



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**Cu-Ni-Mo ALAŞIMLI DEMİR TOZ METAL MALZEMESİNİN
İŞLENEBİLİRLİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Shaker Mahmood Aswad HASAK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Nuray BEKÖZ ÜLLEN

Eylül, 2018

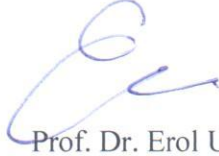
İSTANBUL

Bu çalışma, 18.09.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

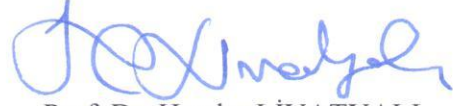
Tez Jürisi



Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



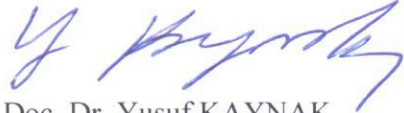
Prof. Dr. Erol UZAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Haydar LİVATYALI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi



Prof. Dr. Recep BURKAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Yusuf KAYNAK
Marmara Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi



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

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin FDK-2016-20732 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Koşturma ve emeğin sonucunda şu anda gelmiş olduğum nokta gerçekten çok huzur verici...
En büyük yorgunluklara bedel...

Tez konumun belirlenmesinde, tezimin çalışma aşamasında her türlü sabrı gösteren, desteğini esirgemeyen, değerli bilgilerinden faydalandığım saygıdeğer tez danışmanlarım Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU ve Dr. Öğr. Üyesi Nuray BEKÖZ ÜLLEN'e,

Tez çalışmamda bulunan testlerin yapılmasında imkânlarından yararlandığım Bor Kesici Takım ve Mak. San. Tic. Ltd. Şti. Müdürü Sayın Tarkan YAZICI'ya ve çalışmada kullandığım parçaların temin edilmesinde katkı sağlayan Sintek Toz Metalürji San. Tic. A. Şti. Müdürü Sayın Hazar YARANUŞ'a

Çalışmalarım boyunca laboratuvarlarından faydalandığım İstanbul Üniversitesi'ne ve doktora eğitimim süresince bana burada eğitim imkânı veren Türkiye Cumhuriyeti Devleti'ne,
Ortak sıkıntıları paylaştığımız, bu zorlu süreçte manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan çalıştığım Nun Grup şirketleri sahibi Mehmet SERİN ve genel müdür Şebnem Aslı TOPÇU'ya,

Benden desteklerini esirgemeyen, en zor anlarımda hep yanımda olan ve bana hep güvenen çok sevdiğim anneme, babama ve kardeşlerime,

En içten teşekkür ve saygılarımla.

Eylül 2018

Shaker Mahmood Aswad HASAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. TOZ METAL TEKNOLOJİSİ	4
2.1.1. Toz Metalurjisi Ürünlerde İkincil İşlemler	5
2.2. TM ÜRÜNLERDE TALAŞLI İMALAT TEKNOLOJİSİ	7
2.2.1. İşlenebilirlik	7
2.2.2. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler	8
2.2.2.1. Proses Karakteristiği	9
2.2.2.2. Malzeme Karakterizasyonu	10
2.2.2.3. İşleme Parametreleri	14
2.2.2.4. İşlemeyi İyileştirmek İçin Çözüm Önerileri	15
2.2.3. İşlenebilirlik Kriterleri	17
2.2.3.1. Talaş Karakterizasyonu	18
2.2.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü	23
2.2.3.3. Takım Ömrü ve Aşınma	26
2.2.3.4. Kesme Sıcaklığı	33
2.2.3.5. Kesme Kuvvetleri	34
2.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	34
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	44
3.1. KULLANILAN MALZEMENİN ÖZELLİKLERİNİN TESPİTİ.....	44
3.1.1. Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	44
3.1.2. Toz Partikül Boyut Dağılımı	45
3.1.3. Tozun Morfolojisi	45

3.2. TOZ METAL PARÇALARIN ÜRETİMİ	45
3.2.1. Sinter Parçaların Üretimi	45
3.2.2. Sinter Sonrası Gerilim Giderme Tavlamaşı.....	47
3.3. SİNER PARÇALARIN ÖZELLİKLERİNİN TESPİTİ	47
3.3.1. Yoğunluğu ve Gözenek Oranı	47
3.3.2. Mikroyapı İncelemesi	48
3.4. SİNER PARÇALARIN İŞLENMESİ.....	48
3.4.1. Kesici Uçların Özellikleri	48
3.4.2. Kesme Parametreleri.....	49
3.4.3. İşlem Sonrası Gerilim Giderme Tavlamaşı	51
3.5. İŞLEM GÖRMÜŞ PARÇALARIN KARAKTERİZASYONU	51
3.5.1. Talaş Morfolojilerin İncelenmesi	51
3.5.2. Talaş Debi Ölçümü.....	51
3.5.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü	51
3.5.4. Sertlik Ölçümleri	52
3.5.4.1. Brinell Sertlik Ölçümleri.....	52
3.5.4.2. Rockwell Sertlik Ölçümleri	52
3.5.5. Takım Ömrünün Belirlenmesi	53
3.5.6. İşlem Esnasında Takım Ucu ve İş Parçası Yüzey Sıcaklığının Ölçümü	53
3.5.7. SEM Analizleri	54
3.5.7.1. Kesici Uçların SEM Analizleri.....	54
3.5.7.2. İşlem Görmüş Yüzeylerin SEM Analizleri.....	55
3.6. KESME KUVVETLERİ ÖLÇÜMÜ	55
4. BULGULAR.....	57
4.1. KULLANILAN MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ	57
4.1.1. Tozun Partikül Boyut Dağılımı	57
4.1.2. Tozun Morfolojisi.....	58
4.2. SİNER PARÇANIN ÖZELLİKLERİ.....	58
4.2.1. Yoğunluğu ve Gözenek Oranı	58
4.2.2. Mikroyapı İncelemesi	59
4.3. İŞLENMİŞ PARÇALARIN KARAKTERİZASYONU	60
4.3.1. Talaş Morfolojileri.....	60
4.3.2. Talaş Debileri	63
4.3.3. Yüzey Pürüzlülükleri	64

4.3.4. Sertlik Ölçümleri	73
4.3.4.1. <i>Brinell Sertlikleri</i>	73
4.3.4.2. <i>Rockwell Sertlikleri</i>	76
4.3.5. Takım Ömrü	78
4.3.6. İşlem Esnasında Kesici Uç ve İş Parçasının Yüzey Sıcaklığı	80
4.3.7. SEM Analizleri	83
4.3.7.1. <i>Kesici Uçların SEM Analizleri</i>	83
4.3.7.2. <i>İşlem Görmüş Yüzeylerin SEM Analizleri</i>	86
4.4. KESME KUVVETLERİ	90
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	97
5.1. TALAŞ MORFOLOJİLERİ	97
5.2. TALAŞ DEBİLERİ	99
5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	99
5.4. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ	102
5.5. TAKIM ÖMRÜ	102
5.6. İŞLEM ESNASINDA KESİCİ UÇ VE İŞ PARÇASININ YÜZEY SICAKLIKLARI	105
5.7. KESME KUVVETLERİ	106
5.8. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRE KATKILARI	107
5.9. ÖNERİLER	108
KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ	120

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: TM yöntemiyle üretilmiş farklı parçalar (Kızıloğlu, 2016).....	5
Şekil 2.2: TM parçalarda oluşan talaş kaldırma mekaniği ve tüm kesme bölgeleri (Şalak ve diğ., 2005).....	20
Şekil 2.3: Talaş şekilleri (Özçatalbaş, 2014).....	21
Şekil 2.4: Oluşum mekanizmasına göre talaş tipleri sürekli talaş (a), kesintili talaş(b), yığıntı talaş(c) (Aksoy, 2009, Aydın, 2002, Özçatalbaş, 2014).	22
Şekil 2.5: Yüzey kalitesini etkileyen faktörler (Yazman, 2006).	24
Şekil 2.6: Yüzey pürüzlülüğü Ra, Rt ve Rz ölçümü (Şahin, 2001).	25
Şekil 2.7: Üç farklı malzemeye göre aşınma ve kesme zamanı ilişkisi (Şalak ve diğ., 2005).....	26
Şekil 2.8: Kesici takımında meydana gelen aşınma prosesleri(Ok, 2009).	28
Şekil 2.9: Serbest yüzey aşınması (Özdemir ve Erten, 2003).	30
Şekil 2.10: Krater aşınması (Özdemir ve Erten, 2003).	30
Şekil 2.11: Plastik deformasyon (Özdemir ve Erten, 2003).	31
Şekil 2.12: Çentik oluşumu (Özdemir ve Erten, 2003).	31
Şekil 2.13: Isıl çatlaklar (Özdemir ve Erten, 2003).	31
Şekil 2.14: Mekanik yorulma çatlakları (Özdemir ve Erten, 2003).	32
Şekil 2.15: Dökülme (Özdemir ve Erten, 2003).	32
Şekil 2.16: Kırılma (Özdemir ve Erten, 2003).	33
Şekil 2.17: Yığılma kenar oluşumu (Özdemir ve Erten, 2003).	33
Şekil 3.1: Presleme işlemi sırasında uygulanan (Ünal, 2010).	46
Şekil 3.2: Sinterleme fırını sıcaklık (Ünal, 2010).	47
Şekil 3.3: CBN200 B ₃ N kesici uç.	49
Şekil 3.4: Deneysel çalışmada kullanılan CNC tezgâhı.	49

Şekil 3.5: Yüzey pürüzlülük ölçümü.....	52
Şekil 3.6: (a) iş parçası ve (b) kesici ucun dijital termometre ile sıcaklık ölçümü.	54
Şekil 3.7: SEM cihazı.....	55
Şekil 3.8: Kesme kuvvetleri ölçümünde kullanılan CNC tezgâhı.....	56
Şekil 4.1: Partikül boyut dağılım.	57
Şekil 4.2: Tozun morfolojisi.	58
Şekil 4.3: Distaloy AB numunelerinin mikroyapı fotoğrafları.	59
Şekil 4.4: 0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarında talaş morfolojileri.....	60
Şekil 4.5: 0,2, 0,4 ve 0,6 mm kesme derinliklerinde talaş morfolojileri.	61
Şekil 4.6: 50, 150 ve 250 m/dak. kesme hızlarında talaş morfolojileri.....	61
Şekil 4.7: 50 m/dak kesme hızıyla işlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü sonuçları.....	64
Şekil 4.8: 150 m/dak kesme hızıyla işlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü sonuçları.....	65
Şekil 4.9: 250 m/dak kesme hızıyla işlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü sonuçları.....	66
Şekil 4.10: Ra yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.	69
Şekil 4.11: Ra yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.	69
Şekil 4.12: Ra yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.	70
Şekil 4.13: Rt yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.....	70
Şekil 4.14: Rt yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.	70
Şekil 4.15: Rt yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.....	71
Şekil 4.16: Rz yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.....	71
Şekil 4.17: Rz yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.	71
Şekil 4.18: Rz yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.	72
Şekil 4.19: Brinell sertlik sonucuna ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.....	75
Şekil 4.20: Brinell sertlik sonucuna kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.	75
Şekil 4.21: Brinell sertlik sonucuna kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.....	75
Şekil 4.22: Rockwell sertlik sonucuna ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.	77
Şekil 4.23: Rockwell sertlik sonucuna kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.	78

Şekil 4.24: Rockwell sertlik sonucuna kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.....	78
Şekil 4.25: Kuru ve kesme sıvısı ortamında kesici uç aşınma süresi.....	80
Şekil 4.26: Kesme hızının kesici uç sıcaklığı üzerine etkisi.	81
Şekil 4.27: Kesme hızının parça yüzey sıcaklığı üzerine etkisi.	82
Şekil 4.28: 50 m/dak kesme hızıyla kuru ortamda kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.	83
Şekil 4.29: 150 m/dak kesme hızıyla kuru ortamda kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.	83
Şekil 4.30: 250 m/dak kesme hızıyla kuru ortamda kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.	84
Şekil 4.31: 50 m/dak kesme hızıyla kesme sıvısı ortamında kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.	84
Şekil 4.32: 150 m/dak kesme hızıyla kesme sıvısı ortamında kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.	84
Şekil 4.33: 250 m/dak kesme hızıyla kesme sıvısı ortamında kesici ucun aşınmış yüzeylerinin	85
Şekil 4.34: (a) 0,05, (b) 0,10 ve (c) 0,15 mm/dev ilerleme hızlarında aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri.	86
Şekil 4.35: (a) 0,2, (b) 0,4 ve (c) 0,6 mm kesme derinliklerinde aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri.	87
Şekil 4.36: (a) 50, (b) 150 ve (c) 250 m/dak kesme hızlarında aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri.	88
Şekil 4.37: 50 m/dak kesme hızıyla, 0,4 mm kesme derinliği ve 0,05 mm/dev ilerleme hızındaki Dynoware yazılımı görüntüsü.	91
Şekil 4.38: 50 m/dak kesme hızıyla, 0,4 mm kesme derinliği ve 0,10 mm/dev ilerleme hızındaki Dynoware yazılımı görüntüsü.	91
Şekil 4.39: 50 m/dak kesme hızıyla, 0,4 mm kesme derinliği ve 0,15 mm/dev ilerleme hızındaki Dynoware yazılımı görüntüsü.	92
Şekil 4.40: İlerleme hızı ve kesme hızlarının, F_x 'e etkileri.	92
Şekil 4.41: Kesme derinliği ve kesme hızının, F_x 'e etkileri.	93
Şekil 4.42: Kesme derinliği ve ilerleme hızının, F_x 'e etkileri.	93
Şekil 4.43: İlerleme hızı ve kesme hızının, F_y 'ye etkileri.	93

Şekil 4.44: Kesme derinliği ve kesme hızının, F_y 'ye etkileri.	94
Şekil 4.45: Kesme derinliği ve ilerleme hızının, F_y 'ye etkileri.	94
Şekil 4.46: İlerleme hızı ve kesme hızının, F_z 'e etkileri.	94
Şekil 4.47: Kesme derinliği ve kesme hızının, F_z 'e etkileri.	95
Şekil 4.48: Kesme derinliği ve ilerleme hızının, F_z 'e etkileri.	95
Şekil 5.1: TM ürünlerin işlenebilirliğini etkileyen faktörler (Şalak ve diğ., 2005).	108



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: İşlenebilirlik üzerine elementlerin etkisi (Šalak ve diğ., 2005).....	12
Tablo 2.2: TM malzemelerin işlenebilirlik test şartları (MPIF, 2000).	19
Tablo 2.3: İşlenebilirlikte yaygın kullanılan aşınma kriterleri (Šalak ve diğ., 2005).	27
Tablo 3.1: Ön alaşımlı demir tozunun kimyasal bileşimi (Höganäs, 1996).	44
Tablo 3.2: Ön alaşımlı demir tozunun görünür yoğunluğu ve akış hızı (Höganäs, 1996).....	44
Tablo 3.3: Deneysel çalışmada kullanılan B ₃ N kesici ucun özellikleri.	48
Tablo 3.4: Deneysel çalışmada kullanılan kesme parametreleri.	50
Tablo 3.5: Yüzey pürüzlülük ölçümünde kullanılan cihazın özellikleri.....	52
Tablo 3.6: Dijital termometrenin özellikleri.	54
Tablo 3.7: Doosan Puma GT2100 markalı CNC torna tezgâhı özellikleri.	56
Tablo 3.8: Kistler 9129AA tipi dinamometre özellikleri.	56
Tablo 4.1: Kümülatif boyut dağılımına karşılık gelen partikül boyutları.....	58
Tablo 4.2: Sinter parçaların yoğunluk ve gözenek oranları.....	58
Tablo 4.3: İlerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre talaş debi sonuçları.	63
Tablo 4.4: Ra yüzey pürüzlülüğü sonuçları.	67
Tablo 4.5: Rt yüzey pürüzlülüğü sonuçları.	67
Tablo 4.6: Rz yüzey pürüzlülüğü sonuçları.	68
Tablo 4.7: İşlenmemiş parçaların Brinell sertlik sonuçları.....	73
Tablo 4.8: Farklı parametrelerle işlenmiş parçaların Brinell sertlik sonuçları.	73
Tablo 4.9: İşlenmemiş parçaların Rockwell sertlik sonuçları.	76
Tablo 4.10: Farklı parametrelerle işlenmiş parçaların Rockwell sertlik sonuçları.	76
Tablo 4.11: Takım ömrünün belirlenmesi sonuçları.....	79

Tablo 4.12: Kesici uç ve parça yüzeyinde farklı kesme hızlarında ölçülen sıcaklık değerleri.....	81
Tablo 4.13: Kesme kuvvetlerinin sonuçları.....	90



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

a	: Kesme Derinliği
f	: İlerleme Hızı
F_x	: Radyal Kuvveti
F_y	: Kesme Kuvveti
F_z	: İlerleme Kuvveti
V	: Kesme Hızı

Kısaltmalar	Açıklama
-------------	----------

AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
BUE	: Talaş Yığıntısı (Built-Up-Edge)
CBN	: Kübik Bor Nitrat
HB	: Brinell Sertliği
HRB	: Rockwell Sertliği
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
MPIF	: Metal Toz Endüstrisi Federasyonu
R_a	: Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
R_t	: Maksimum Tepe-Çukur Yüksekliği
R_z	: Ortalama Pürüz Yüksekliği
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
TM	: Toz Metalurji
YK	: Yığıntı Katman

ÖZET

Cu-Ni-Mo ALAŞIMLI DEMİR TOZ METAL MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Shaker Mahmood Aswad HASAK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Nuray BEKÖZ ÜLLEN

Toz metalurjisi (TM) yöntemi karmaşık şekilli malzemelerin seri ve ekonomik bir şekilde üretilmesini sağlamaktadır. Bu tekniğinin en önemli avantajlarından biri parçanın son kullanım biçimine yakın üretimine imkân vermesidir. Ancak bu sektör incelendiğinde üretilen toz metal parçaların neredeyse yarıya yakınının işleme operasyonuna gereksinimi olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada; ticari ismi Distaloy AB olan Cu-Ni-Mo ile ön alaşımlandırılmış demir tozundan üretilmiş olan parçaların işlenebilirliği incelenecektir. Bu amaç için ön alaşımlı demir tozu karışımları çelik kalıpta çift yönlü preslenerek silindirik ham numuneler üretildikten sonra, numuneler parçalanmış amonyak atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterlenmiş numunelerin işlenebilirliği CNC torna tezgâhı üzerinde ortogonal kesme işlemiyle incelenmiştir. Deneylerde kesme hızları 50, 150 ve 250 m/dak; kesme ilerlemeleri 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ve kesme derinlikleri 0,2, 0,4 ve 0,6 mm olarak belirlenmiştir. Kesici takım 0° talaş açısına, 5° boşluk açısına ve kesme sıvısı kullanılmayacak şekilde seçilmiştir. Başlangıç kesici uç Secomax CBN200 olarak belirlenmiştir. Yapılan testler ile farklı parametrelerle işlenmiş her bir malzeme grubunun kesilmesi esnasında oluşan talaş

morfolojisi, talaş debisi, yüzey pürüzlülüğü, sertlik, takım aşınması, kesici uç ve iş parçası yüzey sıcaklığı ve kesme kuvvetleri incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre; değişen kesme parametreleriyle elde edilen talaşların boyut, şekil ve rengi de değişmektedir. Ayrıca kesme hızının, kesme derinliğinin ve ilerleme hızının artması ile talaş debisi, sertlik ve kesme kuvvetleri artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızıyla arttığını, ancak ilerleme hızı ve kesme derinliğiyle azaldığını göstermiştir. Kesme hızının artmasıyla kesici takım aşınmasının artması ve kesici uç ile iş parçası yüzey sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular mevcut literatür sonuçları ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Eylül 2018, 139 sayfa.

Anahtar kelimeler: Toz Metalurji, İşlenebilirlik, Yüzey pürüzlülüğü, Talaş morfolojisi, Kesme kuvvetleri.



SUMMARY

INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY PERFORMANCE OF Cu-Ni-Mo ALLOYED IRON METAL POWDER MATERIALS

Ph.D. THESIS

Shaker Mahmood Aswad HASAK

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Nuray BEKÖZ ÜLLEN

Powder metallurgy (PM) enables a swift and economical production of materials with complex shapes. One of the primary advantages of this technique is that it allows the tailoring of a piece in a shape very close to its final form. However, an examination of this industry indicates that almost half of the powder metal pieces that are manufactured needs machining.

In this study, cylindrical compact samples that are made of iron powder pre-alloyed with Cu-Ni-Mo (trade name Distaloy AB) were manufactured using powder metallurgy method. For this purpose, the mixtures of pre-alloyed iron powder were pressed in a steel die from both sides to make cylindrical raw samples which would be sintered later in cracked ammonia atmosphere. The machinability of the sintered samples was tested by orthogonal cutting on a CNC turning lathe. In these tests, the cutting speed, the feed rate, and the depth of cut were chosen as 50, 150 and 250 m/min; 0.05, 0.1 , and 0.15 mm/rev, and 0.2, 0.4 and 0.6 mm, respectively. The cutting tool was selected as Secomax CBN200 such that the rake and clearance angles were 0° and 5°, while no coolant was used. Chip morphology, chip flow,

surface roughness, hardness, tool wear, cutting insert and work piece surface temperatures and cutting force were observed during the cutting processes. The findings indicate that the size, shape and colour of the chips vary with cutting parameters. In addition, chip flow, hardness and cutting force increased with the increase in cutting speed, depth of cutting as well as feed rate. On the other hand, surface roughness increased in parallel with cutting speed, but decreased with feed rate and depth of cut. It was also found that cutting tool wear as well as cutting insert and work piece surface temperatures increased with the increase in cutting speed.

September 2018, 139 pages.

Keywords: Powder metallurgy, Machinability, Surface roughness, Chip morphology, Cutting forces.



1. GİRİŞ

Malzeme üretimindeki ilerlemeler ile farklı uygulama alanlarında kullanılmak üzere değişik malzemeler geliştirilmiştir. Toz metalurjisi (TM) tekniği ile üretilen malzemeler taşıdıkları üstün özellikleri sayesinde bu ilerlemeler içinde önemli bir yere sahiptir (Bocchini ve Lindskog, 1991). Farklı kompozisyonlara ve istenilen mekanik özelliklere sahip TM parçalar kolaylıkla tasarlanabilmektedir (German, 1998, Upadhyaya, 1999). Toz metalurjisi yöntemi, kompleks şekilli parçaların yüksek kalite ve düşük boyutsal toleransta üretimine olanak sağladığı için diğer metal üretim tekniklerine göre avantajlı bir prosestir (Angelo ve Subramanian, 2008). TM ile malzeme kullanım oranının % 100'lere ulaşabilmesi sayesinde hammadde kayıplarının en az düzeye indirilmesi, aynı parçadan çok sayıda üretim söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir metod olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı en belirgin avantajlarından (Bozdağ, 2008, Küçükarslan, 2006, Sarıtaş ve Uslan, 1996). TM tekniğinin en önemli avantajlarından biri parçanın son kullanım şekline yakın üretime olanak sağlamasıdır. Ancak TM sektörü incelendiğinde üretilen toz metal parçaların neredeyse yarıya yakınının işleme operasyonuna gereksinim duyduğu görülmektedir. Bu operasyonlar çeşitli geometrik şekilleri oluşturmak, boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi sağlamak açısından; delme, tornalama ve frezeleme olarak kendini göstermektedir (Höganäs, 2004, Şalak ve diğ., 2005). Toz metalurji parçalarının işlenebilirliği; iş parçasına, takım malzemelerine, kesme şartlarına, işleme ve kesme parametrelerine bağlıdır (Üllen, 2016, Wyatt ve Termal, 2006). Ayrıca kimyasal kompozisyon, gözeneklilik, serbest işleme katkı maddeleri ve sıkıştırma ile sinterleme yöntemleri gibi üretim parametreleri de işlenebilirliği etkilemektedir (Höganäs, 2004).

TM tekniğinde üretilen parçaların; tolerans, daha iyi yüzey kalitesi ve bazı geometrik unsurların oluşturulması amacıyla üretim sonrası; infiltrasyon, yağ emdirme, boyutlandırma, buharla işlem, tekrar presleme, talaş kaldırma, çapak alma, ısıl işlem, yüzey kaplama işlemi veya kaynak ile ikincil operasyonlara ihtiyaç duyar. Talaşlı imalatın elimine edilmesi TM endüstrisinin süregelen hedeflerinden birisidir. TM prosesinin en önemli avantajlarından birisi çok az ikincil işlem gerektirmesidir. Son yıllarda yapılan araştırmalara göre; TM pazar incelemeleri tüm parçaların yaklaşık %60'ının işleme operasyonlarından birine ihtiyaç duyduğunu göstermiştir.

Talaş kaldırarak işleme tekniği; şekli, boyutları ve yüzey kalitesi önceden belirlenmiş parçaların metal işleme tezgâhlarında kesme operasyonu ile şekillendirilmelerini kapsar. Talaşlı imalat, kesici takım ve iş parçasının nispi hareketleri ile iş parçasının belirli bir kısmında, gerilim oluşturarak gerçekleştirilir (Şahin, 2001, Şahin, 2003). Kesici takımın daha uzun ömürlü olabilmesi, iş parçasının da istenilen kalitede üretilerek hammadde israfının önlenmesi için, kesme performansı ve şartlarını iyi belirlemek gerekir. Bunu gerçekleştirebilmek için, kesici takımların ömrüne tesir eden etkenler ile iş parçasının kalitesinin belirlenmesinde etkili olan etkenler bilim insanları tarafından araştırılmaktadır. Uzun yıllardan beri yapılan çalışmalar göstermektedir ki; kesici takım ömrünü ve iş parçası yüzey kalitesini etkileyen birçok parametre ve durum vardır. Bu faktörler; kesici takımın geometrik özellikleri, ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği, kesici takım kaplamaları, iş parçası ve kesici takım rijitliği gibi parametrelerdir. Optimum parametreler ile çalışmak hem kesici takım ömrünü hem de üretilen ürünün yüzey kalitesini artırmaktadır. Aynı zamanda üretim maliyetini ve sarf edilen enerjiyi azaltmaktadır. Tüm bunlar dikkate alındığında doğru parametrelerin seçilmesi oldukça önemlidir (Tekaslan ve diğ., 2016).

TM tekniğinde; ön alaşımlı toz kullanımı sonucu saf demir tozuna alaşım elementi ilave edilmesine göre daha homojen bir mikroyapı ve daha iyi mekanik özellikler elde edilmektedir. Ön alaşımlı tozların en büyük avantajları, daha yüksek sıkıştırılabilirlik göstermesi, yağlayıcı ve alaşım elementleri tozun bünyesinde mevcut olduğundan karıştırma işlemine ihtiyaç duyulmaması, tozun bileşiminin demir tozu veya alaşım elementi ilaveleriyle kolaylıkla değiştirilebilmesi olarak sıralanabilir. Ayrıca yapıda bulunan alaşım elementleri sinterleme sonrası parçalara ısıtıl işlem uygulanmasına da olanak sağlamaktadır. TM ürünlerinin işlenebilirliği üzerine yapılan literatür araştırmalarında; işlenebilirlik üzerine yağlayıcı ilavesinin, alaşım elementlerinin ve proses parametrelerinin etkilerinin çalışıldığı görülmektedir. Kesme parametrelerinin etkisinin incelendiği çalışmalar az sayıda olup (Fulmer ve Blanton, 1992, Gülsoy ve diğ. , 1999, Johansson, 1988, Madan, 1991, Poirer ve Gagné, 1990); Cu-Ni-Mo içeren düşük alaşımlı çelik tozlar kullanılarak yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yaptığımız tez çalışmada; TM sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan (Distaloy grubu tozlar olarakta bilinen) bu toz ile çalışarak literatürdeki mevcut boşluğu gidermeye çalıştık.

Bu amaçla; sektörde Distaloy AB olarak bilinen Cu-Ni-Mo ön alaşımlı tozlar kullanarak parçalar üretilmiş ve işlenebilirliği üzerine detaylı araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada işlenebilirliğin üzerine farklı kesme parametrelerinin (keme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) etkisi incelenmiştir. Değişen parametrelerin; takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı ve talaş karakteristiği üzerine olan etkileri belirlenmiş ve mevcut literatür ile karşılaştırılarak en uygun şartlar tespit edilmiştir.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. TOZ METAL TEKNOLOJİSİ

TM, metal tozlarının üretimi ve bu tozların mekanik ve ısı etkileriyle birleştirilmesi işlemidir. Son yıllarda TM ile parça üretimi gittikçe yaygın olmakta ve bilinen diğer üretim yöntemlerinin yerini almaktadır. Son yıllarda artarak devam eden çevre kaygıları araştırmacıları yeni üretim yöntemleri bulmaya teşvik etmiştir (Aswad, 2011, Aswad ve Usta, 2011). Özellikle otomotiv sanayi için; daha çok güvenli, konforlu ve daha az yakıt tüketen yüksek mukavemetli, hafif alaşımların otomobillerde kullanılması için geliştirme çalışmaları başlamıştır. TM'nin, sadece ABD'de yıllık 5 Milyar dolarlık pazarı vardır. TM yöntemi ile yüksek kaliteli, hassas, düşük malzeme fisesi ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilmesi avantajlarından biridir. Şekillendirme veya sıkıştırma ve daha sonra tozların sinterleme yolu ile ısı birleştirilmesi, farklı şekil, boyut ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, yüksek performanslı ve hassas parçalara dönüştürme basamaklarıdır. Yüksek malzeme kullanımına, daha az enerji tüketimine ve daha az maliyete sahip olan işlemler ekonomik olarak faydalıdır. Bu özelliklere sahip olan TM, verimlilik, enerji ve hammadde gibi kaygılarını ortadan kaldırarak geleneksel üretim yöntemlerinin yerini alıyor. TM, dünya genelinde büyük bir pazara sahiptir. Bu pazarın % 60'ı otomotiv sanayisi tarafından kullanılmaktadır. TM yöntemiyle, başlıca kendinden yağlamalı burçlar, yağlamasız yataklar, yağ pompa rotor ve dişlileri, akü elemanları, amortisör parçaları, dişli ve buna benzer parçalar metal tozdan üretilen parçalara örnek olarak verilebilir. Üstün mekanik özelliklere sahip çelik malzemelerin TM yöntemi ile üretilmesi, çelik malzemelerinin endüstriyel alanlarda kullanımını arttırmıştır. Isıl işlem uygulama kabiliyetine sahip ve kullanım ömürlerinin uzun olması sebebiyle günümüzde ticari anlamda demir esaslı TM metal parçaları ön plana çıkmaktadır. Fe-Cu, Fe-Cu-C, Fe-Cu-Ni-Mo, Fe-Cu-Ni-Mo-C esaslı TM parçalar endüstriyel açıdan önemli olup alaşım elementlerinden dolayı sertlik, yüksek mukavemet ve aşınma direnci gereken birçok yerde kullanılmaktadır. Otomotiv sanayisinde özellikle eksantrik mili, bağlantı çubukları, zincir dişlisi, kavrama ayar halkaları, türbin kol dönüştürücüleri, yağ pompası dişlileri gibi bir çok uygulamalarda TM yöntemleri ile üretilen Fe-Cu-C ve Fe-Cu-Ni-Mo esaslı malzemeler yer almaktadır. Bu parçaların üretim aşamasında kullanılan tozların kimyası, sinterleme sıcaklığı, sinterleme süresi, presleme basıncı gibi birçok etkenle doğrudan

ilişkilidir. Şekil 2.1’de TM yöntemiyle üretilmiş TM parçalar görülmektedir (Kızıloğlu, 2016).



