

**ÖSTEMPERLENMİŞ GGG 60 SINIFI KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME  
DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN KESME KUVVETLERİ VE  
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Alptekin SEYFİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MART 2006  
ANKARA**

Alptekin SEYFİ tarafından hazırlanan ÖSTEMPERLENMİŞ GGG 60 SINIFI KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI

Tez Yöneticisi



Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Eğitim Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER



Üye : Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI (Danışman)



Üye : Doç. Dr. Ferhat GÜL



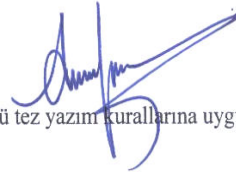
Üye : Doç. Dr. Zafer TEKİNER



Üye : Doç. Dr. Ramazan ÇITAK



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



**ÖSTEMPERLENMİŞ GGG 60 SINIFI KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME  
DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN KESME KUVVETLERİ VE  
YÜZEYPÜRÜZLÜLÜĞÜ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Alptekin SEYFİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mart 2006**

**ÖZET**

**Küresel grafitli dökme demir (KGDD) malzemeler hem özellikleri hem de işlenebilirlikleri açısından birçok dökme demir ve çelik malzemeye kıyasla daha iyidir. Bu malzemeye uygulanan östemperleme ısıl işlem sonucunda birçok çelik malzemedен çok daha üstün özelliklere sahip östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD) adı verilen yeni malzeme üretilmektedir.**

**Bu araştırmada, farklı östemperleme sıcaklık ve sürelerinde elde edilen mikro yapılara bağlı, mekanik özellikleri belirlenmiş numuneler üzerinde talaş kaldırma deneyleri uygulanarak işlenebilirlik parametrelerinden kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü kriterlerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Numunelere, 900<sup>0</sup>C'de 60 dakika östenitlemeden sonra, 280 <sup>0</sup>C, 360 <sup>0</sup>C ve 420 <sup>0</sup>C'de 30, 60, 90, 120 ve 200 dakika süreyle tuz banyosunda östemperleme ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu numuneler üzerinde, ISO 3685'e uygun olarak uygulanan talaş kaldırma işlemleri sonucunda, elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.**

**Yapılan deneyler sonucunda KGDD malzemesinin yapı ve özelliklerinin ısıl işlemle büyük oranda geliştirilebildiği görülmüştür. Numuneler kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü bakımından değerlendirildiğinde düşük**

sıcaklıkta (280 °C) ve (30 dakika) kısa östemperleme sürelerinde daha iyi sonuçların elde edildiği tespit edilmiştir. Kesme hızı bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde ise 125 m/min'de genellikle daha homojen sonuçlar elde edilmiştir.

**Bilim Kodu** : 708.3.028  
**Anahtar Kelime** : ÖKGDD, İşlenebilirlik, Kesme Kuvvetleri, Yüzey Pürüzlülüğü  
**Sayfa Adedi** : 127  
**Tez Yöneticisi** : Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI

**AN EVALUATION OF AUSTEMPERED GGG 60 GRADE DUCTILE  
IRONS' MACHINABILITY IN TERMS OF CUTTING FORCED AND  
SURFACE QUALITY**

**( M. Sc. Thesis)**

**Alptekin SEYFİ**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**March 2006**

**ABSTRACT**

The features displayed during sowing is Ductile iron materials are better with their features and machinability in comparison to many cast irons and steel materials. In result of the austempered heating process applied to this material, a new material called “Austempered Ductile Iron ( ADI )” which has superior features than many steel features is produced.

In this research presents results of machining tests to determine the effect of microstructure and mechanical properties which were determined before of ADIs on cutting forces and surface roughness. Specimen groups were austenised at 900 °C for 60 minutes and then they were austempered in molten salt at 280 °C, 360 °C and 420 °C for 30, 60, 90, 120 and 200 minutes. The results were evaluated after machining tests which were carried out in accordance with ISO 3685.

At the end of the experiments, it was seen that structure and features of the ductile iron materials can be highly improved by heating process. When the materials are evaluated by cutting force and surface roughness. It was observed that better results can be obtained in low temperature (280 °C) and short (30

minutes) austempered time. When the results are evaluated by cutting speed, more homogen results were obtained in 125 m/min.

**Science code** : 708.3.028  
**Key Words** : ADI, Machinability, Cutting Forces, Surface Roughness.  
**Page number** : 127  
**Adviser** : Assistant. Prof. Dr. Kasım HABALI

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI'ya yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e ayrıca bu tez çalışmam sırasında desteğini ve yardımını esirgemeyen sayın Doç. Dr Ferhat GÜL' e ve Arş. Gör. Hasan HASIRCI' ya, kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesindeki katkılarından dolayı, Arş. Gör. Mustafa GÜNAY' a ve çok kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. KÜRESEL VE ÖSTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER.....	3
2.1. Küresel Grafitli Dökme Demirler.....	3
2.1.1. Küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapı özellikleri.....	3
2.1.2. Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri.....	6
2.1.3. Östemperleme ısıl işlemi.....	8
2.1.4. Östenitleme işlemi.....	9
2.1.5. Östemperleme işlemi (izotermal dönüşüm).....	10
2.1.6. Kimyasal bileşimin etkisi.....	14
2.2. ÖKGDD'lerin mekanik özellikleri.....	15
2.2.1. Çekme ve akma dayanımı ve uzamaya etkileri.....	18
2.2.2. Darbe dayanımına etkileri.....	20
2.2.3. ÖKGDD'lerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkileyen diğer faktörler.....	21



	<b>Sayfa</b>
2.2.4. ÖKGDD avantajları ve kullanım alanları.....	24
2.2.5. Yorulma özellikleri.....	25
2.2.6. Aşınma özellikleri.....	26
<b>3. KESME MEKANİĞİ, İŞLENEBİLİRLİK VE İŞLENEBİLİRLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>28</b>
3.1. Metal Kesme Mekaniği .....	28
3.2. Talaş kaldırma modelleri ve Genel Kavramlar .....	29
3.2.1. Kesme kuvvetlerinin teorik olarak hesaplanması.....	34
3.3. İşlenebilirlik ve İşlenebilirliğin Değerlendirilmesi.....	36
3.3.1. İş parçası malzeme özelliklerinin etkisi.....	39
3.3.2. İşlenebilirliği etkileyen diğer malzeme özellikleri.....	44
3.4. Kesici Takım Malzemeleri.....	48
3.5. Talaş Kaldırma İşlemleri ve Takım Ömrü .....	49
3.5.1. Takım ömrü.....	50
3.5.2. Taylor takım ömrü denkleminin elde edilmesi.....	52
3.6. Kesici Takımlarda Aşınma.....	54
3.6.1. Aşınmanın oluşumu.....	55
3.6.2. Yanak ve krater aşınması.....	57
3.6.3. Kaplamalı kesici takımlarda aşınma .....	58
3.7. Yüzey Pürüzlülüğü.....	59
3.7.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü.....	59
3.7.2. Doğal yüzey pürüzlülüğü.....	60
<b>4. DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ.....</b>	<b>61</b>

	<b>Sayfa</b>
4.1. Dökme Demirlerin Genel İşlenebilirlik Özellikleri.....	61
4.2. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin (KGDD) İşlenebilirliği.....	64
4.2.1. Takım ömrü ve aşınma.....	65
4.2.2. Yüzey kalitesi.....	67
4.2.3. KGDD'lerin diğer işlenebilirlik özellikleri.....	68
4.3. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliği.....	68
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	71
5.1. Döküm İşlemi ve Alaşımlama.....	71
5.2. Metalografi .....	73
5.3. Isıl İşlemler.....	73
5.3.1. Östenitleme.....	74
5.3.2. Östemperleme.....	74
5.4. Çekme Deneyi .....	75
5.5. Sertlik Deneyi .....	76
5.6. İşlenebilirlik Deneyi.....	76
5.6.1. Metod.....	76
5.6.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.....	78
5.6.3. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.....	78
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	80
6.1. Değerlendirme Kriterleri.....	80
6.2. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Östemperleme Isıl İşlem Şartlarının Etkileri.....	82
6.2.1. Östemperleme sıcaklık ve süresinin 'ökgdd'lerin mikro yapısına etkileri.....	82

**Sayfa**

6.2.2. ÖKGDD'in mekanik özelliklerine östemperleme sıcaklığı ve süresinin etkileri.....	89
6.3. Dökülmüş Şartlardaki (Östemperleme Uygulanmamış) Malzemenin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü.....	97
6.4. 50 m/min'lik Kesme Hızında Östemperleme Sıcaklık ve Süresine Göre Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü.....	101
6.5. 75 m/min'lik Kesme Hızında Östemperleme Sıcaklık ve Süresine Göre Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü .....	103
6.6. 100 m/min'lik Kesme Hızında Östemperleme Sıcaklık ve Süresine Göre Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü .....	106
6.7. 125 m/min'lik Kesme Hızında Östemperleme Sıcaklık ve Süresine Göre Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü.....	109
6.8. Genel Değerlendirme.....	112
6.8.1. Kesme hızındaki değişime göre östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı yüzey pürüzlülüğü.....	112
6.8.2. Kesme hızındaki değişime göre östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı kesme kuvvetleri.....	114
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	116
7.1. Sonuçlar.....	116
7.2. Öneriler.....	119
KAYNAKLAR.....	120
ÖZGEÇMİŞ.....	127

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Perlit oluşumunu destekleyen elementlerin nispi etkinlikleri.....	6
Çizelge 2.2. TS (526/1977) standardına göre KGDD malzemeler .....	7
Çizelge 2.3. ASTM (A536-70) standardı KGDD malzemeler .....	7
Çizelge 2.4. KGDD ve çeliklere ait mekanik özelliklerin karşılaştırılması.....	18
Çizelge 2.5. Cu, Ni ve Mo'in çekme ve darbe dayanımı ile yüzde uzama üzerine etkileri .....	19
Çizelge 2.6. Yüzde Cu'ın çekme ve darbe dayanımı ile uzama üzerine etkisi.....	19
Çizelge 2.7. Mn miktarının mekanik özellikler üzerine etkisi .....	20
Çizelge 2.8. Döküm ve farklı sıcaklıkta östemperlenmiş malzemelerin farklı yük altında ağırlık kaybı değerleri.....	27
Çizelge 2.9. Döküm ve farklı sıcaklıkta östemperlenmiş malzemelerin farklı yükler altında ağırlık kaybı değerleri.....	33
Çizelge 3.1. İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme özellikleri.....	44
Çizelge 3.2. Malzeme özelliklerinin artan değerinin genel işlenebilirlik üzerine etkileri.....	44
Çizelge 4.1. Perlitik dökme demir ile karbon çeliğinde oluşan kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	62
Çizelge 4.2. Dövme çelikler yerine ferritik KGDD kullanımı ile takım ömründe sağlanan iyileşme.....	65
Çizelge 4.3. Dövme 18CrMo4 çeliği ile KGDD'nin işlenebilirliğini karşılaştırılması.....	66
Çizelge 4.4. Farklı işleme metotları ile işlenen KGDD'lerde yüzey pürüzlülük değerleri.....	67
Çizelge 4.5. Düşük dayanımlı ÖKGDD sınıflarının işlenmesi için kılavuz değerleri.....	69
Çizelge 4.6. Düşük dayanımlı-düşük manganlı ÖKGDD için tavsiye edilen işleme şartları.....	70

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.1. Sfero piki kimyasal bileşimi.....	71
Çizelge 5.2. Küreleştirici malzemesinin (FeSi-Mg) kimyasal bileşimi.....	72
Çizelge 5.3. Aşılama malzemesinin (FeSi) kimyasal bileşimi.....	72
Çizelge 5.4. Bu çalışma için üretilen KGDD numunelerin kimyasal bileşimleri.....	75
Çizelge 5.5. Numunelerin östemperleme süresi ve sıcaklığına göre kodları.....	77
Çizelge 5.6. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesme parametreleri.....	78
Çizelge 5.7. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri.....	79
Çizelge 6.1. Östemperleme ısı işlemi sonucunda elde edilen fazlar ve yüzde oranları.....	83
Çizelge 6.2. Östemperleme ısı işlemi sonucunda elde edilen grafit küre sayıları.....	83
Çizelge 6.3. Östemperleme süresi ve sıcaklığı ile çekme dayanımının değişimi.....	90
Çizelge 6.4. Östemperleme süresi ve sıcaklığı ile sertliğin değişimi.....	92
Çizelge 6.5. Enine kesitte östemperleme süresi ve sıcaklığı ile sertliğin değişimi.....	93
Çizelge 6.6. Kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri .....	97
Çizelge 6.7. Kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	98
Çizelge 6.8. Mekanik Özellikler.....	99

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dökme demirlerin genel sınıflandırılması .....	3
Şekil 2.2. Tipik bir östemperleme ısıl işleminin sıcaklık ve süreye bağlı olarak çevrimi ve oluşabilecek muhtemel yapılar .....	8
Şekil 2.3. Östemperleme sıcaklık ve süresinin alaşımsız KGDD'lerde çekme ve %0,1 akma mukavemeti üzerindeki etkisi.....	11
Şekil 2.4. Alaşımsız KGDD A) Üst beynit ve B) Alt beynit dönüşümleri için östemperleme süresiyle mikro yapı arasındaki ilişki ve işlem aralığı .....	12
Şekil 2.5. Alt ve üst beynit oluşum mekanizması .....	13
Şekil 2.6. Dökme demir ve çeliklere uygulanan ısıl işlem neticesinde çekme mukavemeti ile yüzde uzama arasındaki ilişkisi .....	16
Şekil 2.7. Çeşitli malzemelerle ÖKGDD'lerin kırılma tokluğu-akma mukavemeti ilişkisi .....	17
Şekil 2.8. Alaşım elementlerinin segregasyon eğilimleri .....	23
Şekil 2.9. Ağırlık / dayanım açısından ÖKGDD'in diğer malzemelerle karşılaştırılması .....	24
Şekil 3.1. Metal kesme işleminin temel mekaniği.....	28
Şekil 3.2. Tornalamada talaş kaldırma modeli.....	30
Şekil 3.3. Eğik kesme modeli.....	31
Şekil 3.4. Dik ve eğik kesme modeli.....	32
Şekil 3.5. İnce kesme düzlemi modeli.....	32
Şekil 3.6. Kalın kesme düzlemi modeli .....	33
Şekil 3.7. Dik talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri.....	34
Şekil 3.8. Dik kesmede talaş oluşumu modeli .....	35

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.9. Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi: A- Çekme Dayanımı, B- Sertlik, C-Darbe Dayanımı, D- Yüzde uzama.....	39
Şekil 3.10. Çekme dayanımı (TS)'ye karşılık, sertlik (H) ve süneklikteki (D) değişimi.....	40
Şekil 3.11. Isıl iletkenlik (TC) ile işlenebilirlik değeri (M) arasındaki ilişkisi.....	41
Şekil 3.12. Yan yüzey aşınmasının ölçülmesi.....	52
Şekil 3.13. Yuvarlak köşeli kesici uç ile oluşturulan ideal yüzey pürüzlülüğü.....	60
Şekil 5.1. Tundish tipi küreleştirme işlem potasının şematik gösterimi.....	71
Şekil 5.2. Çubuk numunelerin üretildiği yaş kum döküm kalıplarının şematik resminin kesit görünüşü.....	72
Şekil 5.3. Uygulanan ısıl işlemlerin şematik özeti.....	73
Şekil 5.4. Numunelerin östenitleme fırınına yerleştirilmesinde kullanılan sistem.....	74
Şekil 5.5. Östempereleme işleminin yapıldığı tuz banyosunun şematik gösterimi.....	75
Şekil 5.6. Çekme deney numunesi boyutları.....	75
Şekil 5.7. Sertlik ölçümünün yapıldığı yüzeylerin gösterilmesi.....	76
Şekil 6.1. Östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak çekme dayanımındaki değişim.....	90
Şekil 6.2. Östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak sertlikteki değişim.....	92
Şekil 6.3. Enine kesitte östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak sertlikteki değişim.....	94
Şekil 6.4. Dökülmüş şartlardaki numunenin değişen kesme hızına göre kesme (Fc) kuvvetlerindeki değişim.....	98

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.5. Dökülmüş şartlardaki numunenin değişen kesme hızına göre yüzeypürüzlülüğündeki (Ra) değişim.....	100
Şekil 6.6. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri (Fc) değişimi (V = 50 m/min).....	101
Şekil 6.7. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi (V = 50 m/min).....	102
Şekil 6.8. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri (Fc) değişimi (V = 75 m/min).....	104
Şekil 6.9. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün (Ra) değişimi (V = 75 m/min).....	104
Şekil 6.10. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri (Fc) değişimi (V = 100 m/min).....	106
Şekil 6.11. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi (V=100 m/min).....	107
Şekil 6.12. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri (Fc) değişimi (V=125 m/min).....	110
Şekil 6.13. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi (V=125 m/min).....	110
Şekil 6.14. Kesme hızına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi (Ra).....	113
Şekil 6.15. Kesme hızına bağlı ortalama kesme kuvvetleri değişimi (N).....	115



**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. Matris yapılarının mikroyapı fotoğrafları.....	4
Resim 6.1. ÖKGDD'lerin mikro yapı görüntüleri.....	84
Resim 6.2. ÖKGDD'lerin mikro yapı görüntüleri.....	85
Resim 6.3. ÖKGDD'lerin mikro yapı görüntüleri.....	86
Resim 6.4. ÖKGDD'lerin yüzey ile merkez arasında meydana gelen mikroyapısal farklılıkların görüntüleri.....	96

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>b</b>	Talaş Genişliği (mm)
<b>f</b>	İlerleme (mm/dev)
<b>fa</b>	Sehim
<b>Fc</b>	Asıl Kesme Kuvveti (N)
<b>Ff</b>	İlerleme Kuvveti (N)
<b>Fr</b>	Pasif/radyal Kuvvet (N)
<b>fr</b>	Kesme Direnci (N)
<b>Fs</b>	Teğetsel Kuvvet (N)
<b>Kr</b>	Kesme Kenar Açısı
<b>ks</b>	Kesme Düzlemindeki Kayma Gerilmesi
<b>r</b>	Talaş Kaldırma Oranı
<b>Ra</b>	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )
<b>rc</b>	Talaş Oranı
<b>T</b>	Takım Ömrü (min)
<b>t1</b>	Talaş Derinliği (mm)
<b>t2</b>	Talaş Kalınlığı (mm)
<b>V</b>	Kayma Düzlemi
<b>v</b>	Kesme Hızı (m/min)
<b><math>\alpha</math></b>	Ferrit
<b><math>\gamma</math></b>	Östenit
<b><math>\Phi</math></b>	Kesme Açısı

**Kısaltmalar****Açıklamalar****BCIRA**

British Cast Iron Association

**BUE**

Kesici kenarda yığılma (built-up-edge)

**HBN**

Brinel sertlik numarası

**HRC**

Rockwell C sertliği

**KE**

Karbon eşdeğerliği

**KGDD**

Küresel grafitli dökme demir

**M**

İşlenebilirlik Değeri

**MHO**

Martensit hacim oranı

**ÖKGDD**

Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir

**TC**

Malzemenin Isıl iletkenliği

## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerle birlikte; teknolojinin gereksinimi olan araç, gereç malzemelerinin üretiminde de buna bağlı olarak gelişmeler olmaktadır. Küresel grafitli dökme demirler (KGDD) diğer dökme demir türlerine göre daha yüksek dayanım, süneklik, tokluk özelliklerine sahiptir. KGDD'lerin bu üstün özellikleri, uygulanan ısıt işlemlerle daha da iyileştirilebilmektedir.

KGDD'lere uygulanan ısıt işlemler çok çeşitli olmakla beraber kazançlar bakımından ön plana çıkan östemperleme ısıt işlemi olmuştur. 1970'lerin başlarında uygulanmaya başlanan östemperleme çalışmaları günümüze kadar çok fazla ilgi görmüş ve halen de görmektedir. Ülkemizde ise yakın dönemde başlamış olan bu çalışmalar çok yoğun bir şekilde devam etmektedir.

KGDD'lerde östemperleme işleminin amacı; aynı işlemle çelik malzemelerde oluşan beynitik yapıdan farklı olarak ösferritik (östenit+ferrit) matris yapı oluşturmaktır. Bu yapı dayanım ve tokluk özelliklerini daha da iyileştirmektedir. Bu üstün özelliklerin yanı sıra bu malzemelerin talaşlı imalat yöntemine uygunluğu, kısa süreli ısıt işlemleri, çeliklere göre % 10 daha hafif olmaları, döküm yoluyla son şekle getirilebilme yetenekleri, montaj kolaylıkları bu malzemeleri cazip hale getirmiştir. Bu üstün özelliklerin bir sonucu olarak da pek çok alanda kullanılmaya başlanmış ve pek çok araştırmanın da konusu olmuştur.

Küresel grafitli dökme demirler ve östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler (ÖKGDD) konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar alaşım elementleri tür ve miktarlarının yapı ve özelliklere etkileri (1), yapılan ısıt işlemlerin malzeme özelliklerine etkileri (1), üretilen malzemelerin aşınma özellikleri (1) ve işlenebilirlikleri (2), konularını içermektedir. Ancak özellikle bu çalışmaya benzerlik taşıması bakımından işlenebilirlik çalışmaları (2) değerlendirildiğinde; bu çalışma belirli bir malzemeye (GGG 60) östemperleme sıcaklık (280, 360, 420°C) ve sürelerinin (30, 60, 90, 120, 200 dakika) etkileri ve sonuçları üretilen malzemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerinin amacını taşımaktadır. Aynı zamanda

üretilen (GGG 60) malzemesi yaygın kullanıma sahiptir ve farklı kesme parametrelerine göre değişimleri hedefleyen başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan diğer çalışmalarda (2) özellikle farklı östemperleme sıcaklık ve sürelerinde üretilen ÖKGDD'lerin işlenebilirliğinin araştırılması gerektiği ifade edilmektedir.

Bu araştırmada, temel alaşım elementlerinin miktarları literatür de belirtilen sınırlar içinde tutularak üzerinde sınırlı sayıda araştırma yapılmış Cu ve Ni'in değişik oranlarda, birlikte ilavesi ile farklı östemperleme sürelerinde elde edilen mikro yapılara bağlı, mekanik özellikleri belirlenmiş numuneler üzerinde işlenebilirlik parametrelerinden kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün incelendiği, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitim Anabilim Dalı'nda yapılan bir araştırmanın (2) önerileri dikkate alınarak; farklı sıcaklık ve sürelerde östemperlenen KGDD'lerin farklı kesme hızları kullanılarak talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesinin amaçlandığı bu çalışma yapılarak, önceki çalışmayı bir adım ileri taşımak hedeflenmiştir.

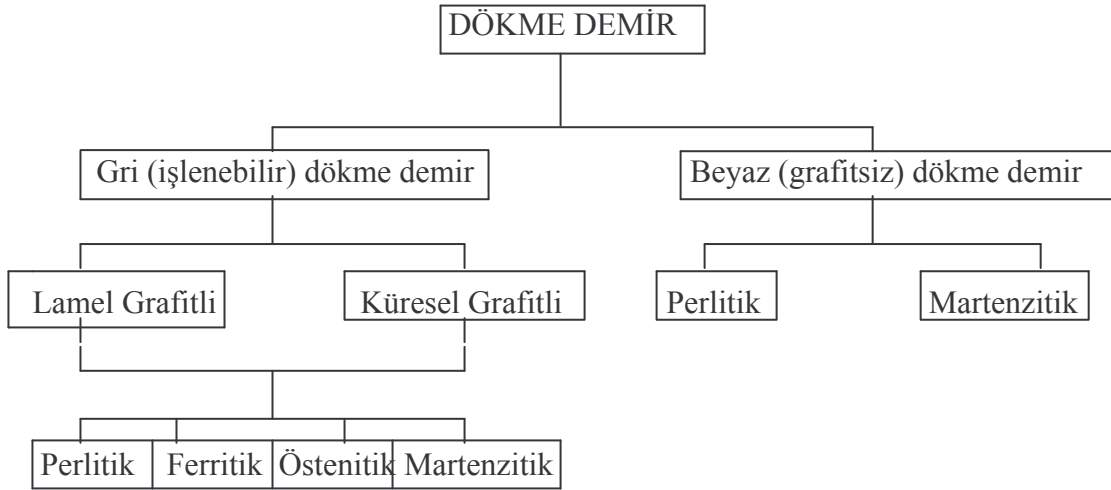
İşlenebilirlik değerlendirilmesinde, en önemli işlenebilirlik kriterlerinden “kesme kuvvetleri” ve “yüzey kalitesi” kriterleri baz alınmıştır. Çalışmada, dökülmüş haldeki ve östemperleme ısı işlemi uygulanmış numuneler üzerinde deneyler yapılarak, östemperlemeye bağlı değişimlerin tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından, östemperleme süresinin ve östemperleme sıcaklığının etkileri ve uygun değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. KÜRESEL VE ÖSTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

### 2.1. Küresel Grafitli Dökme Demirler

#### 2.1.1. Küresel grafitli dökme demirlerin mikroyapı özellikleri

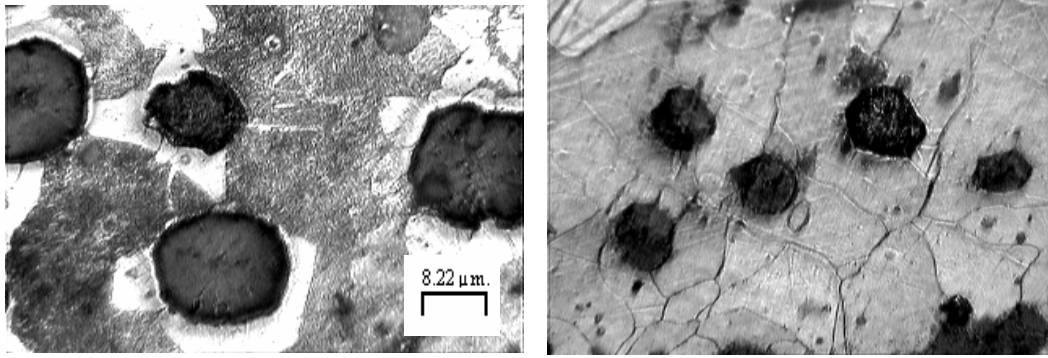
Metal malzemelerin ilk kullanılmaya başlandığı yıllardan günümüze kadar olan süreç içerisinde, optimum mekanik özelliklerin elde edilebileceği malzeme türleri üzerinde sürekli bir araştırma söz konusudur. Bu tarihsel süreç içerisinde imalat sanayisinde yerini alan ve geçmişi çok da eskilere dayanmayan Küresel Grafitli Dökme Demirler (KGDD) son zamanlarda önemli kullanım alanı bulmuştur. Rengi ve grafit şekli itibariyle dökme demir grubunda yer alan diğer yapılardan ayrılmaktadır. Şekil 2.1’ de dökme demirlere ait genel bir sınıflandırma verilmiştir (3).



Şekil 2.1. Dökme demirlerin genel sınıflandırılması (3)

1948’li yılların başlarında Küresel Grafitli Dökme Demirler (KGDD) Amerikan Dökümcüler Birliği toplantısında döküm sektörüne tanıtılmıştır. Üretiminin diğer dökme demir sınıfı malzemelerinin ve çelik üretiminin yapılabildiği ünitelerde yapılabilmesi ve küresel grafitli dökme demirlerin üstün mekanik özelliklere sahip olması ile KGDD’lerin üretimi hızlı bir şekilde artmıştır. Küresel grafitli dökme

demirlerde matris perlit, ferrit veya ikisinin karışımından meydana gelmektedir (Resim 2.1.) (1, 2). Küresel grafitli dökme demirlerde, küre sayısının düşük olması, grafitlerin küresel olmaması, küre dağılımının homojen olmaması KGDD'in mekanik özellikleri üzerinde zararlı bir göstermektedir. Sıvı metal içerisinde titanyum (Ti) bulunması, yüksek miktarda mangan (Mn), toprak elementlerinin varlığı ve kükürt (S), grafitin homojen dağılımını ve şeklini bozmaktadır (4, 5).



a)

b)

Resim 2.1. Matris yapılarının mikroyapı fotoğrafları a) Perlit + ferrit ve b) tamamen ferritten oluşan KGDD'in (Dağlama: % 2 Nital, x300) (1, 2)

Nodüler, Sfero ve Sünek dökme demir olarak da ifade edilen KGDD 1948'de keşfedilmiştir. Bu tip dökme demirler gri dökme demirle aynı bileşime sahiptir. Aralarındaki tek fark grafitin şeklidir. Gri dökme demirde grafitler lamel şeklinde iken, küresel grafitli dökme demirde ise grafitler küre biçimindedir. Küresel grafitli dökme demirlerin düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve işlenebilirliğinin kolay olmasının yanı sıra yüksek mukavemet, tokluk ve sünekliği bir arada bulundurulması ile dökme demir sınıfı içerisinde önemli bir yer edinmiştir.

Küresel grafitli dökme demirlere ilave edilen alaşım elementlerinin tür ve miktarları büyük önem taşımaktadır. KGDD'lere ilave edilen alaşım elementlerinin en önemlileri karbon (C) ve silisyum (Si)'dir. Karbon (C) miktarı % 3 – 4 arasında olmaktadır. Silisyum (Si) ise küreleştirme ve aşılamağa bağlı olarak, kesit kalınlığına göre, 1,2–2,5 cm kesit kalınlığına sahip parçalar için % 1,8 – 2,9 arasında Si

bulunmaktadır. KGDD'ler de karbon eşdeğerliği (KE) genellikle % 4,3 – 4,65 arasında değişmektedir. KE kesit kalınlığına bağlı olarak kesit arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi ise kalın kesitli ve yüksek KE'ne (> 4,65) sahip bir KGDD'de, döküm parça üst yüzeyinde karbon yüzmesi adı verilen olayın meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Silisyum (Si); karbonun (C) aktivitesini yükselten ve grafit oluşumunu teşvik eden güçlü bir grafit oluşturucu ve ferrit oluşumunu teşvik edici bir elementtir. Silisyumun (Si) artması düşük sıcaklıklardaki darbe direncini düşürmekte, Si'un % 3'ün üzerinde artması darbe direncini artıran bir etki göstermektedir (5, 6, 7, 8).

Karbon (C) ve silisyum (Si)'dan sonra etkili olan element ise mangan (Mn)'dir. Mangan (Mn) matriste sementit oluşumunu teşvik etmektedir. Mangan (Mn) miktarı genellikle % 0,02 – 0,6 arasında değişmektedir. KGDD'de Mn miktarı, kükürt miktarına bağlıdır ve gri dökme demire göre Mn miktarı daha düşüktür, bu nedenle KGDD'de kükürdün zararlı etkisini kontrol edici mangan sülfürün (MnS) bir fonksiyonu yoktur. Mn, perlitli kararlı hale getirme özelliği olan bir elementtir. Mn miktarının % 0,4'ten düşük olması, özellikle tane sınırı karbürleri oluşturma tehlikesini önlemesi açısından tavsiye edilmektedir. Mn'in artışı, bu elementin karbür yapıcı etkisini engelleyen Si miktarının da artmasına neden olmaktadır (1, 2).

Mangan (Mn) miktarının düşük olması ile sıvı metalin hidrojen kapması en aza indirmek, ferrit oluşumunu teşvik etmek, tane sınırı segregasyonu ve tane sınırlarında sementit oluşumunu önlemek mümkün olmaktadır. Kükürt (S) ve fosfor (P) ise genellikle istenilmeyen ve çok az miktarda bulunması gereken elementlerdir. Genellikle S % 0,004 ve P % 0,08'den daha az olması tercih edilir (8).

KGDD'ler de alaşım elementi olarak, karbon (C), silisyum (Si), mangan (Mn), kükürt (S) ve fosforun (P) dışında, molibden (Mo), bakır (Cu) ve nikel (Ni) kullanılmaktadır. Mo, Cu ve Ni genellikle perlit oluşumunu teşvik etmektedir. Perlit oluşumunda etkili olan elementlerin nispi etkinlikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir (5). Mo, Cu ve Ni elementleri arasında Mo en fazla nispi etkinliğe sahip olmakla birlikte bu elementin segregasyon eğiliminin fazla olması ve karbür oluşturmaya sonucunda



sünekliği düşürdüğü için miktarının % 0,3 ile sınırlandırılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra Mo, yüksek sıcaklıktaki dayanımı arttırmaktadır (5).

Çizelge 2.1. Perlit oluşumunu destekleyen elementlerin nispi etkinlikleri (5)

Element	Perlit Oluşumundaki Nispi Etkinliği
Kalay	39,00
Molibden	7,90
Fosfor	5,60
Bakır	4,90
Titanyum	4,40
Mangan	0,40
Nikel veya Krom	0,37

Çizelge 2.1'den de görüldüğü gibi perlit oluşumunda nispi etkinliği en fazla olan element kalay (Sn) olarak görünmekte, bu elementin lamel grafit oluşumunu teşvik etmesi sebebi ile miktarının % 0,07'den daha az olması gerekmektedir. Cu ve Ni dışında diğer elementlerin bilinen zararlı etkileri sebebiyle perlit oluşturma amacıyla kullanımı olumsuz etkilere neden olacağından tercih edilmemektedir. Burada Cu, Ni'e göre etkinliğinin daha yüksek olması ve ekonomik olması sebebiyle yaygın şekilde perlit oluşturu element olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan Ni sıcak darbe direncinin gelişimine olumlu etki yapmaktadır (6).

### 2.1.2. KGDD'lerin mekanik özellikleri

Küresel grafitli dökme demirler, diğer dökme demir türlerine göre daha üstün mekanik özelliklere sahiptir. Bu üstün mekanik özelliklerin elde edilebilmesinde KGDD'e ilave edilen alaşım elementlerinin tür ve miktarlarının, sementit oluşumunu, grafit küreselleşmesini, grafit dağılımını ve matris yapı türünü etkilediği için büyük önem taşımaktadır.

KGDD malzemeler mekanik özelliklerine göre standartlaştırılmış olup, bu malzemedan üretilecek bir parçadan beklenen özelliklere göre ülkemizde ve diğer ülkelerde uluslararası standartlara bakılarak seçim yapılmaktadır. Bununla beraber

standartlar dışında daha farklı isteklere uygun olarak da üretim yapılabilmektedir. Çizelge 2.2 ve 2.3’de TS (526/1977) ve ASTM (A536-70) standardına göre KGDD sınıfı malzemeler verilmektedir (1, 2).

Çizelge 2.2. TS (526/1977) standardına göre KGDD malzemeler (1, 2)

Sınıflama	Çekme day. (MPa)	Akma day. (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HBN)	Mikroyapı
DDK 40	42	28	12	140-201	Daha çok ferritik
DDK 50	50	35	7	170-241	Ferrit + perlit
DDK 60	60	40	3	192-269	Perlit + ferrit
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	-----	Ferritik

Çizelge 2.3. ASTM (A536-70) standardı KGDD malzemeler (1, 2)

Sınıfı	Çekme Day. Min. (psi)	Akma Day.(%0,2) Min. (psi)	Uzama (2-inch) Min. (%)
60-40-18	60.000	40.000	18
65-45-12	65.000	45.000	12
80-55-6	80.000	55.000	6
100-70-3	100.000	70.000	3
120-90-2	120.000	90.000	2

KGDD’lerde küre sayısının istenilen mekanik özelliklerin elde edilmesi açısından mümkün olduğu kadar yüksek sayıda ( 50-250 küre/mm<sup>2</sup> ) olması istenir. Bu nedenle uygun sıcaklıkta, yeterli miktarda küreleştirici (Mg, Ce) ve küreleşmeyi destekleyecek malzeme (Na, Ca) kullanımı gerekmektedir. Sıvı metalin kükürt oranı, karbon eşdeğeri (KE), diğer malzeme ve işlem değişkenleri küreleşme oranına etki etmektedir (9).

### 2.1.3. Östempereleme Isıl İşlemi

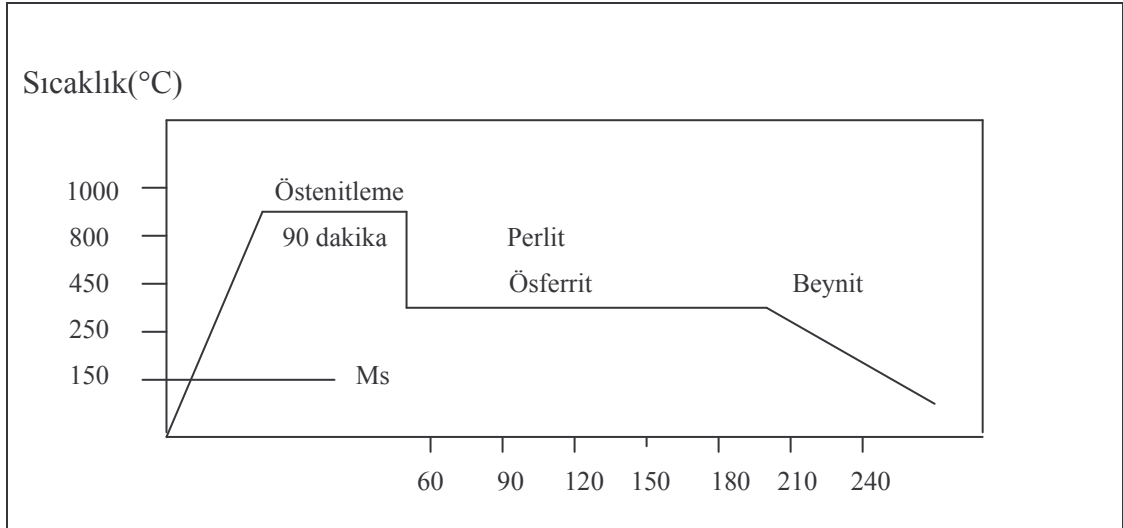
KGDD'lere uygulanan ısıl işlem çevrimi 3 ana adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar;

- i. Genellikle 850 - 950 °C sıcaklık aralığında 1-2 saat süreyle östenitleme,
- ii. Perlitik yapı oluşumunu önleyecek hızda 250– 400 °C sıcaklıklar arasına soğutma,
- iii. Ösferritik dönüşüm için 250- 400 °C sıcaklık aralığında 1- 4 saat (hatta 8 saate kadar) östempereleme (izotermal dönüşüm) ve oda sıcaklığına soğutmadır (10).

Tipik bir ısıl işlem çevrimi ve bu çevrim sırasında oluşabilecek muhtemel yapılar Şekil 2.2'de gösterilmiştir (1). Östenitleme ve izotermal dönüşüm sıcaklıklarına soğutmanın ardından östempereleme sırasında, östenitin diğer yapılara dönüşümü iki aşamada gerçekleşmektedir (11, 12, 13, 14). Bu aşamalar;

I. Aşama :  $\gamma \rightarrow \alpha$  (iğnesel) +  $\gamma_{y.k.}$  (yüksek karbonlu östenit)

II. Aşama :  $\gamma_{y.k.} \rightarrow \alpha + \text{karbür}$



Şekil 2.2. Tipik bir östempereleme ısıl işleminin sıcaklık ve süreye bağlı olarak çevrimi ve oluşabilecek muhtemel yapılar (1)

Ancak bazı kaynaklarda östenitin diğer yapılara dönüşümünün üç aşamada gerçekleştiği belirtilmektedir (15). Bunlar;

- I. Aşama :  $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma_{y.k.}$  (yüksek karbonlu östenit + dönüşmemiş östenit)
- II. Aşama : İşlem aralığı (işlem aralığı) ( $\alpha + \gamma_{y.k.}$ )
- III. Aşama :  $\gamma_{y.k.} \rightarrow \alpha + \text{karbür}$

Burada II. aşamanın (işlem aralığı) ösferritik yapının oluşumunda ve dönüşümün anlaşılmasında önemli bir aşamayı oluşturduğu vurgulanmaktadır.

#### 2.1.4. Östenitleme işlemi

Östenitleme işlemi genellikle 850 - 950 °C sıcaklık aralığında ve yaklaşık olarak 1-2 saat süreyle yapılmaktadır. Östenitleme sıcaklık ( $T_\gamma$ ) ve süresindeki ( $t_\gamma$ ) değişim malzemenin içerdiği alaşım elementlerinin miktarlarına bağlı olmaktadır (16, 17). KGDD'de östenitleme sıcaklığı ( $T_\gamma$ ) önemli bir parametredir ve özellikle karbon (C) miktarına göre seçilmektedir. Aynı zamanda homojen bir östenitik yapı için östenitleme süresinde önemli olduğu görülmektedir ( 18, 19).

Östenitleme işlemi, parçaların genellikle 850-950 °C sıcaklıkları aralığında kesit kalınlığına bağlı olarak belirli bir süre ısıtma işlemidir. Yüksek östenitleme sıcaklığı östenit içerisindeki karbon miktarının artmasına neden olur. Bununla birlikte malzemenin sertleştirilebilirliğinin de artmasında önemli rol oynar. Östemperleme işlemi sırasında yapının ösferrite dönüşüm süresini arttırdığından ve mekanik özellikleri olumsuz etkilediğinden, östenitleme sıcaklığının artması istenmez (20).

