

**FARKLI BİLEŞİMLERDEKİ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME
DEMİRLERİN MİKROYAPI VE İŞLENMİŞ YÜZEY
KALİTELERİNİN İNCELENMESİ**

MEHMET GENÇER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2012
ANKARA**

Mehmet GENÇER tarafından hazırlanan FARKLI BİLEŞİMLERDEKİ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN MİKROYAPI VE İŞLENMİŞ YÜZEY KALİTELERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Bülent BOSTAN
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Müh.

Yrd. Doç. Dr. Hamdi TAPLAK
Tez 2. Danışmanı, Erciyes Üniversitesi Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Recep ÇALIN
Metalurji ve Malzeme Müh., Kırıkkale Üniversitesi

Doç. Dr. Bülent BOSTAN
Metalurji ve Malzeme Müh., Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet GÜRAL
Metalurji ve Malzeme Müh., Gazi Üniversitesi

Tarih: 24/12/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurullar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Mehmet GENÇER

**FARKLI BİLEŞİMLERDEKİ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME
DEMİRLERİN MİKROYAPI VE İŞLENMİŞ YÜZEY
KALİTELERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mehmet GENÇER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2012**

ÖZET

Bu çalışmada, üç farklı bileşimde küresel grafitli dökme demir hazırlanarak, mikro yapısal değişimlerin işlenebilirlik parametrelerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, numunelere tornalama ve delik delme işlemleri uygulanarak yüzey pürüzlülük değerleri analiz edilmiştir.

Hazırlanan numunelere, talaş derinliği sabit alınarak (1 mm), üç farklı kesme hızlarında (14, 18 ve 22 m/dak.) ve üç farklı ilerleme miktarlarında (10, 20 ve 30 mm) delme işlemi yapılmıştır. Tornalama işleminde, üç farklı kesme hızında (100, 150 ve 200 m/dak.) ve üç farklı ilerleme miktarında (0,10, 0,20, 0,30 mm/dev.) kesme sıvısı kullanılmadan tornalama yoluyla yapılmıştır. Deney numunelerinin yüzey pürüzlülükleri ölçümlerinde en etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğu, delme işleminde en etkin parametrenin delme derinliği olduğu tespit edilmiştir.

Üç farklı firmada üretilen döküm malzemenin, çekilen SEM ve optik mikroskop görüntüleri ile kimyasal bileşimlerinin mikro yapıya olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Farklı kimyasal kompozisyona sahip olarak üç farklı firmada üretilen malzemenin farklı mikro yapı özelliklerinin, uygulanan işlenebilirlik deneylerinde, uygulanan kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak; mikro yapılarda küreselleşme farklılıkları tespit edilmiştir. Bu farklılaşmanın başında içerikte elementel olarak oluşturulan farklılaşmadan kaynaklanabileceği kanaatine varılmıştır.

Bilim Kodu : 710.1.092
Anahtar Kelimeler : Küresel Grafitli Dökme Demir, İşlenebilirlik, Yüzey Pürüzlülüğü, Metalografik özellik
Sayfa Adedi : 108
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Bülent BOSTAN

**SURVEYING THE PROCESSED SURFACE QUALITY
AND MICRO STRUCTURE OF THE
SPHERODIAL GRAPHITE IRON
(M.Sc.Thesis)**

Mehmet GENÇER

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2012**

ABSTRACT

In this study, three different compositions, spheroidal graphite cast iron was prepared to investigate the effects of micro-structural changes in the parameters of machinability. In this context, turning and drilling operations by applying the surface roughness values of the samples were analyzed.

The prepared samples, depth of cut was kept constant (1 mm), and three different cutting speeds (14, 18 and 22 m/0dak.) And three different feed quantities (10, 20, and 30 mm) made of the drilling operation. Turning the process, three different cutting speeds (100, 150 and 200 m / min.) And three different feed amount (0.10, 0.20, 0.30 mm / rev.) Was the method of turning the use of cutting fluid. The amount of progress in the measurement of surface roughness of the test specimens is the most effective parameter, in the drilling process the most effective parameter was found drilling depth.

With the SEM and optic microscopy images of the Cast materials which are produced by three different companies, effects of chemical compositions on micro structure were tried to be determined.

At the machinability tests, the effects of micro structure features of different samples produced in different companies on surface roughness occurred by cutting and improvement speed were tried to be determined.

As a result, differences in spheroidizing were identified in micro- structures. This differentiations were concluded that the differentiation was created by the elemental content.

Science Code : 710.1.092

Key Words : Spheroidal graphite cast iron, machinability, surface roughness, Metallographic features

Page Number : 108

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Bülent BOSTAN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocalarım, Doç. Dr. Bülent BOSTAN ve Yrd. Doç. Dr. Hamdi TAPLAK' a sonsuz teşekkür ederim.

Deney modellerinin hazırlanmasında ve numunelerin temininde yardımlarını esirgemeyen Sayın hocam, Kayseri Merkez Endüstri Meslek Lisesi Döküm bölüm şefi Muammer TANRIÖVER'e, Deneylerin yapılmasında Makine Teknolojileri Bölüm Şefi Bülent ÖZDEMİR'e, ve modellerin dökümünü yapan Kayseri döküm firmalarına, Kesme numunelerini hazırlanmasında yardımcı olan Sayın hocam Hayrullah DOĞAN'a Görev yaptığım Erkilet General Emir İlköğretim Okulu Müdürü Ekrem AKYÜREK'e ve mesai arkadaşlarıma, maddi ve manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli eşime, şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. DÖKME DEMİRLER.....	4
2.1. Dökme Demirlerin Kimyasal Bileşimi.....	5
2.2. Dökme Demirlerin Bileşiminde Bulunan Elementler	6
2.2.1. Karbon	7
2.2.2. Silisyum	7
2.2.3. Manganez.....	7
2.2.4 Fosfor.....	7
2.2.5. Kükürt	8
2.3. Küresel Grafitli Dökme Demirler	8
2.3.1. Küresel grafitli dökme demirlerin tarihçesi.....	8
2.3.2. Küresel grafitli dökme demirlerin tanımı	9
2.3.3. Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri.....	10

Sayfa

2.3.4. Küresel grafitli dökme demirlerin çeşitleri	13
2.3.5. Küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal özellikleri	15
3. İŞLENEBİLİRLİK	38
3.1. İşlenebilirliği Etkileyen faktörler	39
3.1.1. Sertlik ve dayanım	40
3.1.2. Süneklik	40
3.1.3. Isıl iletkenlik	40
3.1.4. Pekleşme	41
3.1.5. Kalıntılar	42
3.1.6. Kolay işleme katkıları	43
3.1.7. Malzemenin yapısı	43
3.1.8. Malzeme imalat yönteminin etkisi	44
3.1.9. Yüzey düzgünlüğü veya düzensizliği	46
3.1.10. Alaşım elementlerinin etkisi	46
3.2. Dökme Demirlerin İşlenebilirliği	47
3.3. Kesici Takım, Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü	49
3.3.1. Kesici takım geometrisi	49
3.3.2. Kesici takım malzemeleri	52
3.4. Talaş Oluşumu ve Geometrisi	52
3.4.1. Talaş tipleri	53
3.4.2. Talaş kaldırmayı etkileyen temel parametreler	55
3.5. Kesme Kuvvetleri	56

	Sayfa
3.6. Yüzey Pürüzlülüğü.....	60
3.6.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü.....	62
3.6.2. Doğal yüzey pürüzlülüğü.....	63
3.6.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler.....	63
4. MALZEME VE DENEYSEL METOD.....	66
4.1. Döküm Numuneler ve Analizi	66
4.2. Numunelerin Sertlik Ölçümü	67
4.3. Çekme Deneyi.....	68
4.4. Metalografik İnceleme	69
4.5. İşlenebilirlik Deneyleri.....	72
4.5.1. Tornalama İşlemi.....	72
4.5.2. Delik delme işlemi	75
4.5.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri.....	77
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	79
5.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları	79
5.2. Çekme Sonuçları	79
5.3. Metalografik İncelemeler	80
5.4. Numunelerin Sem ve EDS Analizleri	83
5.5. Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirme.....	89
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
KAYNAKÇA.....	98
EKLER	101
ÖZGEÇMİŞ	108

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Değişik tipteki dökme demirlerin kimyasal bileşimleri.....	6
Çizelge 2.2. KGDD’lerin mekanik özelliklerinin diğer döküm metaller ile karşılaştırılması	11
Çizelge 2.3. Farklı küresel grafitli dökme demirlere ait içyapı resimleri ve çekme mukavemeti değerleri	12
Çizelge 2.4. KGDD’lerin çeşitleri ve mikro yapısı.....	13
Çizelge 2.5. Genel olarak KGDD’lerin kimyasal bileşimi	16
Çizelge 3.1. Standart takım uçları	51
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi	67
Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri	73
Çizelge 4.3. Kullanılan kesici uçların geometrisi	74
Çizelge 4.4. Delik delme işleminde kullanılan parametreler	77
Çizelge 5.1. Numunelerin sertlik ölçümleri	79
Çizelge 5.2. Numunelerin çekme mukavemeti	80
Çizelge 5.3. Tornalama sonunda oluşan yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri	89
Çizelge 5.4. Matkapla delme sonunda oluşan yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri	90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Değişik tipteki dökme demirlerde karbon ve C ve Si miktarları	5
Şekil 2.2. Dallanma frekansı hipotezine göre bir grafit küresinin büyümesindeki muhtemel kademeler	21
Şekil 2.3. Yüzey enerjisi teorisine göre grafitin küresel biçimde büyüme olayı	21
Şekil 2.4. Faz sınırı teorisine göre küre şekilli grafitin büyümesindeki mümkün kademeler	24
Şekil 2.5. Magnezyum ile küreleştirme işlemi için uygun bir döküm potasının çap ve yüksekliği arasındaki bağıntılar	27
Şekil 2.6. Küreleştirici gereç pota dibinde	28
Şekil 2.7. Küreselleştirici gerecin sıvı metale verilmesi	28
Şekil 2.8. Küreselleştirici gerecin potadaki sıvı metalin üstüne atılması	29
Şekil 2.9. Küreleştirici gereç üzerinin kapatılması ve kırılması	30
Şekil 2.10. Daldırma (Plunger) yöntemiyle küreleştirme	31
Şekil 2.11. Üfleme yönteminin şeması	31
Şekil 2.12. Kalıpta küreleştirme	32
Şekil 2.13. Magnezyumun küreselleşmeye etkisi	33
Şekil 2.14. Magnezyum etkisinin işlem süresi ile değişimi	35
Şekil 2.15. Magnezyum ve aşılamanın mikro yapıda yaptığı değişim	36
Şekil 3.1. Talaş kaldırma işleminde işlenebilirliği etkileyen faktörler	40
Şekil 3.2. Isıl iletkenlik ile işlenebilirlik değerleri arasındaki ilişki	41
Şekil 3.3. Dökme demir tiplerinin birbirlerine göre işlenebilirlikleri	49
Şekil 3.4. Kesici takım standart kesme açıları	50

Şekil	Sayfa
Şekil 3.5. Talaş oluşumu dik kesme modeli.....	53
Şekil 3.6. Sürekli talaş.....	54
Şekil 3.7. Kesikli talaş	54
Şekil 3.8. Yığıntı talaş	55
Şekil 3.9. Metal kesme işleminin temel mekaniği	57
Şekil 3.10. Talaş kaldırma sürecinde etki eden gerilmelerin torna kalemünde şematik belirlenmesi.....	58
Şekil 3.11. Kesici takım üzerinde kuvvet bileşenlerinin etkisi	59
Şekil 3.12. Kesme kuvvetleri diyagramından çıkarılan hesaplama üçgenleri	60
Şekil 3.13. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler	61
Şekil 3.14. Yüzey pürüzlülük değerleri.....	62
Şekil 3.15. İdeal yüzey pürüzlülüğü.....	63
Şekil 4.1. Çekme deney numunesi ve ölçüleri	69
Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan kesici uçlar.....	73
Şekil 5.1. ED numunesine ait EDS analizleri	86
Şekil 5.2. KD numunesine ait EDS analizleri	87
Şekil 5.3. OD numunesine ait EDS analizleri	88
Şekil 5.4. Tornalama sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği	91
Şekil 5.5. Tornalama sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü - ilerleme miktarı.....	91
Şekil 5.6. Numunelerinde matkapla delme sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün farklı ilerleme miktarlarına göre değişimi (eğri).....	93
Şekil 5.7. Numunelerinde matkapla delme sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün farklı ilerleme miktarlarına göre değişimi (kutu).....	93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Çatlakları dolduran grafit taneciği	12
Resim 4.1. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan numuneler	66
Resim 4.2. Sertlik ölçüm cihazı	67
Resim 4.3 Çekme cihazı.....	68
Resim 4.4. Struers Dap-7 Marka zımpara makinesi	70
Resim 4.5. Mecapol P-230 marka parlatma cihazı	71
Resim 4.6. Taramalı elektron mikroskobu ve EDS bağlantısı	72
Resim 4.7. Taksan TTC 630 sanayi tipi CNC torna tezgahı	75
Resim 4.8. Delme işleminde kullanılan tezgah.....	76
Resim 4.9. Delme işleminde kullanılan numuneler	76
Resim 4.10. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	78
Resim 5.1. Farklı firmalarda üretilen döküm malzemelerin mikro yapıları	81
Resim 5.2. Çekme sonrası numunelerin SEM görüntüleri	82
Resim 5.3. ED numunesi SEM görüntüleri.....	84
Resim 5.4. KD numunesi SEM görüntüleri	84
Resim 5.5. OD numunesi SEM görüntüleri	85
Resim 5.6. ED numunesi SEM görüntüsü	85
Resim 5.7. KD numuesi SEM görüntüsü	86
Resim 5.8. OD numuesi SEM görüntüsü.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

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

Simgeler

Açıklama

A	Talaş Derinliği
Ce	Seryum
Fc	Esas Kesme Kuvveti
Mg	Magnezyum
N	Devir Sayısı
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
ϕ	kayma düzlemi açısı
V	Kesme Hızı
γ	Kesici Takım Talaş Açısı

Kısaltmalar

Açıklama

BUE	Yığıntı Talaş
BHN	Brinel Sertlik Numarası
CBN	kübik bor nitrür
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Denetim
HSS	Yüksek Hız Çeliği
KGDD	Küresel Grafitli Dökme Demir
OKGDD	Ostemperlenmiş küresel grafitli dökme demir
ISO	Milletlerarası Standardizasyon Teşkilatı
TS	Türk Standartları
PCD	Çok Kristalli Elmas

1. GİRİŞ

Dökme demir alanındaki ilk gelişme, aşılama işleminde başarıya ulaşılarak, gri dökme demir sınıfının, daha sonraki gelişme ise magnezyum ve seryum işlemlerinde başarı sağlanarak küresel grafitli dökme demir sınıfının kazanılmış olmasıdır. Günümüzde Küresel Grafitli dökme demirler otomotiv endüstrisi başta olmak üzere endüstrinin her alanında başarıyla kullanılmaktadır. Küresel grafitli dökme demir teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak, küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerini daha da geliştirmenin yolları aranmıştır. Ancak, yapılan çalışmalarda, grafit küreselden başka bir morfoloji kazandırmanın imkânsız olduğunun anlaşılması, araştırmacıları mekanik özellikleri, matrisin modifikasyonu yoluyla geliştirmek için çalışmaya itmiştir [1].

Dökme demirler mükemmel döküm alaşımlarıdır. Çünkü kolaylıkla ergitilirler, sıvı halde çok akışkandır ve katılaşıp istenilmeyen yüzey filmi oluşturmazlar. Dökme demirler katılaşıp ve soğurken çok az veya orta derecede çekme gösterirler. Bu alaşımların dayanım ve sertlikleri geniş bir aralıkta değişir ve çoğunlukla kolay işlenebilirler. Alaşımlanarak üstün mukavemet, aşınma ve korozyon dayanımına sahip olabilirler. Buna karşın dökme demirler nispeten düşük darbe dayanımına ve sünekliğe sahiptir ve bu onların uygulama alanlarını daraltmaktadır. Dökme demirlerin bu kadar yaygın olarak sanayide kullanılmalarının nedeni nispeten ucuz ve geniş bir mühendislik malzeme özellik aralığına sahip olmalarıdır [2].

Dökme demirlerin işlenebilirliği yapı ve sertlikle ilgilidir. Küresel grafitli dökme demirlerin kolay işlenebilirliğini etkileyen ve bu açıdan çeliklere üstün oluşunun önemli nedeni yapısındaki grafit partikülleridir. Grafit partikülleri kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkilerken, matris ise takım ömrünü belirleyen temel faktördür [3].

Küresel grafitli dökme demirler, tüm dökme demir türlerinin üretim özelliklerine ve çeliğin mekanik özelliklerine sahip bir malzeme gurubu olarak tanımlanır. KGDD'ler diğer dökme demir türlerine göre yüksek dayanım, süneklik, tokluk gibi özelliklere sahip olup, çeliğe göre daha kolayca dövülebilme ve işlenebilme özelliğine sahiptir. Üstelik üretimdeki büyük maliyet avantajı, kullanım alanını hem çelik hem de diğer dökme demirlere göre her geçen gün biraz daha genişletmiştir [1].

KGDD'lerin sahip olduğu üstün mekanik özellikler ilave alaşım elementleri ve ısıt işlemler ile elde edilebilmektedir. İlave edilen alaşım elementleri ve miktarları; sementit oluşumunu, grafit kümeleşmesi ve dağılımı ile matris mikro yapı türünü etkilediği için büyük önem taşımaktadır [4]. Ayrıca mekanik özellikler, alaşım elementleri, östenitleme ve östemperleme sıcaklıkları ve bekleme süreleri ile doğrudan ilişkilidir [5,6].

Ni ve Cu ile alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğini kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirmenin yapıldığı bir araştırmada, farklı oranlarda nikel ve bakır ile alaşımlandırılmış altı farklı küresel grafitli dökme demire işlenebilirlik testleri uygulanmış ve işlenebilirlik kriterleri olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü baz alınmıştır. Sonuçlar; numunelerin daha önceden belirlenmiş olan mikro yapı ve mekanik özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Bütün kriterlere dayanarak en iyi sonuçlar, % 0,7 Ni ve % 0,7 Cu ilave edilmiş numunede tespit edilmiştir [7].

Yapılan diğer bir çalışmada GGG 90 küresel grafitli dökme demir malzemesinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından ISO 3685'e uygun olarak işlenebilirliği araştırılmıştır. Deneyler, 250 mm uzunluğunda ve 90 mm çapında numuneler üzerinde, dört farklı kesme hızında (250, 300, 350 ve 400 m/dak), üç farklı ilerleme (0,2-0,25-0,3 mm/dev) ve 1,6 mm sabit kesme derinliğinde kuru kesme şartlarında tornalanarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, küresel grafitli dökme demirler için kaplamasız sementit karbür, sementit karbür, K05/10 kalite PVD yöntemiyle kaplanmış, sermet ve seramik takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlar karşılaştırıldığında kaplamasız karbür takımla en iyi yüzey pürüzlülüğü elde

edilmiştir. En düşük kesme kuvvetleri ise kaplamalı karbür takımla yapılan deneylerde ölçülmüştür. Sermet takım aşınma deneylerinde en iyi performansı gösterirken, seramik takımın kesici kenarında yivler oluşmakta ve kırılarak aşınmakta olduğu belirtilmiştir. [7].

Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin (ÖKGDD) sinterlenmiş karbür kesici takımlar ile işlenmesinde takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri deneysel olarak araştırılmıştır. Numuneler tuz banyosunda 900°C de 60 dakika süreyle östenitleme işlemine tabi tutulmuş ve sonra 250°C ve 325°C’ ta 60 dakika süre ile östemperleme yapılmıştır. Kesme kuvvetleri Kistler marka dinamometre ile ölçülmüştür. Deneyler sabit ilerleme, kesme derinliğinde ve 75 ile 250 m/dak arasında değişen kesme hızlarında yapılmıştır. Deneyler sonucunda, düşük östemperleme sıcaklıklarının kesme kuvvetlerinin artmasına neden olurken, daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Östemperleme sıcaklığı azaldıkça takım ömrü azalmıştır [8].

Yapılan bu çalışmada, üç farklı bileşimde küresel grafitli dökme demir numuneler hazırlanarak, mikro yapısal değişimlerin işlenebilirlik parametrelerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, numunelere tornalama ve delik delme işlemleri uygulanarak yüzey pürüzlülük değerleri analiz edilmiştir.

2. DÖKME DEMİRLER

Yüksek fırından elde edilen sıvı ham demirin kalıplara dökülerek katılaşmasından elde edilen yarı-mamule “PİK” pikin ergitme fırınlarında tekrar ergitilerek ve gerekirse bileşimini de değiştirmek suretiyle, belli bir modele göre önceden hazırlanmış bir kalıp içerisine dökülmesi ve kalıp boşluğunun şeklini alarak katılaşmasıyla meydana gelen malzemeye “DÖKME DEMİR” denilir.

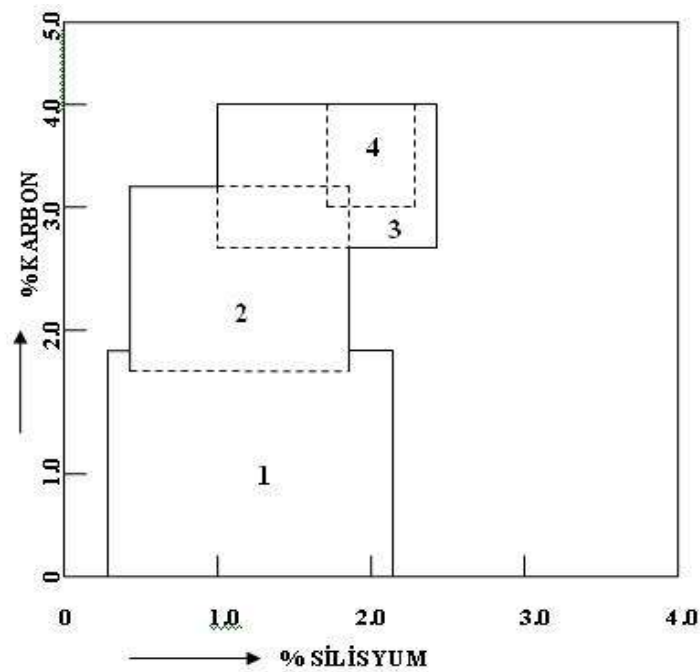
Dökme demirler birçok özelliğinden dolayı döküm endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Dökme demirler, gerek döküm ve gerekse mamul parça özellikleri bakımından birçok üstünlüklere sahiptir. Bunların başlıcaları:

- a) Düşük eğrime sıcaklığı (1150 -1300) ,
- b) İyi akışkanlık (ötektik bileşime yakınlık) ,
- c) Döküm ve kalıp şeklini alabilme kabiliyetinin üstünlüğü,
- d) Ergitme ve döküm işlemlerinin ekonomikliğı,
- e) Çeşitli kısımlardan ibaret bir iş parçasının tek bir işlemle elde edilebilmesi,
- f) Talaşlı imalat tekniğinde iyi işlenebilmesi,
- g) Titreşim önleme özelliğinin çok iyi olması,
- h) Basma mukavemetinin yüksek olması,
- i) Aşınma ve korozyona dayanıklılığı,
- j) Kimyasal bileşim sınırlarının genişçe tutulabilmesi ve yakın özellikler elde edilebilmesi, olarak sıralanabilir,
- k) Isıl yorulma.

Dökme demirlere ait yukarda belirtilen iyi özelliklerin yanında, bilhassa mühendislik projelerinde aranan mukavemet ve esneklik gibi özellikleri zayıf kalır. Zira dökme demirlerde kopma mukavemeti $14-28 \text{ kg/mm}^2$ sınırları içinde, kopma uzaması ise, hemen hemen yok denecek kadar küçük miktardadır [9].

2.1. Dökme Demirlerin Kimyasal Bileşimi

Dökme demirlerin yapısına en çok etki eden elementler karbon ve silisyumdur. Karbon ve silisyum miktarlarının az veya çok olması, esmer dökme, beyaz dökme, temper dökme demir, küresel grafitli dökme demiri ve çelik dökümleri oluşturur. Şekil 2.1’ de silisyum ve karbon yüzdelere göre dökme demir tipleri verilmiştir [9].



Şekil 2.1. Değişik tipteki dökme demirlerde karbon ve silisyum miktarları [10]

- | | |
|-------------------------|------------------------------------|
| 1. Çelik Dökümler | 3. Gri Dökme Demir |
| 2. Beyaz Dökme Demirler | 4. Küresel Grafitli Dökme Demirler |

Çizelge 2.1. Değişik türdeki dökme demirlerin kimyasal bileşimleri [11]

Elementler	Lamel Grafitli Dökme Demir %	[*] Beyaz Dökme Demir %	Yüksek Dayanıklı Esmer Dökme Dökme Demir %	[**] Küresel Grafitli Dökme Demir %	[***] Temper Dökme Demir %
Karbon	2,50 – 4,00	1,80 -3,60	2,80 -3,30	3,00 -4,00	2,00 -3,00
Silisyum	1,00 -3,00	0,50 -1,90	1,40 -2,00	1,80 -2,80	1,00 -1,80
Manganez	0,40 -1,00	0,25 -,080	0,50 -0,80	0,15 -0,90	0,20 -0,50
Fosfor	0,05 -1,00	0,06 -0,18	0,15 Max.	0,10 Max.	0,01 -0,10
Kükürt	0,05 -0,25	0,06 -0,18	0,12 Max.	0,03 Max.	0,02 -0,17

[*] Isıl işlem ile temper dökme demire dönüştürülür.

[**] Bileşiminde 0,01–0,10 magnezyum bulunmaktadır.

[***] Bileşiminde % 0,0005–0,0050 boron ve % 0,0005–0,0150 alüminyum bulunmaktadır.

Dökme demirlerin özellikleri alaşımın kimyasal bileşimine bağlıdır. Çizelge 2.1’ de dökme demirlerin kimyasal bileşimleri verilmiştir. Bileşime en fazla karbon ve silisyum etki eder. Bu iki elementin alaşım içindeki miktarı ve grafit oluşmasına olan etkileri, dökme demirin kimyasal bileşiminde, dolayısıyla dökme demirin özelliklerinde büyük değişmelere sebep olur. Karbon, dökme demirde demir karbür (sementit-Fe₃C) halinde bulunursa bileşik karbonu, serbest olarak bulunursa grafitleri oluşturur. Grafitin oluşması, serbest karbonun çökmesi veya kimyasal olarak bağlı bileşik karbonun, serbest hale dönüşmesi olayıdır. Dökme demirlerde grafitin oluşması % 2 ve daha fazla karbon olmasına bağlıdır. Silisyum demir karbür oluşumunu azaltır ve grafit oluşmasında artırıcı rol oynar [12].

2.2. Dökme Demirlerin Bileşiminde Bulunan Elementler

Dökme demirin bileşiminde bulunan elementler çok önemlidir. Dökme demirin birleşiminde ana yapısı olan demirden başka karbon, silisyum, manganez, fosfor ve kükürt bulunur. Bunlardan kükürt, dökme demirin özelliklerinde zararlı etki gösterdiğinden, bileşimde bulunması pek istenmez. Fosforun faydası da belli miktara kadardır. Bunun da fazla miktarda olması, dökme demirin özellikleri bakımından

zararlıdır. Bu iki element dışındaki karbon, silisyum ve manganez dökme demirde bulunması zorunlu olan elementlerdir.

2.2.1. Karbon

Dökme demirin bileşiminde bulunan karbon % 2-4 arasındadır. Karbon dökme demirin ergime sıcaklığını düşürür ve akıcılığını artırır. Karbon, dökme demirin bileşimine ve soğuma hızına bağlı olarak serbest veya bileşik (karbür) halinde bulunur. Bileşiminde serbest karbon bulunması alaşımın grafitli olduğunu veya grafitleşmeyi artırıcı elementlerin bulunduğunu gösterir. Bileşik karbon bulunması ise alaşımın sementit (Fe_3C) olduğunu veya karbürleştirici elementlerin bulunduğunu gösterir [11].

2.2.2. Silisyum

Dökme demir bileşimindeki silisyum % 0.50 -3.50 arasında değişir. Silisyum dökme demirin katılaşmasında karbonun bileşik halden grafit halinde ayrılmasına yardım eder. Silisyumun % 3.50'den fazla bulunması alaşımın sert ve kırılgan olmasına sebep olur. Dökme demirlerden istenen özellik, bileşimindeki silisyum miktarının ayarlanması ile sağlanır.