Şekil 2.1: TM yöntemiyle üretilmiş farklı parçalar (Kızıloğlu, 2016).

2.1.1. Toz Metalurjisi Ürünlerde İkincil İşlemler

Toz metal parçalar genellikle sinterlemeden sonra nihai şeklini alırlar. Ancak istenilen özelliklere ulaşmak için sinterleme sonrası bazı ikincil işlemlere gerek olabilir (Şalak ve diğ., 2005). Bu işlemler:

- **İnfiltrasyon:** Birbiriyle bağlantılı halde bulunan gözenekleri ana metalin sinterleme sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda bir metalle doldurma işlemidir. Örneğin; sinterleme sırasında Cu esaslı alaşımlar demir esaslı parçalara sızarlar. Yeni yapı, gözeneksiz, daha düzgün dağılımlı yoğunluk, tokluk ve dayanım daha iyidir. Fakat boyut hassaslığı azalır. Bu işlem bazı ısıt işlemlerde kolaylık sağlayabilir. Örneğin; birbirine bağlı gözenek kalmadığı için yüzey sertleştirme işleminde sertlik derinliği kontrolü kolaylaşır.
- **Yağ Emdirme:** Sinterlenmiş parçalarda korozyon direncini arttırmak amaçlı parçalara metal dışı malzemeler ve yağ emdirme işlemi uygulanır. Sinterlenmiş gözenekli yataklar ve kendi kendine yağlamalı yataklar sadece TM yöntemi ile imal edilir.

- **Boyutlandırma:** Sinterleme sonrası yapılan ilave presleme işlemine boyutlandırma işlemi denilir. Bu işlem ile yüzey kalitesini ve boyut hassasiyetini arttırmak hedeflenir. Az miktarda plastik deformasyona ihtiyaç olduğu için düşük basınçlara ihtiyaç vardır.
- **Buharla İşlem:** Bu işlem sadece demir esaslı parçalara uygulanabilir. Dış yüzeylerde ve iç bağlantılı boşluklar boyunca ince bir Fe_3O_4 tabakası oluşturmak için sinterlenmiş parçalar $550^{\circ}C$ 'ye kadar ısıtılır ve su buharına maruz bırakılır. Buharla işleme sonucu basmaya karşı dayanım, korozyon mukavemeti, sertlik ve aşınma dayanımında artış sağlamak mümkündür.
- **İkinci Presleme:** İkinci presleme; gözenek azaltma amaçlı uygulanan bir işlemdir. Bu işlem ile gerekli yoğunluk elde edilerek istenilen mekanik ve manyetik özellikler sağlanabilir. Preslenmiş parçalardan $700-800^{\circ}C$ arasında ön sinterleme işlemi ile yağlayıcılar yanarak uzaklaştırılır ve yeniden kristalleşmiş parçalar elde edilir. Pekleşme ve iç gerilmeler ortadan kaldırılarak malzeme sünekliği artar. Bu işlem sonunda parçalar tekrar sinterlenir.
- **Çapak Alma:** Presleme ve talaşlı imalattan kaynaklanan çapakları almak için kullanılan bir işlemdir.
- **Isıl İşlem:** Isıl işlem sonrası aşınma direnci ve mukavemet önemli derecede artar ve malzemenin sünekliği düşer. Sinterlenmiş parçalarda karbürleme ve karbo-nitrürleme gibi yüzey sertleştirme işlemleri yaygınca kullanılır.
- **Yüzey Kaplama İşlemi:** İhtiyaç duyulduğu zaman, korozyondan korunmak için parçalara kaplama gerçekleştirilebilir. Fakat düşük yoğunluktaki parçalar kaplama öncesi elektrotun boşluklara girmesini önlemek için doyurulmalıdır.
- **Toz Metalurjide Kaynak:** Karmaşık ve büyük parçalar birleştirme ile üretilebilir. Difüzyonla birleştirme, sinter-birleştirme ve lazer kaynağı gibi birçok birleştirme tekniği vardır. TM malzemelerin kaynağı diğer yöntemlerle üretilmiş malzemelerin kaynağından bazı farklılıklar gösterir. Bu malzemelerin birleştirilme işleminde farklılığa neden olan en önemli özellik gözenekliliktir.
- **Talaş Kaldırma İşlemleri:** Çalışmamızın ana konusu olan TM parçaların talaşlı imalatı; parçaların belirli geometrik unsurları, boyutsal ve yüzey kalitesinin yetersizliği gibi durumlarda gerekmektedir. Genellikle delme, tornalama, frezeleme ve vida açma gibi bazı talaş kaldırma işlemleri kullanılır. TM parçaların işlenebilirliği geleneksel yöntemle üretilen parçaların işlenebilirliği ile karşılaştırıldığında oldukça

zayıftır. Bunun başlıca nedenleri; TM ürünlerin porozite ve heterojen bir yapıya sahip olmasıdır. TM ürünlerin kullanımının artmasıyla beraber işlenebilirliğide önem kazanmıştır ve konuyla ilgili bilimsel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Blais ve Lesperance, 2002, Jin ve diğ., 2011, Ozcatalbas ve diğ., 2007). Geleneksel yöntemle üretilen parçaların işlenebilirliğini etkileyen; kesici takım, kesme parametreleri, takım tezgâhı ve takım-iş parçası tutturma sistemleri gibi birçok faktör TM ürünlerin işlenmesinde de etkilidir. Bunu dışında TM ürünlerde işlenebilirliği etkileyen proses şartlarıda önem arz etmektedir. Bu çalışmada da literatürdeki eksiklikler dikkate alınarak TM ürünlerin işlenebilirliği detaylı olarak ele alınmıştır.

2.2. TM ÜRÜNLERDE TALAŞLI İMALAT TEKNOLOJİSİ

2.2.1. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik genel anlamda; malzemenin gereken boyutta, biçimde ve yüzey kalitesinde işlenmesinin kolaylığını veya zorluğunu ifade eder. Diğer bir ifadeyle; talaşlı işleme yöntemine etki eden iş parçası malzemesinin bütün özellikleri olarak tanımlanmaktadır (Çakır, 2000, Özçatalbaş, 1996). İşlenebilirlik, işlenen malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, işlenen malzemeye bağlı olduğu kadar aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır (Degarmo, 1997). İşlenebilirlik değerlendirilmesinde bazı kriterler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları: (Dieter, 1986, Shaw, 1984).

- Takım ömrü
- Kesme kuvvetleri
- Harcanan güç veya enerji
- İşlenen yüzey kalitesi
- Talaş oluşumu, oranı ve uzaklaştırılması
- Sıvanma (Built-up-edge)

İşleme sırasında iş parçası malzemesinin mekanik özellikleri, ısıl işlem yöntemi, yüzey tabakası ve kalıntıları, malzeme yapısı, kimyasal yapısı, katkıları, takım bağlama şekli, kesici kenar, takım tezgâhı, işleme biçimi ve işleme şartları gibi faktörler işlenebilirlik üzerinde etkili olmaktadır. TM ürünlerde gözeneklilik de işlenebilirlik üzerine önemli etkendir. Örneğin, gözenek oranı arttıkça kesici uçta aşınma artar ve takım ömrünün kısılmasına neden

olur. Sünek malzemelerin işlenmesinde sıvanma oluşur bunun sonucu olarak yüzey kalitesi düşer ve takım ömrü de azalır. TM ürünler ise genellikle gevrek yapıda olduklarından bu durum yaşanmaz. Düşük süneklik, kesme işleminde olumlu etki oluşturması ve iyi talaş oluşumuna katkıda bulunması sonucu metal kesme işlemi için gereken güç azalmasına sebep olur. Isıl iletkenlik ise kesme bölgesinde oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılmasında büyük rolü olduğu için bu özellik işlenebilirlik yönünden faydalıdır. Ancak; TM ürünlerde düşük ısıl iletkenlikten dolayı oluşan ısının uzaklaştırılması zordur bu durum gevrek yapıyla dengelenir (Kopač ve Bahor, 1999).

2.2.2. İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

Talaşlı işlemlerde işlenebilirlik terimi yaygın kullanılmasına rağmen, tek bir faktörle açıklanmayıp, birçok parametrenin etkisi altında kalan karmaşık bir sistem özelliğidir. İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme koşullarının en uygun duruma getirilmesi öncelikle temel malzeme özellikleri ve bu özelliklerin işlenebilirliği hangi derecede etkilediği dikkate alınmasıyla mümkün olur (Yazman, 2006). TM ürünlerde kullanılan alaşım elementleri geleneksel yöntemlere göre daha fazladır. Önceden alaşımlanmış ön alaşımlı tozlara alternatif olarak alaşım elementleri, karıştırma aşamasında da katılabilir. Böylece saf demirin yüksek olan sıkıştırılabilirliği korunmuş ve alaşım elementlerinin demiri sertleştirme önlenmiş olur. En çok kullanılan alaşım elementi karbondur. Karbon katkısı iki değişik amaç için kullanılır. İlk amaç karbürlenmiş durumdaki parçanın yüksek sertlik ve aşınma direncine sahipken aynı zamanda parçanın iç kısımlarının yumuşak kalmasının istenmesidir. Diğer bir amaç elastiklik özelliğinin aranmadığı durumda yüksek çekme mukavemetine sahip parça üretiminin ekonomik olmasıdır. Bakır tozu, demir tozuna sinterlenmiş ürünün mukavemetini arttırmak ve sinterleme sırasında sıvı faz oluşturmak için ilave edilmektedir. Demir tozuna hem bakır hem de karbon ilavesi ile bunların teker teker ilavesinden çok daha iyi mukavemet ve yüksek sertlik değerleri elde edilebilir. Molibden demir tozuna; yüksek sıkıştırılabilirlik, sinterleme sonrası homojen bir mikroyapı ve yüksek sertleşebilirlik amacıyla ilave edilmektedir (German, 2007, Uzun ve Boz, 2011). Fe-Ni karışımları, sinterleme sonrası yüksek mukavemet elde etmek ve boyutsal değişimleri en aza indirmek için kullanılır. Demir tozuna eklenen nikel miktarı genellikle %2-5 arasında değişir. Nikel, demir içerisinde çok yavaş yayındığı için yüksek sinterleme sıcaklığına ve uzun bir sinterleme süresine ihtiyaç duyulur. Sinterleme sıcaklığı en az 1250-1300°C civarında olmalıdır ve 1-2 saat sinterleme yapılmalıdır. Fe-Ni tozlarından üretilmiş parçalar sinterleme

işlenebilirliği etikler. Sinterleme atmosferi; bir malzemenin sinterlenmesinde kullanılan sinterleme atmosferinin tipi işlenebilirlik üzerine bazı durumlarda oldukça önemli olabilir. Toz karışımının başlangıç oksijen içeriği, malzemenin son özellikleri ve sonuçta sinterlenmiş oksijen içeriği ile ilişkili düşünülmelidir. Atmosfer ve malzeme bileşenleri arasındaki reaksiyon sebebiyle sinterleme prosesi süresince oluşabilen, O, N ve C içeriğindeki herhangi bir değişim; kimyasal ve mekanik özellikleri dolayısıyla da işlenebilirliğini etkileyecektir (Şalak ve diğ., 2005). Aynı zamanda sinter parçanın alaşım elementleri, sinterleme atmosferinde bulunan karbon oranını etkiler. Örneğin; Cu, Mn ve Cr, karbonun aktivitesini azaltırken, Si ve Ni, karbonun kimyasal aktivitesini artırır. Tane sınırlarında herhangi bir kırılğan karbür oluşum ihtimalinden korunmak ve kalıntı ostenitin daha yüksek miktarının oluşumunu önlemek için, Ni içeren sinter parçalarda % 0,7'den daha fazla karbon ilavesinden kaçınılmalıdır. İşlenebilirlik değerlendirmesi için yöntem, çoğu zaman parça üreticileri tarafından belirlendiğinden, en iyi toz kompozisyonu ve sinterleme atmosferi, her bir işleme operasyonu için optimal sonuçları verebilecek şekilde seçilmelidir (Şalak ve diğ., 2005).

2.2.2.2. Malzeme Karakterizasyonu

Kimyasal kompozisyon ve proseslemenin sonucu olarak yüzey karakterizasyonu, mikroyapı, inklüzyonlar, gözenekler sinter parçanın işleme karakteristiğini önemli oranlarda etkilemektedir. İşlenebilirlik üzerine sinter parçanın bünyesinde bulunan gözenekli yapının oranı, şekli ve boyutunun etkisi en önemli ve baskın etki olarak karşımıza çıkar. Gözenekli yapı işlenebilirliği olumsuz etkilediği için sinter parçaların işlenebilirliği düşüktür. Gözeneklerin varlığının kesme prosesine etkileri aşağıda maddeler halinde verilmiştir (ASM, 1998, German, 1984):

- Malzemenin ısı iletkenliğinin azalması ve kesme bölgesinde ısı birikmesi sonucu, hızlı takım aşınması,
- Kesme sıvısının gözenekler tarafından infiltre edilmesinden dolayı, takım-iş parçası ara yüzeyindeki sınır yağlamanın minimize olması,
- Mikro düzey seviyesinde takım kesme kenarı ile iş parçası arasındaki temasının aralıklı olması sonucu sürekli yük değişimlerine, titreşimlere ve mikro şoklara maruz kaldığından takım aşınmasının hızlanması,
- Sinterleme ve ısı işlem sırasında oksit oluşumu için uygun alanlar sağlayarak, malzemelerde kalıntı seviyesinin artmasına sebep olması,

- Sinterleme prosesinin periyodik olarak kontrol edilmediği durumlarda, ayrılmış perlit ve karbür oluşumuna sebep olması,
- Talaş oluşumunu ve talaş sürekliliğini üzerine olumsuz etkilerinin olmasıdır.

İşlemeye karşı bu olumsuz etkiler, işleme boyunca kompozisyon, yoğunluk ve malzeme mikroyapısına bağlı olarak değişir (ASM, 1998). Agapiou ve DeVries (1988); çalışmalarında TM esaslı 304 L paslanmaz çeliğin tornalama işleminde porozite ile serbest yüzey aşınmasının, % 92-99 bağıl yoğunluk aralığında oluştuğunu, fakat % 82-90 aralığında yoğunlukla takım aşınması arasında ilişki olmadığını belirlemişlerdir. Çalışmalarında sinterlenmiş çelik malzemelerin 6,0-6,5 g/cm² aralığındaki yoğunluğun takım aşınmasını etkilemediği tespit etmiştir. Capus ve Fournel (1981); çalışmalarında sinterlenmiş demir esaslı malzemelerin delinmesi süresince, bağıl yoğunluğun % 89'dan 82'ye azalmasıyla torkun % 25 oranında azaldığını bulmuşlardır. Birçok deneysel çalışmada malzemenin yoğunluğu arttıkça kuvvet ve torkun arttığı belirtilmiştir. Fakat bu ilişki lineer bir ilişki olmayıp belirli yoğunluk aralıklarında farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar; % 65-85 aralığında orta seviyede yoğunluk içeren parçalarda daha belirgin, ancak düşük ve yüksek yoğunluk aralıklarında daha küçük oranlarda olduğu ifade edilmiştir. İşleme sonucu yeni oluşan yüzeylerde sertleşmenin, kesme kenarının altında ve delik cidarlarında yoğun olduğunu göstermiştir (Agapiou ve DeVries, 1988). TM malzemelerin işlenebilirliği değerlendirilmesinde bu faktörlere dikkate etmek gerekmektedir.

İşlenen malzeme içerisinde bulunan alaşım elementleri malzemelerin işlenebilirliğini etkiler. Alaşım elementlerinin kesici takım ömrü üzerindeki etkisi farklıdır. Örneğin, karbon miktarının azalması işlenebilirliğinin düşmesine neden olmaktadır. Bunun sebebi ise, azalan karbon oranı ile süneklik artmaktadır ve sonuç olarak kesici takım ucunda önemli derecede yığıntı talaş oluşmasına neden olur. Bu sebeplerden dolayı kesici takım ömrü azalır ve kötü yüzey kalitesi elde edilir. Diğer taraftan ise karbon oranının gereken değerden fazla olması sertliğin artmasına ve kesici takımın hızlıca aşınmasına yol açar. Bu sebeplerden dolayı çelikler için maksimum işleme kabiliyeti % 0,2 C içerikli çelik olmaktadır (Özçatalbaş, 1996). Eklenen alaşım elementleri malzeme özelliklerini değiştirerek işlenebilirliği etkiler. Pb, Si ve S talaş oluşumu esnasında kayma düzleminde boşluk oluşturarak veya takım talaş ara yüzeyinde sürtünme kat sayısını azaltarak işlenebilirliği kolaylaştırır (Çiftçi, 2011, Şalak ve diğ., 2005). Cu, Ni, Mo ve C içeren TM alaşımlı çeliklerin; alaşım elementlerinden kaynaklı

heterojen bir mikroyapıya sahip olmasından dolayı işlenebilirliği düşüktür. Tablo 2.1’de işlenebilirlik üzerine kimyasal elementlerin etkisini verilmiştir.

Tablo 2.1: İşlenebilirlik üzerine elementlerin etkisi (Şalak ve diğ., 2005).

Kimyasal Element	Çelikteki Etkisi	İşlenebilirlik Kriteri			Kesme Kabiliyeti
		Kesme Kuvveti	Talaş	Aşınma	
C	Perlit/ Sementit	○	-	○	○
Cr	Karbür oluşumu, ince taneli mikro yapı	-	-	-	○
Cu	Tokluğu ve yüksek sıcaklıkta mukavemeti artırır	-	-	○	○
Mn	Zayıf karbür oluşumu, MnO, MnS	-	-	-	○ > 1% ● < 1%
Mo	Karbür oluşumu, ince taneli yapı	-	-	-	○
N	Nitrürlerin oluşumu	-	○	○	○
Ni	İnce taneli yapı oluşumu	-	-	○	○
P	Soğuk segregasyonlar	●	●	○	●
Pb	Çözünmez metalik inklüzyonlar (Te, Bi, Sb)	●	●	●	●
S	MnS, FeS ve diğer kükürtler	●	●	-	●
Si	SiO	○	●	○	○

● uygun ○ zararlı - önemsiz yada bilinmiyor

İşlenebilirlik açısından, sinterlenmiş sade demir veya % 0,1’in altındaki karbonlu çeliklerin düşük sertlik, yüksek süneklik ve kolaylıkla yırtılma eğilimi nedeniyle zayıf şekilde işlenebileceğini belirtmek gerekir. Bu durum sonucu kesici kenarlarda kolayca talaş yığıntısı (BUE) oluşur. Bu nedenle karbon içermeyen malzeme takım aşınması açısından en iyi malzemedir. Karbon, çeliklerin mukavemetini, sertliğini ve sünekliğini belirlediği için çeliklerinin işlenebilirliği üzerine baskın etkiye sahiptir. Çeliklerde karbon oranının artması mukavemetin ve kesme için harcanan güç sarfiyatının artmasına neden olur. C oranı % 0,55’ten daha yüksek dövme çeliklerde, tamamen küreselleşmiş yapı tercih edilir. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş yapılar, genellikle işleme operasyonları için tercih edilmezler (Şalak ve diğ., 2005). α -demirinde bulunan karbonun oldukça düşük çözünebilirliği sebebiyle, karbon perlitte lamel şeklinde Fe_3C sementit oluşturur. Mikroyapıda bulunan sementit mekanik özellikleri, dolayısıyla malzemenin işlenebilirliğini de etkiler. Daha ince perlit, daha

sert malzeme ve daha kısa takım ömrü demektir. Perlit, ferritten daha sert mikroyapıya sahip ve genellikle daha yüksek abrazif aşınmaya sebep olur. Daha yüksek karbon oranı daha çok ince çözülemez perlit üretir. Ferritin işlenmesinde oluşan talaş yığıntısı (BUE) perlitin işlenmesine göre daha fazladır (Şalak ve diğ., 2005). % 0,25'e kadar çelikteki karbon oranı, kesme bölgesinde sementitle istenen kırılabilirliğin üretilmesinden dolayı, işlenebilirliği olumlu olarak etkiler. Perlitte bulunan keskin sementit lamelleri, kesme yüzeylerinin takım aşınmasına neden olması, ve talaş yüzeyinin kraterlerinde sülfür ve oksit-sülfür oluşumunu önlemesi mantıklı olabilir. Bu durum, eğer sementit lamelleri ısıtma işlemi vasıtasıyla küresel şekilli daha küçük parçalara dönüştürülürse başarılabılır. Standart çelik kimyasında karbon oranının (%0,2-0,6 arasında) değişmesi, ferrit/perlit oranını değiştirir ve buna bağlı olarak ta işleme kabiliyetini de değiştirir. Alaşımlama ve soğutma hızının bir fonksiyonu olarak perlit lamelleri arasındaki aralıklar, sertlikteki farklılık nedeniyle, malzemenin işlenebilirliğini etkiler. Sinterlenmiş demir-karbon çeliklerinde iyi işlenebilirliği sağlamak amaçlı % 0,2-0,6 kombine karbon içeriği tavsiye edilir. Genelde, % 0,6'nın üzerindeki karbon içeriği işlenebilirliği azaltır ve % 0,9'dan daha yüksek karbon içeriğindeki çelikler küreselleşmiş bir yapıyı gerektirir (Şalak ve diğ., 2005). İşlenebilirlik üzerine karbonla kombinasyon halinde her bir alaşım elementinin etkisi, oluşan mikroyapı karakterinin bir sonucu olarak özeldir. Çoğu durumda kullanılan sinterleme fırınının soğutma karakteristiği, sinterleme kutusunun yükleme durumu ve parçanın yüzey hacim oranı gibi parametrelere de bağlı olduğundan alaşım elementlerinin etkisinin belirlenmesi oldukça zordur.

Cu ilavesi sinter parçalarda işleme kabiliyetini iyileştir. Ayrıca metal deformasyonunu iyileştirir ve ısı iletkenliğini artırır (Agapiou ve DeVries, 1988). İçerisinde Cu bulunan karbonsuz çeliklerin sertliği Ni içeren çeliklerden daha yüksektir. Demirin çekme mukavemeti ve sertliği üzerine bakırın etkisi nikelden daha yüksektir. Sebebi ise demirde bulunan nikelin oldukça düşük difüzyon hızına sahip olması ve nikel martenziti ferritten sadece biraz sert olmasıdır. Genelde, daha yüksek mukavemet ve sertlik nedeniyle Fe-Cu çeliklerinin işleme kabiliyeti sade karbonlu çeliklerle göre daha düşüktür. Ancak, diğer elementlerle alaşımlanmış ve eşdeğer sertlik ve mukavemetteki çeliklerle göre daha yüksek olduğu bilinmektedir (Şalak ve diğ., 2005). İşlenebilirlik kabiliyetini arttırmak ve kolaylığı sağlamak için bakır ilavesi yaygın bir yöntemdir. Daha fazla işleme ilavesi olmaksızın %1'e kadar Cu ilavesi etkili olarak matkap ucu aşınmasının azaltırken, % 2-3 Cu ilavesi, % 13 delme ilerleme kuvvetinin azalmasına neden olur (ASM, 1989).

Düşük oranlarda çeliklere eklenen manganezin mukavemeti arttırdığı bilinmektedir. TM çeliklerde yeterli kükürt içeriğinin bulunduğu durumda etkili işleme ilavesi olarak kabul edilir. İşlenebilirliği arttırmak için eklenen manganez, bulunan kükürtün tamamıyla MnS ve FeMnS formunda kombine olması için yeterli seviyede olmalıdır. MnS oluşumunda harcanan manganez, çelik matriksin değiştirilmesi için sebep olmamalıdır (Şalak ve diğ., 2005). % 0,6'dan daha az karbon içeren demire % 0,5 kükürtsüz mangan ilavesi sonucu tornalama ve delme işlemlerindeki takım ömrünü arttırarak ve kesme kuvvetlerini azaltarak işlenebilirliği önemli derecede iyileştirir. Ancak, % 0,9 karbon içeren karışımlarda takım aşınması ve kesme kuvvetlerini arttırır (Agapiou ve DeVries, 1988). Eğer yüksek kükürt oranı, mangan oranındaki artışla sağlanırsa, daha iyi yüzey kalitesi elde etmek mümkün olabilir (Şalak ve diğ., 2005).

2.2.2.3. İşleme Parametreleri

TM malzemelerinin işlenebilirliği üzerine etki eden kesme parametreleri ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça azdır. Yapılan çalışmaların çoğu proses parametrelerinin ve ilavelerin etkisi üzerine yapılmıştır (Chen ve diğ., 1992, Chopra, 1988, Madan, 1992, Poirer ve Gagné, 1990). Bu parametrelerin TM işleme kabiliyeti üzerinde olumlu veya olumsuz birçok etkisi bulunmaktadır. Kesme hızı, talaşlı işleme sırasında, kesici takımın dönen iş malzemesi üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir. İşlenecek malzemenin kesme hızı; işlenen iş parçası malzemesine, talaş derinliğine, ilerleme miktarına, kesme sıvısına, kesici takım malzemesine ve tezgâh rijitliğine bağlıdır. Kesme hızının doğru olarak belirlenmesi talaş kaldırma işleminde oldukça önemlidir. Düşük seçildiği durumlarda az parça üretilir ve BUE'nin oluşmasına neden olur. Çok yüksek seçildiğinde ise takımın körlemesine ve kırılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle her hangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilir. Ayrıca kesme hızı; işleme süresini, yüzey kalitesini, tezgâhta meydana gelebilecek aşınma ve titreşimleri kaldırarak, talaş oranını ve birim maliyetini etkileyerek işlenebilirliği etkilemektedir. İlerleme miktarı kesici takımın iş parçası yüzeyinde belirlenen yöne dakikada aldığı hız olarak belirtilebilir. İlerleme hızı; talaş derinliği, malzeme cinsi, kesme hızı, torna tezgâhının gücü ve kapasitesinden etkilenmektedir. İlerleme miktarı yüzey pürüzlülüğünü, talaş oluşumu ve kesme kuvvetlerini oldukça önemli oranda etkiler. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir. Kesme derinliği, iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olarak ifade edilir. Ayrıca kesme derinliği; işleme

süresini, yüzey kalitesini, kesme kuvvetlerini, takım aşınmasını ve talaş debisini etkileyerek işlenebilirliği etkilemektedir (Şahin, 2003).

Hangi yöntemle üretilse üretilsin kesme parametrelerinin parçanın işlenebilirliği üzerine etkilerinin bilinmesi önemlidir. Kesme parametrelerinin optimize edilmesi özellikle TM gibi işlenebilirliği zor olan ürünlerde; ekonomik ve zaman kazanımı açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada; TM parçaların işlenebilirliği üzerine farklı kesme parametrelerinin etkisi detaylı olarak incelenmiş ve optimum parametreler bulunmaya çalışılmıştır.

2.2.2.4. İşlemeyi İyileştirmek İçin Çözüm Önerileri

TM malzemelerinin işlenebilirliğini iyileştirmek ve problemleri ortadan kaldırmak birçok çalışmaya konu olmuştur. Literatürde TM malzemelerin işleme kabiliyetini iyileştirmek için birçok öneri sunulmaktadır. Bu öneriler aşağıdaki ana başlıklarda toplanabilir:

- **Gözeneklerin azaltılması veya kapatılması:** Gözeneklerin kapatılması aralıklı kesme işlemine son verir. Böylece kesici takımı etkileyen kuvvetler ve oluşan titreşim azalır. Kesme kuvvetlerinde meydana gelen azalma takım aşınmasının azalmasına neden olarak yüzey ve boyut hassasiyetini arttıracaktır. Sinterleme sırasında Cu infiltrasyonu yapılarak veya sinterleme sonrası polimer, balmumu ve oksijensiz reçine gibi malzemelerinin emdirmesi ile gerçekleştirilebilir (Gagné ve Chagnon, 1999).
- **Ham, ılık presleme ve ön sinterleme:** Sinterleme öncesi ham işleme ve ön sinterleme sonrası işleme ile TM parçalardaki işlenebilirlik problemlerini gidermek veya azaltmak mümkündür (Höganäs, 2004a). Ham işlemede, presleme sonrası partikül bağlarının zayıflığı, düşük kesme kuvvetlerini meydana getirir. Malzemenin kesme esnasında oluşan kesme kuvvetlerine dayanması için ve geometrik olarak bozulmaması amacıyla ham mukavemetin kesme yapılabilecek değerlerde olması şarttır. Sinterlemeden önce TM parçaların işlenebilmesi için gerekli dayanım artırma yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, toz karışımına organik bağlayıcı ve yağlayıcıların ilavesi ve ılık presleme olarak nitelendirilmektedir. İkinci yöntem ise, ılık presleme 120-150 °C sıcaklık aralıklarında kalıp ve tozların ısıtılmasıyla yapılan sıkıştırma işlemidir. Ön sinterleme sonrası işlemede, ham işlemeye göre talaşlı işleme için gerekli mekanik özelliklerin ve işleme kalitesinin sağlandığı ileri sürülmektedir (ASM, 1998).