Östemperleme sıcaklığı, tüm parçanın ısınmasını ve östenitin karbona doymasını sağlayacak gerekli östenit sıcaklığının elde edildiği östenitleme süresi, minimum tutulmalıdır. Parça yüzeyinde dekarbürizasyonu ve pullanmayı engellemek için koruyucu bir atmosfer oluşturmak gerekmektedir. Östenitleme işleminde koruyucu

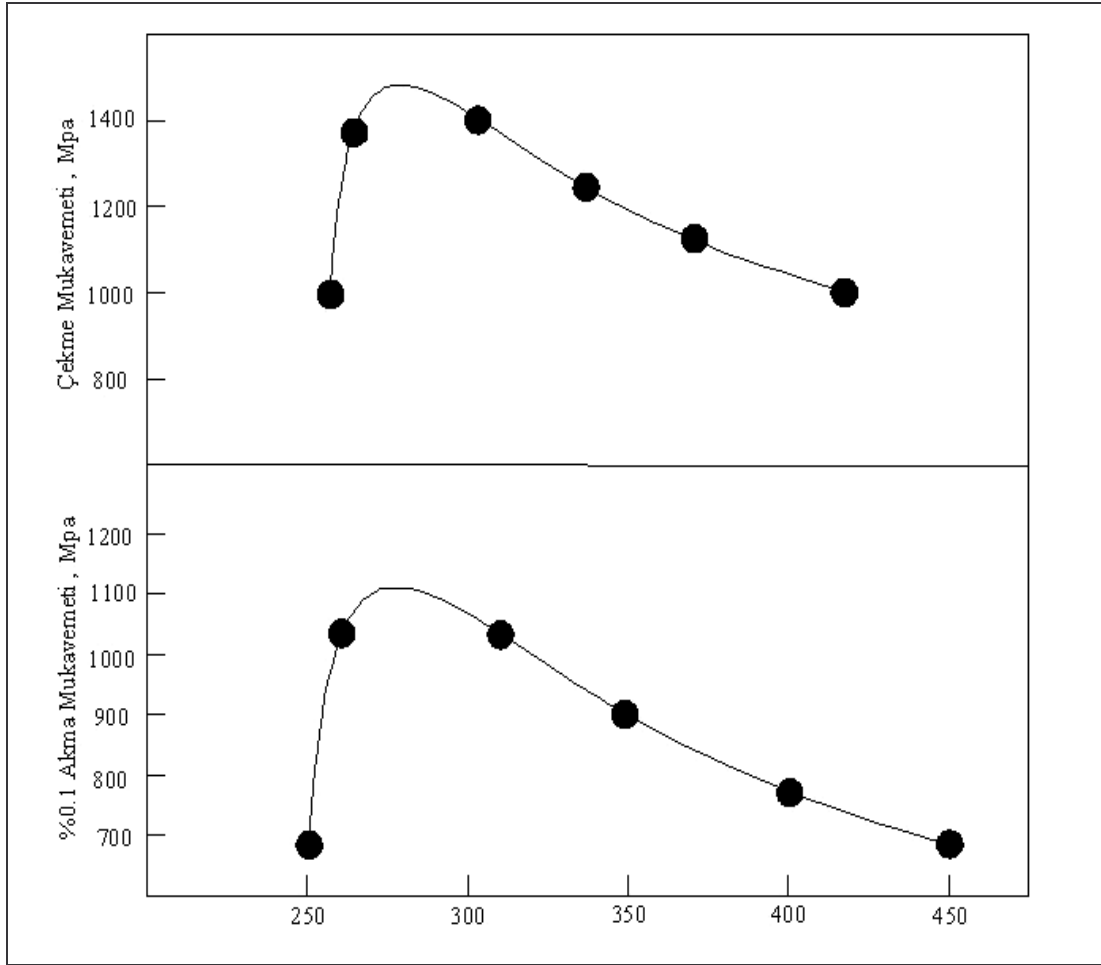
atmosferli bir fırın yerine tuz banyosu kullanmak da mümkündür. Bu tuz banyosuna ait kimyasal bileşim aşağıda verilmiştir (21).

%45NaCl + %55KCl.....675-900 °C  
 %20NaCl + %80BaCl<sub>2</sub>..... 675-1000 °C

### 2.1.5. Östemperleme işlemi (İzotermal dönüşüm)

Östenitleme işlemi sonrasında parçaya östemperleme işlemi uygulanır. Östemperleme sıcaklığı östenitlemeye göre daha düşük olduğundan östemperleme fırını ayrı bir ünite olmalıdır. Östemperleme işlemi genellikle 250-450 °C sıcaklık aralığında 1-4 saat süre ile yapılmaktadır. Östemperleme sıcaklık ve süresinin, alaşım elementlerine ve östenitleme şartlarına bağlı olduğu belirtilmektedir. Bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda; ~350 °C'nin altındaki sıcaklıklarda baskın yapının ince ösferritik (alt beynit) yapı, üzerindeki sıcaklıklarda ise kaba ösferritik (üst beynit) yapı olduğu belirtilmektedir (22).

İki fırın arasındaki mesafe çok yakın olmalı ki, numune veya parçaların bir fırından diğerine nakli hızlı ve kolay olsun. Östemperleme işlemi malzemenin mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Daha düşük mukavemet ve sertliğin yanında daha büyük bir yüzde uzama ve kırılma tokluğu isteniyorsa, östemperleme sıcaklığı 350 – 400 °C arasında seçilmelidir (23). Bunun tersine daha yüksek bir mukavemet ve daha büyük bir aşınma direnci istiyorsak östemperleme sıcaklığı 350 °C'nin altında seçilmelidir. Şekil 2.3'de 900 °C östenitlenmiş KGDD malzemenin farklı östemperleme sıcaklıklarındaki çekme mukavemeti ve akma mukavemeti miktarları verilmiştir (24). Östenitleme işleminde olduğu gibi östemperleme işleminde de atmosfer kontrollü bir fırın ortamı gerekmektedir. Bunun için yine östemperleme işleminde de tuz banyoları kullanılmaktadır. Bu tuz banyoları nitrit ve nitrat tuzlarının karışımından hazırlanmıştır.



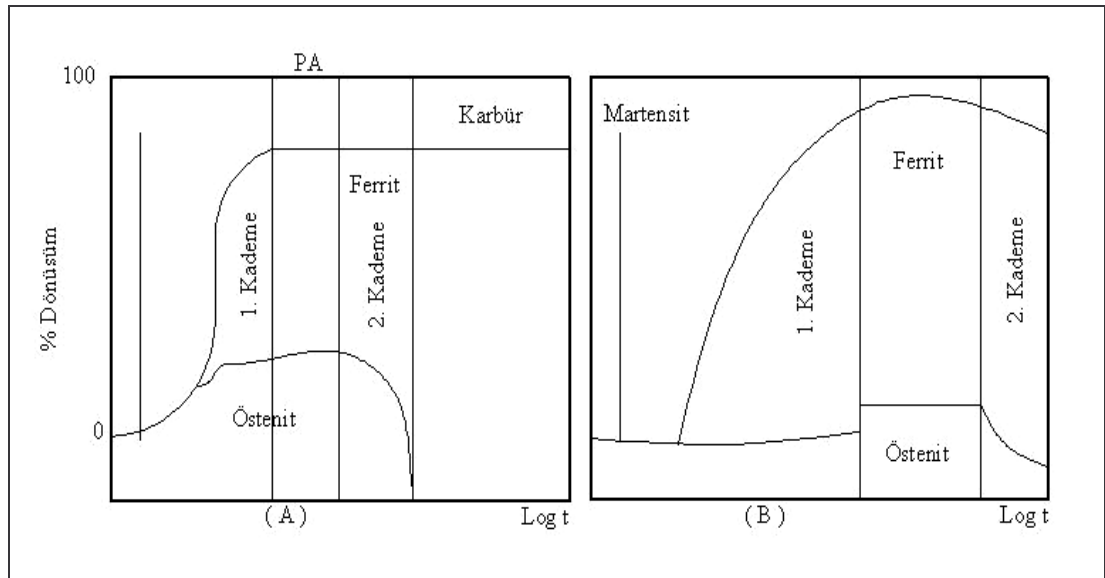
Östempirleme sıcaklığı, °C

Şekil 2.3. Östempirleme sıcaklık ve süresinin alaşımsız KGDD’lerde çekme ve %0,1 akma mukavemeti üzerindeki etkisi (24)

Dökme demirlerde östempirleme işlemi iki kademeli bir reaksiyon sonucu gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonun birinci kademesi östenitin beynitik ferrite ve karbonca zengin östenite ayrışması şeklinde ortaya çıkar. İkinci kademe ise yüksek karbonlu östenitin ferrit ve karbüre ayrışması şeklindedir. Östempirlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde II. kademe reaksiyonu tokluğu düşürdüğü için istenmez. Aynı şekilde tamamlanmamış I. kademe reaksiyonu da arzu edilmez. Çünkü oluşan düşük karbonlu kararsız östenit soğuma esnasında martenzite dönüşerek, mekanik özellikleri olumsuz yönde etkiler.

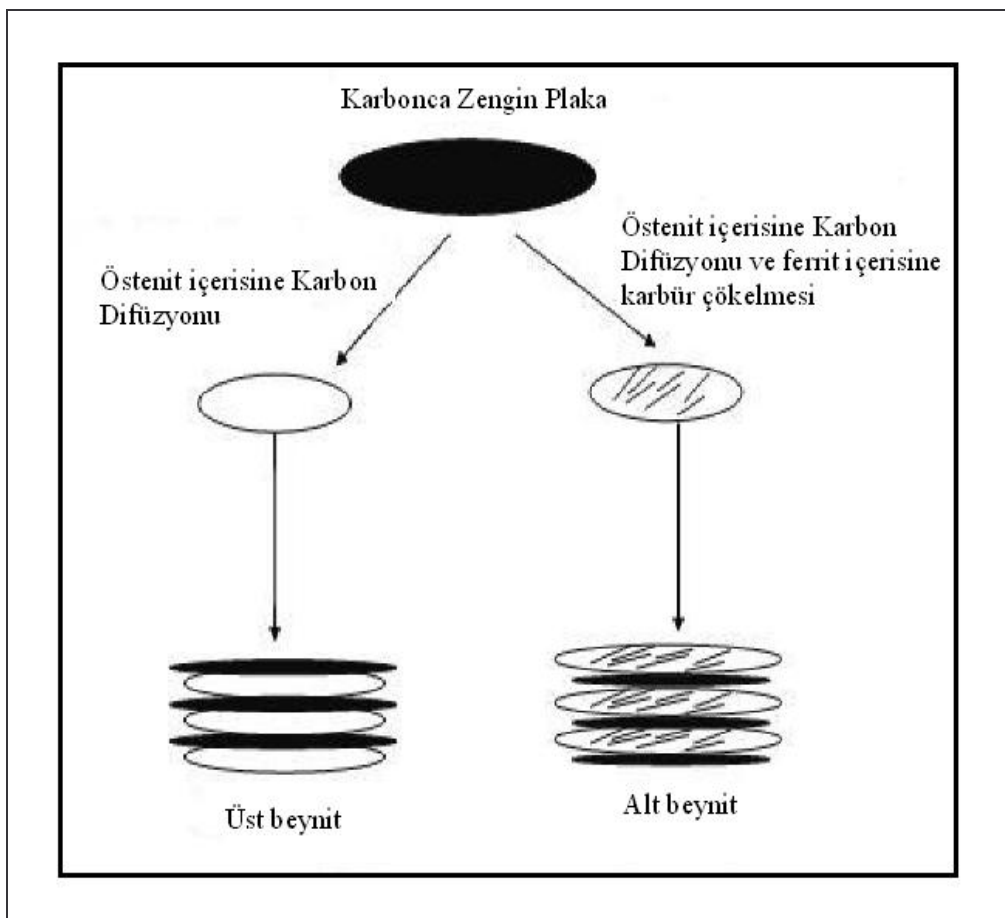
- i. I. Kademede başlangıçtaki östenit ( $\gamma$ ), ferrit ( $\alpha$ ) ve yüksek karbonlu östenit dönüşür.
- ii. Eğer östemperleme sıcaklığında uzun süre bekletilirse II. kademe reaksiyonu devreye girer ve yüksek karbonlu östenit ferrit ve karbüre ( $\gamma$ ) dönüşür.

Bu durum yapı içerisindeki karbür malzemenin daha da kırılgan olmasına neden olacağından istenmez. Östemperleme sıcaklığına bağlı olarak I. reaksiyon sonucunda iki tür beynit yapısı oluşmaktadır. Yüksek östemperleme sıcaklıklarında ( $>330^{\circ}\text{C}$ ) ferritin çekirdeklenme hızı düşük ve karbon difüzyon hızı daha düşüktür. Dolayısı ile karbonun çoğu büyüyen ferrit plakaları arasındaki östenite atılma fırsatı bulunmaktadır. Böylece östenit karbonca zenginleşerek kararlı hale gelir. Sonuçta ferrit tabakçıkları ve % 40'a kadar yüksek karbonlu östenit içeren bu yapı üst beynit olarak adlandırılır. Şekil 2.4'de alaşımsız KGDD'de üst beynit ve alt beynit dönüşümleri için östemperleme süresiyle mikro yapı arasındaki ilişki ve işlem aralığı gösterilmiştir (25).



Şekil 2.4. Alaşımsız KGDD A) Üst beynit ve B) Alt beynit dönüşümleri için östemperleme süresiyle mikro yapı arasındaki ilişki ve işlem aralığı (25)

Düşük östemperleme sıcaklıklarında (235-330 °C) ise ferrit iğnelerinin büyüme hızı yüksek fakat karbon difüzyon hızı düşüktür. Bu nedenle beynitik ferrit karbona doymuş vaziyettedir. Östemperleme işleminin erken bir kademesinde bu karbon, ferrit iğneleri içine çökelir ve bu yapı beynitik karbür olarak isimlendirilir. Sonuçta beynitik ferrit ve %10 kadar yüksek karbonlu östenit içeren bu yapı alt beynit olarak adlandırılır. Şekilde 2.5’de alt ve üst beynit oluşum mekanizması verilmiştir (21)



Şekil 2.5. Alt ve üst beynit oluşum mekanizması (21)



### 2.1.6. Kimyasal bileşimin etkisi

ÖKGDD'lerde optimum özelliklerin elde edilmesi için malzeme bileşiminin seçimi ve kontrolü çok önemlidir. Bu nedenle malzemenin kimyasal bileşimindeki küçük bir değişiklik malzemenin mekanik özelliklerini önemli derecede etkileyecektir. Küresel grafitli bir dökme demirde bulunan temel alaşım elementleri; Karbon (C), Silisyum (Si), Mangan (Mn), Bakır (Cu), Nikel (Ni), ve Molibden (Mo)'dir.

*Karbon* : Küresel grafitli dökme demirin imalatında karbon en önemli alaşım elementidir. Yapı içerisinde ortalama %3,6 oranında bulunur (26) BCIRA (British Cast Iron Association) tarafından yapılan bir çalışmada (27), karbon oranının % 3' ten % 4'e çıkması malzemenin çekme mukavemetini arttırırken yüzde uzamada ve sertlikte önemli bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmiştir.

*Silisyum* : BCIRA da yapılan bir çalışmada yapı içinde silisyum içeriğinin artması ile çekme mukavemetinde bir azalmanın ve yüzde uzamada da bir artışın olduğu gözlemlenmiştir (27).

*Mangan* : Mangan küresel grafitli dökme demir içerisinde hem yararlı hem de zararlı etkiye sahip olabilir. Yine BCIRA da yapılan bir çalışmada (28) mangan miktarlarındaki artışın herhangi bir östemperleme sıcaklığında çekme mukavemetini sürekli azalttığı, fakat sertliği etkilemediği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte yapı içerisinde artan mangan miktarı ısıl işlem aralığının daralmasına neden olmaktadır.

*Bakır* : Genellikle % 0,8 ile % 1 arasında kullanılır. Yapı içerisine % 0,8'e kadar bakır ilavesi malzemenin sertleştirilebilirliğini arttırmaktadır. Bununla birlikte bakırın malzemeye ait çekme mukavemetini arttırma yönünde bir etkisi yoktur. Fakat, 250 °C altındaki östemperleme sıcaklıklarında sünekliği arttırmaktadır.

*Nikel* : %2'ye kadar nikel ilavesi malzemenin sertleştirilebilirliğini arttırmaktadır (28). 350 °C nin altındaki östemperleme sıcaklıklarında malzemenin çekme

mukavemetinde küçük bir azalma meydana getirirken, sünekliğini ve kırılma tokluğunu arttırmaktadır.

*Molibden* : Küresel grafitli dökme demir malzemedeki önemli bir sertleşebilirlik etkisi yaratan bir alaşım elementidir. Bunun tersine molibden miktarının artması ile birlikte malzemenin çekme mukavemeti ve sünekliğini azalmaktadır (28). Bu nedenle yapı içerisindeki molibden miktarı % 0,2 den fazla olmamalıdır.

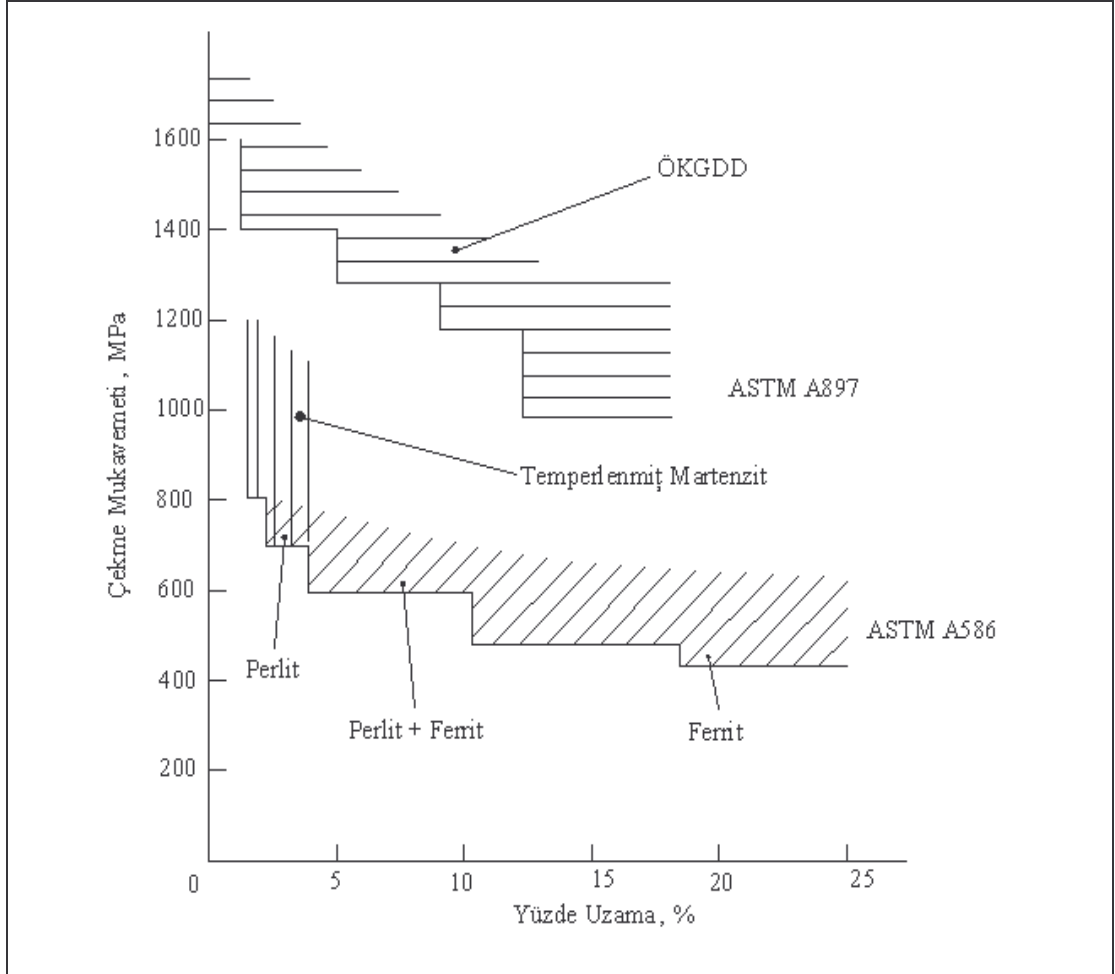
## 2.2. ÖKGDD'lerin mekanik özellikleri

Östempereleme ısı işleminin sonucunda oluşan mekanik özellikler; alaşım elementlerine, östenitleme sıcaklık ve süresine, östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak değişikliğe uğramaktadır. Östemperelenmiş küresel dökme demir malzemeler %1,7 lik bir uzama ile birlikte çekme mukavemetleri 1700 MPa'a kadar çıkabilir. Bununla birlikte elde edilen yüksek sertlik aşınma direncinin öncelikle olduğu anlarda tercih edilirler. Pratik uygulamalarda iki farklı ÖKGDD malzeme kullanılmaktadır (29,30).

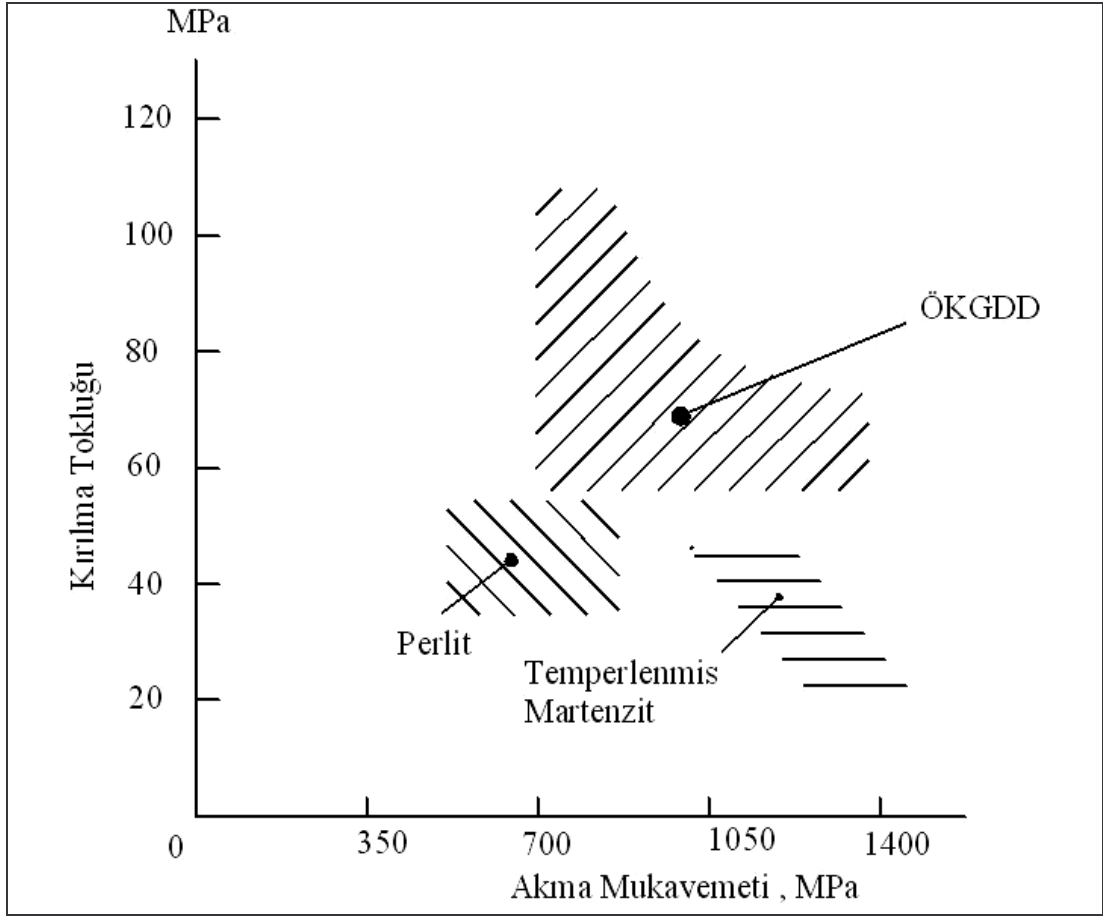
- I. Genel itibariyle matris alt bey nit özelliği gösterir ve düşük östempereleme sıcaklıklarında elde edilen bir dökme demir yapısıdır. Bu dökme demirler yüksek sertliğe (> 400HBN) ve mukavemete sahiptirler. Bu nedenle dişlilerde ve yüksek temas gerilmelerine karşı direnç istenen uygulamalarda kullanılırlar
- II. Matris'in üst bey nit özelliği gösterdiği ve yüksek östempereleme sıcaklıklarında elde edilen bir yapısıdır. Bu dökme demirin sertlik değerleri 260-360 HBN arasında değişmektedir. Böylece yüksek bir tokluğa ve yorulma ömrüne sahiptirler.

Şekil 2.6'da geleneksel dökme demir ile ÖKGDD arasındaki çekme mukavemeti yüzde uzama ilişkisi verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere uygulanan ısı işlem neticesinde malzeme mukavemeti iki, hatta üç kat artırılabilir. Kırılma tokluğu açısından ÖKGDD malzemeler diğer dökme demir malzemelerle karşılaştırıldığında oldukça iyi olduğu görülmektedir (23). Şekil 2.7'de geleneksel

dökme demirler ile ÖKGDD malzemesine ait kırılma tokluğu - akma mukavemeti ilişkisi verilmiştir. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi ÖKGDD malzemesi diğer geleneksel dökme demirler ile aynı akma mukavemetine sahip olmakla birlikte daha büyük bir kırılma tokluğuna sahiptir (23).



Şekil 2.6. Dökme demir ve çeliklere uygulanan ısıl işlem neticesinde çekme mukavemeti ile yüzde uzama arasındaki ilişkisi (23)



Şekil 2.7. Çeşitli malzemelerle ÖKGDD'lerin kırılma tokluğu-akma mukavemeti ilişkisi (23)

Huges tarafından ortaya konulan bir çalışmada çelik, KGDD ve ÖKGDD malzemelerine ait çekme mukavemeti, akma mukavemeti, yüzde uzama ve sertlik özelliklerine dair bir karşılaştırma yapılmıştır (Çizelge 2.4.). Elde edilen bu değerler incelendiğinde östempereleme ısıl işleminin küresel grafitli dökme demirlerin akma ve çekme mukavemetlerini önemli derecede arttırdığı görülebilir. Östempereleme işlemi sonucunda elde edilen mekanik özelliklerin, sertleştirme işlemi uygulanmış çeliğin mekanik özelliklerine yakın olduğu da çıkarılabilecek diğer bir sonuçtur (31).

Çizelge 2.4. KGDD ve çeliklere ait mekanik özelliklerin karşılaştırılması (31)

Malzeme	Çekme mukavemeti (MPa)	Akma mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Sertlik HBN
KGDD (Perlitik –ferrit)	400-960	250-610	28-3	130-300
KGDD (sertleştirilmiş ve temp)	600-1300	500-1100	5-1	300-400
ÖKGDD	800-600	600-1400	16-1	250-555
Çelik (sertleştirilmiş ve temperlenmiş)	700-1800	450-1450	28-5	310-510

### 2.2.1. Östemperleme sıcaklığının çekme ve akma dayanımı ve uzamaya etkileri

Düşük östemperleme sıcaklığında (240 – 260 °C) yapılan bir çalışmada, martenzit miktarının arttığı ve ince ösferritik yapı oluştuğu gözlenmektedir. Bunun sonucunda ise darbe dayanımı ile yüzde uzamada azalma olurken, çekme dayanımı ve sertlik artmaktadır. Sıcaklığın 325 °C'ye çıkarılmasıyla birlikte martenzit miktarı azalmakta ve östenit ( $\gamma_{y.k.}$ ) + ferrit karışımı bir yapı oluşmaktadır. Uygun östemperleme süresinden daha kısa sürelerde, kararsız ya da yarı kararlı östenit oluşmakta ve oda sıcaklığına soğuma sırasında bu yapı ya da yapılar martenzite dönüşmektedir (32, 33, 34). Mo ilavesi sertleşebilirliği arttırmakta ve I. aşamayı geciktirmektedir. Molibden (Mo), mangan (Mn) gibi segregasyon ve karbür oluşumunu teşvik ettiği için % 0,3 oranının aşılmasına dikkat edilmelidir. Mo miktarının artması çekme ve darbe dayanımı ile uzamayı düşürmekte, III. aşamayı ve dönüşmemiş östenit hacmini arttırmaktadır. % 1 Cu ve % 0,2 Mo'li 355 °C'de östemperlenmiş bir KGDD'de 1000 N/mm'den daha fazla çekme dayanımı ve % 8'den fazla uzama elde edilmiştir. Çizelge 2.5'de Cu, Ni ve Mo'in çekme ve darbe dayanımı ile yüzde uzama üzerine etkileri verilmiştir (12).

Çizelge 2.5. Cu, Ni ve Mo'in çekme ve darbe dayanımı ile yüzde uzama üzerine etkileri (12)

Alaşım	Çekme Day. (MPa)	Uzama (%)	Darbe Day. (J)
%0,9Ni-%0,6Cu	1087-1167	10-16	150-170
%0,9Ni-%0,3Mo	900-1110	7-10	140-187
%0,9Ni-%0,6Cu- %0,3Mo	960-1090	4-7	70-100

Cu, özellikle Ni ile birlikte mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlamaktadır. % 0,6 Cu ilavesi döküm şartlarında perlitik yapı oluşturarak çekme dayanımını ve ayrıca birim alana düşen grafit kürelerinin miktarını artırmaktadır. % 0,47 Cu ilavesi ise uzamayı artırmaktadır (36, 37). Yüzde uzama, sıcaklık ve zamanın artmasıyla artmaktadır. Ancak bu sıcaklık (~400 °C) ösferritik dönüşümü hızlandırarak III. aşamayı teşvik etmektedir (38, 39). Çekme dayanımı ve sertlik sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır (Çizelge 2.6.) (33).

Çizelge 2.6. Yüzde Cu'ın çekme ve darbe dayanımı ile uzama üzerine etkisi (33)

	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Darbe Dayanımı (Joule)
%0,47Cu (80-95Nodül/mm <sup>2</sup> )	865-1000	9-12	130-187
%0,6Cu (80-95 Nodül/mm <sup>2</sup> )	1012-1087	8-13	109-172
%0,6Cu (180-200 Nodül/mm <sup>2</sup> )	887-1123	8-12	115-193
%0,9Ni-%0,6Cu (80-100 Nodül/mm <sup>2</sup> )	1088-1167	10-16	65-176

Yüksek miktarda Ni ilavesi ve östemperleme sıcaklığının 350 °C'nin altında olması çekme dayanımı düşürmekte ve yüzde uzamayı artırmaktadır. Ayrıca Nikel'in Cu'a benzer şekilde düşük sıcaklıklarda oluşan ösferritik yapıda karbür oluşumunu engelleyici bir özelliğe sahip olmakta, ancak % 2'den fazla Ni ilavesi yavaş soğuma sonucu segregasyon oluşturması nedeniyle ve sonuçta martenzit oluşarak sünekliği

azaltabilmektedir (41). Mn'n ösferritik dönüşümü geciktirerek, dönüşmemiş östenit hacmini artırması sonucu mekanik özellikleri düşürdüğü görülmüştür. Düşük östemperleme sıcaklıklarında en iyi çekme özellikleri düşük Mn'lı ÖKGDD'ler de elde edilmektedir (Çizelge 2.7.) (42).

Çekme dayanımı ve sertlik, sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır. Östemperleme sıcaklığının, östemperleme süresine kıyasla mekanik özellikler üzerinde daha az etkili olduğu bildirilmektedir. 240 – 260 °C sıcaklık aralığında yapılan çalışmada martenzit miktarının arttığı ve ince ösferritik yapı oluştuğu gözlenmektedir (33).

Çizelge 2.7. Mn miktarının mekanik özellikler üzerine etkisi (42)

% Mn	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Östemperlenme Süresi (h)
0,23	1110-1120	800	9-10	0,75
0,22	1060-1080	760	8-9	1,5
0,45	1030-1050	740	5-6	2
0,67	1000	680	4-5	3
0,91	940	560	3	4

Bunun sonucunda ise darbe dayanımı ile yüzde uzamada azalma olurken, çekme dayanımı ve sertlik artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda (350 °C'nin üzerinde) oluşan kaba ösferritik yapı, yüksek süneklik ve darbe dayanımına sahip olabilmekte, ancak çekme dayanımındaki artış ise ince ösferritik yapıya göre daha az olmaktadır (42).

### 2.2.2. Darbe dayanımına etkileri

Shih'e göre silisyum (Si), darbe dayanımını arttırmakta ve darbe geçiş sıcaklığını azaltmaktadır (12). Bunun sonucunda ise yorulma dayanımı iyileşmektedir. Mn miktarı % 0,07'den 0,74'e yükseltildiğinde (280 °C'de) östemperleme sonundaki darbe dayanımını % 54'e kadar düşüğü gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık ve daha uzun

bekletme sürelerinde karbür oluşumu gerçekleştiğinden (beynit oluşumu) darbe dayanımı ve süneklik azalmaktadır. 350 °C ve daha aşağı sıcaklıklarda Cu miktarı arttıkça uzama artmaktadır. Cu düşük sıcaklıklarda karbür oluşumunu engelleyerek yorulma ve kırılma tokluğunu iyileştirmekte ve ayrıca Cu dönüşmemiş östenit miktarını azaltmaktadır (12).

Düşük östemperleme sıcaklığında yapılan bir çalışmada, martenzit miktarının arttığı ve ince ösferritik yapı oluştuğu gözlenmiştir. Bunun sonucunda ise darbe dayanımı ile yüzde uzamada azalma olurken, çekme dayanımı ve sertlik artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda (350 °C'nin üzerinde) oluşan kaba ösferritik yapı yüksek süneklik ve darbe dayanımına sahip olabilmekte, ancak çekme dayanımındaki artış ise ince ösferritik yapıya göre daha az olmaktadır. 400 °C gibi sıcaklıklarda martenzit oluşmakta ve bu durum mekanik özellikleri kötüleştirmektedir. Sıcaklığın artması çekme dayanımını azaltmakta ve  $\gamma$ .k. miktarının artmasıyla birlikte darbe dayanımı ve yüzde uzama da artış teşvik edilmektedir. Çünkü % 40'a yakın dönüşmüş östenit meydana gelmesi martenzit başlama sıcaklığını (Ms) azaltmaktadır. Neticede bu yapının yüksek çatlama tokluğu ve yüzde uzamalar vermesinin nedeni bu  $\gamma$ .k.'ten kaynaklandığı belirtilmektedir ( 43, 44).

### **2.2.3. ÖKGDD'lerin mikro yapı ve mekanik özelliklerini etkileyen diğer faktörler**

Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapı ve mekanik özelliklerini östenitleme sıcaklık ve süresinin etkimesinin ve alaşım elementlerinin yanında, döküm şarj malzemesi, segregasyonun etkisi, küresel grafitlerin şekil, miktar ve dağılımının, parça kalınlığının, soğuma hızının etkisi de belirleyen faktörlerdendir.



### Döküm şarj malzemesi ve mikro yapısının etkileri

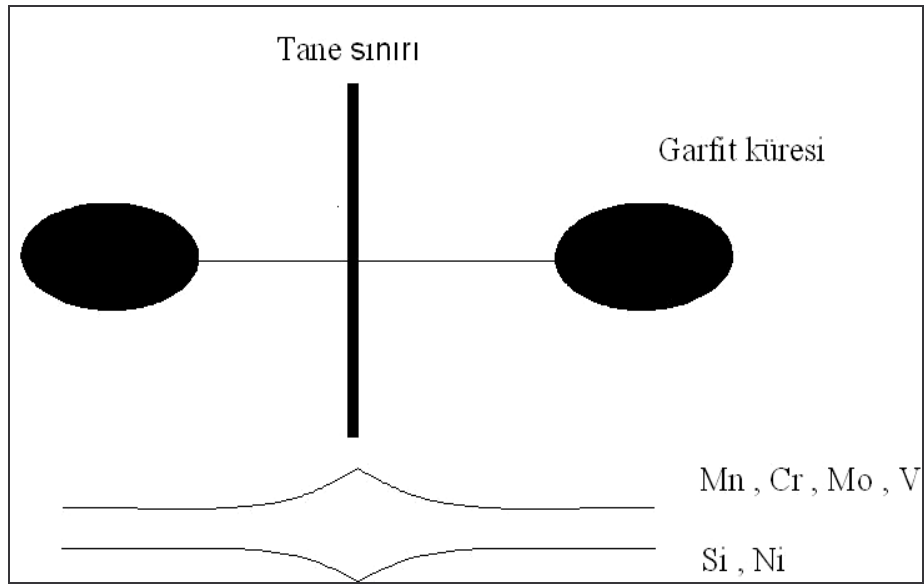
İstenilen mekanik özelliklere ulaşmada önemli şartlardan birisi olan döküm şarj malzemesi, östemperleme şartlarının ve işlemlerin hedeflere uygun olarak gerçekleştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Döküm şarj malzemesinin özellikle çelik hurda ve diğer kimyasal bileşimi bilinmeyen malzemelerden oluşması işlemin kontrolünü güçleştirmektedir. Çelik malzeme hurdasında V, Cr, Ti gibi elementlerin miktarlarının tespiti, daha sonradan bu elementlerin sebep olabileceği zararlı etkilerin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ocak şarj malzemesinin mikro gözenek oluşturma eğilimli olması, dayanım bakımından azalmalara neden oluşturmaktadır. Ayrıca şarj malzemesi, elde edilmek istenilen kimyasal bileşim açısından önem arz etmektedir. Çünkü ilave miktarının büyük önem taşıdığı ve segregasyon eğilimli elementlerin (Mo, Mn, Cr, Ti gibi) belirtilen nedenlerden dolayı bilinmesi yararlı olacaktır. Şarj malzemesi bileşimi öncelikle döküm matrisini belirlemektedir. Oluşan bu matris; dönüşüm karakteristiğinin temelini oluşturmaktadır. Döküm matris yapısı ile hedeflerin gerçekleştirilmesi arasında tam bir ilişki söz konusudur.

Östemperleme, ısıl işlemi yapılacak olan döküm parçaların döküm mikro yapısının perlitik ya da çoğunluğunun perlitik olması gerekmektedir. Çünkü perlitik yapıdan ösferritik yapıya dönüşümde, dönüşüm süresi ferritik yapıya göre daha kısa sürede gerçekleşmekte ve bu durum daha kısa işlem aralığını ve işlemin kontrolünü kolaylaştırmaktadır. Buna ilaveten matris yapı taneler arası karbürlerden bağımsız ve iyi bir küre sayısı ve küreselleşmeye sahip olmalıdır. Küre sayısı ve dağılımı segregasyon ve taneler arası karbürleri önlemede ve tokluğun arttırılmasında önem taşımaktadır ( 43, 44, 45).

### Segregasyonun etkisi

KGDD'in katılaşması sırasında Si, Cu, Ni gibi elementlerin grafit kürelerine yakın yerlerde segrage oldukları belirlenmiştir (Şekil 2.8.) (46). Buna ilaveten Mn, Mo, Cr, Ti, V gibi elementler ise tane sınırlarında birikme eğilimi göstermektedirler. Bu

nedenle uygun ve homojen bir döküm matrisin elde edilmesinde küre sayısının önemi artmaktadır. Katılma hızının artması, homojen yapısal dağılımı arttırmakta ve özellikle zararlı etkiye sahip taneler arası karbürlerin oluşumunu önlemede etkili olmaktadır. Eğer uygun döküm tasarımı yapılmamış ise kesit kalınlığı artarken katılma hızı azalmakta ve segregasyon oluşumu artış göstermektedir.



Şekil 2.8. Alaşım elementlerinin segregasyon eğilimleri (46)

#### Küresel grafitlerin şekil, miktar ve dağılımının etkisi

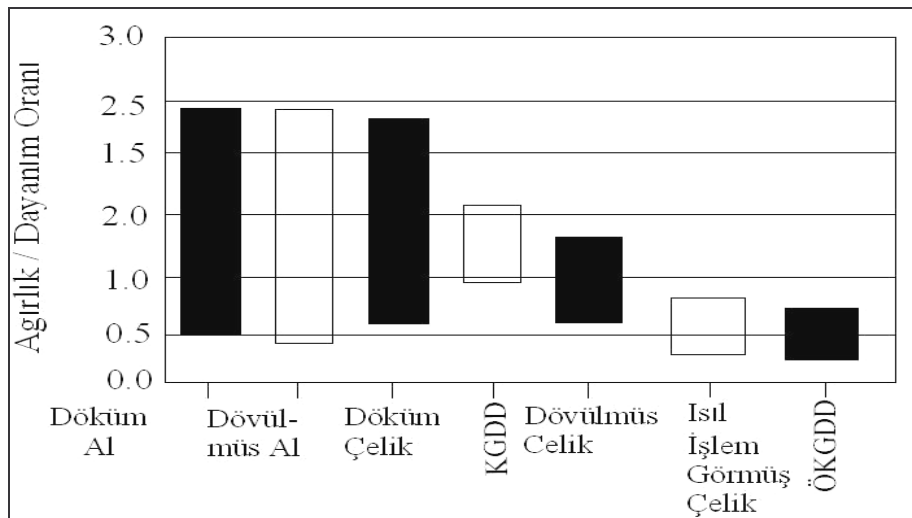
Birim alana düşen küre sayısı, şekli ve dağılımı; homojen bir yapısal dağılım ve segregasyonu önlemede çok büyük önem taşımaktadır. Küre sayısı ve şeklinin mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve (ASTM A 395 - 70'na göre) birim alana düşen küre sayısının  $150 - 250$  küre/mm<sup>2</sup> olması gerektiği belirtilmektedir. Küre sayısının artması, döküm parçada döküm durumunda ferrit oluşumunu arttırdığı bilinmektedir. Buna paralel olarak izotermal işlemden dönüşümün kürelere yakın yerlerde ve tane sınırlarında olması nedeniyle küre sayısının dönüşüm süresinde bir kısalmaya neden olacağı düşünülmektedir (47, 48).

### Parça kesit kalınlığı ve soğuma hızının etkisi

Alaşımız KGDD için parça çapları 15 – 30 mm arasında değişmektedir. Daha büyük çapa sahip parçalarda önceden belirtilen nedenlerden dolayı alaşımlama yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Östenitleme işleminden sonra östemperleme sıcaklığına soğutmada perlitin oluşmaması için soğutma hızının yaklaşık olarak 10 °C / sn kadar olması gerektiği belirtilmektedir. Bu soğutma hızından sapılması durumunda ise perlitin oluşma şansı artmaktadır ( 49, 50).

### **2.2.4. ÖKGDD avantajları ve kullanım alanları**

ÖKGDD malzemeler talaşlı imalata uygun olmaları, ısıl işlem sürelerinin kimyasal bileşim ve mikro yapısından dolayı daha kısa olmaları, dövme çeliklere göre % 10 daha hafif olmaları, döküm yolu ile son şekle getirilebilme ve döküm kabiliyetinin yüksek olmaları, montaj kolaylıkları gibi nedenlerle önemli avantajlara sahiptirler. Bunun yanında ağırlık/dayanım ilişkisi açısından Şekil 2.9’da görüldüğü gibi hafif mühendislik malzemesi olan dövülmüş alüminyumdan da daha iyi bir özellik göstermektedir. Bu malzeme grafit içerdiğinden darbe ve çekme dayanımı çeliklere göre daha iyidir (51, 52).