2.2.3. Manganez

Dökme demirin içinde genel olarak % 0.50 -1.00 arasındadır. Bileşimindeki karbonun demirle bileşik halde bulunmasına yardım ederek dökme demirin sert ve kırılgan olmasına sebep olur. Manganez, kükürdün kötü tesirlerini gideren bir elementtir. Kükürt ile birleşir ve Mangan sülfür (MnS) halinde cürufa karışır.

2.2.4. Fosfor

Dökme demir bileşiminde bulunan az miktardaki fosfor, serbest halde olmayıp demirle birleşmiş olarak Demir-Forfür (Fe_3P) halinde bulunur. Fosfor, demir içinde

ergir ve yapının mikroskopla incelenmesinde görülmez. Fosfor, dökme demirin akıcılığını artırır. Ayrıca karbonun, grafit halinde ayrılmasını sağlar. Fosfor miktarı arttıkça dökme demirin sertliği artar, dayanımı azalır.

2.2.5. Kükürt

Karbonun, grafit halinde ayrışmasını güçleştirir. Dökme demirin bileşiminde demir sülfür (FeS) ve manganle birleşmiş olarak mangan sülfür (MnS) halinde bulunur. Demir alaşımları içinde daima zararlı etkisi olan kükürt, esmer dökme demir bileşiminde % 0.15'den fazla bulunmamalıdır. Bileşiminde fazla kükürt olması dökme demirin sertliğini artırır ve akıcılığını azaltır. Bunun sonucu olarak da döküm parçalar gaz boşluklu olarak çıkar [11].

2.3. Küresel Grafitli Dökme Demirler

2.3.1. Küresel grafitli dökme demirlerin tarihçesi

Metal malzemelerin ilk kullanılmaya başladığı yıllardan günümüze kadar olan süreç içerisinde, optimum mekanik özelliklerin elde edilebileceği malzeme türleri üzerinde sürekli bir araştırma söz konusudur. Bu tarihsel süreç içerisinde imalat sanayisinde yerine alan ve geçmişi çok eskilere dayanan Küresel Grafitli Dökme Demirler (KGDD) son zamanlarda önemli kullanım alanı bulmuştur [13].

Küresel grafitli dökme demir ilk defa 1948 yılında Amerikan Dökümcüler Birliği'nin metal dünyasına üstün özelliklerde yeni bir demir esaslı döküm malzemesi olarak tanıtılmasıyla ortaya çıkmıştır. 2. Dünya savaşına ABD' nin katılımı ile kritik bazı metallerin ikmalinde problemlerin doğması, krom elementinin etkisine sahip aşınmaya dayanıklı beyaz dökme demirin krom yerine kullanılabilecek diğer bir elementle üretiminin gerçekleştirilebilmesi büyük bir rekabet oluşturmuştur. [14,15].

International Nickel Company karbür yapıcı etkisi olan elementler üzerine çalışmalara başlamış ve tüm akla gelen elementlerin etkilerini araştırmıştır. Nisan 1943’de % 3,2 C, % 1,75 Si, ve % 1 Ni içeren GG20 dökme demir ile % 3,5 C, % 2,25 Si, % 2 Ni GG14 dökme demiri 80–20 Ni-Mg alaşımı kalıcı Mg miktarı % 0,15 -% 0,3 – % 0,4- % 0,5 olacak şekilde verilmiştir. Bu işlemde sonra potada % 0,5 FeSi 85-15 alaşımı ile aşılama yapılarak deney çubukları dökülmüştür. Çekme dayanımı deney sonuçları gri dökme demirin özelliklerinin daha yüksek değerlere ulaştığını göstermekle kalmayıp yeni bir malzemenin üretilmiş olduğunu ortaya koymuştur [14].

Yapılan mikroskobik çalışmalar grafitin lamel şeklinde olmayıp küresel bir yapıda olduğunu ortaya koymuştur. Böylece yüksek karbon değerine sahip dokusunda küresel grafitlerin olduğu, mekanik özellikler yönünden çelik döküme özdeş, üretim yöntemi yönünden dökme demir karakteri taşıyan yeni bir malzeme endüstriye kazandırılmıştır. Düşük ergime derecesi, iyi akışkanlık ve dökülebilme, iyi işlenebilme özelliği, iyi kesme mukavemeti gibi gri dökme demirin özellikleriyle yüksek mukavemet, tokluk, süneklik, sıcak işlenebilme ve sertleştirme gibi çeliğin üstün özelliklerini bir arada bulunduran yeni bir grup ortaya çıkmış oldu [16].

2.3.2. Küresel grafitli dökme demirlerin tanımı

Küresel grafitli dökme demir, dokusu içerisindeki grafitleri küresel şekilde olan demir-karbon döküm malzemedir. Sıvı demire bir miktar kimyasal elementlerin ilavesiyle grafitler yaprak yerine küresel olarak katılırlar.

Bu elementlerin en önemlilerinden ikisi seryum (Ce) ve magnezyum (Mg)’ dur. Magnezyum ve seryumun sıvı demire ilave yöntemleri ve reaksiyon prensipleri yönünden aynıdır. Dökme demirler, Magnezyum veya diğer özel elementler ile alaşım yapıldığında, demir içerisindeki grafitler küresel biçimde katılarak yüksek dayanım özelliklerinde bir malzemeye dönüşür. Küresel grafitli dökme demir olarak bilinen bu malzeme, dökme demir türleri içerisinde en dayanıklı ve tok olanıdır.

Dökme demir kırılıgandır. Küresel grafitli dökme demir (KGDD) ise diğeri dökme demirlerden farklı olarak sünektir. Dökme demirin iyi bilinen dökülebilirlik, işlenebilirlik, yüklenme kapasitesi ve üretim özellikleri gibi özelliklerine ilave olarak KGDD’ lerde geniş mukavemet aralıkları, aşınma direnci, yorulma direnci, tokluk ve süneklik özellikleri vardır.

Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri oldukça iyidir. Talaşlı imalat işçiliğı kolaydır. Korozyona karşı dayanıklıdır. Dökülecek parçaların konstrüksiyon (kesit dağılımı) bakımından sınırlandırılmasına gerek yoktur. Küresel grafitli dökme demir birçok yerde gri dökme demir, dökme çelik ve demir olmayan metal alaşımlarının yerine kullanılmaktadır. Küresel grafitli dökme demirler; “nodular cast iron, ductile iron, fonte sphreroidale graphit, kufelgrapfit gusseisen, spheregus” isimleri ile birçok ülkede tanınır. Türk standartlarındaki adı ise KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ' dir. Rumuzu “DDK” dir [17].

2.3.3. Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri

Küresel grafitli dökme demir, ismini bileşimdeki küresel şekilli grafitlerden alır. Bu dökme demire sfero dökme demir de denir. Lamel grafitlerde görülen çentik etkisini azaltmak amacıyla, katılaşma sırasındaki müdahalelerde (%0,5 Ce veya % 0,5 Mg ilavesi gibi) içyapıda küre şeklinde grafit oluşumunun sağlandığı dökme demirlerdir. Küre şekilli grafitler dökme demire yumuşaklık (süneklik) kazandırır. Küresel grafitli dökme demirin bileşimi ile gri dökme demirin bileşimi arasında önemli fark yoktur. Fakat özellikleri kullanma amaçları ve alanları bakımından büyük farklar vardır. Gri dökme demirin yapısında grafitler lamel halindedir. Bu grafitler yapı içerisinde boş hacim meydana getirerek dayanımı düşürürler. Gri dökme demirin sayısız fayda ve kullanım alanı olmasına rağmen içerisine bazı ilave elementler konularak küresel grafitli dökme demirin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Endüstrinin bütün alanlarındaki kritik parçalarda KGDD’in çok sayıdaki başarılı uygulamaları bu malzemenin çok yönlülüğünü belirtir ve beraberinde pek çok ilave özellikler; elastik davranış, statik dayanım, süneklik, sertlik, kırılma tokluğu ve

yorulma özellikleridir. Mekanik özelliklerin yanı sıra ısı genleşme, ısı iletkenlik, ısı kapasitesi, yoğunluk, manyetik ve elektriksel özellikler ile şekil verilebilirlik ve işlenebilirlik KGDD’lerde ön plana çıkan özelliklerdir. Bu özelliklerin benzer metaller ile karşılaştırılması Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

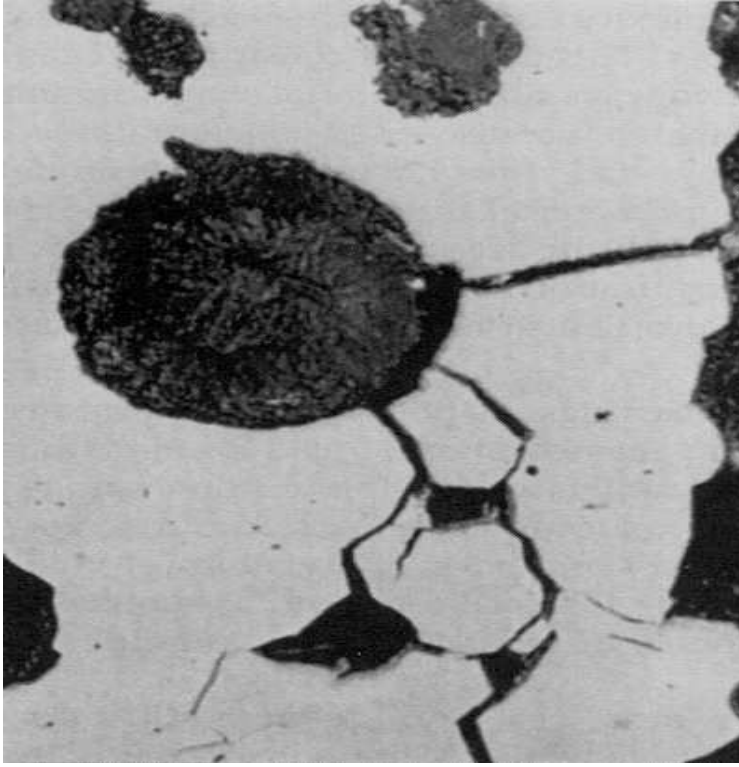
Çizelge 2.2. Küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerinin diğer döküm metaller ile karşılaştırılması [9]

Karakteristik	KGDD	Dövme Demir	Gri Demir	Dökme Çelik*	Beyaz Demir
Dökülebilirlik					
İşlenebilirlik					-
Sönümlenme					
Sertleştirilebilirlik					-
Elastisite Modülü					-
Darbe Direnci					-
Korozyon Direnci					
Mukavemet/Ağırlık					-
Aşınma Direnci					
İmalat Maliyeti					

* %0.3 C içeren

İYİ
KÖTÜ

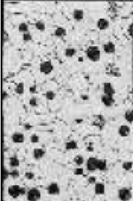
Küresel grafitli dökme demirler tek bir malzeme değil, içyapı kontrolüyle farklı özelliklere sahip olabilen bir malzeme grubudur. Bütün bu malzemelerin ortak özelliği küresel yapıya sahip olabilen bir malzeme grubudur. Bütün bu malzemelerin ortak özelliği küresel yapıya sahip grafit tanecikleridir. Resim 3.1’den de görüleceği gibi grafit tanecikleri çatlakları doldurma görevi üstlenirler ve KGDD’ in sünek olmasını sağlar [9].



Resim 2.1. Çatlakları dolduran grafit taneciği [9].

Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri, yapısındaki yüksek miktardaki grafit içeriğiyle birlikte, matris yapısı ile belirlenir. Çizelge 2.3’de içyapı ve çekme mukavemeti arasındaki bu ilişkiyi göstermektedir. Matris yapısının bu öneminden dolayı KGDD sınıflandırılması matris yapısına göre yapılır.

Çizelge 2.3. Farklı küresel grafitli dökme demirlere ait içyapı resimleri ve çekme mukavemeti değerleri [9].

MATRİS YAPISI							
Feritik	Feritik - Perlitik	Perlitik	Martenzitik	Temperlenmiş Martenzitik	OKGDD	OKGDD	Ostenitik
414MPa	552 MPa	690 MPa	-	793 MPa	1050 MPa	1600 MPa	310 MPa
							

2.3.4. Küresel grafitli dökme demirlerin çeşitleri

Küresel grafitli dökme demirlerde gerek döküm işlemi sırasında gerekse sonradan uygulanan ısıtma işlemleri ile farklı içyapılara sahip KGDD'ler elde edilmektedir. Bu içyapılar KGDD'lerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda ostenit yapıya sahip küresel grafitli dökme demir 735 °C'nin altındaki sıcaklıklarda değişik yapıya sahiptir. Ostenit içinde çözülebilen karbon miktarı yaklaşık % 1'dir. Karbon ferrit içinde yok denecek kadar az çözülür. Bundan dolayı ostenitin ferrite dönüşümü sırasında % 1 karbon ostenitten ayrışır. Ayrışan karbon karbür olarak oluşur ve mevcut küresel grafitler üzerinde katılaşır. Ostenit içinde çözünen karbonun tamamı küresel grafitte dönüşmeye zaman bulursa yapı ferritik ve yapı içinde gelişmiş güzel dağılmış küresel grafitlerden oluşur. Birçok hallerde ostenitten ayrılan karbon grafitlerin bulunduğu bölgelere kadar hareket edemez ve orada katılaşmaya zaman bulamaz. Çizelge 2.4'de küresel grafitli dökme demirlerin çeşitleri ve bunların mikro yapıları gösterilmiştir [17].

Çizelge 2.4. KGDD'lerin çeşitleri ve mikro yapısı [17].

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN MİKRO YAPI VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ					
Malzeme Cinsi	GGG 40	GGG 50	GGG 60	GGG 70	GGG 80
Mikro Yapı	FERRİTİK	←————→			PERLİTİK

Ferritik küresel grafitli dökme demir

Ferit matris yapısı içerisine dağılmış grafit kürecikleri dökme demire iyi bir süneklik ve darbe direnci ile birlikte düşük karbonlu çeliklere eşdeğer bir çekme ve akma mukavemeti sağlar.

Ferritik KGDD elde etmek için üç yol vardır: sıvı dökme demire ağırlığına uygun miktarda magnezyum alaşımı katmak; perlitik küresel grafitli dökme demire ısıtma

işlem uygulamak ve sıvı küresel grafitli dökme demirin katılaşmasını çok yavaş bir şekilde yapmak. Ferritik KGDD döküm yoluyla elde edilebilir ancak sertleştirme tavlama ile maksimum süneklik ve düşük sıcaklık tokluğuna sahip olması sağlanabilir.

Ferritik – perlitik küresel grafitli dökme demir

Bu tip malzemeler en yaygın küresel grafitli malzeme çeşididir ve genellikle doğrudan döküm yoluyla elde edilir. Grafit kürecikleri hem ferrit hem de perlit içeren matris yapı içerisine dağılmış olarak bulunur. Mekanik özellikleri perlitik ve ferritik küresel grafitli dökme demirlerin arasındadır. İşlenebilirliği iyidir ve üretim maliyetleri düşüktür.

Perlitik küresel grafitli dökme demir

Perlit matris yapısı içerisinde bulunan grafit kürecikleri dökme demire, yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci ve ortalama süneklik ve darbe direnci kazandırır. İşlenebilirlik ise benzer mekanik özelliklere sahip çeliklere göre oldukça üstündür. Yukarıda belirtilen üç grup KGDD en yaygın olanlarıdır ve genellikle döküm yoluyla elde edilir. Bunların dışında ısıtma işlemleri yoluyla farklı içyapılara sahip küresel grafitli dökme demirler elde edilebilmektedir.

Martenzitik küresel grafitli dökme demir

Bu cins KGDD’de perlit oluşumunu önlemek için yeterince alaşım elementi ilavesi yapılır veya su verme+temperleme ısıtma işlemi uygulanır. Isıtma işlemi sonucunda oluşan temperlenmiş martenzit yapısı yüksek statik dayanım ve aşınma direnci yanında düşük süneklik ve tokluk sağlar.

Beynitik küresel grafitli dökme demir

Küresel grafitli dökme demirin bu cinsi alaşımlama veya ısıtma işlemi uygulanarak elde edilen sert ve aşınma dirençli bir malzemedir.

Ostenitik küresel grafitli dökme demir

Ostenitik matris elde etmek için alaşımlanan bu cins küresel grafitli dökme demir, korozyon ve oksidasyon direnci, üstün manyetik özellikler, statik dayanım ve yüksek sıcaklıklarda boyutsal değişimin kararlı olmasını sağlar. Matris ostenitten ve az miktarda perlitten oluşur. Grafitler küresel şekillerini bir miktar kaybederler. Genellikle yüksek miktarda Ni içerirler.

Ostempirlenmiş küresel grafitli dökme demir (OKGDD)

Küresel grafitli dökme demir ailesine en son katılan ostempirlenmiş KGDD geleneksel KGDD'e özel bir ostempirleme ısıtma işlemi uygulanarak elde edilir. Bu cins düşük maliyet, tasarım esnekliği, işlenebilirlik, yüksek dayanım, tokluk, aşınma direnci ve yorulma dayanımlarına sahiptir. Herhangi bir cins KGDD'e ostempirleme ısıtma işlemi uygulanarak OKGDD elde edilebilir [9].

2.3.5. Küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal özellikleri

Dökme demirlerin özellikleri ve kullanışları üzerinde kimyasal bileşimin etkisi büyük ölçüde iki alaşım elementine (C ve Si) ve bunların grafit oluşumuna olan etkilerine bağlıdır. Her iki element de artan yüzdelerde grafit oluşumunu artırıcı rol oynar. Çizelge 2.5'te KGDD'in bileşiminde bulunan elementler ve bunların miktarları gösterilmektedir [17].

Çizelge 2.5. Genel olarak KGDD’lerin kimyasal bileşimi (TS 526) [17].

% BİLEŞİM		
Karbon	(C)	3.00-4.00
Silisyum	(Si)	2.00-3.00
Mangan	(Mn)	0.10-0.90
Fosfor	(P)	0.10 Max.
Kükürt	(S)	0.03 Max.
Magnezyum	(Mg)	0.030-0.080

Karbon dökme demirde karbür (sementit) halinde bulunabilir ve bu durumda “birleşik karbon” olarak tanımlanır veya serbest şekilde grafit halinde de oluşabilir. Grafitleşme olayı ya serbest karbonun çökmesi ya da kimyasal bileşik halindeki karbonun serbest hale dönüşmesi olayıdır. Grafitleştirici elementler grafit oluşumunu teşvik ederler.

Küreselleştirici elementlerin ve kükürdün dışındaki bileşimdeki (C), silisyum (Si), mangan (Mn) ve fosforun (P) alaşımın özelliklerine etkileri gri dökme demirin özelliklerine olan etkileri gibidir. Bileşimdeki karbon miktarı arttıkça alaşımın dayanımı azalır. Fosfor gri dökme demirde olduğu gibi küresel grafitli dökme demirde de alaşıma kırılganlık veren bir elementtir. Bu nedenle fosfor alaşım içinde bulunabildiği minimum miktarda yani % 0,10 civarında tutulması zorunludur. Alaşımın sertliğini ve kırılganlığını artırmamak için bileşimdeki mangan miktarı maksimum % 0,50 civarında olmalıdır. Küreselleştirici elementlerin etkilerinin azalmaması için küresel grafitli dökme demirin oluşumunda kullanılması en sınırlı olan element kükürttür. Bileşim içinde % 0,02 den fazla olmamalıdır.

Küresel grafitli dökme demir bileşimindeki ana elementlerin kontrolü

Karbon

Ticari küresel grafitli dökme demirde karbon oranı % 3-4 arasında değişir. Ancak arzu edilen karbon genellikle daha dar limitler içindedir. Grafit küreleri, karbon

yüzdesine doğrudan bağlıdır. Bir başka deyişle karbon yüzdesi arttıkça grafit küre sayısı da artar. Karbon oranındaki artış miktarı; akışkanlık ve besleme özelliklerini de iyileştirerek dökülebilirlik kabiliyetini artırır. Karbon eşdeğerliği 4,3 den daha büyük olması grafit kürelerin oluşumunu ve büyümesini teşvik eder. Karbon eşdeğerliği 4,6 dan daha büyük olan bileşimlerde ve 2,64 cm den daha kalın kesitlerde grafit kürelerin döküm parçasının üst yüzeyine doğru yüzmesi ve karbon segregasyonuna neden olması doğaldır.

Silisyum

Küresel grafitli dökme demirde silisyum miktarı normal olarak % 1,80 ile % 2,80 arasındadır. Silisyum miktarı karbon eşdeğerliği etkilediği için grafitleşme ve karbon segregasyonu üzerinde de önemli rol oynar. Silisyum ötektoid dönüşümünde oluşan ferritin oranını ve sertliğini artırarak dökme demir mukavemetinde de bir artış meydana getirir. Silisyum, daha çok ferreo-silisyum olarak işlem sonunda sıvı metale ilave edildiğinde (aşılama) grafit küre sayısının kontrolü açısından daha etkin olur.

Kükürt

Küresel grafitli dökme demirde kükürdün en önemli etkisi grafitleri küreleştirmek amacıyla ilave edilen Mg miktarını artırmaktır. Dökme demirde Mg ilavesinden önceki kükürt oranı ergitmedeki uygulamanın ve şarj bileşiminin fonksiyonu olarak değişiklik gösterir. Mg ilavesinde sonraki kükürt oranı yaklaşık % 0,015 civarındadır.

Fosfor

Küresel grafitli dökme demir de fosfor, “Steadit” olarak bilinen çok kırılgan bileşiğin oluşumuna yol açar. Fosfor, malzemenin tokluk ve sünekliğini kötü yönde etkilediği için, genellikle % 0,005 maksimum değerinde sınırlandırılır.

Manganez

Önem sırasında karbon ve silisyumdan sonra yer alan elementtir. Döküm halinde karbürlerin oluşmasını önlemek için mangan oranını kontrol altında tutmak gerekir. Manganez orta dereceli bir karbür oluşturunca etkisi olduğundan silisyum yüzdesi ve kesit aralığına bağlı olan bir maksimum değerde sınırlanır. Kesit kalınlığı 25 mm veya biraz fazla olan ince dökümlerde, mangan karbür oluşumunu teşvik edici etkisi, artan silisyum miktarı ile karşılanmakta ve bu durum döküm inceldikçe devam etmektedir. 12 mm kesit kalınlığındaki bir döküm parçası için silisyum oranının % 2,5 dan % 3,0'e artışı, mangan oranının % 0,35'e artmasına imkân verir. Kalın kesitli döküm parçalarında segregasyon nedeniyle bu tür manganez artışı söz konusu olmaktadır.

Magnezyum

Grafitin küresel formda olması için gerekli magnezyum miktarı %0,02 den fazla olabilir. Sıvı dökme demirdeki kükürt ve oksijeni gidermek için kullanılır. İhtiyaç duyulana üzerinde magnezyum miktarı grafit şeklini bozucu ve küre sayısını azaltıcı etkiye sahiptir [15].

Diğer elementler

Karbür oluşturunca magnezyum gibi hatta ondan daha kuvvetli elementler krom, vanadyum, bor, tellüryum ve molibdendir. Bu elementlerin tavsiye edilen maksimum oranları şunlardır.

Cr = %0.05

V = %0.03

B = %0.003

Te = %0.003

Mo = %0.01-0.75

Ancak bu değerler döküm parçasının kesitini göz önüne almayan ortalama değerlerdir. Belirtilen elementlere ilaveten nikel, bakır ilaveleri ile de daha tok, ve mukavemetli, yüksek sıcaklığa ve korozyona direnci daha yüksek alaşımlar elde edilir. Yine nikel ya da kurşun ilavesiyle küreselleşme arttırılabilir [9].

Katılaşma ve grafit oluşumu

Gri dökme demirlerde katılaşma, genelde azalan sıvıya karşı büyüyen östenit hücreleri ve grafit lamelleri şeklinde gelişir. Gri dökme demirin katılaşması tamamlandıktan sonra daha yavaş soğuma sonucu katı östenitten karbon ayrışmakta ve mevcut grafit lamelleri üzerine grafit çökmesi meydana gelmektedir. Sonuçta ötektoid sıcaklık aralığındaki soğuma ile, alaşım elementlerinin etkisine veya soğuma hızına bağlı olarak ferritten, perlit kadar çok çeşitli matriks yapısı meydana gelebilmektedir. Buna karşılık aynı karbon miktarı değerleri için küresel grafitli dökme demirde ötektiğin katılaşması, lamel grafitli ötektikten daha yüksek sıcaklıkta başlar. Bu durumda küre şekilli grafit bir östenit kabuğu ile örtülüdür ve yalnız bir faz (östenit) ötektik sıvı ile temas halindedir. Bu tip katılaşma “neoötektik” tabir edilmektedir. Her bir grafit küresi ve östenit kabuğu bir hücre olarak kabul edilebilir, grafit kürelerin büyüebilmesi için karbonun östenit kabuğundan içeriye doğru yayılması gerekir ki bunun sonucu, katılaşma olayı gri dökme demirinkine nazaran daha yavaş olmakta ve “neoötektik katılaşma” aralığı 49 °C kadar olabilmektedir.

Küresel grafitli dökme demirde sıvı metal, gri dökme demire nazaran daha geniş bir sıcaklık aralığında ve daha düşük sıcaklıklarda olabilmektedir. Neoötektik büyüme başladıktan sonra, başka küresel grafit çekirdeklenmesi olmaz, dolayısıyla grafit kürelerin sayısı katılaşmanın hemen başlangıcında belirlenmiş olmaktadır. Ötektoid sıcaklığına kadar mevcut grafit küreleri üzerine grafit çökmesi meydana gelir. Gri dökme demirde olduğu gibi ötektoid sıcaklığından geçerkenki hızı ve alaşımlandırma, matriks yapısını tayin eder. Tamamen küresel grafitli yapının elde edilmesinde, uygun sayıda kürenin olması gerekir. Küre sayısının az olması karbonun yayımlayabileceği yer sayısının az olması demektir ve bunun sonucu, işlem

değişkenlerine ve bileşimine bağlı olarak, devam eden soğuma esnasında ya lamel şekilli grafitler ya da demir- karbür oluşacaktır.

Hipoötektik bileşimli küresel grafitli dökme demirlerde ostenit dentritlerinin oluşumu ile katılaşma başlar. Hipeötektik bileşimlerde ise katılaşma genel hatlarıyla aynı olup tek ayrıcalığı, ilk katılaştıran faz (primer) küre şekilli grafitlerdir. Küresel grafitli dökme demirlerin katılaşmasının etüdü, soğuma eğrilerinin incelenmesi ve metalografik etüdün yapılması yoluyla olur. Katılaşmanın yukarıda verilen tarifinde bazı ufak münakaşalı noktalar olmakla beraber genel hatlarıyla gerçek durumu tanımladığına inanılmaktadır. Küresel grafitin kristalleşmesi konusunda birkaç değişik teori vardır.

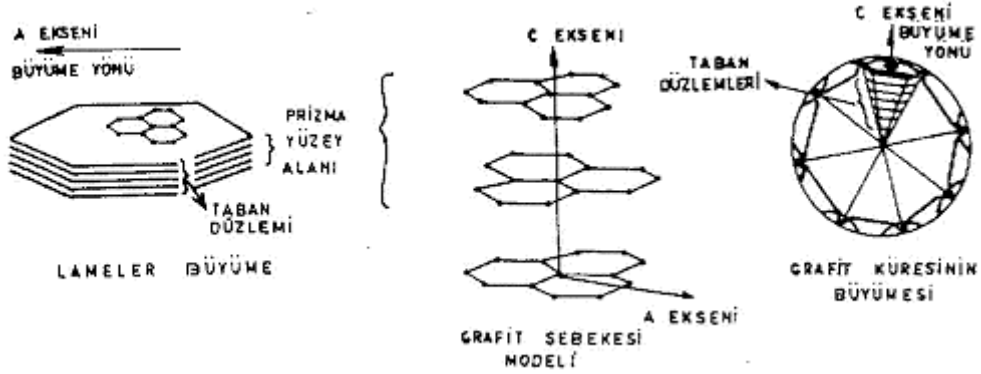
Birinci teori “Grafit şekli çekirdek tarafından tayin olur” görüşü, grafitlerin küresel şekilli oluşlarının açıklanmasında önceleri en popüler olan bu teori esas olarak, yabancı taneciklerin muhtemel küreleştirici element bileşikleri grafitlerin her yönde aynı hızla büyümelerine neden olan çekirdek görevi gördükleri temeline dayanmaktadır. Metalografik kanıtın olmayışı bu teorinin en eksik yanıdır; çünkü grafit kürelerinin polikristalin yapısı açıklanamamaktadır.

