

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**TEKRARLI TEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN VERMİKÜLER
DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METİN DİNÇTOSUN

DENİZLİ, MAYIS - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**



**TEKRARLI TEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN VERMİKÜLER
DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METİN DİNÇTOSUN

DENİZLİ, MAYIS - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

METİN DİNÇTOSUN tarafından hazırlanan **TEKRARLI TEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN VERMİKÜLER DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ** adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24.05.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilimdalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

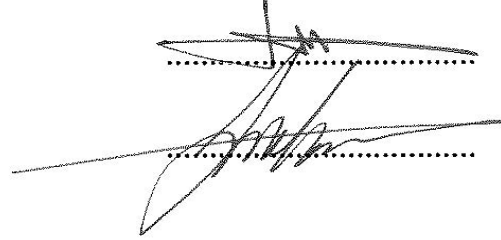
Danışman
Doç. Dr. Erkan ÖZTÜRK



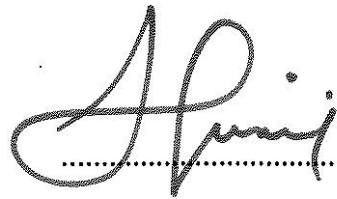
Üye
Doç. Dr. İsmail OVALI



Üye
Dr.Öğrt. Üyesi Serkan APAY



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
19/04/2019 tarih ve ...25/11/.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez alışması BAP tarafından 2016FEBE003 no'lu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



METİN DİNÇTOSUN

ÖZET

**TEKRARLI TEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN VERMİKÜLER DÖKME
DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METİN DİNÇTOSUN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ.DR. ERKAN ÖZTÜRK)**

DENİZLİ, MAYIS - 2019

Dökme demir ailesinin en yeni üyesi olan Vermiküler Grafitli Dökme Demir kimyasal yapı ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Vermiküler Grafitli Dökme Demir işlenebilirlik özelliklerinin optimizasyonu endüstriyel makine parçalarının üretimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, tekrarlı temperleme ısıl işleminin Ferritik+perlitik mikroyapıdaki Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve silindiriklik açısından incelenmiştir. Ayrıca uygulanan ısıl işlemlerin mikro yapı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla mikro yapı karakterizasyonu yapılmıştır. Deneysel çalışma sonuçları, tekrarlı temperleme ısıl işlem parametrelerinin Ferritik+perlitik Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin işlenebilirlik özelliklerini önemli derecede etkilediğini göstermektedir. Bu iki yapının bir arada olması kesme kuvvetlerini olumsuz etkilemiştir. Ferrit+perlitik yapının lamelli yapı özelliklerine daha yakın olması bu olumsuzluğun en temel sebebidir. Dolayısıyla lamelli ferritik+perlitik yapının daha yüksek kesme kuvvetine gereksinimi vardır. Kesme kuvvetleri bakımından değerlendirilen bu çalışmada Ayrıca, temperleme sıcaklığı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve kesme kuvvetleri ve yüzey form özelliklerinin tekrarlı temperleme ısıl işlemi ile optimize edilebileceği belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Vermiküler Grafitli Dökme Deemir, İşlenebilirlik, Yüzey pürüzlülüğü, Kesme Kuvvetleri.

ABSTRACT

THE EFFECT OF REPEATED TEMPERING HEAT TREATMENT ON THE MACHINABILITY OF VERMICULAR CAST IRONS

**MSC THESIS
METİN DİNÇTOSUN
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL EDUCATION
(SUPERVISOR:DOÇ.DR. ERKAN ÖZTÜRK**

DENİZLİ, MAY 2019

The newest member of the cast iron family, Vermicular Graphite Cast Iron is preferred due to its high strength and chemical structure properties. The optimization of workability properties of Vermicular Graphite Cast Iron has a great importance for the production of industrial machine parts. In this study, the effect of the repetitive tempering heat treatment on the machinability properties of Ferritic + Perlitic Vermicular Graphite Cast Irons is examined in terms of cutting forces, surface roughness and cylindricality. In addition, microstructure characterization was performed to determine the effect of applied heat treatments on microstructure. The experimental results were showed that the repetitive tempering control parameters significantly affected the machinability properties of Ferritic + Perlitic Vermicular Graphite Cast Iron. The combination of these two structures negatively affected in terms of cutting forces. The fact that the ferrite + perlite structure is closer to the lamellar structure characteristics is the main reason for this negativity. Therefore, the laminated ferritic + perlite structure was resulted the higher shear force. Also, it were determined that the surface roughness was increased in parallel with increase of the tempering temperature, and the shear forces as well as surface form properties can be optimized by repetitive tempering heat treatment.

KEYWORDS: Vermicular Graphite Cast Iron, Machinability, Surface roughness, Cutting forces

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1 Literatür Araştırmalarının Değerlendirilmesi	11
3. DÖKME DEMİRLER	13
3.1.1 Gri dökme demirler	16
3.1.2 Beyaz dökme demirler	17
3.1.3 Küresel grafitli dökme demirler	19
3.1.4 Temper dökme demirler	21
3.1.5 Vermiküler dökme demirler	22
4. VERMİKÜLER (KOMPAKT) GRAFİTLİ DÖKME DEMİR	25
4.1 Vermiküler dökme demir üretimi	27
4.2 Vermiküler dökme demirin mikro yapısı	28
4.3 Vermiküler dökme demirin mekanik ve fiziksel özellikleri	29
4.3.1 Çekme dayanımı	30
4.3.2 Sertlik	31
4.3.3 Darbe dayanımı.....	32
4.3.4 Aşınma direnci.....	33
4.3.5 Isıl İletkenlik.....	34
4.3.6 Elastisite modülü ve sönümlenme kapasitesi	35
4.4 Vermiküler dökme demir üretiminde yapıya etki eden faktörler	36
5. VERMİKÜLER GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİ ETKİ EDEN PARAMETRELER	38
6. MATERYAL VE DENEYSEL METOD	50
6.1 İş parçası malzemesi	50
6.2 Isıl işlem.....	50
6.3 Metalografik inceleme	52
6.4 Malzemenin sertlik ölçümü	53
6.5 Deney numunelerinin hazırlanması	54
6.6 İşlenebilirlik deneyleri	54
6.7 Kesici Takım.....	55
6.8 Takım tutucular.....	55
6.9 Tezgah.....	56
6.10 Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.....	56
6.11 Yüzey pürüzlülüğünün ve silindirikliğinin ölçülmesi.....	59
6.12 Taramalı Elektron Mikroskop Analizinin Yapılması	61
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	62
7.1 Tekrarlı temperleme ısıl işleminin Vermiküler Dökme Demirin mikro yapısı üzerindeki etkisi	62

7.2 Tekrarlı Temperleme ısıt işleminin Sertlik üzerine etkisi	65
7.3 Tekrarlı Temperleme Isıl İşleminin Yüzey Pürüzlülüğü üzerindeki etkisi.....	67
7.4 Tekrarlı Temperleme Isıl İşleminin Silindiriklik Üzerindeki Etkisi.....	70
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
9. KAYNAKLAR.....	75
10. EKLER.....	81
EK A Dökme Demir Sınıflandırılması.....	81
EK B Deneylerde Kullanılan PLF 120/7 Model Isıl İşlem Fırın Teknik Özellikleri	82
11. ÖZGEÇMİŞ.....	86

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Gri (lamel grafitli) Dökme Demir.....	17
Şekil 3.2: Beyaz Dökme Demir mikro yapısı	18
Şekil 3.3: Gri ve Beyaz dökme demirlerde soğuma eğrisi.....	18
Şekil 3.4: Küresel Grafitli Dökme Demir mikro yapısı	20
Şekil 3.5: Temper Dökme Demir mikro yapısı	21
Şekil 4.1: Vermikler grafitin üç boyutlu görüntüsü	25
Şekil 4.2: Vermiküler Grafitli Dökme Demir mikro yapısı	29
Şekil 4.3: Ferritik vermiküler grafitli dökme demirlerin gerilim-uzama eğrisi.....	30
Şekil 4.4: Vermiküler grafitli dökme demirin sertlik-perlit ilişkisi	31
Şekil 4.5: Dökme demirlerde aşınma direnci ve % ağırlık kayıpları	34
Şekil 4.6: Vermiküler grafitli dökme demirlerin ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi	35
Şekil 5.1: Tornalama esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri	38
Şekil 5.2: Yüzey kalitesini tayin eden faktörler	40
Şekil 5.3: Yüzey pürüzlülük geometrisi.....	40
Şekil 5.4: Yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler	41
Şekil 5.5: Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik olarak gösterilmesi.....	45
Şekil 5.6: Talaş kaldırma işleminin şematik olarak gösterilmesi.....	46
Şekil 5.7: Östemperleme ısı işleminin şematik olarak gösterimi.....	47
Şekil 6.1: Protherm PLF i20/27 ısı işlem fırını.....	51
Şekil 6.2: Isıl işlem deney planı	52
Şekil 6.3: Deney numunelerin hazırlanması	53
Şekil 6.4: Meba MHT-150 sertlik ölçme cihazı.....	54
Şekil 6.5: Deneylerde kullanılan kesici takım ve seri numarası	55
Şekil 6.6: Takım tutucu geometrik ölçüleri.....	56
Şekil 6.7: Johnford TC-35 torna tezgahı	56
Şekil 6.8: Kistler 9257B tipi piezo elektrik dinamometre.....	57
Şekil 6.9: KISTLER Type 5019 sinyal yükselticisi ve bilgisayar donanımı	58
Şekil 6.10: Zamana bağlı kesme kuvvetleri diyagramı	58
Şekil 6.11: Kesme kuvvetleri için hazırlanan düzeneğin şematik gösterimi	59
Şekil 6.12: MİTUTOYO SJ-410 model yüzey pürüzlülük cihazı	60
Şekil 6.13: HEXAGON Global Classic silindiriklik ölçüm cihazı.....	60
Şekil 6.14: LEO 1430 VP model SEM cihazı.....	61
Şekil 7.1: Dökülmüş haldeki malzemenin mikro yapısı	62
Şekil 7.2: 900 ⁰ C östenitlenmiş-su verilmiş ve 110 ⁰ C'de tek temperlenmiş numunenin mikro yapısı	63
Şekil 7.3: 900 ⁰ C östenitlenmiş-su verilmiş ve 110 ⁰ C'de çift temperlenmiş numunenin mikro yapısı	63
Şekil 7.4: 900 ⁰ C östenitlenmiş-su verilmiş ve 160 ⁰ C'de tek temperlenmiş numunenin mikro yapısı	64

Şekil 7.5: 900 ° C östenitlenmiş-su verilmiş ve 160 ° C'de çift temperlenmiş numunenin mikroyapısı	64
Şekil 7.6: 900 ° C östenitlenmiş-su verilmiş ve 120 ° C'de tek temperlenmiş numunenin mikro yapısı	64
Şekil 7.7: 900 ° C östenitlenmiş-su verilmiş ve 120 ° C'de çift temperlenmiş numunenin mikro yapısı	65
Şekil 7.8: Tekrarlı temperleme ısı işlem şartlarının sertlik üzerindeki etkisi	66
Şekil 7.9: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin dökülmüş haldeki numunenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	67
Şekil 7.10: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin dökülmüş haldeki numunenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (110 1/2 numuneler)	69
Şekil 7.11: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin dökülmüş haldeki numunenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (160 1/2 numuneler)	69
Şekil 7.12: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin dökülmüş haldeki numunenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (220 1/2 numuneler)	69
Şekil 7.13: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin dökülmüş haldeki numunenin silindiriklik üzerine etkisi	70
Şekil 7.14: Temperleme ve işleme parametrelerinin silindiriklik üzerine etkisi (110 1/2 numuneler)	71
Şekil 7.15: Temperleme ve işleme parametrelerinin silindiriklik üzerine etkisi (160 1/2 numuneler)	71
Şekil 7.16: Temperleme ve işleme parametrelerinin silindiriklik üzerine etkisi (220 1/2 numuneler)	72

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Alaşimsız Dökme Demirlerin kimyasal bileşim yüzde aralığı	16
Tablo 4.1: Vermiküler grafitli dökme demirin standartları.....	26
Tablo 4.2: Vermiküler grafitli dökme demir geri dökme demir ve küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri	29
Tablo 4.3: Vermiküler grafitli dökme demirlerin tipik mekanik özellikleri	30
Tablo 4.4: Değişik dökme demirlerin Charpy darbe dayanımlarının sıcaklığa bağlı değişimi	32
Tablo 4.5: Dökme demirlerin sönmüleme kapasitelerinin karşılaştırılması	35
Tablo 5.1: DIN R _a pürüzlülük değeri ile yüzey kalite sembolleri arasındaki bağıntı.....	41
Tablo 6.1: Deneylerde kullanılan farklı mikro yapıdaki Vermiküler grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi	50
Tablo 6.2: Farklı mikro yapıdaki Vgdd ait yüzde perlit, ferrit ve grafit miktarı....	53
Tablo 6.3: Kesici uç teknik özellikleri	55
Tablo 6.4: Kistler 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri	57
Tablo 7.1: Deneylerde kullanılan Vermiküler grafitli dökme demirlere ait sertlikler.....	66

SEMBOL LİSTESİ

F_c	:	Esas Kesme Kuvveti (kN)
F_f	:	İlerleme kuvveti (kN)
F_r	:	Radyal Kuvvet (kN)
f	:	İlerleme miktarı (mm/rev)
R_a	:	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
BUE	:	Yığılma Talaş oluşumu
ISO	:	Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı
VDG	:	Alman Mühendisler Birliği
ASTM	:	Uluslararası Test ve Materyal Topluluğu
JB	:	Çin Halk Cumhuriyeti Çevre Koruma Enstitüsü standartları
GB/T	:	Çin Ulusal Standartlar Kurumu
DIN	:	Alman Standartlar Enstitüsü.
HRc	:	Brinell Sertlik değeri
V	:	Kesme Hızı (m.mm ⁻¹)
V.G.D.D	:	Vermiküler Grafitli Dökme Demir
G.D.D	:	Gri Dökme Demir
K.G.D.D	:	Küresel Grafitli Dökme Demir

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda bana desteğini eksik etmeyen danışman hocam Doç. Dr. Erkan ÖZTÜRK ve Makine İmalat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. İsmail OVALI 'ya, deney numuneleri tedarik etmemde bana yardımcı olan Componenta Döktaş Dökümcülük Ticaret ve Sanayi A.Ş. müdürü Bülent ŞİRİN'e, Yüzey pürüzlülüğü ve silindiriklik deneylerinin ölçülmesinde bana yardımcı olan öğretim görevlileri Ahmet MAVİ ve Gültekin UZUN hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam sırasında hep desteğini hissettiğim kardeşim Filiz, annem Emine ve babam Hikmet DİNÇTOSUN'a sonsuz saygı ve şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Hızla değişen teknolojik gelişmelere paralel olarak araştırma ve geliştirme çalışmaları ile birlikte gerekli olan malzemelerin üretiminde de gelişmeler hızla sürmektedir. Bu gelişmeler ışığında sanayi üretiminde katma değer oluşturabilecek yeni malzeme türlerinde sürekli bir gelişim olduğu gözlenmektedir. Endüstriyel kullanım da oldukça yaygın halde bulunan bir malzeme türü Vermiküler grafitli dökme demirler' dir [1]. Endüstrideki diğer adı, kompakt grafitli dökme demirler olan Vermiküler grafitli dökme demir, üretiminde özel yöntemler kullanılması sebebi ile 1965 yılından itibaren dökme demir sınıflandırılmasına dahil olan son üyedir. Yapısı itibari ile mekanik ve fiziksel özelliklerinin gri dökme demir ile sfero döküm arasında olduğu tespit edilmiştir [2].

Vermiküler grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini daha da geliştirmek için uygulanan yöntemlerden biri de östemperleme ısıl işlemidir. Bu işlem sonucunda Vermiküler grafitli dökme demirlerin içyapısında ferrit ve ösferritik (ferrit+östenit) matris yapısının ortaya çıktığı bilinmektedir. Östemperleme sonucunda oluşan bu yapılar sayesinde Vermiküler grafitli dökme demirlerin mukavemet ve tokluk açısından oldukça üstün özelliklere sahip oldukları belirtilmiştir [3].

Vermiküler grafitli dökme demirler yüksek dayanımı, süneklik, tokluk gibi üstün mukavemet özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv endüstrisinde, savunma ve ağır makine sanayisinde yoğun biçimde kullanılmaktadır. Otomotiv sanayisinde özellikle araçların fren diskleri, egzoz manifoldları, motor silindir üst kapak ve motor bloğu gibi parçaların yapımında yoğun bir şekilde kullanılan bir malzemedir. Üstün dayanım özelliklerine sahip olan bu malzeme, özellikle motor silindirleri gibi yüksek basınçlara maruz kalan yerlerde kullanımı daha elverişli olup, istenilen verimde bir yanma kalitesi ile sonrasında da düşük emisyon değerleri elde edilmesine imkan sağlar. Yapısı itibarıyla ince et kalınlığında bile güçlü mukavemet özellikleri sunabilen bu malzeme aynı zamanda motor tasarımında daha hafif ve küçük boyutlu motor üretimi imkanı sağlar. Bu gibi avantajlarının yanı sıra malzemenin işlenebilirliği açısından birçok problemle karşılaşılmaktadır [4].

İşlenebilirlik kalitesi, malzemenin mekanik özellikleri, soğutma sıvısının niteliği, işleme koşulları gibi unsurlara bağlıdır. Genel olarak dökme demirlerin işlenebilirlik özellikleri, döküm tipine ve mikro yapıya bağlıdır. Beyaz dökme demir işlenebilirliği ferritik dökme demire göre daha zordur. Vermiküler grafitli dökme demirler işlenebilirlik açısından ele alındığında ferritik döküm ile beyaz dökme demir arasında yer almaktadır [1].

Tornalama esnasında, malzeme yüzeyine uygulanan kesme kuvvetleri için birden fazla değişken vardır. Bu işlem esnasında kesici kalem üzerine gelen kesme kuvvetleri talaş kaldırmada belirleyici unsurdur. Takım tezgahının rijit olmasının yanı sıra, talaş açısı, ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliği gibi faktörler kesme kuvvetlerine etki etmektedir. Kesici takımlar, kullanım amacına yönelik kesme işlemini optimum kalitede yapabilmeleri için talaşlı imalat esnasındaki yüksek gerilim, ortaya çıkan ısı ve sürtünme tesirine süre dayanabilecek kabiliyete sahip yapıda olmalıdır [5].

Bu çalışmanın amacı, östemperlenmiş Vermiküler grafitli dökme demirin frezeleme yöntemi ile işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılmasıdır. Bunun için deney numunelerine farklı sürelerde ve farklı sıcaklıklarda uygulanan östemperleme işleminin, kesme kuvvetleri ile yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi incelenmiştir. Bu işlem için öncelikle altı adet Vermiküler grafitli dökme demir numunesinin tamamı 900°C 'de östenitlenmiştir. Su verme işleminde soğutucu olarak yağ kullanılmıştır. Bu işlem sonrasında deney numunelerinden iki tanesine 110°C sıcaklıkta 60 dakika süre ile ısıtma işlemi uygulanmıştır. Fırından çıkartılan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar dış ortamda bekletilmiştir. Bu numunelerden biri tekrar ısıtma işlemi fırına alınarak, yine aynı sıcaklık ve sürede bekletilerek tekrarlı temperleme işlemi uygulanmıştır. Diğer deney numunelerine de aynı yöntemle 160°C ve 220°C sıcaklıklarda ısıtma işlemi uygulanmıştır. Farklı sıcaklıklarda tek ve çift temper uygulanan deney numunelerinin; yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti tespiti için, en yüksek sertlik ve en düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip TiCN ve Al_2O_3 kaplı kesici takım kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünde farklı kesme hızları ve farklı ilerleme değeri göz önüne alınarak kuru şartlarda ve sabit talaş derinliği ile deney sonlandırılmıştır. Bu çalışma içerisinde yapılan numunelerin sertlik ölçümünde, sertleştirilmiş çelikler ve alaşımlar, sert metallerde sıklıkla kullanılan Rockwell sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır.

Metalografik inceleme yapmak için numunelerden dairesel kesitler alınmıştır. Bu dairesel parçalar sırası ile 320, 800, 1200 numaralı zımpara kağıtları ile zımparalama yapıldıktan sonra numuneler 30 ve 60 μm yüzey parlatmasına tabi tutulmuştur. Ardından numuneler dağlanarak mikro yapılar incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kesme kuvvetleri; yüzey pürüzlülüğüne, kesme performansına dolayısıyla birim parça maliyeti ile doğrudan ilişkilidir. Bu konu üzerindeki çalışmalar giderek artmaktadır.1930'lu yıllarda gelişen metalürji bilimi sayesinde sert karbürlerin bulunması, kesme hızlarını daha da arttırarak daha kaliteli parça yüzeyleri elde edilmesi sağlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılmış olan bilimsel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Melleras ve ark. [6], Vermiküler grafitli dökme demirlerin otomotiv, lokomotif endüstrisinde çok yaygın olduğunu bahsetmektedir. Bu alanda dizel motor blokları, egzoz manifoldları, motor kapakları gibi yüksek ısı ve basıncın maruz kaldığı parçaların imalatında sıklıkla tercih edilen bir malzeme olduğunu söylemektedir. Kullanım alanından da anlaşılacağı üzere mukavemet özelliklerinin sağladığı bu üstün avantaja sahip bu malzeme yaygın kullanılan gri dökme demirle mukayese edilirse yüksek basıncın meydana geldiği motor silindirlerin imalatında daha elverişlidir. Ayrıca silindirdeki yanmanın kalitesini direk etki ederek istenilen verimde bir yanma imkanı sağlayarak iyi bir egzoz emisyon değerlerini ulaştığını belirtmiştir. Et kalınlığını daha ince olmasına imkan sağlayarak makine parçası üretmeyi mümkün kılmış böylelikle malzeme hafifliğini arttırmıştır. Bu avantajının yanı sıra malzemenin işlenebilirliğinde farklı problem meydana geldiği görülmüştür. Melleras, yapmış olduğu araştırmada, beş farklı Vermiküler grafitli dökme demir alaşımı ve motor bloğu malzemesi olarak geniş kullanım alanına sahip FC-250 gri dökme demir kullanmıştır. İncelediği malzemeleri takım aşınması ve kesme kuvvetleri dikkate alınarak işlenebilirlik yönünden karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda Vermiküler grafitli dökme demir (Kompakt grafitli dökme demir) malzemesi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu malzeme, FC-250 lamel grafitli (gri) dökme demire göre işlenebilirliğine göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Talaşlı imalatta gri dökme demirin daha az takım aşınmasına yol açtığı ve bu istikrarın deney sonuna kadar sergilediği tespit edilmiştir.

Walton [7], Vermiküler grafitli dökme demirin ticari olarak üretilen yeni bir döküm türü olduğunu vurgulamaktadır. Vermiküler dökme demir içindeki grafit, gri dökme demirdeki gibi birbirine ince tabakalar halinde bağlandığı görülmüştür. Bu

durum karmaşık maça pasajlarında hatasız döküm üretimine olanak sağladığı belirtilmiştir. Vermiküler grafitin körlenmiş ve aralarındaki açıklık oldukça kısa olan uçları iyi bir kuvvet ve süneklik sağlarken bu durum gri dökme demirlerden daha iyi bir işlenebilirlik sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca birbirine bağlı halde bulunması ısı iletkenliğinin ve sönümlenme kapasitesinin biraz daha fazla olduğunu ve bu sebeple küresel grafitli dökme demirden yapılmış parçalardan daha iyi talaşlı işleme özelliğine sahip olmasına imkân sağladığı belirlenmiştir.

Fallon [8], Vermiküler grafitli dökme demirin, küçük dökümhanelerde elde edilmesinde yaşanan sorunları ortadan kaldırmak için farklı bir yöntem geliştirmiştir. Buna göre, sünek demiri geliştirmede uygulanan ıslah etme işlemi Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde de kullanmıştır. Magnezyum ilavesi ile gerçekleştirilen bu işlem hem sünek hem de Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde kullanıldığını belirtmiştir. Magnezyum alaşımı ile seryum ilave edilmesi bu metalin işleme aralığını arttırdığını tespit etmiştir.

Mavi ve Korkut [9], Vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğini araştırmak için aynı malzemeden üretilen numuneler ile talaş kaldırma deneyleri yapmıştır. Talaşlı imalat sonucunda elde ettiği değerleri kesme kuvveti açısından ele almıştır. Yaptıkları deneylerde 9 µm kalınlığında, kimyasal buhar biriktirme metodu ile TiCN-Al₂O₃-TiN kaplamalı ve ayrıca ISO standartlarına uygun uç geometrisinde kaplamalı sinterli uç kullanmışlardır. Yapılan deneylerde 2 mm sabit talaş derinliği ile, herhangi bir soğutma sıvısı kullanılmadan, üç farklı ilerleme miktarından (0.20- 0.25 ve 0.30 mm/min), dört farklı kesme hızı (150,170,190,210 m/mm) gibi şartlar altında malzeme tornalaması yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda işlenebilirlik kriterlerinden biri olan kesme kuvveti ölçülerek, kesme parametrelerinin değerleri tespit edilmiş ve bu kuvvetlerin üzerinde etkilerini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; pürüzlülük değerleri perlitik Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerde yüksek kesme hızlarında elde edildiği ayrıca kesme kuvveti yönünden değerlendirdiğinde en büyük kesme kuvvet değeri perlitik+ferritik yapıli vermiküler grafitli dökme demir olduğunu belirlemiştir.

Borghigiani ve Marinari [10], Vermiküler grafitli dökme demirlerin sertlik değerlerinin, lamel grafitli (gri) dökme demir ile küresel grafitli dökme demirlerin arasında olduğunu, perlit matrisli Vermiküler grafitli dökme demirlerin, ferrit matrisli

vermiküler grafitli dökme demirlerden daha sert olduğunu ifade etmiştir. Bu yüzden Vermiküler grafitli dökme demirlerin sertlikleri, mikro yapıya bağlı olmasına rağmen; çekme dayanımı aynı olan gri dökme demirden daha düşük olduğunu belirlemiştir.

