

**YÜKSEK ALAŞIMLI BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN
(Ni-HARD) İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN
TAGUCHI YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU**

**2011
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Emre YÜCEL

**YÜKSEK ALAŞIMLI BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN (Ni-HARD)
İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE
OPTİMİZASYONU**

Emre YÜCEL

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2011**

Emre YÜCEL tarafından hazırlanan “YÜKSEK ALAŞIMLI BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN (Ni-HARD) İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/06/2011

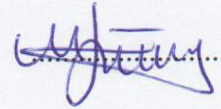
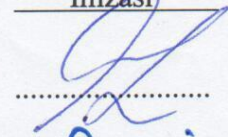
Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

İmzası

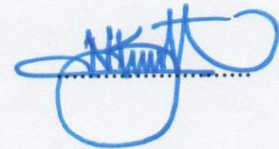


.../.../2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Emre YÜCEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK ALAŞIMLI BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN (Ni-HARD) İŞLENEBİLİRLİK PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

Emre YÜCEL

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Haziran 2011, 85 sayfa

Bu çalışmada Yüksek Alaşimli Beyaz Dökme Demir (Ni-Hard)'in işlenmesinde oluşan kesme kuvveti (F_c) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme şartlarının optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaçla, CNC torna tezgahında Ni-Hard ve sertleştirilmiş Ni-Hard malzemelerin seramik ve CBN kesici takımlar kullanılarak işlenebilirliği araştırılmıştır. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği kesme parametreleri olarak seçilmiştir. Taguchi'nin L_{18} dikey dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak yapılan varyans analizi ile kesme şartlarının F_c ve R_a üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. F_c ve R_a için “en küçük en iyi” yaklaşımına göre hesaplanan Sinyal-Gürültü (S/N) oranları yardımıyla kesme şartlarının optimum seviyeleri belirlenmiştir.

Varyans analizi sonucunda, her iki malzemenin işlenmesinde oluşan kesme kuvveti için en etkili parametre kesme derinliği olarak tespit edilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü için en önemli parametreler, 62 HRC Ni-Hard malzemede ilerleme miktarı iken, 50 HRC Ni-Hard malzemede kesme hızı olarak bulunmuştur. Optimizasyon sonuçlarına göre, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için kesme şartlarının optimum seviyelerinin farklı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Ni-Hard, işlenebilirlik, optimizasyon, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, Taguchi Yöntemi.

Bilim Kodu : 914.1.172

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF MACHINABILITY PARAMETERS ON HIGH ALLOYED WHITE CAST IRONS (Ni-HARD) BY TAGUCHI METHOD

Emre YÜCEL

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

June 2011, 85 pages

In this study, optimization of cutting conditions was purposed for average surface roughness (R_a) and cutting force (F_c) occurred during machining of High Alloyed White Cast Iron (Ni-Hard). For this purpose, machinability of Ni-Hard and hardened Ni-Hard materials were investigated on the CNC lathe machine by using ceramic and CBN cutting tools. Cutting speed, feed rate and depth of cut have been chosen as cutting parameters. Design of experiment was performed using Taguchi's L_{18} orthogonal array. The effects on F_c and R_a of the cutting conditions were evaluated with analysis of variance applied by using experimental data. Optimum levels of cutting conditions were determined by signal–noise (S/N) ratios which were calculated according to “the smallest is the best” approach for F_c and R_a .

In result of analysis of variance, the most effective parameter for the cutting force occurred in machining of both materials were determined as depth of cut. The most effective parameter on average surface roughness, feed rate has been found for 62 HRC Ni-Hard while cutting speed has been found for 50 HRC Ni-Hard. According to optimization results, it was determined that optimum levels of cutting conditions have been different for surface roughness and cutting force.

Key Word : Ni-Hard, machinability, optimization, cutting forces, surface roughness, Taguchi Method.

Science Code : 914.1.172

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle bu çalışmayı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, çalışmanın hiçbir aşamasında beni yalnız bırakmayan, tez danışmanım hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmama maddi olarak destek olan Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi'ne ve deneysel çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Arş. Gör. Barkın BAKIR'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca bana destek olan hocalarım Sayın Doç. Dr. Hamit SARUHAN'a, Sayın Doç. Dr. Adem ÇİÇEK'e ve Sayın Doç. Dr. İlyas UYGUR'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım da emeği geçen arkadaşlarım Öğr. Gör. Ömer ERKAN'a, Arş. Gör. Fuat KARA'ya ve Arş. Gör. Mustafa AYYILDIZ'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili anneme, babama ve kardeşime şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
BÖLÜM 3	11
DÖKME DEMİRLER.....	11
3.1. DÖKME DEMİR TÜRLERİ	11
3.1.1. Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demirler.....	12
3.1.2. Küresel Grafitli Dökme Demirler	12
3.1.3. Beyaz Dökme Demirler.....	12
3.1.4. Temper Dökme Demirler	12
3.2. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN BEYAZ DÖKME DEMİR ÜZERİNE ETKİLERİ.....	15
3.2.1. Karbon	15
3.2.2. Krom.....	15
3.2.3. Molibden.....	15

3.2.4. Vanadyum.....	16
3.2.5. Bakır	16
3.2.6. Bor.....	16
3.2.7. Nikel	16
3.3. Ni-HARD DÖKME DEMİRLER	17
3.3.1. Ni-Hard Malzemenin Kullanıldığı Alanlar.....	19
BÖLÜM 4	20
TALAŞ KALDIRMA ESASLARI VE İŞLENEBİLİRLİK	20
4.1. METAL KESME MEKANİĞİ	20
4.2. TAKIM TALAŞ ARA YÜZEYİNDE YIĞINTI TALAŞ OLUŞUMU	22
4.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ	23
4.4. KESİCİ TAKIM	24
4.4.1. Kesici Takım Geometrisi.....	24
4.4.2. Kesici Takım Malzemeleri	25
4.4.2.1. Yüksek Hız Çeliği	25
4.4.2.2. Sementit Karbürler.....	26
4.4.2.3. Kaplamalı Sementit Karbür.....	27
4.4.2.4. Sermet	27
4.4.2.5. Seramik	28
4.4.2.6. Çok Sert Kesici Takımlar	28
4.5. İŞLENEBİLİRLİK	30
4.6. TAKIM ÖMRÜ VE AŞINMA.....	32
4.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	33
BÖLÜM 5	35
DENEY TASARIMI VE OPTİMİZASYON.....	35
5.1. DENEY TASARIMI KAVRAMI	35
5.2. DENEY TASARIMININ TARİHÇESİ.....	36
5.3. DENEY TASARIMININ ADIMLARI	37
5.3.1. Problemin Tanımlanması.....	38

Sayfa

5.3.2. Amacın Belirlenmesi.....	38
5.3.3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi.....	38
5.3.4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi.....	39
5.3.5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi.....	39
5.3.6. Deney Tasarımının Seçilmesi.....	40
5.3.7. Verilerin Toplanması.....	40
5.3.8. Verilerin Analiz Edilmesi.....	40
5.3.9. Sonuçların Yorumlanması.....	40
5.3.10. Doğrulama Deneylerinin Yapılması.....	41
5.4. TAGUCHI'NİN SİNYAL/GÜRÜLTÜ ORANLARI.....	41
5.5. TAGUCHI'NİN ÜRETİM KALİTE SİSTEMİ.....	42
5.5.1. Çevrim Dışı Kalite Kontrol.....	42
5.5.2. Çevrim İçi Kalite Kontrol.....	43
5.6. ROBUST (GÜRBÜZ) TASARIM.....	44
5.7. FAKTÖR DÜZEYLERİNİN SEÇİLMESİ.....	44
5.8. DİKEY DİZİNLER.....	45
BÖLÜM 6.....	47
MATERYAL VE METOT.....	47
6.1. DENEY MALZEMESİ.....	47
6.1.1. Deney Malzemelerinin Hazırlanması.....	47
6.2. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	50
6.2.1. CNC Torna Tezgahı ve Kesici Takımlar.....	50
6.2.2. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı ve Deney Düzeneği.....	51
6.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı.....	53
6.3. DENEY TASARIMI.....	54
BÖLÜM 7.....	56
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	56
7.1. KESME KUVVETİ SONUÇLARI.....	56

	<u>Sayfa</u>
7.1.1. 62 HRC Ni-Hard İçin F_c 'nin Değerlendirilmesi.....	56
7.1.2. 50 HRC Ni-Hard İçin F_c 'nin Değerlendirilmesi.....	61
7.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ SONUÇLARI.....	66
7.2.1. 62 HRC Ni-Hard İçin R_a 'nın Değerlendirilmesi.....	66
7.2.2. 50 HRC Malzeme İçin R_a 'nın Değerlendirilmesi.....	71
BÖLÜM 8	77
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dökme demirlerin mikro yapıları.....	13
Şekil 3.2. Yüksek alaşımlı dökme demirlerin sınıflandırılması	14
Şekil 3.3. Ni-Hard 1 ve Ni-Hard 4 malzemelerin mikro yapısı.....	18
Şekil 4.1. Dik kesme modeli.....	20
Şekil 4.2. Plastik deformasyon bölgeleri.....	21
Şekil 4.3. Torna lama işleminde kesme kuvvetleri.....	23
Şekil 4.4. Tek noktadan kesme yapan bir kesici takımın geometrisi.....	25
Şekil 4.5. İşlenebilirliği etkileyen faktörler.....	31
Şekil 4.6. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirmesi.....	34
Şekil 5.1. Bir sistem veya sürecin genel gösterimi	35
Şekil 5.2. 1950-1990 yılları arasında üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı	37
Şekil 5.3. Üretim/Kalite sistemi çevrimi.....	43
Şekil 5.4. Etkileşim grafik gösterimi	45
Şekil 6.1. “OBLF-Spektrometer” marka spektral analiz cihazı.	47
Şekil 6.2. Deney numunelerinin ölçüleri.....	48
Şekil 6.3. Numune ve sertlik değerini gösteren firma çıktısı.	49
Şekil 6.4. Kesici takımlar ve takım tutucu.	50
Şekil 6.5. Kistler 9121 tip dinamometre.	51
Şekil 6.6. Deney düzeneği.....	51
Şekil 6.7. Deneylerde kullanılan kuvvet ölçme sistemi.	52
Şekil 6.8. Yüzey pürüzlülük ölçümünün gösterimi.	53
Şekil 7.1. 62 HRC Ni-Hard için (F_c)’nin (a) ve (V)’ye göre değişimi.....	58
Şekil 7.2. 62 HRC Ni-Hard için (F_c)’nin (f) ve (V)’ye göre değişimi.	59
Şekil 7.3. F_c için değişkenlerin S/N oranları.....	60
Şekil 7.4. 50 HRC Ni-Hard için (F_c)’nin (a) ve (V)’ye göre değişimi.....	63
Şekil 7.5. 50 HRC Ni-Hard için (F_c)’nin (f) ve (V)’ye göre değişimi.	64
Şekil 7.6. F_c için değişkenlerin S/N oranları.	65

Sayfa

Şekil 7.7. 62 HRC malzeme için (R_a)'nın (a) ve (V)'ye göre değişimi.	68
Şekil 7.8. 62 HRC malzeme için (R_a)'nın (f) ve (V)'ye göre değişimi.	69
Şekil 7.9. R_a için değişkenlerin S/N oranları.	70
Şekil 7.10. 50 HRC malzeme için (R_a)'nın (a) ve (V)'ye göre değişimi.	73
Şekil 7.11. 50 HRC malzeme için (R_a)'nın (f) ve (V)'ye göre değişimi.	74
Şekil 7.12. R_a için değişkenlerin S/N oranları.	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Literatür araştırması özeti	10
Çizelge 3.1. Ni-Hard malzemelerin kimyasal bileşimi	18
Çizelge 3.2. Ni-Hard malzemelerin sertlik değerleri	18
Çizelge 5.1. Taguchi ve Tam Faktöryel Tasarım için kombinasyonlar	46
Çizelge 6.1. Ni-Hard malzemenin kimyasal bileşimi (% Ağırlık)	48
Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri	53
Çizelge 6.3. Faktörler ve seviyeleri	54
Çizelge 6.4. L ₁₈ dikey dizine göre deney tasarımı	55
Çizelge 7.1. 62 HRC Ni-Hard için F _c değerleri ve S/N oranları	57
Çizelge 7.2. F _c 'nin S/N oranlarının varyans analizi	61
Çizelge 7.3. 50 HRC Ni-Hard için F _c değerleri ve S/N oranları	62
Çizelge 7.4. F _c 'nin S/N oranlarının varyans analizi	66
Çizelge 7.5. 62 HRC Ni-Hard için R _a değerleri ve S/N oranları	67
Çizelge 7.6. R _a 'nın S/N oranlarının varyans analizi	71
Çizelge 7.7. 50 HRC Ni-Hard için R _a değerleri ve S/N oranları	72
Çizelge 7.8. R _a 'nın S/N oranlarının varyans analizi	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

a	: Kesme derinliği (mm)
f	: İlerleme miktarı (mm/dev)
F_c	: Esas kesme kuvveti (N)
F_f	: İlerleme kuvveti (N)
F_r	: Radyal kuvvet (N)
R_a	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
R_{max}	: Maksimum yüzey pürüzlülüğü (μm)
S/N	: Sinyal/Gürültü oranı (dB)
t	: Deforme olmamış talaş derinliği (mm)
t_c	: Deforme olmuş talaş kalınlığı (mm)
V	: Kesme hızı (m/dak)

KISALTMALAR

ANOVA	: Varyans Analizi (Analysis of Variance)
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBN	: Kübik Bor Nitrit (Cubic Boron Nitride)
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition)
DIN	: Alman Endüstri Normları (Deutch Industrie Normen)
HB	: Brinell Sertliği (Hardness Brinell)
HRC	: Rockwell C Sertliği (Hardness Rockwell C)
PCBN	: Çok Kristalli Kübik Bor Nitrit (Polycrystalline Cubic Boron Nitride)
PCD	: Çok Kristalli Elmas (Polycrystallin Diamond)
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapour Deposition)
VSD	: Vickers Sertliği (Vickers Hardness)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Talaşlı imalat, 200 yılı aşkın bir süredir üzerinde sürekli olarak araştırma yapılan bir alandır. 20. yüzyılın ortalarına gelinmesi ile beraber, işlemenin fiziksel mekaniği analitik olarak çözülmeye başlanmıştır. Bu zaman dilimini, bazı kaynaklar işleme araştırmalarının “Altın Çağı” olarak adlandırmaktadır ve metal kesme mekaniği temelinin talaş olduğu bilgisinin oluştuğunu bildirmektedir [1]. Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için genellikle talaşlı imalat işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Talaşlı imalat işleminde, belirlenen takım tezgahı ve kesici takımlar kullanılarak iş parçası üzerinden bir miktar talaş kaldırılır ve istenilen boyutlar ile yüzey kalitesi elde edilir [2].

Talaşlı imalat işleminin maliyeti, endüstriyel ürünlerin maliyetinde önemli bir orana sahip olduğu için iş parçasının işlenebilirlikleri üzerine ve kesici takımların kesme performanslarını optimize etmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmaların sonucu olarak talaşlı imalat işlemini azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte bu yöntemler oldukça sınırlıdır ve ayrıca talaşlı imalat ile elde edilebilecek iyi bir yüzey kalitesi birçok parça için gereklidir [3].

İşleme sistemi, büyük ölçüde kesici takım malzemelerine bağlı olarak verilen kesme hızı ile kesici takım, iş parçası ve takım tezgahının birleşimidir. Talaşlı üretim yapanlar sürekli olarak, çok yüksek kesme hızları ve büyük kesme derinlikleriyle hızlı talaş kaldırma oranını sağlamayı ve bitirme pasolarıyla ilişkili olan gerekli ölçü tamlığı ve yüzey kalitesini oluşturacak kesici takım-takım tezgahı-iş parçası kombinasyonu bulmaya çalışmaktadır.

İşleme araştırmalarının genel amacı, en iyi ürün kalitesi ve en düşük işleme maliyetinin oluşmasını sağlayan optimum kesme şartları için iş parçası-kesici takım etkileşimini araştırmaktır. İşlenebilirlik bir malzemenin takımlama ve işleme süreçleri açısından tasarlanan şekilde (yüzey kalitesi ve tolerans) kolaylıkla kesilebilmesini tanımlamak için kullanılan terimdir. Bir işleme operasyonunda işlenebilirliği ölçmek için kesme kuvveti ve yüzey kalitesi kullanılabilir. Kesme kuvvetleri güç tüketimini ve takım aşınmasını doğrudan etkiledikleri için, bu kuvvetlerin optimize edilmesi önemlidir. Böylelikle güç sarfiyatı ve takım aşınması en az seviyeye indirilebilir. Bununla birlikte, ekonomiklik ve yüzeydeki geometrik bozuklukları gidermek için yüzey pürüzlülüğü değerlerine müracaat edilmektedir [4].

Yüksek sertlikteki martenzitik beyaz dökme demir (Ni-Hard) malzemeler yüksek aşınma direnci ve sertliğe sahip oldukları için cevher kırıcılar, öğütücü değirmen merdaneleri, tarım makineleri, pistonlar, konveyörler, pompalar, dişliler ve madencilik sanayi gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [5]. Yüksek aşınma direnci ve uygun maliyete sahip Ni-Hard malzemeler, mevcut durumda işleme güçlüğünden dolayı genellikle döküm sonrası haliyle işlenilmeden kullanılmaktadır. Bu sebeple malzemenin özelliklerinden tam olarak faydalanılamamaktadır. Bu bağlamda, Ni-Hard malzemelerin işlenmesinde en düşük kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün elde edilebilmesi için değişik kesme parametrelerinin (kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı, takım malzemesi) optimizasyonunun yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Böylece, Ni-Hard malzemelerin işlenmesinde kullanılan kesme parametreleri ve kesici takım malzemeleri için yapılacak optimizasyon ile malzemenin kullanım alanlarının yaygınlaştırılabileceği amaçlanmıştır.

Bu tezin amaçları doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmalar toplam sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, giriş bölümü olup çalışmanın kısaca özetini içermektedir. İkinci bölüm, dökme demir malzemelerin işlenmesi ile ilgili yapılan deneysel ve teorik çalışmaların sunulduğu literatür araştırmasıdır. Üçüncü bölümde, dökme demirler ve bu çalışmada kullanılan Ni-Hard malzeme tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, talaş kaldırma esasları ve işlenebilirlik hakkında genel bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde, deney tasarımı ve önemi ile optimizasyon kavramı açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, çalışma kapsamında kullanılan cihaz ve ekipmanlar ile deney tasarımı ve analiz yönteminin anlatıldığı materyal metot kısmı yer almaktadır. Yedinci bölüm, deneysel verilerin tablo ve grafikler halinde sunulduğu ile istatistiksel analiz sonuçlarının değerlendirildiği sonuçlar ve tartışma kısmıdır. Son bölümde ise tez çalışmasının sonuçları ve bundan sonra yapılabilecek araştırmalar için öneriler bulunmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Goldberg vd. (1999), östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin yüksek kaliteli kesici takımlarla işlenebilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada CBN ve seramik kesici takımlar kullanmışlardır. Kesme kuvvetlerinin artması ve aşırı takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır. Deneyler sonucunda, düşük kesme derinliği ve yüksek kesme hızlarında ALSc seramik takımların, büyük hacimde talaş kaldırma ve devamlı kaba işlemede ise ALTc seramik takımların daha iyi sonuç verdiğini bulmuşlardır [6].

Tekaüt vd. (2011), AISI 1050 çeliğini tornalama işleminde talaş kırıcı formu ve kesme parametrelerinin Taguchi Yöntemi ile L_{32} dikey dizinine göre optimizasyonunu yapmışlardır. Ayrıca, deneysel çalışmaya gerek kalmaksızın tahmini değerlere ulaşmada kullanılacak F_c 'nin istatistiksel modelini oluşturmuşlardır. Modelde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında %91,7'lik yüksek derecede bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır [7].

Demir vd. (2009), sertleştirilebilir paslanmaz takım çeliği Stavax ESR (AISI 420 ESR) üzerinde işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Deneyleri tornalama metoduyla altı farklı kesme hızı (160, 200, 240, 280, 320 ve 360 m/dak), dört farklı ilerleme miktarı (0,05, 0,10, 0,15 ve 0,20 mm/dev) ve 1 mm kesme derinliğinde soğutma sıvısı kullanmadan yapmışlardır. En düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin sırasıyla 0,05 ve 0,10 mm/dev ilerleme miktarlarında, 240 ve 280 m/dak kesme hızlarında olduğu belirlemişlerdir [8].

Davim and Figueira (2006), seramik takımlarla soğuk iş takım çeliğini tornalayarak işlenebilirliğini incelemişlerdir.

Taguchi'nin L_{27} dikey dizinine göre yapılan deneyler sonucunda; kesme hızının artması ile takım aşınmasının arttığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığını, artan ilerleme miktarıyla ise yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını rapor etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü Ra değerinin 0,8 μm düzeyinin altına düşürülebileceğini tespit etmişlerdir [9].

Choudhury and El-Baradie (1997), yüksek dayanımlı çeliğin kaplamasız karbür takımlarla tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmini için model oluşturmuşlardır. Çalışmalarında kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme parametrelerinin önem seviyelerinin büyükten küçüğe doğru; ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliği şeklinde olduğu sonucuna varmışlardır [10].

Motorcu (2006), ısıtılmış ve küreselleştirilmiş $\text{C}52100$ rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde ana kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneylerde, % 70 Al_2O_3 +% 30 TiC matris esaslı kaplamasız karma alümina seramik, % 70 Al_2O_3 +% 30 TiC matris esaslı ve PVD yöntemiyle TiN kaplı seramik ve CVD tekniğiyle $\text{Ti}(\text{C},\text{N})+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Ti}(\text{C},\text{N})+\text{TiN}$ kaplı karbür olarak üç farklı kesici takım kullanmıştır. Taguchi Yöntemi kullanılmış ve probleme uygun dikey dizi $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ seçilmiştir. Isıtılmış $\text{C}52100$ rulman çeliğinin işlenmesinde en iyi takım performansını kaplamalı seramik takımlar sağlamış olup, bunu kaplamasız seramik ve kaplamalı karbür takımlar izlemiştir. Küreselleştirilmiş $\text{C}52100$ rulman çeliğinin işlenmesinde ise kaplamalı karbür takımlar daha iyi takım ömrü performansı sergilemiştir [11].

Kartal (2000), St 33 ve St 52 çeliklerinin kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin farklı seviyeleriyle sementit karbür kesicilerle işlenebilirliğini incelemiştir. Deneyleri, Taguchi Yöntemi'nin L_9 dikey dizinine göre yapmış olup, elde edilen verileri varyans analizi yardımıyla değerlendirerek en uygun kesme parametrelerini bulmuştur.

Varyans analizi yardımıyla St 33 malzemenin yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametreleri olarak; kesme hızı 180 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1 mm olarak belirlemiştir. Ayrıca, St 33 malzeme için, kesme parametrelerinin Ra değerine etkinlik yüzdelerinin tespitini yapmıştır. Kesme hızı için % 8,2, ilerleme miktarı için % 75,2 ve kesme derinliği için % 1,9 olarak bulmuştur. St 52 malzemenin yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametreleri olarak; kesme hızı 180 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve talaş derinliği 1,5 mm olarak belirlemiştir. St 52 malzemede, kesme parametrelerinin etkinlik yüzdelerini ise kesme hızı % 8,40, ilerleme miktarı % 72,56 ve kesme derinliği % 6,88 olarak bulmuştur [12].

Kopac vd. (2002), C15 E4 çeliğini işleyerek yaptıkları deneysel çalışmada elde ettikleri yüzey pürüzlülüğü değerlerini Taguchi Yöntemi ile analiz etmişlerdir. L₁₆ dikey dizini ile yapılan çalışmada, değişkenler ve seviyelerini; kesme hızı 25 m/dak ve 400 m/dak, kesici takım Sermet ve Sermet-TiN, kesme derinliği 0,3 mm ve 0,5 mm olarak belirlemiştir. TiN kaplamalı uçların yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen faktörün kesme hızı olduğunu ve yüksek kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün azaldığını bulmuşlardır. Kesme derinliğinin azalması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin bir miktar azaldığını vurgulamışlardır [13].

Dawim (2001), tornalama işleminde kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini Taguchi Yöntemi ile analiz etmiştir. L₂₇ dikey dizinine göre yaptığı deneylerde, kesme parametreleri olarak kesme hızı (250, 150 ve 100 m/dak), ilerleme miktarı (0,10, 0,16 ve 0,25 mm/dev) ve kesme derinliğinin (0,5, 0,75 ve 1 mm) üçer seviyesini seçmiştir. Deneyler sonucunda kesme hızının, ilerleme miktarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha büyük etkiye sahip olduğunu bulmuştur [4].

Kaçal vd. (2008), küresel grafitli dökme demirlerin yüksek kesme hızlarında bitirme tornalama işleminde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Deneyleri; ısıl işlemsiz GGG 40 küresel grafitli dökme demirden hazırlanan numunelerle, seramik, ve CBN kesici takımlar kullanarak yapmışlardır.

