru işleme yapılabilmesine olanak sağlayan bir makinedir. Şekil 3.19’da ZOLLER GENIUS 3S cihazı görülmektedir.



Şekil 3.19. ZOLLER GENIUS 3S marka universal ölçüm tezgâhı

3.7. Denemeler esnasında kesici uçtaki sıcaklığın ölçülmesi

Yapılan kuru kesme denemelerinde, sıcaklığın aşınmaya olan etkisinin incelenmesi amacıyla Şekil 3.20’de görülen BOSCH GIS 1000 marka ısı detektörü kullanılarak sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. 1000 ° C’ye kadar ölçüm yapabilen detektör anlık olarak en yüksek sıcaklığı belirleyip kayıt yapabilmektedir. Bu sayede kesme esnasında sıcaklığın en yüksek olduğu kesme işleminin son kısımlarında ölçümler alınarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.20. BOSCH GIS 1000 marka ısı detektörü

3.8. İşleme parametrelerinin belirlenmesi ve deney şartlarının oluşturulması

Deneylerde, 5 farklı değişken parametrenin, 2 farklı iş parçası malzeme üzerinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına olan etkisinin incelenmesi planlanmıştır. Bu değişkenler; kesme hızı, ilerleme, derinlik, kesme sıvılı/kuru işleme ve farklı yanaşma açılara sahip takımlardır. Çizelge 3.9’da gösterilmiştir. İş parçası malzemesi EN GJS 500/7 ve EN GJS 500/14 olarak belirtildi. Mitsubishi marka MTJNR2525M16N kodlu 93° yanaşma açılı takım tutucu “93°” olarak, MTENN 2525 M16 kodlu 60° yanaşma açılı takım tutucu ise “60°” olarak Çizelge 3.9’da belirtilmiştir.

Kesme hızı, ilerleme ve derinlik belirlenirken, tezgâhın ve malzemelerin özellikleri ile literatür çalışmaları göz önünde bulundurulmuştur.

Değişken parametrelerin fazla olmasından dolayı Tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmamıştır. Eğer bu deney tasarımı kullanılsa idi, 216 adet deney yapılması gerekiyor. Deney sayısını azaltmak amacıyla Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Çizelge 3.10’da belirlenen deney tasarımı gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Taguchi deneyi için seçilen kriter ve seviyeler

Parametreler	Seviyeler		
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
İş parçası malzemesi	EN-GJS 500/7	EN-GJS 500/14	
Kater	93°	60°	
Kesme sıvılı / Kuru İşleme	Kesme sıvılı	Kuru	
Hız (M/dk)	200	250	300
İlerleme (mm/dev)	0,1	0,2	0,3
Derinlik (mm)	0,5	1	1,5

Minitab 19 programında Taguchi deney tasarımı kısmında Çizelge 3.9’daki değerler için uygun olan ‘karışık seviye’ tasarım tipi seçilmiştir. Çizelge 3.10’da gösterilen L36 orthogonal dizin belirlenmiştir.

Çizelge 3.10. Taguchi L₃₆ deney tasarımı

Deney No	İş Parça Türü	Yanaşma Açısı	Kesme sıvılı/ Kuru İşlem	Hız (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Derinlik (mm)
1	500/7	93°	K. sıvılı	200	0,1	0,5
2	500/7	93°	K. sıvılı	250	0,2	1
3	500/7	93°	K. sıvılı	300	0,3	1,5

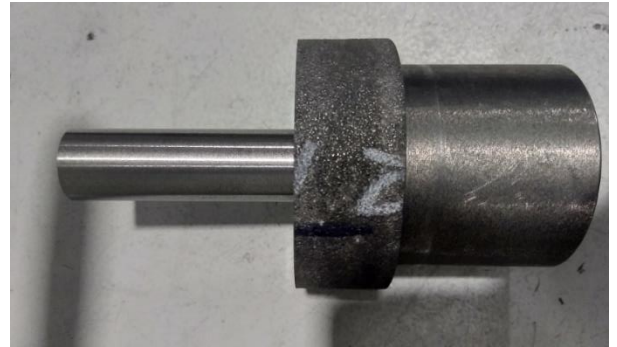
Çizelge 3.10. Taguchi L₃₆ deney tasarımı (Devam)

4	500/7	93°	K. sıvılı	200	0,1	0,5
5	500/7	93°	K. sıvılı	250	0,2	1
6	500/7	93°	K. sıvılı	300	0,3	1,5
7	500/7	93°	Kuru	200	0,1	1
8	500/7	93°	Kuru	250	0,2	1,5
9	500/7	93°	Kuru	300	0,3	0,5
10	500/7	60°	K. sıvılı	200	0,1	1,5
11	500/7	60°	K. sıvılı	250	0,2	0,5
12	500/7	60°	K. sıvılı	300	0,3	1
13	500/7	60°	Kuru	200	0,2	1,5
14	500/7	60°	Kuru	250	0,3	0,5
15	500/7	60°	Kuru	300	0,1	1
16	500/7	60°	Kuru	200	0,2	1,5
17	500/7	60°	Kuru	250	0,3	0,5
18	500/7	60°	Kuru	300	0,1	1
19	500/14	93°	Kuru	200	0,2	0,5
20	500/14	93°	Kuru	250	0,3	1
21	500/14	93°	Kuru	300	0,1	1,5
22	500/14	93°	Kuru	200	0,2	1
23	500/14	93°	Kuru	250	0,3	1,5
24	500/14	93°	Kuru	300	0,1	0,5
25	500/14	93°	K. sıvılı	200	0,3	1
26	500/14	93°	K. sıvılı	250	0,1	1,5
27	500/14	93°	K. sıvılı	300	0,2	0,5
28	500/14	60°	Kuru	200	0,3	1
29	500/14	60°	Kuru	250	0,1	1,5
30	500/14	60°	Kuru	300	0,2	0,5
31	500/14	60°	K. sıvılı	200	0,3	1,5

Çizelge 3.10. Taguchi L₃₆ deney tasarımı (Devam)

32	500/14	60°	K. sıvılı	250	0,1	0,5
33	500/14	60°	K. sıvılı	300	0,2	1
34	500/14	60°	K. sıvılı	200	0,3	0,5
35	500/14	60°	K. sıvılı	250	0,1	1
36	500/14	60°	K. sıvılı	300	0,2	1,5

Deneyler, belirlenen plana ve deney sırasına göre gerçekleştirilmiştir. Her deneyde yeni kesici uç kullanılmıştır. Tüm deneylerde işleme uzunluğu eşit ve 350 mm olarak gerçekleştirilmiştir. Mazatrol'da program yazılarak, iş parçasının takım tutucu tarafındaki ucundan aynaya doğru 70 mm işlemesi sağlanmıştır. Her deneme için bu işlem toplamda 5 kez yapılmıştır. Böylelikle her denemede eşit 350 mm tornalama yapılmıştır. Her denemede, belirlenen parametre değerleri uygulanmış olup, her denemenin süresi ölçülmüştür. Her deneme sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçülüp kaydedilmiştir. Şekil 3.21'de iş parçasının tornalama öncesi ve sonrası resimleri görülmektedir.



Şekil 3.21. İş parçasının tornalama öncesinde ve sonrasındaki hali

3.9. Taguchi metodu

Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen, kalite ve maliyet konularındaki iyileştirmeleri hedef alan istatistiksel bir metottur. Taguchi deney tasarımının en önemli avantajlarından biri yapılan deney sayısının azaltılmasına yöneliktir. Geleneksel deney

tasarımlarında, değişkenler ve faktörler arttıkça deney sayısı logaritmik olarak artmaktadır. Bu durum da deneyin yapılmasını zorlaştırmakla beraber zaman ve maliyet kaybına sebep olmaktadır. Taguchi yönteminde aynı anda daha fazla değişkenin ve faktörün katkısı hesaplanabildiği için daha az deneyle en uygun sonucun bulunması sağlanabilmektedir.

Taguchi yönteminde, sonuçların değerlendirilmesinde sinyal/gürültü oranı kullanılmaktadır. Sinyal, ortalamayı ifade ederken, gürültü ise standart sapmayı göstermektedir. S/N oranı üçe ayrılır.

En yüksek en iyi durumu, isminden de anlaşılacağı gibi en yüksek değer en iyi durumu ifade etmektedir. Güç ve verim gibi durumların analizi yapıldığında en yüksek en iyi durumunda çıkan S/N oranının kullanımı uygun olmaktadır.

$$\frac{S}{N}: -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.1)$$

Nominal en iyi olduğu durumda ise ikili toleransı olan bir faktörde nominal değer en uygun değerdir. Ürün boyutları gibi durumlarda uygun olmaktadır.

$$\frac{S}{N}: 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{s_y^2} \right) \quad (3.2)$$

En küçük en iyi olduğu durumlar ise genellikle yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması gibi en küçük değer en iyi olduğu durumlardır.

$$\frac{S}{N}: -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.3)$$

Taguchi deney tasarımı faktörlerin belirlenmesi ile başlamaktadır. Sonrasında belirlenen faktörler için seviyeler belirlenmektedir. Belirlenen seviyelerin ardından uygun ortogonal dizin seçilerek matris deneyi tasarlanmaktadır. Tasarlanan deney tasarıma göre deneylerin gerçekleştirilmesinden sonra sonuçlar analiz edilmektedir.

4. BULGULAR

4.1. Yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

Yapılan deneylerin sonuçları Taguchi yönteminde ‘En küçük en iyi’ özelliğine göre belirlenmiştir. Ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri S/N oranına dönüştürülerek sonuçlar değerlendirilmiş varyans analizleri de yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi olan kesme hızı, ilerleme, derinlik, yanalma açısı ve kesme sıvılı/kuru kesme şartları ve her bir parametrenin etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1.1. Yüzey pürüzlülük deneylerin sonuçları

Çizelge 4.1’de her bir denemede ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir. Yapılan deneylerde en iyi yüzey pürüzlülük değeri EN GJS 500/14 SSF malzeme üzerinde kesme sıvılı kesme şartlarında 250 m/dk kesme hızında 0,1 mm ilerleme ve 1,5 mm derinlikte 93° yanalma açısı ile yapılan denemede görülmüştür.

Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları ve S/N oranları

Deney No	İş Parça Türü	Yanalma Açısı	K.sıvılı/Kuru İşlem	Hız (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Derinlik (mm)	Ra (µm)	S/N Oranı (dB)
1	500/7	93°	K. sıvılı	200	0,1	0,5	0,499	5,968
2	500/7	93°	K. sıvılı	250	0,2	1	1,061	-0,6248
3	500/7	93°	K. sıvılı	300	0,3	1,5	3,531	-10,973
4	500/7	93°	K. sıvılı	200	0,1	0,5	0,507	*
5	500/7	93°	K. sıvılı	250	0,2	1	1,088	*
6	500/7	93°	K. sıvılı	300	0,3	1,5	3,544	*
7	500/7	93°	Kuru	200	0,1	1	0,958	0,373
8	500/7	93°	Kuru	250	0,2	1,5	1,632	-4,254
9	500/7	93°	Kuru	300	0,3	0,5	4,023	-12,091
10	500/7	60°	K. sıvılı	200	0,1	1,5	0,638	3,904
11	500/7	60°	K. sıvılı	250	0,2	0,5	1,327	-2,457

Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları ve S/N oranları (Devam)

12	500/7	60°	K. sıvılı	300	0,3	1	3,577	-11,070
13	500/7	60°	Kuru	200	0,2	1,5	0,979	0,016
14	500/7	60°	Kuru	250	0,3	0,5	3,762	-11,491
15	500/7	60°	Kuru	300	0,1	1	0,467	6,68
16	500/7	60°	Kuru	200	0,2	1,5	1,017	*
17	500/7	60°	Kuru	250	0,3	0,5	3,747	*
18	500/7	60°	Kuru	300	0,1	1	0,459	*
19	500/14	93°	Kuru	200	0,2	0,5	1,548	-3,795
20	500/14	93°	Kuru	250	0,3	1	3,611	-11,153
21	500/14	93°	Kuru	300	0,1	1,5	0,699	3,110
22	500/14	93°	Kuru	200	0,2	1	1,249	-1,931
23	500/14	93°	Kuru	250	0,3	1,5	4,078	-12,209
24	500/14	93°	Kuru	300	0,1	0,5	0,689	3,236
25	500/14	93°	K. sıvılı	200	0,3	1	3,559	-11,027
26	500/14	93°	K. sıvılı	250	0,1	1,5	0,462	6,707
27	500/14	93°	K. sıvılı	300	0,2	0,5	0,573	4,837
28	500/14	60°	Kuru	200	0,3	1	3,655	-11,258
29	500/14	60°	Kuru	250	0,1	1,5	0,701	3,086
30	500/14	60°	Kuru	300	0,2	0,5	1,431	-3,113
31	500/14	60°	K. sıvılı	200	0,3	1,5	3,603	-11,133
32	500/14	60°	K. sıvılı	250	0,1	0,5	0,628	4,041
33	500/14	60°	K. sıvılı	300	0,2	1	0,936	0,574
34	500/14	60°	K. sıvılı	200	0,3	0,5	3,508	-10,901
35	500/14	60°	K. sıvılı	250	0,1	1	0,552	5,161
36	500/14	60°	K. sıvılı	300	0,2	1,5	0,694	3,173

4.1.2. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranı yanıt tablosu

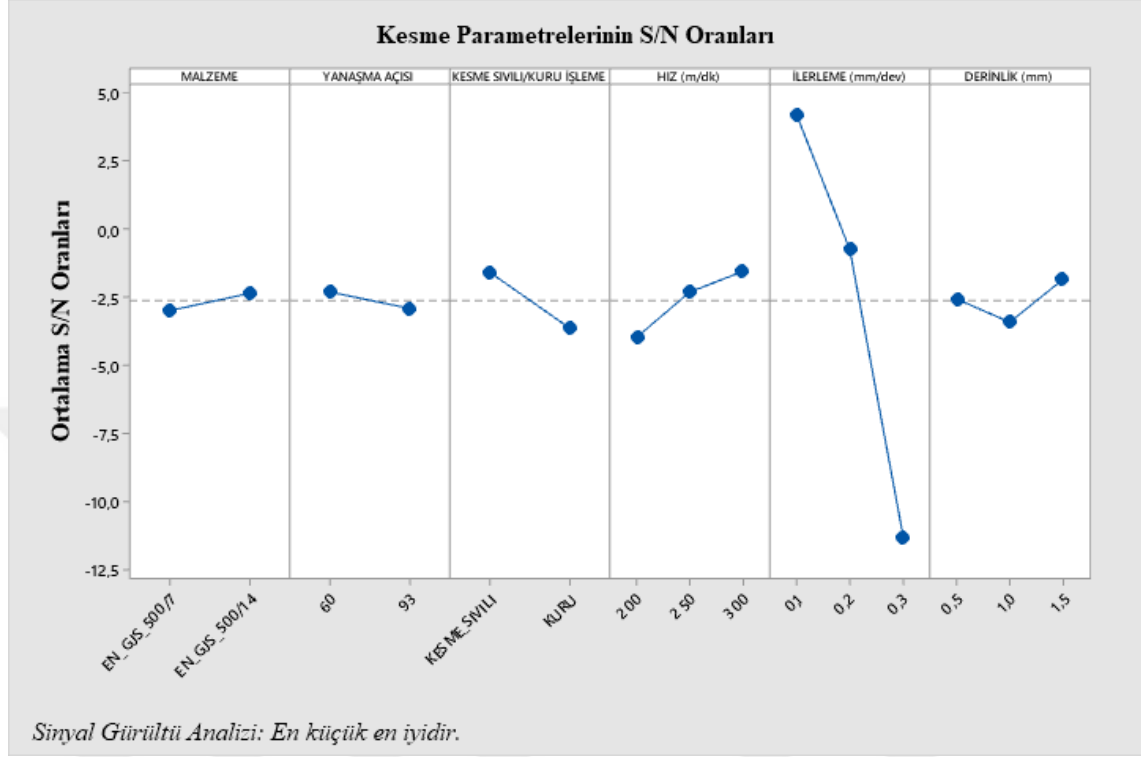
Yapılan 36 adet denemenin sonuçları Taguchi yöntemi ile analiz edilmiştir. S/N oranı en yüksek olan değer yüzey pürüzlülük açısından en iyi sonucu göstermektedir. Çizelge 4.2’de gösterilen analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etkisi en çok olan parametrenin ilerleme olduğu, ilerlemeyi sırasıyla kesme sıvılı/kuru şartlarında tornalama, kesme hızı, derinlik, malzemenin türü ve takım yanaşma açısının takip ettiği görülmüştür.

Çizelge 4.2. Yüzey pürüzlülük S/N oranı yanıt tablosu

Seviye	Malzeme	Yanaşma açısı	Kesme sıvılı/ Kuru İşleme	Hız(m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Derinlik (mm)
1	-3,238	-2,909	-1,575	-3,972	3,930	-2,570
2	-2,366	-2,522	-3,855	-2,308	-0,747	-3,720
3				-1,865	-11,329	-1,856
Fark	0,872	0,387	2,280	2,106	15,259	1,864
Sıralama	5	6	2	3	1	4

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere EN GJS 500/14 malzemedeki yüzey pürüzlülük değerleri EN GJS 500/7 malzemeye göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. 60° yanaşma açılı takım tutucu ile yapılan deneylerdeki yüzey pürüzlülük değerleri 93° yanaşma açılı takım tutucu ile yapılan deneylerdeki yüzey pürüzlülüklerine göre daha düşük çıkmıştır. Yine her iki malzemede, kesme sıvılı kesme şartlarında daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Her iki malzemede de ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. 0,2 mm ilerleme ile elde edilen sonuçlar 0,1 ilerleme sonuçlarının yaklaşık 2 katı iken, 0,3 mm ilerleme ile elde edilen sonuçlar 0,2 mm ilerleme sonuçlarının yaklaşık 3,5 kat olduğu gözlenmiştir. Hız arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür. Derinliğin yüzey pürüzlülüğe etkisi doğrusal bir şekilde olmadığı, 0,5 mm derinlikten 1 mm derinliğe gidildikçe yüzey

pürüzlülüğünün arttığı, daha yüksek derinlikte ise yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Kesme parametrelerin S/N oranları

4.1.3. Yüzey pürüzlülüğü varyans analizi (ANOVA)

Varyans analizi yöntemi ile yüzey pürüzlülüğüne etki eden kesme parametrelerin etkileri incelenmiştir. Varyans analizi giriş parametrelerinin çıkış parametreleri üzerindeki etkisinin sayısal olarak belirlendiği istatistiki analiz yöntemidir. Varyans analiz sonuçları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. İstatistiki olarak %95 güven aralığında çalışılmıştır. Çizelgede gösterilen P değerinin 0,05 altında olması yüzey pürüzlülük açısından anlamlılık göstermektedir. Serbestlik derecesi, parametrenin seviyelerinden 1 çıkarılarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.3'te yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametrelerin etki oranları gösterilmiştir. İlerlemenin 97,28% ile çok yüksek oranda yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği

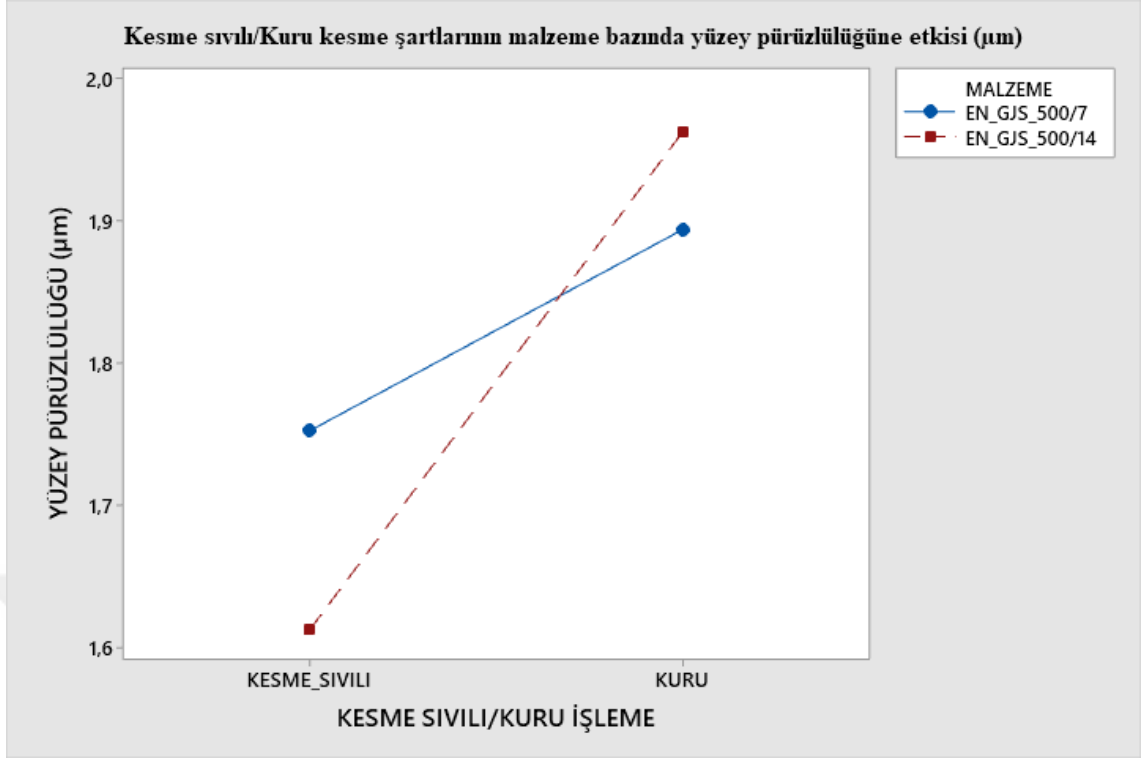
görülmektedir. Ardından 0,97% kesme sıvılı/kuru işlemenin etki ettiği sonrasında ise 0,18% ile kesme hızının geldiği görülmektedir.