Stefanescu [11], Vermiküler grafitli dökme demir morfolojisinin, talaş kaldırarak işleme sürecinde malzemeyi fazlaca kırılğan yaptığını bu yüzden de toz talaş çıkışını engellemenin zor olduğunu tespit etmiştir.

Amerikan döküm birliği tarafından yapılan bir çalışmada, Vermiküler grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri inceleme altına alınmıştır. Bu inceleme ışığında demirin çekme özellikleri ve Brinell sertliğinin malzemenin mikro yapısına ve grafitin matris içindeki miktarı ve dağılımına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Sonuç olarak yorulma özelliklerinin; matris yapıdan, küresel grafit oranından ve mekanik çentik varlığından etkilendiği görülmüştür [12].

Tsutsumi ve ark. [13], tarafından yapılan çalışmada, ergimiş demir içerisine azot ve metan gazı vererek üretilen Vermiküler grafitli dökme demirin metalografik ve mekanik testlerinin sonuçlarını sunmuşlardır. Elde edilen sonuçlar Vermiküler grafitli dökme demir birçok makine parçasının imalatında uygulanabilir olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca azot ve metan gazının verilmesiyle üretilen demirin ferritik yapısında çekme mukavemet değeri 32-36 kg/mm² arasında olduğunu tespit etmişlerdir.

Vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirliği ile ilgili daha kapsamlı bir araştırma Nayyar ve ark. tarafından yapılmıştır [14]. Vermiküler ve küresel grafitli dökme demirin seri imalat operasyonları üzerinde durulan bu çalışmada, farklı hızlarda farklı ilerleme ve kesme derinlikler uygulanmış ve bunun sonucunda kesme sıvısının Vermiküler ve küresel grafitli demirlerin avantaj sağladığı belirtilmiştir.

Vermiküler grafitli dökme demir malzemesinin işleme esnasındaki talaş biçiminin, talaş aşınmasının ve kesme kuvvetlerinin mikro yapısına olan etkisini kapsamlı biçimde araştıran Mohammed ve ark. [15], çalışma sonucunda süreksiz talaşların oluşumunun temel nedeni grafit ile matris ara yüzünde çatlak başlamasının ve bu çatlağın yayılmasının olduğunu tespit etmişlerdir. Bunlara ek olarak kesme kuvvetinin etkisi, kesme hızı, Vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesinin

optimum koşullarında hesaplamak üzere takım aşınması üzerindeki kesme sıcaklığının da etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Riposan ve ark. [16], Vermiküler dökme demirin işlenebilirliği üzerinde yaptıkları çalışmada; 25 mm, 40 mm ve 60 mm çaplarında sertleştirilmiş gri ve küresel dökme demir ve Vermiküler grafitli dökme demir kullanmışlardır. Tüm numuneler 15 mm çapa ulaşıncaya kadar SNGW120 408 kesici takımla tornalanmış, ilerleme 0.25 mm/dev ve kesme hızı 100 m/min, ilerleme hızları için 1mm kesme derinliği kullanılmıştır. Yapılan deney sonucunda, yapısı ve özelliklerine bakılmaksızın Vermiküler grafitli dökme demir, lamel grafitli ve küresel grafitli dökme demire göre daha iyi bir işlenebilirlik sergilemiştir. Ayrıca talaş derinliğinin fazla olduğu durumlarda bile yüzey pürüzlülüğünün diğerlerine göre daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Grafitli dökme demirlere farklı sıcaklıkta yapılan östemperleme ve sürelerin sonucunda elde edilen mikro yapılar ve bunun sonucundaki mekanik özellikleri üzerinde etkisi Seyfi [17] tarafından incelenmiştir. Çalışılan numunelerde talaş kaldırarak işlenebilirlik parametrelerinden yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini değerlendirmiştir. Deney numunelerine, 900 ° C sıcaklıkta 60 dakika östenitleme işleminden sonra 280, 360 ve 420 ° C sıcaklıklarda, 30, 60, 90, 120 ve 200 dakika sürelerinde tuz banyosu kullanılarak östemperleme ısıl işlemi uygulamıştır. Çalışma sonucunda küresel grafitli dökme demirin mikro yapı ile birlikte mekanik özelliklerinin de büyük ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca aynı deney parçaları üzerinde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü bakımından incelendiğinde, 280 ° C ve 30 dakika yapılan östemperleme işleminde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kesme hızı bakımından 125 m/min'de genellikle daha homojen sonuç olduğunu gözlemlemiştir.

Küresel grafitli dökme demirlere östemperleme işlemi uygulayarak küresel, yüzey pürüzlülüğü, işlenebilirlik ve kesme kuvvetleri açısından incelemesini yapan Şeker ve Hasırcı, döküm haldeki altı adet numuneye farklı miktarda Ni (Nikel) ve Cu (Bakır) ilave etmişlerdir [18]. Deney numunelerine 90 dakika boyunca 900 ° C sıcaklıkta östenitleme işlemi ardından 370 ° C sıcaklıkta 60, 90, 180 ve 200 dakika boyunca östemperleme işlemi uygulamışlardır. Deney sonucunda, döküm haldeki numunenin en küçük kesme kuvveti değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Optimum

kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülük değerinin %0.7 Cu ve %0.7 Ni ilave edilmiş dökümlerde oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Kırcalı ve Çakır [19] yaptıkları çalışmada farklı östemperleme sıcaklıklarının kesme parametrelerine etkileri üzerinde durmuşlardır. Buna göre üç farklı sıcaklıklarda (300 ° C, 350 ° C ve 400 ° C) numunelere bir ve iki saatlik sürelerde ile östemperleme işlemi uygulanmıştır. Soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan çalışmada, kaplanmış karbür uçlu kesici takımın aşınması, kesme kuvvetleri ve bunların ortalama pürüzlülük değerlerine bakılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda, östemperleme sıcaklığının artması ile malzeme sertlik arasında ters bir orantı olduğu tespit edilmiştir.

Alaşımız küresel grafitli dökme demir malzemeleri 60 dakika boyunca ve 900 ° C sıcaklıkta östenitleme yapan Zimba ve ark. [20] tribolojik inceleme yapmışlardır. Bu östenitleme işleminin ardından %50 NaNO₃ ve %50 NaNO₂ içeriğe sahip tuz banyosunda 325, 350 ve 375 ° C sıcaklıklarda östemperleme işlemleri uygulanmıştır. Tribolojik test ölçümünde 800 HV sertlik değerine sahip, 6mm çaplı çelik bilye ile 40-140 N arasında değişken yük aralığına sahip aşınma test cihazına tabii tutulmuştur. Bu inceleme sonucunda aşınma miktarı ile uygulanan kuvvet değeri arasında doğru orantı olduğunu, östemperleme sıcaklık ile malzeme sertliği arasında ters orantı olduğunu tespit etmişlerdir.

Ucun ve ark. [21], takım aşınma karakteristiğini belirlemek için küresel yapıdaki grafitte sahip dökme demire sementit karbür kaplı kesici takım kullanılarak yüzey işleme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Tek kesici kalem ile yapılan çalışmada soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Bu şartlar altında talaş kaldırma işleminde kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği gibi parametreler ele alınmıştır. İşlemden meydana gelen aşınmaların metalografik analizinde, taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda aşınmanın kesici takımın uç radyüsünde oluştuğu tespit edilmiştir. Aynı derinlik miktarı için aşınmanın kesme hızıyla birlikte arttığı görülmüştür. Ayrıca, kesme hızların artması durumunda kesici takım ucunda mikro çatlaklara sebep olduğu ve belli bir süre sonra çatlak olan yapı bölgesinde kırılmaların oluştuğu belirtilmiştir.

Kalay oranı ve eş ısı değişim sıcaklığın östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin, sertlik, çekme mukavemeti, uzama miktarları arasındaki ilişkiyi inceleyen

Özcan [22], deney numunelerine bir saat boyunca 925 ° C sıcaklıkta östenitleme işlemi uygulamıştır. Daha sonra sırasıyla 350, 375, 400 ve 420 ° C sıcaklıklarda 60 dakika boyunca tuz banyosunda östemperleme işlemi gerçekleştirmiştir. Bu işlem sonucunda kalay miktarının %0.1 oranı ile minimum düzeye indiği, bekleme sürecinde ise bir miktar yükseldiğini tespit etmiştir. İzotermal değişim sıcaklığının artması durumunda çekme mukavemeti ile sertlik değeri arasında ters orantılı, uzama miktarı ile doğru orantılı bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

Gök [23], perlitik yapılı küresel grafitli dökme demirlere iki farklı sıcaklıkta östemperleme işlemi uygulamıştır. Öncelikle 60 dakika boyunca 900 ° C'de östenitleme ardından 250 ve 325 ° C sıcaklıkta 60 dakika östemperleme yapılmıştır. Deney numunelerinin işlenebilirlik testi için yüksek aşınma dayanımına sahip 45-65 HRC Kübik Bor Nitrür ve sementit karbür kesici takım uçlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak kesici geometrisinin talaş ve boşluk açısı 0° ve uç yarıçapı 0.4mm olan malzeme kullanmıştır. İşlenebilirlik testi uygulamalarında östemperleme yapılmış küresel grafitli dökme demir ve küresel grafitli dökme demirlerden talaş uygulanma parametreleri ISO 3685 standartlarını uygulamıştır. Sementit karbür takımları düşük kesme hızlarında kullanıldığını bu yüzden literatür değerlerinde minimum kesme hızı 96 m/min iken maksimum kesme hızı 113 m/min olduğunu belirtmiştir. Belirlenen kesme şartlarında takım üzerine etkileyen kesme kuvvetleri ile kesici takımın yanak aşınmaları da tespit edilmiştir. Yapılan östemperleme ısıl işlemi Küresel grafitli dökme demir malzemelerinin mekanik özelliklerinde kayda değer bir artışa sebep olduğunu ve buna bağlı olarak kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir. Düşük östemperleme sıcaklıkları kesme kuvvetlerinin artmasında önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Östemperleme sıcaklığı 325° C olan Küresel grafitli dökme demir malzemeleri kesme ve aşınma testlerinde numunede kararsız bir yapı oluştuğunu gözlemlemiştir. Bunun sebebi olarak bu östemperleme sıcaklığın alt ve üst beynit bölgeleri arasındaki geçiş sıcaklık bölgesine yakınlığı gösterilmiştir.

Östemperleme işlemi uygulanmış Küresel grafitli dökme demirin östemperleme süresi ve abrasif aşınma arasındaki ilişki ile aşındırıcı parça boyutunun etkisini inceleyen Gül ve Çetin [24]; alaşımlı ve alaşımsız numuneleri 120 dakika boyunca 850 ° C sıcaklıkta östenitleme yapmış ve ardından 400 ° C sıcaklıkta üç farklı

sürede (60, 120 ve 240 dakika) östemperleme yapmıştır. Kısa süreli östemperleme işleminin daha iyi aşınma direnci gösterdiğini tespit etmiştir.

Östemperleme yapılmış Küresel grafitli dökme demirin aşınma davranışı ile Titanyum Nitrür (TiN) kaplamanın etkisini inceleyen Okay ve ark. [25], bu amaçla 60 dakika boyunca 900 ° C'de östenitleme işlemi yapılmış, ardından 360 ° C'de 30 ve 90 dakikalık sürelerde östemperleme yapılmıştır. Bu ısıl işlemde sonra fiziksel buhar biriktirme (PVD) ile TiN kaplaması yapılmıştır. Isıl işlem Deney sonucunda Küresel grafitli dökme demirde perlitik yapının ösferrit yapıya dönüştüğü tespit edilmiş, ayrıca TiN kaplı numunelerde aşınma miktarının 4 kata kadar azaldığı belirtilmiştir.

Kuş [26], GGG40 (400 MPa çekme dayanımına sahip küresel grafitli dökme demir) ferritik yapıdaki küresel grafitli dökme demirin aşınma direncini arttırmak amaçlı östemperleme işlemi farklı sıcaklıklarda yapılmıştır. Döküm yapıdaki östemperlenmiş numunelerin aşınma deneylerinde, 1.54 m/s kayma hızı ve kuru sürtünme koşullarında 2000 m kayma mesafe, pin-on disk aşındırma cihazı ile yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda, östemperleme işleminde, Küresel grafitli dökme demirin aşınma direnci ile akma dayanımına olumlu bir yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca mikro yapı ile östemperleme sıcaklık derecesinin arasında direk ilgili olduğunu bu sıcaklık derecesinin yükselmesi ile aşınma direncinin azaldığını belirtmiştir.

Ferrit yapıdaki GGG40 Küresel grafitli dökme demirin kullanıldığı bir diğer çalışma Ovalı ve Mavi [27] tarafından yapılmıştır. Deney numunelerine östemperleme ısıl işlemi uygulayarak, yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Ösferrit hacim oranı ile artan ara kritik östenitleme sıcaklığı arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu gözlemlemiştir. Ösferrit hacim oranının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını ve ara kritik tavlama sıcaklıklarında östemperleme olarak en iyi yüzey pürüzlülüğü 830 ° C sıcaklıkta elde edildiğini belirlemiştir. Deney numuneleri içerisinde en iyi yüzey pürüzlülüğünün geleneksel östemperleme ile elde edildiği görülmüştür.

Vermiküler grafitli dökme demirin frezelemede işlenebilirlik ile birlikte diğer mekanik özelliklerini inceleyen Karabulut [4], elde edilen bulgular için yapay sinir ağları ve regresyon analizlerini de uygulamıştır. Giriş açıları, kesme hızı ve maksimum

talaş kalınlığı gibi farklı değişkenler, TiCN ve Al₂O₃ kaplamalı kesici karbür ve silisyum nitrür yapıları seramik kesici takım uçlarını kullanarak incelemiştir. Her iki uç için farklı giriş açıları ile kesme parametreleri üzerinden kesici takımlardaki aşınma, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerini karşılaştırmıştır. Karbür kesicilerde minimum takım aşınma miktarını (0.12 mm) 45° yanaşma açısı ile 492 mm/min tabla ilerleme ve 215 m/min kesme ve hızlarında elde etmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek takım aşınmasının (0.87 mm); 88° yanaşma açısında 704 mm/min tabla ilerleme ve 290 m/min kesme hızlarında olduğu görülmüştür. En yüksek ve en düşük takım aşınmaları arasındaki oranın yaklaşık % 725 olduğunu, yanaşma açıları arttıkça kesici takım ömrünün azaldığını belirtmiştir. Seramik kesici takımlarla yapılan çalışmada en düşük takım aşınma değeri (0.11 mm) 45° yanaşma açısı ile 400 m/min'lik kesme hızında ve tabla ilerleme hızlarında da görülmüştür. Seramik kesici takım ile yapılan bu çalışmada en yüksek takım aşınması (1.1 mm), 88° yanaşma açısı için 530 m/min kesme ve 540mm/min tabla ilerleme hızlarında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde soğutucu sıvı kullanıldığı takdirde 45 ve 60°'lik açılarda kesme kuvvetlerinde artış meydana geldiğini, ayrıca seramik kesici takım yanaşma açısı değeri yükseldikçe pürüzlülük değerinin arttığını belirtmiştir.

2.1 Literatür Araştırmalarının Değerlendirilmesi

Yapılan literatür araştırmasında Vermiküler grafitli dökme demirlerin, farklı kesme hızları, sabit kesme derinliği, yanaşma açıları ve ilerleme hızları göz önüne alınarak işlenebilirlik deneyleri uygulanmıştır. Vermiküler grafitli dökme demirlerin yapısında magnezyum ve seryumun metal işleme açısından avantaj yarattığı görülmüştür. İşlenebilirlik incelemelerinde yapılan talaş kaldırma deneylerinde kesme açısı, kesici kalem niteliği pürüzlülüğe etkisi incelenmiş yüzey pürüzlülüğünün en iyi perlitik yapıdaki Vermiküler grafitli dökme demir olduğu tespit edilmiştir. Vermiküler grafitli dökme demirler Sertlik açısından değerlendirildiğinde yine perlitik yapıdaki Vermiküler grafitli dökme demirin ferrit matrise sahip yapıya göre daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır. Sınırlı sayıda Vermiküler grafitli dökme demir işlenebilirliği çalışmaları tespit edilmiştir. Küresel grafitli dökme demir, Lamel grafitli (gri) dökme demir ve Vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirlik bakımından mukayese edilmiştir. Yapılan bu çalışmada, farklı süre ve sıcaklıklarda uygulanan östempereleme

ıslıl işleminin, Vermiküler dökme demirlerde işlenebilirlik ve mikro yapıya etkileri incelenmiştir. İmalat süresi ve ürün kullanıma en uygun şekilde kesme parametrelerin belirlenmesi ile özellikle otomotiv ve ağır iş makinalarında kullanılan Vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirlik yöntemleri açısından tavsiyelerde bulunulmuştur.

3. DÖKME DEMİRLER

Dökme demirler ham demir cevherinin ergitme fırın içerisinde bazı metalürjik işlemlerden geçirilmesi sonucunda eriğin kalıp içerisine dökülerek katılaştırma işlemiyle elde edilir. Yapı itibarıyla dökme demirler çeliklere benzerler ve demir karbon alaşım sınıfı içerisinde gösterilirler [28]. Dökme demirler yapısı itibarıyla sünek değildirler. Bu yüzden soğuk ve sıcak işlemler uygulanarak şekillendirilemezler. Döküm endüstrisinin en yüksek tonajlı üretim kapasitesine sahip olan dökme demirin tercih edilme sebepleri aşağıda belirtilmiştir;

- 1150-1300 ° C gibi düşük ergime sıcaklığı,
- Ötektik bileşime yakın, iyi bir akışkanlık özelliği,
- Kalıp ve döküm işlemlerinde sağladığı kolaylık,
- Geniş kimyasal bileşim sınırı,
- Talaşlı imalat tekniğinde kolay işlenebilme,
- İyi bir titreşim özelliği sunması,
- Basma mukavemetin yüksekliği,
- Aşınma ve korozyona dayanıklılıktır.

Bu mekanik özelliklere ek olarak üretimin ekonomik olması dökme demirlerin bir diğer tercih edilme sebepleri arasındadır. Dökme demirin niteliğini, yapısındaki karbonun katılma sonrasında iç yapıdaki şekli belirler. Dökme demirler genel olarak yapılarında %2-4 Karbon ve %0.5-3 Silisyum içerirler. Karbon oranının %4 üzerinde olması malzemeyi aşırı biçimde gevrek hale getirdiğinden dolayı ticari alanlarda kullanılamamaktadır. Yapılarında genellikle, %0.5-3 Silisyum %2-4 Karbon, %0.1-0.8 Fosfor, %0.4-0.8 Magnezyum ve %0.05-0.1 oranında kükürt bulunur. Ayrıca bu elementlerin yanı sıra, Titanyum, Antimon, Kalay'da bulunabilir [28,30]. Karbon değeri %2'den az olan dökme demirler silisyum ve diğer alaşım elementlerinin yapısındaki karbonun çözünmesi sebebi ile ötektik katılma olabilir. [31].

Dökme demirlerde süneklik grafitlerin şekli ve miktarı belirler. Dökme demirlerin iyileştirilebilir özelliklerinden olan mukavemet, işlenebilirlik, sertlik, aşınma ve korozyon dirençleri; tavlama, temperleme, östenitleme ve menevişleme gibi ısıl işlemlerle daha iyi hale getirebilir [31,32].

Dökme demirlerin mikro yapısı altı farklı bileşenden meydana gelmektedir. Bu yapılar aşağıda açıklanmıştır [30,32].

Grafit:

Dökme demir yapısındaki karbon, bileşik veya serbest halde bulunabilir. Gri dökme demirin katılaşma ile beraber grafit lamelleri meydana gelir. Yoğunluğu düşük olan grafit lamelleri toplam döküm hacminin yaklaşık %6-17'si kadardır.

Sementit:

Dökme demir yapısındaki karbonun tamamen veya belirli bir oranda sementit halinde kimyasal olarak birleşmiş durumudur. Demir ve karbür arası bileşik olmasından dolayı çok sert ve kırılgan bir yapıdadır.

Ferrit:

Kübik merkez yapılı az miktarda karbonun oda sıcaklığında, uzama kabiliyetine sahip, çok yumuşak ve orta dereceli mukavemete sahip katı eriyiktir.

Perlit:

Ötektoid bileşimdir. Yan yana sıralanan ferrit ve sementit tabakalarından meydana gelmiş iki fazlı karışımdır. Sertlik ve mukavemeti ferritten fazladır.

Steadit:

Özellikle gri dökme demirde bulunan fosfor elementi, düşük ergime dereceli demir-fosfat bileşimidir. Çok sert ve kırılgan yapıya sahiptir.

Östenit:

Adi dökme demirlerde, 750⁰ C üstü yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli demir ile karbonun meydana getirdiği kristal yapıdır.

Ledeburit:

Dökülebilirliğinin en yüksek olduğu faz diyagram noktası olarak tanımlanan ötektik yapının bir başka adıdır.

3.1. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Günümüzde yaygın halde kullanılan dökme demirin kimyasal bileşimi, soğuma hızı, katılma şekli ve mikro yapı değişikliklerine göre beş farklı şekilde sınıflandırılabilirler. Bunlar, gri dökme demir, küresel grafitli (sfero) dökme demir, beyaz dökme demir ve kompakt (vermiküler) grafitli dökme demirlerdir. Diğer bir deyişle dökme demirler parlatılmış yüzeylerindeki grafit karakteristiğine göre sınıflandırılabilirler. Grafitlerin şekli ve miktarları dökme demirlerin mukavemetinin yanı sıra sünekliğini etkilemektedir. Dökme demirlerin özelliklerini geliştirmek maksadı ile temperleme, tavlama, meneviş ve östenitleme gibi ısı işlemleri uygulanarak temel yapı içerisinde istenilen yapıda mikro yapı oluşturulabilme imkânı mevcuttur.

Mikro yapıdaki karbonun şekli ise dökme demirlerin yapısındaki alaşımların elementlerine, döküm esnasında ve döküm sonrasındaki ısı şartlarına bağlıdır. Dökme demirler; üretim esnasındaki soğuma hızı, kimyasal bileşim yapısı, uygulanan soğutma işlemi ve ısı işlem farklılıklarına bağlı olarak çeşitli sınıflara ayrılır. Tablo 3.1’de küresel grafitli dökme demir, gri dökme demirler, beyaz dökme demir ve temper dökme demirlerin içinde bulunduğu demir esaslı, alaşımsız, döküm malzemelerinin ağırlıkça yüzde oranları gösterilmiştir [32,33]. Dökme demirli alaşımların ticari isime ve yapılarına göre sınıflandırılması Ek A’da gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Alaşımız Dökme Demirlerin kimyasal bileşim yüzde aralığı [30]

Element	Küresel grafitli dökme demir	Gri dökme demir	Beyaz dökme demir	Temper dökme demir
Karbon	3.0-4.0	2.5-4.0	1.3-3.6	2.00-2.60
Silisyum	1.8-2.8	1.0-3.0	0.5-1.9	1.10-1.60
Mangan	0.10-1	0.25-1.0	0.25-80	0.20-1.00
Kükürt	0.03 maksimum	0.02-0.25	0.06-0.20	0.04-0.18
Fosfor	0.10 maksimum	0.05-1.0	0.06-0.18	0.18 maksimum

Ek A'da Dökme demirli alaşımlar, ticari isime göre ve yapılarına göre sınıflandırılması gösterilmiştir.

3.1.1 Gri dökme demirler

Katı yapıya ulaştıktan sonra, ihtiva ettiği karbonun büyük bir bölümü serbest halde yani başka bir ifade ile grafit lamelli birleşime sahip dökme demir yapısıdır. Gri dökme demirlerin parçalı yüzeyleri incelendiğinde isli gri renk te olduğu Şekil 3.1'de görülmektedir. Gri dökme demirin mikro yapısı incelendiğinde, düzenli, üst üste konulmuş rozet biçiminde lameller olduğu görülmektedir.

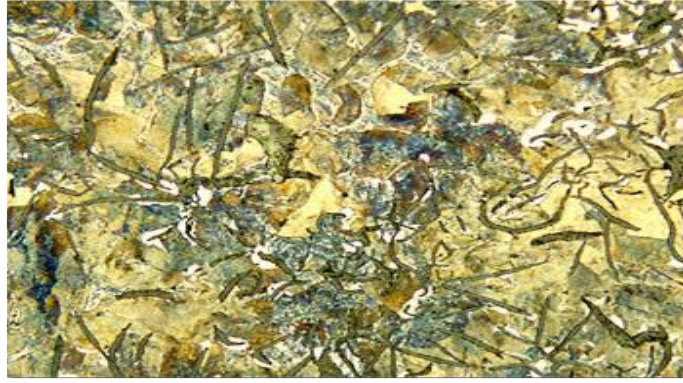
Lamel grafitli dökme demirler olarak da adlandırılan gri dökme demirler yapılarında genellikle %1-3 silisyum ve %1.7-4.5 oranında karbon bulundurur. Gri dökme demirler yapısı itibarıyla demir esas olarak demir-silisyum ve karbon alaşım olup ötektik sıcaklığı, ostenit'in katı ergiyik olarak içerebileceğinden daha fazla karbona sahip alaşımdır. Yapısındaki bu fazla karbon grafit lamelleri halinde çöker. Yaprak yapıdaki karbon grafit lamelleri gri dökme demire işlenebilirlik gibi benzersiz özellikler kazandırır. Ayrıca yüksek aşınma direnci, kırılma direnci ve titreşim sönümlemenin makul olması tercih edilme nedenleri arasındadır [34].

Gri dökme demirin genel özellikleri;

- Dökümün şekli ve döküm kalınlığına bağlıdır,

- Düşük mukavemetli gri dökme demirlerde karbon miktarı, iletkenlik ve sönümlenme yeteneği yüksektir,
- Mukavemet oranı yüksek olan gri dökme demirlerde, karbon oranı düşüktür,
- Sünekliği düşüktür (%0.6), işlenebilirliği mükemmeldir,
- Korozyona dayanıklılığı ve aşınma özellikleri mükemmeldir,
- Isıl iletkenliği yüksektir.

Gri dökme demirin otomotiv sanayisinde tercih edildiği yerler, motor bloğu, fren kampanası ve diski, yağ pompası, motor balans ağırlıkları, krank kepi, emme ve egzoz manifoldları ile vantilatör kasnağı, volan ve basınçlı boru parçalarıdır [34].