Şekil 2.9. Ağırlık / dayanım açısından ÖKGDD’in diğer malzemelerle karşılaştırılması (51, 52)

Bunun yanında fiyat ve ton açısından da ÖKGDD çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı çok geniş ve sınırsız denilebilecek kadar kullanım alanına sahiptir. Dövülmüş çeliğe oranla düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve yükleme kapasitesi ve düşük üretim maliyetiyle otomotiv sanayisinde süspansiyon parçaları, kam milleri, krank milleri, hemen hemen tüm dişliler, motor kapakları, diferansiyel yuvası gibi parçalarda kullanılmaktadır. Darbe enerjisi ile aşınma direnci uyumundan dolayı tarım ve yapısal malzemelerde, tarım alet bıçakları, gibi parçalarda kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda aşınma direnci ve dayanıma ilaveten yüksek darbe dayanımı özelliğinden dolayı konveyör parçaları, flanş tekerlekleri, otomobillerde krank şaft kısımlarında, pompa parçaları, yataklar, aşındırma plakaları ve aşındırma yuvalarında kullanılmaktadır (49-53).

Demiryollarında ise, yüksek aşınma direnci, statik ve yorulma dayanımlarının gerekli olduğu motor parçaları, aşındırıcı pabuçlar, darbe emiciler gibi pek çok parçalarla demiryolu tekerleklerinde ömür/fiyat açısından % 30 daha avantajlı olarak kullanılmaktadır. Askeri uygulamaları, roket gövdeleri, rotorlar, kamyon gövdesi ve ayaklarında, kullanılmakta, ayrıca süspansiyon sistemleri, kamyon parçaları ve silahlarda uygulanabilirliği denenmektedir (54).

### **2.2.5. Yorulma özellikleri**

Malzemenin yorulma ömründeki artışın en önemli nedeni; yapı içerisindeki artık östenit içeriğidir. Çünkü artık östenit kayma bantlarının oluşumunu geciktirici bir etkiye sahip olmakla beraber, yüksek şekil değiştirme sertleşmesi özelliğine de sahiptir. Yorulma ömrünü etkileyen diğer faktörler ise; grafitin şekli, grafitin boyutu, yapı içerisinde metal olmayan kalıntılar ve matrisin sertliği ve yapısıdır (55).

KGDD malzemelerde çatlaklar nodul-matris ara yüzeyinde oluşmaktadır (28). Bu nedenle küresel grafitli dökme demirlerde küresellik malzeme ömrü açısından önemli bir rol oynamaktadır. Yorulma ömrü grafitin küreselliğinin azalması ile birlikte azalmaktadır. Ayrıca yapı içerisindeki küre boyutunun artması ile birlikte yorulma

sınırını aşağıya düşmektedir. Bu durum özellikle sert matrislerde daha da belirgindir. Metal olmayan kalıntılar malzemenin küre boyutundan küçük dahi olsa yorulma sınırını azaltıcı bir etkiye sahiptir (55).

Diğer mekanik özelliklerde olduğu gibi KGDD malzemenin yorulma ömrü matrisin yapısı ile yakından alakalıdır. Dökme demirlerde matrisin yapısı çatlak oluşumunu ve yayılımını geciktirmektedir. Matrisin sertliğinin artması ile birlikte yorulma ömrü de artmaktadır. Fakat bu sertlik değeri belirli bir sınırı geçtikten sonra yorulma ömrünün artması yönünde bir etkiye sahip değildir (55).

Yorulma ömrünün belirlenmesi için yapılan bir çalışmada; düşük alaşımlı ÖKGDD bir malzemedeki küre çapının yorulma ömrü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemeye ait kompozisyon; %3,6 C, %2,5 Si, %0,6 Mn, %0,5 Mo ve %0,3 Cu şeklindedir. Elde edilen sonuçlara göre; daha küçük küre çaplarında malzemenin yorulma ömrünün arttığı gözlemlenmiştir (55).

#### **2.2.6. Aşınma özellikleri**

ÖKGDD malzemelerin aşınma davranışı tamamen mikro yapısına ve dolayısıyla mekanik özelliklere bağlı olarak değişim göstermektedir. Mikro yapıda bulunan östenit ve martenzit aşınma davranışını etkileyen en önemli fazlardır.

Yalçın tarafından yapılan çalışmada, farklı sıcaklıklarda östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma özellikleri sıradan döküm malzemeleri ile kıyaslanmıştır. Çalışmada aşınma deneyi için Pin-on-disk deney düzeneği kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, farklı yük koşulları altında numunelerde meydana gelen ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Çizelge 2.8'de küresel grafitli dökme demirler ile ÖKGDD malzemelerin aşınma sonucundaki ağırlık kaybı değerleri verilmiştir. Deneyde kullanılan küresel grafitli dökme demirler öncelikle 900 °C'de 120 dakika östenitleme işlemine tabi tutulduktan sonra 250 °C, 300 °C ve 350 °C sıcaklıklarında da 60 dakika östemperleme işlemine tabi tutulmuştur (21).

Çizelge 2.8. Döküm ve farklı sıcaklıkta östemperlenmiş malzemelerin farklı yük altında ağırlık kaybı değerleri (21)

Uygulanan Yük (N)	Ağırlık Kaybı, mg				
	Ferritlenmiş	Döküm	ÖKGDD Ty: 900 <sup>0</sup> C, ty: 120 min, tA: 60 min		
			250 <sup>0</sup> C	300 <sup>0</sup> C	350 <sup>0</sup> C
10	73	26	8,4	4,3	7
20	144	96	11,5	6	14
40	466	344	14,6	6,7	37
80	845	586	27,2	92	86,5

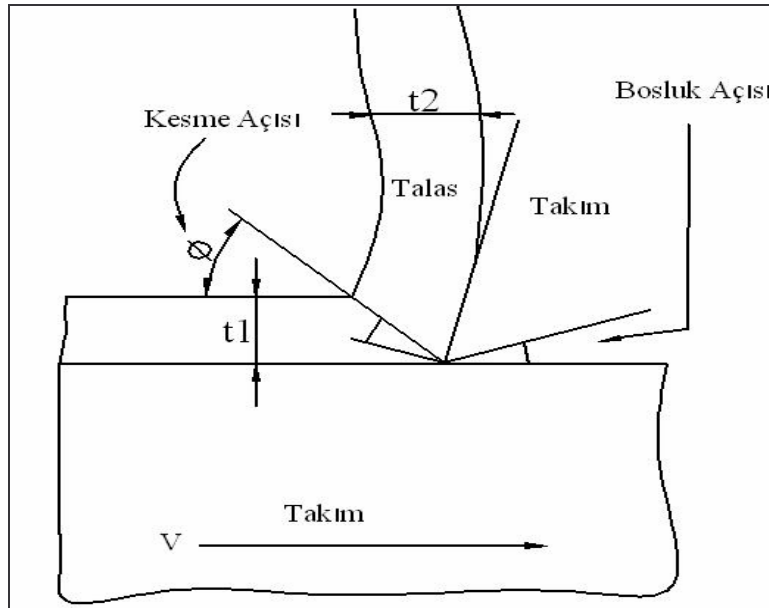
Çizelge 2.8 incelendiğinde, östemperleme ısıl işleminin KGDD malzemelerin aşınma direncini nasıl etkilediği görülebilir. Özellikle östemperleme sıcaklığı 300 <sup>0</sup>C için 10, 20 ve 40 N'luk yük uygulamalarında meydana gelen aşınma oranı en az değerdedir. Uygulanan yükün artması ile birlikte meydana gelen ağırlık kaybı da artmaktadır. Fakat bu artış diğerlerine nazaran ÖKGDD malzemedeki oldukça azdır.

Hatata ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada ise grafit şeklinin aşınma davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneylerde lamel, vermicular ve küresel grafitli dökme demirler kullanılmıştır. Deneylerde kuru ve yağlı şartlar altında yuvarlanmalı - kayma teması neticesinde disk yüzeylerindeki aşınma miktarı analiz edilmiştir (56).

### 3. KESME MEKANİĞİ, İŞLENEBİLİRLİK VE İŞLENEBİLİRLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 3.1. Metal Kesme Mekanîği

Metallerden talaş kaldırma (metal kesme) işleminin mekanizması, şematik olarak Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Pozitif talaş açısı ( $\delta$ ) ve belli bir kesme kenarı açısına sahip kesici takım,  $t_1$  derinliğinde numunenin yüzeyi boyunca hareket ettirilmektedir. Kesici takım ile malzeme yüzeyi  $\Phi$  kadar bir kesme düzlemi açısı yaparak,  $n$  kesme düzlemi boyunca sürekli olarak talaş kaldırılmaktadır. Talaş kalınlığı ( $t_2$ ),  $\Phi$  ve  $\delta$  açılarına ve  $t_1$ ’e bağlı olarak belirlenmektedir (57, 58).



Şekil 3.1. Metal kesme işleminin temel mekanîği (58)

Kesme açısı, talaş açısı ve talaş kaldırma oranı arasındaki ilişki Eş.3.1’de verilmiştir.

$$\tan \Phi = \frac{r \cdot \cos \delta}{1 - r \cdot \sin \delta} \quad [3.1]$$

Burada;

$\Phi$  : Kesme açısı,

$r = \frac{t1}{t2}$  : Talaş kaldırma oranı,

$\delta$  : Talaş açısı'dır.

Kesme düzlemi açısı talaş kalınlığının kontrolü için önemlidir. Çünkü metal kesme performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Malzemede meydana gelen kesme direnci ( $Fr$ ) için, Eş. 3.2 kullanılabilir.

$$Fr = Cot\Phi + \tan(\Phi - \delta) \quad [3.2]$$

Metal kesme işleminde,  $Fr$  genelde 5'in altındadır. Talaş açısı ve sürtünme açısı ( $\beta$ ) gibi faktörlerle belirlenen kesme düzlemi açısı için çeşitli formüller geliştirilmiştir (58).

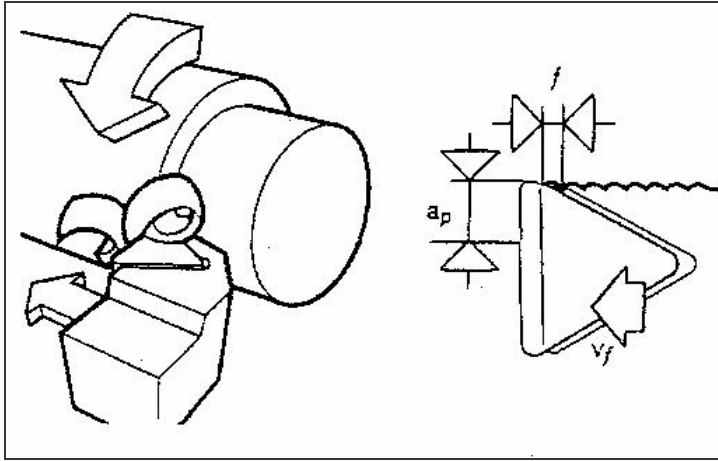
### 3.2. Talaş Kaldırma Modelleri ve Genel Kavramlar

Talaş kaldırma olayının fiziksel açıdan incelenmesi, talaş kaldırma teorisinin temelini oluşturmaktadır. Aşınma, ömür, sıcaklık, kuvvet, enerji, sürtünme vb. gibi diğer incelemeler talaş kaldırma teorisine dayanmaktadır. Geçen yüzyılın sonlarına doğru başlayan talaş kaldırma ile ilgili araştırmalar, 1940'lara kadar artan bir hızla devam etmiş bu tarihten sonra özellikle sanayileşmiş ülkelerde önemli bir gelişme göstermiştir. Çok zor ve karmaşık bu olayı açıklamak için teorik modellere dayanarak değişik pek çok teori ortaya atılmıştır.

Talaş kaldırma teorisinin odak noktası talaşın oluşumudur. Talaş ana malzemeden plastik şekil değiştirmenin sonucu meydana gelmektedir. Keskin bir uç malzemeye nüfuz ederek hareket ettiğinde, malzeme ile temas noktasında malzemenin plastik şekil değiştirmesine neden olan yüksek gerilmeler ve sıcaklık meydana gelmektedir.



Şekil 3.2’de tornalamada talaş kaldırma modeli görülmektedir. Gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında, talaş malzemedan kopar. Malzemedan ayrılan talaş takımın kesme yüzeyinden kayarak malzemedan uzaklaşır. Talaşın kesici takım kesme yüzeyinde kayması yüksek basınçlar altında meydana gelir. Oluşan sürtünmeden dolayı takım yüzeyinde yüksek sıcaklıklar oluşur (58).

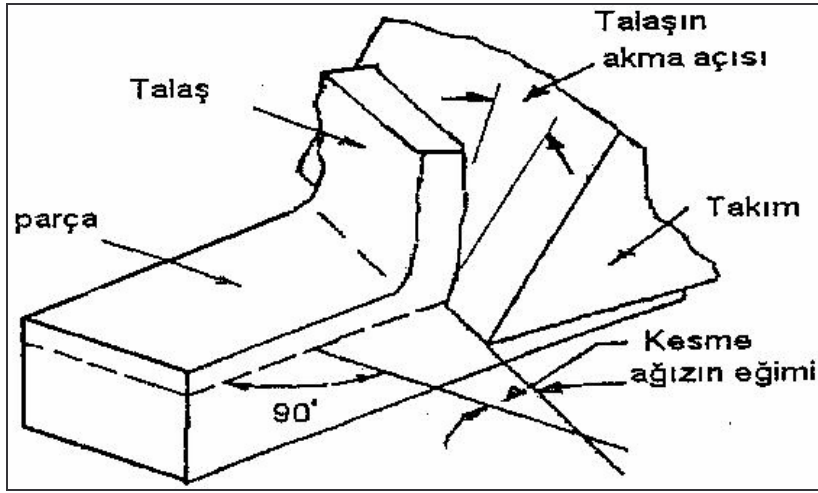


Şekil 3.2. Tornalamada talaş kaldırma modeli (58)

Talaş kaldırma alanında ilk büyük gelişme Merchant’ın çalışmaları sayesinde olmuştur. Merchant dik (ortogonal) kesme adını taşıyan bir model oluşturmuştur. Talaş kaldırma işleminin fiziksel ve teorik analizi, genelde bu model esas alınarak yapılır. Burada kama şeklinde ve kesme ağzı kesme hız vektörüne dik olan takım, talaş yüzeyi ve serbest yüzey ile sınırlıdır. Talaş yüzeyi, talaşın temas ettiği yüzeydir. Serbest yüzey ise, iş parçasının işlenmiş yüzeyine bakan yüzeydir. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir. Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğru koordinat sistemi seçilirse, takımın kesme özelliklerini belirleyen açılar; talaş açısı ( $\gamma$ ), kama açısı ( $\beta$ ) ve boşluk açısı ( $\alpha$ )dır. Talaş açısı dikey doğru ile takımın talaş yüzeyi, boşluk açısı ise serbest yüzeyi ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında kalan açıdır.

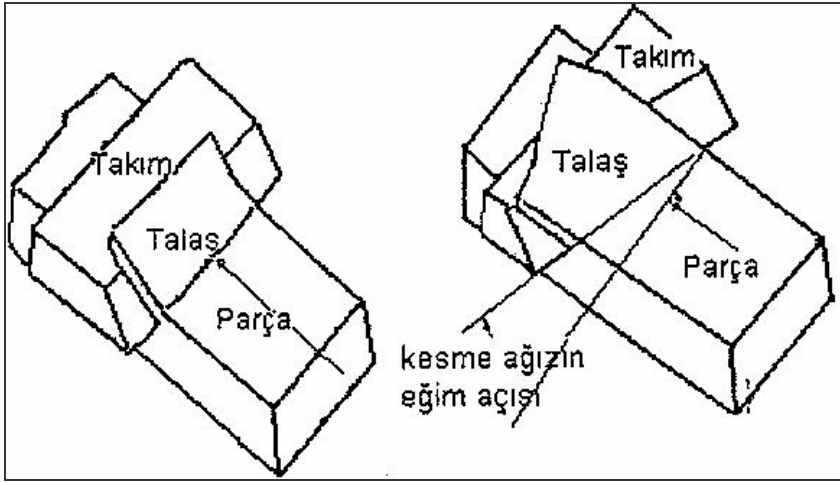
Bu açılar arasında  $\gamma + \beta + \alpha = 90$  bağıntısı vardır. Takım ucu hafifçe yuvarlatılır, yuvarlatma yarıçapı ( $r$ ) takım geometrisini tamamlayan bir faktördür. Talaş kaldırma teorisinde dik modelin yanı sıra, takımın kesme kenarı kesme hız vektörüne eğik olan

eğik model de kullanılmaktadır. Şekil 3.3'de eğik kesme modeli görülmektedir. Talaş, takımla parçadan kaldırılan malzeme tabakasıdır. Teorik hesaplamalarda, Şekil deđiŐtirmemiŐ talaş kalınlığı ve genişliği esas alınır. Parçadan ayrılan talaş ile teorik talaş boyutları birbirinden farklıdır. Parçadan ayrılan talaş daha kalın ve daha kısadır (60).



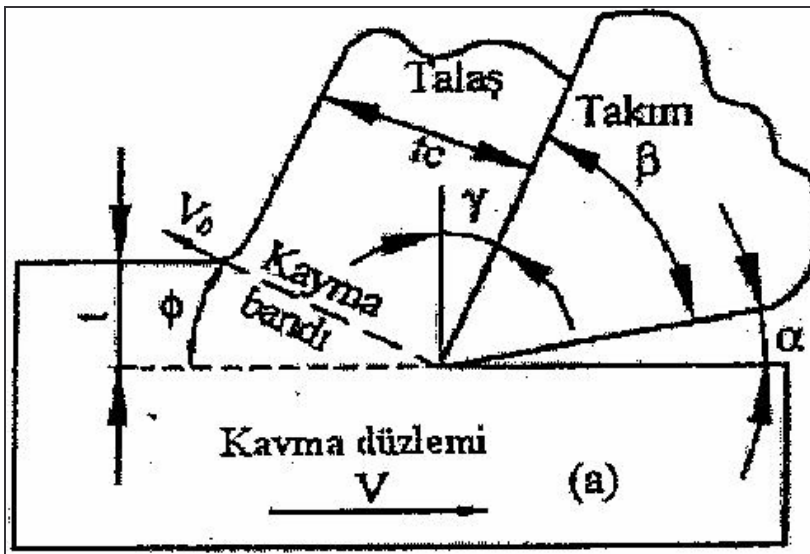
Şekil 3.3. Eğik kesme modeli (60)

Talaş parçadan kayma düzleminde ayrılır. Kayma düzleminin yönü ( $\phi$ ) kayma açısı tarafından belirlenir. TalaŐta meydana gelen Şekil değiştirmeleri ve bunlara bağlı talaş boyutları kayma açısından önemli Şekilde etkilenir. Kayma açısının azalması talaş kalınlığının artmasına, kayma açısının artması ise talaş kalınlığının azalmasına neden olmaktadır. Şekil 3.4'te dik ve eğik kesme modelinin karşılaştırılması görülmektedir (60).



Şekil 3.4. Dik ve eğik kesme modeli (60)

Talaşlı imalatta kesme kuvvetlerine ait ilk çalışmalar ve matematiksel ifadeler Merchant tarafından 1940 yılında geliştirilmiştir. Merchant, talaş kaldırma olayını fiziksel yönden incelemiş ve talaşın nasıl meydana geldiğini açıklamaya çalışmıştır. Çalışmaları sonucunda şekilde gösterilen dik bir modeli ortaya atmış ve takımın etkisi altında kaldırılacak malzemenin önce elastik ve sonra plastik bir şekil değiştirme göstererek, takımın kesme yönü ile belirli bir açı yapan bir düzlemde talaş olarak ana malzemeden ayrıldığını varsaymıştır. Şekil 3.5’de ince kesme düzlem modeli görülmektedir (61).

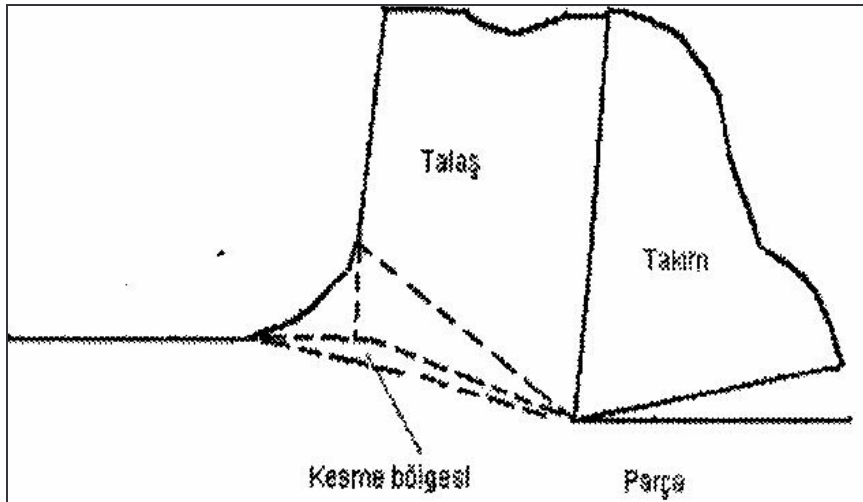


Şekil 3.5. İnce kesme düzlemi modeli (61)

İnce düzlem adını taşıyan bu teoriye göre kesme kuvveti ifade edilirse bu kuvvete dayanarak minimum enerji ilkesine göre Merchant kayma açısını;

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}(\beta - \alpha) \quad [3.3]$$

şeklinde ifade etmiştir. Bu bağlantıda,  $\beta$  kama açısı,  $\gamma$  talaş açısıdır. Kayma açısının optimum değerini bulmak için Merchant minimum enerji ilkesini ortaya atmıştır. Bu ilkeye göre malzemeyle ilgili olarak talaş kaldırmak için gereken enerjii en küçük değerine indiren bir kayma açısı seçmektedir. Talaş kaldırma ile ilgili tüm teorilerde genelde  $\phi = F(\gamma, \beta)$  şeklinde ifade edilen kayma açısının sürtünme açısı ve talaş açısına bağlı olduğunu göstermektedir. Ancak şimdiye kadar tüm bu hususları kapsayan bir talaş kaldırma teorisi oluşturulamamıştır. Bununla beraber, özellikle son zamanlarda bu yönde incelemeler ve araştırmalar yoğunlaşmıştır. Talaş kaldırma işlemi ile ilgili teoriler kayma düzlemi esasına dayanmaktadır. Yapılan varsayımlara göre bu düzlem çok ince (teorik olarak sonsuz çok ince) veya kalın bölge şeklinde olabilir. Şekil 3.6'de kalın kesme düzlemi modeli görülmektedir (61).



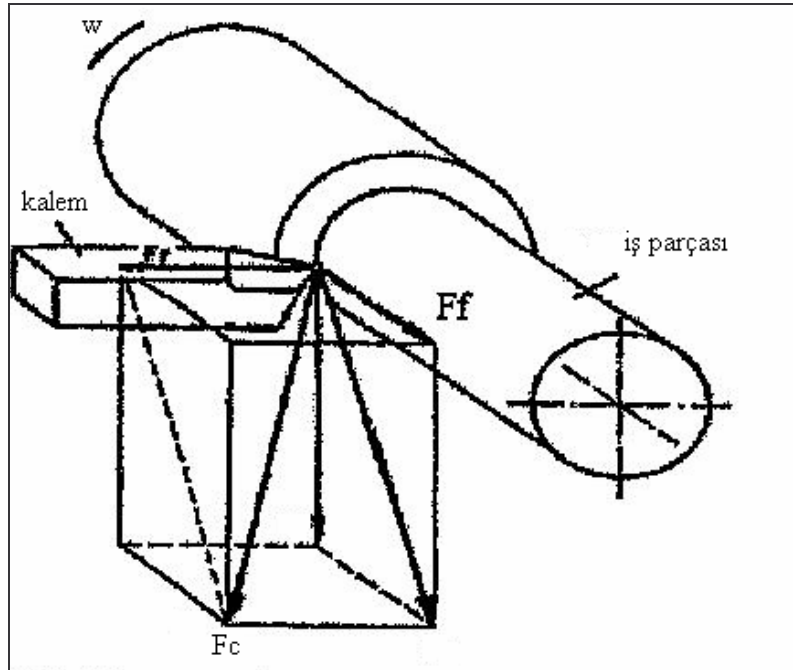
Şekil 3.6. Kalın kesme düzlemi modeli (61)

İnce düzlem teorisi, talaş kaldırma olayını ilk olarak açıklamaya çalışan teoridir. Bu teoriye göre malzeme tabakasının plastik şekil değiştirmeleri ve parçadan ayrılmasının kayma düzleminde meydana geldiği varsaymaktadır. İnce düzlem teorisinin esas kurucusu ve temsilcisi Merchant'tır.

Kaldırılacak malzeme tabakası, takımın etkisi altında yüksek plastik şekil değiştirmelere uğramakta ve bu şekil değiştirmeler, kesme düzleminde yoğunlaşmakta ve bunun sonucu olarak talaşa dönüşmektedir. Malzemelerin plastik şekil değiştirmelerinin bir ölçütü setliktir. Talaş kaldırma işleminde malzemelerin kesmeye karşı gösterdiği direnç olarak açıklanabilir (62).

### 3.2.1. Kesme kuvvetlerinin teorik olarak hesaplanması

Talaş kaldırma için gereken güç ile kesme kuvvetleri arasında belirli bağlantılar vardır. Kesme kuvvetleri teorik olarak hesaplanabilir veya bir dinamometre ile ölçülebilir. Talaş kaldırma işlemi sırasında sürtünme ve basınçların etkisi ile belirli yönlerde kuvvetler meydana gelmektedir (Şekil 3.7.) (62).

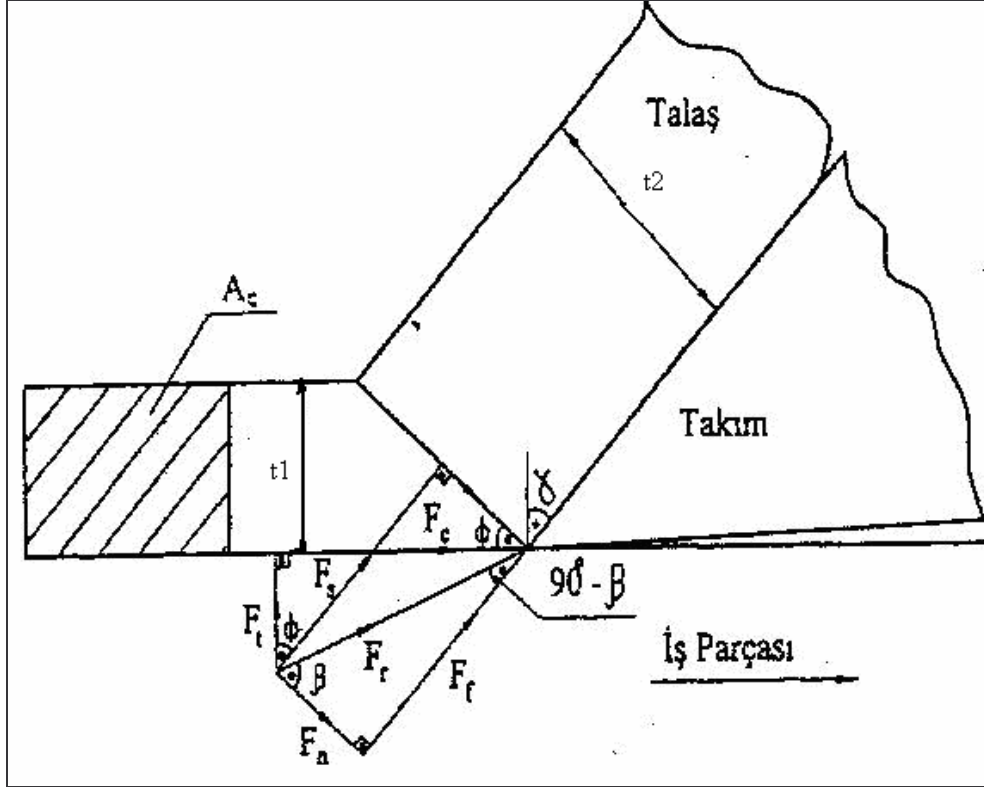


Şekil 3.7. Dik talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetleri (62)

Kesme kuvvetleri üç boyutludur. Talaş kaldırma kuvveti  $F_z$ ,  $F_s$ ,  $F_r$  ve  $F_f$  bileşenlere ayrılır.  $F_s$  teğetsel kuvveti,  $F_r$  radyal bileşen pasif kuvveti ve  $F_f$  eksenel bileşen ilerleme kuvvetidir. Kesme kuvvetlerinin analitik tayini, talaş kaldırma teorilerine dayanmaktadır. Dik kesme koşulları için  $F_s$  ve  $F_r$  kuvvetleri ile ilgili formüller aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Şekil 3.8'de dik kesmede talaş oluşum modeli görülmektedir.

$$F_s = \frac{K_s \cdot t_1 \cdot b \cdot \cos(\beta - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \gamma)} \quad [3.4]$$

$$F_r = \frac{K_s \cdot t_1 \cdot b \cdot \sin(\beta - \gamma)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \gamma)} \quad [3.5]$$



Şekil 3.8. Dik kesmede talaş oluşumu modeli (62)

Formülde ( $\phi$ ) kesme düzlemindeki kayma gerilmesidir ve bu düzlemde eşit dağıldığı kabul edilir.  $\phi$  kayma açısı,  $\gamma$  talaş açısı,  $t_1$  oluşmamış talaş kalınlığı,  $b$  talaş genişliğidir.  $F_s$  eşitliğinde de kullanılan ( $t$ ),

$$t = f_a \cdot \sin K_r \quad [3.6]$$

( $f_a$ ) sehim, ( $K_r$ ) kesme kenar açısı ve  $t_1$ 'e bağlı olarak ( $r_c$ ) talaş oranı,

$$r_c = t_1/t_c \quad [3.7]$$

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \gamma}{1 - r_c \cdot \sin \gamma} \quad [3.8]$$

ile  $\phi$  kayma açısı hesaplanabilir.  $F_s$  formülünde  $\beta$  sürtünme açısını Ernst ve Merchant'ın takım açıları arasındaki bağlantıyı veren eşitlikten, aşağıdaki şekilde hesaplamak mümkündür.

$$2\phi + \beta - \gamma = \pi / 2 \quad [3.9]$$

$$\beta = 90 - 2\phi + \gamma \quad [3.10]$$

formülü ile hesaplanabilir. Yukarıdaki denklemlerin karmaşık olmalarının yanı sıra, pratik uygulamalarda kullanılmalarına karşı en büyük engel  $\beta$  sürtünme ve  $\phi$  kayma açılarının tam olarak belirlenememesidir.

### 3.3. İşlenebilirlik ve İşlenebilirliğin Değerlendirilmesi

İşlenebilirlik, standardize edilmiş bazı özelliklere göre genel anlamda tanımlanamaz. Genellikle, “iş parçası malzemesinin, ne kadar kolay işlenebileceği veya bir kesici takımla iş parçasının istenilen biçime getirilmesindeki ihtiyaçlar anlamında, işlenebilme yeteneği” olarak tanımlanmaktadır. Orta karbonlu çelik, ısıl direnci

yüksek (HSTR) bir alayşımlla karşılaştırıldığında daha kolay işlenir. Yine aynı şekilde gri dökme demir, çil (hızlı soğutulmuş) dökme demirden daha kolay işlenir.

Bununla beraber yapışma eğilimi (BUE) değerlendirildiğinde, düşük karbonlu çelik için ihtiyaçlar, bazı paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Ancak, değişik işleme metodları ve şartlardan dolayı (kesici takımlardaki gelişmeler gibi), işlenebilirlik kavramı belirsizdir ve karşılaştırılabilir değerlerle kolayca ölçülemez (2, 63).

İş parçası malzemesinin işleme yöntemini etkileyen tüm özelliklerinin bir karşılaştırması muhtemelen daha kesin olmakla beraber, ihtiyaç duyulan dokümantasyon, tüm malzeme tedarikçilerinden kolayca elde edilemez. İş parçası malzemesinin metalurjisi, kimyasal yapısı, mekanik özellikleri, ısıl işlemi, katkıları, kalıntıları (inklüzyonları), yüzey tabakası vb. özellikleri, kesici kenar, takım bağlama biçimi, takım tezgahı, işleme biçimi ve işleme şartları gibi faktörler işlenebilirlik üzerinde etkilidir. Malzemeler için işlenebilirlik değerleri, en ideal durumlarda bile, daha ileri düzeyde optimizasyon için başlangıç değerlerine kılavuzluk eder. İş parçası malzemesini tanımak için, başarılı bir işleme operasyonunun gerçekleştirilmesini sağlayan faktörlerin değerlendirilmesinde, modern ve esnek bir yaklaşım esastır. Bununla beraber, genellikle, her parçanın maliyeti, verimlilik oranı, belirli bir yüzey kalitesi oluşturmak için kestirilebilir takım ömrü ve işleme emniyeti sağlamak gibi öncelikler bireysel üretimle ilgili işlenebilirlik kavramı için esastır. Sınırlı bir malzeme dizisindeki belli sayıda operasyonun gerçekleştirilmesinde bir atölye veya işletme, işleme sırasındaki zorluklar veya kolaylıklara göre kendi önceliklerini benimser. İşlenebilirliği geliştirmek için; döküm kalitesini iyileştirmek, malzemeyi kolay işlenebilir hale getirmek veya değiştirmek, takım malzemesini, takım geometrisini, bağlama şartlarını veya kesme sıvısını vb. değiştirmek gerekebilir. En geniş anlamda işlenebilirlik, aşağıdaki kriterlerle tanımlanan “kesici takım-iş parçası” çiftinin işleme karakteristiği gibi görünür (2, 63, 64). Bu kriterler;

- i. Takım ömrü,
- ii. Talaş oluşumu ve talaşın uzaklaştırılması,
- iii. Yüzey kalitesi,



- iv. Kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma miktarı,
- v. Kesme kuvveti / gücü / özgül kesme direnci,
- vi Sıvanma ( Built-up-edge) eğilimidir.

İş parçası malzemesinin kullanılabilir verileri ve işleme deneylerinin bir kombinasyonu, işlenebilirlik değerlendirilmesi, geniş üretim şartlarındakine uygun olarak gerçekleştirilebilir. Bununla beraber, düzenlemenin birinde iyi olan işlenebilirlik, bir diğerinde iyi olmayabilir. Örnek olarak; bir iş parçası malzemenin sertliği ve dayanımı işlenebilirliği belirleyen tipik bir örnek olmayabilir. Kalıntılar, kolay işlenebilme katkıları, mikro yapı, sert ve aşındırıcı bileşenler, sıvanma eğilimi vb. faktörler daha önemli olabilir. Belli bir iş parçası için iyi işlenebilirlik sergileyen bir takım tipi ve malzemesi, diğer bir iş parçası malzemesi için uygun olmayabilir. İş parçasının işlenebilme kabiliyeti ve etkinliği çeşitli faktörlere göre belirlenebilmektedir (2, 63). Bunlar;

- i. İş parçası malzemesi,
- ii. Takım tezgahı,
- iii. İşleme biçimi,
- iv. Takım,
- v. Kesme parametreleri,
- vi. Kesme sıvısı vb. dir.

Metallerin işlenmesinde kullanılan pek çok farklı malzemeyi, talaş oluşumu ve işleme özellikleri açısından aşağıdaki malzeme gruplarına ayırmak mümkündür. Bu gruplar aşağıda sıralanmıştır (2, 63).

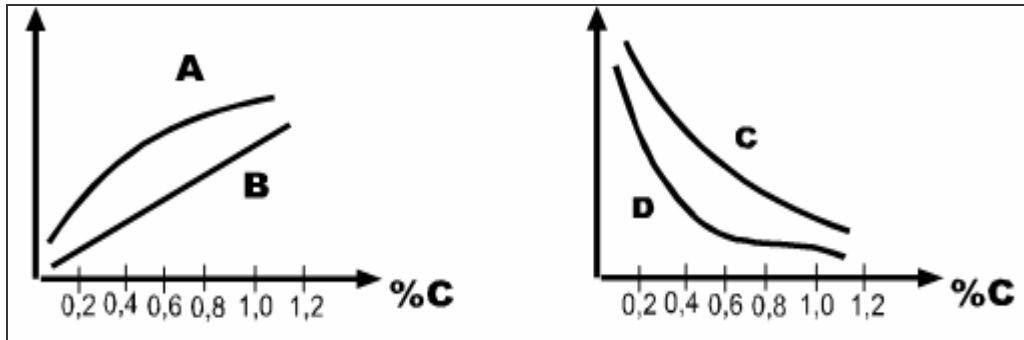
- i. Çelik,
- ii. Paslanmaz çelikler,
- iii. Dökme demir,
- iv. Isıl dirençli alaşımlar (HSTR),
- v. Alüminyum ve alaşımları,
- vi. Sert çelikler,

vii.Titanyum ve titanyum alaşımlarıdır.

### 3.3.1. İş parçası malzeme özelliklerinin etkisi

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının optimizasyonu amacı ile yaygın olarak kullanılan iş parçası malzemeleri gözden geçirildiğinde, öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmalıdır.

Şekil 3.9'daki diyagramlar, "karbon muhtevası" ile değişen dört temel mekanik malzeme özelliğindeki genel eğilimleri göstermektedir. Bu temel özellikler, çekme dayanımı, sertlik, darbe dayanımı, yüzde uzamadır (2, 63, 65).



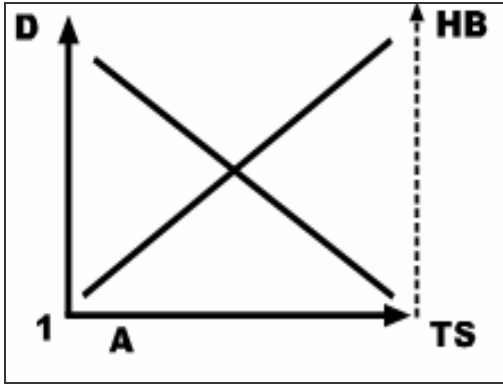
Şekil 3.9. Malzemelerin temel mekanik özelliklerinin karbon muhtevası ile değişimi: A- Çekme Dayanımı, B- Sertlik, C-Darbe Dayanımı, D- Yüzde uzama (2, 63, 65)

#### Sertlik ve dayanım

Genellikle, düşük sertlik ve dayanımı değerleri işlenebilirlik için daha uygundur. Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne sebep olan BUE oluşmasından dolayı problemlere yol açan çok sünek malzemeler bu durumun dışındadır. Soğuk çekme işlemleri ve benzeri yollarla arttırılmış sertlik ise pozitif bir etkiye sahiptir.

### Süneklik

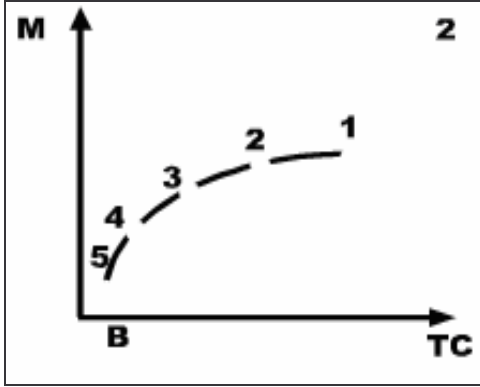
İşlenebilirliğin değerlendirilmesinde, düşük süneklik değeri genellikle olumlu karşılanmaktadır. Talaş oluşumu için bir avantajdır ve enerji verimli bir talaş kaldırma yöntemi söz konusudur. Düşük süneklik, yüksek sertlikle oluşur ve bunun tersi yüksek süneklik, düşük sertlik demektir. İyi işlenebilirlik, genellikle sertlik ve süneklik arasındaki bir uzlaşma noktasındadır. Şekil 3.10'de çekme dayanımı (TS)'na karşılık sertlik (H) ve süneklik (D)'deki değişim görülmektedir (2, 63, 65).



Şekil 3.10. Çekme dayanımı (TS)'ye karşılık, sertlik (H) ve süneklikteki (D) değişimi (2, 63, 65)

### Isıl iletkenlik

Yüksek ısıl iletkenliğin anlamı, talaş kaldırma işleminde oluşan ısının, süratle kesme bölgesinden uzaklaştırılması demektir. İşleme açısından bakıldığında, yukarıdaki sebeple yüksek değerlerde ısıl iletkenlik genellikle faydalıdır. Isıl iletkenlik işlenebilirlik açısından önemli bir rol oynamakla beraber, bazı alaşım grupları için daha fazla iyileştirilmesi mümkün değildir. Şekil 3.11'de, bazı malzemelerin ısıl iletkenliklerinin (TC), işlenebilirlik değerleri (M) ile ilişkisini göstermektedir (2, 63,65).



Şekil 3.11. Isıl iletkenlik (TC) ile işlenebilirlik değeri (M) arasındaki ilişkisi (2, 63, 65) 1- Alüminyum, 2- Alaşımız Çelik, 3- Alaşımızlı Çelik, 4- Paslanmaz Çelik, 5- HSTR Alaşımızlar

### Pekleşme

Plastik deformasyon sırasında, metallerin dayanımı, değışen değerlerde artar. Dayanımdaki artış deformasyon yüzdesine ve malzemenin pekleşme kabiliyetine bağılı olmaktadır. Yüksek pekleşme oranının anlamı, deformasyon oranındaki artışa bağılı olarak hızlı bir dayanım artışıdır. Çelikler işlenirken, deformasyon miktarı oldukça bölgesel kalmakta ve özellikle kesici kenara yakın gerçekteşmektedir. Yüksek pekleşme (deformasyon sertleşmesi) oranına sahip malzemelere örnek olarak östenitik paslanmaz çelikler ve çeşitli yüksek sıcaklık alaşımızları verilebilir.

Karbonlu çelikler, oldukça düşük pekleşme oranına sahip malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Yüksek pekleşme oranı, talaş oluşumu için çok daha fazla enerji ihtiyacı demektir. Sertlikteki ciddi bir artış, daha sonra, işlenmiş yüzeyde ince bir katman oluşmasına sebep olur. Pekleşmeyle setleşen tabakanın kalınlığı, ilerleme değeri ile aynı olursa, kesici kenar, şiddetli gerilimlere maruz kalacaktır. Pekleşme ile oluşan tabakanın kalınlığı ve sertlik düzeyi kesici kenardaki deformasyon miktarıyla orantılıdır. Büyük bir talaş açısına sahip keskin bir kenar, deformasyon miktarını azaltır. Bu sebeple, pozitif bir geometri, katmanın azaltılmasına yardımcı olacak ve bunun sonucu olarak da kesici kenardaki gerilmeler azalacaktır. Bununla beraber, pekleşme, BUE oluşumunu engellemek için bir avantaj olabilir (2, 64).

