ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖSTEMPERLENMİŞ FERRİTİK KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE KESME PARAMETRELERİNİN İŞLEMEYE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Şakir YAZMAN

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ahmet AKDEMİR

2006, 129 sayfa

Jüri: Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR (Danışman)

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Doç. Dr. Hacı SAĞLAM

Mekanik özellikleri; diğer dökme demirlerden daha iyi olan küresel grafitli dökme demirlere (KGDD) uygulanan östemperleme ısıl işlemi ile bu mekanik özellikler daha da iyileştirilmektedir. Üstün mekanik özellikleriyle dikkati çeken östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler (ÖKGDD), özellikle otomotiv sektöründe giderek artan bir uygulama alanına sahiptir. Bu üstün mekanik özellikleri ve geniş kullanım alanlarına rağmen ÖKGDD'lerin işlenebilirliği konusunda, literatürde akademik anlamda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, kaplamasız ve yüksek kesme hızlarında kaplamalı kesici takımlar kullanılarak kesme parametrelerinden, kesme hızı, talaş derinliği değişken değerlerde alınarak ÖKGDD'lerin işlenmesinde en uygun koşulların belirlenmesi amaçlanmıştır. ÖKGDD'lerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde, kesici takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi ve yığıntı talaş oluşumu gibi kriterler baz alınmıştır. İşlenebilirlik deneyleri ISO 3685'te belirtilen şartlara uygun olarak

yapılmıştır. KGDD numuneler ilk olarak 900 ^{o}C'de 90 dakika östenitlemeden sonra, tuz ergiyiğinde 380 ^{o}C'de 90 dakika östemperlenmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan kesici takımlar ISO 1832'ye uygun SCMT 120408–19 formunda seçilmiş olup, takım tutucu biçimleri ise ISO 5608'e göre SSBCR 2525M–12 olarak seçilmiştir. Kaplamasız takımlarda K10, K10/20, K20 ve kaplamalı (Al_2O_3 ve TiC) takımlarda K05/K20 kaliteleri seçilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri sonucunda, kaplamalı takımlarla yüksek kesme hızlarında yapılan talaş kaldırma işlemlerinde aşınma ve yüzey pürüzlülüğü açısından kaplamasız takımlara göre daha iyi bir performans elde edilmesine rağmen, fakat kaplamalı takımlarda ani uç kırılmaları gözlenmiştir. Düşük kesme hızlarında meydana gelen yığıntı talaş kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir. Talaş derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiş olup, talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğü iyileşmiştir, bunun tam tersi olarak kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir, işlenebilirlik, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması, talaş morfolojisi, yığıntı talaş

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON MACHINING FOR AUSTEMPERED FERRITIC DUCTILE IRON

Şakir YAZMAN

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Supervisor: Prof.Dr. Ahmet AKDEMİR

2006, 129 page

Jury: Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR (Supervisor)

Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Assoc. Prof. Dr. Hacı SAĞLAM

Mechanical properties of ductile iron are known better than those of other cast irons. Further enhancements in mechanical properties of ductile iron can be achieved by austempering heat treatment. Due to its high mechanical properties, austempered ductile iron (ADI) has widely been used especially in automobile industry. In spite of their superior and enhanced mechanical properties, and their increasing popularity, the information in literature concerning its machinability is inadequate. In this study, uncoated and coated tools were used at high cutting speeds, and it was aimed to determine the best operative conditions for machining ADIs, machinability was measured for a wide range of machining variables, such as cutting speed, and cutting depth. In the present study, the machinability of ADI is evaluated by adopting tool wear, cutting forces, surface roughness, chip root morphologies and built-up edge as general criteria. Machinability tests were carried out according to ISO 3685

standards. Specimens were austenised at 900 ^{o}C for 90 min and then austempered in molten salt at 380 ^{o}C for 90 min. Several sintered carbide tool grades were used in the tests, including coated and uncoated types. Tools having positive rake angles, ISO SCMT 120408–19, which clamped on tool holders SSBCR 2525M–12 were used. Uncoated sintered carbide grades used are K10, K10/20, K20 and coated sintered carbide inserts K05/ K20 with multilayer coating of Al_2O_3 and TiC. In the machinability tests conducted in the present study, it was observed that coated tools showed better performance, due to their less tool wear, and surface roughness at higher cutting speed in comparison with the uncoated tools, on the other hand some tool fracture were also observed. It was found that, Built-up edge has a negative effect over surface roughness and cutting forces, at lower cutting speeds. It was observed that higher cutting depths lead to higher cutting forces, and it was recorded that cutting depth has no significant effect over surface roughness and tool wear. In the machinability tests carried out with the coated tools, it was observed that increased cutting depth showed fine surface roughness. On the other hand, increased cutting depth showed coarse surface roughness, during the tests carried out with uncoated tools.

Key Words: Austempered ductile iron, machinability, tool wear, cutting forces, surface roughness, chip root morphologies, built-up edge.

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, her türlü desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Prof.Dr. Ahmet AKDEMİR'e, teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Gazi Üniversitesinden Sayın Doç.Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ'a, kesme kuvvetlerinin ölçülmesi sırasındaki katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Araştırma Görevlisi Mustafa GÜNAY'a, yığıntı talaş oluşumunun incelenmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Teknik Öğretmen Ersin BAHÇECİ'ye, takım aşınması deneylerinde yardımlarını esirgemeyen Konya Ticaret Odası Vakfına, yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesindeki katkılarından dolayı Kayahan Hidrolik Makine Endüstri ve Ticaret A.Ş.'ne, malzeme tedarikinde yardımlarını esirgemeyen TASK Metalurji ve Mühendislikten Tunga LİMAN'a, malzemelerin ısıl işlemlerinin yapılmasında yardımcı olan ISTAŞ'a, deneylerin yapım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Öğretim Görevlisi F.Alpaslan KAZAN, Okutman Mehmet ÖZGEN, Öğretim Görevlisi Ömer KUŞ, Öğretim Görevlisi Hilmi DOYGUN ve Sencer KIZILHİSAR'a, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli eşime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET…… i
ABSTRACT…… iii
ÖNSÖZ…..…… v
İÇİNDEKİLER…… vi
SİMGELER VE KISALTMALAR…… x

1. GİRİŞ…… 1

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI…… 4

3. TALAŞ KALDIRMA PRENSİPLERİ VE İŞLENEBİLİRLİK …… 13
3.1. Talaş Oluşumu ve Talaş Geometrisi…… 14
3.1.1. Talaş tipleri…… 16
3.1.2. Talaş kaldırmayı etkileyen temel parametreler…… 17
3.2. Kesme Kuvvetleri…… 18
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü…… 21
3.3.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü…… 22
3.3.2. Doğal yüzey pürüzlülüğü…… 23
3.3.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler…… 23
3.3.3.1. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi…… 25
3.3.3.2. Takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi …… 25
3.3.3.3. Titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi…… 25
3.3.3.4. İş parçasına bağlı faktörler…… 26
3.4. Kesici Takımlarda Aşınma…… 26
3.4.1. Aşınma mekanizmaları …… 26
3.4.1.1. Abrazif aşınma…… 28
3.4.1.2. Difüzyon aşınması…… 28
3.4.1.3. Oksidasyon aşınması…… 28
3.4.1.4. Yorulma aşınması…… 28

3.4.1.5. Adhezif aşınma…… 29
3.4.2. Kesici takım aşınma tipleri……. 29
3.4.2.1. Yan yüzey aşınması …..…….. 29
3.4.2.2. Krater aşınması ……..…….……..…….……...…… 30
2.4.2.3. Plastik deformasyon …….…….…….…….. 30
3.4.2.4. Çentik aşınması …….…….…….. 31
3.4.2.5. Isıl çatlaklar ……...…….…….…… 32
3.4.2.6. Mekanik yorulma çatlakları …….…….…….…… 32
3.4.2.7. Kesici kenardan parçacık kopması ……..…….……..…… 33
3.4.2.8. Kesici kenarın kırılması …….…….…….…… 34
3.5. Kesici Kenarda Yığıntı Talaş Oluşumu …….…….…….…… 34
3.6. İşlenebilirlik …….…….……..... 37
3.6.1. İşlenebilirliği etkileyen faktörler …….……...…… 38
3.6.1.1. İş parçası malzeme özelliklerinin etkisi …….…….……...…… 39
3.6.1.1.1. Sertlik ve dayanım …….…….…….. 40
3.6.1.1.2. Süneklik …….…….…….. 40
3.6.1.1.3. Isıl iletkenlik …….…….……..... 40
3.6.1.1.4. Pekleşme …….…….……..... 41
3.6.1.1.5. Kalıntılar …….. 41
3.6.1.1.6. Kolay işleme katkıları…….…… 42
3.6.1.2. İşlenebilirliği etkileyen diğer malzeme özellikleri…….…… 43
3.6.1.2.1. Malzemenin yapısı…….…….…… 43
3.6.1.2.2. Malzeme özellikleri…….…….……..... 44
3.6.1.2.3. Yüzey düzgünlüğü veya düzensizliği…….…..…… 46
3.6.1.2.4. Alaşım elementlerinin etkisi…….…..…… 47

4. ÖSTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER…..... 48
4.1. Küresel Grafitli Dökme Demirler…….…….…….…… 48
4.1.1. KGDD'lerin üretimi…….…….…….……..... 48
4.1.2. KGDD'lerin mikroyapıları…….…..…… 51
4.1.3. KGDD'lerin mekanik özellikleri……..…… 54
4.2. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirler…….…..……. 55

4.2.1. Östemperleme ısıl işlemi……..……..... 57
4.2.1.1. Östenitleme işlemi……..……..... 58
4.2.1.2. Östemperleme işlemi……..……..…… 59
4.2.1.2.1. I. Aşama izotermal dönüşüm……. 59
4.2.1.2.2. II. Aşama izotermal dönüşüm…… 63
4.2.1.2.3. III. Aşama izotermal dönüşüm…… 66
4.2.2. ÖKGDD'lerin mekanik özellikleri……. 67
4.2.2.1. Östemperleme ısıl işleminin çekme ve akma dayanımı ile yüzde uzamaya etkileri……. 68
4.2.2.2. Östemperleme ısıl işleminin darbe dayanımına etkileri…… 70
4.2.3. ÖKGDD'lerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkileyen diğer faktörler ……..…… 70
4.2.3.1. Döküm şarj malzemesi ve mikroyapısının etkileri…… 71
4.2.3.2. Segregasyonun etkisi…… 71
4.2.3.3. Küresel grafitlerin şekil, miktar ve dağılımının etkisi……..... 72
4.2.3.4. Parça kesit kalınlığı ve soğuma hızının etkisi…… 72
4.2.4. ÖKGDD'lerin avantajları ve kullanım alanları……. 72

5. DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ…… 75
5.1. KGDD'lerin İşlenebilirliği…… 77
5.1.1. KGDD'lerin işlenmesinde tavsiye edilen başlangıç değerleri…… 81
5.1.2. Diğer işlenebilirlik özellikleri…… 83
5.2. ÖKGDD'lerin İşlenebilirliği…… 84

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR…… 88
6.1. Malzeme……..…… 88
6.2. Isıl İşlemler……. 88
6.3. Metalografi ve Mikroyapı…… 90
6.4. Mekanik Deneyler…… 91
6.4.1. Çekme deneyi…… 91
6.4.2. Sertlik deneyi…… 92
6.5. İşlenebilirlik Deneylerleri…… 93

6.5.2. Kesme kuvvetleri deneyleri……. 94
6.5.3. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri..…… 97
6.5.4. Takım aşınması deneyleri…… 98
6.5.5. Talaş morfolojisi inceleme deneyleri…….101

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA……103
7.1. Değerlendirme Kriterleri……103
7.2. Kesme Hızı ve Talaş Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi……..104
7.3. Kesme Hızı ve Talaş Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi……107
7.4. Kesme Hızı ve Talaş Derinliğinin Kesici Takım Yan Yüzey
Aşınmasına Etkisi…..……...112
7.5. Talaş Morfolojisi ve Yığıntı Talaş Oluşumu…… 115

8. SONUÇ ve ÖNERİLER …… 120

9. KAYNAKLAR……. 124

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGE	AÇIKLAMA
V	Kesme hızı (m/dak)
f	İlerleme (mm/dev)
a	Talaş derinliği (mm)
Fc	Esas kesme kuvveti (N)
Fa	İlerleme kuvveti (N)
Fp	Pasif/radyal kuvvet (N)
F	Sürtünme kuvveti (N)
Fn	Kayma düzlemi üzerindeki kuvvet normali (N)
Fs	Kayma düzlemi boyunca etki eden metali kesmek için gerekli kuvvet (N)
R	Bileşke kuvvet (N)
ϕ	Kayma düzlemi açısı (^{o})
b	Talaş genişliği (mm)
t	Talaş kalınlığı (mm)
t_c	Deforme olmuş talaş kalınlığı (mm)
Vc	Talaşın parçadan uzaklaşma hızı
VB	Kesici takım yan yüzey aşınma miktarı (mm)
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
γ	Östenit
γ_{yk}	Yüksek karbonlu östenit
α	Ferrit
Tγ	Östenitleme sıcaklığı (^{o}C)
tγ	Östenitleme süresi (dakika)
γ^1	Dönüşmemiş östenit
Ta	Östemperleme sıcaklığı (^{o}C)
V_{Faz}	Faz hacim oranı
L_{Faz}	Fazı kesen toplam çizgi uzunluğu (mm)

KISALTMA	AÇIKLAMA
KGDD	Küresel grafitli dökme demir
ÖKGDD	Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir
FZ	Akma bölgesi (Flow Zone)
BHN	Brinel sertlik numarası (Brinell Hardness Number)
KE	Karbon eşdeğerliği
TS	Tane sınırı
ADA	Ani durdurma aparatı

1. GİRİŞ

Talaş kaldırma işlemi, imalatın en önemli süreçlerinden birini teşkil eder. Bu nedenle bu sürecin en ekonomik şartlara bağlı olarak gerçekleştirilmesi gerekir. Bunun temel şartı, talaş kaldırmayı etkileyen faktörlerin üretim planlaması yapan birimlerce iyi bilinmesi ve en etkili bir şekilde uygulanmasıdır. Araştırmaların ortaya koyduğu sonuçlar, talaş kaldırmayı etkileyen birçok faktörün varlığından ve bu faktörlerin birbirleri ile olan ilişkilerinden söz eder. Talaş kaldırmayı etkileyen en önemli faktörler; kesici takım ömrü, kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı, kesme açıları, titreşim durumu, soğutma sıvısı, takım-iş parçası malzeme çifti ve takım ucu yarıçapı olarak sıralanabilir. Bunlar arasında en önemlisi ise kesici takım performansı ve maliyet bakımından daha yüksek olduğundan dolayı takım ömrü olup, bu da kesici takımın birbirini takip eden iki bileme esnasında etkili olarak çalıştığı zaman olduğundan, genellikle, takım ömrü-kesme hızı ve kesme hızı-talaş kesiti ilişkileri öncelik arz etmektedir. Talaş derinliğindeki değişmeler, takım ömrü üzerine en az etkiye sahiptir. İlerleme miktarındaki değişimler takım ömrü üzerine talaş derinliğindeki değişikliklerden daha büyük etkilidir. Herhangi bir malzemede kesme hızındaki değişiklerin takım ömrü üzerine etkisi hem talaş derinliği hem de ilerleme miktarından daha fazladır. En uygun ilerleme miktarı ve talaş derinliği dikkate alındığı zaman, her zaman mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bunlar takım ömrü üzerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan takım ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir. Özet olarak, maksimum üretim miktarı; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin optimize edilmesi ile takım değiştirme zamanı minimum ve toplam işleme zamanı içinde maksimum parça üretimi ile sağlanır.

Teknolojik gelişmelerle birlikte; teknolojinin gereksinimi olan malzemelerin 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 ısıl

işlemlerle daha da iyileştirilebilmektedir. KGDD'lere uygulanan ısıl işlemler çok çeşitli olmakla beraber kazançlar bakımından ön plana çıkan ısıl işlem, östemperleme ısıl 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 ısıl işlemleri, çeliklere göre % 10 daha hafif olmaları, döküm yoluyla son şekle getirilebilme yetenekleri ve montaj kolaylıkları bu malzemeleri cazip hale getirmiştir. Bu üstün özelliklerin bir sonucu olarak da pek çok alanda kullanılmaya başlanmış ve pek çok araştırmaya konu olmuştur. Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD), yüksek aşınma direnci ve tokluk özelliklerinin yanı sıra diğer mekanik özelliklerindeki üstünlükler nedeniyle, dövülüp ısıl işlem görmüş çeliğin özelliklerine yakın özellikler göstermektedir. Bunun sonucu olarak özellikle otomotiv sektöründeki kullanımları giderek artmıştır. ÖKGDD'ler krank milleri, kam milleri, dişliler gibi daha birçok makine parçası imalatında kullanılmaktadırlar.

Bu üstün mekanik özellikleri ve geniş kullanım alanlarına rağmen ÖKGDD'lerin işlenebilirliği konusunda, literatürde akademik anlamda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. ÖKGDD'lerin sergilediği dayanım ve aşınma direncindeki önemli artış dikkate alındığında, bu malzemelerde bir takım işleme problemleri ile karşılaşılabilir. Bununla birlikte, bu malzemelerin mekanik özellikleri ve işlenebilirliği arasındaki kombinasyon iki aşamada sorgulanabilir. İlk olarak, ÖKGDD'lerin daha yumuşak sınıflarının işlenebilirliği eşdeğer dayanıma sahip çeliklerin işlenebilirliğine eşit veya daha iyidir. İkincisi, östemperleme ısıl işlemi süresince ÖKGDD'nin geliştirilen mekanik özellikleri, bu malzemenin ısıl işlemden önceki yumuşak döküm halinde veya ön bir ısıl işlemle tamamen işlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durumda, daha yüksek hız ve ilerlemelerin kullanılması ve takım ömrünün arttırılması mümkündür.

Bu çalışmada, östemperleme ısıl işlemiyle üstün mekanik özellikleri dikkat çeken KGDD'lerin işlenebilirlik özelliklerinin tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla literatürde işlenebilirlik açısından en iyi özelliklere sahip GGG 40 standardında ferritik KGDD numuneler temin edilip, literatürde belirtilen sınırlar içerisinde, ilk olarak 900 ^{o}C'de 90 dakika östenitlemeden sonra, 380 ^{o}C'de 90 dakika östemperlenmiştir. Isıl işlem görmemiş, dökülmüş şartlardaki numunelerle östemperleme sonrası numunelerin mikro yapıları ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri, ISO 3685 (TS 10329)'deki deney şartlarına uygun olarak kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Literatürde belirtilen geometriye sahip kaplamasız ve yüksek kesme hızlarında kaplamalı takımlar kullanılarak, kesme parametrelerinden, kesme hızı ve talaş derinliği değişik aralıklarda alınıp, ilerleme değeri bütün deneyler için sabit tutulmuştur. İşlenebilirlik değerlendirilmesinde, en önemli işlenebilirlik parametrelerinden kesme kuvvetleri, kesici takımda aşınma, yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi ve yığıntı talaş oluşumu kriterleri esas alınmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Mendi (1996), tarafından yapılan çalışmada talaş oluşumu, talaş geometrisi, talaş tipleri, talaş kaldırmaya etki eden parametreler ve kesme kuvvetleri hakkında genel bilgiler mevcuttur.

Şahin (2000), yapmış olduğu çalışmada talaş kaldırma prensipleri, talaş tipleri, ve talaş kaldırmayı etkileyen faktörler ile ilgili geniş ve detaylı bilgi vermiştir.

Şahin (2001), yapmış olduğu çalışmada işlenebilirlik ve işlenebilirliğe etki eden faktörler hakkında genel bilgiler mevcuttur.

Şeker (1997), hazırlamış olduğu yüksek lisans ders notlarında talaş oluşumu, talaş tipleri, kesici takım aşınma tipleri, işlenebilirlik ve işlenebilirliği etkileyen faktörler hakkında geniş ve detaylı bilgilere değinilmiştir.

Özçatalbaş (2002), hazırlamış olduğu yüksek lisans ders notlarında yüzey pürüzlülüğü, işlenebilirlik ve işlenebilirliğe etki eden faktörler hakkında geniş ve detaylı bilgilere değinilmiştir.

Özçatalbaş ve Ercan (2003), tarafından yapılan çalışmada ısıl işlemlerin işlenebilirliğe etkisi ve kesici kenarda oluşan yığıntı talaşın yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiş ve detaylı bilgi sunulmuştur.

Özçatalbaş (1998), yapmış olduğu çalışmada kesme hızının yığıntı talaş oluşumuna etkisi hakkında çarpıcı bilgiler verilmiştir.

Özçatalbaş (2002), tarafından yapılan çalışmada malzeme mekanik özelliklerinin işlenebilirlik üzerine etkisi incelenmiş ve bu konuda geniş bilgilere yer verilmiştir.

Kwon (2000), tarafından yapılan çalışma yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ile ilgili bilgiler içermektedir.

Cheung ve Lee (2000), yapmış oldukları çalışmada yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler hakkında çarpıcı bilgiler sunulmuştur.

Lin ve Chang (1998), tarafından yapılan çalışmada titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir.

Acır (2003), tarafından yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ile ilgili ayrıntılı bilgiler mevcuttur.

Çakır (1999), yapmış olduğu çalışmada işlenebilirlik ve işlenebilirliğe etki eden faktörler hakkında geniş ve detaylı bilgiler vermiştir.

Sandvik Coromant (1997), tarafında hazırlana çalışmada kesici takımda aşınma tipleri, yığıntı talaş oluşumu, işlenebilirlik ve işlenebilirliğe etki eden faktörler araştırılmıştır.

Asil Çelik (1994), tarafından hazırlanan çalışmada kesme kuvvetleri, işlenebilirlik ve işlenebilirliğe etki eden faktörler ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Altıntaş (2000), tarafından hazırlanan çalışmada kesme kuvvetleri ve kesici takım aşınma mekanizmaları hakkında bilgiler mevcuttur.

Sandvik Coromant (2000), tarafından hazırlanmış olan çalışmada dökme demirlerin işlenebilirlikleri ile ilgili bilgiler verilerek, dökme demirlerin işlenebilirliklerinin birbiri arasında karşılaştırılması yapılarak bu konular hakkında genel bilgilere değinilmiştir.

Işık ve Çakır (2004), tarafından yapılan çalışmada malzemenin mekanik özelliklerinin, kesici takım kalitesinin ve kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkileri incelenmiş ve detaylı bilgiler verilmiştir.

Hasırcı (2000), yaptığı çalışmada ÖKGDD'lerde alaşım elementleri (Cu ve Ni) ve östemperleme süresinin mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkilerini deneysel

olarak incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, değişik miktarlarda alaşım elementleri içeren küresel grafitli dökme demir numunelere farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde östemperleme ısıl işlemi uygulamışlar. Deney sonuçlarında, östemperleme süresi arttıkça genel olarak ferrit ve yüksek karbonlu östenit miktarı artarken dönüşmemiş östenit miktarı azalmakta darbe dayanımı ve uzama artmakta, ancak çekme ve akma dayanımı ile sertliğin azaldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra daha uzun östemperleme sürelerinde (150 dakika) karbür oluşumu nedeniyle sertlik ile çekme ve akma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Östemperleme süresine bağlı olarak darbe dayanımının artmasında % Cu miktarının % Ni miktarına göre daha etkili olduğu görülmüştür. % Cu miktarı arttıkça darbe dayanımı artmaktadır.

Eric ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada ÖKGDD'lerde östemperleme süresinin ve sıcaklığının mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kısa östemperleme sürelerinde, martenzit yapıdan dolayı kırılganlık ve gevreklik söz konusudur, östemperleme süresi arttıkça martenzit yapı yok olmakta ve yapı içerisinde beynit, ferrit ve kalıntı östenit'ten dolayı % uzama ve darbe dayanımı artış göstermektedir. Fakat östemperleme süresi daha fazla arttırıldığında darbe dayanımı ve % uzamada düşüş olmaktadır. Yüksek dayanım değerleri, düşük östemperleme sıcaklıklarında gözlenmiştir.

Sohi ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada ÖKGDD'lerde östemperleme süresinin ve sıcaklığının mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Östemperleme süresi arttıkça akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzamada artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca östemperleme sıcaklığı 315 ^{o}C olan numunelerin çekme ve akma dayanımlarının 350 ^{o}C'de östemperlenen numunelerden daha yüksek olduğu, bunun tam tersi olarak ta yüksek östemperleme sıcaklığında % uzamanın daha fazla olduğu görülmüştür.

Şen (2003), yaptığı çalışmada KGDD üretimi, KGDD üretiminde temel aşamalar ve işlem yöntemleri hakkında detaylı bilgi verilerek, işlem yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Topuz (2003), yaptığı çalışmada KGDD'lerin östemperlenmesi ve ÖKGDD'lerin mikro yapıları hakkında genel bir bilgi vermiştir. Bu çalışmada farklı sıcaklıklarda östemperlenmiş KGDD numunelerin beynitik yapısı tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.

İzgiz (1986), yaptığı çalışmada alaşım elementlerinin KGDD'lerin mikro yapıya ve mekanik özelliklere etkisini incelemiştir.

Komaç ve Çelik (2004), yaptıkları çalışmada farklı kimyasal bileşimlere sahip KGDD numunelere üç farklı sıcaklık ve beş farklı sürede östemperleme ısıl işlemi yapılmıştır. Genel olarak sertliğin tüm alaşımlar için östemperleme süresine bağlı olarak düştüğü görülmüştür. Ayrıca, alaşım elementlerinin sertlik üzerine etkili olduğu saptanmıştır. Alaşımsız numunelere göre Ni alaşımlı numunelerde elde edilen sertlik değerleri, yapıdaki Ni miktarı arttıkça artış göstermektedir.

Hayrynen (1998), yaptığı çalışmada östemperleme işlemi, alaşım elementlerinin ve miktarlarının östemperleme ısıl işlemine etkileri, östemperleme süresi ve sıcaklığının mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkilerini incelemiş ve ÖKGDD'lerin mekanik özelliklerinin diğer malzemelerle karşılaştırılması yapılarak ayrıntılı bilgiler vermiştir.

Labrecque ve Gagne (1998), yaptıkları çalışmada KGDD'lerin üretimi ve üretim yöntemleri hakkında genel bilgi verilmekle birlikte, küreselleştirme işlemi, tipik Mg küreselleştirme alaşımları ve kullanılan işlem yöntemleri hakkında detaylı bilgi mevcuttur.

Spengler ve Briggs (1972), yaptıkları çalışmada KGDD'lerin üretimi, küresel grafit oluşumu, küreselleşmeyi teşvik eden alaşım elementleri ve miktarları hakkında genel bilgi verilmiştir.

Karsay (1985), yaptığı çalışmada KGDD'lerin mikro yapıları ve alaşım elementlerinin mikro yapıya etkilerini hakkında detaylı bilgiler mevcuttur.

Chang (1998), yaptığı çalışmada KGDD'lerde östemperleme ısıl işlemi sonucu meydana gelen mikro yapılar ve bu mikro yapıların mekanik özellikler üzerine etkisi hakkında bilgiler mevcuttur.

Grech ve Young (1990), yaptıkları çalışmada östemperleme ısıl işlemi hakkında detaylı bilgi mevcut olup, Cu ve Ni miktarlarının ÖKGDD'lerin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine etkileri hakkında bilgi verilmiştir.

Azevedo ve arkadaşları (1993), yaptıkları çalışmada östemperleme ısıl işlemi hakkında bilgi vermiş, östemperleme sıcaklık ve süresinin alaşım elementlerine ve östenitleme şartlarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Ferizoğlu (1988), tarafından yapılan çalışmada KGDD'lerin mikro yapıları ve KGDD'lerde kaliteyi etkileyen parametreler hakkında bilgiler mevcuttur.

Shieh ve arkadaşları (1993), tarafından yapılan çalışmada östemperleme ısıl işlemi ve östemperleme süresi ve sıcaklığının mikro yapıya etkileri incelenmiştir.

Mallia ve arkadaşları (1998), yaptıkları çalışmada östemperleme ısıl işlemi ve ÖKGDD'lerin mikro yapı ve mekanik özelliklerini etkileyen faktörler hakkında detaylı bilgi mevcuttur.

Massone ve arkadaşları (1996), tarafından yapılan çalışmada östemperleme ısıl işlemi ve östemperleme ısıl işleminin süresinin mikro yapıya etkisi hakkında bilgi verilmektedir.

Shih ve arkadaşları (1997), yaptıklar çalışmada östemperleme işlemi, alaşım elementlerinin ve miktarlarının östemperleme ısıl işlemine etkileri, östemperleme süresi ve sıcaklığının mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkilerini incelemişlerdir.

Ahmadabadi ve arkadaşları (1997), yaptıkları çalışmada östemperleme ısıl işlemi ve Ni-Mn-Cu miktarlarının ÖKGDD'lerin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir.

Shih ve arkadaşları (1996), tarafından yapılan çalışmada östemperleme ısıl işlemi ile ilgili geniş ve detaylı bilgiler mevcuttur.

Kobayashi ve Yamada (1996), tarafından yapılan çalışma östemperleme ısıl işlemi ve östemperleme ısıl işleminin mikro yapıya etkileri hakkında bilgi içermektedir.

Bahmani ve Ellott (1994), yaptıkları çalışma ÖKGDD'lerin mikro yapı ve mekanik özelliklerini etkileyen faktörler hakkında bilgi içermektedir.

Shimizu ve arkadaşları (1993), yaptıkları çalışmada östemperleme süresinin ve sıcaklığının mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi hakkında geniş bilgi mevcuttur.

Sidjanin ve Smallman (1992), tarafından yapılan çalışma östemperleme ısıl işlemi ve östemperleme ısıl işleminin mikro yapıya etkileri hakkında bilgi içermektedir.

Hayrynen ve arkadaşları (1990), yapıkları çalışmada ÖKGDD'lerin mikro yapısı ve mekanik özelliklerini etkileyen faktörler hakkında incelemeler yapmışlar ve bu konu kakında detaylı bilgiler vermişlerdir.

Grech (1990), tarafından yapılan çalışmada östemperleme süresinin ve sıcaklığının mikro yapıya ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiş ve Cu-Ni miktarının mikro yapıya ve mekanik özelliklere etkisi hakkında bilgi verilmiştir.

Dorazil ve arkadaşları (1990), tarafında yapılan çalışmada östemperleme sıcaklık ve süresinin artması özellikle tane sınırlarında karbürlerin çökelmesine ve darbe özelliklerinin azalmasına neden olduğu, çekme dayanımı ve sertliğin östemperleme sıcaklığının artmasıyla azalmadığını belirtilmektedir.

Matsumura ve arkadaşları (1987), yaptıkları çalışmada östemperleme sıcaklığının artmasıyla sünekliğin arttığını, ayrıca Si artışının östemperleme sıcaklığını arttırdığını belirtmektedirler.

Morgan (1987), yaptığı çalışmada Si'nin karbon aktivitesini arttırdığı ve bunun sonucu olarak ta grafitleşmenin teşvik edildiğini ortaya koymaktadır.

Shea ve Ryntz (1986), tarafından yapılan çalışmada ÖKGDD'lerin avantajları ve kullanım alanları hakkında bilgilere değinilmiştir.

Dubensky ve Rundman (1985), tarafından yapılan çalışmada ÖKGDD'lerin avantajları ve kullanım alanları hakkında bilgilere değinilmiştir.

Yalçın ve Özel (1999), yaptıkları çalışmada östemperleme ısıl işlemi, östemperleme ısıl işlemine etki eden faktörler ve östemperleme sıcaklığının ile süresinin mikro yapıya ve mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır.

Mills ve Redford (1983), yapmış oldukları çalışmalarında talaş kaldırma prensipleri, talaş oluşumu, talaş geometrisi ve işlenebilirlik konusunu işlemişlerdir.

Moncada ve arkadaşları (1998), 360, 320 ve 280 ^{o}C'de östemperlenmiş üç farklı sınıf ÖKGDD üzerinde, farklı kesme hızlarında 15 dakikalık takım ömrü için, farklı imalatçılara ait farklı ISO kodlarına sahip kesici takımlarla, takım aşınma eğilimlerini inceleyerek ÖKGDD'lerin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar sonunda 360, 320 ve 280 ^{o}C'de östemperlenmiş numunelerin işlenebilirliğinin sırasıyla % 15, % 40 ve % 50 daha düşük olduğu, uygulamalarda pozitif talaş açısıyla daha iyi sonuçlar alındığı, kaplamalı takımların, kaplamasız takımlara göre daha yüksek işlenebilirlik özellikleri sergilediği, soğutma sıvısı kullanımının işlenebilirliği olumlu yönde etkilediği (kaplamasız takımlarda bu etki ihmal edilebilir ölçüdedir) yönünde sonuçlar elde edilmiştir.

Seah ve Sharma (1995), farklı kesme hızı ve ilerlemede kaldırılan talaş miktarlarının sarfedilen birim güce bağlı olarak işlenebilirlik göstergelerini hesaplanmak suretiyle,

alaşımlı ÖKGDD'lerin işlenebilirliğini değerlendirmişlerdir. Deneysel çalışmalar için 300, 340, 380 ^{o}C'de östemperlenmiş numuneler kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 9,50 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm^2 talaş kesiti için sarf edilen birim güce bağlı olarak en iyi işlenebilirlik göstergesi % 1 Ni içeren 380 ^{o}C'de östemperlenmiş numunelerde gözlenmiştir. Talaş kesiti sabit olmak şartıyla kesme hızının 11,87 m/dak'ya çıkartıldığında işlenebilirlik göstergeleri bütün numunelerde azalmıştır. Genel olarak 380 ^{o}C de östemperlenmiş ve % 1 Ni içeren numuneler daha iyi sonuçlar vermiştir. Östemperleme sıcaklıkları düştükçe numunelerin işlenebilirlik göstergelerinin de düştüğü gözlenmiştir.

Çakır ve arkadaşları (2005), 300, 350 ve 400 ^{o}C sıcaklıklarında 1 ve 2 saat süreyle östemperlenmiş KGDD'lerin işlenebilirliklerini, kesme kenarı aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından incelemiş ve birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmanın sonucunda, takım aşınması açısından en iyi sonuçlar ısıl işlem uygulanmamış KGDD numunelerde gözlenmiş, buna karşın 350 ^{o}C'de 2 saat östemperlenmiş numuneler ise takım ömrü açısından en kötü performansı sergilemişlerdir. Kesme kuvvetleri açısından, 400 ^{o}C'de 1 saat ve 350 ^{o}C'de 1 saat östemperlenmiş numunelerde aynı değerler elde edilerek en düşük esas kesme kuvveti değerleri bu numunelerden ölçülmüş, 400 ^{o}C'de 2 saat östemperlenmiş numunelerde ise esas kesme kuvveti en fazla düzeyde ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü açısından, 300 ^{o}C'de 2 saat östemperlenmiş numune en iyi, 300 ^{o}C'de 1 saat östemperlenmiş numune en kötü performansı göstermektedir.

Şeker ve Hasırcı (2005), 370 ^{o}C sıcaklığında 60, 90, 180 ve 200 dakika östemperlenmiş farklı miktarlarda Ni ve Cu içeren KGDD'lerin işlenebilirliklerini, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, 60 dakika östemperleme işlemine tabi tutulmuş % 0,7 Ni ve % 0,7 Cu içeren numuneler, hem kesme kuvvetleri hem de yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçları veren numunelerdir. Alaşımsız ve ısıl işlem görmemiş numune, kesme kuvvetleri açısından en iyi sonucu veren numune olmakla beraber, en kötü yüzey pürüzlülük sonuçları da yine bu numunede görülmüştür. Yüzey pürüzlülükleri açısından östemperlenmiş numunelerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Şeker ve arkadaşları (2002), farklı miktarlarda Ni ve Cu içeren KGDD numunelerin işlenebilirliklerini, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, alaşımsız numunelerde en düşük kesme kuvvetleri gözlenirken, yüzey pürüzlülüklerinin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuçlar % 0,7 Ni ve % 0,7 Cu ihtiva eden KGDD numunelerde elde edilmiştir.

3. TALAŞ KALDIRMA PRENSİPLERİ VE İŞLENEBİLİRLİK

Metaller ve metal alaşımlarının işlenmesinde kullanılan takımların kesici kenarları yeterince keskin olmasına rağmen, talaş kaldırma sırasında oluşan gerilimler karşısında oldukça zorlanırlar. Bu sebeple takımın dayanabileceği optimum kesit ve kesmeyi kolaylaştıracak ideal takım geometrisi geliştirmek için pek çok araştırma yapılmıştır (Şeker 1997). İlk çalışma, 1851 yılında "Finne Cocquilhat" tarafından delmedeki işi hesaplamak için yapılmıştır. 1873'de "Horhg", kesme iş cetvelleri oluşturarak bunları bir kitapta yayınlamıştır. Talaşın biçimlenmesi konusundaki ilk çalışmalar ise 1870'de "Timme" ve 1873'de Fransız bilim adamı "Tresca" tarafından yapılmıştır. 1881'de "Mallock", malzemenin kesilmesinde kesme metodunun talaşın biçimlenmesinde esas olduğunu ileri sürerek, takım yüzeyindeki sürtünme etkisi üzerinde durmuştur, kısmen biçimlendirilmiş talaş özelliklerinden yola çıkarak talaş çeşitlerini ortaya çıkartmış, kesme metoduna takım ucunun ve kesme sıvısının etkisini araştırmış ve istenmeyen sonuçlara yol açan dengesiz kesme metotlarını incelemiştir. Yaptığı çalışmaların çoğu bugünkü modern teorilerin de temelini ortaya koyacak kadar etkili olmuştur.

Ancak, kesme mekaniği üzerindeki en etkili çalışmalar, günümüzde de yaygın olarak kullanılan şekliyle "Taylor" tarafından 1900'lü yıllardan sonra ortaya konulmuştur (Çakır 1999). Taylor yaklaşık 26 yıllık deney ve inceleme birikimlerini derleyerek talaş kaldırma operasyonları sırasında kesme parametrelerinin ve takım malzemesinin takım ömrüne etkisini incelemiştir. Prensip olarak en ideal kesme şartlarını uygulamaya izin veren ampirik formüller geliştirmiştir. Taylor'un diğer en önemli keşfi ise, takım ve kesme kenarlarında oluşan sıcaklıklarla takım aşınma oranını kontrol edebilmesidir.

1941'de "Ernst ve Merchant" tarafından bu teoriler daha da geliştirildi ve talaş kaldırma mekaniği olgunlaştırıldı. Merchant prensipleri olarak bilinen bu prensiplerde günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tresca, Harting, Finne, Mallock, Taylor, Merchant gibi bilim adamları metal kesme teknolojisinin anlaşılmasını sağlamışlardır. Bunların ortaya koydukları prensiplerden yola çıkarak kesme olayı açıklanmaktadır.