Şekil 3.1: Gri (lamel grafitli) dökme demirin iç yapısı

3.1.2 Beyaz dökme demirler

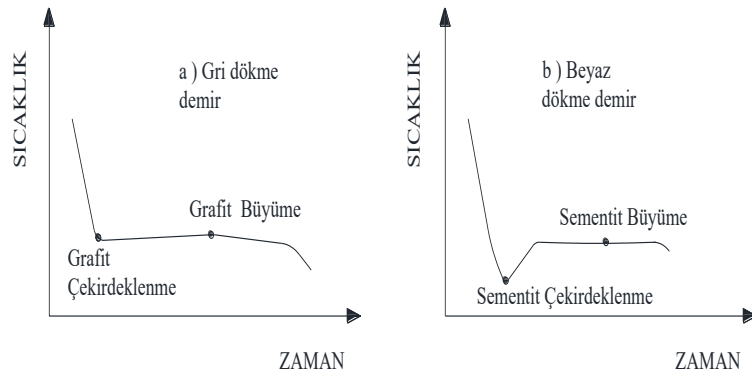
Beyaz dökme demirler katılaşma sonucunda karbon grafit yerine demir karbürün oluşturulması ile meydana gelmektedir. Yapısındaki karbonun tamamı bileşik sementit (Fe_3C) yapıdadır. Dökme demirlerde esas yapıyı gösteren ve aşınma özelliklerini ortaya çıkartan demir, krom ve karbon üçlü yapılarıdır. Bu yapıda %15 kadar krom, sementit yapı içinde demirle yer değiştirebilir. Fakat daha yüksek krom içeriklerinde sementit kararsızdır ve $M_7 C_3$ hegzagonal karbür yapısına dönüşür. Aşınma direncini sağlayan krom karbürün sertliği 1500-1800 HV iken, sementit 1000-1200 HV sertlik değerlerine sahiptir.

Döküm halindeki, alaşımsız beyaz dökme demirin mikro yapısı perlit ana fazı içinde büyük miktarlarda demir karbürden meydana gelmektedir. Kırılma yüzeyine göre beyaz dökme demir yüzeyinin parlak bir beyaz kristalimsi bir yapıda olmasından dolayı bu isim verilmiştir. Şekil 3.2’de beyaz dökme demirin mikro yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Beyaz dökme demir mikro yapısı [30]

Beyaz dökme demirlerde ana yapıyı oluşturan Fe_3C 'nin çekirdeklenmesi oldukça yavaş ve aynı zamanda bu çekirdeklenmenin oluşum sıcaklık da oldukça düşüktür. Çekirdeklenme meydana geldikten sonra hızlı bir şekilde Fe_3C artışı meydana gelir. Grafit yapı ise Fe_3C 'den daha yüksek bir sıcaklıkta çekirdeklenerek büyür ve gri dökme demir yapıyı meydana getirir. Ani bir aşırı soğumada ise grafit yapı, Fe_3C 'den daha yavaş büyür. Şekil 3.3’de gri ve beyaz dökme demirlerde soğuma zaman grafiği gösterilmiştir [35].



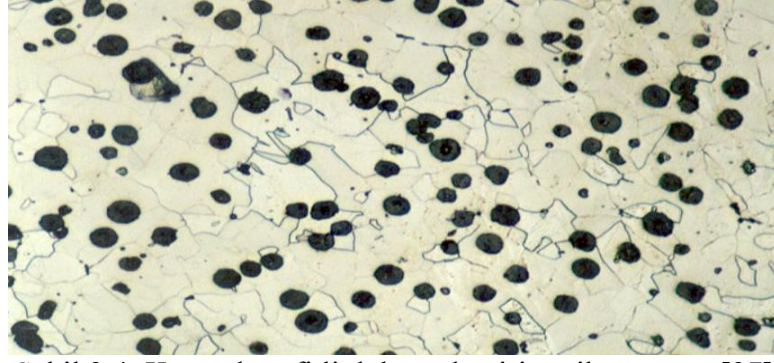
Şekil 3.3: a) Gri ve b) beyaz dökme demirlerde soğuma eğrisi [30]

Beyaz dökme demirler, yapı ve mekanik özelliklerine bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. Maliyetin düşüklüğü sebebiyle, martenzitik nikel-krom beyaz dökme demirler büyük tonajlarda madencilğin öğütme işlemlerinde parçalayıcı bile olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca, çamur pompaları, silindir başları, kül boruları yapılarında kullanılmaktadırlar. Yapısı itibarıyla aşınma ve sürtünme direncinin yüksek olması sebebiyle paletli vinçlerde kepçe dişi, kazıcı ve delici gibi yüksek aşınmaya maruz kalan makine parçalarında çoğunlukla beyaz dökme demir tercih edilmektedir.

3.1.3 Küresel grafitli dökme demirler

1948 yılında İngiltere’de H.Morrogh ve W.J. Williams ve ardından Amerika’da P. Gagnebin ve ark. ile birlikte üretimine başlanan küresel grafitli dökme demirler Amerika’da noduler dökme demir veya sfero döküm olarak adlandırılmıştır. İngiltere’de küresel grafitli dökme demir olarak adlandırılan bu malzemeye ergimiş haldeki demir-silisyum ve karbon alaşımına magnezyum veya seryum ilave edilerek elde edilir. Böylece karbon yapısının lamel yerine küre biçiminde olması sağlanmıştır. Fiyat performans oranının iyi olması ve kontrolü mümkün bir döküm teknolojisine imkân vermesi, tercih edilmesinin başlıca nedenleri arasındadır [36].

Şekil 3.4’de küresel grafitli dökme demirin mikro yapısı görülmektedir. Küresel grafitli dökme demirler yapı itibarıyla kır dökme demirle benzer olsa da mukavemet ve süneklik özellikleri çelik ile benzerdir fakat üretim biçimleri farklıdır. Yapraksı grafit şekline sahip kır dökme demirler çatlak oluşum eğilimine sahiptir. Bu durum kır dökme demirinin mukavemetini, tokluğunu ve sünekliğini düşüren bir etkendir. Yapraksı yapı yerine küresel yapı oluştuğu zaman yüksek mukavemet ve süneklik olanaklı hale gelir. Bu durumda dökme çeliklerin mukavemet ve süneklik özellikleri ile dökme demirlerin düşük maliyet, aşınma direnci ve uygulanan kuvveti sönümleme özellikleri ile birleşmiş olur [37].



Şekil 3.4: Küresel grafitli dökme demirin mikro yapısı [37]

Küresel grafitli dökme demirlerin akma ve çekme mukavemeti ile süneklik değerleri mekanik özellikleri bakımından belirleyici parametrelerdir.

Malzemelerde boyuna ve enine şekil değişim oranını gösteren Poisson değeri, küresel grafitli dökme demirlerde farklılık gösterebilir. Kabul edilebilecek poisson değeri 0.275'tir. Orantı sınır değeri % 0.2 akma mukavemetine oranı ferritik küresel grafitli dökme demirler için 0.71 iken perlitik ve tavlanmış martenzitik yapıda küresel grafitli dökme demirlerde 0.56'ye düştüğü gözlemlenmiştir. Küresel grafitli dökme demirlerde akma mukavemeti 275-620 MPa arasındadır. Söz konusu demir grubu için bu değer 162-170 GPa arasındadır [37].

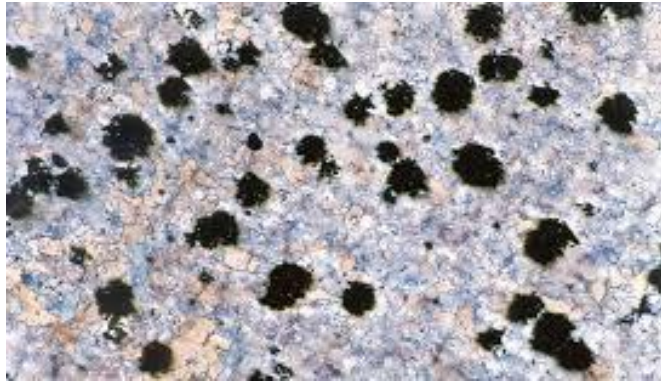
Karakteristik olarak lamel grafitli dökme demir ile çeliğin özelliklerini bünyesinde toplayan küresel grafitli dökme demirler bu özellikleri sebebiyle taşıt endüstri alanlarında tercih edilmektedir. Küresel grafitli dökme demirlerin iyi işlenebilirlik, maliyetinin düşüklüğü gibi özelliklerine ek olarak yorulma dayanımı, gri dökme demire göre yüksek elastite modülü özelliğinden dolayı krank mili üretiminde, yüksek akma dayanımı ve aşınma direncinin özelliklerinden dolayı dişli yapımında kullanılırlar [38, 39]. Aşınma direnci, absorbe özelliği düşük sıcaklıklardaki özellikleri sayesinde silindir blokları, silindir kapağı, biyel, piston segman, fren parçaları gibi otomotiv parçalarında yoğun bir şekilde kullanılır. Ayrıca ağı yük araçların aktarma organları, şase bağlantı elemanlarında da tercih edilmektedir [40, 41]. Akma noktaları da oldukça yüksek olduğundan çok ağır yükleri kalıcı deformasyona maruz kalmadan taşıyabilme kapasitesine sahiptirler. Titreşim sönmülemde gri dökme demirlerden zayıf olsalar da çeliğe göre oldukça iyidirler [42].

Küresel grafitli dökme demirlerin hidrolik düzenekler, mandreller, tünel parçaları, demir yolunda, kömür ve diğer mineral ezen ekipmanlar, ortam sıcaklığının yüksek olduğu alanlarda güvenlik valfleri, nükleer yakıt konteynerler taşıyıcıları ve kağıt üretim makineleri gibi çeşitli mühendislik alanlarında kullanımı yaygındır [39].

3.1.4 Temper dökme demirler

Temper dökme demir, yapısında grafit bulunmayan, sert ve gevrek özellikli, mikro yapısında ferrit ve temper karbonu içeren, beyaz dökme demire ısıtılıp işlem uygulanması sonucunda sementit ve perlit parçalanmasıyla meydana gelir. Şekil 3.5'deki mikro yapıda görüldüğü gibi sementit ve perlit yavaş yavaş soğutulmuş karbonun rozet biçimine dönüşür. Sünek ve mukavemet değeri yüksek olan bu dökme demir çeşidi kolay işlenebilme özelliğinden dolayı mühendislik alanında tercih edilir.

Temper dökme demirler; oksidan ortamında üretilen beyaz dökme demir ve nötr ortamda üretilen siyah temper dökme demir olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki dökme demir arasında çok az fark olmasına rağmen, oluşan bu farklılık temperleme yöntemi ve mikro yapıdaki değişiklikten kaynaklanmaktadır [43].



Şekil 3.5: Temper dökme demirin mikro yapısı [44]

3.1.5 Vermiküler dökme demirler

Dökme demir sınıfı arasına yeni katılan Vermiküler grafitli dökme demir bir diğer adıyla Kompakt grafitli dökme demir (Compacted Graphite Iron) mekanik ve mikro yapı özellikleri bakımından küresel grafit yapılı dökme demir ile gri dökme demir arasında bulunmaktadır. Vermiküler dökme demirin yapısındaki grafit kısa ve yuvarlak uçlu özel bir forma sahiptir. Küresel grafitli dökme demir imal edilirken, magnezyum ve seryum eksikliğinden dolayı rastgele meydana gelen Vermiküler grafitli dökme demir bu kazandığı yeni yapı özelliğinden dolayı düşük değerli demir olarak tanımlanmıştır [38,43].

Vermiküler dökme demirin keşfi tamamen rastlantısal olduğu için üretimi diğer dökme demirlerden daha fazla hassasiyet gerekmektedir. İlk kez kasıtlı olarak 1955 yılında Estes ve Scheidewind tarafından bulunmuştur. Aslında bu keşfi Britanya’da ki (BCIRA, British Cast Iron Research Association) dökme demir araştırma enstitüsünden Morrogh ve Williams ile ilişki kurulsa da gerçekte ilk patenti 1948 yılında Milis ve ark. tarafından Küresel grafitli dökme demir ve Vermiküler grafitli dökme demir ile almıştır [45].

Söz konusu dökme demirin yapısı oldukça karmaşıktır. Üretim süreci, ergimiş yetersiz küresel dökme demir içerisine düşük yüzdede magnezyum (veya kalsiyum) eklenerek dökümün katılaşması ile grafit oluşması sağlanmış %49 civarında seryum içeren bir alaşımın sülfür demire eklenmesi şeklindedir. Mikro yapı içerisinde hiç lamel grafit olmayan, küresel grafitin %20’den az olduğu ve tüm grafitin %80’inin Vermiküler olduğu dökme demirdir çeşididir. Vermiküler grafitler, lamel grafitlerden daha kalın ve uç kısımları yuvarlatılmıştır [11].

Vermiküler dökme demirin içinde bulunan grafitler dökme demirde olduğu gibi birbirine bağlanmış halde ince tabakalar şeklindedir. Bu durum karmaşık maçaların dökümünde kolaylık sağlayarak hatasız bir üretim imkânı sunar. Vermiküler grafitlerin yuvarlatılmış ve ara açıklıkların kısa olan uçları, daha iyi bir kuvvet, kabul edilebilir süneklik ve gri dökme demirden daha iyi bir işlenebilirlik avantajını sağlamaktadır. Bu grafitlerin birbirine bağlı halde olması, biraz daha fazla ısı iletkenliği, daha iyi bir sönüleme kapasitesi ve küresel grafitli dökme demirlerde elde edilen daha iyi bir talaşlı işleme özelliği imkânı sunmaktadır. Yapısı itibarıyla

tutarlı bir döküm tekniğini koruması için çok hassas bir metalürjik kontrol sisteminden geçirilmesi gerekmektedir [7].

Vermiküler grafitli dökme demirler egzoz manifoldları, hidrolik yataklar, fren diskleri gibi kullanım alanına sahiptirler. Yapısı itibarıyla motor malzemelerinde yoğun bir şekilde kullanılır. Günümüzde bazı kamyon motorlarının komponentleri Vermiküler grafitli dökme demirlerin malzemesi ile üretilmektedir.

3.2 Dökme Demirlerin İşlenebilirliği

Dökme demirlerin işlenebilirlik karakteristiklerinin tespiti yapılabilmesi için yapı ve analiz sonuçlarının önem gösterilmesinde yarar vardır. İşlenebilirlik analizinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gereklidir.

- Yapıdaki karbon miktarı ile işlenebilirlik arasında doğru bir orantı bulunmaktadır.
- Silisyum miktarı artırılmış ferritik dökme demir yapısı daha güçlüdür ve aynı zamanda daha az sünektir. Bu durum yığılma kenar oluşumunu (Built-up Edge, BUE) daha az meyil gösterir.
- Matris yapısı içerisinde perlitik miktarının artırılması mukavemet ile birlikte sertliği de artırır, ancak işlenebilirliği azaltmaktadır.
- Perlit ne kadar ince lamelli ve ince taneli ise işlenebilirliği o derece düşüktür.
- Matris yapısının içerisindeki yaklaşık %5 oranındaki serbest karbür işlenebilirliği azaltır.
- İşlenebilirlik bakımından serbest karbürlerin etkisi perlitik bir matrise sahip dökme demirler için çok daha olumsuzdur; bunun nedeni perlit matris yapısındaki karbür parçacıklarını birbirine bağlamaktadır. Böylelikle kesici kenarın en sert parçası ferritik yapıda olduğu gibi yerinden çıkması veya yumuşak ferrit'e gömmesi yerine kesmesini gerektirir.
- Döküm en üst yapısındaki cüruflar veya kum kalıbın artıkları nedeniyle işlenebilirliğini düşürür.

- Genellikle tek tip dökme demirin sertliği ve aynı zamanda mukavemeti ne kadar artarsa, aynı oranda işlenebilirliği ve kesici takım ömrü o oranda azalmaktadır.

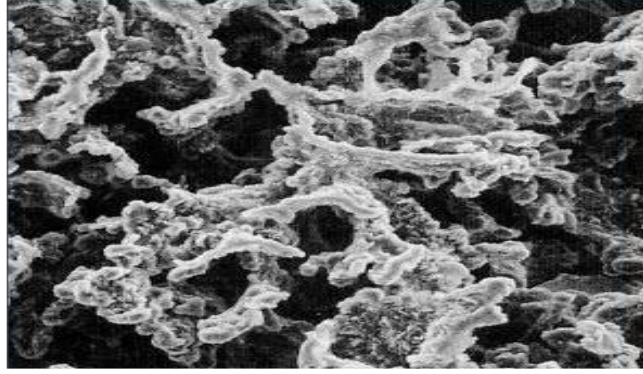
Talaşlı imalat alanında kullanılan dökme demirlerinin pek çoğunun işlenebilirliği iyidir. İşlenebilirlik katsayısı ile yapı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Sert perlitik dökme demirin işlenmesi oldukça zordur. Gri dökme demirlerde talaş uzunluğu kısa iken, temper ve sfero dökme demirlerde talaş uzunluğu uzundur. Grafit lamelli (gri dökme demir) dökme demirin ve beyaz dökme demirin bir diğer kolu olan temper dökme demirin mükemmel düzeyde işlenebilir özelliktedir. Ancak buna karşı küresel grafitli dökme demirin işleme özellikleri kötüdür [46].

Abrasif, adhezif ve difüzyon aşınma biçimleri dökme demirlerde karşılaşılan aşınma tipleridir. Abrasif aşınma genel olarak karbürler, kum kalıntıları ve daha sert faz partiküllerinin karşı malzeme yüzeyinde oluşturdukları mikro-yarıklar veya mikro çatlaklar sebebiyle meydana gelir. Adhezif aşınma ve yığma kenar (BUE) oluşumu düşük işleme sıcaklıklarında ve düşük kesme hızlarında söz konusudur. Dökme demirin kesici uç üzerine en kolay kaynak olan kısmı ferritik olan bölgedir. Bu durum kesme hızı ve sıcaklığının yükselmesi ile önlenir. Difüzyon aşınması sıcaklıkla ilişkilidir. Özellikle mukavemet değeri yüksek dökme demir kalitelerinde yüksek sıcaklıkla meydana gelmektedir. Bu tip aşınma dökme demirler ile kesici takım arasındaki reaksiyona bağlıdır. Örneğin; talaş yüzeyinin üzerinde oluşan oyuk aşınması difüzyona sebep olmaktadır. Dökme demirlerde iyi bir yüzey kalitesine sahip olmak için yüksek kesme hızlarında seramik kesici takımlar kullanılmaktadır [47].

Dökme demirlerin işlenmesinde aranılan kesici takım özelliklerinde kimyasal kararlılık ve kızıl sertlik olması istenmektedir. Fakat iş parçası ve işleme koşulları göz önüne alınarak tokluk, ısıl darbelere karşı mukavemet özellikleri de kesici takım kenarının sahip olması gereken özellikleri arasında yer almalıdır. Sinterlenmiş karbürlere ek olarak seramik kaliteler de dökme demir işleme de kullanılmaktadır. Dökme demirlerin işlenmesinde sonuçların daha iyi elde edilebilmesi kesici kenar aşınmanın şekline bağlıdır. Meydana gelebilecek ısıl çatlaklıklar ve kesici uçtan ufak dökülmeler sonucunda meydana gelebilecek kırılmalar malzemedeki ani körelmeler sonucunda iş parçalarında parça kopmaları, kötü yüzey kalitesine bağlı olarak dalgalı yüzey yapıları gibi olumsuzluklar meydana gelir [48].

4. VERMİKÜLER (KOMPAKT) GRAFİTLİ DÖKME DEMİR

Gelişen teknolojik ilerlemelere paralel olarak farklı malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Vermiküler grafitli dökme demirler yapısı itibarıyla özellikle endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Dökme demir sınıfının en son üyesi olan bu malzeme, mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından lamel ve küresel grafitli dökme demirler arasında yer almaktadır [49]. Vermiküler grafitli dökme demirler 2000’li yıllardan sonra dökümhanelerde üretilmeye başlanmıştır. Demir’in mikro yapısında küresel grafit üretmek amacı ile yapılan işlemde yetersiz magnezyum ve seryum ilavesi sonucu tesadüfen bulunmuştur. Çeşitli üretim teknolojileri gerektiren özellikleri sayesinde 1965 yılında dökme demirler sınıfı içerisinde yerini almıştır. Vermiküler grafitli dökme demirlerin grafit yapısı oldukça komplekstir. Kabul edilebilir bir mikro yapı için, yaklaşık %20 küresel yapıda grafit ve yaklaşık %80 vermiküler grafit bileşimi olmalıdır. Vermiküler grafitler, lamel grafitlere nazaran daha kalın olup ayrıca uç kısımları yuvarlatılmış halde görülmektedir. [11, 1]. Şekil 4.1’de Yuvarlak uç kısımları yapıya benzetilen Vermiküler grafitli dökme demirin 3 boyutlu yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Vermiküler grafitin üç boyutlu görüntüsü [50]

Vermiküler grafitli yapı biçim gri dökme demire kıyasla daha üstün mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır. Gri dökme demirde görülen lamel grafitli yapının sivri uçları, yük altında gerilimi yoğunlaştırarak kılcal çatlaklıklar oluşumuna yol açmaktadır. Vermiküler grafit bu uçlardan arındırılmış olmasından dolayı, gerilim belli bir bölgeye yoğunlaşmayarak mekanik özelliklerinin artmasına sebep olmuştur.

Ayrıca bu yapı dizilimine ek olarak, grafitin mercanı andırır bir şekilde üç boyutlu bir ağ yapısına oluşması da demirin mevcut yapısı ve grafit arasındaki bağı güçlendirerek, dökme demir mukavemetine katkıda bulunmaktadır [51].

Çeşitli ülkelerde üretilen Vermiküler grafitli dökme demirlerin üretim standartları Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Vermiküler grafitli dökme demirlerin standartları [52]

Ülke	Standart	Numara	Yıl
Uluslararası	ISO	ISO 16112	2006
Uluslararası	SAE	J 1887	2002
Almanya	VDG	W 50	2002
Amerika	ASTM	A 842-85	1997
Çin	JB	4403-87	1987
Çin	GB/T	26655	2011
Romanya	STAS	12443-86	1986

Vermiküler grafitli dökme demirin son yıllarda revaçta olması ve bu ürün ile ilgili yatırımın artmasının başlıca sebepleri;

- Vermiküler dökme demir imalatında işlenmemiş malzemelerin kullanımı, küresel grafitli dökme demirlerinden daha etkilidir. Bu avantaj iyileştirme özelliklerini kolaylaştırmaktadır.
- Küresel grafitli dökme demire kıyasla daha iyi işlenebilirlik özelliğine sahip olması
- Vermiküler grafitli dökme demirler, karbon değerinin yüksek olmasından dolayı akıcılığı mükemmeldir.
- Küresel grafitli dökme demirler ile karşılaştırıldığında, Vermiküler grafitli dökme demir, döküm yapıldığında döküm performansında önemli gelişmeler elde edilmektedir.

Belirtilen bu özelliklerden dolayı Vermiküler grafitli dökme demirler, küresel grafitli dökme demir üretim yöntemine benzer teknikle imal edilmesine imkan tanımıştır [1].

4.1 Vermiküler dökme demir üretimi

Günümüzde yoğun bir şekilde kullanımı tercih edilen Vermiküler grafitli dökme demir imalatı, ilave hiçbir ekipman gerektirmeyen küresel grafitli dökme demir üretimi yapılan tesislerde üretilebilir. Ergitme ünitesi olarak kupol, elektrik ark veya indüksiyon fırını kullanılabilir. Vermiküler grafitli dökme demirlerdeki kükürt oranının düşük olması, sıcaklık kontrollerinin daha kolay olması sebebi ile elektrik ark veya indüksiyon fırınlar tercih edilmektedir. İlave edilen malzemenin demir içeriği, karbon eşdeğerinin yaklaşık olarak %4.2-4.4 olması, yani yapının ötektik yapıda olması yeterlidir. Aksi halde ötektik üstü yapıdaki üretimlerde partikül sorunu meydana gelebilir. Eğer döküm koşullarında ferrit yapı istenilirse, pik döküme az bir oranda Magnezyum, Fosfor ve Kükürt ilave edilir. Eğer bir miktar perlit yapı isteniyorsa demir parçacıkları kullanılabilir.

Vermiküler grafitli dökme demir üretim süreci ve istenilen grafit şeklini elde etme ilişkisi çok hassastır. Küresel grafitli dökme demir üretiminde az bir miktarda magnezyum olması gerekirken, Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde magnezyum miktarı oldukça önemlidir. Eğer magnezyum miktarı istenilenden az olması durumunda lamel (yapraksı) grafit şeklinde olacaktır. Magnezyum belirlenen limitlerden fazla olması durumunda aşırı derecede küresellik oluşacak ve hedeflenen mikro yapıya ulaşamayacaktır [10].

Sonuç olarak döküm esnasında dökümün tonaj miktarı ile magnezyum arasında doğrudan bir ilişki bulunmakta olup, döküm içeriğindeki kalıntı magnezyum miktarı da (~%0.017) ilave edilerek dökümde kullanılacak değerler göz önüne alınmalıdır.

Yukarıda anlatılanların haricinde Vermiküler grafitli dökme demir farklı yöntemlerle üretmek de mümkündür. Bunlar;

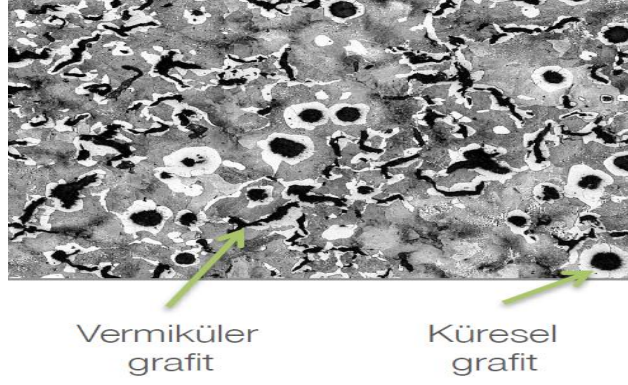
- i. Geleneksel yöntemle üretim;
 - a- Sandaviç metodu,
 - b- Daldırma metodu,
- ii. Oksijen ve silisyum kontrolü ile üretim metodu 'dur.