İkinci teori ise küresel grafit kristalizasyonu, büyüyen grafit dendritlerinin dallanma olasılığının artması ile meydana gelmektedir. Bu açıklamada bir küresel grafit kristalinin, lamel biçimde büyümesi gibi olduğu varsayımından yola çıkılmaktadır. Dallanma olasılığı az ise, grafit lamel, (yapraksı) bir biçim alacak, ancak küreselleşmeyi etkileyen elementlerin var olması halinde, dallanma ve dolayısıyla küreselleşme meydana gelecektir (Şekil 2.2). Bu teorinin deneysel olarak geçerliliği maalesef tespit edilememiştir [2].



Şekil 2.2. Dallanma frekansı hipotezine göre bir grafit küresinin büyümesindeki muhtemel kademeler [2,18].

Üçüncü teori olarak, küreselleşme eriyiğin yüzey geriliminin artması ile meydana gelmektedir. Deneysel çalışmalar, demir eriyiğin Fe -Si - Al - Mg ile işlem görmesi sonucu, eriyik yüzey geriliminin %30-50 nispetinde arttığını göstermektedir. Böylece grafit kristal kafesi c eksenine, prizma yüzeyi yönünde büyümektedir (Şekil 2.3).



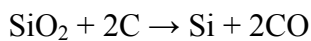
Şekil 2.3. Yüzey enerji teorisine göre grafitin küresel biçimde büyüme olayı [2].

Bununla beraber prizma yüzeyi ile taban düzlemi arasındaki oran, bir hegzagonal piramit için, ince bir hegzagonal plaka için olandan daha büyüktür; buna göre (prizma yüzeyi / sıvı), ara yüzey enerjisi yüksek olduğunda tercihli bir lameler büyümenin gerçekleşeceği ileri sürülebilir, bunun tam tersini düşünen araştırmacılar da vardır. Bu günkü bilgilerle bu görüşlerden hiçbirine kesin olarak katılma ihtimali yoktur. Bu arada vakum altında ergitilen düşük kükürtlü dökme demirlerde, bilinen herhangi bir küreleştirici bileşiminde bulunmasına rağmen grafitlerin küreleşmeye meylettği görülmektedir. Bu da küreleşme olayında oksijen ve kükürdün rolüne işaret etmektedir. Ayrıca grafit kristalinin taban düzlemleri arasında bağ çok zayıftır

ve kristalin kristallografiye uygun büyümeden ziyade minimum yüzey oluşturacak şekilde büyümesi söz konusudur [18].

Dördüncü teori ise “Küre şekli, grafitin katı faz içinde büyümesi sonucudur” bu görüşe göre gri dökme demirde, grafit lamelleri sıvı ile temas halinde büyür. Küreleştirme işlemi etkisiyle büyüyen grafit kristalleri tamamen katı faz (östenit) ile çevrili olmaktadır. Bu durumda büyüme hızı, karbonun yayınma hızı ile kontrol edildiğinden, bütün yönlerde yaklaşık olarak eşit olacak ve kristaller küre şeklini alacaktır. Ancak bu görüşe karşı olarak, dendrit kolları arasında son katılan sıvı ile temas halinde büyüyen uzun şekilli grafit kristalleri gösterilmektedir. Ayrıca sıvı ile doğrudan temas halinde de grafit kürelerinin büyüdüğü ispatlanmıştır. Aksi halde birbiri ile temas eden grafit kürelerinin tespiti ile kanıtlanmaktadır. Nihayet grafitin katı demir içinde büyüdüğü kabul edildiğinde, bu olay için başka deyimle büyüyen grafitin östeniti plastik olarak deforme edilebilmesi için oldukça yüksek bir enerjiye ihtiyaç vardır, bu ise katılma gizli ısısının, ergime ısısında çok büyük olması halini gerektirir ki gerçek durum böyle değildir.

“Faz sınırı veya gaz kabarcığı (buble) teorisi” bu teoriye katılanlar az olmakla beraber, grafit kürelerinin gaz kabarcığı teorisinde tarif edildiği şekilde oluşturduğunu kanıtlayan veriler mevcuttur. Grafitin, çatlak, gaz boşluğu inklüzyon gibi belirli yüzeylerden kristalleşmeye başladığı bilinen bir olaydır, “gaz kabarcığı teorisi” de grafit kristalleşmesinin yalnız herhangi türde bir faz sınırı ile desteklendiğinde gerçekleşebileceğini öne sürmekte, aksi halde karbür oluşacağını belirtmektedir. Yani bahis konusu teoriye göre gerekli faz sınırları sıvı metal içindeki CO gaz kabarcıkları aşağıdaki reaksiyon sonucu oluşmaktadır [18].



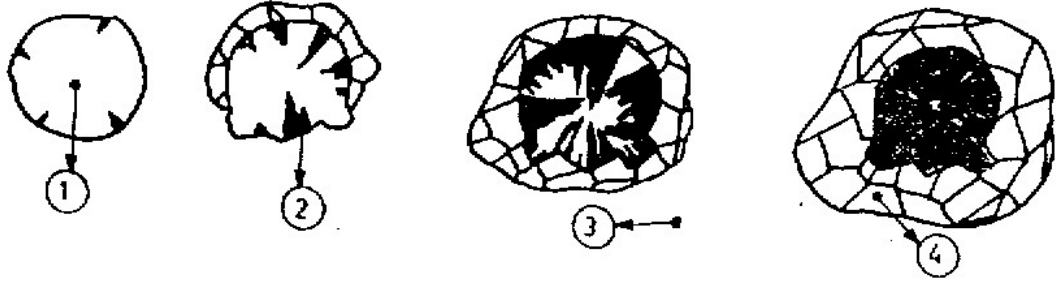
Lamel grafit oluşumunda ise büyük kabarcıklar oluşmakta ve yüzeyleri ince bir grafit tabakasıyla kaplanmaktadır. Yeni oluşmuş grafit yüzeyi CO gazı absorbe eder, gaz kabarcığı büzülür bunun sonucunda da düzensiz gruplar halinde grafit lamelleri oluşur.

- 1- Sıvı metalde grafitin heterojen kristalleşmesi için çekirdeklere gerek vardır. Kural olarak bu çekirdekler silis (SiO_2) tanecikleri olmaktadır.
- 2- $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$ dengesi üzerinde yaklaşık 50°C sıcaklık aralığında sıvı demirdeki silisyum oksijeni bağlar.
- 3- Sıvı demiri uzun süre sıcakta tutmak oksijen kaybına ve dolayısıyla grafit yapısının bozulmasına yol açar.
- 4- Oksijen kaybı aşılama ile giderilemez.
- 5- Manganezle aşılama grafitin heterojen çekirdeklenmesine engel olur.
- 6- Sıvı demirin aşılama cevap verebilmesi için yeterli oksijene gerek vardır.
- 7- Ca, Ba, Sr, Al v.b. aktif aşılama ajanları stabil oksitler oluşturarak silisin çökmesinde katalizör rolü oynarlar.

Bu bulgulara göre sıvı demire küreleştirici ve aşılama ajanı ilave edildiğinde ne olduğu ve grafit kürelerinin nasıl oluştuğu şöyle açıklanabilir:

Aşılama sıvı demire “aktif aşılama ajanı”nın oksitlerinden çok sayıda submikroskopik tanecikler sağlar. Ya yüzey aktif elementlerden kükürdün giderilmesi veya magnezyum gibi küreleştiricilerin mevcut oluşu, film şeklindeki grafit büyümesini engeller. Dislokasyonlar, grafit kristalinin büyümekte olan taba düzlemini kendi üzerine katlamaya zorlar ve spiral tipi bir büyümeye neden olur. Dolayısıyla, küre şeklindeki grafitin büyüme kademeleri aşağıdaki gibi olacaktır:

- a- Oksijen içeriği azalır ve CO gaz kabarcıklarının toplam hacmi, çökecek grafit hacmi ile aynı mertebede olur.
- b- Sıvı demire aşılama ajanı oksit tanecikleri sağlanır.
Soğumada, (C) ile dengede olacak şekilde erimiş silis aşılama ajanı oksitlerin üzerine çöker. Denge heterojen hale geçer.
- c- Homojen dengeyi sağlamak için bir kısım SiO_2 karbonla reaksiyona girerek çok ince dağılmış küçük kabarcıklar oluşturur.



Şekil 2.4. Faz sınırı teorisine göre küre şekilli grafitin büyümesindeki mümkün kademeler. (1)- Gaz, (2)- Grafit iğneleri (whisker), (3)- Sıvı, (4)- Ostenit³.

Demir ve karbona ilaveten, grafit (küresel veya lamel şekilli) oluşması için iki element daha gerekli olmaktadır, bunlar silisyum ve oksijendir. Grafit şeklinin küre olabilmesi için ilave edilen diğer elementler a) oksijen içeriğini azaltmak ve b) Wisker tipi grafit büyümesine neden olmak amacını güderler. Faz sınırı teorisini destekleyen metalografik çalışmalarda da sıvı metali küçük gaz habbecikleriyle doyurarak ürettikleri küre şekilli grafitler bu konuda oldukça cesaret verici kanıtlar oluşturmaktadır [18].

Ergitme ve kükürt giderme

Sıvı dökme demirde kükürt miktarının % 0.02 den az olması gerekir. Kükürt miktarı fazla olursa küreleştirici olarak kullanılan magnezyum, aşağıdaki reaksiyon gereğince $\text{FeS} + \text{Mg} = \text{MgS} + \text{Fe}$ kükürt ile birleşir. Böylece küreleştirme işlemi gerçekleştirilemez. Kükürt miktarı % 0.002' den az olursa magnezyum, küresel grafiti daha rahat oluşturur. Şu halde, kaliteli küresel grafitli dökme demir üretebilmek için önce alaşımdaki kükürt giderilmelidir. Kükürt giderici olarak en çok soda (Na_2CO_3), kireç taşı (CaCO_3) ve kalsiyum karbür (Ca_2C) kullanılır. Ayrıca ergitme ocaklarının kükürt emici (absorbe) olmaları istenir.

Kükürt giderilmesinde aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır:

- a) Kükürt giderici malzemenin miktarı,
- b) Sıvı metalin kimyasal bileşimi,
- c) Sıvı metal sıcaklığı,

- ç) Döküm potasında kullanılan astarın bileşimi ve durumu,
- d) Döküm potasına geçen cürufun miktarı,
- e) Cürufun baziklik derecesi
- f) Kükürt gidericinin ilavesinde cüruf ile sıvı metalin karıştırılması,

Soda ile kükürt giderme

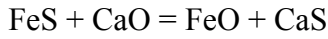
Soda (Na_2CO_3), ucuz olduğundan kükürt gidermede tercih edilir. Potanın dibine, potaya alınacak metal ağırlığının % 1' i kadar soda konur. Ergitilmiş metal pota içine alınır. 3-5 dakika sonra soda, cüruf olarak sıvı metal yüzeyine çıkar. Bundan sonra toz haline getirilmiş kireç taşı, sıvı metal yüzeyine serpilir. Böylece cüruf kolayca temizlenir. Dökme demirde kükürt, mangan sülfür (MnS) ve demir sülfür (FeS) karışımı halinde bulunur. Soda katılmasıyla bu sülfürler ayrışarak mangan oksidi (MnO), demir oksidi (FeO) ve sodyum sülfürü (Na_2S) meydana getirirler. Soda ile kükürt giderilmesinde meydana gelen kimyasal reaksiyonların denklemlerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

1. $\text{Na}_2\text{O} + \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{C} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO} + \text{Fe}$
2. $2\text{Na}_2\text{O} + 2\text{MnS} = 2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{MnO}$
 $2\text{Na}_2\text{O} + 2\text{FeS} = 2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{FeO}$
3. $\text{Na}_2\text{S} + \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{MnO} = 2\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{Fe} + 2\text{Mn} + \text{SO}_2$
4. $\text{Na}_2\text{S} + \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 = 2\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{FeS}$

Sıvı metal içerisinde sodyum oksit (Na_2O) olduğu müddetçe 1 ve 2 nolu denklemlerle belirtilen reaksiyonlar devam eder. Bu 3 nolu denklem ile gösterilen reaksiyon ile devam eder. Yalnız cüruf sıcaklığı düştükçe reaksiyonun şiddeti azalır. 4 nolu denklemle gösterilen reaksiyon, geri dönme reaksiyonudur. Metal sıcaklığı düştükçe bu reaksiyonun hızı artar.

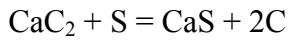
Kireçtaşı ile kükürt giderme

Soda, kükürdün giderilmesinde pota astarlarının yıpranmasına sebep olur. Bu nedenle kireç taşı ile kükürt giderme tekniğine başvurulur. Kireç taşı ısı karşısında parçalanarak kalsiyum oksidi (CaO) ve karbondioksiti (CO₂) oluşturur. Kalsiyum oksit ile kükürdün giderilmesi aşağıdaki denklem gereğince olur.



Kalsiyum karbür ile kükürt giderme

Potaya sıvı metal alınır. İçine bir grafit boru daldırılır. Kalsiyum karbür (CaC₂) ile kuru azot gazı (N₂) karışımı bu borudan sıvı metal içine basınç altında gönderilir. Kullanılan kalsiyum karbür miktarı, sıvı metalin beher tonu için 4.5 Kg civarındadır. Kalsiyum karbür ile kükürt giderme aşağıdaki reaksiyon ile gerçekleşir.

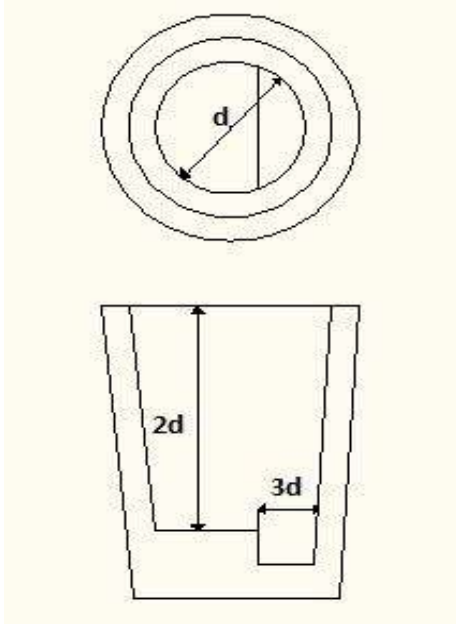


Küreleştirme işlemlerinde uygulanan yöntemler

Magnezyum, bir atmosfer basınçta 650 °C’ de ergir ve 1120 °C’ de buharlaşır. Sıvı demir sıcaklıklarında magnezyumun buhar basıncı, normal atmosfer basıncından 10 misli daha büyüktür. Buna ilaveten sıvı demir yüzeyi havaya açık olduğu zaman magnezyum yanarak kaybolur. Yüksek sıcaklıklarda (1450 °C’ nin üzerinde) ilave magnezyum da kayıp çok olduğundan, sıvı demir sıcaklığının 1350 °C – 1450 °C arasında tutulması uygun olur. Bu şartlar altında, ilave magnezyumun az bir miktarının sıvı demir içerisine ilave edilmesi bir hayli zor olur. Geçmişte ekonomik ve emniyetli olduğu iddia edilen sayısız magnezyum ilave metotları oluşturulmuştur.

Potada küreleştirme

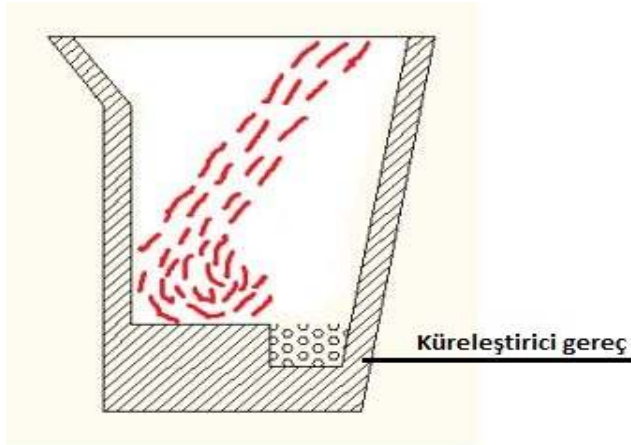
Magnezyum alaşımları ile küreleştirme işlemi uygun potada yapılmalıdır. Yaklaşık pota boyları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.5). Potada küreleştirme işlemi bir kaç yöntemle uygulanır. Ergimiş sıvı metal potaya alınır ve sıvı metal üzerine küreleştirici ilave edilir ya da önceden pota dibine yerleştirilen küreleştirici gereçle sıvı metalin reaksiyona girmesi sağlanır [14].



Şekil 2.5. Magnezyum ile küreleştirme işlemi için uygun bir döküm potasının çap ve yüksekliği arasındaki bağıntılar

Küreleştirici gerecin pota dibine konulması

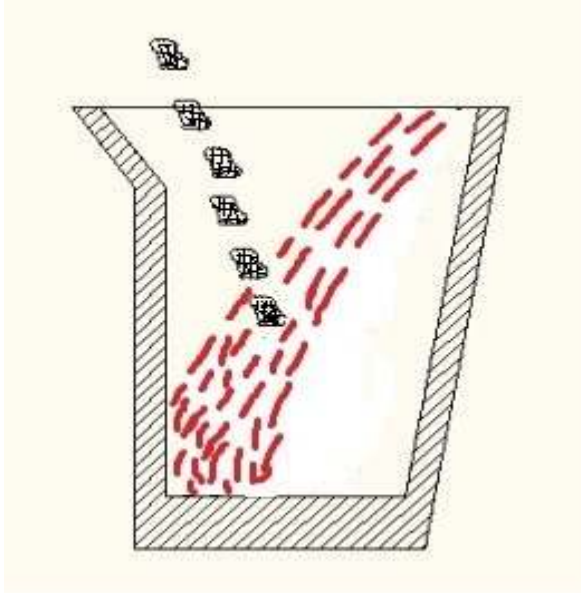
Küreleştirici gereç potanın dibine yerleştirilir. Sıvı metal, ilk anda küreleştirici gerecin üstüne gelmeyecek şekilde potanın içine hızla dökülür. Bu yöntemde genellikle, dökme demire göre özgül ağırlığı daha fazla olan küreleştirici gereçler (Ni-Mg, Fe-Ni-Mg) kullanılırsa daha iyi sonuçlar elde edilir.



Şekil 2.6. Küreseltirici gereç pota dibinde

Küreseltirici gerecin sıvı metale verilmesi

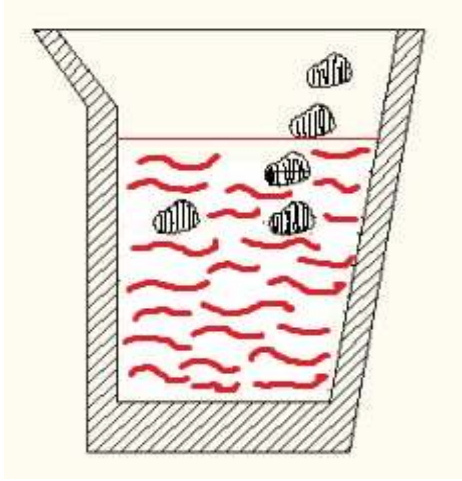
Sıvı dökme demir, ocaktan potaya alınırken küreselleştirici el veya yardımcı donanım ile sıvı metale katılır. Yine bu işlemde, dökme demire göre özgül ağırlığı daha fazla olan, Fe- Ni- Mg ve Ni- Mg gibi küreseltiriciler kullanılır.



Şekil. 2.7. Küreselleştirici gerecin sıvı metale verilmesi

Küreleştirici gerecin potadaki sıvı metalin üstüne atılması

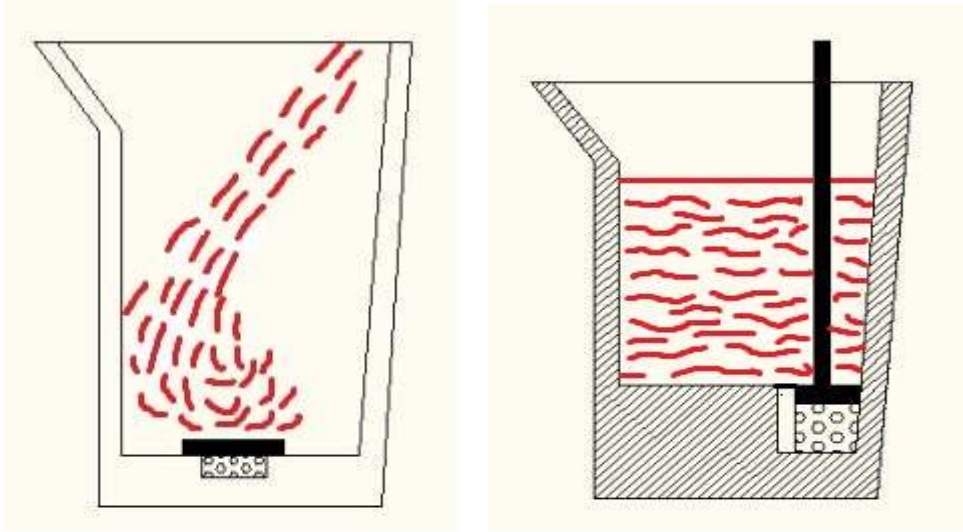
Bu yöntemde de özgül ağırlığı, dökme demirden fazla olan küreleştirici gereçler kullanılır. Potanın derin olması iyi sonuç alınmasını sağlar. Şekil 2.8’de küreleştirici gerecin sıvı metalin üzerine atılması gösterilmektedir.



Şekil. 2.8. Küreselleştirici gerecin potadaki sıvı metalin üstüne atılması

Sandviç yöntemi

Bu yöntemde küreleştirici gereç, potanın dip kısmında özel olarak hazırlanan boşluğa (cep) yerleştirilir. Küreleştirici gerecin üzeri çeşitli gereçlerle örtülür. Potaya doldurulan sıvı metal, bu örtü tabakasını eritinceye kadar, alaşımdaki magnezyum reaksiyona girmemektedir. Sıvı metal potaya dolduktan sonra örtü gereci eritmekte ve reaksiyon başlamaktadır. Bu yöntemde küreleştirici gerecin buharlaşması az olduğundan, işlem çok başarılı olmaktadır.

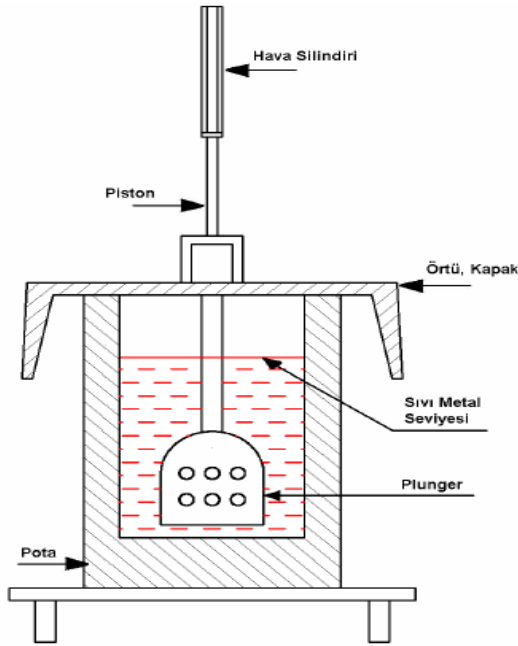


Şekil 2.9. Küreleştirici gereç üzerinin kapatılması ve kırılması

Küreleştirici gerecin üzerini örtmek için çeşitli örtü gereçleri kullanılır. Kullanılan örtü gereğine göre de sandviç yöntemi çeşitli adlar almaktadır. Örtü tabakası olarak dökme demir, çelik veya küresel grafitli dökme demirin torna talaşı ve kalsiyum karbür (CaC_2) kullanılmaktadır. Buna klasik yöntem denir. Sıvı metal bu gereçlerle temasından sonra bir bara yardımı ile örtü tabakası delinerek reaksiyonun başlaması sağlanmaktadır.

Daldırma (plunger) yöntemi

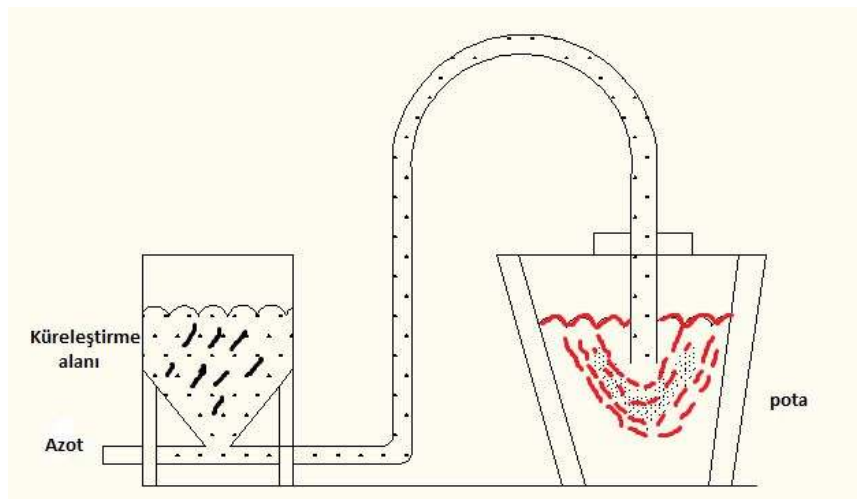
Küreleştirici malzeme, ısıya dayanıklı gereçten veya grafitten yapılan bir hücre (boşluk) içine konur. Sonra bu hücre mekanik olarak sıvı metal içine daldırılır. Saf magnezyum ile yapılan işlemde, magnezyumun buhar basıncı çok yüksek olduğundan potanın üzeri bir kapak ile kapatılır veya işlem basınçlı bir ortamda yapılır. Pota kapağı üzerindeki basınç mekanik veya pnomatik bir sistem ile sağlanır [14]. Şekil 2.10



Şekil 2.10. Daldırma (Plunger) yöntemiyle küreleştirme [14]

Üfleme yöntemi

Bu yöntemde küreleştirici, argon ve azot gibi gazlarla pota içindeki sıvı metale şekil 2.11’de görüldüğü gibi püskürtülür. Bu iş için uygun bir aparat kullanılır. Bu yöntemde, küreleştirici gereç ile beraber sıvı metal içine istenirse kükürt giderici gereçler de püskürtülebilir.

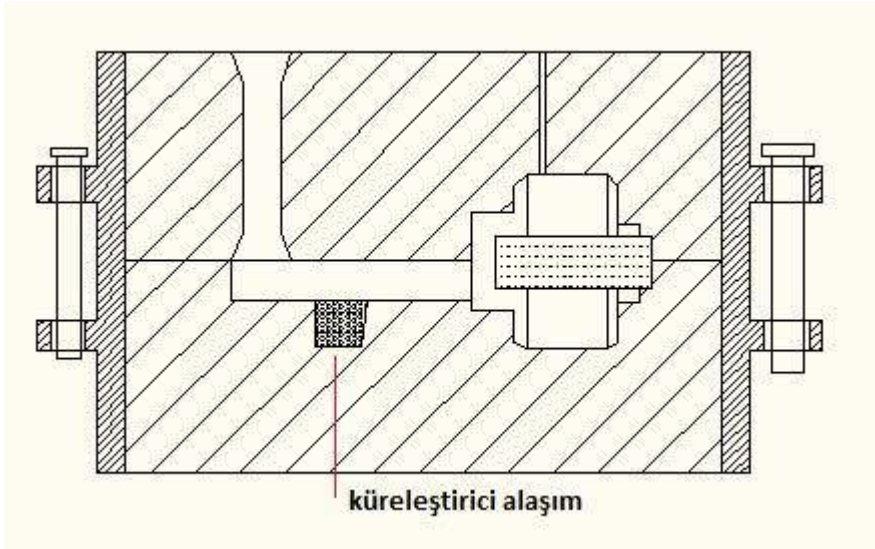


Şekil 2.11. Üfleme yönteminin şeması

Kalıpta (inmold) yöntemi

Küreleştirme işleminden sonra, sıvı metaldeki magnezyum zamanla yanar ve etkisini kaybeder. Bu kaybı önlemek için işlemde hemen sonra sıvı metalin kalıplara dökülmesi gerekir. Fakat işlem, her zaman mümkün olmayabilir. Bunun için küreleştirme işleminin kalıpta yapılması denenmiş ve geliştirilmiştir. Özel ölçülerle hazırlanan gereç, yolluk sistemine yerleştirilir. Küreleştirici gereç yolluğa giren sıvı metal ile temas eder ve küreselleştirme işlemini gerçekleştirir. Bu yöntemde küreleştirme idealdir ve en önemli avantajları;

- a) Magnezyum verimi yüksektir,
- b) Karbürsüz, küre sayısı fazla ürünler elde edilebilir,
- c) Geç aşılama yöntemi uygulandığında, hem magnezyum (Mg) kaybı bakımından hem de aşılama etkisi bakımından çok elverişlidir.



