



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**ISIYA DAYANIKLI KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME
DEMİR MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE
İŞLEME GÜRÜLTÜSÜNE ETKİLERİ**

Ramazan KARAKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR / 2020



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**ISIYA DAYANIKLI KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME
DEMİR MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE
İŞLEME GÜRÜLTÜSÜNE ETKİLERİ**

Ramazan KARAKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Şükrü YILDIZ

KIRŞEHİR / 2020

TEZ BİLDİRİMİ

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

Ramazan KARAKUŞ



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Her türlü desteğini esirgemeyen bilgi ve tecrübeleriyle çalışmalarına yön veren çok kıymetli danışmanım Sn. Doç. Dr. Şükrü YILDIZ'a, tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ayrıca deney çalışmalarına destek veren Çemaş Döküm Talaşlı İmalat Sorumlusu Sn. Musa ÇÖL'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme bana duydukları güven, verdikleri destek, gösterdikleri anlayış ve sevgi için, teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın tamamlanmasında vermiş olduğu destekten ötürü Işıklar Holding Çemaş Döküm San. A.Ş şirketine teşekkür ederim.

Haziran, 2020

Ramazan KARAKUŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
TABLO LİSTESİ.....	VIII
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
2. DÖKME DEMİRLER VE SİMO	6
2.1. Dökme Demirler.....	6
2.2. Dökme Demirlerin Çeşitleri ve Uygulama Alanları.....	8
2.2.1. Beyaz Dökme Demir	8
2.2.2. Gri Dökme Demir	8
2.2.3. Temper Dökme Demir	9
2.2.4. Küresel Grafitli Dökme Demir	10
2.2.5. SiMo (Silisyum-Molibden) Küresel Grafitli Dökme Demirler	11
2.2.5.1. SiMo Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapısı.....	13
3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK.....	14
3.1. Talaş Kaldırma Yöntemleri.....	14
3.1.1. Frezeleme	15
3.1.1.1. Frezelemede Kesme Hızını Etkileyen Faktörler.....	15
3.1.1.2. Talaş Oluşumu.....	16
3.1.1.3. Talaş Tipleri	17
3.1.1.3.1. Sürekli Talaş	17
3.1.1.3.2. Kesiklik Talaş.....	18
3.1.1.3.3. Sıvanmalı Sürekli Talaş.....	18
3.2. Yüzey Pürüzlülüğü.....	19
3.3. İşlenebilirlik	21
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
4.1. EN - GJS - XSiMo - 40.10 Malzeme Bilgileri ve Genel Spekt Değerleri	22
4.2. Kullanılan İşleme Tezgâhı	26
4.3. Kullanılan Kesici Takım ve Uçlar	27
4.4. Kesme Parametrelerinin Tayin Edilmesi ve Taguchi Yöntemi.....	28

4.5.	Egzoz Manifold Numunesi.....	30
4.6.	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	30
4.7.	Tezgâh Gürültü Ölçümü.....	31
5.	BULGULAR	32
5.1.	Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları.....	32
5.2.	Tezgâh Gürültü Seviyesi Sonuçları	37
6.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	43
	KAYNAKLAR.....	46
	ÖZGEÇMİŞ	54



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dökme demirlerin çeşitli sıcaklıklardaki fazları ve mikroyapıları	7
Şekil 2.2 Beyaz dökme demirlerin mikroyapı görüntüsü	8
Şekil 2.3 Gri dökme demirlerin mikroyapı görüntüsü	9
Şekil 2.4 Temper dökme demirlerin mikroyapısı	10
Şekil 2.5 Küresel Grafitli Dökme Demir Mikroyapısı	11
Şekil 2.6 Silisyum Molibden karışımına sahip küresel grafitli dökme demir mikroyapısı ..	13
Şekil 3.1 Talaş Oluşumu	17
Şekil 3.2 Sürekli Talaş	17
Şekil 3.3 Kesikli Talaş	18
Şekil 3.4 Kesikli Talaş	18
Şekil 3.5 Build Up Edge (Ağız Birikintisi)	19
Şekil 3.6 Ra Rq değerlerinin hesaplanması	21
Şekil 4.1 Deney parçası analiz öncesi zımparalama işlemi	22
Şekil 4.2 Deney parçası spektro analizi	23
Şekil 4.3 Deney parçası mikroyapı görüntüleme işlemi	23
Şekil 4.4 Egzoz manifold numunesi 100X büyütme mikroyapı görüntüsü	24
Şekil 4.5 Çekme Test Cihazı	24
Şekil 4.6 Minor 69 Marka-Rockwell Sertlik Ölçme Cihazı	25
Şekil 4.7 Egzoz manifold deney numunesine ait Gerime-% uzama grafiği	26
Şekil 4.8 4 eksenli Mazak HCN-4000 yatay işleme merkezi	26
Şekil 4.9 12 ağız geometrisine sahip tarama (freze) takımı	27
Şekil 4.10 WNMU080608TR-GM PR1510 takım geometrisine sahip kesici takım ucu	27
Şekil 4.11 SiMo malzemeden üretilmiş egzoz manifoldu	30
Şekil 4.12 TIME TR200 tipi yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve ölçümü	30
Şekil 4.13 CEM DT805 Marka Gürültü Ölçüm Cihazı	31
Şekil 5.1 Ortalamalar için Sonuç Grafiği	34
Şekil 5.2 S/N Oranları için Sonuç Grafiği	36
Şekil 5.3 Yüzey pürüzlülüğü, Kesme Hızı ve Radyal Kesme Derinliği Kontur Grafiği	36
Şekil 5.4 Yüzey pürüzlülüğü, Kesme Hızı ve İlerleme Kontur Grafiği	37
Şekil 5.5 Yüzey pürüzlülüğü, Radyal Kesme Derinliği, İlerleme Kontur Grafiği	37
Şekil 5.6 Ortalamalar için Sonuç Grafiği	39
Şekil 5.7 S/N Oranları için Sonuç Grafiği	40
Şekil 5.8 Tezgâh Gürültü Seviyesi, Kesme Hızı ve Radyal Kesme Derinliği Kontur Grafiği ..	41
Şekil 5.9 Tezgâh Gürültü Seviyesi, Kesme Hızı ve İlerleme Kontur Grafiği	41
Şekil 5.10 Tezgâh Gürültü Seviyesi, Radyal Kesme Derinliği, İlerleme Kontur Grafiği ..	42

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Dökme demirlerin kimyasal bileşenleri.....	6
Tablo 2.2 SiMo alaşımlı ferritik sfero dökme demir sınıfları ve yaklaşık kompozisyon önerileri	11
Tablo 2.2 (devam):	12
Tablo 2.3 SiMo alaşımlı ferritik sfero dökme demirlerin mekanik özellikleri.....	12
Tablo 2.3 (devam):	13
Tablo 3.1 Ra pürüzlülük değerleri ile yüzey kalite sembolleri arasındaki bağıntı	20
Tablo 4.1 EN - GJS - XSiMo - 40.10 SiMo Alaşımlı Sfero dökme demirin kimyasal bileşimi.....	23
Tablo 4.2 EN - GJS - XSiMo - 40.10 SiMo Alaşımlı Sfero Dökme Demirin Mekanik Özellikleri.....	25
Tablo 4.3 Kesici Uç Özellikleri	27
Tablo 4.4 Deney Faktör ve Seviyeleri.....	29
Tablo 5.1 Taguchi L9 Deney Tasarımı ile belirlenen Parametre ve Yüzey Pürüzlülük sonuçları	32
Tablo 5.2 Ortalamalar için Sonuç Tablosu	33
Tablo 5.3 S/N Oranları için Sonuç Tablosu.....	35
Tablo 5.4 Taguchi L9 Deney Tasarımı ile belirlenen Parametre ve Tezgâh Gürültü Seviyesi sonuçları	38
Tablo 5.5 Ortalamalar için Sonuç Tablosu	39
Tablo 5.6 S/N Oranları için Sonuç Tablosu.....	40

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
<i>Si</i>	: Silisyum
<i>Mo</i>	: Molibden
<i>SiMo</i>	: Silisyum Molibden
<i>Al</i>	: Alüminyum
<i>Mg</i>	: Magnezyum
<i>Cu</i>	: Bakır
<i>Pb</i>	: Kurşun
<i>V</i>	: Kesme hızı
<i>D</i>	: Takım çapı
<i>N</i>	: Devir sayısı
<i>f</i>	: İlerleme
<i>fz</i>	: Kesici uç başına ilerleme
<i>fn</i>	: Takımın kesici uç sayısı
<i>Ra</i>	: Ortalama yüzey pürüzlülük sapma değeri
<i>Rz</i>	: Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
<i>Rt</i>	: Maksimum ve minimum yüzey pürüzlülük değer toplamı
<i>Rq</i>	: Aritmetik yüzey pürüzlük değer karekökü

Kısaltmalar	Açıklama
CNC	: Bilgisayar sayısal kontrollü
SSF	: Katı çözeltide güçlendirilmiş ferritik sünek demir
MMS	: Metal Anayapı Kompozit
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ISIYA DAYANIKLI KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR MALZEMELERİN İŞLENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE İŞLEME GÜRÜLTÜSÜNE ETKİLERİ

Ramazan KARAKUŞ

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü YILDIZ

Yüksek sıcaklık korozyon direncinden dolayı, egzoz sisteminin sıcak ucunda egzoz manifoldu olarak ısıya dayanıklı sfero döküm demirler veya SiMo sfero döküm demirler kullanılır. Bu çalışmada, egzoz manifoldlarının frezeleme davranışına yüzey pürüzlülüğü, tezgâh gürültü seviyesine bazı parametrelerin etkisi, dört eksenli yatay işleme merkezi kullanılarak ıslak kesme koşullarında araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, gerçek bir işletme ortamında, taguchi optimizasyon tekniği kullanılarak, 3 farklı kesme hızı (120, 240, 360 m / dak), 3 farklı ilerleme (0,20-0,40-0,60 mm / diş) ve 3 farklı kesme derinliği (0,5- 0,75- 1mm) için yapılmıştır. Frezeleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve tezgâh gürültü değeri üzerindeki etkisi MINITAB istatistiksel veri analiz programı ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak, yüzey pürüzlülüğü farklı kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği ile önemli ölçüde değişmiştir.

Haziran 2020, 54 Sayfa.

Anahtar Kelimeler: SiMo Dökme Demir, frezeleme, yüzey pürüzlülüğü, tezgâh gürültü düzeyi, İşlenebilirlik, taguchi

ABSTRACT

MASTER of SCIENCE THESIS

Effect of the Machining Parameters on Surface Roughness and Machining Noise of Heat-Resistant Nodular Cast Iron Materials

Ramazan KARAKUŞ

Kırşehir Ahi Evran University
Science and Engineering Institute
Department of Advanced Technologies

Supervisor: Assoc. Doç. Dr. Şükrü YILDIZ

Since the high-temperature corrosion resistance, heat-resistant nodular cast irons or SiMo ductile cast irons are used in the hot end of the exhaust system as an exhaust manifold. In this study, milling behavior of the exhaust manifolds and the effect of some parameters such as surface roughness and noise level were investigated under wet cutting conditions using four-axis horizontal machining center. Experimental studies were realized in a real machining environment using constant cutting speed (120, 240 and 360 m/min), different feed rates (0,20-0,40 and 0.60 mm/rev.) and different depth of cut (0,5- 0,75 and 1,5 mm). The effect of the milling parameters on surface roughness and noise level were analyzed with MINITAB statistical data analysis program. As a conclusion, the surface roughness was remarkably affected from increasing feed rate and depth of cut.

June 2020, 54 Pages.

Keywords: *SiMo ductile cast iron, milling, surface roughness, machine noise, machinability, taguchi.*

1. GİRİŞ

Rekabetin artması ve teknolojinin gelişmesi ile üretimlerde, birçok yöntem kullanılmaktadır. Talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri de bu üretim çeşitlerinden bazılarıdır. İstenen kalite şartlarının az olduğu durumlarda talaşsız üretim yöntemiyle maliyetleri oldukça düşük üretimler yapılabilir. Fakat kalite standartlarının artması ile (hassas boyutlar, düşük yüzey pürüzlülüğü vb.) talaşsız imalat üretimi yetersiz kalmaktadır. İstenen kalite şartlarını sağlamak amacıyla talaşlı üretim yöntemleri (frezeleme, tornalama, delik delme, raybalama gibi) kullanılmaktadır. Talaşlı imalat üretimlerinde büyük öneme sahip frezeleme işlemi, birçok sanayi grubuna parça üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Parçadaki düz ve açılı yüzeyleri, çeşitli kanal ve dış profilleri, gerek CNC tezgâh gerekse universal tezgâhlar ile işlenebilmektedir.

Diğer talaşlı imalat metotlarında da olduğu gibi, frezeleme işleminde de prosesdeki değişkenlikler parça kalitesini büyük ölçüde değiştirebilmektedir. Bu değişkenlikleri gerek tezgâh gerekse kullanılan kesici takımların standartları ile minimize edilmeye çalışılmaktadır. Fakat parçaya mahsus özelliklerin (parça geometri, istenilen kalite şartları, kullanılan kesici takımlar) değişmesi ile de prosesdeki değişkenlikler artmaktadır. Tüm bu değişkenlikleri optimize etmek amacıyla birçok akademik çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir.

Sünek dökme demir, iki temel mikroyapısal bileşen içerir, serbest küresel grafit ve onu saran matrisdir. Matris, alaşımlama ve ısıtma işlem tekniklerine ve döküm kesitine bağlı olarak ferritik, perlitik veya her ikisinin bir kombinasyonu olabilir. Si, sünek dökme demirlerde güçlü bir ferritleştirici eleman görevi görür ve böylece sünek dökme demirlerdeki Si konsantrasyonunu arttırmak, ferrit oluşumuna teşvik eder. Ferritik sünek demir olarak bilinen ağırlıkça % 3'ten fazla Si ihtiva eden sünek dökme demir matrisinde ham döküm koşullarında ferrit fazı baskındır. Sünek dökme demirlerde Mo ile yüksek konsantrasyonlarda Si kullanılması, geliştirilmiş mekanik özellikler, boyutsal kararlılık ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyona direnç gibi çeşitli faydalı özelliklerle sonuçlanır, böylece bu malzemeleri otomotiv egzoz manifoldları ve turbo şarj gibi uygulamalarda kullanım için uygun hale getirir [1]. Bu tür son ürün olarak bir mekanizmaya bağlanan ticari parçalar

açısından değerlendirildiğinde hammaddeden son ürüne geçen sürecin iyi bir şekilde tanımlanması oldukça önemlidir. Bu sebepten yapılacak araştırmaları, döküm ve hemen sonrasındaki ısıtma işlem süreçleri, talaşlı imalat süreçleri ve parça çalışma koşullarındaki süreçler şeklinde sınıflandırmak ve bu süreçlerin iyi bir şekilde tanımlanmasına yönlendirmek faydalı olacaktır.

Döküm sürecinde yapılan araştırmalar; katılaşma süreçleri, alaşımlandırma etkileri, kalıp ve yolluk tasarımı vb. birçok çalışma konusunu içermektedir. Kapsamlı araştırmalar, sünek demirin katılaşmasının gri bir dökme demirin katılaşmasından önemli ölçüde farklı olduğunu göstermiştir. Metale magnezyum / seryum eklenmesi, grafit fazının morfolojisini değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda katılaşma sürecini de değiştirerek demir alaşımları için katılaşmanın karmaşıklığını arttırır. Pul grafitli gri demir, katı-sıvı ara yüzeyinde grafit ve östenitin rekabetçi büyüme sergilediği düzensiz ötektik büyüme yaşar [2-5]. Sünek demirin katılaşması, grafit ve östenitin ayrılmış ötektik büyümesini gösterir ve grafit nodülünü saran östenit faz grafit nodülünü sıvı fazdan izole eder [6]. Grafit nodüllerinin çekirdeklenmesi ile ilgili olarak, ilk teorilerin bazıları, küresel grafitin demir karbür veya süper doymuş östenit gibi katı bir fazda çekirdeklendiğini iddia etmiştir [6]. Aynı zamanda, küresel grafitin doğrudan sıvı fazdan kaynaklandığını destekleyen birçok çalışma da vardır [7-11]. Örneğin, Hecht ve Margerie, doğrudan sıvı fazdan oluşan küçük bir grafit nodülün oluştuğunu gösteren kanıtlar sunmuşlardır [7]. Fredriksson ve diğ. Nikel alaşımlı sünek demir için östenit dendritinden bağımsız olarak sıvı fazda grafit nodüllerinin büyüdüğünü göstermiştir [8]. Sıvı içindeki grafit büyümesinin, denge dışı koşullar nedeniyle sınırlı olması gerektiği de ileri sürülmüştür [6, 9]. Bir dizi çalışma, östenit ve grafit temas ettikçe, küresel grafitin östenit tarafından sarmalandığını veya kapsüllendiğini göstermiştir. Örneğin, Scheil ve Hutter [10], nodüler grafitin doğrudan sıvı içinde oluştuğunu ve daha sonra sünek demirde östenit ile sarıldığını bulmuşlardır. Ayrıca, Lux ve diğ. [9] grafit nodüllerinin dökme demirdeki birincil küresel grafitin etrafında kapsüllenmiş sıvı ve östenitten kaynaklandığını iddia etmiştir. Küresel grafiti saran östenit içeren katılaştırma işlemine nodül tuzaklanması / kapsülleme modeli denir. Lux ve diğ. [9] çalışmalarında, sadece belirli bir boyuttan (on mikron) daha büyük grafit nodüllerinin çevresinde tam bir östenit kabuk olduğu ve grafit nodülünü sıvıdan izole ettiğini öne sürmüşlerdir.