4.2 Vermiküler dökme demirin mikro yapısı

Vermiküler grafitli dökme demiri, 1997 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin ASTM kuruluşu tarafından A 842-85 sayılı standartlarında IV.tip grafit olarak adlandırılmıştır. Buna ek olarak JIS G 5503 ve ISO 945-1975 standartlarında 2. Formdaki grafitler olarak tanımlanmıştır.

Vermiküler grafitler içyapıda %10 oranlarından %100'e kadar bulunabilmektedir. Bu mikro yapı içerisinde bulunabilecek küresel grafit oranı en fazla %20 olmalıdır. Bu mikro yapı içerisinde mekanik yapıda olumsuzluklar meydana getirebileceği için lamel grafit olması tercih edilmez. Aynı gri dökme demirde olduğu gibi Vermiküler grafitli dökme demir tanecikleri lamel yapıya benzer, ötektik hücrelerle birbirine bağlı yapıdadır. Vermiküler grafitli dökme demirin yuvarlak kenar yapıları ve pürüzlü yüzeyleri ile gri dökme demirden farklıdır. Vermiküler grafitli dökme demirin mikro yapısı, küresel grafitli dökme demir ile lamel grafitli dökme demir arasındadır. Lamel grafitli dökme demirlerdeki gibi Vermiküler grafit parçalarının uzun ve birbiri ile bağlı durumdadır [1].

Aşılana Vermiküler grafitli dökme demirler, ince parça yapılarında perlitik yapı gösterirken, aşılama Vermiküler dökme demirler ince kesitler de önemli miktarda grafitli yapı sergilerler. Küresel grafitli dökme demirler ile Vermiküler grafitli dökme demirlerde aynı matris kimyasında ferrit, puslu grafit yapıları demirlere oranla daha fazladır. Bir başka ifade ile, Vermiküler grafitli dökme demirlerde perlitik yapıyı meydana getirmek için daha fazla alaşım elementine ihtiyaç vardır [53]. Vermiküler grafitli dökme demirin mikro yapısı ile fiziksel görüntü farklılığı Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2: Vermiküler grafitli dökme demirin mikro yapısı [51]

4.3 Vermiküler dökme demirin mekanik ve fiziksel özellikleri

Dökme demirlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini, ergiyik halden katılaşma süreci sonunda meydana gelen grafitin şekli belirler. Vermiküler grafitli dökme demirlerin mekanik ve fiziksel özellikleri, tercih edilirse gri dökme demire veya küresel grafitli dökme demire benzetilebilir. Vermiküler grafitli dökme demirin bu avantajından dolayı güncel kullanım alanında yoğun bir şekilde tercih edilir. Tablo 4.2’de Vermiküler Grafitli, Gri Dökme Demir ve Küresel Grafitli Dökme Demirin mekanik özellikleri verilmiştir [54].

Tablo 4.2: Vermiküler grafitli, Gri dökme ve Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri [54]

Özellik	Vermiküler Grafitli Dökme Demir	Gri Dökme Demir	Küresel Grafitli Dökme Demir
Çekme dayanımı (Mpa)	276-586	138-414	414-928
%0,2 Akma sınırı (Mpa)	207-435	-	276-621
Elastikiyet modülü (Mpa $\times 10^3$)	121-152	76-131	152-172
Uzama %	1.0-4.0	<1.0	2.0-25.0
Brinell Sertlik (BHN)	140-260	110-270	149-300
Darbe Dayanımı (J/cm ²)	2-9.5	<1.4	2.7-24.5
Isıl iletkenliği (Cal/cms °C)	0.08-0.12	0.105-0.135	0.075-0.09
Hacimsel Büzülme %	3.0-6.0	4.0-10.0	2.0-3.0

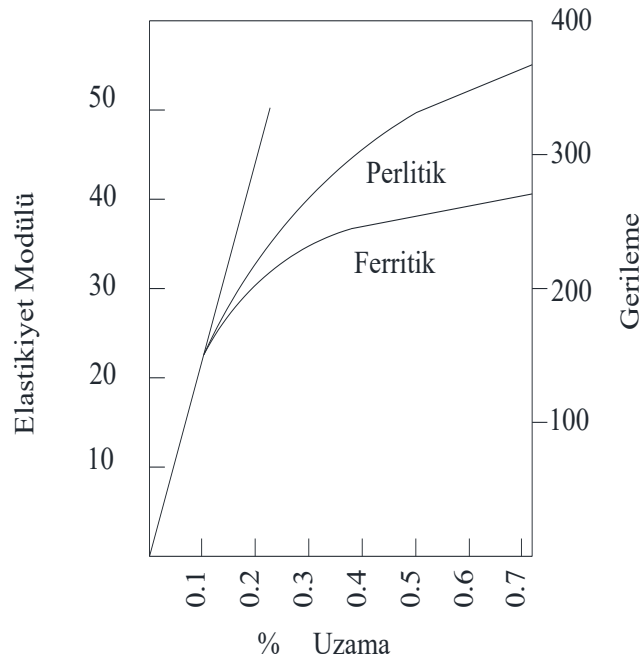
4.3.1 Çekme dayanımı

Ferritik ve perlitik Vermiküler grafitli dökme demirlerin 25 ° C ortam sıcaklığındaki davranış özellikleri Tablo 4.3’de verilmektedir. Perlitik mikro yapılı Vermiküler grafitli dökme demirin akma ve çekme mukavemeti, ferritik mikro yapıya göre daha yüksektir. Elastikiyet ve sertlik arasındaki ilişki de ise ferritik daha düşüktür.

Tablo 4.3: Vermiküler grafitli dökme demirlerin tipik mekanik özellikleri [11]

Mikroyapı	Çekme Dayanımı		%0,2 Akma sınırı		% Uzama	Elastikiyet Modülü		Sertlik HBN
	Mpa	ksi	Mpa	ksi		Gpa	ksi x 10 ³	
Ferritik	250-380	36-55	175-300	25-43	3-8	120-126	17.5-18.3	130-179
Perlitik	405-620	59-90	315-425	45-63	1-2	127-165	18.5-24	207-269

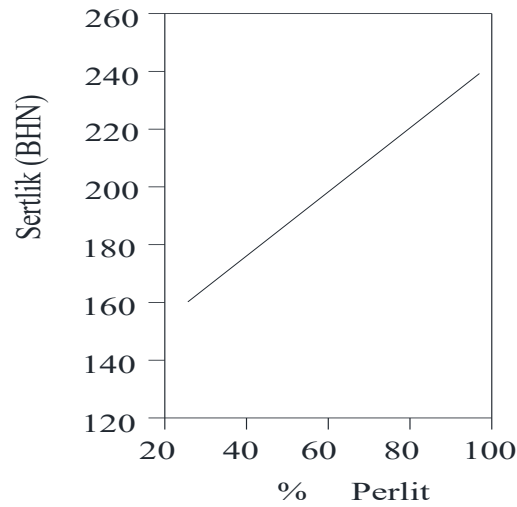
Dövülebilirliği az olmasına rağmen Vermiküler grafitli dökme demirler, ferritik küresel grafitli dökme demire benzer gerilime dayanım gösterir. Şekil 4.3’de ferritik ve perlitik Vermiküler grafitli dökme demirlerin gerilim-uzama eğrileri verilmiştir [11].



Şekil 4.3: Ferritik vermiküler grafitli dökme demirlerin gerilim-uzama eğrisi [11]

4.3.2 Sertlik

Vermiküler grafitli dökme demirlerin sertlikleri, gri dökme demirler ile küresel grafitli dökme demirler arasındadır. Vermiküler grafitli dökme demirlerin sertlik yapıları matris bakımından incelenirse perlit yapı, ferritik yapıdan daha serttir. Vermiküler grafitli dökme demirlerde parça büyüklüğünün sertliğe etkisi dikkate değerdir. Vermiküler grafitli dökme demirlerde parçanın boyutunun büyüklüğü ile birlikte karbon oranı azaldıkça sertlik değeri artmaktadır. Sertliğe etki eden bir diğer unsur ise yapıdaki silisyum oranıdır. Silisyum oranı arttıkça mukavemet ve sertlik de artmaktadır. Bununla beraber matris yapının ferrit olması durumunda silisyum etkisi artmakta, diğer bir ifade ile ferrit yapının sertliğini arttırmaktadır. Ferrit oranının artması ile sertlik oranı da artacak ve beraberinde % uzama miktarı azalacaktır. Vermiküler grafitli dökme demirlerin eşit perlit yapıları göz önüne alınarak mukayese edildiğinde lamel grafitli dökme demirlere oranla %10-15 daha yüksek bir sertliğe sahip olduğu görülmektedir. Bütünüyle perlitik lamel grafitli dökme demirden imal edilen motor silindir bloklarının Brinell sertlik değeri 179-223 iken, tamamen perlitik Vermiküler grafitli dökme demirden imal edilen motor silindir bloklarının Brinell sertlik değeri 192-255 aralığındadır. %70 perlitik Vermiküler grafitli dökme demir silindir blokları, lamel grafitli ve perlitik grafitli dökme demir silindir blokları ile aynı sertlik değerine sahiptir. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi vermiküler grafitli dökme demirlerde perlit oranı arttıkça sertliğin arttığı görülmektedir [55].



Şekil 4.4: Vermiküler grafitli dökme demirin sertlik-perlit ilişkisi [55]

4.3.3 Darbe dayanımı

Darbe deneyi çalışma alanı göz önüne alındığında gevrek kırılmaya maruz kalabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile kullanılmaktadır. Bu deneyde metal malzemelerin dinamik zorlanma altındaki kırılma direncini belirlemek gerekli enerji miktarını, sünek ve kırılma geçiş yapılarını belirlemektir. Darbe deneyinde kullanılan Charpy tekniğinde yatay ve basit kiriş haldeki iki mesnetle desteklenen numunenin çentikli tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılır ve bu darbe sonucunda taban alanına gelen çok eksenli gerilmelerin etkisiyle numune kırılır. Ve bu kırılmada harcanan enerjinin tespit edilmesiyle deney sonlanır.

25 ° C ortam sıcaklığında yapılan Vermiküler grafitli dökme demirin darbe dayanım testi sonuçlarına göre, çekme mukavemetleri, % uzamaları ve sertlik deneylerinde olduğu gibi lamel grafitli dökme demirler ile küresel grafitli dökme demirlere uygulanan darbe deneyleri arasında bir değerde olduğu tespit edilmiştir. Vermiküler grafitli dökme demirlerden, yumuşak demir olarak üretilen ferritik malzemelerin darbe dayanımları, lamel grafitli dökme demir (perlitik) olarak üretilen malzemelerin dayanımından yüksektir. Bu sonuç yapıdaki matris oranı arttıkça darbe oranı azaldığını ferrit oranı arttıkça da buna bağlı olarak darbe dayanımı da artacağını göstermektedir. Vermiküler grafitli dökme demir yapısındaki karbon miktarının artması ile darbe dayanımının arttığı, matris yapıdaki perlit oranı arttıkça da dayanımın azaldığı tespit edilmiştir. Farklı dökme demirlerin farklı sıcaklıklarda yapılan darbe deneyi Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Değişik dökme demirlerin Charpy darbe dayanımlarının sıcaklığa bağlı değişimi [11]

Sıcaklık ° C	V.G.D.D (J)	K.G.D.D (J)	G.D.D (J)
24	4.7	6.1	2
	4,7	7.5	2.7
	5.4	8.1	2.7
100	5.4	14.2	2.7
	6.1	14.2	2.7
	6.8	14.9	2.7

Çizelge 4.3'ten anlaşılacağı üzere tüm dökme demirlerin yaklaşık oda sıcaklığında darbe dayanımları düşüktür. Sıcaklık değeri 100 ° C'de iken gri dökme demirde herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen küresel grafitli dökme demir dayanımı yaklaşık iki katına çıkmış, Vermiküler grafitli dökme demirlerde ise darbe dayanımları dörtte bir oranında artmıştır [11].

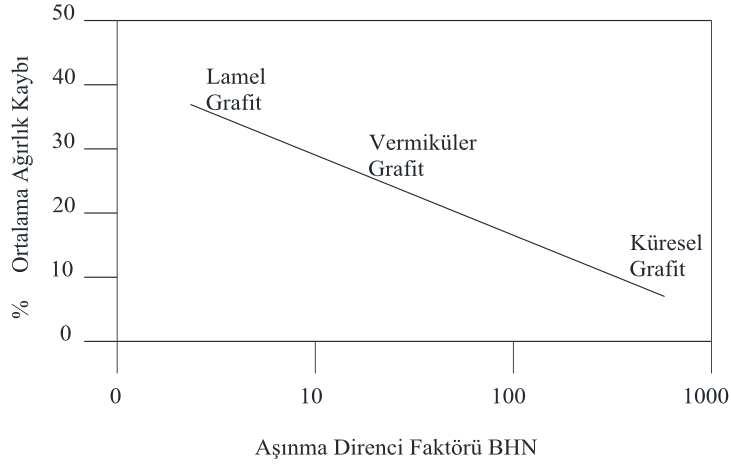
4.3.4 Aşınma direnci

Aşınma, mekanik etkenlere maruz kalan cisimlerin yüzeylerinde zamanla meydana gelen malzeme kaybı olarak tanımlanır. DIN 50320 'ye göre; aşınma, tribolojik zorlanmalar altında cisim yüzeyinde meydana gelen malzeme kaybı olarak tanımlanmıştır [26].

Dökme demirlerde matris yapıları ve grafit yapısı aşınma direncini belirler. Bu unsurlar göz önüne alınarak yapılan bir deneyde, numuneye 5.4 metre kaydırma hızında, 6.5 kilometrelik mesafe boyunca, 8 kilogramlık bir kuvvet uygulanmıştır. SAE 52100'den imal edilmiş düzgün yüzeyli ve sertleştirme işlemine tabii tutulmuş bir disk ile aşındırma testi uygulanmıştır. Yapılan test sonucunda cisimler tartılarak önceki ve sonraki ağırlıkları karşılaştırılmış ve bunun sonucunda % kayıpları tespit edilmiştir. Buna göre;

Küresel grafitli dökme demir	%12-15
Vermiküler grafitli dökme demir	%18-33
Lamel grafitli (Gri) dökme demir	%35-40

Bu testlerde, matris bileşimi ve grafit şeklini bulmak için "Aşınma direnci faktörü" kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram her dökme demir için farklılık göstermektedir. Dökme demirlerin aşınma direnci matris ve grafit ile kontrol edilebilir. Şekil 4.5'de üç farklı dökme demirin aşınma sonucu ağırlık kayıpları gösterilmiştir [2].



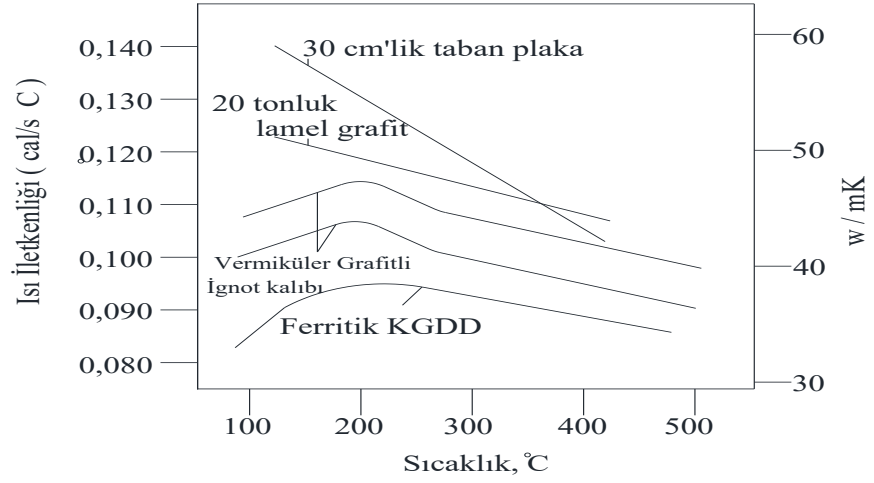
Şekil 4.5: Dökme demirlerde aşınma direnci ve % ağırlık kayıpları [2]

Buna göre, aşınma direnci faktörü en yüksek değerde, % ortalama ağırlık kayıp değeri en düşük küresel grafitli dökme demirlerdir. Gri (lamel grafitli) dökme demirde ise en düşük aşınma direnci faktörü değerinde olup en yüksek % ortalama ağırlık kaybına sahiptir. Vermiküler grafitli dökme demirin aşınma direnci faktörü bu iki farklı dökme demir arasında ortalama bir değere sahiptir.

4.3.5 Isıl İletkenlik

Bütün dökme demirlerde ısıl iletkenlik, grafit yapısına, dağılımına ve miktarı ile ilişkilidir. Grafit yapı, perlitik veya ferritik’li matris yapı halinde iken üç veya beş kat daha iyi bir ısıl iletkenlik gösterir [55]. Diğer tüm dökme demirlerde olduğu gibi Vermiküler grafitli dökme demirlerin ısıl iletkenliği sıcaklığa bağlıdır. Genel olarak Vermiküler grafitli dökme demirlerde sıcaklık miktarı arttıkça ısı iletimi azalmaktadır. Bunun sebebi Vermiküler grafitli dökme demirlerdeki grafitin yuvarlak uçlu yapısı lamel grafitleri gibi geniş bir yüzeye sahip oldukları için sferoya kıyasla daha yüksek, ama lamele kıyasla daha düşük bir ısı iletimine sahiptir. Grafit parçacıklarının artması malzemenin ısı iletim yeteneğini arttıran bir unsurdur [56]. Arısoy, ısıl iletkenlik kapasitesini malzemenin yoğunluğu, derinliği ve sıcaklık arasındaki ilişki ile ilişkilendirmiştir [57].

Vermiküler grafitli dökme demirlerin ısı iletkenlik-sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Bütün dökme demirlerin, ortalama en iyi ısıl iletkenlik verdiği sıcaklık yaklaşık 200°C ’dir.



Şekil 4.6: Vermiküler grafitli dökme demirlerin ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi [54]

4.3.6 Elastisite modülü ve sönümlenme kapasitesi

Elastisite modülü, malzemenin bir kuvvet altında elastik Şekil değiştirmeyi ifade etmektedir. Malzemelerin elastiklik modülü, kimyasal bileşim ve ortam sıcaklığından çok etkilenmektedir. Vermiküler grafitli dökme demirlerdeki grafitin Şekli, miktarı ve matris yapısı elastite modülünde etkilidir. Bu elastite modülü 138-165 GPa arasındadır. Enine genişlemenin boyuna kısalmasına oranı Poission oranı olarak tanımlanmaktadır. Vermiküler grafitli dökme demirlerde bu oran 0.27-0.28 arasındadır. Tablo 4.5'te farklı dökme demir malzemelerinde sönümlenme kapasitesi gösterilmiştir. Buna göre Vermiküler grafitli dökme demir, lamel grafitli dökme demirlerden düşük küresel grafitli dökme demirlerden yüksektir. Tespit edilen bu değerler sabit vibrasyonun zamana göre oranı göz önüne alınmıştır [54].

Tablo 4.5: Dökme demirlerin sönümlenme kapasitelerinin karşılaştırılması

Malzeme	Sönümlenme Kapasitesi
Vermiküler Grafitli Dökme Demir	0.6
Lamel (Gri, Kır Dökme Demir)	1
Küresel Grafitli Dökme Demir	0.3

4.4 Vermiküler dökme demir üretiminde yapıya etki eden faktörler

Yayılm halinde gerçekleşen faz dönüşümlerinde temel unsur, faz içinde başka bir fazın tomurcuklanıp büyümesi ile gerçekleşmesine bağlıdır. Oluşan yeni fazın özelliklerini taşıyan bu tomurcuğa çekirdek, Çekirdeğin oluşum sürecine de Çekirdeklenme denilmektedir. Vermiküler grafitli dökme demirlerin kalitesi çekirdeklenme bölgelerin sayısı ile doğru orantılıdır. Çekirdeklenme'nin çok fazla olması, aşırı derecede küreselleşmeye sebep olabileceği gibi az sayıdaki çekirdeklenme karbürlü yapı oluşumuna neden olur [54].

Vermikülerin grafit yapısını etki eden belli başlı bazı faktörler vardır. Bunlar;

- Tutma süresi ve döküm sıcaklığının etkisi,
- Katılaşmada soğutma hızı,
- Kimyasal bileşim,

4.4.1. Tutma süresi ve döküm sıcaklığının etkisi

Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde, malzemenin işlenmesi ile döküm arasında uygun bir bekleme süresi olması zorunludur. Bu süre, malzemenin eriyebilmesi ve difüzyon olabilmesi için yeterli miktarda olmalıdır. Çalışma sıcaklığının düşük, lantan içerikli malzemenin fazla olması durumunda tutma süresinde artış olmaktadır. Bekleme süresi kısa tutulursa yapıdaki karbürler üniform bir dağılım göstermez. Bekleme süresi uzun tutulduğunda da düşük bir küresellik meydana gelir. Yapılan çalışmalar sonucunda lantinit işlemi görmüş demirlerde, küresellik oranı 10 dakika da %35'ten %5'e kadar azaldığı, 20. dakikadan itibaren grafitin lamel formuna dönüştüğü tespit edilmiştir. Döküm öncesinde aşırı bekleme kükürtün geri kazanılmasına ve işlem tamamen malzemesinin yok olmasına neden olur [1].

Tutma süresi ve döküm sıcaklığı üzerinde yapılan araştırmada, döküm sıcaklığının düşük olması küre sayısının az olmasına neden olur. Yüksek küre sayısını elde edebilmek için döküm sıcaklığı hızlı bir şekilde düşürülmelidir [53].

4.4.2. Katılasmada soğuma hızı etkisi.

Katılasm süresi boyunca soğuma hızının etkisi oldukça karmaşık bir durumdur. Döküm malzemenin soğuma hızının arttırılması ile çekirdeklenmede meydana gelen katılasmayı yani segregasyon oluşumunu arttırır. Kullanılan işlem malzemesinin az olması da yavaş soğuma ile beraber lamel oluşumunu sağlar. Soğutma hızı arttıkça Vermiküler ve küresel grafit oluşumunu da arttırır. Eğer işlem malzemesi yüksek miktarda kullanılması durumunda, Vermiküler 'in grafit yapısı değişir. Yapılan çalışmalar sonucunda, Vermikülerdeki grafitin oluşması için soğuma hızı yavaş olması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni, işlem alaşımındaki elementlerin reaksiyonu gerçekleştirebilecek sürenin uzun olmasıdır. Eğer bu soğuma süresi çok kısa olursa magnezyum elementi yeterli miktarda reaksiyona giremeyecek ve yuvarlak uçlu yapı oluşmayacaktır. Bu evrede küresel grafit oluşumu başlayacaktır [53].

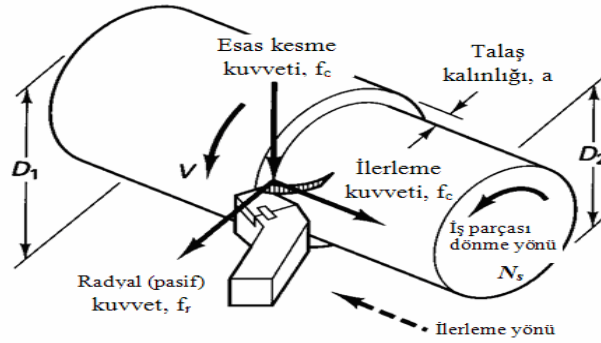
4.4.3 Kimyasal bileşimin etkisi

Vermikülerdeki grafit yapısı kimyasal bileşimin yapısına bağlıdır. Çok yüksek sıcaklıklarda karbon değeri istenilen düzeyde olduğu için grafit yapısı istenmez çünkü sıcaklığın düşmesi ile grafit yapı istenilen özelliklere doğru yaklaşır. Katılasmının ilk safhasında grafit yapı küresel ve düzensiz bir yapı oluşturma eğilimindedir. Bu küresel grafit yapıları Vermikülerin grafit oluşumuna katkı sağlar. Malzemedeki karbon ve silisyum elementleri küre sayısını belirleyen iki unsurdur. Vermiküler grafitli dökme demirlerin karbon eşdeğeri aralığında ötektik altı (CE=3.7), ötektik üstü (CE=4.7), karbon %3.1-4 ve Silisyum içeriği de %1.7-3 aralığındadır. Genel olarak karbon ve sabit silisyum seviyesinin düşük olması küresellik meydana getirir. Sabit bir karbon eşdeğeri ve yüksek silisyum seviyesi küreselliği arttırmaktadır [53].

5. Vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğini etkileyen parametreler.

5.1. Kesme Kuvvetleri

İşlem yapılacak malzemelerin talaş kaldırılması esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri, takım ömrü, yüzey kalitesi, parça boyutu, ısı miktarı, gibi parametrelere bağlı olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca kesici takım, kesme kuvvetleri, takım tezgahları ve gerekli bağlama elemanlarının tasarımında kullanılmaktadır. Parçaların tornalama işlemi esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir [32].



Şekil 5.1: Tornalama esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri [32]

Şekil 5.1’e göre tornalama esnasında parçaya üç kuvvet bileşeni etki etmektedir. Bunlar;

Esas kesme kuvveti (F_c): Etki yönü kesme hızı tarafındandır. Kuvvet değeri büyüktür ve metal malzeme kesme işleminde gerekli olan gücün genellikle büyük bir kısmına (%99) karşılık gelmektedir.

İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi ile aynı yönde etki eden kuvvettir. Kesme kuvvetlerinin yaklaşık yarısı kadardır. İlerleme hızının kesme kuvvetleri ile mukayese edildiğinde çok küçük kesme değerine sahiptir.

Radyal Kuvvet (F_r): İşlem yapılan yüzey dik olarak etki eder. Radyal kuvvet değeri ilerleme kuvvetinin neredeyse yarısı kadardır [32].

Bu üç farklı kuvvetin vektörel olarak toplanması ile bileşke kuvvet bulunur. Bu bileşke kuvvetin hesaplanmasında kullanılan matematiksel eşitlik Eş. 5.1’de verilmiştir.