Kesme parametreleri olarak, üç farklı kesme hızı (600,700 ve 800 m/dak) ve dört farklı ilerleme (0,05, 0,08, 0,12, 0,16 mm/dev) değeri kullanmışlardır. En düşük pürüzlülük değerini seramik kesici ile kesme hızının 600 m/dak ve ilerlemenin 0,05 mm/dev olduğu kesme şartında 0,4 µm olarak elde etmişlerdir. Isıl işlem görmemiş küresel grafitli dökme demirlerin bitirme tornalanmasında elde edilen Ra sonuçlarına göre taşlama gibi ikincil bir işlemin gerekmediğini belirtmişlerdir [14].

Ucun vd. (2007), östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin sementit karbür kesici takımlar ile işlenmesinde takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Dökme demir numunelerine ilk olarak tuz banyosunda 900 °C’de 60 dakika süreyle östenitlemeye tabi tutmuşlar ve sonra 250 °C ve 325 °C’lerde 60 dakika süre ile östemperleme işlemi yapmışlardır. Deneyle, sabit ilerleme ve kesme derinliği ile ve 75-250 m/dak arasında değişen kesme hızlarında yapmışlardır. Sonuç olarak, düşük östemperleme sıcaklıklarının kesme kuvvetlerini artırırken, daha iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için elverişli olduğunu görmüşlerdir [15].

Camuşcu (2006), küresel dökme demirlerde Al_2O_3 seramik takımların kesme hızlarındaki performansını araştırmıştır. TiN kaplamalı Al_2O_3+TiCN seramik takım, SiC takviyeli Al_2O_3 seramik takım ve kaplamasız Al_2O_3+TiCN seramik takım olmak üzere üç farklı kesici takım kullanmıştır. Kesme parametreleri olarak; dört farklı kesme hızı (300, 450, 600 ve 750 m/dak), sabit kesme derinliği ve ilerleme miktarı (1 mm - 0,1 mm/dev) şeklinde kullanmıştır. Takımların performansını; takım aşınması, yüzey durumu ve kesme kuvvetlerine göre değerlendirmiştir. Kaplamasız Al_2O_3+TiCN seramik takım, takım aşınması için en kötü sonucu verirken, yüzey durumu için en iyi sonucu verdiğini görmüştür. SiC takviyeli Al_2O_3 seramik takımın kesme kuvvetleri için en kötü performansı sergilediğini tespit etmiştir. Yüksek kesme hızlarında (600 m/dak üzerinde) en uygun seramik takımın TiN kaplamalı Al_2O_3+TiCN seramik takım olduğunu belirlemiştir [16].

Lalwani vd. (2008), MDN 250 çeliğinin sert tornalanması üzerine çalışmalarını yürütmüşlerdir.

MDN 250 çeliğinin sert tormalanmasında kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini kaplamalı seramik takımlar kullanarak incelemişlerdir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün 55 m/dak ile 93 m/dak arasında çok fazla değişiklik göstermediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, kesme kuvvetlerinin tahmini olarak bulunması için bir matematiksel model ortaya koymuşlardır [17].

Bouacha vd. (2010), 64 HRC sertliğindeki AISI 52100 rulman çeliğini CBN takımlarla sert tormalayarak yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, Taguchi Yöntemi'nin L₂₇ dikey dizinine göre deney tasarımı yapmışlar ve deneysel sonuçları varyans analizi ve S/N oranlarına göre değerlendirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerini etkileyen esas faktörlerin ilerleme miktarı ve kesme hızı olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme kuvvetlerini ise en fazla kesme derinliğinin etkilediğini belirlemişlerdir [18].

Oliveira vd. (2009), PCBN ve whisker takviyeli kesici takımlarla, 56 HRC sertliğinde AISI 4340 çeliğinin, sürekli ve kesikli sert tormalama ile takım ömrü ve termal kararlılık değerlerini incelemişlerdir. En iyi takım ömrünü sürekli tormalama ve PCBN kesici takım ile elde etmişlerdir. Ayrıca, sürekli ve kesikli tormalama için de en iyi termal kararlılığın PCBN takım ile oluştuğunu belirtmişlerdir [19].

Masood vd. (2011), beyaz dökme demirleri lazer destekli olarak işlemişlerdir. Lazer destekli işleme ile kesme kuvvetlerinde azalma ve takım ömründe artma olduğu sonucuna varmışlardır. Beyaz dökme demir gibi işlenmesi zor ve çok sert malzemeler için lazer destekli işlemenin makul bir alternatif olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Lazer destekli işleme ile kesme kuvvetlerinin % 24, ilerleme kuvvetlerinin ise % 22 oranında azaltılabileceğini göstermişlerdir [20].

Şeker ve Hasırcı (2006), östemperlenmiş dökme demirlerin işlenebilirlik parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneyleri sinterlenmiş karbür kesici takımlarla, torna tezgahında, 113 m/dak kesme hızı, 0,06 mm ilerleme miktarı ve 1,5 mm kesme derinliğinde gerçekleştirmişlerdir.

Östemperleme sıcaklığının değiştirilmesi ile yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin azaltılabileceğini tespit etmişlerdir [21].

Gopalsamy vd. (2009), yüksek dayanımlı çeliklerin işlenmesinde işleme parametrelerini optimize etmek için Taguchi Yöntemi'ni kullanarak, L₁₈ dikey dizinine göre deney tasarımı yapmışlardır. Kesme hızını 100, 150 ve 204 m/dak, ilerleme miktarını 0,05, 0,1 ve 0,2 mm/dev, kesme derinliğini de 0,05, 0,1 ve 0,2 mm olarak belirlemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda sert malzemelerin işlenmesini optimize etmek için Taguchi Yöntemi ve ANOVA'nın kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. En iyi işleme parametrelerini; 204 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,2 mm kesme derinliği olarak ortaya koymuşlardır [22].

Göloğlu ve Sakarya (2008), DIN 1.2738 çeliğinin cep frezelenmesinde takım yolu belirlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisini Taguchi Yöntemi'nin L₁₆ dikey dizinini kullanarak araştırmışlardır. Yapılan frezeleme deneylerinde, tek yönlü, ileri-geri ve spiral takım yollarını kullanmışlardır. Kesme parametrelerini kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve yanıl ilerleme olarak belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi takım yolunu spiral olarak bulmuşlardır [23].

Korkut vd. (2009), küresel grafitli dökme demirden üretilen krank mili yataklarının negatif ve pozitif geometrideki kaplamalı sementit karbür kesicilerin ile işlenebilirliğini araştırmışlardır. Tornalama deneylerinde, dört farklı kesme hızı (250, 275, 300 ve 325 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,15, 0,25 ve 0,3 mm/dev) ve iki farklı kesme derinliği (0,5 ve 2 mm) kullanarak bu parametrelerin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, her iki geometri için bütün kesme hızlarında, ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını vurgulamışlardır. İlerlemedeki artışın ile her iki kesici takımla yapılan işleme sırasında esas kesme kuvvetlerini artırdığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin önem sırasının; ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği şeklinde olduğunu belirtmişlerdir [24].

Literatür araştırmasının özeti Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatür araştırması özeti.

Yıl	Araştırmacı	İş Parçası Malzemesi	İncelenen Kriterler	Taguchi Yöntemi
1999	Goldberg vd.	Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü Takım Aşınması	-
2011	Tekaüt vd.	AISI 1050	Kesme Kuvveti Talaş Kırıcı formu	L ₃₂
2009	Demir vd.	AISI 420 ESR	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü	-
2006	Davim and Figueira	AISI D2	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü Takım Aşınması	L ₂₇
1997	Choudhury and El-Baradie	Yüksek Dayanımlı Çelik	Yüzey Pürüzlülüğü	-
2006	Motorcu	Ç1050, Ç4140 ve Ç52100	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü Takım Aşınması	L ₁₈
2000	Kartal	St 33 ve St 52	Yüzey Pürüzlülüğü Takım Aşınması	L ₉
2002	Kopac vd.	C15 E4	Yüzey Pürüzlülüğü	L ₁₆
2001	Dawim	DIN 9SMnPb28K	Yüzey Pürüzlülüğü	L ₂₇
2008	Kaçal vd.	Küresel Grafitli Dökme Demir	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü	
2007	Ucun vd.	Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü Takım Aşınması	-
2006	Camuşçu	Küresel Grafitli Dökme Demir	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü Takım Aşınması	-
2008	Lalwani vd.	MDN 250	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü	-
2010	Bouacha vd.	AISI 52100	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü	L ₂₇
2009	Oliveira vd.	AISI 4340	Takım Ömrü Termal Kararlılık	-
2011	Masood vd.	Beyaz Dökme Demir	Kesme Kuvveti Takım Ömrü	-
2006	Şeker ve Hasırcı	Östemperlenmiş Dökme Demir	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü	-
2009	Gopalsamy vd.	Yüksek Dayanımlı Çelik	Takım Aşınması	L ₁₈
2008	Göloğlu ve Sakarya	DIN 1.2738	Takım Yolu Yüzey Pürüzlülüğü	L ₁₆
2009	Korkut vd.	Küresel Grafitli Dökme Demir	Kesme Kuvveti Yüzey Pürüzlülüğü	-

BÖLÜM 3

DÖKME DEMİRLER

Dökme demirler, döküm endüstrisinin en yüksek üretim miktarına sahip ürünleridir. Dökme demirlerde alaşım elementlerinin kullanımı önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar; alaşım elementlerinin kolay bulunması, üretilecek ürünlerin yüksek sertliğe sahip olması, yüksek aşınma ve korozyon direnci kazanmaları, geniş bir yelpazede çok çeşitli ve farklı özelliklerde üretilebilmeleri olarak sayılabilir [25].

Dökme demirler, bileşiminde % 2'den çok karbon bulunan döküm alaşımlarıdır. Bileşimlerindeki karbon % 4'e ve silisyum % 3,5'e kadar bulunabilir. % 4'ün üzerinde karbon oranı malzemeyi aşırı derecede gevrek hale getirdiği için genellikle bu oranda kullanılmamaktadır [25].

3.1. DÖKME DEMİR TÜRLERİ

Dökme demirler beş ana grupta toplanabilir [25]:

1. Gri (Lamel Grafitli) dökme demirler
2. Küresel grafitli dökme demirler
3. Beyaz dökme demirler
4. Temper dökme demirler
5. Yüksek alaşımlı dökme demirler

3.1.1. Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demirler

Gri dökme demir, alaşımın katılaşması ile beraber bileşimindeki karbonun, kısmen veya tamamen grafit yapıda bulunduğu bir dökme demir çeşididir (Şekil 3.1.a). Kesit alanı gri renktedir. Yapısında bulunana grafit lameller halinde tabakalı olarak dağılım sergilemektedir [25].

3.1.2. Küresel Grafitli Dökme Demirler

Yapısında bulunan grafitin küresel şekilde olduğu dökme demirdir (Şekil 3.1.b). Nodüler veya sfero dökme demir olarak da adlandırılmaktadır. Özel işlemler ile elde edilmektedir. Karbonu lamel şeklinden, küre şekline dönüştürmek için, ergimiş dökme demire magnezyum veya seryum katılır. Küresel hale getirilen grafitler, dökme demire yumuşaklık kazandırır [25].

3.1.3. Beyaz Dökme Demirler

Beyaz dökme demirler, içerisinde bulunan manganezin etkisi ile karbonun tamamının veya tamamına yakın kısmının sementite dönüştüğü dökme demirlerdir. Alaşım katılaşığında, bileşimindeki karbon, sementit (Fe_3C) halini alır. Yapısında grafit bulunmadığı için beyaz renkte görünür [25]. Şekil 3.1.c'de beyaz dökme demirin mikro yapısı görülmektedir.

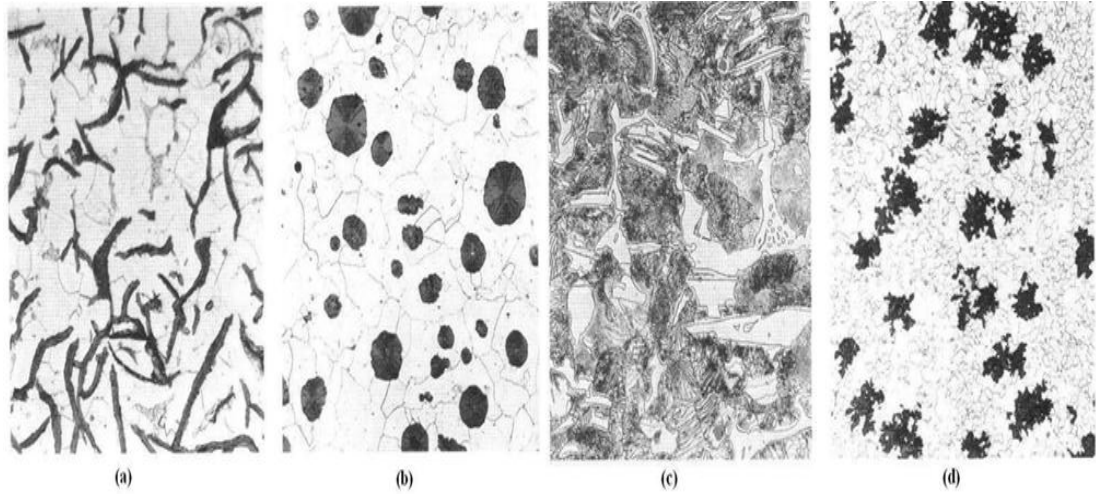
3.1.4. Temper Dökme Demirler

Uygun kimyasal bileşimdeki sementit dokulu beyaz dökme demirin temperlemeye elverişli boyut ve biçimde dökülmüş ve sonradan ısı işlem (tavlama - temperleme) yapılarak bileşimindeki karbonu, rozet şekilli grafit kümeler şekline getirilmiş dökme demirdir (Şekil 3.1.d).

Temper dökme demirin, siyah temper dökme demirler ve beyaz temper dökme demirler olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır:

Siyah temper dökme demirler, uygun kimyasal bileşimindeki sementit dokulu beyaz dökme demirin nötr bir ortamda uzun süre belli sıcaklıkta (östenit alanında) ısıtılmasıyla hazırlanan bir temper dökümdür. Kırılmış kesiti genellikle siyah renktedir.

Beyaz temper dökme demirler, uygun kimyasal bileşimdeki sementit dokulu beyaz dökme demirin, oksitleyici bir ortamda uzun süre belli sıcaklıkta (östenit alanında) ısıtılmasıyla hazırlanan bir temper dökümdür. Kırılmış kesiti genellikle beyaz renktedir [25].



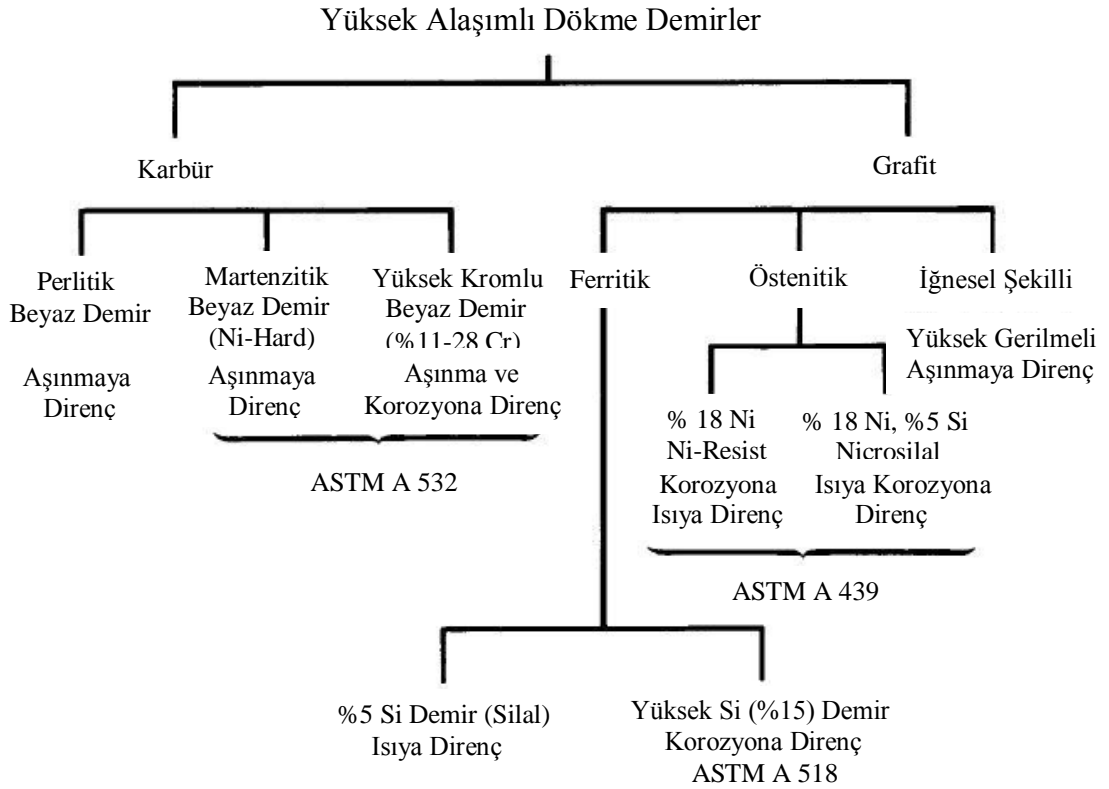
Şekil 3.1. Dökme demirlerin mikro yapıları. a) Gri dökme demir. b) Küresel grafitli dökme demir. c) Beyaz dökme demir. d) Temper dökme demir [26].

3.1.5. Yüksek Alaşımli Dökme Demirler

Üretimi diğer dökme demirlerden ayrı olarak değerlendirilmesi gereken önemli bir malzeme grubudur. Bu tip dökme demirlerde alaşım miktarı % 4'den fazladır. Alaşım oranı % 4'ün altında olanlar düşük alaşımli dökme demirler olarak adlandırılır [27]. Yüksek alaşımli dökme demirlerin aşınma, ısı ve korozyon dirençleri gibi belirli özellikleri alaşımli ve az alaşımli diğer dökme demirlerden oldukça yüksektir.

Alaşım içeriği % 4'ün altında olan düşük alaşımlı beyaz dökme demirler, 350-550 HB arası sertliğe sahip olurken, yüksek alaşımlılar 450-850 HB sertliğe sahiptir. Yüksek alaşımlı dökme demirlerde kullanılan başlıca alaşım elementleri; Nikel, Krom, Molibden, Bakır ve Vanadyum'dur.

Şekil 3.2'de yüksek alaşımlı dökme demirlerin standart sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Yüksek alaşımlı dökme demirlerin sınıflandırılması [27].

ASTM A 532 sınıflandırması, aşınmaya dirençli Ni-Hard'ı (martenzitik beyaz dökme demir) kapsar [28]. Bazı dökümler bu standartlara göre yapılırsa da, genelde her özel uygulama için belirli bir bileşim ayarlaması yapılarak döküm yapılmaktadır.

3.2. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN BEYAZ DÖKME DEMİR ÜZERİNE ETKİLERİ

Birçok dökme demir tipinde alaşım elementlerinin (karbon ve silisyum da dâhil) malzemenin özelliklerine etkisi çok fazladır. Özellikle grafit ve karbürlerin miktar ve şekilleri, alaşım elementleri ile doğrudan ilgilidir. Genel olarak çok düşük miktarlarda alaşım elementi ilavesi ile yüksek sertlik ve mukavemet elde edilebilmektedir [27].

3.2.1. Karbon

Karbon, beyaz dökme demirin sertliğini artırır. Alaşım-sız ve düşük alaşımlı beyaz dökme demirlerde karbon içeriği normal olarak % 2,2 ile % 3,6 arasındadır. Düşük karbonlu beyaz dökme demirlerin (~% 2,5) sertliği yaklaşık 375 HB (40 HRC) iken yüksek karbonlu beyaz dökme demirlerin (> % 3,5) sertliği yaklaşık 600 HB (57 HRC) dir.

Beyaz dökme demirde, karbon kırılganlığı artırır. Katılma sırasında silisyum içeriği yüksek ise karbon, grafit oluşum eğilimini artırır. Bu nedenle yüksek karbonlu beyaz dökme demirlerde silisyum içeriğini % 1'in altında tutmak çok önemlidir [27].

3.2.2. Krom

Krom dökme demirlerde; karbür yapıcı olarak, korozyon direnci sağlamak için ve yüksek sıcaklık uygulamalarında yapıyı kararlı hale getirmek için kullanılır. Düşük seviyelerdeki krom ilavesinin (% 2-% 3) sertleştirme etkisi çok azdır. Bunun sebebi olarak kromun büyük çoğunluğunun karbürler içinde bağlanması gösterilebilir [27].

3.2.3. Molibden

Martenzitik beyaz dökme demirler için yüksek aşınma direnci istenen yerlerde, % 0,5 - % 3 arası molibden katkısı, etkili bir biçimde perlit oluşumunu önlemektedir.

Molibden; bakır, krom ve nikel ile birlikte ilave edildiğinde aşınma direncini arttırmaktadır. Molibdenin bakır, nikel ve mangan'a göre üstünlüğü, kalıntı östenite sebep olmadan sertleşebilirliği arttırmasıdır [27].

3.2.4. Vanadyum

Etkili bir karbür yapıcı elementtir. Güçlü karbür yapıcı etkisi nedeniyle, sünek ve gri dökme demirlerde nadiren kullanılır [27]. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere düşük miktarlarda (~% 0,5) vanadyum ilavesi aşınma direncini düşürür. Aşınma direncinin düşmesinin sebebi, vanadyumun krom karbürlerde yoğun olarak çözünüp krom karbürlerin gevrekliğini arttırmasıdır [29].

3.2.5. Bakır

Yeterli miktarda ilave edilen bakır, hem düşük hem yüksek kromlu beyaz dökme demirde perlit oluşumunu engeller. Nikel ile kıyaslandığında etkisi nispeten daha azdır, bunun sebebi bakırın östenit içindeki kısıtlı çözülebilirliğidir. Bakır ilavesi % 2,5 ile sınırlandırılmalıdır. Bu sınırlama, bakırın Ni-Hard tipi dökme demirlerde tamamen nikelin yerini alamaması anlamına gelmektedir [27].

3.2.6. Bor

Bor, mikro yapıdaki karbür morfolojisini etkiler. Aynı zamanda bor, mikro yapıdaki karbürleri inceltir ve sürekli iğneler şekline getirir. Bunun sonucunda aşınma direnci artar. Bu durum, bor miktarı % 0,12 – 0,3 arasında olduğunda geçerlidir. Bu limitler arasında bor ilavesiyle darbe direnci de % 20 artar [29].

3.2.7. Nikel

Nikel beyaz dökme demirde tamamen östenitik fazda dağılmış halde bulunmaktadır. Silisyum gibi Nikel de grafit oluşumunu desteklemektedir. Nikel'in bu grafit oluşturucu etkisi krom ile birlikte olduğunda dengelenir.

Yüksek miktarlardaki nikel ilavesi ile perlit oluşumu tamamen bastırılır ve martenzitik bir yapıya ulaşılır. Bu yapı Ni-Hard tipi dökme demirlerin temel yapısıdır.

Ticari Ni-Hard sınıfı dökme demirlerden biri olan Ni-Hard 4 döküm sonrası durumda, ötektik karbür içeren bir martenzitik yapıya sahiptir. Eğer yapıda kalıntı östenit bulunursa, alaşımın martenzit miktarı ve sertliği, soğutma işlemleri veya havada yeniden östenitleme ile artırılabilir. Ni-Hard 4 tipi dökme demirler iyi derece mukavemet ve tokluğa sahip olup, yüksek aşınma direnci gösterirler [27].

3.3. Ni-HARD DÖKME DEMİRLER

Ni-Hard, aşınmaya karşı çok yüksek dirence sahip (58-65 HRC), yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin adıdır [30]. ASTM A 532'ye göre dört çeşit Ni-Hard grubu bulunmaktadır.

- Ni-Hard 1: Yüksek karbon içerir. Çok sert yapıya sahiptir. Aşınma direnci yüksektir.
- Ni-Hard 2: Ni-Hard 1'den daha az karbon içerir, daha serttir ve aşınmaya karşı daha dayanıklıdır.
- Ni-Hard 3: Ni-Hard 2'ye benzer özellikleri bulunmaktadır. Sıklıkla tercih edilmemektedir.
- Ni-Hard 4: Son yıllarda geliştirilmiştir. Yüksek sertliği, çok iyi aşınma mukavemeti ve devamlı darbeye yüksek dayanımı vardır [31].

Yaygın olarak Ni-Hard adıyla bilinen malzemelerin kimyasal bileşimi ve sertlik değerleri, sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ni-Hard malzemelerin kimyasal bileşimi [28].

Kimyasal Bileşim (%)											
Sınıf	Tip	Sembol	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	P	S
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8-3.6	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	----	0.3 max	0.15 max
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4-3.0	2.0 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max	----	0.3 max	0.15 max
I	C	Ni-Cr-GB	2.5-3.7	2.0 max	0.8 max	4.0 max	1.0-2.5	1.0 max	----	0.3 max	0.15 max
I	D	Ni-HiCr	2.5-3.6	2.0 max	2.0 max	4.5-7.0	7.0- 11.0	1.5 max	----	0.10 max	0.15 max
II	A	12% Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0- 14.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	B	15% Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0- 18.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	D	20% Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.0-2.2	2.5 max	18.0- 23.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
III	A	25% Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	23.0- 30.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max

Çizelge 3.2. Ni-Hard malzemelerin sertlik değerleri [28].