Küresel grafit büyümesi ile ilgili birçok teori, deneysel gözlemlere ve katılaşma sürecinin genel olarak anlaşılmasına dayanarak önerilmiştir [12,17-23]. Bilinen iki küresel grafit büyümesi modeli (i) bir grafit nodülünün yüzeyi etrafındaki kavisli grafen tabakalarının

çevresel büyümesini [23], ve (ii) radyal oryantasyonlu sarmal koni alt yapılarındaki grafit tabakalarının spiral büyümesini içerir [19, 24, 25]. Çok aşamalı küresel grafit büyüme modelleri, sünek demirler [18, 20] veya nikel alaşımları için [26, 27] farklı büyüme mekanizmalarını takip eden çoklu büyüme aşamaları olduğunu tarif eder. Bazı araştırmalarda, küresel grafit oluşumunun, grafit ve matris arasındaki ara yüzey enerjisi tarafından yönlendirildiğini belirtmektedir [28-31]. Jung ve diğ. [30] göre kükürt gibi yüzey aktif elementlerin [32] ortadan kaldırılması grafit ve sıvı metal arasındaki ara yüz enerjisini arttırmaktadır. Sonuç olarak, daha yüksek hacim / yüzey oranına sahip küresel bir morfoloji, düşük hacim / yüzey oranına sahip bir pul morfolojisinden daha elverişli olduğu söylenebilir. Her ne kadar son zamanlarda yapılan çalışmalar östenit tarafından çevrelenen grafit işlemine ilişkin daha fazla kanıt sunmasına rağmen [29-33], küresel grafitin büyüme mekanizması konusunda tam bir anlaşma yoktur ve gerçek mekanizma belirsizliğini korumaktadır.

İşlenebilirlik açısından bakıldığında Dawson ve diğ. şu önemli değişkenleri sınıflandırmıştır: i) grafit şekil etkisi ii) perlit etkisi, iii) kimyasal element etkisi (Sb, Mn, Si, Ti, Cr) ve iv) içerik etkisi. C, Si, Mn, S, ve P dışındaki temel elementlerin dışında küresel dökme demirlerde Ni, Cu, Mo ve Al gibi elementlerinde etkileri incelenmiş ve genellikle perlit oluşturu bir etkiye sahip oldukları gözlemlenmiştir [31-37]. Bu elementler içerisinde en etkin olanlardan birisi de molibdendir. Mo tane sınırlarında kritik öneme sahip karbürlerin oluşumuna katkı sunabilmektedir. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık dayanımını arttırdığı da bilinmektedir [31, 35-37, 38-40]. Gri dökme demirlerin daha gelişmiş versiyonu olan sıkıştırılmış grafit demirler (SGD) ve östemperlenmiş sünek demirler (ÖSD) sırası ile yapılarındaki lamelli (vermiküler) grafit ve küresel grafit yapılardan dolayı oldukça iyi mekanik özelliklere ve yorulma dayanımına sahiptirler [41,42]. Küresel dökme demirlerin işlenebilirliği üzerine yapılan deneysel çalışmaların artma eğilimi otomotiv endüstrisinde sünek küresel dökme demirin gelecek vaat eden istatistiklerden kaynaklanmaktadır. Son zamanlarda, sünek (küresel) dökme demirler popülerlik kazanmıştır ve gri dökme demirlerin ve bazı düşük mukavemetli çeliklerin hızla yerini almaktadır [43]. Tipik olarak, sünek dökme demirler önemli miktarda perlit içerirler ve bu perlit içeriği ile malzeme sertliği arasında yakın bir ilişki vardır. Sonuç olarak, çoğu durumda bu sünek dökme demirler, birinci işlenebilirlik derecesine sahip referans malzeme olan gri dökme demirden daha az işlenebilirdir [44]. Endüstriyel deneyimlere göre, gri ve sünek dökme demirlerin işlenmesi, genellikle bu malzemelerin aynı seri içerisinde

işlenmesi nedeniyle karmaşıktır [45]. Küresel dökme demirlerin işlenmesi için en etkili kesici takım malzemeleri, ince bir MTCVD-TiCN sütun film üzerine α - Al_2O_3 ve en üst katmanında TiN olan çok katman kaplamalı karbürler ile tek TiN ile kaplanmış veya çoklu CVD – TiCN / TiN veya TiN / Al_2O_3 katmanlı yeni nesil silisyum nitrür seramiklerdir. Bu takım malzemeleri kesme hızını 1000-1200 m / dak'a kadar artırmaya izin vermektedir. Geleneksel β - Si_3N_4 sınıfının yanı sıra, yeni geliştirilen CeramTec AG α / β -SiALON-seramikler otomotiv sektöründe umut verici bir şekilde test edilmiştir [46]. Bir sonraki mühendislik problemi, sfero dökme demirin işleme sürecini ölçen verilerin metal kesme literatüründe pratik olarak mevcut olmamasıdır. Beyaz (oksit, Al_2O_3 gibi), silikon nitrür seramikler ve PCBN gibi farklı takımlarla işlenmiş farklı türde gri dökme demirler için daha fazla veri bulunabilir [47]. Farklı amaçlar için çeşitli kaplamalar kullanılmaktadır. Örneğin, alüminyum oksit (Al_2O_3) yüksek sıcaklıklarda kimyasal stabiliteye sahiptir ve abrazif aşınmaya karşı direnç gösterirken, titanyum nitrür (TiN) uca daha düşük bir sürtünme katsayısı verir ve bu nedenle talaş yüzündeki yapışma eğilimini azaltır [46]. Camuşçu [48], nodüler dökme demirin tornalamasında kesme hızının Al_2O_3 esaslı seramik takımların performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Şeker ve diğ. [49], sünek demirin işlenmesi sırasında alaşım elementlerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini ilişkilendirmişlerdir. Masuda ve diğ. [50] östemperlenmiş sünek demir işlenirken alümina bazlı seramik takımların kesme performansı ve aşınma mekanizmasını incelemişlerdir. Ghani ve diğ. [51] nodüler dökme demiri seramik takım ile işlemede takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve titreşimi bildirmişlerdir.

Östemperlenmiş sünek demir (ÖSD), mikroyapısı bir östferritik matrise yerleştirilen grafit nodüllerinden oluşan bir Fe – C – Si alaşımıdır. Ortam sıcaklığında, bu matris genellikle ferrit plaklet ve östenit filmlerden oluşan östenit bloklar ve demetlerden oluşur. Bir ısıtma işlem serisi ile oluşturulan bu parçalar küresel dökme demir olarak bilinirler. SiMo küresel grafitli sünek dökme demirler ise herhangi bir ısıtma işlem yerine alaşımlandırma sonucunda oluşturulan ve herhangi bir ısıtma işlemi ihtiyacı duymayan küresel grafitli dökme demirlerdir.

Ferrit stabilizatörleri olarak silisyum ve molibden, yüksek sıcaklıktaki performansını arttırmak için SiMo sünek demire eklenen en verimli elementlerdir ve bu sebepten SiMo olarak adlandırılırlar. Karbür içermeyen ferritik matrisi sağlamak için diğer perlit ve karbür stabilize edici elemanlar mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Silikon, uygulamaya göre ağırlıkça %3.7 ila 6 arasında değişebilir. Silikon muhtevasının artırılması, yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncini ve mukavemeti artırır, ancak tokluğu ve işlenebilirliği

azaltır [52, 53]. Ağırlıkça % 2'ye kadar olan molibden içeriği, yüksek sıcaklık mukavemetini ve işlenebilirliğini arttırmak için kullanılabilir, ancak tane sınırlarında karbürlerin ayrılması nedeniyle tokluğu azaltır. [54-57] Egzoz manifoldları ve turbo şarjlar gibi otomotiv bileşenleri için ısı direncinin arttırılması, ağırlıkça %5'e ulaşan Si içeriklerinin ve ağırlıkça %1'e kadar Mo içeriklerinin arttırılmasını gerektirir. [53, 55-58]. Daha ekonomik araç yapabilmenin en pratik yolu mevcut parçalarının hafifletilmesidir. Bu anlamda dökme demir parçalarda alüminyum ve magnezyum gibi elementlerle alaşımlandırarak hafifletmek ve bu elementlerin etkilerini araştırmak üzere çeşitli araştırmalar da yapılmıştır [59-66]. Hatta SiMoAl otomobillerde egzoz manifoldu ve turbo şarj olarak kullanılmaya da başlamıştır[67, 68].

SiMo sünek dökme demirlerin işlenebilirliği açısından bakıldığında ise hiçbir çalışmanın olmaması bu alanda oldukça büyük bir eksikliktir. Bu tezde, SiMo 4-1 sünek dökme demirlerin 12 ağız geometrisine sahip kaplamalı karbür takım kullanılarak değişik ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği için yüzey pürüzlülüğü ve çalışma ortamındaki tezgâh gürültüsü araştırılmıştır.

Bu çalışmada Ford Otosan firmasının 13,5 lt motora sahip kamyonlarında kullanılan orta egzoz manifold üretim parametrelerinden olan ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliğini optimize ederek, işleme sonrası oluşan yüzey hassasiyetini sağlamaktır. Ayrıca, üretim sahasında iş güvenliği kriterlerinden olan gürültü seviyesini de maruziyet değerinin altında tutabilmektir.

Bu çalışmada, Taguchi metodu kullanılarak, yeteri sayıda deney yapılmış ve gereksiz israflardan kaçınılmıştır. Bu çalışmada, farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve tezgâh gürültüsüne olan etkileri Minitab 17.0 programı ile regresyon analizi yapılarak optimum değerler belirlenmiştir.

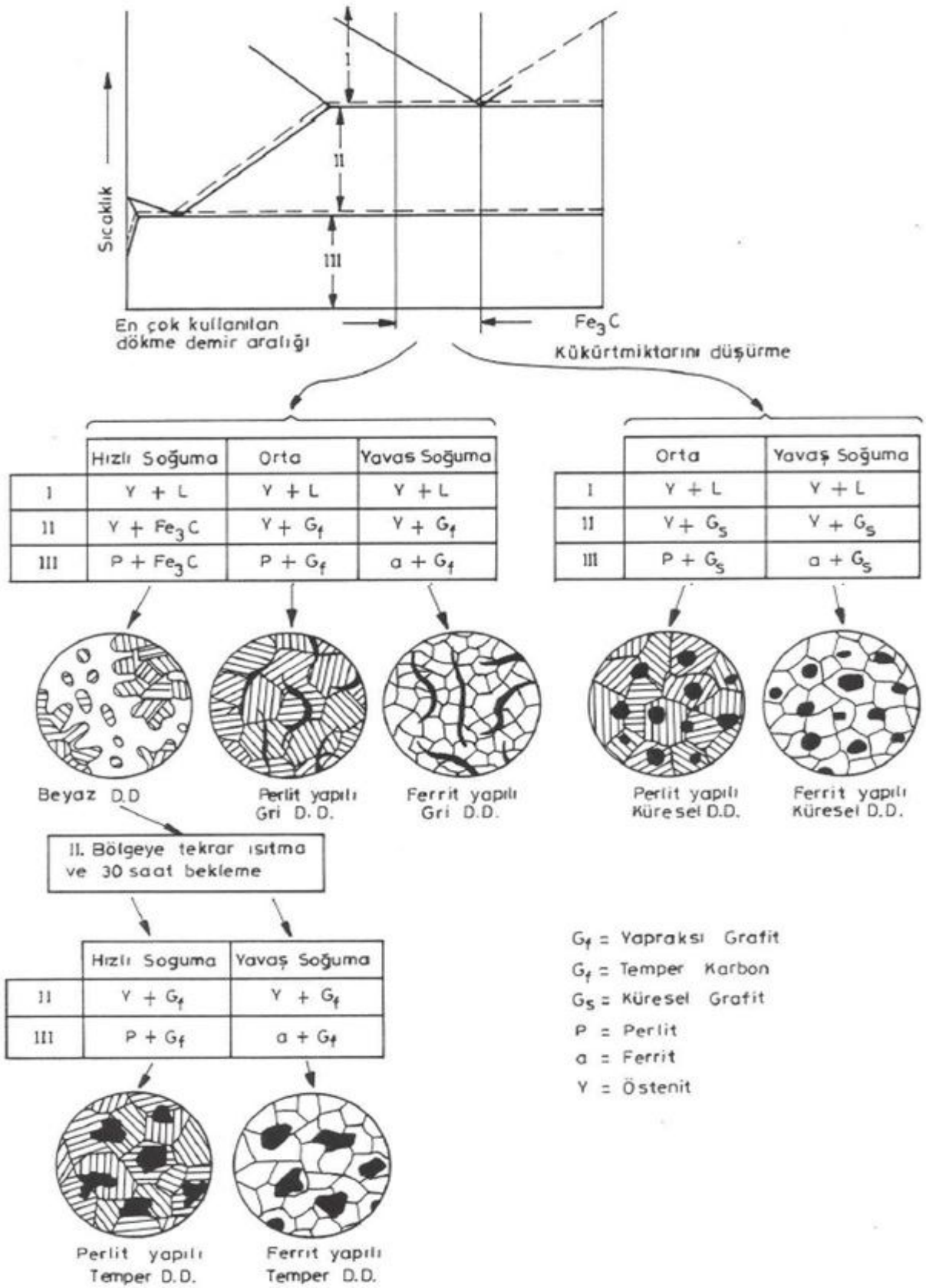
2. DÖKME DEMİRLER VE SİMO

2.1. Dökme Demirler

En az %2 Cu , %1-3 Si ile birlikte P ve S içeren demir alaşımlarına dökme demir adı verilir [69]. Dökme demirlerde karbon veya demir-karbür serbest halde bulunur, her ikisinin birden ya da birinin bulunması alaşımların işlenebilirlik özelliklerini kötüleştirir [70]. Bu nedenle mukavemet, sertlik ve korozyon dayanımını iyileştirmek amacıyla krom, bakır, molibden ve nikel gibi elementleri katarak döküm işlemi yapılmaktadır. Dökme demirlerin kullanım alanları çeliklere kıyasla daha kısıtlıdır. Çünkü süneklik ve toklukları çeliklere göre daha düşüktür. Dökme demirlerin mekanik özellikleri mikroyapıdaki fazların şekil ve dağılımına da bağlıdır. Serbest karbon, mekanik özelliği ve mikroyapıyı oluşturan önemli bir fazdır. Grafitlerin miktarı ve şekli, dökme demirlerin mukavemet ve sünekliğini etkiler. Bunun için de dökme demirler parlatılmış yüzeylerde tespit edilen grafit özelliklerine göre gruplandırılabilirler. Aynı zamanda mekanik özelliklerinde, grafitleri saran ana fazın yapısı da etkilidir. Bu çelik yapı (matris) östenit, perlit, ferrit ya da martensit olabilir. Karbonun bulunduğu biçim ve ana faz, kimyasal kompozisyona, ısıtılma ve soğuma hızına göre değişir. Dökme demirler dört ana grupta toplanır. Bunlar Gri dökme demir, Temper dökme demir, Küresel dökme demir, Beyaz dökme demir olup, bunların, kimyasal bileşimleri Tablo 2.1’de verilmiştir. Dökme demirlerin özelliklerini iyileştirmek amacıyla östenitleme, tavlama, menevişleme, temperleme işlemleri ile matris içinde mikroyapı değiştirilebilir(Şekil 2.1)

Tablo 2.1 Dökme demirlerin kimyasal bileşimleri (%)

	C	Si	S	P	Mn	Fe
Beyaz Dökme Demir	2,4 - 4,0	0,4 - 1,6	0,15	0,4	0,3 - 0,8	Kalan
Gri Dökme Demir	2,0 - 4,0	en az 1,0	0,2	0,6	en çok 1,0	Kalan
Temper Dökme Demir	2,0 - 3,0	0,9 - 1,8	en çok 0,2	en çok 0,2	0,25 - 1,25	Kalan
Küresel Dökme Demir	3,2 - 4,1	1,8 - 2,8	en çok 0,03	en çok 0,1	en çok 0,8	Kalan

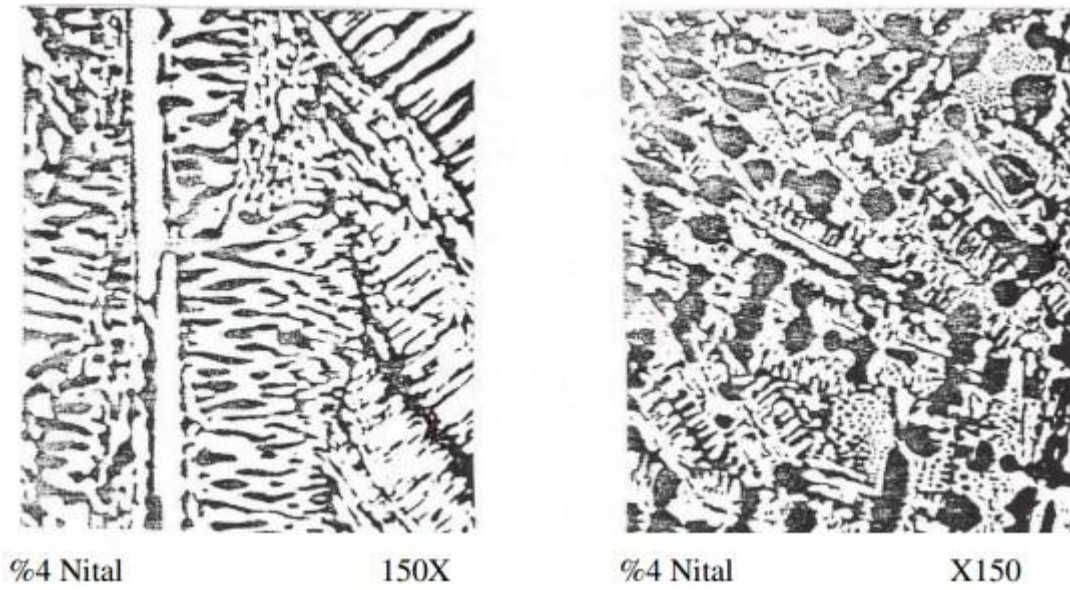


Şekil 2.1 Dökme demirlerin çeşitli sıcaklıklardaki fazları ve mikroyapıları [92]

2.2. Dökme Demirlerin Çeşitleri ve Uygulama Alanları

2.2.1. Beyaz Dökme Demir

Beyaz dökme demir, kalıba döküm sonrası demirin hızlıca soğuma sonrasında karbonun matris içinde kalması ile elde edilir [71]. Gri dökme demirdeki gibi soğuma hızı, karbonun grafit yaprakları gibi çökmesine izin vermez. Ancak demir, karbon, molibden ya da krom ile birleşerek karbür oluşturur. Meydana gelen demir karbon (Fe_3C -sementit), kırılgan ve serttir. Dökme demirler genellikle sementit kısımlarından kırılırlar ve bu yüzeyden bakıldığında beyaz renkli bir görüntü oluşur bu yüzden beyaz dökme demir adını alırlar. Beyaz dökme demirlerin mikroyapısı Şekil 2.2’de gösterildiği gibidir. Beyaz dökme demirde fazla oranda demir-karbür meydana gelir ve gri dökme demir kimyasallığına sahip olmasına rağmen gri dökme demire göre daha kırılgan ve serttir. Kaynak işlemi sırasında ana metalde oluşacak ısıyı karşılayabilecek sünekliliğe sahip olmadığında kaynak işlemi uygulanamaz.