- **Mikroyapının değiştirilmesi:** Genellikle dövme çeliklerde uygun işlenebilirlik elde etmek için ısıtıl işlem uygulanır. Tavlama ve normalizasyon işlemleri, iyi işlenebilirlik sağlayan kaba perlitik ve küremsi mikroyapı oluşturmak için uygulanır. TM çeliklerde işlenebilirliği iyileştirmek amaçlı yapılan ısıtıl işlemlerin; zaman ve sıcaklık değerlerinin optimize edilmesi gerekir. Ön karışıma farklı kompozisyondaki demir tozlarının ilavesi ile mikroyapının değişmesi mümkündür. Kompozisyondaki farklılık sinterlenmiş mikroyapıda kasıtlı segregasyon üretmek için uygulanır. Süneklikteki farklılık, talaş biçimini iyileştirebilir ve ferrit - perlit dengesini değiştirerek aşınmayı azaltır (Causton ve Schade, 2003).
- **Mikro saflık:** Üretimdeki artış ve atomize tozlardan ziyade indirgeme demir tozlarının kullanımı, demir ve düşük alaşımlı tozların mikro saflığını daha iyi hale getirmektedir. Toz dövmenin sonucu, atomize tozlardaki kaba metalik olmayan inklüzyon içeriği, önemli seviyede azalmaktadır. Toz üretim teknolojilerinin geliştirilmesiyle atomize FL-4600 malzeme için orta sıklıkla 100 μm 'den daha büyük inklüzyonlar, yaklaşık her 100 mm^2 'de %2,5'dan %0,25'e kadar düşmüştür. 100 μm 'den daha büyük maksimum sıklıktaki inklüzyonlar ise yaklaşık her 100 mm^2 'de %9'dan %1,3'e kadar düşmüştür. Bu iyileştirmeler, kaba inklüzyonların var oluşundan dolayı kesici kenarındaki hasarı önemli oranda azaltacaktır (ASM, 1998).
- **Kesici takım seçimi:** Tam yoğun dövme çeliklerle rekabet amaçlı TM çelik malzemeleri üzerinde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Sünekliği ve dayanım artmış olan TM alaşımlarının, sinterlenmiş şartlarda işlenmesi zorlaştığından dolayı daha yüksek performansta takım malzemesine ihtiyaç duyar. Bundan dolayı TM parçaların işlenmesinde, takım malzemesi, geometrisi veya kaplaması ve işleme parametrelerinin de optimizasyonu işleme kabiliyetini iyileştirecektir. TM çelikleri ilerleme hızındaki artışa dövme çeliklerinden daha az duyarlıdır. TM parçaların işlenmesinde abraziv aşınma, kenar kırılması ve talaş sıvanmasına daha dirençli kesici takım kullanmak tavsiye edilir. Bu sebepten dolayı bu tür işlemlerde kobalt esaslı HSS, kaplamalı karbürler, sermetler ve CBN kesici takımlar tavsiye edilir. HSS kesiciler yumuşak malzemelerde kullanılabilir. Yüksek sertlik ve abraziv aşınma direncinden dolayı CBN kesici takımlar tercih edilir. CBN kesici takımlarda birden fazla sınıfı vardır. Genel amaçlı CBN sınıfı, yüksek CBN içeriğine sahip ve orta tane boyutundadır. Partikül sertliği 50 HRC'nin üzerinde olan TM parçaları için orta tane boyutundaki

CBN kesiciler kullanılır. Partikül sertliği 50 HRC'den düşük ve kesici maliyeti önemli olan işlemlerde sermet kesici takım kullanılır. Ayrıca 28 HRC'den düşük partikül sertliğinde kaplamalı sinterlenmiş karbürler kesici takımlarda önerilir (Ataç, 2002). PVD tekniği ile TiN ve TiCN kaplanmış karbür takımlar, kenar sıvanmasını minimize ederek, takım ömrünü arttırmaktadır. Yüksek poroziteli parçalarda, içyapısı kırılmaya, dış yüzeyi aşınmaya ve talaş sıvanmasına dayanıklı kaplamalı kesici seçilmesini gerektirir.

- **Serbest işleme ilaveleri:** Serbest işleme ilaveleri, TM çeliklerin kötü işlenebilirliğini geliştirmek için son zamanlarda üzerinde en çok çalışılan konulardan birisidir. İşleme katkısının segregasyona, boyutsal değişime ve mekanik özelliklerde azalmaya neden olmamalıdır. İşleme ilaveleri, talaş-ış parçası ve takım-talaş ara yüzeyinde yağlayıcı görevi yaparak, kesme işlemi esnasında birincil deformasyon için gerekli mikro çatlağın oluşmasına katkıda bulunur. BN, MnS, MnX, MoS₂, S, Bi ve Te gibi birçok elementler bu işlemlerde kullanılır (Engström, 1983). MnS ve MnX dışındaki ilavelerinin tümü mekanik özellikleri ve sinterleme sonrası boyut değişimini azda olsa olumsuz etkiler (Höganäs, 2004a). Boyutsal değişim, çekme mukavemeti ve işlenebilirlik özellikleri üzerinde yapılan araştırmalara göre serbest işleme ilaveleri sülfür, Se ve Te çekme dayanımını, MnS ve MoS₂' e göre daha fazla düşürmektedir. Boyutsal değişimini MoS₂ en az etkilerken sülfür en fazla etkileyen olduğu bilinmektedir. Fakat, sülfürün sinterleme sırasında yanması bir dezavantaj olarak bilinmektedir. Başka bir çalışmaya göre, MnS ilavesi ve BN iş parçası; takım ve talaş arasındaki sürtünmeyi azaltarak; düşük takım aşınması, düşük kesme sıcaklığı ve daha uzun takım ömrü sağlar (Causton, 2002, Engström, 1983).

2.2.3. İşlenebilirlik Kriterleri

İşlenebilirlik kriterleri; kesici takım aşınması veya ömrü, yüzey kalitesi, kesme kuvvetleri veya güç tüketimi, sıcaklık, talaş debisi ve oluşumu kabiliyetlerine bağlı olarak belirlenir. İşlenebilirlik kriterlerinden en çok kullanılan testler, takım ömrü testi, kesme kuvvetleri testi ve yüzey kalitesi testleri kullanılmaktadır. Talaşlı işlenebilirliği değerlendirmek için yalnızca bir testin uygulanması yeterli olmaz. Çünkü bazı durumlarda bir test için uygun işlenebilirlik elde edilirken diğer bir test için işlenebilirlik verileri uygun olmayabilir. Bu sebepten dolayı işlenebilirlik değerlendirilmesinde en az bu üç testin kullanılması ve verilerin değerlendirilmesi daha doğru olur (Stephenson ve Agapiou, 2016, Yılmaz, 2006,). Bu tez

çalışmasında da ilgili kriterler detaylı olarak ele alınmıştır. İşlenebilirliğe etki eden kriterler aşağıda başlıklar halinde açıklanmaktadır.

2.2.3.1. Talaş Karakterizasyonu

TM endüstrisinin en önemli avantajlarından birisi çok az ikincil işlem gerektirmesidir. Ancak birçok sinter parça; uygun tolerans, daha iyi yüzey kalitesi elde etmek ve parça üzerindeki bazı geometrik unsurların oluşturulması amacıyla ikincil işlemeye ihtiyaç duymaktadır. Pazar araştırmalarına göre; TM parçalarının yaklaşık % 60'ının işleme operasyonlarından birine gerek duyduğunu görülmektedir. İşleme operasyonundan sonra birçok iş parçası presleme yönüne dik delikler, vida dişleri vb. geometrik şekilleri oluşturmak ve hassas boyut ve yüzey kalitesi için ilave işleme gerektirir. TM parçaları, dövme ve döküm iş parçalarıyla karşılaştırıldığında, daha zayıf işlenebilirliğe sahip olması işleme maliyetini %20 oranında arttırmaktadır (Berg, 1998, Smith, 1990a). TM parçalar işlenirken, benzer kompozisyonadaki dövme malzemelerden %20-25 daha düşük ilerleme ve devir sayıları ile gerçekleştirilir (Smith, 1990a). TM iş parçası malzemelerin zayıf işleneme kabiliyetine karşı, işlenmesindeki bir avantaj, talaş olarak kaldırılmak zorunda olan malzemenin, dökme ve dövme malzemelere göre genellikle daha küçük miktarlarda olmasıdır. TM malzemelerin işleme kabiliyetinin belirlenmesi için standart bir yöntem olmamakla birlikte, Metal Toz Endüstrisi Federasyonu (MPIF) tarafından hazırlanan TM yapısal iş parçaları malzeme standardında (MPIF 35) işleme kabiliyeti ile ilgili bir yöntem belirlenmiş ve bu prosedüre göre yapılan deneylerle demir esaslı yapısal TM parçalar için işlenebilirlik sıralaması yapılmıştır.

Buna istinaden, işlenebilirlik için verilen test şartlarını kullanarak ve doğru ön deney sonuçlarını normalize ederek ve delik sayısının ölçülmesiyle yapılmıştır. TM çeliklerin işlenebilirliğinin ölçümü için normalize şartlardaki AISI 1045 çelikle mukayese edilerek AISI 1045 çeliği için 100 değeri verilmiştir. AISI 1045 çeliğinden daha zayıf işlenebilirliğe sahip TM çelikler 100'den küçük değer alırken, daha iyi işlenebilir TM çelikler (daha büyük delik sayısı) 100'den daha büyük değere sahiptir (MPIF, 2000).

İşlenebilirlik oranı aşağıdaki denklemden belirlenmiştir:

$$\text{İşlenebilirlik Oranı} = \frac{\text{TM Çelikte Delinen Delik sayısı}}{\text{1045 Çelikte Delinen Delik Sayısı}} \times 100 \quad (2.1)$$

Bu işlenebilirlik oranının belirlenmesinde kullanılan test şartları Tablo 2.2'de verilmiştir.

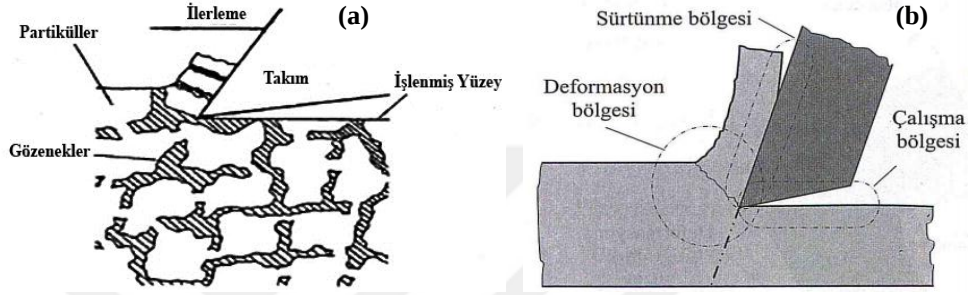
Tablo 2.2: TM malzemelerin işlenebilirlik test şartları (MPIF, 2000).

İşlenebilirlik Test Şartları	
Matkap Uç Çapı	9,5 mm
Kesici Konfigürasyonu	M7 HSS, 118° uç açısı, parlatılmış
Devir Sayısı	1250 dev/dak.
İlerleme Oranı	0,23 mm/dev.
Kesme Sıvısı	Yok
Delik / Numune Geometrisi	Numune kalınlığı 27 mm, kör delik derinliği 25,4 mm
Takım Aşınma Kriteri	Kesme kenarı aşınması >0,38 mm veya ucun kırılması

Elde edilen sonuçlara göre 6,7-7,3 g/cm³ yoğunluk aralığında işlenebilirlik oranlarında önemli bir fark bulunmadığından, yoğunluğun etkisini içermemektedir. % 0,5 oranından daha büyük karbon oranı işlenebilirliği azalttığı ve % 0.5 MnS ilavesi veya reçine emdirmeyi takiben sinterleme delmede işlenebilirliği iyileştirdiği ifade edilmiştir. MPIF 35 standardı bu yöntem ile elde edilen işlenebilirlik sonuçları diğer işleme yöntemlerine uygulanıp uygulanmaması kullanıcı tercihinin bırakılmıştır. Deneyler, TM iş parçalarının yetersiz işlenebilirliği, porozite, yapıdaki sert partiküller ve ısı iletkenlik teorisi ile açıklanabilir. Düşük işlenebilirlik, mekanik ve fiziksel özellikleri de etkileyen porozitenin varlığı ve homojen olmayan yapı nedeniyledir. Daha düşük işlenebilirlik daha düşük mukavemet sonucu olarak edilirken, düşük ısı iletkenliğin dezavantajı, daha düşük mukavemetin avantajlarından daha fazladır (Agapiou, ve DeVries, 1988, Şalak ve diğ., 2005).

Talaş kaldırma işlemleri başlıca üç grupta incelenebilir. Birincisi doğrusal kesme olan vargelleme ve planyalama suretiyle yapılan talaş kaldırma işlemlerindeki kesmedir. İkincisi dönel kesme olan frezeleme işlemlerinde freze dönel kesme hareketi ile talaş kaldırır. Üçüncüsü ise bileşik veya helisel kesmedir. Matkapla delme işlemi yapılırken matkap hem dönel hem de doğrusal hareket yaparak kesme yapar. Bu hareket küçük adımlı helis şeklinde oluşur. Kesme işleminde, kesici takım iş parçasına temas ettiğinde talaş iş parçası üzerinde lokal bir kesme bölgesinde oluşmaya başlar. Kesme düzleminin hemen üzerinde plastik deformasyona uğramış ve yüksek gerilme kazanmış talaş iş parçasından ayrılırken kesici takımın ön yüzeyine sürtünerek yukarıya doğru hareketlenir. Bu esnada aynı anda kesme düzleminin ön tarafında plastik basma, plastik basmanın da önünde elastik basma meydana gelir. Plastik basma, sıcaklığı yükselmiş olan metalde yoğun dislokasyon artışı ve dolayısıyla

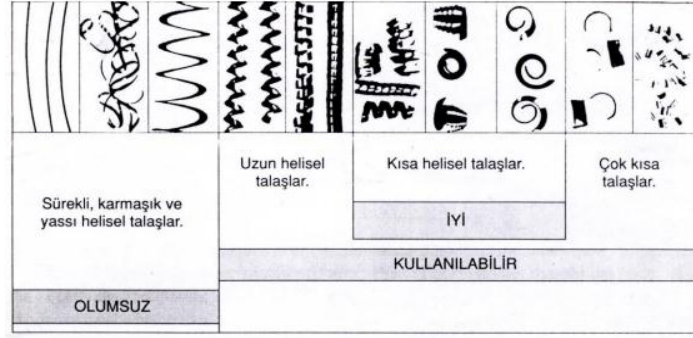
deformasyon sertleşmesi meydana getirir. Deformasyon sertleşmesi maksimum düzeye ulaştığında malzeme geri dönüşüm yapamaz ve kesilir. Kesme işlemi sürekli değildir, talaş ince tabakalı bir yapı şeklinde görülür. Kesici takım ucunda meydana gelen kesme işlemi üç bölgede incelenebilir. 1. bölge deformasyon bölgesi, 2. bölge sürtünme bölgesi ve 3. bölge çalışma bölgesidir. Şekil 2.2' de TM parçalarda oluşan talaş kaldırma mekanığı (a) ve tüm kesme bölgeleri (b) görülmektedir (Gavas ve diğ., 2013, Şalak ve diğ., 2005).



Şekil 2.2: TM parçalarda oluşan talaş kaldırma mekanığı ve tüm kesme bölgeleri (Şalak ve diğ., 2005).

Talaş debisi yani dakikada kaldırılan talaş hacmini ifadesidir. Talaş kaldırma oranı (Material Removal Rate) kısaca MRR olarak ifade edilir ve birimi mm^3/dak 'dır. Güç ve talaş kaldırma oranı arasında ilişki mevcuttur. İşlenebilirlik bakımından birim zamanında daha fazla talaş hacmi kaldırmaya izin veren iş parçası malzemesi işlenebilirlik olarak daha iyidir. Talaş oluşumu testlerinde, operasyon sırasında talaşın oluşma kolaylığı, takıma, iş parçasına ve operatöre zarar vermeden, kırılması dikkate alınır. Talaş morfolojisi yoluyla malzeme davranışı hakkında bilgi almak mümkündür. Kolay talaş oluşumu, mesela daha düşük kesme kuvveti veya daha az takım aşınması verileriyle desteklenmedikçe tam belirleyici olmaz.

Tezgah operatörünün çalışma şartlarında elde ettiği talaş şekilleri, işlenebilirlik açısından (operatör, verimlilik, tezgah, işlenmiş yüzey vb.) değerlendirilmesi Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

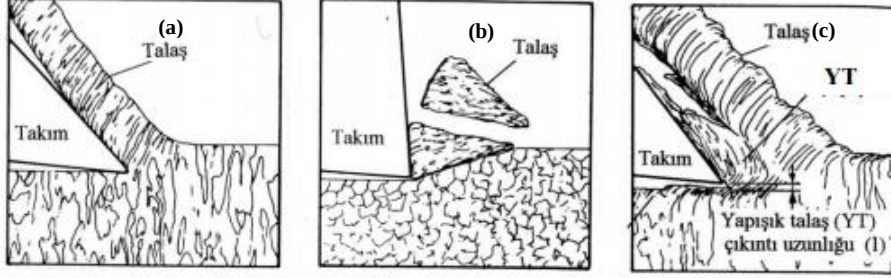


Şekil 2.3: Talaş şekilleri (Özçatalbaş, 2014).

Şerit, karışık ve sarmal talaşlar kabul edilmez, helisel, uzun tüp, kısa virgül ve uzun virgül talaşlar kabul edilir, kısa tüp, spiral tüp ve sipral talaşlar iyi talaş olarak sınıflandırılmaktadır (Klocke, 2010). Talaşın kesintisiz ve sürekli çıkması, kesici takım açılarının iyi olduğunu ve bilemenin iyi yapıldığını gösterir. Çıkan talaşların bir yandan ideal sayılan kesintisiz talaş olması istenirken, diğer yandan, bu talaşların tezgâha ve operatöre zarar vermemesi ve depolama/taşıma kolaylığı sağlaması istenir (Gavas ve diğ., 2013). Aynı zamanda kesme bölgesinden uzaklaşan talaşın kontrolü ve işlem sırasında oluşan ısının büyük bir bölümünün bu talaşlarda ortamdan uzaklaştırılması zorunluluğudur (Çakır, 2006). Durum böyle olunca kesintisiz talaşların belli bir boyda kopması arzu edilir. Bunu sağlamak için de talaş kırıcılar kullanılır. Talaş kırıcılar bazen direkt olarak kesici takımın yüzeyinde oluşturulur, bazen de kesici takım üzerine mekanik olarak bağlanan ilave parçalar yapılır. İşleme anında kesme bölgesinde ve yakınlarında oluşan plastik deformasyonlardan dolayı malzemenin sıcaklığı artarken, mekanik özelliklerine bağlı olarak malzemede deformasyon sertleşmesi meydana gelir ve malzemenin normal sertliği artar.

Oluşan talaş tipleri kullanılan farklı kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme derinliği, takım geometrisi ve malzeme cinsi talaş kaldırma parametrelerine bağlı olarak değişir. Elde edilen talaş tiplerini inceleyerek kesme şartları ve yüzey kalitesi hakkında bilgi almak mümkündür (Aksoy, 2009, Aydın, 2002, Özçatalbaş, 2014). Aynı zamanda da talaş tipleri, talaşlı imalatın kolaylığı veya zorluğunda etkili olmaktadır. Uzun ve sürekli talaş oluşması takım veya tezgâha dolaşmasına, malzeme ve yüzey kalitesinin bozulmasına ve kesici ucun zarar görmesine sebep olur. Belirli bir uzunluğa kadar dairesel şekilli veya helisel talaşlar en uygun talaş kesitleridir (Çakır, 2006). Talaş, oluşum mekanizmasına göre üç tip talaş meydana gelir:

Sürekli talaş (akma talaş), süreksiz talaş (kesintili veya kırıklı talaş), yığıntı talaş (YT, Built-Up-EdgeBUE) (Aksoy, 2009, Aydın, 2002, Özçatalbaş, 2014). Şekil 2.4’ te oluşum mekanizmasına göre talaş tipleri verilmiştir.



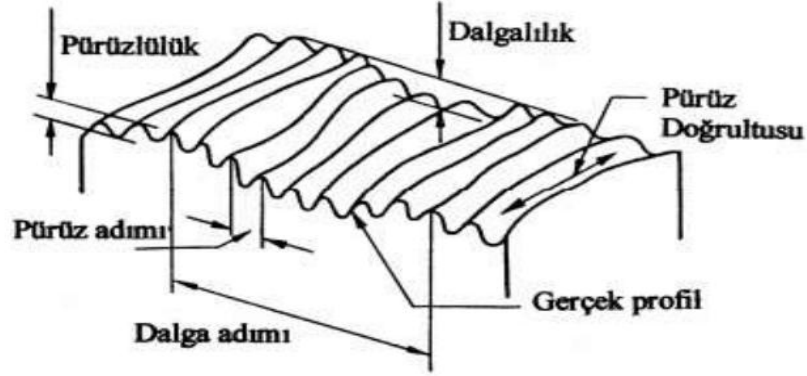
Şekil 2.4: Oluşum mekanizmasına göre talaş tipleri sürekli talaş (a), kesintili talaş(b), yığıntı talaş(c) (Aksoy, 2009, Aydın, 2002, Özçatalbaş, 2014).

Sürekli talaş, genellikle sünek malzemelerin yüksek kesme hızlarda işlenmesi sonucunda malzemenin sürekli deformasyonu ile makro düzeyde çatlaksız elde edilir. Yüksek deformasyondan dolayı sertleşen talaş sertliğinin artması ile kesici takım aşınmasına neden olur. Bu tip talaşlar, spiral, bant veya değişik helisel şekillerde oluşur. Sürekli talaşlar, sünek iş parçası, düşük kesme derinliği ve düşük ilerleme miktarı, keskin kesici uçlu takım, büyük talaş açılı kesici uç, yüksek kesme hızları, kesme sıvısı kullanılarak kesici uç ve iş parçasının soğuk tutulması, talaş akma direncinin minimum olduğu durumlarda oluşur. Kullanılan malzeme aşırı plastik deformasyona uğrarsa ve malzeme kırılırsa kısmen şekillenen talaşla birlikte birincil deformasyon bölgesinde kırılma ile süreksiz talaşlar oluşur. Bu şartlar altında talaş dilimlenmiştir ve oluşan talaş kesintilidir. Kesme sırasında değişen ayrılma hızı sıkışmada en düşük, talaş kopmasında en büyük değeri alır. Takım talaş yüzeyinin yüklenmesi ise bunun tersinedir. İlerleme hızı ile kesme derinliğinin artışı süreksiz talaş oluşumun artmasına neden olur (Aksoy, 2009, Aydın, 2002, Özçatalbaş, 2014). İşlenen iş parçasının yüzey boyunca devamlı olarak çıkan talaşın kesici takım yüzeyine yapışmasıyla oluşan talaş, yığıntı tipidir. İşlem sırasında kesme sıvısının kullanılmaması ve sıcaklığın düşük olduğu kesme hızlarında, kesici takım önünde iş parçasına uygulanan basma kuvveti ve aşırı sürtünmeden dolayı talaş sürekli deformasyona uğrar ve kesme yönüne dik açıda talaşta kopmalar oluşur. Talaştan ayrılan küçük parçacıklar takıma yapışır. Bu talaş ikincil deformasyon bölgesinde oluşmaktadır. Çıkan talaştan daha sert olan YT, kararlı ya da kararsız

olabilmektedir. Oluşan kararsız YT'nin bir kısmı talaş yolu ile uzaklaştırılır, işlenen yüzeye gömülerek yüzey pürüzlülüğünün artmasına ve çok sert olan YT ucun aşınmasına neden olur. Kararlı YT ise, kesici takım ucunda kayma gerilmesinin ve etkin talaş açısının artmasına sebep olur. Aynı zamanda kesici uç ile talaş arasında temas alanını kısıtlayarak kesme kuvvetlerini artırır. Bu tip talaşları elde edildiği işlemler de malzemenin yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler (Aksoy, 2009, Aydın, 2002, Özçatalbaş, 2014).

2.2.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı işlem sırasında iş parçası malzemesi yüzeyinde istenmeyen çizgiler meydana gelir. İşleme yöntemi, kesici takım cinsi, iş parçası malzemesi, kesme şartları, fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleri ile kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareket sonucu olarak, nominal yüzey çizgisinin üstünde veya altında düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir. İşlem kalitesinin amacı ve tanımı ise; iş parçasına sadece şekil vermek değil aynı zamanda geometrik, yüzey ve boyut bakımından resimde gösterilen doğruluk derecesine göre imal etmektir. Talaşlı işleme sırasında parçaların yüzeylerinde çeşitli düzensizlikler ve yükseklikler oluşur. Bunların sebepleri; yükseklik şekilleri, dağılımları ve yönleri birçok faktöre bağlıdır, bunlar şöyle sıralanabilir; soğutma ve yağlama şartları, kesme ve ilerleme hızı, kesme derinliği, malzemenin kimyasal bileşimi ve mikro yapısı; kesici tasarımı, kesme kapasitesi ve geometrisi; tezgâh tipi ve şartları, kalıp ve bağlama koşulları (Özçatalbaş, 2014, Yazman, 2006). Talaşlı işlemede işlenen yüzeylerde dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması oluşur. Dalga geometrik sapmalar grubuna dahildir; dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder. Şekil 2.5'te yüzey kalitesini tayin eden faktörler gösterilmiştir. Standartlara göre yüzey kalitesi pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Yüzey pürüzlülüğü üretim maliyetini oldukça fazla etkiler. Kaba tornalamada maliyet %40- 50 iken, ince tornalamada %80-100 olmaktadır (Yazman, 2006).



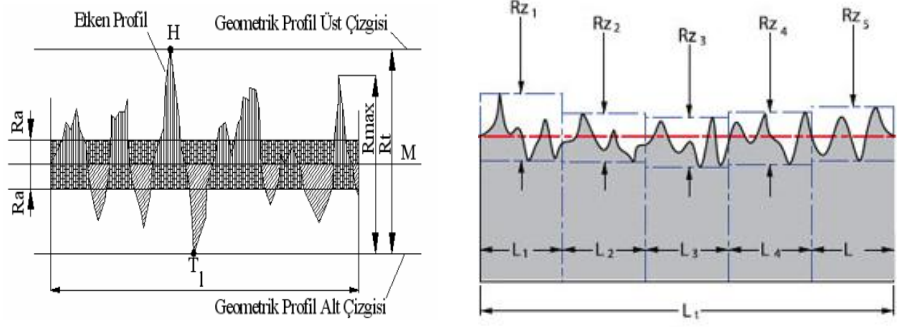
Şekil 2.5: Yüzey kalitesini etkileyen faktörler (Yazman, 2006).

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

İdeal yüzey pürüzlülüğü; kesici takımdaki vurunlar, hatalar, BUE gibi faktörler azaltıldığında, ilerlemeye ve kesici uça bağlı oluşturulan en iyi bitirme değerlerini gösterir. Bir dizi veya tek bir faktöre göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek matematiksel karşılaştırmalar ve analizler için çok kullanışlı bir yöntem olabilir ve bu sebepten dolayı en genel kullanılan dizi Ra aritmetik ortalama değeri olarak bilinir (Şahin, 2001, Yazman, 2006).

Doğal yüzey pürüzlülüğü; gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir kısmını içerir. Takım tezgâhı, iş bağlama sistemi, takım sistemi, çalışma ortamı ve yığıntı talaş gibi faktörler doğal yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkiler (Şahin, 2001, Yazman, 2006).

Ra, aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü uluslararası benimsenmiş bir sembol olup yüzey pürüzlülüğü değerini gösterir. Ancak yüzey pürüzlülüğü halen bazen AA, veya CLA veya Rt ve Rz sembolleri ile gösterilmektedir. Ra, ortalama profil doğrultusundan aritmetik ortalama olarak sapmasıdır. Bu normal olarak birkaç tane birbiri ardı sıra örnekleme uzunlukları (L) sonuçlarının ortalaması alınarak belirlenebilir. Rt, değerlendirme uzunluğu içinde maksimum tepe-çukur yüksekliğini gösterir. Rz, 10 nokta yüksekliği olup örnekleme uzunluğu içinde 5 derin çukur ve 5 en yüksek tepe noktaları arasında ortalama mesafeyi gösterir ve dik olarak ölçülür (Şahin, 2001). Şekil 2.6’da yüzey pürüzlülüğü Ra, Rt ve Rz ölçümleri verilmiştir.



Şekil 2.6: Yüzey pürüzlülüğü Ra, Rt ve Rz ölçümü (Şahin, 2001).

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |x| dx \quad (2.2)$$

$$Rz = \frac{(R_1 + R_2 + R_4 + R_6 + R_9) - (R_3 + R_5 + R_7 + R_8 + R_{10})}{L} \quad (2.3)$$

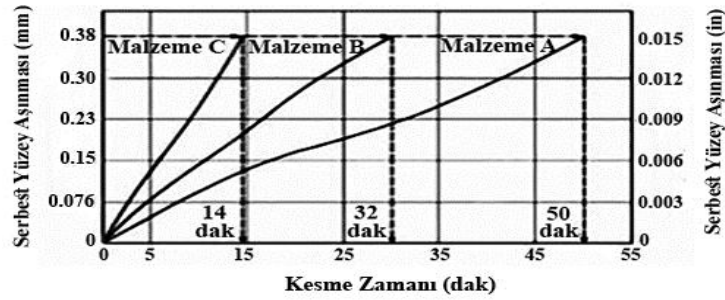
Yüzey pürüzlülüğü kalitesini etkileyen faktörler dört grupta incelenir (Acır, 2003, Çakır, 2006):

- **Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin etkisi:** Talaşlı işlemede, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi faktörlerin optimum değerlerinin bilinmesi, parça üretim maliyetinin minimum değerinin belirlenmesinde büyük rol oynamaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalır fakat düşük kesme hızlarında pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi ise; düşük kesme hızlarında kesici kenar ucunda BUE' nin oluşması ve oluşan bu talaş yığıntısının kesici ucunun geometrisinde olumsuz bir değişikliğe ve sürtünmeye neden olmasıdır. İlerleme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkiler. Kesme derinliğinin artmasıyla da yüzey pürüzlülüğünde artma gözlenir fakat kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi diğer parametrelerde olduğu gibi fazla değildir.
- **Titreşimin etkisi:** Talaşlı işlemlerde oluşan titreşim kaçınılmaz bir olaydır. Titreşim, tezgâhın çalışma sırasında kesme kuvvetleri sonucu olup, takım tezgâhlarında örneğin takım dengesizliği, mil yatak sistemlerindeki salgı vb. olarak ortaya çıkmaktadır. Sürekli olarak, kesici takım ile iş parçası arasında titreşimin oluşması, kesici takımın ömrünü ve iş parçasının yüzey kalitesini olumsuz olarak etkiler.

- **İş parçasına bağlı faktörlerin etkisi:** Talaş akışı, malzemenin kayma mukavemeti, malzemenin sertleşmesi, kesici uç ve malzeme arasındaki sürtünme değeri, süneklik ve kırılgenlik gibi iş parçası malzemesinin özellikleri talaşın yapısının değışmesine etki ederler. Yüksek dayanımlı iş parçası malzemelerinde düşük dayanımlı iş parçası malzemelerine göre kesme sırasında daha büyük kuvvet meydana gelir. Talaş oluşumunda iş parçası malzemesinin sünekliliğı büyük öneme sahiptir. Bunun sebebi ise; fazla sünekliliğı sahip iş parçası malzemesi sadece kesme anında talaşın aşırı plastik deformasyonuna müsaade etmemekte kesici takım ve talaş temas yüzeyinde sıcaklığın aşırı artmasına sebep olurlar. Bu sıcaklık sonucu takım ömrü kısılır ve yüzey kalitesi düşer.
- **Takım uç yarıçapının etkisi:** Bu değerin büyük olması, kesme işleminde daha büyük kesme kuvvetlerine ihtiyaç duyulması anlamına gelmektedir. Daha büyük kesme kuvvetlerinin uygulanması sonucu kesici uç da daha fazla sürtünme oluşur ve takım-iş parçası arasında ısıl gerilimler meydana gelir. Oluşan ısıl gerilmeler sonucu malzeme sertleşir ve kesici uç da daha fazla ısı oluşarak takım aşınmasına neden olur. Bu sebeplerden dolayı beklenen yüzey kalitesi elde edilemez.