## Kalıntılar

Malzemenin yapısı içerisinde makro düzeyde iki tip kalıntılar söz etmek mümkündür. Makro kalıntılar, boyutu 150  $\mu\text{m}$ 'dan büyük olan kalıntılardır. Bunlar genellikle, çok sert ve aşındırıcı olup, kalıntılardan bağımsız bir malzemeyi kuşatma eğilimlerinden dolayı önemlidir. Düşük kaliteli çeliklerde bulunan kalıntılar, üst cüruf veya uygun olmayan cüruf alma v.b. gibi fırınlama sırasındaki üretimden kaynaklanır. Pek çok ani takım kırılma problemleri muhtemelen bu tip kalıntılarla açıklanabilir. Mikro kalıntılar, çelik içinde değişik miktarlarda daima mevcuttur.

Bunların işlenebilirlik üzerindeki etkisi üçe ayrılabilir;

- i. İstenmeyen kalıntılar : Alüminatlar ve spineller ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve Ca) gibi kalıntılar istenmeyen kalıntılardır. Bunlar sert ve aşındırıcı özelliktedir.
- ii. Nispeten istenmeyen kalıntılar : Demir ve mangan oksitlerdir ( $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ). Bunların deforme edilebilme kabiliyeti bir önceki gruptan daha yüksektir ve talaş akışına katılabilir.
- iii. İstenen kalıntılar : Yüksek kesme hızlarında, silikatlar (Si)' dir. Bunun sebebi, silikatlar, yeterince yüksek kesme sıcaklıklarında yumuşarlar ve bu sayede kesme bölgesinde olumlu etki yapan bir katman oluştururlar. Bu katman, takım aşınmasını geciktirir (2, 63, 64, 65).

Günümüzde, SiCa'la deoksidasyona maruz bırakılmış, kalsiyum deoksidasyonlu çelikler mevcuttur. Bu çeliklerde düşük ergime sıcaklığına sahip kalıntıların elde edilmesi ve bu sayede bir katman oluşturulması mümkündür. Bu nispeten yüksek kalıntılar kesme hızları için uygundur.

### Kolay işleme katkıları

Çeliğin işlenebilirliğini geliştirmek için en yaygın metod, kükürt ilavesidir. Kolay işlenebilen çeliklerdeki kükürt miktarı işlenebilirliği iyileştirilmiş çeliklerdekinin on katıdır. Yeterli miktarda mangan ihtiva eden çelik sağlandığında, kükürt ve mangan, sülfata dönüşecektir. Talaş oluşumu sırasında bu sülfat kalıntıları, düşük dayanımlı düzlemler oluşturacak şekilde plastik deformasyona uğrar ve böylece çatlak oluşumu ve yayılımı için gerekli enerji azalır. Bu, birinci kayma, kesme bölgesindeki deformasyonu kolaylaştırılır. Kayma açısının ve talaş yarıçapının artmasına sebep olurken talaş kalınlığının, takım/talaş temas boyunda ve işleme sıcaklığında azalmaya sebep olur. İlâveten, sülfat, talaş kalınlığının takım/talaş ara yüzünde bir yağlayıcı gibi görev yapar. Bununla beraber, tamamen aynı sülfür muhtevasına sahip, aynı tip iki çelik için işlenebilirlik önemli ölçüde farklı olabilir. İşlenebilirlik, çelikte alaşım elemanı olarak bulunan kükürtten ayrı kükürt ve kurşun kalıntıları ile iyileştirilebilir. Aynı zamanda, sülfatların boyutu, biçimi ve dağıtımı da işlenebilirliği tayin eden faktörler arasındadır. Diğer yaygın kullanılan katık elemanlarında kurşunda, mangan sülfata benzer davranışlar sergiler. Kurşun ve kükürdün beraber ilave edilmesi de yaygındır. Oldukça yeni bir katkı elemanı olan “selenyum” da genellikle kükürtle beraber kullanılır. Sülfür ve selenyum katkısı kolay işlenebilir çelikler, karbonlu çelikler ile ve ferritik - martenzitik ve östenitik paslanmaz çeliklerde yaygındır. Kurşunlu veya yeniden sülfürize edilmiş kurşunlu çelikler sadece karbonlu çeliklerde mevcuttur. İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme, iş parçasına ait özellikleri ve bunları artan değerlerinin işlenebilirlik üzerindeki etkileri Çizelge 3.1 ve 3.2’de özetlenmiştir (64, 65)

Çizelge 3.1. İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme özellikleri (64,65)

İşlenebilirliği etkileyen temel malzeme özellikleri	
1	Sertlik ve Daynım
2	Süneklik
3	Isıl iletkenlik
4	Pekleşme
5	Kalıntılar
6	Kolay işleme katkıları

Çizelge 3.2. Malzeme özelliklerinin artan değerinin genel işlenebilirlik üzerine etkileri (64, 65)

Artan Değerleri	Genel işlenebilirlik üzerindeki etkisi
Sertlik ve Daynım	-
Süneklik	+/-
Isıl iletkenlik	-/+
Pekleşme	-
Kalıntılar	-/+
Kolay işleme katkıları	++

### 3.3.2. İşlenebilirliği etkileyen diğer malzeme özellikleri

Malzemeleri, işlenebilirlik üzerinde önemli etkisi olan temel özellikler bir önceki bölümde anlatılmıştır. Bununla ilaveten malzemelerin bazı diğer özellikleri de işlenebilirlik üzerinde söz sahibidir (66). Bu özellikler;

- i. Malzemenin Yapısı /Morfoloji,
- ii. İş parçası Şartları,
- iii. Alaşım Elementleri,
- iv. Yüzey tamlığı – düzgünlüğü'dür.

### Malzemenin yapısı

Malzemenin yapısı işlenebilirliği etkilemekte ve bazı yapılar, aşındırıcı özellikte olduğundan ve malzemenin dayanımı yapı tipiyle değişir. Çeliklerdeki aşındırıcı bileşen “karbürle” dir. Bunların miktarı ve biçimi, malzeme özelliklerini doğrudan etkiler. Karbon ve diğer alaşım elementlerinin miktarı ise yapıyı doğrudan etkiler. Karbon, karbonlu çeliklerdeki en önemli alaşım elementi olup, muhtevasına bağlı olarak çok farklı yapılar elde edilebilir. Oda sıcaklığında ve sertleştirme işlemi uygulanmış şartlarda, çelikte östenite ilave olarak üç tip yapıdan (faz) söz etmek mümkündür ve bunlar işlenebilirliği doğrudan etkiler. Bu fazlar: ferrit, perlit, sementit'tir.

Ferrit, yumuşak ve sünek özelliklere sahipken, bir demir karbon bileşiği olan sementit, elde edilebilecek en sert yapıdır. Su verme ile elde edilebilecek martenzitten bile serttir. Perlit ise, ferrit ve sementitin lameller (plakalar şeklinde) bir karışımıdır. Lameller, ferrit ve sementit şeklinde sıralanmış olup, sertlik açısından orta değerlerde yer alır. Lameller perlitin sertliği aynı zamanda, lamellerin boyutuna (kalınlığına) bağlıdır. İnce lamel tipli perlit, kaba olana daha serttir. Çünkü bünyesinde daha fazla sementit barındırır. Çeliğin yapısındaki ferrit, perlit ve sementit miktarı, temelde doğrudan, çeliğin muhtevasına bağlıdır. Sementitin yüksek aşındırıcı özelliğinden dolayı, küçük bir miktar sementit bile, takım ömrü ve işlenebilirliği dikkate değer ölçüde etkiler. Bunlara ilaveten, ferritik çelikler genellikle martenzitik çeliklere göre daha iyi işlenebilirlik özellikleri sergiler (57, 58).

### İş parçasının özellikleri

İş parçasına ait şartlar şöyle sıralanabilir;

- i. Sıcak haddelenmiş,
- ii. Normalize (ıslah) edilmiş,
- iii. Tavlanmış (Yumuşatma tavlama / Gerilim giderme tavlama),



#### iv. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş.

Sıcak haddelenmiş şartlardaki iş parçası genellikle homojen olmayan, kaba bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi, sıcak haddeleme sonrasında malzeme, uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kalır ve bu da nispeten kaba bir yapının oluşmasına sebep olur. İşlenebilirlik açısından bakıldığında, homojen olmayan bu yapı, malzemenin düzgün olmayan dağılım miktarlarına bağlı olarak, sapmalara/boşluklara sebep olur. Bu da işlenebilirlik açısından olumlu bir özellik değildir. Normalizasyon işlemi sırasında; malzeme östenit bölgesindeki sıcaklığa çıkarılır. Malzeme yapısı tamamen östenite dönüştükten sonra malzeme hızla oda sıcaklığına geri soğutulur. Bu işlem, sıcak haddeleme şartlarından daha ince ve homojen bir yapı elde etmek için uygulanır. Normalizasyonun en temel amacı, malzemenin tokluk davranışını iyileştirmektir. Daha düzgün yapıdan dolayı, işlenebilirlik düzeyinde de bir iyileşme sağlanır.

Yumuşatma tavlama, gerçekte malzemeyi yumuşatmak için uygulanan bir işlemdir. İşlem sırasında, perlitteki sementit lamellerin küresel (yuvarlatılmış) sementite dönüştürülür. Sonuç olarak ferrit matris içinde düzgün dağılmış küresel sementitler oluşur ve sertlik önemli ölçüde düşer. Küresel yapıdaki sementit, işleme sırasında kesici takımın, sementit aşındırıcı taneciklere çok daha kısa mesafede teması anlamı taşır. Normalde, yumuşatma tavlama karbon miktarı %0,5'ten fazla olan çeliklerde uygulanır. Yüksek karbon muhtevası söz konusu olduğunda, optimum işlenebilirlik elde etmek için yapılması gereken işlem küreselleştirme'dir. Düşük karbon muhtevasında daha yüksek perlit miktarı, optimum işlenebilirlik şartları sergiler.

Yumuşatma tavlama "gerilim giderme" tavlama ile karıştırılmaktadır. Gerilim giderme tavlama'nın amacı, isminden de anlaşılacağı gibi, malzeme su verme veya soğuk şekillendirme şartlarında oluşan gerilmelerin giderilmesidir. Eğer bu gerilmeler giderilmeden bırakılacak olursa, talaş kaldırma sırasında serbest kalacak ve iş parçasının doğrusallığını ve toleranslarını etkileyecektir. Gerilim giderme tavlama düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlem olup, yapıyı etkilemez ve dolayısı ile işlenebilirlik üzerinde de etkisi yoktur. Soğuk şekillendirilmiş bir

malzeme genellikle, normalizasyon veya yumuşatma tavlmasına maruz bırakılır. Nispeten küçük boyutlu kütükler veya iş parçalarına uygulanır. Küçük iş parçalarında uniform bir yapı elde etmek daha kolaydır. Soğuk şekillendirme, deformasyon miktarına bağlı olarak dayanımını artırır. Soğuk şekillendirme aşağıdaki hususlar açısından, işleme şartları için uygun durumlar sergiler.

- i. Daha iyi yüzey yapısı,
- ii. BUE oluşumunu azaltma eğilimi,
- iii. Çapak oluşmasını azaltma eğilimi.

İş parçasının sertliği, takım aşınmasının değerini etkiler yaklaşık 200 HBN'ye sahip malzemelerin sementit karbit takımlarla işlenmesinde orta düzeyde bir aşınma meydana gelirken, sertlikteki artma bunun üzerinde önemli rol oynar. Bununla beraber, nispeten yumuşak malzemeler, sıvanma oluşturma eğilimi sergilemekte ve dolayısıyla, daha sert malzemelerde olduğu gibi, işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Yüzey düzgünlüğü veya düzensizliği, işleme sırasında makro kalıntıların sergilediği durumu sergiler ve düşük yüzey kalitesine, ani takım kırılmalarına veya hızlı takım aşınmasına sebep olur. Ön işlemeye tabi tutulmuş bir malzeme tercih edilmesi, çoğu zaman daha iyi sonuçlar verir. Ham malzeme üzerindeki büyük toleranslar fazladan işleme operasyonları, istenen boyutun ve yüzey kalitesinin elde edilmesi için daha fazla güç sarf etmek anlamına gelebilir. Modern üretimde, en önemli faktörlerden biri de yüzey düzgünlüğü ve kalite gibi özellikleridir.

Malzemedeki alaşım elementleri özellikler üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Karbon, çelikteki mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini belirleyen önemli elementtir. Diğer alaşım elementleri, Nikel (Ni), Cobalt (Co), Mangan (Mn), Vanadyum (V), Molibden (Mo), Niobyum (Nb), Tungsten (W), Bakır (Cu) vb'dir. Bazı alaşım elemanları ise, işlenebilirlik üzerinde önemli pozitif etkiye sahiptir. Kükürt (S), fosfor (P), kurşun (Pb) bunlara örnek olup, kolay işlenebilir çeliklere ilave edilirler. Talaş oluşumu, genellikle sünekliği azaltan alaşım elemanları ile iyileştirilebilir. İş

parçası malzemesinin kimyasal analizi, işlenebilirliği konusunda bize çok şey söyler. Aşağıda, negatif ve pozitif etkiye sahip elementler gösterilmiştir (64, 65).

Negatif Etkileyenler : Mn, Ni, Co, Cr, V, C < %0,3, C > %0,6, Mo, Nb, W,

Pozitif Etkileyenler : Pb, S, P, C

### 3.4. Kesici Takım Malzemeleri

Takım malzemesindeki gelişmeler sonucu, karbon çelik takım malzemesi ile 100 dakikada yapılan işlemler, HSS ile 36 dakikada, karbür takım malzemeleri ile 6 dakikada ve çok katlı kaplamalı karbürler ile 1 dakikadan daha az bir zamanda gerçekleştirilmektedir. Hız çeklikleri % 1,3 - % 1,9 arasında wolfram ve % 4 krom içeren yüksek alaşımlı çeliklerdir. Kesme hızı,  $v = 30 - 40$  m/min, sertliği 63 – 65 HRC ve çalışma sıcaklığı  $600^{\circ}\text{C}$  dir (62).

Karbürler bağlayıcı malzemeleri kobalt (Co) olan, tungsten karbür ( WC), titanyum karbür (TiC), titanyum nitür (TiN) gibi sinterleme yoluyla elde edilen malzemelerdir. 87 – 93 HRC sertliğine,  $v = 80 - 300$  m/min'lık kesme hızına ve  $900 - 1000^{\circ}\text{C}$  çalışma sıcaklığına sahiptirler. Sermetler, titanyum karbüre dayalı sinterlenmiş karbürleri içeren bir malzeme grubudur. Sermet ismi SERamik METal'den gelmektedir. Kesici takımlardan beklenen özellikler;

- i. Aşınmaya ve şekil değiştirmeye dayanıklı olması için yüksek sertlik,
- ii. Kırılmaya ve özellikle darbelere karşı yüksek tokluk,
- iii. Parçaya göre düşük kimyasal çekicilik,
- iv. Oksidasyona dayanıklı olması için yüksek kimyasal kararlılık,
- v. Yüksek kızıl sertlik ve termik darbelere karşı yüksek mukavemet.

Takım malzemelerinin gelişmesi aynı anda hem sertliği hem de tokluğu artırmak yönünde olmuştur. Günümüzde (HSS), karbür ve sermet takım malzemeler üzerine kaplamalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme olmak üzere iki farklı yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama sırasında

karbür tabakaları, kaplama işleminden ne kadar az etkilenirse takımın tokluğu o kadar yüksek olmaktadır. Kaplama işleminde sıcaklığın artması, kaplama tabakasının özelliklerini iyileştirir, ancak kaplama altındaki tabakaları daha çok etkileyerek tokluğu azaltır. Kaplama içindeki basma gerilmelerinin, tokluk üzerinde pozitif bir etkisi vardır (65).

### 3.5. Talaş Kaldırma İşlemleri ve Takım Ömrü

Kesme işlemleri sırasında önemli olan takım ömrünün aşınma nedeniyle tamamlandığı anın belirlenmesidir. Kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. (Fs) kesme kuvveti, talaş kaldırma işlemleri sırasında takımın aşınma miktarı ile orantılı olacak şekilde, lineer olarak artmakta, takımın ömrünü tamamlaması anında, kesme kuvvetinde büyük bir artış görülmektedir.

Genelde talaş kaldırma olayı, iş parçası, takım, tezgah ve işlem olmak üzere dört faktöre bağlıdır. Kesme işlemine etki eden ve optimum talaş kaldırma işlemi için değiştirilebilen faktörler kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarıdır. Yapılan deneyler sonucu bu faktörlerin takım ömrüne etkileri farklı oranlarda olmaktadır. Bu oranlar şunlardır;

- i. Talaş derinliğinin % 50 oranında artırılması halinde, takım ömrü % 15 oranında azaltmaktadır.
- ii. İlerleme miktarının % 50 oranında artırılması halinde, takım ömrü % 60 oranında azaltmaktadır
- iii. Kesme hızının % 50 oranında artırılması da takım ömrünü %90 kadar azalmasına neden olmaktadır.

Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ile takım ömrünün artırılması mümkün olmaktadır. Kesme hızının düşük seçilmesi, takım ucunda kopmalara ve bunun sonucu takım değiştirilmesine, kesme hızının yüksek seçilmesi ise, takımın kısa sürede kırılmasına neden olmaktadır. Optimum kesme hızının belirlenmesinde takım

ömrü ile talaş oluşum oranı ve üretim hızı arasında denge kurulmalıdır. En uygun ilerleme ve talaş derinliğinin belirlenmesinde maksimum talaş derinliği ve ilerleme miktarı seçilmelidir. Çünkü bu iki parametrenin takım ömrüne etkisi kesme hızına göre çok azdır. Maksimum üretim hızı için kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı arasında minimum takım değiştirmeyi sağlayacak bir denge kurulmalıdır. Üretim hızını etkileyen diğer faktörler;

- i. Tezgah gücü (talaş iletim oranını sınırlar),
- ii. Yüzey pürüzlülüğü (ilerleme miktarını sınırlar),
- iii. Tezgah rijitliği (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğini sınırlar),
- iv. Talaş kaldırma rijitliği (talaş derinliğini sınırlar).

### 3.5.1. Takım Ömrü

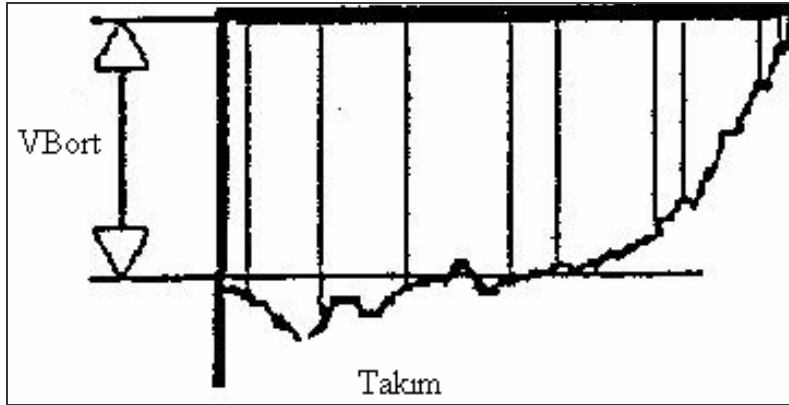
Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların ömrü ve maliyeti gerek üretilen parçaların kalitesi, gerekse toplam üretim maliyeti açısından büyük önem taşır. Talaşlı imalat alanında en önemli hususlardan biri, en ekonomik imalat ve en ideal takım ömrü için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi işlemidir. Tamamıyla takım – iş parçası malzemesi çifti, kesme parametreleri, takım tezgahı, kesici takıma bağımlı olan bu işlem son derece zordur. Son yıllarda kesici takım teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda kaplamalı kesici takımlar, talaşlı imalat işlemlerine gerek takım ömrü, gerekse işleme zamanı açısından önemli katkılarda bulunmuşlardır.

Talaş kaldırma işlemleri, takım, iş parçası, kesme sıvısı veya bir başka ara elementin yanı sıra hız, kuvvet ve sıcaklık gibi parametrelerden etkilenen işlemlerdir. Takım ile iş parçasındaki izafi hareket ve kesme kuvveti, talaş oluşumu için gereklidir. Hareket ve kuvvet etkisine bağlı olarak oluşan sürtünme, ısı artışına neden olmaktadır. Modern endüstride kesici takım, maliyetinin toplam üretim maliyetini doğrudan etkilemesi, optimizasyon işlemlerini zorunlu hale getirmektedir. Talaş kaldırma esnasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana dek devam eder.

Kesici takım ömrü her zaman sınırlıdır. Takım aşınmasına etki eden faktörler, kesme işlemine bağlı parametrelerdir. Kesici takımın kırılması talaş yüzeyindeki ve serbest yüzeydeki aşınmaya bağlı olup çoğunlukla takım ömrü kriterleri, takım aşınmasına göre belirlenir. Talaş kaldırma esnasında doğru kesici takımın seçilmesi maksimum verimliliğin sağlanması açısından şarttır. Özellikle takım malzemesi ve kesme geometrisi seçimi çok önemlidir. Ancak, takım doğru seçilmiş olsa bile işleme koşulları özellikle kesme verileri ve işlemin rijitliğini ilgilendiren koşullar standart dışı ise, optimum takım ömrü elde edilemez. Bağlama elemanlarının rijit olmaması ve titreşimler birçok kesici kenarın ömrünü, belirlenen süreden önce tamamlanmasına neden olacaktır.

Talaş kaldırma sırasında meydana gelen sürtünmeler ve sıcaklık, takım aşınmasına neden olur. Sürtünme, parçadan ayrılan talaş ile talaşın takım üzerinde kaydığı yüzey (yan yüzey) arasında ve parçanın işlenmiş yüzeyi ile takımın bu yüzeye bakan yüzeyi (yan yüzey) arasında meydana gelmektedir.

Talaş kaldırma işleminde oluşan sürtünme, makine elemanları arasında meydana gelen sürtünmeden farklıdır. Farklılık, talaş kaldırma olayındaki sürtünmenin sürekli olarak yeni yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve küçük temas alanlarında meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle takım aşınması, çeşitli aşınma şekillerini kapsayan çok karmaşık bir olaydır. Talaş kaldırma işleminde takım aşınması, belirlenmesi gereken en önemli karakteristik parametrelerden biridir. Şekil 3.12'de yan yüzeyde oluşan aşınma görülmektedir. Yan yüzey aşınması üretilen parçanın çapını yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir (67).



Şekil 3.12. Yan yüzey aşınmasının ölçülmesi (67)

Takım aşınmasının belirlenmesinde en önemli faktör, üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Bu amaçla modern üretim tezgahların da adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi takdirde üretimin devam etmesine rağmen, üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır. Kesici uçta ve yan yüzeyde oluşan aşınmalar, yüzey kalitesinde bozulmalara neden olacağı gibi üretimin kesici takım değiştirilmeden devam ettirilmesi üretim ve takım maliyetlerini artıracaktır.

### 3.5.2. Taylor takım ömrü denkleminin elde edilmesi

Talaşlı imalatta karşılaşılan en önemli sorun, kesici takım aşınmasının zamanında tespit edilememesidir. Aşınmış bir kesici ile yapılan talaş kaldırma işleminde, kesici takımın tezgaha verebileceği zararların yanında, istenen parça boyutlarını ve yüzey kalitesini elde etmek de imkansız hale gelir. Ayrıca, keskinliğini kaybetmiş olan kesici takıma etkiyen direnç kuvvetlerinin artması, kesme işlemi için gereken enerjiyi artıracığından, maliyet de artmış olur.

Bu tip sorunların önlenmesi ancak kesici takım aşınmasını zamanında tespit ederek kesici takımın değiştirilmesini sağlayacak bir adaptif kontrol sistemi ile gerçekleştirilebilir. Bu nedenden dolayı kesici takım aşınmasının işlem esnasında kontrolü ve analizi üzerine yapılan çalışmalar, kesme işleminin optimizasyonu

açısından büyük önem kazanmaktadır. Kesici bir kenar için takım ömrü, kenarın kesme süresince belirli bir işleme kriterini sağlayıp sağlamamasına bakılarak belirlenir.

Bir işlemin verimliliğinin belirlenmesi için en önemli kriterlerden biri takım ömrüdür. Oluşan takım aşınması miktarının ölçülmesi, aşınmanın bir analizinin yapılması ve sistematik bir yaklaşıma uygun olarak hareket edilmesi optimizasyon açısından çok önemlidir.

Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında, işlenen parça yüzeyi bozulmaya başlar. Enerji sarfiyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri, takımın körlendiğini gösterir ve takım aşınma sürecini tamamlayana kadar olan toplam işleme zamanı takım ömrü olarak adlandırılır. Genel bir ifade ile takım ömrü, takımda kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar talaş kaldırma zamanıdır. Takım ömrü genelde (T) ile gösterilir ve dakika ile ölçülür. Talaş kaldırma ile ilgili ilk çalışmalar Taylor tarafından yapılmıştır. Taylor kesme hızlarının takım ömrü denilen ve takımın iki bileneşmesi (değiştirilmesi) arasındaki süreyi ifade eden kavrama bağlı olduğunu deneysel verilere bağlı olarak ifade etmiştir. Takım ömrü Taylor bağıntısı ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$v.T = C_m n \quad [3.11]$$

v = Kesme hızı (m/min), T = Takım ömrü (min), n = Test edilen durum için kesici takıma ait sabit, C<sub>m</sub> = ilerleme, talaş derinliğine bağlı sabit, n değerleri; ortalama olarak hız çelikleri için 0,15, sert metaller için 0,3, seramikler için 0,6 dır. Takım ömrünü en fazla sırasıyla kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği etkilemektedir. Bu nedenle belirli bir takım ömrü için kaldırılan talaş hacminin artırılması için önce talaş derinliğinin, sonra ilerlemenin ve en son kesme hızının artırılması uygun olacaktır (66). Kesici ucun aşınma ve kırılmalarla tamamen kullanılamaz hale gelmesi istenmeyen bir durumdur. Bunun sonucunda takım masrafları çok artar. Her türlü



talaş kaldırma işlemi için en iyi takım ömrünün bulunması ekonomik işleme açısından çok önemlidir. Kesici takımların kullanılamaz duruma gelmesi genel olarak iki grupta toplanır.

- i. Talaş yüzeyindeki ve yan yüzeydeki dereceli veya sürekli aşınma
- ii. Takımın belirlenen ömründen önce aşınmasına neden olan hatalar

Takım aşınma tipleri gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından bir temel teşkil eder. Bu durum, işlem ve iş parçası malzemesi için takım kalitesinin ve işleme koşullarının doğru seçimi sayesinde gerçekleştirilir.

### **3.6. Kesici Takımlarda Aşınma**

Talaş kaldırma işlemi, sürekli temiz ve yeni bir yüzeyin oluşması ve bunun yüksek basınç ve sıcaklık altında takım malzemesi üzerinde kaymaya zorlanması anlamına gelmektedir. Talaş oluşumu sırasında talaş çok yüksek bir basınçla takım üzerine basmakta, talaşın akma sırasında takım yüzeylerinde büyük sürtünmeler meydana gelmektedir (sürtünme katsayısı 0,5 – 1 arasındadır). Gerek sürtünmelerden, gerekse malzemenin plastik şekil değiştirmesinden ve talaş oluşumundan dolayı yüksek ısı oluşmaktadır. Kuvvet, basınç, gerilme ve sıcaklık gibi bu etkenler belirli bir çalışma süresi sonunda takımda, başta aşınma olmak üzere, ağız kısmında kırılmalar ve takım ile parça arasında kimyasal reaksiyonlar gibi bir takım bozulmalar meydana gelmektedir. Takım ağızında meydana gelen kırılma çok küçük parçacıklar şeklindedir. Bu olay meydana geldiğinde, işlenen parça yüzeyinde bozulmalar meydana gelmektedir. Takım ile iş parçası arasındaki kimyasal reaksiyonlar, kesici takım yüzeyinde aşınmalara neden olmaktadır. Talaş kaldırma sırasında meydana gelen sürtünme ve sıcaklık, takım aşınmasına neden olur. Bu olayda sürtünme esas neden iken, sıcaklık ise takımın aşınmaya karşı mukavemetini azaltan aşınmayı hızlandıran bir etkidir. Sürtünme, parçadan çıkan talaş ile talaşın takım üzerinde kaydığı yüzey (talaş yüzeyi) arasında ve parçanın işlenmiş yüzeyi ile takımın bu yüzeye komşu yüzeyler (serbest yüzey ve yanak) arasında meydana gelmektedir.

Dolayısıyla aşınma talaş yüzeyinde, yanakta, serbest yüzeyde veya her üç yüzeyde de meydana gelebilir. Takım ömrü, çeşitli aşınmalar tarafından sınırlanmaktadır. Bu bölümde, tüm aşınma tip aşınma tiplerinden bahsedilmeyerek sadece çeşitli durumlarda takım ömrü kriteri olarak kullanılan yanak aşınması (YA) ve krater aşınması (KA) incelenmiştir. Pratik bakımından takım ömrünü tayin eden en önemli kriter, yan yüzeyde (yanakta) meydana gelen aşınmadır. İkinci en önemli kriter ise, krater aşınması sonucunda oluşan kraterin boyutlarıdır. Yanakta meydana gelen aşınma kesme ağzından başlayarak kabul edilen bir (VB) aşınma değerine erişinceye kadar sürekli ilerlemektedir. Bu bakımdan takım ömrü, kabul edilen bir aşınma değerine bağlıdır.

Aşınma değeri, birçok faktöre bağlı olarak farklı değerlendirilmektedir. Bu husus şimdiye kadar açık bir şekilde tayin edilememiştir. Bu nedenle çeşitli durumlarda çeşitli kriterler kullanılmaktadır. Örneğin, belirli bir yüzey kalitesinin sağlanması söz konusu ise, takımda meydana gelen çok küçük aşınmalar dahi, bu kalitenin elde edilememesine neden olabilir. Yüzey kalitesinin önemli olmadığı kaba talaş kaldırma işlemlerinde, tüketilen enerjinin artması, kesme ağzının talaş kontrolünü kaybetmesi, titreşimler veya takımın kırılması gibi kriterler takım ömrü kriteri olarak kullanılabilir (67).

### **3.6.1. Aşınmanın oluşumu**

Takımların performansına etki eden en önemli üç malzeme karakteristiği, kırılma direnci, plastik deformasyon direnci ve aşınma direncidir. Takımlarda kullanılan kaplama ana malzemesinin mekanik özellikleri ve kompozisyonu takım malzemesinin kırılma direncini ve deformasyon direncini belirler. Kaplamalar, aşınma direncini artırırken, kesici kenardaki sıcaklık ve kesme kuvvetlerindeki artışları azaltabilirler. Böylece dolaylı olarak takım deformasyon ve kırılma davranışlarına etki ederler. Talaş kaldırma sırasında sert kaplama yavaş yavaş yok olmaya başladıkça ve ana malzeme ortaya çıktıkça takım ucundaki sıcaklıklarda ve kesme kuvvetlerinde hızlı artışlar görülmektedir.

Talaş kaldırma işleminin başladığı andan itibaren, kesme hızının maksimum olduğu noktada aşınma başlamaktadır. Geçekleştirilen deneylerde, takımlardaki aşınma genellikle talaş yüzeyinde, ön serbest yüzeyde ve yanakta meydana geldiği görülmüştür. Bununla beraber mikroskopla yapılan incelemelerde, kesme koşullarına ve kesme parametrelerine bağlı olarak kesme ağzında çentik şeklinde, küçük parçacıkların koptuğu tespit edilmiştir. Krater aşınmasının takım ömrü üzerinde ikinci derecede etkili olduğu saptanmıştır. Aşınmalarda ilk andaki görülen hızlı artıştan sonra, aşınma hızı yavaşlamakta ve doğrusal olarak artışına devam etmektedir. Takımın ömrünü tamamlamasına yakın aşınma tekrar hız kazanmakta ve kesme işlemine devam edildiği takdirde takım ömrü sona ermektedir. Aşınmanın doğrusal eğimi ne kadar az olursa, takım ömrü o kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle kesici takımların sertliği arttıkça, aşınma doğrusunun eğimi azalmaktadır. Deneylerde aşınma ve buna bağlı olarak takım ömrü üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu görülmüştür.

Aşınma – takım ömrü kriterlerine bağlı olarak yanak aşınması (VB) olarak ortalama aşınma miktarı alınmıştır. Çok katlı kaplamalı sinterlenmiş karbür kesicilerle yapılan deneylerde 400 mm'lik kesme uzunluğu sonunda yüzey kalitesinde bozulmaların başladığı görülmüştür. Kesici takımlarda takım ömrünün sona erdiğine ilişkin belirtiler;

- i. Yüzey kalitesinde olumsuzluklar (kesme yerine, kazıma şeklinde talaş kaldırmalar),
- ii. Kesici uçta oluşan aşınmalar (aşınma miktarı,  $VB=0,35$  mm),
- iii. Kesme kuvvetlerinde artışlar.

### **3.6.2. Yanak ve krater aşınması**

Yanak aşınması kesici kenarın yan yüzeyinde meydana gelir ve abrasiv aşınma mekanizmasından kaynaklanır. Talaşın oluşumu sırasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve uç radüsü iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan yan yüzey aşınması en yaygın ve beklenen aşınma tiplerinden biridir. Yan yüzey

aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar (67).

Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde daha çok taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar. Krater aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar. Bazı durumlarda takımında herhangi bir aşınma olmayıp, kesici uç aniden kırılabilir. Bu gibi durumların önüne geçilmesi şarttır. Kesici kenarın ömrü birçok yüküyle bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır.

Kesici takımlar, farklı şekillerde ve bölgelerde aşınarak veya kesici ucun kırılıp bozulması nedeniyle atıl duruma gelerek kullanım ömürlerini doldururlar. Bu aşınma çeşitlerinden serbest yüzey ve krater aşınması takım ömrüne etki eden en önemli parametreler olup kesici takım aşınmasının en fazla incelenen alanını oluştururlar. Aşınma kriterleri olarak genellikle serbest yüzey aşınma yüksekliği veya krater aşınma yüksekliği esas alınır.

Aşınmanın ölçülmesi ile ilgili TS 10329'a (ISO 3685'e) göre yan yüzeydeki aşınma, aşınan bölgenin yüksekliği VB ve eni SV, talaş yüzeyindeki krater ise, genişliği Kb, derinliği Kt, merkezden uca kadar olan uzaklık KM ve krater kenarından uca kadar olan uzaklık KL değeri ile ölçülür (62). Uygulamalarda bu değerlerden yan yüzey aşınması için Vb, krater aşınması için Kt ve bazı durumlarda Kb değeri kullanılmaktadır. Yan ve talaş yüzeylerindeki aşınma yaklaşık olarak aynı zamanda başlar. Ancak başlangıçta daha hızlı olan yan yüzey aşınmasında (VB) belirli bir zamandan sonra yavaşlama görülürken, krater sabit bir hızda devam eder. Ancak belli bir zamandan sonra yan yüzey aşınması yeniden hızlanır.

### 3.6.3. Kaplamalı kesici takımlarda aşınma

Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların ömür ve maliyeti, gerek üretilen parçaların kalitesi, gerekse üretim maliyeti açısından büyük önem taşır. Son yıllarda kesici takımın aşınma direncini ve kullanım ömürlerini artırmak amacıyla vakum kaplama teknikleri ile üretilen TiN, TiAl gibi sert seramik kaplı kesici takımların kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır.

Sert seramik kaplamalarla ulaşılan yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve korozyon dayanıklılığı, söz konusu yüzey işlemlerinin elektrik, elektronik, tıp, cam, endüstrisi alanlarına uygulanabilmesini sağlamıştır. Seramik kaplamalı kesici takımlar sayesinde takım ömründe önemli artışlar sağlanmıştır. Buna bağlı olarak işleme ve ilerleme hızlarındaki % 10 – 100 oranındaki artışlar sayesinde işleme sürelerinin kısaldığı, yüzey kalitelerinin iyileştiği gözlenmiştir (67).

Kesici takım malzemelerindeki en önemli gelişme, takımların yüzeylerinin birkaç mikron kalınlığındaki tabaka ile kaplanmasıdır. Kesici takımların yüzey kaplamalarında yaygın olarak dört farklı kaplama malzemesi kullanılmaktadır. En belli başlı kaplama malzemeleri titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN), titanyum karbonitrür (TiCN), alüminyum oksit – seramik (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). (TiN) kaplamalar aşınma etkisini azaltmaktadır. Oksidasyona karşı direncin gerekli olduğu uygulamalarda (TiAlN), sert malzemelerin işlenmesinde (TiCN), kaplamalar en iyi özelliklere sahiptir. Korozyona karşı direncin gerekli olduğu uygulamalarda ise daha kalın seramik kaplamalar kullanılmaktadır.

Kaplama tabakalarının kalınlığı 2 – 12 mikron arasında değişmektedir. İki farklı kaplama yöntemi vardır. Fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirmedir. Fiziksel buhar biriktirme genellikle yaygın olarak hız çeliklerinin kaplanması için kullanılır. Kimyasal buhar biriktirme ile kaplama bugün hemen hemen tüm kesici uç ana malzemeleri için yaygın olarak kullanılabilen, otomatize edilmiş bir yöntemdir. Kaplama tabakası üniform ve homojen, kaplama tabakaları ve ana malzeme arasındaki yapışma mükemmeldir. Tok bir ana malzeme üzerine kaplanan alüminyum

oksit, kaplamalı kesici uca yüksek performans ve güvenilirlik sağlar. Kaplanmamış kesici takımlara göre, kaplanmış takımlarda takım ömründe önemli oranda artışlar gözlemlenmektedir. TiC, TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yüksek aşınma direnci sağlayan, kimyasal olarak başka malzemelerle reaksiyona girmeyen, takım ile talaş oluşumu sırasında kimyasal ve ısı kalkan oluşturan çok sert malzemelerdir. TiN yüksek sertlikte olmamasına rağmen kesici ucun yüzeylerinde düşük sürtünme katsayısı ve daha iyi krater aşınması direnci sağlar. Düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip TiAlN kaplanmış kesici takımlarda, üretilen ısının büyük bölümü talaş ile dışarı atıldığından, talaş oluşumu iyidir (67).

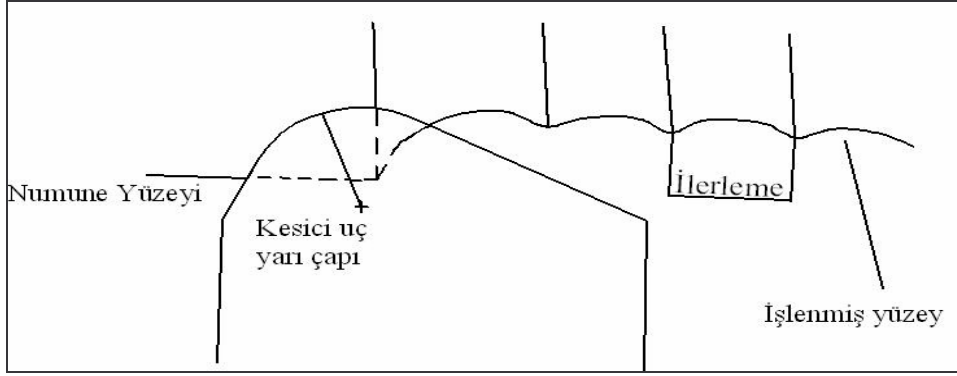
### 3.7. Yüzey Pürüzlülüğü

Tornalama işlemlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi aşağıdaki iki değişkenle özetlenebilir (68). Bunlar;

- i. İdeal yüzey pürüzlülüğü, kesici takımın geometrisi, ilerleme veya ilerleme hızının sonucudur.
- ii. Doğal yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma işlemindeki düzensizliklerin sonucudur.

#### 3.7.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü

Kesici takımdaki hatalar, vuruntular, kaleme yapışan talaş yığılması gibi faktörler azaltıldığında, kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı oluşturulan en iyi bitirme değerlerini gösterir. Sayısal karşılaştırmalar ve analizler için bir dizi veya tek bir faktöre göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek için çok kullanışlı bir yöntem olabilir. Bu amaçla en genel kullanılan dizi Ra aritmetik ortalama değeri olarak bilinir (68). Genellikle pratik kesme işlemlerinde kullanılan takımların ucu yuvarlatılmıştır. İdeal şartlarda bu tür takımla işlenen yüzey Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Böyle bir yüzey için matematiksel ortalama pürüzlülük değerini veren teorik eşitliğin esası, uç kavis yarıçapı ve ilerleme ile yakından bağlantılıdır.



Şekil 3.13. Yuvarlak köşeli kesici uç ile oluşturulan ideal yüzey pürüzlülüğü (68)

Ancak bunun içinde  $Ra$  değerinin hesaplanması için ilerleme ve kesici ucun yarıçapı hesaplamaya katılarak aşağıdaki Eş. 3.12 kullanılmaktadır (68).

$$Ra = \frac{0.00321 \cdot f^2}{r\epsilon} \quad [3.12]$$

Burada;

- $r\epsilon$  : Kesici takım uç yarıçapı (mm)  
 $f$  : İlerlemedir (mm. dev<sup>-1</sup>)

### 3.7.2. Doğal yüzey pürüzlülüğü

Doğal yüzey pürüzlülüğü gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir kısmını içerir. Doğal yüzey pürüzlülüğünü, takım tezgahı, iş bağlama sistemi, takım sistemi ve çalışma ortamı gibi faktörler etkiler. Bununla birlikte kesici kenarındaki yığılmalar da doğal yüzey pürüzlülüğünü arttıran faktörlerdendir. Kesme hızındaki artışla ideal yüzey pürüzlülüğüne yaklaşır (68).

## 4. DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ

### 4.1. Dökme Demirlerin Genel İşlenebilirlik Özellikleri

Dökme demirler, genellikle ferrit, demir karbür ve serbest karbondan oluşan ve endüstri tarafından kullanılan önemli bir malzeme grubudur. Dökme demirin mikro yapısı, döküm metoduyla, soğuma miktarıyla, ısıtma işlemi ve alaşımlama yapıları ile kontrol edilebilir. Döküm sonrası hızlı bir soğuma olursa, sert dökme demir karbür oluştuğundan dolayı sert ve gevrek bir malzeme olur. İşlenebilirliği iyileştirmek için beyaz dökme demir temper fırınlarında ısıtma işlemi uygulanarak, temper dökme demir elde edilir. Isıtma işlemi beyaz dökme demirdeki sementit yapı, başka bir yapıya dönüşür. Temper döküm, dövülebilir çelik gibi mekanik özellikleri çok yüksek olup, dinamik yüklere maruz kalan parçaların yapımında kullanılabilir. Bundan başka sert döküm ve alaşımlı dökme demir türleri de üretilebilir (69).