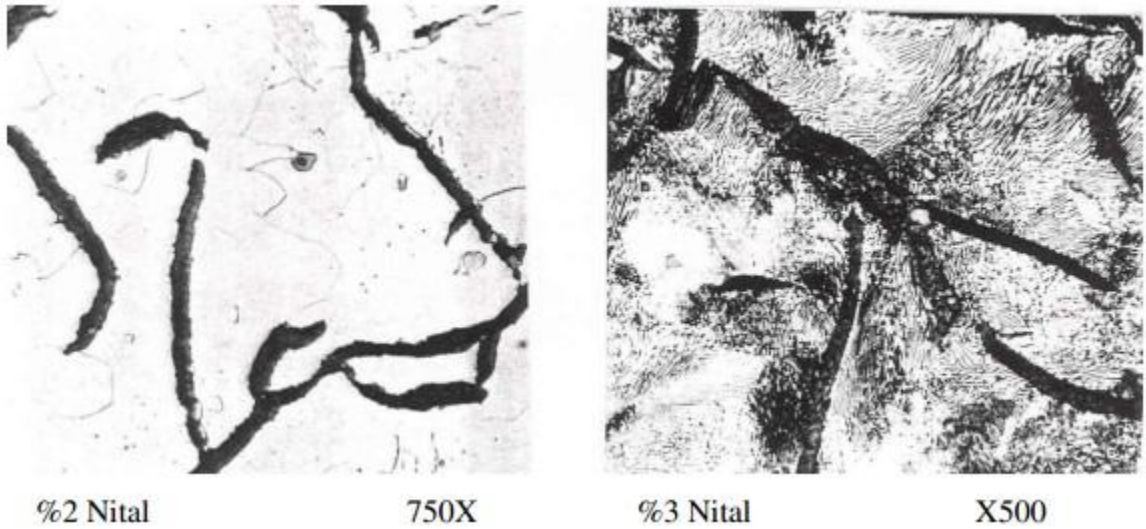
Şekil 2.2 Beyaz dökme demirlerin mikroyapı görüntüsü [70]

2.2.2. Gri Dökme Demir

Gri dökme demir, serbest haldeki karbonların, demir ve silisyum alaşımlarıyla grafit yaprakları şeklinde oluşmasıdır (Şekil 2.3). Gri dökme demir, ergimiş demirin kalıba dökülmesiyle yavaş yavaş soğumasıyla elde edilir [72]. Bu soğuma sırasında karbon, grafit

yaprakları şeklinde çökeler. Kırılma yüzeylerindeki gri görünüm nedeniyle gri dökme demir adını alırlar. Matris içerisindeki karbon %0,8 oranında daha düşüktür, geriye kalan karbon ise grafit yaprakları biçimindedir.

Gri dökme demirlerin mukavemeti, sertliği ve mikroyapısı; kimyasal bileşimi, soğuma hızı gibi birçok etkene bağlıdır. Gri dökme demire ısıtılma işlemi uygulanarak mukavemetleri iyileştirilebilir. Ana yapıyı kontrol etmek amacıyla bakır, krom ve molibden elementleri ilave edilir. Bu elementler sayesinde korozyon dayanımı da artar. Temperleme işlemi yapılarak hızlı soğuma sonucu oluşan sertlik düşürülüp tokluk artırılabilir. Gri dökme demirlerdeki grafitler yaprak şeklinde olduğundan, yapı içerisinde çatlak gibi davranırlar ve süneklilikleri düşüktür. Ana yapı içerisinde çatlaklar, bu grafitlerden oldukça kolay başlar ve malzemeyi plastik deformasyona uğratmadan ilerlerler. Gri dökme demir en çok kullanılan dökme demir türüdür ve bazı önlemler ile kaynak yapılabilir hale gelirler. Gri dökme demirler makina ve otomotiv sanayisinde kullanılır. Otomotiv parçalarından debriyaj balatası ve şaft ekipmanlarında, ingot, pota, boru valf, flanşlar gri dökme demir olarak üretilirler.

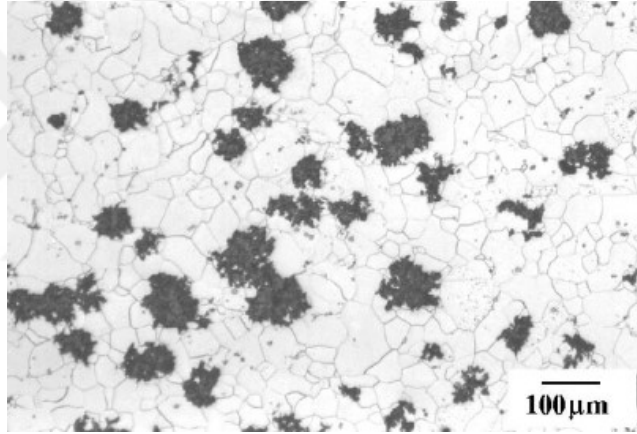


Şekil 2.3 Gri dökme demirlerin mikroyapı görüntüsü [73]

2.2.3. Temper Dökme Demir

Beyaz dökme demirin ısıtılma işlemi (temperleme) tabii tutulması ile temper dökme demir elde edilir. Beyaz dökme demir, düşük karbon ve silisyum içermesi, krom, molibden, vanadyum gibi elementlerin bulunması ve hızlıca katılaşır ve soğuması ile sağlanır. Sonrasında kontrollü fırında 900-950°C ısıtılır ve bu sıcaklıkta bir süre bekletilir. Temperleme işlemi,

çözünen karbonun östenit faz içerisinde düzgün yüzeyli olmayan küresel grafit taneleri şeklinde çökmesini sağlar ve toplam 6 gün sürer. Yavaş yavaş soğuma ile de temper karbon oluşur Perlit veya martensit yapıyı, alaşım elementleri katarak ya da havada veya suda soğutarak oluşturulabilir. Bu dökme demirlerde ana yapı ferrittir. Temper dökme demirlerin mikroyapısı Şekil 2.4’de verilmiştir. Temper dökme demirlerde bir miktar süneklilik vardır. Çünkü karbonlar rozet şekildedir. Bu dökme demirlerde de süneklilik ve mukavemet metalürjik yapıyla ilgili olduğu gibi, serbest grafitin dağılımına da bağlıdır. Temper dökme demirler kaynak işlemine tabi tutulurken, kaynak metalinin soğuması sırasında ısıtılmanın etkisi sona erer ve hızlıca soğuduğundan kırılğan bir yapı oluşur. Bu nedenle kaynak yapılan kısım, kaynak işleminden sonra tekrar ısıtılma işlemi yapılarak temper dökme demirin yapısı oluşturulmalıdır. Temper dökme demirler, boru ve boru bağlantılarında, otomobil endüstrisinde, kompresör, krank mili ve göbeği, diferansiyel elemanları, bağlantı çubuk ve elemanlarında kullanılır.

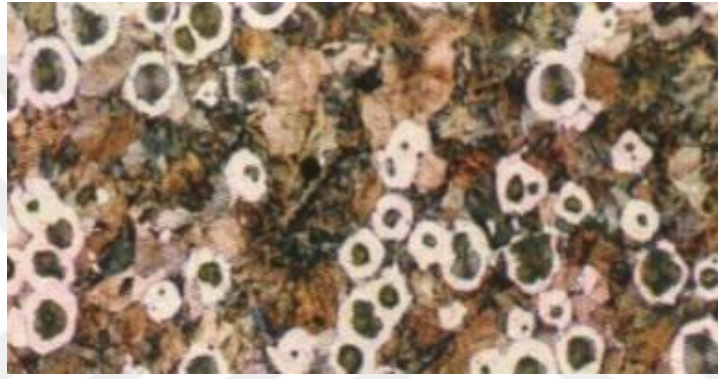


Şekil 2.4 Temper dökme demirlerin mikroyapısı

2.2.4. Küresel Grafitli Dökme Demir

Küresel dökme demir kimyasal bileşimi gri dökme demir ile aynı fakat üretim şekilleri farklılık göstermektedir. Mukavemet ve süneklilikte çeliklere benzerler. Gri dökme demirlerde grafit yapraklarının biçimi çatlak oluşturma özelliğinden ötürü gri dökme demirin mukavemetini, tokluğunu ve sünekliliğini azaltan ana unsurdur. Grafitin küresel olması mukavemet ve sünekliliği artırır. Böylece çeliklerin mukavemet ve süneklilik özellikleriyle, dökme demirlerin düşük maliyet, aşınma direnci birleşerek daha avantajlı bir malzemeye dönüşür. Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı Şekil 2.5’de verilmiştir. Grafitin küresel hale getirilmesi işlemi magnezyum veya seryumun ergimiş metale ilavesi ile yapılabilir. Bu işlem için en az ağırlıkça %0,035 Magnezyum bulunması gereklidir. Si

yaprakları büyüteceğinden gri dökme demirden küresel dökme demir elde edebilmek için maksimum seviyede olmalıdır. Küresel dökme demir bazı durumlarda nodüler demir olarak da ifade edilir ve çeşitli metalürjik hallerde bulunabilir. Bir ferrit yapıya sahip küresel dökme demirde süneklik yüksek iken, diğer perlit yapıya sahip küresel dökme demirde mukavemet yüksek olabilir. Perlit yapıya sahip olan yüksek mukavemet sağlarken, östenitik yapıya sahip olan ise yüksek korozyon ve yüksek dayanım sağlar. Pompalar, Atık su ve basınçlı borular, vanalar ve pompalar küresel dökme demirden üretilir. Bu ürünlerin küresel dökme demirden üretilmesinin nedeni ise tokluğunun ve kaynak yeteneğinin iyi olmasıdır. G:Gri dökme demir, M:Temper dökme demir, D:Küresel dökme demir için kullanılan simgelerdir.



Şekil 2.5 Küresel Grafitli Dökme Demir Mikroyapısı

2.2.5. SiMo (Silisyum-Molibden) Küresel Grafitli Dökme Demirler

SiMo dökme demirler, yüksek sıcaklık dayanımının yanında sertlik ve belli bir sünekliğe de sahip malzemelere alternatif dökme demirdir. Sfero, yani küresel grafitli dökme demir yapısına sahip olarak üretilen bu malzemeler, bilinen sfero dökme demirlere göre daha yüksek oranda silisyum (Si) ve bir miktar da molibden (Mo) içerirler [74]. Piston motorlu egzoz manifoldlarında ve turbo şarj uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu malzemelerin başlıca sınıfları ve yaklaşık bileşim önerileri Tablo 2.2’de incelenebilir.

Tablo 2.2 SiMo alaşımlı ferritik sfero dökme demir sınıfları ve yaklaşık kompozisyon önerileri (DIN EN 16124) [74]

Malzeme Kodu	No.	Silisyum (%)	Molibden (%)
EN-GJS-SiMo25-5	53.111	2,3 – 2,7	0,4 – 0,6

Tablo 2.2 (devam):

EN-GJS-SiMo30-7	53.112	2,8 – 3,2	0,6 – 0,8
EN-GJS-SiMo35-5	53.113	3,3 – 3,7	0,4 – 0,6
EN-GJS-SiMo40-6	53.114	3,8 – 4,2	0,5 – 0,7
EN-GJS-SiMo40-10	53.115		0,8 – 1,1
EN-GJS-SiMo45-6	53.116	4,3 – 4,7	0,5 – 0,7
EN-GJS-SiMo45-10	53.117		0,8 – 1,1
EN-GJS-SiMo50-6	53.118	4,8 – 5,2	0,5 – 0,7
EN-GJS-SiMo50-10	53.119		0,8 – 1,1

SiMo alaşımlı sfero dökme demirler, ferritik bir yapı göstermeleri nedeniyle belli bir süneklığe sahip yapıda bulunurlar. Yüksek silisyum, hem ferritik bir mikroyapıyı hem de östenit dönüşüm sıcaklığını yukarı çekmektedir. Bu sayede malzemenin yüksek sıcaklıktaki kararlılığını arttırmaktadır. Yüksek silisyum neticesinde katı çözelti sertleşmesi oluşur. Bu sayede, çekme dayanımı ile akma dayanımında da önemli bir artış meydana getirmektedir. SiMo dökme demirlerin yüksek sıcaklıkta meydana gelen sürünmeye karşı daha yüksek bir direnç ortaya koymaktadırlar. Tablo 2.3'te SiMo alaşımlı sfero dökme demirlerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3 SiMo alaşımlı ferritik sfero dökme demirlerin mekanik özellikleri (DIN EN 16124)[74]

Malzeme Kodu	Akma (MPa)	Çekme (MPa)	Uzama (%)
EN-GJS-SiMo25-5	260	420	12
EN-GJS-SiMo-30-7	310	440	10
EN-GJS-SiMo-35-5	330	440	8
EN-GJS-SiMo-40-6	380	480	8
EN-GJS-SiMo-40-10	400	510	6
EN-GJS-SiMo-45-6	420	520	7

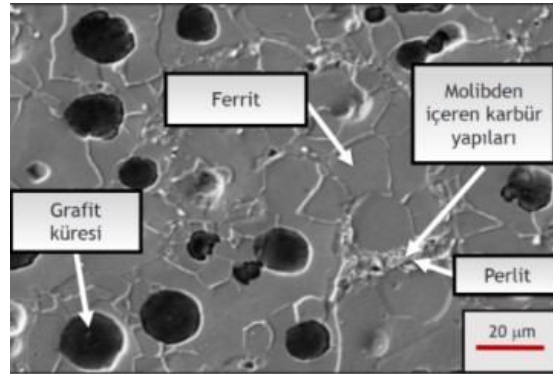
Tablo 2.3 (devam):

EN-GJS-SiMo-45-10	460	550	5
EN-GJS-SiMo-50-6	480	580	4
EN-GJS-SiMo-50-10	500	600	3

Küresel grafitli dökme demirlerde olduğu gibi SiMo alaşımlı dökme demirlerde de manganez seviyesi, normal şartlarda %0,20, maksimum %0,40 seviyelerinde kalmalıdır. Aynı zamanda fosfor ve kükürt seviyelerinin de düşük tutulması önemlidir. Her ne kadar bu özel alaşımın temel bileşenlerinden biri olsa da, yüksek karbür yapıcı etkisi nedeniyle molibdeni dikkatli kullanmak da gereklidir. İndüksiyon ocağında ergitme işleminin son aşamasında ferro molibden formunda eklenen bu elementin oranını, alaşım tablolarında gösterilen aralıkların düşük tarafına yakın tutmak gerekiyor. Normal üretim prosedüründe herhangi bir ısıtma işlemi yer almayan SiMo ferritik sfero dökme demirlerin döküm sıcaklığının, geleneksel sfero dökme demirlerin döküm sıcaklığına kıyasla 100°C kadar yukarıda tutulması tavsiye edilir [75].

2.2.5.1. SiMo Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapısı

Şekil 2.6’da ferritik tanelerle çevrelenmiş grafit nodüllerden oluşan elektron mikroskopunun (SEM, ZEISS Supra 55 EDS, Marly le Roi, Fransa) taramasıyla gözlemlenen genel mikroyapıyı göstermektedir. Bu gözlemler enerji dağıtıcı spektrometri (EDS) ile birleştiğinde, ilave elemanların konumlarının haritalandırılmasını sağlar. Bu, perlitin (yüzeyde yaklaşık %10) zengin molibden karbür alanlarına yakın olduğunu vurgulamaktadır[76].



Şekil 2.6 Silisyum Molibden karışımına sahip küresel grafitli dökme demir mikroyapısı [76]

3. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

Birçok çeşitli parçanın imal edilmesinde talaşlı imalat metodu kullanılmaktadır. Çeşitli tezgâh ve kesici takımlar ile istenen kalite şartlarında ve boyutlarında parça üretim metoduna talaşlı imalat denmektedir. Talaşsız imalat yöntemleri ile Çok kısa bir zamanda gerçekleşmesine rağmen, talaşsız imalat yöntemleri (döküm vb.) ile de parça üretimleri daha az maliyetle ve daha seri bir şekilde üretmek mümkündür. Fakat istenilen şartları ve hassas boyutlara sağlanamadığı için talaşsız imalat yöntemi tercih edilmemektedir. Dolayısı ile parça boyutlarında ve kalite şartlarının sağlanması amacıyla parçanın bölgesel ya da tamamen işlenmesi yapılmaktadır. [77]. Gerek hassas gerekse hassas olmayan yüzey kalitelerinde ve toleranslar dâhilinde üretimler gerçekleştirilir.

Birçok katı malzeme talaşlı imalat ile üretilmektedir. Fakat talaşlı imalat, aynı zamanda talaş oluşturarak üretim yapan bir üretim yöntemidir. Kalite şartlarını sağlarken aynı zamanda uygun talaş oluşumunu sağlamak zorundadır. Bu yüzden de işleme sırasında talaşın koparılması gerekir. İşleme sırasında oluşacak ısıyı azaltabilmek için bu önemli bir konudur. [78]

Takım: Talaşlı imalatı iş parçası üzerinden parçaları keserek talaş kaldırmayı sağlayan ve sert malzemelerden üretilmiş aparatlara “takım” adı verilir.