2.2.3.3. Takım Ömrü ve Aşınma

Farklı malzemeler üzerinde tek hızda, tek tip kesici takım malzemesi ve geometrisi kullanarak, takım aşınmasına bağılı olarak işlenebilirlik kabiliyetini belirlemek mümkündür. Daha önceden belirlenmiş aşınma miktarını oluşturacak iş veya zaman bulunarak işleme kabiliyeti her bir iş parçası malzemesi için takım ömrüne göre belirlenir. Şekil 2.7’de A, B ve C iş parçası malzemeleri bir karbür takım kullanarak işlenebilirlik kabiliyeti değerlendirilmesi yapılmıştır. 0,38 mm aşınmanın oluşması için takım ömrü, A, B ve C iş parçası malzemeleri için sırasıyla 50, 32 ve 14 dakikadır (Şalak ve diğ., 2005).



Şekil 2.7: Üç farklı malzemeye göre aşınma ve kesme zamanı ilişkisi (Şalak ve diğ., 2005).

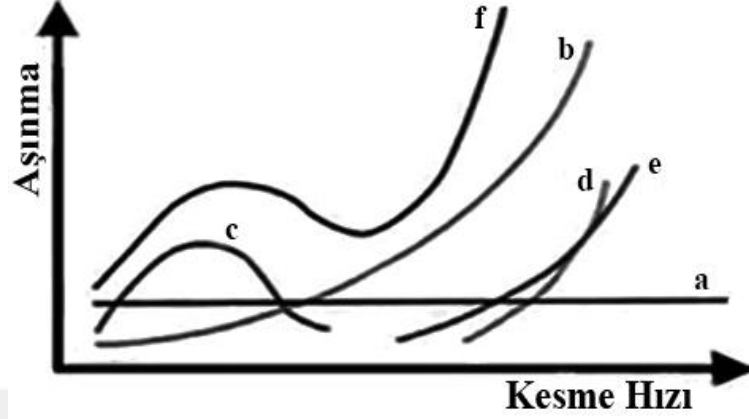
İşlenebilirlik testlerinde takımın ani hasarından kaçınmak için kullanılan yaygın takım aşınma kriterleri Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3: İşlenebilirlikte yaygın kullanılan aşınma kriterleri (Şalak ve diğ., 2005).

İşleme Türü	HSS Aşınma Kriteri (mm)		Karbür Aşınma Kriteri (mm)		Seramik Aşınma Kriteri (mm)	
	Ort.	Max.	Ort.	Max.	Ort.	Max.
Tornalama	1,52	1,52	0,38	0,76	0,38	0,51
Yüzey Frezeleme	0,76	1,52	0,38	0,76	0,38	0,51
Alın Frezeleme	0,30	0,51	0,12	0,20	----	----
Delme	0,38	0,38	0,25	0,38	----	----

Kimyasal bozulma veya birbiriyle temas halinde olan parçaların mikro çatlak oluşturmasıyla fiziksel ayrılma olarak malzemenin kaldırılması sonucu oluşan hasara kesici takım aşınması denilir. Aşınma parçacık şekli, şiddeti ve yüzey pürüzlüğü aşınma tipi ile ilgili bilgi verir (Yıldız ve Gür, 2006). Dinamik, çevresel ve malzeme parametrelerinden meydana getirilen bir sürtünme sistemi içerisindeki küçük bir değişiklik, büyük ölçüde değişiklikler oluşur (Bayer, 1994, Ertunç ve Sevim, 2001). Mekanik yükün statik bileşeninin yanı sıra değişken talaş derinliklerinden, talaş oluşumundan, darbeleri ve frezeleme işlemindeki gibi aralıklı kesme işlemleri talaş kaldırma işlemi sırasında kesici ucun talaş ve serbest yüzeylerinde büyük miktarda ısı oluşumu sonucu kaynaklanan bir olaydır. Talaş kaldırma işleminde sürekli temiz bir metal yüzeyi oluşur ve takım malzemesi boyunca çok yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kalır. Bu yüzey metallerin kimyasal reaksiyonları ve difüzyonu için son derece çekici bir ortam teşkil eder. Talaş kaldırma işlemi esnasında birçok iş parçası malzemesi içerisinde sertlikleri bazen takım malzemesinin sertliğine yaklaşan, son derece sert parçacıklar bulunur ve takım üzerinde aşındırıcı bir etkide bulunurlar. Bu kalıntıların ve cürufu bir yüzeyin söz konusu olmadığı durumlarda bile talaş kaldırma işlemi esnasında, kesici kenar üzerinden geçen malzeme nedeniyle, değişen miktarlarda abraziv bir aşınma söz konusudur. Kesici kenar üzerine etkiyen çeşitli yük faktörleri sebebiyle temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine dolayısıyla kesici takımın aşınmasına sebep olur. Bu aşınma mekanizmalarının kesme hızı arttıkça takım aşınmasını nasıl etkilediği Şekil 2.8’deki grafikte gösterilmiştir. Grafikte a, kesme kenarı deformasyonu; b, abraziv aşınma; c, yığılma kenar

oluşumunu; d, difüzyon aşınmasını; e, oksidasyon aşınmasını; f, toplam aşınmayı göstermektedir (Çakır, 2006, Ok, 2009, Şahin, 2001).



Şekil 2.8: Kesici takımda meydana gelen aşınma prosesleri(Ok, 2009).

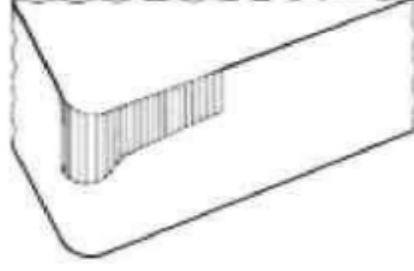
- **Abraziv aşınma:** En fazla görünen ve genellikle iş parçası malzemesinde bulunan sert parçacıklar sonucu oluşur. İşlenen yumuşak malzemenin yüzeyden taneciklerin kopması ve kopan bu taneciklerin yapışma olayı gerçekleşmeden yüzeyden uzaklaşması ve böylelikle malzeme kaybının fazla olduğu bir olaydır. Tribolojide bir sürtünme sistemi içerisinde sert malzemenin yumuşak malzemeleri çizerek aşındırmasına abraziv aşınma olarak tanımlanır. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde kesici ucun sertliğine bağlıdır.
- **Difüzyon aşınması:** Kesme işlemi sırasında daha çok kimyasal yükten etkilenen ve bir metal yüzeyden diğerine atom transferi ile meydana gelen bir aşınma tipidir. Bir metalin kristal kafesindeki atomların, yüksek atomik konsantrasyonlu bölgeden, düşük atomik konsantrasyonlu bölgeye geçmeleri ile gerçekleşir. Bu tip aşınmada kesici takım sertliğinin aşınma üzerinde etkisi yoktur ve daha çok sıcaklığa bağlıdır. Talaş kaldırma işleminde kesici takım malzemesi ve iş parçası arasında oluşan yüksek sıcaklıklardan dolayı atomlar kesici takım malzemesinden iş parçası malzemesine hareket ettiğinde ortaya çıkar.
- **Oksidasyon aşınması:** Pek yaygın olmayan bir aşınma tipidir. Yüksek kesme sıcaklıklarında hava bulunması sonucunda yüzeylerde oksit tabakasının oluşmasıyla sonuçlanan bir aşınma tipidir. Oksitler birbirlerine göre farklılık gösterirler ve bazı oksit tabakarı çıkan talaş ile yüzeyden uzaklaştırılabilir. Bu durum bazı takım malzemeleri için kesici takımın aşınmasına sebep olmaktadır. Talaş kaldırma işlemi

sonrasında temas yüzeylerinin yakınında oluşan renklemeler kesici takımın oksidasyona uğradığını gösterir.

- **Yorulma aşınması:** Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucu oluşan bir aşınma türüdür. Kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında dalgalanması ve sıcaklığın değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına neden olur. Aralıklı kesme işlemi sonucu talaş ile temasta olan kesici kenarında sürekli ısınma ve soğuma sonucu şok etkisi oluşur. Kesme kuvvetlerinin kesici kenarın mukavemetinden çok daha büyük olduğu durumlarda mekanik yorulma görülmektedir. Sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur. Bu gibi durumlarda plastik deformasyon oluşur.
- **Adeziv (yıpranma) aşınma:** Takımın talaş yüzeyindeki düşük ilerleme sıcaklıklarından dolayı meydana gelen bir aşınma tipidir. Al, çelik ve dökme demir gibi kısa ve uzun talaş veren malzemelerde görülür. Genellikle kenar ile talaş arasında yığma kenar oluşumuna sebep olur. İşlenen yüzey boyunca takip eden katmanlar kesici takım yüzeyine kaynak olup kenarın bir parçası haline gelmesi işlemine yığma kenar oluşumu denilir. Kenarda yığılan talaş tabakasının çok fazla büyümesi sonucunda bir noktada yırtılıp uzaklaşır ve kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına sebep olur.

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından bir temel teşkil eder. Belli başlı aşınma tipleri aşağıda kısaca verilmiştir (Çakır, 2006, Ok, 2009, Özdemir ve Erten, 2003, Şahin, 2001).

- **Serbest yüzey (yanak) aşınması:** Kesici takımın kesme kenarı ve yan yüzeyinde sürtünme aşınması sonucu ile oluşan en yaygın aşınma tiplerinden biridir. Yanak aşınması kesme kenarlarının abrazyonu ile meydana gelir. Genellikle üniform genişlikte ve kenara yakın bölgede oluşur. Şekil 2.9'da serbest yüzey aşınması gösterilmiştir. Serbest yüzey aşınması ortadan kaldırılamaz fakat azaltılabilir. Aşınma miktarı arttıkça kesme kuvvetleri artar ve buna bağlı olarak kesme bölgesindeki ısı artar ve yüzey kalitesi azalır.



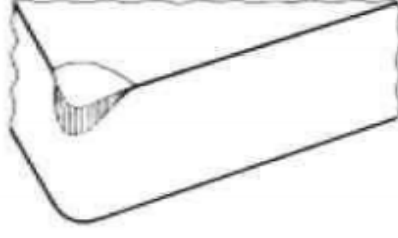
Şekil 2.9: Serbest yüzey aşınması (Özdemir ve Erten, 2003).

- **Krater aşınması:** Takım ile talaş iş parçası arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon sonucunda veya küçük talaş parçacıklarının, takım yüzeyine yapışmaları ve daha sonra koparak kesici takım malzemesi üzerinde girintiler oluşturması sonucu ortaya çıkar. Şekil 2.10'da krater aşınması gösterilmiştir. Aşırı miktarda gerçekleşen krater aşınması kesici kenar geometrisinin değişmesine, ucun zayıflamasına, talaş şeklinin bozulmasına, mukavemetin azalmasına ve kesme kuvvet yönlerinin farklılaşmasına yol açar.



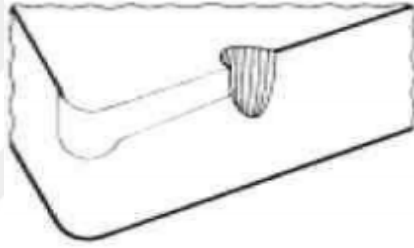
Şekil 2.10: Krater aşınması (Özdemir ve Erten, 2003).

- **Plastik deformasyon:** Yüksek sıcaklıklar ve yüksek basıncın bir kombinasyonu sonucunda kesici kenar üzerinde oluşur. Sert malzemeyi işleme, yüksek kesme ve ilerleme hızı, yüksek sıcak ve basınç meydana getirir. Plastik deformasyon aşınması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometri deformasyonuna ve talaş akışının değişmesine sebep olur. Şekil 2.11'de plastik deformasyonu gösterilmiştir.



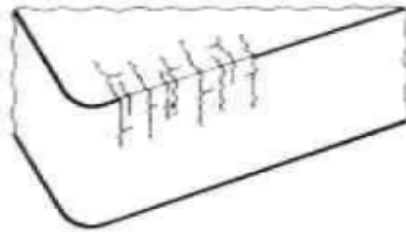
Şekil 2.11: Plastik deformasyon (Özdemir ve Erten, 2003).

- **Yardımcı kenarda çentik oluşumu:** Tipik bir adezyon aşınmasıdır. Malzeme ile kesici kenarın ayrıldığı noktada çentik meydana gelir. Şekil 2.12'de çentik oluşumu gösterilmiştir. Bu aşınma ince işlemlerde yüzey kalitesini düşürür ve kesici kenarı zayıflatır. Zayıf kesici takım geometrisi veya köşe kısmında oluşan yapışmalar ve kırılğan kesici takım kullanılması bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olmaktadır.



Şekil 2.12: Çentik oluşumu (Özdemir ve Erten, 2003).

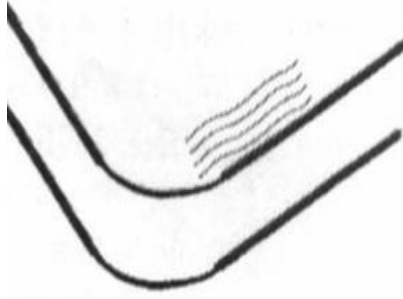
- **Isıl çatlaklar:** Genellikle ısı değişimi sebebiyle yorulma aşınması olarak ortaya çıkar. Bu tip aşınma kesici takım kenarına dik olarak oluşur ve bunun sonucunda takım kırılır veya kesici kenar bozulmaya uğrar. Isıl veya termal çatlaklar aşınması frezeleme işleminde daha çok görülür. Şekil 2.13'de ısı çatlaklar gösterilmiştir. Talaş kalınlıklarındaki değişim sıcaklığın artmasına etki eden bir faktördür.



Şekil 2.13: Isıl çatlaklar (Özdemir ve Erten, 2003).

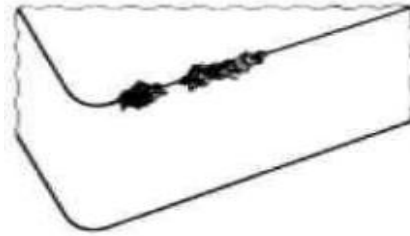
- **Mekanik yorulma çatlakları:** Kesme kuvvetlerinde oluşan ani değişimler neticesinde meydana gelir. Mekanik yüklerdeki sürekli değişim çatlığa sebep olur. Kesme

işleminin başlangıcında ve kesme kuvvetinin değeri ve yönündeki değişimler kesici ucun dayanımından ve tokluğundan fazla olduğu durumlarda gerçekleşir. Şekil 2.14'te mekanik yorulma çatlakları gösterilmiştir.



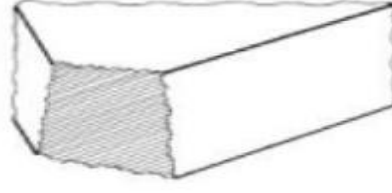
Şekil 2.14: Mekanik yorulma çatlakları (Özdemir ve Erten, 2003).

- **Kesici kenardan parçacık kopması (dökülme):** Aşınma sonucu kesici kenarın çok kırılması ile ortaya çıkar. Takımı etkileyen mekanik gerilmeler aşırı olduğunda ve kesici uç aşırı sıcaklık değişimine uğradığında bir yorulma meydana gelir ve takım malzemesi takım yüzeyinden kopar. Şekil 2.15'te dökülme gösterilmiştir.



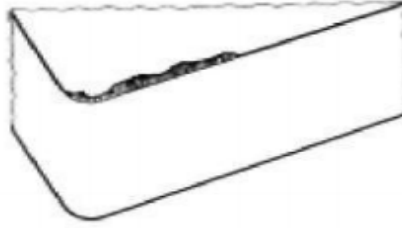
Şekil 2.15: Dökülme (Özdemir ve Erten, 2003).

- **Kesici kenarın kırılması:** Kesici kenarın kullanılmaz bir duruma gelmesine sebep olan aşınma tipidir. En tehlikeli tür olarak bilinir. Kenarın zayıflaması, geometrinin değişimi, sıcaklık ve kuvvet artışları bu aşınmayı gerçekleştiren faktörlerdir. Şekil 2.16'da kırılma gösterilmiştir. Yüksek kesme hızlarında kesici takım kenarında farklı gerilmeler oluşur ve ucun dayanma sınırını geçmesine ve sonuç olarak kesici ucun kırılmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.16: Kırılma (Özdemir ve Erten, 2003).

- **Yığma kenar:** Sıcaklık ve kesme hızına bağlı olarak kesici takım yüzeyine kaynak olan malzemeden dolayı ortaya çıkar ve kesici takım yüzeyinden parçacık kopmasına sebep olur. Şekil 2.17’de yığma kenar oluşumu gösterilmiştir. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin kesici takım yüzeyine kaynak olmasına neden olur. Sıcaklık ve kesme hızları kontrol edilerek bu aşınmanın kolaylıkla önüne geçilebilir.



Şekil 2.17: Yığma kenar oluşumu (Özdemir ve Erten, 2003).

2.2.3.4. Kesme Sıcaklığı

Bu tür testler; talaşlı işleme süresince kesici takımın ucundaki sıcaklığı ölçer. Genellikle ortalama sıcaklık takım ömrüyle dolayısıyla da işlenebilirlikle ilgilidir (Şalak, 2005). Çok sert iş parçası malzemeleri veya daha yüksek kesme hızları genel olarak, takım aşınmasının artmasına yani takım ömrünün kısalması ile birlikte, kesici takım ucunda daha yüksek sıcaklığın oluşmasına neden olur. Zaman alıcı ve zor testler olmasına rağmen, takım ömrü ve takım aşınması testleriyle oluşan sonuçlar arasındaki bazı ilişkileri kurar, takım ve malzeme performansının belirlenmesiyle daha iyi gösterir. Bu testler kesme kuvvetleri testleri gibi, bunların ölçümünde de takım ömrü testlerinden daha az zaman ve malzeme gerekir ve özellikle ayırma amacı için oldukça uygundur. Bu kriter, sıcaklık ölçümlerinin düzenli ve tekrarlanabilir ölçümünün zorluğu nedeniyle yaygın kullanılmaz (Yılmaz, 2006).

2.2.3.5. Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri verilen işleme şartları altında malzemeyi istenilen şekle getirmek için gerekli kuvvetleri ölçü alır. Kesme kuvvetleri tanımı genellikle kırma veya talaş kaldırma kuvvetleri olarak tanımlanır. İşleme sırasında ortaya çıkan çok büyük basınç ve sürtünme, çeşitli yönlerden kesici uç üzerine etkiyen kuvvetlerin oluşmasına sebep olur. Kesme kuvveti üç bileşene sahiptir: bunlar teğetsel, radyal ve eksenel kuvvettir. Frezeleme ve tornalamada teğetsel kuvvet (kesme kuvveti) önemli iken delme işleminde eksenel kuvvet (ilerleme kuvveti) özellikle güç hesabında diğer bileşenlerden daha önemlidir (Çakır, 2006). İşlenebilirlikte daha düşük kesme kuvvetleri tercih edilir ve buda daha düşük takım aşınmasını ifade eder. Güç tüketimi testleri, malzemenin işlenmesinde oluşan kesme kuvvetlerini karşılamak için gerekli gücü (HP) ölçer (ASM, 1989). Talaşlı işlemede talaş kaldırmak için gerekli olan güç ile kesme kuvvetleri arasında bir ilişki vardır. Bu sebepten dolayı kesme kuvveti veya gerekli kesme gücü testlerinden birisinin kullanılması yeterli olacaktır (Şalak, 2005, Yılmaz, 2006).

2.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

TM malzemelerin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; alaşım elementlerinin, farklı yağlayıcıların ve kesme sıvısının etkileri üzerine yoğunlaşıldığı görülmektedir (Chen ve diğ., 1992, Chopra, 1988, Madan, 1992, Poirer ve Gagné, 1990). Ancak konunun daha iyi anlaşılması için; işleme parametrelerinin, kesici takım aşınmasının, porozitenin, kesme kuvvetlerinin ve proses değişkenlerinin etkilerinde çalışılması gerekmektedir. Standart bir işlenebilirlik test yönteminin olmaması ve farklı test prosedürlerinin kullanılması sebebiyle; daha önceden yapılan çalışmalardan genel bazı ortak sonuçlar elde edilse de, hala çelişkili sonuçların mevcut olduğu görülmektedir. Bu bölümde son yıllarda TM malzemelerin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmaları ele aldık. Ardından karşılaştırma amacıyla geleneksel yöntemle üretilen parçalarda kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkilerinden bahsettik. Bu çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Yılmaz ve Varol (2011), demir esaslı FC-0208 malzemesine %1-4 oranlarında değişen Cu ilavesinin işleme esnasında takım aşınması ve talaş oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Delme parametreleri; dev/dak devir sayısı (27,5 m/dak kesme hızı) ve 0,04 mm/dev ilerleme hızı kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre; Cu oranının artmasıyla, yüzey

pürüzlülüğünde azalma, kesme kuvvetlerinde artış, düşük takım aşınması ve olumlu talaş formu elde etmişlerdir.

Remadna ve Rigal (2006), deneylerinde 52 HRC sertliğinde temperlenmiş silindirik şeklinde alaşımlı çelik iş parçaları kullanmışlardır. Bu çalışmada, aynı geometriye sahip CBN kesici takım ile yapılan kaba tornalamada işlenebilirlik üzerine takım aşınmasının ve kesme kuvvetlerinin etkisini araştırmışlardır. Birinci deneyde kesme hızı sabit ikinci deneyde ise değişken kesme hızı kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre kesici geometrisinin CBN kesici takımın ömrünü önemli bir derecede etkilediği tespit edilmişlerdir. Ayrıca buna paralel olarak kesme kuvvetinin arttığını da ifade etmişlerdir.

Yeşilyurt (2003), çalışmasında AISI 304 paslanmaz çelik tozundan ürettiği silindirik parçaları tornada işleyerek işlenebilirlik özelliklerini araştırmıştır. Kesme parameleri; 120, 135, 150, 165 ve 180 m/dak kesme hızı, 0,2, 0,25 ve 0,30 mm/dev ilerleme hızı ve 2,5 mm talaş derinliği olarak belirlemiştir. Çalışmada en uygun işleme parametrelerin belirlenmesi için işlem sırasında tezgâhtan çıkan ses bilgisayara aktararak kaydedilmiş ve değerlendirilmiştir. Ani artış veya düşüş göstermeyen aynı zamanda oldukça düşüş olan ses kayıtları olumlu olarak değerlendirilmiştir. İdeal kesme ve ilerleme hızı; yüzey kalitesine, talaş formuna, güç tüketimine ve yanak aşınmasına göre hesaplanmıştır. Elde edilen ses sonuçlara bağlı olarak; 165 m/dak kesme hızında ve 0,25 mm/dev ilerleme hızında en iyi sonuçlar kayıt edilmiştir ve bu değerlere göre işlem sesi doğrulanmıştır.

James (1994) yaptığı çalışmada; TM çelik kompaktlarının delik yüzey kalitesine, farklı yoğunluk ve sinterleme sonrası emdirme işleminin etkisini araştırmıştır. Deneyde altı farklı Höganäs TM çelik malzemedan tek etkili kalıpta preslenmiş 1150 °C sıcaklıkta 20 dak sinterlenmiş ve (25 mm çapı ve 20 mm uzunluğunda) silindirik parçalar kullanılmıştır. 0,09, 0,11 ve 0,20 mm/dev ilerleme hızı ve 152, 273 ve 394 dev/dak dönme hızı seçilmiştir. Matkap ucu 12 numune işlendikten sonra değiştirilmiştir ve tork ve itme kuvveti ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre ilerleme hızının artmasıyla, itme kuvveti artması ve kesme hızının artmasıyla hem tork hem de itme kuvveti artması tespit edilmiştir. En iyi delme 0,11mm/dak ilerleme hızında elde edilmiştir. Bu çalışmada; optimum işleme şartlarının malzeme tipi ve sinterleme yoğunluğuna göre önemli oranda değişmesi olduğunu vurgulamış ve artan yoğunluğun işlenebilirliği iyileştirme eğiliminde olduğunu belirtmiştir.

Elajrami ve diğ.; (2013) yaptıkları çalışmalarında 2024-T alüminyum alaşımından TM tekniği üretilmiş parçalara delme işlemi uygulayarak; kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullandığı parametreler; delme hızı, ilerleme hızı, delme uzunluğu ve yağlayıcı madde cinsidir. Çalışmada 0,31, 0,68 ve 0,8 mm/dak ilerleme hızı, 11,47, 15,7 ve 22,29 m/dak devir hızı ve 13,5 ve 20 cm delme uzunluğu seçilmiştir. Delme işlemi sonrası deliklerin yüzey kalitesini ve konikliğini ölçmüşlerdir. Sonuçlara göre; daha iyi delik yüzey kalitesini yüksek delme hızı ve düşük ilerleme ile elde etmişlerdir. Ayrıca yeni bir matkap kullanımı ile yüzey pürüzlülük değerinin 3-4 kat azaldığını ve delik konikliğini 2 katına indirdiğini belirlemişlerdir.

Ambis (1991) yaptığı çalışmada; TM yöntemiyle üretilmiş 303, 304 ve 316 paslanmaz çelikleri üzerinde delme işlemi uygulayarak işlenebilirlik kabiliyetlerini incelemiştir. Deneyler kuru ortamda, 6,35 mm çapında M2 HSS Jobber matkap ucu ile 480 dev/dak devir sayısı ve 9,57 m/dak kesme hızı kullanılarak yapılmıştır. Eşdeğer dövme paslanmaz çelikler ve F-000010, FC-0208 ve FX-100850 gibi diğer TM çelikleri karşılaştırma malzemesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca; MnS ve bor nitrür ilavelerinin, sinterleme sıcaklığının ve atmosferinin işlenebilirlik üzerindeki etkileri de bu çalışmada araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre; TM 303 çeliklerin 304 ve 316 ya göre daha kolay işlenebildiği ve eşdeğer dövme çeliklerle benzer işlenebilirliğe sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca MnS ilavesinin; delme zamanını azaltmada etkili olduğu; BN ilavesinin fazla etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Sinterleme sıcaklığının 1120 °C'den 1218 °C'ye çıkarılmasıyla delme zamanının %10 azaldığı görülmüştür. Sinterleme atmosferi olarak saf hidrojenin, NH₃'tan daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir.

Avishan ve diğ.; (2011) Cu-Ni-Mo esaslı TM parçaların işlenebilirliği üzerinde östemperleme sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. 10x10x55 mm boyutlarında olan deney parçalarını 300, 340 ve 375 °C' de östenitleştirme işlemi sonrası; 100 dak boyunca 870 °C'de östemperlemeye tabi tutmuşlardır. İşlenebilirliği değerlendirmek için delme testleri, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ölçümlerini yapmışlardır. Düşük sıcaklıktaki östemperleme mikroyapının ince beynitli ferrit ve düşük karbonlu östenit içermesine yol açmış ve sertliğin artmasına neden olmuştur. 375 °C'de yapılan östemperlenmiş parçalar kalın östenit tabakası ihtiva ettiğinden dolayı düşük sıcaklıklarda yapılanlara göre işlenebilirliğinin daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Andersson (2009) yaptığı çalışmada; % 0,5 C içeren Distaloy AE ve % 0,5 C içeren Distaloy CrM sinter parçaların işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaç için; 80 mm çapında ve 12 mm yüksekliğinde numunelere delme testleri uygulamıştır. Matkap ucu olarak; Tjs118, Tsc130, Tsc118 ve Dss130 model uçlar kullanılmıştır. Her iki toz grubuna da eklenen grafit mukavemet değerlerini arttırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; delme sürenin ve derinliğin artmasıyla delme kuvveti ve dönme momenti arttığı tespit edilmiştir. Derinlik arttıkça Ra, Rz ve Rp değerleri de artış göstermiştir. Dss130 uç kullanımı ile en yüksek, Tjs118 uç kullanımı ile en düşük; Ra, Rz ve Rp değerleri elde edilmiştir.

Andersson ve Berg (2005) yaptıkları çalışmada, Astaloy CrM + % 0,47C +% 0,8 kenolube, Astaloy CrM + % 0,47 C + % 0,8 kenolube + % 0,5 MnS ve Astaloy CrM + % 0,47 C + % 0,8 kenolube + % 0,3 MnX sinter parçaların işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları Cr esaslı TM çeliklerin kullanımı yüksek dayanım özelliğinden dolayı son zamanlarda giderek önem kazanmaktadır. Numuneler; 1200 °C de, 30 dakika süreyle %90 N₂-%10 H₂ atmosfer ortamında sinterlenmiştir. Daha sonra 200 °C de 1 saat olarak havada tavlama işlemi uygulamışlardır. Tornalama işlemini kuru ve yağ ortamında gerçekleştirmişlerdir. Deneyde CB7050, CB7020, S05F, CC6050 ve GC3215 kesici uçlar kullanılarak işlenebilirlik özellikleri araştırmışlardır. En iyi işlenebilirliği MnS eklendiği zaman elde etmişlerdir. En iyi takım ömrünü ve yüzey pürüzlülüğünü CB7050 kuru kesmede tespit etmişlerdir. GC3215 ve S05F uçlarda daha iyi takım ömrünü düşük kesme hızlarında elde etmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Şalak ve diğ.; (2009) çalışmalarında kesme hızı ve kesici takımın sinterlenmiş çeliğin işlenebilirliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Fe- % 0,5C (ASC 100.29) atomize çelik, Fe- % 0,5C (SC100.26) sünger demir, Distaloy SA (Fe -%1,75Ni-%1,5Cu-%0,5Mo-% 0,5C) ve Distaloy SE (Fe-% 4Ni-% 1,5Cu-% 0,5Mo-% 0,5C) sinter parçaları kuru ortamda tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Numuneleri 1180 °C'de 40 dakika süreyle %70 N₂-%30 H₂ atmosferi ortamında sinterlemişlerdir. Deneylerde HM (talaş kırıcı formuna sahip) ile HSS kesici takım uçları kullanmışlardır. HSS ile işlemede; kesme hızının yanı sıra malzemenin bileşenleri ve özelliklerinin kesici ucu etkilediğini rapor etmişlerdir. HSS uçlarında keme hızın artmasıyla aşınmanın arttığını, en yüksek aşınma değerinin Distaloy SE ve en düşük aşınma değerinin SC 100.26 da olduğunu belirtmişlerdir. HM uçları HSS uçlarına göre daha

kısa ilerleme mesafesinde aşındığını tespit etmişlerdir. Genel olarak kısa ve süreksiz talaşların oluştuğunu görmüşlerdir.

Gülsoy ve diğ.; (1999) yaptıkları çalışmada demir esaslı Fe-Cu-C alaşımına farklı oranlarda C katkısı yaparak işlenebilirlik üzerine etkisini incelemişlerdir. Delme işleminde devir sayısı 900 dak/dev ve ilerleme 80 mm/dak olarak kullanılmıştır. Sinterleme işlemini parçalanmış amonyak atmosferinde 1125 °C 30 dakikada gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik testleri; delik delme ile kesme kuvvet ölçümleri yapılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ilave grafit miktarına bağlı olarak; mikro yapıda karbon miktarının artmasıyla sertliğin ve kesme kuvvetlerinin arttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca başlangıç deliklerinde kesme kuvveti değerleri düşük iken delik sayısının artmasıyla, takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin de arttığını ifade etmişlerdir.