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_r^2 + F_f^2} \quad (5.1)$$

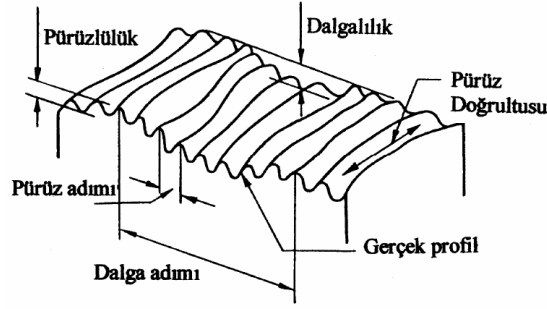
5.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, yüzey pürüzlülük eğrisi ile parça merkez çizgisi arasındaki sapmanın aritmetik olarak tanımlanmasıdır. Kesici takımın, iş parçası yüzeyinin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle meydana gelen çizikli, düzensiz ve kısa dalga boy uzunlukları pürüzlülüğü gösterir. İşlenmiş parçaların yüzey kalitesinin göstergesi yüzey pürüzlülüğüdür. İşlenebilirlik unsurlarından en önemli kriterlerinden biri yüzey pürüzlülük kalitesidir [32,58]. Ortalama yüzey pürüzlülüğün uluslararası kabul edilen simgesi R_a ’dır ve bu değer, pürüzlülük eğrisinin merkez çizgiden sapmasının aritmetik ortalamasını tanımlamaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün hesaplanmasında kullanılan matematiksel eşitlik Eş. 5.2’de verilmiştir.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx \quad (5.2)$$

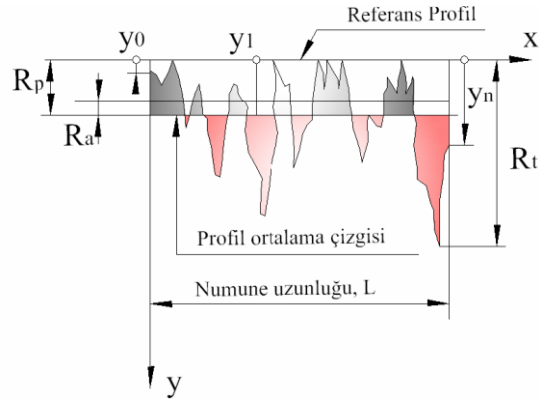
Bu eşitlikte R_a , ortalama yüzey pürüzlülüğü, L numune uzunluğunu, Z ortalama pürüzlülük yüksekliğini, x profil yönünü belirtmektedir.

Şekil 5.2’de gösterildiği gibi Talaş kaldırma işlemi yapılan yüzeylerde, çok küçük yüzeysel hatalardan meydana gelen ve yüzey pürüzlülüğü adı verilen mikro geometrik ve ideal sapmaları belirten ve form düzensizliği (makro dalgalar) denilen geometrik bozukluklar şeklinde iki tür düzensizlik görülür [54,59].



Şekil 5.2: Yüzey kalitesini tayin eden faktörler [54]

Ülkemizde TS 2040 no'lu yüzey pürüzlülük değeri ardından, TS 2495, TS974, TS6956 ve TS 930 standartları yayımlanarak belli kriterler belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değeri ayrıca ISO sisteminde N harfi ile simgelenmiştir [1,59]. Belirtilen bu standartlara göre yüzey pürüzlülüğün belirlenmesi belli kriterlere göre yapılır. Buna göre, yüzeye dik olan bir kesitte, parça uzunluğu boyunca önceden belirlenen referans geometrik profili ve profil ortalamasına göre belirlenir. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi yüzey pürüzlülüğü, yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p), ortalama yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_a) gibi değişkenlere bağlıdır.



Şekil 5.3: Yüzey pürüzlülük geometrisi [59]

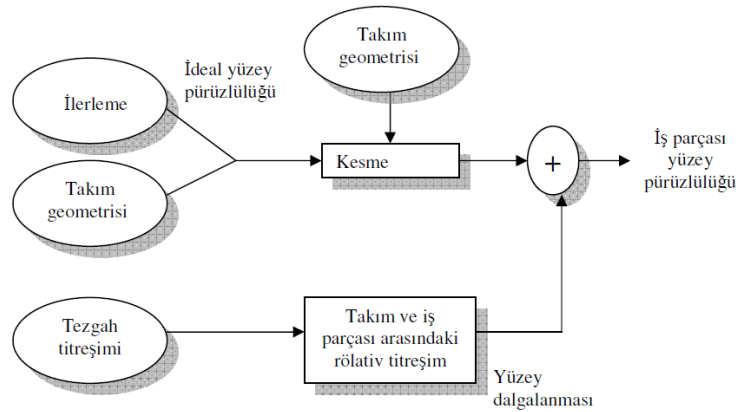
ISO Sistemine göre talaşlı imalat yüzey pürüzlülüğü ile yüzey kalitesini belirten semboller Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: DIN R_a pürüzlülük değeri ve yüzey kalite sembolleri arası bağıntılar [32]

Pürüzlülük derecesi	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
R _a (μm)	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50
Sembol	▽▽▽▽		▽▽▽			▽▽			▽			

5.2.1 Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler

Talaş kaldırma işlemlerinde temel amaç iş parçasında hedeflenen kalitede bir geometrik düzen ve hassas bir yüzey getirmektir. Talaş kaldırma işlemlerinde talaşın malzeme üzerindeki akışı ve malzemenin durumu gibi karmaşık değişkenler etkilidir. Bu karmaşık yapıya rağmen, yüzey pürüzlülüğün kontrolü, ilerleme miktarı, kesme hızı, ve talaş derinliği gibi parametreler belirlenerek gerçekleştirilir. Talaş derinliği ve ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülüğü artırırken, kesme hızının artması ile beraber yüzey pürüzlülük değeri azalmaktadır. Şekil 5.4’de yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörler gösterilmiştir. Genel olarak iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler, takım geometrisi, takım ile iş parçası arasındaki titreşim ve ilerleme olmak üzere sınıflandırılmıştır [60].



Şekil 5.4: Yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler [60]

Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi; Talaş kaldırma işleminde her bir parametrelerin tek başına etkili olmasının yanı sıra birbirleri ile etkileşim yapabilirler. Bu parametrelerden herhangi birinin hatalı seçilmesi iş yüzeyinde yetersizlikler meydana getirebilir [59]. Parça üretim maliyetleri de dikkate

alınarak bu değişkenlerin seçimi, azami derecede önem arz etmektedir. Kesme hızının düşük olması durumunda kesici kenarda yığıntı talaş meydana gelmektedir. Oluşan bu yığıntı talaş kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe sebep olur. İlerlemenin azalması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır [60].

Takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi; Talaş kaldırmada kesici uçun yarıçap değeri önemlidir. Kesici uç yarıçapı büyüdükçe, kesilen yüzeye daha büyük kuvvet uygulanması gerekmektedir. Bu aynı zamanda daha fazla sürtünme ve daha fazla ısıl gerilim ortaya çıkması anlamına gelmektedir. Oluşan bu ısıl gerilim iş parçasının yüzeyinde sertleşme ve buna bağlı olarak kesici takım ucunda ısı birikimi meydana gelir. Bu durum takım aşınmasına neden olmaktadır [61].

Zeyveli ve Karamusaoğlu bu konu ile ilgili yapmış oldukları çalışmada, 0.4 mm, 0.8 mm ve 1.2 mm yarıçaplı kaplanmış sementit karbür kesici takım kullanmıştır. Soğutma sıvısı kullanılmadan yapılan bu çalışmada, 1.2 mm yarı çaplı uçun yüzey pürüzlülük kalitesinin en iyi olduğunu gözlemlemişlerdir [62].

Titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi; Talaşlı imalat esnasında meydana gelen titreşimler kaçınılmazdır. Kesme kuvvetleri sonucunda meydana gelen bu titreşim, düzensiz biçimde konumlandırılmış takım tezgahı, tezgah milinin salgılı dönmesi gibi faktörlerden meydana gelmektedir [59].

Neşeli ve Yıldız'ın yapmış oldukları çalışmada, takım ile iş parçası arasındaki temas titreşimini, tırlama titreşimi olarak tanımlayıp, bunu işleme operasyonlarıyla yapılan talaş kaldırma esnasında kendi kendini uyaran bir mekanizma olarak açıklamıştır. Bu yapısal titreşimlerin işlenen parça yüzeyinde dalgalı bir yapı meydana getirdiğini bunun da talaş kalınlığında değişkenliğe sebep olacağını belirlemişlerdir [63].

İş parçasına bağlı faktörler; iş parçasının kayma dayanımı, iş parçası ile takım arasındaki sürtünme, iş malzemesinin süneklik ve sertlik yapısı talaş yapısının niteliğini etkiler. Yüksek dayanıma sahip olan malzemeler, düşük dayanıma sahip malzemelere göre daha büyük kesme kuvveti oluşturur. İşlem gören malzemelerin yapısı ve özellikleri talaş kaldırma işlemine etkiler. Talaş kaldırmada bir diğer unsur sünekliktir. Sünekliği fazla olan malzemeler kesme esnasında talaşın plastik deformasyonuna müsaade etmediği gibi aynı zamanda talaş temas yüzey sıcaklığının

artmasına neden olur. Artan bu sıcaklık hem takım aşınmasını hem de işlenen malzemenin yüzey kalitesinde olumsuzluğa neden olmaktadır. Sünek malzemelerin bir başka olumsuzluğu da kesici takımın yığıntı talaş oluşumu fazladır. Bu durum yüzey pürüzlülük kalitesini olumsuz yönde etkiler [61].

5.2.2 Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri

Gelişen teknolojiye bağlı olarak pek çok yüzey ölçüm teknikleri kullanılmaktadır. Bunlar;

Optik yöntem; Ölçüm yapılacak yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş ve yansıma ışını arasındaki sapmanın açisal değeri ile tespit edilir. Ölçüm yapılan yüzeyin üzerindeki pürüzlülüğe göre ışının saplaması sensörlerle tespit edilerek pürüzlülük değeri tespit edilir [54].

Temas Yöntemi; Boyutsal ve koordinasyonel yüzeylerde sıklıkla kullanılan prob cihazının ölçüm yapılacak yüzey üzerinde dolaştırılmasıyla sürtünme meydana gelir. Ve bu sürtünme sonucunda elde edilen değerlerin birbiri ile karşılaştırılması tekniğine dayanmaktadır [54].

Hidrolik yöntem; 200 mm boyutunda ki eğimli bir düzlem üzerine 0,25 cm³'lük yağ damlamasının akışındaki geçiş süresi (t) ve 10 noktada yükseklik değeri (Rz) kombinasyon ilişkisi ile bulunur. Yüzey pürüzlülüğündeki bu değer aşağıda verilen eşitlik ile bulunur [64].

$$Rz=0.13. t^{3.7} \quad (5.3)$$

Yüzey dinamometresi yöntemi; İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı temel alınarak yapılan bu yöntemde sürtünen parçaların yüzey pürüzlülüğüne bağlı bir şekilde bu sürtünmenin dinamometre ile ölçülmesidir [54].

Elektron mikroskopu yöntemi; Yüksek hassasiyete sahip bir yöntem olup en küçük düzensizlikler ölçülebilir. Bu yöntemin dezavantajı ölçülecek alan sınırının küçük olması ve görüntünün kopyalanması sırasında oluşabilecek zorluklarıdır [54].

Replika (Mask) Yöntemi; Yüzey pürüzlülük kalitesinin ölçümü parçanın yapısı veya bulunduğu konum itibarıyla zorluk yaşanır. Bu yüzden ölçüm yapılacak yüzeyin

önce replikası çıkartılır. Yüzeyle selüloz-asetat filmi asetonla yumuşatılır ve bu yapı sertleşinceye kadar baskı uygulanır ortaya çıkan mask yüzey kalitesi hakkında bilgi vermektedir [54].

İzleyici uç cihazları (Stylus) ile ölçüm yöntemi; Sivri bir izleyici ucun, parça yüzeyi üzerinde hareket ettirilmesi sonucunda meydana gelen titreşimlerin büyütülerek izlenmesi veya elektronik cihazlarla yorumlanması prensibine dayanmaktadır. Mekanik ve pnömatik bir düzenekle kurulu bu sistemde 0,00004 mm çapında sivri ucun baskısı çok azdır [54,65].

Elektro fiber optik metot; Pürüzlülüğü ölçülecek malzeme iki boyut eksenli hareketi yapabilen tablaya bağlanarak malzeme yüzeyi yatay konuma getirilir. Malzeme, sabit ve dik pozisyonda bulunan fiber optik algılayıcı altından tabla hızla hareket ettirilir. Algılayıcıdan malzeme yüzeyine gönderilen ışın yüzeyden yansır. Ve bu yansıyan ışın fiber optik algılayıcılara bağlanmış sensörler tarafından değerlendirilerek yüzey pürüzlülüğü tespit edilir [54].

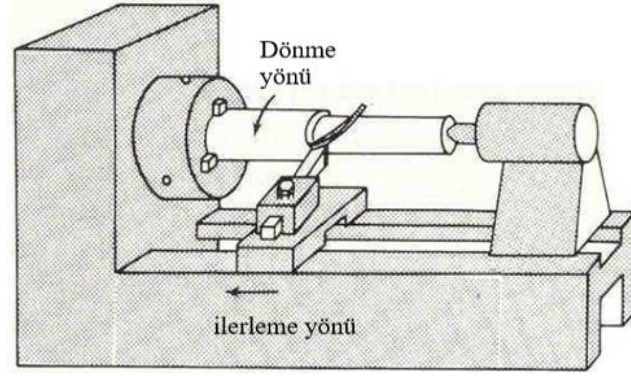
5.3 Talaşlı imalat

Mekanik parçaların şekillendirilmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biri talaş imalat yöntemidir. Talaşlı imalat işleminde; yarı mamul, döküm, dökülmüş veya haddelenmiş yapıdaki iş parçalarının istenilen geometrik yapıya dönüştürmek için iş parçası üzerindeki fazlalıklar, torna, freze veya matkap gibi takım tezgahlar kullanılır. Aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı talaşlı imalat tercih edilmektedir;

- i. Polimer ve polimer kompozitler dahil katı yapıdaki tüm malzemeler kolaylıkla talaşlı imalat yapılabilir.
- ii. Düz veya dairesel yüzeyler ile birlikte birkaç işlem basamağı uygulandıktan sonra tüm karmaşık geometrik şekillerin talaşlı imalatı yapılabilir.
- iii. Talaşlı imalat ile iş parçalarının ölçüleri yüzey toleransına uygun bir biçimde üretilebilir [1].

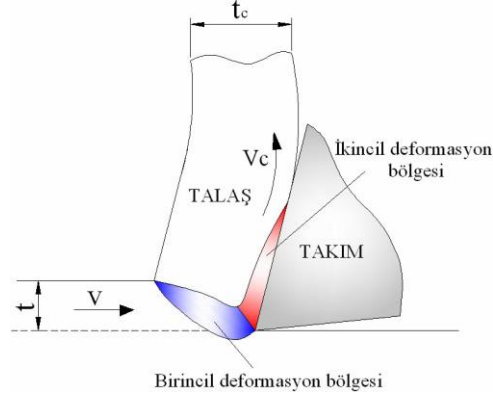
Tornalama en sık kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinden biridir. Bu imalat yöntemi dairesel iş parçalarının istenilen geometrik boyuta dönüştürülmesinde kullanılır. Şekil 5.5’de şematik olarak gösterilen torna tezgahında görüldüğü gibi

Takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım, dönen iş parçası üzerinde aksel hareket ile iş parçasından talaş kaldırma prensibine dayanır.



Şekil 5.5: Torna tezgahı ve tornalama işleminin şematik gösterimi [1]

Şekil 5.6’da talaş kaldırmanın şematik gösterimine göre; kesme hızı (V), henüz kesilme işlemi yapılmamış iş parçasının üzerindeki bir noktanın kesici takım önünden geçtiği yoldur. Bu esnada talaş parçadan “ V_c ” hızı ile uzaklaşır. Talaşın malzeme üzerinden kopartılan kalınlık “ t_c ” olarak tanımlanır. İş parçasının kayma düzlemi boyunca deforme edilmemiş talaş genişliği “ b ”, talaşın kalınlığı da” t ” olarak belirtilir. Mills ve Redford, yaptıkları çalışmada talaş oluşumunu “Kart model” teorisine göre birincil ve ikincil deformasyon bölgesi olarak ayırmışlardır. Birincil deformasyona göre, malzeme kayma düzlemine kadar elastik yapıdadır. Malzeme ile kesici uç’un ilk teması sonucunda kesme düzlemi boyunca bu yapı devam eder. İkincil deformasyonda kesici takım yüzeyi boyunca oluşan yapışma ve sürtünme sonucunda ortaya çıkan durumdur [60].



Şekil 5.6: Talaş kaldırma işleminin şematik olarak gösterilmesi [60]

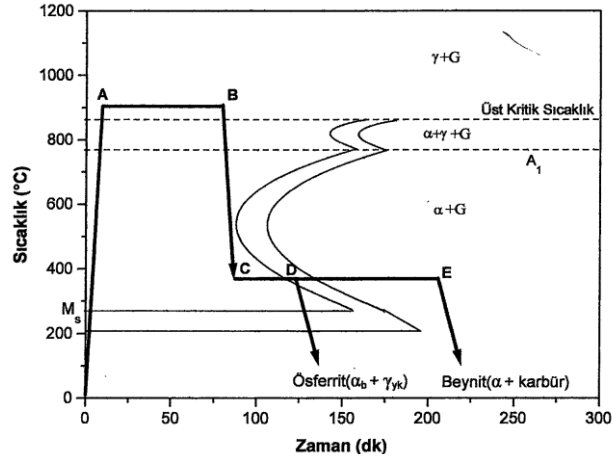
5.4 Isıl İşlemler

5.4.1 Östempereleme ısıl işlem süreci

Östempereleme işlemi ilk olarak 1930'lu yıllarda Amerikan Çelik Laboratuvarında görevli "Grossman" ve "Bain" araştırmacılar tarafından başlatılmıştır. Yaptıkları çalışmada 788°C sıcaklıkta ısıtılmış çelikler hızla 450°C 'ye kadar soğutmuşlardır. Bu işlem sonrasında malzemeyi hava sirkülasyonu etkisi ile oda sıcaklığına kadar soğumasını sağlamışlardır. Hedeflenen çalışmada ferrit, perlit ve martenzit yapıları incelenecek iken bu ısıl işlem esnasında martenzit oluşum sıcaklığı üzerinde ve perlit oluşum sıcaklığı altında farklı bir yapı ile karşılaşmışlardır. Malzeme x ışını ile analizi yapıldığında oluşan bu yapının ferrit ve metal karbür bileşimine ait olduğunu tespit etmişler buna da "Beynit" olarak isimlendirmişlerdir. Beynit ile ilgili incelemeler sonucunda sert ve dayanıklı bir yapı olduğunu belirlemişlerdir. Gelişen sanayi ve buna bağlı olarak ihtiyaçların artması ile 1970'li yılların ortalarında Finlandiya'da ve sırası ile, ABD, Norveç ve İngiltere gibi sanayisi gelişmiş ülkelerde Küresel grafitli dökme demirlerde beynitik yapı oluşturmak için ısıl işlemler uygulanmıştır. Bu östempereleme işlem sonucunda malzeme daha yüksek dayanım, iyi bir süneklik, tokluk ve işlenebilirlik özellikleri kazanmış olur. Östempereleme işlemi yapılmış Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri, elde edilen ferrit+yüksek karbonlu östenit diğer bir ifade ile matrisli yapıya bağlıdır [60].

Şekil 5.7'de gösterildiği gibi Östempereleme ısıl işlemi bir proses içerisinde gerçekleşir. Bunlar;

- i. İşlem görecek malzeme yaklaşık 1-2 saat süre ile 850-950 ° C sıcaklık aralığında östenitlenir (A-B).
- ii. Perlit yapı oluşumunu engelleyecek hızda, sıcaklık derecesi 250-450 ° C'ye kadar soğutulur (B-C).
- iii. Östempereleme için, sabit sıcaklıkta 1-4 saat beklenir (C-E).
- iv. Hava ortamında malzeme soğutulur [54].



Şekil 5.7: Östempereleme ısıl işlemin şematik gösterimi [54]

Östenitleme ve sabit sıcaklık dönüşümünden sonra düşen sıcaklık miktarı östempereleme sırasında östenit diğer yapılara üç aşamada dönüşür. Bunlar;

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

II.adım : $\alpha + \gamma_{yk}$ bölgesi (işlem aralığı)

III.Adım : $\gamma_{yk} \longrightarrow \alpha + \text{Karbür}$

Belirtilen bu proses de II. Aşamanın ösferritik yapının meydana gelmesinde ve bu dönüşüm anlaşılmasında önemli olduğu görülmektedir [60].

5.4.2 Östenitleme İşlemi

Östempereleme işleminin ilk adımı olan östenitlemedir. Genellikle 1-2 saat süre ile yaklaşık 850-950 ° C sıcaklıkta yapılır. Östenitlemede sıcaklık ve süre malzemenin içeriğindeki alaşım elementlerini miktarına bağlıdır. Parça yüzeyinin aşırı ısınmasından dolayı yüzeydeki karbon oksijenle tepkimeye girerek karbondioksit meydana gelir. Bu durum karbonun eksilmesine neden olur bu durum pullanmayı da etkiler. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için koruyucu atmosferli bir fırın yerine tuz banyosu kullanmak mümkündür. Bu tuz banyosuna ait kimyasal bileşim aşağıda verilmiştir [54,60].

%45 NaCl + %55 KCl 675-900 ° C

%20NaCl+%80BaCl₂ 675-1000 ° C

5.4.3 Normalleşme

Malzeme yapısı östenite dönüştükten sonra hızla oda sıcaklığında soğuması tekniğine normalleştirme denilir. Mavi'ye göre bu işlem ince perlitik bir yapıyı oluşturmak ve homojen bir yapıyı elde etmek için uygulanır. Böylelikle malzemenin tokluk davranışını iyileştirilip, işlenebilirlik düzeyini arttırmakta olduğunu belirtmiştir [1].

5.4.4 Tavlama ve gerilim giderme

Tavlama, malzemeyi yumuşatmak amacıyla yapılmaktadır. Burada temel teknik işlem esnasında, perlitteki sementit lamellerin küresel sementite dönüştürmesidir. Bu işlem sonrasında, ferrit matris yapı içerisinde homojen yapıda küresel sementitler meydana gelir ve bu durum sertliği önemli ölçüde düşürür. Yumuşatma tavlama ile gerilim giderme sıklıkla karıştırılan iki kavramdır. Gerilim giderme mikro yapıda herhangi bir değişim oluşturmadan döküm veya işlem sonrası kalıntı gerilimlerini uzaklaştırmak için yapılır. Eğer gerilmeler bertaraf edilmeden bırakılırsa malzemenin düzgünlüğünü ve yüzey toleransını etkileyecektir. Gerilim

giderme işlemi düşük sıcaklıklarda yapıldığı için yapı etkilenmez ve işlenebilirlik üzerinde herhangi bir etkisi bulunmaz [1,66].

5.4.5 Su verme

Malzeme dayanımı 700 Mpa'dan fazla olması istenildiği zaman, 875-925 ° C arasında ki tavlama ardından yağda su verilmesi tekniğine dayanır. Gerilme ve su verme sonrasındaki çatlaklıkların en aza indirilmesi için yağ tercih edilir. Bunun için 80-100 ° C ısıtılmış yağ banyosu kullanılır. Su verme sonrasında, yaklaşık 55-57 HRc çok yüksek bir sertlik elde edilirken süneklik düşer [66].

6. Materyal ve Deneysel Metod

6.1 İş parçası malzemesi

İşlenebilirlik deneylerinin yapılabilmesi için farklı mikro yapılarda 30mm çapında ve 300 mm boyunda Vermiküler grafitli dökme demirler kullanılmıştır. Deneyde kullanılan numuneler COMPENANTA DÖKTAŞ DÖKÜMCÜLÜK TİC.VE SANAYİİ A.Ş.'nin Bursa / Orhangazi dökümcülük fabrikasında hazırlanmıştır. Ayrıca hazırlanan bu numunelerin kimyasal elementleri Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Deneylerde kullanılan Ferritik-perlitik mikro yapıdaki Vermiküler Grafitli Dökme demir kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

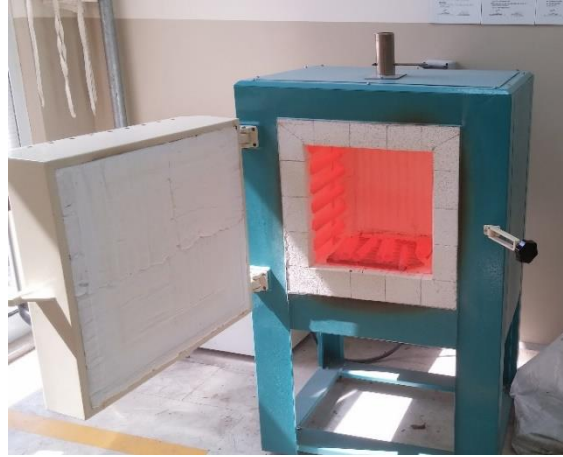
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Ferritik+Perlitik	3.72	2.366	0.264	0.0316	0.013	0.0276	0.0166	0.0026

Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde ortalama %3.70 Karbon, %2 Kükürt içermektedir. Metal ergitme işleminden sonra başka bir işleme tabii tutularak %6 Mg içeren FeSiMg işlemleri uygulanır. Bu işlem esnasında kullanılan FeSiMg, küresel grafitli dökme demir üretiminde kullanılan miktarının %33'ü veya %25 arasında olmalıdır. İşlem bitiminden sonra akışkan haldeki metalden numune alınmış spektral analiz incelenmesi ile deney numunelerinin kimyasal içeriği analiz edilir. Tespit edilen sonuçlar ile Vermiküler grafitli dökme demir standartları karşılaştırılır. Yapılan bu mukayese sonucunda eksik olduğu tespit edilen alaşım elementleri ilave edilir. Eksikliği tespit edilen elementler birden fazla olabilir. Bu tamamlama işleminden sonra pota üzerinde biriken cüruf temizlendikten sonra döküm proses hattına gönderilmiştir.