Takım tezgâhı: Talaşlı imalat üretiminde gerekli olan güç ve hareketi sağlayan makinelerdir. Talaşlı imalat tezgâhları kullanılan takım ve işleyeceği malzemenin hareket şekline göre isimlendirilirler

3.1. Talaş Kaldırma Yöntemleri

- Tornalama
- Delik Delme
- Frezeleme
- Diğer talaş kaldırma yöntemleri

3.1.1. Frezeleme

Frezelemede, kesme işlemi takımın kendi eksenini dönmesi ve işlenecek malzemenin ilerleme hareketi yapması sonucu ortaya çıkan bir işlemdir. Frezeleme, takım etrafındaki kesici uçlar yardımıyla yapılır. Frezeler, işleme yöntemi bakımından çevresel ve alın frezeleme olmak üzere iki gruba ayrılır. Çevresel frezelemede talaş, takımın etrafında bulunan kesici uçlar, alın frezelemede ise takımın alın yüzeyindeki kesici uçlar yardımıyla kaldırılır. Frezeler takımın bağlandığı mil göre adlandırılır. Takımın bağlandığı mil yatay ise yatay freze, dikey olana; dikey freze denir. Ayrıca hem yatay, hem de dikey çalışan frezelere universal tezgâh adı verilir. Freze takımları hız çeliğinden üretilir, tek parçadır ve sert malzeme ile yapılan uçlu olabilirler. Tek parça takımlar tek kullanımlık olmakla birlikte (Bileme işlemine tabi tutulabilirler.), kesici uçlu frezeler uçları değiştirilerek kullanıma devam edilebilirler. Frezelerdeki önemli noktalardan biri de üzerinde bulunan diş (kesici uç) sayısıdır. Diş sayısı işlenen malzemeye uygun göre seçilmelidir. Sertliği düşük malzemelerin işlenmesinde daha büyük boyutlarda talaş kaldırılacağından diş sayısının az, dişler arası boşluk fazla olmalı, sertliği yüksek malzemelerde ise diş sayısı fazla ve dişler arası boşluk az olmalıdır.

3.1.1.1. Frezelemede Kesme Hızını Etkileyen Faktörler

Kesme Hızı: Takımın çevresindeki herhangi bir kesici ucun dakikada metre cinsinden aldığı yola kesme hızı denir.

Kesilen malzemenin cinsi

Kullanılan kesici takımın cinsi

Freze tezgâhının gücü ve kapasitesi

İlerleme miktarı

Talaş derinliği

İşleme cinsi

$V = \text{Kesme hızı (m/dk)}$ $D = \text{Takım çapı (mm)}$ $N = \text{Devir sayısı (dev/dk)}$

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \quad (\text{m/dk}) \quad (3.1)$$

İlerleme: Kesme esnasında takımın dakikada mm cinsinden aldığı yola ilerleme denir.

- İşlenen malzemenin cinsi
- Kaldırılan talaş miktarı
- Tezgâhın devir sayısı
- Kullanılan kesicinin cinsi
- İşleme cinsi (Silindirik/Alın frezeleme)
- İstenen yüzey kalitesi

f_z = ilerleme (mm/dk) f_z = Kesici uç başına ilerleme (mm/uç) Bu değer tablodan alınır

f_n = Takımın kesici uç sayısı N = İş mili devir sayısı (dev/dk)

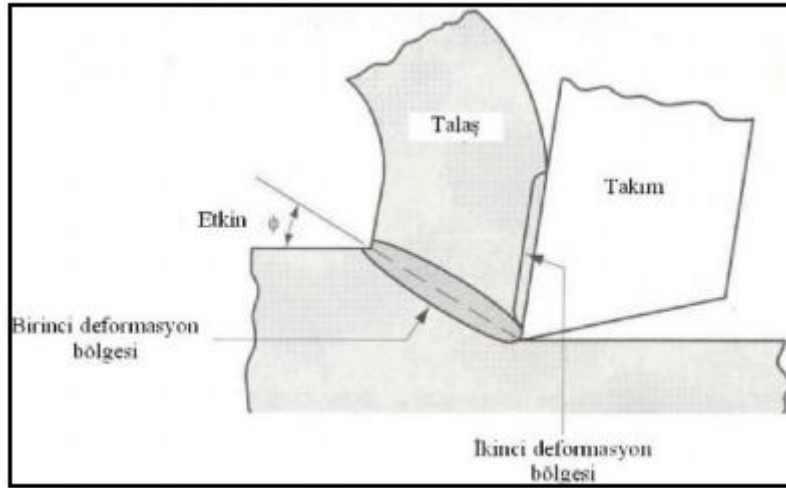
$$f = f_z \cdot f_n \cdot N \quad (mm/dk) \quad (3.2)$$

3.1.1.2. Talaş Oluşumu

Belli bir ölçü ve kalitede parça üretebilmek için, kesici takımlar yardımıyla parça üzerinden malzeme kaldırma işlemine talaş kaldırma denir. Kaldırılan bu malzeme parçacığına da talaş denilmektedir.

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için, ucu keskin bir takım ile güç kullanarak, iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir[77].

Talaş oluşumu için ilk olarak kesici takımın kesilecek parçadan daha sert olması gerekir. Kesme işleminin başlaması ve talaş oluşumu için, ilerleme, belirli bir talaş derinliği, tezgâhta belli oranda bir güç, kesme hızı ve parçaya dalmayı sağlayacak uç geometrisi gereklidir. Talaş oluşumu, parçanın kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir. Parça ve kesici takım arasındaki bölgesel hareket sonucu parça üzerinde oluşan gerilme, parça üzerinde plastik deformasyon meydana getirerek talaş oluşumunu gerçekleştirir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Talaş Oluşumu [79]

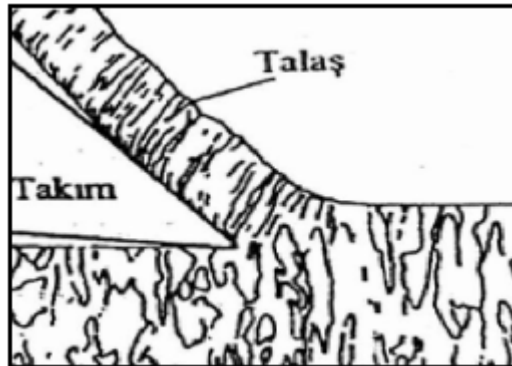
Oluşan talaş, kesici takım yüzeyi üzerinden uzaklaştırılır. Deformasyon düzleminde oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar bölgeden atılır[79].

3.1.1.3. Talaş Tipleri

Takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme miktarı ve malzeme cinsi gibi parametreler bağlı olarak oluşan talaş tipleri de değişmektedir. Oluşan talaşın parçadan ve takımdan uzaklaşması önemlidir. Çünkü biriken çapak takım ve parçaya birikerek, yüzey kalitesinin bozulmasına ve kesici takımın zarar görmesine neden olur [80].

3.1.1.3.1. Sürekli Talaş

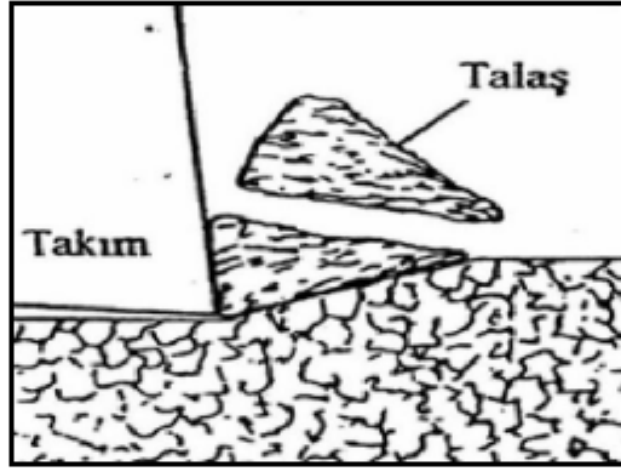
Sünek malzemelerin işlenmesi sırasında oluşan talaş türüdür. Takım etrafına dolanarak yüzeylerde sertleşir ve takım aşınmasında rol oynar[79].



Şekil 3.2 Sürekli Talaş [79]

3.1.1.3.2. Kesiklik Talaş

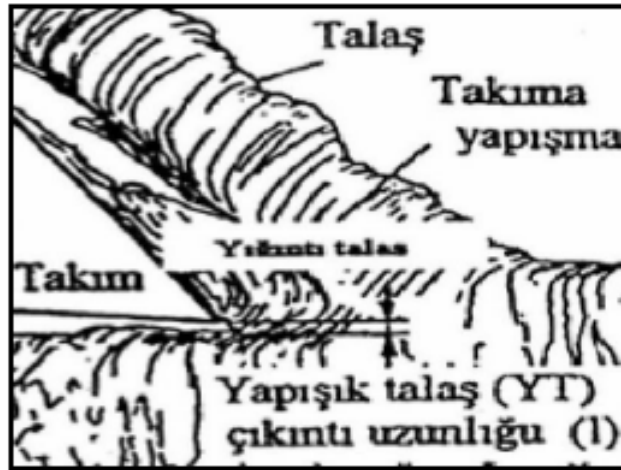
Dökme demir gibi gevrek malzemenin işlenmesinde ve düşük kesme hızlarında oluşan talaş türüdür. İşleme bölgesinde deformasyona uğrar ve bu bölgede kırılır [79].



Şekil 3.3 Kesikli Talaş [79]

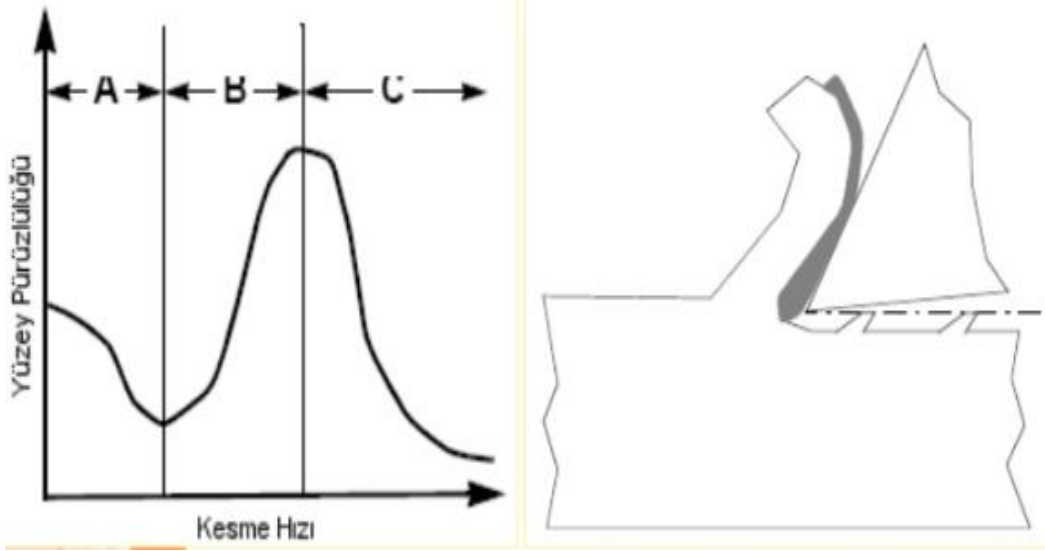
3.1.1.3.3. Sıvanmalı Sürekli Talaş

Sıcaklığın düşük olduğu ve soğutma sıvısı kullanılmadığı durumlarda, sürekli çıkan talaş kesici takım yüzeyine yapışması ile oluşur. Takımda yığılarak biriken talaş parçacıklarına yığıntı talaş denir [79].



Şekil 3.4 Kesikli Talaş [79]

Build Up Edge (Ağz Birikintisi), Talaşın kesici takım ucunda biriken, takıma kaynamış olan ve yüksek sertliğe sahip malzemeye denir. Düşük hızlarda meydana gelen birikinti yüzey kalitesini olumsuz etkiler.



Şekil 3.5 Build Up Edge (Ağız Birikintisi)

A: Talaş sürekli değildir ve yüzey kalitesi yüksektir.

B: Build Up Edge oluşur ve yüzey kalitesi düşüktür.

C: Build Up Edge gittikçe azalır.

Kesme hızının artması ile ağız birikintisi de azalma gösterir.

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Kesici bir takımın, iş parçası yüzeyini işlemesi sırasında yüzey alanı iki uç noktadaki düzensiz dalga boyu uzunluklarına pürüzlülük adı verilmektedir. İşlenmiş parçaların yüzey kalitesinin gösteren yüzey pürüzlülüğüdür ve işlenebilirlik ölçümünün en önemli kriterlerden birisidir. Yüzey pürüzlülüğü temelde takım geometrisi (uç radyusu, kesme kenar geometrisi, boşluk açısı vs.) ve kesme şartları (ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği vs.) gibi işleme parametrelerine bağlı olduğu gibi malzemenin özelliklerine de bağlıdır. Talaş kaldırma yöntemlerinin değişmesiyle yüzey pürüzlülüğü de farklılık göstermektedir. Yüzey pürüzlülük değerinin doğru belirlenmesi, malzeme, enerji ve işçilik maliyetlerine direk etki eder. Yanlış belirlenen bir yüzey pürüzlülük değeri, çoğunlukla parçanın kabul edilmeme nedeni olabilir.

Bu amaç için kullanılan parametreler aşağıda olduğu gibi gösterilir:

Ra: Aritmetik ortalama sapma

Rz (JIS): 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması

Rt: Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı

Rq: Aritmetik ortalama sapmaların karekökü anlamında bir parametredir.

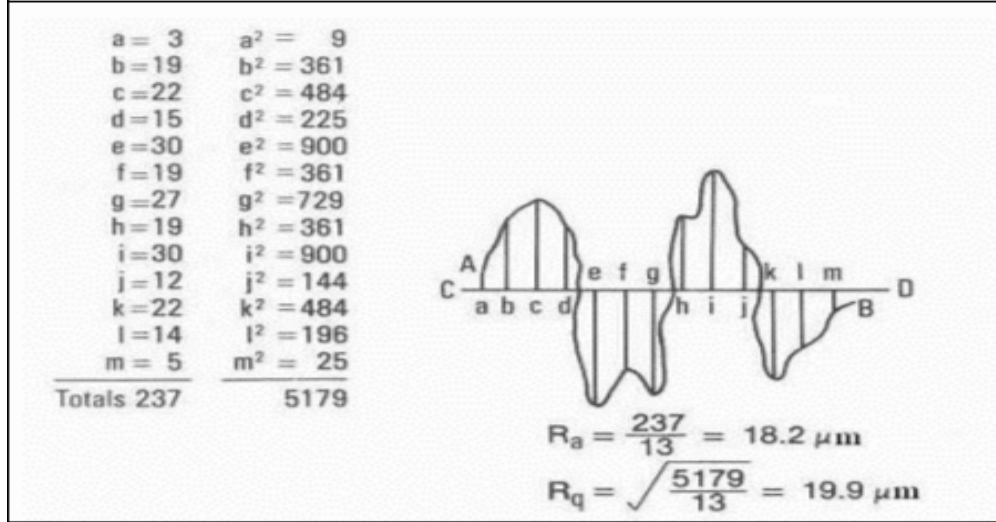
Yüzey pürüzlülüğünün büyük öneme sahip olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü ölçümü kalite kontrolü sürecine dâhil olur. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayımla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir.

Yüzey pürüzlülüğü; aritmetik ortalama değer (R_a) ve kareköklerin ortalaması (R_q) olmak üzere iki metotla belirlenir. R_q pürüzlülük ölçmede büyük sapmaları da dâhil ettiği için gerçeğe daha yakın olmakla beraber, R_a değeri, daha çok kullanılmaktadır. R_a ve R_q değerlerinin hesaplanması Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

Talaşlı imalatla yüzey pürüzlülüğü ile yüzey kalitesini gösteren semboller arasında bir bağıntı bulunmaktadır. Tablo 3.1’de ISO sistemine göre bu bağıntı gösterilmiştir.

Tablo 3.1 R_a pürüzlülük değerleri ile yüzey kalite sembolleri arasındaki bağıntı (TS 2040: Türk Standartları Enstitüsü, 2005) [81]

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	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽			
Tezgâh İşleme	Laplama			Taşlama			İnce İşleme			Orta İşleme			Kaba İşleme



Şekil 3.6 Ra Rq değerlerinin hesaplanması

3.3. İşlenebilirlik

Malzemelerin işlenebilirlik kabiliyetinin tespitinde kullanılan değerlendirme kıstasları;

- Talaşlı işlenebilirlik indeksi (referans bir malzemeye göre malzemelerin işlenebilme hızı sırası)
- Dakika ve saniye cinsinden verilen takım ömrü için kesme hızı değeri veya işlenen malzemenin hacmi.
- Kesici uç aşınma miktarı
- Standart kesme ve besleme hızları ile oluşan yüzey kalitesi

İyi işlenebilir bir malzeme;

- Talaşlı imalat işleminde kısa zamanda ve yüksek talaş oranı ile işlenmeli
- Oluşan yüzey kalitesi iyi olmalı
- Kesici takım aşınmasının az olması ve ömrünün fazla olması
- Çıkan talaş kolaylıkla kırılıp parçadan uzaklaşabilmeli

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, EN - GJS - XSiMo - 40.10 Yüksek sıcaklığa dayanıklı SiMo dökme demir malzemeden üretilmiş Egzoz Manifoldu numunesinin yatay işleme merkezinde frezeleme işleminde, belirlenen kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğü, gürültü seviyesi ve kesici uç aşınmasına etkileri ortaya konulmuş olup bu çalışmaların gerçekleştirilmesi için kullanılan malzeme ve yöntemler aşağıdaki başlıklar altında sıralanmıştır,

- EN - GJS - XSiMo - 40.10 Malzeme Bilgileri
- Deneyler İçin Kullanılan CNC Yatay İşleme Merkezi Tezgâhı
- Kullanılan Kesici Takımlar
- Frezeleme İşlemi İçin Kesme Parametrelerinin Tayin Edilmesi
- Egzoz Manifoldu Numunesi
- Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi
- Tezgâh Gürültü Seviyesinin İncelenmesi

4.1. EN - GJS - XSiMo - 40.10 Malzeme Bilgileri ve Genel Spekt Değerleri

Deney parçasından alınan numunelerin yüzeyleri, Şekil 4.1’de gösterilen Struers marka 50-500 rpm tabla hızı sahip zımparalama ve yüzey parlatma cihazı ile zımparalama işlemi yapılmıştır. 80 tane numaralı, zımpara ile yüzey parlatılarak spektro analizine hazırlanmıştır.