Sınıf	Tip	Sembol	Kum Kalıba Dökünde Sertlik Değerleri					
			HB	HRC	HV	HB	HRC	HV
I	A	Ni-Cr-HiC	600	56	660	650	59	715
I	B	Ni-Cr-LoC	600	56	660	650	59	715
I	C	Ni-Cr-GB	600	56	660	650	59	715
I	D	Ni-HiCr	600	56	660	650	59	715
II	A	12% Cr	600	56	660	650	59	715
II	B	15% Cr	600	56	660	650	59	715
II	D	20% Cr	600	56	660	650	59	715
III	A	25% Cr	600	56	660	650	59	715

Ni-Hard 4'ün Ni-Hard 1'e göre daha sert olduğu mikro yapılarında, martenzit dağılımında görülmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Ni-Hard 1 ve Ni-Hard 4 malzemelerin mikro yapısı [32].

3.3.1. Ni-Hard Malzemenin Kullanıldığı Alanlar

Ni-Hard malzemeler yüksek aşınma direnci ve sertliğe sahiptir [33]. Bu özelliğinden dolayı cevher kırıcılar, öğütücü değirmen merdaneleri, tarım makineleri, pistonlar, konveyörler, pompalar, dişliler ve madencilik sanayi gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [34].

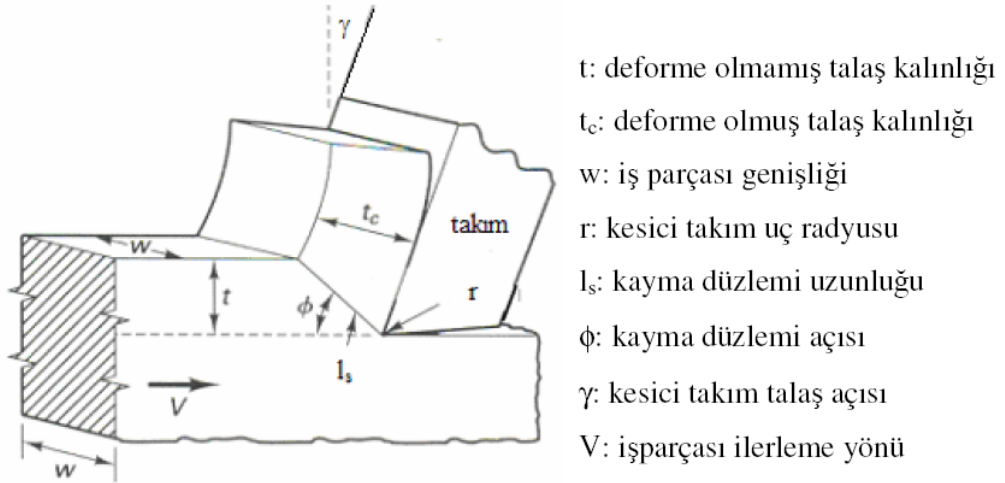
BÖLÜM 4

TALAŞ KALDIRMA ESASLARI VE İŞLENEBİLİRLİK

4.1. METAL KESME MEKANİĞİ

Metal kesme mekaniği şu ana kadar tam olarak anlaşılammış olup endüstri, üniversite ve laboratuvar araştırmalarının işleme sürecinin modellenmesi üzerindeki çalışmaları halen devam etmektedir [35]. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için metal kesme mekaniğinin tanımlanmasında genellikle iki boyutlu ortogonal (dik) kesme modeli kullanılır (Şekil 4.1). Bu model basit olmasının yanı sıra talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar [2].

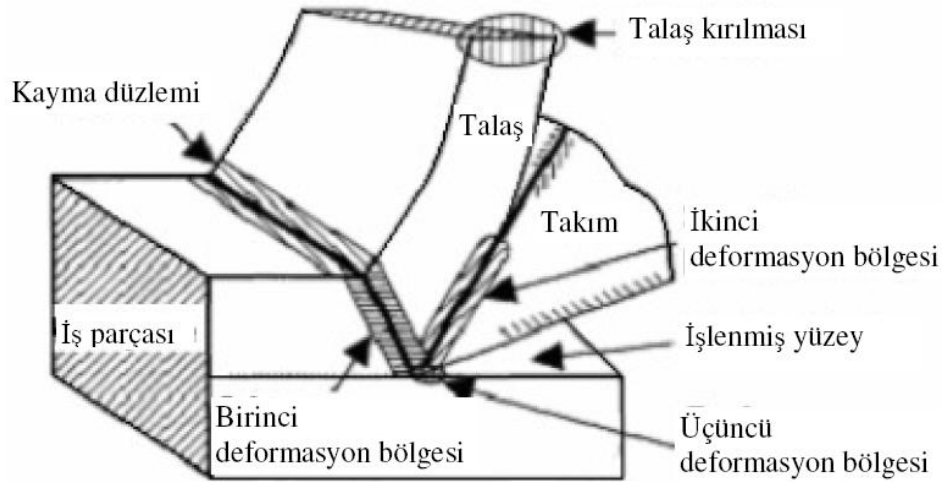
Dik kesme işleminde, kesici takım kenarı iş parçası-takım hareket yönüne göre dik olarak hareket eder. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesi değerinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir.



Şekil 4.1. Dik kesme modeli [2].

Gerçekte talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir. Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir [36]. Dik kesme işlemi sırasında oluşan işleme sürecinde üç deformasyon bölgesi oluşmakta olup bunlar Şekil 4.2’de görülmektedir.

İş parçasının kesici takım önünde hareketiyle oluşan kayma düzleminde meydana gelen deformasyon birinci deformasyon bölgesidir [37]. İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Sürtünme kuvveti ve takım-talaş teması boyunca meydana gelen basınçtan kaynaklanan takım-talaş ara yüzeyindeki deformasyon, ikinci deformasyon bölgesidir. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken basınca bağlı oluşan yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır. İşleme sürecinin anlaşılmasında ikinci deformasyon bölgesinin önemi büyüktür. Bu bölgenin kalınlığı gerilme, gerinim ve sıcaklıktan çok fazla etkilenir. Bu nedenle ikinci deformasyon bölgesi, maksimum kayma gerilmesi, maksimum kayma gerinim oranı ve talaştaki sıcaklığın en yüksek olduğu yer olarak varsayılmaktadır. Üçüncüsü, işlenen yüzeye kesici takım yan yüzeyinin teması sonucunda oluşan sürtünmenin etkisiyle meydana gelen deformasyondur ki bu da üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılır [38].



Şekil 4.2. Plastik deformasyon bölgeleri [37].

4.2. TAKIM TALAŞ ARA YÜZEYİNDE YIĞINTI TALAŞ OLUŞUMU

Talaşlı imalat işlemi esnasında birinci deformasyon bölgesinden ayrılan talaş kesici takım-talaş yüzeyinden geçerek kesme bölgesinden atılır. Talaşın bu bölgeden geçerken kesici takımla etkileşimi ve davranışı talaşlı imalat performansını önemli ölçüde etkiler. Çoğu analizlerde bu bölgede kesici takım ve talaş arasında klasik sürtünme olduğu kabul edilmiştir fakat bu yaklaşımın genellikle uygun olmadığı görülmüştür. Kesici takım, talaş ve ani durdurma ile elde edilen numuneler üzerinde yapılan metalurjik incelemelerde, bu bölgede çoğunlukla klasik sürtünmenin olmadığı ve yapışma olduğu sonucuna varılmıştır [39]. Bu bölgede yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı iki yüzey birleşerek metalin kayma hareketini durdurur fakat takım-talaş arasındaki hareket devam ettiği için dolayı ara yüzeyde akma bölgesi oluşur. Hareketin şekli çoğunlukla kesilen iş parçası malzemesinin özelliğine ve kesme parametrelerine bağlıdır. Bu bölge akma bölgesi veya ikinci deformasyon bölgesi olarak adlandırılır (Şekil 4.2).

Takım-talaş ara yüzeyinde yapışma sonucu akma bölgesi daima kesici takım yüzeyinde oluşmaz. Alternatif bir özellik olan yığıntı talaş, talaşlı imalat işlemlerinde sıkça görülür. Çoğunlukla orta seviyedeki kesme hızlarında görülen yığıntı talaş, yapılarında birden fazla faz bulunduran alaşımların işlenmesinde, pekleşen iş parçası malzemesinin kesici takım talaş yüzeyinde ve kesici uç etrafında kümelenerek talaşın kesici takımla doğrudan temasını engeller. Yığıntı talaş oluşumu ile yoğun ve hızlı kayma deformasyonu takım yüzeyinden yığıntı talaş yüzeyine taşınır [40].

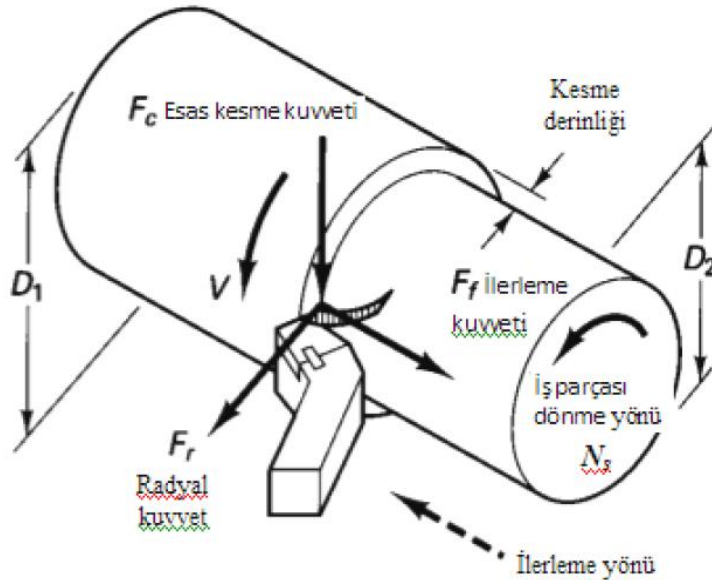
Yığıntı talaş oluşumunun gerçekleştiği sıcaklık iş parçasının yeniden kristalleşme sıcaklığının altındadır. Yığıntı talaşın yapısı yeniden kristalleşmeye maruz kalmış akma bölgesinin yapısından tamamen farklıdır. Yığıntı talaş dinamik bir yapıya sahiptir. Metal kesme işlemi esnasındaki zor şartlarda sertleşen katmanların kümelenmesiyle oluşur ve belirli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra talaş akışının neden olduğu kayma kuvvetlerine daha fazla dayanmayacağı için talaş veya iş parçası vasıtasıyla kesici uçtan uzaklaşır. Yığıntı talaş, kesici uçtan uzaklaştırılması ile tekrar oluşmaya başlar ve bu şekilde periyodik olarak oluşumu ve kırılması devam eder.

Yığıntı talaşın kesici takım yüzeyinden atılması esnasında bir kısım kesici takım malzemesi de yığıntı talaşla birlikte kopup gidebilir [41]. Bazı durumlarda yığıntı talaş kesici uç üzerinden iş parçası malzemesine doğru çıkıntı oluşturarak talaş derinliğini artırır. Bu çıkıntı düzensiz bir yapıya sahip olacağı için yüzey pürüzlülüğünü artıracaktır [42].

Yığıntı talaşın şekli, özellikle kesici takım talaş açısını ve talaş derinliğini etkiler. Yığıntı talaş, talaşlı imalat işleminde çeşitli durum ve biçimlerde görülen ve genelde olumsuz kabul edilen bir faktördür ve oluştuğu kesme şartları değiştirilerek çoğunlukla oluşumu engellenebilir [41].

4.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [42]. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 4.3'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [43].

Kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

- Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder . En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde %99'una karşılık gelir.
- İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Genellikle esas kesme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır.
- Radyal (pasif) kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet ise genellikle ilerleme kuvvetinin yaklaşık %50'si kadardır [43].

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve şu şekilde hesaplanır:

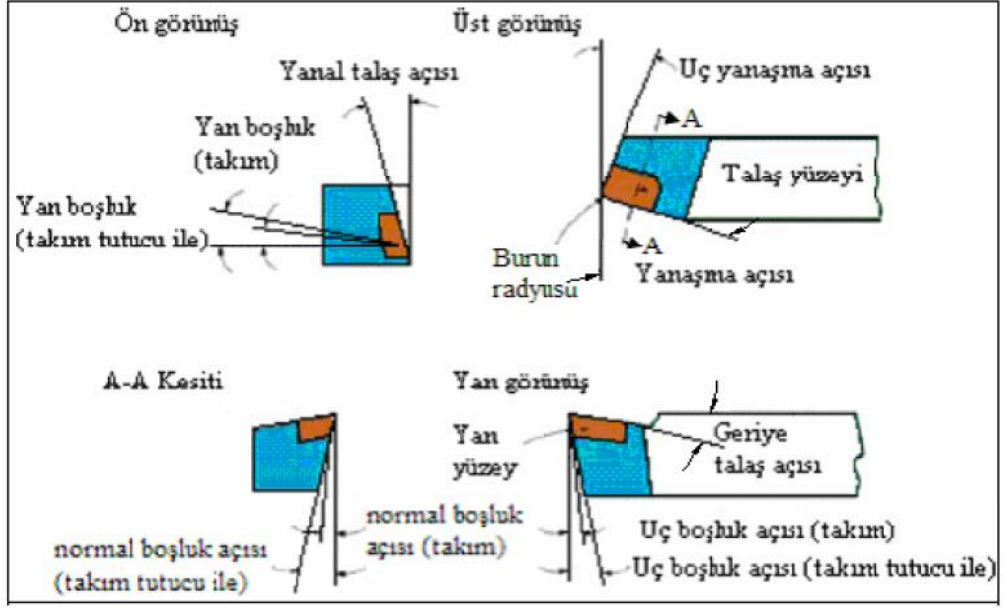
$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (4.1)$$

4.4. KESİCİ TAKIM

4.4.1. Kesici Takım Geometrisi

Talaşlı imalat işleminde etkin bir şekilde kesme işleminin yapılabilmesi için kesici takım uygun geometriye sahip olmalıdır. Çeşitli talaşlı imalat işlemleri için kesici takım geometrileri de farklılık gösterir. Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır.

Bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır [44]. Şekil 4.4'te tek noktadan, sağ yönlü kesme işlemi yapan (sağ yan) bir kesici takımın geometrisi görülmektedir.



Şekil 4.4. Tek noktadan kesme yapan bir kesici takımın geometrisi [45].

4.4.2. Kesici Takım Malzemeleri

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [41]:

- Yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
- Yüksek tokluk,
- İş parçası ile kimyasal tepkime oluşturmaması,
- Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye karşı kararlılık,
- Isıl şoklara karşı direnç.

Endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan kesici takım malzemeleri aşağıda verilmiştir.

4.4.2.1. Yüksek Hız Çeliği

Yüksek hız çeliği, karbon ve düşük alaşımlı çeliklere nazaran yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilmektedir.

Yüksek alaşımlı bir takım çeliği olup günümüzde kullanılan en önemli takım malzemelerinden biridir. Matkap, kılavuz, freze çakıları ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek hız çeliği kesici takımlar, sementit karbür ve seramik gibi daha sert kesici takımlardan daha iyi tokluk özellikleri sergilemektedir. Taşlamayla istenilen geometriye kolayca getirilebildikleri için, imalatçılar tarafından tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak da kullanılırlar. Yüksek hız çeliği takımlar, özellikle matkaplar, kesme performanslarının artırılması için TiN ile kaplanırlar [40].

4.4.2.2. Sementit Karbürler

Sementit karbür kesici takımlar ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalurjisi yöntemleriyle üretilmişlerdir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır [40].

Çelik ve WC-Co arasındaki güçlü bir kimyasal reaksiyondan dolayı takım-talaş ara yüzeyinde yapışma ve difüzyon vasıtasıyla özellikle çeliklerin işlenmesi esnasında hızlı krater aşınması olduğu için, WC-Co sementit karbür kesici takımlara TiC ve TaC ilave edilerek krater aşınma direnci önemli derecede iyileştirilmiştir [36, 40].

İki tür sementit karbürün genel özellikleri benzer olup aşağıdaki gibidir:

- Yüksek basma dayanımı, düşük veya orta seviyede çekme dayanımı,
- Yüksek sertlik,
- Yüksek sıcak sertlik,
- İyi aşınma direnci,
- Yüksek ısı iletkenlik,
- Yüksek elastikiyet modülü,
- Yüksek hız çeliğinden düşük tokluk [40].

Çelik dışı malzemelerin işlenmesinde de kullanılan sementit karbür kesici takımlar alüminyum, pirinç, bakır, magnezyum, titanyum ve dökme demirin işlenmesinde kullanılır. Çelik türü malzemeler için olan sementit karbür ise düşük alaşımlı, paslanmaz ve diğer alaşımlı çeliklerin işlenmesinde kullanılır. Bu tür kesici takımlarda WC ile birlikte TiC ve/veya TaC'de kullanılır. Çoğunlukla % 10-25 oranında TiC ve TaC aynı oranda WC azaltılarak ilave edilir. Bu yapı, bu tür kesici takımlarda çeliğin işlenmesinde krater aşınma direncini artırır fakat çelik dışı malzemelerin işlenmesinde hızlı yan yüzey aşınmasına sebep olur [40].

4.4.2.3. Kaplamalı Sementit Karbür

Sementit karbürlerin aşınmaya dirençli TiC, TiN ve/veya Al₂O₃ gibi malzemelerle kaplanması kesici takım alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilir. Kimyasal veya fiziksel buhar çökeltme yöntemleriyle sementit karbür altlık üzerine birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katman olarak kaplanan bu malzemeler, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde artırır [36].

Kaplamalar, geliştirildikleri ilk zamanlarda tek katman olarak uygulanmıştır fakat son zamanlarda çok katlı kaplamalar geliştirilmiştir. WC-Co kesici takıma, adhesiv olarak iyi birleşmelerinden ve birbirlerine yakın ısı iletkenlik katsayılarından dolayı çoğunlukla TiN veya TiCN uygulanır. Bu ilk katmanın üzerine TiN, TiCN ve Al₂O₃ uygulanması yaygındır [36].

4.4.2.4. Sermet

Sermet kelimesi, seramik ve metal kelimelerinden türetilmiş olup sementit karbürlerin müşterek ismidir. Sermet kesici takımda sert parçacıklar WC'den ziyade TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken, birleştirici faz da Ni ve/veya Mo'den oluşur. Sermet kesici takımlar da sementit karbür gibi toz metalurjisi, yöntemleriyle üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında kullanılırlar.

Çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan genellikle daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızları kullanılarak iyi bir yüzey elde edilerek çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz [41, 43].

4.4.2.5. Seramik

Seramik kesici takımlar esas olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silisyum nitrür (Si_3N_4) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Sementit karbür kesici takımlarla karşılaştırıldıklarında yüksek sertlik ve sıcak sertlik, yüksek aşınma ve plastik deformasyon direnci ve iyi kimyasal kararlılık özelliklerine sahip olmakla birlikte düşük ısıl sok direnci ve kırılma tokluğu özellikleri sergilerler. Al_2O_3 seramik kesici takımlar dökme demir ve çelik dökümün yüksek hızlarda işlenmesinde başarıyla kullanılırlar. Rijit olarak bağlama gerçekleştirildiğinde, sertleştirilmiş çeliklerin bitirme işlemleri yüksek hız, düşük ilerleme ve düşük talaş derinliği kullanılarak gerçekleştirilebilir [41].

Üretim ve sinterlemedeki iyileştirmelerle ve tokluklarını artırıcı çeşitli elementlerin katılmasıyla seramik kesici takımlar daha iyi dayanım, ısıl şok direnci ve kırılma, tokluğu gibi özelliklere sahip olmuşlardır ve dolayısıyla uygulama alanları genişlemiştir [41].

4.4.2.6. Çok Sert Kesici Takımlar

Doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (PCD) ve kübik bor nitrür (CBN) çok sert kesici takımlar grubuna giren malzemelerdir. Doğada bilinen en sert malzeme doğal elmadır. Sementit karbür veya Al_2O_3 'ten yaklaşık olarak 3-4 kat daha serttir. Anizotropik özellik sergilediği için ölçüm yapılan kristal düzlemine bağlı olarak sertliği 6500–12000 VSD arasında değişir.

Çok yüksek sertliği, mükemmel aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük genleşme katsayısı ve ısıl şok direncini artıran yüksek iletkenliği ve iyi uç keskinliği tek kristalli elması takım malzemesi olarak cazip hale getirmiştir.

Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı karbür ve seramik kesici takımlardan, aşınma direnci abrasif aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde çok daha iyidir [36, 40].

Çok kristalli elmas kesici takımlar yapay elmasın grafitik karbondan çok yüksek sıcaklık ve basınç altında üretiminden sonra kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli boyut ve şekillerde üretilen elmas parçacıklar bir metalik birleştirici ile birlikte bir araya getirilerek sıcak presleme yöntemiyle çok yüksek basınç altında kesici takım geometrisinde imal edilir. Çoğunlukla 0,5–1 mm kalınlığındaki PCD, sementit karbür alt katman üzerinde kesici takım olarak kullanılır [43].

PCD kesici takımlar rastgele yönlendirilmiş elmas parçacıklarından oluştuğu için çoğu uygulamalarda izotropik davranış sergilerler. Doğal elmastan elde edilebilecek kadar mükemmel bir kesici ucun PCD kesici takımla elde edilmesi mümkün olmamakla birlikte kesici uç deformasyona daha az duyarlıdır. Bununla birlikte diğer kesici takımlarla karşılaştırıldığında aşınmaya karşı dayanımı mükemmeldir. Çok uzun süre kesme hassasiyetini koruduğu için özel uygulamalar için çok uygundur. Doğal elmas gibi demir dışı ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır.

Yüksek dayanım ve sertliğine rağmen yüksek sıcaklıkta çeliğin işlenmesinde hızlı takım aşınmasından dolayı kullanılmaz. Yüksek sıcaklıkta elmasın grafitte dönüşümü ve/veya elmas ile demir veya atmosfer arasındaki etkileşimden dolayı hızlı takım aşınması gerçekleşir [40].

Yapay elmas üretiminde kullanılan aynı teknoloji ile hegzagonal bor nitrürden CBN üretimi gerçekleştirilmiştir. 3500–4500 VSD sertliği ile elmastan sonra sertlikte ikinci sırada yer alır. 1100 °C sıcaklıkta sertliği 1800–2000 VSD olup sementit karbürün oda sıcaklığındaki sertliğine tekabül eder. Mükemmel aşınma direnci, iyi ısıl iletkenliği, düşük sürtünme ve ısıl genleşme katsayıları diğer özellikleridir [40].

4.5. İŞLENEBİLİRLİK

İşleme araştırmalarının genel amacı, en iyi ürün kalitesi ve en düşük işleme maliyetinin oluşmasını sağlayan optimum kesme şartları için iş parçası-kesici takım etkileşimini araştırmaktır. İşlenebilirlik bir malzemenin takımlama ve işleme süreçleri açısından tasarlanan şekilde (yüzey kalitesi ve tolerans) kolaylıkla kesilebilmesini tanımlamak için kullanılan terimdir. Bir işleme operasyonunda işlenebilirliği ölçmek için talaşların biçiminin yanı sıra ulaşılan takım ömrü, talaş kaldırma oranı, kuvvet bileşenleri, güç tüketimi ve işlenmiş parçaların yüzey kalitesi ve yüzey bütünlüğü kullanılabilir. İşlenebilirlik, seçilen kesme şartları, kesici takım geometrisi ve özellikleri, işlenen malzemenin özellikleri ile kesme ortamı, takım tezgahının rijitliği gibi muhtelif faktörlerden önemli derecede etkilenebilmektedir. İşleme verimliliği, işlenen parçaların toleranslar dahilinde ve bütünlüğünü bozmadan yüksek hızda işlenmesini sağlayacak kesici takım, kesme şartları ve takım tezgahı kombinasyonunun doğru seçilmesiyle önemli oranda iyileştirilebilir [46].

İşlenebilirlik, talaşlı imalatla şekillendirilmek üzere seçilen malzemenin özelliklerinin, seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere bağılı olarak, malzemenin ve talaşlı imalat yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağılı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [43]. Bir iş parçasının işlenebilirliğini etkileyen ana faktörler, işleme süresince plastik deformasyonu değerlendirilmesi açısından önemli olup aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- İşleme şartları; kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği,
- Takım yönünden; kesici takım malzemelerinin özellikleri ve mikroyapıları, takım geometrisi, takım kırılma direnci,
- İş parçası yönünden; mekanik, fiziksel ve ısıl özellikler, yüksek gerilme ve yüksek gerilme oranlarında mikroyapısal değişimler,

- Kesme parametreleri kadar iş parçasının mikroyapısı ve özelliklerinden etkilenen kayma düzlemi açısı ve talaş kalınlığı, mekanik enerjinin dağılımı süresince oluşan sıcaklık artışıdır.

Sıcaklık yalnızca takım kırılmasıyla değil iş parçasının plastik deformasyon davranışı ve talaş oluşumuna bağlı olarak da artmaktadır [47].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki kalıntılar (inklüzyonlar) ve malzemenin kimyasal bileşimidir (Şekil 4.5). Sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalmır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalmır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir [50].

Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracaktır için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısı iletkenlik kesme bölgesinde oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısı iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [40, 42].