Kesme teknolojisinde temel noktalar şunlardır:

Kesici takım, talaşın alt yüzeyi ile iş parçasının işlenen yüzeyini birbirinden ayırmaya zorladığında, talaşın gövdeden ayrıldığı yerde yüksek sıcaklıklar meydana gelir ve takım ile iş yüzeyinde aşınma oluşur.

İş parçasından belirli bir tabaka ayırabilmek için kesici kenarın gövde içerisine daldırılması gerekir. İş parçası ve takımın yüklenen gerilmelere dayanabilmesi için belirli bir kesitte olmalı ve işlenen yüzeyin takımın yan yüzeyine temas etmemesi için takıma boşluk açısı verilmelidir.

Pratik işlemede takımın kesici kenarını oluşturan uç açısı 55^{o}~90^{o} arasında değişmektedir. Takıma verilen talaş açısının oluşturduğu yüzey boyunca, talaş iş parçasından uzaklaştırılır. Bu şekilde kaldırılan talaşın tamamında bir plastik deformasyon oluşur. Bu yüzden talaşın oluşması ve takımın-talaş arayüzeyi boyunca hareketi için büyük bir enerji gerekir.

Talaş kaldırarak işlemenin temel amacı yeni iş yüzeyinin (istenen parça geometrisinin) oluşturulmasıdır. Talaşın oluşması ve hareketi enerji tüketiminin de temelini ortaya koyar. Bu sebeple takım ömrü ve kaldırılan metal oranıyla ilgili pratik problemler, yalnızca takım-talaş arayüzeyi boyunca hareket eden talaşın ve işlenen malzemenin davranışları incelenerek ortaya konur.

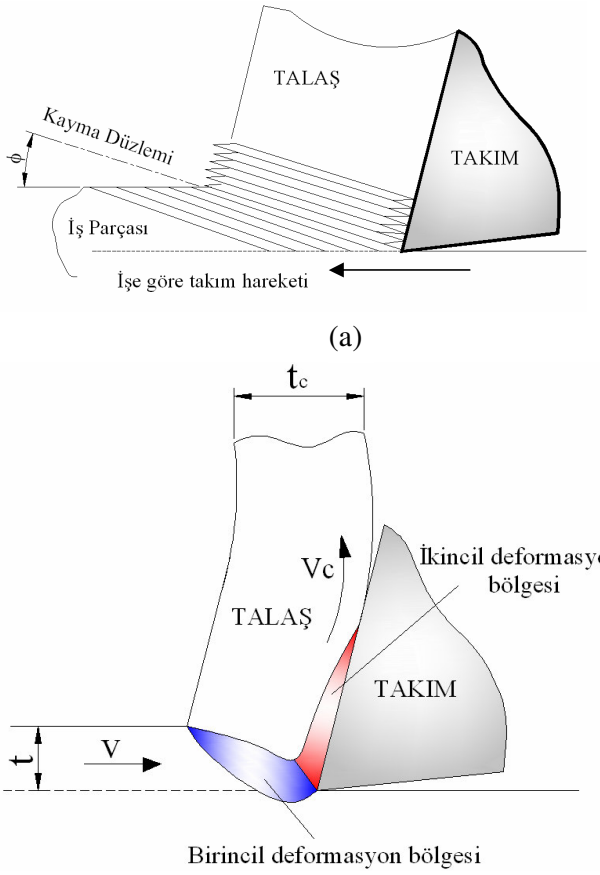
3.1. Talaş Oluşumu ve Talaş Geometrisi

Talaş oluşumu, Şekil 3.1'de gösterilen "Kart modeli" teorisine göre (Mills ve Redford 1983) birincil deformasyon bölgesi içinde oluşan belirli bir kayma düzlemi boyunca meydana gelir. Kayma düzlemine kadar malzeme elastiktir. İlk deformasyon, oluşan bu düzlem üzerinde başlar ve kesme yönüne yönlenmiş ardışık

kesme düzlemleri boyunca devam eder. Kesme sırasında bu şekilde kaldırılan malzeme tabakasına "talaş" denir.

Talaşın parça üzerinden ayrıldığı düzleme kayma düzlemi, bu düzlemin kesme yönü ile yaptığı açıya kayma düzlemi açısı (ϕ) denir. Kayma düzlemi boyunca parçadan ayrılarak deforme edilmemiş talaşın genişliği (b), kalınlığı (t) ile ifade edilirken, deforme edilmiş talaş kalınlığı (t_c) t'den daha büyüktür.

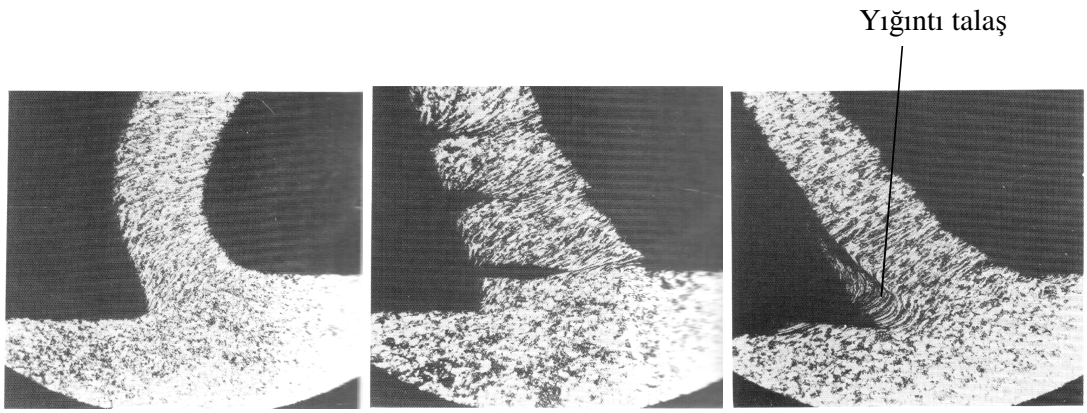
Talaş kaldırma sırasında takım, kesme yönünde "V" kesme hızı ile ilerler ve talaş parçadan "Vc" hızı ile uzaklaşır. Takım yüzeyi boyunca yapışma ve sürtünme etkisiyle oluşan bölge ikincil deformasyon bölgesidir (Mills ve Redford 1983).



Şekil 3.1 a) Talaş oluşumunda kart modeli b) Talaş kaldırma işleminin şematik gösterimi.

3.1.1. Talaş tipleri

Talaşlı imalatta, ham malzeme işlenirken elde edilen talaşın biçimi genellikle, işlenen malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, talaş açısı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Talaş biçimleri, kesme şartları ve yüzey kalitesi hakkında bilgi veren bir faktördür. Talaş, oluşum mekanizmasına göre en genel anlamda, sürekli, kesikli ve yığıntı talaş olmak üzere üç tip olarak meydana gelir (Şekil 3.2) (Mendi 1996, Şahin 2000).



Şekil 3.2 Talaş tipleri (a) Sürekli talaş (b) Kesikli talaş (c) Yığıntı talaş

Sürekli talaş, sabit şartlarda genellikle sünek malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi sırasında makro düzeyde çatlaksız olarak meydana gelir. Sürekli talaş, yüksek deformasyon nedeni ile sertleşir ve yüksek sertlik değerine ulaştığında takım aşınmasını arttırır.

Kesikli talaş, farklı gerilmelere sahip ve gevrek malzemelerden talaş kaldırılması sırasında talaş sadece kısmen biçimlendirilebileceğinden ilk deformasyon bölgesinde kırılma olacaktır ve bu bölgede talaş parçalara ayrılacaktır.

Yığıntı talaş, yumuşak ve sünek malzemelerin düşük/orta kesme hızlarında işlenmesi sırasında veya takım kesici kenarının aşınma sürecine girdiği durumlarda oluşur. Çıkan talaş, takımın talaş yüzeyine tam anlamıyla sıvanır (Mendi 1996, Şeker 1997).

3.1.2. Talaş kaldırmayı etkileyen temel parametreler

Talaş kaldırma işlemi, imalatın en önemli süreçlerinden birini teşkil eder. Bu nedenle bu sürecin en ekonomik şartlara bağlı olarak gerçekleştirilmesi gerekir. Bunun temel şartı, talaş kaldırmayı etkileyen faktörlerin üretim planlaması yapan birimlerce iyi bilinmesi ve en etkili bir şekilde uygulanmasıdır. Araştırmaların ortaya koyduğu sonuçlar, talaş kaldırmayı etkileyen birçok faktörün varlığından ve bu faktörlerin birbirleri ile olan ilişkilerinden söz eder. Talaş kaldırmayı etkileyen en önemli faktörler; kesici takım ömrü, kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı, kesme açıları, titreşim durumu, soğutma sıvısı, takım-iş parçası malzeme çifti ve takım ucu yarıçapı olarak sıralanabilir (Mendi 1996).

Bunlar arasında en önemlisi ise kesici takım performansı ve maliyet bakımından daha yüksek olduğundan dolayı takım ömrü olup, bu da kesici takımın birbirini takip eden iki bileme esnasında etkili olarak çalıştığı zaman olduğundan, genellikle, takım ömrü-kesme hızı ve kesme hızı-talaş kesiti ilişkileri öncelik arz etmektedir.

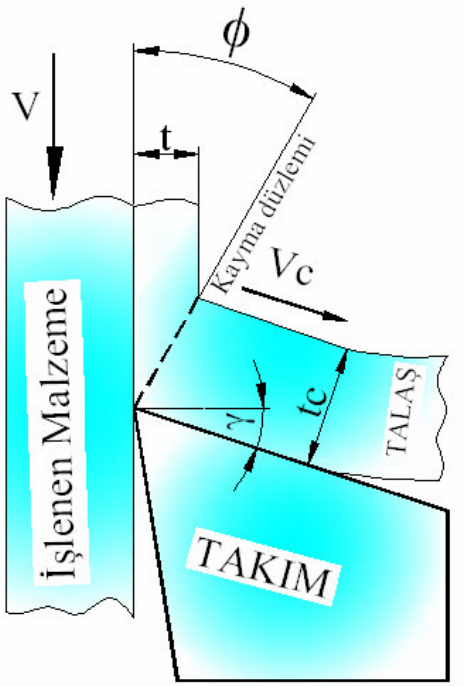
Talaş derinliğindeki değişmeler, takım ömrü üzerine en az etkiye sahiptir. İlerleme miktarındaki değişimler takım ömrü üzerine talaş derinliğindeki değişikliklerden daha büyük etkilidir. Herhangi bir malzemede kesme hızındaki değişiklerin takım ömrü üzerine etkisi hem talaş derinliği hem de ilerleme miktarından daha fazladır (Şahin 2000).

En uygun ilerleme miktarı ve talaş derinliği dikkate alındığı zaman, her zaman mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bunlar takım ömrü üzerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan takım ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir.

Özet olarak, maksimum üretim miktarı; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin optimize edilmesi ile takım değiştirme zamanı minimum ve toplam işleme zamanı içinde maksimum parça üretimi ile sağlanır.

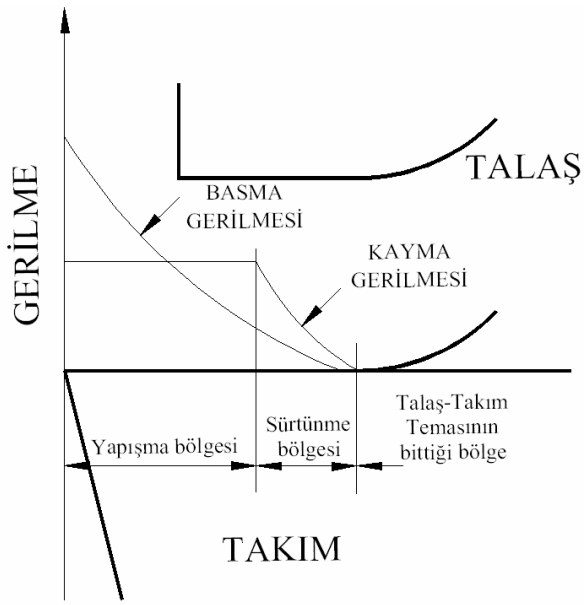
3.2. Kesme Kuvvetleri

Metallerden talaş kaldırma (metal kesme) işleminin mekanizması, şematik olarak Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Pozitif talaş açısı (γ) ve belli bir kesme kenarı açısına sahip kesici takım, t derinliğinde işlenen malzemenin yüzeyi boyunca hareket ettirilmektedir. Kesici takım ile malzeme yüzeyi ile ϕ kadar bir kayma (kesme) düzlemi açısı yaparak, kayma düzlemi boyunca sürekli olarak talaş kaldırmaktadır. Talaş kaldırma işleminde talaşı iş parçasından ayırmak için büyük bir güce gereksinim vardır. Kesme kuvvetleri temelde iş parçası malzemesi içinde akmaya neden olarak talaş oluşumuna yol açar ve oluşan Vc hızı ile uzaklaştırılır (Asil Çelik 1994).



Şekil 3.3 Metal kesme işleminin temel mekaniği

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan basınç ve sürtünme, çeşitli yönlerden kesici uç üzerine etkiyen kuvvetlerin ortaya çıkmasına neden olur. Kesici kenar üzerine kesme işlemi boyunca uygulanan gerilme esas itibariyle yapışma bölgesinde meydana gelen basma gerilmesidir, ancak genellikle sürtünme bölgesinde meydana gelen bir miktar kayma gerilmesi de söz konusudur.

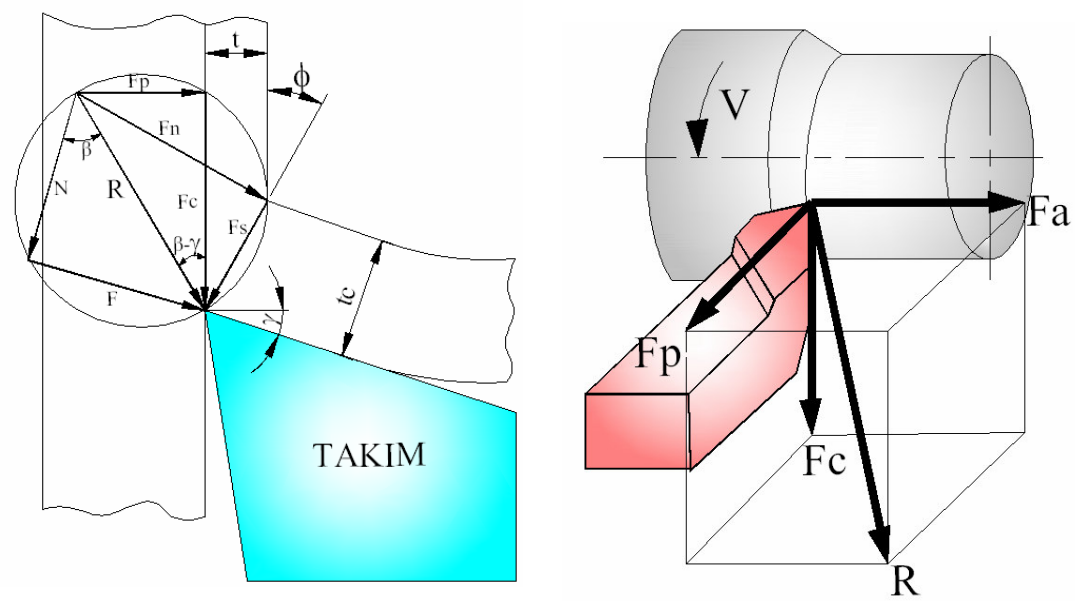


Şekil 3.4 Talaş kaldırma sürecinde etki eden gerilmelerin, torna kaleminde şematik belirlenmesi

Talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas alanı kesme kuvvetlerine bağlıdır ki bu durum geometri optimizasyonunun en önemli nedenlerinden biridir. Geometri optimizasyonu talaş oluşumunun kontrolü, kesme kuvvetleri ve kesici kenarın mukavemeti açısından son derece gereklidir. Temas alanının ve kesici takım geometrisinin genellikle iş parçası malzemesine göre farklılık göstermesi nedeni ile iş parçası malzemesinin de kesme kuvvetleri üzerinde etkisi vardır (Sandvik Coromant 1997). Kesme sıvısının kullanılması da kesme kuvvetlerini etkiler, ancak bu kullanım düşük kesme hızlarında sınırlandırılmıştır.

Şekil 3.5 a ve b'de kesici takım üzerinde kuvvet bileşenlerinin etkisi gösterilmiştir. Bileşke kuvvet (R), esas kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Fa) ve pasif/radyal kuvvet (Fp) olarak üç bileşen kuvvetten meydana gelmektedir. Ayrıca sürtünme kuvveti (F), kayma düzlemi boyunca etki eden metali kesmek için gerekli kuvvet (Fs), kayma düzlemi üzerindeki kuvvet normali (Fn)'dir (Altıntaş 2000, Şahin 2000). Kesici takımın kesme yönündeki esas kesme kuvveti (Fc) yapılan iş miktarını belirler. Esas kesme kuvveti sadece iş parçası ve takım arasındaki temas ve sürtünmeye değil, aynı zamanda talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas koşullarına da

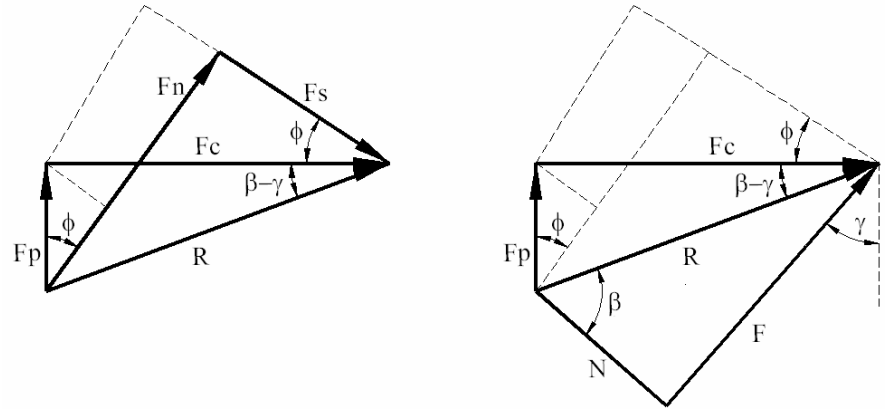
bağlıdır. Talaş oluşumunun ve talaş kırmanın niteliği esas kesme kuvvetini önemli ölçüde etkiler. Bunun yanı sıra, deforme olmamış talaş kalınlığı (t) ile esas kesme kuvvetinin büyüklüğü arasında bir bağlantı olup, deforme olmamış talaş derinliği arttıkça esas kesme kuvveti artar (Sandvik Coromant 1997).



(a) (b)

Şekil 3.5 a) Dik kesmede dairesel kuvvet diyagramı, b) Tornalamada kesme kuvvetleri (Altıntaş 2000, Mendi 1996)

Kesme kuvvetleri, kesme kuvvetleri diyagramından çıkarılan Şekil 3.6'da verilen hesaplama üçgenleriyle teorik olarak hesaplanabildiği gibi dinamometre yardımı ile de deneysel olarak ölçülebilir.



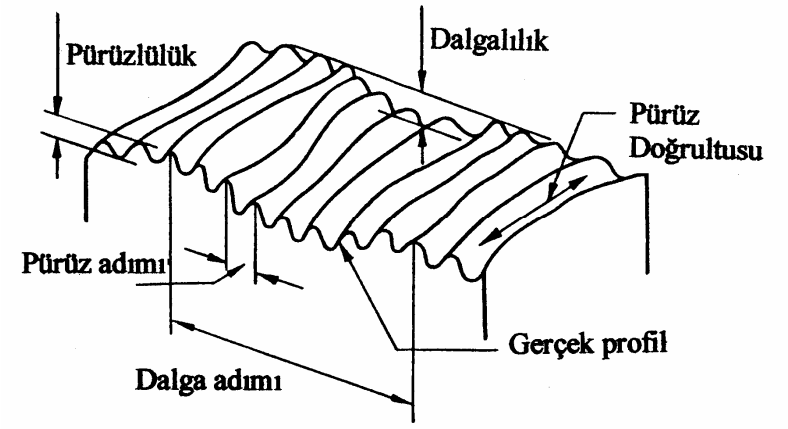
Şekil 3.6 Kesme kuvvetleri diyagramından çıkarılan hesaplama üçgenleri

Birçok iş parçası malzemesi için kesme hızı artarsa kesme kuvvetleri düşer. Bunun nedeni, akış bölgesindeki yüksek sıcaklıklar ve azalan temas yüzey alanıdır. Kesme kuvvetlerindeki azalma miktarları işlenen malzeme cinsine, malzeme koşullarına ve kesme hızına göre farklılık gösterir (Sandvik Coromant 1997).

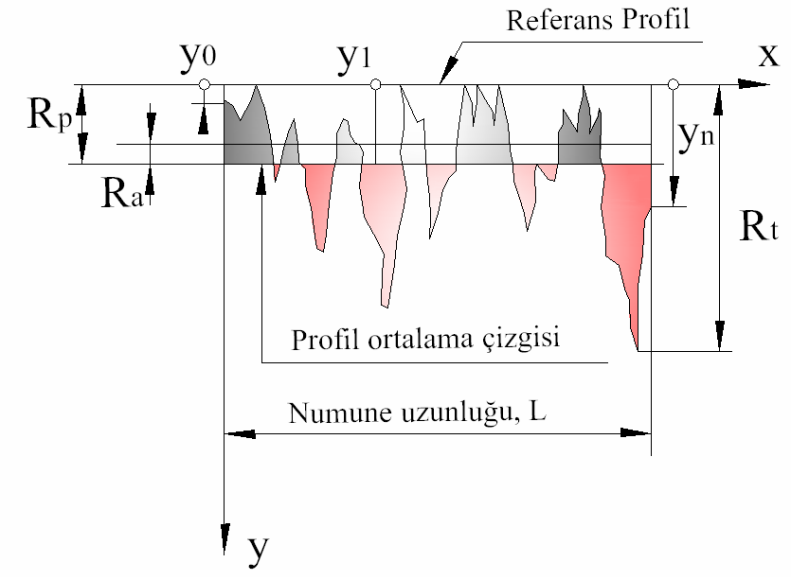
Esas kesme kuvvetinin büyüklüğü torku, dolayısıyla talaş kaldırma için gerekli gücü etkiler. Prensip olarak esas kesme kuvveti ile kesme hızının çarpımı talaş kaldırmak için gerekli olan gücü verir (Sandvik Coromant 1997, Mendi 1996).

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü düzensizlik meydana gelir (Şekil 3.7). Dalgalılık, geometrik sapmalar grubuna girdiğinden yüzey kalitesini yüzey pürüzlülüğü tayin eder. Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7 Yüzey kalitesini tayin eden faktörler



Şekil 3.8 Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

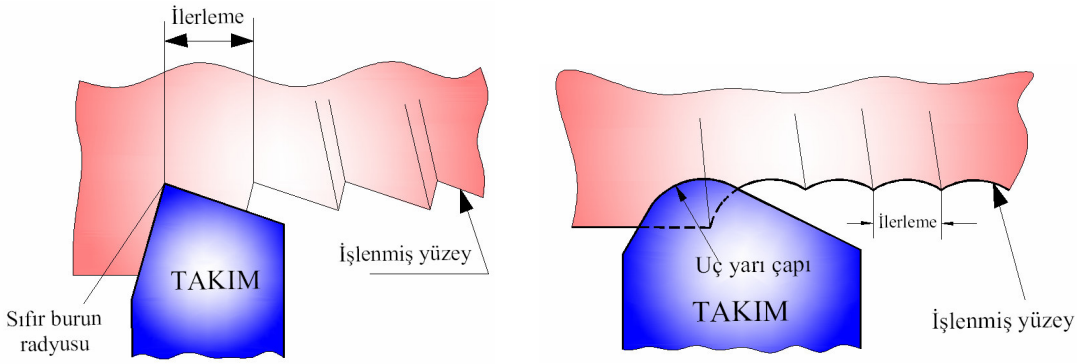
Seçilmiş uzunluk sınırları içerisinde, ortalama çizgisi ve profilin en yüksek noktası arasındaki mesafe maksimum profil tepe yüksekliği (Rp), profil çukurları çizgisi ve profil tepeleri arasındaki mesafe profilin maksimum tepe yüksekliği (Rt), beş en yüksek profil tepe yükseklikleri ve beş en derin profil derinliklerinin mutlak değerinin ortalamasına düzensizliklerin 10 nokta yüksekliği (Rz) ve seçilmiş örnek uzunluktaki profil sapmalarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması (Ra) olarak tanımlanır (Özçatalbaş 2002).

Yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma uygulamalarında pek çok fonksiyona bağlı olduğundan, uygulanan takım geometrisi ve ilerleme hızının sonucunda elde edilen "ideal yüzey pürüzlülüğü" ve kesme uygulamalarındaki düzensizliğin bir sonucu olan "doğal yüzey pürüzlülüğü" olarak iki ayrı tanımlamayla değerlendirilmektedir.

3.3.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü

En uygun biçimde verilmiş takım şekli, geometrisi, ilerleme ve kesme hızı ile sağlanabilen en iyi yüzey pürüzlülüğü "ideal yüzey pürüzlülüğünü" vermektedir. Kesici takımda sıvanma, titreşim ve takımın hatalı bağlanması v.b. etkenler

azaltılırsa ideal yüzey pürüzlülüğü sağlanabilir. Tornalama uygulamalarında keskin köşeli ve yuvarlak köşeli kesici takım kullanılarak yukarıda ifade edilmiş ideal şartlar altında sağlanan ideal yüzey pürüzlülüğü, Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.9 (a) Keskin köşeli kesici kalem ile oluşturulmuş ideal yüzey pürüzlülüğü modeli, (b) Yuvarlak uçlu bir takım için ideal yüzey pürüzlülüğünün modeli

3.3.2. Doğal yüzey pürüzlülüğü

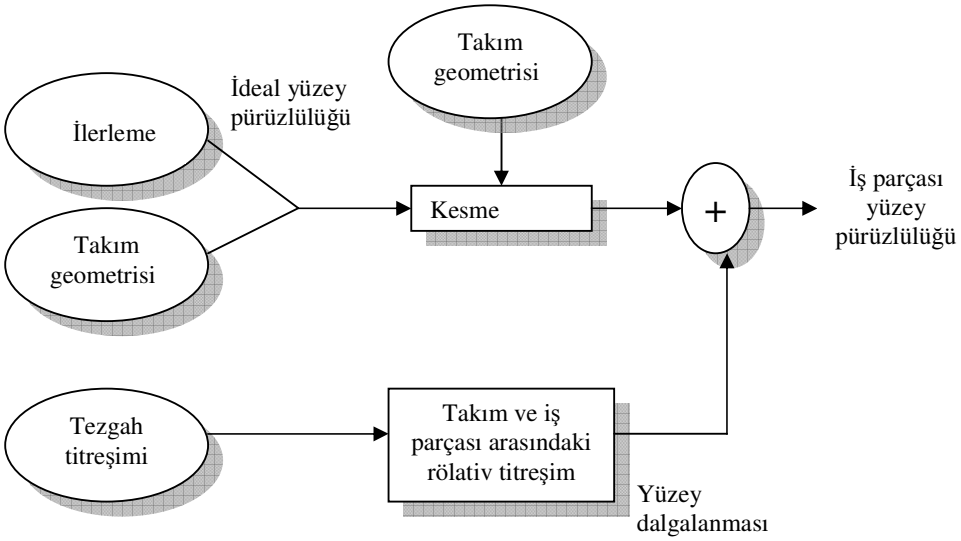
Talaşlı imalat uygulamalarında yukarıda belirtilmiş ideal şartlara uyulması genellikle mümkün değildir. Bu doğal şartlar altında elde edilen yüzey pürüzlülüğü gerçek yüzey pürüzlülüğünün bir ölçüsüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne neden olan temel etkenlerden biri de yığıntı talaşın oluşmasıdır. Bazı durumlarda yığıntı talaş devamlı olarak oluşur ve kopabilir. Bu şekilde sıvanma oluşan talaş yüzeyinin altında ve talaş kaldırılmış malzemenin yüzeyinde uzaklaştırılan parçalardan dolayı daha pürüzlü bir yüzey meydana gelmektedir.

3.3.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşturmaktır. Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen

geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenebilmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği için uygun değerler seçilerek sağlanabilir. Genel olarak, talaş derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü miktarı artarken, buna zıt olarak kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerleri azalmaktadır (Kwon 2000).

Şekil 3.10'da yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler ele alınmıştır. İş parçasının bitmiş yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bu faktörler; ilerleme, takım geometrisi ve takım-iş parçası arasında kendiliğinden meydana gelen titreşim olmak üzere üç kısma ayrılmıştır.



Şekil 3.10 Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler (Cheung ve Lee 2000).

3.3.3.1. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Talaş kaldırma işlemlerinde parça üretim maliyetinin minimum değerinin belirlenmesi için kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi faktörlerin optimum değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda kesme hızının artmasıyla pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmekte ve düşük kesme hızlarında ise pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir. Bunun başlıca sebeplerinden biri düşük kesme hızlarında kesici kenarda yığıntı talaş oluşmasıdır. Yığıntı talaş kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe ve sürtünmeye sebep olur (Özçatalbaş ve Ercan 2003, Acır 2003). İlerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artar, talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünde artma gözlenir fakat talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi diğer parametrelerde olduğu gibi fazla değildir.

3.3.3.2. Takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Talaş kaldırma işlemlerinde takım uç yarıçapı önemli bir faktördür. Uç yarıçapının büyük olması, malzeme üzerinde daha büyük kuvvet uygulayarak metal kesme işleminin gerçekleştirilmesi anlamına gelmektedir. Bu durumda kesici ucun daha fazla sürtünmesine neden olarak takım-iş parçası arasında ısıl gerilimler meydana getirmektedir. Bu ısıl gerilimler iş parçası yüzeyinde çalışma sertleşmesine ve takım ucunda daha çok ısı meydana getirerek takım aşınmasına etki etmektedir. Bu etkilerden dolayı, istenmeyen yüzey kalitesi elde edilmektedir (Acır 2003).

3.3.3.3. Titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Talaş kaldırma işlemleri boyunca titreşim kaçınılmaz bir faktördür. Titreşim, işleme sırasında kesme kuvvetleri sonucu üretilen bir değişken olup, takım tezgahlarında örneğin takım dengesizliği, mil yatak sistemlerindeki salgı vb. olarak meydana gelmektedir. Kesici takım ile iş parçası arasında sürekli olarak meydana gelen bir titreşimin olması nedeniyle, kesici takım ömrü ve işlenen yüzey kalitesinde istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır (Lin ve Chang 1998).

3.3.3.4. İş parçasına bağlı faktörler

Talaş akışı, iş parçasının kayma dayanımı, iş parçası sertleşmesi, takım ve iş parçası arasında sürtünme, sertlik ve süneklik gibi malzeme özellikleri talaşın yapısının değişmesine etki ederler. Yüksek dayanıma sahip malzemeler düşük dayanımlı malzemelere nazaran kesme anında daha büyük kuvvet oluşturur. İşlenen malzemenin yapısı ve özellikleri talaş kaldırma işlemine etki eder. Talaş oluşumunda, süneklik de önemli bir faktördür. Sünekliği fazla olan malzemeler sadece kesme esnasında talaşın aşırı plastik deformasyonuna müsaade etmemekte takım ve talaş temas yüzeyinde sıcaklığın artmasına neden olurlar. Takımda oluşan bu sıcaklık artışı aynı zamanda takımın aşınmasına neden olarak işlenen iş parçasının yüzey kalitesini olumsuz etkiler. Ayrıca kesici takımda yığıntı talaş oluşumu sünek malzemelerde daha fazla görülür buda yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler (Acır 2003).

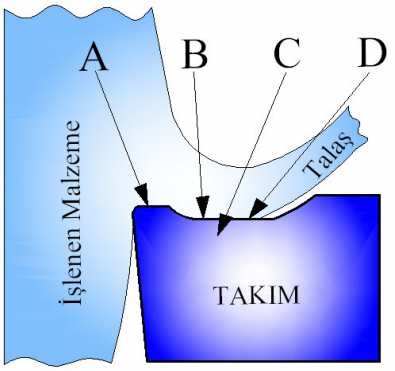
3.4. Kesici Takımlarda Aşınma

Aşınma, kesici takım malzeme kaybından ileri gelen ve takımın ilk şekline göre geometrisinde oluşan farklılıklardır. Bütün kesici takımlar, talaş kaldırma sırasında ömürlerinin sonuna kadar aşınırlar.

Takım aşınması, kesici kenar üzerine uygulanan yük faktörleri kombinasyonunun bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü, kenar geometrisini değiştirmeye çalışan bu faktörler sayesinde belirlenir.

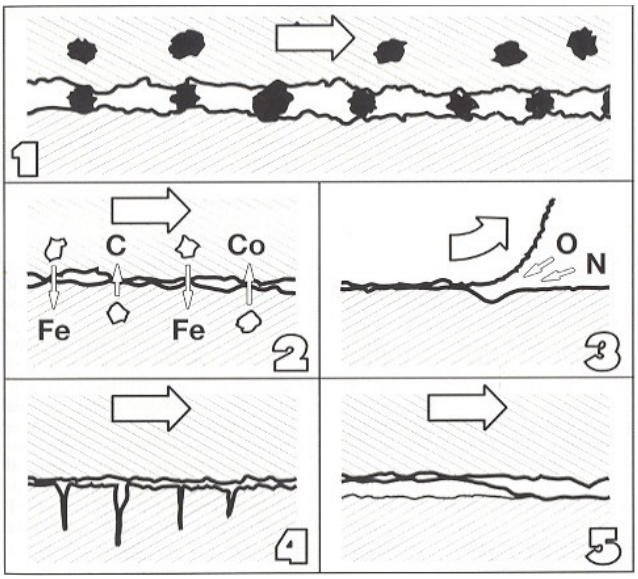
3.4.1. Aşınma mekanizmaları

Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır. Temel yük faktörleri ve bu faktörlerin etki ettiği bölgeler Şekil 3.11'de gösterilmiştir (Sandvik Coromant 1997).



Şekil 3.11 Tipik aşınma bölgeleri (A- Mekanik, B- Isıl, C- Kimyasal, D- Abrazif yükleri temsil etmektedir)

İşleme esnasında kesici kenar üzerine etkiyen bu yük faktörleri nedeni ile meydana gelen temel aşınma mekanizmaları, abrazif aşınma, difüzyon ile aşınma, oksidasyon aşınması, yorulma aşınması, adhezif aşınma şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 3.12) (Sandvik Coromant 1997).



Şekil 3.12 Talaş kaldırmada temel aşınma mekanizmaları (1- Abrazif aşınma, 2- Difüzyon ile aşınma, 3- Oksidasyon aşınması, 4- Yorulma aşınması, 5- Adhezif aşınma)

3.4.1.1. Abrazif aşınma

En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Genellikle iş parçasına ait sert parçacıklar nedeniyle ortaya çıkar. Bu durum, iş parçası yüzeyi ile takım arasına giren sert parçacıkların neden olduğu taşlama işlemine benzer bir durumdur. Bu aşınma tipi kesici ucun serbest yüzeyinin aşınmasına yol açar (Altıntaş 2000, Sandvik Coromant 1997).

3.4.1.2. Difüzyon aşınması

Bu aşınma tipi kesme işlemi esnasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ile takım-iş parçası malzemesi arasındaki ilgi difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur. Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerine etkisi yoktur. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişkiler aşınma miktarını belirler.

3.4.1.3. Oksidasyon aşınması

Yüksek sıcaklıkların ve havanın varlığı birçok metal için oksidasyon demektir. Talaş kaldırma işleminde, özellikle kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında, talaş genişliğinin sona erdiği noktada hava da kesme işlemine etkide bulunur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler oluşur. Oksidasyon aşınması talaşlı imalatta yaygın olmayan bir aşınma tipidir.

3.4.1.4. Yorulma aşınması

Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıklardaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar. Aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bu durum sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur.

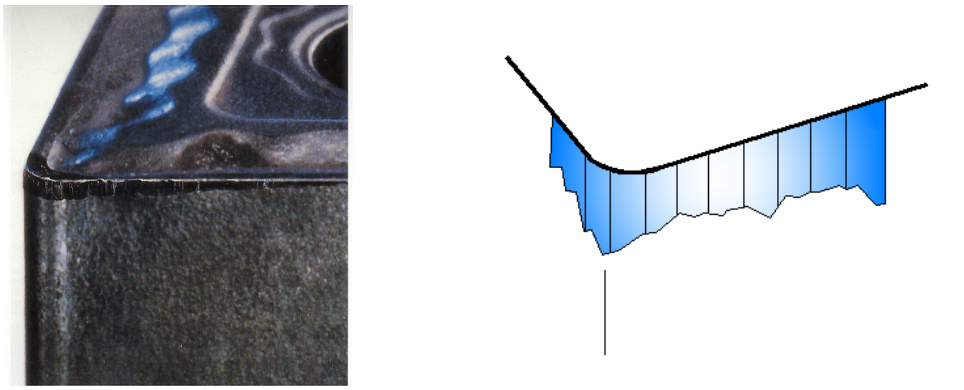
3.4.1.5. Adhezif aşınma

Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Bu aşınma mekanizması genellikle kesici kenar ile talaş arasında yığma kenar oluşumuna neden olur (Sandvik Coromant 1997).

3.4.2. Kesici takım aşınma tipleri

3.4.2.1. Yan yüzey aşınması

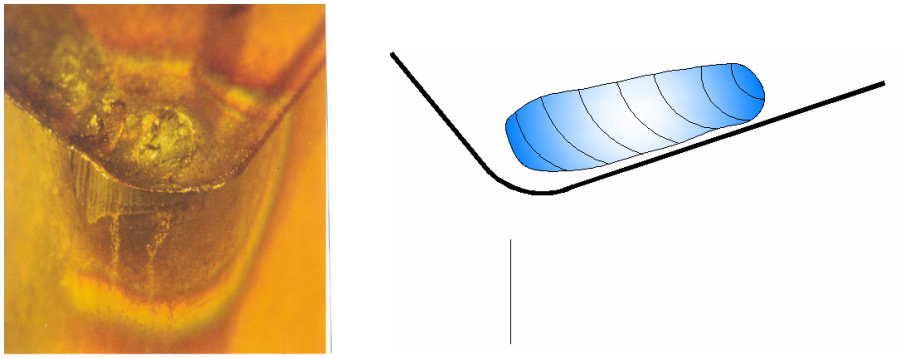
Şekil 3.13'te kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen yan yüzey (serbest yüzey) aşınması görülmektedir. Adından da anlaşılacağı gibi bu aşınma kesici kenarın yan yüzeyinde meydana gelir. Abrazif tip bir aşınma mekanizmasından kaynaklanır. Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında esas kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan yan yüzey aşınması en yaygın aşınma tiplerinden biridir. Yan yüzey aşınmasının belirli bir boyutun üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır ve sürtünme artar.