Şekil 4.1 Deney parçası analiz öncesi zımparalama işlemi

Zımparalama işlemi sonrası numuneye ait spektral analizler, Şekil 4.2’de gösterilen Çemaş kalite laboratuvarında bulunan 22 kanallı, 22 elemen kapasiteli OBLF marka, RS1000 serisi spektrometre cihazı ile yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.1’de belirtilmiştir.



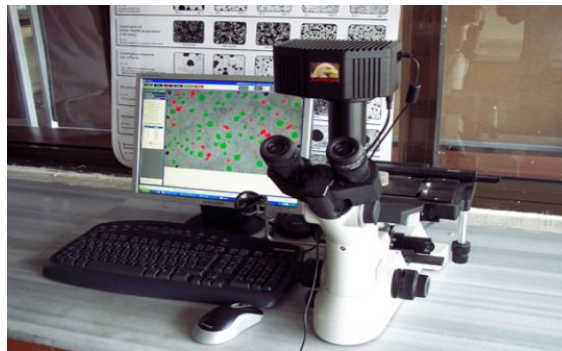
Şekil 4.2 Deney parçası spektro analizi

Deneylerde kullanılan egzoz manifold malzemesine ait kimyasal bileşim Tablo 4.1’de verilmiştir. Küresel grafitli dökme demirlere oranla daha fazla miktarda Silisyum ve bir miktarda Molibden içermektedir.

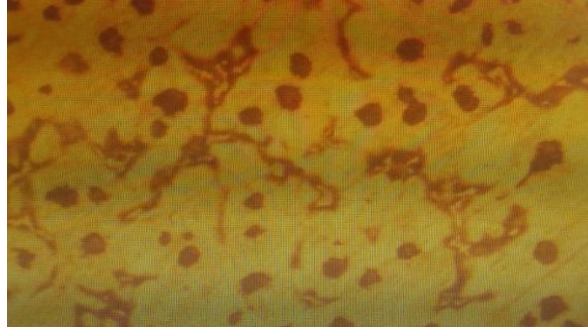
Tablo 4.1 EN - GJS - XSiMo - 40.10 SiMo Alaşımli Sfero dökme demirin kimyasal bileşimi (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Mg
3,2	3,7	0,2	0,011	0,016	0,05	0,71	0,06

Mikroyapı numuneleri ilk olarak 120 tane numaralı sonrasında ise kademeli olarak 320 ve 1000 tane numaralı zımpara ile zımparalanmıştır. Zımparalama işlemi sonrası 6 mikronluk süspansiyon ile parlatma çuhasında parlatılmıştır. Numuneye ait mikroyapı görüntüleri, Şekil 4.3’te belirtilen Olympus, Pme 3 ve Nikon Ma 100 marka mikroskop ile görüntülenmiştir. Mikroyapı görüntüleri Şekil 4.4’te belirtilmiştir.



Şekil 4.3 Deney parçası mikroyapı görüntüleme işlemi



Şekil 4.4 Egzoz manifold numunesi 100X büyütme mikroyapı görüntüsü

Parça ile birlikte dökümü yapılan çekme test numuneleri istenilen boyutlara universal torna tezgâhı yardımı ile getirildikten sonra, Şekil 4.5'te belirtilen 30 ton çekme kapasiteli Alşa marka Ktm 300 serisi çekme test cihazı ile çekme testleri yapılmıştır. Değerler, Tablo 4.2 de çekme diyagramı ise Şekil 4.7'de belirtilmiştir.



Şekil 4.5 Çekme Test Cihazı

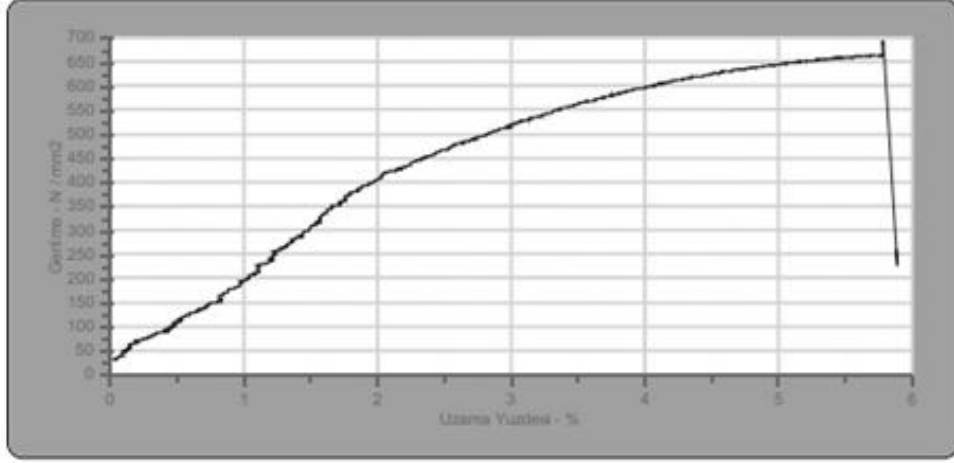
Ayrıca sertlik ölçümleri ise Şekil 4.6'da belirtilen Rockwell Minor-69 marka sertlik cihazı ile yapılmıştır. Cihaza ait doğrulama plakaları ile cihaz doğrulaması yapıldıktan sonra hazırlanmış numunelerin tablaya paralel oturması sağlanmıştır. Sonrasında 5 mm çapındaki bilye ile 750 Kg lık bir ağırlık uygulanmıştır (İz çapı, bilye çapının 0.2 ile 0.7'si arasında olmasına dikkat edilerek yük belirlenmiştir.) Bu şekilde 10 farklı parçadan sertlik ölçümleri alınmış ve Tablo 4.2'de belirtilmiştir. Sertlik ölçümleri arasındaki standart sapma değeri ise 5,25 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6 Minor 69 Marka-Rockwell Sertlik Ölçme Cihazı

Tablo 4.2 EN - GJS - XSiMo - 40.10 SiMo Alaşımlı Sfero Dökme Demirin Mekanik Özellikleri

SEMBOL	0,2 % AKMA MUKAVEMETİ	ÇEKME MUKAVEMETİ	UZAMA	SERTLİK
	Rp0,2	Rm	A	HB
	Mpa (Min)	Mpa (Min)	% (Min)	(Min)
EN-GJSXSİMO 40.10	417	664	5,9	220
				218
				222
				225
				220
				227
				217
				212
				224
				230



Şekil 4.7 Egzoz manifold deney numunesine ait Gerime-% uzama grafiği

4.2. Kullanılan İşleme Tezgâhı

Deneylerde kullanılan Egzoz manifold numune parçası, Çemaş Döküm San. Aş. Talaşlı İmalat bölümünde bulunan 6 paletli Fanuc kontrol ünitesine sahip, 4 eksenli Mazak HCN – 4000 tipi yatay işleme merkezinde işlenmiştir.



Şekil 4.8 4 eksenli Mazak HCN-4000 yatay işleme merkezi

Maksimum iş mili hızı: 12000 d/d 'dan 30000 d/d'ya kadar

Takım değişirme süresi: 2.4 sn

Eksen hızlanması / yavaşlaması (X-, Y-, Z- eksenleri) : 1.0 G

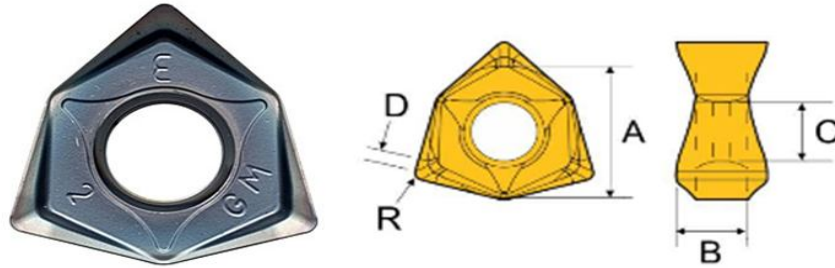
4.3. Kullanılan Kesici Takım ve Uçlar

Belirli sayılarda kesici uç bağlanabilen ve bu sayede yüzey frezelemesi işlemini gerçekleştiren takımlar, tarama kafası olarak adlandırılır. Deneylerde de 12 ağız geometrisine sahip Seco marka tarama kafası kullanılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 12 ağız geometrisine sahip tarama (freze) takımı

Ayrıca küresel grafitli dökme demir malzemelerin işlenmesinde yaygınca kullanılan karbür 6 ağızlı kesici uçlar kullanılmıştır. Kesici uçlar WNMU080608TR-GM PR1510 ticari kalite kodu ile tanımlanmakta olup, Kyocera markadır (Şekil 4.10). Kesici uca ait özellikler Tablo 4.3 de verilmiştir.



Şekil 4.10 WNMU080608TR-GM PR1510 takım geometrisine sahip kesici takım ucu

Tablo 4.3 Kesici Uç Özellikleri

Özellikler	
Ticari Kodu	WNMU
Boyut (mm)	6
Köşe yarıçapı / pah (mm)	0.8
Sınıf	PR1510
Talaş kırıcı	GM
Marka	Kyocera
Yüzey kaplama	PVD

4.4. Kesme Parametrelerinin Tayin Edilmesi ve Taguchi Yöntemi

Kesme parametrelerin daha optimum belirlenmesi ve yapılacak olan deneylerdeki süre ve malzeme israfını önlemek amacıyla Taguchi deneysel tasarım tekniği kullanımı oldukça yaygındır. Proses parametrelerinin daha az sayıda deney yaparak, optimize etmeyi amaçlayan bir tekniktir. Kalite sistemlerini güçlendirme ve standartlar oluşturma konusunda önemli yer tutmaktadır. Sistem, parametre ve tolerans tasarımı gibi üç adımda verimli tasarımlar yapabilmeyi amaçlayan bir yöntemdir[82].

Sistem tasarımında; ön tasarım oluşturabilmek için veri tabanı oluşturulur. Sonrasında ise parametre tasarımı oluşturulur. Parametre tasarımının amacı ise ürün kalite gerekliliklerini geliştirerek proses parametrelerinin optimizasyonu sağlamaktır. Bu yöntemin kullanılması, çıktıların hedefe yakın ve en düşük standart sapma ile sağlanması açısından oldukça önemlidir. Deneylerde etki eden faktörlerin en uygun seviyelerinin tanımlanması parametre tasarımı ile sağlanmış olur [83].

Özetle;

- Bağımlı parametrelerin (yüzey pürüzlülüğü gibi) ve bağımsız parametrelerin (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği gibi) belirlenmesi
- Etkileşim seviyelerinin oluşturulması
- Ortogonal dizin belirlenerek, parametrelerin uygun seviyelerinin yerleştirilmesi
- Deneysel çalışmasının yapılması
- Deney sonuçlarının Sinyal / Gürültü oranlarının hesaplanması ve analizi
- Optimum parametrelerin tayini
- Doğrulamaların yapılması şeklinde aşamalandırılabilir [79-83].

LX(Y^Z)

Bu kodlamada sisteminde;

L: Latin kare tabanlı

X: Deney sayısı

Y: Seviye sayısı

Z: Max faktör sayısını

S/N: Sinyal / Gürültü oranını ifade etmektedir.

Deneylerimizde L9 (3³) sistemi kullanılmıştır.

Bir sonraki aşama Sinyal / Gürültü değerlerini hesaplayarak analiz edilmesidir. Değişkenlikleri minimize etmek için S/N oranı, hedef değerın sağlanması için ise sonuç değerlerinin aritmetik ortalaması kullanılır [83].

S/N oranı üç şekilde hesaplanabilmektedir;

En küçük en iyi, Değişkenlik ve ortalama değerin en küçüğünün amaçlandığı durumlarda kullanılır. (Örneğin yüzey pürüzlülük deneyleri)

$$\frac{S}{N} [dB] = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (4.1)$$

denklemleri ile hesaplanır.

En büyük en iyi, Değişkenliğin küçük, ortalamasının büyütölmek istendiğı durumlarda kullanılır (Örneğin güç, verim).

$$\frac{S}{N} [dB] = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1/y_i^2 \right] \quad (4.2)$$

denklemleri ile hesaplanır.

Nominal daha iyi, Değişkenliğin oldukça küçölmek istendiğı durumlarda kullanılır (Örneğin boyutsal ölçüler).

$$\frac{S}{N} [dB] = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{y}^2 / S^2 \right] \quad (4.3)$$

denklemleri ile hesaplanır.

Bu deney çalışmalarında da Taguchi yöntemi kullanılmış ve en küçük en iyidir yaklaşımı ile analizler yapılmıştır [84].

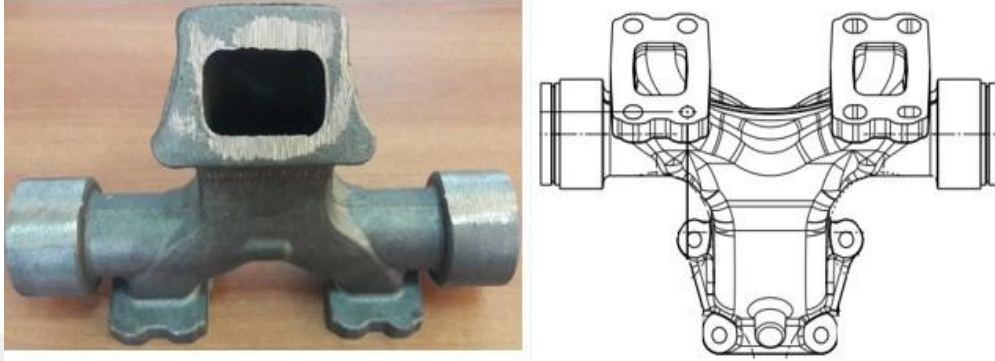
Kesici uç üretici firmasının ISO 3685’de standardına göre belirlediğı ve küresel grafitli dökme demirler için önerilen (K) değeri aralığından Tablo 4.4’te belirtilen kesme hızları, 120 / 240 / 360 m/min olarak seçilmiştir. 0,5 / 0,75 / 1 mm radyal kesme derinliğı için 3 farklı ilerleme değeri (0,20 / 0,4 / 0,6 mm/dış) ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Her deneyde, frezeleme işlemleri öncesi, farklı bir kesici takım ile yüzeyden 2 mm talaş kaldırılarak homojen bir işleme yapılması amaçlanmıştır.

Tablo 4.4 Deney Faktör ve Seviyeleri

Faktörler	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
1-Kesme Hızı (m/min)	120	240	360
2-İlerleme (mm/dış)	0,2	0,4	0,6
3-Radyal Kesme Derinliğı (mm)	0,5	0,75	1

4.5. Egzoz Manifold Numunesi

Deneylerde kullanılan egzoz manifoldu parçası, Ford Otosan tasarımı olup, 13,5 lt motor tiplerinde orta egzoz manifoldu olarak kullanılmaktadır. Üç farklı montaj temas yüzeyi ve iki farklı bağlantı çapı mevcuttur.



Şekil 4.11 SiMo malzemeden üretilmiş egzoz manifoldu

4.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

İş parçasının işlenmiş yüzeylerinin pürüzlülüğü, Çemaş Döküm San. A.Ş Talaşlı İmalat bölümünde bulunan TIME TR200 marka 0,8 mm / 2,5 mm cut off uzunluğuna sahip ve pürüzlülük grafiği oluşturabilen yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. (Şekil 4.12).Alınan ölçümlerde parça ölçüm yüzeyi, ölçüm probuna paralel olarak ayarlanıp, 8 farklı bölgeden ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması üzerinden sonuçlar analiz edilmiştir. Ölçümler 2,5mm cut off tarama mesafesi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.12 TIME TR200 tipi yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve ölçümü

4.7. Tezgâh Gürültü Ölçümü

Numune iş parçasının işlenmesi sırasında tezgâh zorlanmalarına bağlı olarak fabrika şartları dâhilinde ortaya çıkan gürültü seviyesi, Şekil 4.13'te görülen 1,4 db hassasiyete sahip CEM DT 805 marka gürültü ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümler, kesici takımın tamamen iş parçası yüzeyine girdiği anda alınarak maksimum zorlamanın ortaya çıkardığı gürültü değeri tespit edilmiştir.



Şekil 4.13 CEM DT805 Marka Gürültü Ölçüm Cihazı

5. BULGULAR

5.1. Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

SiMo küresel grafitli dökme demir malzemeden üretilen egzoz manifold numunesi deney tasarımı, deney sırasında oluşacak gereksiz maliyet ve işçilik israflarından tasarruf etmek amacıyla Taguchi L9 ortogonal 3x3 matrisi ile belirlenmiş olup, ıslak kesme şartlarında, üç farklı kesme hızı (120 m/min, 240 m/min, 360 m/min) üç farklı radyal kesme derinliği (0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm) ve üç farklı ilerleme (0,2 mm/diş 0,4 mm/diş 0,6 mm/diş) değerinde yapılan testler sonrası oluşan yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1 de her deney için 8 noktadan ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri ve bu değerler üzerinden Minitab 17.0 programı Taguchi analiz modülü ile hesaplanan S/N değerleri belirtilmiştir.

Tablo 5.1 Taguchi L9 Deney Tasarımı ile belirlenen Parametre ve Yüzey Pürüzlülük sonuçları

Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/diş)	Radyal Kesme Derinliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü-Ra (µm)								Yüzey Pürüzlülüğü-Ra (µm) Ortalama	S/N Oranı (dB)
			1 Bölge	2 Bölge	3 Bölge	4 Bölge	5 Bölge	6 Bölge	7 Bölge	8 Bölge		
120	0,2	0,5	0,284	0,489	0,241	0,238	0,501	0,402	0,311	0,391	0,357	8,95
120	0,4	0,75	0,521	0,655	0,583	0,405	0,792	0,608	0,552	0,487	0,575	4,81
120	0,6	1	0,771	0,774	0,742	0,802	0,846	0,921	0,795	0,742	0,799	1,95
240	0,2	0,75	0,261	0,354	0,177	0,217	0,298	0,273	0,221	0,408	0,276	11,18
240	0,4	1	0,644	0,662	0,505	0,592	0,519	0,489	0,59	0,447	0,556	5,10
240	0,6	0,5	0,875	0,728	0,875	0,694	0,715	0,615	0,778	0,586	0,733	2,70
360	0,2	1	0,377	0,38	0,29	0,352	0,46	0,397	0,333	0,366	0,369	8,66
360	0,4	0,5	0,827	0,65	0,62	0,47	0,622	0,621	0,68	0,513	0,625	4,08
360	0,6	0,75	0,562	0,39	0,373	0,384	0,553	0,452	0,417	0,426	0,445	7,03

Tablo 5.2’de her bir parametrenin etkisiyle oluşan yüzey pürüzlülük değerinin ortalaması belirtilmiştir. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerinde azalma, ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değerinde artış gözlemlenmiştir.