Şekil 4.5. İşlenebilirliği etkileyen faktörler [48].

Alaşım elementleri dayanımı artırır, aynı zamanda her kesme hızı için akma bölgesi sıcaklığını da artırır. Buna bağlı olarak yüksek erime noktasına sahip alaşımlar kesilirken maksimum talaş kaldırma oranı azalmaktadır. Alaşımlara eklenen kükürt ve kurşun akış bölgesinde harcanan enerjinin azalması vasıtasıyla ara yüzey sıcaklığını düşürebilir, ancak bu elementlerin davranışları karmaşıktır ve henüz tam olarak anlaşılammıştır. Kritik metal hacmine ulaşlamamasının ve küçük boyut nedeniyle araştırılması çok zor bir bölgedir. Öte yandan akış bölgesindeki malzeme davranışının çok iyi anlaşılması, işlenebilirliğin anlaşılabilmesi için önceden bilinmesi açısından önemlidir. Bu araştırmalar şiddetli gerilme ve gerinim oranına maruz kalan malzemelerin davranışı için teorik bir ilişkiye sahiptir. Takım-talaş ara yüzeyinde ikinci deformasyon bölgesinde oluşan çok farklı değişimler ve malzemedeki birinci kayma düzlemi boyunca meydana gelen geçişler işlenebilirlik kavramının ayrıntılı olarak anlaşılmasını sağlar.

İşlenebilirlik, daha önce bahsedilenlere ilave olarak standart mekanik testler yoluyla ölçülen özellikler ile doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte, ikinci kayma bölgesindeki davranış ancak işleme sürecinin gözlemlenmesiyle araştırılabilir. Yüksek erime noktasına sahip olan metaller ve alaşımları için ikinci deformasyon bölgesindeki ısı ve ısı dağılımı işlenebilirliğin her yönünden önemli bir rol oynar. Ara yüzeyde meydana gelen yapışma, difüzyon ve etkileşim anlaşıldığında takım aşınma oranları güvenilir bir şekilde tahmin edilip kontrol edilebilir. Bu özellikle yeni ve pahalı takım malzemelerinin kullanımında önemlidir. Ayrıca, kolay işlenebilir iş parçası malzemelerinin elverişli bir biçimde gelişimi için gereklidir [40].

4.6. TAKIM ÖMRÜ VE AŞINMA

Takım ömrü genellikle belirli bir kritere ulaşmak için gerekli olan etkili kesme zamanı veya pratik olarak, takımın iki bileme arasında geçen etkili çalışma zamanı olarak tanımlanır [49]. Kesici takımda takım ömrü, kesici kenarın yapılması gereken bir işlemde belirlenen bir koşulu yerine getiremeyecek derecede aşınması ile sınırlıdır. Takımın yerine getirmesi gereken koşullar istenilen yüzey kalitesinin, boyut hassasiyetinin sağlanması ve talaş kontrolüdür.

Genellikle takım ömrü ucun veya kenarın kırılması ile sona erer. Ancak talaşlı imalatta modern takımların doğru uygulamalarda kullanılmaları sayesinde bu tip aşınmaya izin verilemez.

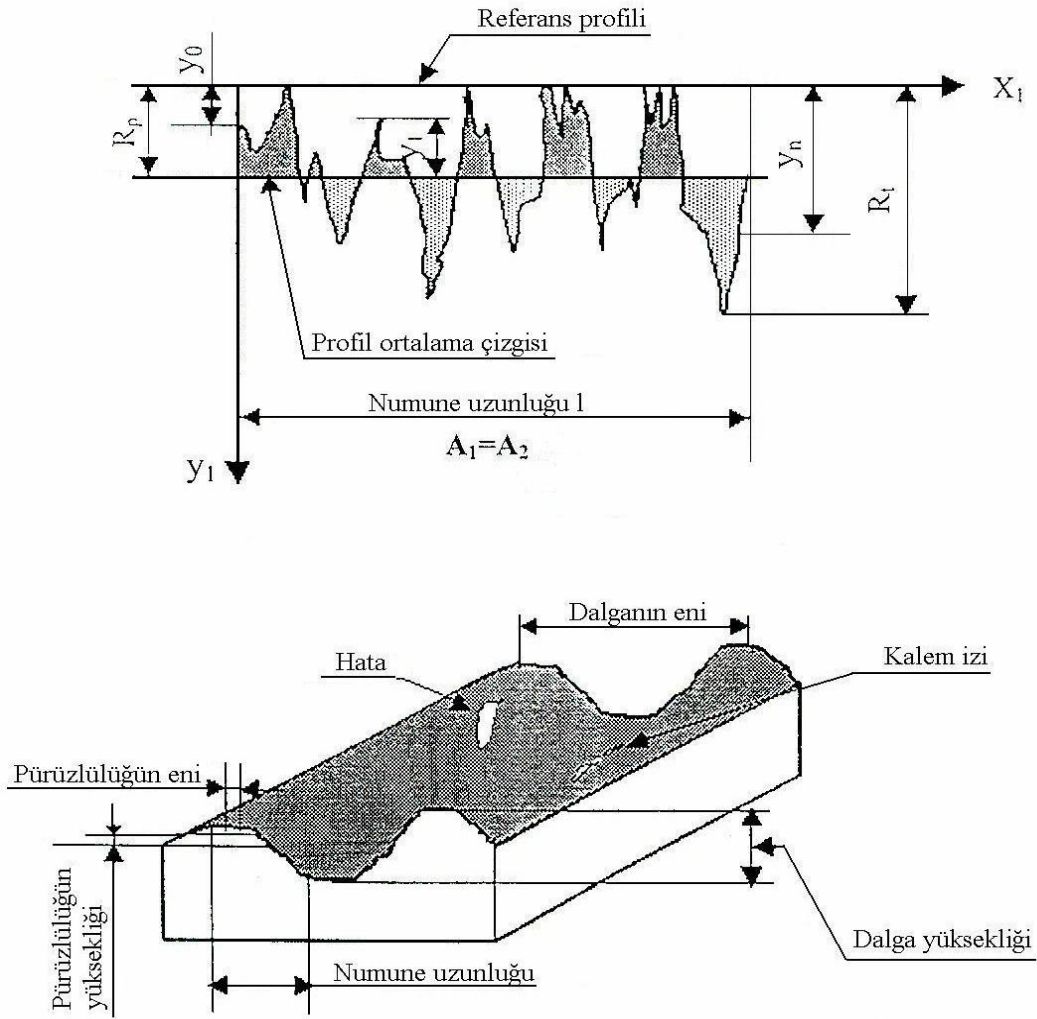
Takım ömrü, genellikle yapılan talaş kaldırma işleminin ince veya kaba olmasıyla değişir. Kesici kenar ne zaman aşınmış kenar olarak kabul edileceğinin belirlenmesi için doğru tanımlamalarının yapılması gerekir. Farklı işlemlerde farklı takımlarda aşınma değerleri farklıdır. Fakat bir kesici kenar istenilen yüzey kalitesini vermiyorsa ve belirli bir tolerans aralığını sağlamıyorsa, bu takım daha fazla bu işlemde kullanılamaz [50].

4.7. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İşleme metodu, kesici takımın cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerinde etkisiyle işlenmiş yüzeylerde genellikle istenmediği halde bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir. İşlenmiş yüzeylerde, işleme metodu ne olursa olsun yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır [51].

Yüzey kalitesi, parça yüzeyindeki genellikle kesici takımın bıraktığı izlerden ve baskılardan meydana gelen düzgünlük olarak ifade edilmektedir. Parçanın yüzey kalitesini gösteren düzgünlük iki türdür. Birincisi çok küçük yüzeysel hatalardan meydana gelen ve yüzey pürüzlülüğü denilen mikro geometrik düzgünlük, ikincisi parçanın ideal seklinden sapmalarını belirten ve form düzgünlüğü (makro dalgalanmalar) denilen geometrik bozukluktur (Şekil 4.6).

Tamamen giderilemeyecek şekilde olan ve ekonomik bakımdan uygun görülen her iki yüzey düzgünlüğü parçanın fonksiyonuna göre belirli sınırlar içerisinde tutulması gerekir.



Şekil 4.6. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirmesi [52].

Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlerle yapılır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir. Yüzey pürüzlülüğü; yüzey pürüzlülüğünün derinliği (R_t), yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_p) ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmiş derinliği (R_a) gibi kriterlere göre değerlendirilir. (R_t), referans profiline göre en derin pürüzün değeri (R_p), referans profil ile profilin ortalama çizgisi arasındaki mesafe (R_a)'da ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliğinin veya derinliklerin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır [52].

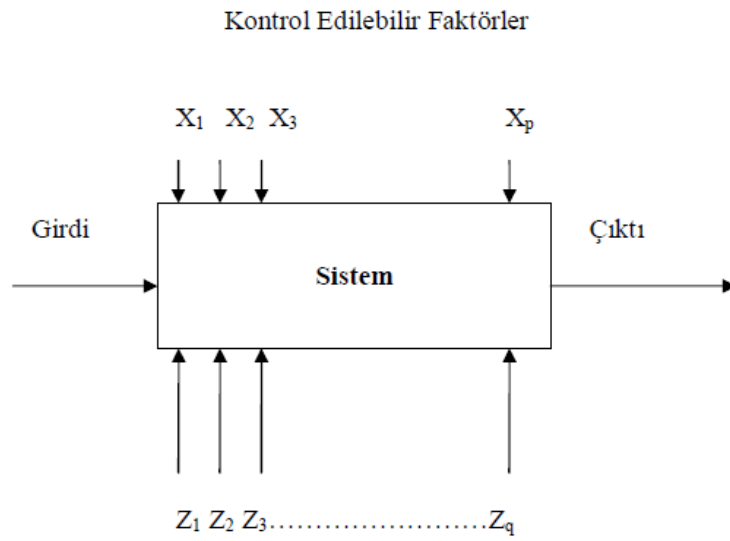
BÖLÜM 5

DENEY TASARIMI VE OPTİMİZASYON

5.1. DENEY TASARIMI KAVRAMI

Deney, bir sistem üzerindeki bir gerçeği veya varsayımı, incelemek amacıyla belirli yöntem ve kurallara uygun olarak yapılan işlemdir. Deney Tasarımı kavramı ise, bir sisteme giren değişkenler üzerinde amaçlanan değişikliklerin uygulanması, dönüt olarak farklılıklara ulaşılması ve bu farklılıkların yorumlanması olarak ifade edilebilir [53].

Deney Tasarımı, sistem optimizasyonunda, sistemdeki değişkenlerinin tanımlanmasında ve sistemdeki değişkenliğin kontrol altında tutulmasında uygulanan bir yöntemdir. Bir sistemin veya sürecin genel modeli Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Proses değişkenlerinden X_1, X_2, \dots, X_p kontrol edilebilir değişkenler ve Z_1, Z_2, \dots, Z_q kontrol edilemeyen değişkenler olarak tanımlanır [54].



Şekil 5.1. Bir sistem veya sürecin genel gösterimi [54].

Deney Tasarımı teknikleri, yeni bir sistem geliştirmede veya mevcut sistemin verimini arttırma amacıyla uygulanabilmektedir. Bu uygulamalar, robust (gürbüz) tasarımın gelişmesini sağlamıştır.

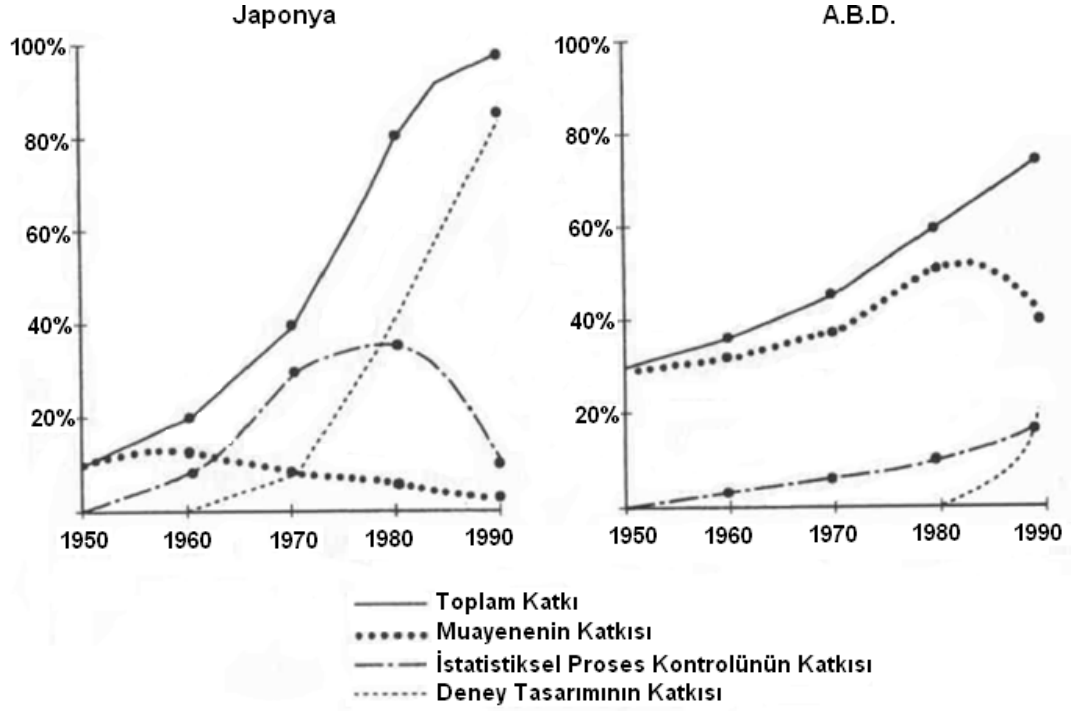
5.2. DENEY TASARIMININ TARİHÇESİ

Deney tasarımı, ilk önce Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş ve 1920’lerde tarım sektöründe uygulanmaya başlanmıştır. Tam faktöriyelli deney tasarımını uygulayan Fisher, çalışmalarını tarıma etki eden faktörler (toprak, yağmur, su, güneş, iklim, tohum, gübre, arazi, vb) üzerinde yoğunlaştırmıştır. Uzun süren bu çalışmaları sonucunda, İngiliz tarımına verdiği destekten dolayı “Sir” unvanını almıştır. Bununla birlikte, Fisher’ın deney tasarımıyla gerçekleştirdiği varyasyon azaltılması günümüzün modern kalite kontrol anlayışını doğurmuştur. Ayrıca halen kullanılan “varyans analizi” (ANOVA) yöntemi de Fisher’ın çalışmaları sonucunda gelişmiştir [55].

Deney Tasarımı, daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları, 1970’lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika’da imalat sektörü, 1980’lerin başında, deney tasarımını Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deneyin tasarımı, o tarihlerde Japonya’da Profesör Genichi Taguchi’nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktadır. Taguchi, deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Ancak, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır [55].

Motorola firmasının kalite grubundan K.Bhote “Word Class Quality” isimli kitabında amaçları kalite sağlamak olan üç yöntemin kalite geliştirmeye olan katkısını 1950-1990 yılları arasında Amerika ve Japonya için karşılaştırmıştır. Bu üç yöntem geleneksel muayene (kalite kontrol), istatistiksel süreç kontrol ve deney tasarımı yöntemleridir.

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi Japonya’da kalite ilerlemesine en büyük katkıyı 1970’den sonra deney tasarımı yapmıştır. Amerika’da ise 1980’den sonra önemi anlaşılmaya başlanmıştır.



Şekil 5.2. 1950-1990 yılları arasında üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı [55].

5.3. DENEY TASARIMININ ADIMLARI

Deney Tasarımı, mevcut problemin ortaya konulması ile başlar ve sonra amaçlar belirlenir. Problemi etkileyen faktörler ve bu faktörlerin seviyesi tespit edilir. Deney Tasarımı için bir yol seçilir ve bu sayede veriler elde edilir. Elde edilen veriler analiz edilir ve bazı sonuçlara ulaşılır. Bu sonuçlar yorumlanır. Bulunan sonuçlar gerek görülmesi halinde doğrulama deneyleri yapılarak sınanır. Deney Tasarımı'nın basamakları on başlık altında toplanabilir [56].

1. Problemin Tanımlanması,
2. Amacın Belirlenmesi,
3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi,
4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi,

5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi,
6. DeneY Tasarımının Seçilmesi,
7. Verilerin Toplanması,
8. Verilerin Analiz Edilmesi,
9. Sonuçların Yorumlanması,
10. Doğrulama DeneYlerinin Yapılması.

5.3.1. Problemin Tanımlanması

DeneY tasarımının en önemli adımıdır. Problemin açık bir şekilde tanımlanması ve anlaşılır bir hale getirilmesi deneY sonuçları açısından büyük önem taşır. DeneY tasarımında, elde edilen verilerin analizinde, deneY öncesi hangi konunun araştırılacağı, verilerin hangi deneY tasarımıyla derlenerek nasıl bir teknikle çözümleneceği konusunun çok iyi belirlenmesi gerekmektedir [54].

5.3.2. Amacın Belirlenmesi

Amaç, açık ve net bir şekilde mevcut durum dikkate alınarak, nihai ürün ve deneY süreci de göz önünde bulundurularak ortaya konmalıdır [56]. Problemin tanımlanması ve amacın belirlenmesi birbirini tamamlamaktadır.

5.3.3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi

Araştırmacılar tarafından, incelenen değişkeni etkilediği düşünülen bir veya daha fazla performans karakteristiğini belirlenir. Analiz edilen probleme bağlı olarak belirlemek durumunda olunan performans karakteristiği ölçüm değişkeni olabileceği gibi, özellik belirten bir değişken de olabilmektedir. Performans karakteristiği, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli performansı sağlayacak özelliklerde olmalıdır [54].

5.3.4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi

Bağımsız değişkenlerin diğer bir adı olan performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi deney tasarımının en kritik aşamalarından biridir. Beklenen durumdaki sapmayı oluşturan her bir kaynağa faktör denmektedir. Bir ürün, belli bir düzeyde ve sürekli bir şekilde fonksiyonunu yerine getiremiyorsa ürün veya sürecin iyileştirilmesi gerekmektedir. Ürün veya süreç performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesinde, beyin fırtınası, süreç akış şeması, sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılmaktadır [54].

Beyin Fırtınası, saptanan problemle ilgili bir grup personelin bir araya gelerek, ürün veya süreç performansındaki değişkenliğin azaltılması amacıyla fikir yürüttükleri bir faaliyettir.

Süreç Akış Şeması, ürünün ilgili performans karakteristiği için yapılan tüm işlemleri içermekte ve bunun sonucu önemli faktörler üzerine yoğunlaşmayı kolaylaştırmaktadır. İşlem adımları şematik olarak gösterilir ve her işlem adımının etkisi tartışılır.

Sebep-Sonuç Diyagramı ise, makine, malzeme, metot, ölçüm ve insan temelinde ilgilenilen performans karakteristiğine etkisi olan faktörlerin belirlenmesinde kullanılır [56].

5.3.5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi

İncelenen performans karakteristiğine etki eden faktörler belirlendikten sonra faktör düzeyleri seçilir. Bazı faktörler için sadece iki alternatif durum (Var-Yok, Düşük-Yüksek gibi) olmakla birlikte, bazıları için ikiden fazla alternatif durum söz konusu olabilmektedir. Faktörler için seçilen düzey sayısı da yapılacak deney tasarımını ve dolayısıyla tasarımdaki her bir deney için gerekli gözlem sayısını etkilemekte ve tasarımda sabit, rassal ve/veya karışık etkilerin oluşmasına neden olmaktadır [56].

5.3.6. Deney Tasarımının Seçilmesi

Maliyet, bir deney için en önemli kısıtlamalardan biridir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken konu örnek büyüklüğünün, deneylerin yapılış sırasının ve tekrarlama sayısının deneylerin maliyetinin de göz önüne alınarak belirlenmesidir [54].

5.3.7. Verilerin Toplanması

Veriler araştırmanın temelini oluşturmaktadır. İlgilenilen performans karakteristiğine etkisi olan faktörler ve uygun tasarım belirlendikten sonra analiz için verilerin toplanması gerekmektedir. Her bir deney için gerekli veriler rassallaştırma ilkesi temelinde toplanmaktadır [54].

5.3.8. Verilerin Analiz Edilmesi

Verilerin analizinde, ilgilenilen performans karakteristiğine beklenen yönde etkisi olan faktör ve/veya etkileşimler belirlenir. Daha sonra kritik olan faktör ve/veya etkileşimlerin belirlenmesi amacıyla hesap tablosu analizi, normal olasılık grafiği ve varyans analizi kullanılmaktadır [54]. Verilerin sistematik bir şekilde analizi, çalışmanın sonuçlarının yorumlanmasını kolaylaştırır.

5.3.9. Sonuçların Yorumlanması

İlgilenilen ürün performansına etkisi olan faktörler ve uygun düzeyler belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör ve/veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve analizi yapılır. Böylesi bir analiz yapılan çalışmanın duyarlılığı için gereklidir. Analizde, kurulan model temelinde deney için elde edilmiş verilere ilişkin bazı grafikler oluşturulur. Sapmaların tahmin değerlerinin de karşılaştırıldığı analizde, verilerin bir tür kontrol grafiği formatında dağılımına, sapmalar için normal dağılımı temsil edip etmediğini belirtmek için histograma ve sapmalar için normal olasılık grafiğine yer verilmektedir [56].

5.3.10. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Deney Tasarımı sonucunda belirlenen kritik faktör ve/veya etkileşimlerin ürün performansını etkileyip etkilemediğine bakılır. İhtiyaç duyulması halinde, faktörlerin uygun düzeyleri belirlenir ve gerekli doğrulama deneyleri yapılır [56].

5.4. TAGUCHI'NİN SİNYAL/GÜRÜLTÜ ORANLARI

Taguchi, deney tasarımında analiz değişkeni ya da performans kriteri olarak kullanılması amacıyla, bir dizi, adına “sinyal/gürültü (signal/noise) oranı” denilen, kriter tanımlamıştır [54].

Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla, deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü oranı tanımlamıştır [55].

“En küçük en iyi” durumunda, y'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S / N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (5.1)$$

“En büyük en iyi” durumda y'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki tanımlanmaktadır:

$$S / N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (5.2)$$

“Hedef değer en iyi” durumunda, y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S / N = 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (5.3)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen eşitliklerde “y” performans karakteristiği değerini, “s²” ise varyansı ifade etmektedir [54].

5.5. TAGUCHI’NİN ÜRETİM KALİTE SİSTEMİ

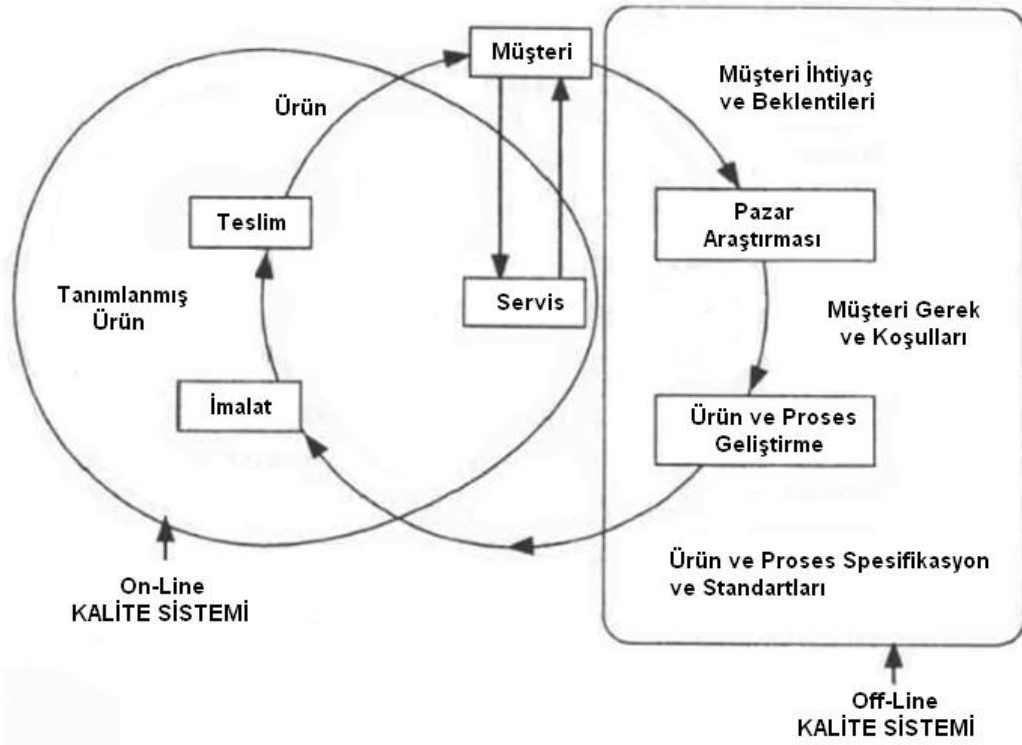
Kalitenin sağlanması amacıyla; üretim öncesi süreç geliştirme, üretim esnasında oluşan ve ürün kalitesine etki eden değişikliklerin giderilmesi olmak üzere, Çevrim Dışı (Off-Line) ve Çevrim İçi (On-Line) Kalite Kontrol olmak üzere iki farklı faaliyet alanı söz konusu olmaktadır [58]. Bu faaliyet alanları Şekil 5.3’te gösterilmektedir.