Şekil 3.13 Kesici takımda yan yüzey (serbest yüzey) aşınması

3.4.2.2. Krater aşınması

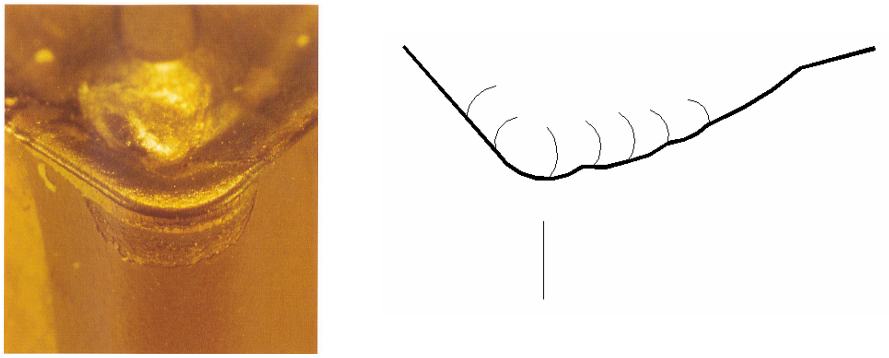
Şekil 3.14'te kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen krater aşınması görülmektedir. Talaş yüzeyinde abrazif ve difüzyon aşınma mekanizmaları nedeniyle oluşur. Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri 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.



Şekil 3.14 Kesici takımda krater aşınması.

2.4.2.3. Plastik deformasyon

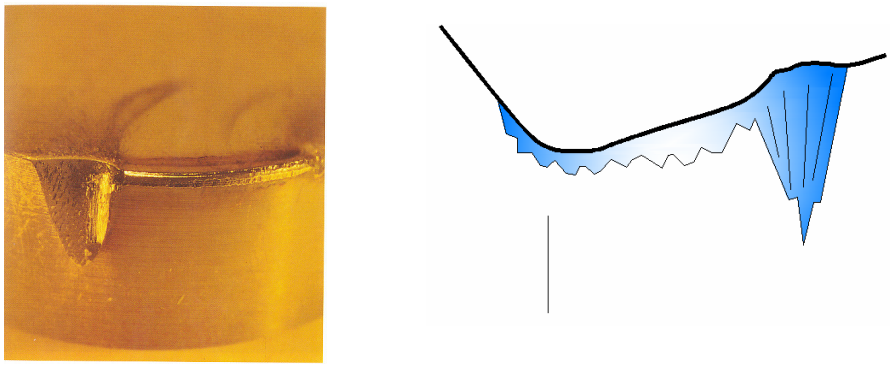
Şekil 3.15'te kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen plastik deformasyon görülmektedir. Plastik deformasyon kesici kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın bir kombinasyonu sonucunda oluşur. Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme değerleri ve sert iş parçaları plastik deformasyonu tetikleyici unsurlardır. Kesici takımın bu derece deformasyona uğraması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometri deformasyonuna ve talaş akışının değişimine neden olacaktır.



Şekil 3.15 Kesici takımda plastik deformasyon

3.4.2.4. Çentik aşınması

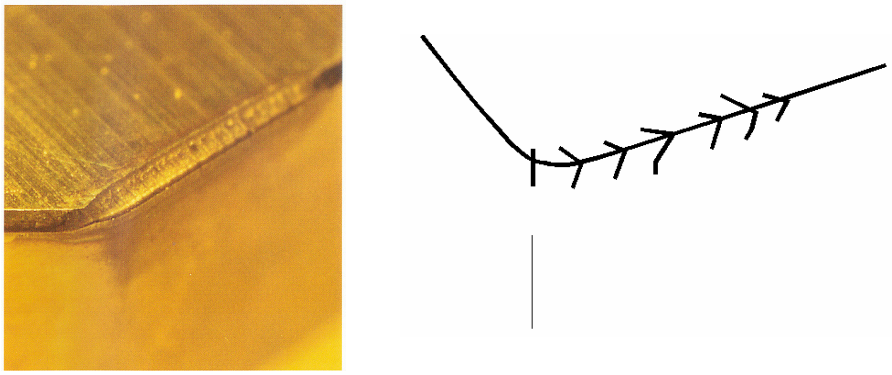
Şekil 3.16'da kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen çentik aşınması görülmektedir. Bu aşınma tipik bir adezyon aşınmasıdır. Ancak oksidasyon aşınmasının da bu tip aşınmanın oluşumuna katkısı vardır. Çentik, kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşur. Çentik aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler, kesici kenar zayıflar.



Şekil 3.16 Kesici takımda çentik aşınması

3.4.2.5. Isıl çatlaklar

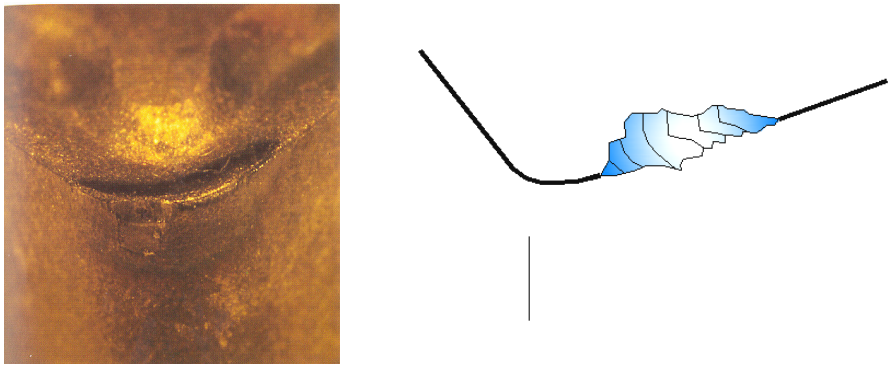
Şekil 3.17'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen ısıl çatlaklar görülmektedir. Bu aşınma tipi genellikle ısı sirkülasyonu nedeniyle ortaya çıkan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmaya neden olur. Bu aşınma sonucunda kesici kenara dik çatlaklar meydana gelir ve takım malzemesi kenarda dışa doğru zorlanır (Sandvik Coromant 1997, Şeker 1997).



Şekil 3.17 Kesici takımda ısıl çatlaklar

3.4.2.6. Mekanik yorulma çatlakları

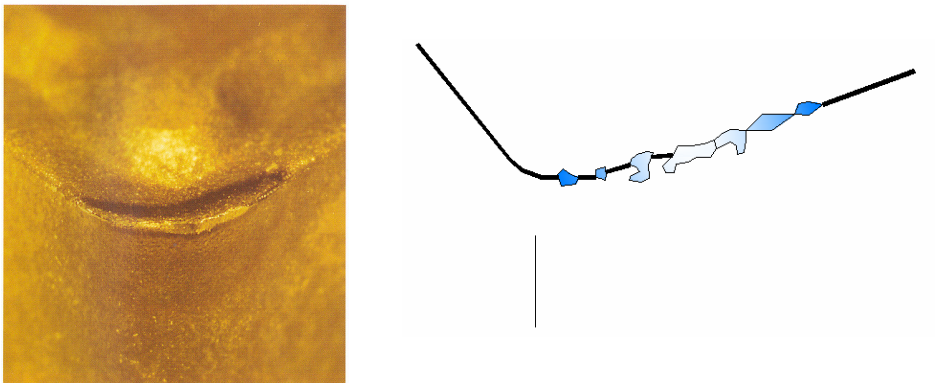
Şekil 3.18'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen mekanik yorulma çatlakları görülmektedir. Bu çatlaklar kesme kuvvetlerindeki ani değişmeler sonucunda ortaya çıkar. Mekanik yükün kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim çatlağa neden olur. Çatlaklar kesici kenara paraleldir (Sandvik Coromant 1997, Şeker 1997).



Şekil 3.18 Kesici takımda mekanik yorulma çatlakları

3.4.2.7. Kesici kenardan parçacık kopması

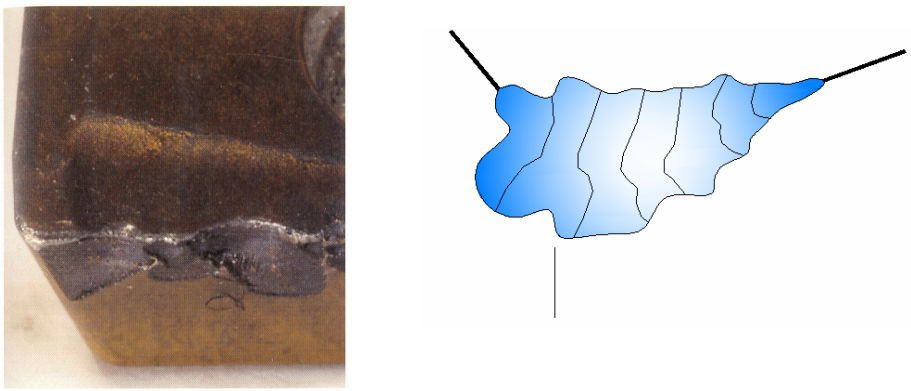
Şekil 3.19'da kesici takımda talaş kaldırma sonrası meydana gelen kesici kenarda parçacık kopmaları (dökülme) görülmektedir. Bu aşınma tipi (dökülme) kesici kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkiyen yükün sürekli olarak üst ve alt değerler arasında değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım malzemesi takım yüzeyinden kopar. Darbeli kesme işlemi bu tip aşınmanın en sık görülen nedenlerinden biridir (Sandvik Coromant 1997, Şeker 1997).



Şekil 3.19 Kesici kenardan parçacık kopması (dökülme)

3.4.2.8. Kesici kenarın kırılması

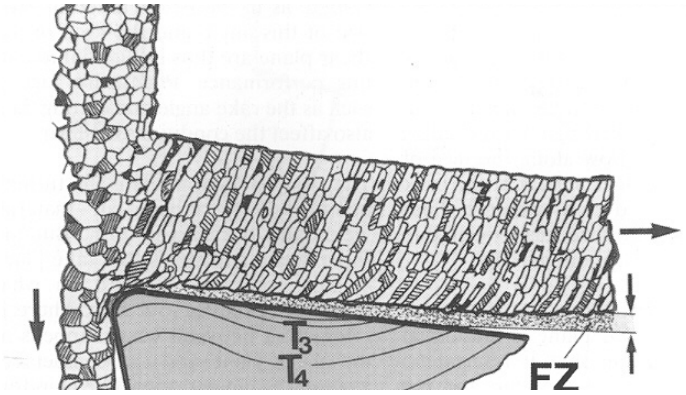
Şekil 3.20'de kesici takımda talaş kaldırma sonrası kesici kenarda meydana kırılma görülmektedir. Kesici kenarın ömrünü tamamlamasına neden olan bir aşınma tipidir. Kenardaki büyük miktardaki kırılma mümkün olduğunca kaçınılması gereken, en tehlikeli takım hasarı türüdür. Kesici kenarın kırılması bir çok diğer aşınma tipi için de yolun sonu demektir.



Şekil 3.20 Kesici kenarda meydana gelen kırılmalar

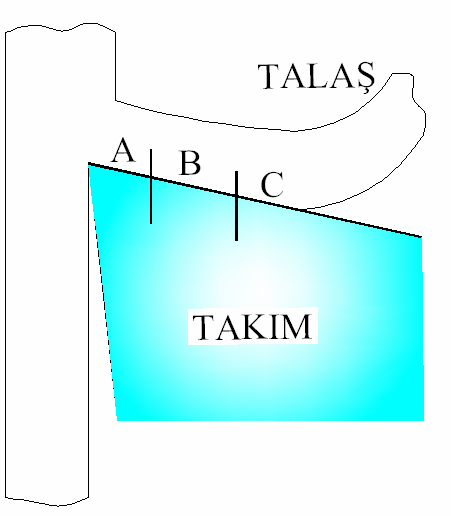
3.5. Kesici Kenarda Yığıntı Talaş Oluşumu

Takım talaş yüzeyi ile temas uzunluğu boyunca talaşın hareket karakteristiği metallerin işlenmesindeki diğer önemli bir faktördür. Talaş oluşumunda yüksek sıcaklık ve büyük basınç altında metal kuvvete maruz kaldığı gibi işlem sırasında kısmen sürtünme meydana gelir. Gerçekte, bazı araştırmacılara göre temastaki iki yüzey, metalin kaynamasını engelleyecek şekilde birleşir iki yüzey birbirine yapışır ve ara yüzeyde bir akma bölgesi (Flow Zone-FZ) oluşur (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Akma bölgesinin oluşması

Akma bölgesi (FZ), yüzeyler yapıştığında fakat talaş ve takım arasında hareket devam ettiğinde oluşur. Takım ve talaş arasındaki temas boyunca; takımın temas uzunluğunu faklı reaksiyonlara sebep olan üç bölgeye ayırmak mümkündür (Şekil 3.22).



A: Yapışma bölgesi

B: Yapışma ve Difüzyon bölgesi

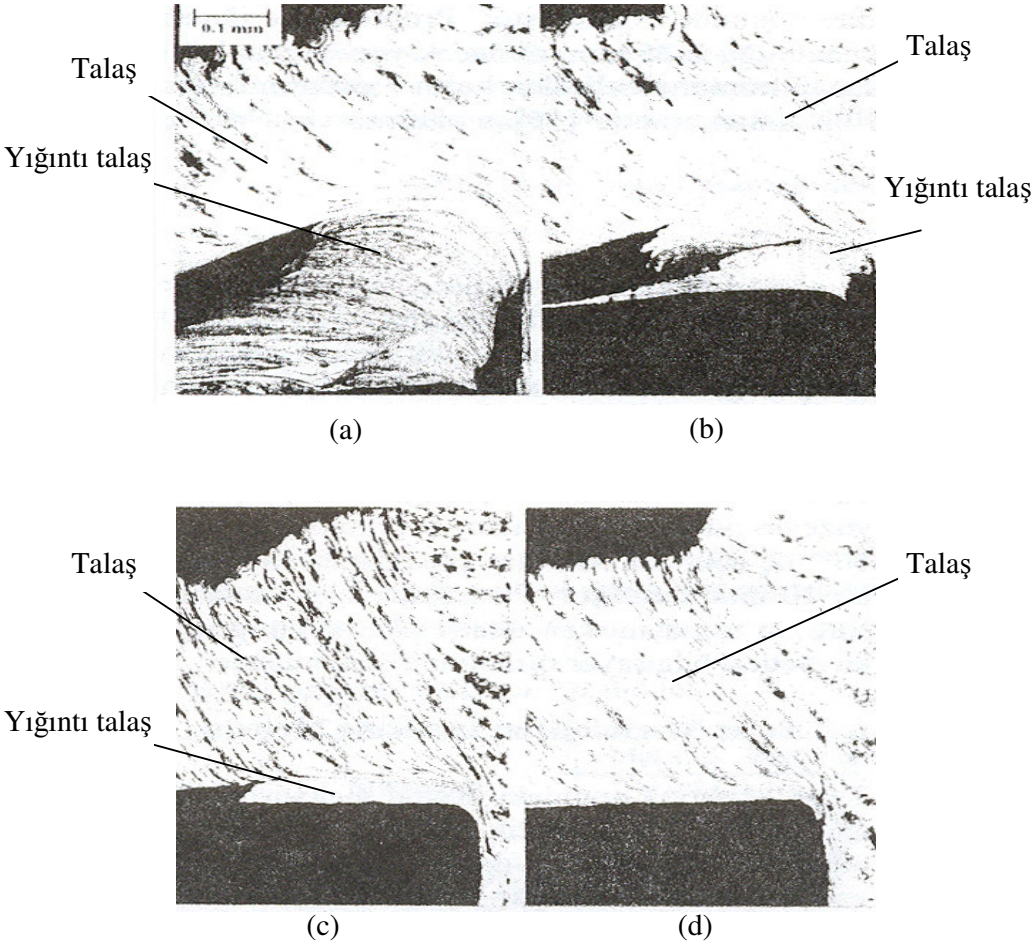
C: Aşınma bölgesi

Şekil 3.22 Talaş temas boyunun üç farklı alanı

Bazı durumlarda ve malzemelerde akma bölgesinin birbirini takip eden katmanları takım yüzeyinde birikir ve sertleşir. Her seferinde akma bölgesi, bir önce şekillenen katmanın en üstü boyunca akmaya çalışır ve bu yolla kesici kenarda yığılma oluşur.

Sürekli olarak takım üzerinde metal basınçla kaynaklanır. Bu yapı takımın talaş açısını değiştirir ve muhtemelen kararsız bir yapı oluşmasına sebep olur. Bu yığılma, işleme sırasında yeni bir katmanın oluşmaya başladığı belli bir noktada kırılır. İşleme sırasında çeşitli biçim ve durumlarda oluşan yığıntı talaş negatif bir faktördür (Sandvik Coromant 1997).

Genellikle yığıntı talaş oluşmasını teşvik eden belli sıcaklık/kesme hızı değerleri söz konusudur ve aynı zamanda bazı takım ve iş malzemeleri yığıntı talaş oluşturmaya diğerlerinden daha fazla eğilimlidirler. Yüksek hızlar oluşan katmanları yumuşatır ve onların bir akma bölgesine dönüşmesine sebep olarak yığıntı talaşın oluşumunu engeller (Şekil 3.23) (Özçatalbaş 1998).



Şekil 3.23 Değişik kesme hızlarındaki talaş morfolojileri (a- V=13m/dak, b- V=33m/dak, c- V=67m/dak, d- 135m/dak)

3.6. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, muğlak bir terim olup mühendisin isteklerine göre değişik anlamları mevcuttur. İşlenebilirliğin kullanılan iki genel tanımı "kesme işlemine etki eden iş parçası malzemesinin bütün özellikleri" veya "talaş kaldırma metotları ile parçaların tatmin edici ve kolay işlenebilmesi veya üretilebilmesi" olarak ifade edilebilir. Bu tanımlar bile yeteri derecede hassas değil ve işlenebilirlik testleri için anlaşılan ölçülebilen niceliği yoktur. İş parçasının kimyasal bileşimi, mikro yapısı, ısıl-işlem özelliği, saflığı vb. bütün bu değişkenler işlenebilirliği etkiler. Başka bir ifade ile işlenebilirlik; bir malzemenin işlenmesinde karşılaşılan kolaylık veya güçlük olarak tanımlanabilir (Şahin 2001, Asil Çelik 1994, Çakır 1999).

Bir iş parçasının işlenebilirliği, her zaman saat başına üretilen parça sayısı, her parça için işleme maliyeti veya üretilen parçanın son yüzey kalitesi olarak ifade edilebilir. Pratikte çok değişik işlemler yapıldığından farklı işlenebilirlik kriterleri ortaya çıkmaktadır. Her hangi bir malzeme, bir kritere göre iyi işlenebilirlik özelliğine sahip iken, değişik tür işlemler yapıldığında veya kesme şartları ve takım malzemeleri değiştiği zaman kötü işlenebilirlik özelliği gösterebilir (Şahin 2001).

Orta karbonlu çelik, ısıl direnci yüksek (HSTR) bir alaşımla karşılaştırıldığında daha kolay işlenir. Yine aynı şekilde gri dökme demir, çil (hızlı soğutulmuş) dökme demirden daha kolay işlenir. Bununla beraber yığıntı talaş eğilimi değerlendirildiğinde, düşük karbonlu çelik için ihtiyaçlar, bazı paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Ancak, değişik işleme metotları ve şartlardan dolayı (kesici takımlardaki gelişmeler gibi), işlenebilirlik kavramı değişebilir ve karşılaştırılabilir değerlerle kolayca ölçülemez (Sandvik Coromant 1997).

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 metalürjisi, 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

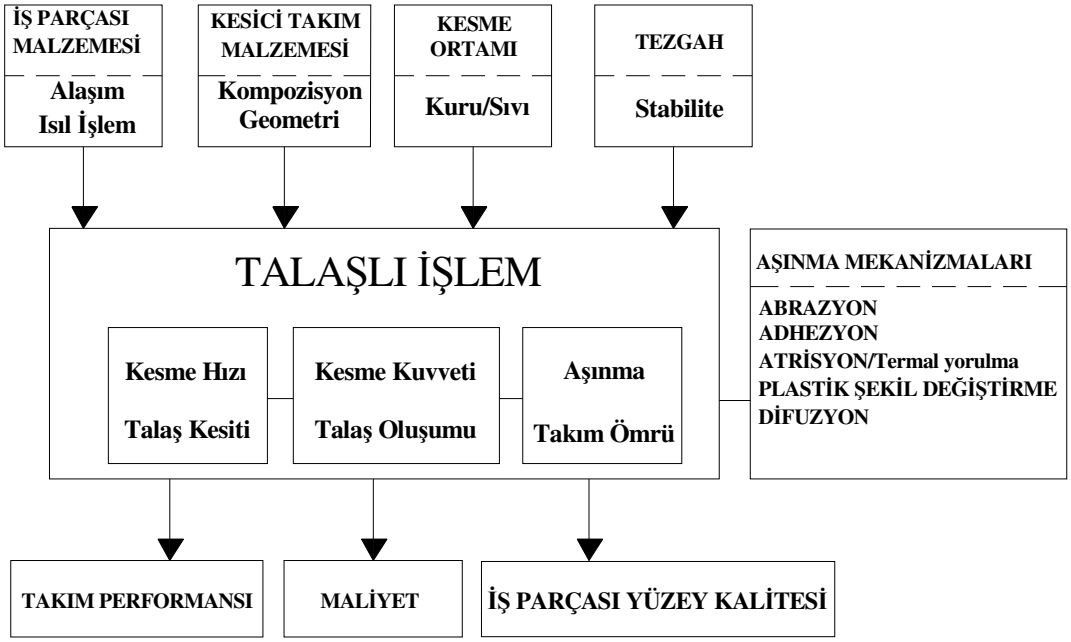
üzerinde etkilidir. Malzemeler için işlenebilirlik değerleri, en ideal durumlarda bile, daha ileri düzeyde optimizasyon için başlangıç değerlerine kılavuzluk eder. İş parçası malzemesini tanımak için, başarılı bir işleme operasyonun gerçekleştirilmesini sağlayan faktörlerin değerlendirilmesinde modern 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, takım malzemesini, takım geometrisini, bağlama şartlarını veya kesme sıvısı vb. değiştirmek gerekebilir. En geniş anlamda işlenebilirlik, aşağıdaki kriterlerle tanımlanan "kesici takım-iş parçası" çiftinin işleme karakteristiği gibi görünür. Bu kriterler; takım ömrü, talaş oluşumu ve talaşın uzaklaştırılması, yüzey kalitesi, kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma oranı, kesme kuvveti /gücü /özgül kesme direnci, yığıntı talaş eğilimidir.

İş parçası malzemesinin kullanılabilir verileri ve işleme deneylerinin bir kombinasyonuyla, işlenebilirlik değerlendirilmesi geniş üretim şartlarındakine uygun olarak gerçekleştirilebilir. Bununla beraber, düzenlemenin birinde iyi olan işlenebilirlik bir diğerinde iyi olmayabilir. Örnek olarak; bir iş parçası malzemesinin sertliği ve dayanımı işlenebilirliği belirten tipik bir örnek olmayabilir. Kalıntılar, kolay işleyebilme 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 (Sandvik Coromant 1997, Şeker 1997).

3.6.1. İşlenebilirliği etkileyen faktörler

İşlenebilirlik terimi talaşlı işlemde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tek boyutlu bir özellik olmayıp karmaşık boyutların oluşturduğu bir sistem özelliğidir. İşlenebilirliğin tanımında gereksinme duyulan tüm faktör ve faktörler arası ilişkiler Şekil 3.24'de gösterilmiştir. Kesici takım ve iş parçası malzemelerinin, işlem ortamı

ve tezgah ile oluşturduğu talaşlı işlem sistemi, kesme koşullarıyla birlikte yeni oluşan iş parçası yüzey kalitesini ve maliyet faktörünü göz önünde tutarak işlenebilirliği belirler (Asil Çelik 1994).



Şekil 3.24 Talaş kaldırma işlemde işlenebilirliği etkileyen faktörler

3.6.1.1. İş parçası malzeme özelliklerinin etkisi

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının optimizasyonu amacı ile yaygın kullanılan iş parçası malzemeleri gözden geçirildiğinde, öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmalıdır (Sandvik Coromant 1997). Genelde malzemelerde sertlik ve dayanım arasında ilişki mevcuttur. Bir malzemenin sertliği ve dayanımı arttıkça o malzemenin işlenebilirliği o derecede azalmaktadır (Şahin 2001, Özçatalbaş 2002).

3.6.1.1.1. Sertlik ve dayanım

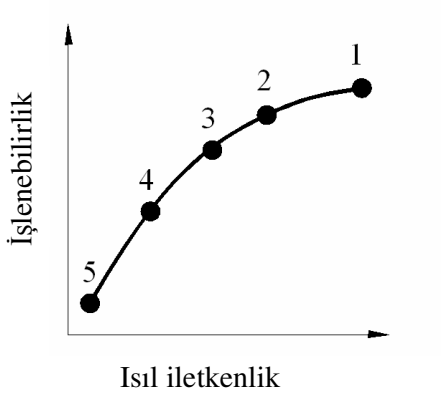
Genellikle, düşük sertlik ve dayanım değerleri işlenebilirlik için daha uygundur. Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne sebep olan yığıntı talaş oluşmasından dolayı problemlere yol açan çok sünek malzemeler, bu durumun dışındadır. Soğuk çekme işlemleri ve benzeri yollarla artırılmış sertlik ise pozitif bir etkiye sahiptir (Çakır 1999, Şeker 1997).

3.6.1.1.2. Süneklik

Düşük süneklik değeri genellikle olumludur ve verimli bir talaş kaldırma yöntemi söz konusudur. Genel olarak düşük süneklik yüksek sertlikle oluşur ve bunun tersi yüksek süneklik, düşük sertlik demektir. İyi işlenebilirlik, genellikle sertlik ve süneklik arasındaki bir uzlaşma noktasındadır.

3.6.1.1.3. Isıl iletkenlik

Yüksek ısıl iletkenliğin anlamı, talaş kaldırma işleminde oluşan ısının, süratle kesme bölgesinden uzaklaştırılması demektir. İşleme açısından bakıldığında, yukarıdaki sebeple yüksek değerde ısıl iletkenlik genellikle faydalıdır. Isıl iletkenlik işlenebilirlik açısından önemli bir rol oynamakla beraber bazı alaşım grupları için daha fazla iyileştirilmesi mümkün değildir. Şekil 3.25'te, bazı malzemelerin termal iletkenliklerinin, yaklaşık işlenebilirlik değerleri ile ilişkisini göstermektedir (Çakır 1999, Şeker 1997).



Şekil 3.25 Isıl iletkenlik ile işlenebilirlik değeri arasındaki ilişki

3.6.1.1.4. Pekleşme

Plastik deformasyon sırasında, metallerin dayanımı, değişen değerlerde artar. Dayanımdaki artış, deformasyon yüzdesine ve malzemenin pekleşme kabiliyetine bağlıdır. Yüksek pekleşme oranının anlamı, deformasyon oranındaki artışa bağlı olarak hızlı bir dayanım artışıdır.

Çelikler işlenirken, deformasyon miktarı oldukça bölgeseldir ve özel1ikle kesici kenara yakındır. Yüksek pekleşme (deformasyon sertleşmesi) oranına sahip malzemelere örnek olarak östenitik paslanmaz çelikler ve çeşitli yüksek sıcaklık alaşımları 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 sertleşen 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 kesici kenar, deformasyon miktarını azaltır. Bu sebeple, pozitif bir geometri deformasyon katmanının azaltılmasına yardımcı olacak ve bunun sonucu olarak da kesici kenardaki gerilmeler azalacaktır. Bununla beraber pekleşme, yığıntı talaş oluşumunu engellemek için bir avantaj olabilir (Sandvik Coromant 1997).

3.6.1.1.5. Kalıntılar

Malzemenin yapısı içerisinde makro ve mikro düzeyde iki tip kalıntıdan söz etmek mümkündür. Makro inklüzyonlar, boyutu 150 μm'den büyük olan inklüzyonlardır. Bunlar genellikle çok sert ve aşındırıcı olup, inklüzyonlardan bağımsız bir malzemeyi kuşatma eğilimlerinden dolayı önemlidir. Düşük kaliteli çeliklerde bulunan inklüzyonlar, üst cüruf veya uygun olmayan cüruf alma vb. gibi fırınlama sırasındaki üretimden kaynaklanır. Pek çok ani takım kırılma problemleri muhtemelen bu tip inklüzyonlarla açıklanabilir. Mikro inklüzyonlar, çelik içinde değişik miktarlarda daima mevcuttur. Bunların işlenebilirlik üzerindeki etkisi

istenmeyen inklüzyonlar, nispeten istenmeyen inklüzyonlar ve istenen inklüzyonlar olmak üzere üçe ayrılır.

Alüminatlar ve spineller gibi inklüzyonlar istenmeyen inklüzyonlardır. Bunlar sert ve aşındırıcı özelliktedir. Nispeten istenmeyen inklüzyonlar, demir ve mangan oksitlerdir. Bunların deforme edilebilme kabiliyeti bir önceki gruptan daha yüksektir ve talaş akışına katılabilir. İstenen inklüzyonlar, yüksek kesme hızlarında silikatlardır. Bunun sebebi, silikatlar yeterince yüksek kesme sıcaklıklarında yumuşarlar ve bu sayede kesme bölgesinde olumlu etki yapan bir katman oluştururlar. Bu katman, takım aşınmasını geciktirir.

Günümüzde, SiCa'la deoksidasyona maruz bırakılmış, kalsiyum deoksidasyonlu çelikler mevcuttur. Bu çeliklerde düşük ergime sıcaklığına sahip inklüzyonların elde edilmesi ve bu sayede bir katman oluşturulması mümkündür. Bu inklüzyonlar nispeten yüksek kesme hızları için uygundur (Sandvik Coromant 1997).

3.6.1.1.6. Kolay işleme katkıları

Çeliğin işlenebilirliğini geliştirmek için en yaygın metot, kükürt ilavesidir. Kolay işlenebilen çeliklerdeki kükürt miktarı işlenebilirliği iyileştirilmiş çeliklerdekinin on katıdır. Yeterli miktarda mangan ihtiva eden çelik sağlandığında, kükürt ve mangan mangan sülfata dönüşecektir. Talaş oluşumu sırasında bu sülfat inklüzyonları, düşük dayanımlı düzlemler oluşturacak şekilde plastik deformasyona uğrar ve böylece çatlak oluşumu ve yayılımı için gerekli enerji azalır. Bu, birinci kayma, kesme bölgesindeki deformasyonu kolaylaştırır, kayma açısının ve talaş yarıçapının artmasına sebep olurken talaş kalınlığının, takım-talaş temas uzunluğu ve işleme sıcaklığında azalmaya sebep olur. İlaveten, sülfat, takım-talaş arayüzeyinde 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 inklüzyonları ile iyileştirilebilir. Aynı zamanda, sülfatların boyutu, biçimi ve dağıtımı da işlenebilirliği tayin eden faktörler arasındadır.

Diğer yaygın kullanılan katık elemanlarından kurşun da, 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 (Sandvik Coromant 1997).

3.6.1.2. İşlenebilirliği etkileyen diğer malzeme özellikleri

Malzemelerin, işlenebilirlik üzerinde önemli etkisi olan temel özellikleri bir önceki bölümde anlatılmıştı. Bunlara ilaveten malzemelerin bazı diğer özellikleri de işlenebilirlik üzerinde söz sahibidir. Bu özellikler:

- Malzemenin yapısı / morfolojisi
- İş parçası malzeme özellikleri (Isıl işlemler)
- Alaşım elementleri
- Yüzey tamlığı-düzgünlüğü

3.6.1.2.1. Malzemenin yapısı

Malzemenin yapısı işlenebilirliği etkiler. Bazı yapılar, aşındırıcı özelliktedir ve malzemenin dayanımı yapı tipiyle değişir. Çeliklerdeki aşındırıcı bileşen karbürledir. Bunların miktarı ve biçimi, malzeme özelliklerini doğrudan etkiler. Karbon ve diğer alaşım elementlerinin miktarı, yapıyı doğrudan etkiler.

Karbon, karbonlu çeliklerdeki en önemli element olup, muhtevasına bağlı olarak çok farklı yapılar elde edilebilir. Oda sıcaklığında ve sertleştirme işlemi uygulanmamış şartlarda, çelikte östenite ilave olarak üç tip yapıdan söz etmek mümkündür ve bunlar işlenebilirliği doğrudan etkiler. Bu fazlar: ferrit, perlit ve sementit'tir.

Ferrit, yumuşak ve sünek özelliklere sahipken, bir demir-karbon bileşiği olan sementit, elde edilebilecek en sert yapıdır ve su verme ile elde edilebilecek martenzitten bile serttir. Perlit ise, ferrit ve sementitin lameller şeklinde bir karışımıdır. Lameller, ferrit ve sementit şeklinde sıralanmış olup, sertlik açısından orta değerlerde yer alır. Perlitin sertliği aynı zamanda, lamellerin kalınlığına bağlıdır. İnce lamel tipli perlit, kaba olana göre 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 sergilerler (Sandvik Coromant 1997, Şeker 1997).

Ferrit içerisinde çok az miktardaki perlit ve tane sınırlarında fosfid çökeltili ferrit gibi çift fazlı mikro yapı, kesme kuvvetlerini azaltırken yüzey pürüzlülüğünü arttırır. Buna karşın, tek fazlı ferritik mikro yapı, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirip kesme kuvvetlerini arttırır (Özçatalbaş 2000). Ferrit matris içinde az miktarda martenzit fazı ihtiva eden çift fazlı çelikler işlenebilirlik açısından iki önemli rol oynar;

1. Düşük sıcaklıklarda birincil deformasyon bölgesinde talaş kırılabilirliğini arttırır.

2. Yüksek sıcaklıklarda ikincil deformasyon bölgesinde kesme kuvvetlerini düşürür (Özçatalbaş 2002).

3.6.1.2.2. Malzeme özellikleri

Çelik malzemeye ait imalat durumları şöyle sıralanabilir: Sıcak haddelenmiş, normalize edilmiş, tavlanmış (yumuşatma tavlaması, gerilim giderme tavlaması), sertleştirilmiş ve temperlenmiş.

Sıcak haddelenmiş 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 miktarına bağlı olarak sapmalara/boşluklara sebep olur. Bu da işlenebilirlik açısından olumlu bir özellik değildir. Normalizasyon işlemi sırasında malzeme östenitik bölgesindeki sıcaklığa çıkarılır. Malzeme yapısı tamamen östenite dönüştükten sonra 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 tavlaması, gerçekte malzemeyi yumuşatmak için uygulanan bir işlemdir. İşlem sırasında, perlitteki sementit lamelleri 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 taneciklerle çok daha kısa mesafede teması anlamı taşır. Normalde, yumuşatma tavlaması karbon miktarı % 0,5'den fazla olan çeliklerde uygulanır. Yüksek karbon muhtevası söz konusu olduğunda, optimum işlenebilirlik elde etmek için yapılması gereken işlem küreselleştirmedir. Düşük karbon muhtevasında daha yüksek perlit miktarı optimum işlenebilirlik şartları sergiler.

Yumuşatma tavlaması gerilim giderme tavlaması ile karıştırılmaktadır. Gerilim giderme tavlamasının amacı, isminden de anlaşılacağı gibi, malzemede 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 tavlaması düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlem olup yapıyı etkilemez ve dolayısı ile işlenebilirlik üzerinde de etkisi yoktur.

Soğuk şekillendirilmiş bir malzeme genellikle, normalizasyon veya yumuşatma tavlamasına maruz bırakılır. Nispeten küçük boyutlu kütükler veya iş parçalarına uygulanır. Küçük iş parçalarında üniform bir yapı elde etmek daha kolaydır. Soğuk şekillendirme, deformasyon miktarına bağlı olarak dayanımı arttırır. Soğuk şekillendirme daha iyi yüzey kalitesi, yığıntı talaş oluşumunu azaltma ve çapak

oluşmasını azaltma kriterleri açısından işleme şartları için uygun durumlar sergiler.

İş parçasının sertliği, takım aşınmasının değerini etkiler yaklaşık 200 BHN'ye sahip malzemelerin sinterlenmiş karbür takımlarla işlenmesinde orta düzeyde bir aşınma meydana gelirken sertlikteki artma bunun üzerinde önemli rol oynar. Bununla beraber, nispeten yumuşak malzemeler yığıntı talaş oluşturma eğilimi sergiler ve dolayısıyla, nispeten daha sert malzemelerde olduğu gibi, işlenebilirliği negatif olarak etkiler (Sandvik Coromant 1997).

Yapılan deneysel bir çalışmada, SAE 1050 çeliğine haddeleme, tam tavlama, normalleştirme tavlaması olmak üzere üç farklı ısıl işlem uygulanmış, elde edilen üç farklı tip numune üzerinde yapılan işlenebilirlik deneylerinde, haddelenmiş numunenin takım ömrünü uzattığı, tam tavlama ve normalleştirme ısıl işlemlerinin takım ömrünü kısalttığı görülmüştür. Tam tavlanmış numunede düşük kesme hızlarında yığıntı talaş boyutu en yüksek değerdedir. Yüzey pürüzlülüğü açısından da en iyi performansı haddelenmiş numune sergilemiş, en kötü yüzey pürüzlülüğü değerleri tam tavlanmış numunede görülmüştür. Özetle, en iyi işlenebilirlik özelliklerini haddelenmiş numune sergilemektedir (Özçatalbaş ve Ercan 2003).

3.6.1.2.3. Yüzey düzgünlüğü veya düzensizliği

İşleme sırasında makro inklüzyonların sergilediği durumu sergiler ve düşük yüzey kalitesine, ani takım kırılmalarına veya hızlı takım aşınmasına sebep olur. Ön işlemeye tabi tutulmuş bir malzemenin tercih edilmesi, çoğu zaman daha iyi sonuçlar verir. Ham malzeme üzerindeki büyük toleranslar fazladan işleme operasyonları ve istenen boyutun ve yüzey kalitesinin elde edilmesi için daha fazla gayret sarf etmek anlamına gelebilir. Modern üretimde en önemli faktörlerden biri de yüzey düzgünlüğü ve kalite gibi özelliklerdir.

3.6.1.2.4. Alaşım elementlerinin etkisi

Malzemedeki alaşım elementleri özellikler üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Karbon, çelikteki mekanik ve işlenebilir1ik özelliklerini belirleyen en önemli elementtir. Örneğin, karbon miktarı azaldıkça işlenebilme özelliği düşer. Çünkü

süneklik artacak ve sünek malzeme takım ucuna yapışarak körlenmeyi hızlandıracaktır. Diğer taraftan da karbon oranı arttıkça malzemenin sertliği de artığından, sertlikte takım aşınmasını hızlandırır. Bu nedenle, çelikler için maksimum işleme kabiliyeti % 0,2 C içerikli çelik olmaktadır.