Çizelge 4.3. Yüzey pürüzlülük varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	% Etki	Kareler Toplam ₁	Karelerin ortalaması	F-Değer	P-Değer
İlerleme(mm/dev)	2	97,28%	64,309	32,1545	882,16	0
Derinlik(mm)	2	0,04%	0,0281	0,0141	0,39	0,68
Hız(m/dk)	2	0,18%	0,1167	0,0583	1,6	0,22
Kesme sıvılı / Kuru işleme	1	0,97%	0,6419	0,6419	17,61	0
Malzeme	1	0,04%	0,0242	0,0242	0,66	0,42
Kater türü	1	0,06%	0,0428	0,0428	1,17	0,28
Hata	26	1,43%	0,9477	0,0364		
Uyum eksikliği	20	1,34%	0,886	0,0443	4,31	0,03
Saf hata	6	0,09%	0,0617	0,0103		
Toplam	35	100,00%				

4.1.4. Kesme sıvılı/kuru işlemenin malzeme bazında ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi

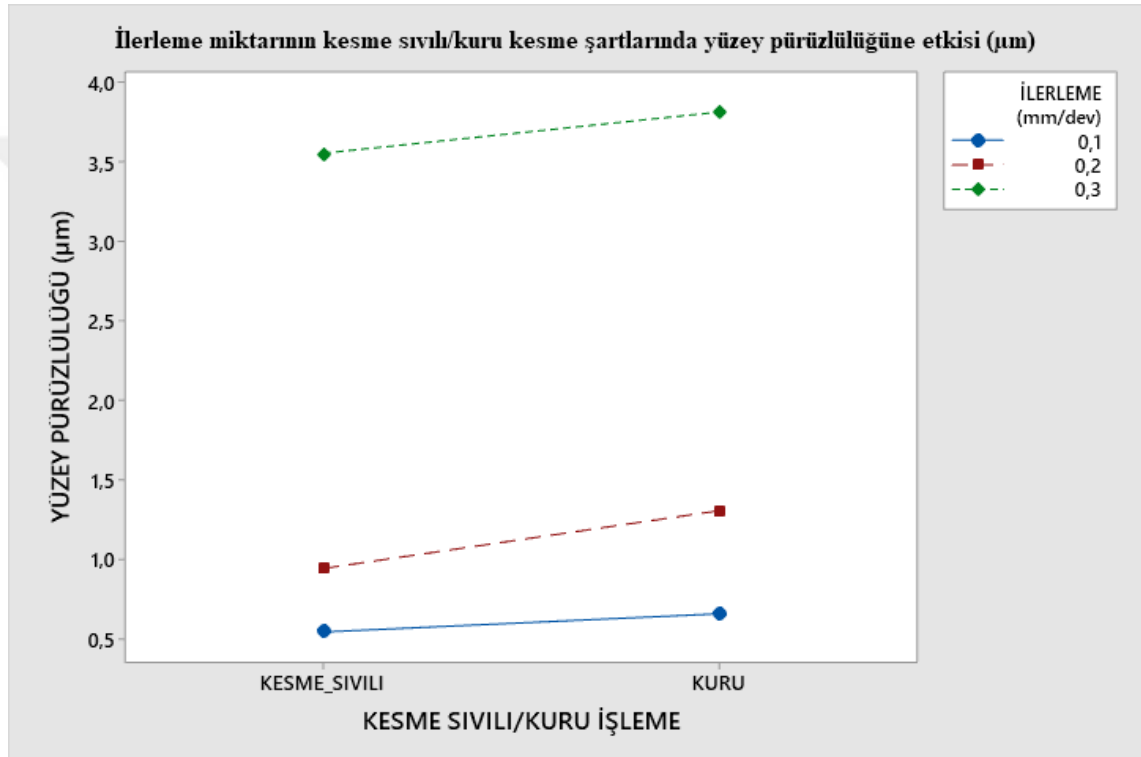
Kesme sıvılı ve kuru kesme şartlarında yapılan denemelerde, kesme sıvılı kesme şartlarında yüzey pürüzlülükleri her iki malzemede de kuru kesme şartlarına göre daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4.2. Kesme sıvılı/Kuru kesme şartlarının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 4.2’de kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisi görülmektedir. Kesme sıvılı kesme şartlarında EN GJS 500/14 malzemedeki yüzey pürüzlülük değerleri EN GJS 500/7 malzemeye göre daha düşük çıkmıştır. Her iki malzemede de kesme sıvılı kesme şartlarındaki yüzey pürüzlülük değerleri kuru kesme şartlarına göre daha iyi olmasına rağmen EN GJS 500/14 malzeme yüzey pürüzlülük açısından kesme sıvılı kesme şartlarında daha iyi performans göstermiştir. EN GJS 500/14 malzemedeki ortalama pürüzlülük değeri 1,61µm gelirken bu değer EN GJS 500/7 malzemede 1,75 µm gelmiştir. Kuru kesme şartlarında ise değerler birbirine yakın olmakla beraber EN GJS 500/7 malzemedeki ortalama yüzey pürüzlülük değerleri EN GJS 500/14 malzemeye göre daha düşük çıkmıştır. EN GJS 500/14 malzemedeki ortalama pürüzlülük değeri 1,96µm gelirken bu değer EN GJS 500/7 malzemede 1,9 µm gelmiştir. Kesme sıvılı kuru kesmenin iş parçası malzemesi bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisi EN GJS 500/14 malzemede daha etkin olduğu görülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğe etkisi en fazla parametre olan ilerleme olduğu için kesme sıvılı/kuru kesme şartları ile olan etkileşiminin grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.3'te görüldüğü üzere her ilerleme seviyesinde kuru kesme şartlarındaki yüzey pürüzlülüklerinin kesme sıvılı kesme şartlarındaki yüzey pürüzlülüklerine göre daha yüksek çıkmıştır. 0,1 ilerleme değerinde kesme sıvılı ve kuru kesme şartlarındaki yüzey pürüzlülük değerleri birbirine yakın olmakla birlikte 0,2 ve 0,3 ilerleme seviyelerinde kuru kesme şartlarındaki yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür.

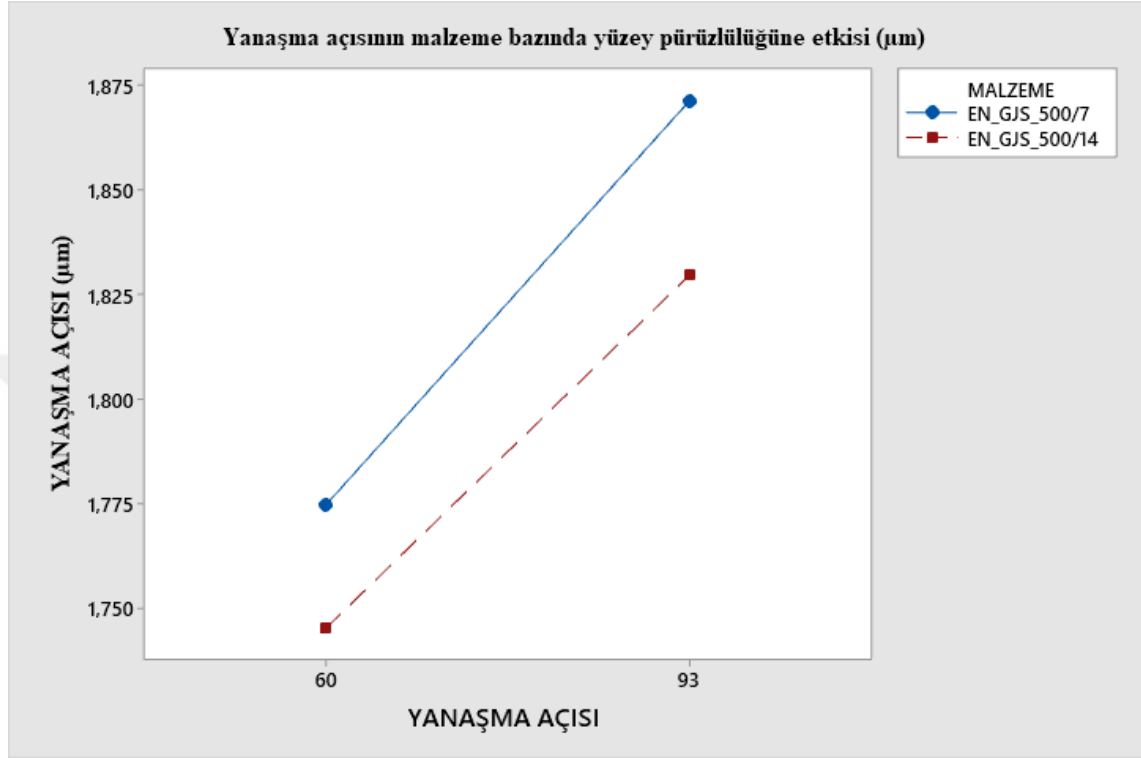


Şekil 4.3. İlerleme miktarının kesme sıvılı/kuru kesme şartlarında yüzey pürüzlülüğüne etkisi

4.1.5. Yanaşma açısının malzeme bazında ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Yapılan deneylerde her iki malzemede de yanaşma açısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. Bunun sebebi daha küçük yanaşma açısına sahip takımda meydana gelen kesme kuvveti daha büyük yanaşma açısına sahip takımda meydana gelen kesme kuvvetinden daha küçük olduğu için daha kararlı bir kesme işlemi olmaktadır (Neşeli 2007).

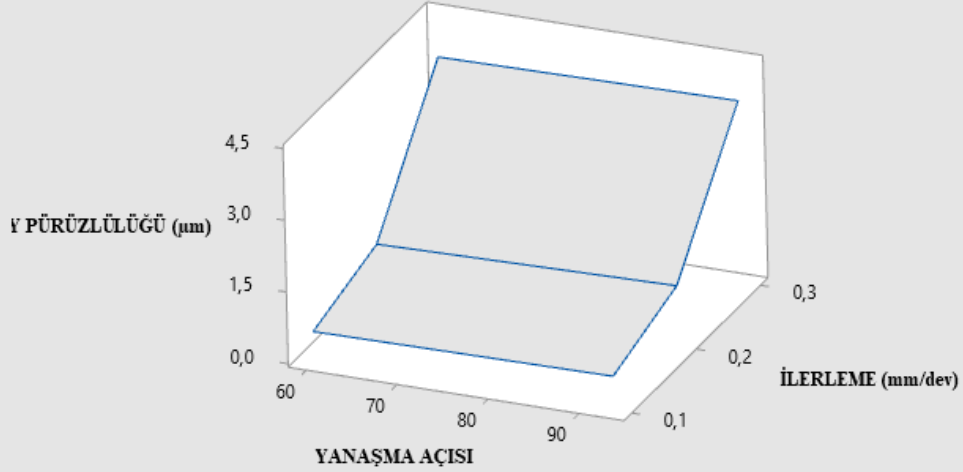
60° ve 93° yaklaşma açılarına sahip takım tutucular ile yapılan deneylerde yanaşma açılarının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisinin çok düşük olduğu Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Yanaşma açısının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Yüzey pürüzlülüğüne etkisi en fazla parametre ilerleme olduğu için yanaşma açısı ile olan etkileşiminin grafiği Şekil 4.5'te görülmektedir. Her ilerleme seviyesinde 60° yanaşma açılı takım tutucu ile yapılan deneylerin ortalama yüzey pürüzlülüklerinin 93° yanaşma açılı takım tutucu ile yapılan deneylerdeki ortalama yüzey pürüzlülüklerine göre daha düşük çıktığı görülmüştür. Yanaşma açısının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir. Yanaşma açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi farklı ilerleme miktarlarında benzer olduğu görülmüştür.

YANAŞMA AÇISI VE İLERLEMENİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ



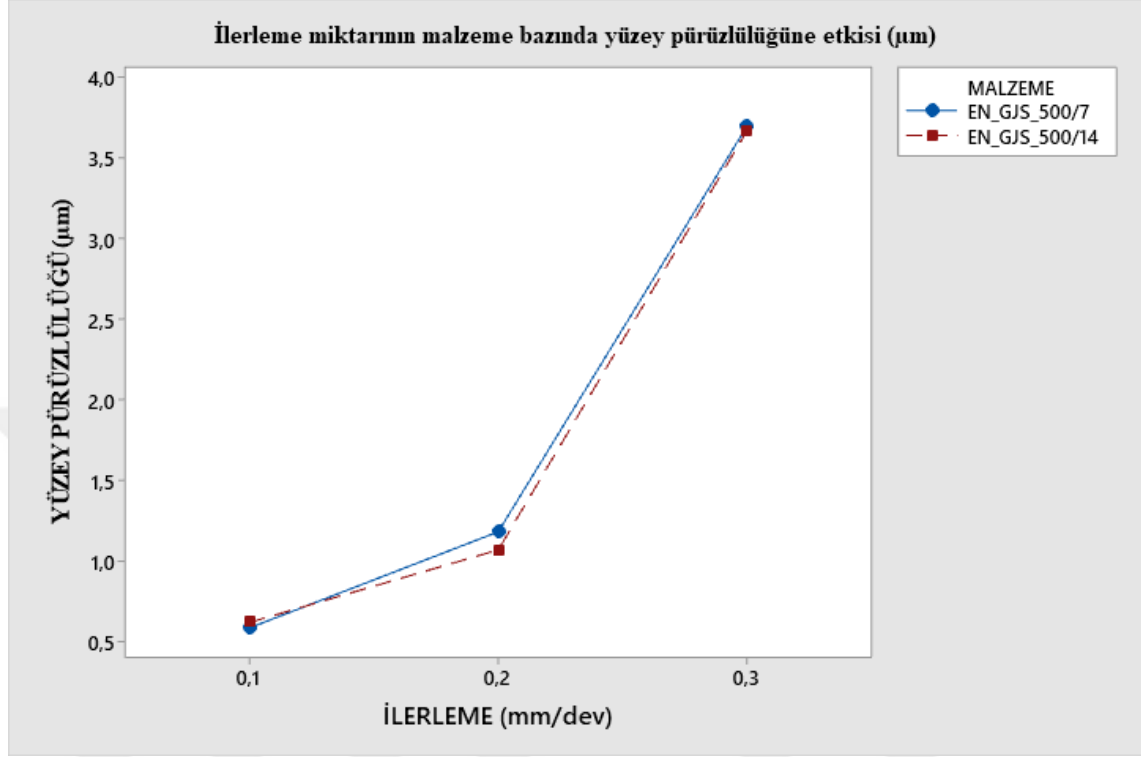
Şekil 4.5. İlerleme miktarının farklı yanaşma açılarında yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Farklı ilerleme seviyelerindeki farklı yanaşma açılı takım tutucular ile yapılan denemelerdeki yüzey pürüzlülük değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Düşük ilerleme (0,1 mm/dev) ve 60° ile yapılan denemeler yüzey pürüzlülük değerleri açısından en iyi sonucu vermiştir.

4.1.6. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

İlerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı bilinmektedir. Yapılan deneylerde de 0,2 mm ilerlemede oluşan yüzey pürüzlülük değeri 0,1 mm ilerlemede oluşan yüzey pürüzlülük değerinin yaklaşık iki katı iken 0,3 mm ilerlemede oluşan yüzey pürüzlülüğü 0,2 mm ilerlemede oluşan yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık 3,5 katı olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi her iki malzemede de benzer sonuçlar doğurmuştur. İlerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi 0,1 mm/dev ilerleme seviyesinde her iki malzemede de yakın sonuçlar vermesine rağmen EN GJS 500/7 malzemesinde daha düşük çıkmıştır. 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarlarında ise EN GJS 500/14 malzemesinde daha düşük çıkmıştır. İlerlemenin ve

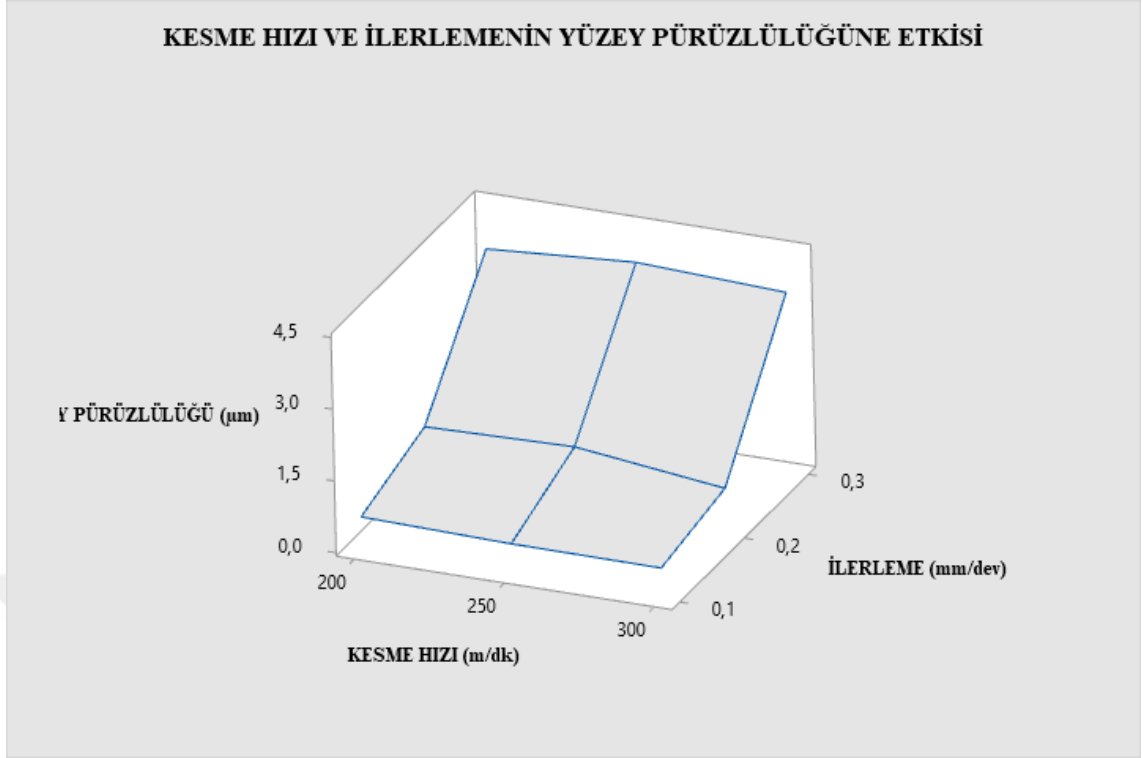
ilerleme miktarının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisinin farklı olmadığı Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. İlerleme miktarının malzeme bazında yüzey pürüzlülüğüne etkisi

4.1.7. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü genel olarak azalmaktadır. Yapılan denemelerde de kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi çok olmamakla beraber, 0,1 mm/dev ilerlemede 200m/dk hızdan 300m/dk hıza çıkıldığında 0,65 µm değerinden 0,57 µm değerine düştüğü görülmektedir. 0,2 mm/dev ilerlemede ise 1,2 µm değerinden 0,9 µm değerine düştüğü görülmektedir. 0,3 mm/dev ilerlemede ise 3,6 µm değerinden 3,66 µm değerine çıktığı görülmektedir. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi çok fazla olmadığı Şekil 4.7’de görülmektedir.