5.5.1. Çevrim Dışı Kalite Kontrol

Pazar araştırması ile ürün ve üretim sürecinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarınıdır. Müşteri istek ve beklentilerinin doğru olarak tanımlanması, müşteri beklentileriyle uyum sağlayacak bir ürünün tasarımı, tutarlı ve ekonomik olarak üretilebilecek bir ürünün tasarımı, imalat için açık ve yeterli spesifikasyonların, standartların, yöntem ve ekipmanların geliştirilmesi ile ilgilidir [56]. Çevrim dışı kalite kontrol, ürün tasarımı ve süreç tasarımı olarak ikiye ayrılmaktadır.

Ürün tasarımı aşamasında; mühendislik bakış açısı ve teknik bilgiyi kullanarak müşteri gereklerini karşılayacak şekilde bir prototip ürün geliştirilir veya mevcut üründe değişiklik/değişiklikler yapılır.

Süreç tasarımı aşamasında; ürün tasarımı aşamasında ürün hakkındaki verilere ve mevcut imalat teknolojisine dayanarak uygun imalat süreci seçilir [54].



Şekil 5.3. Üretim/Kalite sistemi çevrimi [55].

5.5.2. Çevrim İçi Kalite Kontrol

Ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin hizmet sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel süreç denetimi ve çeşitli muayeneler çevrim-içi kalite denetimi faaliyetlerindedir. Çevrim içi kalite kontrol ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsamaktadır. Süreç tasarımı aşamasında geliştirilen yöntemleri kullanarak ürün tasarımı aşamasında uygun üretimin gerçekleştirilmesi ile ilgilenmektedir [54].

Çevrim içi kalite kontrol iki aşamaya ayrılır. Bunlar; imalat ve müşteri ilişkileridir. İmalat aşamasında; süreç düzenli aralıklarla gözlenir, gerektiği durumda ayarlama yapılır. Değişken olan bir süreç parametresi düzenli aralıklarla ölçülür. Elde edilen ölçüm değerleri, süreç izlenerek hedeften sapma olduğunda durumu düzeltmek için gerekli ayar yapılır. Müşteri ilişkileri aşamasında; ürün müşteriye sunulduktan sonra ortaya çıkan arızalı ürün tamir edilir ya da yenisi verilir. Bu aşamada gürültü faktörü etkisi yoktur [56].

5.6. ROBUST (GÜRBÜZ) TASARIM

Robust Tasarım'ın ürün performansını geliştirmeye olan etkisi ile Taguchi'nin amaçladığı birçok istatistiksel yöntemin çok önemli olduğu kabul edilir. Bu yöntemler S/N oranı, dikey diziler, doğrusal grafikler ve toplama analizidir. Mühendisler arasında gürbüz tasarımın kullanılması, daha iyi, etkin ve kullanımı kolay teknik ve araçlara sahip olması bakımından popüler olmuştur [54].

Taguchi, üründe ve proseste, değişkenlik (hedef değerden farklılık) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün veya prosesteki değişkenliği en aza indirmek gerektiğini söylemektedir. Gürbüz tasarım ifadesindeki gürbüz kelimesi, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin; nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır [59].

Gürbüz Tasarım; kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en azlayacak şekilde belirleyen tasarımıdır. Gürbüz tasarım, Taguchi Yöntemi'nin "Parametre tasarımı" ve "Tolerans tasarımı" adımlarını kapsamaktadır [54].

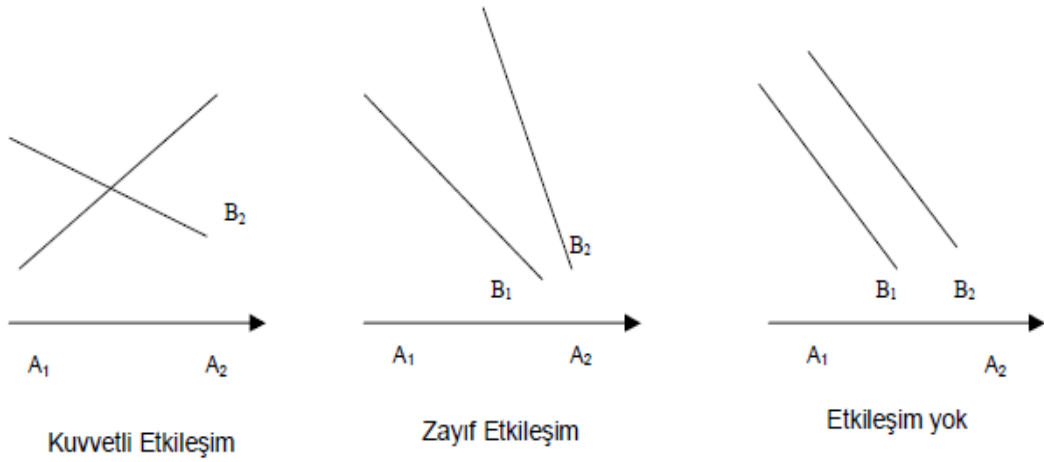
5.7. FAKTÖR DÜZEYLERİNİN SEÇİLMESİ

Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin düzey sayısı belirlenmektedir. Faktörlerin seviyeleri iki, üç veya daha çok olabilmektedir. Faktör seviyeleri serbestlik dereceleriyle ilişkili bir fonksiyondur. Serbestlik derecesi, faktör seviyelerinden hareketle hesaplanmaktadır [57].

Serbestlik derecesi, deneyin büyüklüğünü tespit etmek açısından önemlidir. Bir faktörün serbestlik seviyesi, o faktörün seviyesinin bir eksigidir. Ayrıca, faktörlerin bireysel etkilerinin yanı sıra faktörler arası oluşan etkileşimler de belirlenir [54].

Bu durum söz konusu olduğunda etkileşim için serbestlik derecesi; etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımıdır. Aynı ayrı her faktörün serbestlik derecesi toplamı toplam serbestlik derecesini vermektedir [57].

İki faktörün etkileşimli olması, bir faktörün (örneğin A), kalite değişkenine olan etkisi, diğer faktörün (örneğin B) hangi değerde bulunduğuyla bağlıdır. Bu durum AXB olarak gösterilir. Etkileşimli ve etkileşimli olmayan faktörlerin grafikleri Şekil 5.4'te gösterilmektedir [60].



Şekil 5.4. Etkileşim grafik gösterimi [60]

5.8. DİKEY DİZİNLER

Çok sayıda faktör ve seviye bulunması durumunda deneylerin gerçekleştirilmesi çok fazla zaman almakta ve maliyet artmaktadır. Taguchi bu problemi gidermek için yani tam faktöriyel tasarımda elde edilen sonuçlara daha az deneyle, daha az zaman kaybı ve maliyetle ulaşabilmek için yoğun çalışmalar yapmış ve dikey dizinleri geliştirmiştir [57].

Dikey dizinler farklı faktör sayıları ve seviyeleri için yapılması gereken deney sayısını ve her bir deney için seçilmesi gereken faktör seviyelerini gösteren çizelgelerdir. Dikey dizinler kullanarak, deneylerin tüm kombinasyonları denenmeden, bu deneylerin sadece bir kısmı yapılmakta ve en iyi performans karakteristiği değerini veren faktör seviyelerinin kombinasyonu belirlenebilmektedir.

Çizelge 5.1’de Taguchi ve Tam Faktöryel Tasarım için kombinasyonlar verilmiştir.

Çizelge 5.1. Taguchi ve Tam Faktöryel Tasarım için kombinasyonlar [61].

Faktör	Seviye	Deney Sayıları	
		Faktoriyel tasarımı	Taguchi tasarımı
2	2	$4(2^2)$	4
3	2	$8(2^3)$	4
4	2	$16(2^4)$	8
7	2	$128(2^7)$	8
15	2	$32768(2^{15})$	16
4	3	$81(3^4)$	9

Deney sayıları arasındaki büyük farklılığın sebebi dikey dizinlerin sadece her bir faktörün ana etkisini araştırmasıdır. Ancak varlığı bilinen bileşik etkilerin deneye dahil edilmesi mümkündür.

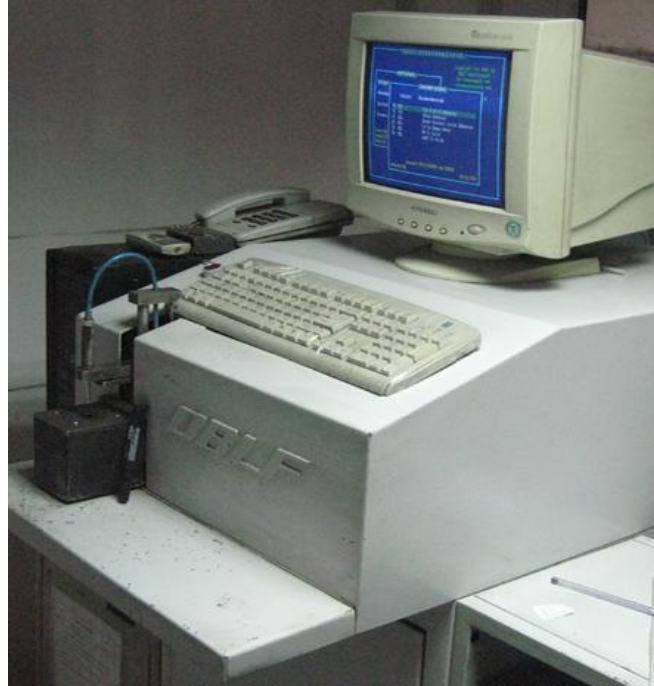
BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. DENEY MALZEMESİ

6.1.1. Deney Malzemelerinin Hazırlanması

Deney malzemesi olarak yüksek alaşımlı dökme demir (Ni-Hard) kullanılmıştır. Döküm malzemeler, Derman Döküm Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi (Sincan-Ankara)'nden hizmet alımı yapılarak temin edilmiştir. Dökülen malzemenin kimyasal bileşiminin analizi için “OBLF-Spektrometer” marka spektral analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.1). Kum kalıba döküm yöntemiyle dökülen Ni-Hard malzemelerin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1’de verilmiştir.

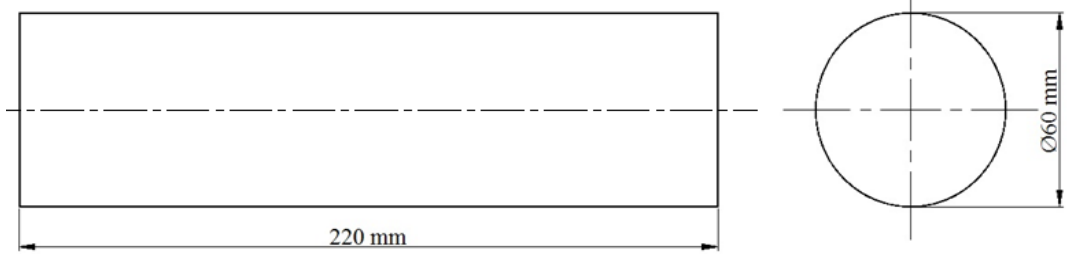


Şekil 6.1. “OBLF-Spektrometer” marka spektral analiz cihazı.

Çizelge 6.1. Ni-Hard malzemenin kimyasal bileşimi (% Ağırlık).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
3,00	0,71	0,91	0,016	0,013	9,73	0,57	4,63	0,002
Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Sn	Fe	
0,037	0,162	0,007	0,009	0,044	0,010	0,001	78,803	

Dökümden çıkan deney numunelerine, universal torna tezgahında, 1 mm talaş derinliğinde tornalama işlemi yapılmış, numunelerin üzerindeki döküm işlemi ile oluşmuş ve düzensiz forma sahip tabaka kaldırılmıştır. Deneyler için hazır hale getirilen numunelerin ölçüleri Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Deney numunelerinin ölçüleri.

Döküm sonrası numunelerin sertliği laboratuvar tip SHIMADZU marka sertlik ölçme cihazında yapılmıştır. Numunelerin yüzeylerinden yapılan 5 adet sertlik ölçümünün ortalaması alınmış olup, sertlik 50 HRC olarak bulunmuştur. Numunelerden bir tanesi sertleştirilmek üzere Alper Isıl İşlem (Esenyurt-İstanbul) firmasına gönderilmiştir.

Deney numunesinin sertlik değeri, 1020 °C’de, 1 saat süre ile 3 bar basınç altında soğutularak, vakum fırında sertleştirme işlemi ile 62 HRC’ye çıkartılmıştır. 62 HRC sertliğe çıkarılan numune ve sertlik değeri Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Numune ve sertlik değerini gösteren firma çıktısı.

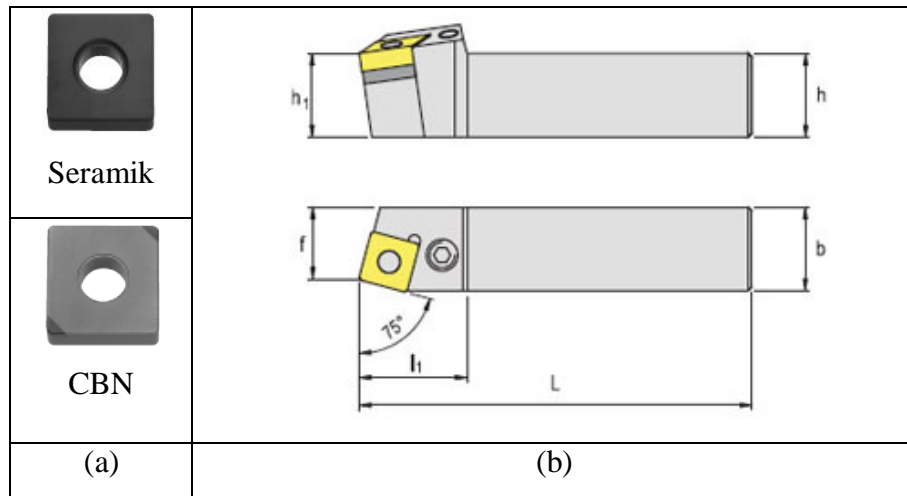
Malzemenin sertleştirilmesinde kullanılan vakum fırında sertleştirme işlemi, özellikle takım veya yüksek hız çeliklerinin sertleştirilmesi için kullanılan ısıtma işlemi türüdür. Isıl işleminden farklılığı ısıtma ve soğutma ortamlarından kaynaklanmaktadır. Isıtma vakumlu oksijensiz bir ortamda gerçekleştirilir, bu şekilde parça yüzeyinde hem tufal, hem de karbürizasyon veya dekarbürizasyon oluşmaz. Vakumlu ısıtma fırınlarının tasarımı takım çelikleri ısıtma işleminin gerektirdiği yüksek sıcaklıklara çıkılmasına elverişlidir. Soğutma ise azot gibi çelikle reaksiyona girmeyen bir gazla yüksek basınç uygulanarak yapılır. Yüksek basınçtaki gaz fırın içinde soğutulup parçanın üzerine üflenir. Gazın akış yönünü, şeklini ve basıncını değiştirerek çarpılma minimize edilebilir. Hassas kontrol sistemleri parçanın yüzey ve çekirdek sıcaklıklarının proses sırasında takibini ve fırının bu verilere göre kontrolünü mümkün kılmıştır. Bu şekilde ısıtma ve soğutma sırasında oluşan boyut değişiminden dolayı oluşan deformasyonlar da kontrol edilebilir hale gelmiştir [62]. Sertleştirme işleminden sonra deney numunesinde oluşan iç gerilmeleri giderebilmek ve daha homojen bir yapı elde edebilmek amacıyla 200 °C’de menevişleme işlemi uygulanmıştır.

6.2. DENEY MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Deney numunelerinin, işlenebilirlik ölçütleri olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlüğü temel alınmıştır. Tornalama sırasında oluşan radyal kuvvet (F_r), ilerleme kuvveti (F_f) ve esas kesme kuvveti (F_c) deneysel olarak ölçülmüştür. Ancak, değerlendirmelerde tornalamada güç sarfiyatı açısından birinci derecede öneme sahip olan F_c kuvveti dikkate alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde ise ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değeri esas alınmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan makine, takım ve cihazlar aşağıda sunulmuştur.

6.2.1. CNC Torna Tezgahı ve Kesici Takımlar

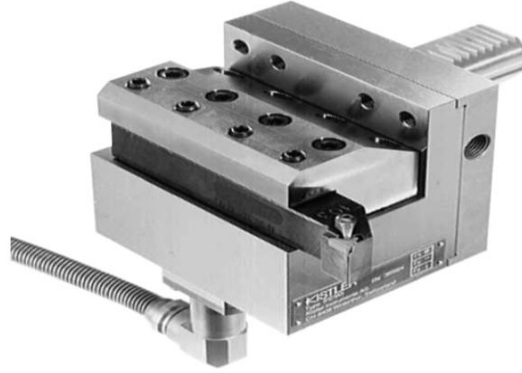
Deneylerde kullanılan torna tezgahı, Johnford TC 35 CNC Fanuc-OT markadır. Motor gücü 20 HP, ayna çapı 250 mm, ayna delik çapı 75 mm, yataklar arası mesafe 810 mm, 1/1000 hassasiyetinde, x-z eksenli bir tezgahdır. İşleme deneylerinde, kesici takım olarak KYOCERA firmasından temin edilen TCR00002 SNGA120408T02025 A65 kodlu Seramik kesici takımlar ile TBV03657 SNGA120408S01225ME CBN510 kodlu CBN kesici takımlar kullanılmıştır (Şekil 6.4a). Takım tutucu olarak ise kesici takımların rijit bir şekilde bağlanmasını sağlayan PSBNL 2020K12T kodlu TAKIMSAŞ ürünü dış tornalama kateri kullanılmıştır (Şekil 6.4b).



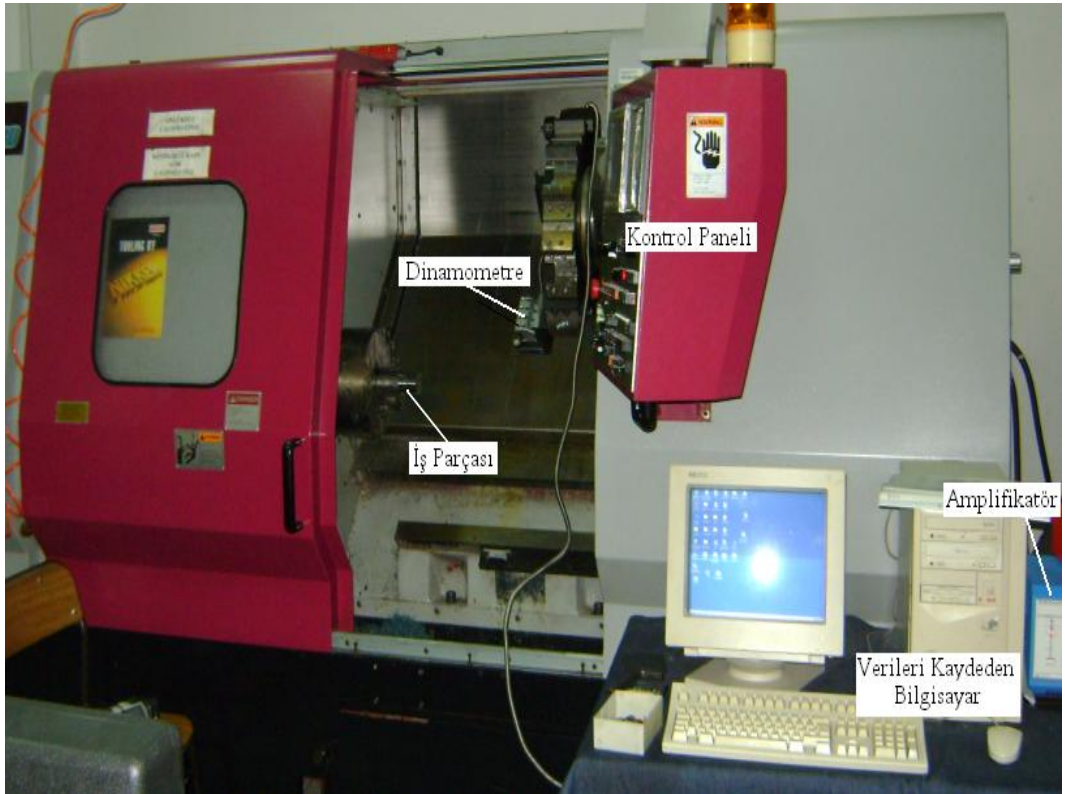
Şekil 6.4. a) Kesici takımlar ve b) takım tutucu.

6.2.2. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı ve Deney Düzenegi

Talaş kaldırma esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan; esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvveti (F_r) "KISTLER 9121" tipi piezoelektrik dinamometre ile ölçülmüştür (Şekil 6.5). Deney düzeneginin fotoğrafı Şekil 6.6.'da verilmiştir.

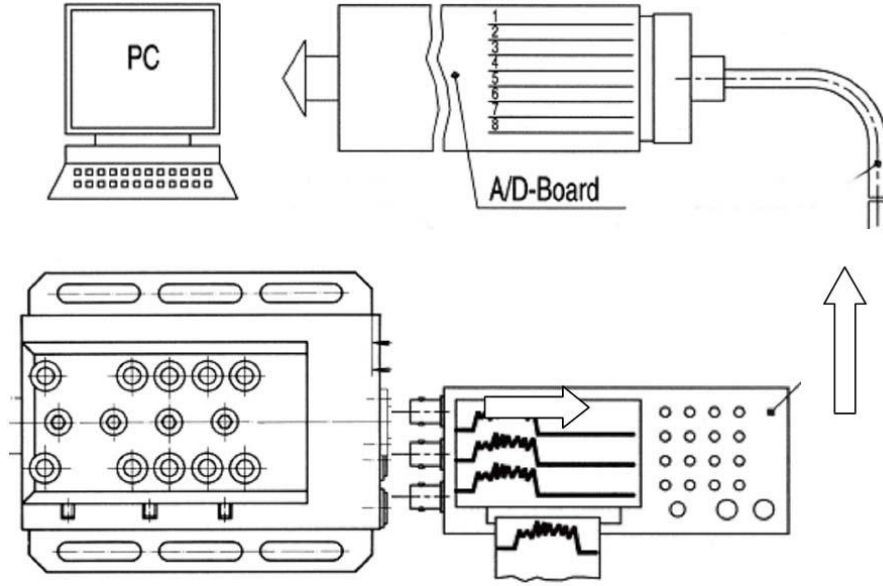


Şekil 6.5. Kistler 9121 tip dinamometre.



Şekil 6.6. Deney düzenegi.

Deney düzeneğinde kullanılan kuvvet ölçme sistemi; üç kuvvet bileşenini ($x F_r$, $y F_f$, $z F_c$) aynı anda ölçebilen dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü, dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program (Dynoware), bilgisayara bağlantı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Deneylerde kullanılan kuvvet ölçme sistemi.

Yük amplifikatörü, kuvvet sensöründen her yönde gelen (x,y,z) voltaj sinyalleri ayrı ayrı değerlendirebilmektedir. Analog kuvvet sensörlerinin ürettiği sinyallerin analogdan sayısala dönüştürücünün algılama kapasitesinin altında bir değere sahip olabilir, ancak bu tip veri kayıpları önlenmektedir. Aynı zamanda, 3 kanallı ve mikroşlemci kontrollüdür.

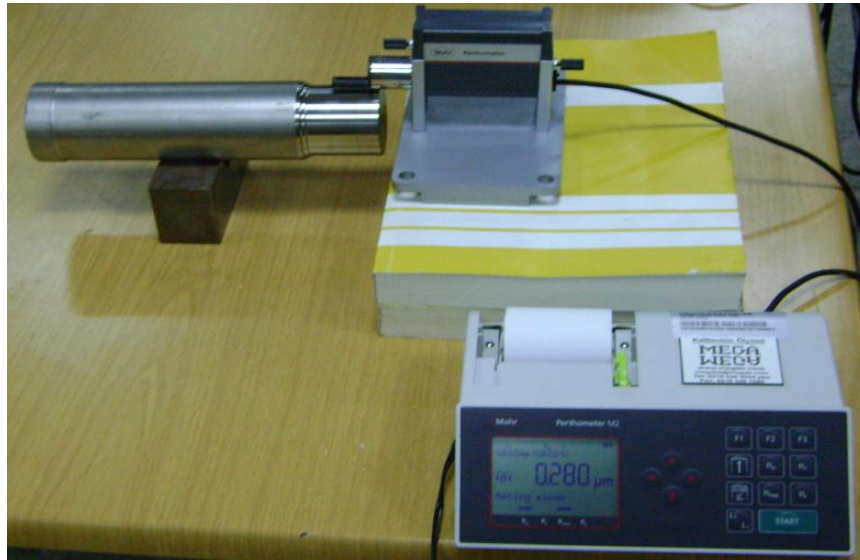
Dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt cinsinden çıkış vermektedir. İstenilen parametreler cihaz üzerindeki tuşlar vasıtası ile ayarlanabilmekte, LCD ekran ve LED göstergelerden okunabilmesinin yanı sıra cihaz üzerinden RS232 C ve IEEE-488 interface çıkışları sayesinde tez için yapılan deney sonuçları bilgisayara aktarılmıştır.