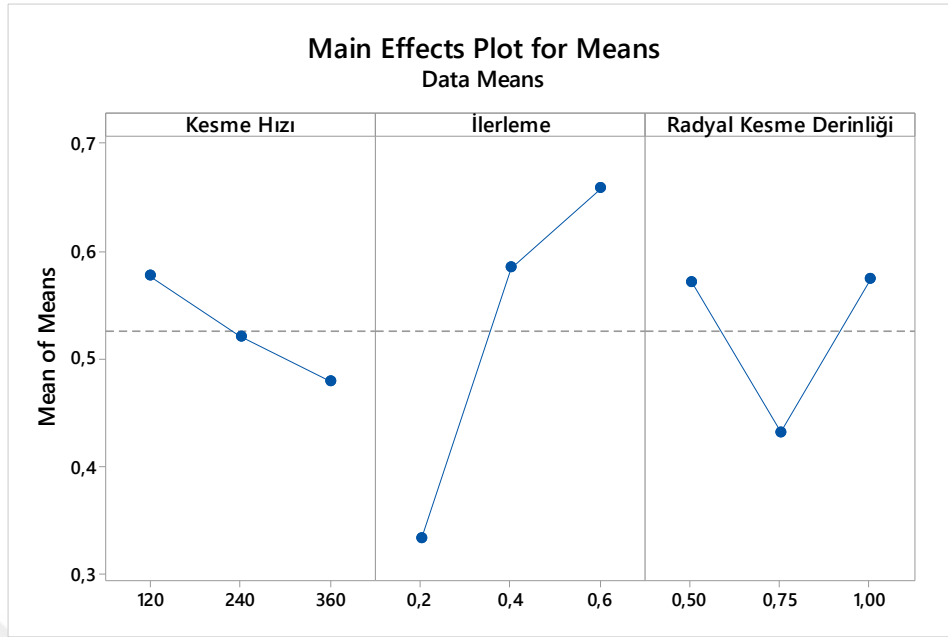
Üç farklı kesme derinliğinde ise (0,5 mm / 0,75 mm / 1mm) en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,75 mm de sağlanmıştır. Bunun iki nedeni olduğu düşünülmektedir.

a) Yığıntı talaş oluşumu ve Deformasyon Sertleşmesi, kesici uç üzerindeki biriken talaş, yüksek sıcaklık nedeniyle plastik deformasyona uğrayarak takıma kaynar, takımın bir parçası gibi davranır ve uç geometrisinde değişikliğe neden olur. Oluşan bu düzensiz geometri değişikliği ise yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkiler. [88]-[89]-[90]-[91]

b) Kyocera firması ile yapılan görüşme sonrası kullanılan kesici uç radyüsüne en yakın kesme derinliği seçildiğinde daha iyi sonuçlar elde edileceği bilgisi alınmıştır. Kesici uç radüs değerinden daha fazla kesme derinliği seçildiğinde kesme sırasında kesici uca fazla yüklenme kaynaklı olumsuz sonuçlar ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan kesici uç radyüs değerinden az bir talaş derinliği seçilmesi durumunda ise kesici ucun sadece uç kısmının kesmeye zorlanması nedeniyle uç kısımdaki aşınmaların hızlı olacağı nedeniyle olumsuz sonuçlar ortaya çıkacaktır. Bu doğrultuda, 0,75 mm kesme derinliğindeki yüzey pürüzlülük değerleri, 0,5 mm ve 1 mm kesme derinliğindeki yüzey pürüzlülük değerlerine göre daha düşük tespit edilmiştir.

Tablo 5.2 Ortalamalar için Sonuç Tablosu

Level	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/diş)	Radyal Kesme Derinliği (mm)
1	0,577	0,334	0,5717
2	0,5217	0,5853	0,432
3	0,4797	0,659	0,5747
Delta	0,0973	0,325	0,1427
Rank	3	1	2



Şekil 5.1 Ortalamalar için Sonuç Grafiği

Çetin ve diğ. (2011), AISI 6150 (50CrV4) ıslah çeliğinin sermet takım ile beş farklı kesme hızı (220, 240, 260, 280 ve 300 m/dak), 3 farklı ilerleme (0,10 - 0,16 ve 0,18 mm/diş) ve iki farklı kesme derinliği (0,5 - 1 mm) değerlerinde yaptıkları çalışmada, İlerleme hızının ve talaş derinliğinin artırılması ile yüzey pürüzlülüğünde artışlar meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerinin de azaldığını tespit etmişlerdir [85].

Sağlam (2001), yapmış olduğu çalışmada, Ç1040 çeliğinin frezeleme işlemini üç farklı kesme hızı (113; 140; 178; 226 m/dak) üç farklı ilerleme (0,176- 0,140- 0,112- 0,088 mm/diş) ve üç farklı talaş derinliğinde (1- 1,5-2,5- 3,5 mm) yapmıştır. SPMW 12 04 08 SBF (HW) P15-P30, kaplamasız, Mitsubishi marka karbür uç ile yapılan bu çalışmada, ilerleme ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını, kesme hızı ile ise azaldığını belirtmişlerdir [86].

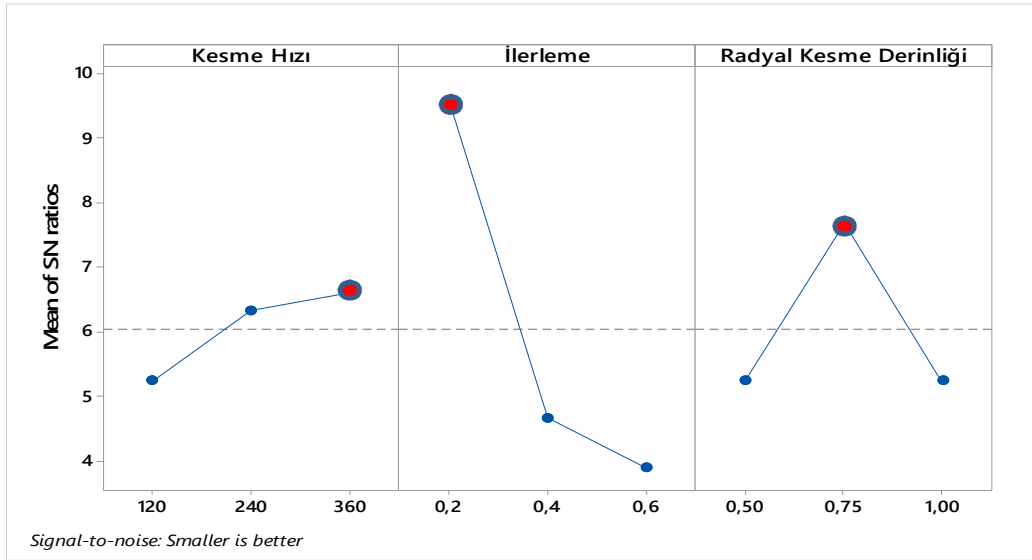
Özlü ve diğ. yaptıkları çalışmada, 30MnVS6 mikro alaşımlı çeliğinin tornalamasında, kesme hızı (V) ve ilerleme miktarının (f) yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve kesme kuvvetleri (Fc) üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. üçüncü derece polinom ile ifade edilen sonuçta, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. Yine ikinci derece polinom ile ifade edilen sonuçlarda, ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır [87].

Mavi ve diğ. [90] yaptıkları çalışmada, dubleks 1.4462 paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametreleri ve kesici takım talaş açısının işlenebilirlik üzerine etkileri incelemiştir. 80 m/dak sabit kesme hızında, 0,225-0,3 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 0,75-1-1,25 mm kesme derinliğinde deneyler gerçekleştirilmiştir. İlerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü de %50 ile %120 oranında artış tespit etmişlerdir. Kesme derinliğinin 0,75 mm den 1 mm'ye çıkması ile genel olarak yüzey pürüzlülüğünde bir düşüş, kesme derinliğinin 1 mm'den 1,25 mm'ye çıkması ile de bir artış eğilimi görülmüştür. Bu durumu kesici takımda kesme derinliğinin artması ile oluşan yığıntı talaş (BUE) oluşumu ile açıklamışlardır.

Deneylerde ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin, Minitab 17.0 Taguchi analiz modülü ile hesaplanmış ve performans kriteri olarak kullanılan S/N oranlarının ortalamaları Tablo 5.3'de belirtilmiştir. S/N (sinyal-gürültü) ortalamalarının grafiği ise Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Sinyal (S) değeri, ölçmek istenen gerçek değeri, gürültü (N) değeri ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını gösterir. Dolayısı ile S/N oranı hem ortalamayı hem de değişkenliği hesaba katmaktadır. En düşük en iyi mantığı ile hesaplanan S/N değerine göre en düşük yüzey pürüzlülüğü (Rank 3) 360 m/min kesme hızında, (Rank 1) 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve (Rank 2) 0,75 mm radyal kesme derinliğinde optimize olmuştur.

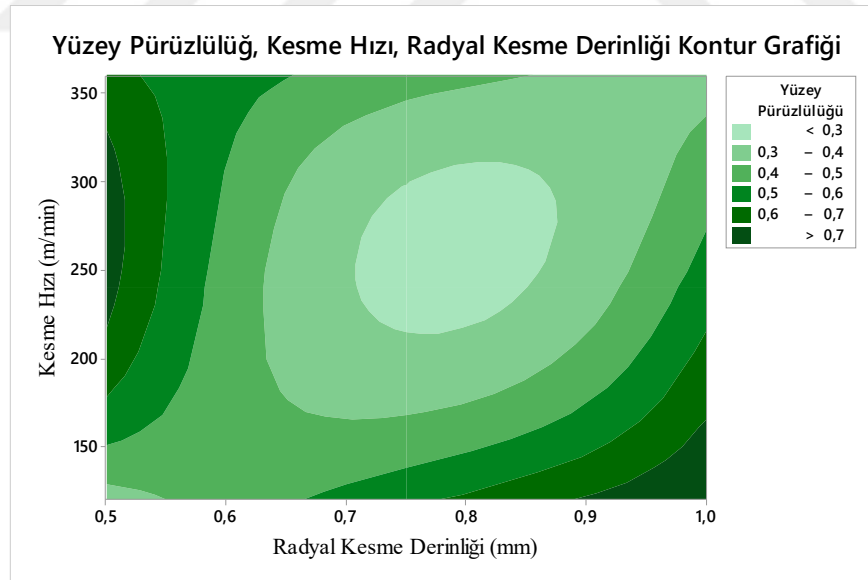
Tablo 5.3 S/N Oranları için Sonuç Tablosu

Level	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/diş)	Radyal Kesme Derinliği (mm)
1	5,234	9,596	5,242
2	6,326	4,463	7,674
3	6,592	3,893	5,236
Delta	1,357	5,703	2,438
Rank	3	1	2



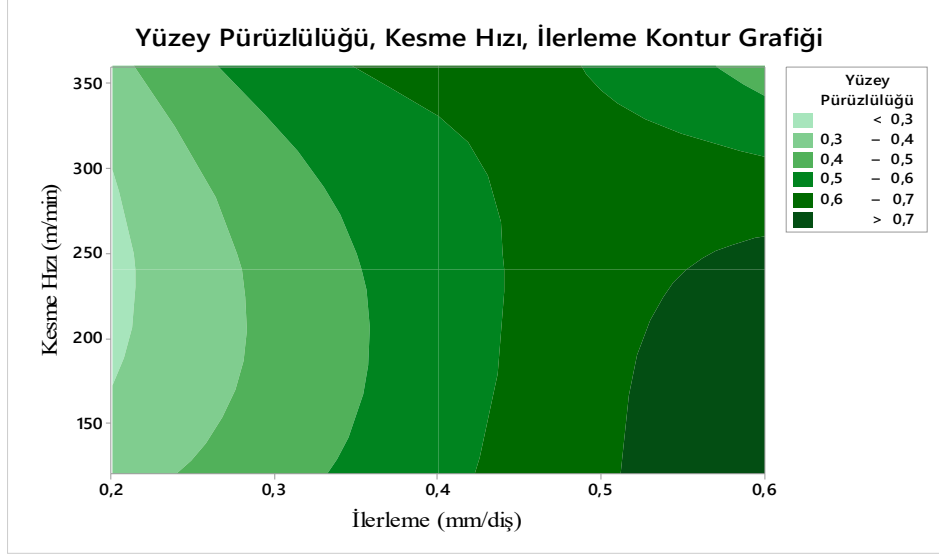
Şekil 5.2 S/N Oranları için Sonuç Grafiği.

Yüzey pürüzlülüğünün, radyal kesme derinliği ve kesme hızı ile olan ilişkisi Şekil 5.3'te belirtilmiştir. Açık renkli olan bölge, yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu bölgedir. 0,7 mm ile 0,85 mm arası kesme derinliği, 210 m/min ile 300 m/min arası kesme hızı en ideal bölgelerdir. Bu bölgelerin dışına çıkıldığında yüzey pürüzlülüğünde artışlar olacağı gözükmemektedir.



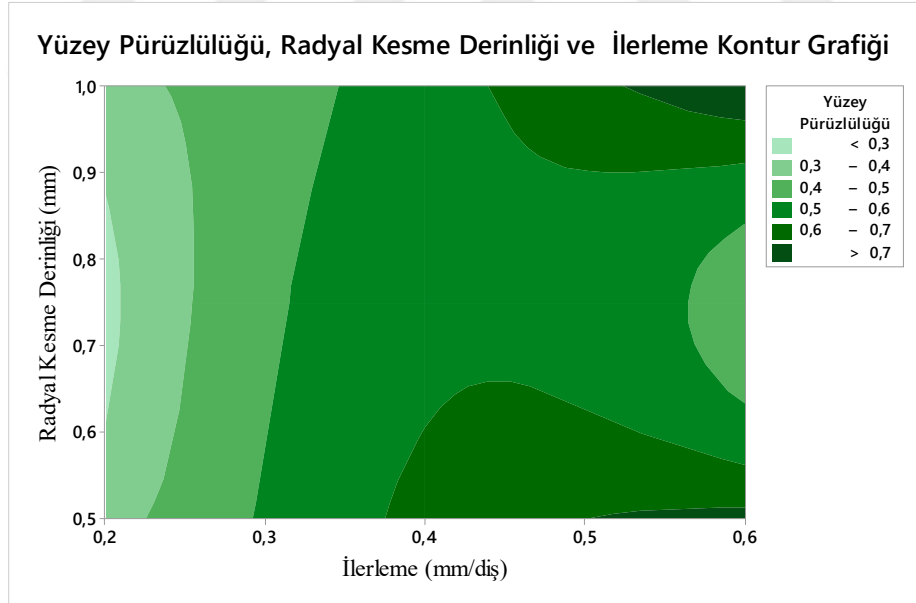
Şekil 5.3 Yüzey pürüzlülüğü, Kesme Hızı ve Radyal Kesme Derinliği Kontur Grafiği

Yüzey pürüzlülüğünün, ilerleme ve kesme hızı ile olan ilişkisi Şekil 5.4'te belirtilmiştir. Burada da açık renkli olan bölge yani yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu bölge 0,2 mm'ye kadar olan ilerleme ve 170 m/min ile 300 m/min arası olan bölgelerdir. Bu bölgeden uzaklaştıkça yüzey pürüzlülüğünde artışlar olacağı grafikte görülmektedir.



Şekil 5.4 Yüzey pürüzlülüğü, Kesme Hızı ve İlerleme Kontur Grafiği

Yüzey pürüzlülüğünün, radyal kesme derinliği ve ilerleme ilişkisi ise Şekil 5.5'te belirtilmiştir. Burada yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu bölge 0,2 mm ye kadar olan ilerleme ve 0,65 mm ile 0,85 mm arası olan radyal kesme derinliği olan bölgelerdir. Bu bölgenin dışında yüzey pürüzlülüğünde artış olacağı tespit edilmiştir.



Şekil 5.5 Yüzey pürüzlülüğü, Radyal Kesme Derinliği, İlerleme Kontur Grafiği

5.2. Tezgâh Gürültü Seviyesi Sonuçları

Taguchi L9 ortogonal 3x3 matrisi ile belirlenmiş olup, ıslak kesme şartlarında, üç farklı kesme hızı (120 m/min, 240 m/min, 360 m/min) üç farklı radyal kesme derinliği (0,5 mm,

0,75 mm, 1 mm) ve üç farklı ilerleme (0,2 mm/diş 0,4 mm/diş 0,6 mm/diş) değerlerinde yapılan testler sonrası tezgâhta oluşan gürültü seviyesi ölçüm sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir. Tablo 5.4’de her deney için normal fabrika şartlarındaki tezgâh gürültü seviyesi ölçülmüş ve bu değerler üzerinden Minitab 17.0 programı Taguchi analiz modülü ile hesaplanmış ve performans kriteri olarak kullanılan S/N değerleri belirtilmiştir.

Tablo 5.4 Taguchi L9 Deney Tasarımı ile belirlenen Parametre ve Tezgâh Gürültü Seviyesi sonuçları

Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/diş)	Radyal Kesme Derinliği (mm)	Tezgâh Gürültü Seviyesi (dB)	S/N Oranı (dB)
120	0,2	0,5	80	-38,06
120	0,4	0,75	82,8	-38,36
120	0,6	1	84	-38,48
240	0,2	0,75	79,2	-37,97
240	0,4	1	82,2	-38,29
240	0,6	0,5	83,6	-38,44
360	0,2	1	80,2	-38,08
360	0,4	0,5	83	-38,38
360	0,6	0,75	81,4	-38,21

Tablo 5.5’de her bir parametrenin etkisiyle oluşan tezgâh gürültü seviyesi değerinin ortalaması belirtilmiştir. Şekil 5.6’da görüldüğü üzere kesme hızının artması ile gürültü seviyesinin düştüğü, ilerlemenin artması ile tezgâh gürültü seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir. Farklı deneylerde ölçülen değer arasındaki fark en fazla 4,8 dB olup, gürültü seviyeleri birbirine yakındır.