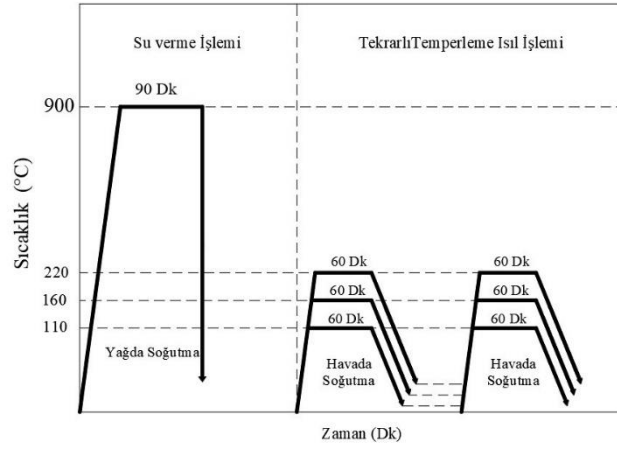
6.2 Isıl işlem

Hazırlanan deney numuneleri, Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği ısıtma laboratuvarında bulunan maksimum sıcaklığı 1200 °C'ye çıkabilen, Kanthal A-1 rezistansına sahip, PID kontrollü, Dual Display özelliğe sahip Protherm marka PLF 120/7 model ısıtma fırınında yapılmıştır. Fırınla ilgili gerekli bilgiler Ek B'de

gösterilmiştir. Şekil 6.1’de gösterilen ısıtım işlem deney fırınında deneyde kullanılan malzemeler 900 ° C’de 90 dakika östenitleme yapılmıştır. Süre sonunda numuneler hemen yağda soğutularak oda sıcaklığına kadar düşürülmüştür. Bu işlemin ardından hazır hale gelen altı adet deney numunelerinden ikisi, önceden 220 ° C’ye hazırlanmış ısıtım işlem fırınına verilmiş ve 60 dakika boyunca ısıtım işleme tabii tutulmuştur. İşlem sonunda numuneler fırından çıkartılarak hava ortamında soğutulmuş, oda sıcaklığına düşürülmüştür. Ardından bu malzemelerden biri tekrar fırına verilerek 220 ° C’de 60 dakika bekletilmiştir. Böylece tekrarlı temperleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı işlem basamağı, diğer dört numunelere de 160 ° C ve 110 ° C uygulanarak deney numuneleri işlemlere hazır hale getirilmiştir. Farklı sıcaklık ve farklı sayıda temperleme işlemi yapılmış bu numunelerin karşılaştırılması için bir adet deney parçası ısıtım işleme tabii tutulmadan, kaba veya ham döküm olarak ayrılmıştır. Şekil 6.2’de yapılan bu çalışmanın ısıtım işlem deney planı gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Protherm PLF 120/27 Isıtım işlem fırını



Şekil 6.2: Isıl işlem deney planı

6.3 Metalografik inceleme

Deney numunelerinin metalografik incelemesi Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Metalografi Laboratuvarında devri ayarlanabilen, disk çapı 250 mm'ye kadar dairesel zımparaya uyumlu, dokunmatik kontrole sahip, su musluğuna sahip, "MECAPOL" marka "P230" model zımpara parlatma makinesi ve polisaj cihazı kullanılmıştır. Ek C'de teknik özellikleri belirtilen cihazda öncelikle Boyutları 30mm çapında ve 300 mm uzunluğundaki numunelerden kesilen 15mm et kalınlığına sahip numuneler sırası ile 320, 800 ve 1200 numaralı zımpara kâğıdı ile sulu zımparalama işlemi uygulanmıştır. Numune yüzeyleri hava ortamında kuruduktan sonra önce Dia Doublo Poly 6 µm marka solüsyon ile 6µ ve sonra da Dia Doublo Poly 3 µm ile 3µ elmas parlatıcı ile parlatma işlemi uygulanmıştır. Numunelerin yüzeyleri kuruduktan sonra %2 Nital (%2 HNO₃ + %98 CH₃OH) ile dağlama yapılmıştır. Bu işlem sonrasında Pamukkale Üniversitesi Makine ve İmalat Mühendisliği Malzeme Analiz Laboratuvarında bulunan teknik özellikleri Ek D'de belirtilen NIKON Eclipse LV150 model (Clemex Vision Lite Görüntü Analiz Sistemi) metal mikroskop ile 10x, 20x ve 100x mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Leica Q550 MW analiz programı ile yapılan ölçümler sonucunda deneylerde kullanılan Vermiküler grafitli dökme demirlerin mikro ferrit+perlitik oranları Tablo 6.2'de gösterilmiştir. Şekil 6.3.a'da numunelerin zımparalama parlatma işlemi ve 6.3.b'de mikro yapı analizi gösterilmiştir.



Şekil 6.3:a Deneysel Num. Hazırlanması



b. Numunelerin metalografik incelenmesi

Tablo 6.2 Farklı mikro yapıdaki Vermiküler grafitli dökme demirlere ait yüzde Perlit, ferrit ve grafit miktarları

Mikro yapı	% Perlit	% Ferrit	% Grafit
Ferritik+ Perlitik	52.3	32.2	15.5

6.4 Malzemenin sertlik ölçümü

İş parçasının mekanik özellikleri belirlemek amacı ile yapılan sertlik ölçümü Pamukkale Üniversitesi makine mühendisliği fakültesinde malzeme laboratuvarında “MEBA” marka cihaz, “MHT-150” model sertlik ölçme cihazı kullanılarak 150 kg yük altında yapılmıştır. İlgili cihazın teknik Özellikleri Ek E’de gösterilmiştir. Ayrıca Sertleştirilmiş çelikler, dökme demir grubu ve perlitik dövme demir grubunda kullanılan Rockwell skala yükleri ve uygulama alanları parametrelerine uygun biçimde deney numunelerinin her biri Şekil 6.4’te gösterilen Rockwell-Brinell sertlik ölçme cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz üzerindeki dijital panel kullanılarak 120° açılı elmas uçlu konik uçun deney numunesi ile teması sağlamak için 10 kg ön yükleme yapılmıştır. Ardından cihazın kontrol paneli kullanılarak, 150 kg yük uygulanmıştır. Her bir numune üzerinde yaklaşık 120° açı ile üç farklı noktadan ölçüm alınarak numunenin ortalama sertlik değeri alınmıştır.



Şekil 6.4: Meba MHT-150 sertlik ölçme cihazı

6.5 Deney numunelerinin hazırlanması

Döküm firmasından ham halde alınan deney numuneleri Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine ve İmalat Mühendisliği laboratuvarında bulunan universal torna tezgahında 300 mm uzunluk ve 30 mm çap boyutlarındaki deney numunelerinin bir ucuna punta deliği açılmıştır. Döküm esnasında oluşabilecek hatalardan dolayı numunelerin dış yüzeylerinde tespit edilen olumsuzluklar ve yüzey tabakasının sertleşmesindeki muhtemel sorunları bertaraf etmek için numune yüzeyinden 2 mm talaş alınarak çap düşürülmüştür. Böylece parçalar, işlenebilirlik deneylerine hazır hale getirilmiştir.

6.6 İşlenebilirlik deneyleri

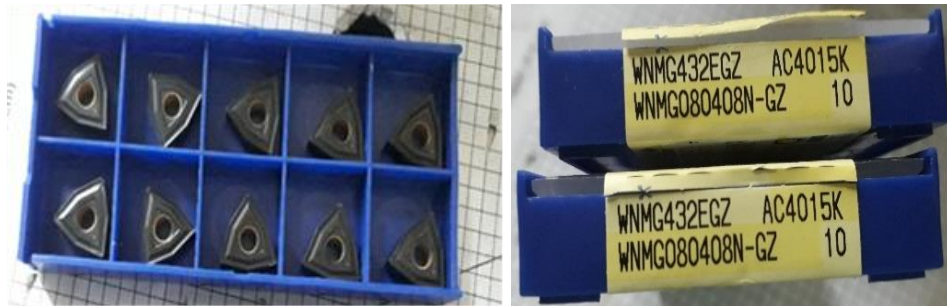
Torna kalemleri ve ömürlerinin belirtildiği ISO 3685 deney standartları temel alınarak yapılan işlenebilirlik deneyleri Bilgisayarlı Sayısal Denetimli torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde toplam 84 adet deney yapılmıştır. Her bir deneyde farklı bir kesici uç kullanılarak, kesici takımdan kaynaklanabilecek sorunlar önceden engellenmiştir.

6.7 Kesici Takım

Deney numunelerinin işlenebilirlik ölçümlerinde, ISO 3685 standartlarında üretilmiş Vermiküler grafitli dökme demirler için tavsiye edilen kimyasal buhar çökülme metodu ile üretilmiş TiCN-Al₂O₃ katmanlarıyla katlı şekilde kaplanmış, 0,15µm-0,07µm'luk karbür kesici uçlar kullanılmıştır [67]. Sumitomo electric inspected firması tarafından üretilen WNMG080408N-GZ AC4015 K katalog numaralı orta ve hassas kaba talaş işlemlerinde kullanıma uygundur. Deneylerde kullanılan kesici takım ve takım seri kodu Şekil 6.5'de, kullanılan kesici takımın teknik özellikleri Tablo 6.3'de gösterilmiştir.

Tablo 6.3: Kesici uç teknik özellikleri

Kesici uç	WNMG080408N-GZ AC4015K
İç teğet çember değeri (mm)	12.7
Kalınlık (mm)	4.76
İç delik çapı (mm)	5.16
Köşe radyüs açısı	0.8 °

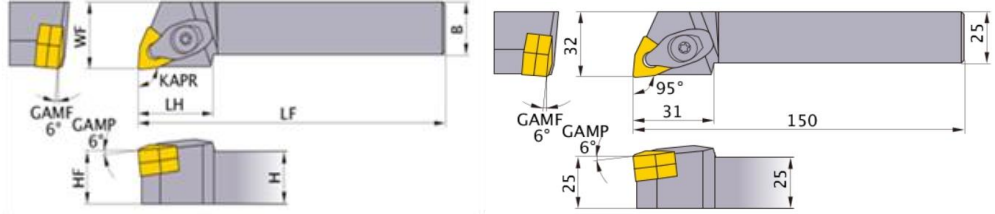


Şekil 6.5: Deneylerde kullanılan kesici takım ve seri numarası.

6.8 Takım tutucular

Deney esnasında kullanılan kesici ucu rijit bir şekilde bağlamak için ISO 3685 standartlarına göre, ürün kodu DWLNR2525M08 olan Mitsubishi materials

tarafından üretilmiş takım tutucusu kullanılmıştır [68]. Şekil 6.6'da kesici takım tutucusunun geometrik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.6: Takım tutucu geometrik ölçüleri [68]

6.9 Tezgah

Deney numunelerinin işlenebilirlik testi için hazırlanmasında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği A.B.D Sanayi tipi CNC uygulama laboratuvarındaki 14.9 kW tezgâh gücünde, kademesiz hızlanmaya sahip dakikada yaklaşık 3500 devir yapabilen, İşleme uzunluğu 650.2 mm, tornalama çapı 320mm olan yaklaşık 6.48 ton ağırlığındaki “Johnford TC-35” sanayi tipli, CNC Fanuc 18M yazılım kontrol ünitesine ait CNC torna tezgâhı ile yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı Johnford TC-35 torna tezgâhı Şekil 6.7’de gösterilmektedir.

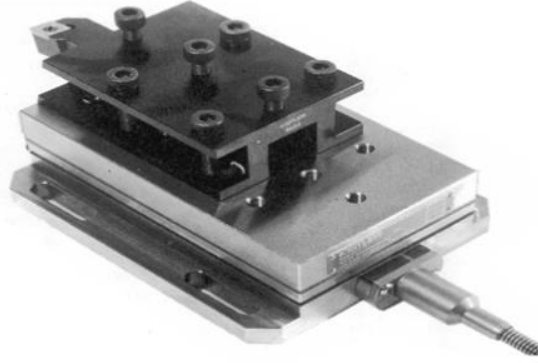


Şekil 6.7: Johnford TC-35 torna tezgâhı

6.10 Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Çap değeri 28mm ve uzunluğu 300mm olan numune parçaların işlenmesi esnasında kuvvet ölçümleri gerçekleşmiştir. Bir numunede birden fazla ölçüm

yapılmıştır. Talaş kaldırma esnasında, esas kesme kuvvet F_z , ilerleme kuvvet F_x , Radyal kuvvet F_y 'ler meydana gelmektedir. Bu kuvvetlerin ölçülmesinde “KISTLER 9257B tipi piezo elektrik dinamometresi kullanılmıştır. Şekil 6.8’de gösterilen KISTLER 9257B tipi piezo elektrik dinamometre özellikleri Tablo 6.4’de verilmiştir.



Şekil 6.8: KISTLER 9257B tipi piezo elektrik dinamometre [69]

Bu dinamometreden gelen piezo sinyali “KISTLER type 5019” isimli sinyal yükselticiye bağlanmıştır. Kesme kuvvetleri RS-232C ara kablo ile bilgisayara entegre edilerek “Dyno Ware Type 2825A1-2” programı ile grafikler elde edilmiştir. Bu program ile deneyde elde edilen her bir sayısal değer, Dyno Ware programı tarafından Newton ölçme birimi cinsinden hesaplanıp ortalaması alınmaktadır. Şekil 6.9’da CNC tezgahına entegreleri yapılmış “KISTLER Type 5019” sinyal yükselticisi ve bilgisayar donanımı gösterilmiştir.

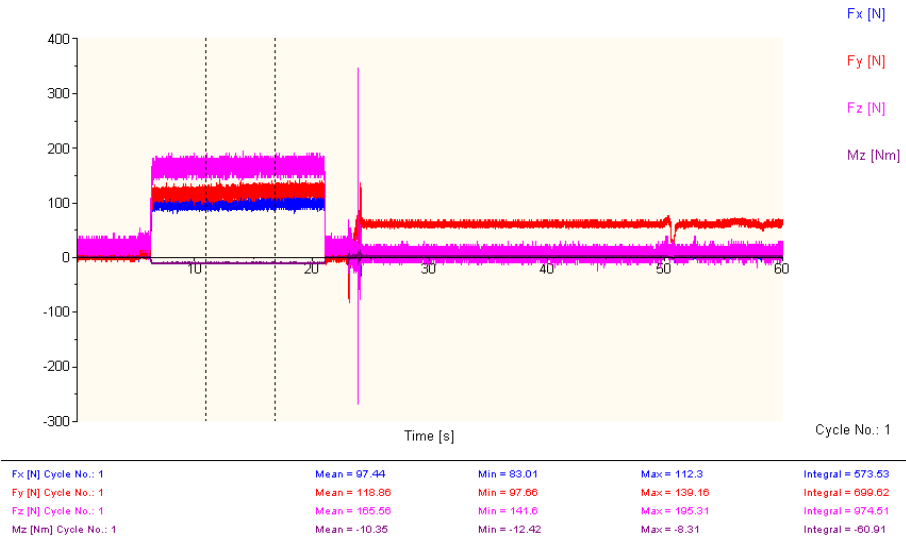
Tablo 6.4: KISTLER 9257B tipi dinamometre’nin teknik özellikleri [69]

Kuvvet aralığı (kN) (F_x, F_y, F_z)	-5-10
Tepki verme (N)	<0.01
Hassasiyet (pC/N) F_x, F_y	-7.5
F_z	-3.5
Doğrusallık	%1 FSO
Histerezis	%0.5 FSO
Doğal Frekans $F_0(x,y,z)$ (kHz)	3.5
Çalışma sıcaklığı	0-70
Kapasitans (pF)	220
20° C’deki yalıtım direnci (Ω)	>1013
Topraklama yalıtımı (Ω)	>108
Koruma Sınıfı	IP 67
Ağırlık (kg)	7.3

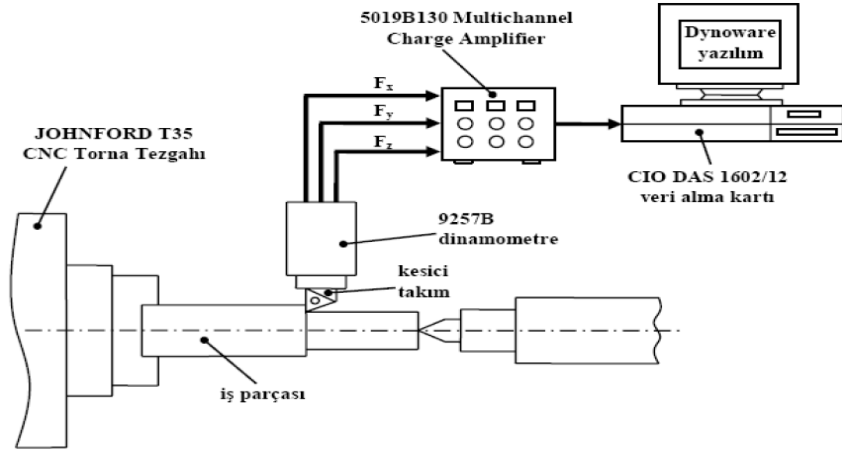


Şekil 6.9. “KISTLER Type 5019” sinyal yükselticisi ve bilgisayar donanımı

Vermiküler grafitli dökme demir malzemesi'nin TiCN- Al₂O₃ katmanları ile kaplı kesici takım ile 40, 50, 60 ve 70 mm/min farklı kesme hızı ile 0.05 mm ilerleme ile numunenin işlenmesi esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin bilgisayar sonuçlarından biri Şekil 6.10'da ve bu düzeneğin şematik biçimi Şekil 6.11'de gösterilmektedir.



Şekil 6.10: Zamana bağlı kesme kuvvetleri diyagramı



Şekil 6.11: Kesme Kuvvetleri için hazırlanan düzeneğin şematik gösterimi[1]

Kesme esnasında meydana gelen dalgalanmaların sebebi CNC torna tezgahındaki titreşimlerdir. Bu titreşimin ölçüm değerlerinde manipülasyona sebep vermemek için gerekli tedbirler alınmalıdır. Makine ayaklarının yere tam oturması, makine oturduğu zeminin düz ve eğimsiz olması veya yakın çevrede bulunan başka iş makinalarının yarattığı sarsıntı bu ölçüm değerlerinde düzensizliğe neden olabilir. Bir başka titreşim sebebi de numune parçasının ince ve uzun olması vibrasyona neden olacaktır. Uzun ve ince olan parçalar salımlı dönmeye neden olacak ve ölçümde ciddi hatalara yol açacaktır. Talaş kaldırma esnasında kesici takımın uç yarıçapının değeri de önemlidir. Kesici takım ucunun uç yarıçapı büyüdükçe kesme kuvvetleri de artacağından titreşime neden olacaktır. Bunu engellemek için uç yarıçapı küçük olan kesici kalemler seçilmelidir. Fakat buna karşılık kesici uç yarıçapı küçüldükçe yüzey kalitesinin de azalacağı ihmal edilmemelidir. Ayrıca bir diğer unsur işlem yapılan malzemenin heterojen bir yapıya sahip olması titreşime de yol açan bir başka unsurdur. İşlem yapılacak malzemeden kaynaklanan titreşimi tespit edip engellemek oldukça zordur. Buna karşılık kesme şartlarının tam olarak yerine getirilmesi sonrasında bu durum kolaylıkla tespit edilebilir. Kısacası; işlem esnasında meydana gelebilecek vibrasyonu asgari düzeye indirmek için uygun kesme koşulları ve uygun kesme şartlarına riayet edilmelidir.

6.11 Yüzey pürüzlülüğünün ve silindirikliğinin ölçülmesi

İşlenmiş numune yüzeylerinin pürüzlülüğünü ölçmek için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği A.B.D, CMM-Yüzey Pürüzlülüğü ve 3D

printer Laboratuvarında bulunan “MİTUTOYO SJ-410” model masa üstü pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm aralığı yaklaşık 5mm seçilmiş olup, yapılan ölçümler iş parçası eksenine aynı olacak şekilde ve her ölçüm sonrası kendi çevresinde döndürülerek üç farklı yüzey ölçümleri alınmıştır. Ölçümler sonrasında elde edilen değerlerin matematiksel ortalaması yüzey pürüzlülük (R_a) değeri belirlenir. Şekil 6.12’de deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülük ölçme cihazı gösterilmiştir.



Şekil 6.12: MİTUTOYO SJ-410 model yüzey pürüzlülük cihazı

Deney numunesinin dairesellik değerlerindeki sapmaları belirlemek için HEXAGON Global Classic model bir koordinat ölçme cihazı (CMM) kullanılmıştır. Şekil 6.13’te gösterilen bu cihaz x,y,z boyutunda $1.9+L/300 \mu\text{m}$ hassasiyete sahiptir. Silindiriklik ölçümünde probun delik yüzeyi üst yüzeyden 3mm aşağıya baz alarak tarama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.13 HEXAGON Global Classic silindiriklik ölçüm cihazı

6.12 Taramalı Elektron Mikroskop Analizinin Yapılması

Yedi adet deney numunesinin elementel düzeyde yüzey topografisini belirlemek için, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) Mikro yapı Analizi laboratuvarında LEO 1430 VP model taramalı elektron mikroskop kullanılmıştır. Şekil 6.14’te gösterilen cihazda, malzeme yüzeyine yollanan elektron demetinin malzeme yüzeyi ile etkileşiminden ortaya çıkan ışımaya ve geri yansıyan elektronların sayıları tespit edilerek görüntü belirlenir.

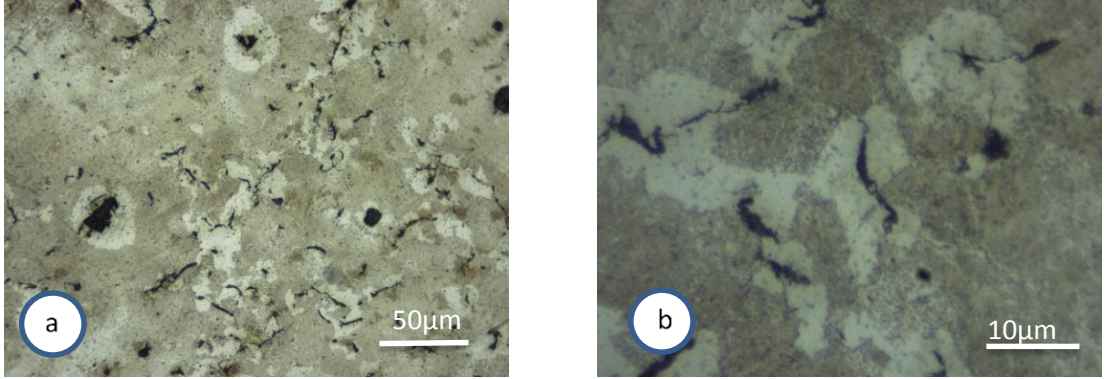


Şekil 6.14 LEO 1430 VP model SEM cihazı

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1 Tekrarlı temperleme ısıl işleminin Vermiküler Dökme Demirin mikro yapısı üzerindeki etkisi.

Tekrarlı temperleme ısıl işleminin mikro yapı üzerindeki etkisini belirlemek ve işlem görmemiş yapıyı karşılaştırmak amacıyla dökülmüş haldeki numunenin de mikro yapısı incelenmiştir. Şekil 7.1’de iki farklı büyütme görüntüsü alınmış malzemenin dökülmüş haldeki mikro yapısı görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere kullanılan Vermiküler dökme demir ferritik+perlitik yapıdan oluşmaktadır. Beyaz renkli bölgeler ferrit, siyah lamelli bölgeler ise perlitik yapıyı ifade etmektedir. Şekil 7.1.b’de perlitik yapının daha belirgin olduğu görülmektedir.



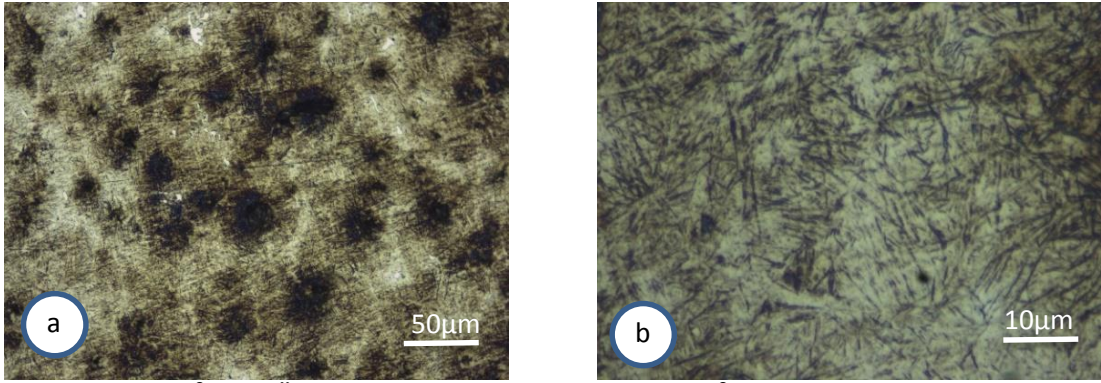
Şekil 7.1: Dökülmüş haldeki malzemenin mikro yapısı a)200x b)1000x

Tekrarlı temperleme ısıl işleminin mikro yapı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla mikro yapı karakterizasyonu yapılmıştır. Şekil 7.2’den, Şekil 7.7’ye kadar açıkça görülmektedir ki tekrarlı temperleme ısıl işlemi mikro yapıyı önemli derecede etkilemiştir. Özellikle temperleme sıcaklık ve sayısı kadar oluşan karbür morfolojisini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Ayrıca temperlenmiş mikro yapılar martenzit+karbür ve grafit yapısından oluşmaktadır. Bu sonuç literatürle paralellik göstermektedir.

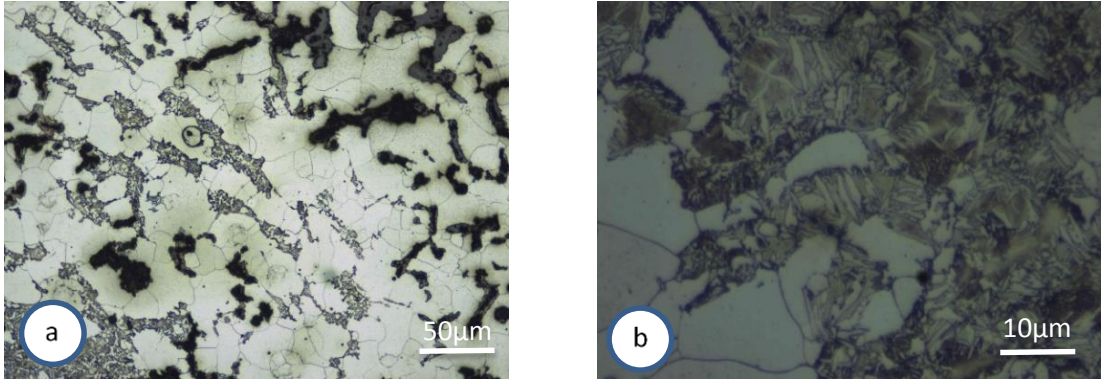
Şekil 7.2 ve Şekil 7.3 karşılaştırıldığında temperleme sıcaklığının artmasıyla martenzit yapının çita tipinden plaka türüne dönüşmeye başladığı görülmüştür.