6.2.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Tornalama yöntemiyle işlenen deney numunelerinin işlenmiş yüzeylerindeki pürüzlülük ölçümleri Mahr Perthometer M1 cihazı yardımıyla yapılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Çizelge 6.2.'de verilmiştir. Şekil 6.8'de deneyler sonrasında yüzey pürüzlülük ölçümünün uygulanış biçimi gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	M1
Tarama hızı (m/sn)	0,5
Tarama kuvveti (mN)	0,75
İğne uç yarı çapı (μm)	2
Ölçüm aralıkları (μm)	100-150
Profil çözünürlüğü (mm)	12
Filtre	Gaussian
Örnekleme uzunluğu (λ) (mm)	0,25 – 0,8 – 2,5
Ölçme uzunluğu (L) (mm)	1,75 – 5,6 – 17,5
Ölçülebilen parametreler	R_a , R_z , R_{max}
Dil	Seçilebilir 10 Avrupa, 3 Asya dili
Güç kaynağı	Entegre, NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar (mm)	190 x 170 x75
Yaklaşık ağırlık (gr)	90



Şekil 6.8. Yüzey pürüzlülük ölçümünün gösterimi.

6.3. DENEY TASARIMI

Deneysel tasarımı Taguchi Yöntemi kullanılarak yapılmıştır [63]. Kalite karakteristiğini belirlerken, ölçülecek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerlerinin en az olması istendiğinden dolayı “en küçük en iyi” prensibi uygulanmıştır.

$$S / N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (6.1)$$

Eşitlik 6.1’de n yapılan deney sayısını, y ise gözlenen karakteristiği (bağımlı değişkeni) ifade etmektedir.

Taguchi Yöntemi’ne göre yapılan optimizasyon çalışmasında ilk olarak işlenebilirlik kriterleri (F_c ve R_a) üzerinde doğrudan etkisi olan kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla, A- Kesici takım, B- Kesme hızı (m/dak), C- İlerleme miktarı (mm/dev), D- Kesme derinliği (mm), olmak üzere 4 faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri ise kesici takım firması ve literatürdeki bitirme tornalama işlemleri dikkate alınarak seçilmiştir. Bu faktör ve seviyelere göre yapılan karma deney tasarımı için L_{18} dikey dizini kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 6.3’te verilmiştir. 50 HRC ve 62 HRC sertliklerine sahip Ni-Hard malzemelerin işlenebilirlik deneyleri için aynı deney tasarımı uygulanmıştır. Taguchi L_{18} dikey dizinine göre yapılan deney tasarımı Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Faktörler ve seviyeleri.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A- Kesici takım	Seramik	CBN	
B- Kesme hızı (m/dak)	50	100	150
C- İlerleme miktarı (mm/dev)	0,05	0,075	0,1
D- Kesme derinliği (mm)	0,25	0,50	0,75

Çizelge 6.4. L₁₈ dikey dizine göre deney tasarımı.

Deney No.	Değişkenler	(A) Kesici takım	(B) Kesme hızı (m/dak)	(C) İlerleme miktarı (mm/dev)	(D) Kesme derinliği (mm)
1	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	1	1	1	1
2	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂	1	1	2	2
3	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	1	1	3	3
4	A ₁ B ₂ C ₁ D ₁	1	2	1	1
5	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	1	2	2	2
6	A ₁ B ₂ C ₃ D ₃	1	2	3	3
7	A ₁ B ₃ C ₁ D ₂	1	3	1	2
8	A ₁ B ₃ C ₂ D ₃	1	3	2	3
9	A ₁ B ₃ C ₃ D ₁	1	3	3	1
10	A ₂ B ₁ C ₁ D ₃	2	1	1	3
11	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	2	1	2	1
12	A ₂ B ₁ C ₃ D ₂	2	1	3	2
13	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂	2	2	1	2
14	A ₂ B ₂ C ₂ D ₃	2	2	2	3
15	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	2	2	3	1
16	A ₂ B ₃ C ₁ D ₃	2	3	1	3
17	A ₂ B ₃ C ₂ D ₁	2	3	2	1
18	A ₂ B ₃ C ₃ D ₂	2	3	3	2

DeneySEL sonuçlara %95 güven aralığında Varyans Analizi (ANOVA) uygulanarak F_c ve R_a üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmaları ve varyans analizleri Minitab 15 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneyleerde iki çeşit numune kullanılmıştır. Bunlar döküm sonrasında 50 HRC sertlikte elde edilen malzeme ve ısıl işleme tabi tutulmuş 62 HRC sertlikteki malzemedir. Numuneler üzerinde yapılan işlenebilirlik deneyleri için tornalama yöntemi kullanılmıştır.

Tornalama işlemi, sanayide kullanılan önemli imalat yöntemlerinden birisidir. Yaygın olarak kullanılmasından dolayı işleme maliyetleri de imalat işlemlerinde büyük önem arz etmektedir. Yanlış seçilen kesme parametreleri zaman ve maliyet açısından negatif rol oynamaktadır. Bu bakımdan, maliyet ve zaman kaybını azaltarak optimum bir işleme sürecinin gerçekleştirilmesi talaşlı imalatta büyük öneme sahiptir.

Deneyleerde, en önemli işlenebilirlik kriterleri arasında yer alan kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler kullanılarak çizilen üç boyutlu grafikler ve istatistiksel analizler yardımıyla yapılmıştır. Her iki malzemenin işlenmesi sırasında ölçülen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde yapılan değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

7.1. KESME KUVVETİ SONUÇLARI

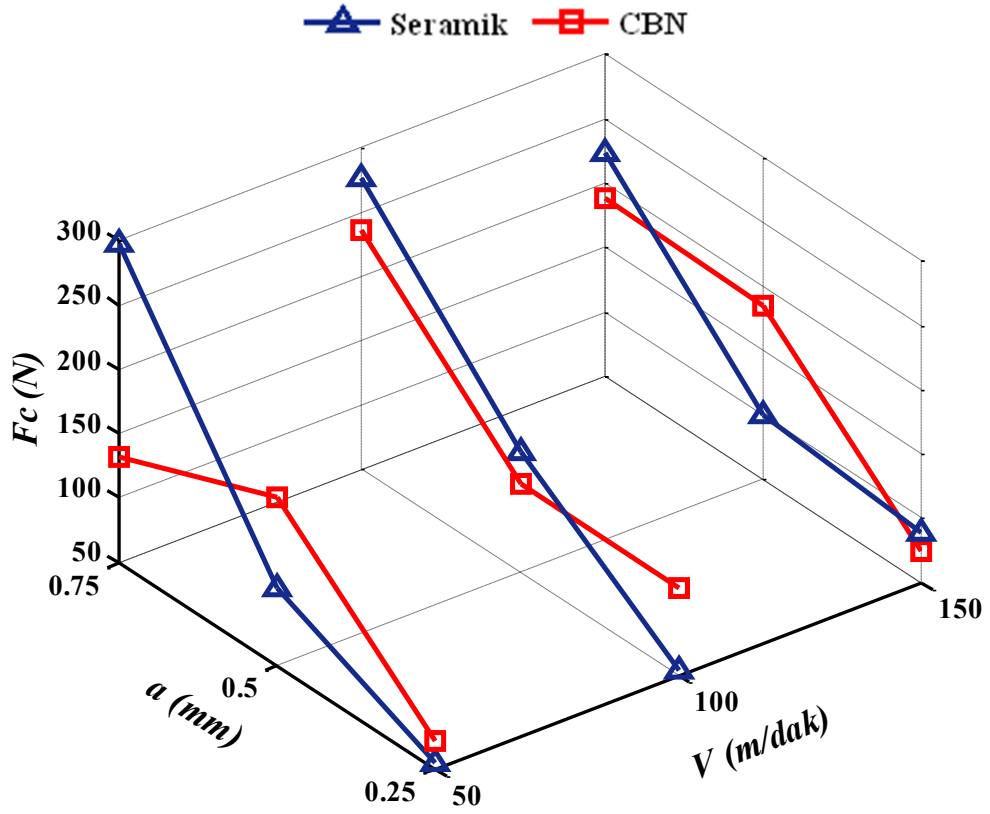
7.1.1. 62 HRC Ni-Hard İçin F_c 'nin Değerlendirilmesi

Yapılan deneyler sonucunda 62 HRC Ni-Hard için elde edilen esas kesme kuvveti (F_c) değerleri ve bunların “en küçük en iyi” yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 7.1.'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. 62 HRC Ni-Hard için F_c değerleri ve S/N oranları.

Deney No	Değişkenler	(A) Kesici takım	(B) Kesme hızı (m/dak)	(C) İlerleme (mm/dev)	(D) Kesme derinliği (mm)	F_c (N)	S/N (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	Seramik	50	0,050	0,25	54,03	-34,65
2	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂	Seramik	50	0,075	0,50	109,74	-40,80
3	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	Seramik	50	0,100	0,75	297,37	-49,46
4	A ₁ B ₂ C ₁ D ₁	Seramik	100	0,050	0,25	54,57	-34,73
5	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	Seramik	100	0,075	0,50	144,19	-43,17
6	A ₁ B ₂ C ₃ D ₃	Seramik	100	0,100	0,75	276,17	-48,82
7	A ₁ B ₃ C ₁ D ₂	Seramik	150	0,050	0,50	99,50	-39,95
8	A ₁ B ₃ C ₂ D ₃	Seramik	150	0,075	0,75	223,14	-46,97
9	A ₁ B ₃ C ₃ D ₁	Seramik	150	0,100	0,25	88,18	-38,90
10	A ₂ B ₁ C ₁ D ₃	CBN	50	0,050	0,75	132,34	-42,43
11	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	CBN	50	0,075	0,25	72,18	-37,16
12	A ₂ B ₁ C ₃ D ₂	CBN	50	0,100	0,50	181,05	-45,15
13	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂	CBN	100	0,050	0,50	118,30	-41,45
14	A ₂ B ₂ C ₂ D ₃	CBN	100	0,075	0,75	235,80	-47,45
15	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	CBN	100	0,100	0,25	117,49	-41,40
16	A ₂ B ₃ C ₁ D ₃	CBN	150	0,050	0,75	188,42	-45,50
17	A ₂ B ₃ C ₂ D ₁	CBN	150	0,075	0,25	74,30	-37,41
18	A ₂ B ₃ C ₃ D ₂	CBN	150	0,100	0,50	184,26	-45,30

62 HRC Ni-Hard'ın işlenmesinde ölçülen kesme kuvvetinin, kesme derinliği (a) ve kesme hızı (V)'na göre değişimi Şekil 7.1.'de verilmiştir.



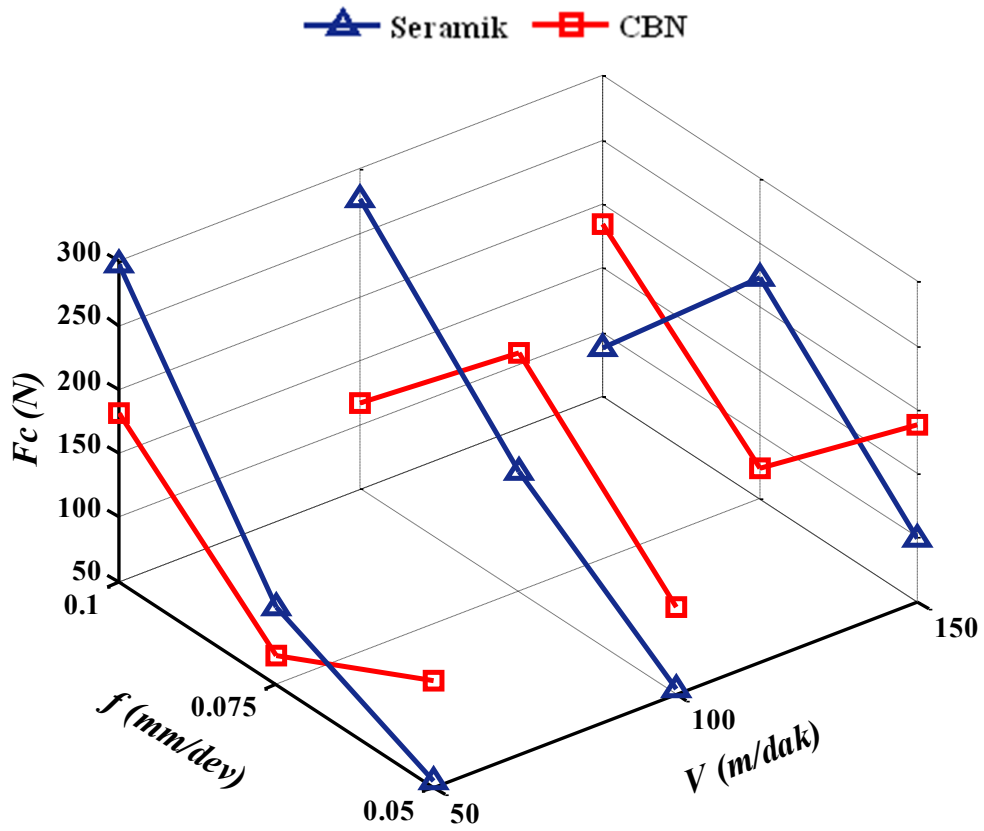
Şekil 7.1. 62 HRC Ni-Hard için (F_c)'nin (a) ve (V)'ye göre değişimi.

Şekil 7.1'den, 62 HRC sertliğe sahip malzemenin işlenmesinde, Seramik ve CBN takımların her ikisinde de kesme derinliğinin artmasıyla kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç, kesme derinliğinin artması ile artan talaş-kesit alanına atıf edilebilir. Ayrıca, kesme hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetlerinin genel olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu azalmanın nedeni olarak, artan kesme hızı ile birinci deformasyon bölgesinde artan sıcaklığın talaş oluşumunu kolaylaştırmasını göstermek mümkündür.

Kesici takım malzemelerine göre değerlendirme yapıldığında, özellikle 0,25 mm kesme derinliğinde Seramik kesici ile elde edilen F_c değerlerinin CBN takımla ölçülen değerlerden daha düşük olduğu görülebilir (Şekil 7.1). Ayrıca, kesme hızının 50 m/dak'dan 100 m/dak'ya çıkmasıyla, yukarıda bahsedilen oluşum daha da belirgin hale gelmiştir. Bu oluşum, kısmen Seramik kesici takımın ısı iletim katsayısının CBN takımdan daha büyük olması ile açıklanabilir.

Seramik kesici takımın yüksek ısı iletim katsayısı sayesinde, kesme bölgesinde oluşan ısının çoğu talaş ile uzaklaştırılır. Böylece takım-talaş ara yüzeyi boyunca oluşan sürtünme azalarak daha düşük kuvvetlerin oluşmasına imkan sağlamaktadır [64].

62 HRC Ni-Hard için kesme kuvvetinin, ilerleme (f) ve kesme hızı (V) ile ilişkisi Şekil 7.2’de verilmiştir.



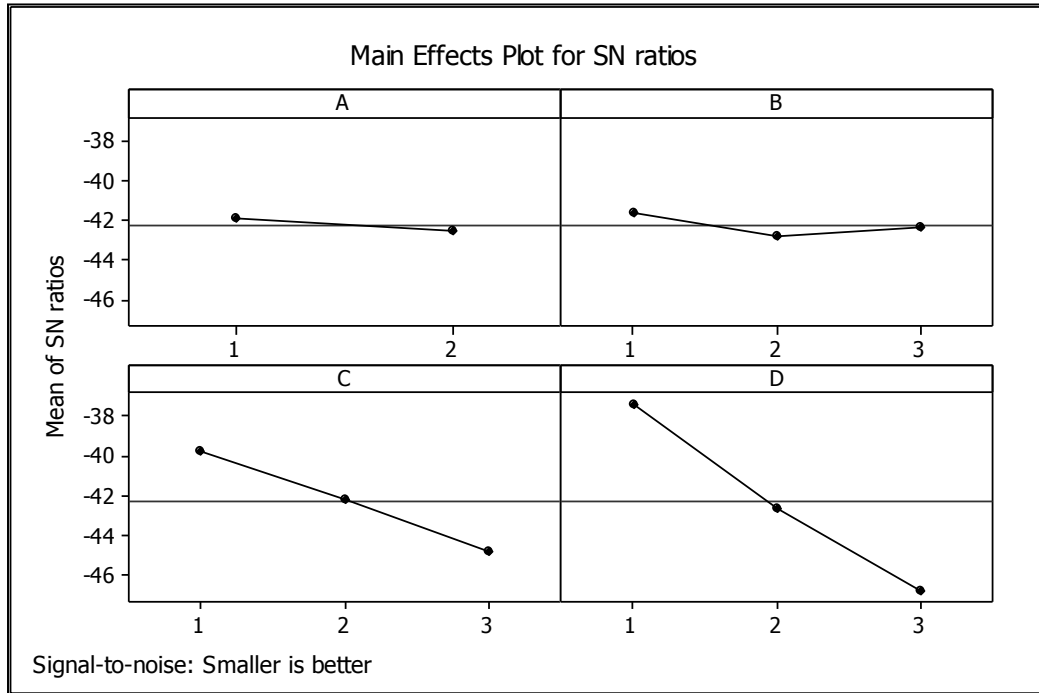
Şekil 7.2. 62 HRC Ni-Hard için (F_c)’nin (f) ve (V)’ye göre değişimi.

Şekil 7.2 incelendiğinde, her iki kesici takım için ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvveti değerlerinin arttığı görülmektedir. Ancak, Seramik takımla 150 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme miktarı ile işlemede oluşan kesme kuvveti, diğer kesme hızlarıyla elde edilen değerlere oranla düşük çıkmıştır (Şekil 7.2).

Bunun sebebi, Seramik takımında 50 ve 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme miktarında kesme derinliği 0,75 mm iken, 150 m/dak kesme hızında 0,25 mm olmasına atıf edilmiştir (Çizelge 7.1).

Diğer yandan, CBN takım ile yapılan kesme işlemi sonucunda, kesme parametreleri ile kesme kuvvetleri arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı görülmektedir (Şekil 7.2). Bunun nedeni, deney tasarımı gereği ilerleme miktarı veya kesme derinliklerinin karmaşık şekilde yerleştirilmesine atıf edilmiştir (Çizelge 7.1).

62 HRC Ni-Hard malzemenin bitirme tornalanmasında oluşan kesme kuvvetlerinin optimal seviyesi için kesme şartlarının optimizasyonu Minitab yazılımında Taguchi Yöntemi'ne göre belirlenmiştir. Optimal kesme kuvvetini veren değişken seviyelerinin belirlenmesi için deneysel kesme kuvveti verilerinin S/N oranları hesaplanmıştır (Çizelge 7.1). Değişkenlerin S/N oranları Şekil 7.3'te grafik olarak verilmiştir. Performans karakteristiği adı verilen sonucun "En küçük en iyi" olduğu duruma göre yapılan optimizasyona göre optimal kesme kuvvetini veren deney şartları tespit edilmiştir.



Şekil 7.3. Fc için değişkenlerin S/N oranları.

Optimal kesme kuvveti değerine ulaşmak için kullanılacak kesme parametreleri seviyeleri Çizelge 7.1 ve Şekil 7.3 yardımıyla A1, B1, C1 ve D1 şeklinde belirlenmiştir. Bu seviyelere göre elde edilebilecek minimal kesme kuvveti 33,58 N olurken, bu değerın S/N oranı ise -33,9303 dB olarak tahmin edilmiştir.

62 HRC sertlikteki Ni-Hard'ın işlenmesinde oluşan esas kesme kuvvetleri üzerinde, değişkenlerin etki seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 7.2'de verilmiştir. Burada, her bir değişkenin önem seviyesini gösteren P değerleri ile serbestlik derecesi (SD), kareler toplamı (KT), kareler ortalaması (KO), F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir. Değişkenlerin önem seviyesi, ANOVA tablosundaki F değeri dikkate alınarak belirlenmektedir.

Çizelge 7.2. F_c 'nin S/N oranlarının varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F	P	PCR (%)
A	1	1,867	1,867	2,36	0,156	0,53
B	2	4,578	2,289	2,89	0,102	1,28
C	2	76,686	38,343	48,44	0,000	21,48
D	2	265,997	132,998	168,03	0,000	74,50
Hata	10	7,915	0,792			2,21
Toplam	17	357,042				100,00

Çizelge 7.2'de görülebileceği gibi esas kesme kuvveti (F_c) üzerinde en fazla öneme sahip değişken %74,50 etki oranı (PCR) ile kesme derinliği olarak bulunmuştur. F_c üzerinde etkisi olan diğer değişken ise %21,48'lik PCR oranı ile ilerleme miktarıdır.

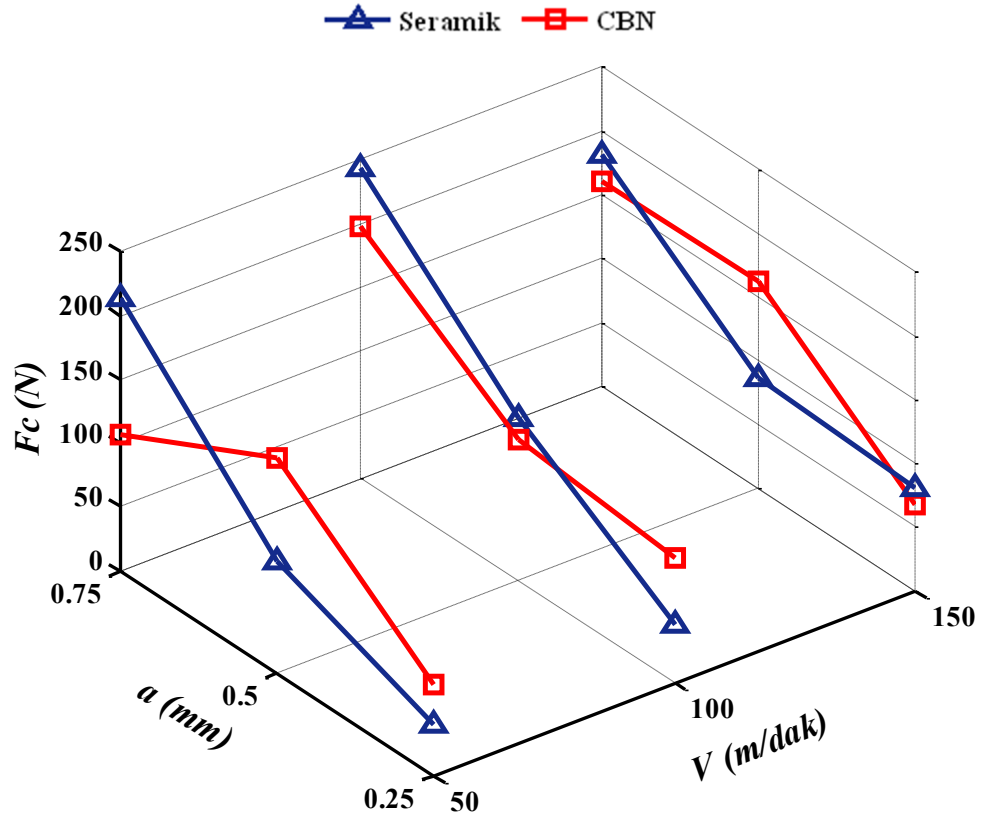
7.1.2. 50 HRC Ni-Hard İçin F_c 'nin Değerlendirilmesi

Yapılan deneyler sonucunda 50 HRC Ni-Hard için elde edilen esas kesme kuvveti (F_c) değerleri ve bunların “en küçük en iyi” yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 7.3.'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. 50 HRC Ni-Hard için F_c değerleri ve S/N oranları.