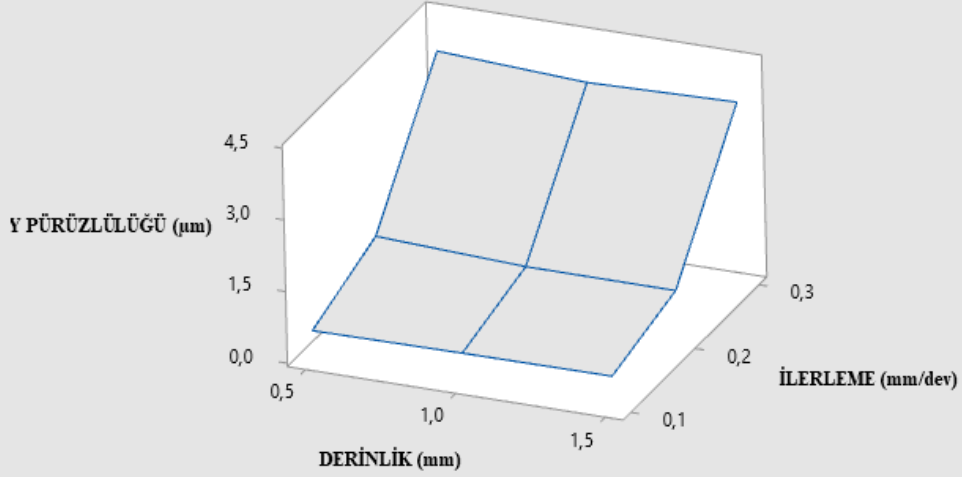


Şekil 4.7. Kesme hızlarının ilerleme miktarlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etkisi

4.1.8. Kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Kesme derinliğinin de yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok fazla etkisi görülmemektedir. 0,1 mm/dev ilerlemede derinlik arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde belirgin bir değişiklik olmazken, yüzey pürüzlülük değeri 0,58 μm değerinden 0,63 μm değerine çıktığı görülmüştür. 0,2 mm/dev ilerlemede ise derinlik miktarı arttıkça 1,2 μm değerinden 1 μm değerine düştüğü görülmüştür. 0,3 mm/dev ilerlemede ise 3,76 μm değerinden 3,69 μm değerine geldiği görülmüştür. Şekil 4.8’de kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi görülmektedir.

DERİNLİK VE İLERLEME MİKTARININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ



Şekil 4.8. Kesme derinliğinin ilerleme miktarlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etkisi

4.2. Takım aşınması

Yapılan deneylerde her denemede eşit ve 350 mm uzunlukta kesme işlemi yapılmıştır. Her denemede yeni kesici uç kullanılmıştır. Deneme sonrası kesiciler Nikon SMZ800 marka binoküler mikroskop cihazında ve ZOLLER GENİUS 3S marka universal ölçüm tezgâhında ölçülerek aşınma miktarları kaydedilmiştir. Aşınma miktarları değerlendirilip uygun olan ölçüm seçilmiştir. Aşınma miktarlarının malzeme bazında ve kesme parametrelerine göre karşılaştırılması yapılmıştır. Kesici üzerindeki yan yüzey aşınmaları kontrol edilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 4.4. Takım aşınması ölçüm sonuçları ve S/N oranları

No	İş Parça Türü	Yanaş ma açısı	Kesme sıvılı/ Kuru İşlem	Hız (m/ dk)	İlerleme (mm/ dev)	Derin lik (mm)	Takım Aşınma miktarı (mm)	S/N Oranı (dB)
1	500/7	93°	K. sıvılı	200	0,1	0,5	0,157	16,082
2	500/7	93°	K. sıvılı	250	0,2	1	0,139	17,638
3	500/7	93°	K. sıvılı	300	0,3	1,5	0,140	17,077
4	500/7	93°	K. sıvılı	200	0,1	0,5	0,157	*
5	500/7	93°	K. sıvılı	250	0,2	1	0,123	*
6	500/7	93°	K. sıvılı	300	0,3	1,5	0,140	*
7	500/7	93°	Kuru	200	0,1	1	0,178	14,991
8	500/7	93°	Kuru	250	0,2	1,5	0,161	15,863
9	500/7	93°	Kuru	300	0,3	0,5	0,167	15,545
10	500/7	60°	K. sıvılı	200	0,1	1,5	0,167	15,545
11	500/7	60°	K. sıvılı	250	0,2	0,5	0,142	16,954
12	500/7	60°	K. sıvılı	300	0,3	1	0,133	17,523
13	500/7	60°	Kuru	200	0,2	1,5	0,161	15,998
14	500/7	60°	Kuru	250	0,3	0,5	0,148	16,823
15	500/7	60°	Kuru	300	0,1	1	0,261	11,384
16	500/7	60°	Kuru	200	0,2	1,5	0,156	*
17	500/7	60°	Kuru	250	0,3	0,5	0,145	*
18	500/7	60°	Kuru	300	0,1	1	0,278	*
19	500/14	93°	Kuru	200	0,2	0,5	0,111	19,093
20	500/14	93°	Kuru	250	0,3	1	0,134	17,458
21	500/14	93°	Kuru	300	0,1	1,5	0,330	9,629
22	500/14	93°	Kuru	200	0,2	1	0,142	16,954
23	500/14	93°	Kuru	250	0,3	1,5	0,148	16,594

Çizelge 4.4. Takım aşınması ölçüm sonuçları ve S/N oranları (Devam)

24	500/14	93°	Kuru	300	0,1	0,5	0,222	13,072
25	500/14	93°	K. sıvılı	200	0,3	1	0,106	19,494
26	500/14	93°	K. sıvılı	250	0,1	1,5	0,275	11,213
27	500/14	93°	K. sıvılı	300	0,2	0,5	0,133	17,523
28	500/14	60°	Kuru	200	0,3	1	0,161	15,863
29	500/14	60°	Kuru	250	0,1	1,5	0,300	10,457
30	500/14	60°	Kuru	300	0,2	0,5	0,178	14,992
31	500/14	60°	K. sıvılı	200	0,3	1,5	0,164	15,703
32	500/14	60°	K. sıvılı	250	0,1	0,5	0,189	14,470
33	500/14	60°	K. sıvılı	300	0,2	1	0,211	13,514
34	500/14	60°	K. sıvılı	200	0,3	0,5	0,109	19,251
35	500/14	60°	K. sıvılı	250	0,1	1	0,274	11,245
36	500/14	60°	K. sıvılı	300	0,2	1,5	0,167	15,545

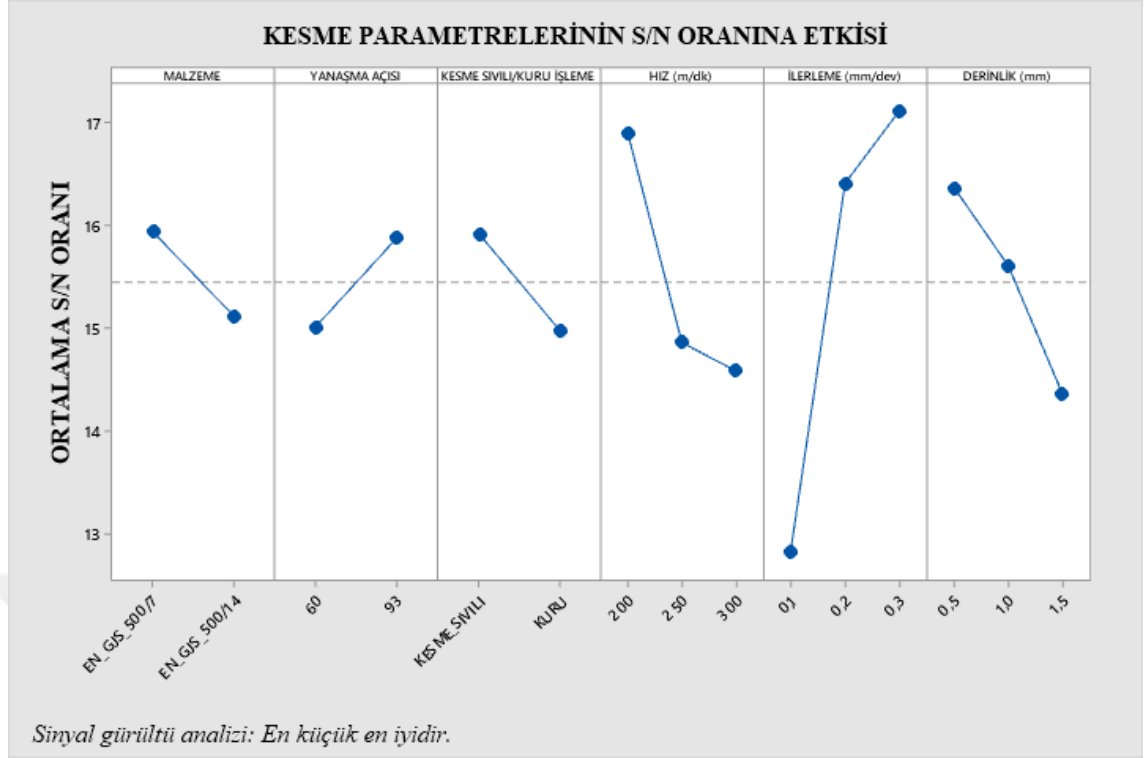
Yapılan denemelerin sonuçları Taguchi yöntemi S/N oranına dönüştürülmüştür. Sonuçlar Çizelge 4.4'te görülmektedir. En yüksek olan değer takım aşınması yönü ile en iyi sonucu göstermektedir. Yapılan denemeler arasında en düşük aşınma kesme sıvılı kesme şartlarında, 93° yavaşma açıda, EN GJS 500/14 malzeme üzerinde, 0,3 mm/dev ilerlemede, 200 m/dk kesme hızında ve 1 mm derinlikte yapılan denemede görülmüştür. Çizelge 4.5'te gösterilen analiz sonuçlarına göre takım aşınmasına etkisi en çok olan parametrenin ilerleme olduğu, ilerlemeyi sırasıyla kesme hızı, derinlik, kesme sıvılı/kuru kesme, yavaşma açısı ve malzeme türü takip ettiği görülmüştür.

4.2.1. Takım aşınması için S/N Oranı Yanıt Tablosu

Çizelge 4.5. Takım aşınması S/N oranı yanıt tablosu

Seviye	Malzeme	Yanaşma Açısı	Kesme sıvılı/ Kuru Kesme	Hız(m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Derinlik (mm)
1	15,94	15,01	15,92	16,90	12,81	16,37
2	15,12	15,88	14,97	14,86	16,41	15,61
3				14,58	17,12	14,36
Fark	0,83	0,87	0,95	2,32	4,31	2,00
Sıralama	6	5	4	2	1	3

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi takım aşınmasına etki eden en önemli parametrenin ilerleme olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artması yapılan bu denemelerde takım aşınmasının azalmasına sebep olmaktadır. İlerlemenin takım aşınmasına etkisinin büyük olmasının sebebi, eşit uzunlukta yapılan tornama işlemindendir. Toplam tornalama uzunluğu tüm denemelerde eşit olduğu için 0,1 mm/dev’de yapılan tornalama süresi sırasıyla 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerlemedeki tornalama süresinden uzun sürmektedir. Tornalama süresinin artması kesici aşınmasını arttırdığı gibi takım ömrünü azaltmaktadır. Yanaşma açısının artması takım aşınmasına olumlu etki yaptığı görülmektedir. Kuru kesme şartlarında takım aşınmasının daha fazla olduğu, kesme hızı ve derinlik arttıkça takım aşınmasının arttığı görülmektedir. Yapılan deneylerde EN GJS 500/7 malzemenin takım aşınmasına olan etkisi EN GJS 500/14 malzemeden daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Kesme parametrelerinin S/N oranına etkisi

4.2.2. Takım aşınması varyans analizi (ANOVA)

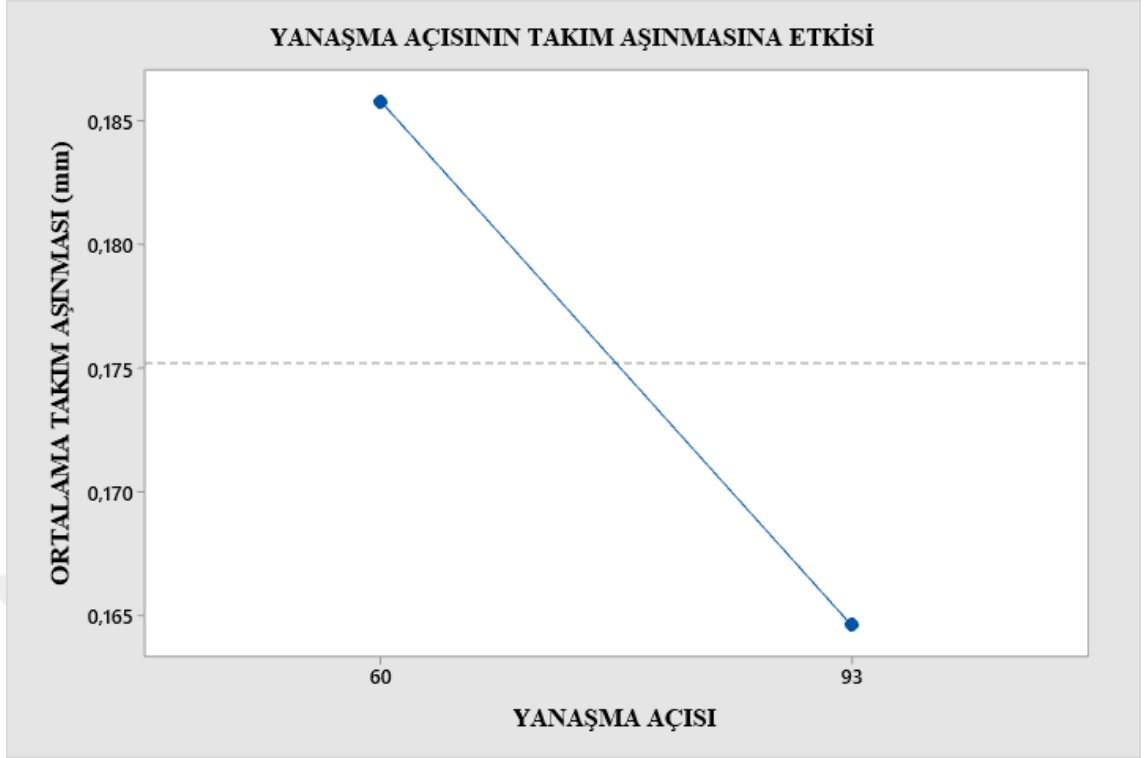
Varyans analizine göre kesme parametrelerin % etkileri Çizelge 4.6’da görülmektedir. Aşınma miktarına en fazla etkisi olan parametrenin %52,68 ile ilerleme miktarı olduğu görülmektedir. İlerleme miktarı kesici aşınmasında büyük etkisi olan bir parametre olduğu görülmektedir. Kesme hızının etkisi ise %13,57’dir. Kesme hızının ardından kesici aşınmasına etkisi olan en önemli parametrenin kesme derinliği olduğu görülmektedir. Derinliğin aşınmaya etkisi %7,69’dur. Sonrasında ise %5,11 ile kesme sıvılı/kuru işleme, %3,97 ile malzeme türü ve %3,58 ile yavaşma açısı gelmektedir.

Çizelge 4.6. Takım aşınması varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	% Etki	Kareler Toplamı	Karelerin ortalaması	F-Değer	P-Değer
İlerleme(mm/dev)	2	52,86%	0,059461	0,029730	52,02	0,0
Derinlik(mm)	2	7,69%	0,008652	0,004326	7,57	0,003
Hız(m/dk)	2	13,57%	0,015269	0,007635	13,36	0,0
Kesme sıvılı/ Kuru işleme	1	5,11%	0,005751	0,005751	10,06	0,004
Malzeme	1	3,97%	0,004467	0,004467	7,82	0,01
Yanaşma açısı	1	3,58%	0,004032	0,004032	7,06	0,013
Hata	26	13,21%	0,014860	0,000572		
Uyum eksikliği	20	12,95%	0,014570	0,000729	15,10	0,001
Saf hata	6	0,26%	0,000290	0,000048		
Toplam	35	100,00 %	0,112492			

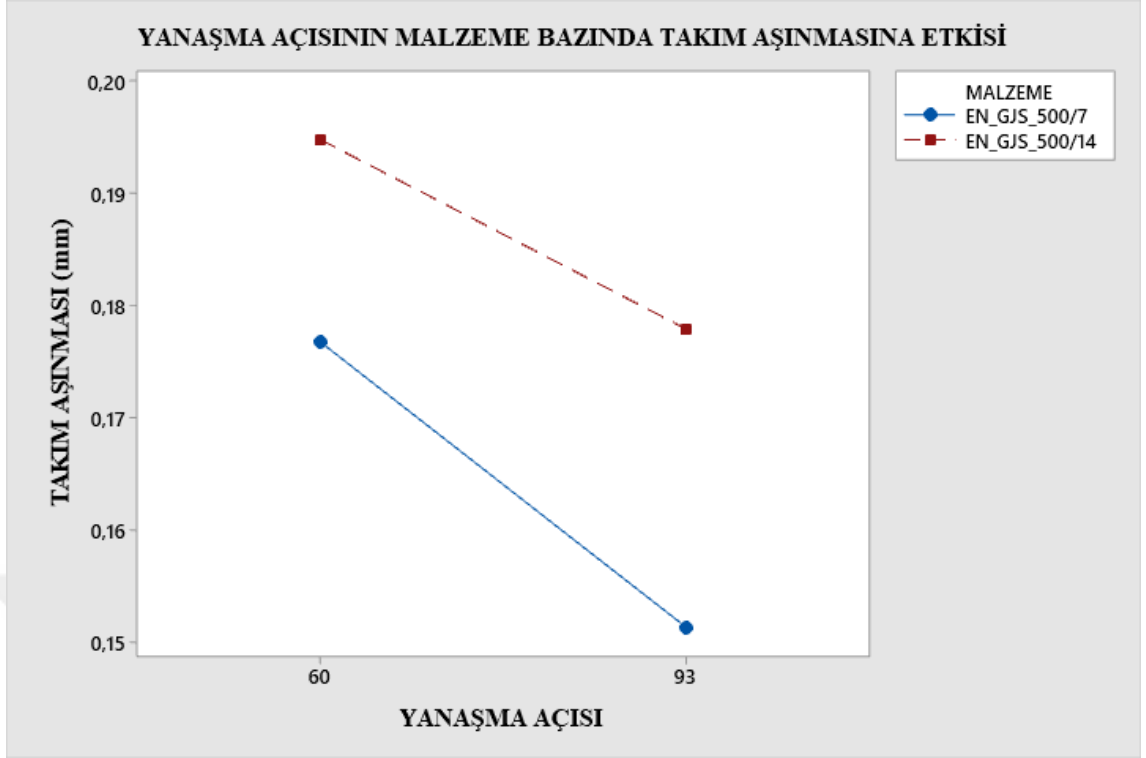
4.2.3. Yanaşma açısının takım aşınmasına etkisi

Her iki malzemede yapılan işleme deneylerinde 60° ve 93° yanaşma açılarında kesici üzerindeki ortalama aşınma değerleri Şekil 4.10'da görülmektedir. 60° yanaşma açılı takım tutucu ile yapılan deneylerde her iki malzemede de kesici aşınması daha yüksek çıkmıştır. 93° yanaşma açılı takım tutucu kullanılarak yapılan denemelerde ortalama takım aşınması 0,165 mm iken 60° yanaşma açılı takım tutucu denemelerinde ise 0,186 mm'dir. 60° yanaşma açılı takım tutucu kullanımında 93° yanaşma açılı takım tutucuya göre %13 fazla kesici aşınmasının olduğu görülmektedir.