Şekil 2.12. Kalıpta küreleştirme

Konverter yöntemi

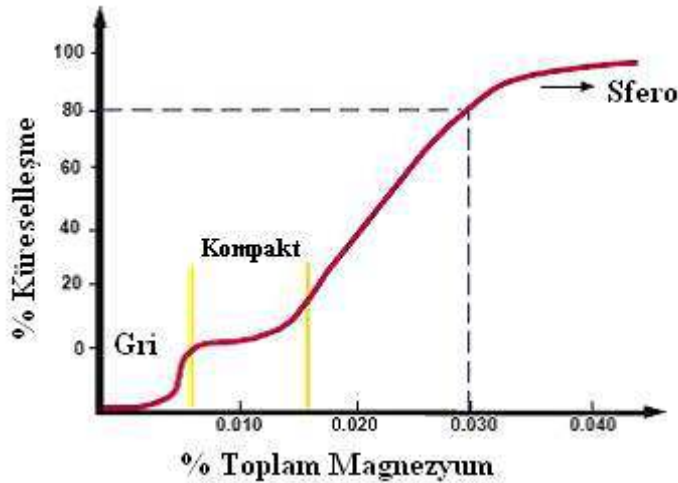
Alt kısmında delikli özel bir boşluğu (cebi) bulunan konverter ile küreleştirme işlemi yapılır. İlk önce cep kısmına küreleştirici gereç külçe halinde konulur. Konverter

yatay durumda iken içine sıvı metal konulur. Bu sıradaki cep kısmındaki küreleştirici gereç sıvı metal seviyesinin üzerindedir. Sonra konverter hızla döndürülür ve sıvı metalin cep kısmına girmesi sağlanır. Böylece işlem tamamlanır [14].

Küreleştirme işlemine magnezyumun etkisi

Magnezyum, genellikle bir miktar Ca, Ce ve bazı diğer nadir toprak metalleriyle birlikte küreleştirme için en ideal ve ekonomik malzemedir. Küre şekilli grafitleri oluşturmak için gerekli olan magnezyum miktarı, büyük ölçüde dökme demirin ana bileşimindeki kükürt ve oksijen miktarlarına bağlıdır.

Magnezyumla işlem sırasında, dökme demir sıcaklığı 1538-1560 °C civarında olup magnezyumun buharlaşma sıcaklığının oldukça üzerindedir. Dolayısıyla sıvı metal ile temas eden magnezyum aniden buharlaşır ve uygun şekilde yapılmadığı takdirde reaksiyon çok şiddetli olabilir. Magnezyumun verimi, hava ile temas etmeden önce, magnezyumun buharından geçerek yükseldiği sıvı metal derinliğine bağlıdır. Dolayısıyla sıvı metalin magnezyum buharı ile yıkanan derinlik magnezyumun verimi açısından önemli olmaktadır. Reaksiyon şiddetini azaltmak ve optimum metalurjik şartları sağlamak için, genellikle magnezyum başka elementlerle anlamlandırılır. Şekil 2.13’de magnezyumun küreselleşmeye etkisi görülmektedir [9-15].



Şekil 2.13. Magnezyumun küreselleşmeye etkisi

Sıvı metale ilave edilecek magnezyum miktarı ile ilgili birçok formül geliştirilmiştir. Bunlar arasında en basit ve kullanımı en kolay olanı aşağıda verilmiştir.

$$\%Mg(\text{ilave edilen}) = \frac{\text{İstenen Mg}(\%)}{Mg \text{ verimi}(\%)+0.01} - \text{Bileşimdeki S}(\%) \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda şartlara bağlı oran, magnezyum verimine ait olandır. Bu oran % 10 ile % 90 arasında değişebileceğinden her uygulayıcı kendi şartları ve önceki tecrübelerinin sonuçlarına göre bu oranı saptamak durumundadır. Aşırı magnezyum kullanımının ekonomik sakıncası yanında, çekme boşluğu oluşumunu artırmaktadır. Dolayısıyla bileşimde istenen kalıcı magnezyum oranı % 0, 040 ile % 0,50 aralığında kontrol edilmelidir ki bu da bilinen küreleştirme yöntemleri ile mümkündür [15].

Küreleştirme etkisinin zamanla azalması

Küreleştirme etkisinin zamanla azalması ile ilgili yapılan çalışmalarda birçok faktörün geçerli olduğu ortaya konmuştur. Bu mekanizmanın açıklanmasında ilk sırayı oksidasyon ile magnezyumun yanması teşkil etmektedir. Oluşan reaksiyonlar:



ve oksijen bir oksitten alınıyorsa, örneğin SiO_2 bu durumda,



reaksiyonları geçerlidir.

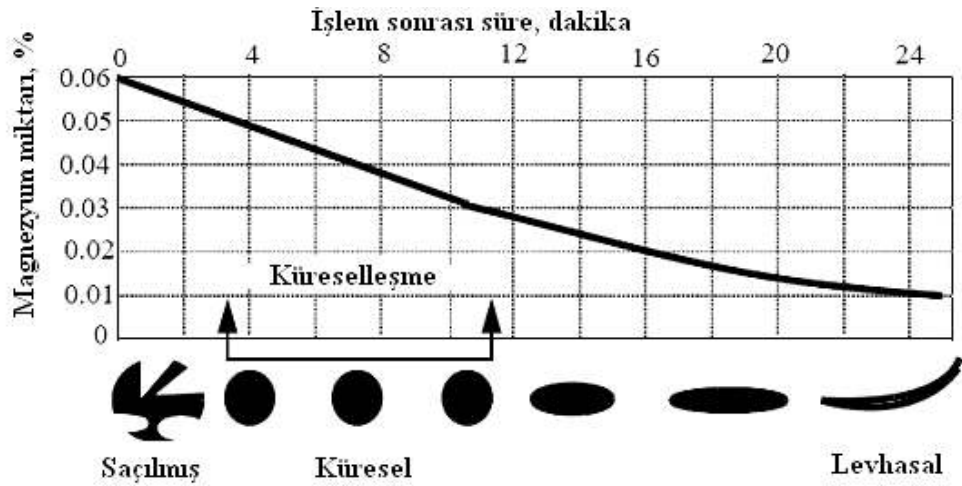
Küreselleştirme etkisinin azalması şu faktörlere bağlıdır :

- 1-) Ön magnezyum miktarı ne kadar fazla ise etki kaybı o kadar hızlıdır.
- 2-) Sıcaklığın artmasıyla birlikte etki kaybı artmaktadır.

3-) Curuf miktarı etki kaybını arttırmakta olup curufun hemen ve çok temiz olarak alınması gerekir.

4-) Ocak astar malzemesi etkisi; Silika astar malzemesi ile çalışmada, etki kaybı bazik astara göre daha fazladır.

Etki kaybının artması kendisini hücre sayısının azalması ve grafit şeklinin bozulması ile gösterir. Şekil 2.14’de magnezyum etkisinin işlem süresi ile değişimini görülmektedir.



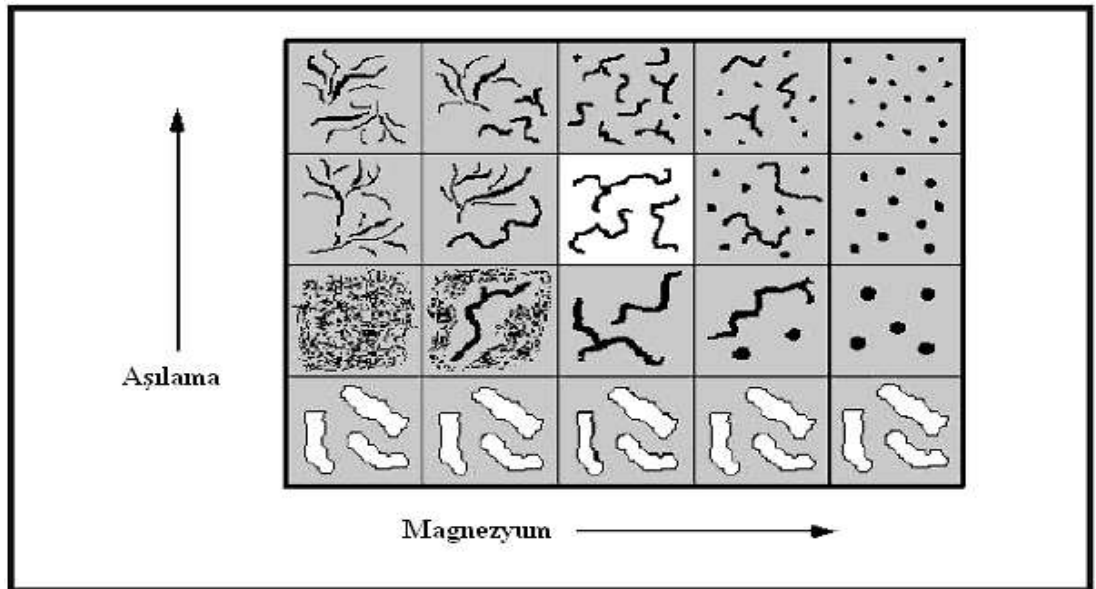
Şekil 2.14. Magnezyum etkisinin işlem süresi ile değişimi [15]

Aşılama

Aşılama sıvı metale, grafit yapısı ve gelişimini sağlamak, karbür oluşumunu azaltarak mekanik özellikleri artırmak, ötektik yapıyı çoğaltmak, çekirdekleşmeyi sağlayarak grafitin kristalizasyonu ve büyümesini sağlamak, döküm parça kısımları arasında uyum sağlamak için yapılmaktadır. Dökme demirlerde aşılamanın etkisi ile çekirdek merkezi sayısı artırılarak karbon atomlarının daha kısa mesafeye ulaşması için yeterli zaman bulma şansı çoğalacağından, ince taneli küçük grafit parçaları oluşur. Böylece de dökme demirde kesit hassasiyeti azaltılarak grafitin oluşumu kontrol edilmektedir. Küresel grafitli dökme demirde en verimli aşılایıcılar ferro-silisyum alaşımlardır. Bu alaşımlar çeşitli sınıflar halinde üretilirler. En çok bilinenleri % 50 - % 80 silisyum içerenlerdir.

Aşılama için hangi oranda ilave edileceği ise çok sayıda değişkene bağlıdır. Değişkenlerin başlıcaları: Sıvı metal bileşimi, döküm sıcaklığı, dökülen parça kalınlığı, kalıp malzemesi, ergitme ortamı ve döküm süresidir. Dolayısıyla çok sayıda değişken, sabit bir aşılama oranının tespitini imkânsızlaştırmaktadır. Küresel grafitli dökme demirle yapılan deneyler % 75 veya % 85'lik ferrosilisyum'un % 0,5-1,0 (döküm parça kesit kalınlığına göre) oranlarında ilavesinin en iyi sonuçları verdiğini göstermektedir. % 75 ferrosilisyum aşılama miktarlarının artırılması küresel grafit miktarını artırır. Aşılama kesit kalınlığı arttıkça zaman daha etkili olmaktadır.

Aşılama için değişik yöntemler uygulanabilir, bunların başlıcaları, potada aşılama, oluk aşılması ve kalıp aşılmasıdır. Aşılamanın yapılacağı zamanın kaba bir yaklaşımla tayini şöyle yapılabilir. Aşılama ilavesi potanın dibinde 10-15 cm sıvı metal varken yapılır ve böylece hızlı ergitme ve sıvı metalle tamamen karışma gerçekleştirilir. Çoğu dökümhanelerde aşılama maddesi Mg ile beraber ilave edilir. Sekil 3.15'de magnezyum ve aşılamanın mikro yapıda yaptığı değişim gösterilmektedir.



Sekil 2.15. Magnezyum ve aşılamanın mikro yapıda yaptığı değişim

Aşılama maddesinin boyutu hızlı ergiyecek kadar küçük ve hemen okside olmayacak ve aniden patlama yapmayacak kadar büyük olmalıdır. Bir genelleme olarak iyi bir sonuç almak için mümkün olduğu kadar geç aşılama gerekir. Aşılama sonrası geçen zamanla aşılamanın etkisi kaybolduğu gibi bu zaman ısı kaybına da yol açmakta ve azalan ısı grafit küre sayısını da azaltmaktadır [15].

3. İŞLENEBİLİRLİK

İş parçasının işlenebilme kabiliyeti veya kesici bir takım ile şekillendirilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu işlenebilirlik olarak adlandırılır. [5]. Kesici takım ve iş parçası malzemelerinin, işlem ortamı ve tezgâh ile oluşturduğu talaşlı işlem sistemi, kesme koşullarıyla birlikte yeni oluşan iş parçası yüzey kalitesini ve maliyet faktörünü göz önünde tutarak işlenebilirliği belirler. İyi işlenebilir bir malzemenin talaşlı işleminde kısa sürede yüksek talaş hacmi ile işlenmesi ve yeni oluşan yüzeyin kaliteli olması (düşük yüzey pürüzlülüğü göstermesi) beklenir. Aynı zamanda takım malzemesinin işlem esnasında az aşınması ve böylece uzun ömürlü olması gerekir. İyi işlenebilirlik daima maliyet faktörünü göz önünde tutarak talaşlı işlemin ekonomik olmasını öngörür. Değişik özellikteki çok çeşitli malzemeler üzerinde kesici takımların geometrik performanslarının ölçümü, takım tasarımı ve geliştirilmesi açısından çok önemlidir. Modern işlem metodları, takım değiştirme zamanını ve maliyetini en aza indirmeyi ve seri üretim alanlarında çok yönlü kullanmayı gerektirmektedir. Deneysel testlerin büyük bir bölümü bu hedefe ulaşmak için gerçekleştirilmekte ve işlenebilirlik deneyleri ile olay anlaşılmasına çalışılmaktadır. Bu testler iş parçası malzemelerini, kesici takımları ve onların karakteristiklerini kapsamaktadır [14].

İşlenebilirliğin standardize edilmiş bazı özelliklere göre tanımlanması oldukça güçtür. İşlenebilirlik genellikle iş parçası malzemesinin kesici bir takım ile istenilen biçime getirilmesindeki işlenebilme yeteneği olarak da tanımlanır. Metal bir malzemenin metalurjisi, ısıtma işlemi katkı elemanları inklüzyonlar, yüzey tabakası vb. özellikler işlenebilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahipken, kullanılan kesici takımın kesici kenar özellikleri, takım bağlama biçimi ve işleme şartları da önemli etkiye sahiptir. İşlenebilirlik, bir malzemenin bitmiş bir ürün haline getirilmesi esnasında malzemedan talaş kaldırma kolaylığı ya da zorluğu olarak tanımlanmaktadır [14,19].

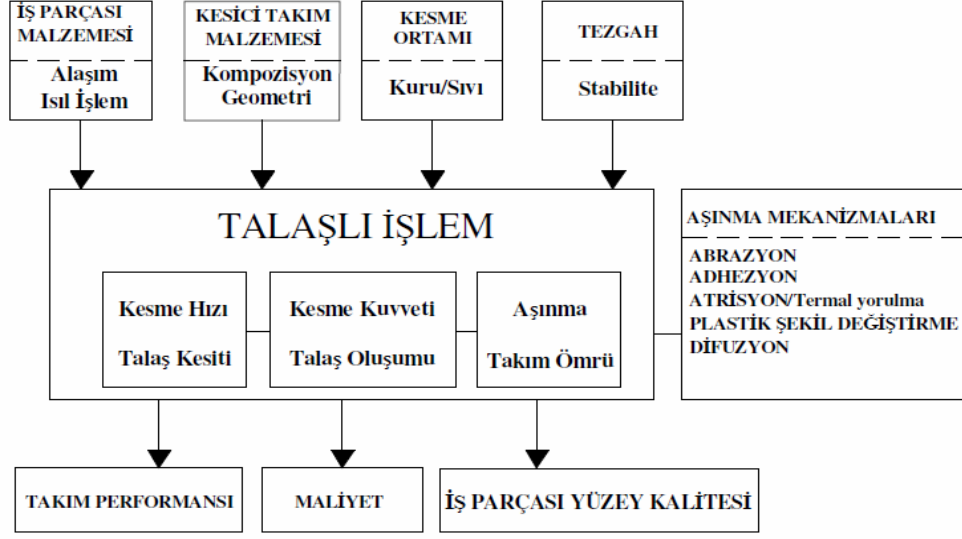
İşlenebilirlik, kullanılan kesici takımın çeşidi ve şeklinden büyük oranda etkilenmektedir. Bununla beraber işlenebilirlik ortak bir terimdir ve yalnızca takım ömrünün uzunluğu, kesme işlemi yapmak için gerekli güç, belirli bir miktardaki bir

malzemeyi işleme maliyeti ya da elde edilen yüzey şartları gibi faktörlerle de belirtilmektedir. İşlenebilirlik testleri, talaş kaldırılan malzemenin direncini göstermekte ve sonuçlar malzemenin kimyasal bileşimi, sertliği, çekme mukavemeti, tane büyüklüğü, mikro yapısı, işleme sertleşmesi karakteristikleri ve malzemenin boyutlarından etkilenmektedir [14].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen özellikleri sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki inklizyonlar ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takım da abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (Built-Up-Edge BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Çok düşük sertlik, talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısı işlem ve içerisindeki inklüzyonlar işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler ve bazı durumlarda kimyasal bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler [20].

3.1. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının en uygun şekilde getirmek amacı ile yaygın kullanılan iş parçası malzemeleri gözden geçirildiğinde, öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmalıdır. Genelde malzemelerde sertlik ve dayanım arasında ilişki mevcuttur. Bir malzemenin sertliği ve dayanımı arttıkça o malzemenin işlenebilirliği o derecede azalmaktadır.



Şekil 3.1 Talaş kaldırma işleminde işlenebilirliği etkileyen faktörler [21].

3.1.1. 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 [21].

3.1.2. Süneklik

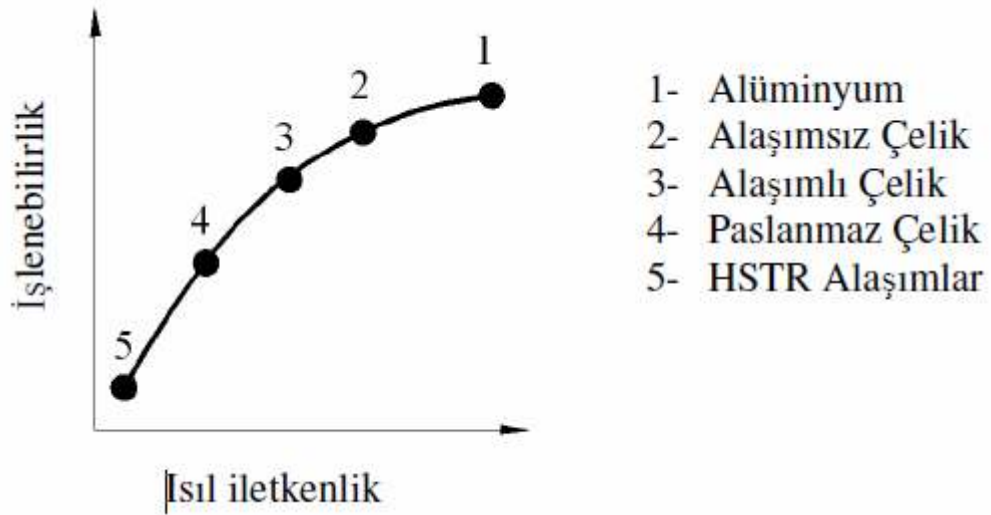
Düşük süneklik değeri genellikle olumludur ve verimli bir talaş kaldırma yöntemi söz konusudur. Genel olarak düşük süneklik yüksek sertlikte oluşur ve bunun tersi yüksek süneklik düşük sertlik demektir. İyi işlenebilirlik, genellikle sertlik ve süneklik arasındaki bir uzlaşma noktasındadır [14,20,21].

3.1.3. Isıl iletkenlik

Talaşlı imalat işleminde kullanılan güç genelde ısıya dönüşerek talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını artırır. Sıcaklık artışı, metal kesme işlemi esnasında

oluşan ısı ve aynı zamanda bu ısıнын uzaklaştırılması durumuna bağlıdır. Takım ısıısının minimum seviyeye indirgenmesi takım ömrünü artırır. Takım ısıısı aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünü de etkilemektedir [14].

Yüksek ısıl iletkenliğinin anlamı, talaş kaldırma işleminde oluşan ısıнын, süratle kesme bölgesinden uzaklaştırılması demektir. İşleme açısından bakıldığında, yukarıdaki sebeple yüksek değerde ısıl iletkenlik genellikle faydalıdır. ısıl iletkenlik işlenebilirlik açısından önemli bir rol oynamakla beraber bazı alaşım grupları için daha fazla iyileştirilmesi mümkün değildir [6]. Şekil 3.2’de bazı metal ve alaşımların ısıl iletkenliklerinin, yaklaşık işlenebilirlik değerleri ile ilişkisini göstermektedir [19].



Şekil 3.2. Isıl iletkenlik ile işlenebilirlik değerleri arasındaki ilişki [21]

3.1.4. 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. Yüksek pekleşme oranı, talaş oluşumu için çok daha fazla enerji ihtiyacı demektir.

Yüksek pekleşme oranı, talaş oluşumu için çok daha fazla enerji ihtiyacı demektir. Sertlikteki ciddi bir artış, daha sonra işlenmiş yüzeydeki 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 azalmasına yardımcı olacak ve bunun sonucu olarak da kesici kenardaki gerilmeler azalacaktır. Bununla beraber pekleşme, yığıntı talaş oluşumunu engellemek için avantaj olabilir [14–21].

3.1.5. Kalıntılar

Malzemenin yapısı içerisinde makro ve mikro düzeyde iki tip kalıntıdan söz etmek mümkündür. Makro inklüzyonlar, boyutu 150 μm 'dan büyük olan inklüzyonlardır. Bunlar genellikle çok sert ve aşındırıcı olup, inklüzyonlardan bağımsız bir malzemeyi kuşatma eğilimlerinden dolayı önemlidir. Düşük kaliteli çeliklerde bulunan inklüzyonlar, üst curuf veya uygun olmayan curuf 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 katılabilirler. 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 [14-21].

3.1.6. Kolay işleme katkıları

Çeliğin işlenebilirliğini geliştirmek için en yaygın metot, kükürt ilavesidir. Kolay işlenebilen çeliklerdeki kükürt miktarı işlenebilirliği iyileştirilmiş çeliklerdekinin on katıdır. Yeterli miktarda manganez ihtiva eden çeliklerde, kükürt ve manganez, 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 deformasyonunu kolaylaştırır. Kayma açısının ve talaş yarıçapının artmasına sebep olurken talaş kalınlığının, temas uzunluğu ve sıcaklığında azalmaya sebep olur. İlaveten sülfat, takım- talaş ara yüzeyinde bir yağlayıcı gibi görev yapar. Bunların beraber, tamamen aynı sülfür muhtevasına sahip aynı tip iki çelik için işlenebilirlik önemli ölçüde farklı olabilir. İşlenebilirlik, çelikte alaşım elemanı olarak bulunan kükürten ayrı kükürt ve kurşun inklüzyonları ile iyileştirilebilir. Aynı zamanda, sülfatların boyutu, biçimi ve dağıtımı da işlenebilirliği tayin eden faktörler arasındadır. İşlenebilirlik üzerinde malzemelerin önemli etkisi olan temel özelliklerine ilaveten malzemelerin bazı diğer özellikleri de işlenebilirlik üzerinde etkilidir. Bu özellikler:

1. Malzemenin yapısı / morfolojisi,
2. İş parçası imalat yönteminin etkisi (Isıl işlemler),
3. Alaşım elementleri,
4. Yüzey tamlığı-düzgünlüğü,

3.1.7. Malzemenin yapısı

Malzemenin yapısı işlenebilirliği etkiler. Bazı yapılar aşındırıcı özelliktedir ve malzemenin dayanımı yapı tipiyle değişir. Çeliklerdeki aşındırıcı etki karbürlerdir. Bunların miktarı ve biçimi, malzeme özelliklerini 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. Perlite ise, ferrit ve sementit'in lameller şeklinde bir karışımıdır. Lameller, ferrit ve sementit şeklinde sıralanmış olup, sertlik, sertlik açısından orta değerlerde yer alır. Perlite'nin sertliği aynı zamanda kalınlığına bağlıdır. İnce perlit, kaba perlite 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 etkiler. Bunlara ilaveten, ferritik çelikler genellikle martenzitik çeliklere göre daha iyi işlenebilirlik özellikleri sergiler. Ferrit içerisinde çok az miktardaki perlit ve tane sınırlarında fosfid çökeltili ferrit gibi çift fazlı mikro yapı, kesme kuvvetlerini azaltırken yüzey pürüzlülüğünü artırır. Buna karşın, tek fazlı ferritik mikro yapı, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirip kesme kuvvetlerini artırır. Ferrit matris içinde az miktarda martenzit fazı ihtiva eden çift fazlı çelikler, işlenebilirlik açısından iki önemli rol oynar [14-22].

1. Düşük sıcaklıklarda birincil deformasyon bölgesinde talaş kırılabilirliğini artırır.
2. Yüksek sıcaklıklarda ikincil deformasyon bölgesinde kesme kuvvetlerini düşürür.

3.1.8. Malzeme imalat yönteminin etkisi

Çelik malzemeye ait imalat durumları şöyle sıralanabilir: Sıcak haddelenmiş, normalize edilmiş, tavllanmış (yumuşatma tavlama, gerilim giderme tavlama), sertleştirilmiş ve temperlenmiş [14].

Sıcak haddelenmiş is 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 olumlu bir özellik değildir.

Normalizasyon işlemi sırasında malzeme östenitik bölgesindeki sıcaklığa çıkarılır. Malzeme yapısı tamamen östenite döndükten sonra havada 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 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 anlaşıldığı gibi, malzemede 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 sıcaklarda gerçekleştirilen bir işlem olup yapıyı etkilemez ve dolayısıyla 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 artırır. 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 [14].

3.1.9. Yüzey düzgünlüğü veya düzensizliği

Modern üretimde en önemli faktörlerden biri de yüzey düzgünlüğü ve kalite gibi özelliklerdir. Ön işlemeye tabi tutulmuş bir malzemenin tercih edilmesi çoğu zaman 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.

3.1.10. Alaşım elementlerinin etkisi

Malzemedeki alaşım elementleri özellikler üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Karbon, çelikteki mekanik ve işlenebilirlik 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 malzememin sertliği de arttığından, sertlikte takım aşınmasını hızlandırır. Bu nedenle, çelikler için maksimum işleme kabiliyeti % 0,2 C içerikli çelik olmaktadır [20]. Diğer alaşım elementleri, nikel, kobalt, mangan, vanadyum, molibden, niyobyum, tungsten, bakır vb. dir. Bazı alaşım elementleri ise işlenebilirlik üzerinde önemli pozitif etkiye sahiptir. Talaş oluşumu genellikle sünekliği azaltan alaşım elementleri ile iyileştirilebilir. İş parçası malzemenin 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 karbondur. Pozitif Etkileyenler: Pb, S, P ve % 0,3- % 0,6 oranları arasında karbondur [14].

3.2. Dökme Demirlerin İşlenebilirliği

Dökme demirlerin işlenebilirliği, yapı ve sertlikle belirlenir. Küresel grafitli dökme demirlerin kolay işlenebilirliğini etkileyen ve bu açıdan çeliklere üstün oluşunun önemli nedeni yapısındaki grafit partikülleridir. Grafit partikülleri, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkilerken, matris ise takım ömrünü belirleyen temel faktördür [4]. Dökme demir kalitelerine ait işlenebilirlik karakteristiklerinin belirlenmesi için yapının ve analiz sonuçlarının dikkate alınmasında yarar vardır.