Esmer dökme demir, kademeli olarak soğutulur ve mikro yapısı grafit - perlit bileşiminden, demir karbür, ince ferrit ve ince grafit lamelleri karışımından oluşur. Kademeli soğutma nedeniyle bunlar yumuşak olduğundan işlemek daha kolaydır. Yapıda demir karbür ve döküm yüzeyinde kumun bulunması, dökme demirin işlenmesini güçleştirir. Ancak tavlama yapılarak (mikro yapı değiştirilerek), yapıda bulunan demir karbürün, grafit, karbon ve ferrite dönüşümü sağlanabilir. Bundan dolayı da dökme demirin işlenmesi kolaylaşır. Ayrıca manganez (Mn), sülfür (S) ve silisyum (Si) katılarak farklı kalitede dökme demir üretilerek de işlenebilirlik kalitesi iyileştirilebilir (69).

Esmer dökme demirin, kır dökme demir ve sféro – küresel grafitli dökme demir olarak iki türü bulunmaktadır. Kır dökme demirin yapısında bulunan, % 1,7 – 4,5 C ve % 1 – 3 Si alaşım elementlerinden dolayı akışkanlığı fazladır. Kır dökme demirde, östenitin ötektik sıcaklıkta, katı eriyik halinde çözebileceğinden fazla olan karbon yapıda serbest grafit şeklinde kalır. Mikro yapıda bulunan grafitler perlitik bir küre şeklinde dağılmıştır. Bu yapı bütün işlenebilirlik metotlarında kolay işleme imkânı



sağlar. Yapıda bulunan grafitler işleme esnasında sürtünmeyi azaltarak bir yağlama maddesi gibi etki eder ve işlemeyi kolaylaştırır.

Küresel grafitli dökme demirler, mikro yapılarında bulunan grafit, küçük zerrecikler halinde olan demir karbür alaşımı olup, bu grafitler ergimiş durumda demire, magnezyum ve serenyum ilave edilerek grafit küreler şeklinde çöker. Bu tür dökme demirler, oldukça iyi mekanik özelliklere sahiptir. Isıl işlem uygulanması ile ferritli bir yapı elde edilerek iyi işlenebilme özelliği sergiler.

Esmer dökme demirler, çok iyi işlenebilirlik özelliğine sahiptir. Takım – iş parçası ara yüzeyinde ve kayma düzlemindeki kesmeden dolayı dökme demir ile diğer malzemelerin davranışları arasında büyük farklar bulunmaktadır. Dökme demirlerde önemli kriter, kayma düzleminde pul şeklinde grafitlerle başlayan çok sık aralıklı birkaç mm boyunca çok ufak talaş oluşturmalarıdır. Talaşlar sürekli olmadığı için talaş yüzeyi üzerinde temas uzunluğu çok kısa, talaşlar ince, kesme kuvveti ve güç sarfiyatı düşüktür. Çizelge 4.1’de perlitik dökme demir ile karbon çeliklerinde değişik kesme hızlarında oluşan kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir (69).

Çizelge 4.1. Perlitik dökme demir ile karbon çeliğinde oluşan kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (69)

Kesme Hızı (m/min)	Dökme Demir	Karbon Çeliği
	Fc (N)	Fc (N)
30	222	520
60	245	490
90	245	445
120	265	422

Küresel grafitli dökme demir, kır dökme demire göre daha üstün mekanik özelliklere sahiptir. Pul yerine küresel grafitler dağılmış olan mikro yapı, işleme esnasında kır dökme demire benzer özellikler gösterir ve benzer tekniklerle işlenebilir. Küresel grafitler kayma düzleminde malzemeyi zayıflatma etkisi yapar ve kırılmayı başlatır. Fakat pul – grafitten daha az etkili olup, uzun talaşlar meydana getirir, bunlar da zayıf olur ve kolayca kırılır. Ancak ferritik küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinde bazı problemlerle karşılaşılır. Malzemenin akma bölgesi oldukça sünektir ve yüksek kesme hızlarında işlendiğinde, takım boşluk yüzeyine yapışabilir. Bu da yüksek kesme kuvvetlerine, yüksek sıcaklıklara ve kötü yüzey kalitesine yol açar.

Bu problem daha yüksek boşluk açısına sahip takım kullanılarak çözülebilir. İşlenebilirlik, dökme demirin türü ve bileşimine bağlı olarak değişmektedir (69, 70). a) Yapısında grafit ve ferrit bulunan düşük dayanımlı dökme demirler daha iyi işlenebilirlik özelliği sergiler, b) Perlitik dökme demirlerde, sertlik ve dayanım arttıkça, kesme hızı ve ilerleme düşer, c) Yapıda karbon oranının az olması, daha düşük kırılma eğilimi gösteren grafit formunun oluşabilmesi sebebi ile daha düşük işlenebilirliğe sebep olur, d) Yapısında yüksek oranda silikon bulunan ferritik dökme demirler, daha sert olup süneklikleri düşüktür ve bu sebeple daha az BUE eğilimi sergilerler, e) Mikroyapıda yüksek perlit bulunması, daha yüksek dayanıma, daha yüksek sertlik ve daha düşük işlenebilirliğe sebep olur, f) İnce lamelli ve ince taneli perlit, daha düşük işlenebilirlik sergiler, g) Mikroyapıda %5 civarında serbest karbür olması, işlenebilirliği önemli ölçüde düşürür, h) Perlitik matrisli bir dökme demirde, perlitin matristeki serbest karbür parçacıklarına asılması sebebiyle, serbest karbürlerin etkisi, perlit matrisli bir dökme demirde daha da olumsuzdur. Bu durum, ferritik yapıda olduğu gibi yumuşak ferrit içine doğru sürüklenme ve itme etkisi yerine, kesici kenarın daha sert parçalar boyunca kesme yapması anlamı taşır, ı) Yüzey alanında yoğunlaşmış ve toplanmış cüruf, döküm kumu ve benzeri düzensizlikler sebebiyle, dökümlerin üst yüzeyi nispeten düşük işlenebilirlik sergiler.

Genel olarak, daha yüksek sertlik ve dayanıma sahip bir dökme demirin tipinin, daha düşük işlenebilirlik özellikleri ile kesici uç ve takımlar için beklenenden daha kısa

takım ömrüne sebep olduğu söylenebilir. Talaşlı imalatta kullanılan dökme demirlerin çoğunun, işlenebilirliği genellikle iyidir. Nispeten daha fazla işleme talebi gösteren daha sert perlitik dökme demirlerde olduğu gibi, “işlenebilirlik seviyesi” önemli ölçüde yapıyla ilişkilidir. Lamel grafitli dökme demirler ve temper dökme demirler, mükemmel sayılabilecek işleme özelliklerine sahipken, küresel grafitli dökme demirlerde işleme özellikleri o kadar iyi değildir.

Dökme demirlerin işlenmesinde karşılaşılan temel aşınma mekanizmaları; abrasiv (aşındırıcı taneciklerle), adhesiv (yapışma) ve difüzyon aşınma mekanizmalarıdır. Abrasyon genellikle; karbürler, kum kalıntıları ve daha sert, hızlı soğumuş üst tabaka tarafından oluşturulmaktadır. BUE (built-up edge) oluşumuyla, adhesyon aşınma eğilimi daha ziyade daha düşük sıcaklıklarda ve daha düşük kesme hızlarında işleme sırasında görülür. Bunun sebebi, kesici uç üzerine kolayca kaynak olabilen, dökme demirin ferritik kısmıdır ve bu durum, kesme hızı ile sıcaklığın artırılmasıyla önlenebilir. Diğer taraftan, difüzyon aşınması sıcaklıkla ilişkilidir ve özellikle daha yüksek dayanıma sahip dökme demir sınıflarının işlenmesinde, yüksek kesme hızlarında ortaya çıkar. Bu sınıflar, daha yüksek sıcaklıklara sebep olan daha büyük deformasyon direncine sahiptirler. Bu tip aşınma dökme demir ile takım arasındaki reaksiyona bağlıdır ve bazı dökme demirlerin yüksek hızlarda, daha iyi yüzey kalitesi elde edilecek şekilde seramik takımlarla işlenmesiyle engellenebilir (70).

#### **4.2. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin (KGDD) İşlenebilirliği**

Metal ürünlerin çoğunun üretimi, arzu edilen son şeklin elde edilmesinde talaşlı imalat işlemlerini içerir. Dökümler, son şekle yakın dökülebilmeleri ve bu sayede hem işleme hem de malzeme maliyetlerini azaltmaları sebebiyle, karmaşık parçaların üretimi için tasarımcılara daha düşük maliyet imkânı sağlar.

KGDD’ler, mükemmel dökülebilirlik özelliklerine ilave olarak işlenebilirlikleri ile de tasarımcılara tüm üretim avantajlarını sunar. Bu malzemenin diğer dökme demir ve çelik dökümlere göre, dayanım özellikleri de oldukça üst düzeydedir. Dökme demirlerin işlenebilirlikleri yapı ve sertlikle belirlenir. Gri, temper ve küresel grafitli

dökme demirlerdeki grafit parçaları, bu malzemelerin kolay işlenebilirlik karakteristikleri ve çeliklerle karşılaştırıldığında çok iyi işlenebilirliğinin sebebidir. Grafit parçaları, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkilerken, matris ise takım ömrünü belirleyen temel faktördür (71).

#### 4.2.1. Takım ömrü ve aşınma

İmalatta çelik bir parça yerine KGDD kullanıldığında “daha iyi işlenebilirlik” en önemli kazanç olarak görülmektedir. Talaşlı imalatla ilgili el kitaplarında, KGDD’lerin çeliğe göre daha iyi işlenebilirlikleri hakkında kesin göstergeler olmamakla birlikte, “General Motors” gibi üreticilerden alınan verilerden, hiporid pinyon ve içi dişli (bileşik) üretiminde, KGDD taslakların, ısıl işlem görmüş dövme çeliklere göre, takım ömründe % 20 ila % 900’ün üzerinde iyileşme sağladığı, tecrübeye bağlı olarak görülmüştür. Bu kurumdaki dişli çark imalatında uygulanan çeşitli işlemlerde, KGDD kullanımı ile takım ömrüne sağlanan iyileşme Çizelge 4.2’de özetlenmiştir (71).

Çizelge 4.2. Dövme çelikler yerine ferritik KGDD kullanımı ile Takım ömründe sağlanan iyileşme (71)

İşleme biçimi	Takım ömründe iyileşme (%)
Pinyon dişli taslakları <ul style="list-style-type: none"> <li>• Punta deliği açma</li> <li>• Delme</li> <li>• Kaba tornalama</li> <li>• İnce tornalama</li> <li>• Taşlama</li> </ul>	30 35 70 50 20
Gri vites dişli taslakları <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fazlalıkların tornalanması</li> <li>• Delme</li> <li>• Raybalama</li> </ul>	200 20 20
Dişli işleme <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinyon –kaba</li> <li>• Pinyon –ince</li> <li>• İç dişli –kaba</li> <li>• İç dişli - ince</li> </ul>	900 233 962 100

Aynı şekilde “fiat” firmasında, hem laboratuvar hem de atölye tecrübelerine dayanan verilerden, 18CrMo4 dövme çelik yerine ferritik dökme demir kullanıldığında, konik dişlilerin imalatı sırasında takım aşınmasında önemli iyileştirmeler sağlandığı gözlenmiş, verimlilik artarken, maliyetler önemli ölçüde azalmıştır. Takım aşınmasında bu iyileşme, Çizelge 4.3’deki verilerden açık bir biçimde görülmektedir (71). Küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliği ile yapılan çalışmada Brinell sertlik değerinin, karbon miktarının ve perlit miktarının artmasıyla takım aşınmasında artma olduğu gözlenmiştir. Aynı çalışmada en yüksek takım aşınması, en sert, karbon konsantrasyonu en fazla ve perlit oranı çok olan malzemede görülmüştür (72,73).

Çizelge 4.3. Dövme 18CrMo4 çeliği ile KGDD’nin işlenebilirliğini karşılaştırılması (71)

		KGDD	KGDD	Dövme 18CrMo4 Çelik	Dövme 18CrMo4 Çelik
Parça	İşlem	İşlenen Parça Sayısı	Aşınma (mm)	İşlenen Parça Sayısı	Aşınma (mm)
Ayna-Mahruti Dişlisi	Kaba delik işleme	250-300	0,5~0,7	80-1000	1,5
	Alın tornalama	250	0,2	100	0,4
	Cıvata deliklerin delinmesi, Raybalanması ve kılavuz çekilmesi	130		500	
	Dişlilerin kaba işlenmesi	1300	0,4 -0,5	180	0,9-1
	Dişlilerin ince işlenmesi	1300	0,2	200	0,5
Konik Pinyon dişli	Her iki uçun ölçüye getirilmesi	3200		1600	
	Sap (mil) kısmının ve konik baş kısmının tornalanması	400	0,4	200	
	Dişlilerin kaba işlenmesi	1300	0,4-0,5	200	0,9 -1
	Dişlilerin ince işlenmesi	1300	0,2	200	0,4

#### 4.2.2. Yüzey kalitesi

KGDD'ler, oldukça ince bitirme yüzeyleri elde edilecek şekilde işlenir. Bitirme yüzeyinin yüzey pürüzlülüğü değeri, tane yapısının inceliğe ve uygulanan bitirme yüzeyi işleme metoduna bağlıdır. Taşlama ve honlama ile 0,1 µm veya daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde etmek mümkündür. KGDD'lerin farklı sınıfları için değişik işleme yöntemleri ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri, mikro inch ve µm olarak, Çizelge 4.4'de gösterilmiştir (71).

Çizelge 4.4. Farklı işleme metotları ile işlenen KGDD'lerde yüzey pürüzlülük değerleri (71)

	KGDD sınıfı							
	60-40-18 152 BHN		80-55-06 223 BHN(~20HRc)		100-70-03 265BHN (~22HRc)		120-99-02 302 BHN(~32HRc)	
İşleme biçimi	mikroinch	µm	mikroinch	µm	mikroinch	µm	mikroinch	µm
Düzlem taşlama kaba	15-30	0,38-3,76	15-25	0,28-0,64	15-25	0,38-0,64	15-25	0,38-0,64
Düzlem taşlama ince	4-15	0,10-0,38	4-15	0,10-0,38	3,12	0,08-0,38	3-10	0,08-0,25
Silindirik Taşlama-kaba	21	0,53	21	0,53	21	0,53	21	0,53
Silindirik Taşlama-ince	4	0,10	4	0,10	4	0,10	4	0,10
Düzlem lebleme kaba	12-20	0,30-0,51	12-20	0,30-0,51	12-20	0,30-0,51	12-20	0,30-0,51
Düzlem lebleme ince	6-11	0,15-0,28	6-11	0,15-0,28	6-11	0,15-0,28	6-11	0,15-0,28
Silindirik lebleme	7-9	0,18-0,23	7-9	0,18-0,23	7-9	0,18-0,23		
Honlama	4-6	0,10-0,15	4-6	0,10-0,15	4-6	0,10-0,15	4-6	0,10-0,15
Süper bitirme	5-11	0,13-0,28			5-9	0,13-0,23	3-4	0,08-0,10

### 4.2.3. KGDD diğ er işlenebilirlik özellikleri

Bir dökümün işlenebilirliği, tüm işlenebilirlik kavramının önemli bir parçasıdır. İşleme payı; verimliliği, ürün miktarını ve işleme maliyetlerini etkiler. Çelik, dökümlerle karşılaştırıldığında, KGDD'ler aynı kesit ölçüleri için daha düşük bir işleme payına ihtiyaç gösterirler. Çok yüksek yoğunlukta kalıplamadan kaynaklanan döküm boyutlarındaki yüksek tutarlılık ve azaltılmış yüzey kusurları, işleme payının daha da azalmasına müsaade edebilir. Döküm boyutlarındaki tutarlılık, modern ve otomatik işleme merkezlerinde yüksek performans alınması için kritik bir faktördür. Müşteri spesifikasyonlarındaki üretilebilirlik kriterlerinin birleştirilmesi ve özdeş dökümlerin kaynağı olarak vasıflı KGDD dökümcüsünün seçimi, parçaların üretilebilirliğini önemli ölçüde iyileştirebilir ve son kullanıcıya ürün kalitesine bir artış sağlayabilir (71).

### 4.3. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliği

ÖKGDD'lerin esasını teşkil eden KGDD'lerin işlenebilirliği konusunda bölüm 4.2'de verilen bilgiler ışığında ÖKGDD'lerin işlenebilirliği için de yaklaşımlara bulunmak mümkündür. Oldukça yeni sayılabilecek bu malzemelerin, yüksek aşınma direnci ve tokluk özelliklerinin yanı sıra diğ er mekanik özelliklerindeki üstünlükleri nedeniyle, özellikle otomotiv sektöründeki kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır. Buna rağmen, bu malzemelerin işlenebilirliği konusunda, literatürde akademik anlamda yapılmış çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu amaçla yapılmış ve bu deneysel çalışmanın sonuçları, literatürdeki bu boşluğu dolduracak özellikte görülmektedir.

ÖKGDD'lerin sergilediği dayanım ve aşınma direncindeki önemli artışlar göz önüne alındığında, bu malzemelerde bazı işlem problemleri ile karşılaşılabilceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, bu malzemelerin mekanik özellikleri ve işlenebilirliği arasında sürpriz birleşim iki aşamada sorgulanabilir. Birincisi, ÖKGDD'lerin daha yumuşak sınıflarının işlenebilirliği eşdeğer dayanıma sahip çeliklerin işlenebilirliğine eşit veya daha iyidir. İkincisi, östemperleme ısıl işlemi süresince ÖKGDD'nin tahmin edilebilir geliştirilen özellikleri, bu malzemenin ısıl

işlemeden önceki yumuşak döküm halinde veya ön bir ısıl işlemlerle tamamen işlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durumda, daha yüksek hız ve ilerlemelerin kullanılması ve takım ömrünün iyileştirilmesi mümkündür.

ÖKGDD'lerin, ısıl işlem süresince yaklaşık % 0,4'lük bir boyut değişim sergilediği bilinmektedir ve ÖKGDD'ler için, bu tahmin edilebilir bir boyut değişimidir. Boyut değişimi, dar toleranslara sahip bir parçanın, ısıl işlemden önce başarıyla işlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da, düşük dayanıma sahip ÖKGDD sınıflarının, ısıl işlemden sonrada işlenebilmesi için, tavsiye edilen başlangıç değerleri verilmiştir (71).

Çizelge 4.5. Düşük dayanımlı ÖKGDD sınıflarının işlenmesi için kılavuz değerleri (71)

İşleme biçimi	Takımlar	Kesme hızı (m/min)	İlerleme (mm/dev)
Tornalama	TiC kaplı K20 uç Talaş açısı $\mu=6^0$ Kesme sıvısı yok takım kuvveti 1,6-1,8 Kn/mm <sup>2</sup>	50-70	Kaba: 0,5~1,0 İnce:0,15~0,3
Delme	Karbür uçlu Matkaplar	12-15	0,05-0,12
Tığ çekme (kama kanalı için)	Yüksek hız çeliği $\mu=10^0$ , $\alpha=5^0$ Kesme sıvısı ile	3-6	0,05-0,08



Çizelge 4.6. Düşük dayanımlı-düşük manganlı ÖKGDD için tavsiye edilen işleme şartları (71)

İşleme biçimi	Tornalama		Delme	
	HSS	SİN <sub>2</sub>	HSS	Karbür
Kesme parametreleri				
Kesme hızı (m/min)	100	100	20	50
İlerleme (mm/dev)	0,355	0,25	0,25	0,18
Talaş derinliği (mm)	2	4	12,5 d	11,5 d
Aşınma (mm)	0,7	0		
Takım ömrü (min)	12	>10	20	25
Yağlama	Var	Var	Var	Var

Moncada, Spicacci ve Sikora, 360, 320 ve 280 °C’de östemperlenmiş üç farklı sınıf ÖKGDD üzerinde ISO 3685’e göre yaptıkları işlenebilirlik deneyleri ile farklı kesme hızlarında 15 dakikalık takım ömrü için, farklı imalatçılara ait farklı ISO sınıflarına (grade) sahip kesici takımlarla, takım aşınma eğilimlerinin inceleyerek ÖKGDD’lerin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar sonunda, 360, 320 ve 280 °C de östemperlenmiş numunelerin işlenebilirliğinin, % 15,40 ila % 50 daha düşük olduğu uygulamada pozitif talaş açısı ile daha iyi sonuçlar alındığı, kaplanmış takımların, kaplanmamış takımlara göre daha yüksek işlenebilirlik özellikleri sergiledikleri, soğutma sıvısı kullanımının işlenebilirliği olumlu yönde etkilediği (kaplamasız takımlarda bu etki ihmal edilebilir ölçülerdir) görülmüştür (73).

Bu araştırmanın sonuçları en genel haliyle, ÖKGDD’lerin işlenmesinde, pozitif talaş açılı kaplanmış sementit karbür takımlarla, soğutma sıvısı kullanılarak en iyi işleme özellikleri elde edilmektedir, şeklinde özetlenebilir. Literatür araştırması, ÖKGDD’lerin işlenebilirliği ile ilgili çalışmaların oldukça sınırlı düzeyde kaldığını göstermiştir. Literatürde bu malzeme ile ilgili kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlüğünün değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu durum, bu çalışma ile elde edilen sonuçların, literatürdeki verilere bir katkı sağlayacağını göstermektedir.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

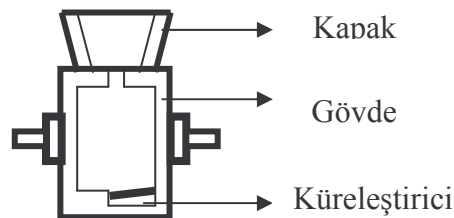
### 5.1. Döküm İşlemi ve Alaşımlama

Döküm yolu ile  $\varnothing$  35 x 250 mm boyutlarında çubuk şeklindeki numuneler üretilmiştir. Ergitme işlemi 600 kg kapasiteli orta frekanslı ergitme tipi Inducterm marka indüksiyon ocağı kullanılarak yapılmıştır. İndüksiyon ocağına şarj girdisi olarak; sfero piki (külçe şeklinde), çelik hurdası, döngü hurdası (yolluk ve besleyici parçaları), alaşım elementi olarak Cu ergitme ocağında ilave edilmiştir. Şarj malzemesi olarak kullanılan sfero pikinin kimyasal analizi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Ergitilmiş olan metal, döküm sıcaklığına ulaştıktan sonra ( $\sim$ 1450 °C) küreleştirme ve aşılama işlemleri yapılmıştır. Küreleştirme işlemi Tundish tipi işlem potasında (Şekil 5.2.) ve aşılama işlemi döküm potasında gerçekleştirilmiştir. Küreleştirme işleminde bileşimi Çizelge 5.2’de verilen FeSi-Mg malzemesi ve aşılama işlemi için de bileşimi Çizelge 5.3’de verilen FeSi malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Sfero piki kimyasal bileşimi

Element	Fe	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Sn
% Miktarı	95	4,1	0,277	0,04	0,004	0,031	0,03	0,005– 0,021	0,0005



Şekil 5.1. Tundish tipi küreleştirme işlem potasının şematik gösterimi

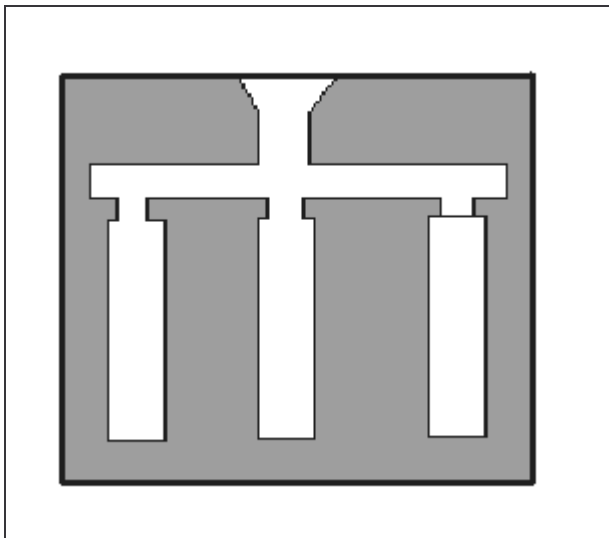
Çizelge 5.2. Küreleştirici malzemesinin (FeSi-Mg) kimyasal bileşimi

% Si (min)	% Mg	% Al	% C	% Fe
43-48	6-7	0,5-1	3 – 3,5	47,5 – 40,5

Çizelge 5.3. Aşılama malzemesinin ( FeSi) kimyasal bileşimi

% Si (min)	% Al (max)	% P (max)	% S (max)
75	2	0,03	0,03

İşlem potasından alınan sıvı metal, yaş kum kalıplara (Şekil 5.2.) dökülerek oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin dökümü sırasında kimyasal bileşimin tespiti için ayrıca spektral analiz numuneleri dökülmüş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Çubuk numunelerin üretildiği yaş kum döküm kalıplarının şematik resminin kesit görünüşü

Çizelge 5.4. Bu çalışma için üretilen KGDD numunelerin kimyasal bileşimleri

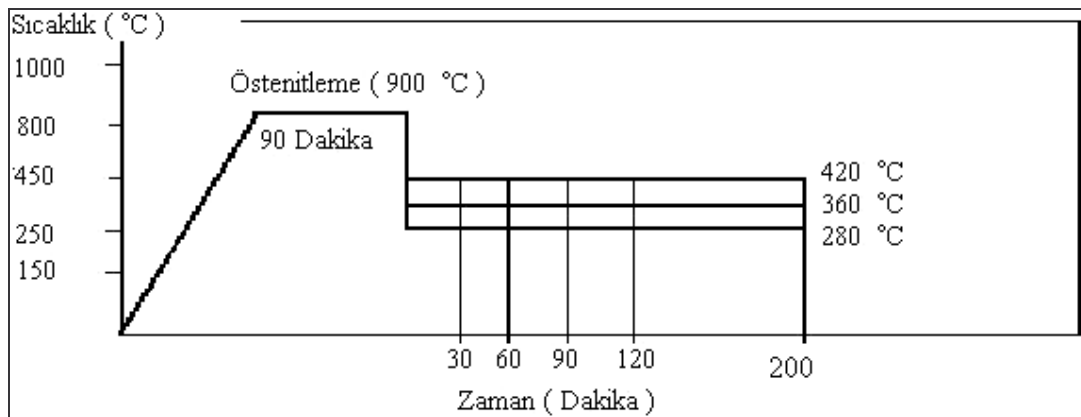
% C	% Si	% Mn	%P	% S	% Ni	% Cu	% Cr	% FE
3,96	1,74	0,293	0,026	0,018	0,039	0,96	0,042	92,292

## 5.2. Metalografi

Üretilen parçalardan numunelerin standard polisaj işlemi tamamlandıktan sonra birim alana ( $\text{mm}^2$ ) düşen grafit küre sayısı, dağlanmamış numune yüzeyinden X 100 büyütmede 10 ayrı bölgeden yapılan sayımlarla belirlenmiştir. Faz hacim oranlarının ölçümü % 2 Nital ile dağlanmış numune yüzeyinden “Çizgisel Kesişme” metodu kullanılarak 10 ayrı bölgeden alınan ölçümlerle belirlenmiştir.

## 5.3. Isıl İşlemler

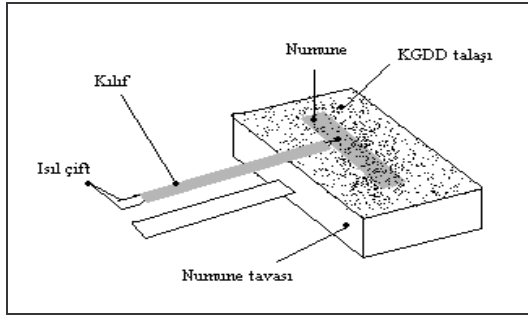
Uygulanan ısıl işlemlerin özeti Şekil 5.3’te verilmiştir. Isıl işlemler için dökülen numuneler kullanılmıştır. Isıl işlemler süresince sıcaklık ölçümleri numunenin bir yüzeyine nokta kaynağı ile kaynatılmış K tipi ısıl çift ile yapılmıştır.



Şekil 5.3. Uygulanan ısıl işlemlerin şematik özeti

### 5.3.1. Östenitleme

Östenitleme işlemleri normal atmosferde yapılmıştır. Numuneleri işlem sırasında dekarbürizasyondan korumak için kendi talaşlarının bulunduğu numune tavası içerisine (Şekil 5.4.) gömülmüştür.



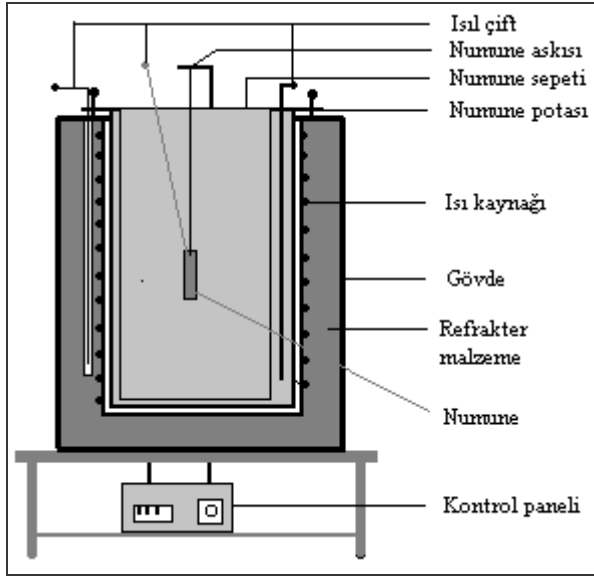
Şekil 5.4. Numunelerin östenitleme fırınına yerleştirilmesinde kullanılan sistem

Numuneler bütün ısıl işlemler boyunca fırın içerisinde daha önce sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı aynı yere yerleştirilerek sıcaklık  $\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tutulmaya çalışılmıştır.

### 5.3.2. Östemperleme

Östemperleme ısıl işlemleri Şekil 5.5'de şematik kesit görünüşü verilen 2,5 kw gücünde ve 200 V ve 13 A, PID kontrol sistemli  $t = \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  hassasiyetle çalışan tuz banyosunda yapılmıştır.

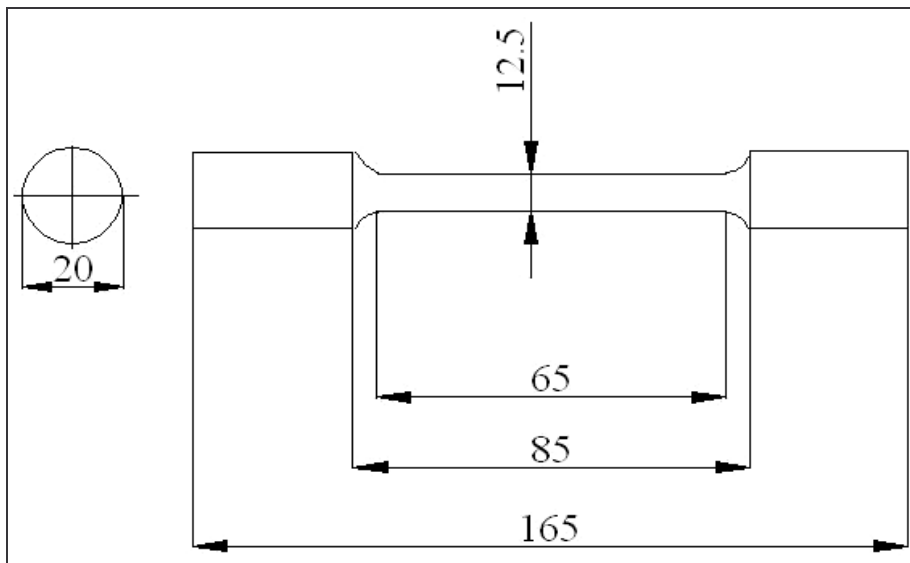
Östemperleme ısıl işlemleri boyunca numuneler fırın içerisinde aynı bölgede tutulmuştur.  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de östenitleme ardından hızlı bir şekilde % 50  $\text{NaNO}_3$  ve % 50  $\text{KNO}_3$  karışımı içeren tuzlardan hazırlanan tuz banyosuna daldırılan numuneler farklı sürelerde (30, 60, 90, 120 ve 200 dakika) bekletildikten sonra oda sıcaklığına havada soğutulmuştur.



Şekil 5.5. Östempereleme işleminin yapıldığı tuz banyosunun şematik gösterimi

#### 5.4. Çekme Deneyi

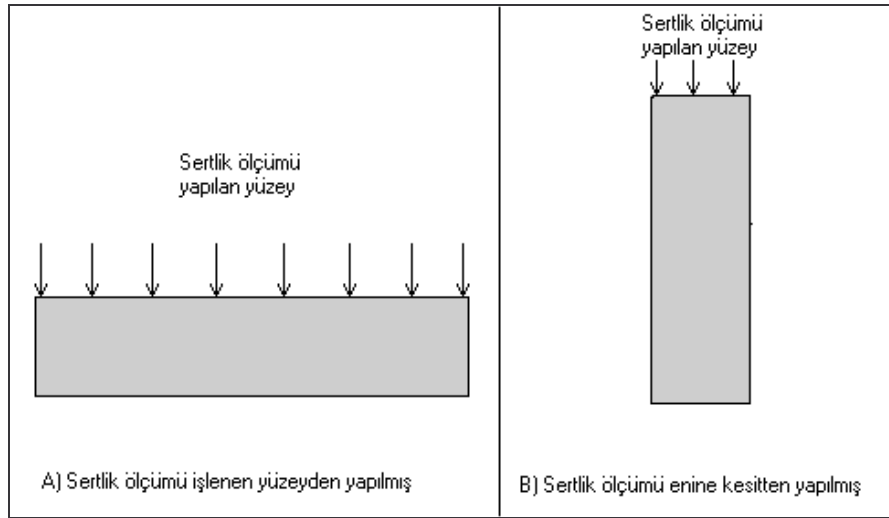
CNC torna tezgahında işlenen numuneler ısı işlemler sonrası TS 526'da belirtilen boyutlara getirilmiştir (Şekil 5.6.). Çekme deneyi 60 ton yük uygulama kapasiteli Amsler marka çekme cihazında oda sıcaklığında 2 mm/sn hızda çekilmiştir. Gerilim ve yüzde uzama değerleri deney sırasında grafik olarak kaydedilmiştir.



Şekil 5.6. Çekme deney numunesi boyutları

## 5.5. Sertlik Deneyi

Sertlik deneyi; hem işlenmiş, hemde enine kesitten 10 farklı noktadan çok hassas olarak hazırlanan numune yüzeylerinden tüm bölgeleri temsil edecek biçimde Instron marka sertlik cihazında Rockwell C cinsinden değerleri ölçülmek suretiyle yapılmıştır (Şekil 5.7.).



Şekil 5.7. Sertlik ölçümünün yapıldığı yüzeylerin gösterilmesi

## 5.6. İşlenebilirlik Deneyleri

### 5.6.1. Metod

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan numuneler, bu bölümün diğer kısımlarında anlatılan malzemelerden,  $\emptyset 35 \times 250$  mm boyunda hazırlanmış olup, östemperleme sıcaklık ve süresini göz önüne alınarak, Çizelge 5.5’de görüldüğü gibi kodlanmıştır.

Çizelge 5.5. Numunelerin östemperleme süresi ve sıcaklığına göre kodları

Kodu	Östemperleme Sıcaklığı (° C )	Östemperleme Süresi (dakika)
1		Döküm Halde (östemperleme uygulanmamış)
2A	280 °C	30 Dakika
3A	360 °C	
4A	420 °C	
2B	280 °C	60 Dakika
3B	360 °C	
4B	420 °C	
2C	280 °C	90 Dakika
3C	360 °C	
4C	420 °C	
2D	280 °C	120 Dakika
3D	360 °C	
4D	420 °C	
2E	280 °C	200 Dakika
3E	360 °C	
4E	420 °C	

Kaldırılan talaş miktarı; (f) 0,1 mm/dev ve talaş derinliği (a) 1 mm olacak şekilde sabit tutulmuştur. Standarda göre seçilen kesici takım malzemesi ve geometrisi bütün deneyler için aynıdır. Kullanılan değiştirilebilen sert metal (sementit karbür) uç kesici takım ISO 3685’de önerildiği şekilde, 75° yanaşma açısına sahip olup, ISO 1832’ye uygun SNMA 120404 formunda, takım tutucu biçimi ise ISO 5608’e göre PSB NR-2525-M12 olarak seçilmiştir. Kesici ucun kalitesi (grade) östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri dikkate alınarak kesici takım üreticisi “Mitsubishi” firması tarafından önerilen parametrelere göre seçilmiştir. Kesici uç üreticisi firma verilerinden yola çıkılarak ve ÖKGDD’ler için tavsiye edilen verilerin olmaması dikkate alınarak (K12), talaş kaldırma sistemlerinde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.



Çizelge 5.6. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesme parametreleri

Kesme hızı, (V) (m/min)	İlerleme, (f) (mm/dev)	Talaş derinliği, (a) (mm)
50	0,1	1
75	0,1	1
100	0,1	1
125	0,1	1

Kesme hızı değişen 4 farklı değere göre seçilmiştir, diğer işleme parametreleri sabit olarak çalışma yapılmıştır.

### 5.6.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı atölyesinde bulunan fonuc kontrol ünitesine sahip TC-35 johnford torna tezgahında mevcut, üç boyutlu ölçüm yapabilen, (asıl kesme kuvveti  $F_c$ , ilerleme kuvveti  $F_a$  ve pasif/radyal kuvveti  $F_p$ ) aynı anda ölçebilen, torna tipi “Kistler 9257 B” dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre ölçümleri doğrudan bilgisayar ortamına aktarılmış ve hazırlanan “Dynoware” bilgisayar programı ile grafiğe dökülerek çıktılar alınmıştır.

### 5.6.3. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Tornalamak suretiyle işlenen numunelerin yüzey pürüzlülükleri, “Mahr” marka perthometer M1 tipi, masa üstü, yazılı çıktı verebilen pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan cihazın teknik özellikleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7.Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri

MODEL	M1
Ölçme prensibi	Sylus metodu
Tarama hızı (mm/s)	0,5
Ölçüm aralıkları	100-150
Profil çözünürlüğü (mm)	12
Filtre	Gaussian
Cut –off'lar (mm)	0,08-0,25-0,8-2,5
Tarama uzunluları	1,75-5,6-17,5
Örnekleme uzunluğu sayısı	1-5 arası seçilebilir.
Dil	Seçilebilir 10 avrupa, 3 asya dili
Güç kaynağı	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar (boy x en x yük)	190x170x75mm
Yaklaşık ağırlık	900 gr

## 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 6.1. Değerlendirme Kriterleri

Küresel grafitli dökme demirler ve ÖKGDD'ler konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar, alaşım elementleri tür ve miktarlarının yapı ve özelliklere etkileri (1), yapılan ısıt işlemlerin malzeme özelliklerine etkileri (1), üretilen malzemelerin aşınma özellikleri (1) ve işlenebilirlikleri (2), konularını içermektedir. Ancak özellikle bu çalışmaya benzerlik taşıması bakımından işlenebilirlik çalışmaları (2) değerlendirildiğinde; bu çalışma belirli bir malzemeye (GGG 60) östemperleme sıcaklık (280, 360, 420 °C) ve sürelerinin (30, 60, 90, 120, 200 dakika) etkileri ve sonuçları üretilen malzemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerinin amacını taşımaktadır. Aynı zamanda üretilen (GGG 60) malzemesi yaygın kullanıma sahiptir ve farklı kesme parametrelerine göre değişimleri hedefleyen başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan diğer çalışmalarda (2) özellikle farklı östemperleme sıcaklık ve sürelerinde üretilen ÖKGDD'lerin işlenebilirliğinin araştırılması gerektiği ifade edilmektedir.

Tüm bu ifadeler doğrultusunda farklı sıcaklık ve sürelerde östemperlenen KGDD'lerin farklı kesme hızları kullanılarak talaş kaldırma işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesinin amaçlandığı bu çalışma yapılmıştır.

KGDD'lerin üstün mekanik özelliklerinin elde edilmesinde, ilave alaşım miktarlarının türü ve miktarı büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, KGDD'lerin diğer dökme demirlerden daha iyi olan dayanım ve tokluk özellikleri östemperleme ısıt işlemi uygulanması ile daha da iyileşmektedir. Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD)'lere bu üstün özellikleri, östemperleme ısıt işlemi ile elde edilen matris yapı (ferrit+yüksek karbonlu östenit) sağlamaktadır (1).

Diğer dökme demirlere göre üstün mekanik özelliklere sahip KGDD'lerin işlenebilirlik özelliklerine bakıldığında, nispeten daha düşük özellikler sergilediği bilinmektedir. Aynı zamanda, yapı içerisindeki karbon, ferrit, perlit ve karbür muhtevası da işlenebilirlik parametreleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Benzer şekilde alaşım elementlerinin ve alaşım miktarının da işlenebilirlik üzerinde ciddi etkileri söz konusu olup, bazı alaşım elementlerinin işlenebilirlik üzerinde olumlu etkiye sahipken, bazı alaşım elementleri olumsuz etki yapmaktadır. Bu çalışmada, incelenen ÖKGDD numunelerde, ilave alaşım elementi olarak bakır (Cu) kullanılmıştır. Özellikle Cu'ın işlenebilirlik üzerindeki olumsuz etkiler bilinmektedir (74-76). Aynı şekilde sünek bir yapıya sahip bakırın, talaş kaldırma sırasındaki sıvanma eğilimi, takım kesici kenarında BUE oluşumunu hızlandırmaktadır. Bu yaklaşımlar baz alınarak, farklı sürelerde östemperleme işlemine tabi tutulmuş ve farklı östemperleme sıcaklığına sahip numuneler üzerinde yapılan deneylerde, temel işlenebilirlik parametrelerinden kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü dikkate alınarak, östemperleme süresi ile östemperleme sıcaklığının bu parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Aynı şekilde, östemperleme işlemine tabi tutulmayan, dökülmüş haldeki numune üzerinde de aynı deneyler gerçekleştirilerek, östemperleme sıcaklığının ve süresinin bu kriterler üzerindeki etkisini karşılaştırmak hedeflenmiştir.