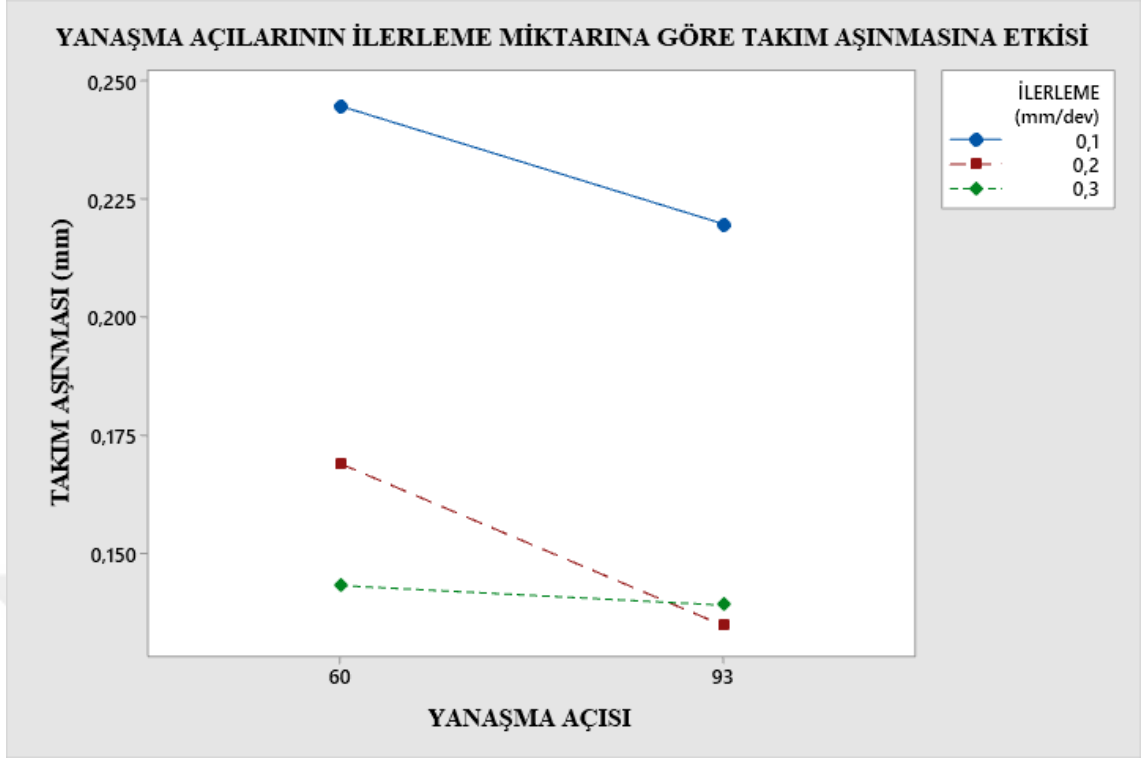
Şekil 4.10. Yanaşma açısının ortalama takım aşınmasına etkisi

EN GJS 500/14 malzemesinin işlenmesi esnasında oluşan kesici aşınma miktarının EN GJS 500/7 malzemesine göre daha yüksek olduğu Şekil 4.11’de görülmektedir. EN GJS 500/14 malzemesinin 93° yanaşma açılı takım tutucu ile tornalanmasında oluşan ortalama kesici aşınma miktarı 0,178 mm iken bu değer 60° yanaşma açılı takım tutucu kullanıldığında %9 artarak 0,195 mm olduğu görülmektedir. EN GJS 500/7 malzemesinde ise 93° yanaşma açılı takım tutucu kullanıldığında 0,151 mm ortalama kesici aşınması meydana gelmiştir. 60° yanaşma açılı takım tutucu kullanıldığında ise aşınma miktarı %17 artarak 0,177 mm olduğu görülmektedir. En düşük kesici aşınma miktarı EN GJS 500/7 malzemesinde 93° yanaşma açılı takım tutucu kullanıldığında sağlanmaktadır. En çok kesici aşınması ise EN GJS 500/14 malzemesinde 60° yanaşma açılı takım tutucu kullanıldığında görülmektedir.



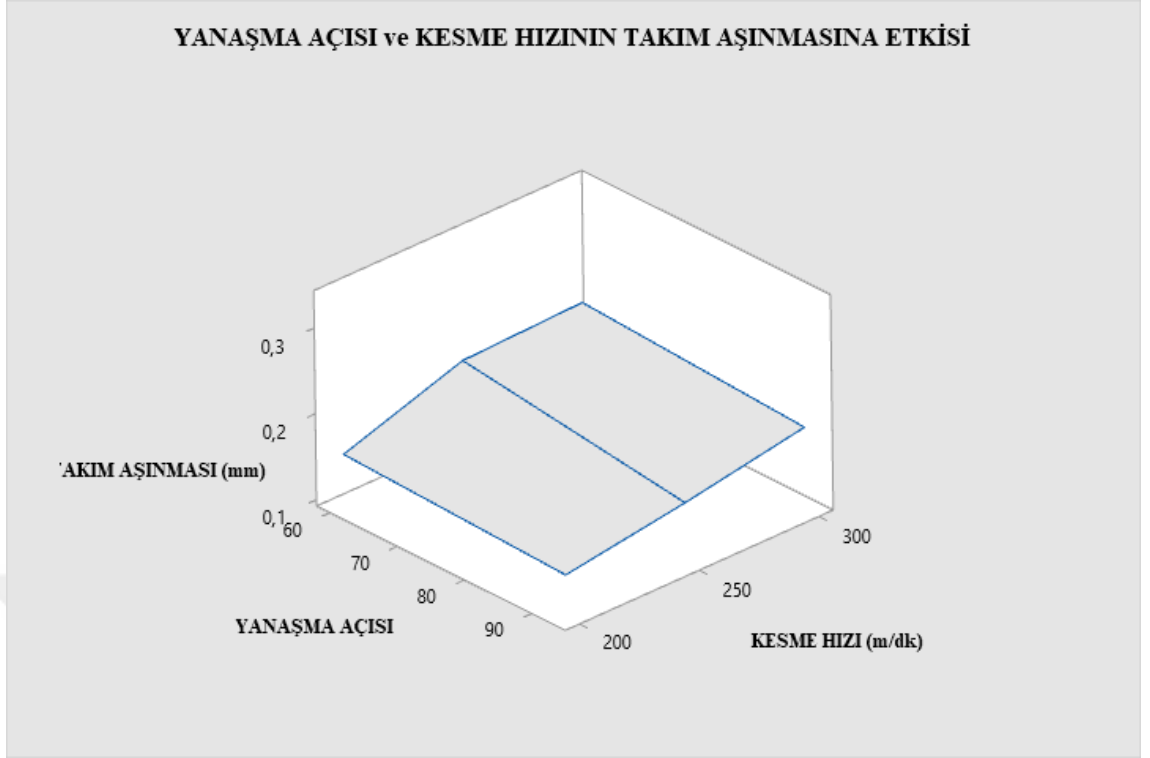
Şekil 4.11. Yanaşma açısının malzeme bazında takım aşınmasına etkisi

Şekil 4.12’de farklı ilerleme miktarlarının yanaşma açısına göre kesicide meydana getirdiği aşınma miktarları karşılaştırılmıştır. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında her iki yanaşma açısında da takım aşınması diğer ilerleme miktarlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 60° yanaşma açılı takım tutucu ile yapılan denemelerdeki kesici aşınmasının 93° yanaşma açılı takım tutucuya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 60° yanaşma açılı takım tutucu ile yapılan deneylerdeki ortalama aşınma miktarının 0,244 mm iken 93° yanaşma açılı takım tutucuda ise bu değer %9 oranında iyileşerek 0,22 mm olduğu görülmüştür. 0,2 mm/dev ilerlemedeki aşınma miktarı da 0,1 mm/dev ilerlemedeki aşınma miktarına paralellik gösterirken her iki yanaşma açısında da 0,1 mm/dev ilerlemeye göre daha düşük bir aşınma miktarının olduğu görülmektedir. 0,3 mm ilerleme miktarında ise yanaşma açısının takım aşınma miktarına etkisinin az olduğu görülmektedir. 93° yanaşma açılı takım tutucu ile yapılan denemelerdeki aşınma miktarı 60° yanaşma açılı denemelere göre %3 azalmıştır. En düşük aşınma miktarı 93° yanaşma açılı ve 0,2 mm/dev ilerleme miktarında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. Yanaşma açısının ilerleme miktarına göre takım aşınmasına etkisi

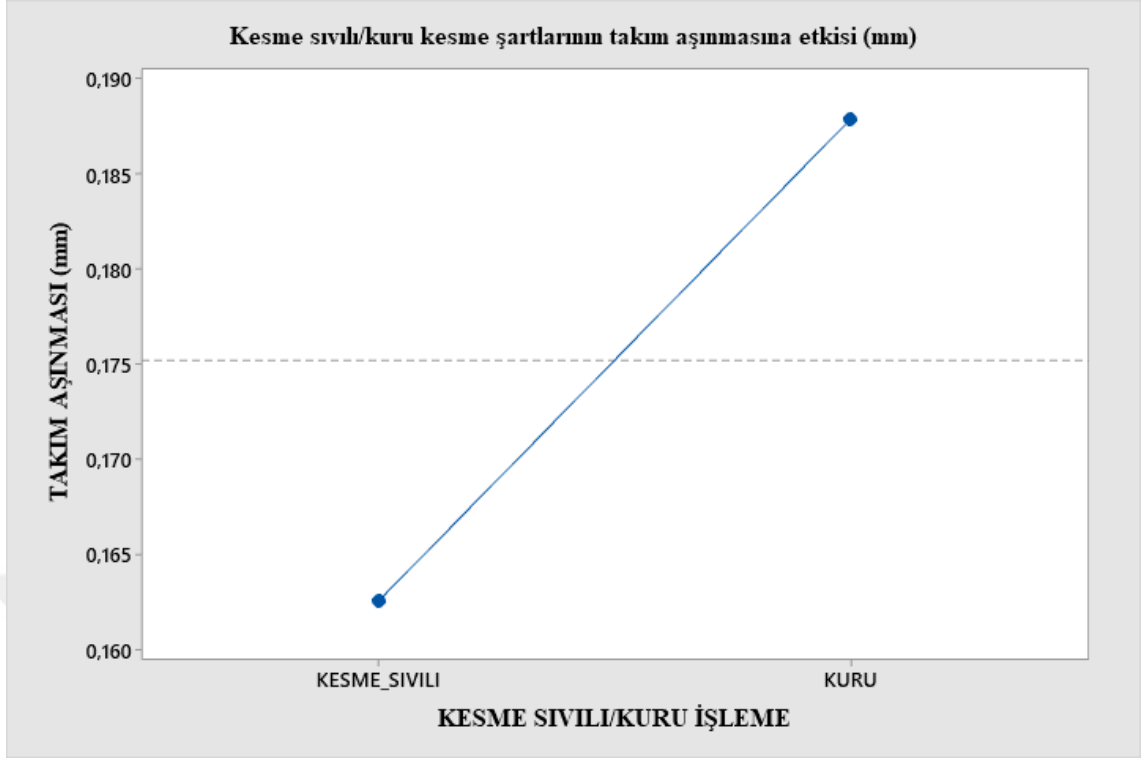
Şekil 4.13'te farklı yanaşma açılara sahip takım tutucuların farklı hızlardaki takım aşınma miktarları görülmektedir. En düşük aşınma değeri 200 m/dk kesme hızında 93° yanaşma açılı takım tutucu kullanılarak yapılan denemede görülmüştür. 200 m/dk kesme hızında 60° yanaşma açısında ortalama kesici aşınma değeri 0,153 mm iken bu değer 93° yanaşma açısında %7 azalarak 0,142 mm olduğu görülmüştür. 250 m/dk kesme hızında 60° yanaşma açısında ortalama kesici aşınma değeri 0,199 mm iken bu değer 93° yanaşma açısında %18 azalarak 0,163 mm olduğu görülmüştür. 300 m/dk kesme hızında 60° yanaşma açısında ortalama kesici aşınma değeri 0,2 mm iken bu değer 93° yanaşma açısında %6 azalarak 0,188 mm olduğu görülmektedir. 93° yanaşma açılı takım tutucu düşük hızlardaki işlemlerde kesici üzerinde daha küçük aşınma oluşturduğu, 60° yanaşma açılı takım tutucuda ise yüksek hızlarda yüksek aşınmaya sebebiyet verdiği görülmektedir. 200 m/dk gibi düşük hızlarda yanaşma açısının kesici aşınmasına olan etkisinin yüksek hızlara göre daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13. Yanaşma açısı ve kesme hızının takım aşınmasına etkisi

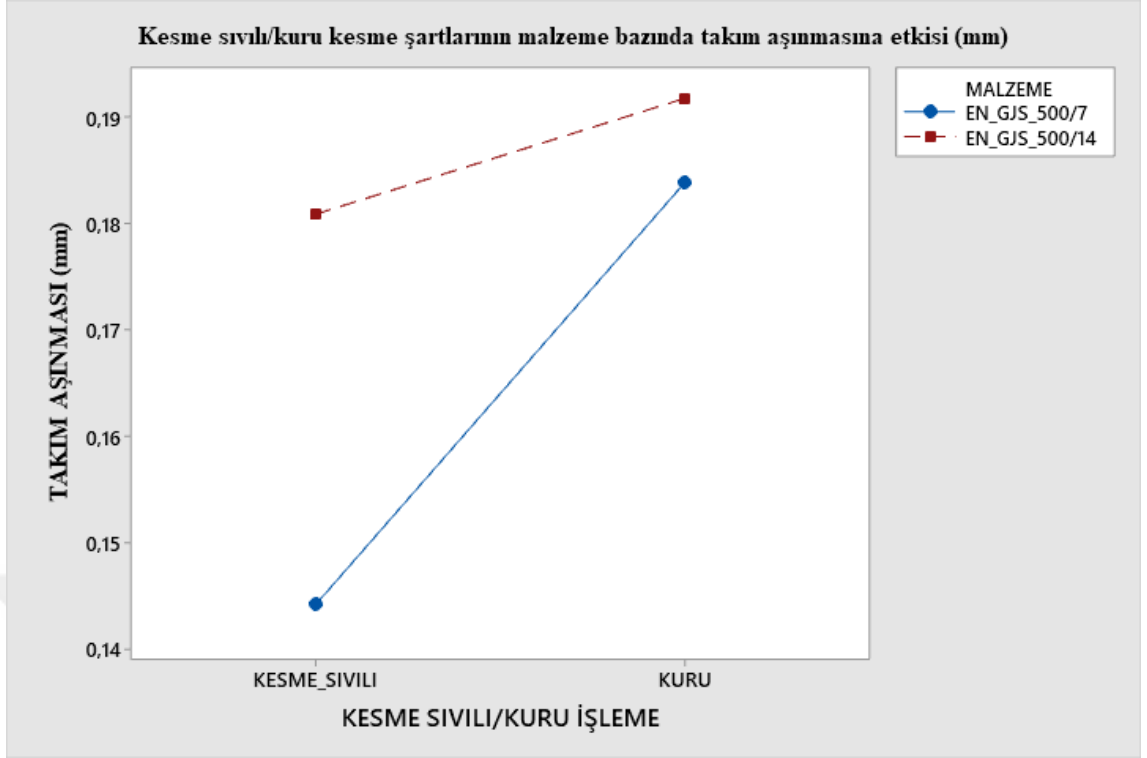
4.2.4. Kesme sıvılı/Kuru işlemenin takım aşınmasına etkisi

Yapılan deneylerde kuru kesme şartlarındaki takım aşınmasının kesme sıvılı kesme şartlarındakine göre daha yüksek olduğu Şekil 4.14'te görülmektedir. Kesme sıvısının kesici ile iş parçası arasında aşınmayı engelleyici rolü açık bir şekilde görülmektedir.



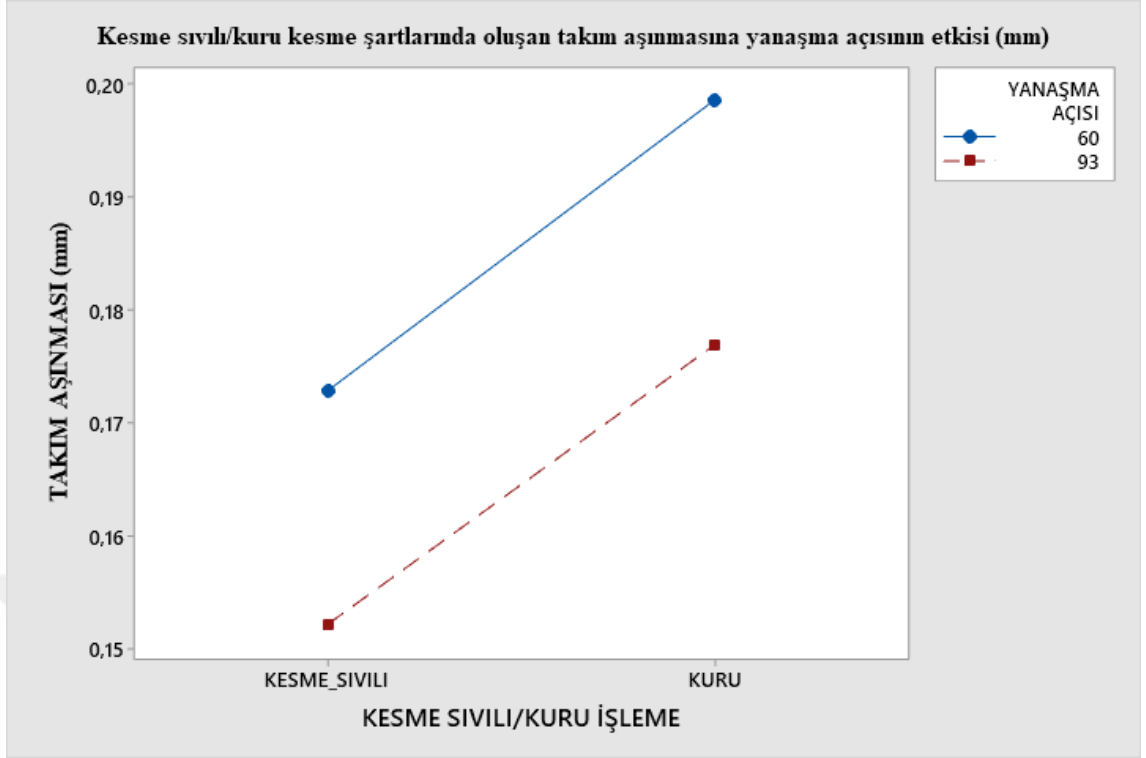
Şekil 4.14. Kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının takım aşınmasına etkisi

Her iki malzemede de kuru kesme şartlarında oluşan aşınma miktarının kesme sıvılı kesme şartlarında oluşan aşınma miktarında fazla olduğu, EN GJS 500/14 malzemesinin işlenmesi esnasında oluşan kesici aşınma miktarının her iki yavaşma açısında da EN GJS 500/7 malzemesine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 4.15'te görülen en düşük aşınma miktarı 0,144 mm, EN GJS 500/7 malzemenin kesme sıvılı kesme şartlarında tornalanmasında oluşmuştur. Bu değer kuru kesme şartlarında ise %28 artarak 0,184 mm olduğu, EN GJS 500/14 malzemesinde ise kesme sıvılı kesme şartlarındaki ortalama kesici aşınmasının 0,18 mm olduğu, kuru kesme şartlarında ise bu değer %6 artarak 0,192 mm'ye ulaştığı gözükmemektedir. EN GJS 500/7 malzemedeki kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının aşınmaya etkisi EN GJS 500/7 malzemeye göre daha fazla olduğu yorumlanmaktadır. EN GJS 500/14 malzemede kuru ve kesme sıvılı kesme şartlarında kesici aşınmasının yakın değerlerde olduğu, kuru kesme şartlarında her iki malzemenin tornalanması sırasında oluşan kesici aşınmasının yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.15. Kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının malzeme bazında takım aşınmasına etkisi

Sabit 60° ve 93° yanaşma açılı takım tutucu kullanılarak yapılan karşılaştırmada, her iki malzemede üzerinde yapılan kesme sıvılı ve kuru işleme sonucunda kesiciler üzerinde meydana gelen aşınma miktarları Şekil 4.16’da gösterilmiştir. 60° ve 93° yanaşma açılı takım tutucu kullanılarak yapılan deneylerde meydana gelen aşınma miktarları kuru kesme şartlarında yüksek çıkmıştır. Yanaşma açılarındaki farklılığın kesme sıvılı ve kuru kesme şartlarında benzer etkisi olduğu görülmektedir.