Czampa ve diğ.; (2013) yaptıkları çalışmada demir esaslı sinterlenmiş düşük alaşımlı PMX TM parçaların işlenebilirliğini incelemişlerdir. Deneylerde kesici uç olarak; karbür, kaliteli HSS, ucuz kalitesiz HSS uçlar ve soğutucu olarak hava ve yağ kullanmışlardır. Numuneleri 82x41x22 mm boyutlarında hazırlamışlar ve sinterleme işlemini 1120 °C'de 30 dakika olarak uygulamışlardır. 6.8 g/cm³ yoğunluk, 60 HV30 sertlik ve 500 MPa çekme dayanımına sahip parçalar kullanmışlardır. Çalışmalarında delik çap doğruluğunu ve daireselliğini kontrol etmişlerdir. Ayrıca kesme kuvvetleri, delme momenti, takım aşınması ve kesici takım malzemelerinin delme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İşlenebilirlik üzerine en etkili parametrelerin kesme kuvvetleri ile takım malzemesinin olduğunu ve soğutucu olarak havanın ekonomik ve daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

M'Saoubi ve diğ.; (2014) yaptıkları çalışmada preslenmiş ve sinterlenmiş içeriği farklı iki TM yüksek hız çeliği M2 (%0.83C- %0.27Mn- %0.32Si- %3.13Cr- %1.97V- %5.12W- %5.00Mo) ve OB1 (%1.50C- %0.50 Si- %16.00 Cr- %1.00 V- %1.50 W- %1.50 Mo) kullanarak işlenebilirliği incelemişlerdir. Çalışmada; farklı parametrelerin uç aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca; %1 MnS ilavesinin işlenebilirlik üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan 25x25 mm boyutlarında silindirik parçaların sertlik değeri 550-690 HV arasında değişmektedir. Kesme parametrelerini; kesme hızları 150, 200 ve 250 m/dakika, ilerleme hızları 0,05, 0,75 ve 0,1 mm/devir ve kesme derinlikleri 0,1 ve 1,75 mm olarak seçmişlerdir. İşleme operasyonlarında soğutucu kullanılmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre; OB1 yüzey pürüzlülüğünün M2'ye

göre daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. En iyi yüzey pürüzlülük değerini MnS eklenmeyen M2 de elde etmişlerdir. MnS eklemesinin etkisi kesme kuvveti ve kesme sıcaklıkları bakımından M2'de OB1'e kıyasla daha fazla bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Kesme hızının artmasıyla daha kaliteli yüzey pürüzlülüğü fakat daha hızlı aşınmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir. MnS ilavesinin mekanik özelliklerini olumlu etkilediğini, kesme kuvvetlerin azalmasına ve daha az uç aşınmasına yol açtığını rapor etmişlerdir.

Kaçal ve Yıldırım (2016) yaptıkları çalışmada; PMD-23 sertleştirilmiş TM çeliğini kullanarak işleme performansını, yüzey pürüzlülüğünü ve takım aşınmasını incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları kesme parametreleri; kesme hızları 150, 210 ve 270 m/dak; ilerleme hızları 0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev ve kesme derinlikleri 0,1, 0,25 ve 0,4 mm'dir. Tornalama işlemini kuru ortamda, CBN uç kullanarak gerçekleştirmişleridir. Elde edilen sonuçlara göre; kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkin parametre olduğunu belirtmişlerdir. İlerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla Ra değerinin arttığını tespit etmişlerdir. SEM incelemeleri sonucunda takım üzerinde kesici uçta krater aşınması ve az miktarda da serbest yanak aşınması oluştuğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, mikro düzeyde BUE oluştuğu ve parçacık kopması görülmüştür.

Altın ve diğ.; (2006) yaptıkları çalışmada; Ni esaslı Inconel 718 süper alaşımlı çeliği kullanarak kesme sıvısı kullanmadan kaplamasız sementit karbür takımla işlemişlerdir. Deneysel çalışmada kesme hızlarının asıl kesme kuvveti F_c , kesici uç ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İşleme parametreleri olarak; 15, 30, 45, 60, 75 m/dak 5 farklı kesme hızı ve 2 mm sabit ilerleme hızı ile 0,20 mm/dev kesme derinliği seçmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre; kesme hızının artmasıyla asıl kesme kuvveti değerinde azalma tespit edilmiştir. Kesme hızı 15 m/dev'den 75 m/dak kadar artmasıyla asıl kesme kuvvetinde % 83 düşüş elde edilmiştir. 75 m/dev kesme hızında en düşük asıl kesme kuvveti 629N olarak elde edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmüştür ancak yüksek kesme hızlarında artış göstermiştir. Kesme hızının 15 m/dak'den 45 m/min'ye artırılmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğünde % 27,5 düşüş elde edilmiştir. Ancak Kesme hızı değerinin 45 m/dak'den 75 m/dak'ya artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde % 95,5 tespit edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü 45 m/dak kesme hızında görülmüştür. Yüksek kesme hızlarında kesici takım üzerinde yanak ve plastik deformasyon aşınmasının oluştuğu ve bu aşınmanın yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilediğini rapor etmişlerdir.

Rahman ve diğ.; (1997), Inconel 718 çeliğini kullanarak işlenebilirliği incelemişlerdir. Çalışmada farklı parametrelerin; yüzey pürüzlülüğü, kesici uç, yüzey sıcaklığı ve takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde farklı tutucular kullanarak 30, 40 ve 50 m/dak kesme hızları, 0,2, 0,3 ve 0,4 mm/dev ilerleme hızları ve 2 mm kesme derinliği ile 3 farklı düzeyde çalışmalarını yapmışlardır. Yapılan 3 farklı deneme için talaş derinliği sabit tutulmuş ve diğer üç parametre değişkenlik göstermiştir. Deneylerde K tipli TiN fizik buhar biriktirme ile PVD kaplamalı ve Al_2O_3 kimyasal buhar biriktirme ile CVD kaplamalı karbür kesici iki farklı uç kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre; takım aşınmasında kesme derinliğinin etkisinin ilerleme ve kesme hızlarının etkisine göre daha az olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla aşınmanın arttığını fakat yüzey pürüzlülüğünün azaldığını rapor etmişlerdir. Kesme hızının sürtünmeyi arttığını ve bunda sıcaklığı arttırdığını ifade etmişlerdir. Kesme ve ilerleme hızlarının artmasıyla kesici uç aşınması artmakta ve sıcaklığın da etkisiyle malzeme üzerinde oluşan gerilmelerin arttığını rapor etmişlerdir.

Çiftçi (2004) yaptığı çalışma; AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği üzerinde işlenebilirliği araştırmış; yüzey pürüzlülüğünü, kesme kuvvetlerini ve takım aşınmasını ölçmüştür. Çalışmada kesici takım olarak çok katlı kaplanmış sementit karbür takım kullanmış ve işlemede soğutucu kullanmamıştır. Kesme derinliği ile ilerleme hızını sabit tutarak farklı kesme hızları kullanmıştır. Kesme parametreleri; 120, 150, 180 ve 210 m/dak kesme hızı, 0,16 mm/dev ilerleme hızı ve 1,6 mm kesme derinliği olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı fakat 180 m/dak kesme hızından sonra bu değer artış gösterdiği ve kesme kuvvetlerinin 150 m/dak kesme hızından sonra artış gösterdiğini rapor etmiştir. SEM incelemeleri sonucunda aşınmanın kesici takım üzerinde üç bölgede küçük kırılma şeklinde meydana geldiğini ve bu kırılmaların kesici takım üzerinde oluşan yığıntı talaştan dolayı meydana geldiğini belirtmiştir.

Tekaslan ve diğ.; (2016), yaptıkları çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğini kullanarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırmışlardır. 30 adet deney numunesi 61 mm çap ve 250 mm boyunda hazırlanmış ve M20 kalitesinde SNMG 120408-Ms formunda kesici uçla tornada işlenmiştir. Kesme parametreleri ise; 50, 75, 100, 125 ve 150 m/dak kesme hızı, 0,15, 0,20 ve 0,25 mm/dev ilerleme hızı ve 1,5 ve 2 mm kesme derinliği kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre kesme hızının artmasıyla yüzey

pürüzlülüğünün belirli bir değere kadar azaldığı fakat bu belirli değerden sonra artış gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu artışın sebebinin kesici takımında BUE'nin oluşması, kesici takımında aşınma ve çentik oluşumu, işleme esnasında engellenemeyen titreşim ve deney numunelerinin istenilen hassasiyette bağlanmaması olarak açıklamışlardır. Ayrıca ilerleme hızı ve kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığını da belirlemişlerdir.

Çakır ve Özdemir (2008) yaptıkları çalışmada; 400 °C'de östemperlenmiş 47,3 HRC sertliğinde dökme demir kullanarak kesme parametrelerinin takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deney numuneleri 90 mm çap ve 240 mm boyunda hazırlanmış ve ISO TNMG 160408 (K10) kodlu kesici uçla tornada işlenmiştir. Kesme parametreleri; 200, 270 ve 340 m/dak kesme hızları, 0,14, 0,18 ve 0,22 mm/dev ilerleme hızları, 1, 1,5 ve 2 mm kesme derinlikleri ve 60° ve 93° yanaşma açıları olarak belirlenmiş ve kesici takım üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; 0,14, 0,18 mm/dev ilerleme hızlarında ve 1,5 mm ve 2 mm'lik talaş derinliklerinde takım aşınmasında farklılık görülmemiştir. 0,14, 0,18 mm/dev ilerleme hızlarında yanaşma açısının etkisinin olmadığını fakat 0,22 mm/dev ilerleme hızında aşınmanın en yüksek değerlere ulaştığını tespit etmişlerdir. Kesme hızının aşınmaya olan etkisi sabit bir ilerleme ve yanaşma açısı için kesme hızı ve talaş derinliğindeki artışın aşınmayı arttırdığını rapor etmişlerdir. Küçük yanaşma açısı özellikle yüksek ilerlemelerde daha fazla aşınmaya neden olduğunu dolayısıyla 93° lik bir yanaşma açısı ile çalışmayı önermişlerdir. Talaş derinliğinin etkisi ise; sabit ilerleme değerleri ve yanaşma açısı için talaş derinliği arttığında aşınma oranının azaldığını da belirlemişlerdir.

Daymi ve diğ.; (2009) yaptıkları çalışmada; Ti-6Al-4V alaşımı kullanarak talaş morfolojisi ve kesme kuvvetlerinin üzerine farklı kesme hızlarının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 50 ve 250 m/dak arasında değişen kesme hızları, 0,1 ve 0,2 mm/dev ilerleme hızı ve 1 mm kesme derinliği kullanmışlardır. İşlemleri Sandvik TNMG 160408 PM 4005 kaplamalı kesici uç kullanarak kuru ortamda yapmışlardır. 50 m/dak kesme hızında sürekli talaş, 100 m/dak arasında değişen hızlarda kesintili talaş ve 125 m/dak üzerindeki hızlarda tırtıklı veya kayma talaş oluştuğunu ortaya koymuşlardır. İş parçasının temperlenmesinden kaynaklanan ısıl yumuşama ve sertleşme arasındaki farklılıklardan dolayı kesintili talaşın meydana geldiğini açıklamışlardır. Yüksek kesme hızlarında sıcaklığın stabilize olması ve sürtünmenin sınırlı olması nedeniyle kesme kuvvetlerinde düşüş kayıtlı etmişlerdir.

Korkut ve diğ.; (2004), sementit karbür kesici uçlarla 120, 150 ve 180 m/dak kesme hızları, 0,24 mm/dev ilerleme hızı ve 2,5 mm kesme derinliğinde AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin optimum işleme koşullarını araştırmışlardır. Kesme hızının 180 m/dak'da takım aşınmasını azalttığını ortaya koymuşlardır. Aynı zaman da kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı sonucuna da ulaşmışlardır.

Aydın ve diğ.; (2010) yaptıkları çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğini HC-35 kaplamalı sert metal kesici takım ile tornalama işlemi sonucu işlenebilirliğini araştırmışlardır. Deneyleri kuru ortamda ve farklı kesme parametrelerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Talaşlı işleme sırasında kesme kuvveti, talaş kaldırılan bölgenin ve talaşın ayrılma anındaki sıcaklığı ölçmüşlerdir. Ayrıca talaş türlerini ve aşınma oranlarını da incelemişlerdir. Kesme parametreleri ise; 30, 45, 55, 75, 110 ve 130 m/dak kesme hızları, 0,05, 0,08 ve 0,11 mm/dev ilerleme hızları ve 0,75 mm kesme derinliği ve 30, 45, 55, 75, 110 ve 130 m/dak kesme hızları, 0,11 mm/dev ilerleme hızı ve 0,15, 0,35, 0,50 ve 0,75 mm kesme derinlikleri kullanmışlardır. Düşük kesme hızlarında kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin arttığı, orta kesme hızlarında ise kesme hızı arttıkça kesme kuvvetinin azalmaya başladığını rapor etmişlerdir. Kesme sıcaklıkları ölçümünde elde edilen sonuçlara göre; kesme hızının artmasıyla sıcaklığın arttığı fakat düşük sıcaklıklarda düzensiz artışlar elde etmişlerdir. Sıcaklık artışı nedeniyle kesici kenarın özellikle burun kısmında hem talaş yüzeyinde hem de serbest yüzeyinde aşınma meydana geldiği ve kaplama malzemesinin kesme yüzeyinden ayrıldığını rapor etmişlerdir. Talaşlar incelendiğinde genelde uzun veya kısa boru şeklinde olduğu fakat ilerleme hızı ve talaş derinliğine göre şerit ve dolaşık talaş veya karmaşık talaşlar elde etmişlerdir.

Şan (2007), orta karbonlu mikro alaşımlı vanadyum (38MnVS5) çeliğinin işlenebilirliğini takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelemiştir. Deneylerde kesici uç olarak; kaplamasız UTi20T, PVD ile kaplanmış VP15TF ve CVD ile kaplanmış UC6010 karbürli kesici uçlar kullanılmıştır. Kesme parametreleri olarak; 150, 200, 250, 300 ve 400 m/dak kesme hızları, 0,15, 0,25 ve 0,35 mm/dev ilerleme hızları ve 2,5 mm kesme derinliği seçilmiştir. Deney sonuçlarına göre, tüm kesici takımlarda kesme hızının artmasıyla takım ömrü belirgin bir şekilde azalmıştır. 150 m/dak kesme hızında VP15TF kesici takım diğer takımlara göre daha yüksek takım ömrü göstermiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü VP15TF kesici takımla (R_a : 0,73 μm) elde edilmiştir. İlerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de

artmıştır. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin, kesme hızından daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Karayel ve Nalbant (2014), Ç4140 çeliğinin işlenebilirliğini, takım aşınması ve ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından incelemişlerdir. Deneyleri kuru ortamda gerçekleştirerek Al_2O_3 -TiCN ve Al_2O_3 -TiC-TiCN malzemeleriyle kaplanmış TNMG profiline sahip iki uç kullanmışlardır. Kesme parametreleri olarak; 150, 200, 250, 300 ve 350 m/dak kesme hızları, 0,15, 0,25 ve 0,35 mm/dev ilerleme hızları ve 2 mm kesme derinliği kullanılmışlardır. Takım ömrü deneylerinde; 0,25 mm/dev sabit ilerleme hızı kullanılmışlardır. Kullanılan kesici takımlar incelendiğinde, çentik aşınması tiplerinin etkin olduğunu tespit etmişlerdir. Genel olarak değerlendirildiğinde; ilerleme hızının, kesme hızına göre yüzey pürüzlülüğü üzerine daha fazla etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca Al_2O_3 -TiCN kaplamalı uçlarla daha az yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir. En uzun takım ömrü; 150 m/dak kesme hızında 73,70 dak talaş kaldırarak Al_2O_3 -TiC-TiCN kaplı kesici uç kullanarak elde etmişlerdir.

Bilgin ve Ulaş (2015) yaptıkları çalışmada; AISI 6150 ıslah çeliğini işleyerek kesme parametrelerinin oluşan talaş morfolojisi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kesme parametrelerini; 150, 200 ve 250 m/dak kesme hızları, 0,12, 0,16 ve 0,20 mm/dev ilerleme hızları ve 1 mm kesme derinliği olarak seçmişlerdir. Çalışmalarında; 0,8 ve 1,2 mm uç yarıçapına sahip kaplamalı karbür ve sermet takımlar kullanılmışlardır. Elde edilen talaş şekillerine göre; istenilen, kabul edilebilir ve kabul edilemez talaş şekli olarak üç sınıfa ayırmışlardır. Ayrıca talaş şekillerinin oluşmasında en etkin parametre sırasıyla; ilerleme hızı, kesici takım uç yarıçapı, kesici takım malzemesi ve kesme hızı olduğunu belirtmişlerdir. Kaplamalı karbür takım, kaplamalı sermet takıma göre daha çok istenilen veya kabul edilebilir talaş şekli oluşturduğunu rapor etmişlerdir.

Şahinoğlu ve diğ.; (2017) yaptıkları çalışmada; GGG50 döküm malzemesini kullanarak kesme parametrelerinin ses şiddeti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İşleme parametreleri; 50, 75, 100 ve 125 m/dak kesme hızları, 0,1, 0,2, 0,3 ve 0,4 m/dev ilerleme hızları ve 1, 1,5, 2 ve 2,5 mm talaş derinlikleri kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre; ilerleme hızı arttıkça titreşim değerinin, yüzey pürüzlülük değerinin ve ses şiddetinin arttığını rapor etmişlerdir. Ayrıca talaş derinliği arttıkça titreşim ve ses şiddetinin arttığını ve düşük ilerleme ve kesme hızlarında BUE oluşumunda artışın meydana geldiğini belirtmişlerdir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmada; ticari ismi Distaloy AB olan Cu-Ni-Mo ile ön alaşımlandırılmış demir tozundan silindirik kompakt numuneler toz metalurji yöntemiyle üretilmiştir. Bu amaçla ön alaşımlı demir tozu karışımları çelik kalıpta çift yönlü preslenerek silindirik ham numuneler üretildikten sonra numuneler parçalanmış amonyak atmosferinde sinterlenmiştir. Sinterlenmiş numunelerin işlenebilirliği torna tezgahı üzerinde ortogonal kesme işlemiyle belirlenmiştir. İşlenebilirlik çalışması farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan testler ile farklı parametrelerle işlenmiş her bir malzeme grubunun kesilmesi esnasında oluşan takım aşınması, işlenen yüzeyin yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve talaş morfolojisinin incelenmesi mikroskobik ölçümlerle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular mevcut literatür sonuçları ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

3.1. KULLANILAN MALZEMENİN ÖZELLİKLERİNİN TESPİTİ

3.1.1. Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Deneysel çalışmada; Höganäs firması tarafından atomizasyon yöntemi ile üretilmiş Distaloy AB isimli ön alaşımlı demir tozu kullanılmıştır. Distaloy AB’de AmideWax PM isimli organik bazlı yağlayıcı bulunmaktadır. Ön alaşımlı demir tozunun kimyasal bileşimi Tablo 3.1’de, görünür yoğunlukları ve akış hızları Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.1: Ön alaşımlı demir tozunun kimyasal bileşimi (Höganäs, 1996).

Tozun adı	Cu, %	Ni, %	Mo, %	C, %	MnS, %	Yağlayıcı, %	Fe, %
Distaloy AB	1,50	1,75	0,50	0,80	0,50	0,80	Kalan

Tablo 3.2: Ön alaşımlı demir tozunun görünür yoğunluğu ve akış hızı (Höganäs, 1996).

Tozun adı	Görünür Yoğunluk, g/cm ³	Akış Hızı, s/50 g
Distaloy AB	3,05	24

3.1.2. Toz Partikül Boyut Dağılımı

Ön alaşımlı demir tozunun boyut dağılımı yaş metotla çalışan, düşük açılı lazer saçılımı yöntemiyle Malvern-Mastersizer marka cihazda yapılmıştır. Sabit dalga boyundaki bir lazerin kullanıldığı yöntem, kırınım açısının partikül boyutuyla ters orantılı olması esasına dayanır. Toz halindeki numuneler saf su içerisinde dağıtılarak ölçüm yapılır. Numunelerin toplam hacimleri ve yüzey alanlarına dayalı ölçüm neticeleri elde edilir.

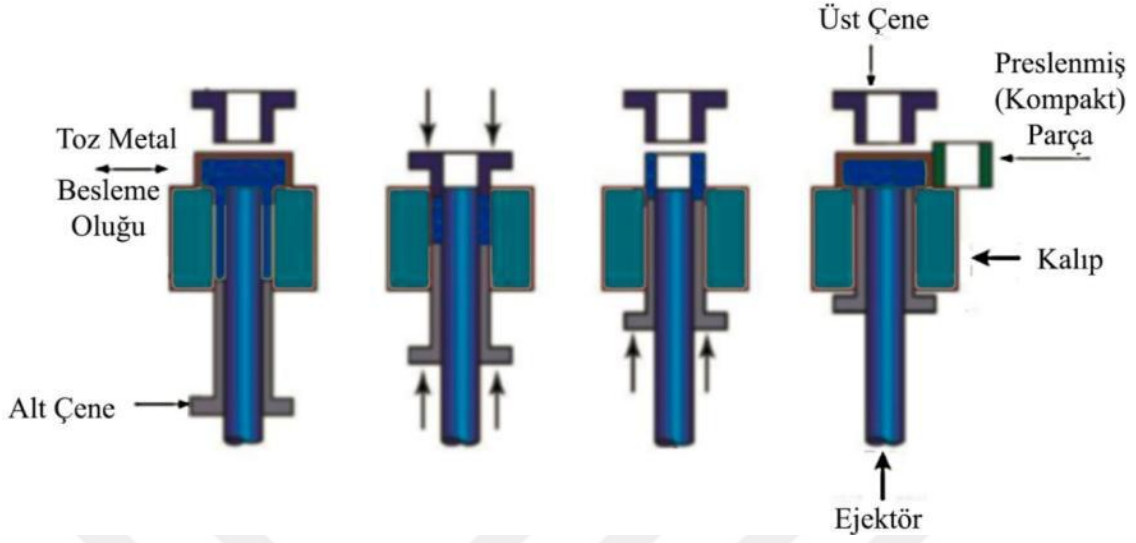
3.1.3. Tozun Morfolojisi

Ön alaşımlı demir tozlarının morfolojileri, iletkenliğin sağlanabilmesi amacıyla çift taraflı karbon bant ile stigelere tutturularak, Jeol JSM-5600 marka Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.

3.2. TOZ METAL PARÇALARIN ÜRETİMİ

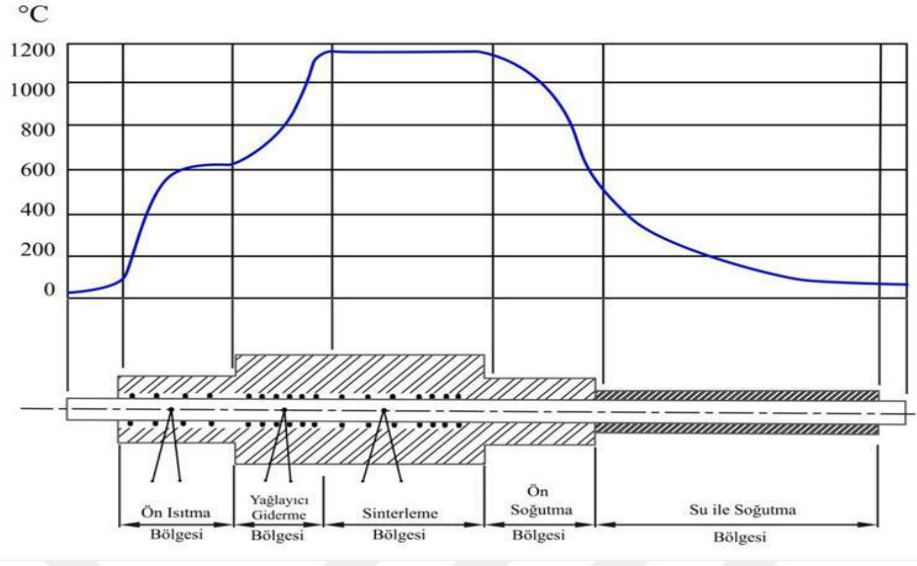
3.2.1. Sinter Parçaların Üretimi

Distaloy AB ön alaşımlı toz karışımı, Stokes marka 100 tonluk pres kullanılarak şekillendirilmiştir. Pres çift tesirli olup alttan ve üstten sıkıştırılmalı, otomatik ve aynı zamanda manuel toz beslemeli ve kendinden boşaltılmalıdır. Alaşımlı demir tozu karışımları dış çapı 20 mm, iç çapı 11,50 mm ve boyu 11,40 mm olan çelik kalıpta preslenmiştir. Ardından 500 MPa pres basınçlarında şekillendirilerek yoğunluğu 7 g/cm^3 ve yükseklik / çap oranı yaklaşık 2 olan içi boş silindirik ham numuneler üretilmiştir. Presleme işlemi sırasında uygulanan işlemlerin şematik gösterimi Şekil 3.1’de görülmektedir. Presleme işlemi, dört aşamada gerçekleşir. Öncelikle pres üzerine adapte edilmiş kalıbın doldurma boşluğuna pabuç vasıtasıyla metal tozları doldurulur. İkinci aşamada üst çene aşağıya doğru, alt çene ise yukarıya doğru hareket eder ve kalıba girer. Burada alttan ve üstten sıkıştırma gerçekleştirilerek parça oluşturulur. Üçüncü aşamada üst çene ilk pozisyonuna dönerken alt çene vasıtasıyla parça kalıptan dışarı çıkarılır. Dördüncü ve son aşamada ise, alt çene ve kalıp ilk pozisyonları olan doldurma pozisyonuna dönerler. Bu döngü kesintisiz olarak devam eder.



Şekil 3.1: Presleme işlemi sırasında uygulanan (Ünal, 2010).

Ham numunelerin sinterlenmesi, British Termal Unit marka maksimum 1150 °C sıcaklığa çıkabilen, 65 kg/saat sinterleme kapasitesine sahip 12 m uzunluğunda ve elektrik enerjisi ile çalışan sürekli bant fırınında, parçalanmış amonyak atmosferi (% 75 H₂ ve % 25 N₂) altında 1130 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sinterleme bölgesinde kalma süresi 30 dakikadır. Şekil 3.2’de sinterleme fırınının sıcaklık profili verilmiştir. Sinterleme fırını, 5 sıcaklık bölgesinden oluşmaktadır. 1. bölge ön ısıtma bölgesi olup işlem sırasında 600 °C sıcaklığında, 2. bölge toz içerisinde bulunan ve presleme işlemini kolaylaştırmaya yarayan organik yağlayıcıların bulundurulduğu bölge olup işlem sırasında 850 °C sıcaklığındadır. Daha sonra sinterleme bölgesi başlamakta ve bu bölge 3 ayrı bölümden oluşmaktadır. İşlem sırasında bu bölgeler ise, 1130 °C sıcaklığındadır. Sinterleme bölgesinden sonra ön soğutma ve soğutma bölgeleri gelmektedir. Soğutma bölgesi, 3 kademedan oluşmaktadır. Sinterleme fırınının soğutma bölgesindeki muffle’ın dışında içinden soğuk su geçirilen borular bulunmaktadır. 1. soğutma kademesindeki soğutma suyu sıcaklığı 60 °C, 2. soğutma kademesindeki soğutma suyu sıcaklığı 40 °C, 3. soğutma kademesindeki soğutma suyu sıcaklığı ise 20 °C şeklinde olup dengeli bir soğutma ortamı sağlanmıştır.



Şekil 3.2: Sinterleme fırını sıcaklık (Ünal, 2010).

3.2.2. Sinter Sonrası Gerilim Giderme Tavlaması

Bir iş parçasında kaynak, döküm, haddeleme, tel çekme, sertleştirme gibi işlemler sonucu, çeşitli bölgeler arasında farklı soğuma hızı, farklı şekil değiştirme miktarı veya içyapı dönüşümleri nedeniyle meydana gelen iç gerilmelerin bertaraf edilmesi *gerilim giderme tavlaması* ile gerçekleştirilir. Bu durum sinter parçaların imalatı esnasında oluşan çeşitli gerilmeleri gidermek içinde geçerlidir. Çalışma kapsamında ürettiğimiz sinter parçaların torna ile işlenmesinden önce gerilim giderme tavlaması yapılmıştır. Tavlama işlemi; 90 kW kapasiteli BMI marka, B5-R model alçak basınç vakum fırınında gerçekleştirilmiştir. İşlem 9 °C ısıtma hızıyla 610 °C’de 2 saat süre ile 1 atm basınç altında gerçekleştirilmiştir. Soğutma fırın ortamında 1 saat 50 dakikada yapılmıştır. Isıtma ve soğutma N₂ gaz atmosferi altında gerçekleştirilmiştir.

3.3. SİNER PARÇALARIN ÖZELLİKLERİNİN TESPİTİ

3.3.1. Yoğunluğu ve Gözenek Oranı

Sinterlenmiş numunelerin yoğunlukları Arşimed Yöntemi’ne göre belirlenmiştir. Yoğunluk ölçümleri, CP2245-OCE model Sartorius marka $\pm 0,001$ g hassasiyette cam koruma kabinli ve yoğunluk belirleme takımına sahip dijital terazide yapılmıştır. Havada ve su içerisinde kütlesi ölçülen numunenin hacmi ve yoğunluğu hesaplanmıştır. Yoğunlukları belirlemek için numuneler 100 °C’de kaynayan saf su içerisinde 1 saat bekletilerek suyun sinter parçanın

gözeneklerine emdirilmesi sağlandıktan sonra numunelerin ağırlık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gözenek oranı; Arşimed Yöntemi'ne göre belirlenen yoğunluğun teorik yoğunluğa oranı ile belirlenmiştir (Sartorius, 1999). Ölçümler 5 numune üzerinde yapılarak ortalamaları alınmıştır.

3.3.2. Mikroyapı İncelemesi

Metalografik inceleme için sinterlenmiş numuneler önce bakalite alınıp daha sonra Metaserv marka aşındırma ve parlatma cihazında sırasıyla 240, 400, 600, 800 ve 1200 gridlik zımparalarla aşındırılmıştır. Bu aşama sonrasında numunelerin yüzeyleri parlatma çuhasında alümina ve saf su kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan numuneler, fazlar arası karışıklık farkının oluşması için % 2'lik nital dağlama reaktifi kullanılarak dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikroyapıları ise Olympus PME3 marka optik mikroskopta incelenmiştir.