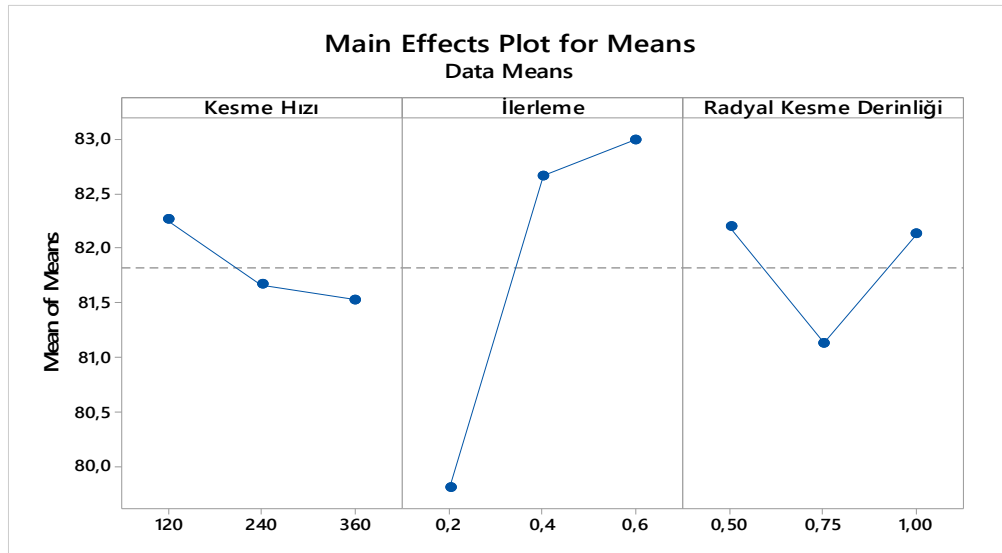
Üç farklı kesme derinliğinde ise (0,5 mm / 0,75 mm / 1mm) en düşük tezgâh gürültü seviyesi 0,75 mm de sağlanmıştır. Bunun iki nedeni olduğu düşünülmektedir.

- Yığıntı talaş oluşumu ve Deformasyon Sertleşmesi, kesici uç üzerindeki biriken talaş, yüksek sıcaklık nedeniyle plastik deformasyona uğrayarak takıma kaynar, takımın bir parçası gibi davranır ve uç geometrisinde değişikliğe neden olur. Oluşan bu düzensiz geometri değişikliği ise tezgâh gürültü seviyesinin artmasına neden olmaktadır. [88]-[89]-[90]-[91]

b) Kyocera firması ile yapılan görüşme sonrası kullanılan kesici uç radyüsüne en yakın kesme derinliği seçildiğinde daha iyi sonuçlar elde edileceği bilgisi alınmıştır. Kesici uç radyüs değerinden daha fazla kesme derinliği seçildiğinde kesme sırasında kesici uca fazla yüklenme kaynaklı olumsuz sonuçlar ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan kesici uç radyüs değerinden az bir talaş derinliği seçilmesi durumunda ise kesici ucun sadece uç kısmının kesmeye zorlanması nedeniyle uç kısımdaki aşınmaların hızlı olacağı nedeniyle olumsuz sonuçlar ortaya çıkacaktır. Bu doğrultuda, 0,75 mm kesme derinliğindeki tezgâh gürültü değeri değerleri, 0,5 mm ve 1 mm kesme derinliğindeki tezgâh gürültü değerlerine göre daha yüksek tespit edilmiştir.

Tablo 5.5 Ortalamalar için Sonuç Tablosu

Level	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/diş)	Radyal Kesme Derinliği (mm)
1	82,27	79,80	82,20
2	81,67	82,67	81,13
3	81,53	83,00	82,13
Delta	0,73	3,20	1,07
Rank	3	1	2



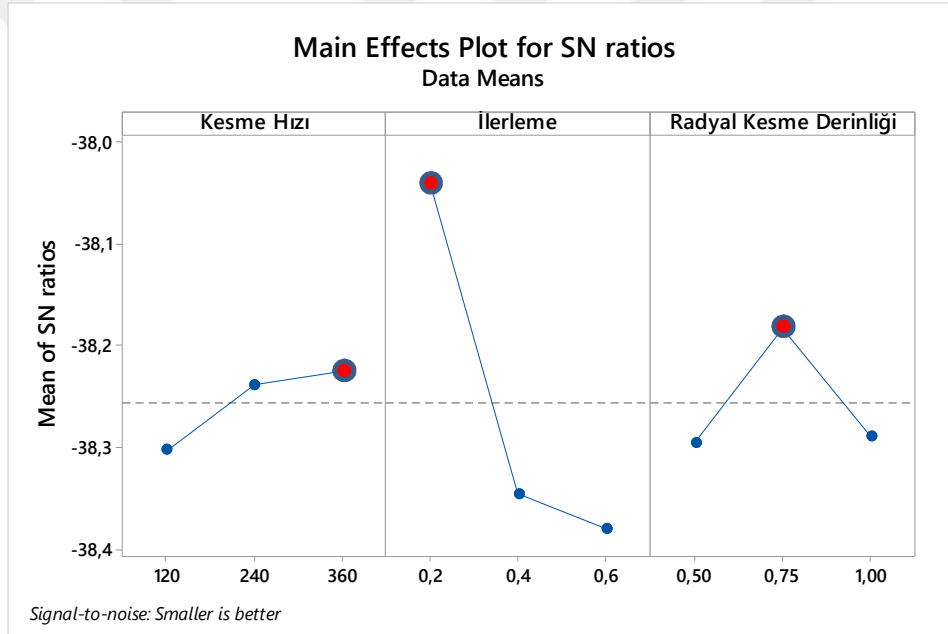
Şekil 5.6 Ortalamalar için Sonuç Grafiği

Deneylerde ölçülen tezgâh gürültü değerlerinin, Minitab 17.0 Taguchi analiz modülü ile hesaplanmış S/N oranlarının ortalamaları Tablo 5.6 de belirtilmiştir. S/N (sinyal-gürültü)

ortalamalarının grafiği ise Şekil 5.7’de gösterilmiştir. En düşük en iyi mantığı ile hesaplanan S/N değerine göre en düşük tezgâh gürültü seviyesi, (Rank 3) 360 m/min kesme hızında, (Rank 1) 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve (Rank 2) 0,75 mm radyal kesme derinliğinde optimize olmuştur.

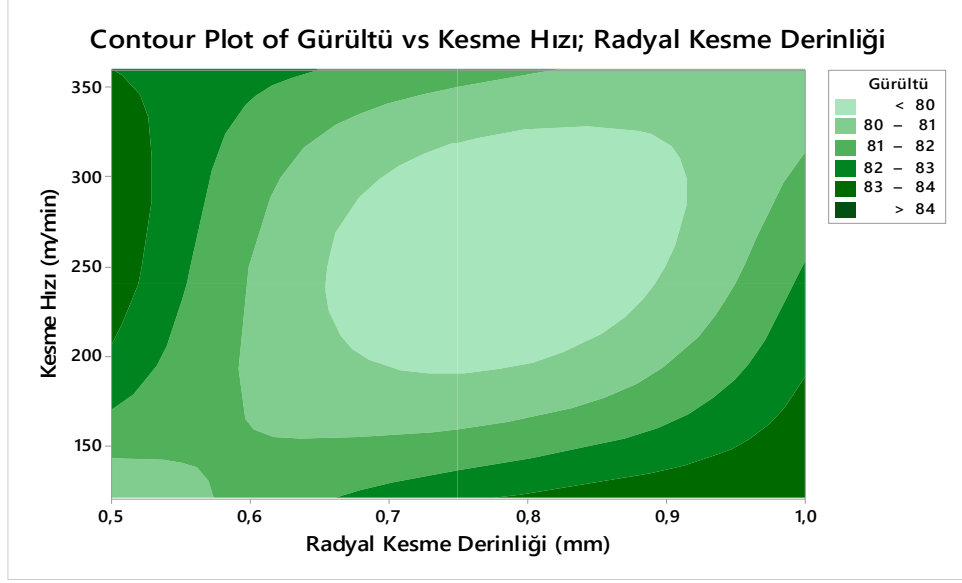
Tablo 5.6 S/N Oranları için Sonuç Tablosu

Level	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme (mm/diş)	Radyal Kesme Derinliği (mm)
1	-38,30	-38,04	-38,30
2	-38,24	-38,35	-38,18
3	-38,23	-38,38	-38,29
Delta	0,08	0,34	0,11
Rank	3	1	2



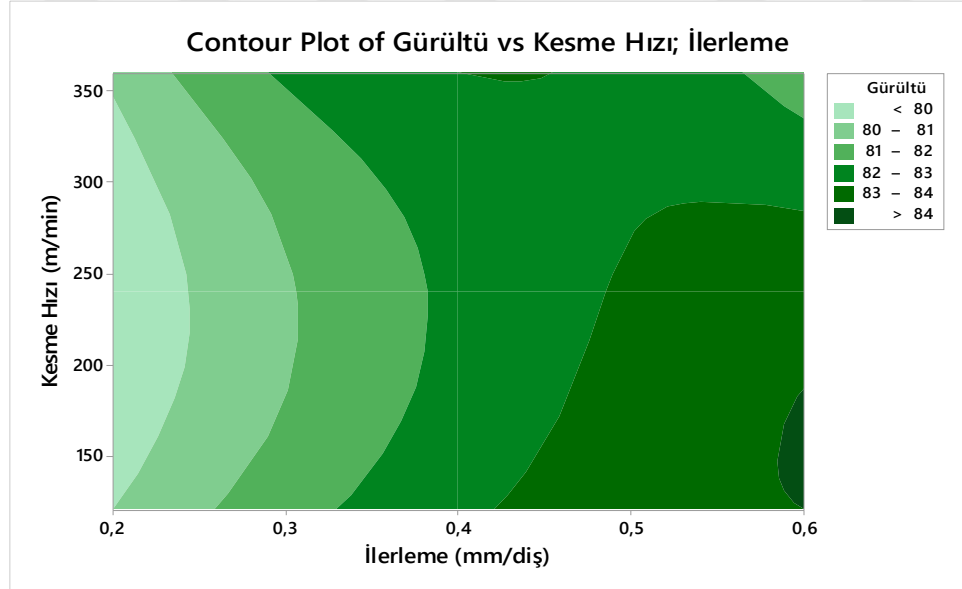
Şekil 5.7 S/N Oranları için Sonuç Grafiği

Deneylerde tezgâh gürültü seviyesinin, radyal kesme derinliği ve kesme hızı ile olan ilişkisi Şekil 5.8’de belirtilmiştir. Açık renkli olan bölge, tezgâh gürültü seviyesinin en az olduğu bölgeyi göstermektedir. 0,65 mm ile 0,9 mm arası kesme derinliği, 180 m/min ile 310 m/min arası kesme hızı en ideal bölgelerdir. Bu bölgelerin dışına çıkıldığında tezgâh gürültü seviyesinde artışlar meydana geleceğinden, iş güvenliği açısından riski gürültü seviyeleri oluşabilecektir.



Şekil 5.8 Tezgâh Gürültü Seviyesi, Kesme Hızı ve Radyal Kesme Derinliği Kontur Grafiği

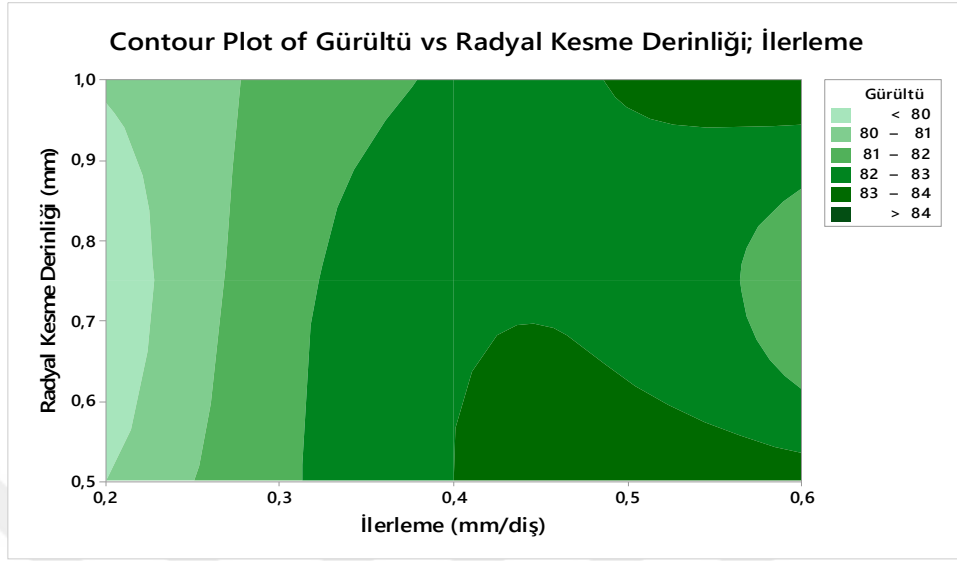
Tezgâh gürültü seviyesinin, ilerleme ve kesme hızı ile olan ilişkisi Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde açık renkli olan bölge yani tezgâh gürültü seviyesinin en düşük olduğu bölge 0,2 mm ye kadar olan ilerleme ve 50 m/min ile 340 m/min arası olan bölgelerdir. Bu bölgeden uzaklaştıkça tezgâh gürültü seviyesinde artışlar olacağı grafikte görülmektedir.



Şekil 5.9 Tezgâh Gürültü Seviyesi, Kesme Hızı ve İlerleme Kontur Grafiği

Tezgâh gürültü seviyesinin, radyal kesme derinliği ve ilerleme ile olan ilişkisi ise Şekil 5.10'da belirtilmiştir. Burada tezgâh gürültü seviyesinin, en düşük olduğu bölge 0,2 mm ye

kadar olan ilerleme ve 0,50 mm ile 0,95 mm arası olan radyal kesme derinliği olan bölgelerdir. Bu bölgenin dışında tezgâh gürültü seviyesinin, artış olacağı tespit edilmiştir.



Şekil 5.10 Tezgâh Gürültü Seviyesi, Radyal Kesme Derinliği, İlerleme Kontur Grafiği

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan bu tez çalışmasında SAE J2582 GRADE 3 / EN-GJS-X (SiMo 40.10) malzemeden üretilmiş egzoz manifold numunesinin, üç farklı kesme hızı (120 m/min, 240 m/min, 360 m/min) üç farklı radyal kesme derinliği (0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm) ve üç farklı ilerleme (0,2 mm/diş 0,4 mm/diş 0,6 mm/diş) değerinde frezeleme işlemi yapılmıştır. Taguchi deney tasarım tekniği kullanarak, gereksiz maliyet ve israflardan kaçınılmıştır. Deney sonrası ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri ve tezgâh gürültü seviyesi incelenmiştir.

1-) Kesme hızı değerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerinde azalma, ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Üç farklı kesme derinliğinde (0,5 mm / 0,75 mm / 1mm) en düşük yüzey pürüzlülüğü 0,75 mm de sağlanmıştır. Burada kesme derinliğinin 0,5 mm den 0,75 mm'ye yükselmesi ile yüzey pürüzlülüğünün düştüğü, 0,75 mm den 1 mm'ye yükselmesi ile yüzey pürüzlülüğünün tekrar artmasının 2 sebepten kaynaklandığını düşünülmektedir.

a) Yığıntı talaş oluşumu yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir.

b) Uç radyüsüne yakın kesme derinliği seçilmesi, yüzey kalitesine olumlu etki yapmaktadır.

2-) Yapılan tüm deneyler sonucu en düşük yüzey pürüzlülüğü, 360 m/min kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 0,75 mm radyal kesme derinliğinde ölçülmüştür.

3-) Şekil 5.3'te belirtilen kontur grafiğine göre yüzey pürüzlülüğü, 0,7 mm ile 0,85 mm arası kesme derinliği ve 210 m/min ile 300 m/min arası kesme hızı en ideal bölgelerdir. Bu bölgelerin dışına çıkıldığı takdirde yüzey pürüzlülüğünde artışlar olacağı gözlemlenmiştir.

4-) Şekil 5.4'te belirtilen kontur grafiğine göre yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu bölge 0,2 mm/diş ye kadar olan ilerleme ve 170 m/min ile 300 m/min arası olan kesme hızı bölgelerdir. Bu bölgeden uzaklaştıkça yüzey pürüzlülüğünde artışlar olacağı grafikte görülmektedir.

5-) Şekil 5.5'te belirtilen grafikte yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu bölge 0,2 mm ye kadar olan ilerleme ve 0,65 mm ile 0,85 mm arası olan radyal kesme derinliği olan bölgelerdir. Bu bölgenin dışında yüzey pürüzlülüğünde artış olacağı tespit edilmiştir.

6-) Şekil 5.6’da görüldüğü üzere kesme hızının artması ile tezgâh gürültü seviyesinde azalma, ilerlemenin artması ile tezgâh gürültü seviyesinde artış gözlemlenmiştir. Üç farklı kesme derinliğinde (0,5 mm / 0,75 mm / 1mm) en düşük tezgâh gürültü seviyesi 0,75 mm de sağlanmıştır. Bu durumun ise 2 nedeni olabileceğini düşünülmektedir.

a) Yığıntı talaş oluşumu tezgâh gürültü seviyesini artırmaktadır.

b) Uç radyüsüne yakın kesme derinliği seçilmesi, tezgâh gürültü seviyesinde olumlu sonuç vermektedir.

7-) Yapılan deneyler sonucu en düşük tezgâh gürültü seviyesi, 360 m/min kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 0,75 mm radyal kesme derinliğinde oluşmuştur.