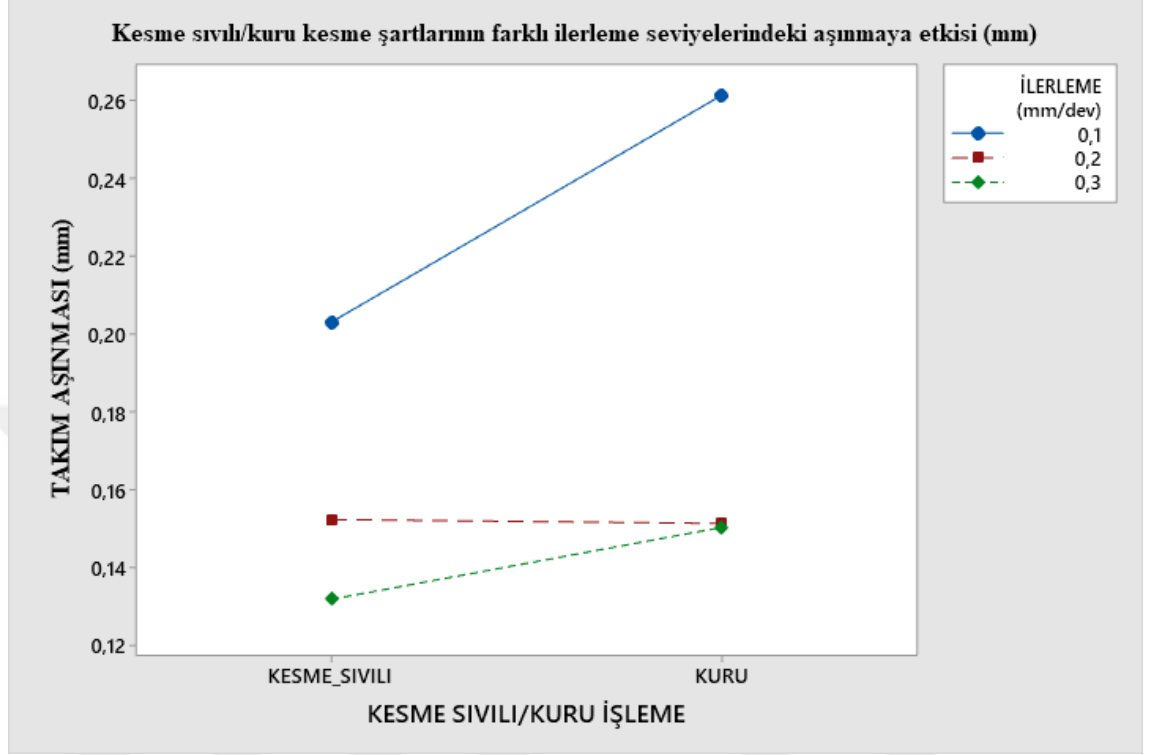


Şekil 4.16. Kesme sıvılı/kuru kesme şartlarında oluşan takım aşınmasına yanaşma açısının etkisi

Şekil 4.17’de kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının farklı ilerleme seviyelerindeki aşınmaya etkisi gösterilmiştir. Bütün ilerleme seviyelerinde, kuru kesme şartlarındaki takım aşınma miktarları kesme sıvılı kesme şartlarındaki aşınma miktarından fazla olduğu görülmektedir. 0,1 mm/dev ilerlemede kuru kesme şartlarındaki kesici aşınması kesme sıvılı kesme şartlarındaki kesici aşınmasına göre %30 fazladır. 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerlemede ise kesme sıvılı/kuru kesmenin takım aşınmasına olan etkisinin daha az olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artması kesici uç ile iş parçası arasındaki temas süresini azaltırken aşınma miktarının da az olmasına sebep olmaktadır. Kesme sıvılı kesme şartlarının aşınma miktarını azaltmada önemli rolü olduğu aşikârdır.

Yapılan denemelerde kesme uzunluğu sabit olduğu için düşük ilerleme miktarında kesicinin daha fazla parça temas etmesi ve kesici uçtaki sıcaklığın yüksek derecelere ulaşması takım aşınmasını arttırmaktadır. Yüksek ilerleme miktarında ise temas süresi

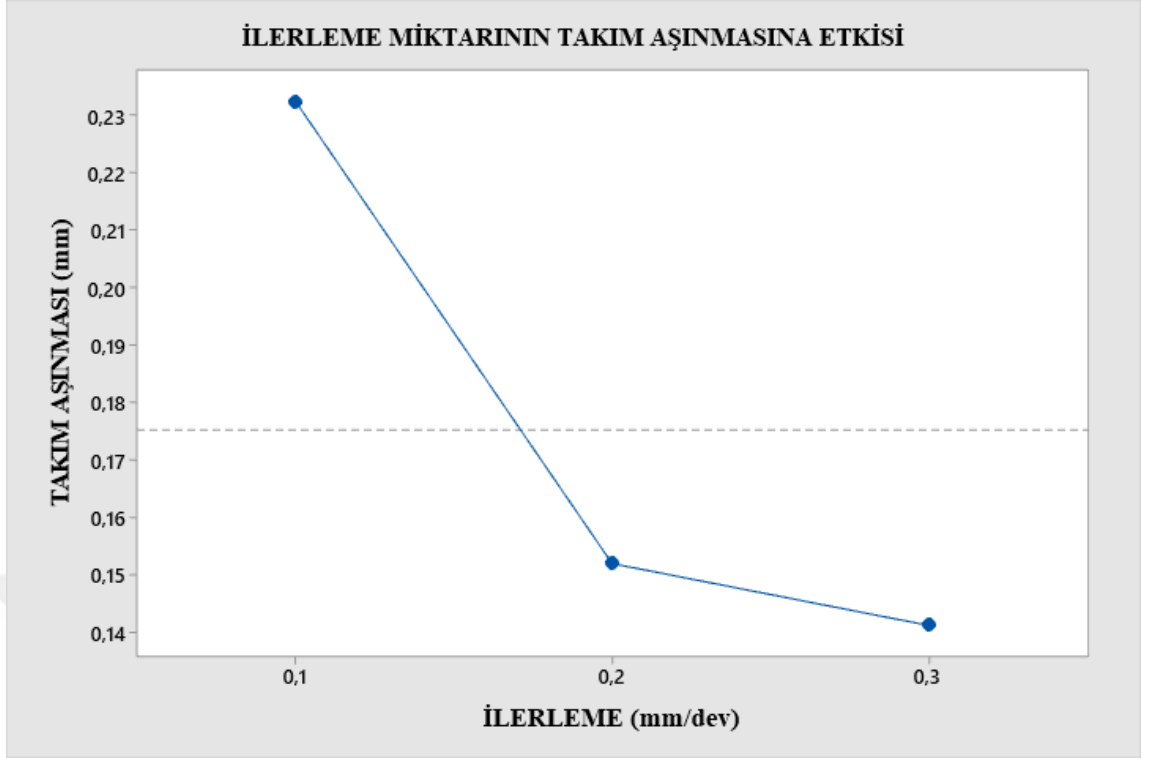
az ve sıcaklık da yüksek değerlere ulaşmamaktadır. Bu sebeple kesme sıvılı kesme şartlarının etkisi düşük ilerleme seviyesinde daha etkili olduğu yorumlanabilir.



Şekil 4.17. Kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının farklı ilerleme seviyelerindeki aşınmaya etkisi

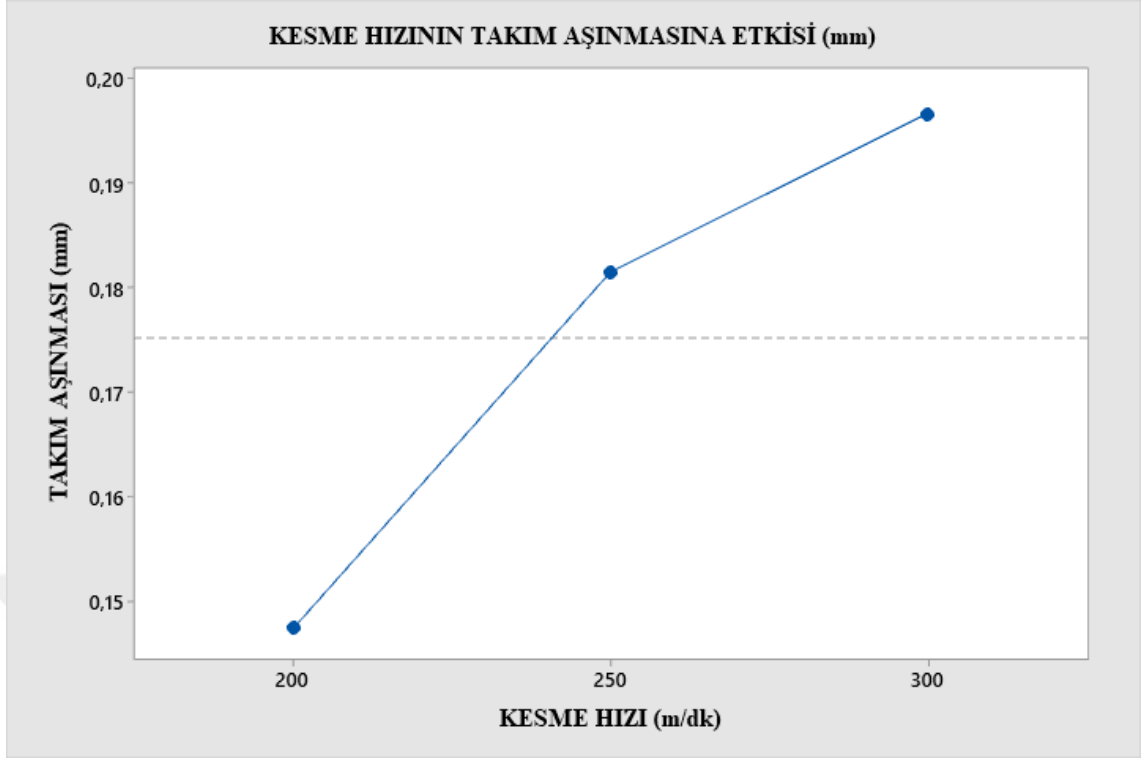
4.2.5. İlerleme, kesme hızı ve derinliğin takım aşınmasına etkisi

Yapılan deneme sonuçları analiz edildiğinde, ilerlemenin kesici aşınması üzerinde önemli etkisi olduğu Şekil 4.18’de görülmektedir. İlerleme miktarı arttıkça her iki malzemeyi işleyen kesicilerdeki aşınma miktarı azalmaktadır. Bunun sebebi, yapılan tornalama denemeleri eşit ve 350 mm uzunlukta olduğu için ilerleme arttıkça kesme işlem süresi azalmakta ve böylelikle kesicinin iş parçası ile olan temas süresi daha kısa olmaktadır.



Şekil 4.18. İlerleme miktarının takım aşınmasına etkisi

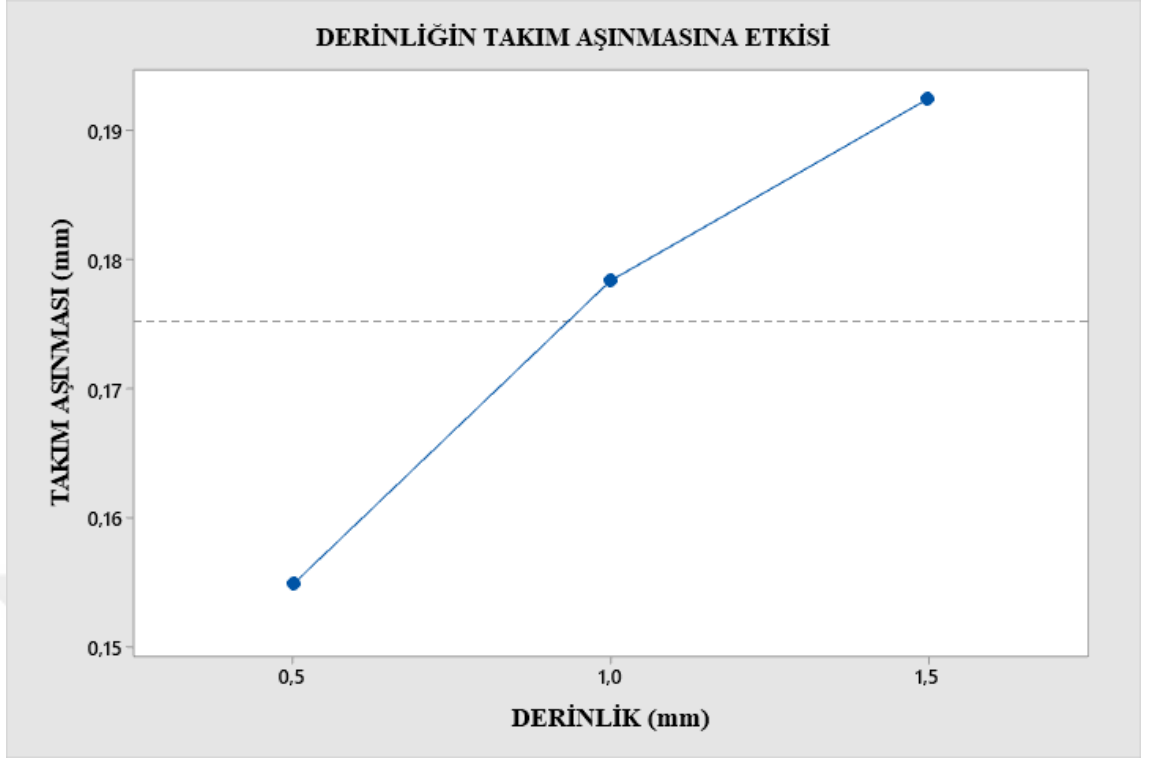
Kesme hızı artıkça aşınma miktarının arttığı Şekil 4.19’da görülmektedir. Kesme hızının artması kesici ucun iş parçası ile olan temas hızının artmasına ve buna bağlı olarak sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. Artan sıcaklık kesici ucun daha sünek bir hale gelmesine sebep olmakta ve aşınma miktarının artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.19. Kesme hızının takım aşınmasına etkisi

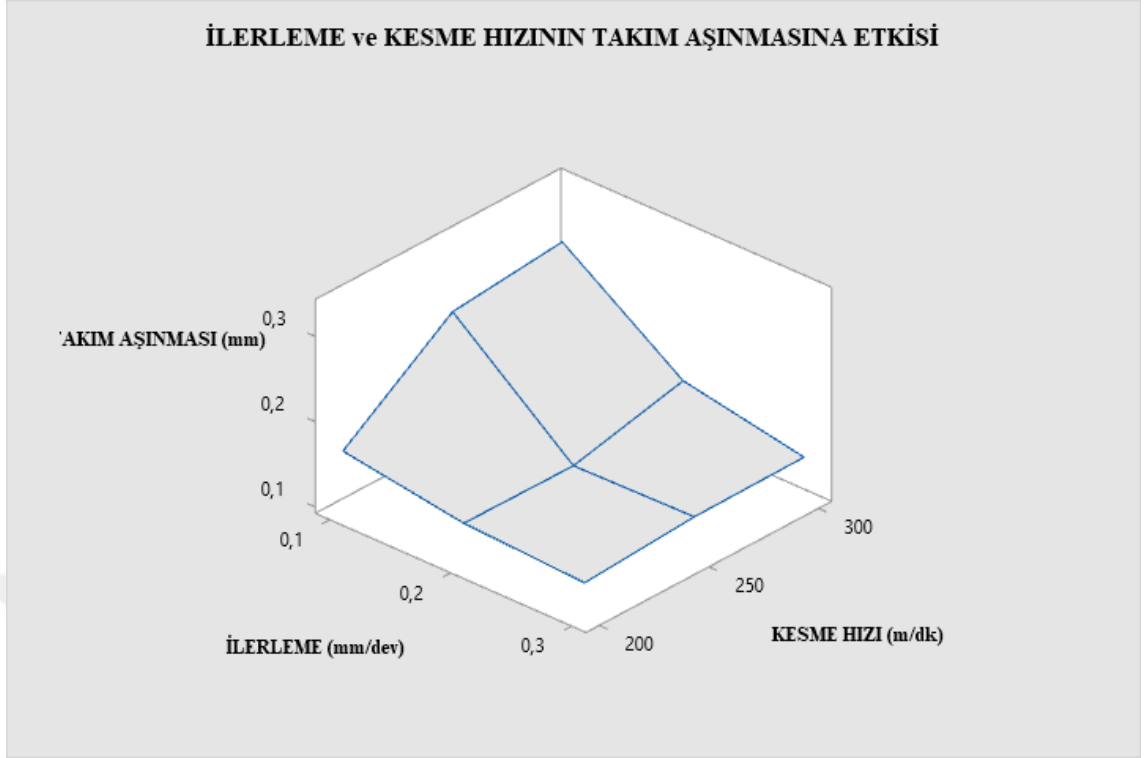
Derinlik miktarı kesici aşınmasına sebep olan faktörlerden biridir. Derinlik miktarı kesme kuvvetleri ile direkt alakalı bir parametredir. Artan derinlik boyutlarında, takımdaki zorlanmaların fazla olması aşıkârdır. Yanaşma açısına bağlı olarak artan derinliklerde kesicinin talaş kaldırma kuvvetini malzemenin mukavemetinin altında kalması durumunda kesici kırılması, erken aşınma veya yüzey kalitesinin daha kötü olması söz konusudur.

Yapılan denemelerde farklı derinliklerdeki ortalama takım aşınma miktarının karşılaştırılması Şekil 4.20’de gösterilmiştir. 0,5 mm derinlikteki ortalama takım aşınma miktarı 0,155 mm iken bu değer 1 mm derinlikte %15 artarak 0,178 mm değerine, 1,5 mm derinlikte ise %8 oranında artarak 0,192 mm değerine ulaştığı görülmektedir. Derinliğin artması ile aşınma miktarındaki oranın düştüğü görülmektedir.