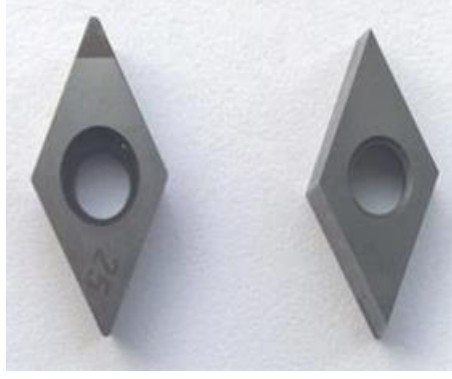
3.4. SİNER PARÇALARIN İŞLENMESİ

3.4.1. Kesici Uçların Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan ticari ismi polikristalli B₃N esaslı PCBN Secomax CBN200 kesici ucun özellikleri Tablo 3.3'de verilmektedir. Şekil 3.3'de CBN200 kesici ucun fotoğrafı verilmiştir. Kesici takım; 0° talaş açısına ve 5° boşluk açısına sahiptir.

Tablo 3.3: Deneysel çalışmada kullanılan B₃N kesici ucun özellikleri.

Tip	CCGW
Boyut	21,51
Malzeme	PCBN
İç Daire (inch)	¼
Kalınlık (inch)	3/32
Köşe Yarıçapı (inch)	1/64
Üretici Kodu	CBN200
Kaplama Türü	Kaplamasız
Biçim	Elmas



Şekil 3.3: CBN200 B₃N kesici uç.

3.4.2. Kesme Parametreleri

Sinter parçalara ortogonal yüzey tornalama işlemi uygulanmıştır. İşlem; YouJi Machine Industrial Co. Ltd. tarafından üretilen, X ve Z eksenli, 550 mm işleme kursuna ve 3000 RPM devire sahip CNC tezgâhta yapılmıştır. Şekil 3.4 (a)'da tezgâhın fotoğrafı ve (b)'de ise parçanın tezgâhta işlenme görüntüsü verilmiştir. Tüm işlemler herhangi bir soğutma kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Sinterlenmiş ve ardından gerilim giderme tavlaması yapılmış numunelere uygulanan kesme parametreleri Tablo 3.4'de verilmiştir. Bu çalışmada; kesme hızları 50, 150 ve 250 m/dak, kesme ilerlemeleri 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ve kesme derinlikleri 0,2, 0,4 ve 0,6 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4: Deneysel çalışmada kullanılan CNC tezgâhı.

Tablo 3.4: Deneysel çalışmada kullanılan kesme parametreleri.

Deney No	İlerleme Hızı (f), mm/dev	Kesme Hızı(V),m/dak	Kesme Derinliği (a), mm
1	0,05	50	0,2
2	0,10		
3	0,15		
4	0,05		0,4
5	0,10		
6	0,15		
7	0,05		0,6
8	0,10		
9	0,15		
10	0,05	150	0,2
11	0,10		
12	0,15		
13	0,05		0,4
14	0,10		
15	0,15		
16	0,05		0,6
17	0,10		
18	0,15		
19	0,05	250	0,2
20	0,10		
21	0,15		
22	0,05		0,4
23	0,10		
24	0,15		
25	0,05		0,6
26	0,10		
27	0,15		

3.4.3. İşlem Sonrası Gerilim Giderme Tavlaması

Tornalama esnasında sinter parçalarda oluşan gerilimleri ortadan kaldırmak için; Bölüm 3.2.2’de işlem öncesi sinter parçalara uygulanan gerilim giderme tavlaması, işlem sonrası parçalara tekrar uygulanmıştır.

3.5. İŞLEM GÖRMÜŞ PARÇALARIN KARAKTERİZASYONU

Literatürde işlenebilirlik birçok test yöntemini içerir. Bunlar; takım ömrü veya aşınma testleri, yüzey bitirme testleri, kesme kuvvetleri veya güç tüketimi testleri, kesme sıcaklığı testleri, talaş debisi (talaş kaldırma oranı) ve talaş oluşumu olarak ortaya çıkmaktadır (Şalak ve diğ., 2005). Bu çalışmada; bu yöntemlerin tamamı ele alınarak aşağıda detayları verilmiştir.

3.5.1. Talaş Morfolojilerin İncelenmesi

İşleme sonucu elde edilen talaş morfolojilerinin fotoğrafı; Nikon marka SMZ800 model stereo mikroskopta AverTV GO 007 Plus programı kullanılarak çekilmiştir. Talaş morfolojileri; ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre üç farklı değişken parametreye göre gruplandırılmıştır. Her parametrede kendi arasında üç farklı değerle ele alınmıştır.

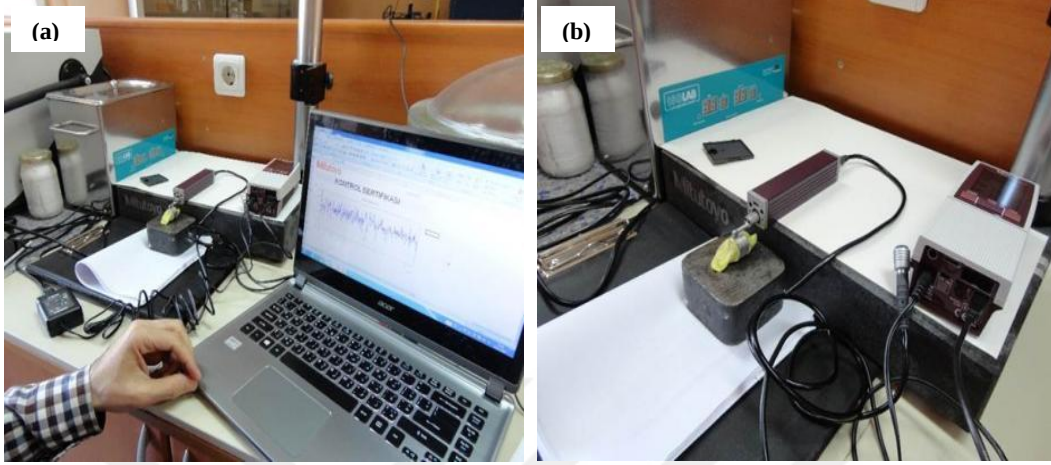
3.5.2. Talaş Debi Ölçümü

Talaş debisi birim zamanda kaldırılan talaş miktarının bir ölçüsüdür ve talaş kaldırma oranı (Material Removal Rate) MRR olarak da ifade edilir. Birimi genellikle mm^3/dk ’dır. Deneysel çalışmamızda; kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızının farklı değerlerinde işlenen numunelerden alınan talaşlar üzerinde talaş debileri hesaplanmıştır. 1 dakikada işlenen parçalardan alınan talaş miktarı CP2245-OCE model Sartorius marka $\pm 0,001$ g hassasiyette cam koruma kabinli dijital terazide belirlenmiştir. Talaş miktarı ve yoğunluk değerlerinden talaş hacim değerleri hesaplanmış ve talaş debisine geçilmiştir.

3.5.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

İşlenebilirliğin değerlendirilmesinde yüzey pürüzlülüğünün bilinmesi oldukça önemlidir. İşlenmiş numunelerin yüzey pürüzlülüğü, Mitutoyo marka SurfTest SJ-210 model cihazda Surface Roughness Tester SJ-210/310/410 programı kullanılarak tespit edilmiştir. Çalışmamızda işlenen yüzeylerin silindirik olması yüzey pürüzlülük ölçümlerini zorlaştırırsa da özel bir macunla numuneleri ölçüm standına sabitleyerek işlemi gerçekleştirdik. Cihazın,

ölçüm yapılan standın ve ölçülen numuneye ait çekilen fotoğraf Şekil 3.5'te verilmiştir. Cihazın özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5: Yüzey pürüzlülük ölçümü.

Tablo 3.5: Yüzey pürüzlülük ölçümünde kullanılan cihazın özellikleri.

Model	Mitutoyo SurfTest SJ-210
Ölçme Hızı, mm/s	0,25 , 0,5 , 0,75
Ölçme Kuvveti, Mn	0,75
Uç Malzemesi	Elmas
Kesme Uzunluğu(λ_c), mm	0,08 , 0,25 , 0,8 , 2,5
Değerlendirme Uzunluğu, mm	0,3 - 16 , 0,01 aralığında

3.5.4. Sertlik Ölçümleri

3.5.4.1. Brinell Sertlik Ölçümleri

İşlenmiş numunelerin Brinell sertlik ölçümleri; 62 kg yük kapasiteli 2,5 mm bilye çapına sahip OMAG marka 206-RT model cihazda yapılmıştır. İşlenmemiş numune yüzeylerinin de sertlik ölçümleri yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Ölçümler numune üzerinden dört farklı noktadan yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır.

3.5.4.2. Rockwell Sertlik Ölçümleri

İşlenmiş numunelerin Rockwell sertlik ölçümleri; 980 N yük kapasiteli 2,5 mm bilye çapına sahip OMAG marka 206-EX model cihazda yapılmıştır. İşlenmemiş numune yüzeylerinin de

sertlik ölçümleri yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Ölçümler numune üzerinden üç farklı noktadan yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır.

3.5.5. Takım Ömrünün Belirlenmesi

İşlenebilirlik testleri içerisinde en önemlisi ve en yoğun kullanılanı olarak bilinen takım ömrünün belirlenmesinde; ticari ismi polikristalli B₃N esaslı PCBN Secomax CBN200 kesici ucu kullanılmıştır. Kesici takım; 0° talaş açısına ve 5° boşluk açısına sahiptir. Takım ömrünü belirlemek için deneyler YouJi Machine Industrial Co. Ltd. tarafından üretilen, X ve Z eksenli, 550 mm işleme kursuna ve 3000 Rpm devire sahip CNC tezgâhta yapılmıştır.

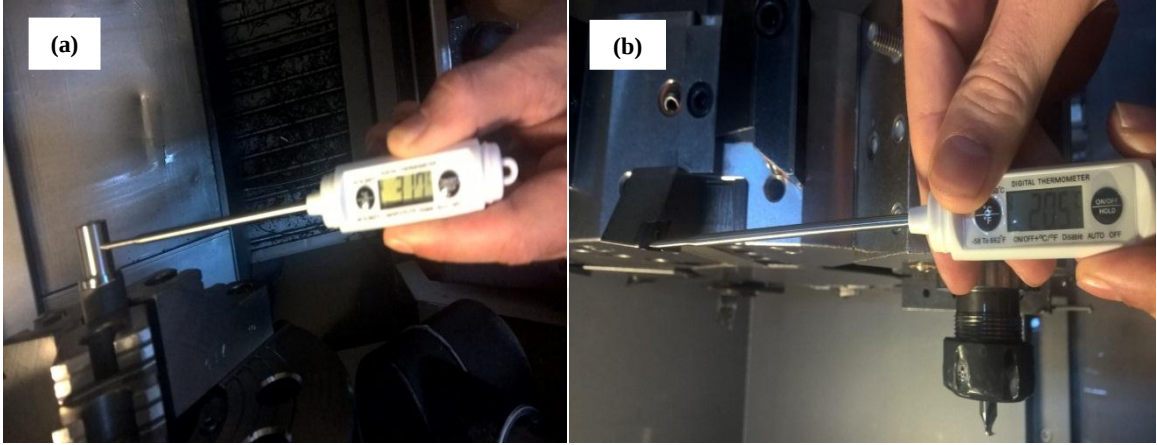
Takım ömrü belirleme işlemleri; deneysel çalışmamızda kullandığımız kuru ortam ve karşılaştırma amacıyla kesme sıvısı ortamında yapılmıştır. Kesme sıvısı olarak; % 3 yağ (Apexsol CT-Mineral Bor Yağı) ile % 97 su karışımı kullanılmıştır. İşlenebilirlik testlerinde; takım ömrü (zaman) ve kesme hızı arasındaki ilişki ele alınmıştır. Bu ilişki literatürde; “Taylor takım ömrü testi” olarak bilinir (ASM, 1989). Takım ömrünün belirlenmesi için yapılan testlerde; kesme hızları 50, 150 ve 250 m/dak olarak değişirken ilerleme hızı 0,15 mm/dev ve kesme derinliği 0,6 mm olarak sabit değerde tutulmuştur.

3.5.6. İşlem Esnasında Takım Ucu ve İş Parçası Yüzey Sıcaklığının Ölçümü

İşlenebilirliğin belirlenmesinde; işlem esnasında gerek kesici takım sıcaklığı gerekse işlenen parçanın yüzey sıcaklığı oldukça önemli rol oynar. Bu çalışmada da işlenebilirliği tam olarak açıklayabilmek adına; kesici ucun ve işlenen parçaların yüzey sıcaklığına bakılmıştır. Sıcaklık ölçüm işlemi karşılaştırma amacıyla kuru ve kesme sıvısı kullanılan ortamlarda yapılmıştır. Sıcaklık ölçümü testlerinde; kesme hızları 50, 150 ve 250 m/dak olarak değişirken ilerleme hızı 0,15 mm/dev ve kesme derinliği 0,6 mm olarak sabit tutulmuştur. Kesici takım ve iş parçası yüzey sıcaklık ölçümünde kullanılan dijital termometrenin özellikleri Tablo 3.6’da verilmiştir. İş parçası ve kesici ucun sıcaklık ölçümü ve kullanılan termometrenin görüntüsü Şekil 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6: Dijital termometrenin özellikleri.

Ayrıntılar	Özellikler
Ekran	LCD
Sıcaklık Ölçümü	° C / ° F
Sıcaklık Aralığı	-50 ° C ~ +350 ° C
Sıcaklık Hassasiyeti, Doğruluk	80 °C'ye kadar ± 1 ° C
Sıcaklık Çözünürlüğü	0.1 ° C
Güç Kaynağı	2 * AG13 / 357A (1.5V) pil
Boyut	200-115x20mm

**Şekil 3.6:** (a) iş parçası ve (b) kesici ucun dijital termometre ile sıcaklık ölçümü.

3.5.7. SEM Analizleri

3.5.7.1. Kesici Uçların SEM Analizleri

Kesici uçların aşınan yüzeylerinin görüntü analizleri; FEI marka Quanta FEG450 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. Şekil 3.7’de SEM cihazı fotoğrafı verilmiştir. SEM görüntüleri 100, 300, 500 ve 1000 büyütme ile çekilmiştir. Uçların aşınan kısımlarını daha iyi görüntülemek için uçlar numune tutuculara dik bir konumda yerleştirilmiştir. Uçların SEM görüntülerinde; kesme hızları 50, 150 ve 250 m/dak olarak değiştirken ilerleme hızı 0,15 mm/dev ve kesme derinliği 0,6 mm olarak sabit tutulmuştur. Kuru ve kesme sıvısı kullanılan ortamda çalışma sonucu aşınan uçların SEM görüntüleri de karşılaştırma amacıyla çekilmiştir. Kesici uçlarda iletkenliğin daha iyi sağlanması için numuneler çift taraflı karbon bant kullanılarak numune tutuculara yerleştirilmiştir.



Şekil 3.7: SEM cihazı.

3.5.7.2. İşlem Görmüş Yüzeylerin SEM Analizleri

Sinterlenen numunelerin işlem görmüş yüzeylerinin görüntü analizleri; FEI marka Quanta FEG450 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. SEM görüntüleri 25, 50, 100 ve 250 büyütme ile çekilmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri; ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre üç farklı değişken parametreye göre ayrılmıştır. Sinterlenmiş numunelerde, iletkenliğin daha iyi sağlanması için numuneler çift taraflı karbon bant kullanılarak numune tutuculara yerleştirilmiştir.

3.6. KESME KUVVETLERİ ÖLÇÜMÜ

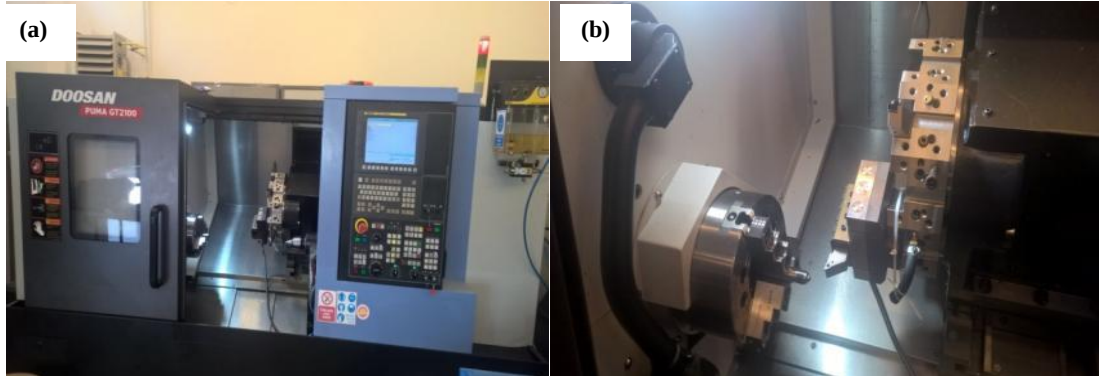
Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri, kesme performansına ve birim parça maliyetine doğrudan etki etmektedir. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, takım tasarımını optimize edilmesi ve kesmenin bilimsel analizi için gereklidir. Sinter parçalara yüzey tornalama işlemi uygulanmıştır. İşlem; Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesindeki Doosan Puma GT2100 markalı CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Tablo 3.7’de Doosan Puma GT2100 markalı CNC torna tezgâhı özellikleri verilmiştir. Kuvvetler Kistler 9129AA dinamometresi ile ölçülmüştür ve elde edilen ölçümler Dynoware yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Tablo 3.8’de Kistler 9129AA tipi dinamometre özellikleri verilmiştir. Şekil 3.8 (a)’da tezgâhın fotoğrafı ve (b)’de parçanın tezgâhta işlenme görüntüsü verilmiştir. Tüm işlemler herhangi bir kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.7: Doosan Puma GT2100 markalı CNC torna tezgâhı özellikleri.

Model Adı		GT2100	
Kapasite	Azami Tornalama Çapı	390 mm	
	Azami Tornalama Boyu	562 mm	
	Azami Çubuk Sürme Çapı	65 mm	
Ana İş Mili	Ayna Ölçüsü	8 İnç	
	İş mili Motor Gücü	18,5 KW	
	Azami İş mili Devri	4500 dev/dak	
	Torku	183,1 N.m	
Güç Aktarma Metodu		Kayıslı Tip	
Eksenler	Kızak Tip		Kutu (Sürtünmeli) Kızak
	Boştaki Hızları	X-Ekseni	24 m/dak
		Z-Ekseni	30 m/dak
Taret	Takım Adedi		12
	Dış Çap Takım Tutucusu		25x25 mm
	Delik Takım Tutucusu		40 mm

Tablo 3.8: Kistler 9129AA tipi dinamometre özellikleri.

Ayrıntılar	Özellik
Çalışma Aralığı	-10 / +10 kN
Kuvvet Bileşenleri	F _x , F _y , F _z
Doğal Frekans	3,5 kHz
Ölçüm Sıcaklık Aralığı	0-70 °C
Ağırlık	3,2 kg
Boyut	150x107 mm

**Şekil 3.8:** Kesme kuvvetleri ölçümünde kullanılan CNC tezgâhı.

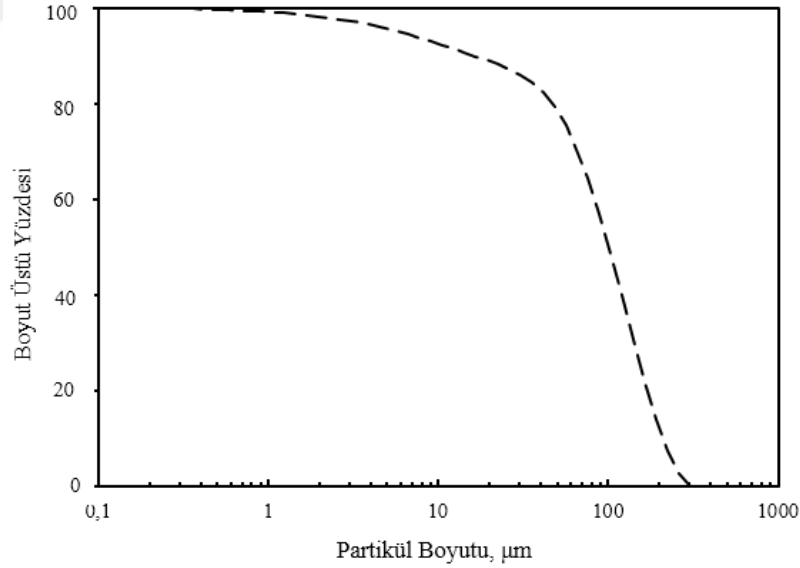
4. BULGULAR

Ön alaşımlı demir tozundan toz metalürjisi yöntemiyle elde edilen silindirik kompakt parçaların farklı kesme parametreleri kullanılarak işlenmesi sonucu elde edilen numunelerin işlenebilirlik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

4.1. KULLANILAN MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ

4.1.1. Tozun Partikül Boyut Dağılımı

Ön alaşımlı demir tozunun partikül boyut dağılımı yaş metotla çalışan, düşük açılı lazer saçılımı yöntemiyle Malvern-Mastersizer marka cihazda yapılmıştır. Tozun partikül boyut dağılımı Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1: Partikül boyut dağılımı.

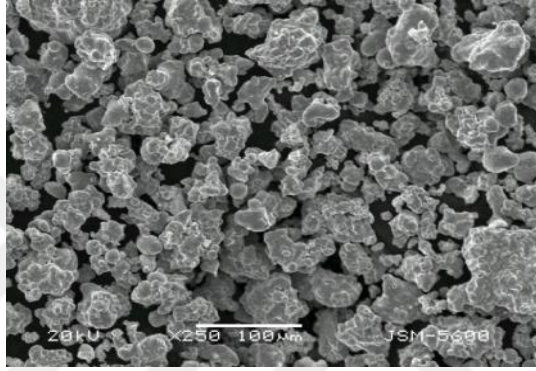
Ön alaşımlı demir tozunun ortalama partikül boyutu 112,36 µm’dir. %10, %50 ve %90 oranlarındaki kümülatif boyut dağılımına karşılık gelen demir tozlarının partikül boyutları ise Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1: Kümülatif boyut dağılımına karşılık gelen partikül boyutları.

Tozun adı	D ₁₀ , µm	D ₅₀ , µm	D ₉₀ , µm
Distaloy AB	17,81	102,45	196,27

4.1.2. Tozun Morfolojisi

Taramalı Elektron Mikroskopunda incelenen tozun morfolojisi Şekil 4.2’de verilmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, tozun küresele yakın tanelerin bir araya gelmesi sonucu oluştuğu dolayısıyla atomizasyon yöntemiyle üretildikleri anlaşılmaktadır.

**Şekil 4.2:** Tozun morfolojisi.

4.2.SİNER PARÇANIN ÖZELLİKLERİ

4.2.1. Yoğunluğu ve Gözenek Oranı

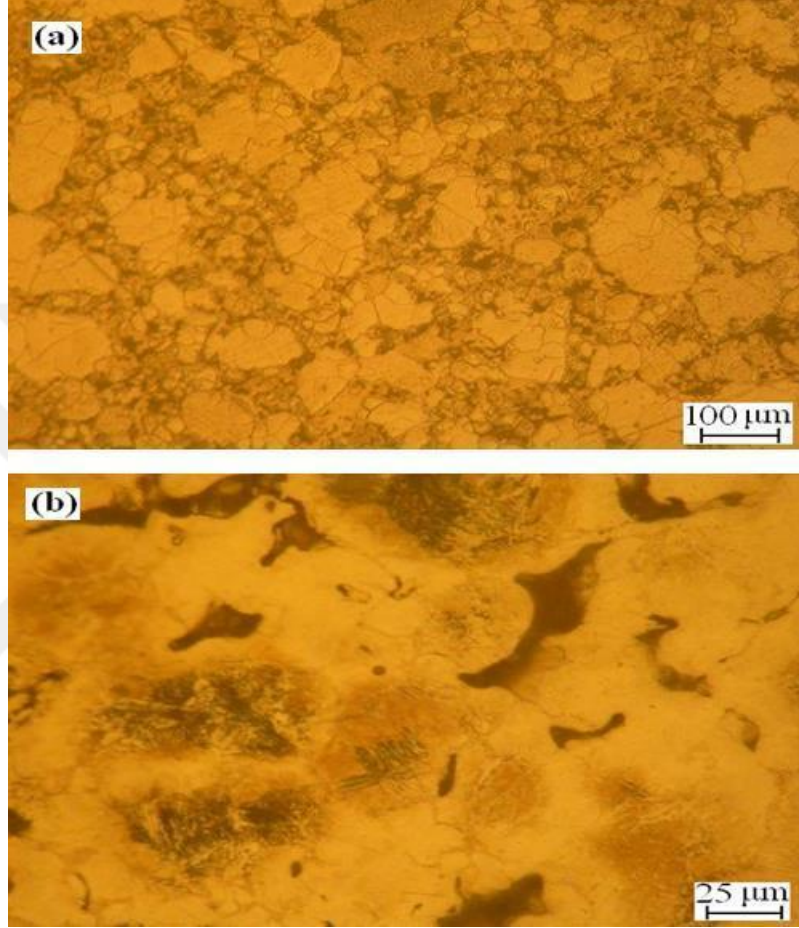
Toplam beş numune üzerinde Arşimed Yöntemi’ne göre belirlenen ve ortalaması alınan, yoğunluk ve toplam gözenek oranları Tablo 4.2’de verilmiştir. Tabloya göre parçalarımızın ortalama yoğunluğu 7,26 g/cm³ ve toplam gözenek oranı % 6,96’dır.

Tablo 4.2: Sinter parçaların yoğunluk ve gözenek oranları.

Numune	Yoğunluk, g/cm ³	Toplam gözenek oranı, %
1. Numune	7,25	7,17
2. Numune	7,26	7,04
3. Numune	7,29	6,65
4. Numune	7,22	7,55
5. Numune	7,31	6,40
Ortalama	7,26	6,96

4.2.2. Mikroyapı İncelemesi

Sinterlenmiş numunelerin optik mikroskop çalışması yapılarak, mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Sinterlenmiş Distaloy AB numunelerin mikroyapı fotoğrafları; farklı büyütme oranlarında Şekil 4.3 (a) ve (b)'de verilmektedir.



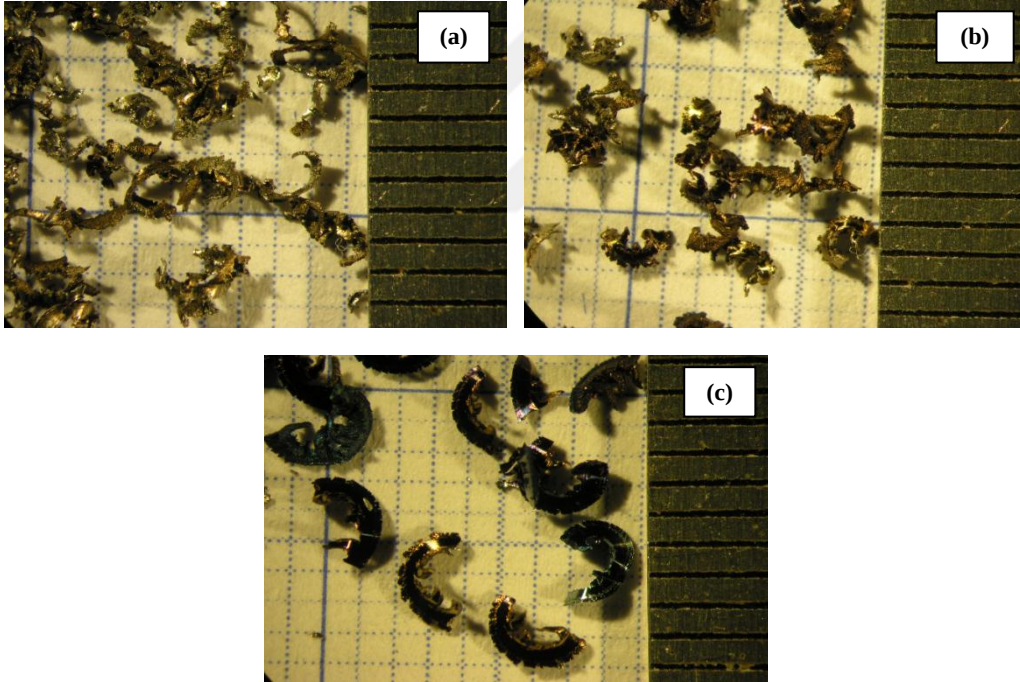
Şekil 4.3: Distaloy AB numunelerinin mikroyapı fotoğrafları.

Şekil 4.3 incelendiğinde; Distaloy AB tozundan üretilen kompakt numunelerin ferrit, perlit, nikelce zengin ferrit adacıkları ve beynit yapılarından oluştuğu görülmektedir. Numunelerin soğuması sinterleme ortamında fırın içerisinde gerçekleştirildiğinden mikroyapıda martensitik faz oluşumuna rastlanmamıştır.