Diğer alaşım elemanları, nikel, kobalt, mangan, vanadyum, molibten, niobyum, tungsten, bakır vb'dir. Bazı alaşım elemanları ise işlenebilirlik üzerinde önemli pozitif etkiye sahiptir. Kükürt, fosfor, kurşun bunlara örnek olup kolay işlenebilir çeliklere ilave edilirler. Talaş oluşumu, genellikle sünekliği azaltan alaşım elementleri ile iyileştirilebilir. İş parçası malzemesinin kimyasal analizi, işlenebilirliği konusunda bize çok şey söyler. Aşağıda, işlenebilirlik açısından negatif ve pozitif etkiye sahip elementler gösterilmiştir.

Negatif Etkileyenler: Mn, Ni, Co, Cr, V, Mo, Nb, W, % 0,3'den küçük ve % 0,6'dan büyük oranlarda C.

Pozitif Etkileyenler: Pb, S, P ve % 0,3–% 0,6 oranları arasında C.

4. ÖSTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

4.1. Küresel Grafitli Dökme Demirler

Küresel grafitli dökme demir (KGDD) 1948'li yılların başlarında resmi olarak Amerika Dökümcüler Birliği toplantısında H. Morrogh tarafından döküm sektörüne tanıtılmıştır (İzgiz 1986). Küresel grafitli dökme demirler otomotiv, tarım makine ve ekipmanları, basınçlı boru, vanalar vb. birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. KGDD; üretim yönteminin diğer dökme demir sınıfı malzemeler ve çelik üretiminin yapıldığı ünitelerde yapılabilmesi ve üstün mekanik özellikleri ile üretim çok hızlı bir şekilde artmıştır. Diğer demir esaslı dökümler çok iyi bireysel özelliklere sahip olmasına rağmen, KGDD mikro yapı kontrolünden elde edilebilecek birçok özellik ve daha düşük maliyet sunar. Bu özellikleri onu tasarım mühendislerinin seçiminde en ileri gelen malzemelerden biri yapar (Labrecque ve Gagne 1998).

4.1.1. KGDD'lerin üretimi

Küresel grafitli dökme demirin başarılı üretiminin anahtarı, magnezyumun tek başına ya da seryum gibi toprak nadir elementler ile ilavesiyle dökme demirde küresel grafitin oluşumunu meydana getirmektir. Seryum, kalsiyum, lityum, sodyum, yitriyum gibi diğer elementler de küresel grafit oluşumunu teşvik ediyorken, magnezyum ilavesi küresel grafitli dökme demir üretimi için en basit ve en ekonomik yöntemdir. Esasen küresel grafiti üretmek için gerekli artık magnezyumun en az miktarı % 0,018 ve % 0,05 arasında değişir ve ana metalin kükürt ve oksijen içeriğiyle büyük ölçüde belirlenir (Spengler ve Briggs 1972).

Yeterli miktarda magnezyum ilavesinden sonra demir aşılanır ve dökülür. Grafit sonra küreler şeklinde çökelir. Sıvı demire magnezyumu ilave etmek kolay değildir. Magnezyum düşük sıcaklıkta (1090 ^{o}C) kaynar, bu sıvı demirin şiddetli karışmasına ve Mg'un yüksek buhar basıncından dolayı şiddetli bir reaksiyona sebep olur. Beyaz magnezyum oksit dumanı ile eşlik edilen işlem esnasında "magnezyum parlak

ışığında" yükselme olur. Mg ekleme işlemi ile oksitler ve sülfidler metal yüzeyinde cüruf oluşturur. Cüruf dökümden önce mümkün olduğunca tamamen uzaklaştırılmalıdır. Yoksa oluşmuş cüruf döküm parçalarda zararlı kalıntılara yol açabilir (Şen 2003).

KGDD dökümlerin üretiminin ilk adımı, şarj malzemesinin dikkatli seçimidir. Çelik hurdası, dönüş hurdası ve diğer malzemelerin bileşimleri tam olarak bilinmelidir. Çünkü küresel grafitli dökme demir üretmek için bileşimdeki elementlerin belirli aralıkta kalması gerekir. Ayrıca matriks yapısı da önemli ise bazı elementlerin özellikle kontrol edilmesi gerekir. C, Si, ferrit oluşumunu desteklerken, Mn, Ni, Cu, C, N, Mo, Sn, P, ve Sb perlit oluşumunu destekler. Ferritik dökümler için yüksek saflıkta demire ve yüksek saflıkta çelik hurdasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek kaliteli KGDD dökümlerin üretimi bileşim, döküm sıcaklığı, bekleme zamanları v.b.'nin sıkı şekilde kontrolüne bağlıdır. Kupol ocakları ve indüksiyon ergitme fırınları genellikle ihtiyacı karşılar. Ancak şu anda üretimde çekirdeksiz indüksiyon ocakları yaygındır.

İkinci adım, küreselleştirme işlemidir. Bu zamana kadar birçok küreselleştirme metodu geliştirilmiştir. KGDD küreleştirme ve ilave yöntemleri için kullanılan çeşitli Mg alaşımları Çizelge 4.1'de verilmektedir. Bireysel bir dökümhane için işlem yönteminin seçimi önemlidir ve birçok faktör içerir (döküm hane koşullarına bağlı olarak) (Labrecque ve Gagne 1998).

Çizelge 4.1 Tipik Mg küreselleştirme alaşımları ve kullanılan işlem yöntemleri (Labrecque ve Gagne 1998).

Alaşımlar	İlave Etme Metodu
NiMg	Açık Pota
CuMg	
FeSiMg (% 3–5)	Sandviç, Tandiş Kapak
FeSiMg (% 5–7)	Flotret, İnconod, Kalıp içinde
FeSiMg (% 8–10)	Gazal
FeMg pelletleri (% 6–10)	
Mg kaplı tel	Daldırma, Dönen pota
Mg kok	Daldırılmış ilaveli pota
FeSiMg (% 30–40)	
Saf Mg çubuk	Konvertör, basınçlı pota
Saf Mg toz	Daldırma, enjeksiyon

Aşılama, KGDD dökümlerin üretimi için gerekli bir adımdır. Potada, kalıba metal akışı sırasında ve kalıp içerisinde olmak üzere üç farklı şekilde Mg eklenebilir. Küresel grafitli dökme demirin aşılanması, çil eğilimini azaltır ve oluşan küresel grafit sayısını artırır. Aşılayıcıların çoğu Al, Ca, Ba, Mn, Zr içeren Fe-Si alaşımlarıdır. Bu elementler alaşımların çözülebilirliğini artırmak için kullanılır (Labrecque ve Gagne 1998). Aşılayıcılar zamanla etkisini kaybeder. O nedenle aşılama mümkün olduğunca hemen döküm işleminden önce yapılmalıdır. En yüksek verim almak için döküm sıvısına ilave edilmelidir. Ayrıca kaliteli döküm için aşılayıcı özellikleri ve miktarları kontrol altında tutulmalıdır.

Yüksek kaliteli KGDD üretimi, dikkatli olarak kontrol edilmeye ihtiyaç duyan birçok diğer kademeleri de içerir. Küreleştirme işleminden önce aşırı ısıtma ve bekleme zamanı sınırlı olmalıdır. Magnezyum ekleme işlemi 1450–1510 ^{o}C sıcaklıklarında yapılmalıdır.

İnce kesitlerde ve döküm uçlarında karbür oluşumunu teşvik edebileceğinden dökümde aşırı sıcaklık gradyenleri ve metalin soğuk dökülmesi istenmez. Bunlardan 25 mm kesitli dökümler için 1315 ^{o}C'den az olmayan sıcaklıklarda ve 6 mm dökümler için 1425 ^{o}C üzerinde dökülmesiyle, çıkıcılar ve yolluk uzantıları gibi özellikleri içeren yolluk sistemiyle kaçınılabilir (Şen 2003).

KGDD'ler yeni bir yöntem olan "yatay sürekli döküm çubuklar" yöntemiyle üretilmektedir ve klasik döküm yöntemleri ile üretilmiş olan dökümlerin oluşturduğu sorunları minimum düzeye indirmiştir.

Bir sürekli döküm ünitesi 4 ana bölümden oluşmaktadır:

1- Ergimiş metalin aktarıldığı tutma fırını

2- Çekme birimi

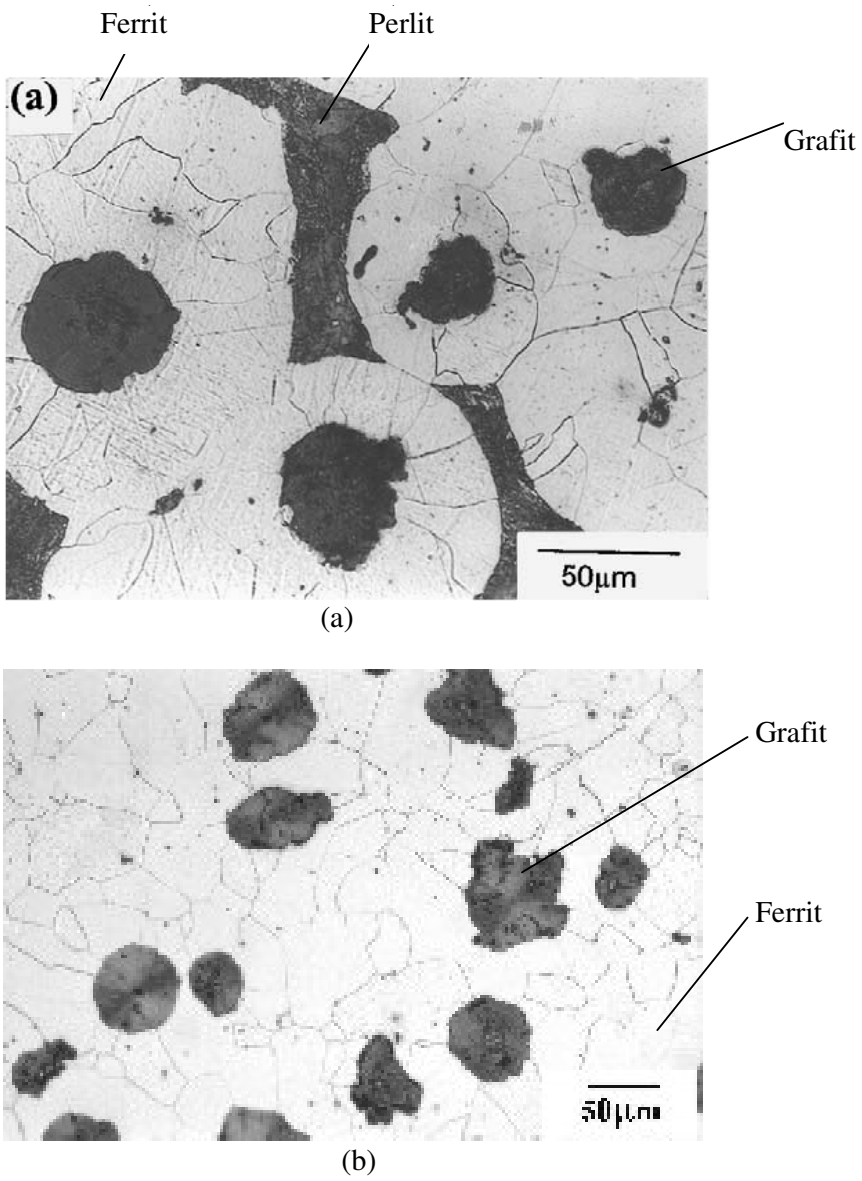
3- Çentik atma ve kırma birimi

4- Kontrol paneli (soğutma sıvısının akışının düzenlenmesi, döküm hızı, diğer 3 bileşenin kontrolü)

Sürekli döküm çubuklara ait tüm üstün özellikler, hassas kontrollü bu sistemde üretilmektedir (www.taskmetal.com).

4.1.2. KGDD'lerin mikroyapıları

KGDD'de matriks normal olarak perlit, ferrit veya ikisinin karışımından (Şekil 4.1) meydana gelmektedir. Düşük küre sayısı, küresel olmayan grafit şekli, üniform olmayan küre dağılımı ve hacmi, KGDD'in mekanik özellikleri üzerinde zararlı bir etkiye sahip olmaktadır. Sıvı metal içerisinde Ti bulunması, yüksek miktarda Mg, nadir toprak elementlerinin varlığı ve S; grafitin üniform dağılımını ve şeklini bozmaktadır (Goodrich 1993).



Şekil 4.1 Matriks yapıları a) Perlitik ile Ferritik ve b) Tamamen ferritten oluşan KGDD'in mikroyapı fotoğrafları (Dağlama: %2 nital)

KGDD malzemelerde en önemli alaşım elementlerinin başında C ve Si gelmektedir. C miktarı genellikle % 3,2–4 arasında değişmektedir. Si ise C'un yanı sıra küreleştirme ve aşılamaya bağlı olarak genellikle 1,2–2,5 cm kesit kalınlığına sahip parçalar için % 1,8–2,9 arasında bulunmaktadır. KGDD'lerde karbon eşdeğerliği (KE) genellikle % 4,3–4,65 arasında değişmektedir (Karsay 1985). KE kesit kalınlığına bağlı olarak kalınlık arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi ise kalın kesitli

ve yüksek KE'li (> 4,65) bir KGDD'de, döküm parça üst yüzeyinde karbon yüzmesi adı verilen olayın meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır (Hasırcı 2000). Si C'un aktivitesini yükseltmektedir ve grafit oluşumunu arttırdığı için güçlü grafit oluşturucu ve ferrit oluşumunu teşvik edici bir elementtir. Si'un artması düşük sıcaklıklardaki darbe direncini düşürmekte, ancak % 3'ün üzerinde tersine bir etki göstermektedir. C ve Si'dan sonra gelen en etkili element ise mangandır. Mn sementit oluşumunu desteklemektedir. Mn miktarı % 0,02–0,6 arasında değişmektedir (İzgiz 1986, Karsay 1985).

KGDD'de manganın miktarını gri dökme demire göre daha düşük olduğundan kükürdün etkilerini kontrol edici (MnS) bir fonksiyonu yoktur. Ancak Mn, perliti kararlı hale getirme özelliği olan bir elementtir. Miktarının % 0,4'ten düşük olması özellikle tane sınırı karbürleri oluşturma tehlikesini önlemesi açısından tavsiye edilmektedir. Ayrıca sıvı metalin hidrojen kapmasını en aza indirmek, ferrit oluşumunu teşvik etmek ve ayrıca tane sınırı segregasyonu ve tane sınırında sementit oluşumunu engellemek için Mn miktarı düşük tutulmalıdır. S ve P ise genellikle istenilmeyen ve minimum düzeyde tutulması gereken elementlerdir. Genellikle S % 0,004 ve P % 0,08'den daha az olması tercih edilir (Ferizoğlu 1988).

Bu temel elementlerin dışında kullanılan Ni, Cu ve Mo genellikle perlit oluşumunu teşvik etmektedir. Mo, Cu ve Ni elementleri arasında Mo en fazla oransal etkinliğe sahip olmakla birlikte bu elementin segregasyon eğiliminin fazla olması ve karbür oluşturması sonucu sünekliği düşürdüğü için miktarının maksimum % 0,3 ile sınırlanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra Mo; yüksek sıcaklıktaki dayanımı arttırmaktadır (Hasırcı 2000).

Perlit oluşumunda nispi etkinliği en fazla olan element Sn olarak bilinmesiyle beraber bu elementin lamel grafit oluşumunu teşvik etmesi sebebi ile % 0,07'den daha az miktarda olması gerektiği belirtilmektedir (Karsay 1985).

Cu ve Ni'in dışında diğer elementlerin (kalay, molibden, fosfor, titanyum, mangan) zararlı etkileri sebebiyle perlit oluşturma amacıyla kullanımı olumsuz etkilere neden olacağından tercih edilmemektedir. Burada Cu, Ni'e göre etkinliğinin daha yüksek

ve ekonomik olması sebebiyle yaygın şekilde perlit oluşturucu element olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan Ni ise sıcak darbe direncinin gelişimine olumlu etki yapmaktadır (İzgiz 1986).

4.1.3. KGDD'lerin mekanik özellikleri

Diğer dökme demir malzemelerle karşılaştırıldığında, dökme demirlerin bir sınıfı olan KGDD'lerin, mekanik özellikler yönünden çok daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu üstün mekanik özelliklerin elde edilebilmesinde KGDD'e ilave edilen alaşım elementlerinin tür ve miktarları, sementit oluşumunu, grafit küreselleşmesi ve dağılımı ile matriks yapı türünü etkilediği için büyük önem taşımaktadır.

KGDD malzemeler mekanik özelliklerine göre standartlaştırılmış olup, bu malzemeden üretilecek bir parçadan beklenilen özelliklere göre ülkemizde, diğer ülke ve uluslar arası standartlara bakılarak seçim yapılmaktadır. Ancak bunun yanında standartlar dışında daha farklı isteklere uygun olarak da üretim yapılabilmektedir. Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te TS (526/1977) ve ASTM (A536–70) standardına göre KGDD sınıfı malzemeler verilmektedir.

Çizelge 4.2 TS (526/1977) standardı KGDD malzemeler

Sınıflama	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HBN)	Mikroyapı
DDK 40	412	275	12	140–201	Daha çok ferritik
DDK 50	490	343	7	170–241	Ferrit+Perlit
DDK 60	588	392	3	192–269	Perlit+Ferrit
DDK 70	686	441	2	229–302	Daha çok perlitik
DDK 80	785	490	2	248–352	Perlitik
DDK 35.3	343	216	22	-----	Ferritik
DDK 40.3	392	245	18	-----	Ferritik

Çizelge 4.3 ASTM (A536–70) standardı KGDD malzemeler (İzgiz 1986)

Sınıfı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HBN)
60–40–18	414	277	18	137–170
65–45–12	450	311	12	149–229
80–55–6	553	380	6	179–255
100–70–3	692	484	3	229–302
120–90–2	830	622	2	250–350

Üstün mekanik özellikler elde edilmesi açısından KGDD'lerde küre sayısının mümkün olduğu kadar yüksek sayıda (150–250 küre/mm^2) olması istenir. Bu nedenle uygun sıcaklıkta ve miktarda küreleştirici ile küreleşmeyi destekleyecek alaşım kullanımı gerekmektedir. Sıvı metalin kükürt oranı, karbon eşdeğeri (KE), diğer malzeme ve proses değişkenleri küreleşme oranına etki etmektedir (İzgiz 1986).

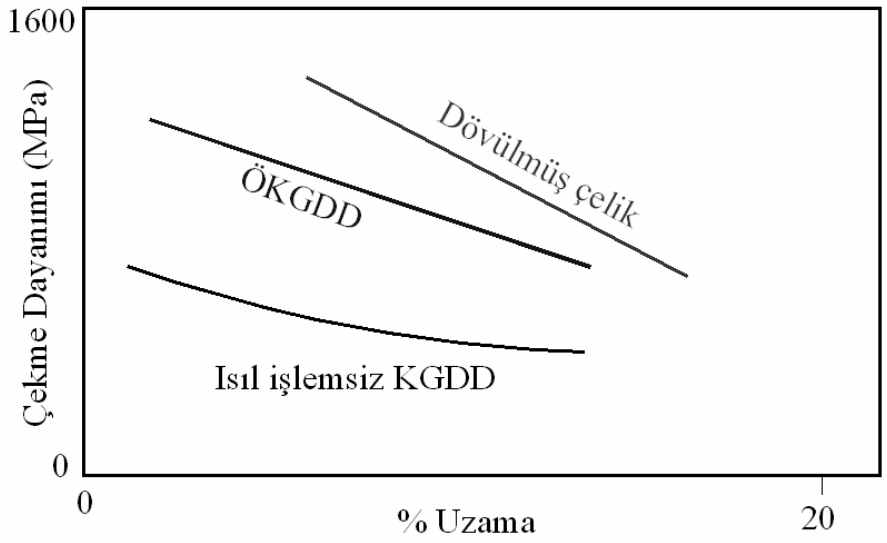
4.2. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirler

Östemperleme işlemi, 1930'lu yıllarda Amerikan Çelik Laboratuarlarında çalışan "Grossman" ve "Bain" adında iki araştırmacının çabaları ile başlamaktadır. Bu araştırmacılar ilk olarak 788 ℃' deki çelikleri hızla 450 ℃' ye kadar soğutmuşlar ve daha sonra bunları oda sıcaklığında soğumaya bırakmışlardır. Grossman ve Bain bilinen yöntemlerle ferrit, perlit ve martenzit yapılarını incelerken, ısıl işlem esnasında martenzit yapısı oluşum sıcaklığının üzerinde ve perlit oluşum sıcaklığının altında farklı bir yapıyla karşılaşmışlardır. X ışını difraksiyonuna göre daha sonra bu yapının ferrit ve metal karbür kombinasyonu olduğu kanaatine varmışlardır ve bu yapının adına "Beynit" demişlerdir. Daha sonra yaptıkları incelemelerde bu yapının daha sert ve dayanıklı olduğunu anlamışlardır (Topuz 2003).

1950'li yıllardaki yüksek çekme ve darbe dayanımlı malzeme geliştirme çabaları sonucunda, öncelikle KGDD'lere alaşım elementi ilavesi yapmak suretiyle hedeflere ulaşılmaya çalışılmış, diğer yandan beynitik yapıyı oluşturmak amacıyla KGDD'lere östemperleme ısıl işlemi 1970'li yılların ortalarında ilk kez Finlandiya'da daha sonrada başta ABD, Norveç ve İngiltere gibi ülkelerde uygulanmıştır (Chang 1998).

KGDD diğer dökme demir tiplerine göre daha yüksek dayanım, süneklik, tokluk ve işlenebilirlik özelliklerine sahiptir. KGDD'lerde östemperleme ısıl işlemi sonucunda ösferritik matriks yapı oluşturma, bu malzemelerin dayanım ve tokluk özelliklerini daha da iyileştirilmektedir (Şekil 4.2) (Hayrynen1998). Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD) üstün mekanik özelliklere sahip olmasını bu ısıl işlem sonucu elde edilen matriks yapı (ferrit + yüksek karbonlu östenit) sağlamaktadır.

Bu ısıl işlem sonucu elde edilen yapıya çeliklerde olduğu gibi beynit denilmiş (Chang 1998), ancak daha sonra Kovacs ve Harneyn'in yaptığı çalışmalarla çelik ve ÖKGDD'de oluşan yapıların aynı olmadıkları ve bu nedenle ÖKGDD'in bu yapısının çelikte olduğu gibi beynitik (iğnesel ferrit + karbürden) oluşmadığı, aksine ferrit + yüksek karbonlu östenitten oluşan ösferritik yapı olduğunu belirtmişler ve bu gözlem diğer araştırmacılar tarafından desteklenmiştir (Hasırcı 2000).



Şekil 4.2 KGDD, ÖKGDD ve çelik malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Hayrynen1998).

Mekanik özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiş olan 5 sınıf ÖKGDD malzeme ASTM 897–90'da belirtilen ÖKGDD sınıfı malzemeler olarak standartlaştırılmıştır.

Çizelge 4.4 ÖKGDD malzemeleri standardı (ASTM 897–90)

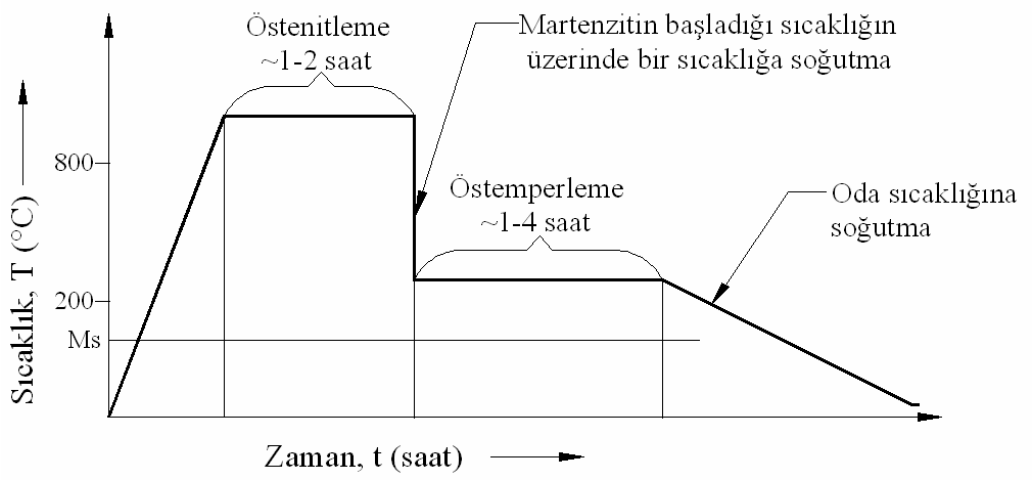
Sınıf	Çekme Dayanımı (MPa)*	Akma Dayanımı (MPa)*	Uzama (%)	Darbe Dayanımı (Joule)**	Sertlik (BHN)
1	850	550	10	100	269–321
2	1050	700	7	80	302–363
3	1200	850	4	60	341–444
4	1380	1100	1	35	388–477
5	1590	1300	----	----	444–555

* minimum değerler
** çentiksiz darbe çubuğu 22 ± 4^{o}C'de test edilmiştir

Üstün özelliklerin yanı sıra, talaşlı üretim yöntemine uygunluğu, çeliklere göre % 10 daha hafif olmaları döküm yoluyla son şekle getirilebilme yetenekleri, montaj kolaylıkları bu malzemeleri cazip hale getirmiştir ve bu üstün özelliklerin bir sonucu olarak pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

4.2.1. Östemperleme ısıl işlemi

ÖKGDD'lere uygulanan ısıl işlem çevrimi üç ana adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar; genellikle 850–950 ^{o}C sıcaklık aralığında 1–2 saat süreyle östenitleme, perlitik yapı oluşumunu önleyecek hızda 250–400 ^{o}C sıcaklıkları arasına hızlı soğutma ve ösferritik dönüşüm için 250–400 ^{o}C sıcaklık aralığında 1–4 saat (hatta 8 saate kadar) östemperleme izotermal dönüşümü ve oda sıcaklığına soğutmadır. Tipik bir ısıl işlem çevrimi Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Tipik bir östemperleme ısıl işleminin sıcaklık ve süreye bağlı olarak çevrimi

Östenitleme ve izotermal dönüşüm sıcaklıklarına soğutmanın ardından östemperleme sırasında östenitin diğer yapılara dönüşümü üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar;

I. Aşama: $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma_{yk}$ (yüksek karbonlu östenit) + γ^1 (dönüşmemiş östenit)

II.Aşama: ($\alpha + \gamma_{yk}$) bölgesi

III. Aşama: $\gamma_{yk} \rightarrow \alpha$ + karbür

Burada II. Aşamanın ösferritik yapının oluşumunda ve dönüşümün anlaşılmasında önemli bir aşamayı oluşturduğu vurgulanmaktadır (Grech ve Young 1990).

4.2.1.1. Östenitleme işlemi

Östenitleme işlemi genellikle 850–950 ^{o}C sıcaklık aralığında ve yaklaşık olarak 1–2 saat süreyle yapılmaktadır. Östenitleme sıcaklık (Tγ) ve süresindeki (tγ) değişim malzemenin içerdiği alaşım elementlerinin miktarlarına bağlıdır. KGDD'de Tγ önemli bir parametredir ve özellikle C miktarına göre seçilmektedir. Aynı zamanda homojen bir östenitik yapı için östenitleme süresinin de önemli olduğu görülmektedir (Hasırcı 2000).

4.2.1.2. Östemperleme işlemi

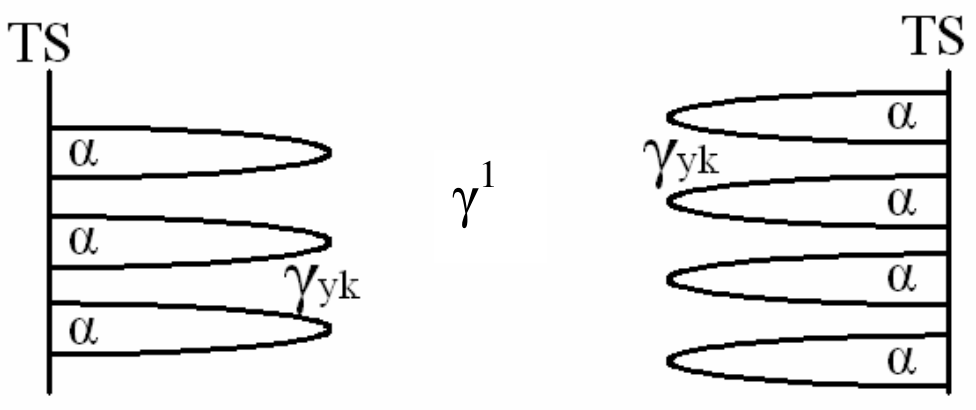
Östemperleme işlemi (izotermal dönüşüm) genellikle 250–450 ^{o}C sıcaklık aralığında 1–4 saat süre ile yapılmaktadır. Östemperleme sıcaklık ve süresinin; alaşım elementlerine ve östenitleme şartlarına bağlı olduğu belirtilmektedir. Bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda ~350 ^{o}C'nin altındaki sıcaklıklarda baskın yapının, ince ösferritik (alt beynit) yapı, üzerindeki sıcaklıklarda ise kaba ösferritik (üst beynit) yapı olduğu belirtilmektedir (Azevedo ve arkadaşları 1993).

Östemperleme işleminin üç aşamadan meydana geldiği yukarıda daha önceden ifade edilmişti. Bu aşamaların bilinmesi, işlem sonrası meydana gelebilecek yapılar ve bu yapılara bağlı olarak mekanik özelliklerdeki değişimin kontrolü açısından büyük önem taşımaktadır.

4.2.1.2.1. I. Aşama izotermal dönüşüm

I. aşamada östemperleme işlemi sırasında matriks yapıda dönüşüm Şekil 4.4'te görüldüğü gibi ya östenit tane sınırında ya da grafit kürelerine yakın alanlarda çekirdeklenme (α) ve dönüşmemiş östenitin (γ^1) azalmasıyla başlar. Daha sonra buralardaki karbon atomları östenit içerisinde ilerleyerek γ_{yk}'i oluşturur. Bu oluşan yapı da tokluğu arttırdığı için bu aşamada gerçekleşen reaksiyona birçok kaynakta "Tokluk reaksiyonu" adı verilmiştir (Hasırcı 2000).

Dönüşüm sonucu dönüşmemiş östenit miktarını östenitleme sıcaklığı ve süresi, östemperleme sıcaklığı ve süresi gibi faktörler etkilemektedir. Dönüşmemiş östenit miktarının azalması ve böylece I. aşamanın tamamlanmasında alaşım elementlerinin yukarıda ifade edilen etkenlerden daha fazla rol oynadığı görülmüştür. İşlem sırasında en son dönüşen alanların dökümün segrege olmuş bölgelerinde oluştuğu ve yüksek Mn miktarının dönüşümü geciktirdiği belirtilmektedir (Shieh ve arkadaşları 1993).



Şekil 4.4 Dönüşmemiş östenit alanındaki (γ^1) tane sınırında (TS) beynitik (iğnesel) ferrit (α) tabakalarının oluşması ve tabakaların aralarında yüksek karbonlu östenitin (γ_{yk}) oluşumu (Mallia ve arkadaşları 1998).

Özellikle Mn gibi elementlerin yüksek miktarlarda varlığı dönüşüm hızını azaltmaktadır. Östenitleme sonrası östemperleme sıcaklığına soğutma sırasında I. aşamanın tamamlanması durumunda C miktarının % 1,5'ten az olmasından dolayı dönüşmemiş östenitin, martenzite dönüşümü tane sınırları boyunca gerçekleşebilmektedir (Hayrynen 1998, Shih ve arkadaşları 1997). Dönüşmemiş östenitin (γ^1) oluşturduğu bu martenzitik ürün özellikle tane sınırları boyunca sürekli bir ağ şeklinde yer almışsa çatlak oluşumuna neden olabilmekte ve bu nedenle süneklik büyük oranda azalmaktadır (Hayrynen 1998). Yapılan çalışmalarda dönüşmemiş östenit miktarı % 1'den daha az olduğu görülmekle birlikte en azından sürekli ağ şeklinde olmaması önem taşımaktadır. Bu durum, çatlak oluşumu ve ilerlemesinin yavaşlatılmasında yararlı olabilmektedir. Tγ düşük ise (870–900 ^{o}C) dönüşmemiş östenit yüzdesinin daha az olacağı ifade edilmektedir (Hayrynen 1998, Shih ve arkadaşları 1997). I. aşama dönüşümü üzerine etkili olan faktörler alt başlık olarak verilmiştir.

a) I. Aşama dönüşümü üzerine östenitleme sıcaklık ve süresinin etkisi

Östenitleme sıcaklığı (Tγ) ve süresi (tγ) malzemenin içerdiği alaşım elementlerinin miktarlarına bağlıdır. ÖKGDD'de Tγ önemli bir parametredir ve özellikle C

miktarına göre seçilmektedir. Aynı zamanda homojen bir östenitik yapı için östenitleme süresinin de önemli olduğu görülmektedir (Hasırcı 2000). Ferritik ana yapılı dökme demirde östenitleme süresinin perlitik ana yapılı malzemeye göre daha fazla olması, C'un yayılma mesafesinin daha uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Tγ'da ki azalma östemperleme sürecinin I. aşama dönüşümü için gerekli zamanı azalttığı için dönüşüm hızını arttırmaktadır (Shih ve arkadaşları 1997). Sıcaklık 900 ^{o}C'ye çıkarıldığında ve süre (1–1,5 saat) arttığında dönüşmemiş östenit hacmi azalmaktadır (Shih ve arkadaşları 1996). Östenitleme sıcaklığının azalması, (870 ^{o}C'den az) östemperleme işleminin I. aşama dönüşümü için gerekli olan süreyi artırmakta, dönüşüm hızının azalmasına neden olmaktadır (Hayrynen 1998). Tam bir östenitleme için Tγ yükseltildiğinde östenitin içerdiği C miktarında artış görülür ve bu durum ösferritik dönüşüm kinetiğini düzenlemektedir (Sidjanin ve Smallman 1992).

850–950 ^{o}C'de östenitlenerek izotermal dönüşümün gerçekleştirileceği sıcaklığa numunenin soğutulması sırasında soğutma hızı kesit kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir. Soğutmanın perlit oluşumuna izin vermeyecek bir hızda (yaklaşık olarak 10 ^{o}C/s) olması gerekmektedir. Soğutma gereğinden yavaş yapılırsa; hıza bağlı olarak mekanik özellikleri azaltan perlitik matriks oluşabilmektedir (Yalçın ve Özel 1999).

b) I. Aşama dönüşümü üzerine östemperleme sıcaklık ve süresinin etkisi

Düşük östemperleme sıcaklıklarında (< 370 ^{o}C) östenit içerisindeki karbon; oluşmaya başlayan ferrit tanelerinden östenit tanelerine dönüşüm hızının yüksek olmasından dolayı yayınma fırsatı bulamadan ferrit içerisinde kalmaktadır (Mallia ve arkadaşları 1998). Düşük östemperleme sıcaklıklarında dönüşmemiş östenit miktarı, dönüşümün hızlı olmasından dolayı daha azdır (Shih ve arkadaşları 1997). Bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda (Ahmadabadi ve arkadaşları 1997, Shih ve arkadaşları 1996, Yalçın ve Özel 1999), ~350 ^{o}C'nin altındaki sıcaklıklarda baskın yapının ince ösferritik yapı, üzerindeki sıcaklıklarda ise kaba ösferritik yapı olduğu belirtilmektedir. Dönüşüm sıcaklığı ~350 ^{o}C'nin altında olduğunda ferrit iğnelerinin büyüme hızı yüksektir ve C difüzyonu hızı ise nispeten düşük olmaktadır. İlk östenit yapıdan ferrite çok az miktarda C atılmasıyla dönüşümün sürekli ilerlediği

görülmektedir. Oda sıcaklığına soğuma ile yapıda dönüşmemiş östenit miktarı azalmaktadır (Shih ve arkadaşları 1996, Yalçın ve Özel 1999).

350 ^{o}C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise dönüşüm daha farklı olmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi C difüzyon hızını arttırmaktadır. Bunun sonucunda ise C'un önemli bir miktarı büyüyen ferrit levhalarının dışına doğru harekete geçmekte ve sonuçta γ_{yk} miktarının artması teşvik edilmektedir. Burada oluşan yapı, daha kaba plakalar biçiminde olan tam anlamıyla ösferritik yapı oluşmaktadır. Kaba ösferritik yapının dönüşüm davranışının farklı olması ve C difüzyonuna izin vermesiyle birlikte ferrit çıtalarının (iğnesel olmayan tabakalar biçiminde) büyümesi sağlanmaktadır. Bu durum ise martenzit oluşumunu azaltmaktadır (Shih ve arkadaşları 1997).

c) I. Aşama dönüşümü üzerine alaşım elementlerinin etkisi

Si miktarındaki artışın (% 2'den 2,9'a doğru) I. aşamayı teşvik ettiği ve III. aşamayı geciktirdiği bildirilmektedir (Shih ve arkadaşları 1997). Bunun sonucu olarak östemperleme sıcaklığının (Ta) azalmasıyla maksimum dayanım artmaktadır. Östemperleme ısıl işlemini en fazla etkileyen alaşım elementlerinden birisinin Mn olduğu belirtilmektedir (Hayrynen 1998). Mn; I. aşama reaksiyonunu (% 0,025'den büyük oranlar) çok etkili bir şekilde geciktirmektedir. Mn, katılaşma ve ısıl işlem sırasında segregasyon oluşturarak dentritler arası martenzit içeren hacimleri arttırmaktadır (Shih ve arkadaşları 1997). Mn östenit oluşumu ve ösferrite dönüşümü belirlemede en etkili elementlerden birisidir. Mn ayrıca sertleşebilirliği iyileştirmekte ve ösferritik dönüşümü geciktirerek dönüşmemiş östenit miktarını artırması sonucu mekanik özellikleri düşürdüğü görülmektedir (Hayrynen 1998).

Mo ilavesi sertleşebilmeyi arttırmakta ve I. aşamayı geciktirerek II. aşamayı olumsuz yönde etkilemektedir. Molibden Mn gibi segregasyon ve karbür oluşumunu teşvik ettiği için % 0,3 oranının aşılmamasına dikkat edilmelidir. Mo ayrıca III. aşamayı ve dönüşmemiş östenit hacmini arttırmaktadır. Ayrıca sıcaklık ($T\gamma > 900$ ^{o}C) ve Mn miktarındaki artışın martenzit içeren hacim miktarında artış sağladığı görülmüştür (Shimizu ve arkadaşları 1993).