- Karbon oranı azaldıkça işlenebilirlik düşer.
- Silisyum oranı artırılmış ferritik dökme demir yapısı daha güçlü ve daha az sünektir. Böyle bir yapı BUE yığılma talaş oluşumuna daha az meyillidir.
- Matris içerisinde perlitik oranın artırılması mukavemeti ve sertliği artırır, işlenebilirliği azaltır.
- Perlit ne kadar ince lamelli ve ince taneli ise işlenebilirliği o kadar düşüktür.
- İşlenebilirlik açısından serbest karbürlerin etkisi perlitik bir matrise sahip dökme demirler için çok daha olumsuzdur. Çünkü perlit matris içerisindeki karbür parçacıklarını bağlar.
- Döküm üst yüzeyinin sahip olduğu curuflar veya kum kalıntıları nedeniyle işlenebilirliği düşürür.
- Genellikle dökme demirin sertliği ve mukavemeti ne kadar artarsa, işlenebilirliği ve kesici takım ömrü o kadar azalır [23].

Talaşlı imalat alanında kullanılan dökme demir tiplerinin birçoğunun işlenebilirliği iyidir. Gri dökme demir kısa talaş, temper ve sfero dökme demir prensipte uzun talaş oluşturur. Lamel grafitli dökme demirin ve temper dökme demirin mükemmel işleme özellikleri vardır. Dökme demir işlemede karşılaşılan aşınma tipleri abreziv, adeziv ve difüzyon aşınmalarıdır. Abrasiv aşınma genellikle karbürler, kum kalıntıları ve daha sert çil yüzeyler nedeniyle oluşur. Adeziv aşınma ve BUE yığılma talaş oluşumu düşük işleme sıcaklıklarında ve düşük kesme hızlarında söz konusudur. Dökme demirin kesici uç üzerine en kolay kaynak olan kısmı ferritik olan kısmıdır. Bu

durum kesme hızının ve sıcaklığın artırılması ile önlenir. Öte yandan difüzyon aşınması da sıcaklığa bağlıdır ve özellikle yüksek mukavemetli dökme demirlerde ve yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Bu kaliteler daha yüksek deformasyon direncine, dolayısıyla daha yüksek çalışma sıcaklıklarına bağlıdır. Bu tip aşınma dökme demirler ile kesici takım arasındaki reaksiyona bağlıdır. Dökme demirlerle ilgili daha iyi yüzey kalitelerinin sağlanması amacıyla bazı işlemler yüksek kesme hızlarında seramik kesici takımlarla gerçekleştirilir.

Dökme demir işlemede aranılan tipik kesici takım özellikleri kızıl sertlik ve kimyasal kararlılıktır. Ancak iş parçası ve işleme koşullarına bağlı olarak tokluk, ısıl darbelere karşı direnç ve mukavemet de kesici kenarın sahip olması gereken özelliklerdir.

Dökme demir işlenmesinde iyi sonuçların elde edilebilmesi kesici kenarda aşınmanın ne şekilde geliştiğine bağlıdır. Isıl çatlaklar ve kesici uçtan ufak dökülmeler ucun kırılması sonucunda ani körelmeye, bunun sonucunda da iş parçasından parça kopmalarına, kötü yüzey kalitesine ve aşırı dalgalı yüzeylere neden olur. Genellikle keskin bir kenar için düzenli gelişmiş bir serbest yüzey aşınması şarttır [14-23].

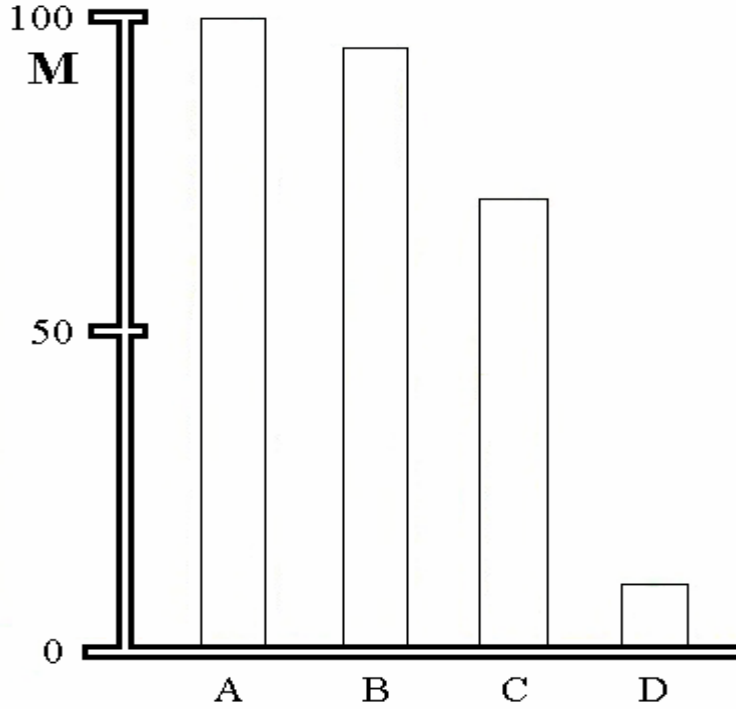
Dökme demirlerde düşük karbon içeriği, daha düşük işlenebilirliğe neden olur. Buna neden oluşan grafitin kırılma dayanımının düşük olmasındandır.

Perlit matrisli bir dökme demirde, perlitin matristeki serbest karbürlere asılması nedeniyle, serbest karbürlerin etkisi, perlit matrisli bir dökme demirde daha olumsuzdur. Bu durum, ferritik yapıda olduğu gibi yumuşak ferrit içinde doğru sürüklenme ve itme etkisi yerine kesici kenarın daha sert partiküller boyunca kesme yapması anlamını taşır. Yüksek perlit içeriği daha yüksek dayanım, daha yüksek sertlik ve daha düşük işlenebilirliğe neden olur.

Dökme demir matristeki % 5 civarında serbest karbür işlenebilirliği önemli ölçüde düşürür. Ayrıca dökme demirin üst yüzeyi curuf, döküm kumu ve benzeri düzensizlikler nedeniyle düşük işlenebilirlik sergiler. Dökme demirlerde kum

kalıntılara ve serbest karbürlere bağlı aşındırıcı sertlik işlenebilirlik üzerinde oldukça negatif bir etkiye sahiptir.

Talaşlı imalatta kullanılan dökme demirlerin birçoğunun işlenebilirliği iyidir. Sert perlitik dökme demirlerin işlenmesi zordur. Gri dökme demir kısa talaş, temper ve sfero dökme uzun talaş oluşturur. Lamel Grafitli dökme demirin ve temper dökme demirin işlenebilirliği mükemmeldir. Şekil 3.3’de belli başlı dökme demir tiplerinin birbirlerine göre işlenebilirlikleri gösterilmiştir. Şekilde (A) gri, (B) temper, (C) sfero ve (D) beyaz dökme demiri temsil etmektedir [9-19].



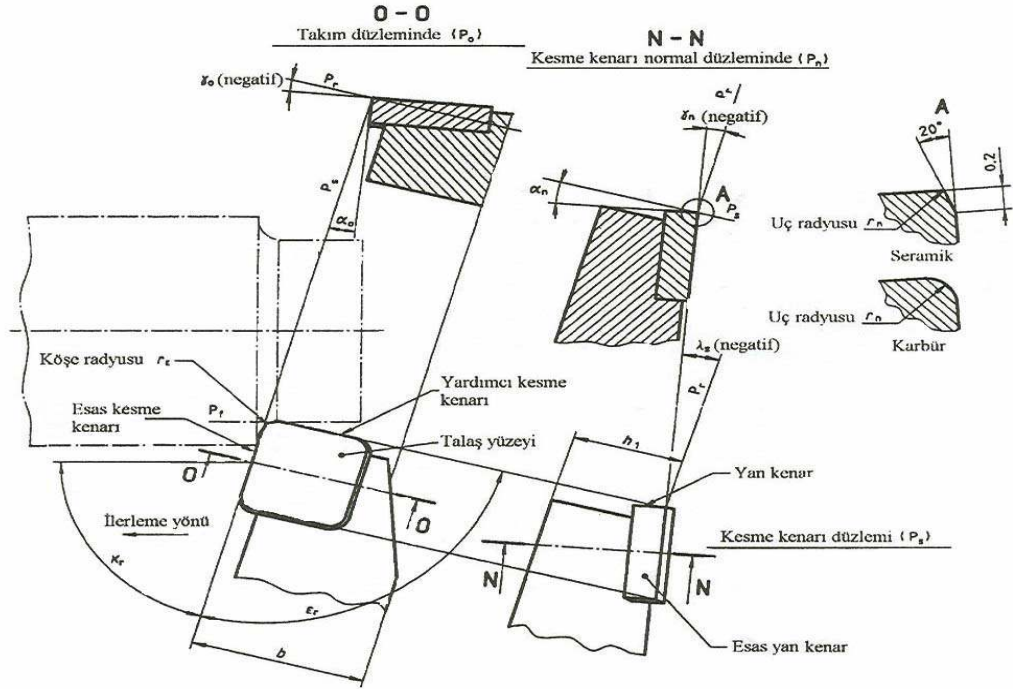
Şekil 3.3. Dökme demir tiplerinin birbirlerine göre işlenebilirlikleri

3.3. Kesici Takım, Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü

3.3.1. Kesici takım geometrisi

Talaşlı imalat işleminde etkin bir kesme işleminin yapılması için kesici takım uygun geometriye sahip olmalıdır. Çeşitli talaşlı imalat işlemleri için kesici takım

geometrileri de farklılık gösterir. Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan takımlar olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Bununla birlikte, bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan takımlar kullanılır [24]. ISO 3002-1’ de standart kesici takım kesme açıları Şekil 3.4 ve Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi verilmiştir.



Şekil 3.4. Kesici takım standart kesme açıları [20-24]

Çizelge 3.1. Standart takım uçları

Kesici Takım Malzemesi	Talaş açısı ¹ , γ	Boşluk açısı ¹ , α	Eğim açısı, λ_s	Ayar açısı, χ	Uç açısı, ϵ_r
Yüksek Hız Çeliği	25	8	0	75	90
Sert Metal	+6	5	0	75	90
	-6	6	-6	75	90
Seramik	-6	6	-6	75	90

1) Talaş ve boşluk açıları kenara dik düzlemde (Pn) veya kalem dik düzleminde (Po) ölçülebilir. Uygun indisler γ veya α 'ya ölçülen düzlemin belirtilmesi için eklenmelidir. Misal γ_n veya γ_o ve α_n veya α_o .

Burada boşluk açısı (α), kama açısı (β), talaş açısı (γ), eğim açısı (λ), uç açısı (ϵ) ve kesici kenar ayar açısı (χ) açıları görülmektedir. Takım geometrisini tayin eden faktörler α, β, γ gibi ana açılar ve takım ucunun uç yarıçapıdır.

Boşluk açısı (α), kesici takım ucunun ve taban alt yüzeyinin işlenecek iş parçasına sürtünmesini engellemek amacıyla verilir. Bu açının değeri genelde 5- 8° arasında olmakla beraber kesici takım/ iş parçasına göre değişmektedir.

Kama açısı (β), kesici takım ucunun kesme özelliğini sağlaması yani batmanın kolaylaştırılması için verilmekte olup bu açının değeri, hem takım malzemesi hem de değişmesi talaş açısını da değiştirir.

Talaş açısı (γ), talaşın kesici takım yüzeyinden akarak uzaklaşmasını sağlayan açı olup bu açı genellikle pozitif olarak verilir. Ancak bazı hallerde özellikle sinterlenmiş karbürler ve seramik takımlarla kesme yapıldığında talaş açısının değeri negatif olabilmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar talaş açısının pozitif, sıfır ve negatif olabileceğini göstermiştir. Genel kural olarak, talaş açısının artmasıyla kesme kuvvetleri azalır ve daha iyi bitirme yüzeyi elde edilir.

Takım geometrisini oluşturacak olan bu açıların değeri ise kesici ucun dayanımı ve kesme yeteneği arasında bir uzlaşmaya göre belirlenir. Bununla beraber, bu açıların kesme kuvveti ve tezgâh gücü, aşınma, takım ömrü ve tezgâhın dinamik davranışlarına büyük etkisi vardır [20].

3.3.2. Kesici takım malzemeleri

Talaşlı üretim işlemlerinde kullanılan kesici takımlar; yüksek hız çeliği (HSS), sinterlenmiş karbürler, kaplamalı sinterlenmiş karbürler, sermetler, seramikler ile son olarak da çok sert kesici takımlar olan doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (PCD) ve kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar olarak sınıflandırılmaktadır [21].

Kesici takım malzemesi ve takım üretici firmalar ürettikleri takımların ISO kodlama sisteminde hangi koda karşılık geldiğini işaret eden cetveller hazırlamışlardır. Aynı amaca hitap eden farklı uçların hangi bölgelere karşılık geldiği bu cetvellerden görülebilir. Bu sınıflandırma ve kodlamaya “kalite (Grade)” adı verilir. Talepleri elde edecek ve elde edilebilirliğe bağlı olarak bu kalitelerden biri seçilir.

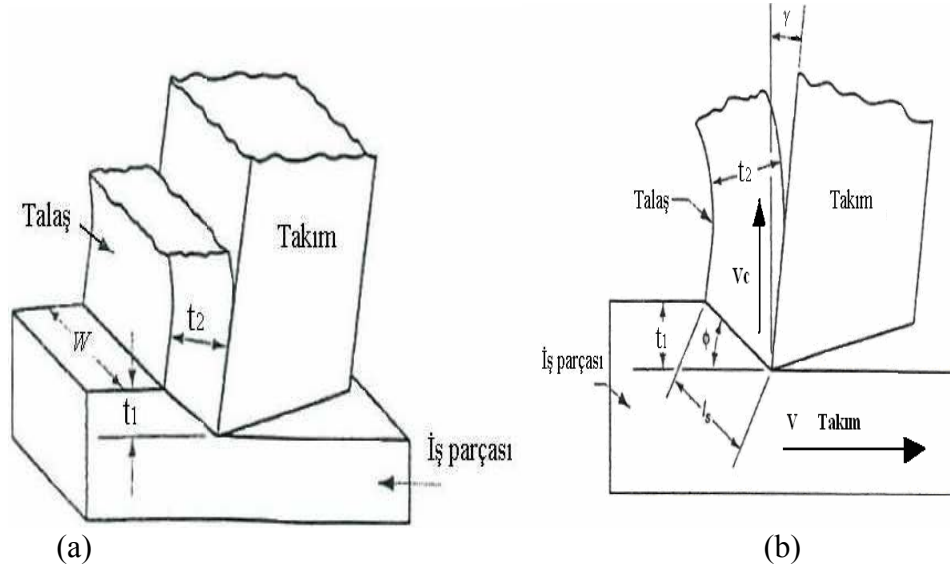
Talaşlı imalat esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme yapabilmesi için ideal kesici takım malzemesi şu özelliklere sahip olmalıdır.

- Sert olmalı, serbest yüzey aşınmasına ve deformasyona dayanmalı
- Yüksek tokluğa sahip olmalı, çatlaklara ve kırılmaya direnç göstermeli
- İş parçası ile kimyasal reaksiyona girmemeli
- Kimyasal açıdan kararlı olmalı, oksidasyona mukavemeti yüksek olmalı
- Isıl şoklara karşı iyi bir dirence sahip olmalı [6-20].

3.4. Talaş Oluşumu ve Geometrisi

Talaş oluşumu, Şekil 3,5’de gösterilen dik kesme modeline göre 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 edilmiş talaşın genişliği (w), kalınlığı (t_1) ile ifade edilirken,

deforme edilmiş talaş kalınlığı (t_2)' den daha büyüktür. Talaş kaldırma sırasında takım, kesme yönünde "V" kesme hızı ile ilerler ve talaş parçadan " V_c " hızı ile uzaklaşır. Takım yüzeyi boyunca yapışma ve sürtünme etkisiyle oluşan bölge ikincil deformasyon bölgesidir [14].



Şekil 3.5. Talaş oluşumu dik kesme modeli [9]

W : İş Parçası Genişliği

t_1 : Deforme Olmamış Talaş Kalınlığı

t_2 : Deforme Olmuş Talaş Kalınlığı

l_s : Kayma Düzlemi uzunluğu

Φ : Kayma Düzlemi Açısı

γ : Kesici Takım Talaş Açısı

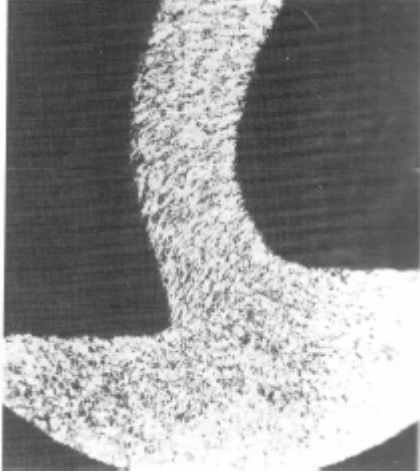
3.4.1. Talaş tipleri

Talaşlı imalat, 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.

Sürekli talaş

Sabit şartlarda genellikle sünek malzemelerin yüksek kesme hızında işlenmesi sırasında makro düzeyde çatlaksız olarak meydana gelir. Sürekli talaş, yüksek

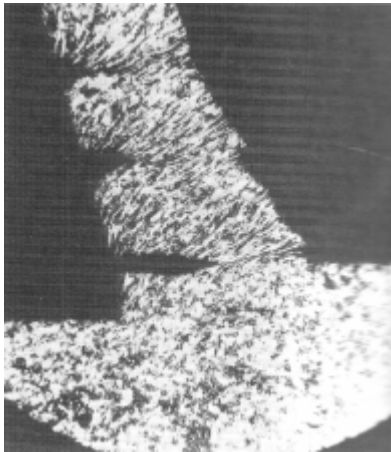
deformasyon nedeni ile sertleşir ve yüksek sertlik değerine ulaştığında takım aşınmasını artırır.



Şekil 3.6 Sürekli talaş [14,21]

Kesikli talaş

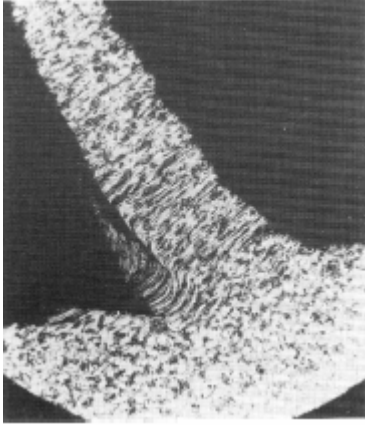
Talaş kaldırma sırasında eğer iş parçası gevrek bir yapıya sahipse, bu durumda talaşın şekillendirilmesi zordur. Bu durumda talaş birinci deformasyon bölgesinde kırılacaktır. Bu tür talaş genellikle dökme demir, pirinç döküm gibi malzemelerin işlenmesi esnasında ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda süreksiz talaş tipi sünek malzemelerin düşük kesme hızlarında ve büyük ilerleme değerlerinde işlenmesinde de meydana gelmektedir.



Şekil 3.7. Kesikli talaş [14,21]

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.



Şekil 3.8. Yığıntı talaş [14,21]

3.4.2. 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. Bu 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 [14-25].

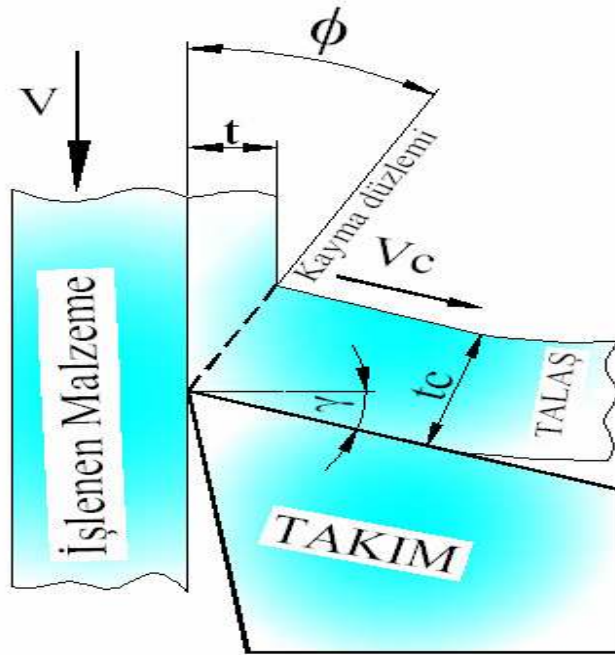
Bunlar arasında en önemlisi ise kesici takım performansdır. Talaş derinliğindeki değişimler, takım ömrü üzerine en az etkiye sahiptir. İlerleme miktarındaki değişimler takım ömrü üzerine talaş derinliğindeki değişikliklerden daha etkilidir.

Her hangi bir malzemede kesme hızındaki değişikliklerin takım ömrü üzerine etkisi, hem talaş derinliği hem de ilerleme miktarından daha fazladır. Bu nedenle kesme hızının artmasıyla takım ömründe belirgin bir düşüş görölmektedir.

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 ömrü daha az oranda azalacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir. Sonuç 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 [14].

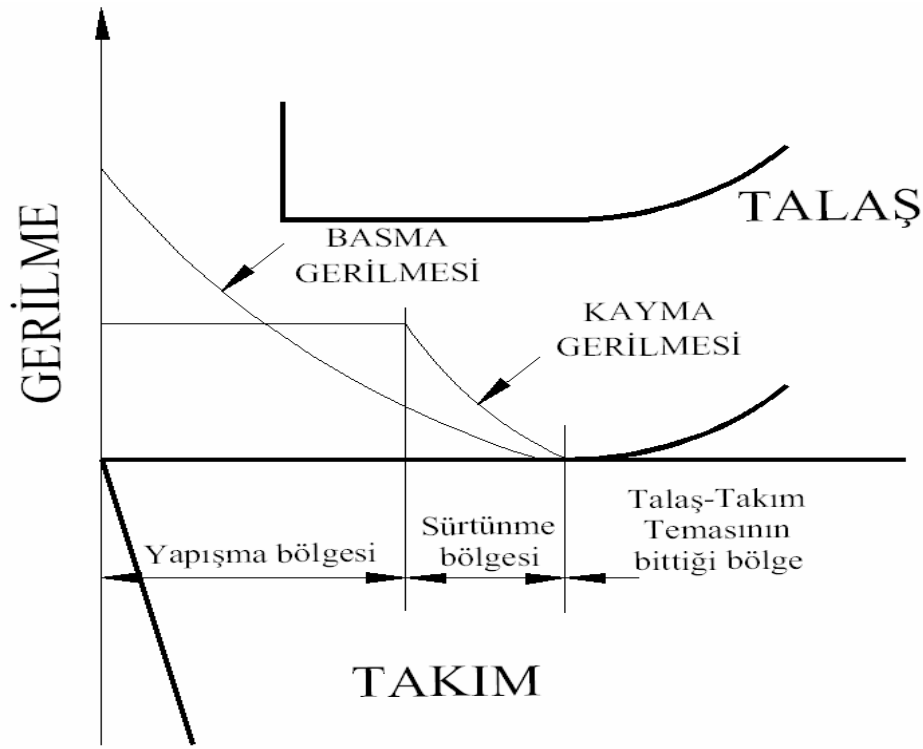
3.5. Kesme Kuvvetleri

Metallerden talaş kaldırma işleminin mekanizması, şematik olarak Şekil 3.9'da 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 ϕ kadar bir kayma (kesme) düzlem 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 V_c hızı ile uzaklaştırılır.



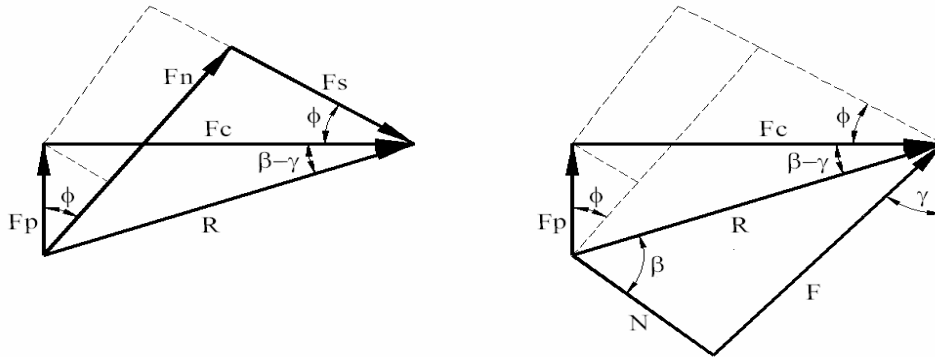
Şekil 3.9. Metal kesme işleminin temel mekaniği [21]

Şekil 3.10’da 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 3.10. Talaş kaldırma sürecinde etki eden gerilmelerin torna kalemінде şematik belirlenmesi [21]

Talaş ile yüzey arasındaki temas alanı kesme kuvvetlerine bağlıdır ki bu durum geometri optimizasyonunun en önemli nedenlerinden biridir. Geometri optimizasyonu talaş oluşumun kontrolü, kesme kuvvetleri ve kesici kenarın mukavemeti açısından son derece gereklidir. Temas alanının ve kesici takım geometrisinin genellikle iş parçası malzemesine göre farklılık göstermesi nedeniyle iş parçası malzemesinin de kesme kuvvetleri üzerinde etkisi vardır. Kesme sıvısının kullanılması da kesme kuvvetlerini etkiler, ancak bu kullanım düşük kesme hızlarında sınırlandırılmıştır. Şekil 3.11'a ve b'de kesici takım üzerinde kuvvet bileşenlerinin etkisi gösterilmiştir. Bileşik kuvvet (R), esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_a) ve pasif / radyal kuvvet (F_p) olarak üç bileşen kuvvetten meydana gelmektedir. Ayrıca sürtünme kuvveti (F), kayma düzlemi boyunca etki eden metali kesmek için gerekli kuvvet (F_s), kayma düzlemi üzerindeki kuvvet normali (F_n)'dir. Kesici takımın kesme yönündeki esas kesme kuvveti (F_c) 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 kollarına da

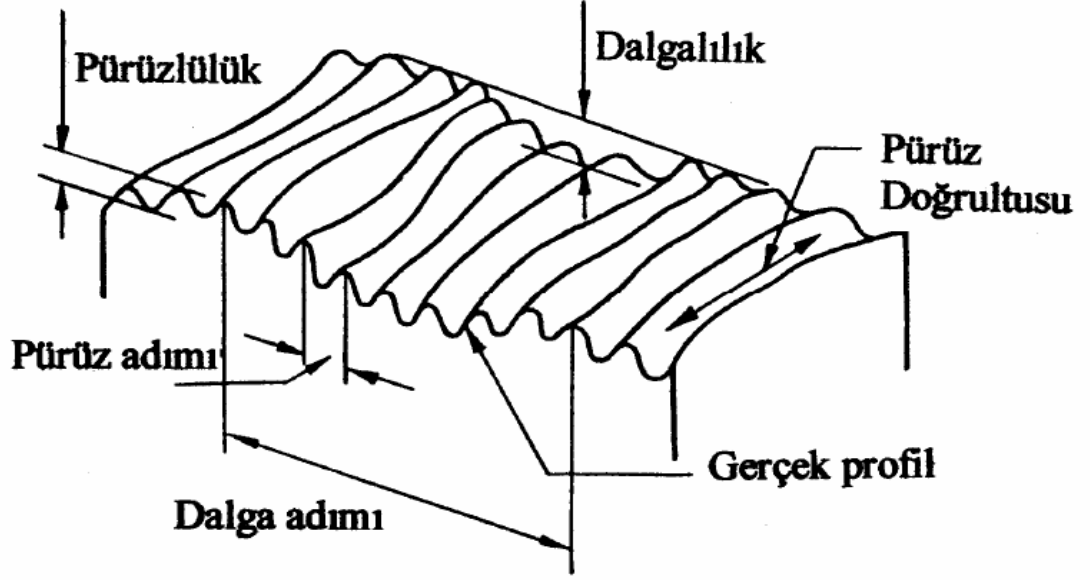


Şekil 3.12. Kesme kuvvetleri diyagramından çıkarılan hesaplama üçgenleri

3.6. Yüzey Pürüzlülüğü

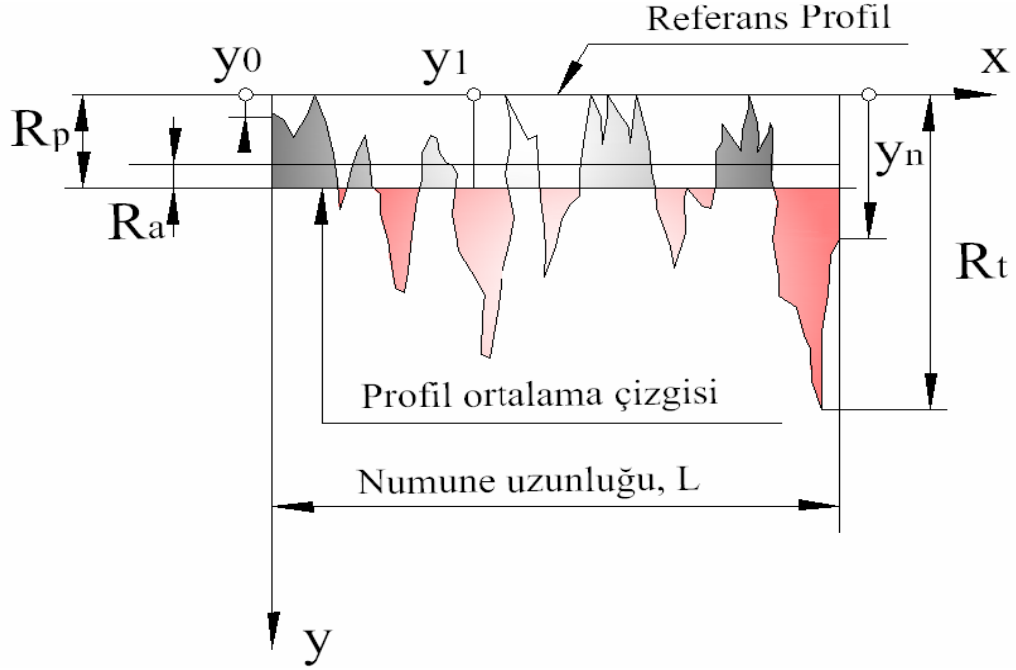
İşleme metodu, kesici takımın cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısı faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerinde etkisiyle işlenmiş yüzeylerde genellikle istenmediği halde bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir. İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır [21].