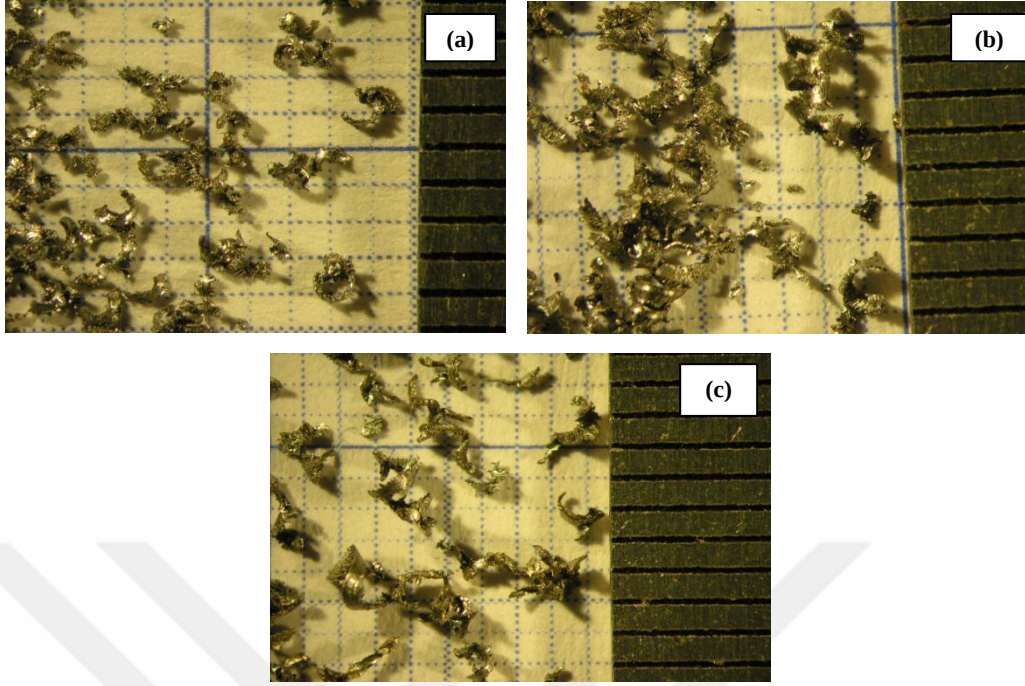
4.3. İŞLENMİŞ PARÇALARIN KARAKTERİZASYONU

4.3.1. Talaş Morfolojileri

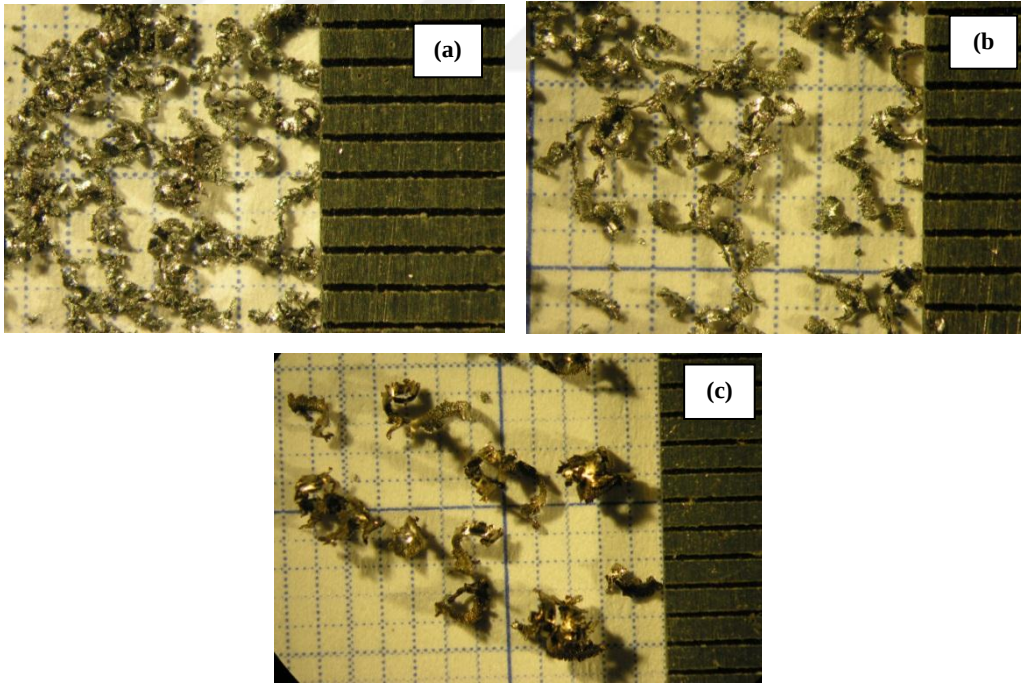
Talaş morfolojilerinin değerlendirilmesi; ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre üç farklı değişken parametreye göre ele alınarak, her bir parametrede kendi arasında üç farklı değerde gruplandırılmıştır. İşleme sonucu elde edilen talaş morfolojilerinin fotoğrafları; 250 m/dk kesme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde; 0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarında sırasıyla; Şekil 4.4 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. 150 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızında; 0,2, 0,4 ve 0,6 mm kesme derinliklerinde sırasıyla; Şekil 4.5 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. 0,4 mm kesme derinliği ve 0,10 mm/dev ilerleme hızında; 50, 150 ve 250 m/dak. kesme hızlarında sırasıyla; talaş morfolojilerinin fotoğrafları Şekil 4.6 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir.



Şekil 4.4: 0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarında talaş morfolojileri.



Şekil 4.5: 0,2, 0,4 ve 0,6 mm kesme derinliklerinde talaş morfolojileri.



Şekil 4.6: 50, 150 ve 250 m/dak. kesme hızlarında talaş morfolojileri.

Tornalama gibi aralıksız talaş kaldırma işleminde talaş oluşumu, iş parçası kalitesi ve kesici takım ömrü bakımından oldukça önemlidir. Çoğu durumda, süreksiz talaş tipi veya kısa helisel boru şeklinde talaş tipleri arzu edilen talaş tipidir. Kısa talaşın oluşumu, operatörün çalışma emniyeti, kesici takım ve tezgâhın güvenliği, işlenmiş yüzeyin talaşlardan dolayı yüzey kalitesinin bozulmaması ve talaşların tahliyesinin kolaylığı açısından önemlidir (Çelik, 1994, Oxley,1989).

En iyi talaş tipi kısa tüp, spiral tüp ve spiral şeklinde oluşan talaş tipleridir. Ayrıca, helisel talaş, uzun tüp, uzun ve kısa virgül şeklinde oluşan talaş tiplerini de kabul edilebilir olarak sınıflandırılmaktadır. Fakat şerit ve karışık talaş, sarmal şeklinde talaş oluşumları, verimli bir talaşlı imalat için tavsiye edilmeyen talaş tipi olarak sınıflandırılmıştır (Klocke, 2010, Zeyveli ve Demir, 2009).

Şekil 4.4'te; en düşük ilerleme hızında 0,05 mm/dev elde edilen talaşlar incelendiğinde ilerleme miktarı düşük olan işlemlerde ortalama olarak 1 mm boyunda karmaşık talaşlar elde edilirken, ilerleme miktarının 0,10 mm/dev çıkmasıyla daha uzun ortalama 2 mm uzunluğunda daha kalın, karışık sarmal ve kısa spiral tipli talaş oluşumu görülmektedir. İlerleme miktarının 0,15 mm/dev artmasıyla daha uzun ortalama olarak 3 mm boylu çok net kısa virgül şekilli talaşların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca artan ilerleme hızıyla talaş renginin daha koyu olduğu belirgin bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4.5'te; talaş formları incelendiğinde; 0,2 mm kesme derinliğinde çok kısa, ortalama 1 mm boyutunda, kısa tüp ve spiral tüp şekilli talaş elde edilirken; kesme derinliğinin 0,4 mm'ye artmasıyla oluşan talaş boyunun yaklaşık bir buçuk katına çıktığı ve kısa tüp şeklinde olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin 0,6 mm'ye artmasıyla talaş boyutunun yaklaşık 2 mm olduğu, daha kalın, uzun ve net bir şekilde karmaşık şekilli talaşların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca artan kesme derinliğinin talaş rengi üzerine etkisi olmamıştır.

Şekil 4.6'da; talaş formları incelendiğinde; 50 m/dak kesme hızında 1,5 mm boyunda kısa ve karmaşık şekilli talaşlar elde edilirken, kesme hızının 150 m/dak'ya artmasıyla karmaşık şekilli ortalama olarak 2 mm boyutunda talaşların oluştuğu görülmektedir. Kesme hızının 250 m/dak'ya artmasıyla ise talaş boyunun daha uzun olduğu, kalınlığının arttığı ve talaş şeklin daha karışık olduğu görülmektedir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla, talaş renginin daha koyu olduğu net bir şekilde görülmektedir.

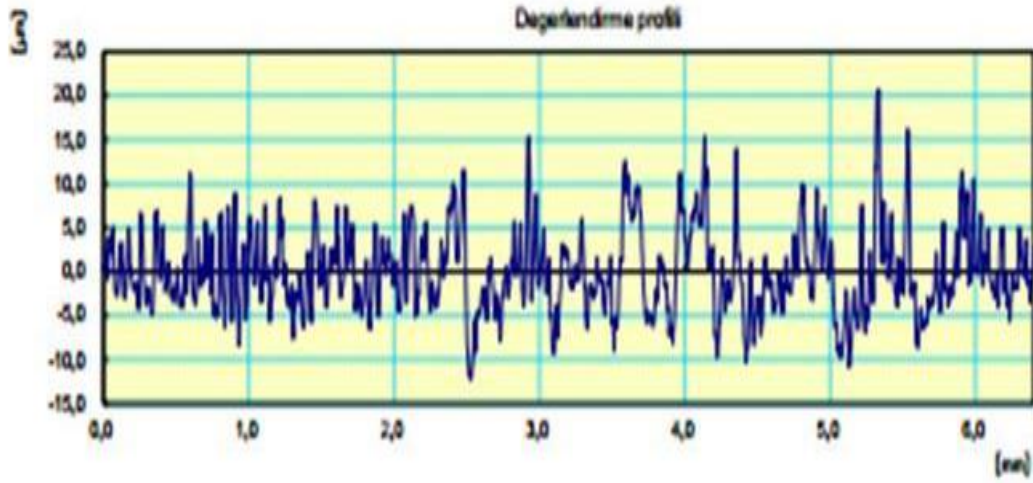
4.3.2. Talaş Debileri

Talaş miktarı ve yoğunluk değerlerinden talaş hacim değerleri hesaplanmış ve talaş debisine geçilmiştir. Talaş debilerinin değerlendirilmesi; ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre üç farklı değişken parametrede ele alınarak, her bir parametrede kendi arasında üç farklı değerde gruplandırılmıştır. Hesaplanan teorik olarak talaş debi değerleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3: İlerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre talaş debi sonuçları.

İlerleme Hızı, mm/dev	Kesme Derinliği, mm	Kesme Hızı, m/dak	Ağırlık, g	Hacim, cm ³	Hacim, mm ³	Talaş Debi, mm ³ /dak
0,10	0,4	50	0,4111	0,0579	57,9	2000
		150	0,4578	0,0645	64,5	6000
		250	0,4783	0,0674	67,4	10000
0,15	0,2	150	0,3351	0,0472	47,2	4500
	0,4		0,6145	0,0866	86,6	9000
	0,6		0,8949	0,1261	126,1	13500
0,05	0,6	250	0,4141	0,0584	58,4	7500
0,10			1,1810	0,1664	166,4	15000
0,15			1,9001	0,2677	267,7	22500

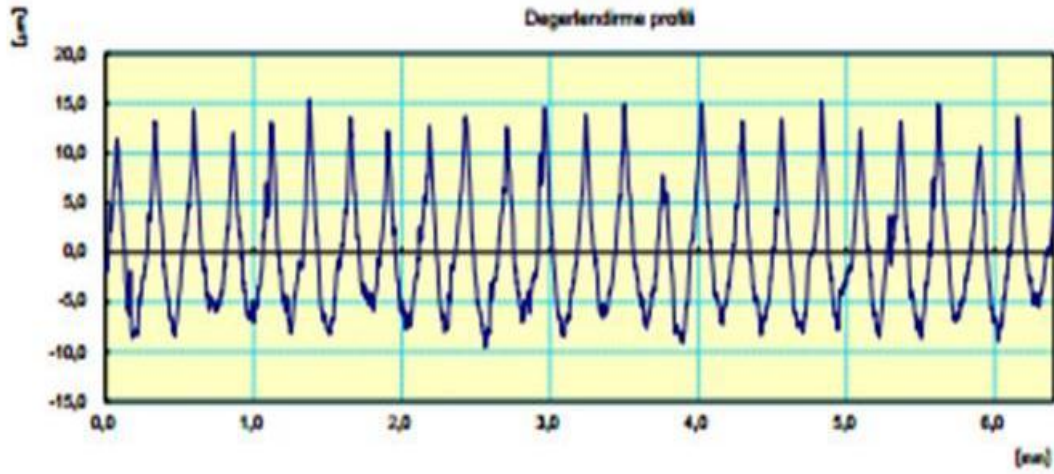
Tablo 4.3’e göre kesme hızının, kesme derinliğinin ve ilerleme hızının artması ile talaş debisi artmıştır. Kesme hızının artmasının talaş debisi üzerine etkisi diğer parametrelere göre daha azdır. İlerleme hızının etkisi de oldukça fazladır. Talaş debisi yani birim zamanda kaldırılan talaş miktarı güç ile ilişkilidir. Birim zamanda daha fazla miktarda talaş kaldırılan malzeme işlenebilirlik olarak daha iyi kabul edilir (Yılmaz, 2006). Elde edilen sonuçlara göre en iyi talaş kaldırma kabiliyeti 250 m/dak, 0,6 mm ve 0,15 mm/dev ile işlenmiş numunede tespit edilmiştir. Kesme hızının 50 m/dak’dan 250 m/dak değerine artması ile talaş debisi yaklaşık % 14 artmıştır. Kesme derinliğinin 0,2 mm’den 0,6 mm’ye artması ile talaş debisi yaklaşık 2,5 kat artmıştır. İlerleme hızının 0,05 mm/dev’den 0,15 mm/dev değerine çıkması ile talaş debisi yaklaşık 4,5 kat artmıştır. Kesme derinliği ve ilerleme hızına göre elde edilen sonuçlar, yüzey pürüzlülük sonuçları ile uyum içersindedir.



Çalışma adı	Örnek	Operator	Mitutoyo
Ölçüm Cihazı	SurfTest	Açıklama	Ver2.00
Standart	ISO 1997	N	8
Profil	R	Adım	0.8mm
λ_s	2.5µm	Filtre	GAUSS
Ra	3.644 µm		
Rz	21.962 µm		
Rt	32.842 µm		

Copyright (C) 2013 Mitutoyo Corporation

Şekil 4.8: 150 m/dak kesme hızıyla işlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü sonuçları.



Çalışma adı	Örnek	Operator	Mitutoyo
Ölçüm Cihazı	SurfTest	Açıklama	Ver2.00
Standart	ISO 1997	N	8
Profil	R	Adım	0.8mm
λs	2.5µm	Filtre	GAUSS
Ra	5.061 µm		
Rz	23.432 µm		
Rt	25.005 µm		

Copyright (C) 2013 Mitutoyo Corporation

Şekil 4.9: 250 m/dak kesme hızıyla işlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Numunelerin işlenmiş yüzeylerinde ki; aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), parçanın tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamından elde edilen maksimum tepe-çukur yüksekliği (Rt) ve ortalama pürüz yüksekliği (Rz) pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve tablolar halinde verilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm deney parametrelerinin; Ra, Rt ve Rz yüzey pürüzlülük değerlerinin sonuçları sırasıyla; Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.4: Ra yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Kesme Hızı, m/dak	Kesme Derinliği, mm	İlerleme Hızı, mm/dev	Ra 1	Ra 2	Ra 3	Ortalama Ra
50	0,2	0,05	6,449	7,012	6,542	6,667
		0,10	4,975	4,127	3,749	4,283
		0,15	5,003	6,491	4,464	5,319
	0,4	0,05	6,176	7,019	5,959	6,384
		0,10	5,937	6,495	5,770	6,067
		0,15	6,495	6,674	6,385	6,518
	0,6	0,05	8,881	8,662	7,983	8,508
		0,10	8,943	8,117	8,290	8,450
		0,15	8,184	6,349	7,442	7,325
150	0,2	0,05	2,480	2,151	2,182	2,271
		0,10	3,345	3,207	3,392	3,314
		0,15	4,744	5,317	5,363	5,141
	0,4	0,05	3,644	4,195	3,932	3,923
		0,10	6,185	6,566	5,948	6,233
		0,15	6,075	5,269	6,101	5,815
	0,6	0,05	3,521	3,545	3,398	3,488
		0,10	6,328	5,766	6,284	6,126
		0,15	6,779	7,637	6,237	6,884
250	0,2	0,05	4,182	4,178	4,240	4,200
		0,10	4,122	4,375	4,395	4,297
		0,15	5,922	5,618	6,262	5,934
	0,4	0,05	5,177	5,342	5,061	5,193
		0,10	2,963	2,934	2,971	2,956
		0,15	3,821	3,322	3,462	3,535
	0,6	0,05	2,801	2,662	2,732	2,731
		0,10	2,943	2,914	2,882	2,913
		0,15	4,677	4,960	4,938	4,858

Tablo 4.5: Rt yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

Kesme Hızı, m/dak	Kesme Derinliği, mm	İlerleme Hızı, mm/dev	Rt 1	Rt 2	Rt 3	Ortalama Rt
50	0,2	0,05	53,736	50,151	47,964	50,617
		0,10	53,305	43,587	36,723	44,538
		0,15	37,175	53,393	46,118	45,562
	0,4	0,05	40,318	58,453	41,636	46,802
		0,10	48,214	63,664	41,863	51,247
		0,15	51,414	52,546	58,680	54,213
	0,6	0,05	64,039	60,627	49,943	58,203
		0,10	67,033	62,675	75,815	68,507
		0,15	60,629	51,928	60,922	57,826
150	0,2	0,05	20,970	21,126	21,542	21,212
		0,10	24,270	22,038	25,259	23,855
		0,15	38,674	50,050	45,212	44,645
	0,4	0,05	32,842	38,633	34,167	35,214
		0,10	41,654	48,844	45,083	45,193
		0,15	38,163	125,23	48,292	70,561
	0,6	0,05	27,193	31,172	30,321	29,562
		0,10	55,019	47,924	45,837	49,593
		0,15	55,023	46,346	47,277	49,548

Tablo 4.5 (devamı): Rt yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

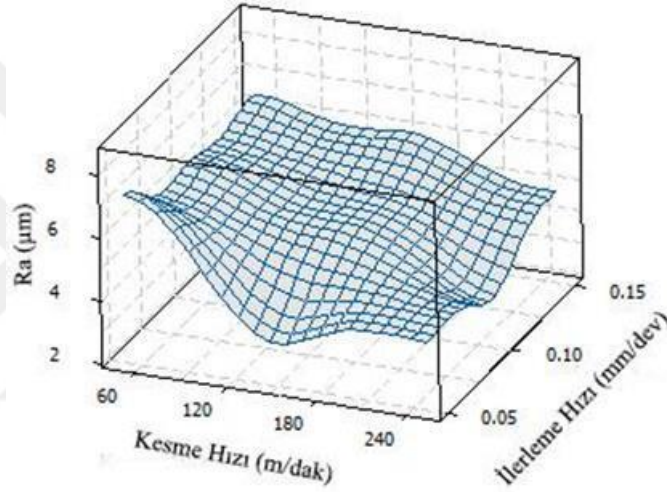
250	0,2	0,05	44,496	46,041	42,762	44,433
		0,10	34,665	29,220	29,038	30,974
		0,15	40,903	30,490	38,265	36,552
	0,4	0,05	28,328	26,957	25,005	26,763
		0,10	19,397	23,536	23,421	22,118
		0,15	30,431	24,286	24,246	26,321
	0,6	0,05	22,780	17,977	20,733	20,496
		0,10	15,805	16,016	16,226	16,015
		0,15	21,678	24,117	22,819	22,871

Tablo 4.6: Rz yüzey pürüzlülüğü sonuçları.

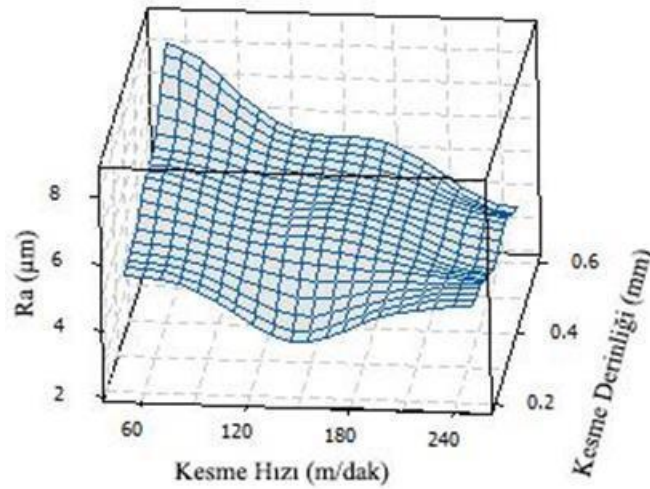
Kesme Hızı, m/dak	Kesme Derinliği, mm	İlerleme Hızı, mm/dev	Rz 1	Rz 2	Rz 3	Ortalama Rz
50	0,2	0,05	35,512	35,777	32,158	34,482
		0,10	29,503	24,417	20,863	24,927
		0,15	26,373	34,945	28,324	29,880
	0,4	0,05	30,663	37,171	29,949	32,594
		0,10	32,572	34,602	28,075	31,749
		0,15	36,684	35,606	33,419	35,236
	0,6	0,05	41,671	42,878	37,511	40,686
		0,10	44,282	39,810	41,172	41,754
		0,15	40,868	34,267	39,022	38,052
150	0,2	0,05	16,212	13,865	14,088	14,721
		0,10	19,727	18,358	20,443	19,509
		0,15	26,780	29,631	29,000	28,470
	0,4	0,05	21,952	25,888	23,265	23,701
		0,10	31,551	36,349	32,985	33,628
		0,15	31,513	39,215	34,696	35,141
	0,6	0,05	22,355	21,990	21,043	21,796
		0,10	33,203	33,027	36,422	34,217
		0,15	36,178	37,351	33,673	35,734
250	0,2	0,05	27,018	25,571	25,948	26,179
		0,10	20,788	22,470	22,244	21,834
		0,15	30,136	26,226	30,797	29,053
	0,4	0,05	23,566	23,777	23,432	23,591
		0,10	15,355	15,851	15,840	15,682
		0,15	21,044	17,933	19,508	19,495
	0,6	0,05	16,535	13,791	14,063	14,796
		0,10	13,951	13,388	13,582	13,640
		0,15	20,215	21,746	21,706	21,222

Numunelerin işlenmiş yüzeylerinde ki; Ra, Rt ve Rz yüzey pürüzlülük değerlerinden elde edilen tablolardaki kesme parametresi etkilerinin daha net değerlendirilmesi için grafikler çizilmiştir. Grafik çizimleri; Box-Behnken istatistiksel deney tasarım yöntemi ve Minitab yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sırasıyla; Ra yüzey

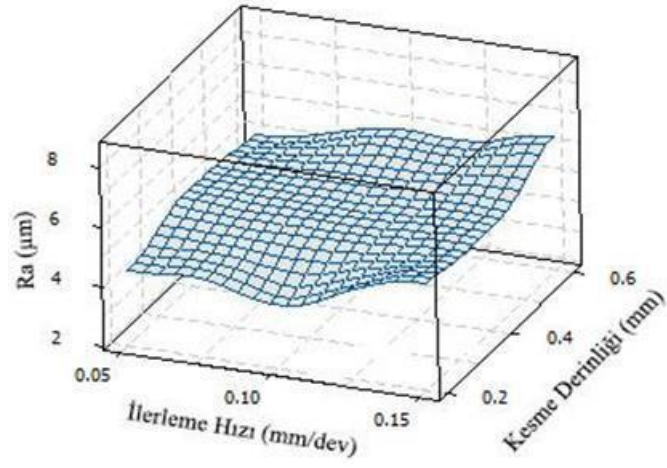
pürüzlülüğüne ilerleme hızı-kesme hızının, kesme derinliği-kesme hızının ve kesme derinliği-ilerleme hızının etkileri görülmektedir. Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de sırasıyla; R_t yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı-kesme hızının, kesme derinliği-kesme hızının ve kesme derinliği-ilerleme hızının etkileri görülmektedir. Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de sırasıyla; R_z yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı-kesme hızının, kesme derinliği-kesme hızının ve kesme derinliği-ilerleme hızının etkileri görülmektedir. Sonuçlarımızın kabul edilebilirliği açısından programdan faydalananarak standart sapma değerleri tespit edilmiştir. R_a , R_t ve R_z ’nin standart sapma değerleri sırasıyla; $1,713\mu\text{m}$, $15,13\mu\text{m}$ ve $8,29\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.



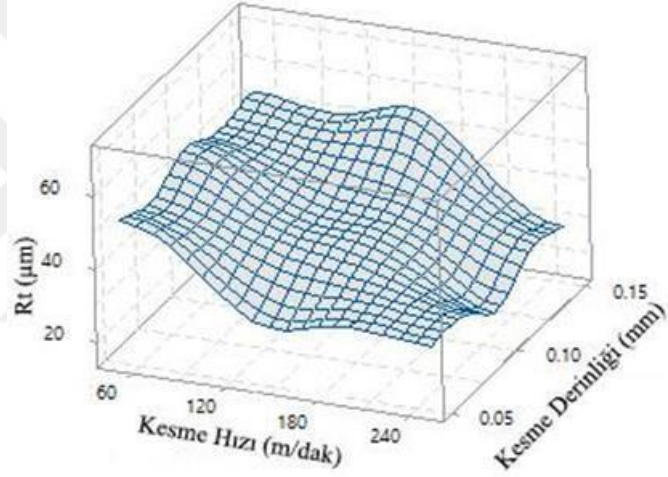
Şekil 4.10: R_a yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.



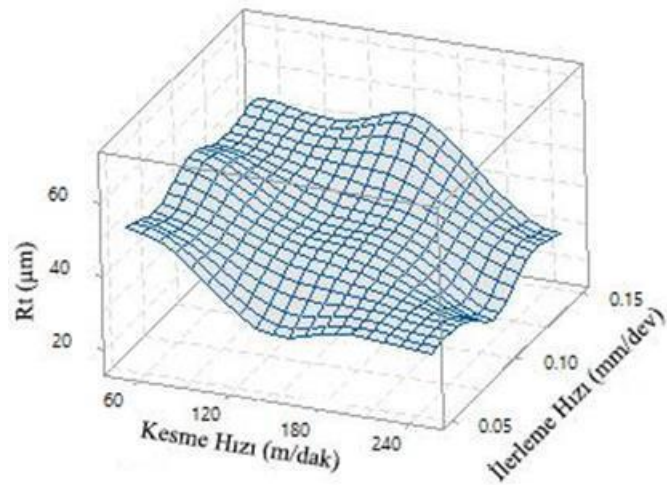
Şekil 4.11: R_a yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.



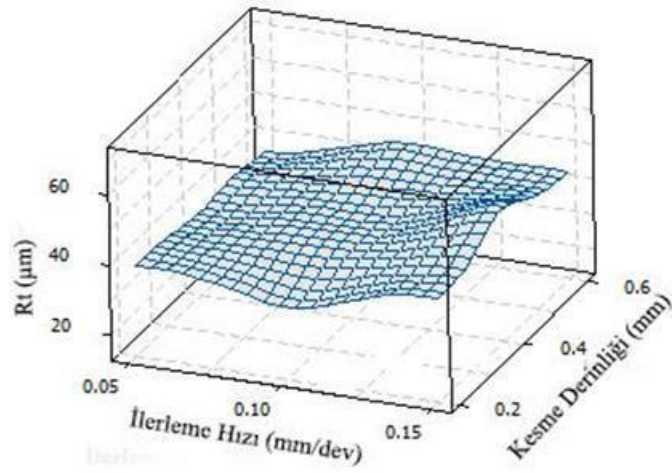
Şekil 4.12: Ra yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.



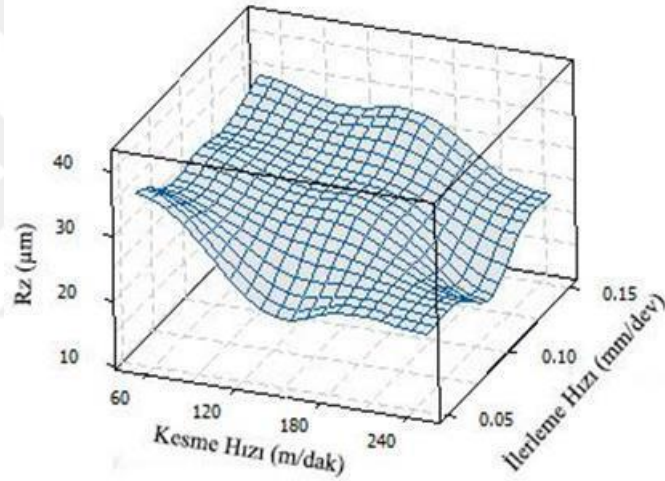
Şekil 4.13: Rt yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.



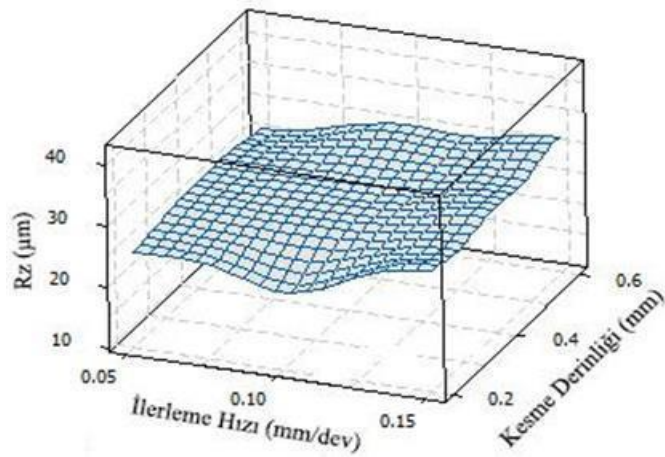
Şekil 4.14: Rt yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.



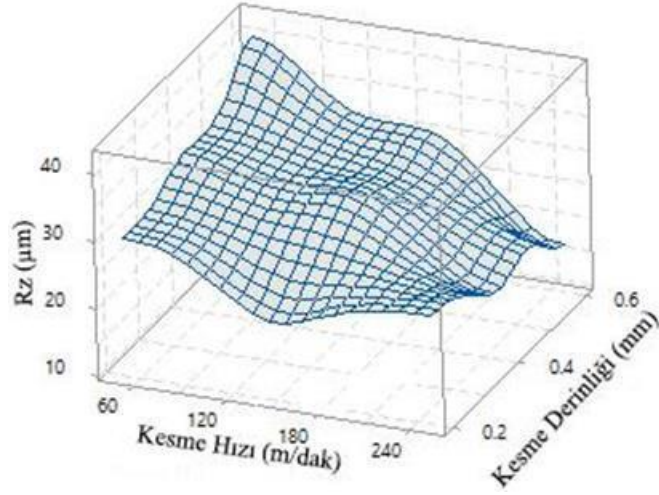
Şekil 4.15: R_t yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.



Şekil 4.16: R_z yüzey pürüzlülüğüne ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.



Şekil 4.17: R_z yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.



Şekil 4.18: Rz yüzey pürüzlülüğüne kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.

Talaşlı imalatla işlenebilirliğin en önemli ölçütlerinden biri yüzey kalitesidir ve yüzey pürüzlülüğü ile açıklanır. Yüzey pürüzlülüğün; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğine bağlı olarak değişebileceği bilinen bir gerçektir. Şekil 4.10-Şekil 4.12 arasında verilen Ra grafikleri incelendiğinde, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle kesme hızı miktarı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya çıkarıldığında, Ra değerinde % 40 azalma meydana geldiği görülmektedir. Ra değeri ilerleme hızına göre değerlendirildiğinde, ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. İlerleme hızı 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e çıktığında, Ra %20 artmaktadır. Kesme derinliğinin artmasıyla Ra yüzey pürüzlülüğü artış göstermektedir. Değerin 0,2 mm'den 0,6 mm'ye çıkmasıyla, Ra değeri % 24 artış göstermektedir.

Şekil 4.13-Şekil 4.15 arasında verilen Rt grafikleri değerlendirildiğinde, ilerleme hızının artması ile Rt yüzey pürüzlülüğünün de sürekli arttığı görülmektedir. Düşük ilerleme hızlarında daha iyi yüzey kalitesi elde edildiği görülmektedir. İlerleme hızı 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e çıktığında, Rt % 27,5 artmaktadır. Kesme hızına göre Rt değerlendirildiğinde ise, kesme hızının artmasıyla Rt değerinin düştüğü çok net bir şekilde görülmektedir. Bu azalma değeri kesme hızı miktarı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya çıkarıldığında % 48,5'e kadar varmaktadır. Kesme derinliğine göre Rt değerlendirildiğinde ise, kesme derinliğinin artmasıyla artış olduğu görülmektedir. Sonuçlara göre, kesme derinliğinin etkisinin daha az olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin 0,2 mm'den 0,6 mm'ye çıkmasıyla Rt değeri % 8 artış göstermektedir.