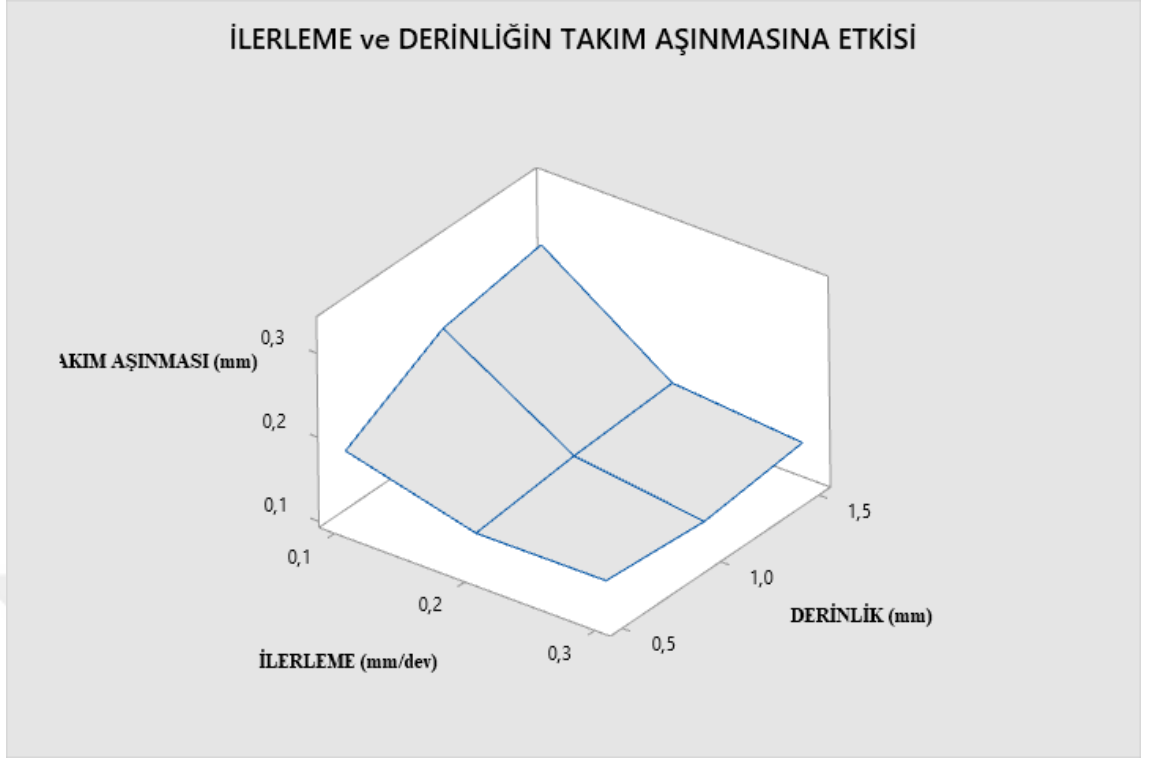
Şekil 4.20. Derinlik miktarının takım aşınmasına etkisi

İlerleme miktarı ile kesme hızının etkileşimi Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Düşük ilerleme miktarlarında kesme hızının kesici aşınmasına olan etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Burada düşük ilerleme miktarında kesicinin iş parçası olan temas süresinin fazla olması ve yüksek kesme hızlarındaki sıcaklık artışının etkisi açıkça görülmektedir. İlerleme miktarının artması ile kesme hızının takım aşınmasına olan etkisinin azaldığı görülmektedir. Özellikle 0,3 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının artması durumunda kesici ortalama kesici aşınma miktarının yakın değerlerde kaldığı görülmektedir. En yüksek takım aşınma değerinin düşük ilerleme ve yüksek kesme hızlarında olduğu, en düşük aşınmanın ise yüksek ilerleme ve düşük kesme hızlarında olduğu görülmektedir.



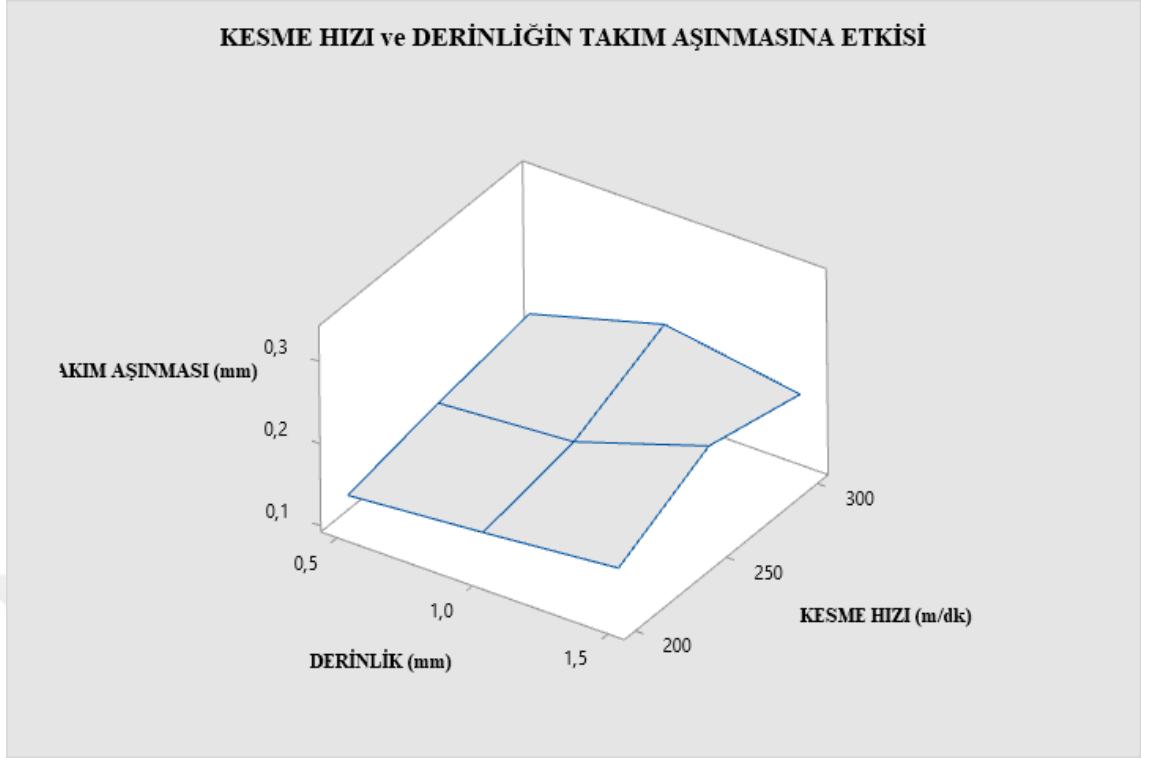
Şekil 4.21. İlerleme ve kesme hızının takım aşınmasına etkisi

Şekil 4.22’de ilerleme miktarı ile derinliğin etkileşimi gösterilmiştir. Derinlik miktarının artması kesme hızının etkisine benzer şekilde sıcaklığın artmasına sebep olduğu için takım aşınma miktarı da düşük ilerleme seviyesinde daha fazla olduğu görülmektedir. Düşük ilerleme seviyelerinde derinlik arttıkça takım aşınmasının daha fazla arttığı, ilerleme miktarının artması ile derinliğin takım aşınmasına olan etkisinin azaldığı yorumlanabilir. 0,3 mm/dev ilerleme miktarında derinliğin takım aşınmasına olan etkisinin çok fazla olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.22. İlerleme ve derinliğin takım aşınmasına etkisi

Şekil 4.23'te kesme hızı ile derinliğin takım aşınmasına olan etkisi gösterilmiştir. Derinlik ve kesme hızı genel olarak kesici aşınmasına etkisi olan parametrelerdir. Yapılan denemelerde 200 m/dk kesme hızında derinliğin artması ile kesici aşınmasının doğrusal olarak arttığı, kesme hızının 250 m/dk hıza çıktığında ise ilerleme miktarının artması ile kesici aşınmasının daha fazla arttığı gözlenmektedir. Kesme hızının 300 m/dk hıza ulaşması durumunda ise kesici aşınmasının derinlik arttıkça daha fazla artmadığı görülmektedir.



Şekil 4.23. Kesme hızı ve derinliğin takım aşınmasına etkisi

4.3. Kesici uç ve iş parçası arayüzeyinde oluşan ısının takım aşınması ile ilişkisi

Kesici uç ile iş parçası arayüzeyinde oluşan ısının miktarı takım aşınması yönüyle büyük öneme sahiptir. Yapılan deneylerde sadece kuru kesme şartlarındaki oluşan sıcaklıklar ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Çizelge 4.7’de arayüzeyde oluşan sıcaklıklar gösterilmiştir. Kesme parametrelerinin her biri sıcaklığın üzerinde farklı etkilere sahiptir. Sıcaklık, kesme parametreleri ve kesici aşınması tamamen birbirleri ile bağlantılı terimlerdir. Kesme parametrelerinin takım aşınmasına etkisi oluşan sıcaklık ile doğrudan alakalıdır. Bu yüzden yapılan deneylerde kuru kesme şartlarında oluşan sıcaklık değerleri kaydedilerek takım aşınmasına etki eden kesme parametrelerin sıcaklıkla olan ilişkisi araştırılmıştır.

Çizelge 4.7. Kesme sıcaklığı ve süreleri

No	İş Parça Türü	Yanaş ma Açısı	Kesme sıvılı/ Kuru İşlem	Hız (m/ dk)	İlerle me (mm/ dev)	Derin lik (mm)	Takım Aşınm a miktarı (mm)	Sıcak lık (° C)	Süre (sn)
1	500/7	93°	K. sıvılı	200	0,1	0,5	0,157	*	134
2	500/7	93°	K. sıvılı	250	0,2	1	0,139	*	46
3	500/7	93°	K. sıvılı	300	0,3	1,5	0,140	*	51
4	500/7	93°	K. sıvılı	200	0,1	0,5	0,157	*	134
5	500/7	93°	K. sıvılı	250	0,2	1	0,123	*	46
6	500/7	93°	K. sıvılı	300	0,3	1,5	0,140	*	51
7	500/7	93°	Kuru	200	0,1	1	0,178	149,6	142
8	500/7	93°	Kuru	250	0,2	1,5	0,161	165,7	42
9	500/7	93°	Kuru	300	0,3	0,5	0,167	106,7	54
10	500/7	60°	K. sıvılı	200	0,1	1,5	0,167	*	198
11	500/7	60°	K. sıvılı	250	0,2	0,5	0,142	*	70
12	500/7	60°	K. sıvılı	300	0,3	1	0,133	*	36
13	500/7	60°	Kuru	200	0,2	1,5	0,161	153,8	112
14	500/7	60°	Kuru	250	0,3	0,5	0,148	106,4	53
15	500/7	60°	Kuru	300	0,1	1	0,261	169,6	99
16	500/7	60°	Kuru	200	0,2	1,5	0,156	153,8	113
17	500/7	60°	Kuru	250	0,3	0,5	0,145	104,2	56
18	500/7	60°	Kuru	300	0,1	1	0,278	172,9	99
19	500/14	93°	Kuru	200	0,2	0,5	0,111	116,2	45
20	500/14	93°	Kuru	250	0,3	1	0,134	143,8	32
21	500/14	93°	Kuru	300	0,1	1,5	0,330	195	141
22	500/14	93°	Kuru	200	0,2	1	0,142	138,8	53

Çizelge 4.7. Kesme sıcaklığı ve süreleri (Devam)

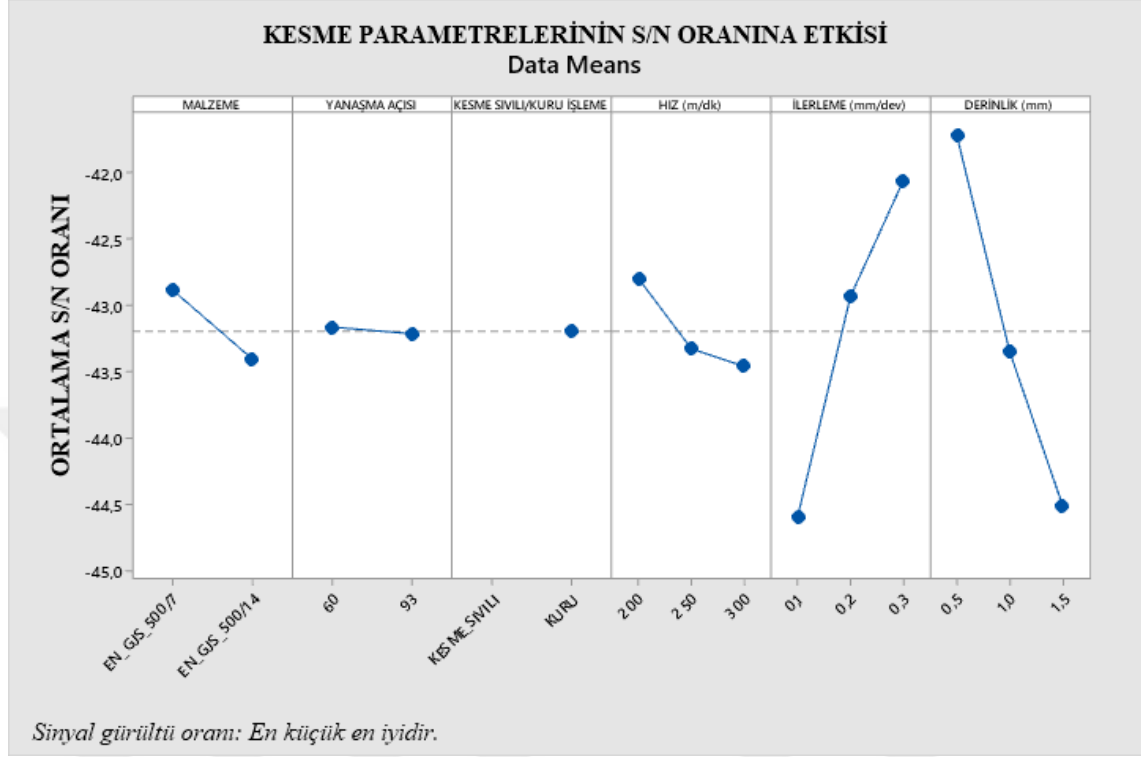
23	500/14	93°	Kuru	250	0,3	1,5	0,148	149,9	45
24	500/14	93°	Kuru	300	0,1	0,5	0,222	156,4	87
25	500/14	93°	K. sıvılı	200	0,3	1	0,106	*	38
26	500/14	93°	K. sıvılı	250	0,1	1,5	0,275	*	128
27	500/14	93°	K. sıvılı	300	0,2	0,5	0,133	*	45
28	500/14	60°	Kuru	200	0,3	1	0,161	134,9	59
29	500/14	60°	Kuru	250	0,1	1,5	0,300	180,8	168
30	500/14	60°	Kuru	300	0,2	0,5	0,178	131,7	48
31	500/14	60°	K. sıvılı	200	0,3	1,5	0,164	*	74
32	500/14	60°	K. sıvılı	250	0,1	0,5	0,189	*	100
33	500/14	60°	K. sıvılı	300	0,2	1	0,211	*	58
34	500/14	60°	K. sıvılı	200	0,3	0,5	0,109	*	48
35	500/14	60°	K. sıvılı	250	0,1	1	0,274	*	176
36	500/14	60°	K. sıvılı	300	0,2	1,5	0,167	*	60

Çizelge 4.8. Kesme parametrelerinin sıcaklık S/N yanıt tablosu

Seviye	Malzeme	Yanaşma Açısı	Hız(m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Derinlik (mm)
1	-42,88	-43,17	-42,80	-44,60	-41,72
2	-43,40	-43,22	-43,33	-42,93	-43,35
3			-43,46	-42,06	-44,52
Fark	0,52	0,05	0,66	2,54	2,80
Sıralama	4	5	3	2	1

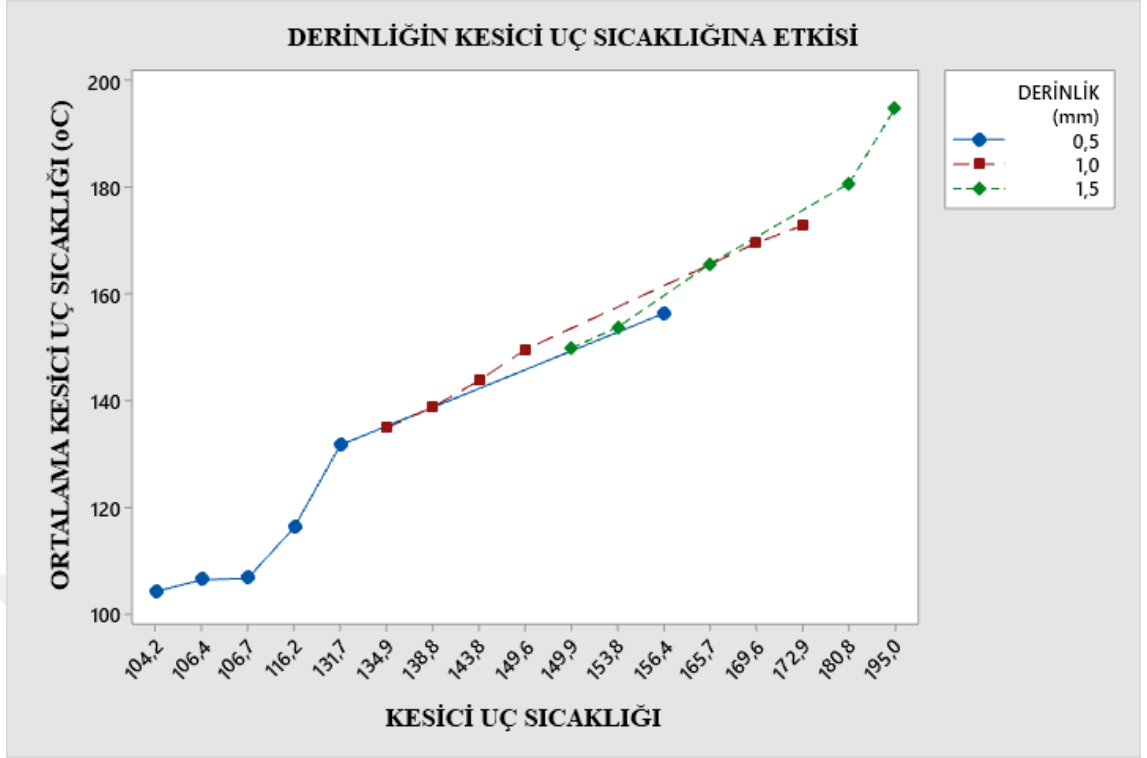
Yapılan deneylerin 18 adeti kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde her bir parametrenin etkisi Taguchi yöntemi ile analiz edilip S/N oranına çevrilerek Çizelge 4.8 ve Şekil 4.24’de gösterilmiştir. S/N yanıt tablosunda derinliğin ve

ilerlemenin sıcaklığa en fazla etki eden iki parametre olduğu, sonrasında ise kesme hızı, malzemenin türü ve yavaşma açısının geldiği görülmektedir.



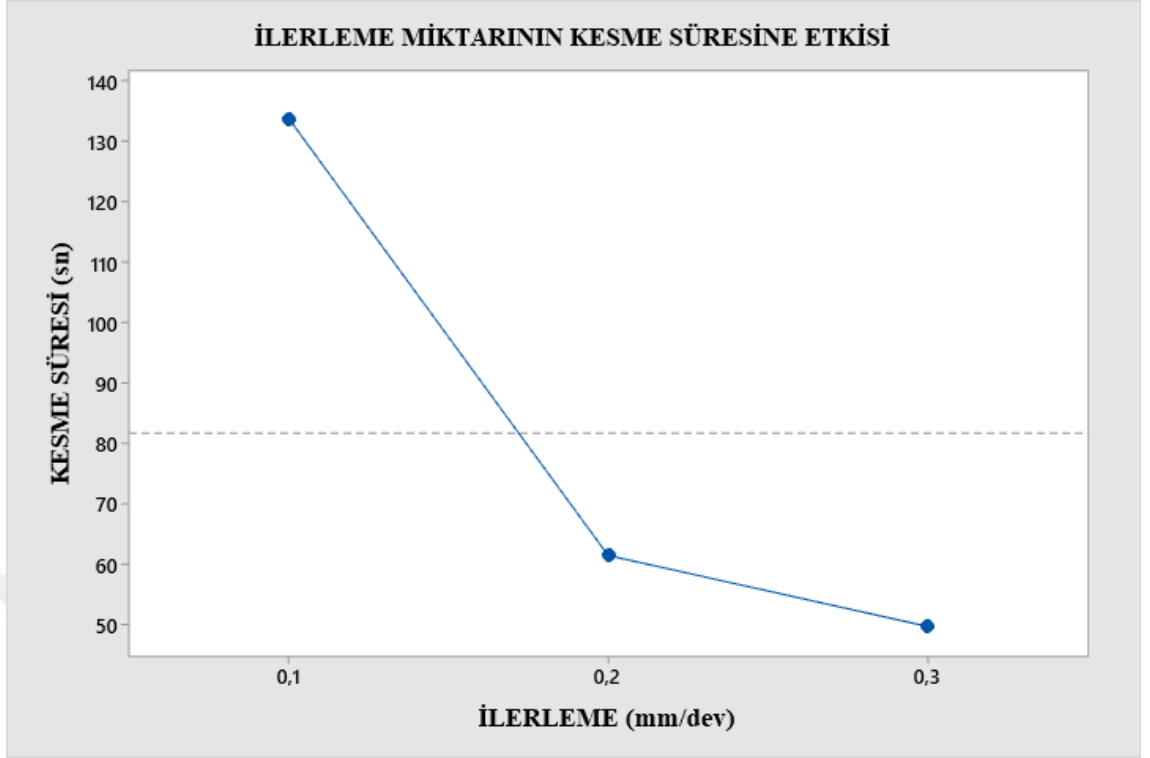
Şekil 4.24. Kesme parametrelerinin takım ve iş parçası ara yüzeyinde oluşan ısıya etkinin S/N oranı

Şekil 4.24'te kesme parametrelerinin takım ve iş parçası arayüzünde oluşan sıcaklığa etkileri gösterilmiştir. Sıcaklığa en fazla etkisi olan derinlik miktarı arttıkça sıcaklığın arttığı Şekil 5.25'te görülmektedir. Derinlik miktarı arttıkça kesme ucu ile iş parçası arasındaki temas yüzeyinin ve kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Kesici ucun iş parçası karşısında talaş kaldırma yönüyle zorlanmasına ve plastik deformasyonların artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle oluşan sıcaklık miktarının derinlik artışı ile doğru orantılı olması yapılan farklı deneyler ile örtüşmektedir.