Deney No	Değişkenler	(A) Kesici takım	(B) Kesme hızı (m/dak)	(C) İlerleme (mm/dev)	(D) Kesme derinliği (mm)	F_c (N)	S/N (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	Seramik	50	0,050	0,25	39,52	-31,93
2	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂	Seramik	50	0,075	0,50	87,89	-38,87
3	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	Seramik	50	0,100	0,75	213,76	-46,59
4	A ₁ B ₂ C ₁ D ₁	Seramik	100	0,050	0,25	46,35	-33,32
5	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	Seramik	100	0,075	0,50	127,68	-42,12
6	A ₁ B ₂ C ₃ D ₃	Seramik	100	0,100	0,75	243,1	-47,71
7	A ₁ B ₃ C ₁ D ₂	Seramik	150	0,050	0,50	87,05	-38,79
8	A ₁ B ₃ C ₂ D ₃	Seramik	150	0,075	0,75	181,38	-45,17
9	A ₁ B ₃ C ₃ D ₁	Seramik	150	0,100	0,25	80,58	-38,12
10	A ₂ B ₁ C ₁ D ₃	CBN	50	0,050	0,75	107,23	-40,60
11	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	CBN	50	0,075	0,25	70,65	-36,98
12	A ₂ B ₁ C ₃ D ₂	CBN	50	0,100	0,50	168,77	-44,54
13	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂	CBN	100	0,050	0,50	110,82	-40,89
14	A ₂ B ₂ C ₂ D ₃	CBN	100	0,075	0,75	197,18	-45,89
15	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	CBN	100	0,100	0,25	97,71	-39,79
16	A ₂ B ₃ C ₁ D ₃	CBN	150	0,050	0,75	160,46	-44,10
17	A ₂ B ₃ C ₂ D ₁	CBN	150	0,075	0,25	66,93	-36,51
18	A ₂ B ₃ C ₃ D ₂	CBN	150	0,100	0,50	162,90	-44,23

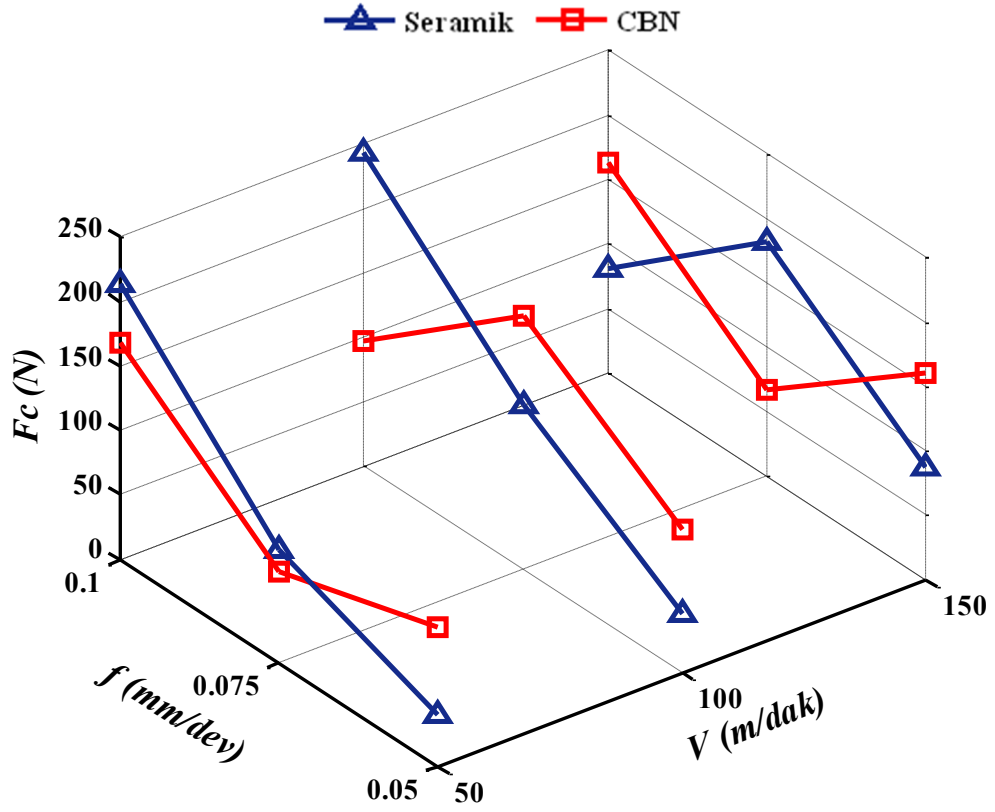
50 HRC Ni-Hard için kesme kuvvetinin, kesme derinliği (a) ve kesme hızı (V) ile değişimi Şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4. 50 HRC Ni-Hard için (F_c)'nin (a) ve (V)'ye göre değişimi.

Şekil 7.4 incelendiğinde, 50 HRC malzemenin işlenmesi sırasında kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Seramik ve CBN takımların her ikisinde de kesme derinliği artarken kesme kuvvetleri de artmıştır. Ancak, 50 HRC malzemenin 50 m/dak kesme hızı ve 0,75 mm kesme derinliğinde CBN takımla işlenmesinde kesme kuvveti daha düşük elde edilmiştir. Bunun sebebi, deney tasarımına bağlı olarak oluşan talaş-kesit alanı ile açıklanabilir. Şöyle ki, CBN takımında 50 m/dak kesme hızı ve 0,75 kesme derinliğinde ilerleme miktarı 0,050 mm/dev iken, 100 m/dak kesme hızı 0,75 kesme derinliğinde ilerleme miktarı 0,075 mm/dev'dir (Çizelge 7.3). 62 HRC malzemenin işlenmesinde en yüksek kesme kuvveti 297,37 N ölçülürken, 50 HRC malzemedeki 213,76 N olarak elde edilmiştir.

50 HRC Ni-Hard için kesme kuvvetinin, ilerleme (f) ve kesme hızı (V) ile ilişkisi Şekil 7.5'te verilmiştir.



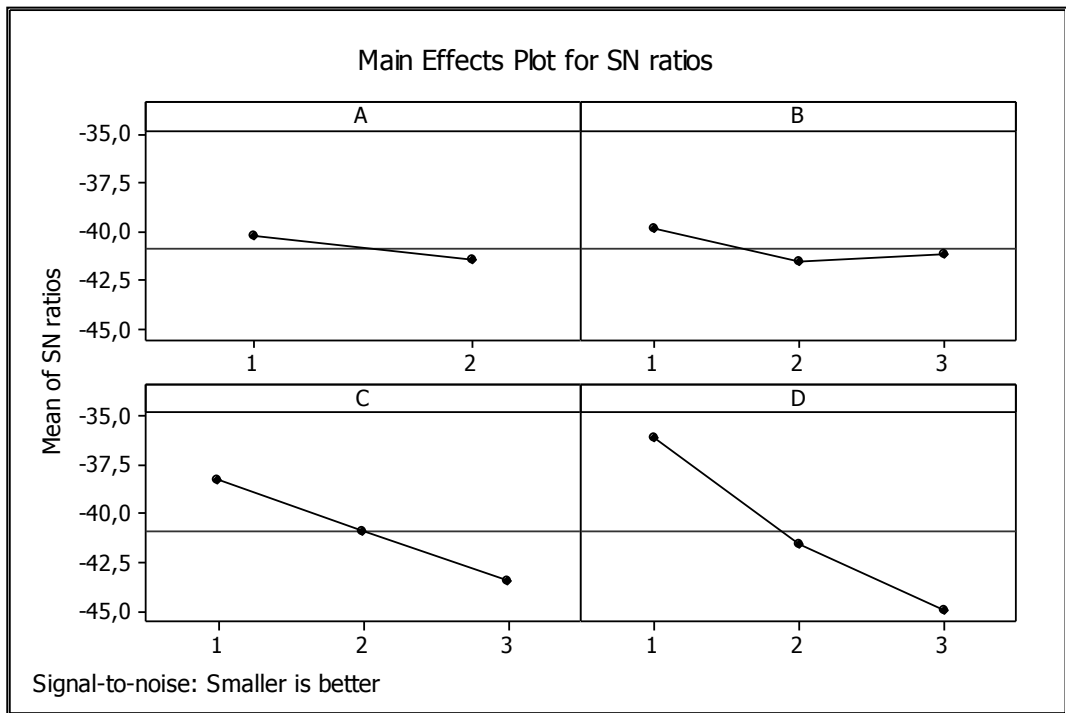
Şekil 7.5. 50 HRC Ni-Hard için (F_c)'nin (f) ve (V)'ye göre değişimi.

50 HRC malzemenin işlenmesinde meydana gelen kesme kuvveti eğilimleri, 62 HRC malzeme için elde edilen sonuçlara benzerlik göstermektedir. Şekil 7.5 değerlendirildiğinde, Seramik takımla işlemede ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin doğrusal bir şekilde arttığı söylenebilir. Ancak, 150 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme miktarında F_c değeri, diğer kesme hızlarındaki değerlere göre düşük çıkmıştır. Bu sonuç, 50 ve 100 m/dak kesme hızı ve 0,1 ilerleme miktarında kesme derinliği 0,75 mm iken, 150 m/dak kesme hızında 0,25 mm olmasına bağlı olarak oluşan talaş-kesit alanları arasındaki farka atıf edilmiştir (Çizelge 7.3).

50 HRC malzemenin CBN takımla işlenmesinde oluşan F_c değerleri incelendiğinde, 62 HRC malzeme için elde edilen sonuçlara benzer olarak kesme parametreleri ile F_c arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı görülmektedir (Şekil 7.2). Özellikle, 100 ve 150 m/dak kesme hızlarında görülen bu durumun nedeni, deney tasarımı gereği ilerleme miktarı veya kesme derinliklerinin karmaşık bir şekilde dağılımına atıf edilmiştir (Çizelge 7.3).

50 HRC Ni-Hard malzemenin bitirme tornalanmasında oluşan kesme kuvvetlerinin optimal seviyesi için kesme şartlarının optimizasyonu Taguchi Yöntemi'ne göre yapılmıştır. Optimal kesme kuvvetini veren değişken seviyelerinin belirlenmesi için kesme kuvveti verilerinin S/N oranları hesaplanmıştır (Çizelge 7.3).

Değişkenlerin S/N oranları Şekil 7.6'da grafik olarak verilmiştir. Performans karakteristiği adı verilen sonucun "En küçük en iyi" olduğu duruma göre yapılan optimizasyona göre optimal kesme kuvvetini veren kesme şartları tespit edilmiştir.



Şekil 7.6. F_c için değişkenlerin S/N oranları.

Optimal kesme kuvveti değerine ulaşmak için kullanılacak kesme şartları ile seviyeleri Çizelge 7.3 ve Şekil 7.6 yardımıyla A1, B1, C1ve D1 şeklinde belirlenmiştir. Bu seviyelere göre elde edilebilecek en küçük kesme kuvveti 21,54 N olurken, bu değer S/N oranı -31,9022 dB olarak tahmin edilmiştir.

50 HRC sertlikteki Ni-Hard'ın işlenmesinde oluşan esas kesme kuvvetleri üzerinde, değişkenlerin etki seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 7.4'te verilmiştir. Burada, her bir değişkenin önem seviyesini gösteren F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) görülmektedir.

Çizelge 7.4. F_c 'nin S/N oranlarının varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F	P	PCR (%)
A	1	6,621	6,621	7,81	0,019	1,91
B	2	9,258	4,629	5,46	0,025	2,65
C	2	81,976	40,988	48,35	0,000	23,54
D	2	241,940	120,970	142,69	0,000	69,47
Hata	10	8,478	0,848			2,43
Toplam	17	348,272				100,00

Çizelge 7.4'te görülebileceği gibi esas kesme kuvveti F_c üzerinde en fazla öneme sahip değişken % 69,47 etki oranı (PCR) ile kesme derinliği olarak bulunmuştur. F_c üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %23,54'lük etki oranı (PCR) ile ilerleme miktarıdır.

7.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ SONUÇLARI

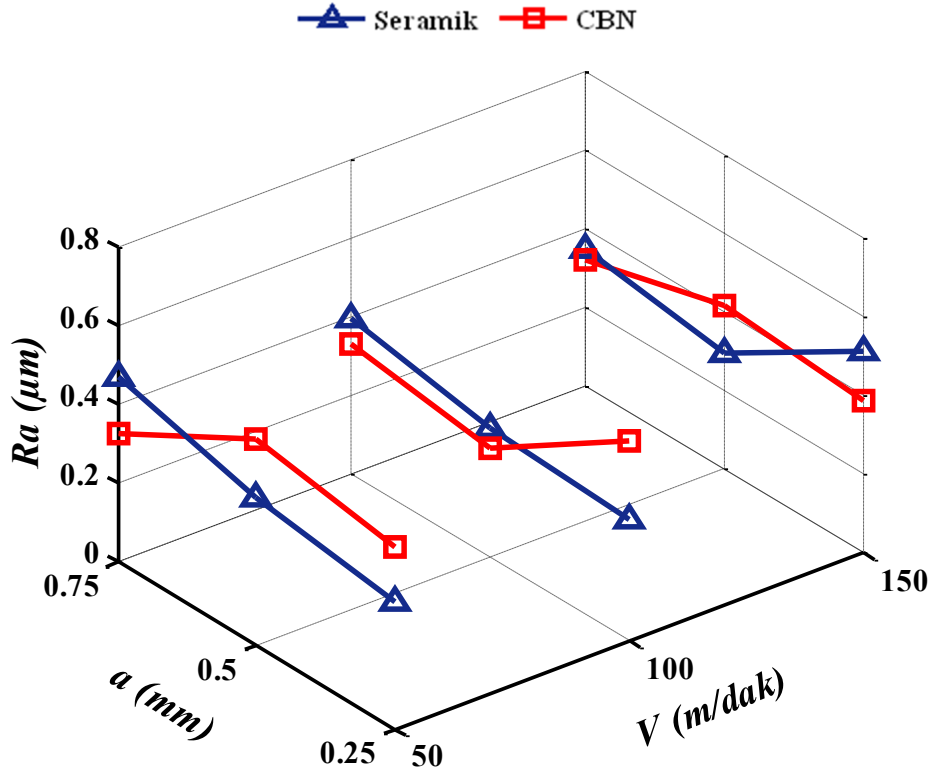
7.2.1. 62 HRC Ni-Hard İçin R_a 'nın Değerlendirilmesi

Deneyler sonucunda 62 HRC Ni-Hard için elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ve bunların “en küçük en iyi” yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.5. 62 HRC Ni-Hard için R_a değerleri ve S/N oranları.

Deney No	Değişkenler	(A) Kesici takım	(B) Kesme hızı (m/dak)	(C) İlerleme (mm/dev)	(D) Kesme derinliği (mm)	R_a (μ)	S/N (dB)
1	$A_1B_1C_1D_1$	Seramik	50	0,050	0,25	0,323	9,815
2	$A_1B_1C_2D_2$	Seramik	50	0,075	0,50	0,377	8,473
3	$A_1B_1C_3D_3$	Seramik	50	0,100	0,75	0,473	6,502
4	$A_1B_2C_1D_1$	Seramik	100	0,050	0,25	0,308	10,228
5	$A_1B_2C_2D_2$	Seramik	100	0,075	0,50	0,329	9,656
6	$A_1B_2C_3D_3$	Seramik	100	0,100	0,75	0,396	8,046
7	$A_1B_3C_1D_2$	Seramik	150	0,050	0,50	0,297	10,544
8	$A_1B_3C_2D_3$	Seramik	150	0,075	0,75	0,347	9,193
9	$A_1B_3C_3D_1$	Seramik	150	0,100	0,25	0,512	5,814
10	$A_2B_1C_1D_3$	CBN	50	0,050	0,75	0,326	9,735
11	$A_2B_1C_2D_1$	CBN	50	0,075	0,25	0,461	6,725
12	$A_2B_1C_3D_2$	CBN	50	0,100	0,50	0,525	5,596
13	$A_2B_2C_1D_2$	CBN	100	0,050	0,50	0,280	11,056
14	$A_2B_2C_2D_3$	CBN	100	0,075	0,75	0,331	9,603
15	$A_2B_2C_3D_1$	CBN	100	0,100	0,25	0,511	5,831
16	$A_2B_3C_1D_3$	CBN	150	0,050	0,75	0,322	9,842
17	$A_2B_3C_2D_1$	CBN	150	0,075	0,25	0,385	8,290
18	$A_2B_3C_3D_2$	CBN	150	0,100	0,50	0,416	7,618

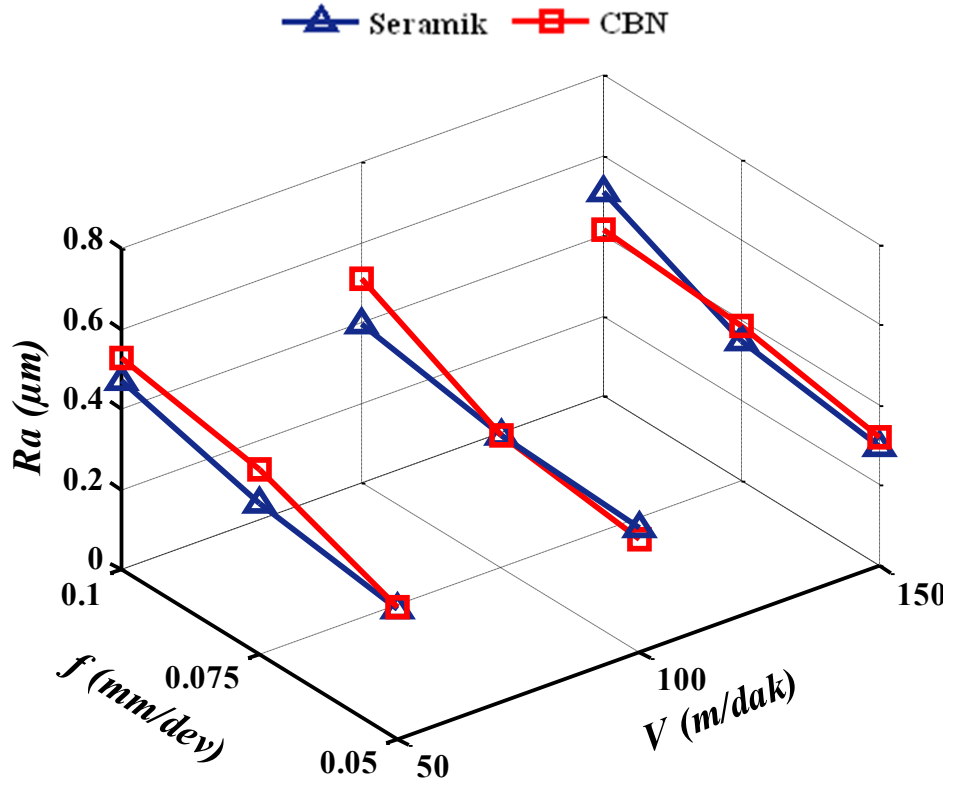
62 HRC Ni-Hard için ortalama yüzey pürüzlüğünün, kesme derinliği (a) ve kesme hızı (V)'na göre değişimi Şekil 7.7'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. 62 HRC malzeme için (R_a)'nın (a) ve (V)'ye göre değişimi.

62 HRC malzemede, Seramik takım için 50 m/dak kesme hızında, kesme derinliğinin artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü artmıştır. CBN kesici takımla aynı kesme hızında elde edilen R_a değeri, ilerleme miktarının 0,075 mm/dev olması nedeniyle yüksek çıkmıştır (Çizelge 7.5). Kesme hızının 100 m/dak olduğu deneylerde, Seramik takım için R_a değerleri kesme derinliğine paralel olarak artarken CBN kesici takım için R_a değerleri düzenli bir eğilim sergilememiştir (Şekil 7.7). 150 mm/dak kesme hızında ise her iki kesici takım için R_a değerlerinde düzenli bir eğilimin olmadığı görülmektedir. R_a değerlerinde meydana gelen bu düzensiz eğilimin nedeni, deney tasarımı gereği ilerleme miktarlarının karmaşık bir şekilde dağılımına atıf edilmiştir.

62 HRC malzeme için yüzey pürüzlüğünün, ilerleme miktarı (f) ve kesme hızı (V) ile ilişkisi Şekil 7.8'de verilmiştir.

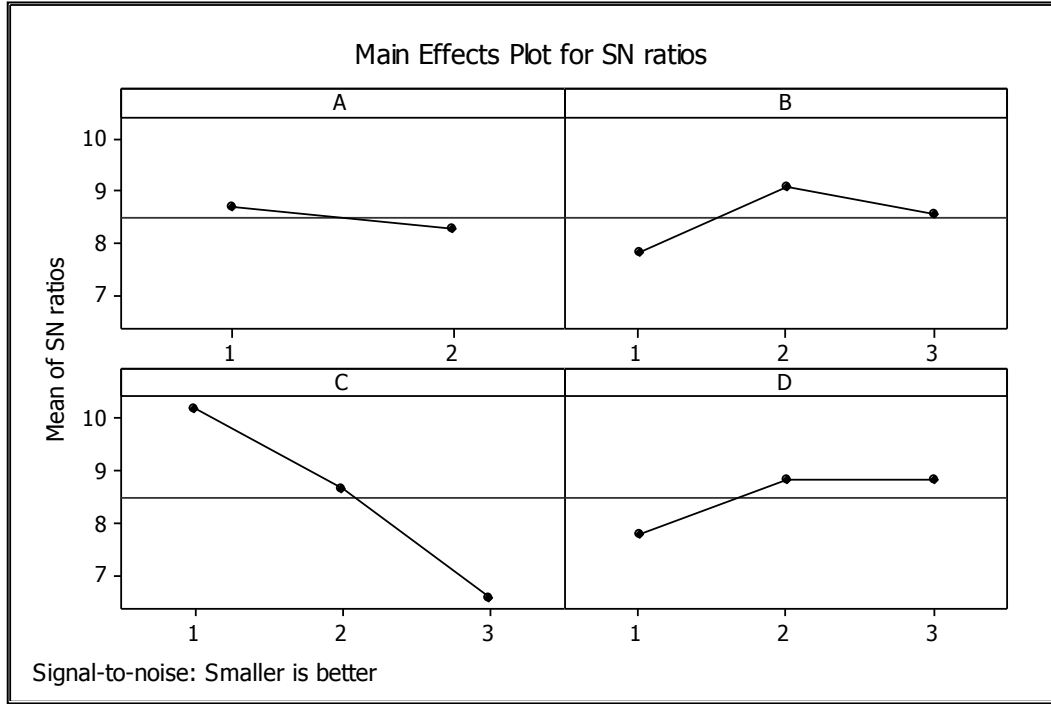


Şekil 7.8. 62 HRC malzeme için (R_a)'nın (f) ve (V)'ye göre değişimi.

62 HRC malzemenin Seramik ve CBN kesici takımlarla işlenmesinde, ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den 0,1 mm/dev'e çıkmasıyla R_a değerlerinin doğrusal bir artış eğiliminde olduğu Şekil 7.8'deki grafikten görülebilmektedir. Bununla birlikte, 150 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarı hariç bütün kesme şartlarında CBN kesici takımla elde edilen R_a değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7.5). 62 HRC sertlikteki malzemenin işlenmesinde oluşan en küçük R_a değeri, 100 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 0,5 kesme derinliğinde yapılan deney sonucunda 0,280 μm olarak elde edilmiştir.

62 HRC Ni-Hard malzemenin tornalanmasında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin optimal seviyesi için kesme şartlarının optimizasyonu Minitab yazılımında Taguchi Yöntemi'ne göre belirlenmiştir. Optimal yüzey pürüzlülüğünü veren değişken seviyelerinin belirlenmesi için deneysel yüzey pürüzlülüğü verilerinin S/N oranları hesaplanmıştır (Çizelge 7.5). Değişkenlerin S/N oranları Şekil 7.9'da grafik olarak verilmiştir.

Performans karakteristiği adı verilen sonucun “En küçük en iyi” olduğu duruma göre yapılan optimizasyona göre optimal kesme kuvvetini veren deney şartları tespit edilmiştir.



Şekil 7.9. R_a için değişkenlerin S/N oranları.

Optimal yüzey pürüzlülüğü değerine ulaşmak için kullanılacak kesme şartları ve seviyeleri Çizelge 7.5 ve Şekil 7.9 yardımıyla A2, B1, C3 ve D1 şeklinde belirlenmiştir.

62 HRC sertlikteki Ni-Hard’ın işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde, değişkenlerin etki seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 7.6’da verilmiştir. Çizelge 7.6’daki F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) dikkate alınarak değişkenlerin önem seviyeleri tespit edilmiştir.

Çizelge 7.6. R_a 'nın S/N oranlarının varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F	P	PCR (%)
A	1	0,8773	0,8773	3,19	0,105	1,67
B	2	4,8284	2,4142	8,77	0,006	9,16
C	2	39,9520	19,9760	72,55	0,000	75,78
D	2	4,3087	2,1544	7,82	0,009	8,17
Hata	10	2,7534	0,2753			5,22
Toplam	17	52,7198				100,00

Çizelge 7.6'da görülebileceği gibi yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde en fazla öneme sahip değişken % 75,78 etki oranı (PCR) ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur. R_a üzerinde etkili olan diğer değişkenlerin önem seviyeleri, % 9,16 etki oranı (PCR) ile kesme hızı ve % 8,17 etki oranı (PCR) ile kesme derinliğidir.

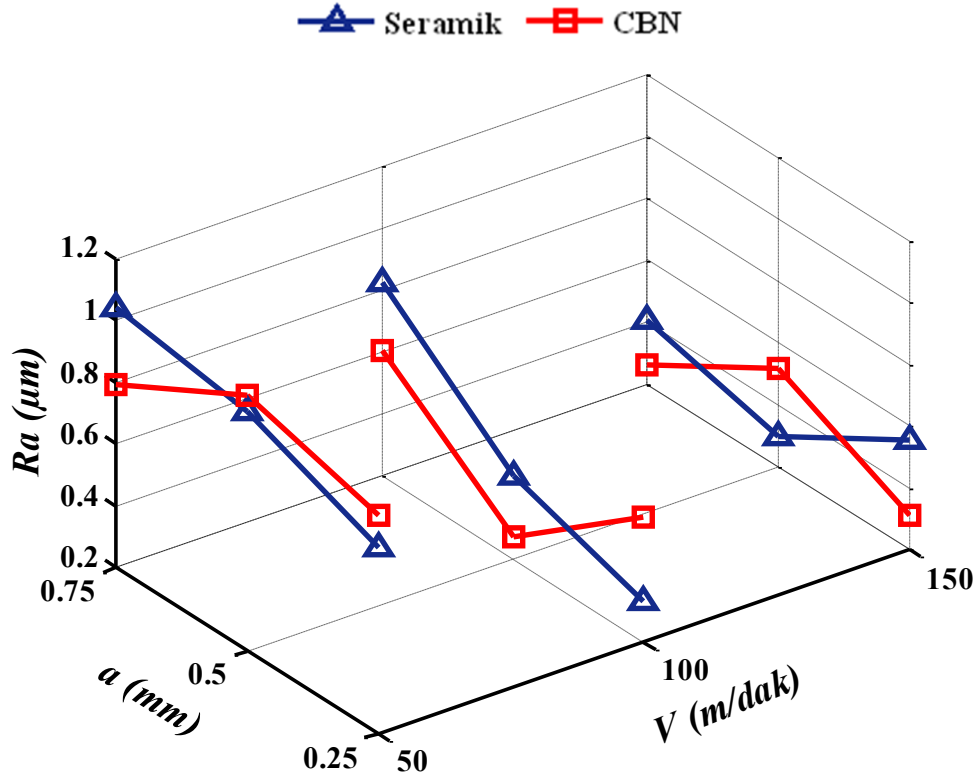
7.2.2. 50 HRC Malzeme İçin R_a 'nın Değerlendirilmesi

Deneyler sonucunda 50 HRC Ni-Hard için elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ve S/N oranları Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7. 50 HRC Ni-Hard için R_a değerleri ve S/N oranları.