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere düzensizlik meydana gelir (Şekil 3.13). 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 [21].



Sekil 3.13. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler [21].

Seçilmiş uzunluk sınırları içerisinde, ortalama çizgisi ve profilin en yüksek noktası arasındaki mesafe maksimum profil tepe yüksekliği (R_p), profil çukurları çizgisi ve profil tepeleri arasındaki mesafe profilin maksimum tepe yüksekliği (R_t), beş en yüksek profil tepe yükseklikleri ve beş en derin profil derinliklerinin mutlak değerinin ortalamasına düzensizliklerin 10 nokta yüksekliği (R_z) ve seçilmiş örnek uzunluktaki profil sapmalarının mutlak değerinin aritmetik ortalaması (R_a) olarak tanımlanır [21].

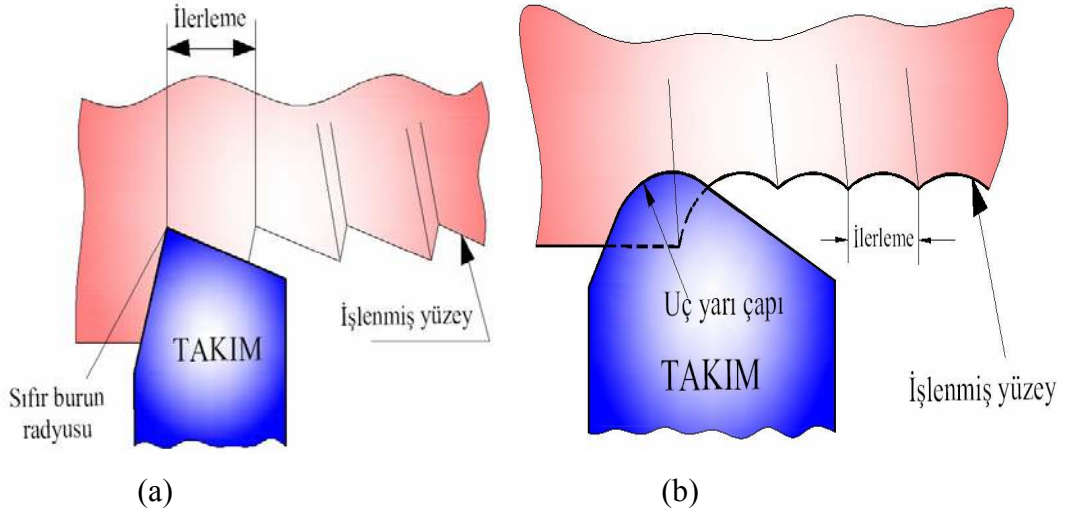


Şekil 3.14. Yüzey pürüzlülük değerleri [21]

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 tanımlama ile değerlendirilmektedir.

3.6.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü

En uygun biçimde verilmiş takım şekli, geometrisi, ilerleme ve kesme hızı ile sağlanabilen en iyi yüzey pürüzlülüğü “ideal yüzey pürüzlülüğü” vermektedir. Kesici takımda sıvanma, titreşim ve takımın hatalı bağlanması gibi nedenler 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 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. İdeal yüzey pürüzlülüğü

- a) Keskin köşeli kesici kalem ile oluşturulmuş ideal yüzey pürüzlülüğü modeli,
- b) Yuvarlak uçlu bir takım için ideal yüzey pürüzlülüğü modeli

3.6.2. 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.

3.6.3. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Bütün talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç, iş parçasında istenilen geometri ve hassas bir bitirme yüzeyi oluşmaktır. 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 olduğundan dolayı matematiksel modellenebilmesi için çoklu değişime 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.

Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Talaş kaldırma işleminde 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 değerinin 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. İlerleme ve talaş derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde artma gözlenir, fakat talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi diğer parametrelerde olduğu gibi fazla değildir.

Takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Talaş kaldırma işlemlerinde takım uç yarıçapı önemli bir faktördür. Uç yarıçapının büyük olması, malzeme üzerinde daha büyük bir 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 [21].

Titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

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

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. Bu ise yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler [21].

4. MATERYAL VE DENEYSEL METOD

4.1. Döküm Numuneler ve Analizi

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere GGG40, GGG50 sınıfı olmak üzere üç farklı dökümhanede dökülen 22x150 ebatlarında Resim 4.1’de görülen silindirik deney numuneleri ve çekme numuneleri üretilmiştir. Aşılama işlemi (Magnezyum ilavesi) 1415-1450 °C sıcaklıklar arasında potada gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelere KD, OD ve ED kodları kullanılmış olup, kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Resim 4.1. Deneylerde kullanılan numuneler

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan numunelerinin kimyasal bileşimleri (% Ağırlıkça)

Numune	C	Si	Mn	P	S	Mg
GGG 40 (ED)	3,48	2,35	0,15	0,010	0,020	0,040
GGG 40 (KD)	3,53	2,68	0,14	0,027	0,009	0,044
GGG50 (OD)	3,63	2,66	0,20	0,00	0,010	0,044

4.2. Numunelerin Sertlik Ölçümü

Deney numunelerinin sertlik ölçümleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji Malzeme Mühendisliği laboratuvarında Resim 4.2’de görülen Shimadzu makro sertlik ölçüm cihazı kullanılarak mikro ve makro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümünde 10 g yük ve makro sertlik ölçümünde 30 kg’lık yük uygulanmıştır.



Resim 4.2. Sertlik ölçüm cihazı

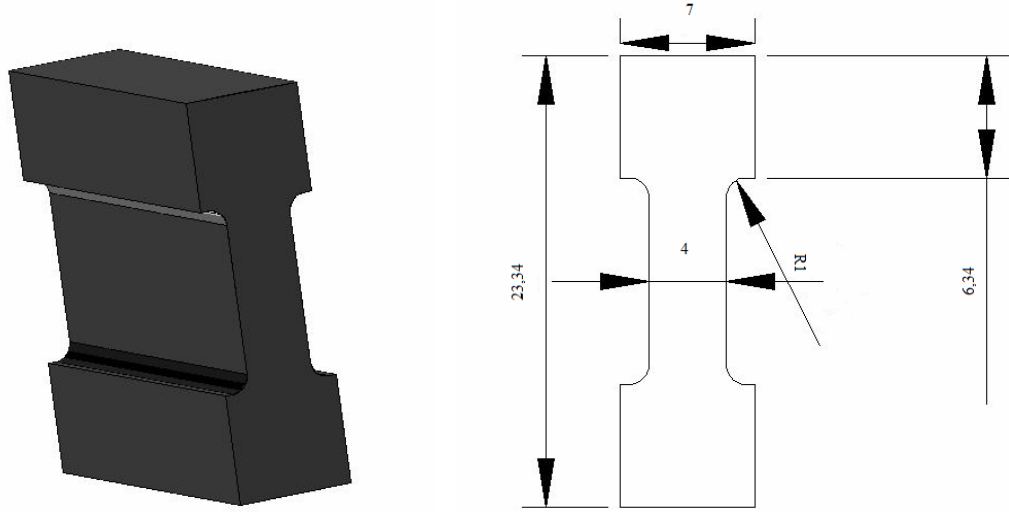
Sertlik ölçümü açısından mikro sertlik ölçümünde 7 ölçüm ve makro sertlik ölçümünde 5 ölçüm alınarak ortalama değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

4.3. Çekme Deneyi

Standartlarına göre hazırlanmış mikro çekme test numunelerinin (Resim 4.1) çekme deneyleri SHIMADZU 50 kN kapasiteli çekme test cihazında, 2mm /dk çekme hızında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. (Resim 4.3) Çekme deneyi verileri gerçek gerilme (MPa)- Gerçek uzama (%) oranı olarak belirlenmiştir.



Resim 4.3. Çekme cihazı



Şekil 4.1. Çekme deney numunesi ve ölçüleri

4.4. Metalografik İnceleme

Deney numunelerinin metalografik incelenmesi Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Malzeme Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. Hazırlanan numuneleri optik mikroskopta inceleyebilmek için, Struers Dap-7 marka Resim 5.4' te görülen zımpara makinesinde sırasıyla 120, 240, 400, 600, 800 ve 1200 mesh aralığındaki zımparalarla hassas bir şekilde zımparalanmış, her zımparanın değişiminde numunelerin yönü 90° değiştirilmiştir. Numuneler alkolle temizlenmiştir. Alkolsüz işlemlerde numunelerin çok hızlı oksitlendiği gözlemlenmiştir.



Resim 4.4. Struers Dap-7 Marka zımpara makinesi

Zımparalama sonrası numuneler Resim 4.5'te görülen parlatma cihazında 3 μm ' luk keçe kullanılarak parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işlemi sonrası % 2 Nital ve saf su ile 2 saniye süre ile dağlanmıştır. Dağlama işlemi sonrası numune yüzeyleri alkol ile temizlenmiştir.



Resim 4.5. Mecapol P-230 marka parlatma cihazı

Numunelerin mikro yapısal açıdan incelemeleri, zımparalama sonrasında $3\mu\text{m}$ 'lık keçe ile yapılan parlatma sonrasında gerçekleştirilmiştir. Parlatma sonrasında yapılan dağlama ile ortaya çıkan mikro yapı görüntüleri G.Ü.T.F. Malzeme Anabilim Dalındaki Joel JSM-5600 marka elektron mikroskop ve Laica marka optik mikroskoplar ile elde edilmiştir. (Resim 4.6). Optik Mikroskop yardımı ile görüntülenmeye çalışılan grafitin yapısı, dağılımı ve küreselleşme tavrı tespit edilmeye çalışılırken, SEM incelemelerinde çekme sonrasında oluşan kırık yüzey incelemeleri yapılmıştır.



Resim 4.6. JOEL JSM-5600 model taramalı elektron mikroskobu ve EDS bağlantısı

4.5. İşlenebilirlik Deneyleri

4.5.1 Tornalama işlemi

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri amaçlı tornalama işlemleri CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Bu standardın öngördüğü şekilde seçilen kesme parametreleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Kesici uç kalitesi KGDD malzemeye uygun seçilmiştir. Kesme hızı değerleri, imalatçı değerler göz önüne alınarak üç farklı değerde alınmış ve toplam 9 deney yapılmıştır. Her bir döküm parça için ayrı kesici uç kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Deney No	Kesme Hızı V m/dak	Devir Sayısı N dev/dak	İlerleme Miktarı mm/dev	Talaş Derinliği a (mm)
KD1	100	1592	0,10	1
ED1			0,20	
OD1			0,30	
KD2	150	2388	0,10	1
ED2			0,20	
OD2			0,30	
KD3	200	3184	0,10	1
ED3			0,20	
OD3			0,30	

Kesici takım malzemesi

İşlenebilirlik deneylerinde kimyasal buhar çökeltmesi (CVD) ile 9 μm 'luk TiCN – Al_2O_3 - TiN katmanları ile çok katlı kaplanmış ISO K10 sınıfı küresel grafitli dökme demirler için tavsiye edilen ve Şekil 4.2’de görülen sementit karbür kesici uçlar kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Deneylerde kullanılan kesici uçlar

KORLOY firması tarafından HMNC 310 kalite grubunda üretilmiş ve Çizelge 4.4’te geometrik özellikleri verilen kaplamalı sementit karbür kesici uçlar orta talaş işlemleri içindir.

Çizelge 4.3. Kullanılan kesici uçların geometrisi

Kesici uç	DNMG 150608	HMNC310
Talaş açısı (γ)	-8°	0°
Boşluk açısı (α)	0°	7°
Uç açısı (ϵ)	55°	55°
Eğim açısı(λ)	-7°	0°
Yanaşma Açısı (χ)	93°	93°
Uç yarıçap (r)	0,8	0,8
Takım tutucu	PDJNR2525M15	PDJNL2525M15

Tezgâh

Deneylerde kullanılan numuneler Kayseri Merkez Endüstri Meslek Lisesi Makine Teknolojileri Alanı CNC dalında bulunan ShokMill kontrol ünitesine sahip Resim 4.7’de görülen Taksan TTC 630 sanayi tipi CNC torna tezgahında işlenmiştir. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgâhının özellikleri şunlardır.

1. Boyuna strok (Z eksen) 630 mm
2. Radyal strok (X eksen) 197 mm
3. Ayna – Punta arasında işlenecek maksimum çap 210 mm
4. Çalışma hızı (X- Z eksen) 10/ 15000mm/ dk,
5. Çalışma Kuvveti 800 daN
6. Ana is mili gücü 37 KW
7. Ana is mili devri (min/max) 10/4000 d/dk
8. İş mili delik çapı 52 m
9. Ayna çapı 210 mm
10. Kullanılabilen döner takım sayısı 6
11. Döner takım maksimum devri 4000 d/dk
12. Kontrol ünitesi Siemens.



Resim 4.7. Taksan TTC 630 sanayi tipi CNC torna tezgahı

4.5.2. Delik delme işlemi

Deney numuneleri Kayseri Merkez Endüstri Meslek Lisesi Makine Teknolojileri CNC alanında bulunan Shokmill işletim sistemine sahip Resim 5.8’de görülen Taksan TMC-700V dik işleme merkezinde imal edildi. Yapılan deneylerde iş parçası malzemesi olarak Resim 4.9’de görülen küresel grafitli dökme demir malzemeler kullanıldı.



Resim 4.8. Delme işleminde kullanılan tezgah

Delme işleminde optimum sonuçlar elde etmek amacı ile delme derinliği, delik çapının üç katı veya üç katından daha düşük olması gerektiği şartına uymak amacı ile 30 mm seçildi [26]. Deney sırasında takımlardaki muhtemel ısı şokunu azaltmamak için soğutma sıvısı kullanılmadı. Deneylerde kullanılan parametreler Çizelge 4.5'te verilmiştir.



Resim 4.9. Delme işleminde kullanılan numuneler

Delme işleminde 118° uç açısına sahip HSS (High Speed Steel, Yüksek Hız Çeliği), matkap uçlar kullanıldı.

Çizelge 4.4. Delik delme işleminde kullanılan parametreler

Deney No	Kesme Hızı V m/dak	Devir Sayısı N dev/dak	İlerleme Miktarı (mm/dev)	Delme Derinliği (mm)
KD1	14	445	0,10	10
ED1			0,20	20
OD1			0,30	30
KD2	18	573	0,10	10
ED2			0,20	20
OD2			0,30	30
KD3	22	700	0,10	10
ED3			0,20	20
OD3			0,30	30

4.5.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

Yüzey pürüzlülük ölçümünde Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan ve Resim 4.10’da görülen Mitutoyo Surf test 201 tipi masaüstü yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri, her bir kesici takım ile talaş kaldırma işleminden sonra elde edilen işlenmiş yüzey üzerinde, üç farklı yerde yapılmış ve aritmetik ortalaması alınmıştır. Tornalama ve matkapla delme işlemi sonucu oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.



Resim 4.10. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Sertlik ölçüm sonuçlarına göre en düşük sertlik ED numunesinde ölçülürken, En yüksek sertlik KD numunesinde ölçülmüştür (Çizelge 5.1). Çizelgedeki sertlik değerleri ölçümleri için, mikro sertliklerden 7 tane ölçümün ortalaması alınırken, makro sertlik ölçümlerinde 5 adet ölçümün ortalaması alınmıştır.

Çizelge 5.1. Numunelerin ortalama sertlik ölçüm sonuçları

Numune	Mikro Sertlik (Hv 0,1)		Makro Sertlik (Hv 30)
	Matris	Grafit	
OD	375,5	76,5	234
ED	246,3	78,34	214
KD	755,4	98,5	210,4

5.2. Çekme Sonuçları

Döküm şeklinde elde edilen çekme numuneleri hassas kesme cihazında kesilerek çekme deney düzeneğine hazır hale getirilmiştir. Her bir numuneden en az 3 adet çekme işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuç verilerinde ortalama değer verilmiştir. Çekme deney sonuçları aşağıdaki tabloda verildiği gibi çekme mukavemetlerine göre sıralandırılmıştır. KD numunelerinin, çekme deney sonucu en düşük olarak 330 N/mm² çıkarken en yüksek çekme değeri 580 N/mm² çekme değeri ile OD numunelerinde elde edilmiştir.

Elde edilen çekme değerleri incelendiğinde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer hususta dökülen çekme numunelerinin ince kesitli oluşudur. Bu hem segregasyonu artıracak hem de küre oluşumunu olumsuz yönde etkileyecektir. Bilindiği gibi dökülen parça kesiti küre oluşumunu doğrudan etkileyen bir parametredir. Talaşlı imalat numuneleri ile mekanik test numuneleri aynı anda farklı

kesitlere dökülmüştür. Her ne kadar işlem hızlı gerçekleşse de aralarında farklılıklar oluşması kaçınılmazdır.

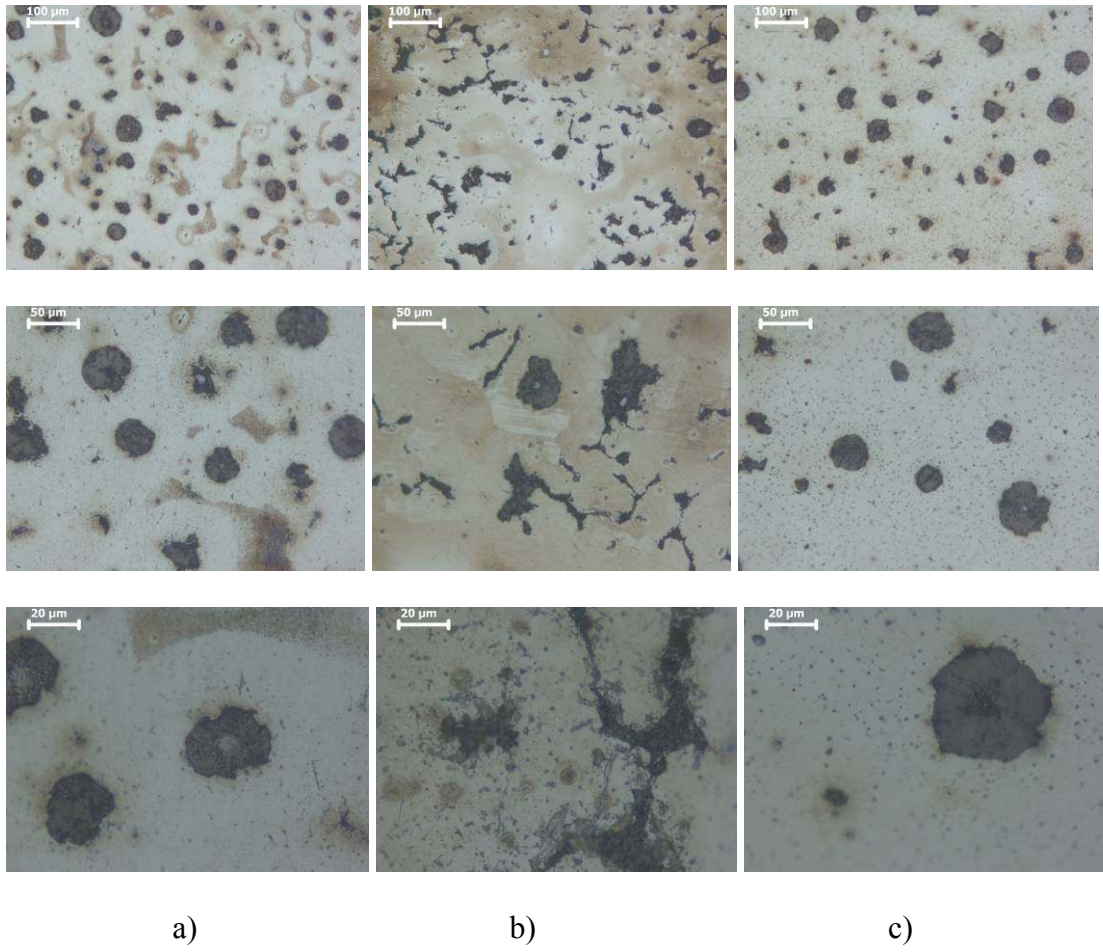
Çizelge 5.2. Numunelerin çekme mukavemeti

Numune	Max. Çekme Mukavemeti.
KD	330 N/mm ²
ED	440 N/mm ²
OD	580 N/mm ²

5.3. Metalografik İncelemeler

3 farklı firmada üretilen döküm malzemenin (Çizelge 4.1), çekilen SEM ve optik mikroskop görüntüleri ile kimyasal bileşimlerinin mikro yapıya olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı kimyasal kompozisyona sahip olarak üç farklı firmada üretilen malzemenin farklı mikro yapı özelliklerinin, uygulanan işlenebilirlik deneylerinde, uygulanan kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Farklı firmaların üretim süreçlerinde gerçekleştirilen döküm yapıları üzerine yapılan çalışmalar sayesinde, kullanılan içeriklerin farklılaşmasının mikro yapıya olan etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Resim 5.1.'de görüldüğü gibi mikro yapılarda küreselleşme farklılıkları tespit edilmiştir. Bu farklılaşmanın başında içerikte elementel olarak oluşturulan farklılaşmadan (Çizelge 4.1) kaynaklandığı düşünülmektedir [15].



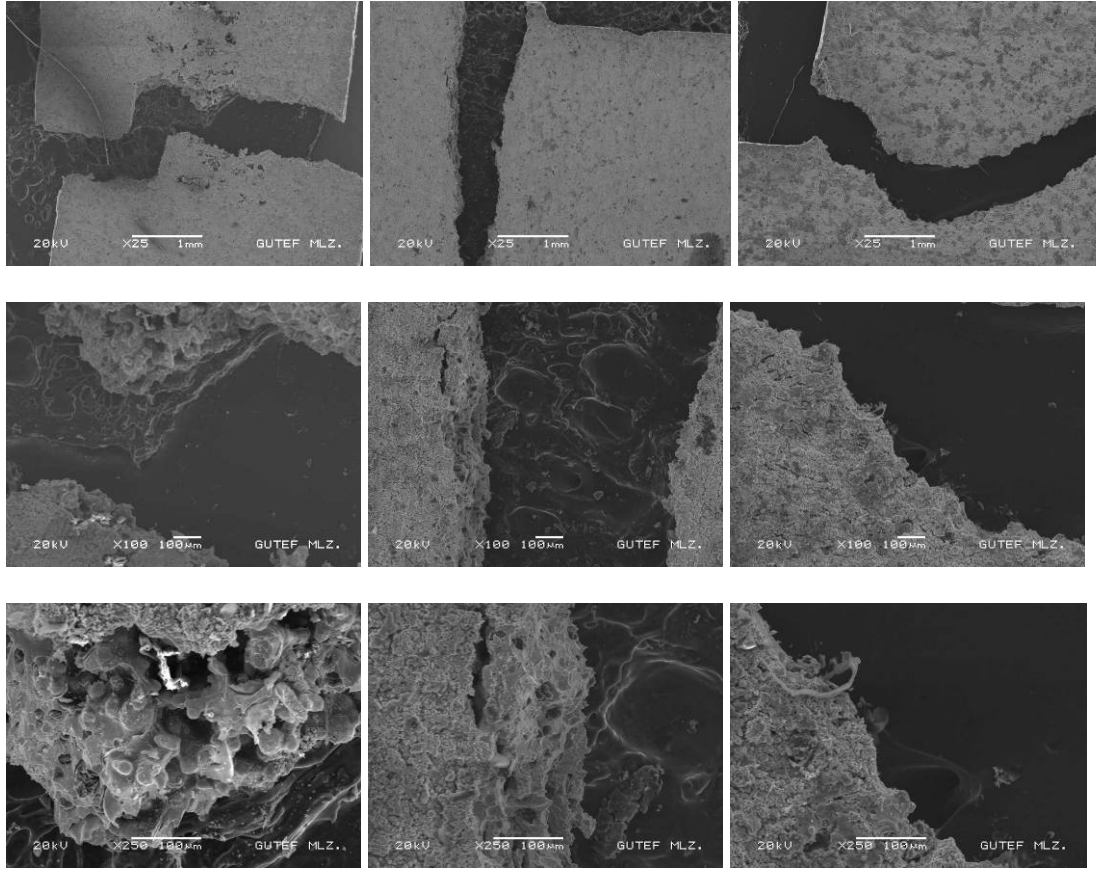
Resim 5.1. Farklı firmalarda üretilen döküm malzemelerin mikro yapıları

- a) ED numunesi GGG40
- b) OD numunesi GGG50
- c) KD numunesi GGG50

Mikro analizler yapılırken, büyük ölçekli büyütme yapıldığında (Resim 5.1), yapıların küreselleşme tavırları daha iyi görülebilmektedir. ED numunesinin mikro yapısında küreselleşme tavrı diğerlerine göre daha fazla olduğu birim resim karesine düşen küreselleşmiş yapılar ile görülebilmektedir (Resim 5.1a). OD numunesinin küreselleşme tavırları incelendiğinde, grafit tanelerinin küreselleşme eğiliminin düşük olduğu ve küreselleşemediği tespit edilmektedir (Resim 5.1b). KD numunesinin (Resim 5.1c) mikroyapısı incelendiğinde Resim 5.1.a' ya göre küreselleşmiş yapıların az olduğu ve küre boyutlarının ve perlitik dönüşümün farklı olduğu belirlenmiştir.

Aynı zamanda KD ve OD kodlu numuneler kimyasal bileşimi itibari ile ferritik yapıya sahip oldukları düşünülürse, OD numunesinden farklılaşması gündeme gelebilir. Perlitik KGDD başlangıç kimyasal bileşimine sahip OD numunesi hem kimyasal bakımdan farklıdır, hemde kimyasal yapıya bakıldığında küreselleştirme işleminin başlangıcında yani 4. dakikalar civarında döküldüğü düşünülebilir [15].

Alaşımalar özellikle ferrit- perlit geçiş aralığında seçilmiştir. Kimyasal bileşimlerde anlaşılabileceği gibi KD ve ED numuneleri ne kadar ferritik olsalarda OD nin perlitik yapısına benzer görüntüler sergilemektedirler.



a)

b)

c)

Resim 5.2. Çekme sonrası numunelerin SEM görüntüleri

a) ED numunesi GGG40

b) OD numunesi GGG50

c) KD numunesi GGG50

Döküm sonrasında elde edilen çekme numuneleri hassas kesme cihazı ile dilimlenerek, çekme işlemi için hazır hale getirilmiştir. Çekilen numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde (Resim 5.2); numuneler üzerinde çekme ile meydana gelen kırılma tipleri görülebilmektedir. ED numunesinde çekme sonrası kopmanın ortaya çıkması, orta kısımda uzama ile meydana gelirken, OD numunelerde ve KD numunelerde gerçekleştirilen çekme işlemi sonrası kopma, en zayıf bölgeleri olan tam boyun kısmının bittiği uç noktadan gerçekleşmektedir. Burada kopmalarının nedeni, oluşabilecek boşluk, segregasyon ve istenmeyen impürütülerden meydana gelebileceği düşünülmektedir.