4.2.1.2.2. II. Aşama izotermal dönüşüm

İşlem aralığında genellikle iki tür östenit bulunmaktadır. Bunlar; dönüşmemiş östenit ve dönüşmüş östenit yada yüksek karbonlu östenit (γ_{yk})'tir. Dönüşmüş östenit elde etmek için gerekli minimum süre t_1 ve maksimum dönüşmüş östenit eldesi için ise t_2'dir. Eğer $t_2>t_1$ ise ösferritik yapı elde edilebilir (Ahmadabadi ve arkadaşları 1997). Mn miktarı arttıkça t_1 zamanı t_2'den büyük olmaktadır. Bu nedenle yüksek Mn miktarlarında $t_1>t_2$ olduğu için II. aşama ortadan kalkacak ve süneklik için uygun yapı sağlanamayacaktır. Uygun dayanım-süneklik kombinasyonu ancak maksimum sünekliği sağlayan bir östemperleme süresiyle elde edilebilmektedir. % uzama; östemperleme süresine karşı çok hassastır ve kaynaklara göre (Grech 1990) 350 ^oC'nin üzerinde matriks östenitin ösferritik ürünlere (ferrit + γ_{yk}) dönüşümü östemperleme zamanıyla öncelikle artmakta (l. aşama), ardından bir tepe noktaya erişmekte (II. aşama) ve γ_{yk}'in zaman ilerledikçe ferrit+karbürlere dönüşmesinden dolayı (III. aşama) % uzamada azalma görülmektedir. 350 ^oC'nin altında ise III. aşama reaksiyon kinetiğinin çok hızlanmasından dolayı bu aşamada % uzama azalmaktadır (shih ve arkadaşları 1997, Massone ve arkadaşları 1996).

İdeal bir östemperleme işlemi (yüksek östemperleme sıcaklığı >350 ^oC) I. ve III. aşama aralığında γ_{yk} oluşma süresiyle belirlenebilmektedir. Burada I. aşama işlemi t_1 süresinde biraz kararlı γ_{yk} oluşturarak tamamlanır ve ösferrit için bir t_1–t_2 süre aralığı oluşturulur. En sonunda, t_2'de γ_{yk} kararlı ferrit + karbür ürünlerine dönüşerek γ_{yk} azalır.

Bu durumun ortaya çıkmasının birinci nedeni I. aşamada biraz γ_{yk} oluşur oluşmaz III. aşama itici gücünün daha fazla olmasından dolayı γ_{yk} = α + karbür'ün çekirdeklenip ve büyümesinden kaynaklanabilir. Diğer yandan III. aşamanın, I. aşamayla aynı zaman aralığında östemperleme sıcaklığına (Ta) ve alaşım elementlerine bağlı olarak daha yavaş hızda olması beklenebilir (Dorazil ve arkadaşları 1990). İkinci nedeni ise döküm işlemi matrikste farklı noktalarda belirli alaşım elementi segregasyonları üretmesidir. Bu segregasyon; farklı bölgelerdeki değişik dönüşüm karakterlerinden dolayı I. ve III. aşama arasındaki oluşması beklenilen II. aşamanın oluşmaması ve t_1 ve t_2 süreleri arasının kapanmasına yol açmaktadır (Hayrynen 1998). II. aşama

dönüşümü üzerine etkili olan faktörler alt başlık olarak verilmiştir.

a) II. Aşama dönüşümü üzerine östenitleme sıcaklık ve süresinin etkisi

Östenitleme sıcaklığı (Tγ) ve süresi (tγ) arttıkça kalıntı östenit hacmi azalmaktadır (Hayrynen 1998). Ayrıca sıcaklık ve Mn miktarının artması martenzit içeren hacim miktarında artış meydana getirdiği görülmektedir (Shimizu ve arkadaşları 1993). Tam bir östenitleme için Tγ yükseltildiğinde östenitin içerdiği C miktarında artış görülmekte ve bu durum ösferritik dönüşüm kinetiğini düzenlemektedir. Östenitin içerdiği karbon miktarı Tγ ve tγ ile kimyasal bileşime bağlı olarak % 0,8–2 arasında değişmektedir. Tγ'nın artışının (Tγ >900 ^{o}C) % 1,5 Ni - % 0,3 Mo'li ÖKGDD'in östemperleme süresini kısaltan bir faktör olduğu ifade edilmektedir (Hasırcı 2000).

b) II. Aşama dönüşümü üzerine östemperleme sıcaklık ve süresinin etkisi

Dönüşüm sıcaklığı 330 ^{o}C'nin altında olduğunda ferrit iğnelerinin büyüme hızı yükselmekte ve C difüzyonu hızı ise nispeten düşük olmaktadır. Dönüşümün ilk aşamasında C östenitten atılmakta ve bunun sonucu olarak da C ferrit iğnelerinde ε-karbür olarak çökelmektedir. İlk östenit yapıdan ferrite çok az miktarda C atılmasıyla dönüşümün sürekli ilerlediği görülmektedir. 330 ^{o}C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise dönüşüm daha farklı olmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi C difüzyonunun hızını arttırmaktadır. Bunun sonucunda ise C'un önemli bir miktarı büyüyen ferrit levhalarının dışına doğru harekete geçmekte ve sonuçta γ_{yk} miktarının artması teşvik edilmektedir (Mallia ve arkadaşları 1998). Burada oluşan yapı ise daha kaba plakalar biçiminde ösferritik yapıdır (Shimizu ve arkadaşları 1993). Östemperleme sıcaklık (~ 400 ^{o}C) ve süresinin artışı ösferritik dönüşümü hızlandırmaktadır. 240–260 ^{o}C aralığında yapılan bir çalışmada martenzit miktarının arttığı ve ince ösferritik yapı oluştuğu gözlenmiştir. Bunun sonucunda ise darbe dayanımı ile % uzamada azalma olurken sertlik artmaktadır. Sıcaklığın 325 ^{o}C'ye çıkarılmasıyla birlikte martenzit miktarı azalmakta ve γ_{yk} + ferrit karışımı bir yapı oluşmaktadır (Dorazil 1990).

Yüksek sıcaklık ve daha uzun bekletme sürelerinde karbür oluşumu gerçekleştiğinden dayanım ve süneklik azalmaktadır. Uygun östemperleme

süresinden daha kısa sürelerdeki bekletmede kararsız ya da yarı-kararlı östenit oluşmakta ve oda sıcaklığına soğuma sırasında bu yapı ya da yapılar martenzite dönüşmektedir (Hasırcı 2000).

c) II. Aşama dönüşümü üzerine alaşım elementlerinin etkisi

Yüksek karbonlu östenitin içerdiği karbon miktarı, Tγ ve tγ ile kimyasal bileşime bağlı olarak % 0,8–2 arasında değişmektedir. Östenitin içerdiği C miktarı daha sonra uygulanan östemperleme işlemi sırasında dönüşüm kinetiği ve oluşan mikroyapıyı önemli ölçüde etkilemektedir (Massone ve arkadaşları 1996). Si miktarının artması (% 2'den 2,9'a doğru) I. aşamayı teşvik ettiği, II. aşama kinetiğini artırarak III. aşamayı geciktirdiği bildirilmektedir (Shih ve arkadaşları 1997). Ayrıca Si, karbon aktivitesini arttırmakta ve sonuçta grafitleşme teşvik edilmektedir (Morgan 1987). Aşağıdaki eşitlikte görüldüğü üzere Tγ ve Si miktarı östenit karbon içeriğini belirleyici rol oynamaktadır (Kobayashi ve Yamada 1996).

$$\% C\gamma = (T\gamma /420) - 0,17 \% Si - 0,95$$

Burada Tγ = östenitleme sıcaklığı, % Cγ = γ_{yk}'daki karbon miktarıdır. Si ayrıca ötektoid altı ferrit adacıkları oluşturmakta, martenzit ve taneler arası segregasyon oluşumunu azalmaktadır.

Cu ve Ni, tγ'nin uzamasıyla birlikte grafit kürelerine doğru harekete geçen karbon atomlarının geçişlerini güçleştirerek, C atomlarının östenit içerisinde kalmalarını sağlamaktadır (Mallia ve arkadaşları 1998). Ayrıca Cu'da sertleşebilirliği arttırmaktadır. Ni ise grafit kürelerinden matrikse C geçişini güçleştirerek östenitleme sıcaklığında artışa neden olmaktadır (Hasırcı 2000).

Mn miktarı % 0,07'den 0,74'e yükseltildiğinde 280 ^{o}C'de östemperleme sonundaki darbe dayanımında % 54'e kadar azalma gözlenmiştir (Shih ve arkadaşları 1997). Mn'ın ösferritik dönüşümü geciktirerek, dönüşmemiş östenit hacmini artırması sonucu mekanik özellikleri düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca Mn segregasyonu C segregasyonu oluşturmaktadır. Bu nedenle ösferritik dönüşümü geciktirmesi sonucu

kalıntı östenit hacmini arttırmaktadır (Hayrynen 1998). Mo; I. aşamayı geciktirmektedir. Molibden Mn gibi segregasyon ve karbür oluşumunu teşvik ettiği için % 0,3 oranının aşılmamasına dikkat edilmelidir. Mo miktarının artması, III. aşamayı ve dönüşmemiş östenit hacmini arttırmaktadır (Hayrynen 1998, Shih ve arkadaşları 1997).

4.2.1.2.3. III. Aşama izotermal dönüşüm

Dönüşümün II. aşamasını oluşturan işlem aralığı tokluk reaksiyonundan gevreklik reaksiyonuna geçişin süre ile ilişkisini belirlemektedir. Bu aralık (II. aşama) ne kadar geniş ise II. aşamada elde edilmek istenilen hedefe ulaşmada daha serbest ve rahat bir çalışma aralığı sağlanmış olmaktadır. Alaşımlamaya bağlı olarak bu aralık uzun sürelere kadar artabilmektedir. III. aşamada karbür oluşumu nedeniyle süneklik ve tokluk olumsuz yönde etkilediğinden bu aşamada gerçekleşen reaksiyon "gevreklik reaksiyonu" olarak adlandırılmıştır. KGDD'de bulunan yüksek Si içeriği I. aşamada normal olarak sementit fazının oluşumunu bastırmaktadır. Ancak bu aşamada östenitten ferrit fazının çökelmesi sonucu, östenit karbonca zengin bir duruma gelirken ferritin büyümesi sınırlandırılarak geciktirilir. Yapılan çalışmalar östenitin karbonca zenginleşme sürecinde C içeriğinin % 2'nin üzerine çıkabileceğini ve bu γ_{yk}'in soğumada 120 ^{o}C'ye kadar kararlı kalabileceğini göstermiştir (Mallia ve arkadaşları 1998).

III. aşama oluşumu için östemperleme süresi gerekenden daha uzun tutulursa; γ_{yk}; ferrit + karbüre ayrışır. Diğer taraftan östemperleme süresi kısa tutulursa γ_{yk}'in bir kısmı dönüşmeden dönüşmemiş östenit olarak yapıda kalabilmektedir. Bunun sonucunda ise dönüşmemiş östenit yüzdesi ve oda sıcaklığına soğutmada martenzit oluşma riski artmaktadır (Yalçın ve Özel 1999). Bu aşama sonucunda $\gamma_{yk} \rightarrow \alpha$ + karbür oluşumu meydana gelir. Bu aşamada çok küçük boyuta sahip çökeleklerin oluşması sebebiyle metal mikroskobu ile tespiti mikroyapısal olarak mümkün görülmemektedir (Hayrynen 1998, Grech ve Young 1990). III. aşama, östemperleme zamanı ile γ_{yk} miktarındaki azalma olarak açıklanabilir (Hayrynen 1998). III. aşama dönüşümü üzerine etkili olan faktörler alt başlık olarak verilmiştir.

a) III. Aşama dönüşümü üzerine östenitleme sıcaklık ve süresinin etkisi

Yüksek östenitleme sıcaklıkları (Tγ > 900 ^{o}C) I. aşamayı geciktirerek, III. aşama ile çakışmasını sağlamaktadır. Bu durumda işlem aralığı kapanmakta ve mekanik özelliklerin azalmasına sebep olmaktadır (Hayrynen 1998, Massone ve arkadaşları 1996).

b) III. Aşama dönüşümü üzerine östemperleme sıcaklık ve süresinin etkisi

Östemperleme sıcaklık ve süresinin artması (400 ^{o}C gibi) özellikle tane sınırlarında karbürlerin çökelmesine ve darbe özelliklerinin azalmasına neden olmaktadır (Dorazil ve arkadaşları 1990).

c) III. Aşama dönüşümü üzerine alaşım elementlerinin etkisi

Si miktarının artmasının (% 2'den 2,9'a doğru) I. aşamayı teşvik ettiği ve III. aşamayı geciktirdiği bildirilmektedir. Bunun sonucu olarak östemperleme sıcaklığının azalmasıyla maksimum dayanımı artar, östemperleme sıcaklığının artmasıyla süneklik artmaktadır. Ayrıca Si artışının Östemperleme sıcaklığını (Ta) arttırdığı belirtilmektedir (Matsumura ve arkadaşları 1987). Nikelin Cu'a benzer şekilde düşük sıcaklıklarda oluşan yapıda karbür oluşumunu engelleyici bir özelliğe sahip olduğu belirtilmektedir. Ancak % 2'den fazla Ni ilavesi yavaş soğuma sonucu segregasyon oluşturmakta ve sonuçta martenzit oluşarak süneklik azalabilmektedir. % 1,5 Ni - % 0,3 Mo alaşımının III. aşamayı geciktirdiği ve işlem aralığını genişleterek rahat bir şekilde çalışma zaman aralığı sağladığı belirtilmektedir. Cu; dönüşmemiş östenit miktarını azaltarak III. aşamayı geciktirmekte ve mekanik özelliklerin gelişimini sağlamaktadır (Shih ve arkadaşları 1997). Mo, Mn gibi elementler segregasyon ve karbür oluşumunu teşvik ettiği için % 0,3 oranının aşılmamasına dikkat edilmelidir (Hayrynen 1998, Shimizu ve arkadaşları 1993).

4.2.2 ÖKGDD'lerin mekanik özellikleri

Östemperleme ısıl işleminin sonucunda oluşan mekanik özellikler; alaşım

elementlerine, östenitleme ve östemperleme sıcaklık-süresine bağlı olarak değişikliğe uğramaktadır.

4.2.2.1. Östemperleme ısıl işleminin çekme ve akma dayanımı ile yüzde uzamaya etkileri

240–260 ^{o}C östemperleme aralığında yapılan bir çalışmada martenzit miktarının arttığı ve ince ösferritik bir yapı oluştuğu gözlenmektedir. Bunun sonucunda ise darbe dayanımı ile % uzamada azalma olurken çekme dayanımı ve sertlik artmaktadır. Sıcaklığın 325 ^{o}C'ye çıkarılmasıyla birlikte martenzit miktarı azalmakta ve (γ_{yk}) + ferrit karışımı bir yapı oluşmaktadır (Dorazil 1990). Uygun östemperleme süresinden daha kısa sürelerde, kararsız ya da yarı kararlı östenit oluşmakta ve oda sıcaklığına soğuma sırasında bu yapı martenzite dönüşmektedir (Massone ve arkadaşları 1996).

300, 350 ve 400 ^{o}C aralıklarında ve farklı östemperleme sürelerinde yapılan başka bir çalışmada akma, çekme, darbe dayanımı ve % uzamadaki değişimler incelenmiştir (Eric ve arkadaşları 2005). Kısa östemperleme sürelerinde martenzit yapıdan dolayı kırılganlık ve gevreklik söz konusu olup, östemperleme süresi arttıkça martenzit yapı yok olmakta ve yapı içerisinde beynit, ferrit ve kalan östenitten dolayı % uzama ve darbe dayanımı artış göstermektedir. Fakat östemperleme süresi daha fazla arttırıldığında darbe dayanımı ve % uzamada düşüş olmaktadır. Yüksek dayanım değerleri, düşük östemperleme sıcaklıklarında gözlenmiştir (Eric ve arkadaşları 2005).

Buna benzer başka bir çalışmada, 315 ve 350 ^{o}C'de ve farklı sürelerde östemperlenen numunelere uygulanan deneylerde, östemperleme süresi arttıkça akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzamada artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca östemperleme sıcaklığı 315 ^{o}C olan numunelerin çekme ve akma dayanımlarının 350 ^{o}C'de östemperlenen numunelerden daha yüksek olduğu, bunun tam tersi olarak ta yüksek östemperleme sıcaklığında % uzamanın daha fazla olduğu görülmüştür (Sohi ve arkadaşları 2004).

Yapılan başka bir çalışmada, farklı kimyasal bileşimlere sahip KGDD numuneler 950 ^{o}C'de 1 saat östenitlenmiş ve farklı sürelerde ve sıcaklıklarda östemperleme işlemine tabi tutulmuştur. Genel olarak sertliğin tüm alaşımlar için östemperleme sıcaklığı düştükçe numunelerin sertliklerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca östemperleme süresi arttıkça sertlik artmaktadır. Bu çalışmada ek olarak alaşım elementlerinin sertlik üzerine etkili olduğu saptanmıştır. Alaşımsız numunelere göre yapıdaki Ni miktarı arttıkça sertlikte artış görülmektedir (Komaç ve Çelik 2004).

% uzama, östemperleme sıcaklık ve süresinin artmasıyla artmaktadır. Ancak bu sıcaklık (~ 400 ^{o}C) ösferritik dönüşümü hızlandırarak III. aşamayı teşvik etmektedir. Çekme dayanımı ve sertlik östemperleme sıcaklığının artmasıyla azalmaktadır (Dorazil ve arkadaşları 1990).

Yüksek miktarlarda Ni ilavesi ve östemperleme sıcaklığının 350 ^{o}C'nin altında olması çekme dayanımını düşürmekte ve % uzamayı artırmaktadır. Ayrıca Ni'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 süneklik azalabilmektedir (Shih ve arkadaşları 1997).

Çekme dayanımı ve sertlik östemperleme sıcaklığının artmasıyla azalmaktadır (Dorazil ve arkadaşları 1990). Östemperleme sıcaklığının, östemperleme süresine kıyasla mekanik özellikler üzerinde daha az etkili olduğu bildirilmektedir (Shimizu ve arkadaşları 1993). 240–260 ^{o}C aralığında yapılan bir çalışmada martenzit miktarının arttığı ve ince ösferritik yapı oluştuğu gözlenmektedir (Dorazil ve arkadaşları 1990). Bunun sonucunda ise darbe dayanımı ile % uzamada azalma olurken çekme dayanımı ve sertlik artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda (350 ^{o}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 (Dorazil ve arkadaşları 1990).

4.2.2.2 Östemperleme ısıl işleminin darbe dayanımına etkileri

240–260 ^{o}C aralığında yapılan bir çalışmada martenzit miktarının arttığı ve ince ösferritik yapı oluştuğu gözlenmiştir. Bunun sonucunda ise darbe dayanımı ile % uzamada azalma olurken çekme dayanımı ve sertlik artmaktadır (Dorazil ve arkadaşları 1990). Yüksek sıcaklıklarda (350 ^{o}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 ^{o}C gibi östemperleme sıcaklıklarında martenzit oluşmakta ve bu durum mekanik özellikleri kötüleştirmektedir. Östemperleme sıcaklığının artması çekme dayanımını azaltmakta ve γ_{yk} miktarının artmasıyla birlikte darbe dayanımı ve % uzama da artış teşvik edilmektedir (Dorazil ve arkadaşları 1990). Çünkü % 40'a yakın dönüşmüş östenit meydana gelmesi martenzit başlama sıcaklığını (Ms) azaltmaktadır. Neticede bu yapının yüksek kırılma tokluğu ve % uzamalar vermesinin nedeni bu γ_{yk}'ten kaynaklandığı belirtilmektedir (Shih ve arkadaşları 1997).

4.2.3. ÖKGDD'lerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkileyen diğer faktörler

ÖKGDD'lerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini daha önce belirtilen östenitleme sıcaklık ve süresi, östemperleme sıcaklık ve süresi ile alaşım elementlerinin yanı sıra aşağıdaki faktörlerde etkilemektedir. Bu faktörler;

1- Döküm şarj malzemesi ve mikroyapısının etkileri

2- Segregasyonun etkisi

3- Küresel grafitlerin şekil, miktar ve dağılımının etkisi

4- Parça kesit kalınlığı ve soğuma hızının etkisi

4.2.3.1. Döküm şarj malzemesi ve mikroyapısının 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 (Hayrynen 1998, Mallia ve arkadaşları 1998). 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 matriksini belirlemektedir. Oluşan bu matriks; dönüşüm karakteristiğinin temelini oluşturmaktadır. Döküm matriks yapısı ile hedeflerin gerçekleştirilmesi arasında tam bir ilişki söz konusudur (Mallia ve arkadaşları 1998).

Östemperleme ısıl işlemi yapılacak olan döküm parçaların döküm mikroyapısının; perlitik yada çoğunluğunun perlitik olması gerekmektedir. Çünkü perlitik yapıdan ösferritik yapıya dönüşüm, ferritik yapıya göre daha kısa sürede gerçekleşmekte ve bu durum daha kısa işlem aralığını ve işlemin kontrolünü kolaylaştırmaktadır. Buna ilaveten matriks yapı taneler arası karbürlerden bağımsız yüksek küre sayısı ve iyi küreselleşme oranına sahip olmalıdır. Küre sayısı ve dağılımı; segregasyon ve taneler arası karbürleri önlemede ve tokluğun arttırılmasında önem taşımaktadır (Mallia ve arkadaşları 1998).

4.2.3.2. Segregasyonun etkisi

KGDD'in katılaşması sırasında Si, Cu, Ni gibi elementlerin grafit kürelerine yakın yerlerde segrage oldukları belirlenmiştir. Buna ilaveten Mn, Mo, Cr gibi elementler ise tane sınırlarında birikme eğilimi göstermektedirler. Bu nedenle uygun ve

homojen bir döküm matriksin elde edilmesinde küre sayısının önemi artmaktadır. Katılaşma 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 katılaşma hızı azalmakta ve segregasyon oluşumu artış göstermektedir (Bahmani ve Ellott 1994).

4.2.3.3. 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 standardına göre birim alana düşen küre sayısının 150–250 küre/mm^2 olması gerektiği belirtilmektedir (Hasırcı 2000). Küre sayısının artması, döküm parçada döküm durumunda ferrit oluşumunu arttırdığı bilinmektedir. Buna paralel olarak izotermal işlemde de dönüşümün kürelere yakın yerlerde ve tane sınırlarında olması nedeniyle küre sayısının dönüşüm süresinde bir kısalmaya neden olacağı düşünülmektedir (Mallia ve arkadaşları 1998).

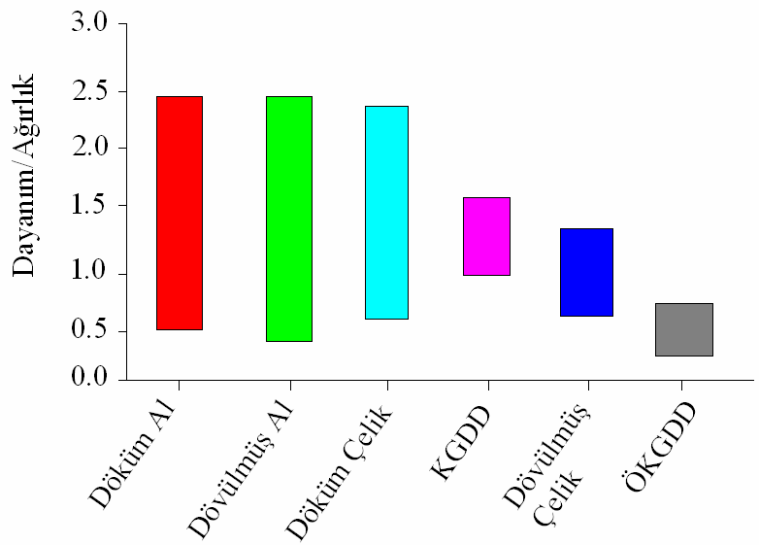
4.2.3.4 Parça kesit kalınlığı ve soğuma hızının etkisi

Alaşımsız KGDD için parça çapları 15 – 30 mm arasında değişmektedir. Daha büyük çapa sahip parçalarda önceden belirtilen nedenlerden dolayı alaşımlama yapılması kaçınılmaz olmaktadır (Mallia ve arkadaşları 1998). Östenitleme işleminden sonra östemperleme sıcaklığına soğutmada perlitin oluşmaması için soğutma hızının yaklaşık olarak 10 $^oC/s$ kadar olması gerektiği belirtilmektedir. Bu soğutma hızından sapılması durumunda ise perlitin oluşma şansı artmaktadır (Mallia ve arkadaşları 1998, Ahmadabadi ve arkadaşları 1997).

4.2.4. ÖKGDD'lerin avantajları ve kullanım alanları

ÖKGDD malzemeler talaşlı imalata uygun olmaları, kimyasal bileşim ve mikroyapıdan dolayı ısıl işlem sürelerinin 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 (Shea ve Ryntz 1986). Bunun yanında dayanım/ağırlık ilişkisi açısından Şekil 4.5'te de 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 (Şeker ve Hasırcı 2005).



Şekil 4.5 Dayanım/ağırlık açısından ÖKGDD'in diğer malzemelerle karşılaştırılması (Şeker ve Hasırcı 2005)

Fiyat/dayanım 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 sanayinde; 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 özelliğinde dolayı konveyör parçaları, pompa parçaları, yataklar, aşındırma plakaları ve yuvalarında kullanılmaktadır (Dubensky ve Rundman 1985).

Demiryollarında ise yüksek aşınma direnci, statik ve yorulma dayanımlarının gerekli olduğu motor parçaları, firen papuçları, darbe emiciler gibi pek çok parçalarla demiryolu tekerleklerinde ömür/fiyat açısından % 30 avantaj ile kullanılmaktadır.

Askeri uygulamaları ise; roket gövdeleri, rotorlarda kullanılmakta, ayrıca süspansiyon sistemleri, kamyon parçaları ve silahlarda uygulanabilirliği denenmektedir (Dubensky ve Rundman 1985).

5. DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ

Dökme demir çeşitlerinin işlenebilirlik karakteristikleri değerlendirilmek istendiğinde genellikle kimyasal bileşim, mikroyapı ile sertlik ve dayanım gibi mekanik özelliklere dikkat edilmesi gereklidir. Daha az miktarda karbon içeriği, kırılma eğilimi gösteren grafit formunun oluşabilmesi sebebi ile daha düşük işlenebilirliğe sebep olur. Yüksek silisyum içerikli ferritik dökme demirler daha sert olup süneklikleri düşüktür ve bu sebeple daha az yığıntı talaş eğilimi sergiler.

Matristeki yüksek perlit muhtevası, daha yüksek dayanım ve daha yüksek sertliğe sebep olurken, daha düşük işlenebilirlik özelliklerinin sergilenmesinin de bir sebebidir. Perlit matrisli bir dökme demirde, perlitin matristeki serbest karbür partikülleri civarında oluşması sebebi ile serbest karbürlerin etkisi daha da olumsuz olmaktadır. Bu durum, ferritik yapıda olduğu gibi, yumuşak ferritin içine doğru sürükleme ve itme etkisi yerine, kesici kenarın daha sert partiküller boyunca kesme yapması anlamı taşır. Daha ince lamelli, ince taneli perlit daha düşük işlenebilirlik özellikleri sergiler. Yine, matriste % 5 civarında serbest karbür oluşması, işlenebilirliği önemli ölçüde düşürür. Yüzey altında yoğunlaşmış ve toplanmış cüruf, döküm kumu ve benzeri düzensizlikler sebebiyle dökümlerin yüzeyi nispeten düşük işlenebilirlik sergiler.

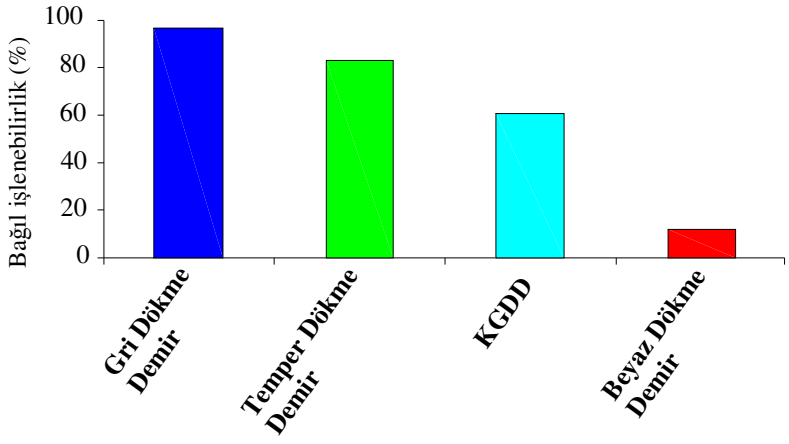
Genellikle, daha yüksek sertlik ve dayanıma sahip dökme demir tipinin, daha düşük işlenebilirlik özellikleri ile beklenenden daha kısa takım ömrüne sebep olduğu söylenebilir.

Talaşlı imalatta kullanılan dökme demirlerin işlenebilirliği genellikle iyidir. Nispeten 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; abrazif (aşındırıcı taneciklerle), adhezif (yapışma) ve difüzyon aşınma mekanizmalarıdır.

Abrazyon genellikle; karbürler, kum kalıntıları ve daha sert, hızlı soğumuş üst tabaka tarafından oluşturulmaktadır. Yığıntı talaş oluşumuyla adhezyon aşınma eğilimi, çoğunlukla daha düşük sıcaklıklarda ve daha düşük kesme hızlarında işleme sırasında görülür. Bunun sebebi dökme demirin ferritik kısmının kesici uç üzerine kolayca kaynak olmasıdır ve kesme hızı ile sıcaklığın arttırılmasıyla önlenebilir. Diğer taraftan, difüzyon aşınması sıcaklıkla ilişkilidir ve özellikle daha yüksek dayanıma sahip dökme demir sınıflarının işlenmesinde, yüksek kesme hızlarında ortaya çıkar. Bu sınıflar, işleme sırasında daha yüksek sıcaklıklara çıkabilen daha büyük deformasyon direncine sahip malzemelerde görülür. 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 (Sandvik Coromant 2000).

Dört temel dökme demir çeşidinin birbirine göre işlenebilirliği Şekil 5.1'de gösterilmiştir (Sandvik Coromant 2000).



Şekil 5.1 Dökme demirlerin işlenebilirliğinin karşılaştırılması

Dökme demirlerde kum kalıntılarına ve serbest karbürlere bağlı aşındırıcı sertlik işlenebilirlik üzerinde oldukça yüksek negatif bir etkiye sahiptir. Belli bir düzeyde serbest karbür ihtiva eden 200 BHN sertliğe sahip bir dökme demirin işlenmesi, aynı

sertliğe sahip serbest karbür ihtiva etmeyen % 100 perlitik yapıdaki bir dökme demirin işlenmesinden daha güçtür.

5.1. KGDD'lerin İşlenebilirliği

Metal ürünlerin çoğunun üretimi, arzu edilen son şekil, boyut ve yüzey kalitesinin elde edilmesinde talaşlı imalat işlemlerini kapsar. Dökümler, son biçime yakın dökülebilmeleri ve bu sayede hem işleme hem de malzeme maliyetlerini azaltmaları sebebiyle, karmaşık parçaların üretimi için tasarımcılara daha düşük maliyet imkanı sağlar. KGDD'ler, mükemmel dökülebilirlik özelliklerine ilave olarak işlenebilirlikleri ile de tasarımcılara tüm üretim avantajlarını sunar. Bu malzemenin diğer dökme demirlere ve bazı çelik dökümlere göre, dayanım özellikleri de oldukça iyidir.

Dökme demirlerin işlenebilirlikleri mikroyapı ve sertlikle belirlenir. Gri, temper ve KGDD'lerdeki grafit partikülleri, çeliklerle karşılaştırıldığında çok iyi işlenebilirliğinin sebebidir. Grafit partikülleri kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkilerken matris ise takım ömrünü belirleyen temel faktördür (Sorelmetal 1990).

İmalatta çelik malzeme 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 olmakla birlikte "General Motors'' gibi üreticilerden alınan verilerden, hipoid pinyon ve iç dişli üretiminde, KGDD taslakların, ısıl işlem görmüş dövme çeliklere göre, takım ömründe % 20–900'ün üzerinde iyileşme sağlandığı, tecrübeye bağlı olarak görülmüştür (Şeker ve arkadaşları 2002). Bu işletmedeki dişli çark imalatında uygulanan çeşitli işlemlerde, KGDD kullanımı ile takım ömründe sağlanan artış Çizelge 5.1'de özet bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 5.1 18CrMo4 dövme çelik yerine ferritik KGDD kullanımı ile takım ömründe sağlanan artış (Sorelmetal 1990)

İşleme Biçimi	Takım Ömründe Artış %
Pinyon dişli taslakları	
• Punta deliği açma	30
• Delme	35
• Kaba tornalama	70
• İnce tornalama	50
• Taşlama	20
Geri vites dişli taslakları	
• Fazlalıkların tornalanması	200
• Delme	20
• Raybalama	20
Dişli işleme	
• Pinyon-kaba	900
• Pinyon-ince	233
• İç dişli-kaba	962
• İç dişli-ince	100

Yine benzer şekilde "Fiat" firmasında, hem laboratuar hem de atölye tecrübelerine dayanan verilerden, 18CrMo4 dövme çelik yerine ferritik KGDD (GGG 40) kullanıldığında, konik dişlilerin imalatı sırasında takım aşınmasında önemli iyileştirmeler sağlandığı gözlenmiş ve verimlilik artarken, maliyetler önemli ölçüde azalmıştır. Takım aşınmasındaki bu iyileşmeler, Çizelge 5.2'deki verilerde açık bir biçimde görülmektedir (Sorelmetal 1990).

Çizelge 5.2 Dövme 18CrMo4 çeliği ile ferritik KGDD'nin (GGG 40) işlenebilirliğinin karşılaştırılması

Parça adı	**İşlem**	**KGDD**		**18CrMo4 Dövme Çelik**	
		İşlenen Parça Sayısı	Takım aşınması, VB (mm)	İşlenen Parça Sayısı	Takım aşınması, VB (mm)
Ayna-Mahruti Dişlisi	Kaba delik işleme	250–300	0,5–0,7	80–100	1,5
	Alın tornalama	250	0,2	100	0,4
	Civata deliklerinin delinmesi, raybalanması ve klavuz çekilmesi	1300	-	500	-
	Dişlerin kaba işlenmesi	1300	0,4–0,5	180	0,9–1,0
	Dişlerin ince işlenmesi	1300	0,2	200	0,5
Konik Pinyon Dişli	Her iki ucun ölçüye getirilmesi	3200	-	1600	-
	Mil kısmının ve konik kısmın tornalanması	400	0.4	200	-
	Dişlerin kaba işlenmesi	1300	0,4–0,5	200	0,9–1,0
	Dişlerin ince işlenmesi	1300	0,2	200	0,4

KGDD'ler, oldukça ince bitirme yüzeyleri elde edilecek şekilde işlenebilir. Bitirme yüzeyinin yüzey pürüzlülük değeri tane yapısının inceliğine ve uygulanan bitirme yüzeyi işleme metoduna bağlıdır. Taşlama ve honlama ile 0,1 µm veya daha düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri elde etmek mümkündür. KGDD'lerin farklı sınıfları için değişik işleme yöntemleri ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, µm olarak, Çizelge 5.3'te gösterilmiştir (Sorelmetal 1990).

Çizelge 5.3 Farklı işleme metotları ile işlenen KGDD'lerde yüzey pürüzlülük değerleri

İşleme biçimi	**KGDD Sınıfı**			
	60–40–18 152 BHN	80–55–06 223 BHN	100–70–03 265 BHN	120–90–02 302 BHN
	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri, Ra (mμ)			
Kaba tornalama, sementit karbür kesici takım ve suda çözünen yağ esaslı soğutma sıvısı ile	1,52–2,03	1,40–2,03	1,52–2,54	1,52–2,54
İnce tornalama, sementit karbür kesici takım ve suda çözünen yağ esaslı soğutma sıvısı ile	1,78–2,03	1,02–1,52	1,27–2,54	1,27–2,54
Alın tornalama-kaba, sementit karbür kesici takım, faturalı ve faturasız alın	2,54–10,16	1,78–8,89	1,78–10,16	2,29–10,16
Alın tornalama-ince, sementit karbür kesici takım, faturalı alın	2,03–3,05	1,52–2,03	1,52–1,78	2,03–2,79
Düzlem taşlama-kaba	0,38–3,76	0,28–0,64	0,38–0,64	0,38–0,64
Düzlem taşlama-ince	0,10–0,38	0,10–0,38	0,08–0,38	0,08–0,25
Silindirik taşlama-kaba	0,53	0,53	0,53	0,53
Silindirik taşlama-ince	0,10	0,10	0,10	0,10
Düzlem lebleme-kaba	0,30–0,51	0,30–0,51	0,30–0,51	0,30–0,51
Düzlem lebleme-ince	0,15–0,28	0,15–0,28	0,15–0,28	0,15–0,28
Silindirik lebleme	0,18–0,23	0,18–0,23	0,18–0,23	---
Honlama	0,10–0,15	0,19–0,23	0,10–0,15	---
Süper bitirme	0,13–0,28	---	0,13–0,23	0,08–0,10

Şeker ve arkadaşları (2002) yaptıkları çalışmada, farklı miktarlarda alaşım elementleri kullanılarak elde edilen küresel grafitli dökme demir numunelere ISO 3685'deki şartlara uygun olarak işlenebilirlik kriterlerinden; kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü testleri uygulamıştır (Şeker ve arkadaşları 2002). Deneysel çalışmalar sonucunda, alaşımsız numunenin işlenmesinde en düşük esas kesme kuvveti değerleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu numunede en fazla yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu durum, bu numunenin yapısındaki oldukça yüksek ferrit (% 87,32) oranına bağlı olarak açıklanabilmektedir. Alaşımlı

numunelerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri alaşımsız numuneden daha iyidir. Ancak alaşımlı numunelerin birbirleri arasında çok fazla farklılık bulunmamaktadır. Alaşımlı numunelerdeki asıl kesme kuvvetlerinin değişiminin % 12,5 civarında olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçlar % 0,7 Ni ve % 0,7 Cu alaşımlı numunede elde edilmiştir. Alaşımlı numuneler arasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri birbirlerine çok yakındır. Bu numuneler mekanik özellikler açısından değerlendirildiklerinde % 1 Ni ve % 0,65 Cu'lı numunede gelişme gözlenmiştir. Bu numuneler arasından seçim yapılması gerektiğinde kullanım amacına göre bir seçimin yapılması uygun olacaktır.

5.1.1. KGDD'lerin işlenmesinde tavsiye edilen başlangıç değerleri

KGDD'lerin, talaş kaldırarak işlenmesinde esas alınabilecek başlangıç değerleri için talaşlı imalat el kitaplarından bazı veriler elde etmek mümkündür. Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan işleme biçimi olan "tornalama" için HSS ve karbür esaslı kesici takımlara ait başlangıç verileri Çizelge 5.4'te ve seramik uçlar için başlangıç verileri Çizelge 5.5'te özetlenmiştir (Sorelmetal 1990).