## **6.2. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Östemperleme Isıl İşlem Şartlarının Etkileri**

### **6.2.1. Östemperleme sıcaklık ve süresinin ÖKGDD'lerin mikro yapısına etkileri**

Bu çalışmada kullanılan KGDD, dökülmüş halde mikro yapısı yaklaşık % 82 perlitik ve % 18 ferritik matristen meydana gelen bir mikro yapıya sahiptir. Aynı zamanda döküm yapısında küre şeklinde grafitler bulunmaktadır. İfade edilen matris değerleri verilirken grafit hacimleri değerlendirmeye alınmamıştır. Numuneler aynı zamanda yaklaşık olarak % 8-9 oranında grafit hacmine sahiptir.

Bu KGDD, 900 °C sıcaklıkta 60 dakika östenitlenmiştir. Ardından 280, 360 ve 420 °C sıcaklık ve 30, 60, 90, 120 ve 200 dakika östemperleme işlemi uygulanarak incelenen mikro yapıda küre şeklindeki grafitler ve farklı oranlarda ösferritik yapılar görülmüştür.

Çalışma kapsamında üretilen döküm durumu ve östemperleme ısıl işlem sonrası numunelerin mikroyapılarında bulunan fazlar ve bu fazların hacim oranları metalografik numune hazırlama işlemlerinin ardından “Çizgisel Kesişme” metodu kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 6.1’de verilmiştir. Aynı zamanda bu numunelere ait mikro yapı resimleri Resim 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4’de görülmektedir.

Diğer yandan, aynı şartlardaki numunelerde bulunan grafit küre sayıları da ölçülerek Çizelge 6.2’de verilmiştir. Sonuçlar döküm durumundaki küre sayısına kıyasla tüm ısıl işlem şartlarında küre sayısında azalma olduğu görülmektedir. Östemperleme ısıl işlemi sonucunda özellikle östenitleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak grafit kürelerinin sayı ve boyutları değişmektedir. Sıcaklığın artması ve ısıl işlem süresinin uzaması ile birlikte karbon atomlarının difüzyonu kolaylaşmaktadır. Bunun sonucunda döküm işlemi sırasında oluşan yüksek orandaki grafit küre sayısı, ısıl işlem ile birlikte azalmakta, diğer yandan boyutu büyümektedir. Döküm işlemi

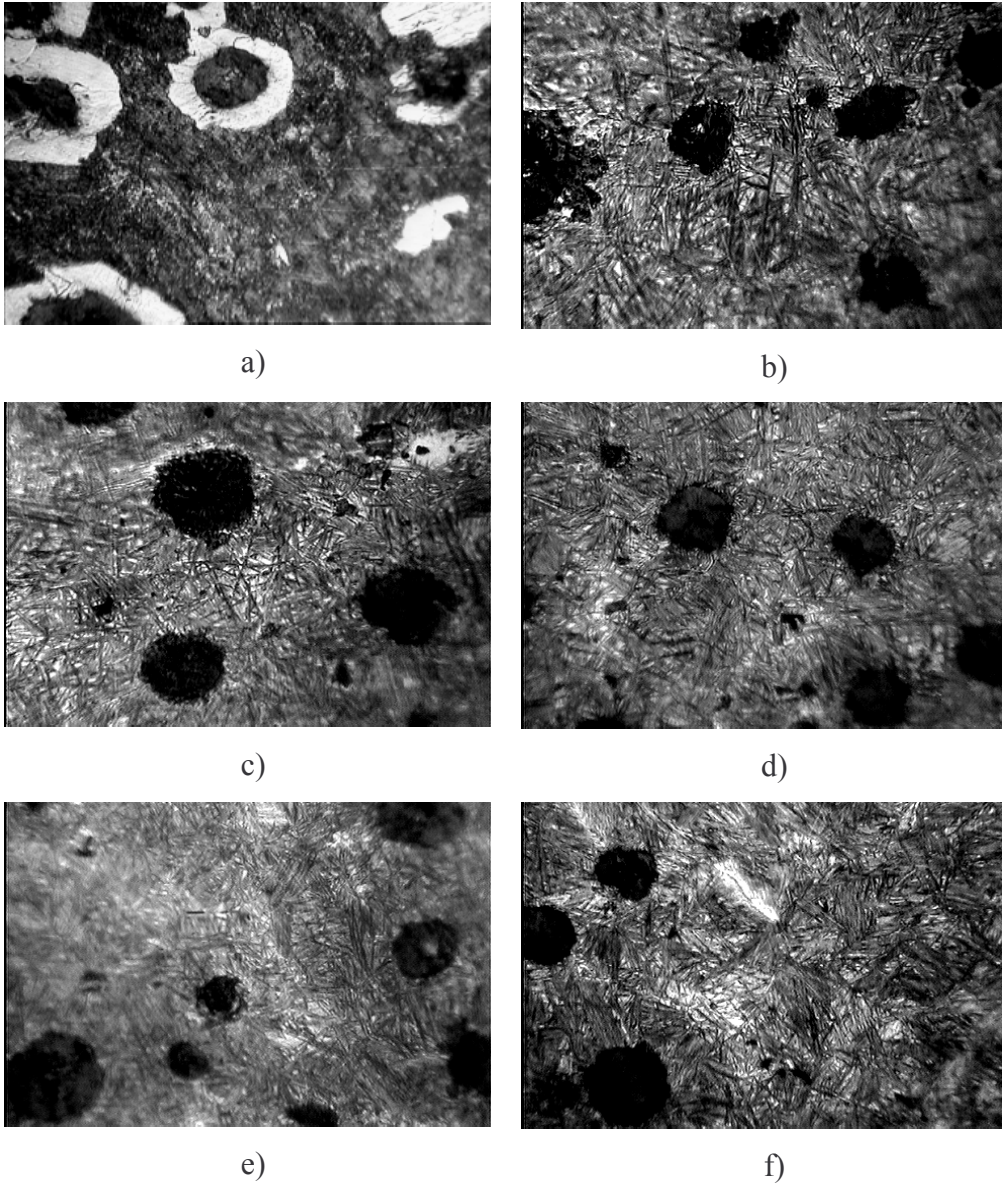
sonucunda elde edilen KGDD'in yapısı incelendiğinde yapının; %8-9 oranında grafit küreleri, %82 perlit ve %18 ferrit fazlarından oluşan matris yapıdan meydana geldiği görülmektedir. KGDD'lerde yapılarının şekillenmesinde kesit kalınlığı, ana malzeme bileşimi, aşılama gibi işlemler ve alaşım elementleri önemli rol oynamaktadır. Bu çalışma için üretilen numunelerin GGG 60 standardında KGDD olabilmesi için yaklaşık % 1 kadar Cu ilavesi yapılmıştır. Bilindiği üzere Cu perlit oluşturuca etkiye sahip elementlerden birisidir. Bu çalışma sonucunda ilave edilen Cu miktarının hedeflenen malzemenin (GGG 60) üretimi için yeterli olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.1. Östemperleme ısıl işlemi sonucunda elde edilen fazlar ve yüzde oranları

İşlem Sıcaklığı	Östemperleme Süreleri (Dakika)					
	Isıl işlemsiz	30	60	90	120	200
	Faz (% oran)					
Döküm durumunda	P (%82) F (%18)					
280 °C	P (%82) F (%18)	Ö.F.(%85) D.Ö (%15)	Ö.F.(%90) D.Ö (%10)	Ö.F.(%95) D.Ö (%5)	Ö.F. (%98) D.Ö (%2)	Ö.F.(%100) D.Ö (%0)
360 °C	P (%82) F (%18)	Ö.F.(%70) D.Ö (%30)	Ö.F.(%75) D.Ö (%25)	Ö.F.(%86) D.Ö (%14)	Ö.F. (%92) D.Ö (%8)	Ö.F. (%98) D.Ö (%2)
420 °C	P (%82) F (%18)	Ö.F.(%60) D.Ö (%40)	Ö.F.(%65) D.Ö (%45)	Ö.F.(%75) D.Ö (%25)	Ö.F. (%88) D.Ö (%12)	Ö.F.(%90) D.Ö (%10)
P: perlit, F: ferrit, Ö.F: Ösferrit, D.Ö: Dönüşmemiş Östenit						

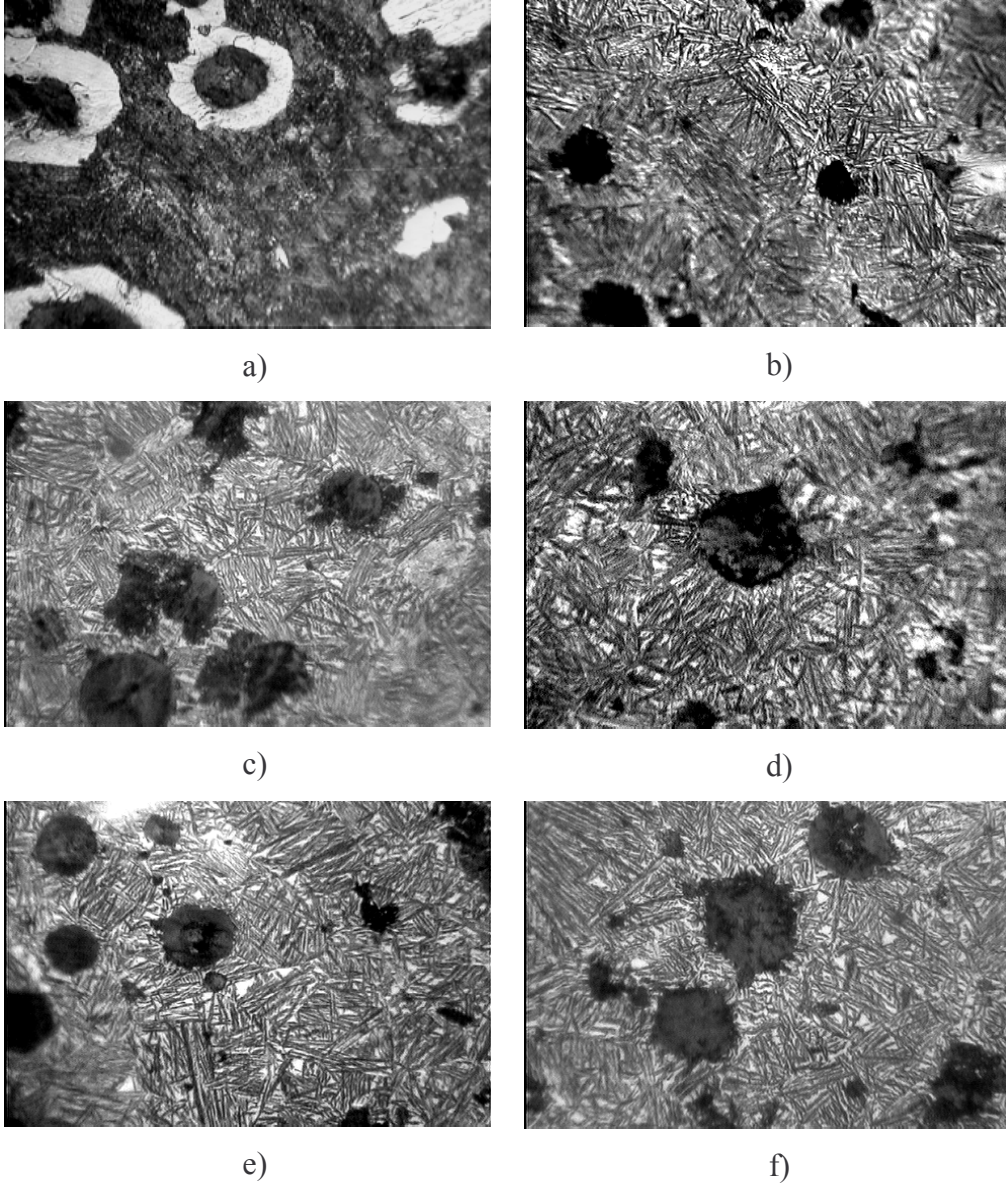
Çizelge 6.2. Östemperleme ısıl işlemi sonucunda elde edilen grafit küre sayıları

İşlem Sıcaklığı	Östemperleme Süreleri (Dakika)					
	Isıl işlemsiz	30	60	90	120	200
	Küre Sayısı (küre/mm <sup>2</sup> )					
280 °C		150	163	170	194	163
360 °C		188	164	181	162	156
420 °C		200	185	160	196	185
Döküm durumunda : 210 küre/mm <sup>2</sup>						



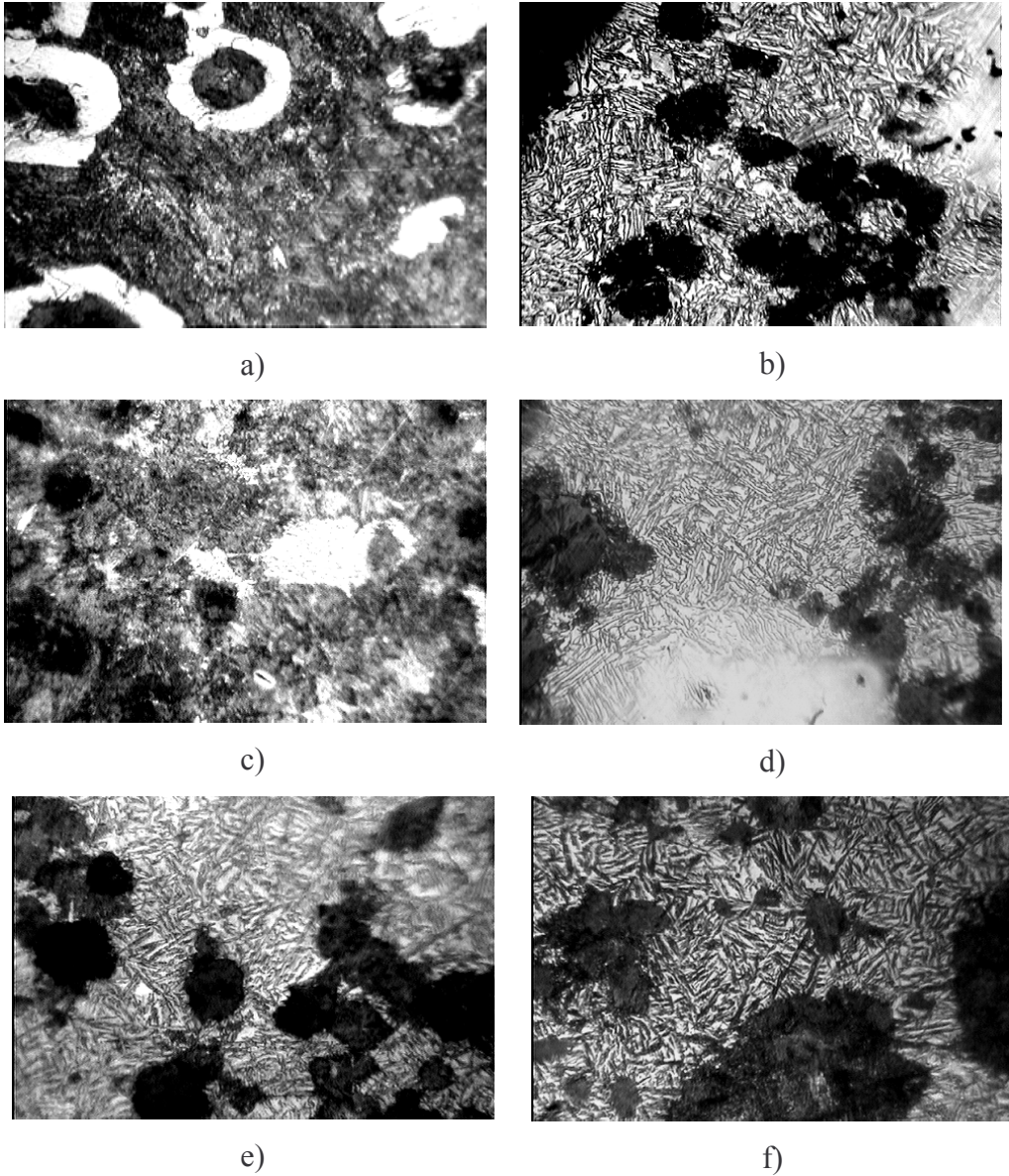
Resim 6.1. ÖKGDD'lerin mikro yapı görüntüleri: a) Döküm durumundaki KGDD; 280°C sıcaklıkta b) 30 dakika, c) 60 dakika, d) 90 dakika, e) 120 dakika ve f) 200 dakika östemperleme sonucunda üretilen numuneler (X 280)





Resim 6.2. ÖKGDD'lerin mikro yapı görüntüleri: a) Döküm durumundaki KGDD; 360 °C sıcaklıkta; b) 30 dakika, c) 60 dakika, d) 90 dakika, e) 120 dakika ve f) 200 dakika östemperleme sonucunda üretilen numuneler (X 280)





Resim 6.3. ÖKGDD'lerin mikro yapı görüntüleri: a) Döküm durumundaki KGDD; 420 °C sıcaklıkta; b) 30 dakika, c) 60 dakika, d) 90 dakika, e) 120 dakika ve f) 200 dakika östempereleme sonucunda üretilen numuneler (X 280)

Döküm yoluyla üretilen numuneler öncelikle 900 °C sıcaklık ve 60 dakika süre ile östenitleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu sıcaklık ve sürenin malzeme yapısının tamamen östenite dönüşebilmesi için yeterli olduğu daha önceki yapılan çalışmalardan bilinmektedir (1). Östenitlemenin ardından numuneler 280, 360 ve 420 °C sıcaklık ve 30, 60, 90, 120 ve 200 dakika sürelerle östempereleme (izotermal bekleme) işlemine tabi tutulmuşlardır. Isıl işlemler sonucunda üretilen ÖKGDD'ler

mikro yapısal açıdan incelenmişlerdir. İnceleme sonucunda ısıtılma işlemi uygulamasıyla perlitik + ferritik olan döküm matrisin ferrit ( $\alpha$ ), yüksek karbonlu östenit ( $\gamma$  y.k) ve ısıtılma işlem şartlarına bağlı olarak dönüşmemiş östenitten (D.Ö.) meydana geldiği tespit edilmiştir. Östemperlenmiş numunelerde, % 2 nital ile dağlama sonucunda, ferrit ( $\alpha$ ) koyu, yüksek karbonlu östenit ( $\gamma$  y.k ) açık renkli ve dönüşmemiş östenit (D.Ö.) ise açık renkli geniş alanlar olarak görülmektedir.

ÖKGDD'in yapısını ilave edilen alaşım elementleri tür ve miktarları, östenitleme sıcaklık ve süresi, östemperleme sıcaklık ve süresi ile döküm durumundaki yapısı belirlemektedir (77, 78). Östemperleme ısıtılma işleminde yapısal dönüşümün üç ana aşamada gerçekleştiği bilinmektedir ( 79, 80, 81). Bunlar;

- i. Aşama:  $\gamma \rightarrow$  ferrit ( $\alpha$ ) + yüksek karbonlu östenit ( $\gamma$  y.k ) + dönüşmemiş östenit
- ii. Aşama: İşlem aralığı
- iii. Aşama: Yüksek karbonlu östenit ( $\gamma$  y.k )  $\rightarrow$  ferrit ( $\alpha$ ) + karbür

oluşumu olarak ifade edilmektedir. Bu aşamalardan 1. aşamadaki östenitten ferritin çekirdeklenmesi ve yüksek karbonlu östenitin ( $\gamma$  y.k) oluşmasıyla başlayıp, yapıda dönüşmemiş östenit alanlarının kalmadan tamamen ösferrite ( $\alpha+\gamma$  y.k) dönüşümün gerçekleştiği aşamaya 2. aşama (işlem aralığı) denilmektedir. Bu aşama çok önem taşımaktadır. 2. aşama, östemperlenmiş KGDD'lerin kararlı yapı ve özelliklerinin elde edildiği aşama olmaktadır. Bu nedenle ÖKGDD üretiminde bu aşamanın iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Bu aşamayı da yine östemperleme sıcaklık ve süresi ile alaşım elementlerinin tür ve miktarları önemli oranda belirlemektedir. Özellikle bazı alaşım elementleri (Mo, Mn, Cr, V gibi) bu aşamayı engelleyerek 3. aşamanın (ferrit( $\alpha$ ) + karbür) başlamasını teşvik etmektedirler. Diğer yandan düşük östemperleme sıcaklıklarında bu aşama daha kısa olurken, yüksek sıcaklıklarda bu aşamanın süresi uzamaktadır. Bunun en önemli sebebinin, sıcaklığın yükselmesi ile birlikte difüzyonun kolaylaşması ve dönüşümün yavaşlaması olduğu söylenebilir. Bu çalışmadaki tüm numunelerde 2. aşama gözlenmiştir. Çalışmalarda kullanılan alaşım elementi "Cu" da, bu aşamanın oluşumunu önemli oranda teşvik eden bir elementtir. Elde edilen sonuçlar, bu durumu açıkça teyit etmekte ve alaşım elementlerinin

etkisinin incelendiği bir çalışmada bu durum vurgulanmaktadır. Çalışma alaşimsız ve alaşımli (Cu ve Ni) ÖKGDD'lerin döküm durumunda ve ısıtım işlem sonrasındaki özelliklerini incelemektedir. İncelemeler sonucunda alaşım elementlerinin 2. aşamayı geciktirdiği görülmektedir. Bu durum mekanik özelliklerin de gelişmesini sağlamaktadır (1).

Östempereleme sıcaklığı ile ÖKGDD'lerde meydana gelen yapının değiştiği daha önce ifade edilmiştir. Bu çalışmada uygulanan 280 °C sıcaklıkta ve 200 dakika ısıtım işlem sonucunda yapı tamamen ösferritik olmuştur. 360 °C sıcaklıkta ise, bu süre sonunda az da olsa bir kısım alanların dönüşmeden kaldığı görülmüştür. Sıcaklığın 420 °C'ye artırılması ile birlikte ifade edilen süre sonunda, çok büyük oranda dönüşmemiş östenit alanlarının varlığı tespit edilmiştir (Çizelge 6.1.). Sonuçlar ısıtım işlem sıcaklığının yapının tamamen ösferrite dönüşmesinde ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. Genellikle 350-360 °C'nin üzerinde oluşan matris yapı içerisinde düşük östempereleme sıcaklıklarında (250-350 °C) kıyasla dönüşmeyen alanların çokluğu ve oluşan mikro yapıdan daha kaba mikro yapı oluşması nedeniyle yüksek darbe dayanımı ve uzama ile nispeten daha düşük derecede çekme dayanımı ve sertlik elde edilmektedir (82). Düşük sıcaklıklarda (250-350 °C) dönüşüm hızı artmakta ve yapıdaki karbonun bir kısmının ferrit içerisinde iğnesel karbür olarak çökmesine neden olabilmektedir (83). Düşük östempereleme sıcaklıklarda daha ince yapı oluştuğundan çekme dayanımı ve sertlik artmaktadır.

Bu veriler ışığında üretilen numuneler incelendiğinde; ısıtım işlem sırasında ÖKGDD'lerin yapı ve özelliklerinin belirlenmesinde büyük önem arzeden 2. aşamanın meydana geldiği, uzun süreli ısıtım işlem şartlarında dahi dönüşmemiş östenit alanlarının varlığı açıkça görülmüştür (Çizelge 6.1.). Bu aşama yüksek sıcaklıkta (420 °C) daha uzun olurken, düşük sıcaklıkta ise (280 °C) kısalmaktadır. Bu durum ısıtım işlem sıcaklığının etkisini göstermede önemli bir sonuç olmaktadır. Düşük sıcaklıklarda 200 dakika'ya gelindiğinde numunede yapının tamamının ince ösferritik yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bu yapı ile daha yüksek dayanım ve sertlik elde edilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda (420 °C) ise, 200 dakikanın sonunda henüz

dönüşmemiş östenit alanları bulunmakta ve yapı, kaba ösferritten meydana gelmektedir. Bu yapı ise düşük dayanım ve sertlik sağlarken, yüksek darbe direnci ve süneklik sağlamaktadır. 360 °C’de ise ne kaba, ne de ince olmayan ösferritik yapı oluşmakta, aynı zamanda az da olsa bir miktar dönüşmemiş östenitin varlığını sürdürdüğü görülmektedir. Bu durum ise kabul edilebilir dayanım ve sertlik ile darbe direnci ve süneklik sağlamaktadır.

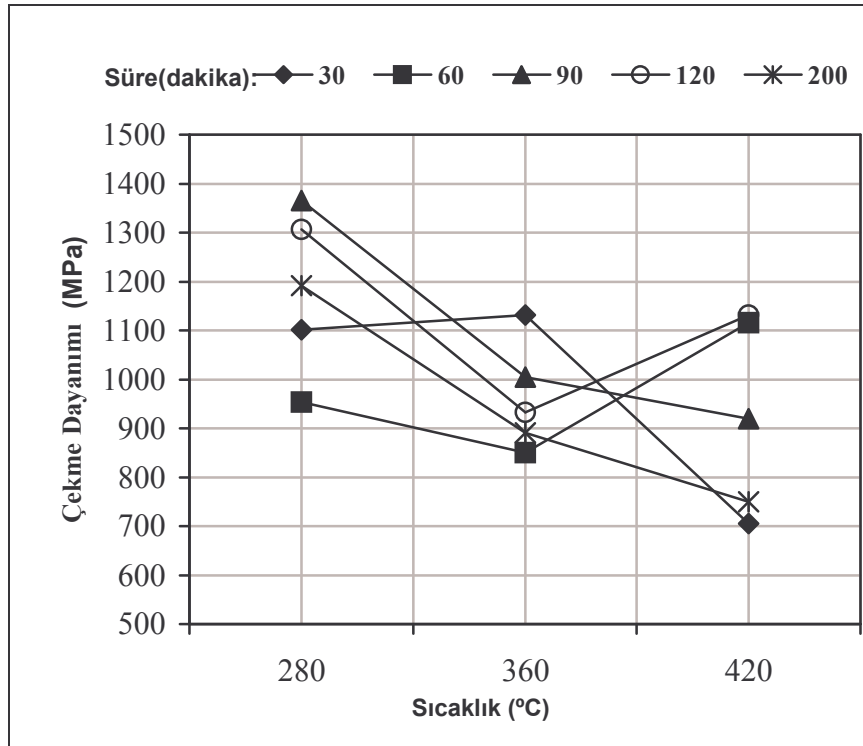
Burada önemli olan konulardan birisi de, dönüşmemiş östenit alanlarının mekanik işlemler sırasında nasıl bir davranış sergilediğidir. Bazı kaynaklarda bu dönüşmemiş alanların talaş kaldırma gibi mekanik işlemler sırasında dönüşüme uğradığı (D.Ö.→  $\alpha+\gamma$  y.k ya da D.Ö.→ ferrit+martenzit dönüşümleri gibi) ve bunun sonucunda malzeme özelliklerinin değiştiği vurgulanmaktadır (84, 85, 86, 87). Bu husus ileride yeniden tartışılacaktır.

### **6.2.2. ÖKGDD’in mekanik özelliklerine östemperleme sıcaklığı ve süresinin etkileri**

Östemperleme ısı işlemi sonucunda üretilen ÖKGDD’lerden elde edilen mekanik özelliklerden çekme dayanımı özellikleri Çizelge 6.3, Şekil 6.1 ve sertlik sonuçları Çizelge 6.4 ve Şekil 6.5’te verilmiştir. Çekme sonuçları incelendiğinde, genel olarak 280 °C gibi düşük östemperleme sıcaklıklarında yüksek dayanım elde edilirken, sıcaklığın yükselmesi (360 ve 420 °C) ile birlikte dayanım azalmaktadır. Diğer yandan her üç sıcaklıkta (280, 360 ve 420 °C) da süreye bağlı olarak, dayanımlar değişim göstermektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri olarak ısı işlem sonucunda elde edilen yapının sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişimi gösterilebilir.

Çizelge 6.3. Östempereleme süresi ve sıcaklığı ile çekme dayanımının değişimi

Östempereleme Sıcaklığı	Östempereleme Süreleri (Dakika)					
	Isıl işlemsiz	30	60	90	120	200
	ÇEKME DAYANIMI (MPa)					
Döküm durumunda	575					
280 °C		1101	953	1366	1307	1191
360 °C		1131	850	1005	933	891
420 °C		705	1116	919	1132	750



Şekil 6.1. Östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak çekme dayanımındaki değişim

Isıl işlem sıcaklığı düşük olduğunda (280 °C), dayanım genel olarak yüksek olmaktadır. Bunun nedenleri olarak dönüşümün daha hızlı olması ve oluşan fazlar arası mesafelerin azalması ile ince ösferritik yapının oluşması sayılabilir. İşlem sıcaklığı artırıldığında (360 °C) dayanım azalmaktadır. Sıcaklığın artması sonucunda

yapıda dönüşmemiş östenit alanları artmakta ve yapı, düşük sıcaklıklara nispeten kabalaşmaktadır. Bu durum ise, dayanımın azalmasına yol açmaktadır. Çalışmanın en başında ısı işlem sıcaklığının daha fazla artırılması (420 °C) ile yapıda bulunan dönüşmemiş östenit miktarının artacağı, oluşan yapının ise kabalaşma ve buna bağlı olarak dayanımın azaldığı düşünülmüştür. Genel olarak sonuçlar da bunu göstermiştir. Ancak bazı istisnai durumlar da bulunmaktadır. 420 °C sıcaklıkta dönüşümün ilk aşamalarında (30 dakika) meydana gelen yüksek orandaki dönüşmemiş östenit ve kaba yapı nedeniyle dayanım nispeten düşük çıkmıştır. İleri ısı işlem sürelerinde (60, 90 ve 120 dakika) yani 2. aşamanın devam ettiği zaman aralıklarında dayanım artış göstermiştir.

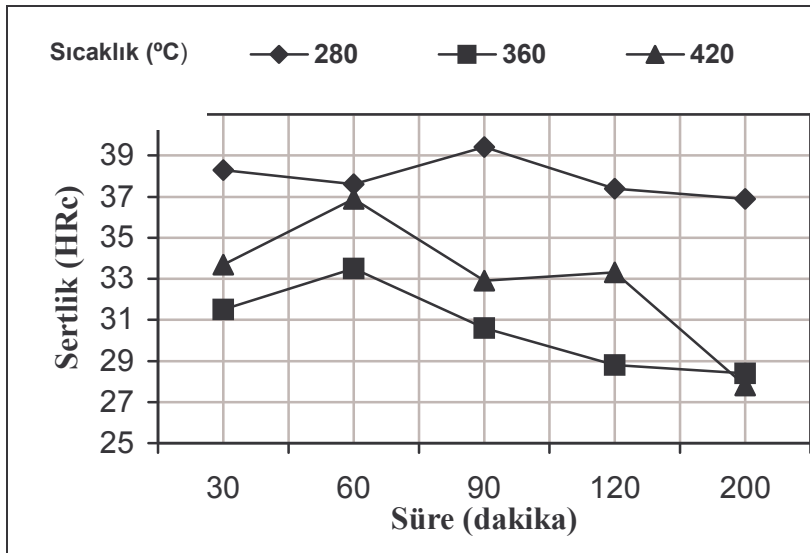
Isıl işlem sıcaklığı arttıkça yapıdaki dönüşmemiş östenit alanlarının kararsızlığı da artmaktadır. Numunelerin, torna tezgahı gibi makinelerde işlenmeleri sırasında mekanik etkiler oluşmaktadır. Eğer talaş kaldırma işlemlerinde soğutma sıvısı kullanılmıyorsa sürtünmeden dolayı ısı etkiler de (termal etkiler) ortaya çıkmaktadır. Talaş kaldırılırken numune yüzeyi mekanik olarak zorlanmaya maruz kalmakta ve takım ile numune arasındaki sürtünme ile ısınmaktadır (bundan sonra ortaya çıkan bu etkilere “thermo-mekanik” etkiler adı verilecektir). Öyle ki, meydana gelen bu ısı miktarı, bazen yapısal değişimlere de sebep olabilmektedir. Bu nedenle yapıda bulunan kararsız durumdaki faz veya fazlar bu mekanik etki ve ortaya çıkan ısı nedeniyle dönüşüme uğramaktadır. Bunun sonucunda işlenmeye maruz kalan bölgelerde dönüşüm olmakta ve yapıda ferrit ( $\alpha$ ) + yüksek karbonlu östenit ( $\gamma.k$ ) miktarı artmaktadır. Bunun sonucunda ise dayanım artmaktadır. 200 dakika gibi uzun östemperleme süreleri sonucunda ise dayanım tekrar bir miktar azalmaktadır. Çünkü yapı uzun sürelerde daha kararlı hale gelmekte ve kaba ösferrit nedeniyle düşük dayanım meydana gelmektedir. Bu durum, sertlik incelemeleri sırasında da görülmüştür. Sonuçlardan, dayanımın arttığı şartlarda sertliğin de genel olarak arttığı, azaldığı durumlarda ise yine azaldığı görülmektedir. Sertlik ölçümleri ilk önce talaş kaldırılan numune yüzeylerinden yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.4 ve Şekil 6.2’te verilmiştir. Sonuçlar genel olarak ısı işlem sıcaklığının artmasıyla, sertliğin azaldığını göstermektedir. Diğer yandan östemperleme süresine bağlı olarak



ta sertlik azalma göstermiştir. Ancak 420 °C sıcaklıkta üretilen numunelerde durum biraz farklı gözükmetedir. Bu sıcaklıkta, çekme dayanımında olduğu gibi 360 °C sıcaklıkta elde edilen sertliklerden biraz daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Dayanım ile ilgili sonuçlar değerlendirilirken, ifade edildiği gibi “termo-mekanik” etkinin yüksek oranda etkili olduğu bu numunelerde, sertlik değerleri de yüksek çıkmıştır. Bu durumun daha iyi tespit edilebilmesi amacıyla numuneler enine kesilerek hem mikroyapı incelemeleri, hem de sertlik ölçümleri tekrar yapılmıştır.

Çizelge 6.4. Östempereleme süresi ve sıcaklığı ile sertliğin değişimi

Östempereleme İşlem Sıcaklığı	Östempereleme Süreleri (Dakika)					
	Isıl işlemsiz	30	60	90	120	200
	SERTLİK (HRc)					
Döküm durumunda	21					
280 °C		38,3	37,6	39,4	37,4	36,9
360 °C		31,5	33,5	30,6	28,8	28,4
420 °C		33,7	36,9	32,9	33,3	27,8



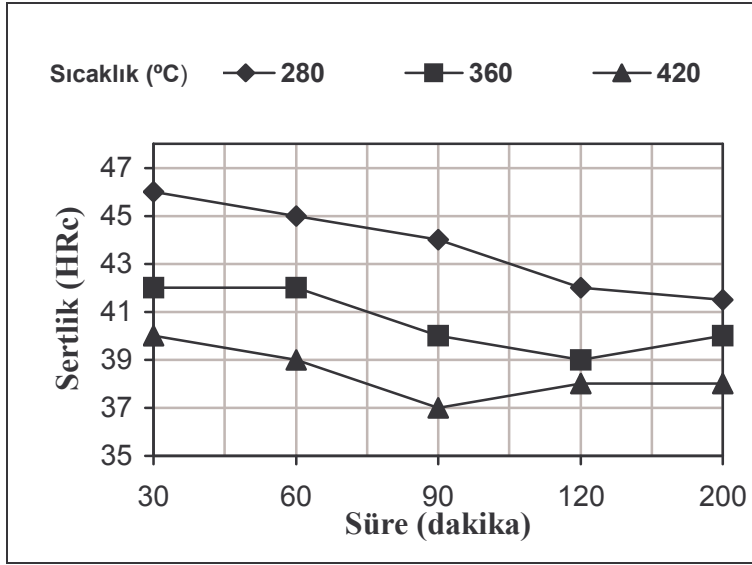
Şekil 6.2. Östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak sertlikteki değişim

Enine kesilen numunelerden elde edilen sertlik sonuçları ise Çizelge 6.5 ve Şekil 6.3'da görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında, her üç sıcaklık değerinde de, işlenen yüzeylere kıyasla, iç kısımlarda daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Sıcaklık artışı ile birlikte sertlik genel olarak azalmaktadır. Enine kesitte yapılan ölçümler, işleme yapılan yüzeyden elde edilen sertlik değerlerinde olduğu gibi, 420 °C sıcaklıkta 360 °C'tan daha yüksek sonuçların oluşmadığını göstermiştir. Ancak özellikle 420 °C'de ısıtılma işlemi gören numunelerde, yüzey ile merkez arasında sertlik değerlerinde önemli farklılıkların bulunduğu görülmüştür. Bu sonuç daha önce bahsedilen termo-mekanik etkiler sonucunda numune yüzeylerinde yapısal bazı değişimlerin oluştuğuna işaret etmektedir. Bu değişim özellikle yüksek sıcaklıklarda kendini göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda dönüşmemiş halde daha fazla miktarda östenit alanları bulunmaktadır. Termo-mekanik etki nedeniyle bu dönüşmemiş alanlar işlemenin yapıldığı yüzeylerde muhtemelen martenzitik dönüşüme uğramış ve sertliğin artmasına sebep olmuştur.

Çizelge 6.5. Enine kesitte östemperleme süresi ve sıcaklığı ile sertliğin değişimi

Östemperleme İşlem Sıcaklığı	Östemperleme Süreleri (Dakika)					
	Isıl işlemsiz	30	60	90	120	200
	SERTLİK (HRc)					
Döküm durumunda	21					
280 °C		46	45	44	42	41,5
360 °C		42	42	40	39	40
420 °C		40	39	37	38	38



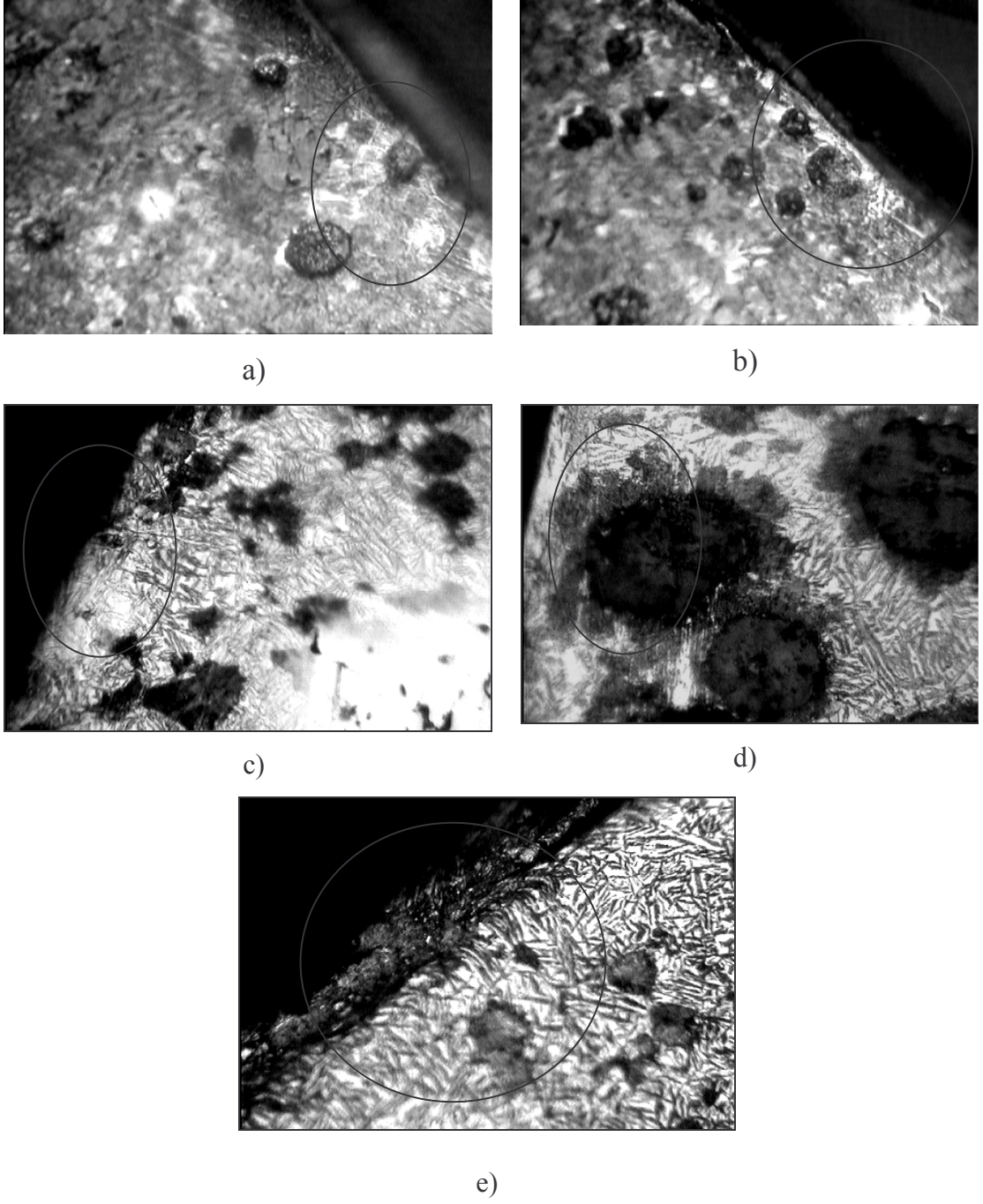


Şekil 6.3. Enine kesitte östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak sertlikteki değişim

Diğer yandan benzer termo-mekanik etkiler nedeniyle, düşük sıcaklıklarda ısıl işlem gören numunelerde de önemli ölçüde yüzeyde sertlik kayıplarının meydana geldiği görülmektedir (Çizelge 6.4.). Talaş kaldırma sırasında meydana gelen sürtünme ve buna bağlı olarak takım-talaş ara yüzeyinde ortaya çıkan bölgesel yüksek ısı nedeniyle, 420 °C gibi yüksek sıcaklıkta üretilen numunelerde dönüşmemiş alanların ösferrite dönüştüğü ve buna bağlı olarak özellikle sertlikte, bir miktar da dayanımda artışın meydana geldiğinden daha önce bahsedilmiştir. Aynı zamanda sonuçlardan 280 ve 360 °C’de üretilen numunelerde de değişimlerin olduğu görülmüştür. Her iki sıcaklıkta üretilen numunelerde, yüzey sertlik değerleri ile iç kısımlardaki değerler arasında farklar bulunmaktadır. Bu farkların ise çoğunlukla kararlı halde bulunan yapıda meydana gelen ısı nedeniyle bir miktar yapısal kabalaşma ve değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüş, ancak takım ile talaş arasında meydana gelen sıcaklığın ölçümleri yapılmamıştır. Bu sonuçlara bakıldığında ara yüzeyde meydana gelen ısının ölçülmesinin gerekliliği net olarak görülmektedir. Bu amaçla daha önce yapılmış hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, ara yüzeyde oluşan ısının ölçülmesi sonucunda mikro yapı ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler daha kolay anlaşılacaktır. Mekanik özelliklerdeki değişimlerin

sebepleri incelenirken ara yüzeyde oluşan sıcaklığın mikro yapıya nasıl bir etkisi olduğu da incelenmek istenmiştir. Ancak bu yapısal değişimlerin mikro yapı görüntülerinden anlaşılması o kadar kolay gözükmemektedir.