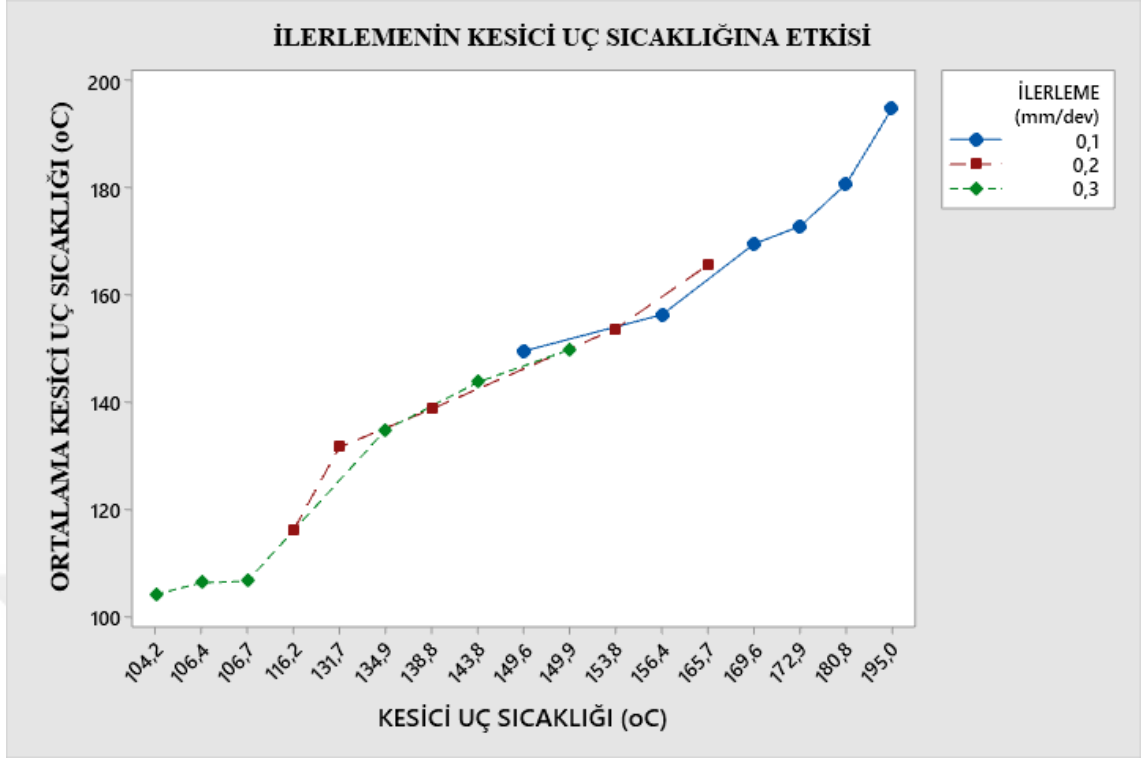
Şekil 4.25. Derinlik miktarının takım ve iş parçası ara yüzünde oluşan sıcaklığa etkisi.

İlerleme miktarının sıcaklık ile olan ilişkisi büyük oranda işleme süresi ile alakalıdır. Tüm denemelerde kesme uzunluğu eşit olduğu için ilerleme miktarının artması ile kesme süresinin kısaldığı Şekil 4.26'da görülmektedir.



Şekil 4.26. İlerleme miktarının kesme süresine etkisi

Şekil 4.27’de farklı denemelerdeki ilerleme miktarının kesici iş parçası arayüzeyindeki sıcaklık ile olan ilişkisi gösterilmiştir. Kesme süresinin etkisi ile en yüksek sıcaklık en düşük ilerleme miktarında oluşurken, en düşük sıcaklık da en yüksek ilerleme miktarında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.27. İlerleme miktarının takım ve iş parçası ara yüzünde oluşan sıcaklığa etkisi

Malzeme türünün sıcaklığa etkisi incelendiğinde, EN GJS 500/14 malzemedeki ortalama kesici/iş parçası arayüzü sıcaklığı EN GJS 500/7 malzemesindeki sıcaklığa göre yüksek olduğu gözlenmektedir. Her ne kadar EN GJS 500/14 malzemenin yapısı ferritik olsa da malzemenin sertliğinin daha fazla olması sıcaklığın artmasına ve buna bağlı olarak da kesici aşınmasının daha fazla olmasına neden olduğu yorumlanabilmektedir.

Yanaşma açısının meydana getirdiği sıcaklık farkının diğer kesme parametrelere nazaran daha düşük olduğu gözlemlenmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada farklı mekanik özelliklere sahip KGDD EN GJS 500/7 ile SSF EN GJS 500/14 malzemelerin işlenebilirlikleri karşılaştırılmıştır. Denemelerde iki farklı yanaşma açılı takım tutucu (60° ve 93°) kullanılmış olup, denemeler iki farklı kesme şartlarında (kesme sıvılı ve kuru) gerçekleştirilmiştir. Üç farklı kesme hızında (200 m/dk, 250 m/dk, 300 m/dk), üç farklı ilerleme miktarında (0,1 mm/dev, 0,2 mm/dev, 0,3 mm/dev), üç farklı derinlikte (0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm) yapılmak amaçlı kesme parametreleri belirlenmiştir. Taguchi yöntemi ile deney planı hazırlanıp gerçekleştirilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin ilerleme olduğu, ilerlemeyi kesme sıvılı/kuru kesme şartlarının takip ettiği, sonrasında ise kesme hızı, derinlik miktarı, malzemenin etkisi ve yanaşma açısının geldiği görülmüştür. EN GJS 500/14 malzemedeki ortalama yüzey pürüzlülüğü EN GJS 500/7 malzemeye göre daha düşük çıktığı gözlenmiştir. Yanaşma açısı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmüştür. Bunun sebebi yanaşma açısı 60° 'de oluşan kesme kuvveti 93° 'de oluşan kesme kuvvetinden küçük olduğu için daha kararlı bir tornalama işlemi gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır. Yanaşma açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi malzeme bazında çok farklı olmadığı görülmüştür. Kuru kesme şartlarındaki ortalama yüzey pürüzlülük değerinin kesme sıvılı kesme şartlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Kesme sıvılı/kuru kesme şartları açısından en iyi yüzey pürüzlülüğü EN GJS 500/14 malzemedeki kesme sıvılı kesme şartlarında gerçekleşmektedir. İlerleme miktarı arttıkça kuru kesme şartlarının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin arttığı görülmüştür. İlerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü her iki malzemedeki de benzer şekilde artmaktadır. İlerleme miktarının artması yüzey pürüzlülüğünün oran olarak daha fazla artmasına sebep olduğunu görülmüştür. Kesme hızı ve derinliğin yüzey pürüzlülüğüne etkisi az olmakla birlikte 0,1 ve 0,2 mm/dev ilerlemelerde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma olduğu, 0,3 mm ilerlemede yüzey pürüzlülüğünün değişmediği görülmüştür. Derinlik miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin az olduğu görülmektedir.

Kesici aşınmasına etkisi en fazla olan parametrenin ilerleme olduğu, sonrasında kesme hızı, derinlik, kesme sıvılı/kuru kesme, malzeme türü ve yanaşma açısının takip ettiği görülmüştür. Malzeme bazında, EN GJS 500/7 malzemedeki ortalama kesici aşınması EN GJS 500/14 malzemedeki kesici aşınmasından daha düşük çıktığı görülmüştür. Ayrıca EN GJS 500/14 malzemenin işlenmesi esnasındaki sıcaklığın daha yüksek olduğu görülmüştür. Yanaşma açısı arttıkça kesici uç üzerindeki aşınma miktarının azaldığı görülmüştür. En çok kesici aşınması ise EN GJS 500/14 malzemesinde 60° yanaşma açılı takım tutucu kullanıldığında görülmektedir. 200 m/dk gibi düşük hızlarda yanaşma açısının kesici aşınmasına olan etkisinin yüksek hızlara göre daha az olduğu görülmektedir. Kuru kesme şartlarındaki takım aşınması kesme sıvılı kesme şartlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Düşük ilerleme miktarında kesicinin daha fazla parça temas etmesi ve kesici uçtaki sıcaklığın yüksek derecelere ulaşması takım aşınmasını arttırmaktadır. Bu sebeple kuru kesme şartlarının etkisi düşük ilerleme seviyesinde daha fazla olduğu görülmüştür. İlerleme miktarı arttıkça kesici aşınmasının azaldığı görülmektedir. Düşük ilerleme miktarlarında kesme hızının kesici aşınmasına olan etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. İlerleme arttıkça kesme hızının aşınmaya etkisinin az olduğu görülmüştür. Derinlik miktarının artması ile kesici uçtaki sıcaklığın arttığı görülmüştür. Düşük ilerleme seviyelerinde derinlik arttıkça takım aşınmasının daha fazla arttığı, ilerleme miktarının artması ile derinliğin takım aşınmasına olan etkisinin azaldığı görülmüştür. Derinlik ve kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. Yapılan denemelerde 200 m/dk kesme hızında derinliğin artması ile kesici aşınmasının doğrusal olarak arttığı, kesme hızının 250 m/dk hıza çıktığında ise derinliğin artması ile kesici aşınmasının daha fazla arttığı gözlenmektedir. Kesme hızının 300 m/dk hıza ulaşması durumunda ise kesici aşınmasının derinlik arttıkça daha fazla artmadığı görülmektedir.

Sonuç olarak EN GJS 500/14 malzeme, parça hafifletme projelerinde kullanılabilir. Mekanik özelliklerinin yüksek ve daha dar bir alalıkta olması bu malzemeyi daha avantajlı yapmasının yanında işlenebilirlik yönünden de EN GJS 500/7 malzemeye göre üstün ve yakın sonuçlar vermektedir. Yüzey pürüzlülüğü açısından daha düşük yüzey pürüzlülüğü verirken, takım ömrü açısından EN GJS 500/7 malzemeye

yakın sonuçlar vermektedir. 60° yanaşma açısında, kesme sıvılı kesme şartlarında, düşük ilerleme (0,1 mm/dev), yüksek kesme hızında (300 m/dk) ve düşük derinlik miktarlarında en iyi yüzey pürüzlülükleri elde edilmektedir. Takım ömrü yönüyle ise 93° yanaşma açısında, kesme sıvılı kesme şartlarında, yüksek ilerlemede (kabul edilebilir yüzey pürüzlülüğü sağlandığı takdirde), düşük kesme hızı ve derinlikte en uzun takım ömrü sağlanmış olmaktadır.



KAYNAKLAR

- Al Bahkali, E. A., Ragab, A. E., El Danaf, E. A., Abbas, A. T. 2016.** An investigation of optimum cutting conditions in turning nodular cast iron using carbide inserts with different nose radius. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(9): 1584-1591.
- Anonim, 1990a.** Austenitic nodular cast iron. <http://www.bennink-tencate.com/en/industrial-castings/material-range/austenitic-cast-iron/austenitic-nodular-cast-iron/> (Erişim tarihi: 10.05.2020)
- Anonim, 1990b.** Kesici kenarlarda aşınma. <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/materials/pages/wear-on-cutting-edges.aspx>-(Erişim tarihi: 20.05.2020)
- Anonim, 2000a.** TS 519 Beyaz Temper dökme demirler. <http://www.atacelik.com/dokumstandartlari.html> (Erişim tarihi: 24.05.2020)
- Anonim, 2000b.** Talaşlı imalat yöntemleri. <https://www.tasarimdanimalata.com/talasli-imalat-yontemleri/>-(Erişim tarihi: 18.05.2020)
- Anonim, 2013a.** Ductile iron data for design engineers. Ductile iron society. <https://www.ductile.org/didata/Section2/2intro.htm>-(Erişim tarihi:13.04.2020).
- Anonim, 2013b.** Ductile iron data for design engineers. <https://www.ductile.org/didata/Section3/3part1.htm>-(Erişim tarihi:01.06.2020)
- Anonim, 2013c.** Lamel grafitli dökme demir (GG). <http://www.tandokum.com/lamel-grafitli-dokme-demir-gg.html>-(Erişim tarihi:14.06.2020).
- Anonim, 2015a.** Temper dökme demirler. <https://www.makinaegitimi.com/temper-dokme-demirler/> (Erişim tarihi: 22.05.2020)
- Anonim, 2015b.** Dökme demirler, temper dökme demir. <https://slideplayer.biz.tr/slide/3131160/> (Erişim tarihi: 18.08.2020)
- Anonim, 2015c.** Küresel grafitli dökme demir. <http://www.ustun-is.com.tr/dokme-demir-hakkinda.aspx> (Erişim tarihi: 24.06.2020)
- Anonim, 2016.** What is grey cast iron? <https://willmanind.com/what-is-grey-cast-iron/> (Erişim tarihi:12.08.2020)
- Anonim, 2020.** Dökme demirin kullanım yerleri. <http://mardoksan.com.tr/dokme-demirin-kullanim-yerleri>-(Erişim tarihi:14.04.2020).
- Camuşcu, N. 2006.** Effect of cutting speed on the performance of Al₂O₃ based ceramic tools in turning nodular cast iron. *Materials & design*, 27(10): 997-1006.

Çakır, A., Kavak, N., Şeker, U. 2017. Sürdürülebilir Üretim İçin Talaşlı İmalatta Kullanılan Kesme Sıvılarının Geri Dönüşümü. *Mühendis ve Makina*, 58(684), 15-30.

Çetin, A. 2016a. Katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirler. *Dökümcünün el kitabı*, 1(3): 6-9.

Çetin, A. 2016b. Vermiküler grafitli dökme demir. *Dökümcünün el kitabı*, 1(1): 5-16.

Çetin, A. 2016c. Küresel grafitli dökme demir. *Dökümcünün el kitabı*, 1(2): 20-22.

De La Torre, U., Loizaga, A., Lacaze, J., Sertucha, J. 2014. As cast high silicon ductile irons with optimised mechanical properties and remarkable fatigue properties. *Materials Science and Technology*, 30(12): 1425-1431.

Demirlek, M. 2013. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Yüksek Çevrimli Yorulma Davranışına Silisyum Oranının Etkisi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ding, X., Li, X., Huang, H., Matthias, W., Huang, S., Feng, Q. 2018. Effect of Mo addition on as-cast microstructures and properties of grey cast irons. *Materials Science and Engineering: A*, 718, 483-491.

EN 1563 2012. Founding – Spheroidal graphite cast irons English translation of DIN EN 1563:2012-03

Ghani, A. K., & Choudhury, I. A. 2002. Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool. *Journal of Materials Processing Technology*, 127(1): 17-22.

Göksu, B. 2018. Yeni Nesil Sünek Dökme Demir Malzemenin Basamaklı Polimerizasyon Yöntemi ile Hazırlanan Epoksi Reçinelerle Korozyona Karşı Korunması. Yüksek Lisans Tezi, HÜ Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim dalı, Ankara.

Groover, M., P. 2010. Economic and product design consideration in machining: Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 4th ed, Editors: McDonald, M., Marchione, R., Melhorn, A., United State of America, pp:585-586.

Groover, M., P. 2010. Theory of metal machining: Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 4th ed, Editors: McDonald, M., Marchione, R., Melhorn, A., United State of America, pp:483-501.

Grzesik, W., Kiszka, P., Kowalczyk, D., Rech, J., Claudin, C. 2012. Machining of nodular cast iron (PF-NCI) using CBN tools. *Procedia CIRP*, 1, 483-487.

Grzesik, W., Kiszka, P., Kowalczyk, D., Żak, K., Rech, J. 2014. Investigation of the machining process of spheroidal cast iron using cubic boron nitride (CBN) tools. *Metalurgija*, 53(1): 33-36.

Grzesik, W., Rech, J., Żak, K., Claudin, C. 2009. Machining performance of pearlitic–ferritic nodular cast iron with coated carbide and silicon nitride ceramic tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(2): 125-133.

Hasırcı, H. 2017. Mekanik titreşimin küresel grafitli dökme demirlerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 275-282.

Işık, Y. 2014. The performance evaluation of ceramic and carbide cutting tools in machining of austempered ductile irons. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 19(2), 67-76.

Kaçal, A., Gülesin, M. 2009. Küresel grafitli dökme demirlerin son bitirme operasyonlarının analizi üzerine bir çalışma. IATS'09 - 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük.

Żak, K., Grzesik, W., Brol, S. 2009. Finish turning of nodular cast iron using different cutting tool inserts. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*, 29(4): 21-32.

Kılınç, B. 2009. GGG 50 Sınıfı Dökme Demire Bakır İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Koç, F. G., Çöl, M. 2018. Yüksek Alaşımlı Beyaz Dökme Demirde Titanyum Katkısının Mikroyapı ve Sertlik Üzerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(3), 669-675.

Nayyar, V., Grenmyr, G., Kaminski, J., Nyborg, L. 2013. Machinability of compacted graphite iron (CGI) and flake graphite iron (FGI) with coated carbide. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 13(1): 67-90.

Nayyar, V., Kaminski, J., Kinnander, A., & Nyborg, L. 2012. An experimental investigation of machinability of graphitic cast iron grades; flake, compacted and spheroidal graphite iron in continuous machining operations. *Procedia Cirp*, 1(1): 488-493.

Neşeli, S., Yıldız, S. 2007. Tornalamada yaklaşma açısı ve talaş açısına bağlı tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri. *Politeknik Dergisi*, 10(4).

Nová, I., Nováková, I., & Machuta, J. 2009. A new type of ductile iron for the automotive industry. *ACC Journal*, 15(1): 24-29.

Oh, S. H. 2012. The study on interrupted cutting tool life of coated carbide and CBN in ductile cast iron: In computer applications for modeling, simulation, and automobile, Editors: Kim, T., Ramos, C., Abawajy, J., Kang, B., Slezak, D., Adeli, H., Berlin, Heidelberg, pp: 287-293.

Sağlam, C. 2009. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Alaşım Elementleri İlavesinin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Scruton, J.M. 2018. Effects and limitations of residual alloying elements in silicon solid solution strengthened ferritic ductile iron. M.Sc. Thesis, Michigan Technological University, Materials Science and Engineering, Houghton.

Stets, W., Löblich, H., Gassner, G., Schumacher, P. 2014. Solution strengthened ferritic ductile cast iron properties, production and application. *International Journal of Metalcasting*, 8(2), 35-40.

Tooptong, S., Park, K. H., Kwon, P. 2018. A comparative investigation on flank wear when turning three cast irons. *Tribology International*, 120: 127-139.

Wetzel, S., Sandalow, B., Jefferson, R., Cavalieri, F., Murphy, J., 2018. Census of World Casting Production Global Casting Production Expands. *Modern Casting*, 108(12): 23-27

Yıldırım, H. 2014. Beyaz dökme demirden üretilen maden kırıcılarında molibdenin mikro yapıya ve mekanik özelliklere etkisi. Yüksek lisans tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.

Yigit, R., Celik, E., Findik, F., Koksall, S. 2008. Effect of cutting speed on the performance of coated and uncoated cutting tools in turning nodular cast iron. *Journal of materials processing technology*, 204(1-3): 80-88.