Çizelge 5.4 Tek ağızlı kesicilerle KGDD'lerin tornalanmasında tavsiye edilen başlangıç değerleri

			Yüksek Hız Çeliği takım (HSS)				Sementit karbür takım						
							Kaplamasız					Kaplamalı	
Malzeme (KGDD)	Sertlik (HBN)	Isı işlem	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Takım mlz. ISO	Lehimli takım kesme hızı (m/dk)	Değiştirilebilir takım kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Takım mlz. Sınıfı ISO	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Takım mlz. C ISO
Ferritik ASTM A536: sınıfları 60-40-18,65-45-12 SAE J434c: sınıfları D4018,D4512	140 ila 190	Isıl işlem görmüş	1	60	0.18	S4, S5	215	235	0.25	P10, M10	290	0.25	CP10,C M10
			4	46	0.40	S4, S5	170	185	0.50	P10, M10	225	0.50	CP10, CM10
			8	38	0.50	S4, S5	135	150	0.75	P20, M20	200	0.75	CP20,C M20
			16	30	0.75	S4, S5	110	120	1.00	P30, M30	—	—	—
Ferritik-Perlitik ASTM A536: sınıfları 80-55-06 SAE J434c:sınıfları D5506	190 ila 225	Isıl işlem görmemiş	1	43	0.18	S4, S5	145	165	0.25	P10, M10	215	0.25	CP10, CM10
			4	34	0.40	S4, S5	115	130	0.50	P10, M10	170	0.50	CP10, CM10
			8	26	0.50	S4, S5	95	105	0.75	P20, M20	135	0.75	CP20, CM20
			16	21	0.75	S4, S5	76	84	1.00	P30, M30	—	—	—
	225 ila 260	Isıl işlem görmemiş	1	30	0.18	S9, S11t	100	110	0.25	P10, M10	145	0.25	CP10, CM10
			4	23	0.40	S9, S11t	76	85	0.50	P10, M10	105	0.50	CP10, CM10
			8	18	0.50	S9, S11t	60	70	0.75	P20, M20	90	0.75	CP20, CM20
			16	15	0.75	S9, S11t	49	56	1.00	P30, M30	—	—	—
Perlitik-Martensitik ASTM A536: sınıfları 100-70-03 SAE J434c: sınıfları D7003	240 ila 300	Normalize edilmiş ve temperlenmiş	1	23	0.13	S9, S11t	79	90	0.13	P10, M10	120	0.13	CP10, CM10
			4	17	0.25	S9, S11t	67	79	0.25	P10, M10	90	0.25	CP10, CM10
			8	14	0.40	S9, S11t	49	58	0.50	P20, M20	76	0.50	CP20, CM20
			16	11	0.50	S9, S11t	40	46	0.75	P30, M30	—	—	—
Martensitik ASTM A536: sınıfları 120-90-02 SAE J434c: sınıfları DQ&T	270 ila 330	Su verilmiş (sertleştirilmiş) ve temperlenmiş	1	15	0.13	S9, S11t	53	60	0.13	P10, M10	76	0.13	CP10, CM10
			4	12	0.25	S9, S11t	40	46	0.25	P10, M10	60	0.25	CP10, CM10
			8	9	0.40	S9, S11t	34	38	0.40	P10, M10	46	0.40	—
			16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	330 ila 400	Su verilmiş (sertleştirilmiş) ve temperlenmiş	1	—	—	—	23	29	0.075	P10, M10	—	—	—
			4	—	—	—	17	21	0.13	P10, M10	—	—	—
			8	—	—	—	14	18	0.25	P10, M10	—	—	—
Ostenitik ASTM A439: tipleri D-2, D-2C, D-3A, D-5 ASTM A571 Tip D-2M	120 İla 200	Isıl işlem görmüş	1	21	0.18	S9, S11t	69	76	0.18	P10, M10	100	0.18	CP10, CM10
			4	18	0.40	S9, S11t	49	53	0.40	P10, M10	69	0.40	CP10, CM10
			8	15	0.50	S9, S11t	38	43	0.75	P20, M20	53	0.50	CP20, CM20
			16	11	0.75	S9, S11t	30	35	1.00	P30, M30	—	—	—

Çizelge 5.5 Seramik takımlarla KGDD'lerin tornalanmasında tavsiye edilen başlangıç değerleri

Malzeme (KGDD)	Sertlik (BHN)	Isıl işlem	Talaş derinliği a (mm)	Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Seramik tipi
Ferritik-Perlitik ASTM A536: sınıfları 80–55–06 SAE J434c: sınıfları D5506	190 ila 225	Isıl işlem görmemiş	0,040	1100	0,010	HPC
			0,150	900	0,015	HPC
			0,300	650	0,020	HPC
			1	335	0,25	HPC
			4	275	0,40	HPC
			8	200	0,50	HPC
	225 ila 260	Isıl işlem görmemiş	0,040	900	0,005	HPC
			0,150	700	0,010	HPC
			0,300	550	0,015	HPC
			1	275	0,13	HPC
			4	215	0,25	HPC
			8	170	0,40	HPC
Perlitik-Martensitik ASTM A536: sınıfları 100–70–03 SAE J434c: sınıfları D7003	240 ila 300	Normalize edilmiş ve Temperlenmiş	0,040	800	0,005	HPC
			0,150	600	0,010	HPC
			0,300	450	0,015	HPC
			1	245	0,13	HPC
			4	185	0,25	HPC
			8	135	0,40	HPC
Martensitik ASTM A536: sınıfları 120–90–02 SAE J434c: sınıfları DQ&T	270 ila 330	Su verilmiş ve Temperlenmiş	0,040	750	0,004	HPC
			0,150	550	0,008	HPC
			0,300	400	0,012	HPC
			1	230	0,102	HPC
			4	170	0,20	HPC
			8	120	0,30	HPC
	330 ila 400	Su verilmiş ve Temperlenmiş	0,040	600	0,003	HPC
			0,150	450	0,006	HPC
			0,300	350	0,009	HPC
			1	185	0,075	HPC
			4	135	0,15	HPC
			8	105	0,23	HPC
Östenitik ASTM A439: tipler D–2, D-2C, D-3A, D–5 ASTM A571: tipler D-2M	120 ila 200	Isıl işlem görmemiş	0,040	1000	0,005	HPC
			0,150	700	0,010	HPC
			0,300	450	0,015	HPC
			1	305	0,13	HPC
			4	215	0,25	HPC
			8	135	0,40	HPC

5.1.2. Diğer işlenebilirlik özellikleri

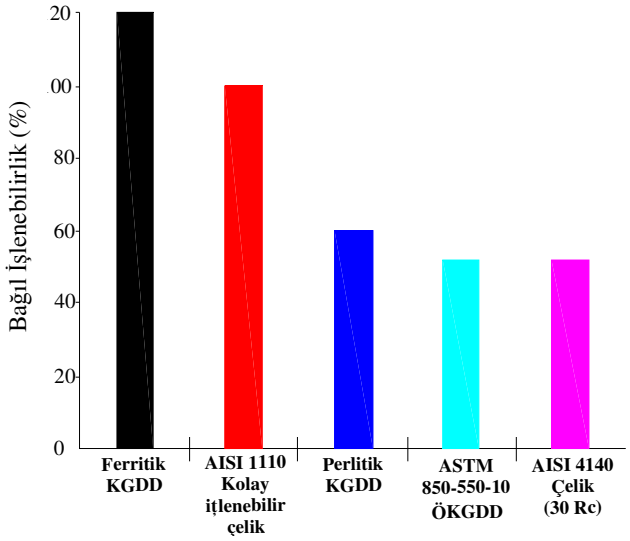
Bir dökümün işlenebilirliği, tüm işlenebilirlik kavramının önemli bir parçasıdır. İşleme payı; verimliliği, ürün miktarını ve işleme maliyetini etkiler. Çelik dökümlerle karşılaştırıldığında KGDD'ler aynı kesit ölçüleri için daha düşük bir

işleme payına ihtiyaç gösterirler. Hayli yüksek yoğunlukta kalıplamadan kaynaklanan döküm boyutlarındaki yüksek tutarlılık ve azaltılmış yüzey kusurları işleme payının daha da azaltılmasına müsaade edebilir. Döküm boyutlarındaki tutarlılık, modern ve otomatik işleme merkezlerinde yüksek performans alınması için kritik bir faktördür. Tasarımcı ve dökümcü arasındaki bilgi alış verişi, müşteri spesifikasyonlarındaki üretilebilirlik kriterlerinin birleştirilmesi ve vasıflı KGDD dökümcüsünün seçimi parçaların üretilebilirliğini önemli ölçüde iyileştirebilir ve ürün kalitesinde bir artış sağlayabilir (Sorelmetal 1990).

5.2. ÖKGDD'lerin İşlenebilirliği

ÖKGDD'lerin, yüksek aşınma direnci ve tokluk özelliklerinin yanı sıra diğer mekanik özelliklerindeki üstünlükler nedeniyle, özellikle otomotiv sektöründeki kullanımları giderek artmıştır. Buna rağmen, bu malzemelerin işlenebilirliği konusunda, literatürde akademik anlamda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

ÖKGDD'lerin sergilediği dayanım ve aşınma direncindeki önemli artış dikkate alındığında, bu malzemelerde birtakım işleme problemleri ile karşılaşılabilir. Bununla birlikte, bu malzemelerin mekanik özellikleri ve işlenebilirliği arasındaki sürpriz kombinasyon iki aşamada sorgulanabilir. İlk olarak, ÖKGDD'lerin daha yumuşak sınıflarının işlenebilirliği eşdeğer dayanıma sahip çeliklerin işlenebilirliğine eşit veya daha iyidir. İkincisi, östemperleme ısıl işlemi süresince ÖKGDD'nin geliştirilen özellikleri, bu malzemenin ısıl işlemden önceki yumuşak döküm halinde veya ön bir ısıl işlemle tamamen işlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durumda, daha yüksek hız ve ilerlemelerin kullanılması ve takım ömrünün iyileştirilmesi mümkündür. Bu malzemelerin diğer demir esaslı bazı mühendislik malzemeleri ile karşılaştırılması Şekil 5.2.'deki bağıl işlenebilirlik grafiğinde gösterilmektedir (Şeker ve Hasırcı 2005, Çakır ve arkadaşları 2005).



Şekil 5.2 Demir esaslı bazı malzemelerin bağıl işlenebilirliği

ÖKGDD'lerin ısıl işlem süresince yaklaşık % 0,4'lük bir boyut değişimi sergilediği bilinmektedir. ÖKGDD'lerde bu tahmin edilebilir boyut değişimi, dar toleranslara sahip bir parçanın, ısıl işlemden önce başarıyla işlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Çizelge 5.6've Çizelge 5.7'de, düşük dayanıma sahip ferritik ÖKGDD sınıfının, ısıl işlemden sonra da işlenebilmesi için, tavsiye edilen başlangıç değerleri verilmiştir (Sorelmetal 1990).

Çizelge 5.6 Düşük dayanımlı ferritik ÖKGDD sınıflarının işlenmesi için kılavuz değerler.

İşleme biçimi	Takımlar	Kesme Hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)
Tornalama	TiC kaplamalı K20 talaş açısı $\gamma=6^o$ kesme sıvısı yok takım kuvveti 1,6–1,8 kN/mm^2	50–70	Kaba işleme: 0,5–1,0 İnce işleme: 0,15–0,3
Delme	Karbür uçlu matkaplar	12–15	0,05–0,12
Tığ çekme (Kama kanalı için)	Yüksek hız çeliği $\gamma=10^o$, $\alpha=5^o$ kesme sıvısı kullanarak	3–6	0,05–0,08
Diş açma	Kesme sıvısı içinde diş açma	8–20	Modüle bağlı olarak 1,5–2,5

Çizelge 5.7 Düşük dayanımlı-düşük manganlı ÖKGDD için tavsiye edilen işleme şartları

İşleme biçimi	Tornalama		Delme	
	HSS	SiN_2	HSS	Karbür
Kesme hızı, V (m/dak)	100	100	20	50
İlerleme, f (mm)	0,355	0,25	0,25	0,18
Talaş derinliği, a (mm)	2	4	12.5 d	11.5d
Aşınma, VB (mm)	0.7	0	—	—
Takım ömrü, T (dak)	12	>10	20	25
Yağlama	var	var	var	var

Moncada, Spicacci ve Sikora, (1998) 360 ^{o}C, 320 ^{o}C ve 280 ^{o}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 sahip kesici takımlarla, takım aşınma eğilimlerini inceleyerek ÖKGDD'lerin işlenebilirliğini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda, (360 ^{o}C, 320 ^{o}C ve 280 ^{o}C) östemperlenmiş numunelerin işlenebilirliği ısıl işlem görmemiş numunelere göre sırasıyla % 15–% 40–% 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) sonuçları elde edilmiştir. Bu araştırmanın sonuçları en genel haliyle, ÖKGDD'lerin işlenmesinde, pozitif talaş açılı kaplanmış sementit karbür takımlarla, soğutma sıvısı kullanarak en iyi işleme özellikleri elde edilmiştir şeklinde özetlenebilir.

Seah ve Charma (1995), çeşitli kesme hızı ve ilerlemede kaldırılan talaş miktarlarının sarf edilen birim güce bağlı olarak işlenebilirlik göstergesi hesaplamak suretiyle 300 ^{o}C, 340 ^{o}C, 380 ^{o}C sıcaklıklarında 120 dakika östemperlenmiş farklı alaşımlı KGDD'lerin işlenebilirliğini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında % 1 Ni içeren numuneler % 0,5 Ni içeren numunelerden genel anlamda daha iyi işlenebilirlik özellikleri sergilemiştir. Ayrıca düşük kesme hızında (9,5 m/dak) 380 ^{o}C östemperlenmiş numune işlenebilirlik açısından en iyi sonuçları vermiştir.

Şeker ve Hasırcı (2005), 370 ^{o}C sıcaklığında 60, 90, 180 ve 200 dakika östemperlenmiş farklı alaşımlı KGDD'lerin işlenebilirliklerini ISO 3685'e göre kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelemişlerdir. Çalışmalarında 60 dakika östemperleme işlemine tabi tutulmuş % 0,7 Ni ve % 0,7 Cu içeren numuneler, hem kesme kuvvetleri hem de yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçları veren numunelerdir. Alaşımsız ve ısıl işlem görmemiş numune, kesme kuvvetleri açısından en iyi sonucu veren numune olmakla beraber, en kötü yüzey pürüzlülük sonuçları da yine bu numunede görülmüştür. Yüzey pürüzlülükleri açısından östemperlenmiş numunelerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Çakır ve arkadaşları (2005), 300 ^{o}C, 350 ^{o}C ve 400 ^{o}C sıcaklıklarında 1 ve 2 saat süreyle östemperlenmiş KGDD'lerin işlenebilirliklerini ISO 3685'e göre kesici kenar aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından incelemiş ve birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında takım aşınması açısından en iyi sonuçlar ısıl işlem uygulanmamış KGDD numunelerde gözlenmiş, buna karşın 350 ^{o}C'de 2 saat östemperlemeye tabi tutulmuş numuneler ise takım ömrü açısından en kötü performansı sergilemişlerdir. Kesme kuvvetleri açısından, 400 ^{o}C'de 1 saat ve 350 ^{o}C'de 1 saat östemperlenmiş numunelerde aynı değerler elde edilerek en düşük esas kesme kuvveti değerleri bu numunelerden ölçülmüş, 400 ^{o}C'de 2 saat östemperlenmiş numunelerde ise esas kesme kuvveti en fazla düzeyde ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü açısından, 300 ^{o}C'de 2 saat östemperlenmiş numune en iyi, 300 ^{o}C'de 1 saat östemperlenmiş numune en kötü performansı göstermektedir.

Yapılan literatür araştırmasında ÖKGDD'lerin işlenebilirliği ile ilgili çalışmaların oldukça sınırlı olmakla beraber yapılan çalışmalar ve araştırmalar gün geçtikçe artmaktadır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

ÖKGDD işlenebilirliğinin; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve yığıntı talaş oluşumu açısından değerlendirildiği bu çalışmada, kullanılan küresel grafitli dökme demir numuneler, TASK Metalurji ve Mühendislik tarafından tedarik edilmiştir.

6.1. Malzeme

TASK'ın tedarik ettiği döküm çubukları, dünyanın en büyük concast üreticisi olan United Cast Bar firmasının İspanya'daki tesislerinde yatay sürekli döküm yöntemiyle 35 mm çapında üretilmiştir. Çizelge 6.1'de numunenin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 6.1 Bu çalışma için temin edilen KGDD'in kimyasal bileşimi (%)

C	Si	P	S	Mn	Mg
3.80	2.87	0.030	0.010	0.18	0.054

6.2. Isıl İşlemler

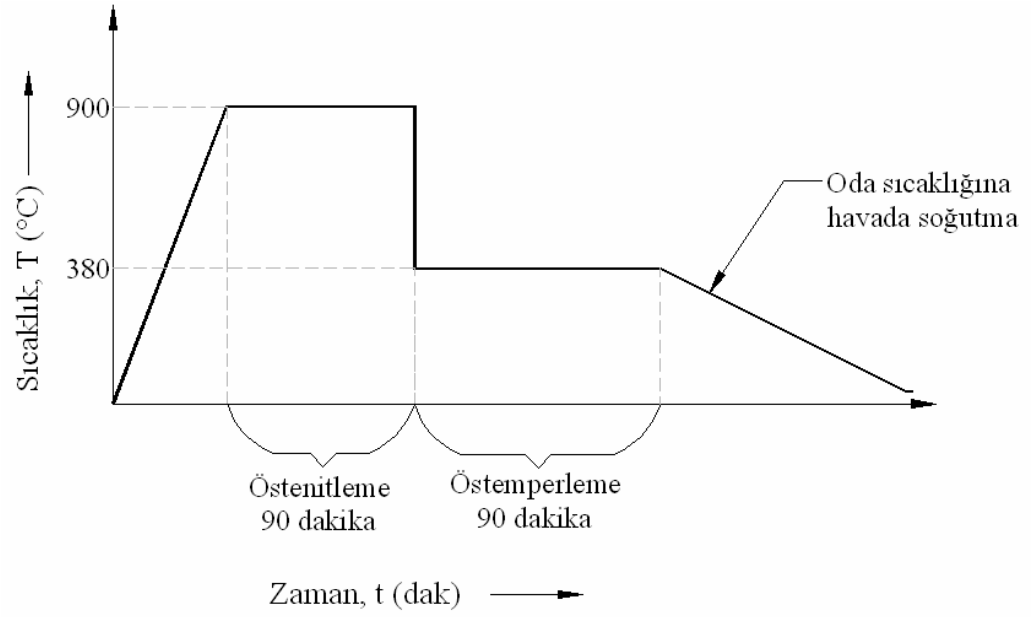
Uygulanan ısıl işlemin özeti Şekil 6.1'de verilmiştir. Numunelerin ısıl işlemleri İstanbul ISTAŞ Isıl İşlem Laboratuarlarında yapılmıştır.

Malzemelerin östemperleme işlemleri için seçilen ısı ve süre parametreleri literatürde belirtilen sınırlar içerisinde alınmıştır.

~ 900 ^{o}C östenitleme sıcaklığında dönüşmemiş östenit miktarı daha az olmaktadır ve bu sıcaklığın üzerindeki östenitleme sıcaklıklarında mekanik özellikler azalmaktadır. Düşük östenitleme sıcaklıkları östemperleme işleminin süresini arttırmaktadır. Düşük östemperleme sıcaklıklarında (< 350 ^{o}C) ince ösferritik yapı oluşmakta ve martenzit miktarı artmaktadır buda malzemenin darbe dayanımını ve % uzamasını azaltıp sertliğin artmasına sebep olmakta ve işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek östemperleme sıcaklıklarında (> 350 ^{o}C) kaba ösferritik yapı oluşmakta,

malzemenin darbe dayanımı ve % uzama miktarı artmaktadır. Buda işlenebilirlik üzerine olumlu bir etki sağlamaktadır. Bununla birlikte yüksek östemperleme süresinde karbür oluşumu gerçekleştiğinden dayanım ve süneklik azalmakta, düşük östemperleme sürelerinde ise kararsız ya da yarı kararlı östenit oluşmakta ve oda sıcaklığına soğutma sırasında bu yapı martenzite dönüşmektedir, buda yine malzemenin işlenebilirliğine olumsuz yönde etki etmektedir.

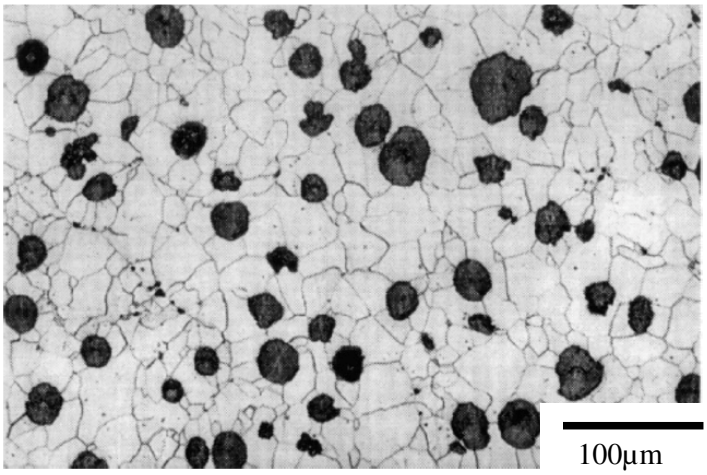
Yukarıda belirtilen koşullar göz önüne alınarak, numuneler ilk olarak 900 ^{o}C sıcaklıkta 90 dakika östenitlenmiş, daha sonra 380 ^{o}C'de 90 dakika östemperleme işlemine tabi tutulmuştur. 900 ^{o}C sıcaklıktaki östenitleme banyosunda $BaCl_2$ içerikli nötr tuz (Petrofer HS 550) kullanılmıştır. 380 ^{o}C sıcaklıktaki östemperleme banyosunda % 50 oranında sodyum nitrat ve % 50 oranında potasyum nitrat karışımından oluşan tuz (Petrofer AS 135) kullanılmıştır.



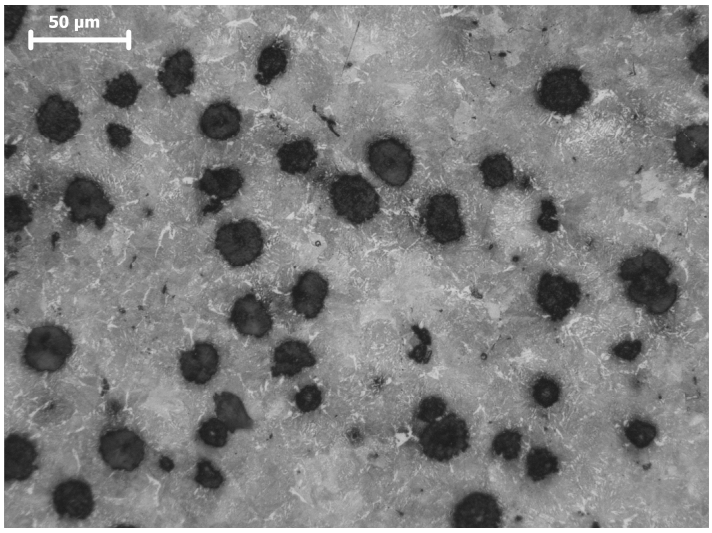
Şekil 6.1 Uygulanan östemperleme ısıl işlemin şematik özeti

6.3. Metalografi ve Mikroyapı

Numunelerin mikroyapı fotoğrafları Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Malzeme Laboratuarında optik mikroskopta (LEICA DM 4000M) çekilmiş ve mikro yapılardaki değişme Şekil 6.2'de verilmiştir. Östemperlenmiş numunede mikro yapının ösferrit ($\alpha + \gamma_{yk}$) ve dönüşmemiş östenitten meydana geldiği tespit edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.2 Dökülmüş şartlardaki (a) ve östemperlenmiş (b), numunelerin mikroyapı fotoğrafları (Dağlama: % 2 nital)

Standart metalografik numune hazırlama işlemleri yapıldıktan sonra birim alana (mm^2) düşen grafit küre sayısı, % 2 nital ile dağlanmış numune yüzeyinden 100 büyütmede, optik mikroskop (LEICA DM 4000M) monitöründe görülen 5 ayrı bölgeden yapılan sayımlarla belirlenmiştir. Faz hacim oranlarının ölçümü % 2 nital ile dağlanmış numune yüzeyinden aşağıda verilen çizgisel kesişme metodu kullanılarak, yine mikroskop monitöründe 5 ayrı bölgeden alınan ölçümlerle belirlenmiştir. Isıl işlem görmemiş ve östemperlenmiş numunelerin birim alana düşen (mm^2) küre sayısı ve faz hacim oranları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

$V_{Faz} = L_{Faz} / L_T$

V_{Faz}: Faz hacim oranı

L_{Faz}: Fazı kesen toplam çizgi uzunluğu (mm)

L_T: Çizilen toplam çizgi uzunluğu (mm)

Çizelge 6.2 Isıl işlem görmemiş ve östemperlenmiş numunelerin faz hacim oranları ve birim alana (mm^2) düşen küre sayısı

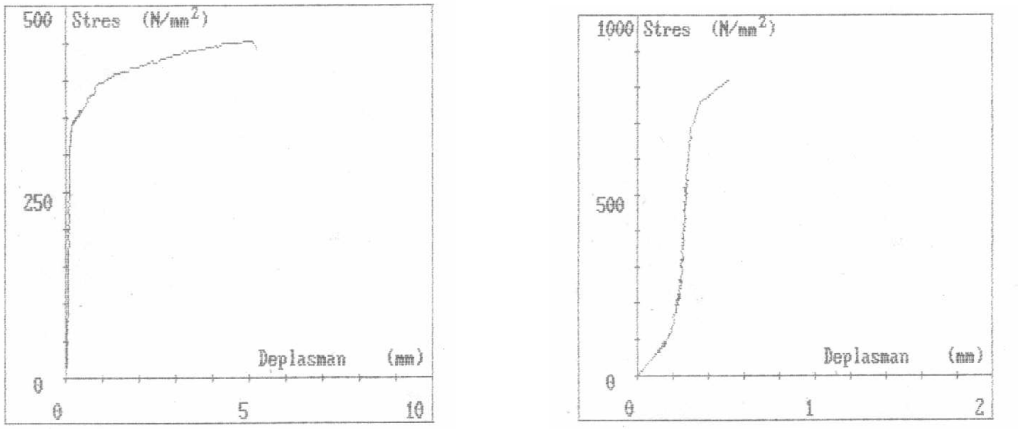
Malzeme	Grafit (%)	Ferrit (%)	Yüksek karbonlu östenit, γ_{yk} (%)	Dönüşmemiş östenit, γ^1 (%)	Küre sayısı (küre/mm^2)
KGDD	14,38	85,62	---	---	235
ÖKGDD	10,76	42,87	39,04	7,3	214

6.4. Mekanik Deneyler

6.4.1. Çekme deneyi

Isıl işlem görmemiş ve östemperleme uygulanmış malzemelerden TS 526'da belirtilen boyutlarda her bir malzeme için ikişer adet çekme çubukları hazırlanmıştır

(Şekil 6.3). Çekme deneyi KOSGEB Konya Bölge Müdürlüğü Malzeme Laboratuarındaki çekme cihazında (60 tonluk DARTEC) oda sıcaklığında çekilerek gerçekleştirilmiştir. Gerilim ve % uzama değerleri deney sırasında grafik olarak kaydedilmiştir, sonuçlar Şekil 6.4'te ve Çizelge 6.3'de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 6.4 a) Isıl işlem görmemiş, b) Östemperlenmiş malzemelerde çekme deneyi sonucu grafik olarak elde edilen gerilim ve % uzama değerleri

Çizelge 6.3 Çekme deneyi sonuçları

Numune	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
KGDD	454	358	7
ÖKGDD	818	769	0,5

6.4.2. Sertlik deneyi

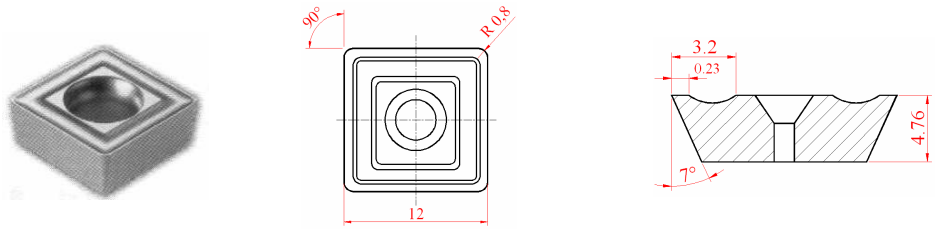
Sertlik deneyi KOSGEB Konya Bölge Müdürlüğü Malzeme Laboratuarında sertlik ölçme cihazında (REICHERTER) Brinell (BHN) cinsinden değerleri ölçmek suretiyle yapılmıştır. Her bir malzeme için ikişer adet hazırlanan numunelerin merkez ekseninden dış çapa doğru üç farklı bölgeden sertlik değerleri ölçülmüştür, ölçülen değerlerin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Sertlik deneyi sonuçları Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Sertlik deneyi sonuçları

Numune	Sertlik (BHN)
KGDD	151
ÖKGDD	313

6.5. İşlenebilirlik Deneylerleri

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan numuneler Ø35X250 mm boyutlarında hazırlanmıştır. İşlenebilirlik deneyleri, ISO 3685 (TS 10329)'deki deney şartlarına uygun olarak torna tezgahında gerçekleştirilmiştir (ISO 1993). Deneylerde kullanılan değiştirilebilir karbür uç kesici takımlar ISO 3685'de önerildiği şekilde, ISO 1832'ye uygun SCMT 120408-19 formunda seçilmiş olup, takım tutucu biçimleri ise ISO 5608'e göre SSBCR 2525M-12 olarak seçilmiştir. ISO 3685'de belirtildiği şekilde, kullanılan kesici takım ve tutucu yanaşma açısı 75^{o} olacak şekilde, kesici uçların kalitesi östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri ve bundan önce yapılmış çalışmalar göz önüne alınarak (Moncada ve arkadaşları, 1998) kaplamasız K10, K10/20, K20 ve kaplamalı (Al_2O_3/TiC) K05/20 (ISCAR) olarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takımın geometrisi Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5 Deneylerde kullanılan kesici takımın geometrisi

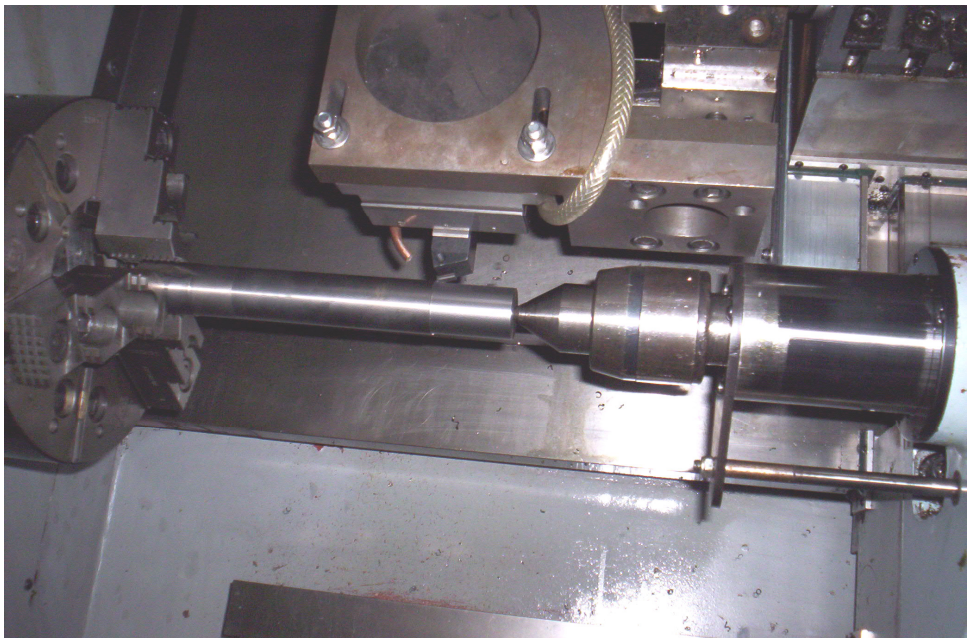
Kesici uç üretici firma verilerinden ve bundan önce yapılan çalışmalardan (Şeker ve Hasırcı 2005, Çakır ve arkadaşları 2005) yola çıkarak ve ÖKGDD'ler için tavsiye edilen verilerin olmaması dikkate alınarak, talaş kaldırma sisteminde kullanılan kesme parametreleri ve işlenebilirlik deney planı belirlenmiştir. Çizelge 6.5'te deney planı verilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinin hepsi, soğutma ve kesme sıvısı kullanılmadan kuru kesme şartlarında yapılmıştır.

Çizelge 6.5 İşenebilirlik deney planı

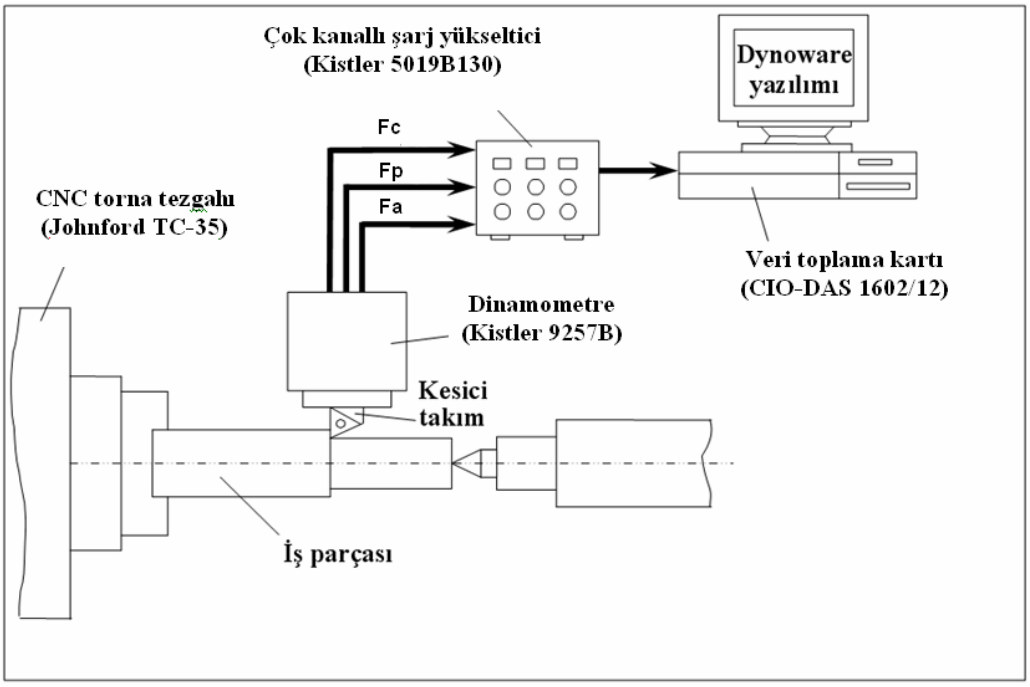
Deney adı	Takım	Kesme Parametreleri			Ölçülen parametreler
		V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	
Kesme Hızının, Kesme Kuvvetlerine Etkisi	SCMT 120408–19 K10 K10/20 K20 Kaplamasız	50 100 150 200 250	0.12	1	Fc, Fa, Fp, Ra
Talaş Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi	SCMT 120408–19 K10 K10/20 K20 Kaplamasız	200	0.12	1 1.5 2 3	Fc, Fa, Fp, Ra
Kesme Hızının Kesici Takım Aşınmasına ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	SCMT 120408–19 K10 K10/20 K20 Kaplamasız	50 100 150 200	0.12	1	VB, Ra
	SCMT 120408–19 Kaplamalı (AL_2O_3/TiC) K05/20	300 350 400 490	0.12	1	VB, Ra
Talaş Derinliğinin Kesici Takım Aşınmasına ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	SCMT 120408–19 K10 K10/20 K20 Kaplamasız	100	0.12	1 2 3	VB, Ra
	SCMT 120408–19 Kaplamalı (AL_2O_3/TiC) K05/20	350	0.12	1 2 3	VB, Ra

6.5.2. Kesme kuvvetleri deneyi

Tornalama işlemleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Anabilim Dalı CNC Atölyesinde CNC torna tezgahında (Johnford TC–35) yerine getirilmiş ve talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri üç eksende kuvvet ölçümü yapabilen bir dinamometre (Kistler 9257B) ile ölçülerek sinyaller bir şarj yükselticiden (Kistler 5019B130) geçirilerek bir veri toplama kartı (CIO-DAS 1602/12) aracılığı ile bir paket yazılım (Dynoware) kullanılarak bilgisayara kaydedilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği görüntüsü Şekil 6.6'da görülmektedir. Tornalamada kesme kuvveti ölçme setinin şematik diyagramı Şekil 6.7'de görüldüğü gibidir.



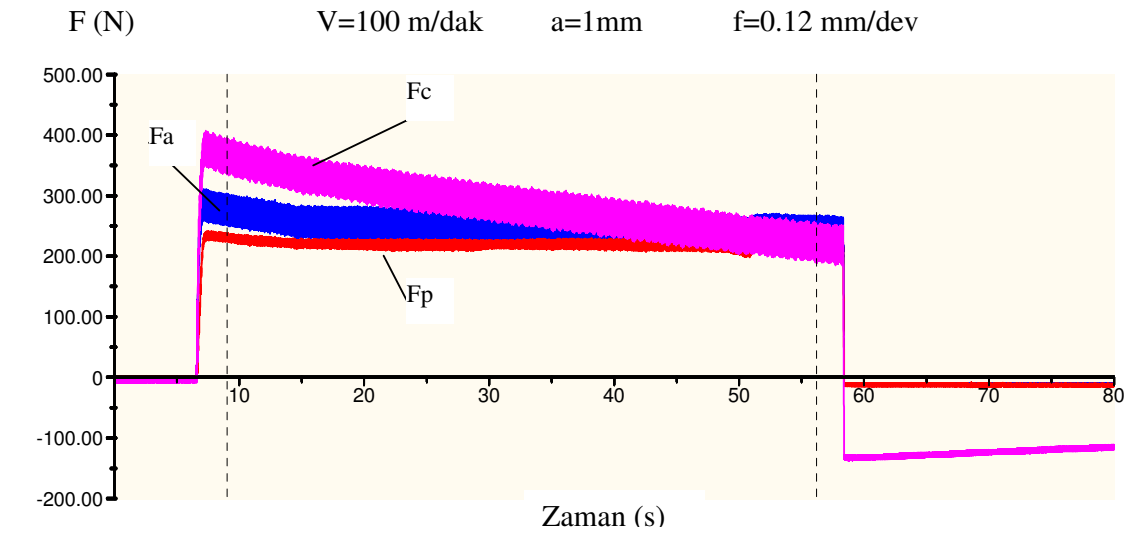
Şekil 6.6 Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde kullanılan deney düzeneği



Şekil 6.7 Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinin şematik olarak gösterilmesi

Ayna punta arasında tezgaha bağlanan numuneler üzerinden deney öncesi talaş alınarak silindirik bozukluklar ve dış katmanda homojen olmayan sertliğin olumsuz

etkisi ortadan kaldırılmış ve kesme kuvvetleri ölçümü deneyi için gerekli homojen talaş kesiti sağlanmıştır. Bu durum kesme kuvvetlerinin kararlı bir davranış göstermesine yardımcı olmakla birlikte ilk anda takım aşınmasının olumsuz etkilenmesini önlemektedir. Eksenel tornalama boyu her test için 100 mm alınmıştır. Kullanılan dinamometre, tornalamada oluşan üç kuvvet bileşenini (Fc, Fa ve Fp) ölçebilecek nitelikte olup, dinamometreden alınan veriler Şekil 6.8'de gösterildiği gibi, bilgisayar ortamında, zamana bağlı olarak kuvvetleri gösterecek şekilde grafiğe dönüştürülmüştür. Talaş kaldırma süresinde, kesme kuvvetlerindeki değişmenin aritmetik ortalaması alınarak çıktılar alınmıştır.