Martenzit yapı morfolojisinin değişmesi mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir.

Özellikle temperleme sıcaklığının Şekil 7.2'deki gibi 110°C 'den, Şekil 7.6'daki 220°C 'ye çıkartılması mikro yapıyı önemli derecede etkilediği görölmektedir. Özellikle, oluşan karbürlerin daha kaba bir morfolojide olduğu görölmektedir. Şekil 7.7'de, su verme ve temperleme işlemleri grafit morfolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı açıkça görölmektedir.

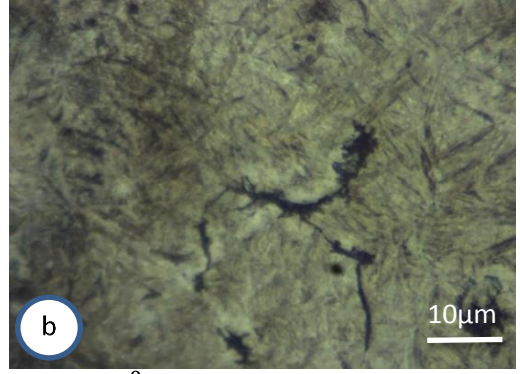
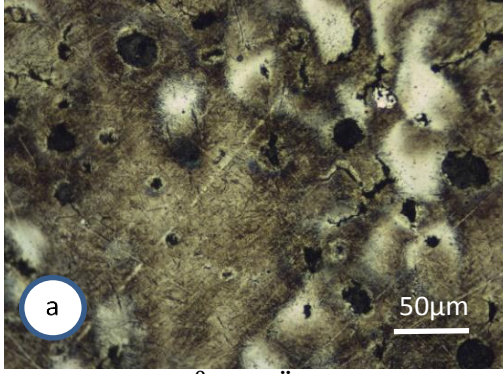


Şekil 7.2: 900°C 'de Östenitlenmiş- su verilmiş ve 110°C 'de tek temperlenmiş 110-1 numunesinin mikro yapısı a)200x b)1000x

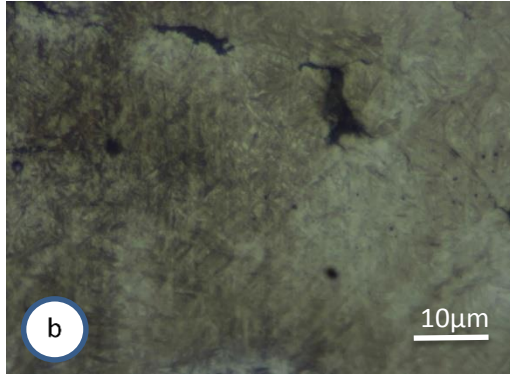
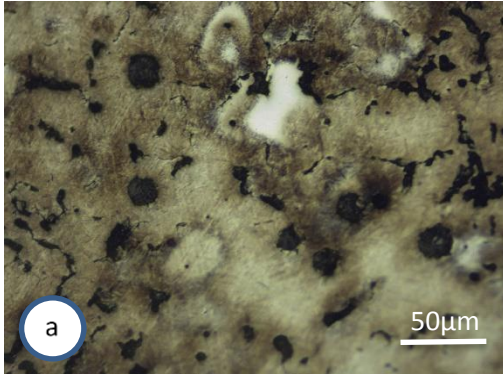


Şekil 7.3: 900°C 'de Östenitlenmiş- su verilmiş ve 110°C 'de çift temperlenmiş 110-2 numunesinin mikro yapısı a)200x b)1000x

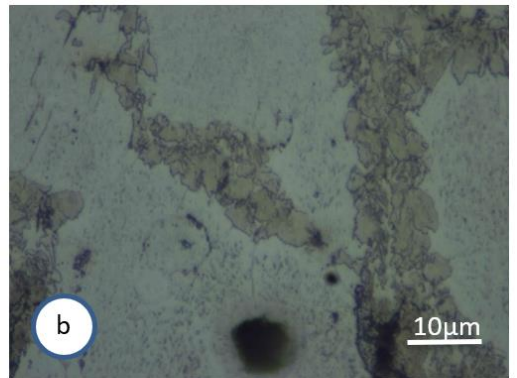
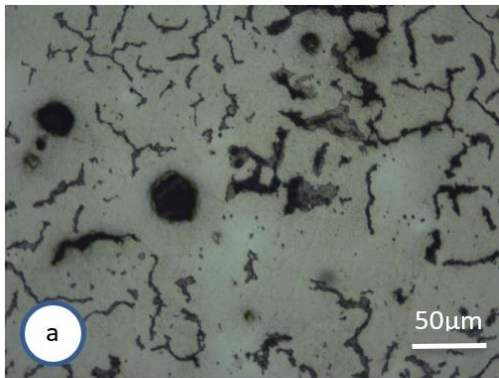
Temperleme sıcaklık ve sayısının martenzit yapı üzerinde önemli bir etkiye sahip olması temperleme koşullarının martenzit yapı çekirdeklenmesini önemli derecede etkilenmesine yorumlanmaktadır.



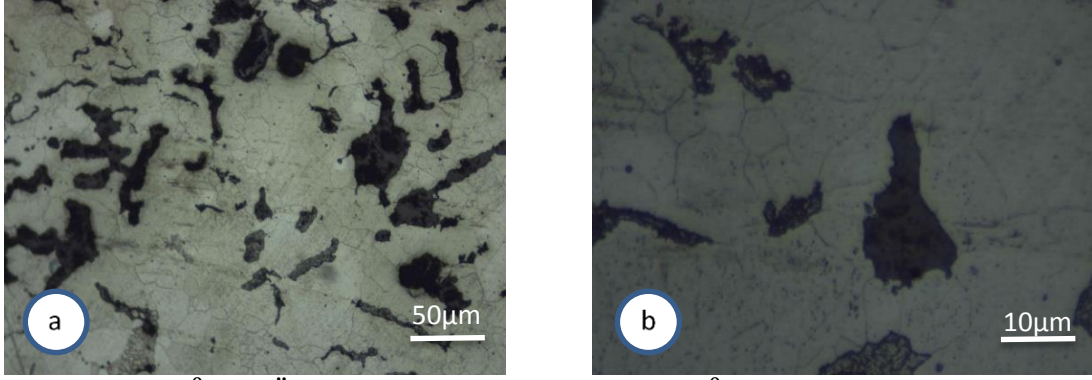
Şekil 7.4: 900 °C’de Östenitlenmiş- su verilmiş ve 160 °C’de tek temperlenmiş 160-1 numunesinin mikro yapısı a)200x b)1000x



Şekil 7.5: 900 °C’de Östenitlenmiş- su verilmiş ve 160 °C’de çift temperlenmiş 160-2 numunesinin mikro yapısı a)200x b)1000x



Şekil 7.6 900 °C’de Östenitlenmiş- su verilmiş ve 220 °C’de tek temperlenmiş 220-1 numunesinin mikro yapısı a)200x b)1000x



Şekil 7.7: 900 °C’de Östenitlenmiş- su verilmiş ve 220 °C’de çift temperlenmiş 220-2 numunesinin mikro yapısı a)200x b)1000x

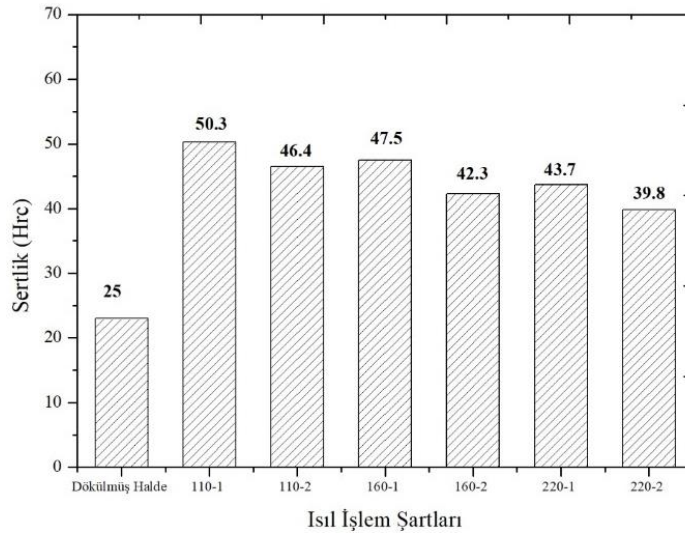
7.2 Tekrarlı Temperleme ısıl işleminin Sertlik üzerine etkisi

İşlenebilirlik özelliklerinin karakterizasyonunda en önemli parametrelerden bir tanesi de sertliktir. Benzer olarak uygulanan ısıl işlemlerin mikro yapı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla sertlik karakterizasyonu büyük önem taşımaktadır. Şekil 7.8’de tekrarlı temperleme ısıl işleminin sertlik üzerindeki etkisi görülmektedir. Karşılaştırma yapılması amacıyla dökülmüş haldeki numunelerin sertlikleri de değerlendirilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış döküm haldeki deney numunesinin sertlik değeri ile farklı östemperleme sıcaklık ve farklı sayıdaki temperleme işlemi yapılmış numuneler arasında yaklaşık olarak 1.59-2.01 kat artış görülmektedir. Karaman’ın yapmış olduğu çalışmada deney numunelerini 315 ve 375 ° C sıcaklıklarda, 60, 120, ve 180 dakika östemperleme işlemi uygulamıştır. 315 ° C de yapılan östemperleme numunesinde östemperleme süresindeki artışa bağlı olarak sertlik değerinde azalma olduğunu belirtmiştir. Bu azalmanın 375 ° C’de, 60 dakika östemperleme sonrasında yüksek miktardaki kaba ösferrit yapısı ile ilişkilendirmiştir. Aynı sıcaklık derecesinde 120 dakika boyunca ikinci ısıl işlem uygulanması sonrasında dönüşmemiş alanların ösferrite dönüştüğünü ve bunun da sertliği arttırdığını belirtmiştir. Devam eden sonraki sürede 180 dakika boyunca ısıl işlem uygulanmış ve bu safhada sertliğin bir miktar düştüğünü belirtmiştir. Bu sertlik azalmasını ösferrit yapısının daha kararlı olması ile açıklamıştır [54].

Şekil 7.8’de görüldüğü gibi temperleme sertlikleri, sertlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tablo 7.1 incelendiğinde 110 ° C’de tek temper yapılmış parçanın en yüksek sertlik değerine sahip olduğu (50.3 HRC), diğer taraftan 220 ° C sıcaklıkta çift

temper uygulanmış deney numunesinin sertlik değerinin en düşük (39.8 HRC) olduğu görülmektedir. Bu durum temperleme sıcaklığının artması ile sertliğin azalması arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Sertlikteki bu düşüş karbür tür ve morfolojisinin değişimine atfedilmektedir.

Diğer taraftan en düşük sertliğin ısı işlem görmemiş numunelerde elde edildiği görülmüştür. Sertlikteki bu düşüş ferrit+perlit yapıya atfedilebilir. Temperleme sayısının tüm numunelerde sertlikte belirli bir azalmaya sebep olduğu görülmektedir.



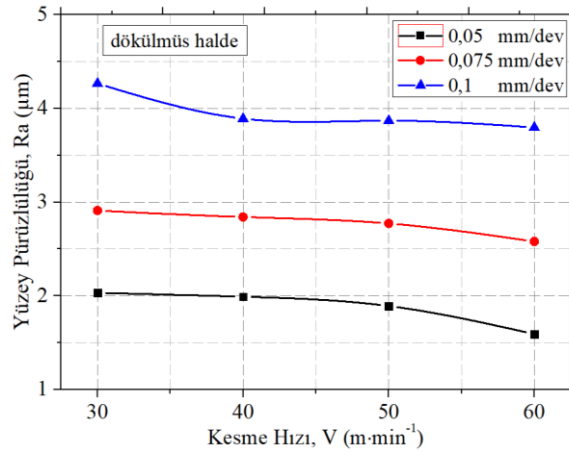
Şekil 7.8 Tekrarlı temperleme ısı işlem şartlarının sertlik üzerindeki etkisi.

Tablo 7.1 Deneylerde kullanılan Vermiküler grafitli dökme demire ait sertlikler

Parça no	Östemperleme sıcaklığı (° C)	Temper sayısı	Östemperleme süresi (dakika)	Ölçülen Rockwell değeri (HRC)
1	Numune Döküm halde			25
2	110	1	60	50.3
3	110	2		46.4
4	160	1		47.5
5	160	2		42.3
6	220	1		43.7
7	220	2		39.8

7.3 Tekrarlı Temperleme Isıl İşleminin Yüzey Pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

İşlenebilirlik karakterizasyonunda önemli bir diğer parametre yüzey pürüzlülüğüdür. Dökülmüş haldeki östemperleme ısıl işlemi uygulanmış olan deney numunelerinin işlenebilirlik deneyleri sırasında kesme hızı ve ilerleme miktarı göz önüne alınıp, tekrarlı temperleme ısıl işleminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla tüm numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değeri (R_a) alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde her bir kesme işleminde kesici kalem yenisiyle değiştirilmiş olup, işlem sonrasında işlenmiş yüzey üzerinde aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük değeri tespit edilmiştir. Ayrıca numuneleri birbiri ile karşılaştırma yapmak amacıyla işlem görmemiş, dökülmüş haldeki numunenin de yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. İşlenebilirlik karakterizasyonunun daha kapsamlı karakterize edebilmek için farklı kesme hızı ve ilerleme değerleri kullanılmıştır. Şekil 7.9’de görüldüğü üzere temperleme koşullarının kontrolü ile yüzey pürüzlülük değerleri optimize edilebilir.



Şekil 7.9: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin dökülmüş haldeki numunenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

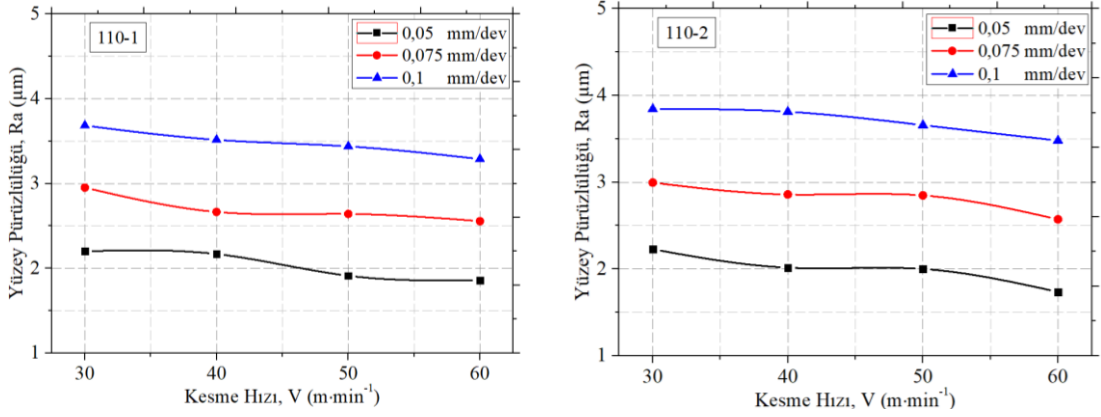
Şekil 7.9 incelendiğinde dökülmüş haldeki deney numunesinin yüzey pürüzlülük değeri, östemperleme işlemi yapılmış diğer numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine göre yüksektir. Bunun sebebi, herhangi bir işlem görmemiş deney numunesinin işlenmesi esnasında standart talaş yapısının haricinde toz talaş'ın

da meydana gelmesi ile açıklanabilir. Herhangi bir ısıtma işlemi görmemiş döküm haldeki deney numunesinin morfolojik yapısı, malzemeyi işleme esnasında talaş kaldırmak için yeterli kırılabilir yapıda olmamasından dolayıdır. Aynı zamanda bu durum toz talaş yapısının oluşumunu engellemekte zorluk yaratmaktadır [11]. Şekil 7.9’ da döküm halindeki numunenin yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü 30 m/min⁻¹ kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. En az yüzey pürüzlülüğü ise 60 m/min⁻¹ kesme hızı ve 0.05 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir.

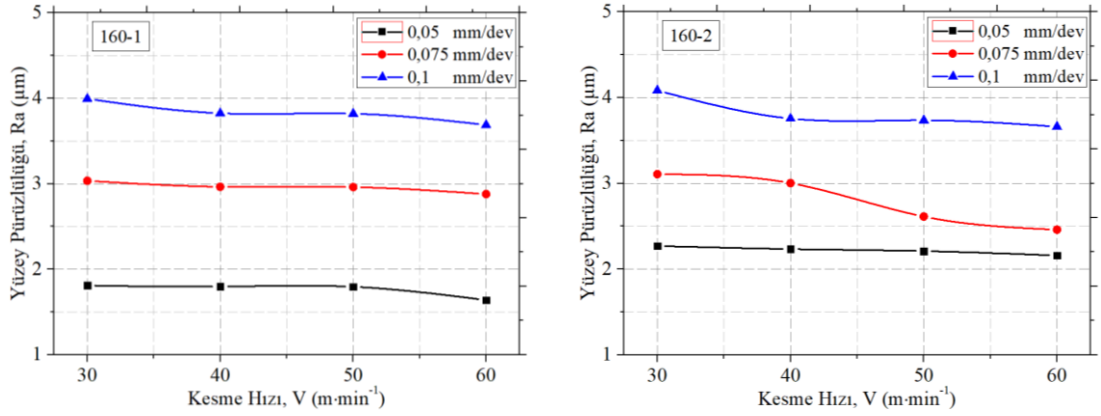
Şekil 7.10’den Şekil 7.12’ye kadar incelendiğinde tüm numunelerde kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü iyileşmektedir. Yapılan deneylerde yine de birkaç sonuçta farklılık görülmüştür. Oluşan bu farklılık genel olarak numune yapısında bulunan kusurlar sebebi ile meydana geldiği düşünülebilir. Benzer olarak ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünün önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar literatür çalışmaları ile paralellik göstermektedir.

Şekil 7.10 ile Şekil 7.12 karşılaştırıldığında temperleme sıcaklığının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Benzer olarak temperleme sıcaklığının artması ile yüzey pürüzlülüğünü artmıştır. Örnek olarak Şekil 7.10’da görüldüğü gibi tek temperleme yapılan deney numunesinde 0.1mm/dev ilerleme hızında 30 m/min⁻¹ olan kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değeri ile yine aynı malzemede çift temperleme yapılan ve aynı kesme hızında ve ilerleme miktarında işlem gören malzemenin yüzey pürüzlülük değeri artmıştır. Ayrıca Şekil 7.10 ile Şekil 7.12’de tek temperleme yapılmış numunenin yine aynı kesme ve ilerleme hızı değerleri içerisinde yapılan karşılaştırma sonucunda yüzey pürüzlülük değeri arttığı görülmektedir. Aynı deney numunesinin tekrarlı temperleme sıcaklığından sonra da yüzey pürüzlülüğünde artış olduğu açıktır. Yüzey pürüzlülüğündeki bu artış temperleme şartları ile azalan sertliğe atfedilmektedir. Sonuç olarak yapılan deneylerden elde edilen bulgularda düşük sıcaklıkta yapılan östemperleme ısıtma işlemi uygulanmış numunelerde en iyi yüzey pürüzlülük değeri tespit edilmiştir. Bu östemperleme ile kazanılan sertlik ve kesici takım ile numune arasında meydana gelen plastik deformasyonun az olması ile ilişkilendirilebilir. Talaşın malzeme yüzeyinden kolay akması ve buna bağlı olarak düzgün bir yüzey yapısı elde edilmesi ile açıklanabilir [54]. Tüm yüzey pürüzlülük

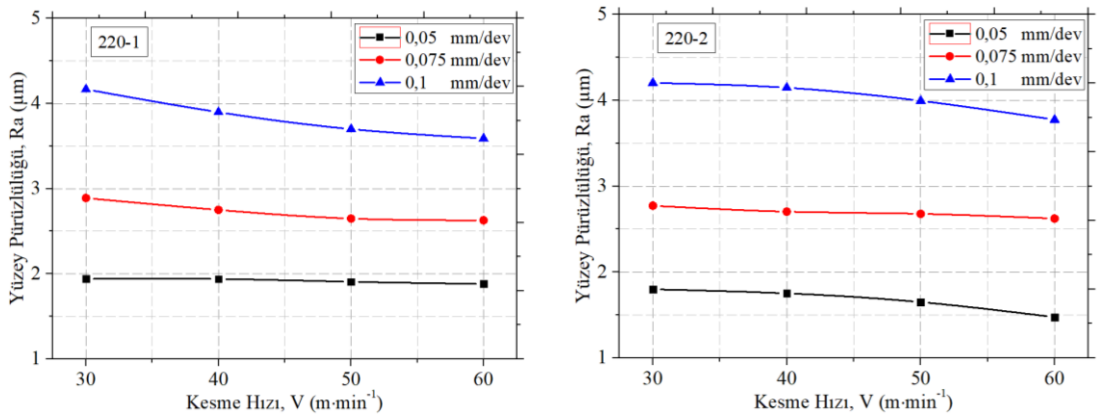
grafikleri incelendiğinde tekrarlı temperleme ısıl işlemi ile yüzey pürüzlülüğün optimize edilebileceği belirlenmiştir.



Şekil 7.10: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.



Şekil 7.11: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

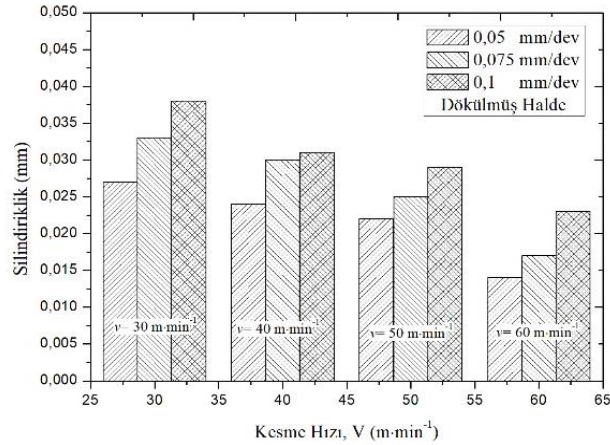


Şekil 7.12: Temperleme koşulları ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

7.4 Tekrarlı Temperleme Isıl İşleminin Silindiriklik Üzerindeki Etkisi

İşlenebilirlik karakterizasyonunda kullanılan bir diğer kriter silindiriklik ve daireseliktir. Tekrarlı temperleme ısıl işleminin ve işleme koşullarının yüzey form özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla tüm ısıl işlem uygulanmış numunelerin silindiriklik ölçümleri yapılmıştır. Karşılaştırma yapılması amacıyla dökülmüş haldeki numunelerde de silindiriklik ölçümleri yapılmıştır. Şekil 7.13 ile Şekil 7.16 arasındaki grafikler incelendiğinde ilerleme, kesme hızı, temperleme sıcaklığı ve sayısının silindiriklik üzerindeki etkisi verilmiştir. Aynı zamanda bu grafikler incelendiğinde mikro yapıda çeşitli optimizasyonlar yapılmasına rağmen silindiriklik değerlerinde büyük farklılıklara sebep olmamıştır. Şekil 7.13’de gösterilen dökülmüş haldeki deney numunesinin en yüksek kesme hızı olan 60 m min’de 0.05 mm/dev ilerleme hızında en az silindiriklik değerine sahip olduğu görülmektedir. Aynı şekil üzerinde 30 m.min⁻¹ kesme hızı ile 0.05 mm/dev ilerleme hızında silindiriklik değerinin yaklaşık %57’lik bir değerle arttığı görülmektedir.

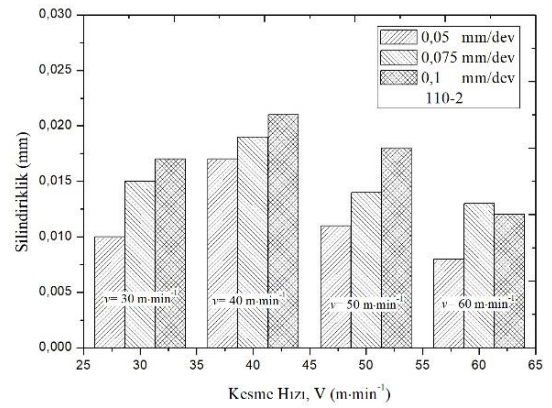
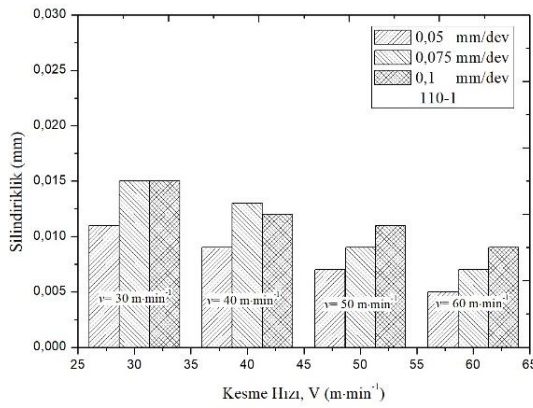
Kesme hızının artması ile silindiriklik azalırken, ilerlemenin artması ile silindiriklik değeri artmıştır. Bu sonuç literatür ile paralellik sağlamaktadır [70].



Şekil 7.13: Temperleme koşulları işleme parametrelerinin dökülmüş haldeki numunenin silindiriklik üzerine etkisi.

Tüm numunelerin silindiriklik değerlerinde benzer bir eğilim görülmektedir. Şekil 7.13’ten Şekil 7.16’e kadar incelendiğinde işleme parametrelerinin kontrolü ile silindiriklik değerleri optimize edilebilir.