Resim 5.2 de yüksek büyütmelerde elde edilen resimler incelendiğinde; ED numunesinin çekme deney numunesinde gözenekliliğin yoğun olduğu görülebilmektedir (Resim 5.2a). OD numunelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde gevrek bir kırılma oluştuğu görülebilmektedir (Resim 5.2b).

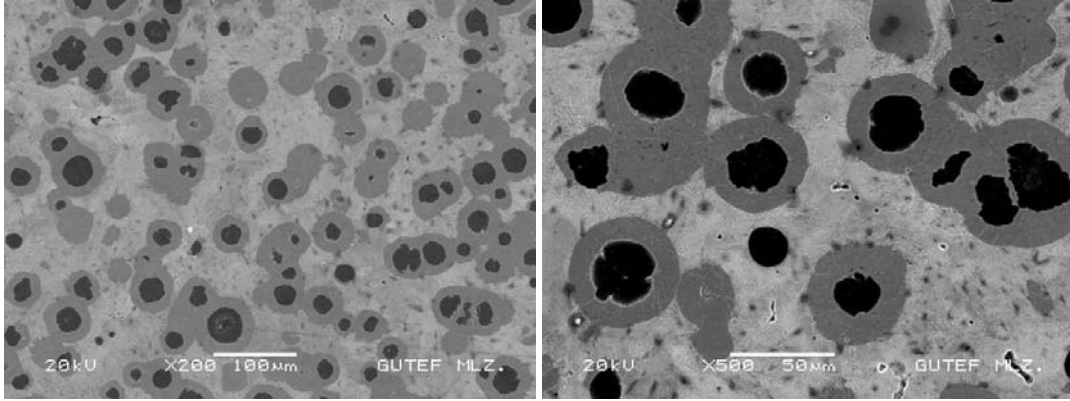
OD numunelerinin perlitik yapıya sahip olması kopma formlarının farklılaşmasına neden olmuştur. ED ve KD numuneleri ferritik yapısından dolayı daha sünek bir kopma formu sergilerken, perlitik yapının yoğunlaştığı OD numunelerinde gevrek kopma tarzı hakimdir. Ancak tüm numunelerin döküm yöntemiyle elde edinildiği düşünülürse oluşan segregasyonların ve hataların göz ardı edilmemesi gereklidir.

5.4. Numunelerin SEM ve EDS Analizleri

Dökme demirlerin bir sınıfı olan KGDD' nin mekanik özellikler yönünden diğer dökme demir malzemelerle karşılaştırıldığında çok daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bu üstün mekanik özelliklerin elde edilmesinde KGDD' ye ilave edilen alaşım elementlerinin tür ve miktarları, sementit oluşumu, grafitin küreselleşmesi ve dağılımı ile matris mikro yapı türünü etkilediği için büyük önem taşımaktadır [27].

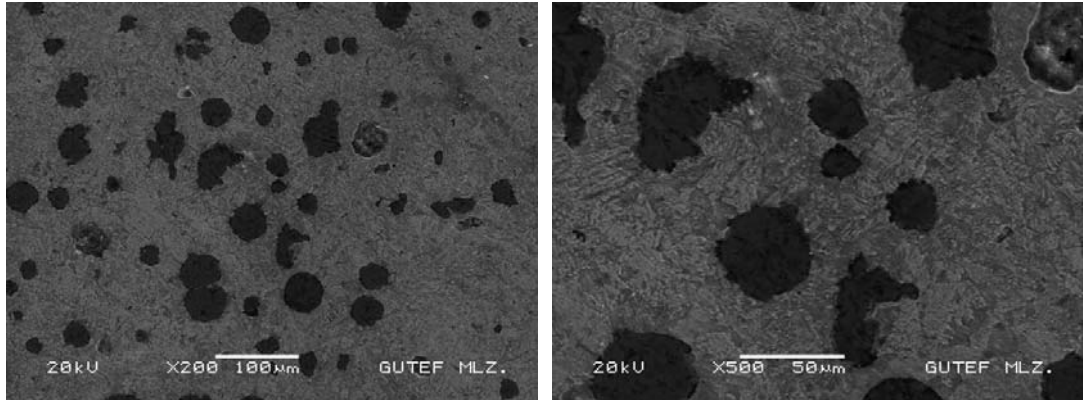
Resim 5.3' de görüldüğü gibi grafitin küreleştiği ve çevresindeki ferritik alanların oluşumunu tamamladığı görülmektedir. Bu alanların dışında kalan bölgeyi oluşturan perlitik yapı malzemenin dayanımını belirleyen temel faktördür. Ancak talaşlı imalat

sırasında kesici takım ucuna etkiyen kuvvetler açısından ve yüzey pürüzlülüğü noktasında etkin olan küre şekli ve dağılımı mikro yapı boyutu ile değerlendirilmiştir. Kürelerin ortalama boyutları 20-30 μ m olduğu düşünülürse yüzey pürüzlülüğünü kısmen etkileyen faktör olduğunu söylemek yanlış olamayacaktır.

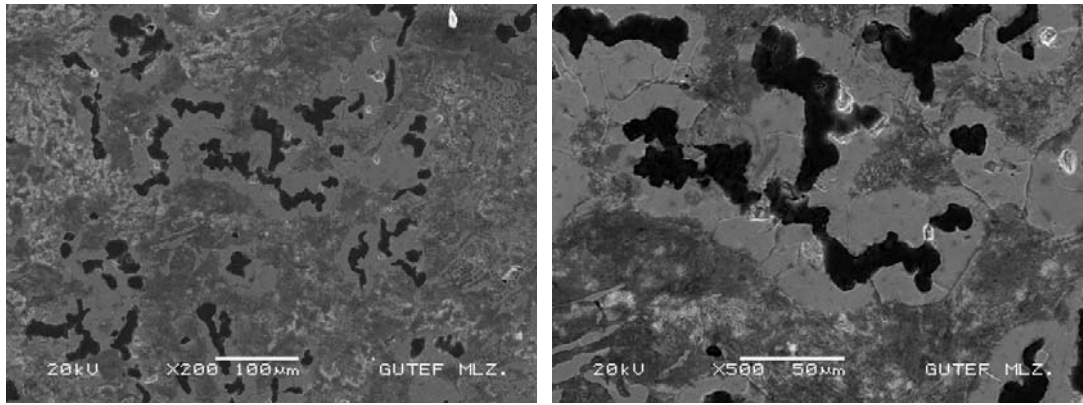


Resim 5.3. ED numunesi SEM görüntüleri

Resim 5.4’de görüldüğü gibi, küreler oluşum safhasını tamamlamamıştır. Aynı zamanda ferritik bölgelerin oluşmadığı yapının küresel grafitlerinin dışında kalan alanın perlitik yapıya sahip olması sürecin tamamlanmadığının bir göstergesidir. Resim 5.5’ de OD numunesine ait SEM görüntüleri de benzer bir sürecin daha başlangıcında olduğunu göstermektedir. Küre şekilleri başlangıçta yapraksı, daha sonra küresel ardından da aşılamanın etkisini yitirmesi ile birlikte elipsimsi bir şekil sergilemesi mekanizma gereğidir. Oluşan küre şekilleri talaşlı imalat işlemlerini doğrudan etkilemektedir.

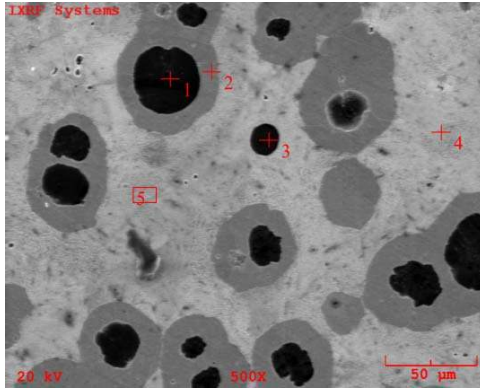


Resim 5.4. KD numunesi SEM görüntüleri

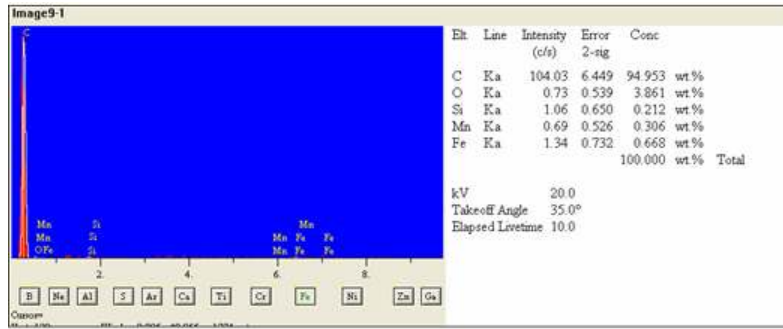


Resim 5.5. OD numunesi SEM görüntüleri

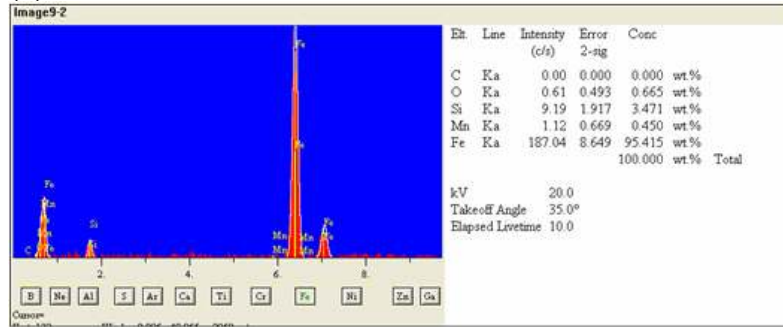
SEM incelemeleri sonrasında yapıda oluşan fazların kompozisyon farklılaşmasının tespiti amaçlı EDS analizleri yapılmıştır. Bilindiği gibi küreleşme eğilimini artırıcı alaşım elementleri sırasıyla C, Si ve Mn şeklinde olduğu düşünülürse yapıyı oluşturan kürelerin ve yakın bölgelerin analizleri yapılmıştır. Resim 5.6, 5.7 ve 5.8’ de yapılan analizlerde göstermiştir ki mikro yapıyı oluşturan temel alaşım elementleri ve küreleştirici etki amaçlı ilave edilen alaşım elementlerinin etkisine bağlı olarak ferritik ve perlitik bölgelerin oluşumu tespit edilmiştir.



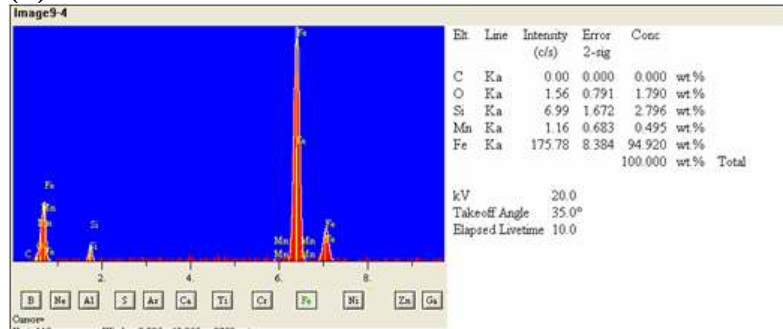
Resim 5.6. ED numunesi SEM görüntüsü



(a)



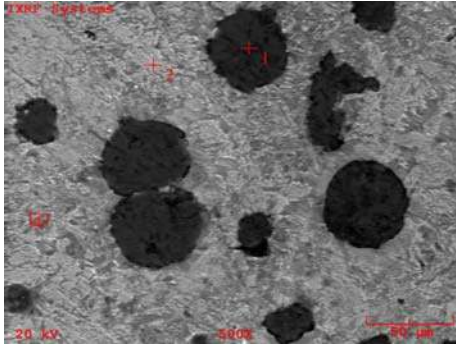
(b)



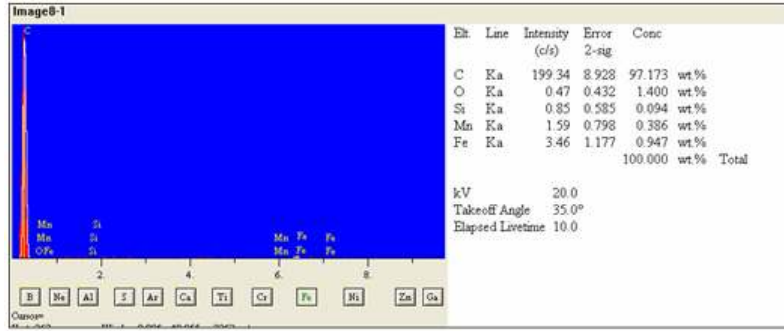
(c)

Şekil 5.1. ED numunesine ait EDS analizleri

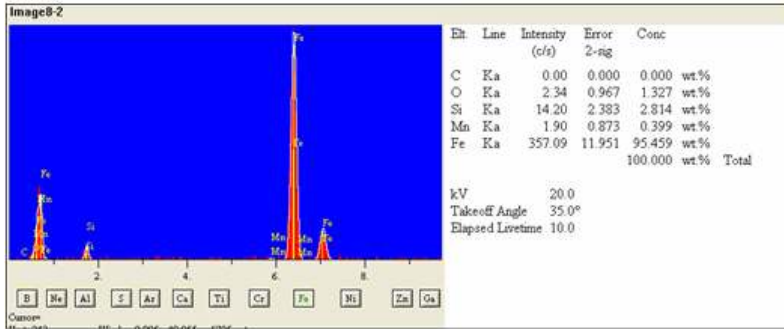
a) 1. nokta analizi b) 2. nokta analizi c) 4. nokta analizi



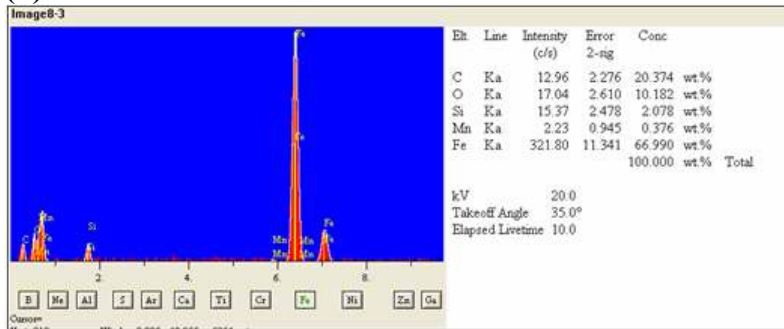
Resim 5.7. KD numunesi SEM görüntüsü



(a)



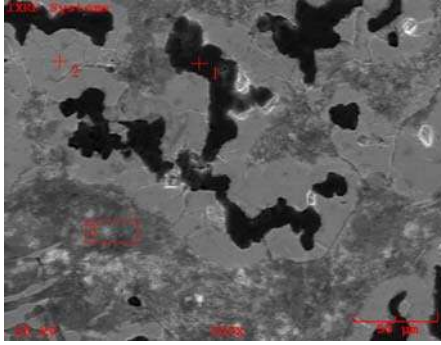
(b)



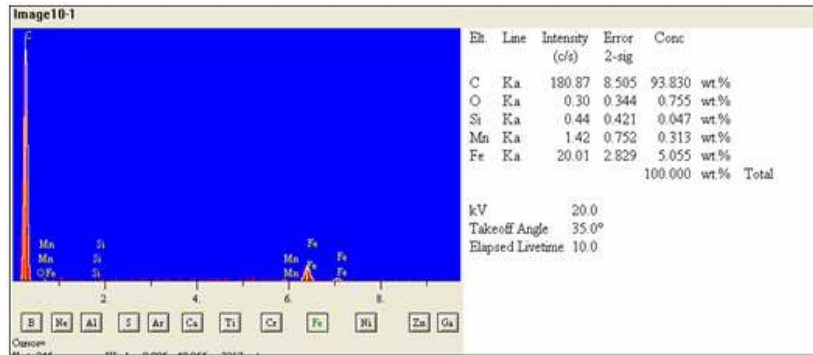
(c)

Şekil 5.2. KD numunesine ait EDS analizleri

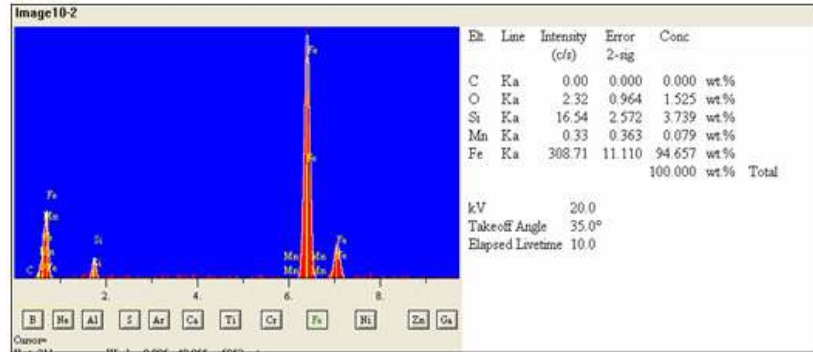
a) 1. nokta analizi b) 2. nokta analizi c) 3. nokta analizi



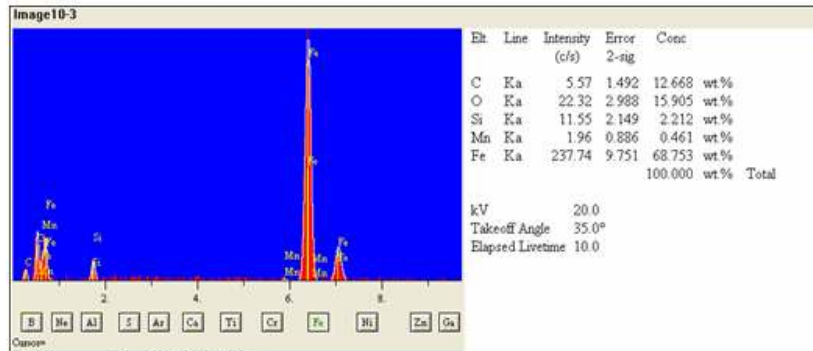
Resim 5.8. OD numuesi SEM görüntüsü



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.3. OD numunesine ait EDS analizleri

a) 1. nokta analizi b) 2. nokta analizi c) 3. nokta analizi

5.5. Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirme

Yüzey pürüzlülük ölçümleri, her bir kesici takımla talaş kaldırma işleminden sonra elde edilen işlenmiş yüzey üzerinde üç farklı bölgede yapılmış ve aritmetik ortalaması alınmıştır. Çizelge 5.3'te tornalama ve Çizelge 5.4'te matkapla delme işlemi sonucu oluşan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) verilmiştir.

Çizelge 5.3. Tornalama sonunda oluşan yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

Numune	Talaş Derinliği (mm)	Kesme Hızı V (m/min)	İlerleme Miktarı mm/rev	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm μm Değerleri			Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)
				1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	
KD1	1	100	0,10	1,51	2,26	2,15	1,97
ED1				2,06	2,30	2,55	2,30
OD1				0,81	0,85	0,58	0,75
KD2	1	150	0,20	2,56	2,98	3,01	2,85
ED2				2,12	2,57	2,44	2,38
OD2				2,08	1,70	1,90	1,89
KD3	1	200	0,30	3,58	3,45	3,78	3,60
ED3				3,55	3,38	3,62	3,52
OD3				3,91	3,88	4,20	4,00

Çizelge 5.4. Matkapla delme sonunda oluşan yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri

Numune	İlerleme Miktarı mm/rev	Delme Derinliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Değerleri μm			Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
			1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	
KD1	0,10	10	9,26	8,00	7,61	8,29
ED1			8,39	8,24	5,98	7,53
OD1			8,30	10,70	9,52	9,50
KD2	0,20	20	6,04	7,60	7,10	6,91
ED2			9,06	9,09	8,33	8,83
OD2			8,05	8,18	8,60	8,28
KD3	0,30	30	8,35	9,90	6,53	8,26
ED3			9,81	9,61	11,34	10,25
OD3			9,89	7,55	6,21	7,88

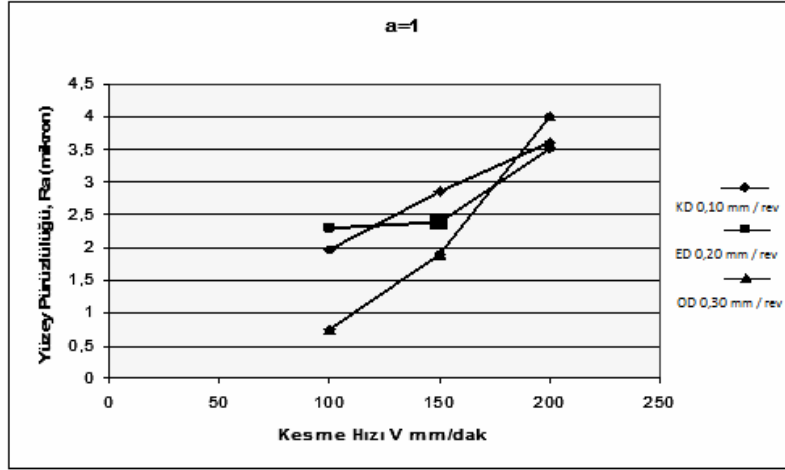
Şekil 5.4'te ise KD, ED ve OD numunelerinin tornalanması sonucunda elde edilen yüzeyin pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişimleri birlikte verilmiştir.

Söz konusu grafik incelendiğinde; KD, ED ve OD numuneleri için farklı kesme hızlarında; ilerleme miktarları 0,10 mm/dev, 0,20 mm/dev ve 0,30 mm/dev' e bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimleri görülmektedir. Literatüre paralel olarak artan kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır [28, 29,30].

KD numunelerde artan kesme hızı ve ilerleme değerlerine göre yüzey pürüzlülük değerleri 0,1 mm/dev ilerleme miktarı 0,2 ve 0.3 mm/dev ilerleme miktarlarına göre yüzey pürüzlülük değerlerinde yaklaşık olarak %45 ve %82'lik bir azalma tespit edilmiştir.

ED numunesi ve OD numunesinin tornalanması sonucunda elde edilen eğriler incelendiğinde artan kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 100 m/dak yapılan deneylerde elde edilmiştir. 0.2 mm/dev ilerleme miktarı için kesme hızının

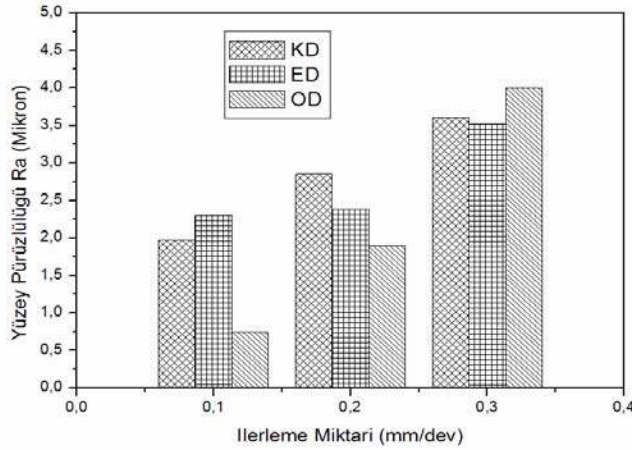
artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün artma eğiliminde olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının ve kesme hızının artması takım aşınmasını da arttıracığından yüzey pürüzlülüğü de bundan olumsuz yönde etkilenir.



Şekil 5.4. Tornalama sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği

Artan kesme hızı ve ilerleme değerlerine göre ED numunelerde 0.1 mm/dev ilerleme değeri 0.2 ve 0.3 mm/dev ilerleme değerlerine göre yaklaşık olarak %4 ve %53 lük yüzey pürüzlülük değerinde düşme meydana geldiği tespit edilmiştir.

OD numunelerinde kesme hızı ve ilerleme miktarlarındaki artış nedeniyle 0.1 mm/dev ilerleme miktarına sahip numune, 0.2 ve 0.3 mm/dev ilerlemeye değerlerine göre yüzey pürüzlülük değerlerinde % 152 ve % 433 artma belirlenmiştir.

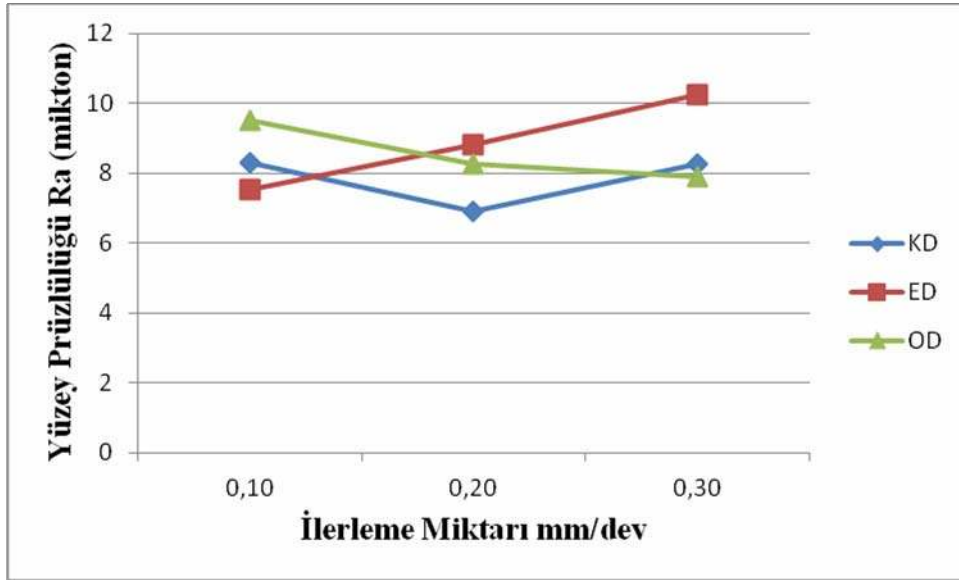


Şekil 5.5. Tornalama sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü - ilerleme miktarı

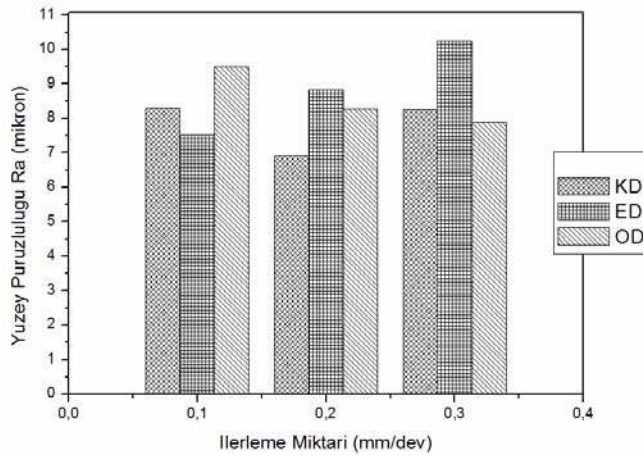
İlerleme miktarına bağılı olarak 100 m/dak., 150 m/dak. ve 200 m/dak kesme hızlarında ortalama yüzey pürüzlülüğünün değişimleri Şekil 5.5’de verilmiştir. Artan ilerleme miktarları ile bütün kesme hızlarında ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı grafikte görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmıştır. İlerleme miktarının artmasıyla oluşan bu artış literatürdeki çalışmalarla paralellik göstermektedir [21-28].

Sermet takımla yapılan deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü grafiği incelendiğinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,1 mm/dev ilerleme değerinde 100 m/dak kesme hızında OD1 numunede 0,75 μm ve en yüksek yüzey pürüzlülüğü 200 m/dak kesme hızında 0,3 mm/dev ilerleme miktarında OD3 numunede 4,00 μm olarak ölçülmüştür. Benzer bir çalışmada küresel grafitli dökme demirden GGG 70 yapılmış kam millerinin işlenebilirliğini deneysel olarak araştırılmıştır. Kam milleri, pozitif ve negatif talaş açılarında sementit karbür kesici takımlarla 250, 275, 300, 325 m/dak kesme hızlarında 0,15-0,25-0,30 mm/dev ilerleme miktarlarında ve 0,5 mm ve 2 mm kesme derinliklerinde işlenilmiştir. İlerleme miktarının 0,15 mm/dev’den 0,25 mm/dev’e çıkması, elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerinin % 100 artmasına sebep olmuştur. İlerleme miktarının 0,15 mm/dev’den 0,30 mm/dev’e çıkması ile de yüzey pürüzlülüğünün % 300 arttığı tespit edilmiştir [20].