Bu amaçla Resim 6.4'de bazı mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Görüntüler, özellikle yüksek oranda değişimlerin meydana geldiği 420 °C'de üretilen numunelerin yüzeylerine yakın kısımlardan alınmıştır. Bu resimlerden yüzey ile merkez arasında, bir miktar da olsa, farklılığın olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlardan özellikle sertlik açısından emin olabilmek için mikro sertlik ölçümlerinin yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda, mümkünse talaş kaldırma işlemleri sırasında aşırı sıcaklık artışını önleyecek tedbirlerin alınmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 6.4. 420 °C sıcaklıkta östemperleme sonucunda üretilen ÖKGDD'lerin yüzey ile merkez arasında meydana gelen mikro yapısal farklılıkların görüntüleri  
a) 30 dakika, b) 60 dakika, c) 90 dakika, d) 120 dakika ve e) 200 dakika (X280)

### 6.3. Dökülmüş Şartlardaki (Östemperlenmemiş) Malzemenin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi

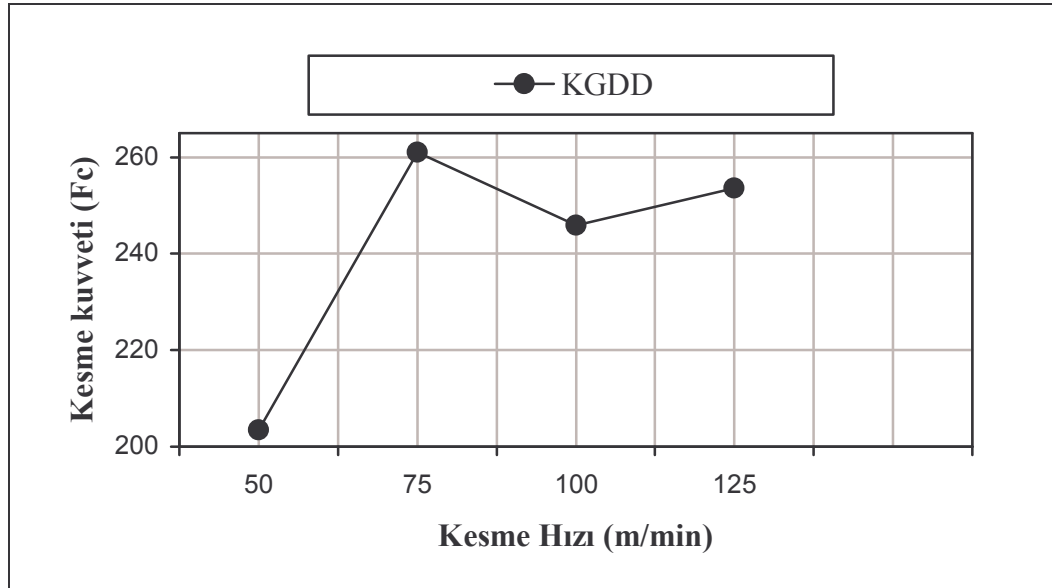
Dökülmüş halde bulunan östemperleme işlemi uygulanmamış numune üzerinde yapılan işlenebilirlik deneyleri sırasında ölçülen kesme kuvvetleri ( $F_c$ ,  $F_a$ ,  $F_p$ ) ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ) Çizelge 6.6 ve 6.7’de ve mekanik özellikler ise Çizelge 6.8’de özetlenmiştir. Asıl kesme kuvvetlerinin ( $F_c$ ), kesme hızına bağlı olarak değişimi Şekil 6.4’deki grafikte gösterilmiştir. Talaş kaldırma işleminden sonra numunenin işlenen yüzeyleri üzerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) yine kesme hızına göre değişimleri Şekil 6.9’da gösterilmiştir. Bu grafiklerin yatay sütunu, kesme hızındaki değişim baz alınarak sıralanmıştır.

Çizelge 6.6. Kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

Numune Kodu	V = 50 m/min				V = 75 m/min			
	$F_c$ (N)	$F_a$ (N)	$F_p$ (N)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$F_c$ (N)	$F_a$ (N)	$F_p$ (N)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
1	203,48	128,95	84,22	2,32	261,06	259,4	161,57	2,49
2A	355,32	316,83	210,2	1,21	433,19	766	531,85	3,57
2B	320,51	275,24	189,45	1,17	341,13	331,18	206,49	0,83
2C	314,3	293,86	181,37	1,14	337,08	319,76	204,72	0,88
2D	305,76	247,87	173,12	1,11	334,9	309,67	201	1,01
2E	313,74	251,71	172,85	1,23	347,32	326,53	194,02	1,07
3A	339,83	308,83	195,84	1,31	320,19	270,46	174,16	0,81
3B	323,3	297,16	189,62	1,34	312,49	262,25	170,13	0,93
3C	320,3	293,24	177,12	1,26	327,62	282,11	180,84	0,97
3D	271,88	221,13	139,12	1,70	306,95	267,21	170,56	1,15
3E	321,98	299,16	187,71	1,50	332,35	301,18	189,27	1,02
4A	313,97	273,95	182,53	1,53	322,56	293,78	177,8	1,36
4B	292,21	239,86	161,64	2,24	318,18	285,21	182,01	1,38
4C	333,17	305,5	192,07	1,88	309,44	252,91	163,81	1,37
4D	326,78	298,64	189,61	1,95	305,93	245,44	162,1	1,11
4E	292,74	243,61	160,53	2,22	303,91	259,7	161,15	1,06

Çizelge 6.7. Kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

Numune Kodu	V = 100 m/min				V = 125 m/min			
	Fc (N)	Fa (N)	Fp (N)	Ra( $\mu$ m)	Fc (N)	Fa (N)	Fp (N)	Ra( $\mu$ m)
1	245,88	212,99	136,83	1,99	253,63	213,18	131,55	1,58
2A	275,15	204,61	142,93	0,65	257,05	169,04	135,06	2,38
2B	344,53	313,55	199,75	0,94	307,44	263,31	170,17	0,86
2C	335,68	320,64	201,02	1,15	310	241,87	181,74	0,83
2D	337,94	323,78	200,77	1,21	338,23	319,31	198,66	0,91
2E	332,43	273,91	181,74	0,71	270,1	190,37	140,7	0,87
3A	339,18	314,97	186,18	0,81	323,51	299,39	175,87	1,00
3B	316,08	274,86	166,5	1,12	305,21	276,82	160,02	0,91
3C	336,05	323,26	184,78	1,12	305,25	261,43	157,79	0,91
3D	321,3	279,12	166,22	1,12	296,32	262,68	156,73	0,91
3E	323,1	329,9	229,05	1,32	275,25	286,71	227,31	1,06
4A	318,83	295,82	167,36	1,04	262,35	236,27	153,96	0,83
4B	331,53	314,85	184,92	1,13	303,09	278,76	292,79	1,21
4C	309,83	253,72	153,45	1,06	326,02	288,41	160,88	0,78
4D	318,85	268,62	164,59	0,83	320,33	301,09	168,19	0,79
4E	305,82	254,3	159,25	0,99	303,77	273,73	160,76	0,82

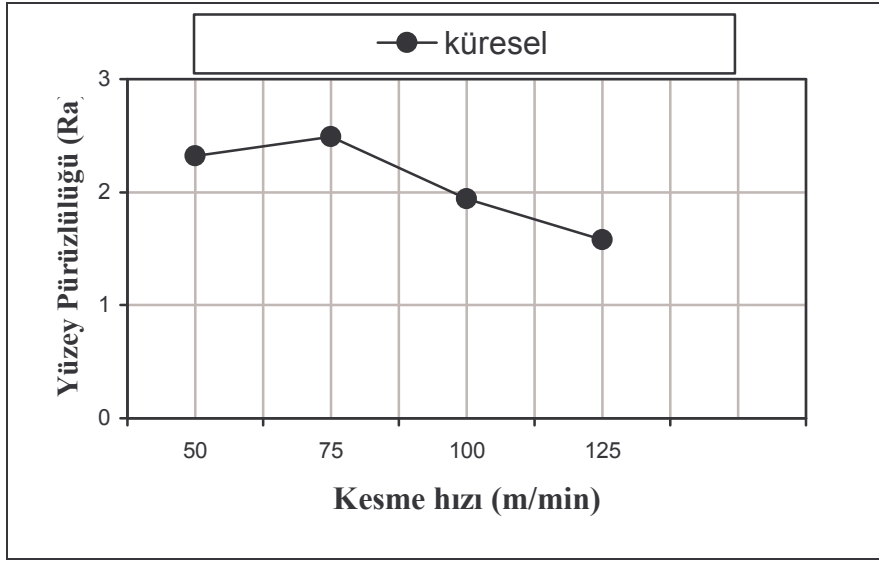


Şekil 6.4. Dökülmüş şartlardaki numunenin değişen kesme hızına göre kesme (Fc) kuvvetlerindeki değişim

Çizelge 6.8. Mekanik özellikler

Malzeme Kodu	Östempereleme Süresi (Dakika)	Ferrit %	Perlit %	Y.K.Ö. %	D. Ö %	Küre Sayısı Küre/mm	Çekme Dayanımı (MPa)	Sertlik HRc (Enine sertlik)	Sertlik HRc (İşlenen yüzeyde Sertlik)
1	Döküm Durumu	18	82			210	575	23	21
2A	30			85	15	150	1101	46	38,3
2B	60			90	10	163	953	45	37,6
2C	90			95	5	170	1366	44	39,4
2D	120			98	2	194	1307	42	37,4
2E	200			100	0	163	1191	41,5	36,9
3A	30			70	30	188	1131	42	31,5
3B	60			75	25	164	850	42	33,5
3C	90			86	14	181	1005	40	30,6
3D	120			92	8	162	933	39	28,8
3E	200			98	2	156	891	40	28,4
4A	30			60	40	200	705	40	33,7
4B	60			65	35	185	1116	39	36,9
4C	90			75	25	160	919	37	32,9
4D	120			88	12	196	1132	38	33,3
4E	200			90	10	185	750	38	27,8

Dökülmüş şartlardaki numuneye ait kesme kuvvetleri (Şekil 6.5.) incelendiğinde, kesme kuvveti açısından en iyi durumun 50 m/min’lik kesme hızında  $F_c$ , 203,48 N olarak elde edilmiştir. Aynı kesme hızında yüzey pürüzlülük durumu (Şekil 6.10) incelendiğinde, nispeten kötü bir yüzey pürüzlülüğü değeri ( $R_a = 2,32\mu\text{m}$ ) elde edilmiştir. Bu durum numunenin mekanik özellikleri ile birlikte (Çizelge 6.3. ve 6.4.) değerlendirildiğinde daha iyi anlaşılacaktır. Numune östemperelemiş KGDD’lere kıyasla, düşük çekme dayanımı (575 MPa) ve düşük sertliğe (21 HRc) sahip olduğundan düşük kesme kuvvetlerinin elde edilmesi söz konusudur (Çizelge 6.8.). Kesme kuvvetleri üzerinde olumlu etkilere sahip bu özellikler, yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir. 75 m/min kesme hızına kadar kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü artmakta, daha yüksek kesme hızlarında ise azalmaktadır. Numuneler hem kesme kuvvetleri hem de yüzey pürüzlülüğü açısından incelendiğinde, 75 m/min’lik kesme hızında kesme kuvveti artmıştır ( $F_c = 261,06$  N). Aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü de artmıştır ( $R_a = 2,49\mu\text{m}$ ).



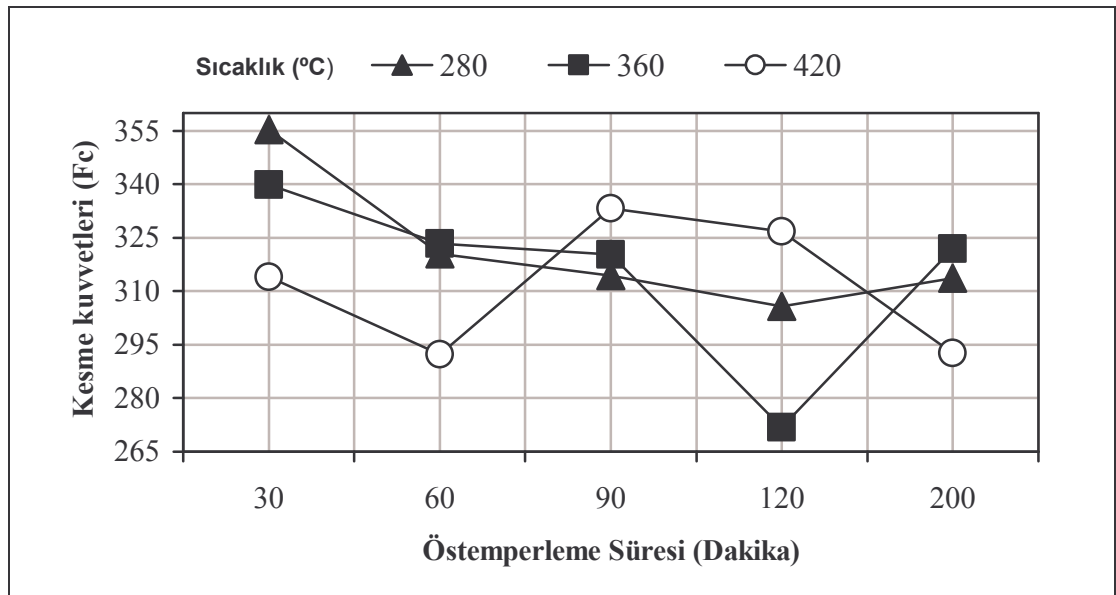
Şekil 6.5. Dökülmüş şartlardaki numunenin değişen kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğündeki (Ra) değişim

Benzer durumlar 100 ve 125 m/min'lik kesme hızları için söz konusu olmamaktadır. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri nispeten azalmakta ve yüzey pürüzlülüğü iyileşmektedir. KGDD malzemelerin işlenebilirliği incelenirken malzemenin yapı özelliklerinin işlenebilirliğe etkilerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinde önce artış (75 m/min) daha sonra azalma oluşunun en önemli nedeni, işleme sırasında ortaya çıkan mekanik etkiler ve buna bağlı olarak oluşan ısıdır. Bu durum işlenen yüzey ile enine kesitte, malzeme sertlikleri arasında oluşan farktan kolayca anlaşılabilir. Talaş kaldırma sırasında deformasyon meydana gelmektedir. Sıcaklıktaki artış ile birlikte deformasyon miktarı artmakta ve deformasyon kolaylaşmaktadır. Talaş kaldırma sırasında ortaya çıkan ısı, kesme hızının artmasıyla artmaktadır. Böylece yüksek kesme hızlarında deformasyon kolaylaşmakta ve buna bağlı olarak kesme kuvvetleri düşmektedir. Kolay talaş kaldırılan malzemelerde ise yüzey kalitesi iyileşmektedir. Bu nedenle yüksek oranda perlitik yapıya sahip KGDD'lerin 75 m/min ve üzeri kesme hızlarında tornalanmasının kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesinin iyileşmesi açısından faydalı olduğu söylenebilir. 50 m/min kesme hızında da kesme kuvveti düşük olmasına karşın yüzey kalitesi yüksek kesme hızlarına kıyasla kötüdür.

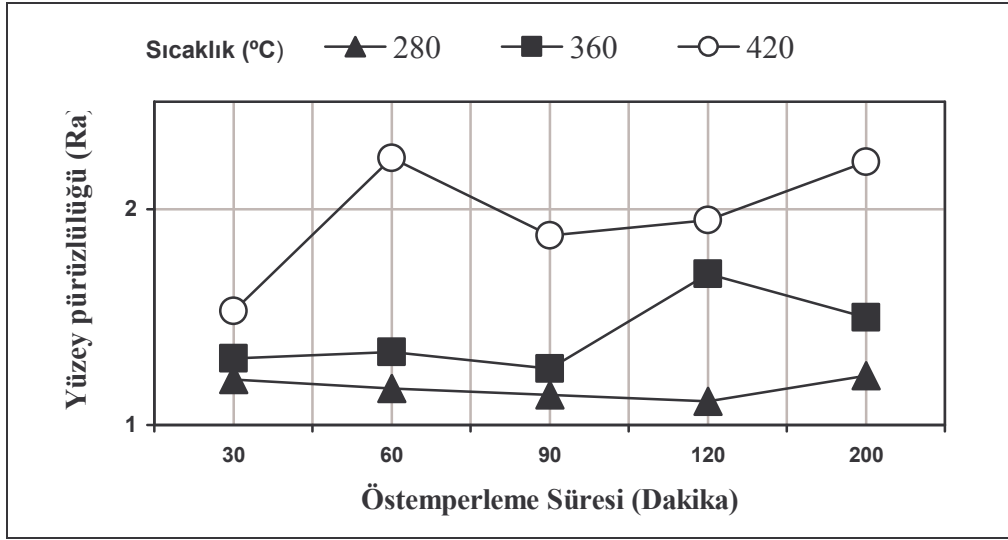
#### 6.4. 50 m/min'lik Kesme Hızında Östempereleme Sıcaklık ve Süresine Göre Kesme kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi

50 m/min'lik kesme hızında, farklı östempereleme sıcaklık ve süresine sahip numuneler üzerinde yapılan işlenebilirlik deneyleri sırasında ölçülen asıl kesme kuvvetlerinin ( $F_c$ ), östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak değişimleri Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Talaş kaldırma işleminden sonra numunelerin işlenen yüzeyleri üzerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) 50 m/min kesme hızında östempereleme sıcaklık ve süresine göre değişimleri ise Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Bu grafiklerin yatay sütunu, farklı sıcaklıklarda meydana gelen değişimlerin kolaylıkla karşılaştırılabilmesi açısından östempereleme süresindeki değişim baz alınarak sıralanmıştır (Çizelge 6.6.- Çizelge 6.7.).



Şekil 6.6. Östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri ( $F_c$ ) değişimi ( $V = 50$  m/min)





Şekil 6.7. Östempirleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi (  $V = 50$  m/min)

İşlenebilirlik deneyleri sırasında kesme hızları ve kesici takımlar, işlenecek malzemelere göre seçilir. 50 m/min’lik kesme hızı, bu çalışmada seçilen en düşük kesme hızıdır. Kesme hızı arttıkça, genel olarak kesme kuvvetleri azalmakta ve yüzey kalitesi iyileşmektedir. Diğer yandan malzeme özelliklerine bağlı olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülükleri değişmektedir (Şekil 6.6. ve 6.7.). Isıl işlem sıcaklığının düşük (280 °C) olduğu şartlarda genel olarak kesme kuvvetleri de yüksek olmaktadır. Bunun sebebi fazlar arası mesafenin kısa olması ve kısa aralıklar nedeniyle deformasyon mesafesinin azalmasıdır. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda kesme kuvvetleri artmaktadır. Aynı zamanda düşük sıcaklıklarda yüksek sertlik ve dayanım elde edildiği için, yüksek kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Isıl işlem sıcaklığının 420 °C’ye artması ile birlikte östempirleme sürelerinde kesme kuvvetleri 360 °C’ye kıyasla bir miktar artmıştır. Bu artışın en önemli nedenlerinden birisinin talaş kaldırma sırasında oluşan deformasyon sonucu malzemedeki işleme sertleşmesi meydana gelmesi olduğu söylenebilir. Benzer özellikler, çekme dayanımı ve işlenmiş yüzeyin sertlik sonuçlarında da görülmektedir. Bu yüksek sıcaklıkta üretilen numunenin yapısında bulunan dönüşmemiş östenit alanlarının deformasyon neticesinde dönüşüme uğradığı bilinmektedir. Bu sebeple talaş kaldırma sırasında meydana gelen termo – mekanik etkilerde benzer sonuçlara sebep olmakta ve yüksek kesme kuvvetlerinin oluşmasını teşvik etmektedir. Diğer yandan östempirleme

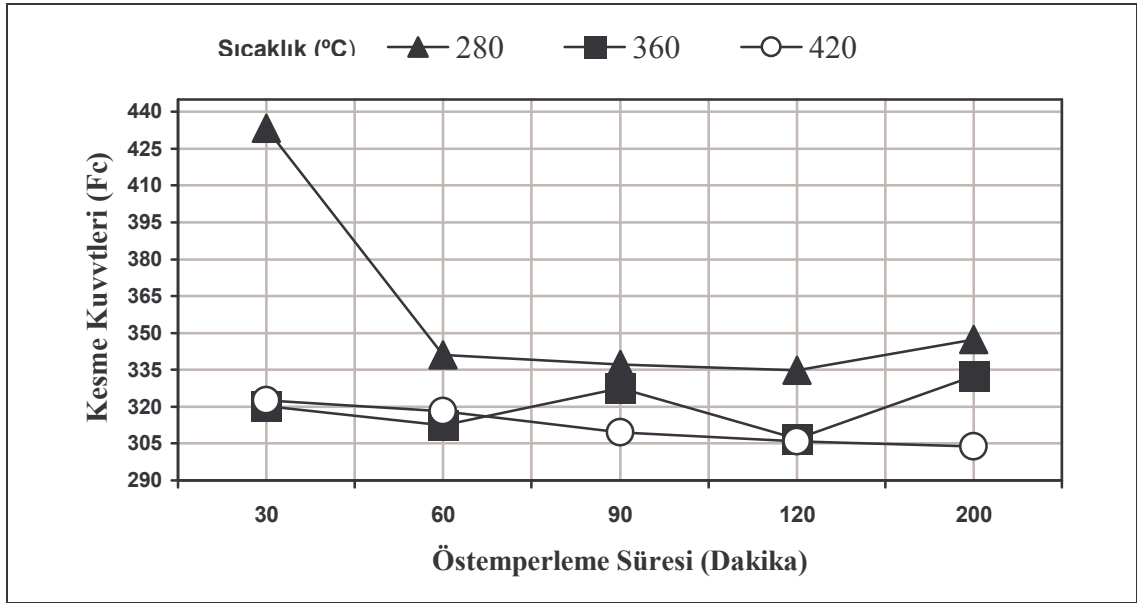
süresine bağlı olarak genellikle kesme kuvvetleri azalmaktadır. Uzun östemperleme süreleri sonucunda ÖKGDD'lerin yapıları daha kararlı hale gelmekte ve mekanik işlemler sırasında dönüşümler meydana gelmemektedir. Bunun sonucunda ise, uzun östemperleme sürelerinde elde edilen kesme kuvveti değerleri malzemenin asıl karakteristiğini temsil etmesi açısından daha uygun olmaktadır. 280 ve 360 °C'de kesme kuvvetleri 120 dakika östemperlemeye kadar azalmakta, daha uzun sürelerde (200 dakika) ise tekrar artmaktadır. Bu durumun uzun östemperleme sürelerinde, 3. aşamanın başlaması ile bir miktar karbür oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü uzun östemperleme sürelerinde (3. aşama) yapıda karbür çökmesi (beynitik dönüşüm) başlamaktadır. Yapıda meydana gelen karbürler malzemenin dayanımını artırır. Bu nedenle, uzun östemperleme süreleri sonucunda, genellikle dayanım ve sertlikleri yüksek malzemeler üretilir. Dayanımın artması da talaş kaldırmayı güçleştirdiğinden genellikle kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Çünkü karbürlerin sertliklerinin çok fazla olması nedeniyle işleme sırasında kesici takımın talaş kaldırmasını güçleştirdiklerinden gerekli olan kesme kuvvetleri artmaktadır. 420 °C sıcaklıkta üretilen numunelerde kararsız yapıdan kaynaklanan düzensizlikler açıkça görülmektedir.

Yüzey pürüzlülüklerindeki değişimler incelendiğinde, benzer etkilerin burada da etkili olduğu görülmektedir. Kesme kuvvetlerinin arttığı şartlarda yüzey kalitesi kötüleşmektedir. Yine yüksek sıcaklıkta (420 °C) üretilen numunelerde en kötü yüzey kaliteleri elde edilmiştir. Bu durum yüzey pürüzlülüğünün kesme kuvvetleri ve mekanik özellikleri etkileyen faktörler tarafından belirlendiğinin açık ifadesidir.

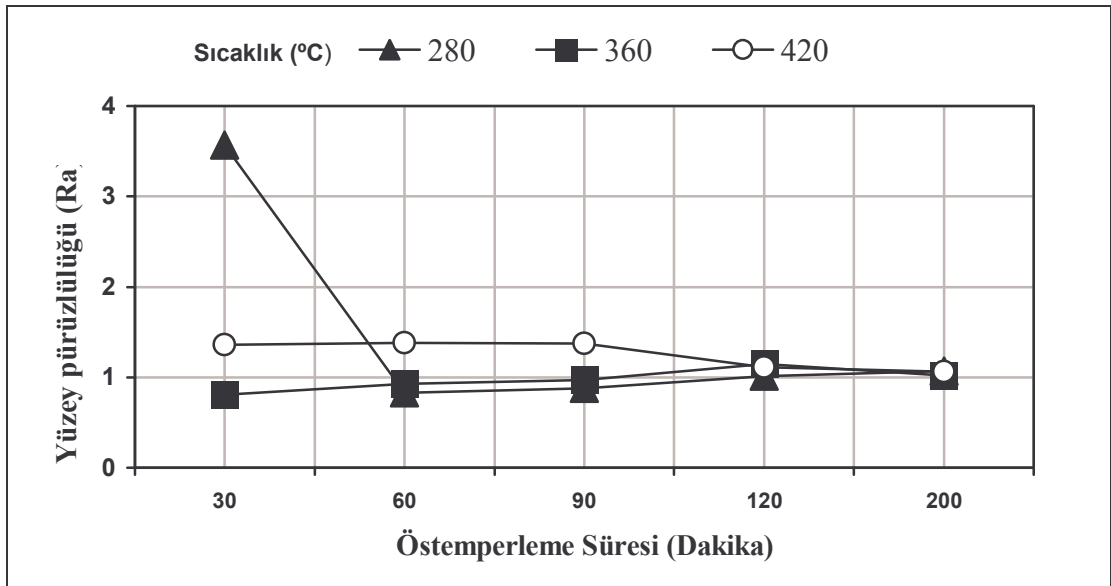
#### **6.5. 75 m/min'lik Kesme Hızında Östemperleme Sıcaklık ve Süresine Göre Kesme kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi**

75 m/dakika'lık kesme hızında, farklı östemperleme sıcaklık ve süresine sahip numuneler üzerinde yapılan işlenebilirlik deneyleri sırasında ölçülen asıl kesme kuvvetlerinin ( $F_c$ ), östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak değişimleri Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Talaş kaldırma işleminden sonra numunelerin işlenen yüzeyleri

üzerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) 75 m/min kesme hızında östemperleme sıcaklık ve süresine göre değişimleri ise Şekil 6.9'de gösterilmiştir (Çizelge 6.6.- Çizelge 6.7.).



Şekil 6.8. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri ( $F_c$ ) değişimi ( $V = 75$  m/min)



Şekil 6.9. Östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün ( $R_a$ ) değişimi ( $V = 75$  m/min)

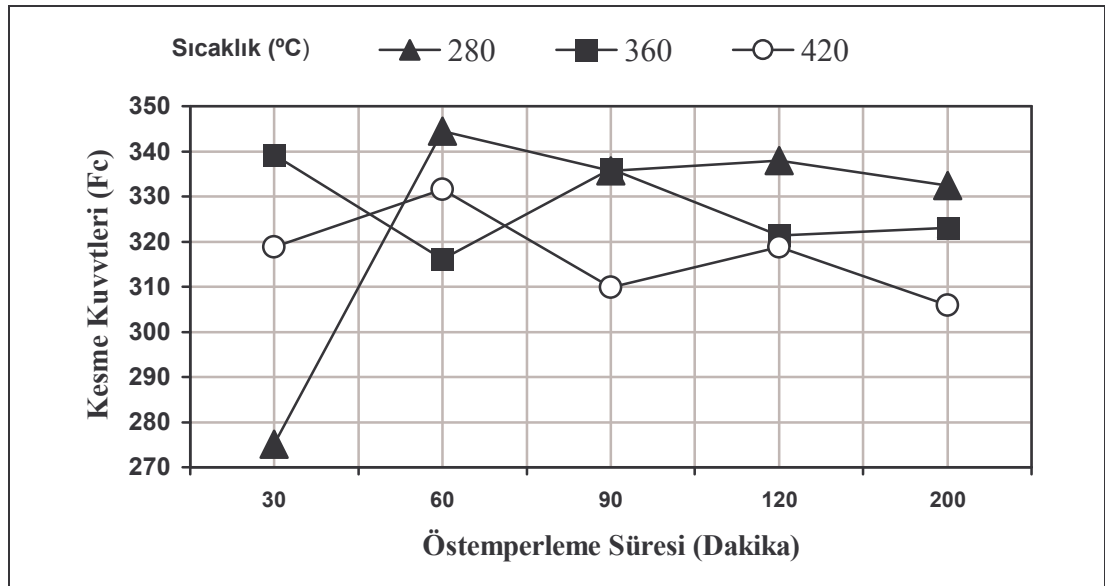
75 m/min'lik kesme hızı ile işlenen numunelerde elde edilen kesme kuvvetleri (Şekil 6.8.) ve yüzey pürüzlülük değerleri (Şekil 6.9.) incelendiğinde genellikle her üç sıcaklıkta da kısa östemperleme sürelerinde, kesme kuvvetlerinin yüksek olduğu ve yüzey kalitelerinin düşük olduğu görülmektedir. 280 ve 360 °C'de östemperlenen numuneler incelendiğinde çok kısa işlem sürelerinde kesme kuvvetleri yüksek, süre bir miktar arttığında, kesme kuvvetleri azalmakta ve daha uzun östemperleme yapıldığında ise kesme kuvvetlerinde bir miktar artış görülmektedir. 420 °C sıcaklıkta üretilen numunelerde ise, hem kesme kuvvetleri hem de yüzey pürüzlülük değerlerinde azalmaların meydana geldiği görülmektedir. 420 °C sıcaklıkta üretilen numunelerde oluşan yapının kısmen kararsız alanlardan (dönüşmemiş östenit) oluştuğu ifade edilmişti. Östemperleme süresinin artışı ile birlikte bu kararsız alanlar azalmaktadır. Yapıda dönüşmemiş östenit alanı ne kadar fazla ise, işleme sırasında yapısal dönüşüm ve değişimler o kadar artmaktadır (Çizelge 6.6.). Dönüşmemiş östenit alanlarının en fazla olduğu 30 dakikalık östemperleme sonucunda daha yüksek kesme kuvveti ve daha kötü yüzey pürüzlülüğü elde edilmektedir. Uzun östemperleme (200 dakika) sonucunda ise kesme kuvveti azalmakta ve yüzey kalitesi de iyileşmektedir. Bu durum sertlik sonuçları incelendiğinde de kendini göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, sertliğin artması ile kesme kuvvetleri artmakta, ancak yüzey kalitesi kötüleşmektedir.

280 ve 360 °C'de ısl işlem gören numunelerdeki durum bir miktar farklılık göstermektedir. 280 °C'de kısa östemperleme süresinde kesme kuvveti, yapıda bulunan dönüşmemiş alanların muhtemelen martenzit ve diğer karbür yapılarına dönüşmesi sonucunda artmakta ve bunun sonucunda ise yüzey pürüzlülüğü de kötüleşmektedir. Süre ilerledikçe (120 dakika) kesme kuvveti en düşük seviyeye ulaşırken yüzey kalitesi iyileşmektedir. 200 dakika gibi çok uzun östemperleme süreleri sonucunda ise 3. aşamanın başlaması sonucunda kesme kuvvetleri bir miktar artmaktadır. 360 °C'de de benzer kesme kuvvetleri eğilimleri ve çekme dayanımı sonuçları görülmektedir. Dayanımın arttığı durumlarda, kesme kuvvetleri de artmaktadır.

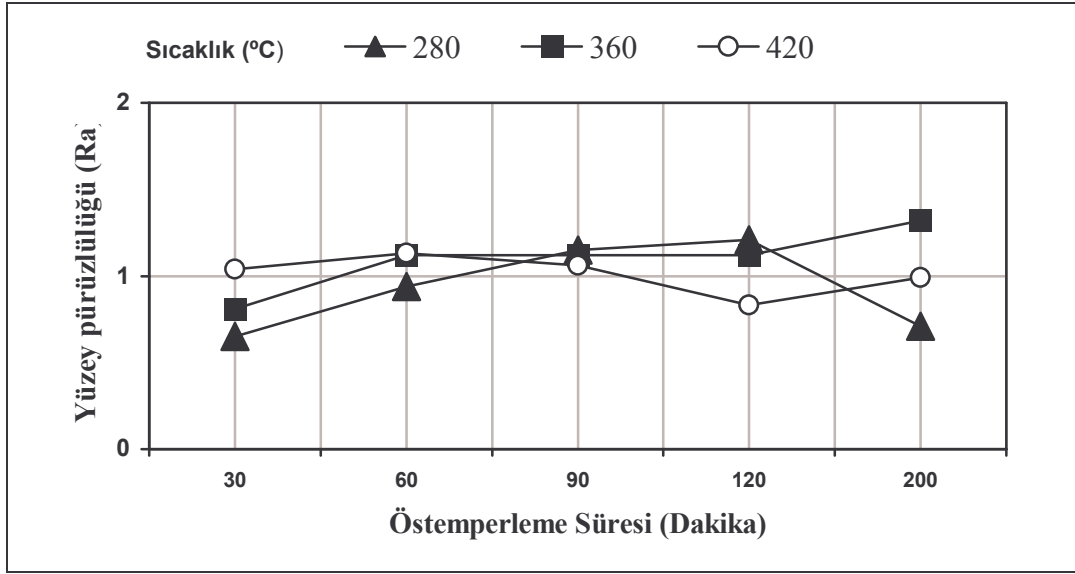
Ancak 75 m/min kesme hızında elde edilen sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın değişmemesine karşın paralel ve birbirine yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir.

### 6.6. 100 m/min'lik Kesme Hızında Östempereleme Sıcaklık ve Süresine Göre Kesme kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi

100 m/min'lik kesme hızında, farklı östempereleme sıcaklık ve süresine sahip numuneler üzerinde yapılan işlenebilirlik deneyleri sırasında ölçülen asıl kesme kuvvetlerinin ( $F_c$ ), östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak değişimleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Talaş kaldırma işleminden sonra numunelerin işlenen yüzeyleri üzerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) 75 m/min kesme hızında östempereleme sıcaklık ve süresine göre değişimleri ise Şekil 6.11'de gösterilmiştir (Çizelge 6.6.- Çizelge 6.7.).



Şekil 6.10. Östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri ( $F_c$ ) değişimi (  $V = 100$  m/min)



Şekil 6.11. Östempirme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi (V=100 m/min)

Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün, çeşitli kriterlere bağlı olarak değiştiği bilinen bir gerçektir. Bunlardan bazıları; kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, malzemenin yapısı ve mekanik özellikler olarak sayılabilir. Bu çalışmada östempirme ısıl işlemi ile KGDD malzemesinin yapı ve özellikleri değiştirilmiştir (Çizelge 6.6.). Bu değişimler bazılarında işlenebilirliğe olumlu yansımaktadır. Ancak östempirme ısıl işlemi ile malzemelerin sertlik ve dayanımları artarken bu çalışmanın genelinde olduğu gibi, döküm durumuna göre ÖKGGD'lerin kesme kuvvetleri (%53) artmıştır. Bu sonuç, talaş kaldırma işleminin zorlaştığı anlamına gelmektedir. Diğer yandan mikro yapıda ısıl işlem sonrası özellikle kısa östempirme sürelerinde dönüşmemiş halde bulunan östenit alanları bulunmaktadır. Östenitik yapı, oda sıcaklığında kararsız bir yapı olduğundan dönüşüme uğrar. Bu dönüşüm uygun şartlarda olduğunda hedeflenen özelliklerin elde edilmesinde avantaj sağlar. Ancak işleme sırasında kontrolsüz dönüşümlerin meydana gelebileceği unutulmamalıdır. Çünkü talaş kaldırırken soğutma sıvısı kullanılmadığı için termal etkiler ve mekanik zorlamalar neticesinde ise mekanik etkiler meydana gelmektedir. Özellikle östenit yapılar deformasyona uygun yapılardır ve yüksek oranda deformasyon sertleşmesi gösterebilirler. Bu nedenle dönüşmemiş östenit alanlarının talaş kaldırma sırasında önemli etkileri bulunmaktadır. Bu durum ise, kesme

kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kesme hızlarının artması ile deformasyon hızı ve miktarı artmaktadır. Diğer taraftan, işlenen malzemelerin ısıl iletkenlikleri de elde edilen sonuçları değiştirmektedir. Dökme demirler oldukça düşük ısıl iletkenliğe sahiptirler. Bunun en önemli sebeplerinden birisi grafitin varlığıdır. Bu nedenle talaş kaldırılan yüzeyde sürtünme ile ortaya çıkan ısı, parça üzerinden hızla atılamamaktadır. Bu durumda malzeme özellikleri ve işlenebilirlik sonuçları etkilenmektedir. Bunun önemli bir kanıtı olarak işlenen yüzeyler ile enine kesitten işlenmeyen yüzeyden alınan sertlik sonuçları arasındaki farklılıklar gösterilebilir. Çünkü yavaş soğuma neticesi işlenen yüzeylerin sertlikleri malzemenin sertliğine oranla daha düşük çıkmaktadır. Kesme hızındaki artış ile birlikte, takım talaş ara yüzeyinde sıcaklığın arttığı düşünülmektedir. Ancak bu çalışmada ara yüzeyde meydana gelen ısı miktarları ölçülemediği için. Bu nedenle ortaya çıkan değişimlerin kesin olarak ifade edilme zorluğu vardır.

Buraya kadar ifade edilmeye çalışılan ve ortaya çıkan etkenlerin bir sonucu olarak ÖKGDD malzemelerin işlenebilirliği değişim göstermektedir. 100 m/min kesme hızında ortaya çıkan önemli bir sonuç, düşük kesme hızlarına kıyasla yüzey pürüzlülüğünün azalmasıdır.

Kesme hızı artışı, genellikle yüzey kalitesini artırmaktadır. Bu kesme hızında kesme kuvvetleri genellikle birbirine yaklaşmaktadır. Ancak yine de aralarında önemli farklar bulunmaktadır. 280 °C gibi düşük östempereleme sıcaklığında üretilen numunelerde beklenildiği gibi genel olarak yüksek kesme kuvvetleri meydana gelmektedir. Çünkü bu malzemenin sertlik ve dayanım özellikleri diğer iki sıcaklıkta üretilen kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Diğer yandan hızlı işlemeye bağlı olarak hızlı deformasyon ile de kesme kuvvetlerinin arttığı unutulmamalıdır. Sonuçlar incelendiğinde işlem sıcaklığı arttıkça 100 m/min kesme hızında kesme kuvvetleri azalmaktadır. Yine de birkaç sonuçta farklılık bulunmaktadır. Bu sonuçlar genellikle numunelerin yapılarında bulunan kusurlar nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. Özellikle grafit küre sayısı ve şekli önemli oranda sonuçları etkilemektedir. Bu malzemelerin yapıları incelendiğinde bu değişimler görülmüştür. Kesme kuvvetleri her üç sıcaklıkta üretilen numunelerde de

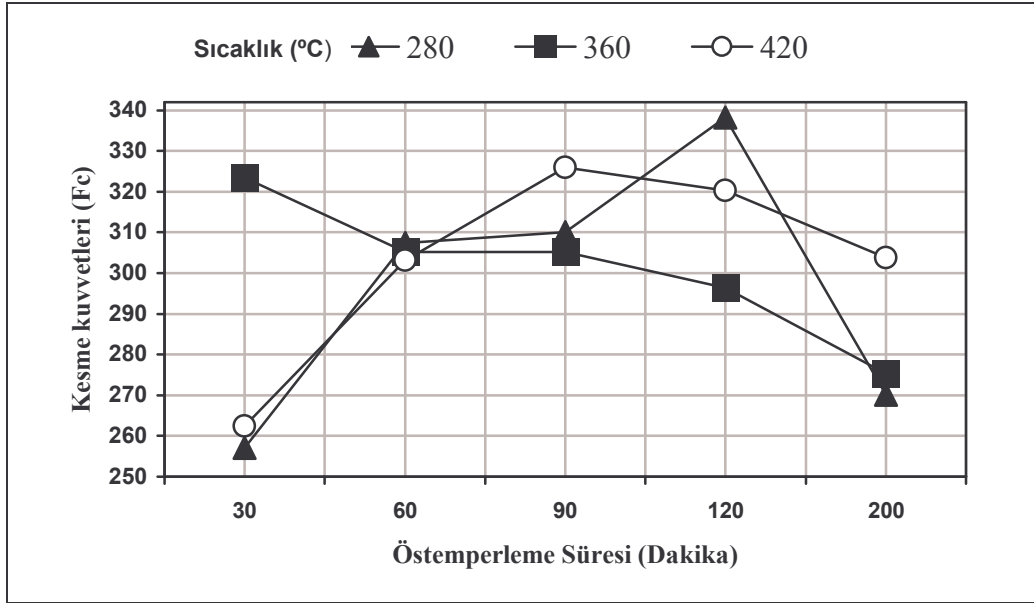
uzun östemperleme sürelerinde azalmaktadır. Bu sürelerde, genellikle üçüncü aşama başlamaktadır. Sonuçta, içerisinde karbürlerinde bulunabildiği matris oluşmaktadır. Yüksek kesme hızlarında bu yapılardan daha kolay talaş kaldırılabilirdiği düşünülmektedir. Çünkü bölüm 6.7’de verilen 125 m/min kesme hızında da benzer eğilimler bulunmaktadır. Kesme hızı arttıkça, daha düzenli yapıların oluştuğu uzun östemperlenen numunelerde düşük deformasyon nedeniyle kesme kuvvetlerinin de azaldığı düşünülmektedir.

Elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri, kesme hızındaki artış ile birlikte önemli oranda azalmış ve yüzey kalitesi iyileşmiştir. Genellikle yüksek kesme hızlarının yüzey kalitesinin iyileştirilmesinde faydalı olduğu bilinmektedir (2, 63).

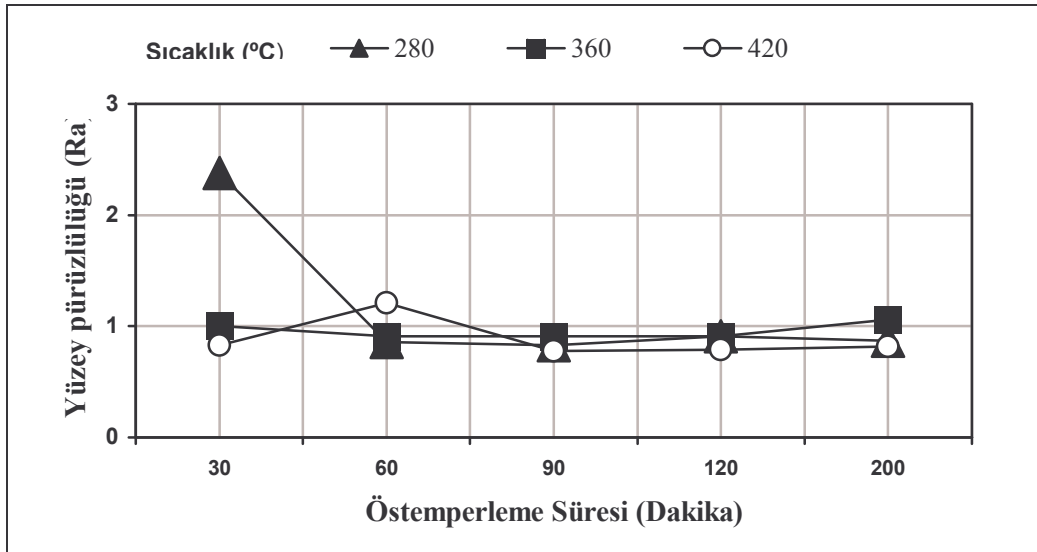
#### **6.7. 125 m/min’lik Kesme Hızında Östemperleme Sıcaklık ve Süresine Göre Kesme kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi**

125 m/min’lik kesme hızında, farklı östemperleme sıcaklık ve süresine sahip numuneler üzerinde yapılan işlenebilirlik deneyleri sırasında ölçülen asıl kesme kuvvetlerinin ( $F_c$ ), östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak değişimleri Şekil 6.12’de gösterilmiştir. Talaş kaldırma işleminden sonra numunelerin işlenen yüzeyleri üzerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ( $R_a$ ) 75 m/min kesme hızında östemperleme sıcaklık ve süresine göre değişimleri ise Şekil 6.13’de gösterilmiştir (Çizelge 6.6.- Çizelge 6.7.).





Şekil 6.12. Östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri (Fc) değişimi (V=125 m/min)



Şekil 6.13. Östempereleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi (V=125 m/min)

125 m/min'lık kesme hızında östempereleme sıcaklık ve süresine göre kesme kuvvetlerindeki değişim incelendiğinde, kesme kuvvetleri açısından en iyi durumu sergileyen numunelerin 280 ve 420 °C'de 30 dakika östemperelenen numuneler olarak görülmektedir. Ancak 280°C'deki numunenin yüzey pürüzlülük durumu

incelendiğinde ise, kötü bir yüzey pürüzlülüğüne ( $R_a = 2,38\mu\text{m}$ ) sahip olduğu görülmektedir. 125 m/min kesme hızında ve 280 °C östemperleme sıcaklığında östemperleme süresine bağlı olarak kesme kuvvetleri, 120 dakikaya kadar artma gösterirken, 200 dakikada düşmüştür. Burada 120 dakikaya kadar malzemenin yüksek sertliği ve yüksek dayanımı, kesme kuvvetinin artmasına sebep olmuştur. Östemperleme süresinin 200 dakikaya çıkmasıyla malzemenin sertliğinde ve dayanımı düşmekte, bu da kesme kuvvetlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ise 60 dakikadan sonra düzelme göstermiş ve durumu genel olarak östemperleme süresinin artmasıyla birlikte iyileşmektedir.

125 m/min kesme hızında 360 °C’de ise östemperleme süresinin artmasına bağlı olarak, kesme kuvvetleri gelişme göstermiştir. 30 dakikalık östemperleme süresinde yüksek olan kesme kuvvetleri sürenin artmasıyla birlikte azalmıştır. Kesme kuvvetlerinin yüksek olması, malzemenin mekanik özelliklerine bağlı olarak açıklanabilir (Çizelge 6.6.). Sertliğin ve dayanımın yüksek olması kesme kuvvetlerinin artması yönünde etki etmiştir. 125 m/min’lik kesme hızında 360 °C’de için yüzey pürüzlülüğü genelde iyi değerler sergilemektedir. 420 °C’de ise durum biraz farklılık göstermektedir. 30 dakika östemperleme süresinde düşük olan kesme kuvveti, 90 dakikaya kadar yükselmekte daha sonra azalma göstermektedir. 60 dakikalık östemperleme süresinde malzemenin sertliğinin ve dayanımının artması kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmuştur.

Bunun etkisi yüzey pürüzlülüğü değerinde de görülmektedir. 60 dakikalık östemperleme süresinde yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Östemperleme süresinin artmasıyla birlikte genel olarak yüzey pürüzlülüğü iyileşmektedir. Kesme kuvvetleri üzerinde östemperleme sıcaklık ve süresinin etkisi burada açıkça görülmekte ve ne kadar önemli olduğunu (mekanik ve metalurjik özellikler üzerinde) göstermektedir. Östemperleme sıcaklığının azalması ve sürenin artması ile daha kararlı yapılar oluşmaktadır. Bunun sonucunda ise işlenebilirlik sırasında malzeme yapı ve özellikleri en az oranda termo–mekanik etkenlerden etkilenmektedir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi açısından kesme hızının artırılmasının ne kadar faydalı

olduğu açıkça görülmektedir. Bu çalışmada aynı ısı işlem şartlarında üretilen numuneler arasında genellikle en iyi yüzeyler 125 m/min gibi yüksek kesme hızında elde edilebilmiştir. Bu durum, düşük sıcaklıkta üretilen malzemedeki dönüşmemiş östenitin işleme sırasında daha zor dönüşüme uğradığını diğer yandan ısı işlem sıcaklığının 420 °C'ye yükselmesiyle karasızlığın arttığı görülmüştür.

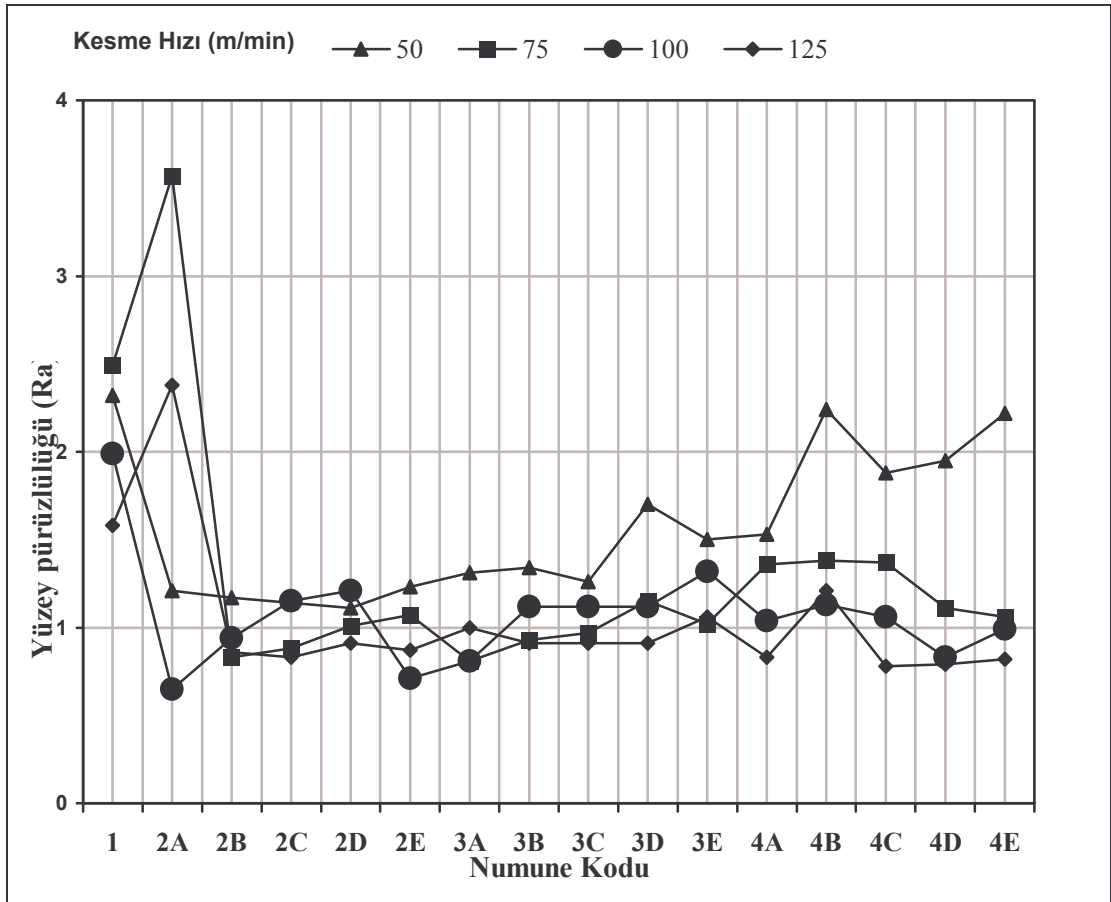
## **6.8. Genel Değerlendirme**

Bu bölümün önceki maddelerindeki östemperleme süresi ve dökülmüş şartlar (östemperleme uygulanmamış) dikkate alınarak yapılan gruplandırma, her grup içerisinde, işlenebilirlikteki ana kriterlerde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından bir değerlendirme yapılmıştır. Bu kısımda ise, östemperleme süresi ve sıcaklığın birlikte değerlendirilmesi ve dolayısıyla, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından olumlu sonuçları veren östemperleme süresi ve sıcaklığının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla önce, genel anlamda daha belirgin sonuçların gözlemlendiği yüzey pürüzlülüğü daha sonra ise kesme kuvvetleri açısından elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

### **6.8.1. Kesme hızındaki değişime göre östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı yüzey pürüzlülüğü**

Talaş kaldırmak (tornalamak) suretiyle, farklı kesme hızlarında işlenmiş, farklı östemperleme süresi ve sıcaklığına sahip numuneler üzerinde yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür (Şekil 6.14.). Grafikler incelendiğinde görülen en çarpıcı sonuç, östemperleme işlemi ile birlikte dökülmüş haldeki KGDD malzemelerin yüzey pürüzlülüğünde çok önemli bir iyileşmenin gerçekleşmesidir. Dökülmüş halde, östemperleme işlemine tabi tutulmamış numunenin yüzey pürüzlülük değerleri, KGDD'ler için literatürde (71) verilen değerlerle paralellik arz etmektedir. Literatürde sertliği 22 HRc'ye kadar olan KGDD'ler için sementit karbür kesici takımla, kaba tornalamada elde edilen yüzey pürüzlülükleri 1,52 µm – 2,54 µm arasında değişirken, ince tornalamada elde edilen değerler 1,27 µm – 2,54 µm

arasında kalmaktadır. Denenen, dökülmüş haldeki numunenin sertliği 21 HRC'dir. Bu numunenin işlenmiş yüzeylerinden ölçülen pürüzlülük değerleri  $1,58 \mu\text{m} - 2,49 \mu\text{m}$  arasında değişmektedir. En kötü yüzey pürüzlülüğünü 75 m/min'lik kesme hızında görülmektedir. Östemperleme işlemi uygulanmış numunelerin yüzey pürüzlülükleri dökülmüş numuneden daha iyi özellikler sergilemektedirler. Östemperlenmiş numunelerde yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında,  $0,65\mu\text{m}$  (2A numunesi, 100 m/min'lik kesme hızında),  $0,81\mu\text{m}$  (3A numunesi, 75 m/min'lik kesme hızında) en iyi değerleri vermektedir. Bu sonuçlar literatürdeki KGDD'ler ile karşılaştırıldığında, silindirik kaba taşlamada elde edilen yüzey pürüzlülüğü ( $0,53\mu\text{m}$ ) ve düzlem kaba taşlamada elde edilen yüzey pürüzlülüğü ( $0,83\mu\text{m}-0,64\mu\text{m}$ ) değerlerine en yakın özellikleri sergiledikleri görülmektedir. Hatta 2A numunesi bu değerlere en yakın olan değere sahiptir ( $0,65\mu\text{m}$ ) ( Şekil 6.14.).



Şekil 6.14. Kesme hızına bağlı ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi (Ra)

Farklı östemperleme sıcaklık ve süresi dikkate alındığında, yüzey pürüzlülüğü, birbirine yakın değerler göstermesi, değerlendirilmesi gereken bir husustur. Östemperleme süresinin uzamasına paralel olarak maliyette bir artış olması kaçınılmazdır. Oysa ki, östemperleme süresindeki artış, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından önemli kazançlar sağlamaktadır. En iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin ( $0,65\mu\text{m}$ ) elde edildiği 2A numunesi ele alındığında, bu numunenin bu çalışmada uygulanan en düşük östemperleme süresinde elde edildiğine dikkat edilmelidir. Genel olarak değerlendirildiğinde kararlı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de yine en düşük östemperleme sıcaklığında ( $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) elde edildiği görülmektedir.

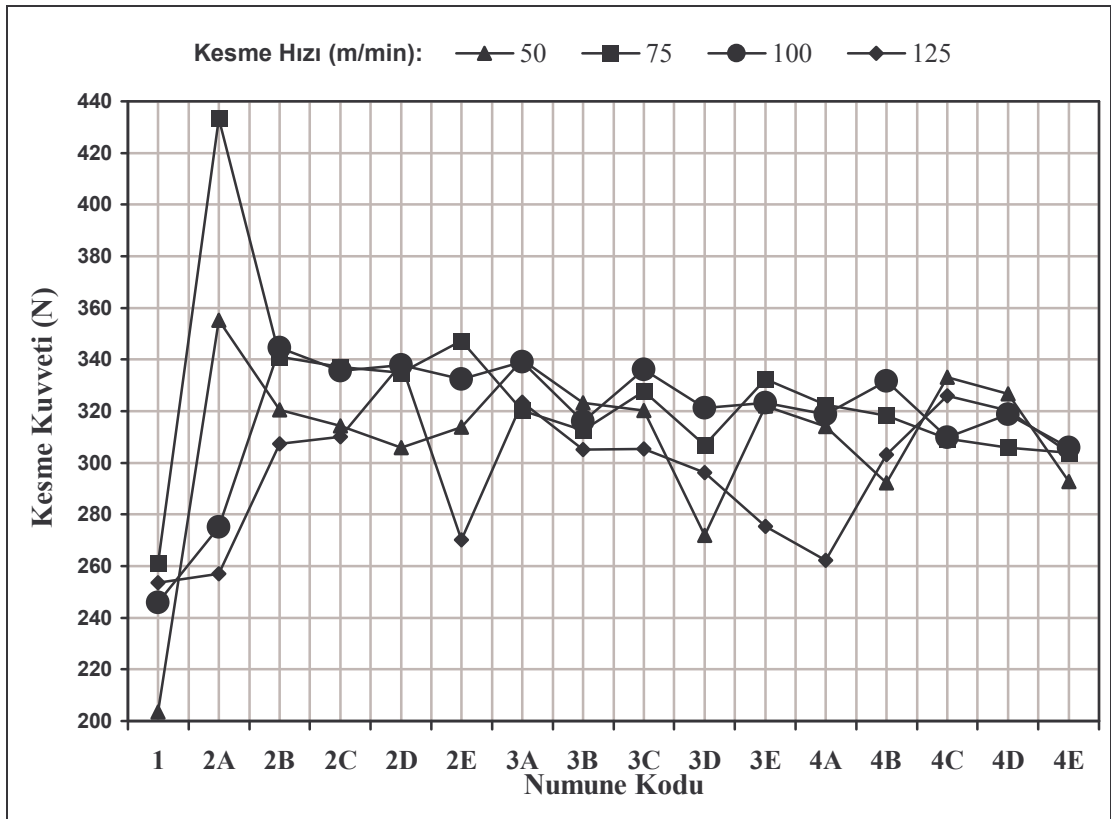
### **6.8.2. Kesme hızındaki değişime göre östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı kesme kuvvetleri**

Farklı östemperleme süresi ve sıcaklığına sahip numunelerin değişen kesme hızlarına göre talaş kaldırarak işlenmesi (tornalanması) sırasında ölçülen asıl kesme kuvvetleri Şekil 6.15’da gösterilmiştir.

En düşük kesme kuvveti sergileyen numunenin dökülmüş halde (östemperleme uygulanmamış) olan numune olduğu görülmektedir ( $F_c=203,48\text{ N}$ ,  $50\text{ m/min}$ ’lik kesme hızında). Ayrıca, yüzey pürüzlülüğüne bakıldığında, kötü bir yüzey pürüzlülüğü ( $R_a=2,32\mu\text{m}$ ) sergilediği görülmektedir. Bu numune göz ardı edilerek bir değerlendirme yapılacak olursa, en düşük kesme kuvveti,  $F_c=257,05\text{ N}$ , en yüksek kesme kuvveti,  $F_c=433,19\text{ N}$ , değerlerini almaktadır. Kesme kuvvetleri açısından birbirine çok yakın değerler sergileyen, 2A numunesi ( $F_c=257,05\text{ N}$ ), 4A numunesi ( $F_c=262,35\text{ N}$ ) numunelerin yüzey pürüzlülüğüne bakılacak olursa birbirinden çok farklı olduğu görülecektir. Yine yakın değerler sergileyen 4E ( $F_c=292,74\text{ N}$ ) ve 4B ( $F_c=292,21\text{ N}$ ) numunelerinin ise yüzey pürüzlülük değerlerinin birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı olan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü kriterleri baz alındığında ve bütün numunelere ait bulgular bir arada değerlendirildiğinde,

280 °C’de 30 dakika östemplleme işlemine tabi tutulmuş 100 m/min’de işlenmiş numunenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından uygun davranışı sergilemesine rağmen, 125 m/min’de işlenmiş hemen hemen tüm numunelerde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından genellikle daha homojen sonuçların elde edildiği ifade edilebilir.



Şekil 6.15. Kesme hızına bağlı ortalama kesme kuvvetleri değişimi (N)

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

KGDD'lere uygulanan östemperleme işlemi, süresi ve sıcaklığı mikro yapı ve mekanik özelliklerini etkilediğinden, büyük önem taşımaktadır. KGDD'lere uygulanan "östemperleme ısıl işlemi" ile elde edilen "östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler (ÖKGDD)'de dayanım ve tokluk özelliklerinin daha da iyileşmekte olduğu görülmektedir. Östemperleme ısıl işlemi sonucunda elde edilen bu mekanik özellikler; alaşım elementlerine, östenitleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak değişmektedir.

ÖKGDD malzemelerin avantajları;

- Kimyasal birleşim mikro yapıya bağlı olarak ısıl işlemi süresinin kısa olması,
- Dökümle şekillendirme ve döküm kabiliyetinin yüksek olması,
- Dövme çeliklere göre % 10 daha hafif olması,
- Ağırlık/dayanım ilişkisinin dövme alüminyumdan bile iyi olması,
- Grafit muhtevasına bağlı olarak, çeliklere göre darbe ve çekme dayanımlarının daha iyi olması vb.

Şeklinde sıralanabilirken, bu özelliklerine bağlı olarak, endüstriyel uygulamalarda çok geniş ve sınırsız denilebilecek kadar kullanım alanına sahiptir.

Bununla beraber, bu üstün özelliklere sahip KGDD'lerin işlenebilirlik özellikleri, çil dökümler hariç, diğer dökme demirlere göre nispeten daha düşüktür. Östemperleme işlemi sonucunda bu işlenebilirlik özelliklerinde "kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün" nasıl değiştiğinin incelenmesini amaçlayan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Dökülmüş şartlardaki, östemperleme işlemi uygulanmayan numunede en düşük kesme kuvveti ihtiyacı 50 m/min'lik kesme hızında gözlenirken bu malzemenin yüzey pürüzlülüğü oldukça kötüdür. Dökülmüş şartlarda, yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuç, 125 m/min'lik kesme hızında elde edilirken, kesme kuvveti yüksek çıkmıştır.
- Östemperleme işlemi uygulanmış numunelerin 50 m/min'lik kesme hızında işlenmeleri sırasında en uygun kesme kuvveti 3D numunesinde elde edilirken, yüzey pürüzlülüğü kötü bir değer almıştır. Hem kesme kuvveti hem de yüzey pürüzlülüğü bakımından en iyi sonuçları, 50 m/min'lik kesme hızında, 2D numunesinde (280 °C'de 120 dakika östemperleme işlemi uygulanmış numune) elde edilmiştir. 2D numunesi bu çalışmada en uygun sonuçları veren numunedir.
- Östemperleme işlemi uygulanmış numunelerin 75 m/min'lik kesme hızında işlenmeleri sırasında en uygun kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçları 4E numunesinde (420 °C'de 200 dakika östemperleme işlemi uygulanmış numune) elde edilmiştir. 75 m/min'lik kesme hızında, hem kesme kuvvetleri hem de yüzey pürüzlülüğü grafikleri diğer kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü grafikler ile birlikte değerlendirildiğinde en düzenli dağılım sergilemektedir.
- Östemperleme işlemi uygulanmış numunelerin 100 m/min'lik kesme hızında işlenmeleri sırasında en uygun kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçları 2A numunesinde (280 °C'de 30 dakika östemperleme işlemi uygulanmış numune) elde edilmiştir. 2A numunesi kesme hızının artması ile uygulanan kesme kuvveti düşmektedir. Düşük kesme hızlarında ise 2A numunesine uygulanan kesme kuvveti artmıştır.
- Östemperleme işlemi uygulanmış numunelerin 125 m/min'lik kesme hızında işlenmeleri sırasında en uygun kesme kuvveti yine 2A numunesinde elde edilirken, yüzey pürüzlülüğü kötüleşmektedir. 125 m/min'lik kesme hızında, 4A



numunesi ise (420 °C de 30 dakika östemperleme işlemi uygulanmış numune) kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından uygun değerler elde edilmiştir.

- Deneysel çalışmalarda elde edilen dikkat çekici sonuç, östemperleme işlemi ile beraber, malzemelerin tamamında yüzey pürüzlülüğü çok önemli ölçüde iyileşmektedir. Östemperleme işlemi uygulanmış ve mükemmel düzeyde pürüzlülük özelliği sergileyen malzemeler arasında, pürüzlülük değerleri çok büyük sapmalar göstermemektedir.
- Östemperleme işlemi uygulanmamış, dökülmüş haldeki malzemede elde edilen yüzey pürüzlülük değeri, literatürdeki değerlerle tam bir paralellik ve uyum sergilemektedir.
- Östemperleme işlemi uygulanmış numunelerde, tornalama işlemi ile elde edilen yüzey pürüzlülükleri, literatürde dökülmüş haldeki numunelerin taşlanmasıyla elde edilen pürüzlülük değerleri seviyesine çıkmaktadır. Bu şekilde östemperleme işlemi, tornalama sonrası uygulanacak ikinci bir İşlem olan taşlama işlemi ihtiyacını ortadan kaldıracak özellikte görülmektedir.
- Kesme kuvvetleri ve pürüzlülük açısından, birbirine yakın özellikler gösteren malzemeler arasında yapılacak tercih, mekanik özelliklerde göz önünde bulundurularak, kullanım amacına bağlı olarak belirlenmelidir.
- En iyi yüzey pürüzlülük değerleri, 30 dakikalık östemperleme süresinde elde edilmiştir. Birçok numunede, 30 dakikalık östemperleme süresinde yüzey kalitesinde meydana gelen iyileşmeler görülmektedir. 30 dakikalık östemperleme süresinde kesme kuvvetleri için aynı iyileşmeden söz edilemez. Burada yüzey pürüzlülüğü östemperleme süresine göre değerlendirilmelidir.

## 7.2. Öneriler

KGDD'lerde östemperleme, sıcaklık ve östemperleme süresinin mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışma, işlenebilirlik çalışması yapılarak östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalara yenisi eklenerek bu alanda yapılan çalışmalara bir devam niteliği kazandırırken bu araştırma ile çalışmalar bir adım ileriye taşınmıştır. Bu araştırmayı daha da ileriye götürmek için öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Yapılacak çalışmalarda, mümkünse talaş kaldırma işlemleri esnasında aşırı sıcaklık artışını önleyecek tedbirlerin alınmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Yapılacak çalışmalarda, ara yüzeyde oluşan ısının ölçülmesi sonucunda mikroyapı ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimlerin daha kolay anlaşılabilmesi sağlanabilir.
- Numune sayısına bağlı olarak, bu araştırmada işlenebilirlik kriterlerinden sadece kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Numune sayısı artırılmak sureti ile takım aşınması, takım ömrü, talaş oluşumu, BUE eğilimi gibi kriterlerin de belirlenmesi mümkündür.
- Benzer bir çalışma kesme parametrelerinin optimizasyonu, uygun takım geometrisi ve uygun takım sınıfının (grade) seçimi için kriterler belirlenebilir. Malzemelerin mekanik özelliklerine bağlı aşınma dirençlerinin tespiti için aşınma deneyleri yapılmalıdır.
- Denenen malzemelerin östemperleme işlemi, 280, 360, 420 °C de gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıkların mikro yapı, mekanik özellikleri ve işlenebilirlik üzerinde etkileri de araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Hasırcı, H., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerden Alaşım Elementleri (Cu ve Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-30 (2000).
2. Yücel, A., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-30 (2001).
3. Aslantaş, K., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirden İmal Edilen Düz Dişlilerde Yüzey Yorulma Hasarlarının Analizi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 39-60 (2003).
4. Gül, F., “ KGDD Malzeme ve Proses Parametrelerinin Küre Dağılımına Etkisi”,Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-15 (1989).
5. Karsay, S.I., “Ductile Iron Production Practices”, **American Foundrymen’s Society.Inc.**, 22: 24-35 (1985).
6. Ferizoğlu, M.T.,“Küresel Grafitli Dökme Demirde Kaliteye Etki Eden Bazı Parametreler”, **Metalurji Dergisi**, 75: 53-56 (1988).
7. Gagne, M., “The Influence of Manganese and Silicon on the Microstructure and Tensile Properties of Austempered Ductile Iron.”, **American Foundrymen’s Society.Inc. Transactions**, 85, 133: 801-812 (1999).
8. Crews, D.L., Carlon, R., Goudzwoard, J., “Molten Metal Processing”, **American Foundrymen’s Society.Inc.**, 84, 122: 50-55 (1974).
9. Karsay, S.I., “Ductile Iron Production”, **Quebec Iron and Titanium Corp.**, 77: 23-27 (1976).
10. Bevan, J.E., Scholz, W.G., “Effects of Mo on Transformation Characteristics and Properties of High Strength Ductile Irons”, **American Foundrymen’s Society.Inc. Transactions**, 77 – 70: 271 – 276 (1998).
11. Hayrynen, K.L., “Another Avenue For Ductile Iron Foundries Austempered Ductile Iron Presents a Horizon of Opportunities for Foundries”, **Modern Casting Oct.**, 7: 28 – 30 (1999).
12. Shih, T.S., Lin, C.K., Twan, H.Z., “Mechanical Properties of Various – Section ADIs”, **American Foundrymen’s Society.Inc. Transactions**, 97 – 26: 367 – 376 (1998).

13. Azevedo, C.F.R., Garboggini, A.A. and Tschipitschin, A.P., “Effect of Austenite Grain Refinement on Morphology of Product of Bainitic Reaction in Austempered Ductile Iron”, *Materials Science and Technology*, 9: 705 – 710 (1993).
14. Era, H., Kishitake, K., Nagai, K. and Zhang, Z.Z., “Elastic Modulus and Continuous Yielding Behaviour of Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron”, *Materials Science and Technology*, 8: 257 – 261 (1992).
15. Voigt, R.C., “Microstructural Analysis of ADCI Using the Scanning Electron Microscope”, *American Foundrymen’s Society.Inc. Transactions*, 83 – 89: 253 – 262 (1998).
16. Mallia, J., Grench, M. and Smallaman, R.E., “Effect of Silicon Content on Transformation Kinetics of Austempered Ductile Iron”, *Materials Science and Technology*, May, 14: 452 – 460 (1998).
17. Shih, T.S., Chau, S.Y., Chang, C.H., “Optimization of Austenitizing Treatment of Austempered Ductile Irons”, *American Foundrymen’s Society.Inc. Transactions*, 96 – 72: 557 – 564 (1999).
18. Sidjanin, L. and Smallaman, R.E., “Metallography of Bainitic Transformation in Austempered Ductile Iron.”, *Materials Science and Technology*, 8: 1095 – 1103 (1992).
19. Tanaka, Y. and Kage, H., “Development and Application of Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron”, *Materials Transactions*, 33, 6: 543 – 557 (1992).
20. Darwish, N. and Elliott, R., “Austempering of Low Manganese Ductile Irons Part : 3 Variation of Mechanical Properties with Heat Treatment Conditions”, *Material Science and Technology*, 9: 882 – 889 (1993).
21. Yalçın, Y., “ÖKGDD Dişli Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 100 - 105 (1997).
22. Yalçın, Y., Özel, A., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir”, *Metalurji Dergisi*, 23, 119: 15-19 (1999).
23. İnternet: Ductile Iron Data for Desing Engineers, <http://www.ductile.org./default.htm>, (2003).
24. Duborg, M.C., Godet, M., Villechaise, B., “Analysis of Multiple Fatigue Crack – Part II : Results”, *Journal of Tribology*, 114: 462 – 468 (1992).
25. Bayati, H. and Elliot, R., Austempering Process in High Manganese Alloyed Ductile Cast Iron”, *Materails and Science Technology*, 11: 118 – 129 (1995).

26. Harding, R.A., “Effect of Metallurgical Process Variables on Austempered Ductile Iron”, *Metals and Materials*, 14: 65 – 71 (1986).
27. Morgan, H.L., “Introduction to Foundry Production and Control of Austempered Ductile Iron”, *The British Foundryman*, 10: 65- 73 (1987).
28. Blackmore, P.A. and Harding, R.A., “The Effect of The Metallurgical Process Variables on The Properties of Austempered Ductile Iron”, *Journal of Heat Treating*, 3(4): 310 – 325 (1984).
29. Gonzalez, M.A.Y., “Modelling The Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Irons”, Doktora Tezi, *University of Cambridge, Department of Materials Science and Metalurgy*, Cambridge, 22: 10 – 11 (2001).
30. Faubert, G.P., Moore, D.J., Rundman, K.B., “Heavy – Section ADI: Tensile Properties in the As – Cast and Austempered Condition”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 91, 109: 551 – 561 (1995).
31. Huges , I.C.H., “Austempered Ductile Irons- Their Properties and Significance” *Materials & Design*, 6(3): 124 – 126 (1984).
32. Baydoğan, M., “GGG 40 sınıfı KGDD’de Östemperleme Isıl İşleminin Çekme ,Yorulma ve Aşınma Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 69- 80 (1996).
33. Dorazil, E., Podrabsky, T., Svejcar, J., “Micro – Inhomogeneity of Low – Alloy Austempered Ductile Cast Iron Matrix”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 90, 13: 765 - 774 (1999).
34. Massone, J.M., Boeri, R.E., Sikora, J.A., “Decomposition of High Carbon Austenite in ADI”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 96: 133 – 137 (1999).
35. Massone, J.M., Boeri, R.E., Sikora, J.A., “Decomposition of High Carbon Austenite in ADI”, *American Foundrymen’s Society.Inc Transactions*, 96: 133 – 137 (1999).
36. Hayrynen, K.L., Moore, D.J., Rundman, K.B., “Tensile Properties and Microstructure of a Clean Austempered Ductile Iron”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 90, 127: 471 – 476 (1999).
37. Güral, A., “Çift Fazlı Çeliklerde Martensit Hacim Oranı ve Morfolojisinin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 56 - 65 (1999).

38. Johansson, M., "Austenitic – Bainitic Ductile Iron", *American Foundrymen's Society Inc. Transactions*, 77, 73: 117 – 122 (1998).
39. Yan, M., "Effect of Cu, Mo, Si, on the Content of Retained Austenit of Austempered Ductile Iron", *Scripta Metallurgical at Materialla*, 32: 1313 – 1317 (1995).
40. Çoban, B., "ÖKGDD'ler ve Ticari Uygulamaları", *Metallurji Dergisi*, 30 – 37 (1989).
41. Johansson, M., "Austenitic – Bainitic Ductile Iron", *American Foundrymen's Society Inc. Transactions*, 77, 73: 117 – 122 (1998).
42. Shimizu, K., Noguchi, T., Doi, S., "Basic Study on the Erosive Wear of Austempered Ductile Iron", *American Foundrymen's Society Inc. Transactions*, 93, 78: 705 – 710 (1999).
43. Janowak, J.F., Morton, P.A., "A Guide to Mechanical Properties Possible by Austempering 1.5 % Ni – 0.3 % Mo Ductile Iron", *American Foundrymen's Society Inc. Transactions*, 84,120: 489 – 498 (1998).
44. Türk, A., Kısakürek, Ş.E., "ÖKGDD'lerde Darbe Enerji – Yapı İlişkisi", *6. Metallurji Kongresi*, İstanbul, 443 – 456 (1999).
45. Moore, D.J., Rouns, T.N., Rundman, K.B., "Structure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron", *American Foundrymen's Society Inc. Transactions*, 85, 103: 705 – 718 (1998).
46. Bahmani, M. and Elliott, R., "Effects of Pearlite Formation on Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron", *Material Science and Technology*, December, 10:1068 – 1072, (1994).
47. Janowak, J.F., Gundlach, R.B., "Development of a Commercial Austempering", *American Foundrymen's Society Inc. Transactions*, 83, 54: 377 – 388 (1993).
48. Shea, M.M., Ryntz, E.F., "Austempering Nodular Iron for Optimum Toughness", *American Foundrymen's Societ Inc Transactions*, 86, 125: 683 – 688 (1998).
49. Ahmadabadi, M.N., Khazai, B.A., Bahmani, M., "Effect of Austempering Variables on the Mechanical Properties of Ni – Mn – Cu ADI", *American Foundrymen's Society Inc. Transactions*, 97, 74: 501 – 505 (1998).

50. Shieh, C.S., Din, T.A., Lui, T.S., Chen, L.H., “Effect of Nodule Size and Silicon Content on Tensile Deformation Behavior of Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron at Elevated Temperatures”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 93, 133: 365 – 371 (1999).
51. Dubensky, W.J., Rundman, K.B., “An Electron Microscope Study of Carbide Formation Austempered Ductile Iron”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 64, 85: 389-394 (1997).
52. Yu, S.K. and others, “ The Effect of Mo, Cu and Ni on the Microstructure, Hardness and Hardenability of Ductile Cast Irons”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 86, 97: 557 – 576 (1999).
53. Hayreynen, K.L., Brandenberg, K.R., Keough, J.R., “Applications of Austempered Cast Irons”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 02, 084: 929 – 938 (2002).
54. Özel, A., “GGG 40 – 80 Sınıfı KGDD’lerde Östemperleme Isıl İşleminin Darbe Direnci ve Darbe Geçiş Sıcaklığının Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 65 – 80 (1994).
55. Cartin, M.K., “Fatigue of Austempered Ductile Iron”, *Meng Aerospace Materials Engineering Fourth Year Project Report*, 7: 1 – 42 (1999).
56. Hatate, M., Shiota, T., Takahashi, N., Shimizu, K., “Influence of Grafitte Shapes on the Wear Characteristics of Austempered Cast Iron”, *Wear*, 251: 885-889, (2001)
57. Trent, E.M., “ Materials Cutting Force”, *Metal Cutting*, London, 75-90 (1984).
58. Coromat, S., “Modern Metal Cutting”, *Practical Handbook*, 87-95 (1994).
59. Hill, M.G., “Material – Removal Process and Machine Tools”, *Handbook for Mechanical Engineers*, New York, 56 – 67,(1985).
60. Akkurt, M., Mestci, H., Sevinc, A., Talaş Kaldırma Olayında Takım Aşınması, Takım Ömrü ve Kesme Hızı Faktörlerinin İncelenmesi, *6. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*, İstanbul, 13- 22 (1993).
61. Gökkaya, H., Şeker, U., İzçiler, M., “Takım Talaş Ara yüzey Sıcaklığının Ölçülmesi İçin Yapılmış Deneysel Çalışmalar Üzerine Bir Değerlendirme”, *Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, İstanbul, 10 - 15 (2001).
62. Işık, Y., “Takım Ömrü Süresince Takım Davranışlarının İncelenmesi ve Kırılma Anının Önceden Tahmini İçin Bir Erken Uyarı Modelinin Geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 75 – 83 (2001).



63. Şeker, U., “Talaş Kaldırma teorileri”, Takım Tasarımı, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 29 – 37 (1997).
64. Coromat, S., “Modern Metal Cutting”, *Practical Handbook*, Sweden, 63-75 (1997)
65. Sert, H., Karataş, Ç., Özdemir, A., Kılınç, Y., Dağ, M., Samtaş, G., “Thin and Thick Hard Coatings of Metals, Their Environments and Performance Comparisons”, *Proceeding 2nd International Conference on Tribology*, 48 – 58 (2002).
66. Bruins, D.H., Drager, H.J., “Talaşlı Metal İşlemede Takımlar ve Takım Tezgahları”, *Materials Science and Technology*, 35: 65-72 (1975).
67. Çakır, M., “Tornalama”, Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, *Vipaş*, Bursa, 1-25 (2000).
68. Özçatalbaş, Y., “1050, 4140 ve Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-15 (1996).
69. Şahin, Y., “ Dökme Demir”, Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 2, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 119 – 127 (2001).
70. Jane, D.E., “Die and Mould Desing Handbook”, *Coromant – Sandvik Co.*, Sweden, 111-121 (2000).
71. Griffin, R.D “Ductile Iron Data for Desing Engineer”, *Ductile Iron Society*, 950 – 965 (2000).
72. Griffin, R.D., Li, H.J., Kubic, K., Bates, C.E., Eleftheriou, “Machinability of Ductile Iron”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 02, 160: 1085 – 1098 (2002).
73. Moncada, O.J., Spicacci, R.H., Sikora, J.A., Machinability of Austempered Ductile Iron, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 98, 10: 39 – 45 (1998).
74. Özel, A., Kısakürek, Ş.E., “KGDD’lerde Östemperleme Isıl İşleminin Darbe Direnci ve Sertlik Üzerine Olan Etkisinin İncelenmesi”, *6. Metalurji Kongresi*, İstanbul, 428 – 442 (1999).
75. Akbulut, H., Kısakürek, Ş.E., “ÖKGDD’lerde Mikroyapı – Darbe Enerjisi ve Sertlik İlişkisi”, *6. Metalurji Kongresi*, İstanbul, 457 – 470 (1999).



76. Grech, M., Young, J.M., “Effect of Austenitising Temperature on Tensile Properties of Cu - Ni Austempered Ductile Iron”, *Materials Science and Technology*, 6: 453-465 (1990).
77. Kovacs, B., “Heat Treating of Austempered Ductile Iron”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 91, 75: 281 – 286 (1999).
78. Tanaka, Y. and Kage, H., “Development and Application of Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron”, *Materials Transactions*, 33, 6: 543 – 557 (1992).
79. Gonzalez, M.A.Y., “Modelling The Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Irons”, Doktora Tezi, *University of Cambridge, Department of Materials Science and Metalurgy*, Cambridge, 10 – 11 (2001).
80. Moore, D.J., Rouns, T.N., Rundman, K.B., “Effect of Manganese on Structure and Properties of Austempered Ductile Iron : A Processing Window Concept”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 86, 48: 255 – 264 (1999).
81. Shih, T.S., Chang, C.H., Ou, Z.D., “ Mechanical Properties and Microsturctures of Copper Alloyed ADI”, *American Foundrymen’s Society Inc. Transactions*, 93, 71: 791 – 808 (1999).
82. Mallia, J., Grench, M. and Smallaman, R.E., “Effect of Silicon Content on Transformation Kinetics of Austempered Ductile Iron”, *Materials Science and Technology*, 14: 452 – 460 (1998).
83. Özel, A., Yalçın, Y., Kısakürek, Ş.E., “GGG 40 sınıfı KGDD’lerde Östemperleme Isıl işleminin Darbe Direnci ve Darbe Geçiş Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi”, 7. *Metalurji Kongresi*, Konya, 15 – 21 (1999).
84. Çakır, C., Bayram, A., Işık, Y., Salar, B., “The effects of Austempering Temperature and Time onto The Machinability of ADI”, *Material Science Engineering*, 407: 147 – 153 (2003).
85. Wu, C.Z., Chan, Y.J., Shih, T.S., “Phase Transformation in ADI by Microjet Impact”, *Materials Characterization*, 48: 43 – 54 (2002).
86. Zimba, J., Samandi, M., Yu, D., Chandra, T., Navara, E., Simbi, D.J., “Un-Lubricated Sliding Wear Performance of Unalloyed ADI Under High Contact Stres”, *Materials and Desing*, 25: 431 – 438 (2004).
87. Zimba, J., Simbi, D.J., Navara, E., “ADI : An Alternative Material for Earth Moving Compenents”, *Cement and Contireta Composites*, 25: 643 – 649 (2003).

## ÖZGEÇMİŞ

Alptekin SEYFİ; 1980 yılında Kırıkkale’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kırıkkale’de tamamladı. 1998 yılında Kırıkkale Anadolu Meslek Lisesi CNC bölümünü bitirdi. 1999 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında mezun oldu. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Yüksek Lisansa başladı.