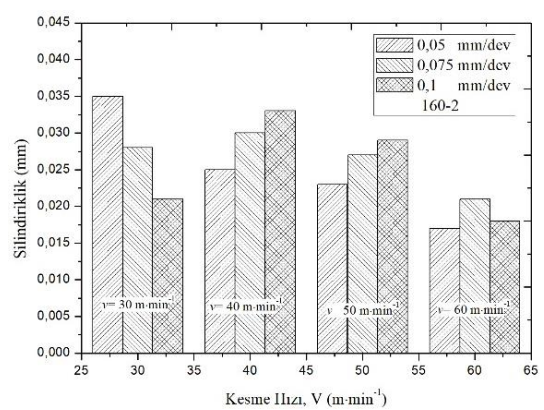
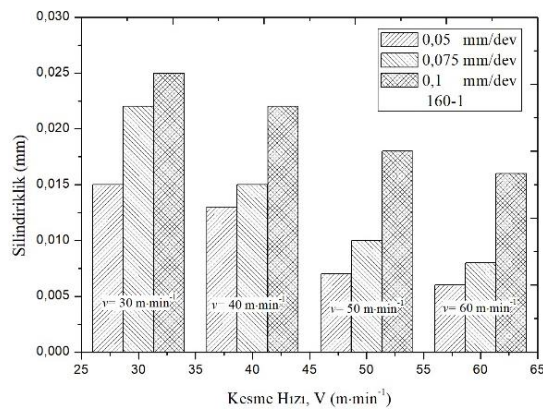
Temperleme sıcaklığının artması ile silindiriklik değerlerinin olumsuz etkilenecek arttığı görülmüştür. Benzer şekilde temperleme sayısı çok belirgin olmasa da silindiriklik değerini belirli oranda arttırmıştır. Bu durum Şekil 7.14'ten Şekil 7.16'ye kadar olan grafiklerde görülmektedir. Bu sonuçlar temperleme sıcaklığı ve sayısının sertlik üzerinde oluşturduğu etki ile açıklanabilir. Şekil 7.14'de tek temperleme yapılmış deney numunesinin silindiriklik değeri ele alınırsa, 40 m-min⁻¹ kesme hızında 0.1 mm/dev ilerleme değeri ile Şekil 7.15'de gösterilen aynı kesme hızı ve ilerleme değerinde yaklaşık %54 oranında silindiriklik değeri artmıştır. Şekil 7.16'da gösterilen 50 m-min⁻¹ kesme hızı, 0.075 mm/dev ilerleme hızı ile işlenip tekrarlı temperleme yapılmış deney numunesi, aynı kesme hızı ve ilerleme devrinde yapılmış temperli deney numunesine göre silindiriklik değeri yaklaşık %0.5'lik bir artış oranı ile silindiriklik değeri artmıştır.



a) 110-1 numunesi

b) 110-2 numunesi

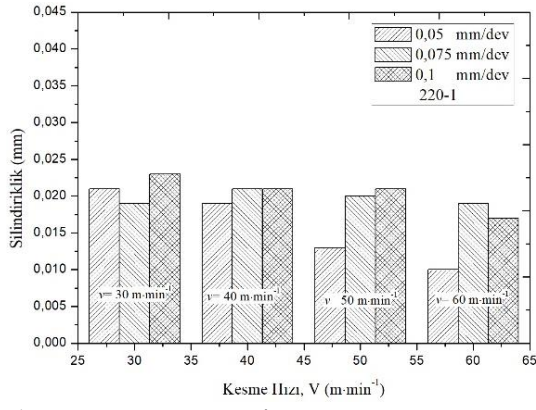
Şekil 7.14: Temperleme ve işleme parametrelerinin silindiriklik üzerindeki etkisi.



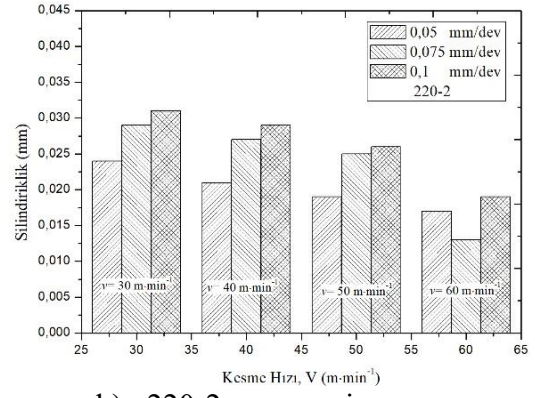
a) 160-1 numunesi

b) 160-2 numunesi

Şekil 7.15: Temperleme ve işleme parametrelerinin silindiriklik üzerindeki etkisi.



a) 220-1 numunesi



b) 220-2 numunesi

Şekil 7.16: Temperleme ve işleme parametrelerinin silindiriklik üzerindeki etkisi.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretimde önemli bir husus olan verimlilik çıktı ile gelir arasındaki orandır. Takım tezgahları, kullanıcı davranışı, ürü hammadresi, takım ve genel masraflar, üretimi sağlayan diğer kaynaklar girdiyi tanımlar iken bu kaynakların kullanımından dolayı ortaya çıkan ürüne de çıktı olarak nitelendirilir. Kesme değerlerinin uygun ve bunların birlikte kullanımı günümüz modern kesici takımların maliyetlerini önemli ölçüde düşürür. Kesici takım maliyeti üretim maliyetinin %3'lük kesimini kapsamaktadır. Takım ömründe %50'lik bir artışın iş parçasına düşen maliyeti %1 azalttığı, kesme hızındaki %20'lik bir artış iş parçasına düşen toplam maliyeti %15 azalttığı bilinmektedir.

İşlenebilme özelliği yüksek olan malzemelerin talaşlı imalatta talaş hacminin yüksek ve meydana gelen yüzeyin kalitesinin de iyi olması beklenir. Tüm bu işlemlere ek olarak kesici takımın talaşlı imalat esnasında daha az aşınması ve kullanım ömrünün uzun olması istenmektedir.

Yapılan bu çalışmada özellikle son yıllarda otomotiv sanayinde sıkça kullanılan Vermiküler Grafitli Dökme demirlerden üretilen farklı mikro yapıdaki numunelerin tek tip aynı nitelikteki kesici uç ile tornalanması ile kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün değişim durumları test ortamında incelenmiştir. Soğutma sıvısı kullanılmadan farklı kesme kuvvetleri ve ilerleme miktarlarının etkileri ile kesme kuvvetlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılarak optimum kesme parametrelerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

İşlenebilirlik kriterleri temel alınarak yapılan deneylerin bulguları aşağıda verilmiştir.

- Talaş derinliği ve İlerleme miktarı arasındaki ilişki kesme kuvvetlerini belirleyen en önemli unsurlardır. Bu durum literatür çalışmaları ile paralellik gösterip, ilerleme miktarı artması ile kesme kuvveti de artmıştır.
- Ferritik ve perlitik yapıdaki Kompakt grafitli dökme demirlerde, pürüzlülük kalitesi ve kesme kuvveti bakımından optimum kesme hızı

tek temperleme yapılan 160 ° C'de östemperlenmiş, kesme hızı 60 m/min ve ilerleme miktarı da 0.05 mm/dev olarak belirlenmiştir.

- Yüzey pürüzlülüğünde etkili olan parametreler, sırası ile; ilerleme miktarı ve kesme hızı olduğu tespit edilmiştir
- Perlitik+ferritik yapıdaki kesme hızları en büyüktür. Literatürde perlit ve ferritik yapıdaki Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerde kesme kuvvetlerin birbirine yakın değerde olduğu görülmüştür.
- Ortalama yüzey pürüzlülük, R_a , değeri göz önüne alınarak kesici takım aşınması ve kullanım ömrü ile ortalama yüzey pürüzlülük arasındaki bağıntı ortaya çıkartılabilir.
- Kesme kuvvetleri, ortalama yüzey pürüzlülük değeri ve takım ömrü arasında matematiksel bir bağıntı olup, üretim zamanının en az olduğu kesme hızı ve ilerleme değeri bulunabilir.
- Takım geometrisinin çeşitliliği ve farklı takım sınıfı kullanılarak kesme parametreler tespit edilebilir.
- Talaş kaldırma sırasında meydana gelen titreşimler, kesme kuvvetleriyle birlikte tespit edilebilir ve bu titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılabilir.
- Yapılan bu çalışmada işlenebilirlik kriterlerinden kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ele alınmıştır. Deney numunelerin sayısı arttırılması ile kesici takım aşınması, takım kullanım ömrü, talaş oluşumu ve talaşın yığılma eğilimi gibi kriterlerin tespit edilmesi mümkündür.
- En iyi kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerinin olduğu optimum kesme hızında elde edileceği göz önüne alınırsa, daha büyük kesme hızlarında nasıl bir yol izlenebileceği araştırılabilir.

9. KAYNAKLAR

1. Mavi, A., “Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2008).
2. Murthy, V.S.R., Kishore, and Seshan, S. “ Characteristics of compacted graphite cast iron”, *Transactions of the American Foundrymen’s Society*, 92, 373-380, (1984).
3. Aşkun, Y., “Östemperlenmiş KGDD İşlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2001).
4. Karabulut, Ş., “Vermiküler Grafitli Dökme Demirin Frezelemedeki İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması Ve Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi”, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2012).
5. Şeker, U., “Takım Tasarım Ders Notları , Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 25-32, (1997).
6. Melleras, E., Guessier, W.L., Boehs, L., “Study of machinability of compacted graphite iron for drilling process”, *Journal of the Brezilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 26, 22-27, (2004).
7. Walton, C.F. “Iron casting handbook” *Iron Casting Society*, 29, 128-397 (1981).
8. Fallon, M.J., “Experiments on the treatment of compacted graphite iron.” *Foundry trade journal*, 178, 34-38, (2004).
9. Mavi, A., Korkut, İ., “Vermiküler grafitli dökme demirin işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin regresyon analizi ile modellenmesi” *Politeknik Dergisi*, 4, 13, 281-286 (2010).
10. Borghigiani, E., Marinari, C., “Compacted graphite iron ignot molds”, *Transactions of the American Foundrymen’s Society*, 90, 529-549 (1982).
11. Stefanescu, D, M., “Compacted graphite iron”, *Asm Handbook*, 1, 1480-1489, (1988).
12. American Foundry Society, “Mechanical properties of compacted graphite iron” , *Engineered casting solutions*, 6, 36, (2004).
13. Tsutmi, N., Furuyo, S., Sawada, N., “ Research on the compacted vermiculer graphite cast iron made by gas blowing” *Report of the Castings Research Laboratory*, 38, 15,25, (1988).
14. Nayyar, V., Grenmyr, G., Kominski, J., Nyborg, L., “Machinability of compacted graphite iron (CGI) and flake graphite iron (FGI) with coated carbide”, *International journal of machining and machinability of Materials*, 13 (1), 67-90, (2013).
15. Mohammed, W, M., Elbestawi, M.A., “Modeling the effect of compacted graphite iron microstructure on cutting forces and tool wear.” *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 5,2, 87,101, (2012).
16. Riposan, I, Chisomera, M., Sofrani, L., “Contribution to the study of some technological and applicational properties of compacted graphite cast iron”, *American Foundry Society Transactions*, 35-48, (1985).

17. Seyfi, A., “Östemperlenmiş GGG60 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü açısından Değerlendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).
18. Şeker, U., Hasırcı, H., “Evaluation of machinability of austempered ductile irons in terms of cutting forces and surface quality”, *Journal of Materials Processing Technology*, 173, 260-268, (2005).
19. Kırçali, K., Çakır, M., “ Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirde östemperlenme sıcaklığı ve zamanın işlenebilirliğe etkilerinin incelenmesi”, TİMAK, Tasarım İmalat Analiz Kongresi, Balıkesir, (2006).
20. Zimba, J., Simbi, D, J., and Navara, E. “Austempered ductile iron: an alternative material for earth moving components”, *Cement & Concrete Composites*, 25, 643-649, (2003).
21. Uçun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., “Küresel grafitli dökme demirin sementit karpid kesici takımlar ile yüzey frezeleme işleminde takım aşınması”, III. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya, (2005).
22. Özcan, A., “Östemperleme İşleminde Kalay miktarı ve İzotermal Değişim Sıcaklığının Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2003).
23. Gök, K., “Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemelerinde Östemperleme İşleminin Kesme Parametrelerine ve Takım Ömrüne Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, (2006).
24. Çetin, M., Gül, F., “Küresel grafitli dökme demirin abrasif aşınma davranışına aşındırıcı parçacık boyutu ve östemperleme süresinin etkisi”, 5. Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu (IATS'09), Karabük, (2009).
25. Okay, F., Sert, H., Habalı, K., Gül, F., “ Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin aşınma davranışı üzerinde PVD yöntemi ile TiN kaplamanın etkisi ” *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, 25, 4, 787-794, (2010).
26. Kuş, H., “Östemperlenmiş KGDD Aşınma Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2007).
27. Ovalı, İ., Mavi, A., “Ösferrit hacim oranının çift fazlı küresel grafitli dökme demirlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi” 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, (2011).
28. Fidaner, G., Duran, D., *Genel dökümcülük bilgisi*, İstanbul: Milli Eğitim Yayınları, (1986).
29. Karadeniz, E., Çolak, M., Barutçu. F., “GGG-60 küresel grafitli dökme demir üretiminde aşılmalı türü ve miktarının iç yapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, *Ömer Halis Demir Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 6, 275-282, (2017).
30. Yıldız, M., “Dökme Demirlerde Nicel Faz Analiz Tekniklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2014).
31. Ateş, B., “Katı Çözelti Sertleşmesinin Küresel Grafitli Dökme Demirin Dönel Eğmeli Yorulma Davranışına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2013).

32. Özcan, B., “Gri Dökme Demir Malzemelerinin İşlenebilirliğinin Deneysel Ve Sayısal Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2018).
33. F, Campbell “Elements of metallurgy and engineering alloys”, ASM International, Ohio, (2008).
34. Akman, C., “Lamel Grafitli Dökme Demirden Üretilen Motor Silindir Gömleklerinin CNC Torna Tezgahında İşlenebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, (2006).
35. Ertürk, F., “Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirde Abrasiv Aşınma Dayanımı- Mikroyapı İlişkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2012).
36. Berns, H., Theisen, W., “Ferrous Materials: steel and cast iron”, Springer, 150-152, Heidelberg, Berlin, (2008).
37. Demirlek, M., “Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Yüksek Çevrimli Yorulma Davranışına Silisyum Oranının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).
38. Reardon, A.C., “Metallurgy for the non-metallurgist”, ASM International, Ohio, USA, (2001).
39. Çelik, Ö., “Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).
40. Asi, O., “Failure analysis of a crankshaft made from ductile cast iron”, *Engineering failure analysis*, 13, 1260-1267, (2006).
41. Costa, N., Machado, N., Silva, S, F., “İnfluence of graphite nodules on fatigue limit of nodular cast iron”, *Ciência e Tecnologia dos Materiais*, 20, 120-127, Portekiz, (2008).
42. de Oliveira, V, V., de . Beltrao, P, A., and Pintavde, G.,” Effect of tool geometry on the wear of cemented carbide coated with TiAlN during drilling of compacted graphite iron”, *wear*, 271: 2561-2569, (2011).
43. Pey, S., “Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerde Kesit Farklılığının Mikro Yapıya ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2004).
44. Aytacıoğlu, L, C.,“Dökme Demirlerde Termal Analiz ve Matematiksel Yaklaşım”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2012).
45. Keith, D, M., Norman, B, P., Albert, P, G., U.S Patent no:2,485,761, Washington DC: U.S. Patent and Trademark Office (1949).
46. Yavuz, K., “GGG-70 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demir Kam Millerinin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).
47. Kökçan, R., “İmalat işlemleri I. Kesici Takım Teknolojisi”, Hacettepe Üniv Yayınları, (2017).

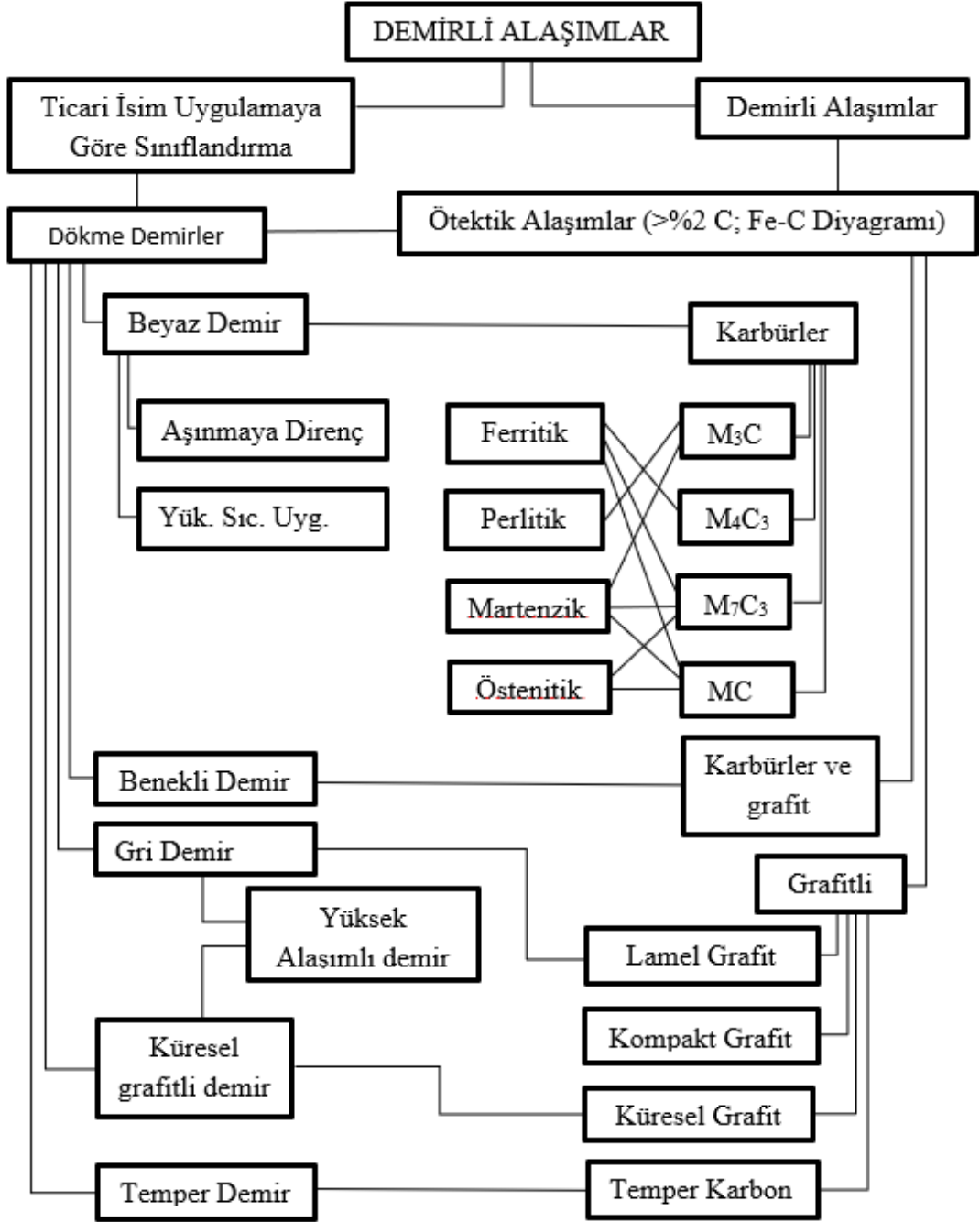
48. Çakır, M, C., “Modern talaşlı imalatın esasları”, Dora yayınları, 155-239, (2018).
49. Kahraman, Y., Uzun, G., Korkut, İ., “Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin Frezelenmesinde Östemperleme Sıcaklığı ve Süresinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi” 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyum (UTİS 2015), Sabancı Üniversitesi, İstanbul, (2015).
50. Abele, E., Sahm, A., Schulz, H., “Wear mechanism when machining compacted graphite iron” *Cirp Annals Manufacturing technology*, 51, 53-56, (2002).
51. Çetin, A., “Vermiküler Grafitli Dökme Demir”, Dökümhane el kitabı 1.sayı, 1-28, (2016).
52. Dawson, S., Indra, F., “Compacted graphite iron-A New material for highly”, *Fifthy aachen colloquim on vehicles and automobile technology*, 331-350, (1995).
53. Haraçcı, F., “The Production of Compacted Graphite Cast Iron and Effects of Different Section Sizes, Time and Postinoculation on the Microstructural and Mechanical Properties”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1998).
54. Kahraman, Y., “Östemperlenmiş Vermiküler Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2014).
55. Dawson, S., “Compacted graphite iron: Mechanical and physical peroperties for engine design”, *Workstoff und Automobilantrieb*, p:1-19, (1999).
56. Guesser, W, L., Masiera, I., Melleras, E., Cabezas, C, S., “Thermal conductivity of gray iron and compacted graphite iron user for cylinder heads”, *Revista Matêria*, 265-272, (2005).
57. Arısoy, F, C., “ Borlama ve nitrokarbürleme yüzey işlemlerinin cam ambalaj üretiminde kullanılan dökme demir kalıpların performansına etkileri”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2005).
58. Ozkan, A, İ., Sarıtaş, İ, Yıldız, S., “ A Comparative study of ANN and FES for predicting of cutting forces and tool temperature in turning”, *CompSysTech'10 vol 471*, 177-185, (2010).
59. Karamusaoğlu, H, A., “Küresel Grafitli Dökme Demirin (GGG-60) İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2009).
60. Yazman, Ş., “Östemperlenmiş Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kesme Parametrelerinin İşlemeye Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2006).
61. Acır, A., “Talaş kaldırma işleminde yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin incelenmesi”, II. Makine ve imalat tasarım kongresi, Konya, (2003).
62. Zeyveli, M., Karamusaoğlu, A, H., “Effect of wiper cutting tool geometry on machining of ductile cast iron” *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 29, 358-366, (2011).
63. Neşeli, S., Yıldız, S., “Tornalamada yaklaşma açısı ve talaş açısına bağlı tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri”, *Politeknik Dergisi*,10,4, 383-389, (2007).

64. Kamnev, V, V., “İntegral evaluation of surface roughness”, Translate from izmeri tekhniko, 2, (1996).
65. Garratt, J. D., “A new stylus instrument with a wide dynamic range for use in surface metrology”, Precision Engineering, 4, 3, 145-151, (1982).
66. Kılıçcı, V., “Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kısmı Östenitleme ve Östemperleme Isıl İşleminin Mikro yapı ve Mekanik Özelliklere etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2004).
67. ISO 3685, “ Tool- life testing with single-point turning tools”, Second edition, (1993).
68. http://www.mitsubishicarbide.net/mhg/enuk/external_turning_tools/10000016/20054055 , (2018)
69. Kistler, I., “ Kistler instrument corp.”, Winterthurt, Switzerland, (2009).
70. Ovalı, İ., Bilgin, B, B., Mavi, A., “ *The Effects of Ausferrite staructure on surface topography of austempered gray iron*”, Jestech 15(4), 183-192, (2012).

EKLER

10. EKLER

EK A Dökme Demir Sınıflandırılması



EK B Deneylerde Kullanılan PLF 120/7 Model Isıl İşlem Fırın Teknik Özellikleri



Özellik	Açıklama
Marka	Protherm
Model	PLF 120/7
Kategori	PLF Serisi Kamara Fırını
Max. Sıcaklık	1200°C
Max. Çalışma Sıcaklığı	1150°C
Max. Sıcaklığa Ulaşma Süresi	65 dk
İç Boyutları (YxGxD)	14x20x25
İç Hacim (Lt)	7.3
Dış Boyutları (YxGxD)	65x55x58
Max. Güç (KW) / Faz	2/1

EK C Deneylerde Kullanılan Mecapol P230 marka zımpara polisaj makinesi teknik özellikleri

MECAPOL
P 230, P 260, P 262



Özellik	Açıklama
Disk Boyutu	200-250 mm
Dönüş hız aralığı	20-600 rpm
Gösterge	Dokunmatik Digital
Çalışma Koşulu	Su-Susuz, Multijetli su püskürtme
Çalışma Voltajı	230 V

EK D Deneylerde Kullanılan Nikon Eclipse LV 150 marka görüntüleme cihazı teknik özellikleri



Özellik	Açıklama
Merceğin takıldığı bölge özellikleri	Maksimum örnek yüksekliği: 38 mm (LVNU5AI U5AI burunluk ve LV-S32 3x2 sahne / LV-S64 6x4 sahne ile kullanıldığında) * 73 mm bir kolon yükseltici ile kullanıldığında, dimmer, kaba ve ince ayar düğmeleri için 12V50W iç güç kaynağı Sol: kaba ve ince ayar / Sağ: ince ayar, 40 mm strok Kaba ayar: 14 mm / dönüş (tork ayarlı, yeniden yerleştirme mekanizması ile) İnce ayar: 0.1 mm / dönüş (1 mikron / kademeli) Sahne montaj deliği aralıkları: 70 x 94 (sabit 4-M4 vida ile)
Aşamalar	LV-S32 3x2 aşaması (İnme: 75 x 50 mm cam plaka ile) ESD uyumlu LV-S64 6x4 aşaması (Kontur: 150 x 100 mm cam plaka ile) ESD uyumlu LV-S6 6x6 aşaması (İnme: 150 x 150 mm) ESD uyumlu
Mercek tüpleri	LV-TI3 trinoküler mercek tüpü ESD (Ereksiyon görüntüsü, FOV: 22/25) LV- TT2 TT2 devrilme trinoküler mercek tüpü (Ergonomik görüntü, FOV: 22/25) C-TB dürbün tüpü (Ters görüntü, FOV: 22) P- TB Binoküler Tüp (Ters görüntü, FOV: 22) P-TT2 Trinoküler Tüp (Ters görüntü, FOV: 22)

EK E Deneylerde Kullanılan MEBA MHT-150 marka sertlik ölçüm cihazı teknik özellikleri



Özellik	Açıklama
Ekran	7.5" dokunmatik ekran
Dönüşüm hesabı modülü	ASTM E-140
Ana yük zaman ayarı	5-60 saniye
Çıkış	RS 232

11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Metin DİNÇTOSUN

Doğum Yeri ve Tarihi : İZMİR 25.08.1976

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : dinctosun@hotmail.com

İletişim Adresi : Buca / İZMİR