Fa [N]	Fa_{ort} =248,36	Fa_{min} =208,98	Fa_{max} =300,78
Fp [N]	Fp_{ort} =218,236	Fp_{min} =199,22	Fp_{max} =236,33
Fc [N]	Fc_{ort} =283,8936	Fc_{min} =190,43	Fc_{max} =393,07

Şekil 6.8 Talaş kaldırma sırasında dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvvetleri

Değerlendirmenin yapılabilmesi için, kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı olarak yapılan deneylerde elde edilen esas kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Fa) ve radyal/pasif kuvvet (Fp) değerleri Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6 Kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olarak ölçülen kesme kuvvetleri değerleri

Kesme hızı,V (m/dak)	Talaş derinliği, a (mm)	İlerleme, f (mm/dev)	Esas kesme kuvveti, Fc (N)	Radyal/Pasif kuvvet, Fp (N)	İlerleme kuvveti, Fa (N)
50	1	0,12	357,72	234,37	267,58
100	1	0,12	283,89	218,20	248,36
150	1	0,12	301,63	204,24	259,28
200	1	0,12	243,51	158,99	152,81
250	1	0,12	320,38	156,82	197,32
200	1,5	0,12	421,45	192,74	288,80
200	2	0,12	556,12	210,58	416,64
200	3	0,12	747,62	229,30	518,14

6.5.3. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri

Tornalanmak suretiyle işlenen numunelerin yüzey pürüzlülükleri, Kayahan Hidrolik Makine Endüstri ve Ticaret A.Ş.'de yüzey pürüzlülük cihazında (Taylor-Hobson Surtronik 10) ölçülmüştür. Numuneler 100 mm boyunda, farklı kesme hızlarında ve talaş derinliklerinde kaplamalı (Al_2O_3/TiC) ve kaplamasız kesici uçlar kullanılarak işlenmiştir. Deney numuneleri, karşılıklı "V" yatağı üzerine düzgün şekilde yerleştirildikten sonra parça yüzey profilleri işleme izi yönüne dik olarak (eksene paralel) ölçülmüştür. Ölçüm hatalarına sebebiyet vermemek ve daha güvenilir sonuçlar almak amacıyla aynı yüzeylere ait ölçümler, parçanın ekseni etrafında bir miktar döndürülmesi suretiyle dörder kez tekrarlanmıştır.

Değerlendirmenin yapılabilmesi için, kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olarak, kaplamasız ve yüksek kesme hızlarında kaplamalı kesici takımlarla yapılan deneylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra), Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 Kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olarak, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

Kesme hızı,V (m/dak)	Talaş derinliği, a (mm)	İlerleme, f (mm/dev)	Kullanılan kesici takım	Yüzey pürüzlülüğü, Ra (μm)
50	1	0,12	Kaplamasız	3,700
100	1	0,12	Kaplamasız	1,549
150	1	0,12	Kaplamasız	1,210
200	1	0,12	Kaplamasız	1,079
250	1	0,12	Kaplamasız	1,362
100	1,5	0,12	Kaplamasız	1,687
100	2	0,12	Kaplamasız	1,955
100	3	0,12	Kaplamasız	1,984
300	1	0,12	Kaplamalı	1,098
350	1	0,12	Kaplamalı	1,023
400	1	0,12	Kaplamalı	0,816
490	1	0,12	Kaplamalı	0,510
350	1,5	0,12	Kaplamalı	0,914
350	2	0,12	Kaplamalı	0,870
350	3	0,12	Kaplamalı	0,914

6.5.4. Takım aşınması deneyleri

Kesici takım aşınması deneyleri, Konya Ticaret Odası Vakfı Talaşlı İmalat Atölyesinde bulunan CNC torna tezgahında (Weiler UD42) yapılmıştır. Çizelge 6.5'te gösterilen deney şartlarına göre değişik kesme uzunluklarında kaplamalı (Al_2O_3/TiC) ve kaplamasız kesici uçlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinden sonra kesici takımında meydana gelen yan yüzey aşınma miktarları S.Ü. Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu'nda bulunan verniyer bölüntülü optik mikroskopta (SCHERR TUMICO) ölçülmüştür.

Değerlendirmenin yapılabilmesi için, kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olarak, kaplamasız ve yüksek kesme hızlarında kaplamalı kesici takımlarda yan yüzey aşınma miktarları (VB), Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.8 Kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olarak, kaplamasız kesici takımlarda kesme uzunluğuna göre yan yüzey aşınma miktarları

Kesme Hızı, V (m/dak)	Talaş Derinliği, a (mm)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme uzunluğu (mm)	Yan yüzey aşınma miktarı, VB (mm)
50	1	0,12	200	0,086
			400	0,102
			600	0,108
			800	0,116
			1000	0,124
			1200	0,142
100	1	0,12	200	0,260
			400	0,284
			600	0,340
			800	0,362
			1000	0,474
			1200	0,522
150	1	0,12	100	0,254
			200	0,296
			300	0,308
			400	0,332
			500	0,356
			600	0,372
			800	0,520
			1000	0,630
200	1	0,12	50	0,218
			100	0,262
			200	0,302
			300	0,430
			400	0,496
			500	0,534
			600	0,568
			700	0,654
100	2	0,12	100	0,216
			200	0,266
			300	0,278
			400	0,318
			600	0,394
			800	0,426
100	3	0,12	100	0,224
			200	0,272
			300	0,290
			400	0,338
			600	0,406
			800	0,430

Çizelge 6.9 Kesme hızı ve talaş derinliğine bağlı olarak, kaplamalı kesici takımlarda kesme uzunluğuna göre yan yüzey aşınma miktarları

Kesme Hızı, V (m/dak)	Talaş derinliği, a (mm)	İlerleme, f (mm/dev)	Kesme uzunluğu (mm)	Yan yüzey aşınma miktarı, VB (mm)
300	1	0,12	200	0,130
			400	0,152
			600	0,198
			800	0,230
			1000	0,246
			1200	0,278
350	1	0,12	200	0,162
			400	0,170
			600	0,202
			800	0,234
			1000	0,248
			1200	0,282
400	1	0,12	100	0,145
			200	0,174
			400	0,186
			600	0,217
			800	0,239
			1000	0,274
			1200	0,355
490	1	0,12	100	0,157
			200	0,181
			300	0,226
			400	0,248
			600	0,296
350	2	0,12	100	0,128
			200	0,165
			300	0,168
			400	0,197
			500	0,199
			600	0,210
350	3	0,12	100	0,164
			200	0,178
			300	0,190
			400	0,217
			500	0,221
			600	0,310

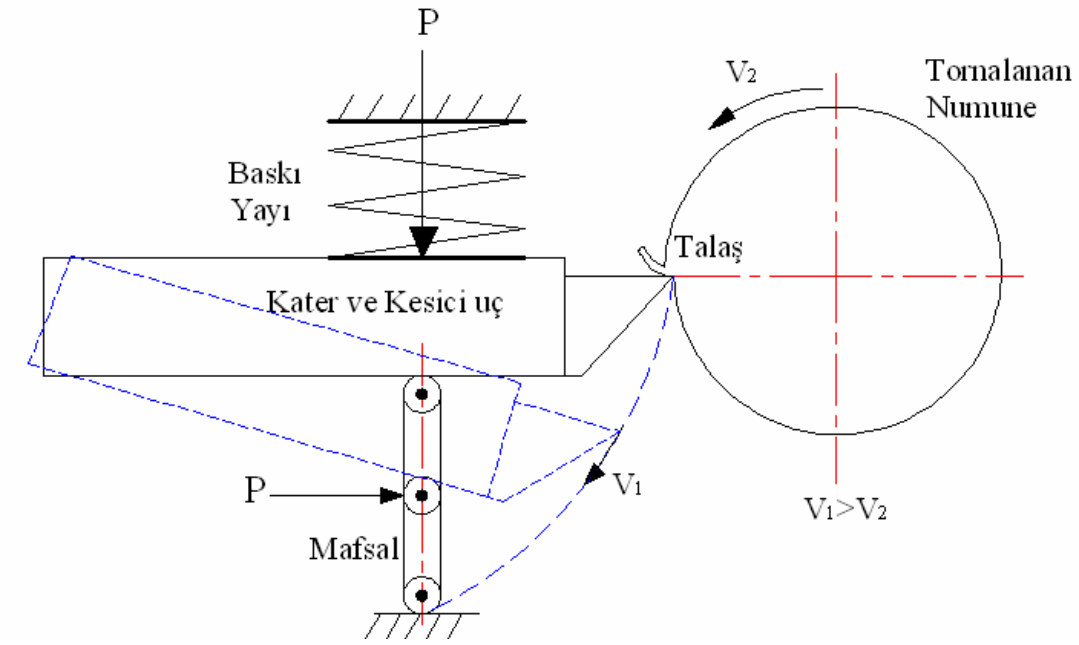
6.5.5. Talaş morfolojisi inceleme deneyleri

Talaş kaldırma anındaki kesme mekanizmasını ve oluşan talaş morfolojisini inceleyebilmek için, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Mekanik Deney Laboratuarında, klasik torna tezgahına (TEZSAN SN 50) bağlı Şekil 6.9'da şematik çalışma prensibi gösterilen Ani Durdurma Aparatı (ADA) kullanılmıştır. Numuneler Çizelge 6.10'da belirtilen kesme şartlarında tornalanırken ADA kullanılarak talaş kökü numuneleri çıkartılmıştır. Şekil 6.10'da deney düzeneğinin fotoğrafı görülmektedir. Şekil 6.9'de görüldüğü gibi takım mafsal yardımıyla alt taraftan desteklendikten sonra baskı yayıyla sıkıştırılır, talaş kaldırma işlemi sırasında takımı destekleyen mafsal düzenekte buluna bir vida yardımı ile düşürülür. Basınç yayının uyguladığı kuvvetle takım, iş parçasının çevresel kesme hızından daha yüksek bir hız ile aşağı düşer. Bu şekilde talaş kaldırma sırasında talaş kökündeki gerçek durumu yansıtan numuneler hazırlanmış olur.

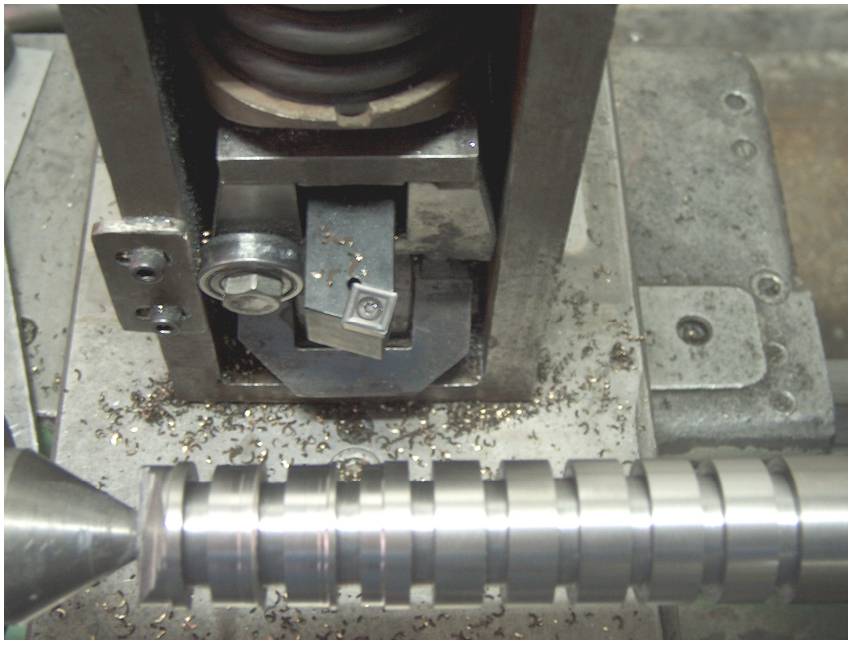
Daha sonra numune talaş kökleri, epoksi reçineye gömülüp parlatıldıktan sonra %2 nital ile dağlanmış, morfolojileri optik mikroskopta (LEICA DM 4000M) incelenmiş ve mikrofotoğrafları çekilmiştir.

Çizelge 6.10 Talaş morfolojisi incelenmesinde kullanılan kesme şartları (Kesici takım: Kaplamasız SCMT 120408-19 K10 K10/20 K20)

Kesme hızı, V (m/dak)	İlerleme, f (mm/dev)	Talaş derinliği, a (mm)	Kesme süresi (s)
20–40–57–87–121	0,12	2	2



Şekil 6.9 ADA'nın şematik çalışma prensibi



Şekil 6.10 ADA'nın kullanıldığı talaş morfolojisi inceleme deney düzeneği

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Değerlendirme Kriterleri

KGDD'lerin üstün mekanik özelliklerinin yanı sıra östemperleme ısıl işlemi uygulamak suretiyle, KGDD'lerin diğer dökme demirlerden daha iyi olan dayanım ve tokluk özellikleri daha da iyileşmektedir. ÖKGDD'lere bu üstün özellikleri, östemperleme ısıl işlemi ile elde edilen matris yapı (ferrit+yüksek karbonlu östenit) sağlamaktadır. Üstün mekanik özelliklerinin yanı sıra yapılan bu çalışmada, ÖKGDD numunelerin işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir.

Kesme parametreleri; kesme hızı (V) ve talaş derinliği (a) kesme kuvvetlerini, kesici takım aşınmasını ve yüzey kalitesini farklı oranlarda etkilemektedir. Kesme hızının kesme kuvvetlerine etkisi sonucunda aşınma, kesici kenarda yığıntı talaşın oluşması ve takım/talaş yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı değerinin değişmesi söz konusu olmaktadır. Kesme hızı esasen işleme zamanının ve buna bağlı olarak üretim miktarının artmasında en önemli etkendir. Ancak kesme hızının artması takım aşınmasını hızlandırmakta ve takım ömrünü azaltmaktadır. Aşınma miktarının artması ile birlikte kesme kuvvetlerinde artışlar görülmektedir (Işık ve Çakır 2004). Bununla birlikte kesme hızının azalması kesici takım ağzında yığıntı talaşın oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumda talaş açısı büyümekte dolayısıyla kesme kuvvetleri azalmaktadır. Ancak aynı ağız birikintilerinin sürtünmeyi arttırmasıyla birlikte kesme kuvvetlerinde artışlar görülmektedir. Talaş derinliğinin artması kaldırılan talaş miktarını ve buna bağlı olarak harcanan özgül enerji ve kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında esas kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan yan yüzey aşınması en yaygın aşınma tiplerinden biridir. Burada amaç yan yüzey aşınmasının ilerlemesinin kontrol edilebilir bir düzeyde tutulmasıdır. Yan yüzey aşınmasında belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır ve

sürtünme artar. Yapılan bu çalışmada karbür uçlar için VB= 0,3 mm değeri takım ömrü kriteri olarak kabul edilmiştir.

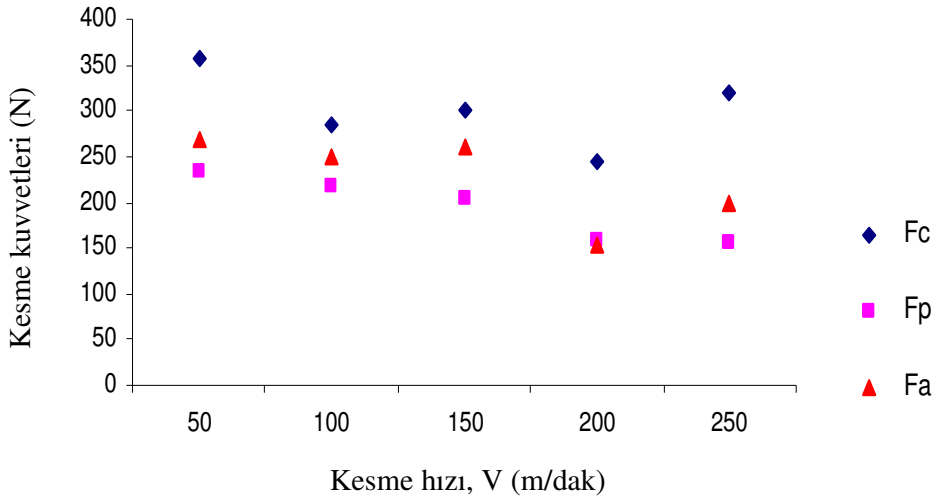
Talaş kaldırma işlemlerinde; istenilen geometri ve yüzey pürüzlülüğü olmak üzere iki önemli kalite karakteristiği üzerinde durulmaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde talaş akışı ve malzeme taşınımının oldukça karmaşık olmasından dolayı matematiksel modellenebilmesi için çoklu değişkene ihtiyaç vardır. Bu karmaşık yapıya rağmen, kısmen yüzey pürüzlülüğünün kontrolü, öncelikli olarak üç önemli talaş kaldırma değişkeni olan kesme hızı (V), ilerleme (f) ve talaş derinliği (a) için uygun değerler seçilerek yapılabilir.

Bu yaklaşımlar göz önüne alınarak, işlenebilirlik kriterlerinden kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, talaş morfolojisi ve yığıntı talaş oluşumu dikkate alınarak, kesme hızı ile talaş derinliğinin bu kriterler üzerine etkisi araştırılıp, bununla birlikte yüksek kesme hızlarında aynı geometriye sahip, kaplamalı bir kalite kullanılarak takımdaki aşınma eğilimi ölçülüp, elde edilen değerler arasında mukayeseli bir değerlendirme yaparak, belirtilen işlenebilirlik kriterleri açısından daha iyi sonuçlar veren kesme parametrelerinin tespiti amaçlanmıştır.

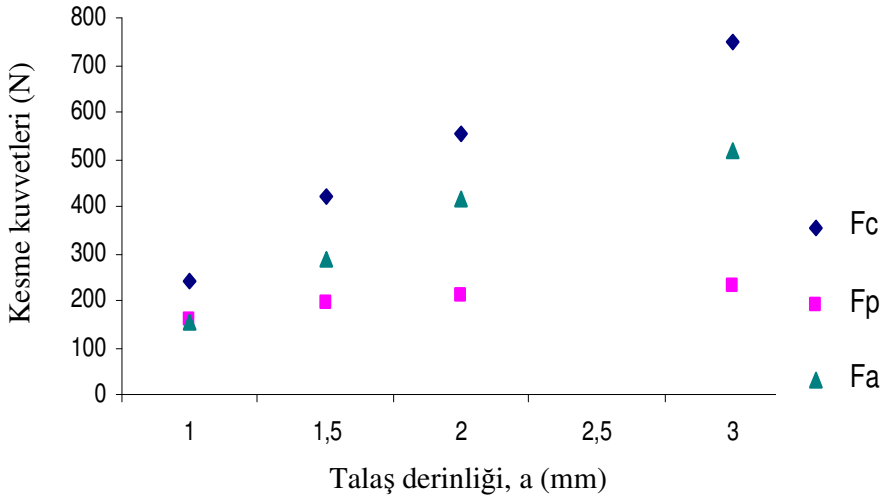
Yukarıda özetlenen değerlendirme kriterlerine göre, ÖKGDD'lerin işlenmesinde elde edilen bulgular, aşağıda ayrı başlıklar halinde sunulup elde edilen sonuçlar

7.2. Kesme Hızı ve Talaş Derinliğinin Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Numuneler üzerinde yapılan deneyler sırasında ölçülen esas kesme kuvveti (Fc), radyal/pasif kuvvet (Fp) ve ilerleme kuvvetinin (Fa), kesme hızına bağlı olarak değişimleri Şekil 7.1'de, yine talaş derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerinin değişimleri Şekil 7.2'deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Kesme kuvvetlerinin kesme hızına bağlı olarak değişimi (f= 0,12 mm/dev a= 1 mm)



Şekil 7.2 Kesme kuvvetlerinin talaş derinliğine bağlı olarak değişimi (f= 0,12 mm/dev V= 200 m/dak)

Kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişimi gösteren grafik (Şekil 7.1) incelendiğinde, 50 m/dak kesme hızında en yüksek, 200 m/dak kesme hızında ise en

düşük kesme kuvvetleri ölçülmüş olup kesme hızının 50 m/dak'dan 200 m/dak'ya çıkartılmasıyla Fc'de % 47 oranında bir azalma olmaktadır. 200 m/dak kesme hızının üzerindeki hızlarda kesme kuvvetleri artış eğilimi göstermektedir. Düşük kesme hızlarında, takım talaş yüzeyinde oluşan yığıntı talaş sebebiyle sürtünmenin artması ve düşük kesme hızlarında kayma düzlemi açısının büyümesi bununla birlikte temas alanının artması kesme kuvvetlerini arttırmaktadır. Kesme hızının 50 m/dak'dan 200 m/dak'ya çıkarılmasıyla kesme kuvvetlerinde gözlenen düşüş, kesme hızındaki artışla birlikte kesme sıcaklığının artmasıyla takım talaş yüzeyinde oluşan yığıntı talaşın kayma dayanımının azalması ve yaklaşık 120 m/dak kesme hızında yığıntı talaşın kaybolmasıyla açıklanabilir. Ayrıca kesme hızları arttıkça kayma düzlemi açısı küçülmekte, temas alanını azalmakta bu da kesme kuvvetlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Kesme hızının daha fazla arttırılmasıyla (250 m/dak) kesme kuvvetlerindeki artış ise yüksek kesme hızlarında takım aşınmasının muhtemel artışı ile açıklanabilir. Kesici takımda aşınma miktarındaki artış kesme kuvvetlerinde artışa sebep olmaktadır (Özçatalbaş 2002).

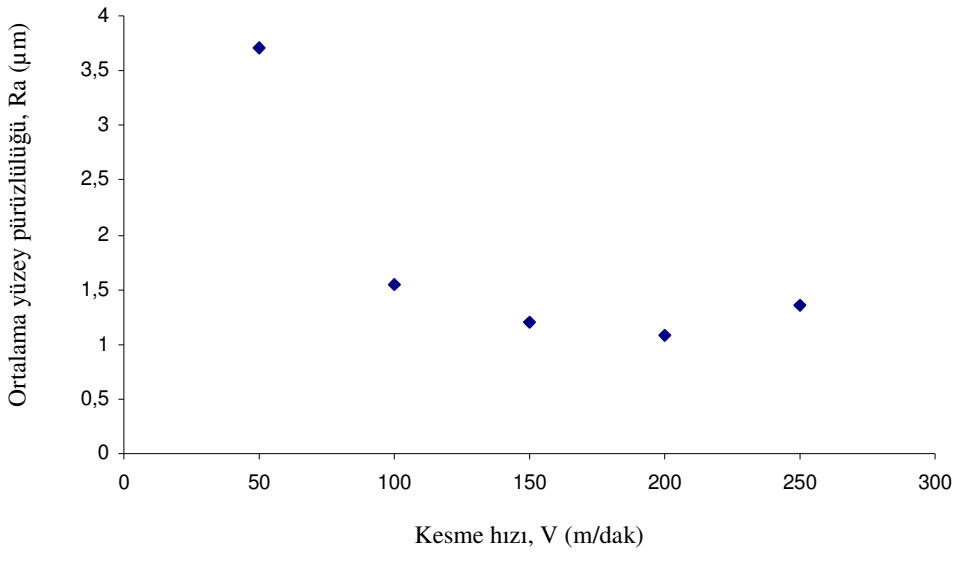
Talaş derinliğinin kesme kuvvetlerine etkisini incelemek için yapılan deneylerde, bir önceki deneyde en ideal sonucu veren 200 m/dak kesme hızı sabit alınmıştır. Talaş derinliğinin kesme kuvvetlerine etkisini daha iyi belirleyebilmek için Şekil 7.2'de verilen grafik incelendiğinde, talaş derinliği arttıkça kesme kuvvetlerinin de buna bağlı olarak arttığı görülmektedir. Talaş derinliği arttıkça kaldırılan talaş hacmi değiştiği için bu da kaldırılan talaş miktarını ve buna bağlı olarak özgül enerji ve kesme kuvvetlerini de arttırmaktadır. Kuvvetlerdeki en fazla artış esas kesme kuvvetinde (Fc) ve ilerleme kuvvetinde (Fa) ölçülmüştür, radyal/pasif kuvvetteki (Fp) artış ihmal edilebilir düzeydedir. Talaş derinliğinin 1 mm'den 1,5 mm'ye çıkarılmasıyla Fc'de % 73, Fa'da % 89 oranında, talaş derinliğinin 1,5 mm den 2 mm ye çıkarılmasıyla Fc'de % 32, Fa'da % 44 oranında ve talaş derinliğinin 2 mm den 3 mm'ye çıkartılmasıyla Fc'de % 34 ve Fa'da % 24 oranlarında artış ölçülmüştür.

Bununla beraber, 380 ^{o}C'de 90 dakika östemperlenmiş KGDD numuneler, daha önce yapılmış deneyler esas alınarak ısıl işlem görmemiş ferritik KGDD'lerle (Şeker ve arkadaşları 2002) karşılaştırıldığında, kesme kuvvetleri açısından ısıl işlem görmemiş ferritik KGDD'lerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Fc= 120 N). Bunun

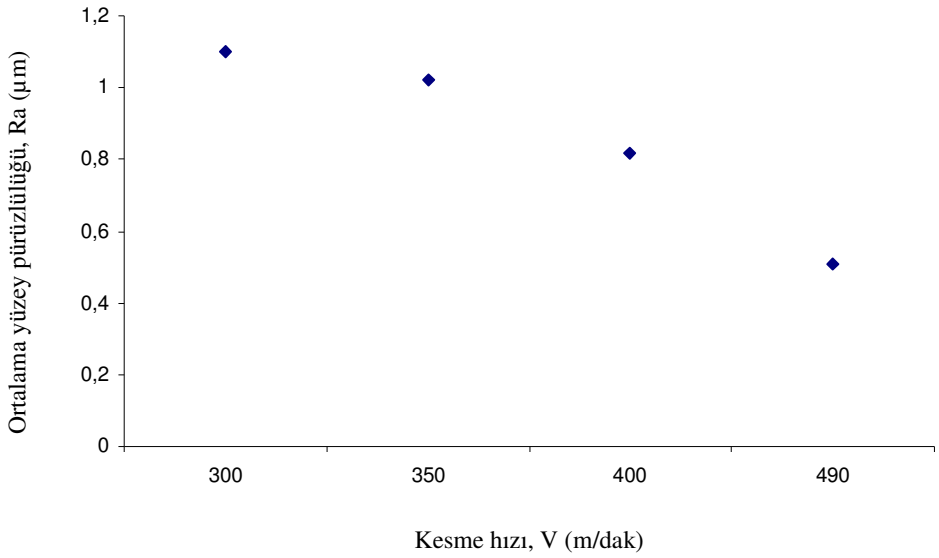
sebebini, Çizelge 6.2, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'te numunelerde ait metalürjik ve mekanik özelliklere bağlı olarak açıklamak mümkündür. Isıl işlem görmemiş ferritik KGDD'lerin yapısındaki, östemperlenmiş numuneden oldukça yüksek ferrit (% 85,62), kesme kuvvetleri üzerinde olumlu yönde etki etmektedir. Daha yumuşak yapıdaki ferritin işlenmesinde ihtiyaç duyulan kesme kuvvetleri, yapısında ösferrit ($\alpha+\gamma_{yk}$) ihtiva eden ÖKGDD numunelere göre daha düşük olmaktadır. KGDD'lerin düşük çekme dayanımı (454 Mpa), düşük sertlik (151 BHN) ve yüksek yüzde uzamaya (% 7) sahip sünek yapısı, düşük kesme kuvvetlerinin bir başka göstergesidir.

7.3. Kesme Hızı ve Talaş Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Kesme hızına bağlı olarak, kaplamasız takımlarla yapılan deneyler sonucunda numuneler üzerinden ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin (Ra) değişimi Şekil 7.2a'da ve kaplamalı kesici uçlarla yüksek kesme hızlarında numunelerin işlenmesinden sonra ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin değişimi Şekil 7.2b'de gösterilmiştir.



(a)



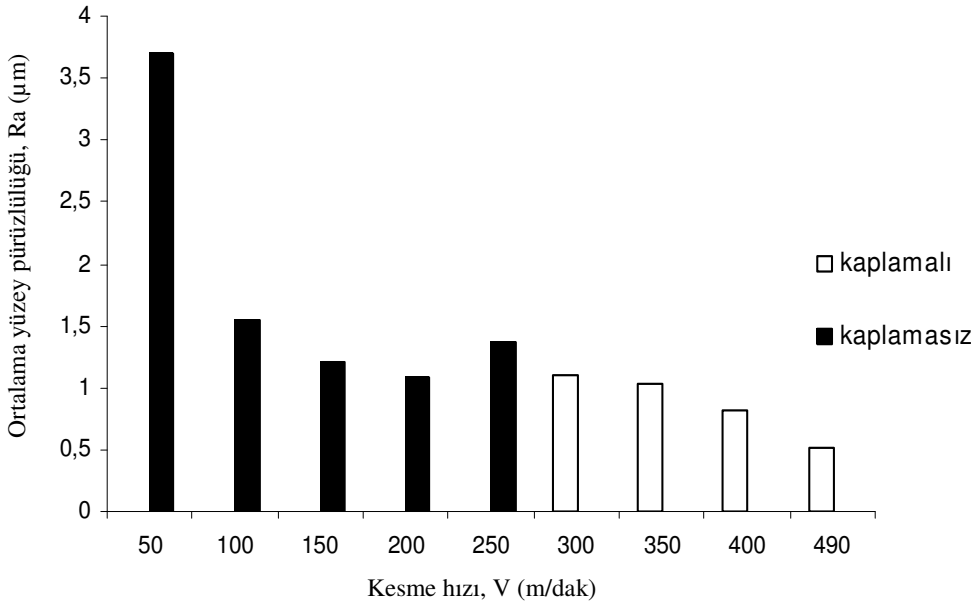
(b)

Şekil 7.3 Kesme hızlarına bağlı olarak a) Kaplamasız ve b) Kaplamalı (Al_2O_3/TiC) kesici uçlarla yapılan deneylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (f=0,12 mm/dev, a= 1 mm)

Kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde 3,7 ila 1,079 µm arasında ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür (Şekil 7.3a). Grafik incelendiğinde 50 m/dak kesme hızında maksimum ortalama yüzey pürüzlülük değeri ölçülmüş olup, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün düştüğü ve en iyi pürüzlülük değerinin, 200 m/dak'da ölçüldüğü görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin azalması yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalmasıyla açıklanabilir. Çünkü artan kesme hızıyla sıcaklık artar ve sıcaklığın artması ile de kesici uçtaki yığıntı talaş sertliğini ve dayanımını kaybederek devam eden kesme sürecinde üzerine gelen gerilmelere dayanamayarak kesici uçtan uzaklaştırılır ve dolayısıyla yüksek kesme hızlarında yığıntı talaş eğilimi azalır. Ancak kesme hızındaki 200 m/dak'dan sonraki artışla yüzey pürüzlülüğünün artması, yüksek kesme hızlarında kesici takımda aşınma miktarının artması ve takım ucundaki muhtemel küçük kırılmalarla (chipping) açıklanabilir.

Kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde 1,098 ila 0,51 µm arasında ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür (Şekil 7.3b). Grafik incelendiğinde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün değişim oranı çok az miktarda olduğu görülmektedir. Kaplamalı takımlarla yüksek kesme hızlarında deneyler yapıldığı için (300–490 m/dak) yığıntı talaş oluşma ihtimali yoktur ve kaplamalı takımların aşınmaya karşı dayanımları oldukça iyidir.

Sonuçlar karşılaştırıldığında (Şekil 7.4) yüksek kesme hızlarında kaplamalı takımların daha iyi yüzey pürüzlülüğü performansı gösterdiği görülmektedir. En yüksek pürüzlülük değerlerinin ise kaplamasız takımlarda düşük kesme hızlarında olduğu görülmektedir.

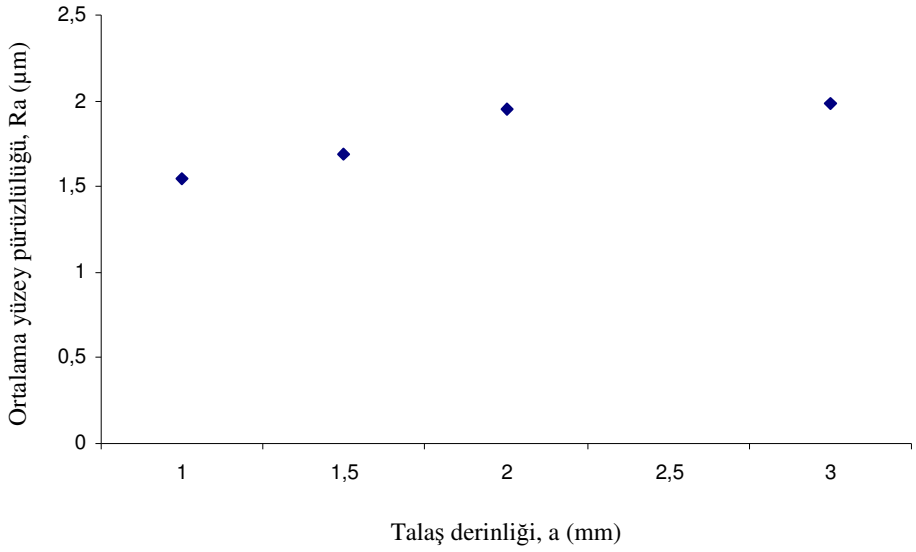


Şekil 7.4 Kaplamasız ve kaplamalı takımlarla farklı kesme hızlarında ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması. (a=1 mm, f=0,12 mm/dev)

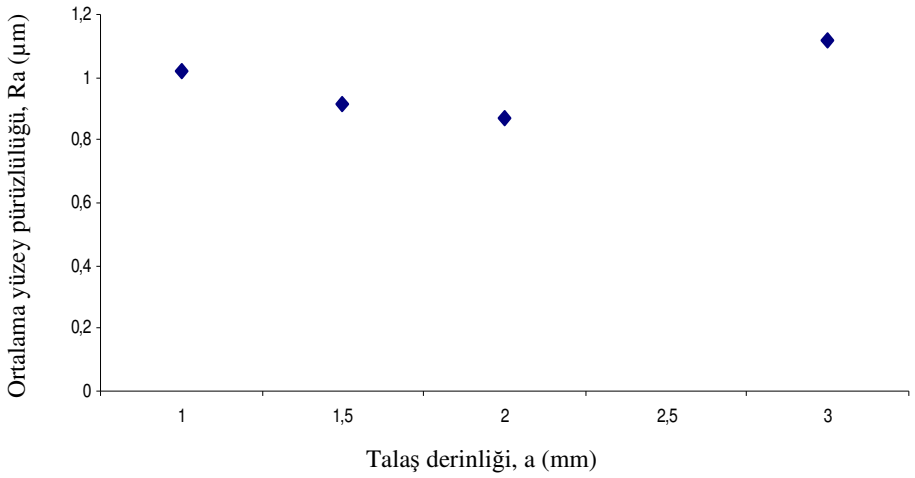
Farklı kesici takımlarla, talaş derinliğine bağlı olarak, yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen değişiklikler Şekil 7.4'te gösterilmiştir. Kaplamasız kesici takımlarla yapılan deneylerde talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünde bir miktar artış görülmektedir (Şekil 7.5a). Bunun başlıca sebepleri, talaş derinliği arttıkça yığıntı

talaş oluşum eğiliminin ve oluşan yığıntı talaş boyutunun artması, bununla birlikte yine artan talaş derinliğiyle kesici ucun aşınma miktarının da buna paralel olarak artması olarak açıklanabilir.

Kaplamalı takımlarla yapılan deneylerde talaş derinliğinin 1 mm'den 2 mm'ye artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde bir miktar iyileşme olmakta (Şekil 7.5b), fakat talaş derinliğinin 3 mm ye çıkartılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artış görülmektedir. Kaplamalı takımların aşınma dayanımlarının daha iyi olması fakat talaş derinliğinin 3 mm'ye çıkartılmasıyla kesici takımda aşınmanın artması, ayrıca yüksek kesme hızlarında (350 m/dak) yığıntı talaş oluşumunun mümkün olmaması buna sebep olarak gösterilebilir.



(a)



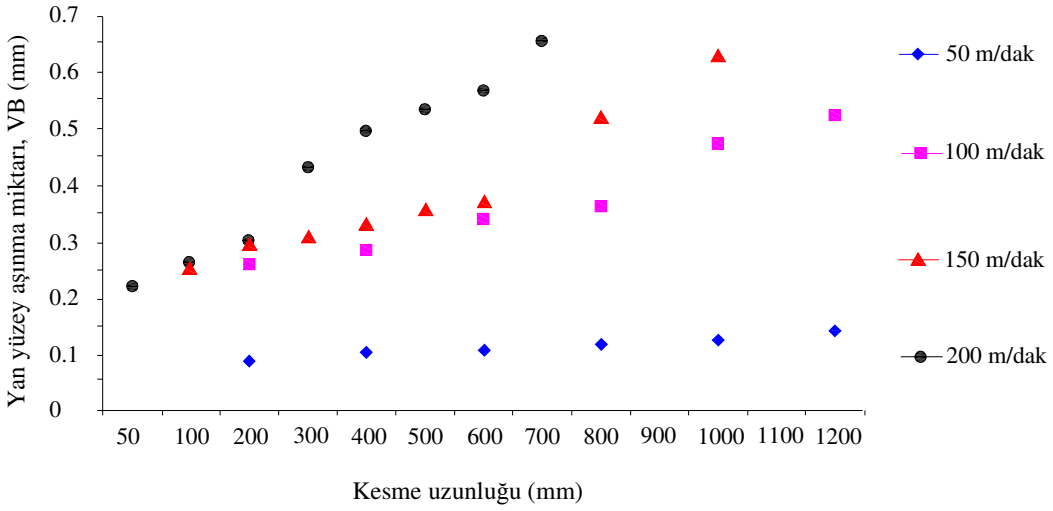
(b)

Şekil 7.5 Talaş derinliğine bağlı olarak (a) kaplamasız (f=0,12 mm/dev, V=100 m/dak) ve (b) kaplamalı (Al_2O_3/TiC) kesici uçlarla yapılan deneylerde f=0,12 mm/dev, V=350 m/dak) ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.