8-) Şekil 5.8’teki kontur grafiği incelendiğinde tezgâh gürültü seviyesinin en az olduğu bölge, 0,65 mm ile 0,9 mm arası kesme derinliği ve 180 m/min ile 310 m/min arası kesme hızının olduğu optimum bölgelerdir. Bu bölgelerin dışına çıkıldığı bölgelerde tezgâh gürültü seviyesinde artışlar meydana geleceğinden, iş güvenliği açısından riski gürültü seviyeleri oluşabilecektir.

9-) Şekil 5.9 da gösterilen grafikte, tezgâh gürültü seviyesinin en düşük olduğu bölge 0,2 mm ye kadar olan ilerleme ve 210 m/min ile 340 m/min arası olan bölgelerdir. Bu bölgeden uzaklaştıkça tezgâh gürültü seviyesinde artışlar olacağı grafikte görülmektedir.

10-) Şekil 5.10’daki grafikte en düşük tezgâh gürültü seviyesinin olduğu bölge 0,2 mm ye kadar olan ilerleme ve 0,50 mm ile 0,95 mm arası olan radyal kesme derinliği olan bölgelerdir. Bu bölgenin dışında tezgâh gürültü seviyesinin, artış olacağı tespit edilmiştir.

Öneriler;

1-) Bu tez çalışmasında farklı kesme hızı, ilerleme ve radyal kesme derinliği değerleri kullanılmış olup, aşağıdaki kesici uç özellikleri sabit tutulmuştur. Bu parametrelerin de optimumu belirlenerek yüzey kalitesi ve tezgâh gürültüsü daha iyi seviyelere çıkarılabilir.

- Farklı kesici uç;
- Kalitesi
- Radyüsü
- Açısı
- Talaş kırıcı formları

2-) AlSimo (Alimunyum alaşılımlı AlSİmo) malzeme ile bu deneyler tekrar yapılarak işleme parametreleri doktora çalışması kapsamında incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1]. SAE ISTC, 1999 “High Temperature Materials for Exhaust Manifolds,” SAE J2515
- [2]. Kurz, W and Fisher, D.J, 1989, Fundamentals of Solidification, Trans Tech Publications, Switzerland, ISBN:0878498044
- [3]. Jones, H. and Kurz, W, 1980, Growth Temperatures and the Limits of Coupled Growth in Unidirectional Solidification of Fe-C Eutectic Alloys, Metallurgical Transactions A, Vol. 11A, 1265–73.
- [4]. Hillert, M. And Subba-Rao, V.V., 1968, Solidification of Metals, The Institute of Metals, Lond, vol. 110, 204–12.
- [5]. Fredriksson, H., Remaeus B., 1974, The Metallurgy of Cast Iron, Proceedings of the Second International Symposium on the Metal-lurgy of Cast Iron, Geneva, Georgi Publishing, 315–26.
- [6]. D. M. Stefanescu, and D. K. Brandyopadhyay, 1990, Physical Metal-lurgy of Cast Iron IV, Proceedings of the Fourth Intl Symposium, 1990, Tokyo, Materials Research Society, 15–26.
- [7]. Hecht, H. and Margerie, J.C., 1971, Mem. Sci. Rev. Metallurg, 68, 325–338.
- [8]. Fredriksson, H., Stjern Dahl, J., & Tinoco, J., 2005, On the solidification of nodular cast iron and its relation to the expansion and contraction, Materials Science and Engineering, A, 413-414, 363–372.
- [9]. Lux, B., and Mollard, F., and Minkoff, I., 1974, The Metallurgy of Cast Iron, Proceedings of the Second International Symposium on the Metal, Geneva, Georgi Publishing, , 1974, 371–400.
- [10]. Scheil, E., & Hütter, L. (1953). Untersuchungen über die Kristallisation des Gußeisens mit Kugelgraphit, Archiv Für Das Eisenhüttenwesen, 24(5-6), 237–246.
- [11]. 2008, Solidification of Eutectic Alloys Cast Iron, Casting, ASM Hand-book, ASM International, Metals Park, 2008, vol. 15, 317–29.

- [12]. Minkoff, I., and Lux, B., 1974, The Metallurgy of Cast Iron, Proceedings of the Second International Symposium on the Metallurgy of Cast Iron, Geneva, Georgi Publishing, pp. 473–91.
- [13]. Minkoff, I., 1985, The Spherulitic Growth of graphite crystal, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 34, 37–45.
- [14]. Double, D., and Hellawell, A., 1974, Cone-helix growth forms of graphite, Acta Metallurgica, 22(4), 481–487.
- [15]. Zhu, P., Sha, R. and Li, Y., 1984, Mater. Res. Soci. Symp. Proc., vol. 34, pp. 3–27.
- [16]. Double, D.D, and Hellawell, A., 1974, The Metallurgy of Cast Iron, Proceedings of the Second International Symposium on the Metal-lurgy of Cast Iron, Geneva, Georgi Publishing, pp. 509–28.
- [17]. Lux B., Minkoff, I., Mollard, F., and Thury, E., 1974, The Metallurgy of Cast Iron Proceedings of the Second International Symposium on the Metallurgy of Cast Iron, Geneva, Georgi Publishing, 495–508.
- [18]. Heerschap, M. and Delavignette, P., and, Amelinckx, S., 1964, Electron microscope study of interlamellar compounds of graphite with bromine, iodine monochloride and ferric chloride, Carbon, 1(3), 235–243.
- [19]. Miao, B., North Wood, D. O., Bian, W., Fang, K., and, Fan, M. H., 1994, Structure and growth of platelets in graphite spherulites in cast iron, Journal of Materials Science, 29(1), 255–261.
- [20]. Miao, B., Fang, K. and Bian, W., 1990, Acta Metallurgy Mater, 38, 2167–74.
- [21]. Amini, S., & Abbaschian, R., 2013, Nucleation and growth kinetics of graphene layers from a molten phase, Carbon, 51, 110–123.
- [22]. Amini, S., Kalaantari, H., Mojgani, S., and, Abbaschian, R., 2012, Graphite crystals grown within electromagnetically levitated metallic droplets, Acta Materialia, 60(20), 7123–7131.
- [23]. Buttner, F.H. and Taylor, H.F. and Wulff, J., 1951, American Foundryman, 20, 49–50.

- [24]. Selcuk, E., 1974, The Metallurgy of Cast Iron, Proceedings of the Second International Symposium on the Metallurgy of Cast Iron, Geneva, Georgi Publishing, 409–22.
- [25]. Jung, S., Ishikawa, T., and, Nakae, H., 2008, Critical conditions for formation of spheroidal graphite, Materials Science and Engineering, A, 476(1-2), 350–356.
- [26]. McSwain, R.H., and Bates, 1974, C.E., The Metallurgy of Cast Iron, Proceedings of the Second International Symposium on the Metal-lurgy of Cast Iron, Geneva, Georgi Publishing, 423 42.
- [27]. Sichen, D., 2005, Fundamentals of Metallurgy, Woodhead Publishing in Materials, Seetharaman, S., ed., Cambridge,
- [28]. Qing J., Richards, V.L., and Van Aken, 2015, AFS Trans., 120, 15-072.
- [29]. Qing, J., Richards, V.L. and Van Aken, D.C., 2016, Examination of Spheroidal Graphite Growth and Austenite Solidification in Ductile Iron, Metallurgical and Materials Transactions A, 47, 6197–6213
- [30]. Dawson, S., 1999, The effect of metallurgical variables on the machinability of compacted graphite iron, Design and Machining Workshop, CGI
- [31] Karsay, S., I., 1976, Ductile Iron, Production, Quebec Iron and Titanium Corp.
- [32]. Janowak, J., F., Morton, P. A., 1984, A Guide to Mechanical Properties Possible by Austempering 1.5 % Ni - 0.3 % Mo Ductile Iron, AFS Transactions, 84-120, 489-498.
- [33]. Moore, D., J., Rouns, T., N. and Rundman, K., B., 1985, Structure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron, AFS Transactions, 85-103, 705- 718.
- [34]. İzgiz, S, 1986, Küresel Grafitli Dökme Demir, SegemYayını, Ankara.
- [35]. Ferizoğlu, M. T., 1988, Küresel Grafitli Dökme Demirde Kaliteye Etki Eden Bazı Parametreler, Metalurji Dergisi, Sayı: 75, 53-56.
- [36]. Chang, L. C., 1998, Carbon content of austenite in austempered ductile iron, Scripta Materialia, 39(1), 35–38.

- [37]. Hasırcı, H., 2000, Östemperlemenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu ve Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [38]. Crews, L., Carlon, R., Goudzward, J., 1974, AFS Molten Metal Processing, USA.
- [39]. Gagne, M., 1985, The Influence of Manganese and Silicon on the Microstructure and Tensile Properties of Austempered Ductile Iron, AFS Transactions, 85-133, 801-812.
- [40]. Jen, K. P., Wu, J. and Kim, S., 1992, Study of Fracture and Fatigue Behavior of Austempered Ductile Iron, AFS Transactions, 92-133, 833-846.
- [41]. Schulz, H., Reuter, U., Verschleißmechanismus geklärt: GGV-Motoren reif für die Großserie', Werkstatt und Betrieb 134 (7–8) (2001) 80–82.
- [42]. Byrne, G., Dornfeld, D., and Denkena, B., 2003, Advancing Cutting Technology, CIRP Annals, 52(2), 483–507.
- [43]. Grasson, T., 1998, Carbide-grade inserts takes on ductile iron, www.americanmachinist.com, [Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2020]
- [44]. Grzesik, 2003, Advanced Protective Coatings for Manufacturing and Engineering, Hanser Gardner Publishers, Cincinnati.
- [45]. Graham, D., 2006, Machining cast iron, Manufacturing Engineering, 136 (2).
- [46]. DeGarmo EP., Black JT., and Kohser RA., 1997, Materials and processes in manufacturing, New Jersey, Prentice.
- [47]. Lim, C., Y., Lim, S., and Lee, K., 1999, The performance of TiN-coated high speed steel tool inserts in turning, Tribology International, 32(7), 393–398.
- [48]. Camuşcu, N., 2006, Effect of cutting speed on the performance of Al₂O₃ based ceramic tools in turning nodular cast iron, Materials & Design, 27(10), 997–1006.
- [49]. Şeker, U., Çiftçi, İ., and Hasırcı, H., 2003, The effect of alloying elements on surface roughness and cutting forces during machining of ductile iron, Materials & Design, 24(1), 47–51.

- [50]. Masuda, M., Sato, T., Kori, T., and Chujo, Y, 1994, Cutting performance and wear mechanism of alumina-based ceramic tools when machining austempered ductile iron, *Wear*, 174(1-2), 147–153.
- [51]. Ghani, A. ., Choudhury, I., and Husni, 2002, Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool, *Journal of Materials Processing Technology*, 127(1), 17–22.
- [52]. Delprete, C., and Sesana, R., 2014, Experimental characterization of a Si–Mo–Cr ductile cast iron, *Materials and Design*, 57, 528–537.
- [53]. Park, S. H., Kim, J. M., Kim, H. J., Ko, S. J., Park, H. S., and Lim, J. D., 2005, Development of a Heat Resistant Cast Iron Alloy for Engine Exhaust Manifolds, SAE Technical Paper Series.
- [54]. Guzik, E., Kopyciński, D., and Wierzchowski, D., 2014, Manufacturing of Ferritic Low-Silicon and Molybdenum Ductile Cast Iron with the Innovative 2PE- 9 Technique, *Archives of Metallurgy and Materials*, 59(2), 687–691.
- [55]. Ang, Y., Cao, Z., Lian, Z., and, Yu, H., 2013, Thermal Fatigue Behavior and Cracking Characteristics of High Si-Mo Nodular Cast Iron for Exhaust Manifolds, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 20(6), 52–57.
- [56]. Li, D., Perrin, R., Burger, G., McFarlan, D., Black, B., Logan, R., and Williams, R., 2004, Advances in Lightweight Automotive Castings and Wrought Aluminum Alloys, SP-1838, SAE World Congress, Detroit, MI, 8–11, 1–12.
- [57]. Weber, G. And, Faubert, G., Rothwell, M., Tagg, A., Wirth, D.J., Wirth, 1998, High Simo Ductile Iron, *Modern Casting*, 88(3), 48–51.
- [58]. Black, B., Burger, G., Logan, R., Perrin R., Gundlach, R., 2002, Microstructure and Dimensional Stability in SiMo Ductile Irons for Elevated Temperature Applications, SAE Technical Paper, 01-2115, 1-16.
- [59]. Kadhim, M. J., Abood, A. N., and Toama, H. Z., 2010, Microstructure and High Temperature Oxidation Behavior of Aluminum Alloyed Cast Irons, *Modern Applied Science*, 4(12), 130–35.
- [60]. Mampaey, F., 2005, AFS Trans., 1–21.

- [61]. Kiani-Rashid, A.R., 2000, Graphite Phase Formation In Al Alloyed Ductile Irons, Ph.D. Thesis, University of Leeds, Leeds, United Kingdom,
- [62]. Boutorabi, S.M.A., 1991, The austempering kinetics, microstructure and mechanical properties of spheroidal graphite unalloyed aluminium cast iron, Ph.D. Thesis, University of Birmingham.
- [63]. Kiani-Rashid, A. R., and Edmonds, D. V., 2009, Microstructural characteristics of Al-alloyed austempered ductile irons, Journal of Alloys and Compounds, 477(1-2), 391–398.
- [64]. Kiani Rashid, A. R., and Edmonds, D. V., 2004, Oxidation behaviour of Al-alloyed ductile cast irons at elevated temperature, Surface and Interface Analysis, 36(8), 1011–1013.
- [65]. Haque, M. M., 2007, Investigation on properties and microstructures of spheroidal graphite Fe–C–2Si and Fe–C–2Al cast irons, Journal of Materials Processing Technology, 191(1-3), 360–363.
- [66]. Pedersen, K. M. and Tiedje, N. S., 2008, Graphite nodule count and size distribution in thin-walled ductile cast iron, Materials Characterization, 59(8), 1111–1121.
- [67]. Wescast Industries Inc., 2020, <http://www.wescast.com/products>. [Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2020].
- [68]. GF Automotive, 2020, GF Casting Solutions, <http://www.gfau.com/com/en/products-and-solutions/passenger-car.html>. [Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2020].
- [69]. O'Brien, A, 1984, Welding Handbook, American Welding Society, Miami, ISBN:978-0-87171-053-6.
- [70]. Tekin, E., 1996, Demir ve Çeliklerin Metalografisi, www.oerlikon.com.tr, [Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2020].
- [71]. Lincoln, J., 1995, The Procedure Handbook of Arc Welding, The Lincoln Electric Company,
- [72]. Gürbüz, H., Kafkas, F. and, Şeker, U., 2012, AISI 316L Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Takım Kesici Kenar Formu ve Talaş Kırıcı Formlarının Kesme Kuvvetleri ve

Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisi, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 1 (2) , 173-184.

[73]. Groover, M., 2016, Principles Of Modern Manufacturing, Nobel Akademik Yayıncılık, ISBN:978-605-320-054-3.

[74]. DIN EN 16124, 2012, Low-alloyed ferritic spheroidal graphite cast irons for elevated temperature applications, German.

[75]. Roedter, H., 2006, 4-6% silicon ductile irons for high temperature service, Suggestions for ductile iron production, Sorelmetal, 2.

[76]. Hervas, I., Thuault, A., and Hug, E., 2015, Damage Analysis of a Ferritic SiMo Ductile. Cast Iron Submitted to Tension and Compression Loadings in Temperature, Metals, 5(4), 2351–2369.

[77]. Akkurt, M., 2004, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[78]. Çakır, M.C., 2006. Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, ISBN: 975-591-979-1.

[79]. Groover, M.P., 2007, Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials Processes and Systems, Associate Professor of Industrial and Systems Engineering, Lehigh University, ISBN: 978-0470-467002.

[80]. Aydın, B., 2002, AA 2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerindeki Etkilerini İncelenmesi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

[81]. TS 2040, Teknik resim-Yüzey durumlarının gösterim standardı, 2005, Türkiye.

[82]. Davim J. P., 2003, A note the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments, Journal of Materials Processing Technology , 116 , 305-308.

[83]. Roy R. K., 1990, A primer on taguchi method” Compentitive Manufacturing Series , New York , 7-80.

[84]. Kurt, M., Bagci, E., and Kaynak, Y., 2008, Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry

drilling processes, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40(5-6), 458–469.

[85]. Çetin M. and Bilgin.M, 2011, Kaplamasız Sermet Takımla AISI 6150 Çeliğinin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi, Electronic Journal Of Vocational Colleges, 1 (1)168-176.

[86]. Sağlam, H., 2001, Frezelemede Kesme Parametreleri ile Kesme Kuvvetlerinin Değişimi ve Bunların Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Selçuk-Teknik Online Dergisi, Vol. 1, 5-8.

[87]. Özlü B., Demir H. and Nas E., 2014, Cnc Tornalama İşleminde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 3, 75-86.

[88]. Çiftçi İ.,2003 “Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[89]. Çiftçi İ, Türker M. and Şeker U., 2014, “Evaluation of tool wear when machining SiC preinforced Al-2014 alloy matrix composites”. Materials and Design, 25(3), 251– 255.

[90]. Mavi A. and Uzun G., 2017, Dupleks 1.4462 Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin İşlenebilirlik Üzerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3, 177-184.

[91]. Klocke, F., Arft, M., & Lung, D., 2010, Material-related aspects of the machinability of Austempered Ductile Iron, Production Engineering, 4, 433–441

[92]. Avner , 1985, Physical Metallurgy

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ramazan KARAKUŞ
Doğum Yeri	Kırşehir
Doğum Tarihi	17.05.1982
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	0090 544 839 55 27
E-Posta Adresi	enesramazan@hotmail.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Atatürk Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2006

Yüksek Lisans	
Üniversite	Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Programı	Metalürji ve Malzeme Mühendisliği

Makale ve Bildiriler	
<i>Uluslararası Konferans ve Sempozyumlar</i>	
Ramazan KARAKUŞ, Şükrü YILDIZ, " Effect of the Machining Parameters on Surface Roughness and Machining Noise of Heat-Resistant Nodular Cast Iron Materials" ISAS 2019, S.17, 22-24 November 2019, Samsun, Türkiye.	