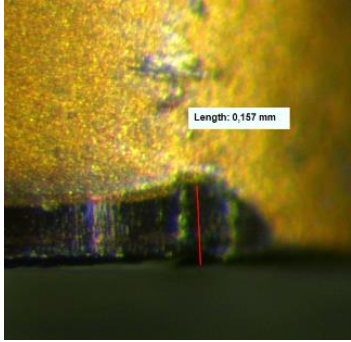
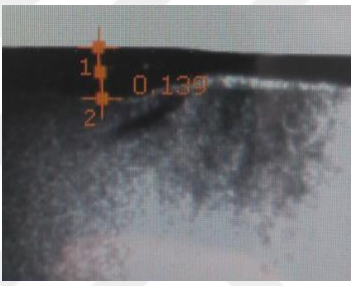
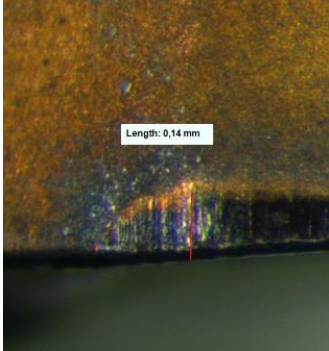
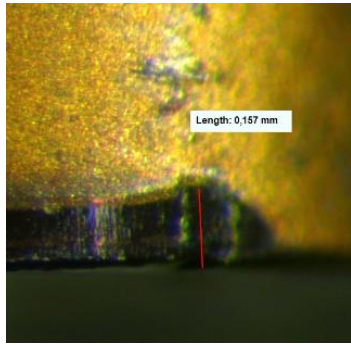
Yiğit, R., Findik, F., Celik, E. 2010. Dökme demiri tornalarken çok katmanlı kaplamalı karbür takımların performansı. *Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi* , 33 (3): 147-158.

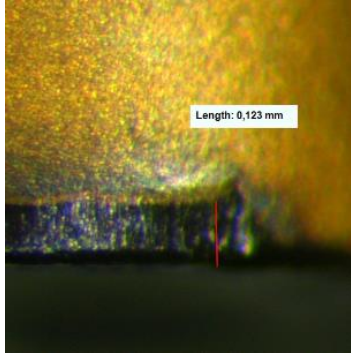
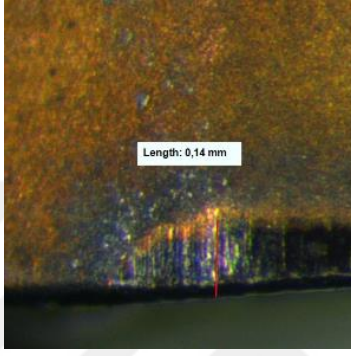
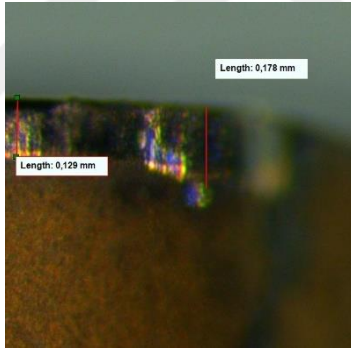
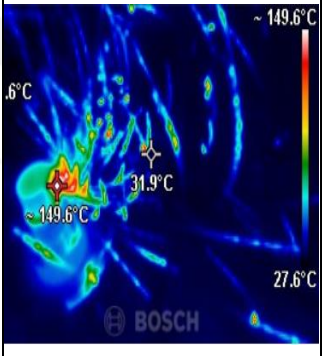
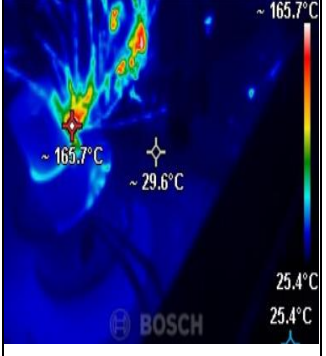
EKLER

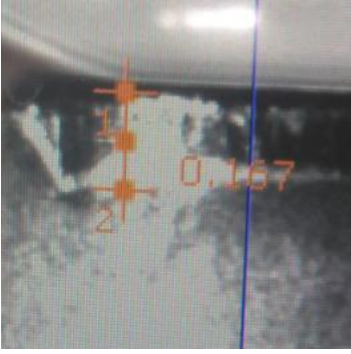
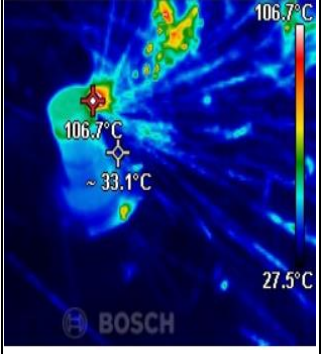
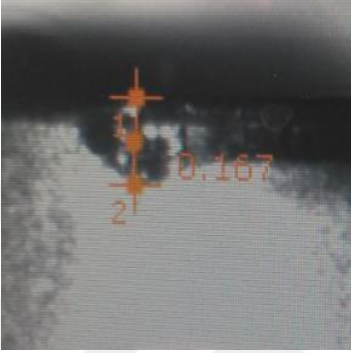
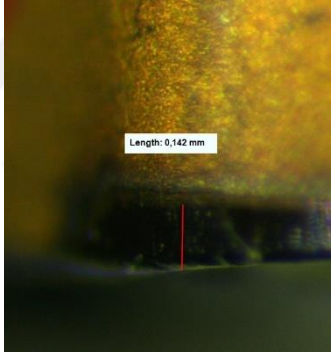
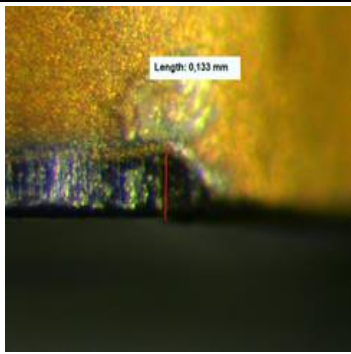
EK 1. Kesici aşınması ve sıcaklık resimleri.

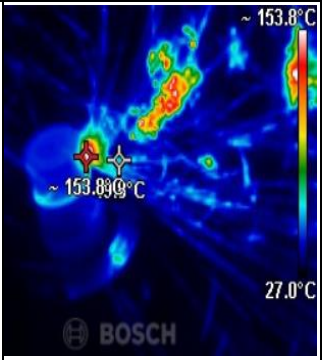
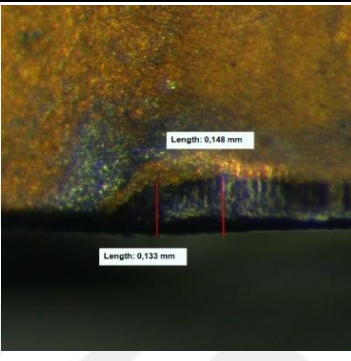
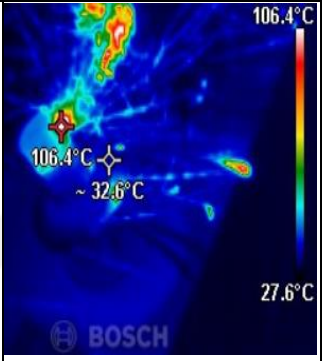
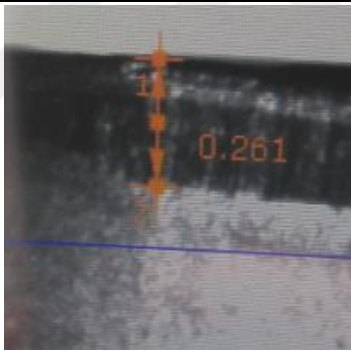
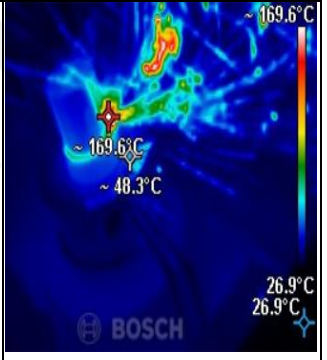
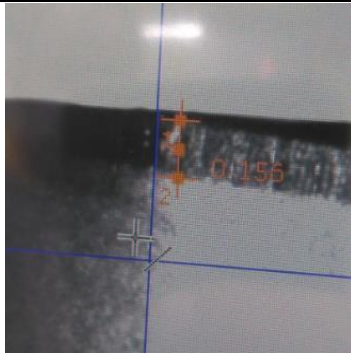
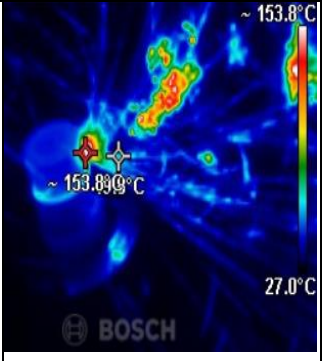


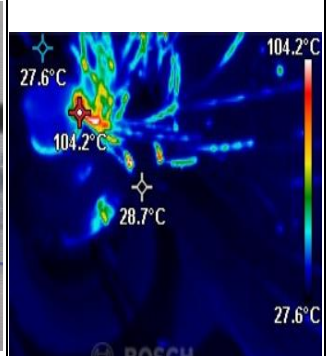
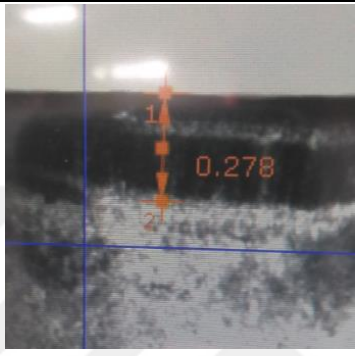
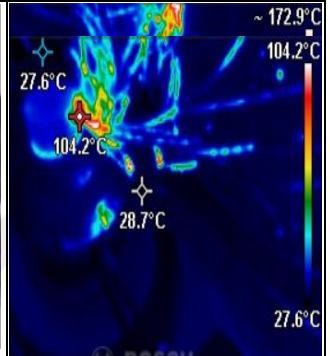
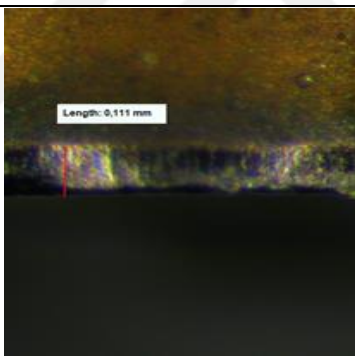
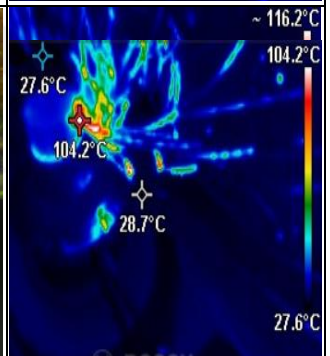
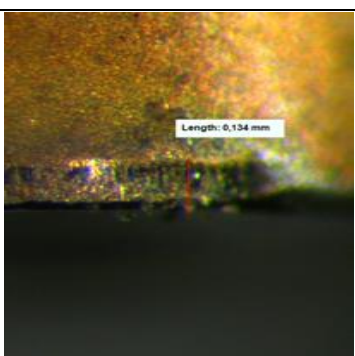
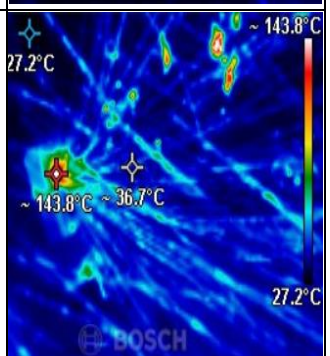
EK 1

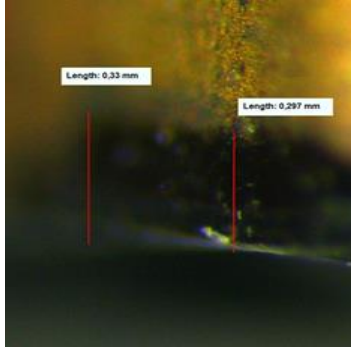
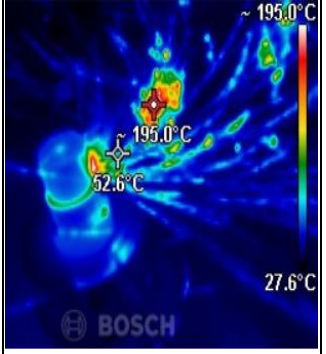
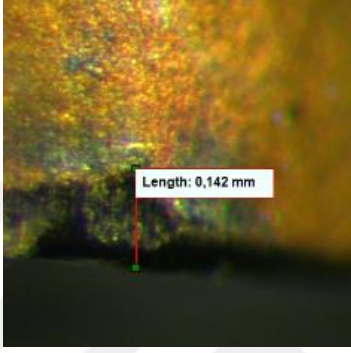
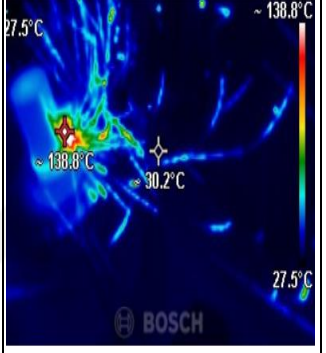
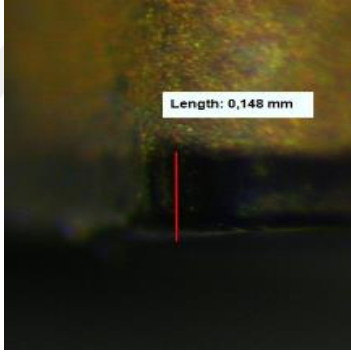
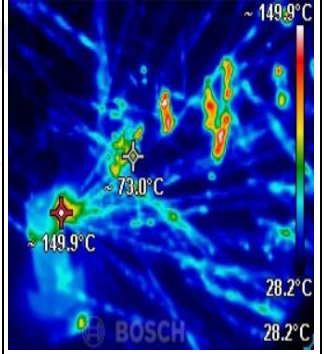
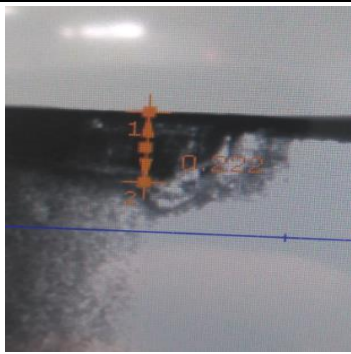
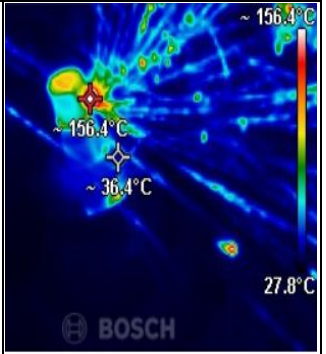
NO	DENEME ŞARTLARI	KESİCİ AŞINMASI	SICAKLIK
1	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 0,5		
2	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 1		
3	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 1,5		
4	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 0,5		

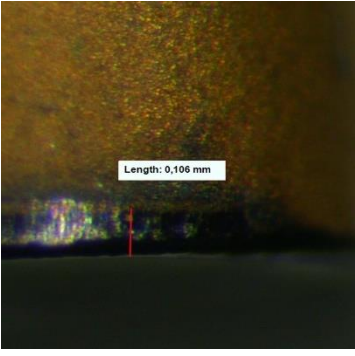
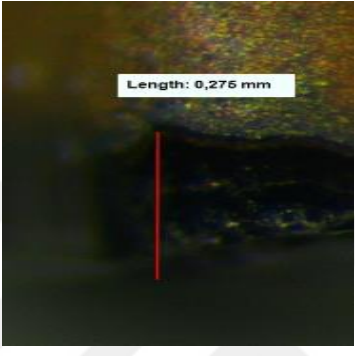
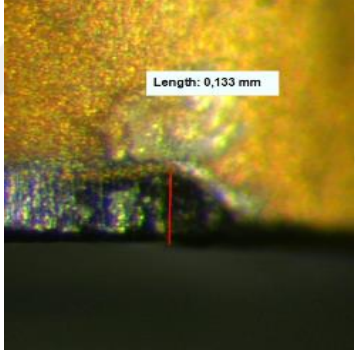
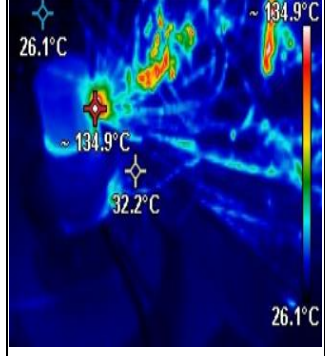
5	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 1		
6	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 1,5		
7	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 1		
8	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 1,5		

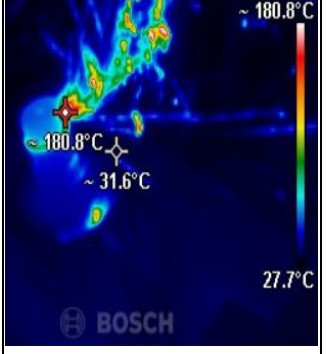
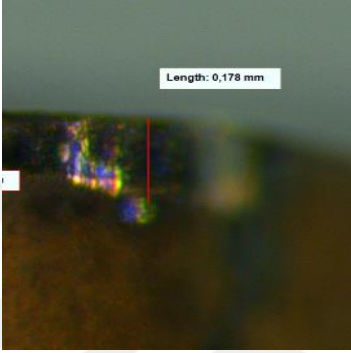
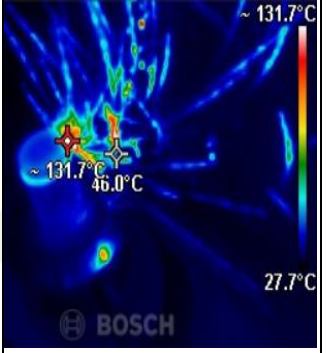
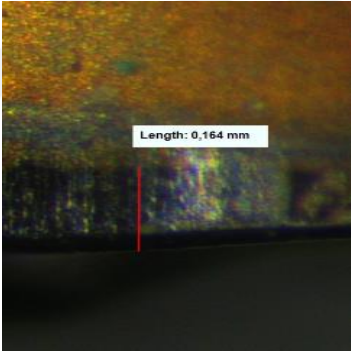
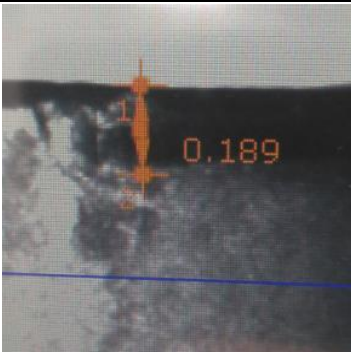
9	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 0,5		
10	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 1,5		
11	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 0,5		
12	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 1		

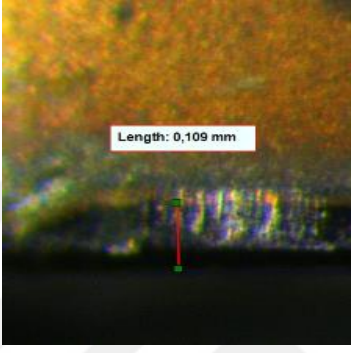
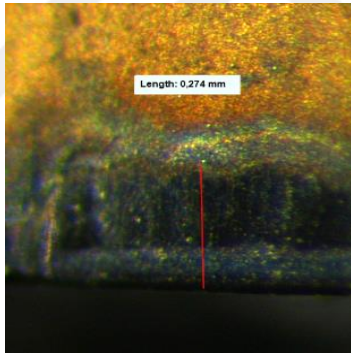
13	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 1,5		
14	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 0,5		
15	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 1		
16	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 1,5		

17	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 0,5		
18	Malzeme: EN GJS 500/7 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 1		
19	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 0,5		
20	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 1		

21	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 1,5		
22	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 1		
23	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 1,5		
24	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 0,5		

25	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 1		
26	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 1,5		
27	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 93° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 0,5		
28	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 1		

29	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 1,5		
30	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kuru Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 0,5		
31	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 1,5		
32	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 0,5		

33	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 1		
34	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 200 İlerleme (mm/dev) : 0,3 Derinlik (mm): 0,5		
35	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 250 İlerleme (mm/dev) : 0,1 Derinlik (mm): 1		
36	Malzeme: EN GJS 500/14 Yanaşma Açısı: 60° Kesme sıvılı/Kuru İşleme: Kesme sıvılı Kesme Hızı (m/dk): 300 İlerleme (mm/dev) : 0,2 Derinlik (mm): 1,5		