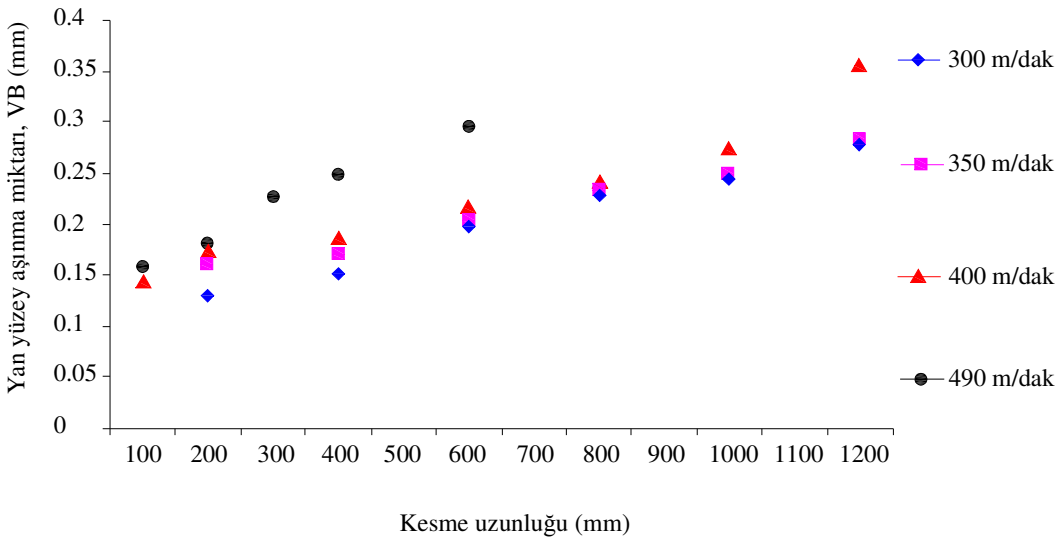
Yüzey pürüzlülüğü açısından östemperlenmiş numunelerle, ısıl işlem görmemiş ferritik KGDD'ler karşılaştırıldığında, ısıl işlem görmemiş KGDD'lerin daha kötü yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Şeker ve arkadaşları 2002). Bunun sebebi, kesme kuvvetleri üzerinde olumlu etkilere sahip olan yukarıda belirtilen ısıl işlem görmemiş ferritik KGDD'lerin yapısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde tamamen ters bir etkiye sahip olmasıdır. Sünek malzemelerin işlenmesinde karşılaşılan yüzey pürüzlülüğündeki olumsuzluğu, ferritik KGDD'lerde de görmek mümkündür. Sünek ve yumuşak malzemelerin işlenmesindeki yüksek sıvanma eğilimi, işlenen yüzeyin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

7.4. Kesme Hızı ve Talaş Derinliğinin Kesici Takım Yan Yüzey Aşınmasına Etkisi

Yan yüzey aşınması, üretilen parçaların ölçü tamlığını ve yüzey kalitesini doğrudan etkiler. Takım aşınmasının belirlenmesinde başlıca amaç üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilebilmesidir. Şekil 7.6'da kesme hızlarına bağlı olarak farklı kesme uzunluklarında kaplamasız takımların yan yüzey aşınma miktarı ve Şekil 7.7'de yüksek kesme hızlarında kaplamalı takımlarda farklı kesme uzunluklarında kesici takımda meydana gelen yan yüzey aşınma miktarları görülmektedir.



Şekil 7.6 Kesme hızına bağlı olarak farklı kesme uzunluklarında, kaplamasız takımların yan yüzey aşınma miktarı (f=0,12 mm/dev, a= 1 mm)



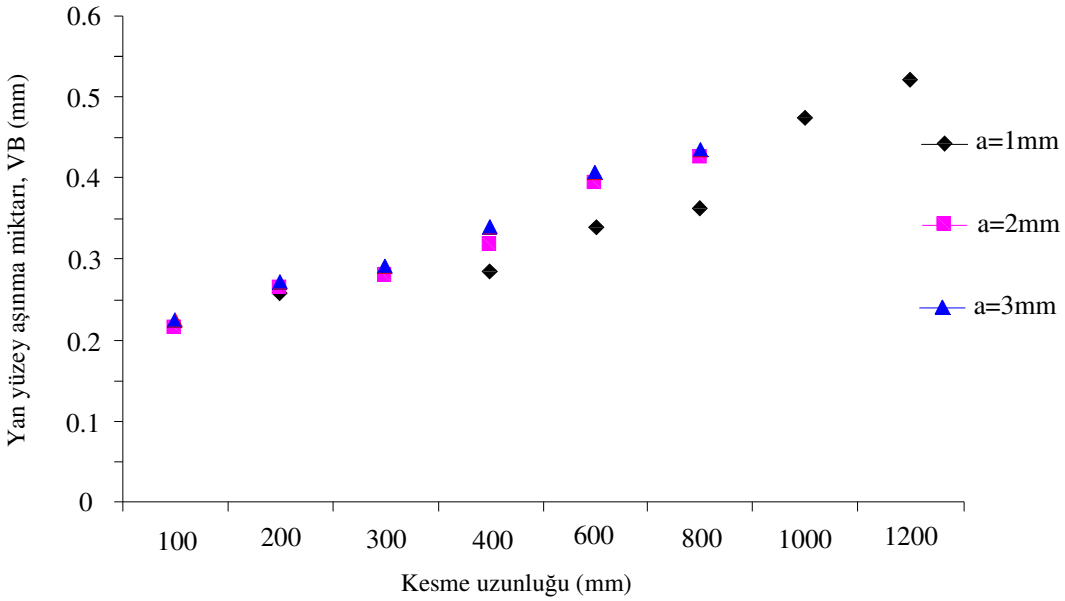
Şekil 7.7 Kesme hızına bağlı olarak farklı kesme uzunluklarında, yüksek kesme hızlarında kaplamalı (Al_2O_3/TiC) takımların yan yüzey aşınma miktarı (f=0,12 mm/dev, a= 1 mm)

Şekil 7.6 incelendiğinde, deneyde kullanılan en yüksek kesme hızı olan 200 m/dak'da kesici takımda meydana gelen aşırı aşınma dikkat çekicidir. Kaplamasız kesici takım bu kesme hızında yaklaşık 200 mm kesme uzunluğuna kadar düzenli bir yan kenar aşınması sergilerken 300 mm kesme uzunluğundan sonra kesme bölgesinde oluşan yüksek ısıdan dolayı maksimum yan yüzey aşınma kriteri aşılmıştır. Kesme hızının 200 m/dak'dan 50 m/dak'ya düşürülmesiyle takım ömrünün maksimum düzeye çıktığı gözlenmiştir. Şekil 7.6'da kesme hızı azaldıkça kesici takım ömrünün arttığı açık bir şekilde görülmektedir.

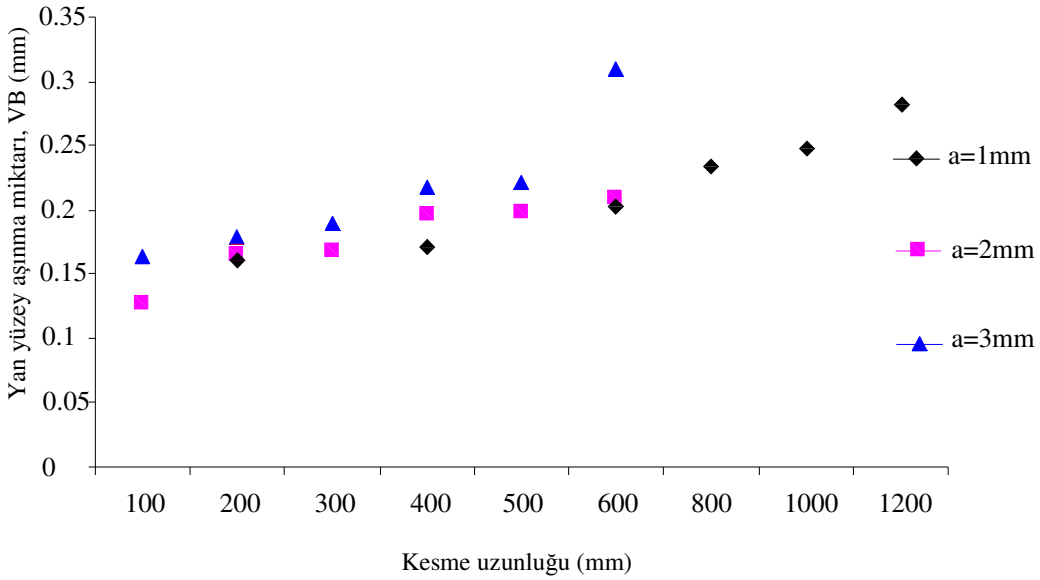
Şekil 7.7'den görüleceği üzere kaplamalı kesici takımlar kaplamasız kesici takımlara göre daha iyi aşınma direnci ve yüksek takım ömrü sergilemektedir. Bu deneyler için kullanılan en yüksek kesme hızı olan 490 m/dak 600 mm kesme uzunluğuna kadar aşınma miktarı kabul edilebilir düzeydedir ve yan yüzey aşınma miktarı bu kesme uzunluğuna kadar düzenli bir şekilde artışını sürdürmektedir, kesme uzunluğu arttıkça yüksek kesme hızında meydana gelen yüksek ısıdan dolayı kaplama katmanı aniden eriyerek yan kenar aşınması maksimum düzeylere çıkmaktadır. Kaplamalı takımlar için kullanılan en düşük kesme hızı olan 300 m/dak'da 1200 mm kesme

uzunluğunda bile aşınma miktarı kabul edilebilir düzeyde olup iyi bir takım ömrü sergilemiştir. Kaplamalı takımlarda düşük kesme hızlarında oldukça iyi takım ömrü elde edilmektedir. Fakat deneyler sırasında yapılan gözlemlemelerde kaplamalı takımlarda ani uç kırılmaları dikkat çekicidir. Bu da, işlenen numunelerin imalatından kaynaklanan yüzey çatlaklarından, talaş kaldırma sürecinde minimum düzeyde de olsa çevre ve tezgah koşullarından meydana gelen titreşimlerden kaynaklanabilir. Kaplamalı ve Kaplamasız takımların aşınma performansları karşılaştırıldığında kaplamalı takımların daha yüksek performans gösterdiği görülmektedir, fakat yukarıda da belirtildiği gibi kaplamalı takımlarda ani uç kırılmaları dikkat çekicidir.

Talaş derinliğine bağlı olarak, farklı kesme uzunluklarında, kaplamasız (Şekil 7.8) ve kaplamalı takımlarda (Şekil 7.9) meydana gelen yan yüzey aşınma miktarları incelendiğinde. Talaş derinliğinin artmasıyla, aşınma miktarının da bununla birlikte arttığı fakat aşınmadaki bu artışın çok fazla düzeyde olmayıp talaş derinliğinin aşınmaya etkisinin kesme hızının etkisine kıyasla çok düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.



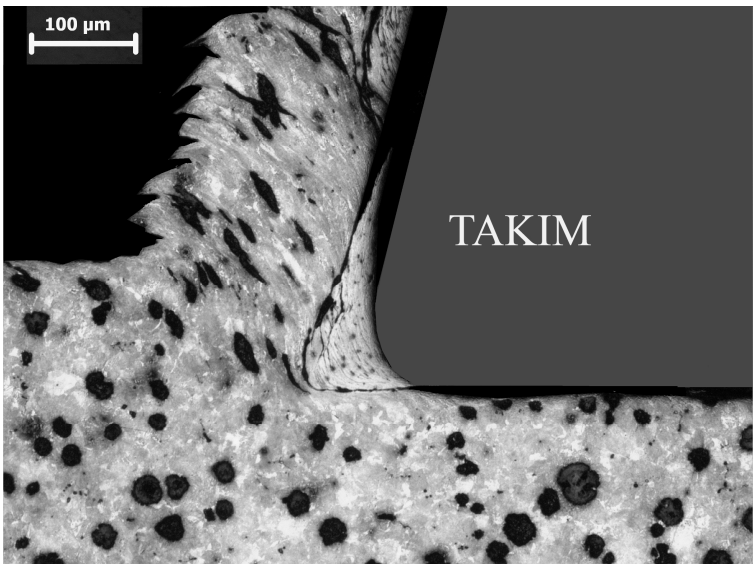
Şekil 7.8 Farklı kesme uzunluklarında, kaplamasız takımlarda talaş derinliğine bağlı olarak meydana gelen yan yüzey aşınma miktarları (f=0,12 mm/dev, V=100 m/dak)



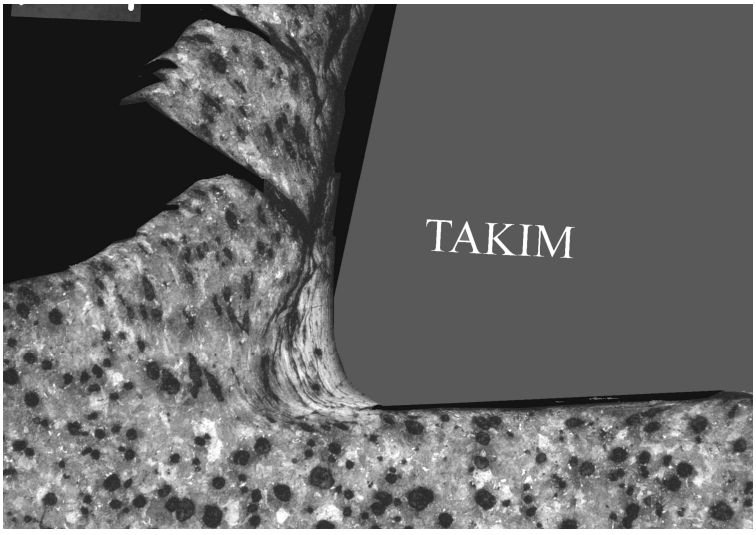
Şekil 7.9 Farklı kesme uzunluklarında, kaplamalı (Al_2O_3/TiC) takımlarda talaş derinliğine bağlı olarak meydana gelen yan yüzey aşınma miktarları (f=0,12 mm/dev, V=350 m/dak)

7.5. Talaş Morfolojisi ve Yığıntı Talaş Oluşumu

Numunelerin belli kesme hızı aralıklarında tornalanırken oluşan talaşların morfolojileri Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'de gösterilmiştir. Numunelerin işlenmesinde minimum kesme hızında (20 m/dak) maksimum boyutta yığıntı talaş mevcuttur (Şekil 7.10a). Artan kesme hızıyla yığıntı talaş boyutları küçülmüştür ve yaklaşık 120 m/dak civarında yığıntı talaş kaybolmak üzeredir (Şekil 7.11c).



(a)



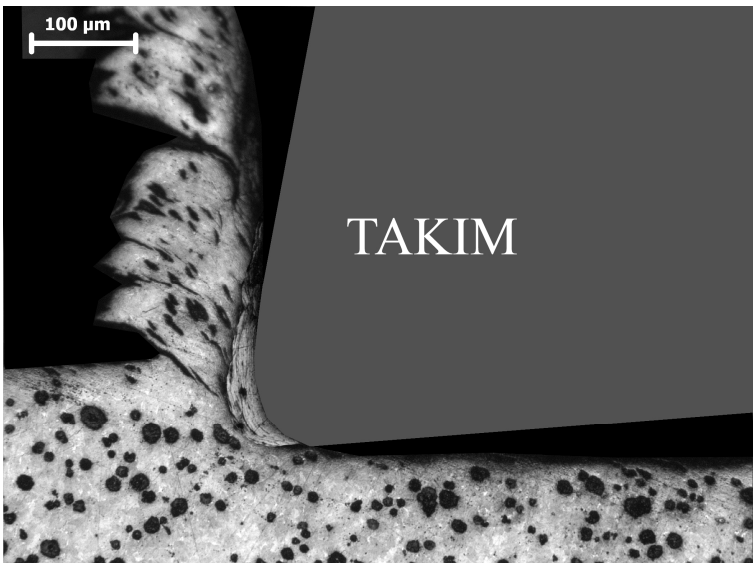
(b)

Şekil 7.10 a) 20 m/dak, b) 40 m/dak kesme hızlarında talaş morfolojisi ve yığıntı talaş oluşumu

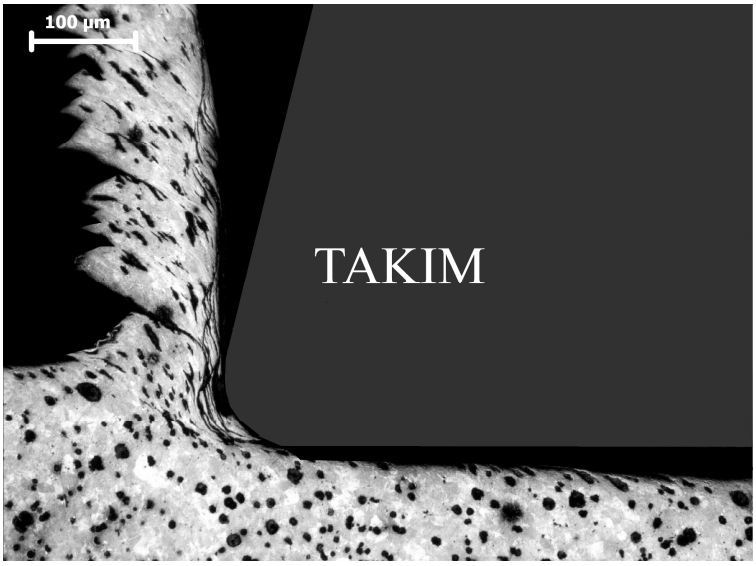
Deneyde kullanılan düşük kesme hızlarında (20-40 m/dak) yığıntı talaş boyutu ve yığıntı talaşın takım altında kalan boyutu Şekil 7.10'da görüldüğü gibi maksimum düzeydedir. Yığıntı talaşın maksimum düzeyde olmasının en önemli sebebi, takım/talaş ara yüzey sıcaklığının düşük kesme hızlarında daha az olması ve akış

bölgesindeki malzemenin birbiri üzerinde birikerek, takım yüzeyinde katılaşması, malzemenin yüksek basınç etkisiyle sürekli olarak takım yüzeyine kaynak olmasıdır.

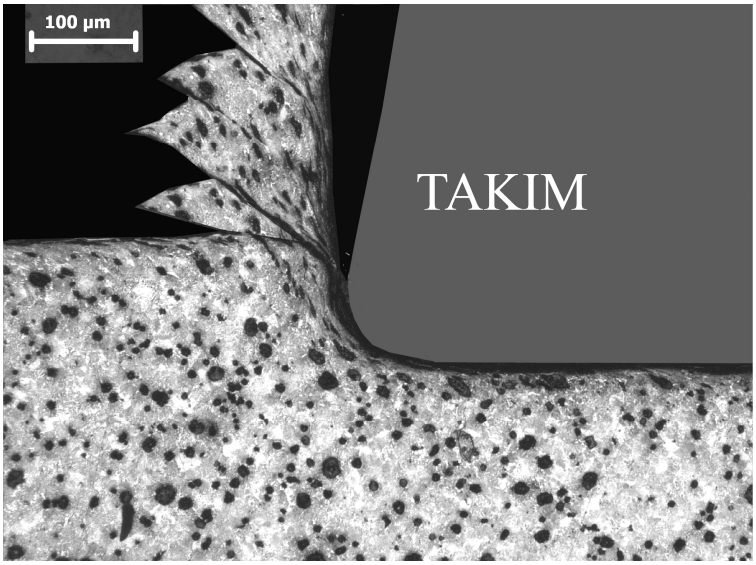
Yığıntı talaş, şekilde de görüldüğü gibi kesici takımın önünde kesme görevini üslenmiştir, buda sürtünmeyi arttırarak kesme kuvvetlerini ve işlenen yüzeyin pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemekte, ayrıca kesme için daha büyük enerji ihtiyacı açığa çıkmaktadır. Şekil 7.10 incelendiğinde, kayma düzlemi açısının büyük olduğu görülmektedir. Kayma düzlemi açısının büyük olması yine kesme kuvvetlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra, kesme işlemi devam ederken sabit olmayan yığıntı talaş, dinamik bir oluşum özelliği gösterdiğinden, kopma anında oluşturduğu bağ güçlü ise takım malzemesini küçük miktarlarda yüzeyden aşındırır, bu da kakım ömrü açısından olumsuzluk yaratır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.11 a) 57 m/dak b) 87 m/dak c) 121 m/dak kesme hızlarında talaş morfolojisi ve yığıntı talaş oluşumu

Kesme hızları arttıkça yığıntı talaş boyutlarındaki azalma dikkat çekicidir. Deneyler için kullanılan en yüksek kesme hızı olan 121 m/dak'da yığıntı talaş kaybolmuştur.

Bunun sebebi olarak, kesme hızlarının artmasıyla takım/talaş ara yüzey sıcaklığının artması ve artan sıcaklıkla birlikte yığıntı talaş tabakasının yumuşaması ve bu tabakanın akış bölgesinin yerini almasıdır.

Şekiller incelendiğinde yığıntı talaşın boyutlarının azaldığı, kayma düzlemi açısının küçüldüğü görülmektedir, bu da kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeye sebep olmaktadır.

Genel olarak kesme hızının artmasıyla kayma düzlemi açısının küçülerek oluşan talaşın daha düzenli ve sürekli olduğu bilinmektedir, fakat bunun aksine Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'de talaş morfolojileri incelendiğinde yüksek kesme hızlarında talaşın kesikli ve düzensiz bir şekilde oluştuğu görülmektedir. Bunun sebebi, talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri ve oluşan gerilmelerin etkisiyle oluşan talaşta grafitlerin kırılarak küreselliğini kaybetmesi, bundan dolayı da yapının kırılgan ve düzensiz olması gösterilebilir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

KGDD'lere uygulanan östemperleme ısıl işlemi ile dayanım ve sertlik özellikleri daha da iyileşmektedir. Östemperleme ısıl işlemi sonucunda elde edilen bu mekanik özellikler; alaşım elementlerine, östenitleme ve östemperleme sıcaklık ve süresine bağlıdır.

Bu çalışmada GGG 40 ferritik KGDD malzeme, literatürde verilen sınırlar içerisinde ilk olarak 900 ^{o}C'de 90 dakika östenitlemeden sonra, 380 ^{o}C'de 90 dakika östemperleme işlemine tabi tutularak ÖKGDD malzeme üretilmiştir. İlerleme değeri sabit tutularak (0,12 mm/dev), kesme hızı ve talaş derinliği değişken değerlerde alınmıştır ve düşük kesme hızlarında kaplamasız, yüksek kesme hızlarında kaplamalı sinterlenmiş karbür kesici takım kaliteleri kullanılarak kuru kesme şartlarında işlenebilirlik kriterlerinden; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması, talaş morfolojisi ve yığıntı talaş oluşumu deneyleri yapılarak aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

1- Isıl işlem görmemiş ve östemperlenmiş numunelere uygulanan mekanik deneyler sonucunda, malzeme östemperlendikten sonra çekme dayanımında % 80, akma dayanımında % 115 ve sertliğinde % 107 bir artış görülmüştür.

2- Isıl işlem görmemiş ve östemperlenmiş numunelerin metalografik incelemelerinde, östemperlemeden sonra malzemenin grafit oranında % 25 azalma, ferrit oranında % 50 azalma ve küre sayısında % 9 azalma görülmüştür. Ayrıca östemperlendikten sonra malzemenin yapısında % 39,04 oranında yüksek karbonlu östenit ve % 7,3 oranında dönüşmemiş östenit bulunmaktadır.

3- Kaplamasız kesici takımlarla düşük kesme hızlarında yapılan deneylerde, en yüksek kesme kuvvetleri, en düşük kesme hızında (50 m/dak) ölçülmüş olup kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde düşüş görülmüştür. Kesme hızının 50 m/dak'dan 200 m/dak'ya çıkartılmasıyla Fc'de % 47 oranında bir azalma olmaktadır. Kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuç, 200 m/dak kesme hızıda 0,12 mm/dev ilerlemede

ve 1 mm talaş derinliğinde elde edilmiştir. Kesme hızı 200 m/dak'nın üzerine çıktığında (250 m/dak) kesme kuvvetlerinde artış görülmektedir.

4- Kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde talaş derinliği arttıkça, kesme kuvvetlerinin de buna bağlı olarak arttığı görülmektedir. Talaş derinliğine bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki en fazla artış esas kesme kuvvetinde (Fc) ve ilerleme kuvvetinde (Fa) ölçülmüştür. Radyal/pasif kuvvetteki (Fp) artış ihmal edilebilir düzeydedir. Talaş derinliğinin 1 mm'den 1,5 mm'ye çıkarılmasıyla Fc'de % 73, Fa'da % 89 oranında, talaş derinliğinin 1,5 mm den 2 mm ye çıkarılmasıyla Fc'de % 32, Fa'da % 44 oranında ve talaş derinliğinin 2 mm'den 3 mm'ye çıkartılmasıyla Fc'de % 34 ve Fa'da % 24 oranlarında artış ölçülmüştür.

5- Kaplamasız kesici takımlarla düşük kesme hızlarında yapılan yüzey pürüzlülük deneylerinde, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. En iyi pürüzlülük değeri (Ra= 1,079 µm) 200 m/dak kesme hızında, en fazla pürüzlülük (Ra= 3,700 µm) ise deneylerde kullanılan en düşük kesme hızı olan 50 m/dak'da ölçülmüştür. Talaş derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğünde bir miktar artma görülmektedir. Talaş derinliğinin 1 mm'den 3 mm'ye çıkartılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde % 28 oranında bir artış ölçülmüştür.

6- Kaplamalı kesici takımlarla yüksek kesme hızlarında yapılan yüzey pürüzlülük deneylerinde, yine kesme hızının artmasıyla pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür, fakat pürüzlülükteki değişim kaplamasız takımlarda olduğu kadar fazla değildir. Yapılan deneylerde kullanılan en yüksek kesme hızı olan 490 m/dak'da en iyi yüzey pürüzlülük değerleri (Ra= 0,510 µm) ölçülmüştür. Talaş derinliğinin 1 mm'den 2 mm'ye arttırılması ile kaplamasız takımlarla yapılan deneylerin tam aksine yüzey pürüzlülük değerinde bir miktar azalma görülmüş, fakat 3 mm talaş derinliğinde pürüzlülük değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmüştür.

7- Kaplamasız takımlarla yapılan deneylerde en yüksek yan yüzey aşınma değerleri bu takımlar için kullanılan en yüksek kesme hızı olan 200 m/dak'da ölçülmüştür. Düşük kesme hızlarında (50 m/dak) takım ömrü maksimum düzeydedir. Kesme hızı arttırıldıkça kesici takım yan yüzey aşınma miktarı da buna bağlı olarak önemli

miktarda artmaktadır. Talaş derinliğinin artmasıyla aşınma miktarında bir miktar artış görülmüştür. Fakat talaş derinliğinin aşınmaya etkisi oldukça düşüktür.

8- Yüksek kesme hızlarında kaplamalı kesici takımlarla yapılan deneylerde kullanılan en yüksek kesme hızında (490 m/dak) 600 mm kesme uzunluğunda yan yüzey aşınma miktarı (VB) 0,296 mm değerlerde ölçülmüştür. Kesme hızı düşürüldükçe kesici takım yan yüzey aşınma miktarı da buna bağlı olarak düzenli bir şekilde azalmaktadır.

9- Kesici takım aşınması açısından, daha yüksek kesme hızlarında bile en iyi sonuçlar kaplamalı kesici takımlarla elde edilmiştir. Kaplamasız takımların aşınmaya karşı direnci oldukça düşüktür. Kaplamalı takımlar kaplamasız takımlara kıyasla daha yüksek işlenebilirlik özellikleri sergilemektedir (Moncada ve arkadaşları 1998).

10- Düşük kesme hızlarında (20–40 m/dak) yığıntı talaş boyutu maksimum düzeydedir. Kesme hızının artmasıyla düzenli olarak yığıntı talaş boyutu küçülmüştür ve yaklaşık 120 m/dak kesme hızı civarında yığıntı talaş kaybolmak üzeredir.

11- ÖKGDD'lerin işlenmesi sırasında, kesme kuvvetleri ve oluşan gerilmelerin etkisiyle, oluşan talaşta küresel grafitlerin kırılarak birbirleri üzerine yığılmaları sebebiyle çıkan talaş kesikli ve düzensizdir.

Yapılan bu çalışmada, ÖKGDD'lerin işlenebilirliği kuru kesme şartlarında değerlendirilmiştir. Bunun devamı başka bir çalışmada ÖKGDD'lerin kesme sıvısı kullanılarak işlenebilirlik kriterleri tespit edilip, bu çalışmayla karşılaştırılması yapılabilir. Kesme sıvısının kullanılmasıyla ÖKGDD'lerin işlenebilirliğinin daha da iyileştirilebilmesi sağlanabilinir. Bu çalışmada talaş kaldırma parametrelerinden kesme hızı ve talaş derinliği değişken değerlerde alınıp ilerleme sabit alınmıştır, yine bunun devamı bir çalışmada ilerleme miktarı değişken değerlerde alınıp, ÖKGDD'lerin işlenmesinde en iyi sonuçları veren ilerleme değeri tespit edilebilir. Numune sayısı arttırılmak sureti ile farklı östemperleme sıcaklığı ve süresinin mikro yapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve

bunların karşılaştırılması, ÖKGDD'lerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi açısından daha detaylı bilgilerin elde edilmesine yardımcı olabilir.

9. KAYNAKLAR

Acır, A., 2003, Talaş Kaldırma İşleminde Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, II. Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, Konya

Ahmadabadi, M.N., Khazai, B.A., Bahmani, M., 1997, Effect of Austempering Variables on The Mechanical Properties of Ni-Mn-Cu ADI, AFS Transactions, C: 74, s: 501-505

Altıntaş, Y., 2000, Manufacturing Automation, Cambridge University Press

Asil Çelik, 1994, İşlenebilirlik ve Kalsiyum Uygulaması, Teknik Yayınlar 12, Bursa

Azevedo, C.R.F., Garboggini, A.A., Tschipitschin, A.P., 1993, Effect of Austenite Grain Refinement on Morphology of Product of Bainitic Reaction in Austempered Ductile Iron, Materials Science and Technology, C: 9, s: 705-710

Bahmani, M., Elliott, R., 1994, Effects of Pearlite Formation on Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron, Materials Science and Technology, C: 10, s: 1068-1072

Chang, L.C., 1998, Carbon Content of Austenite in Austempered Ductile Iron, Department of Mechanical Engineering, Scripta Materialia, C: 39, No: 1, s: 35-38

Cheung, C.F., Lee, W.B., 2000, A Theoretical and Experimental Investigation of Surface Roughness Formation in Ultra-Precision Diamond Turning, International Jurnal of Machine Tools & Manufacture, C: 40, s: 979-1002

Çakır, M.C., Bayram, A., Işık, Y., Salar, B., 2005, The Effects of Austempering Temperature and Time unto the Machinability of Austempered Ductile Iron, Materials Science and Engineering,

Çakır, M.C., 1999, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Vipaş A.Ş., Bursa

Dorazil, E., Podrabsky, T., Svejcar, J., 1990, Micro-Inhomogeneity of Low-Alloy Austempered Ductile Cast Iron Matrix, AFS Transactions, C: 13, s: 765-774

Dubensky, W.J., Rundman, K.B., 1985, An Electron Microscope Study of Carbide Formation Austempered Ductile Iron, AFS Transactions, C:64, s: 389-394

Eric, O., Jovanovic, M., Sidanin, L., Rajnovic, D., Zec, S., 2004, The Austempering Study of Alloyed Ductile Iron, Materials and Design

Ferizoğlu, M.T., 1988, Küresel Grafitli Dökme Demirde Kaliteye Etki Eden Bazı Parametreler, Metalürji Dergisi, C: 75, s: 53-56

Grech, M., Young, J.M., 1990, Effect of Austenitising Temperature on Tensile Properties of Cu-Ni Austempered Ductile Iron, Materials Science and Technology, C: 6, s: 245-256

Grech, M., 1990, Influence of Austempering Temperature on The Characteristics of Austempered Ductile Iron Alloyed with Cu and Ni, AFS Transactions, C:160, s: 345-352

Hasırcı, H., 2000, Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu ve Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikro Yapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Hayrynen, K.L., 1998, Another Avenue for Ductile Iron Foundries, Austempered ductile iron presents a horizon of opportunities for foundries, Modern Casting, s: 28-30

Hayrynen, K.L.,Moore, D.J., Rundman, K.B., 1990, Tensile Properties and Microstructure of a Clean Austempered Ductile Iron, AFS Transactions, C: 127, s: 471-476

Işık, Y., Çakır, M.C., 2004, Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Takım Çeliklerinin İşlenebilirliği, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa

İzgiz, S., 1986, Küresel Grafitli Dökme Demir, Segem Yayını, Ankara

Karsay, S.I., 1985, Ductile Iron Production Practices, American Foundrymen's Society.Inc

Kobayashi, T., Yamada, S., 1996, Effect of Holding Time in the (α+γ) Temperature Range on Toughness of Specially Austempered Ductile Iron, Metallurgical and Materials Transactions, C: 27, s: 1961-1971

Komaç, O.Ş., Çelik, O.N., 2004, Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Isıl İşlem Şartlarının Sertliğe Etkisi, I. Ulusal Metalürji ve Malzeme Günleri Bildiri Kitabı, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

Kwon, Y., 2000, Robust Control of Surface Roughness in a Turning Operation, The University of lowa, Bell and Howell Information and Learning Company

Labrecque, C., Gange, M., 1998, Review Ductile Iron: Fifty Years of Continuous Development, Canadian Metallurgical Quaterly, C: 37, No:5 s: 343-378

Lin, S.C., Chang, M.F., 1998, A Study on the Effects of Vibrations on the Surface Finish Using a Surface Topograpy Simulation Model for Turning, International Journal of Machine Tools and Manufacture, C: 38, s: 763-782

Mallia, J., Grech, M., Smallman, R.E., 1998, Effect of Silicon Content on Transformation Kinetics of Austempered Ductile Iron, Materials Science and Technology, C: 14, s: 452-460

Massone, J.M., Boeri, R.E., Sikora, J.A., 1996, Decomposition of High-Carbon Austenite in ADI, AFS Transactions, C:148, s: 133-137

Matsumura, O., Sakuma, Y., Takechi, H., 1987, Trip and its Kinetic Aspects in Austempered 0.4 C- 1.5 Si- 0.8 Mn Steel, Scripta Metallurgica, C: 21, s: 1301-1306

Mendi, F., 1996, Takım Tezgahları Teori ve Hesapları, Gazi Üniversitesi, Ankara

Mills, B., Redford, A.H., 1983, Machinability of Engineering Materials, Applied Science Publishers, London and New York

Moncada, O.J., Spicacci, R.H., Sikora, J.A., 1998, Machinability of Austempered Ductile Iron, AFS Transaction, C: 10, s: 39-45

Morgan, H.L., 1987, Introduction to Foundry Production and Control of Austempered Ductile Irons, The British Foundryman, C: 80, s: 98-107

Özçatalbaş,Y., Ercan,F., 2003, The Effects of Heat Treatment on the Machinability of Mild Steels, Journal of Materials Processing Technology, C: 136, s: 227–238

Özçatalbaş,Y., 2002, Kesici Takım Aşınması ve İş Malzemesi Mekanik Özelliklerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi, G.Ü Politeknik Dergisi, C:4 Özel Sayı, s: 47-52, Ankara

Özçatalbaş, Y., 1998, Düşük Alaşımlı Çelikte Yığıntı Talaş Oluşumunun İşleme Özelliklerine Etkisi, 8.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, Ankara

Özçatalbaş,Y., 2002, Mühendislik Malzemelerinin İşlenebilirliği, Yüksek Lisans Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Ankara

Sandvik Coromant, 1997, Modern Metal Cutting, A Practical Handbook, Sweden

Sandvık Coromant, 2000, Die and Mould Design Handbook, Sweden

Seah, K.H.W., Sharma, S.C., 1995, Machinability of Alloyed Austempered Ductile Iron, International Journal of Machine Tools & Manufacture, C: 35, No 10, s: 1475-1479

Sohi, M.H., Ahmadabadi, M.N., Vahdat, A.B., 2004, The Role of Austempering Parameters on The Structure and Mechanical Properties of Heavy Section ADI, Jurnal of Materials Processing Technology, 153-154, s: 203-208

Spengler, A.F., Briggs, H.K., 1972, The Ductile Iron Process, Miller and Company Service Handbook, Compendium 4

Shieh, C.S., Din, T.A., Lui, T.S., Chen, L.H., 1993, Effect of Nodule Size and Silicon Content on Tensile Deformation Behavior of Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron at Elevated Temperatures, AFS Transactions, C: 133, s: 365-371

Shih, T.S., Lin, C.K., Twan, H.Z., 1997, Mechanical Properties of Various-Section ADIs, AFS Transactions, C: 26, s: 367-376

Shih, T.S., Chau, S.Y., Chang, C.H., 1996, Optimization of Austenitizing Treatment of Austempered Ductile Irons, AFS Transactions, C: 72, s: 557-564

Shimizu, K., Noguchi, T., Doi, S., 1993, Basic Study on the Erosive Wear of Austempered Ductile Iron, AFS Transactions, C: 78, s: 225-229

Sidjanin, L., Smallman, R.E., 1992, Metallography of Bainitic Transformation in Austempered Ductile Iron, Materials Science and Technology, C: 8, s: 1095-1103

Shea, M.M., Ryntz, E.F., 1986, Austempering Nodular Iron for Optimum Toughness, AFS Transactions, C: 125, s: 683-688

Sorelmetal, 1990, Ductile Iron Data for Design Engineers, Montreal, Quebec, Canada

Şahin, Y., 2000, Talaş Kaldırma Prensipleri 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara

Şahin, Y., 2001, Talaş Kaldırma Prensipleri 2, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara

Şeker, U., Hasırcı, H., 2005, Evaluation of Machinability of Austempered Ductile Irons in Terms of Cutting Force and Surface Quality, Jurnal of Materials Processing Technology

Şeker, U., Çiftçi, İ., Hasırcı, H., 2002, The Effect of Alloying Elements on Surface Roughness and Cutting Forces During Machining of Ductile Iron, Materials and Design, C: 24 , s: 47-51

Şeker, U., 1997, Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı, Yüksek Lisans Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Ankara

Şen, Ö., 2003, Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi ve İşlem Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Metal Dünyası

Topuz, P., 2003, Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Tarama Elektro Mikroskobu ile İncelenmesi, Metal Dünyası

Yalçın, Y., Özel, A., 1999, Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir, Metalürji Dergisi, C: 23, Sayı: 119, s: 15-19