Matkapla delme sonucunda Şekil 5.6’da, KD numunesine ait eğri incelendiğinde artan ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğünde az bir değişim olurken, ED numunesine ait eğri incelendiğinde ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. OD numunesine ait eğri incelendiğinde ise; artan ilerleme miktarında, yüzey pürüzlülüğünde azalma gözlenmektedir.



Şekil 5.6. Numunelerinde matkapla delme sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğünün farklı ilerleme miktarlarına göre değişimi (Eğri)



Şekil 5.4. Numunelerinde matkapla delme sonucu oluşan yüzeyin pürüzlülüğünün farklı ilerleme miktarlarına göre değişimi (Kutu)

Şekil 5.4 incelendiğinde farklı ilerleme miktarlarında KD numunelerin 10, 20 ve 30 mm delme derinliklerinde yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla 8,29 μm , 6,91 ve 8,26 μm olduğu tespit edilmiştir. 20 mm derinlikte delme işleminde yüzey pürüzlülük değerinin düşmesinin nedeni küreselleşmiş tanelerin oluşmasıdır. Küreselleştirme işlemi işlenebilirlik ve yüzey kalitesini iyi yönde etki etmektedir. ED numunelerde, ilerleme miktarı ve delme derinliğine göre yüzey pürüzlülük değeri artmaktadır. 10

mm, 20 mm ve 30 mm derinliklerde delme işlemlerinde yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla 7,53 μm , 8.83 μm ve 10,25 μm olarak tespit edilmiştir. Delme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülük değeri de artmıştır. OD numunelerde ise bu değerlerin artması ile yüzey pürüzlülük değerleri delme derinliğine göre sırasıyla 9.50 μm , 8,28 μm ve 7,88 μm olarak tespit edilmiştir.

İlerlemenin ve kesme hızının artmasıyla birlikte kesme bölgesinde sıcaklık artar ve kesici takım malzemesinin yapısına bağlı olarak kesici takım aşınır. Takım aşınması ve kesici takımın negatif geometriye sahip olması, kesme kuvvetlerinin artmasına ve bunun neticesinde artan titreşimle beraber yüzey pürüzlülüğünün kötüleşmesine neden olurlar. Kesici takımın tokluğunun zayıf olması göz önüne alındığında ani dinamik yükler kesici takımı düzensiz olarak aşındıracağı ortaya çıkmaktadır. Buda yüzey pürüzlülüğü grafiklerinin düzensiz olarak gelişmesine neden olabilir [7].

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmada, döküm endüstrisinde geniş kullanım alanı bulan GGG40 ve GGG50 sınıfı KGDD'den üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, kesme sıvısı kullanılmadan tornalanması ve matkapla delinmesi sonrası yüzey pürüzlülüğü incelenmiş, kimyasal kompozisyon ve mikro yapı ilişkileri araştırılmıştır.

Yapılan çalışmalarda; kesme hızı, devir sayısı, ilerleme miktarı gibi parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Tornalama sonrasında yapılan yüzey pürüzlülüğü deneylerinde, 100 m/dak kesme hızlarında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında en düşük yüzey pürüzlülüğünü OD numunesinde 0,75 μm elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ED numunelerinde 2,30 μm ile elde edilmiştir.

Kesme hızının 200 m/dak ve ilerleme miktarının 0,20 mm/dev çıkartılması ile en yüksek yüzey pürüzlülüğü ED numunelerinde 2,38 μm , düşük yüzey pürüzlülüğü ise OD numunelerinden 1,89 μm elde edilmiştir. 300 m/dak kesme hızı ve 0,3 mm/dev ilerleme değerinde en fazla pürüzlülük değeri ED numunelerinde 3,60 μm , düşük yüzey pürüzlülüğü ise 4,00 μm la OD numunesinde tespit edilmiştir.

Matkapla oluşturulan delme işlemleri sonrasında yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde düşük ilerleme ve delme derinliklerinde en düşük yüzey pürüzlülüğüne 7,53 μm ile ED sahipken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerine OD numunesi 9,50 μm sahiptir. İlerleme miktarı 0,30 mm/dev delme derinliği 30 mm ye çıkarıldığında ise en düşük yüzey pürüzlülüğüne OD'de üretilen numuneler 7,88 μm sahipken, en yüksek yüzey pürüzlülüğüne ED numunesi ile 10,25 μm olarak tespit edilmiştir. Sayısal sonuçlar analiz edildiğinde, tornalama işleminde en düşük yüzey pürüzlülüğü için düşük kesme hızları ve düşük ilerleme miktarı en uygun değerleri verirken, delme işleminde en yüksek ilerleme miktarı ve yüksek delme derinliği yüzey pürüzlülüğünü düşürmektedir.

Matkapla delme işlemi sonucunda 10 mm delme derinliğinde, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerinde ED1 (7,53 μm) numunesi, KD1 (8,29 μm) ve OD1 (9,50 μm) numunelere göre yüzey pürüzlülük değeri sırasıyla %10 ve %26 daha azdır.

0,2 mm/dev ilerleme miktarında, 20 mm delme derinliğinde, KD2 (6,91 μm) numune, OD2 (8,28 μm) ve ED2 (8,83 μm) numunelere göre yaklaşık olarak %20 ve %28 yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma tespit edilmiştir.

30 mm delme derinliğinde, 0.3 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneyler sonucu elde edilen verilere göre, OD3 (7,88 μm) numuneler, KD3 (8,26 μm) ve ED3 (10,25 μm) numunelere göre yüzey pürüzlülük değerlerinde %5 ve %30 azalma belirlenmiştir.

Yapılan mikro yapı incelemeleri ile, oluşturulmak istenen küresel grafitli döküm yapının, genel karakteristiği hakkında gerekli bilgi edinilebilmektedir. En iyi küreselleşme gösteren döküm yapı ED numunelerinden elde edilirken, OD numunesinde gerçekleştirilen dökümler sonrası küreselleşme meydana gelmezken, grafit yapılar lameler şekilde yapı içerisinde dağılmaktadır. OD numunelerin maksimum çekme değerine sahip olması, küreselleşme işleminin tamamen gerçekleşmemesinden kaynakladığı düşünülmektedir [31]. Çekme mukavemetleri ile sertlik ölçümleri irdelendiğinde görülmektedir ki, yüksek sertliğe sahip olan KD numunesinin en düşük çekme özellikleri gösterdiği, bu sonucun nedeni olarak yüksek sertliğin çekme parametrelerini olumsuz etkilendiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir [32].

Yapılan SEM ve EDS analizleri sonucunda küre şekli ve dağılımı mikro yapı boyutu ile değerlendirilmiştir. Küreler oluşum safhasını tamamlamamıştır. Aynı zamanda ferritik bölgelerin oluşmadığı yapının küresel grafitlerinin dışında kalan alanın perlitik yapıya sahip olması sürecin tamamlanmadığının bir göstergesidir.

SEM incelemeleri sonrasında yapıda oluşan fazların kompozisyon farklılaşmasının tespiti amaçlı EDS analizleri yapılmıştır. Bilindiği gibi küreleşme eğilimini artırıcı alaşım elementleri sırasıyla C, Si ve Mn şeklinde olduğu düşünülürse yapıyı oluşturan kürelerin ve yakın bölgelerin analizleri yapılmıştır. Mikro yapıyı oluşturan temel alaşım elementleri ve küreleştirici etki amaçlı ilave edilen alaşım elementlerinin etkisine bağlı olarak ferritik ve perlitik bölgelerin oluşumu tespit edilmiştir.

Kimyasal bileşimde meydana gelen en düşük değişiklikler numunelerin mekanik özelliklerinde, mikro yapısında ve işlenebilirlik özelliklerinde yoğun değişikliklere neden olabileceği yapılan çalışmalar ile desteklenebilmektedir. Yapılan çalışmalarda tornalama ve delme işlemlerinde farklı işlenebilirlik parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü iyileştirilebileceği gösterilmektedir. Deneylere ek olarak, farklı küresel grafit yapıya sahip malzemelerin işlenebilirlik özellikleri araştırılabilir. Böylece sanayide yoğun olarak kullanılan bu döküm malzemelerin mekanik özellikleri ile işlenebilirlik özelliklerinin en uygun şekli ile elde edilebilir.

Farklı kimyasal bileşimdeki dökme demir malzeme üzerinde aynı işlemler tekrar edilerek malzeme özellikleri kıyaslanabilir. İşlenebilirlik açısından Yüksek Hızlı İşleme koşulları altında yüzey pürüzlülüğü kıyaslanması yapılabilir. Darbe direnci gerektiren uygulamalar açısından mekanik bir özellik olarak darbe test işlemi uygulanabilir. Çeşitli deneyler ve matematiksel modelleme uygulamaları ile deneylerin optimizasyonu açısından değerlendirilebilir. Malzeme ısıt işlemleri dikkate alınarak çeşitli ısıt işlemler sonrası malzeme özellikleri karşılaştırılabilir. Hem tornalama hem de frezeleme işlemleri için takım aşınmasının çalışılması çalışılabilir.

KAYNAKÇA

1. Akray, S., İ., “Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan yüzey işlemlerinin aşınma direncine etkisinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul**, 1-9 (2007)
2. Cevher, Ö., “Dökme demirlerde sert faz oluşumunun önlenmesi ve giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya**, 3-5 (2006).
3. Machining data handbook, 3rd ed., **Metcut Research Associates, Inc.**, Cincinnati, OH, 1980
4. Hasırcı, H., “Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementleri (Cu ve Ni) ve östemperleme süresinin mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri” , Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-30 (2000)
5. Kaçal, A., Gülesin, M., “Küresel grafitli dökme demirlerin son bitirme operasyonlarının analizi üzerine bir çalışma”, **5. Uluslar arası ileri teknolojiler sempozyumu**, (IATS’09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük
6. Çakır, M. C., Bayram, A., Işık, Y., ve Salar, B., “The effects of austempering, temperature and time on to the machinability of austempered ductile iron”, **Materials, Science & Engineering**, 2005
7. Koçak, H., “GGG 90 Küresel Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Aşınması Açısından Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 60-69 (2011)
8. Uçun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., Gök, K., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Sinterlenmiş Karbür Kesici Takım İle Tornalama İşleminde Takım Performansının İncelenmesi”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 22(4): 739-744 (2007).
9. Kırçalı, K. K., “Farklı matris yapıları sahip küresel grafitli dökme demirlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, **Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Bursa, 5-20 (2006).
10. Sylvia, J., G., Cast Metal Techology, American Foundrymen’s Society training and research institute, Chapter 11 227-249 1972.
11. Metalurji Teknolojisi, “Gri (Esmer) Dökme Demir” , **MEB**, Ankara, 7-8, (2011).

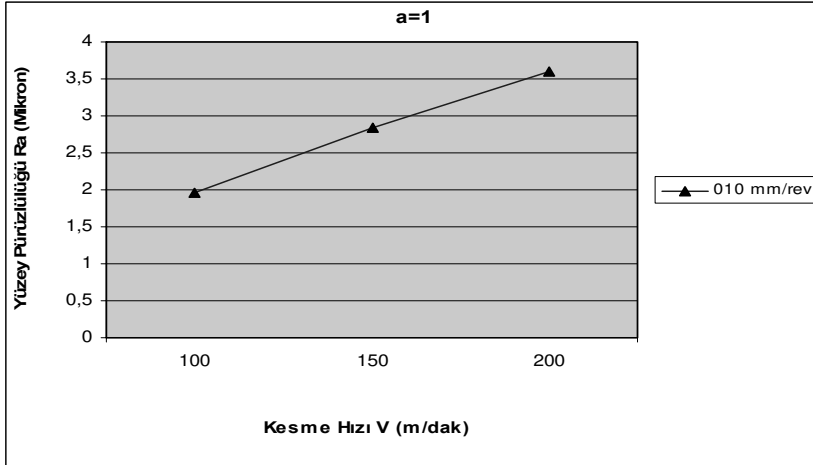
12. İnternet: Dökme Demirler
<http://www.belgeler.com/blg/1icp/16-dokme-demirler>,
(2012).
13. Seyfi, A., “Öztemperlenmiş GGG60 sınıfı küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-7 (2006).
14. Karamusaoğlu, H.A., “Küresel grafitli demirin (GGG60) işlenmesinde kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 20-40 (2009)
15. Özdemir, Ö., “Otomotiv sektöründe kullanılan küresel grafitli dökme demir üretimine etki eden parametrelerin teorik incelenmesi, ultrasonik ses hızı yöntemiyle tahribatsız kontrolü ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 1-9 (2007).
16. Akca, Cem.,”Öztemperlenmiş küresel grafitli dökme demirde alaşım elementlerinin östenit-martenzit dönüşümüne etkisi” **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul 1-13 (2005).
17. MEGEP, Küresel Grafikte Dökme Demir (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), **Metallurji Alanı**, Ankara 3-23 (2006)
18. İnternet: Küresel grafitli dökme demir
<http://www.belgeler.com/blg/1idb/19-kresel-grafitli-dkme-demir>.
(2012)
19. Balcı, B., “Aisi 304 Östenitik paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, **Karabük Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 5-50 Haziran 2008.
20. Yavuz, K., “GGG-70 sınıfı küresel grafitli dökme demir kam millerininİşlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3–94 (2006).
21. Yazman, Ş., “Öztemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirlerde kesme parametrelerinin işlemeye etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 15-55 (2006)
22. Zimmerman, C., Boppana, S.P, and Katbi, K., “Machinability Test Methods” **Metal handbook**, ninth edition, ASM Int., 16: 639-647 (1989)
23. Çakır, M. C., “ Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, **Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı**, yayın no 140, Bursa, 155-239 (1999)

24. ISO 3685, “ Tool- life testing with single- point turning tools” *International Organization for Standardization*, Second Edition, 11-15 (1993)
25. Uçun İ., “ Seramik kesici takımlar kullanarak östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bil. Enst.*, Afyon, 32-35 (2007)
26. Tosun, N., Özek, C., “Delme işleminde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi”, *11. Uluslararası makine tasarım ve imalat kongresi*, 13-15 Ekim 2004. Antalya
27. Aşkun, Y., Hasırcı, H., Şeker, U., “Ni ve Cu ile alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey kaliteleri açısından değerlendirilmesi”, *G.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2003, 9(2): 191-199
28. Gülesin, M., Kaçal, A., Melek, F., “GGG 40 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İnce Tornalama Operasyonlarında Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 11 (3): 229-234 (2008).
29. Acır, A., “Talaş Kaldırma İşleminde Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi”, *II. Makine Tasarım Ve İmalat Kongresi*, Konya, 158-164 (2003).
30. Isık, Y., Çakır, M.C., “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Takım Çeliklerinin İşlenebilirliği”, *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 205-213 (2004).
31. ‘Welding Handbook’, *American Welding Society*, Cilt4, Böl. 5, 1984.
32. ‘The Procedure Handbook of Arc Welding’, *The Lincoln Electric Company*, 1994.

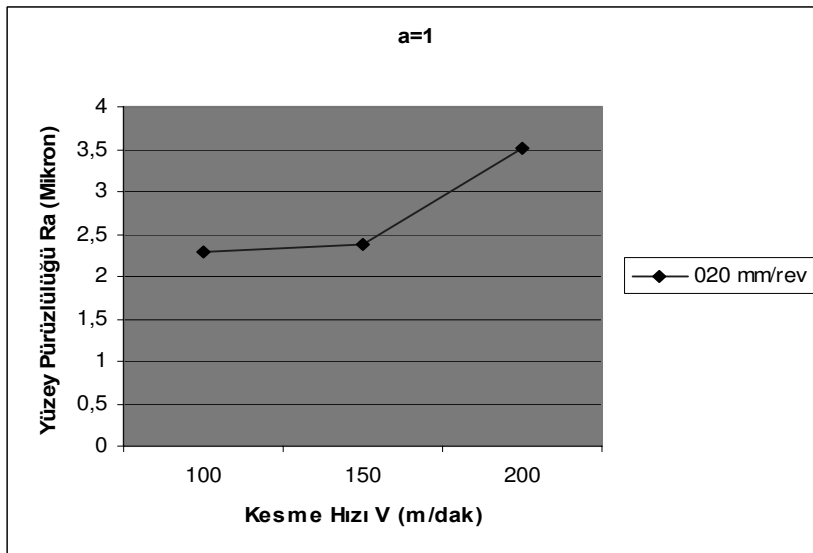
EKLER

EK-1 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİKLERİ

KD NUMUNESİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİ

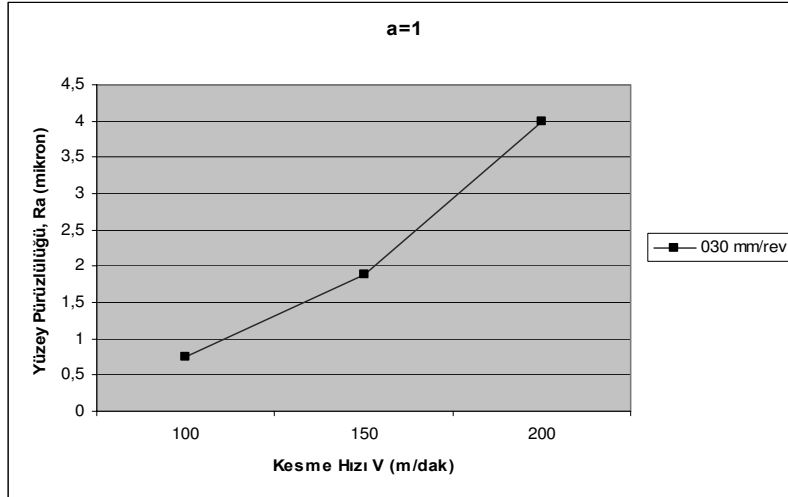


ED NUMUNESİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİĞİ

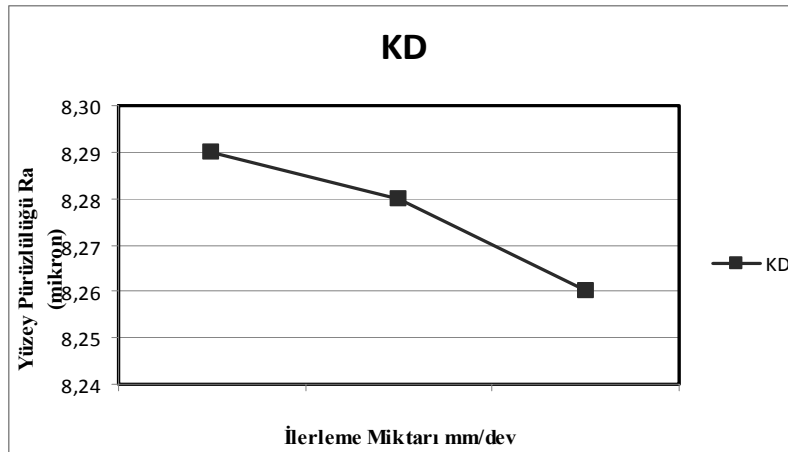


EK-1 (Devam) YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİKLERİ

OD NUMUNESİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİĞİ (TORNALAMA)

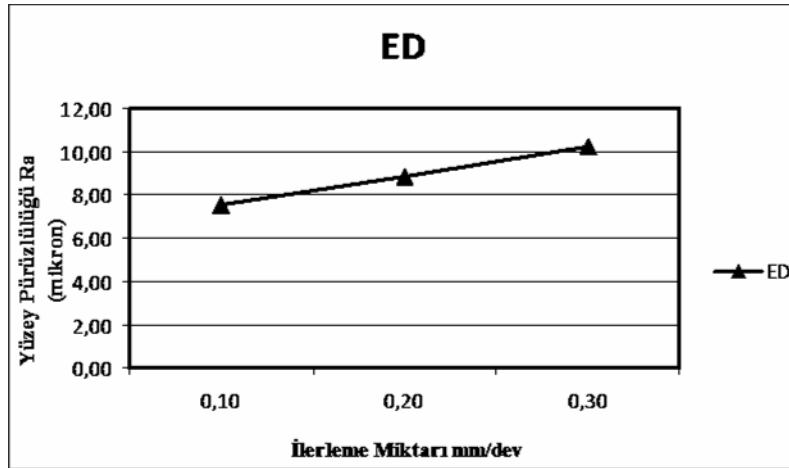


KD NUMUNESİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİĞİ (MATKAP)

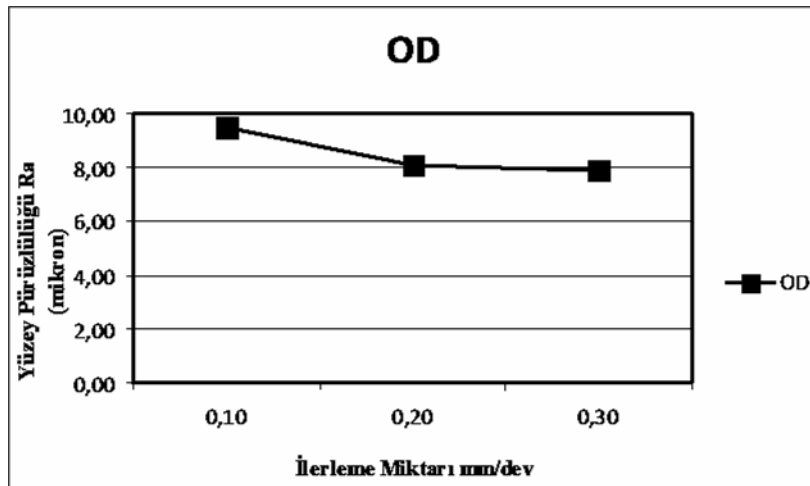


EK-1 (Devam) YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİKLERİ

ED NUMUNESİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİĞİ (MATKAP)



OD NUMUNESİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ KESME HIZI GRAFİĞİ (MATKAP)



EK-2 DÖKÜM RAPORLARI

ED NUMUNUNESİ DÖKÜM RAPORU

MALZEME TEST SERTİFİKASI

Müşteri: **Derley Çubucu** Rapor tarihi: **28/11/2011**
 Parça adı: **Derley Çubucu** Rapor no: **315**
 Malzeme: **GGG40** Döküm tarihi: **25.11.2011**

Nişanet GENCER Bey'in Dikkatine

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Mg
İstenen özellikler	2,00-3,80	1,00-2,20	Max 0,30	Max 0,10	Max 0,05	-	-	-	Max 0,15
Elde edilen özellikler	3,48	2,35	0,15	0,010	0,020				0,040

	W	Co	Ti	Al	V
İstenen özellikler	-	-	-	-	-
Elde edilen özellikler	-	-	-	-	-

Nüfus büyüklüğü	10mm	BRINELL SERTLİK : 163-0
Çekme kuvveti	25 KN	
Çekme dayanımı	457 N/mm ²	

Çift Tır	148	
Kırılma	148	
Kırılma eğilimi	148	
Çift Tır	148	
Kırılma	148	

AÇIKLAMALAR

PARÇALAR 600 °C'DE GERİLİM GİDERME TAVLAMASINA TABİ TUTULMUŞTUR

EK-2 (Devam) DÖKÜM RAPORLARI

OD NUMUNESİ DÖKÜM RAPORU

MÜŞTERİ / CUSTOMER		TUTANLAR		SİPARİŞ NO / ORDER NUMBER																																																																															
PARÇA NO / DESCRIPTION NO		030088-2		ÜRETİM KODU / PRODUCTION CODE		28/18																																																																													
PARÇA ADI / DESCRIPTION		C700 8-2 VOLANT		MİKTAR / QUANTITY		60																																																																													
Kimyasal Analiz / Analysis Of Chemical																																																																																			
Spectrometre / Cihaz / Spectrometre Device		Analiz Sonuçları (%) / Data of Analysis										MALZEME CİNSİ /		ODD NO																																																																					
		C	Si	S	P	Mn	Al	Cr	Mo	V	Cu	W	Ti	Sn	As	Nb	Bg	CE																																																																	
MODEL / MODEL	ARL	OCAK	İstenen /	3,90	1,90	0,01	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	0,08	Max	Max	-	4,58																																																																
			bulunan /	3,90	1,90	0,02	0,10	0,20	0,10	0,10	0,02	0,10	0,10	0,07	0,07	0,05	0,05	-	4,56																																																																
		ROTA	İstenen /	3,90	2,30	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,038																																																															
			bulunan /	3,90	2,30	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050																																																															
			bulunan /	3,93	2,60	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,044	4,52																																																																
Görünüş / Appearance																																																																																			
Cihaz / INSTRUMENT		Brinell Sertlik Cihazı / Brinell Hardness Device		İstenen Değer / De Réguler				150-210																																																																											
MODEL / MODEL		Time = 3000		Okuma 1 / Measurement 1				Okuma 2 / Measurement 2				Okuma 3 / Measurement 3																																																																							
				157				164				155																																																																							
Mikroskopik Analiz / Analysis of Microstructure																																																																																			
Cihaz / INSTRUMENT		Optik Mikroskop / Optical Microscope		Analiz Sonuçları / Data of Analysis				Marka Yüzü / Classification of Properties in the Matrix																																																																											
MODEL / MODEL		Nikon		<table border="1"> <tr> <th>Reaksiyon</th> <th>Grain Boyu / Grain Size (µm)</th> <th>Grain Tipi / Grain Type</th> <th colspan="3">Marka Yüzü / Classification of Properties in the Matrix</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th>Par. 1</th> <th>Par. 2</th> <th>Par. 3</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>100</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>				Reaksiyon	Grain Boyu / Grain Size (µm)	Grain Tipi / Grain Type	Marka Yüzü / Classification of Properties in the Matrix						Par. 1	Par. 2	Par. 3	1	100	1	1	1	1	2	100	1	1	1	1	3	100	1	1	1	1	4	100	1	1	1	1	5	100	1	1	1	1	6	100	1	1	1	1	7	100	1	1	1	1	8	100	1	1	1	1	9	100	1	1	1	1	10	100	1	1	1	1				
Reaksiyon	Grain Boyu / Grain Size (µm)	Grain Tipi / Grain Type	Marka Yüzü / Classification of Properties in the Matrix																																																																																
			Par. 1	Par. 2	Par. 3																																																																														
1	100	1	1	1	1																																																																														
2	100	1	1	1	1																																																																														
3	100	1	1	1	1																																																																														
4	100	1	1	1	1																																																																														
5	100	1	1	1	1																																																																														
6	100	1	1	1	1																																																																														
7	100	1	1	1	1																																																																														
8	100	1	1	1	1																																																																														
9	100	1	1	1	1																																																																														
10	100	1	1	1	1																																																																														
Mikroskopik görüntü müşteri tarafından onaylanmıştır / Microscopical view is agreed by customer with the following notification & specification.																																																																																			
Eğes marka 2 ton kapasiteli 1200 kv endüstriyel yüksek voltajlı elektron mikroskopu ile çekim yapılmıştır /																																																																																			

EK-2 (Devam) DÖKÜM RAPORLARI

KD NUMUNESİ DÖKÜM RAPORU

86640 1
140-180

Analiz sonr. birak. 06/10/2011 10:15:02

Matrik: FE Program: Fe 2
Firma: EGE FREN Parca Adı: 113-112 P.T.ROUGH Parca Kodu: EFR003
Numune No: 112825 Pota No: 4-2-5

Ortalama nerden hesaplandı: 1

H/Fe	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
39199	3.53	2.68	0.139	0.027	0.009	0.044	0.034	0.029	0.003	0.220	0.012
Ti	V	B	W	Sn	Pb	Ce					
0.009	0.007	0.0006	<0.003	0.003	0.001	0.007					

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : GENÇER Mehmet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yılı : 06.10.1971 Kayseri
 Medeni hali : Evli
 Telefon (GSM) : 505 518 60 73
 Faks : 0 352 344 10 91
 e-mail : mgencer71@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2012
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi	1995
Lise	Kayseri Merkez Endüstri Meslek Lisesi	1990

İş Deneyimi

Yıl	İş	Yer	Görev
1996–2002	Bala Endüstri Meslek Lisesi	Ankara	Öğretmen
2002–2004	İncili İlköğretim Okulu	Tomarza/Kayseri	Öğretmen
2004-	Erkilet General Emir Ortaokulu		Müdür Yardımcısı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

İnternet, Futbol