Deney No	Değişkenler	(A) Kesici takım	(B) Kesme hızı (m/dak)	(C) İlerleme (mm/dev)	(D) Kesme derinliği (mm)	R_a (μ)	S/N (dB)
1	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	Seramik	50	0,050	0,25	0,803	1,905
2	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂	Seramik	50	0,075	0,50	0,973	0,237
3	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	Seramik	50	0,100	0,75	1,042	-0,357
4	A ₁ B ₂ C ₁ D ₁	Seramik	100	0,050	0,25	0,332	9,577
5	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	Seramik	100	0,075	0,50	0,466	6,632
6	A ₁ B ₂ C ₃ D ₃	Seramik	100	0,100	0,75	0,825	1,670
7	A ₁ B ₃ C ₁ D ₂	Seramik	150	0,050	0,50	0,297	10,54
8	A ₁ B ₃ C ₂ D ₃	Seramik	150	0,075	0,75	0,411	7,723
9	A ₁ B ₃ C ₃ D ₁	Seramik	150	0,100	0,25	0,554	5,129
10	A ₂ B ₁ C ₁ D ₃	CBN	50	0,050	0,75	0,793	2,014
11	A ₂ B ₁ C ₂ D ₁	CBN	50	0,075	0,25	0,903	0,886
12	A ₂ B ₁ C ₃ D ₂	CBN	50	0,100	0,50	1,028	-0,239
13	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂	CBN	100	0,050	0,50	0,273	11,276
14	A ₂ B ₂ C ₂ D ₃	CBN	100	0,075	0,75	0,605	4,364
15	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	CBN	100	0,100	0,25	0,601	4,422
16	A ₂ B ₃ C ₁ D ₃	CBN	150	0,050	0,75	0,262	11,633
17	A ₂ B ₃ C ₂ D ₁	CBN	150	0,075	0,25	0,309	10,200
18	A ₂ B ₃ C ₃ D ₂	CBN	150	0,100	0,50	0,522	5,646

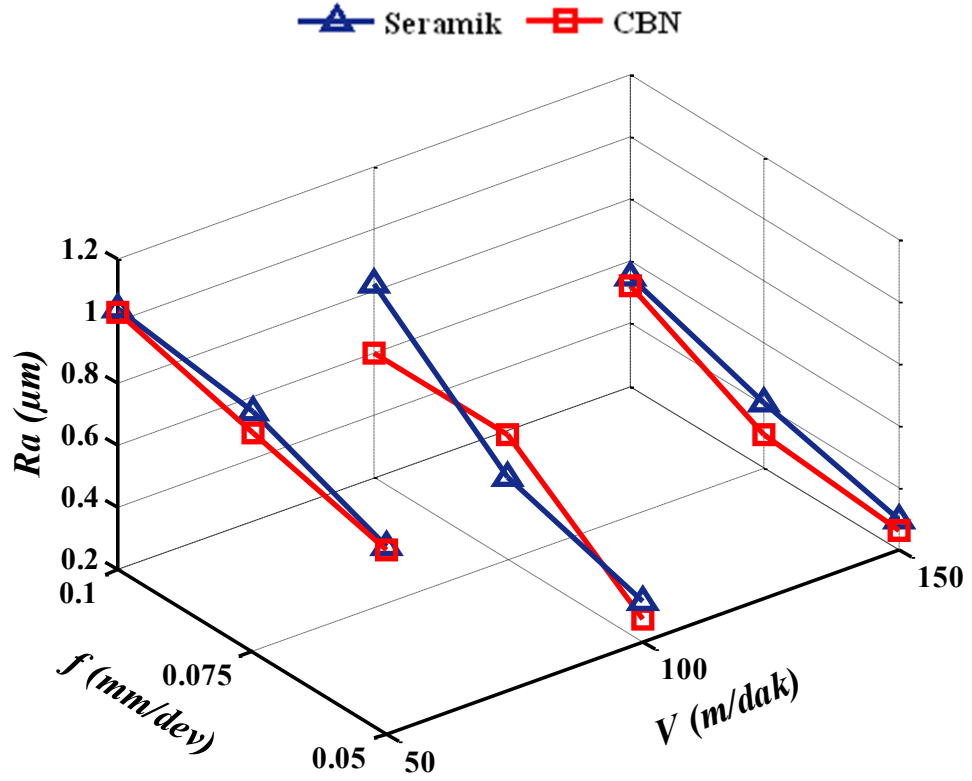
50 HRC malzemenin işlenmesi sonrasında oluşan yüzey pürüzlüğünün, kesme derinliği (a) ve kesme hızı (V)'na göre değişimi Şekil 7.10'da üç boyutlu grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.10. 50 HRC malzeme için (R_a)'nın (a) ve (V)'ye göre değişimi.

50 HRC malzemenin 50 m/dak kesme hızında, Seramik ve CBN kesici takımlarla işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülük değerleri birbirine yakın olup (Şekil 7.10), en yüksek R_a değeri 0,75 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir. 100 m/dak kesme hızında ölçülen R_a değerleri incelendiğinde, Seramik kesici takımla elde edilen R_a değerlerinde doğrusal bir artış olurken, CBN kesici takımla elde edilen R_a 'ların düzensiz bir eğilim sergilediği görülmektedir (Şekil 7.10). Şekil 7.10'dan kesme hızınının 150 m/dak olduğu deneylerde, her iki kesici için de düzensiz bir eğilim sergilediği görülmektedir. R_a 'da oluşan bu düzensiz eğilim, aynı kesme hızında ilerleme miktarının deney tasarımı gereği farklı olması ile açıklanabilir. 50 HRC sertlikteki Ni-Hard için en düşük yüzey pürüzlülüğü, 150 m/dak kesme hızı ve 0,25 mm kesme derinliğinde CBN kesici takımla yapılan deneyde 0,262 μm olarak belirlenmiştir.

50 HRC malzeme için yüzey pürüzlüğünün, ilerleme miktarı (f) ve kesme hızı (V)'na göre değişimi Şekil 7.11'de verilmiştir.



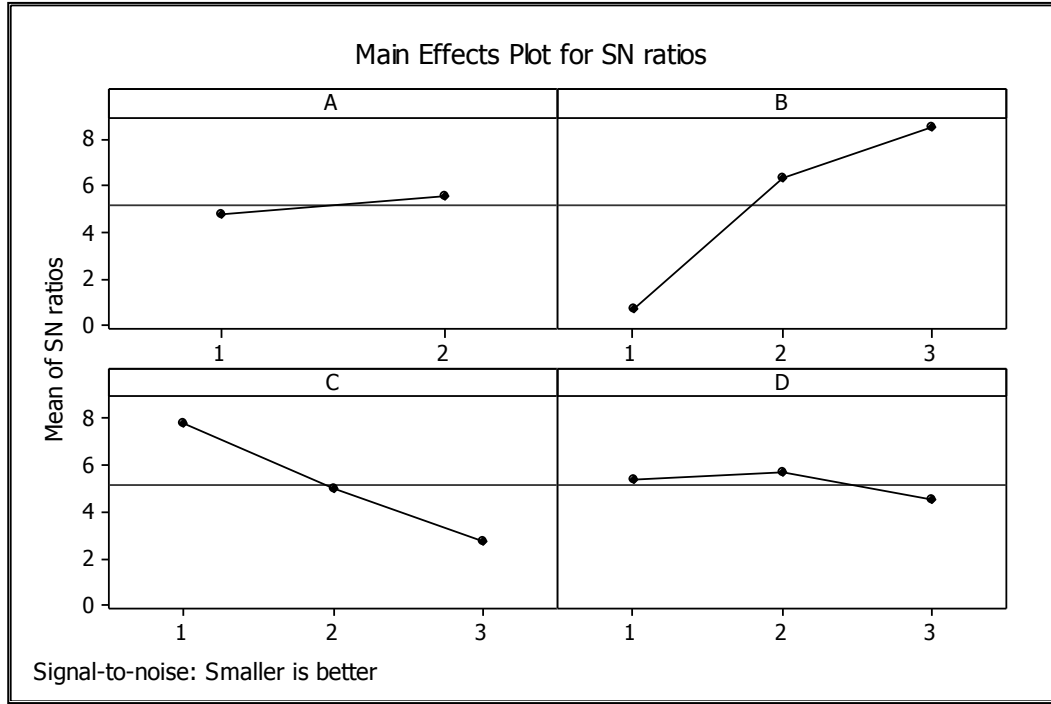
Şekil 7.11. 50 HRC malzeme için (R_a)'nın (f) ve (V)'ye göre değişimi.

Şekil 7.11'den, 50 HRC sertlikteki malzemenin Seramik ve CBN kesici takımlar ile işlenmesinde, ilerleme miktarının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç, özellikle Ni-Hard gibi sert malzemelerin işlenmesinde en küçük R_a değerlerinin elde edilebilmesi için düşük ilerleme miktarının tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü genel olarak değerlendirildiğinde, sertleştirilmiş malzemede (62 HRC Ni-Hard) R_a değerlerinin diğer malzemeye oranla daha düşük elde edildiği belirlenmiştir. Buradan, işlenen malzeme sertliğinin ortalama yüzey pürüzlülüğü için önemli bir parametre olduğunu söylemek mümkündür.

50 HRC Ni-Hard malzemenin tornalanmasında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin optimal seviyesi için kesme şartlarının optimizasyonu Taguchi Yöntemi'ne göre yapılmıştır.

Optimal R_a değerini veren değişken seviyelerinin belirlenmesi için deneysel olarak ölçülen kesme kuvveti verilerinin S/N oranları hesaplanmıştır (Çizelge 7.7). Değişkenlerin S/N oranları Şekil 7.12’de grafik olarak verilmiştir. Optimal kesme kuvvetini veren deney şartları, performans karakteristiği adı verilen sonucun “En küçük en iyi” olduğu duruma göre yapılan optimizasyona göre tespit edilmiştir.



Şekil 7.12. R_a için değişkenlerin S/N oranları.

Optimal yüzey pürüzlülüğü değerine ulaşmak için kullanılacak kesme şartları ile seviyeleri Çizelge 7.7 ve Şekil 7.12 yardımıyla A1, B1, C3 ve D3 şeklinde belirlenmiştir.

50 HRC sertlikteki Ni-Hard’ın işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde, değişkenlerin etki seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi (ANOVA) sonuçları Çizelge 7.8’de verilmiştir. ANOVA tablosundaki F değerleri ve yüzde etki oranları (PCR) kullanılarak değişkenlerin önem seviyeleri belirlenmiştir.

Çizelge 7.8. R_a 'nın S/N oranlarının varyans analizi.

Kaynak	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F	P	PCR (%)
A	1	2,834	2,834	1,36	0,270	0,95
B	2	191,408	95,704	46,06	0,000	64,20
C	2	78,714	39,357	18,94	0,000	26,40
D	2	4,406	2,203	1,06	0,382	1,48
Hata	10	20,778	2,078			6,97
Toplam	17	298,140				100,00

Çizelge 7.8'de görülebileceği gibi yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde en fazla öneme sahip değişken %64,20 etki oranı (PCR) ile kesme hızıdır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi olan diğer değişken ise % 26,40 etki oranı (PCR) ile ilerleme miktarı olarak bulunmuştur.

Taguchi Yöntemi'ne göre, optimal sonuçları verecek parametrelerin tahmininden sonra, optimizasyonda son aşama olarak doğrulama deneyleri yapılarak optimizasyonun doğruluğu test edilmektedir. Ancak, tahmin edilen seviyeler; optimizasyon öncesi yapılan deneysel çalışmaların arasından biri olduğu takdirde doğrulama deneylerine gereksinim olmaksızın, optimizasyonun performansı test edilebilmektedir [65]. Bu çalışmada, kesme kuvveti için tahmin edilen optimal seviyeler yapılan deneyler içerisinde mevcuttur.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Yüksek Alaşımli Beyaz Dökme Demir (Ni-Hard)'in bitirme tornalanmasında oluşan kesme kuvveti (F_c) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bununla birlikte, takım malzemesi, kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarının (değişkenler) F_c ve R_a üzerindeki etkileri deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu çalışma ile ulaşılan sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir:

- Elde edilen sonuçlar, Taguchi Yöntemi'nin talaşlı imalat araştırmalarında başarıyla uygulanabilecek bir deney tasarımı ve optimizasyon tekniği olduğunu bir kez daha göstermiştir.
- Deneysel sonuçlar, kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla iş parçasının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığını göstermiştir. Bu sonuç, literatürle paralellik arz etmekte olup yapılan deneylerin doğruluğunu göstermektedir.
- Ni-Hard malzemelerin işlenmesinde oluşan F_c ve R_a değerlerinin Seramik ve CBN kesici takımlar için birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçtan hareketle, kısa süreli bitirme tornalama işlemlerinde her iki takımın da kullanılabilieceği söylemek mümkündür.
- Değerşkenlerin, işlenebilirlik kriterleri (F_c ve R_a) üzerindeki etkileri varyans analizi yardımıyla belirlenmiştir. 50 HRC ve 62 HRC sertlikteki Ni-Hard malzeme için kesme kuvvetleri açısından en önemli değerşken kesme derinliği olarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkin olan en önemli değerşkenler ise 50 HRC Ni-Hard malzeme için kesme hızı, 62 HRC Ni-Hard malzeme için ise ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir.

- 62 HRC'ye sertleştirilmiş Ni-Hard malzemenin işlenmesinde oluşan en düşük yüzey pürüzlülük değeri, CBN takım ile $V=100$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev ve $a=0,50$ mm kesme şartlarında $0,280$ μm elde edilmiştir.
- 62 HRC'ye sertleştirilmiş Ni-Hard malzemenin işlenmesinde oluşan en düşük kesme kuvveti, Seramik Takım ile $V=50$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev ve $a= 0,25$ mm kesme şartlarında $54,03$ N olarak ölçülmüştür.
- 50HRC ve 62 HRC Ni-Hard için kesme kuvvetine bağlı olarak belirlenen değişkenlerin optimum seviyeleri A1, B1, C1ve D1 (Seramik takım, $V=50$ m/dak, $f=0,05$ mm/dev ve $a=0,25$ mm) şeklinde tespit edilmiştir.
- 50 HRC malzemenin işlenmesinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü için optimum değişken seviyeleri A2B1C3D1 olurken, 62 HRC için A1B1C3D3 şeklinde bulunmuştur.
- Ni-Hard'ın işlenmesinde oluşan işlenebilirlik kriterlerinin tahmini için matematiksel modeller oluşturulabilir.
- Ni-Hard'ın işlenmesinde kullanılan kesici takımların aşınma miktarlarına bağlı olarak takım ömrü çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Morehead, M. D., "Machinability and microstructure stability during the machining of pure copper and titanium processed by equal channel angular pressing", M. Sc. Thesis, *Clemson University*, Clemson, 10-140 (2007).
2. Shaw, M. C., "Metal Cutting Principles", *Oxford University Press*, Oxford, 19 (1989).
3. Davim, J. P. and Baptista, A. M., "Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium", *Journal of Materials Processing Technology*, 103 (3): 417-423 (2000).
4. Davim J. P., "A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments", *Journal of Materials Processing Technology*, 116 (2-3): 305-308 (2001).
5. Liu, J. and Man, Y., "Development of abrasion-resistant Ni-hard 4 cast irons", *Wear*, 162-164 (2): 833-836 (1993).
6. Goldberg, M., Smith, G. T., Berry, J. T. and Littlefair, G., "Machinability assessment and surface integrity characteristics of austempered ductile iron (ADI) using ultra-hard cutting tools", *Third International Machining and Grinding Conference*, SME, Ohio USA, 825-846 (1999).
7. Tekauit, İ., Günay, M. ve Şeker, U., "Tornalama işleminde talaş kırıcı formun ve kesme parametrelerinin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu", *6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Elazığ, 127-131 (2011).
8. Demir, H., Ulaş, B. ve Zeyveli, M., "Stavax esr çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 1270-1273 (2009).
9. Davim, J. P. and Figueira, L., "Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques", *Materials & Design*, 28 (4): 1186-1191 (2007).
10. Choudhury, I. A. and El-Baradie, M. A., "Surface roughness prediction in turning of high-strength steel by factorial design of experiments", *Journal of Materials Processing Technology*, 67 (1-3): 55-61 (1997).

11. Motorcu, A. R., “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 143-416 (2006).
12. Kartal, M. S., “Alaşımız çeliklerin CNC torna tezgâhında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının Taguchi yöntemiyle incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 51-78 (2000).
13. Kopac, J., Bahor, M. and Sokovic, M., “Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42 (6): 707-716 (2002).
14. Kaçal, A., Gülesin, M. ve Melek, F., “GGG 40 küresel grafitli dökme demirlerin ince tornalama operasyonlarında kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi”, *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 11 (3): 229-234 (2008).
15. Uçun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S. ve Gök K., “Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin sinterlenmiş karbür kesici takım ile tornalama işleminde takım performansının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (4): 739-744 (2007).
16. Camuşcu, N., “Effect of cutting speed on the performance of Al₂O₃ based ceramic tools in turning nodular cast iron”, *Materials and Design*, 27 (10): 997-1006 (2006).
17. Lalwani, D. I., Mehta, N. K. and Jain, P. K., “Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 206: (1-3): 167-179 (2008).
18. Bouacha, K., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J.F., “Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool”, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 28 (3): 349-361 (2010).
19. Oliveira, A. J., Diniz, A. E. and Ursolino, D. J., “Hard turning in continuous and interrupted cut with PCBN and whisker-reinforced cutting tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (12-13): 5262-5270 (2009).
20. Masood, S. H., Armitage, K. and Brandt, M., “An experimental study of laser-assisted machining of hard-to-wear white cast iron”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51 (6): 450-456 (2011).

21. Şeker, U. ve Hasırcı, H., “Evaluation of machinability of austempered ductile irons in terms of cutting forces and surface quality”, *Journal of Materials Processing Technology*, 173 (3): 260-268 (2006).
22. Gopalsamy, B. M., Mondal, B. and Ghosh, S., “Taguchi method and ANOVA: An approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel”, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 68 (8): 686-695 (2009).
23. Göloğlu, C. ve Sakarya, N., “The effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 206 (1-3): 7-15 (2008).
24. Korkut, İ., Yavuz, K. ve Turgut, Y., “An experimental investigation into the machinability of GGG-70 grade spheroidal graphite cast iron”, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 16 (2): 116-122 (2009).
25. Fidaner, S., Çelik, S., Doğmuş, H., Süzen, C. ve Duran, A. D., “Genel Dökümcülük Bilgisi”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 1-70 (1979).
26. Sağlam, C., “Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncine alaşım elementleri ilavesinin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-25 (2009).
27. Davis, J. R., “Classification and Basic Metallurgy of Cast Irons”, *Cast- Irons-ASM Speciality Handbook*, ASM International Materials Park, OH, 3-15 (1996).
28. ASTM A532 Standard Specification for Abrasion Resistant Cast Iron, *ASTM Standards* (2006).
29. Say, Y., “Borürlerin aşılaiıcı olarak yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direncine etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 2-28 (2008).
30. Liu, J., Li, S. and Man, Y., “Wear resistance of Ni-Hard 4 and high-chromium cast iron re-evaluated”, *Wear*, 166 (1): 37-40 (1993).
31. Yao, M. and Page, N. W., “Friction measurement on Ni-Hard 4 during high pressure crushing of silica”, *Wear*, 249 (1-2): 117-126 (2001).
32. İnternet: Judy Machining Inc. “Ni-Hard Malzemelerin Mikro Yapısı” <http://www.Judymachining.com/> (2011).
33. Doğan, Ö. N., Hawk, J. A. and Rice, J., “Comparison of three Ni-Hard I Alloys”, *Albany Research Center*, Albany, DOE/ARC 70 (2004).

34. Nieminen, R., Autio, J., Suomalainen, E., Husu, N., Kauppi, M., Vaananen, E., “Wear mechanism of Ni-Hard 4 rollers in chromite ore crushing”, *Wear*, 179 (1-2): 95-100 (1994).
35. Hu, X., “An experimental and analytical study of the effect of material microstructures on the machinability of Al-Si alloys”, PhD. Thesis, *Michigan Technological University*, Michigan, 20-85 (2005).
36. Groover, M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems”, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, USA, 251-639 (1996).
37. Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A. and Manoharan, N., “Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques”, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (4): 32- 36 (2008).
38. Lee, T. H., “An experimental and theoretical investigation for the machining of hardened alloy steels”, PhD. Thesis, *The University of New South Wales*, Sydney, Australia, 10-120 (2007).
39. Kopaci, J. and Bahor, M., “Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product”, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93: 381-387 (1999).
40. Trent, E. M., “Metal Cutting”, *Butterworths Press*, London, 1-171 (1989).
41. Sandvik Coromant, “Modern metal cutting—A practical handbook”, English Edition, *Sandvik Coromant*, Sweden, 1-3 (1994).
42. Zhang, J. H., “Theory and Technique of Precision Cutting”, *Pergamon Press*, Oxford, 1-50 (1991).
43. DeGarmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R.A., “Materials and Processes in Manufacturing”, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 214-652 (1997).
44. Jacobs, A.J. and Kilduff, T.F., “Engineering Materials Technology: Structure, Processing, Properties and Selection”, 5. Edition, *Prentice-Hall Inc.*, USA, 357-397, 645-749 (2005).
45. Kennametal, “Turning Catalog”, *Kennametal Hertel*, UK, 10-250 (2008).
46. Ezugwu, E. O., “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45 (12-13): 1353-1367 (2005).

47. Zhang, H., “Plastic deformation and chip formation mechanics during machining of copper, aluminium and an aluminium matrix composite”, PhD. Thesis, *University of Windsor*, Canada, 5-106 (2000).
48. Griffin, R. D., Li, H. J., Eleftheriou, E. and Bates, C. E., “Machinability of gray cast iron, *American Foundry Society Report*, Alabama, 1-20 (2008).
49. Şahin, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri 1”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 45-46 (2000).
50. Özdemir, U. ve Erten M., “Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1 (1): 37-50 (2003).
51. Güllü, A., “Talaşlı üretimde yüzey problemleri ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Ders Notları, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-27 (1998).
52. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, 3. Baskı, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1-40 (1996).
53. Besterfield, D. H., Besterfield, C., Besterfield, G. H. and Besterfield, M., “Total Quality Management”, *Prentice Hall Inc.*, New Jersey, 1-55 (1995).
54. Taylan, D., “Taguchi deney tasarımı uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 15-42 (2009).
55. Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı”, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 1-20 (1997).
56. Anagün, A. S., “Kalite kontrolde ileri teknikler ders notları” *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü*, Eskişehir, 1-40 (2000).
57. Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y., “Taguchi’s Quality Engineering Handbook”, *John Wiley & Sons Inc.*, 501-617 (2005).
58. Peace, G. S., “Taguchi Methods, A Hands-On Approach”, *Addison-Wesley Publishing Company*, 1-60 (1992).
59. Connor, A .M., “Parameter sizing for fluid power circuits using Taguchi methods”, *Journal of Engineering Design*, 10 (4): 377-390 (1999).
60. Ross, P. J., “Taguchi Techniques for Quality Engineering”, *McGraw-Hill International Book Company*, 1-73 (1996).
61. Canıyılmaz, E., “Kalite geliştirmede Taguchi metodu ve bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-70 (2001).

62. İnternet: Ayhan Demir Çelik Metal “Vakumda Sertleştirme İşlemi” <http://www.ayhandemir.com.tr/Hizmetlerimiz/Isil-Islem/Vakum-Sertlestir> (2011).
63. Montgomery, D. C. “Design and Analysis of Experiments”, 5th Edition, *John Wiley, Wiley & Sons*, New York, 347-373 (2001).
64. Suhail, A. H., Ismail, N., Wong, S. V. and Abdul Jalil, N. A., “Optimization of cutting parameters based on surface roughness and assistance of workpiece surface temperature in turning process, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (1): 102-108 (2010).
65. Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök, G. ve Kutlu L., “Al 2024-T4 alüminyumun elmas benzeri karbon (DLC) kaplanmış matkaplarla delinmesinde kesme parametrelerinin deneysel incelenmesi ve Taguchi optimizasyonu”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 2285-2290 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Tekirdağ'da doğdu. İlk ve orta öğretimini bu şehirde sürdürdü. 2005 yılında kazandığı Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü'nden 2009 yılında yüksek onur derecesi ile mezun oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

Düzce Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü'nde 2009 yılından itibaren araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Düzce Üniversitesi
Makine Eğitimi Bölümü
Konuralp / DÜZCE

Tel : 0 (380) 542 11 33

Fax : 0 (380) 542 11 34

E-posta : emreyucel@duzce.edu.tr