Şekil 4.16- Şekil 4.18 arasında verilen Rz grafikleri incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla Rz değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle kesme hızı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya çıkarıldığında Rz % 40 kadar azalmaktadır. Rz'nin ilerleme hızına göre değişimi artış göstermektedir. İlerleme hızı 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e çıktığında Rz % 17 artmaktadır. Kesme derinliğinin 0,2 mm'den 0,6 mm'ye çıkmasıyla Rz değeri % 14 artış göstermektedir.

Elde edilen sonuçlara göre; kesme hızı arttıkça Ra, Rt ve Rz değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

4.3.4. Sertlik Ölçümleri

4.3.4.1. Brinell Sertlikleri

İşlenmemiş ve farklı parametrelerle işlenmiş numune yüzeylerinin Brinell sertlik ölçüm sonuçları sırasıyla; Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de verilmiştir. Numunelerin işlenmiş yüzeylerinde ki; Brinell sertlik değerlerinden elde edilen tablolardaki kesme parametresi etkilerinin daha net değerlendirilmesi için grafikler çizilmiştir. Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de sırasıyla; Brinell sertliğine ilerleme hızı-kesme hızının, kesme derinliği-ilerleme hızının ve kesme derinliği-kesme hızının etkileri görülmektedir. Programdan faydalanarak Brinell sertlik değerlerinin standart sapması 3,052 HB olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.7: İşlenmemiş parçaların Brinell sertlik sonuçları.

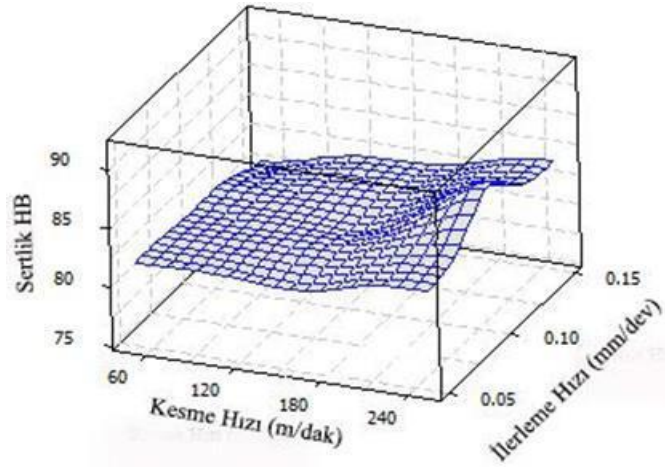
Brinell 1	Brinell 2	Brinell 3	Brinell 4	Ortalama Sertlik HB
77	79	83	83	80,5
78	82	88	88	84,0
80	82	82	86	82,5

Tablo 4.8: Farklı parametrelerle işlenmiş parçaların Brinell sertlik sonuçları.

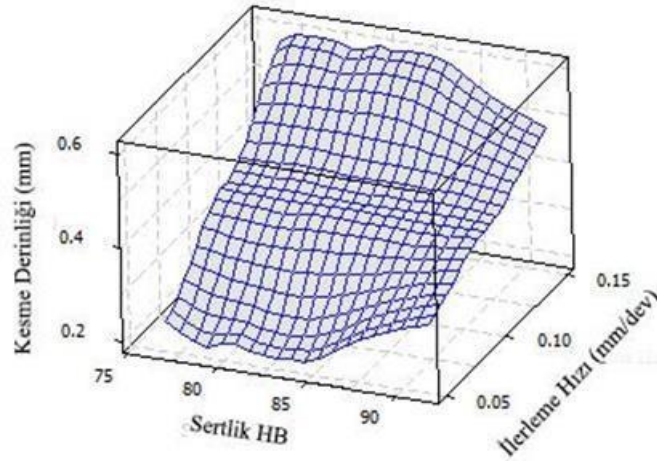
Kesme Hızı m/dak	Kesme Derinliği mm	İlerleme Hızı mm/dev	Brinell1	Brinell 2	Brinell 3	Brinell 4	Ortalama Sertlik HB
50	0,2	0,05	80	83	85	86	83,50
		0,10	76	78	81	81	79,00
		0,15	70	70	83	88	77,75
	0,4	0,05	79	80	86	86	82,75

Tablo 4.8 (devam): Farklı parametrelerle işlenmiş parçaların Brinell sertlik sonuçları.

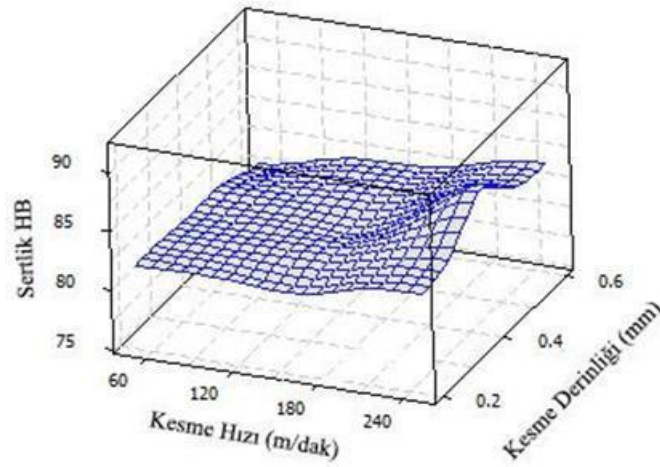
		0,10	80	80	81	88	82,25
		0,15	73	74	83	85	78,75
	0,6	0,05	74	74	83	85	79,00
		0,10	78	82	85	88	83,25
		0,15	80	81	85	90	84,00
150	0,2	0,05	80	83	85	85	83,25
		0,10	79	84	85	89	84,25
		0,15	81	82	86	88	84,25
	0,4	0,05	79	80	83	87	82,25
		0,10	82	82	84	87	83,75
		0,15	78	78	81	81	79,50
	0,6	0,05	73	76	83	83	78,75
		0,10	68	70	84	85	76,75
		0,15	78	79	85	87	82,25
250	0,2	0,05	80	82	83	87	83,00
		0,10	80	85	90	91	86,50
		0,15	81	81	86	87	83,75
	0,4	0,05	80	84	87	87	84,50
		0,10	85	90	95	96	91,50
		0,15	78	78	87	87	82,50
	0,6	0,05	78	80	85	85	82,00
		0,10	79	82	85	87	83,25
		0,15	79	81	85	85	85,50



Şekil 4.19: Brinell sertlik sonucuna ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.



Şekil 4.20: Brinell sertlik sonucuna kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.



Şekil 4.21: Brinell sertlik sonucuna kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.

Şekil 4.19-4.21 arasında verilen Brinell sertlik sonuçlarını içeren grafikler değerlendirildiğinde, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla sertlik değerlerinin bir miktar arttığı görülmektedir. En fazla artış kesme hızı miktarı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya çıkarıldığında % 9 olarak kaydedilmiştir. İlerleme hızının artması ise sertlikte kayda değer bir artış sağlamamıştır. Kesme derinliğinin artması sertlik değerini %4'e kadar arttırmıştır.

4.3.4.2. Rockwell Sertlikleri

İşlenmemiş ve farklı parametrelerle işlenmiş numune yüzeylerinin Rockwell sertlik ölçüm sonuçları sırasıyla; Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'de verilmiştir. Numunelerin işlenmiş yüzeylerinde ki; Rockwell sertlik değerlerinden elde edilen tablolardaki kesme parametresi etkilerinin daha net değerlendirilmesi için grafikler çizilmiştir. Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de sırasıyla; Rockwell sertliğine ilerleme hızı-kesme hızının, kesme derinliği-ilerleme hızının ve kesme derinliği-kesme hızının etkileri görülmektedir. Programdan faydalanarak Rockwell sertlik değerlerinin standart sapması 2,920 HRB olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.9: İşlenmemiş parçaların Rockwell sertlik sonuçları.

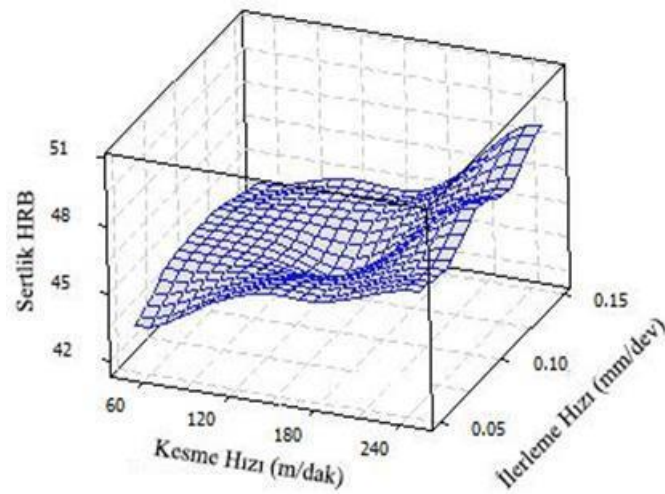
HRB 1	HRB 2	HRB 3	Ortalama Sertlik HRB
45,2	49,0	47,6	47,26
47,0	48,1	49,4	48,16
50,4	48,9	50,5	49,93
51,1	51,2	49,4	50,56
50,3	49,4	50,4	50,03

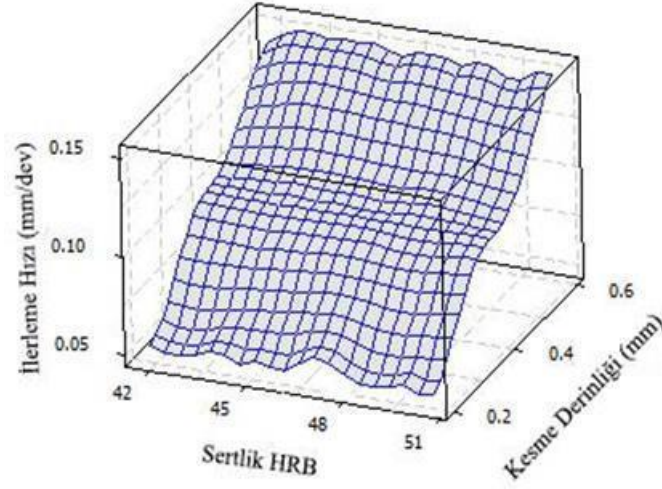
Tablo 4.10: Farklı parametrelerle işlenmiş parçaların Rockwell sertlik sonuçları.

Kesme Hızı m/dak	Kesme Derinliği mm	İlerleme Hızı mm/dev	HRB ₁	HRB ₂	HRB ₃	Ortalama Sertlik HRB
50	0,2	0,05	45,1	44,7	44,2	44,6
		0,10	39,1	43,4	43,3	41,9
		0,15	46,4	43,5	45,4	45,1
	0,4	0,05	46,2	35,3	47,4	42,9
		0,10	46,2	48,4	46,9	47,1
		0,15	44,1	44,3	39,9	42,7

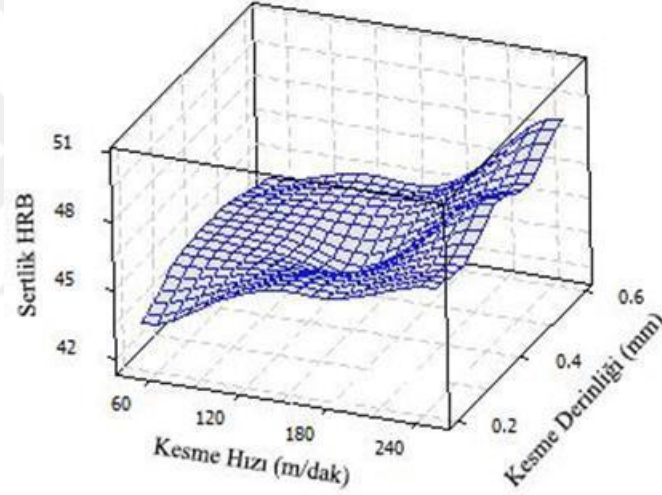
Tablo 4.10 (devam): Farklı parametrelerle işlenmiş parçaların Rockwell sertlik sonuçları.

	0,6	0,05	41,3	41,8	44,1	42,4
		0,10	48,2	44,7	42,3	45,0
		0,15	42,9	45,8	43,8	44,1
150	0,2	0,05	48,7	48,9	49,1	48,9
		0,10	46,7	44,8	37,8	43,1
		0,15	48,8	44,0	47,2	46,6
	0,4	0,05	36,2	45,1	46,6	42,6
		0,10	41,4	39,4	44,6	41,8
		0,15	47,7	44,0	41,4	44,3
	0,6	0,05	47,1	45,7	44,7	45,8
		0,10	45,2	47,8	46,8	46,6
		0,15	39,4	50,6	40,1	43,3
250	0,2	0,05	44,1	41,4	41,5	42,3
		0,10	45,8	42,9	40,6	43,1
		0,15	44,6	49,8	47,0	47,1
	0,4	0,05	48,8	49,3	47,0	48,3
		0,10	50,8	50,5	50,5	50,6
		0,15	48,4	48,6	48,7	48,5
	0,6	0,05	50,5	50,9	49,4	50,3
		0,10	51,2	49,5	49,9	50,2
		0,15	50,2	49,6	51,4	50,4

**Şekil 4.22:** Rockwell sertlik sonucuna ilerleme hızı ve kesme hızının etkileri.



Şekil 4.23: Rockwell sertlik sonucuna kesme derinliği ve ilerleme hızının etkileri.



Şekil 4.24: Rockwell sertlik sonucuna kesme derinliği ve kesme hızının etkileri.

Brinell sertlik değerlerine benzer olarak Şekil 4.22-4.24 arasında verilen sertlik sonuçlarını içeren grafikler değerlendirildiğinde, kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla sertlik değerinin en fazla % 4 kadar arttığı görülmektedir.

4.3.5. Takım Ömrü

Aşınmış bir kesici ucun tezgâha verebileceği zararın yanı sıra istenen parça boyutunu ve yüzey kalitesini de olumsuz olarak etkiler. Aynı zamanda aşınan uç kesme direncinin artmasına dolayısıyla gereken talaş kaldırma kuvvetinin artmasına neden olmaktadır. Talaşlı işlemede en önemli sorunlardan birisi zamanında kesici takım aşınmasının tespit edilememesidir. Kesme işlemi esnasında oluşan sürtünme, ısı, kuvvet vb. etkenlerden dolayı

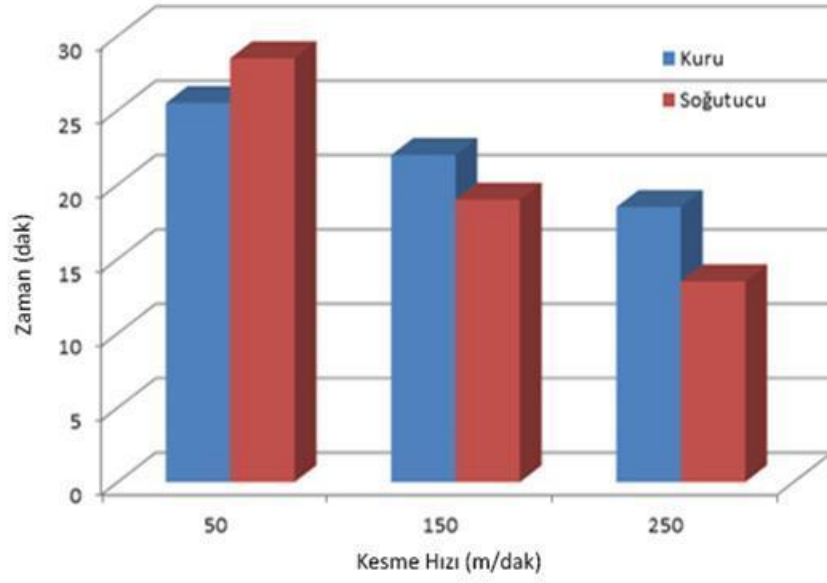
kesici uç üzerinde birçok olumsuz durum ortaya çıkmaktadır. Bu olumsuzluklar, kesici takımın uç ve yan yüzeylerinde aşınmalara neden olmaktadır.

Deneysel çalışmaların genelinde parçaları işlerken kuru ortam kullanılmıştır. Ancak takım ömrünü belirlerken karşılaştırma yapmak amacıyla; kesme sıvısı kullanarak da bir grup deney yapılmıştır. Çalışmanın genelinde kuru ortam kullanılma nedeni; çalışmada kullanılan parçaların TM yöntemi ile üretilmesinden kaynaklı gözenekli yapıda olmasıdır. Gözenekli yapı kesme sıvısını içine infiltre eder ve gözeneklerin içine hapsolan sıvının oradan çıkarılması ayrı bir işlem gerektirir, ayrıca korozif etkiye de neden olabilir. Bunların dışında çalışmada kullanılan TM ile üretilen Distaloy AB parçaların sert olması da gevrek talaş oluşumuna neden olmaktadır. İşlem esnasında oluşan ısının gevrek yapıdaki talaşla uzaklaştırılması da kuru ortam gerektirmektedir. Bu durumu TM parçaların işlenebilirliği üzerine yapılan literatür çalışmalarını da desteklemektedir. (Klink ve diğ. 2011, M'Saoubi ve diğ. 2014, Selvakumar ve diğ. 2012, Shaw, 1984).

Takım ömrü sonuçları; kesici ucun aşınma süresi ve kesme hızına göre kuru ve kesme sıvısı kullanılan ortam temel alınarak Tablo 4.11'de verilmiştir. Tabloda verilen değerlerin daha net anlaşılması için sonuçlar, Şekil 4.25'te grafik üzerinde gösterilmiştir. Takım ömrünü belirlemede kesici ucunun aşınma süresi esas alınmıştır. Kesici ucun aşınması işlenen parçanın yüzey kalitesinin bozulması ile kendini göstermektedir. Parçaların işlenmesi esnasında parça yüzeyinde çizgisel bir görüntü oluşumu uç ömrünün tamamladığını ifade etmektedir.

Tablo 4.11: Takım ömrünün belirlenmesi sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	Aşınma Süresi (dak)	
	Kuru İşleme	Kesme Sıvı ile İşleme
50	25,5	28,5
150	22,0	19,0 (Kırıldı)
250	18,5	13,5 (Kırıldı)



Şekil 4.25: Kuru ve kesme sıvısı ortamında kesici uç aşınma süresi.

Takım ömrü deneyleri sonucunda en uzun takım ömrü, kesme sıvısı kullanarak 50 m/dak kesme hızında 28,5 dak olarak ölçülmüştür. Kuru ortamda işleme ile elden edilen en uzun takım ömrü ise 50 m/dak kesme hızında 25,5 dak olduğu görülmektedir. Her iki durum kıyaslandığında; kesme sıvısı ortamında takım ömrünün %11,5 daha fazla olduğu görülmektedir. 150 m/dak ve 250 m/dak kesme hızlarına bakıldığında kuru ortamda kesici ucun aşınma süresinin gittikçe azaldığı ve kesme sıvısı ortamında ucun daha kısa bir sürede kırıldığı görülmüştür. Farklı kesme hızlarında kesici uçların aşınma veya kırılma durumları sonraki bölümde SEM inceleme sonuçları başlığı altında detaylı olarak ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan işleme parametrelerinde kuru ortamda kesici uçlarda aşınma olmuş ancak kırılma gözlenmemiştir. Aşınan uçların tekrar kullanımı ucun bilinmesi ile mümkün olmaktadır. Bu bağlamda kuru ortamın uç üzerine daha olumlu etki yaptığını ifade edebiliriz.

Kesme hızı ve takım ömrü arasında işlenebilirlik açısından önemli bir ilişki vardır. Parçaların işlenmesi esnasında her iki durumda da; kesme hızının artması ile kesici uç ömrü azalmaktadır.

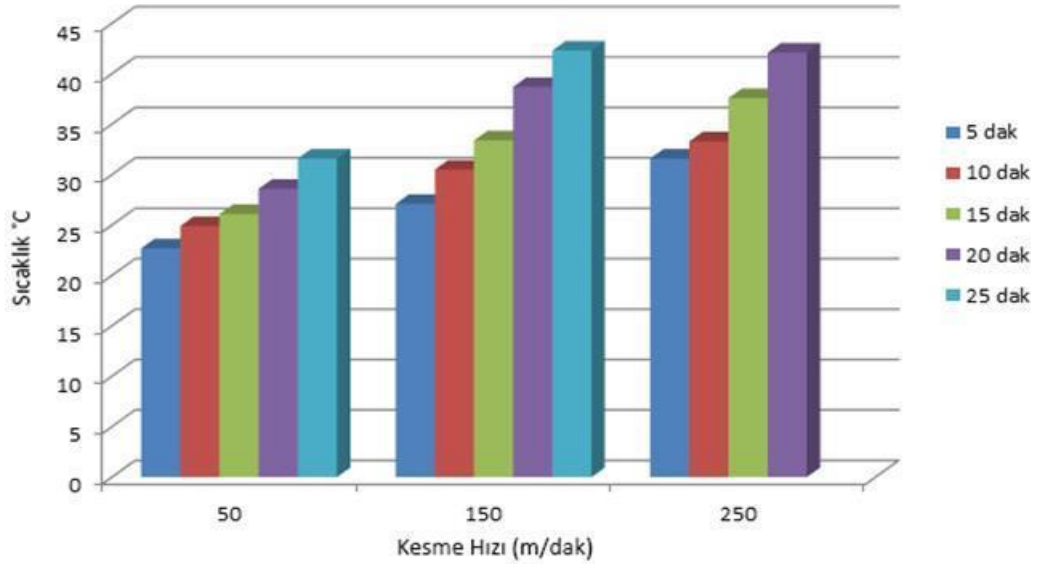
4.3.6. İşlem Esnasında Kesici Uç ve İş Parçasının Yüzey Sıcaklığı

Kesici takım üzerindeki sıcaklık ölçümü uzun yıllardır konuyla ilgili çalışan araştırmacıların ilgi gösterdiği alanlardan biri olmuştur. Kesici uç üzerinde oluşan sıcaklıklar, kesici ucun aşınma oranını, yüzey pürüzlülüğünü ve takım ömrünü etkilemektedir. Dolayısıyla işlem

esnasında kesici uç veya parça yüzeyinde oluşan sıcaklıkların tespit edilmesi işlenebilirlik testleri açısından önem arz etmektedir ve takım aşınmasının tanımlanabilmesi açısından faydalı olacaktır. Tablo 4.12’de, kuru işleme sonucu ölçülen kesici uç ve iş parçası yüzey sıcaklık değerleri verilmiştir. Kesme sıvısı ortamında işleme ile ölçülen kesici uç ve parça yüzeyinin sıcaklık değerleri her kesme hızında yaklaşık aynı değerde ($\approx 20,6$ °C olarak ölçülmüştür) olduğu için tablo olarak verilmemiştir. Tabloda verilen değerleri daha iyi değerlendirebilmek amacıyla grafikler çizilmiştir. Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de sırasıyla; kuru işleme ortamında kesici uç ve iş parçası yüzey sıcaklıkları verilmiştir.

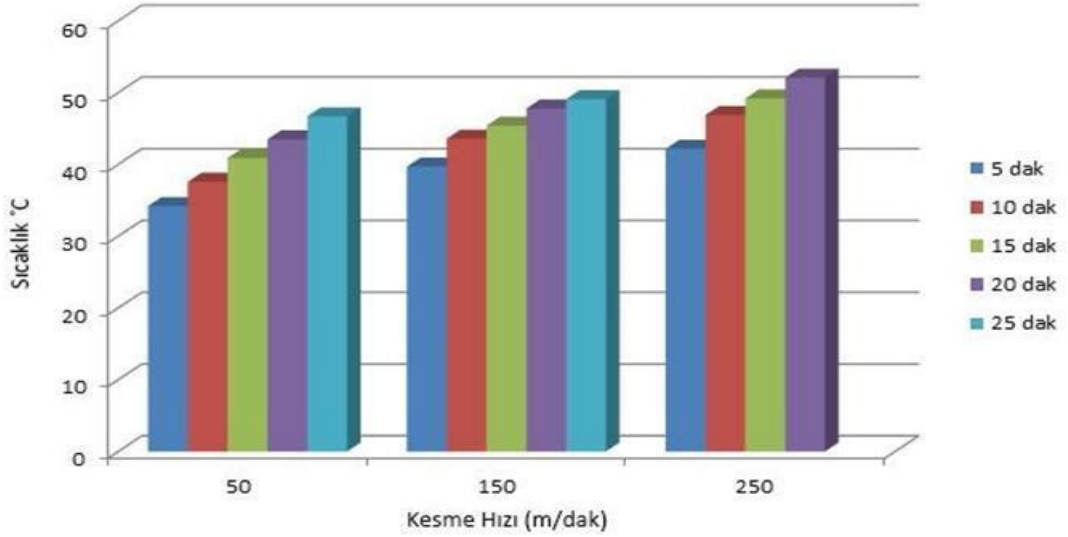
Tablo 4.12: Kesici uç ve parça yüzeyinde farklı kesme hızlarında ölçülen sıcaklık değerleri.

Zaman (dak)	Sıcaklık (°C)					
	50 (m/dak)		150 (m/dak)		250 (m/dak)	
	Kesici Uç	İş Parçası	Kesici Uç	İş Parçası	Kesici Uç	İş Parçası
5	22,7	34,2	27,1	39,7	31,6	42,2
10	24,9	37,6	30,5	43,6	33,3	46,9
15	26,1	40,9	33,4	45,4	37,6	49,2
20	28,6	43,5	38,7	47,8	42,1	52,1
25	31,7	46,7	42,3	49,1	-	-



Şekil 4.26: Kesme hızının kesici uç sıcaklığı üzerine etkisi.

Şekil 4.26’da verilen kuru işleme ortamında kesici uç sıcaklık grafiği incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla kesici uç sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca işleme süresinin artmasıyla da bu sıcaklığın arttığı tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklıklar kesici takım aşınmasında elde edilmiştir. 50 m/dak kesme hızında, 22,7°C ile 31,7 °C arasında sıcaklıklar ölçülmüştür. Kesme hızı 50 m/dak’dan 150 m/dak’ya arttırıldığında ölçülen sıcaklıkların, 27,1 °C ile 42,3 °C arasında değiştiği tespit edilmiştir. 250 m/dak kesme hızında ise 31,6 °C ile 42,1 °C arasında ölçülmüştür. Sıcaklıklar arasında çok büyük farklar olmamasının nedeni talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan sıcaklığın talaş, iş parçası ve kesici takıma dağılması ayrıca oluşan maksimum ısının gevrek yapıdaki talaşla uzaklaştırılması olarak açıklanabilir.



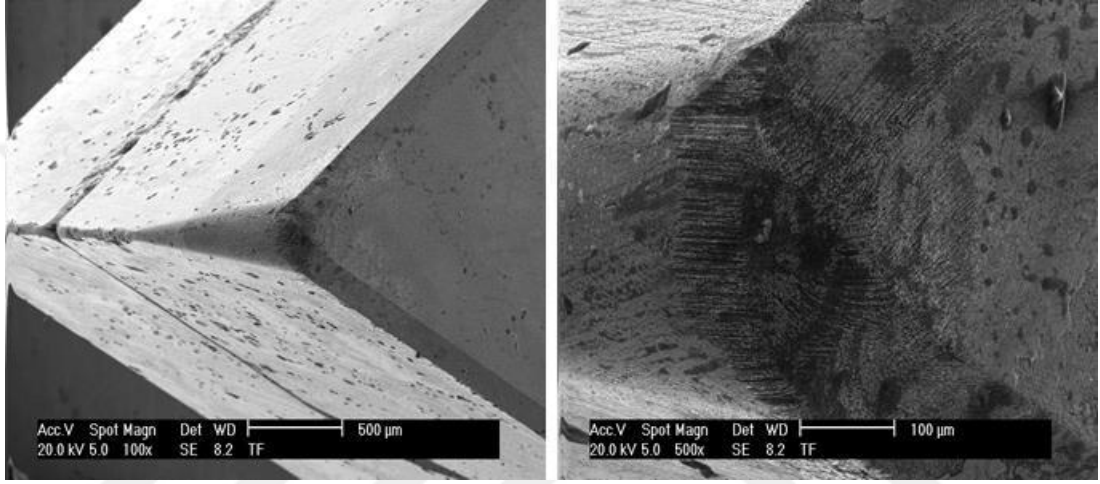
Şekil 4.27: Kesme hızının parça yüzey sıcaklığı üzerine etkisi.

Şekil 4.27’de verilen iş parçası yüzey sıcaklık grafiği incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla iş parçası yüzey sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca işleme süresinin ilerlemesiyle de bu sıcaklığın arttığı tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklıklar kesici takım aşınmasında elde edilmiştir. 50 m/dak kesme hızında, 34,2°C ile 46,7°C arasında sıcaklıklar ölçülmüştür. Kesme hızı 50 m/dak’dan 150 m/dak’ya arttırıldığında ölçülen sıcaklıklar 39,7°C ile 49,1°C arasında değiştiği tespit edilmiştir. 250 m/dak kesme hızında ise 42,2°C ile 52,1°C arasında ölçülmüştür. Parçaların işlenmesi esnasında kesici uç ve iş parçası yüzeyinde; kesme hızının artması ile ısının arttığı görülmüştür. Literatürde yapılan birçok çalışmada bunu desteklemektedir (Aydın ve diğ., 2010, Brito ve diğ., 2015, Dessoly ve diğ., 2004, Sasahara ve diğ., 2017, Yağmur ve diğ., 2013).

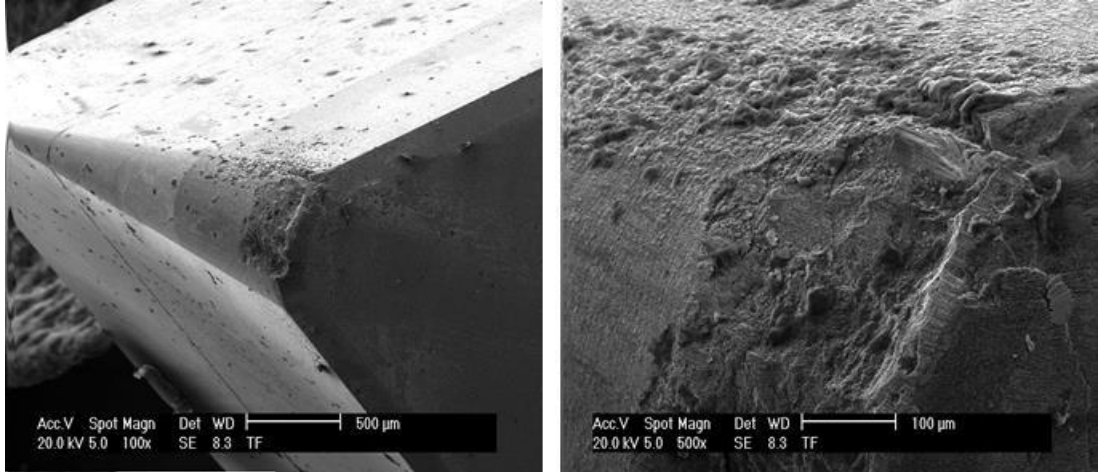
4.3.7. SEM Analizleri

4.3.7.1. Kesici Uçların SEM Analizleri

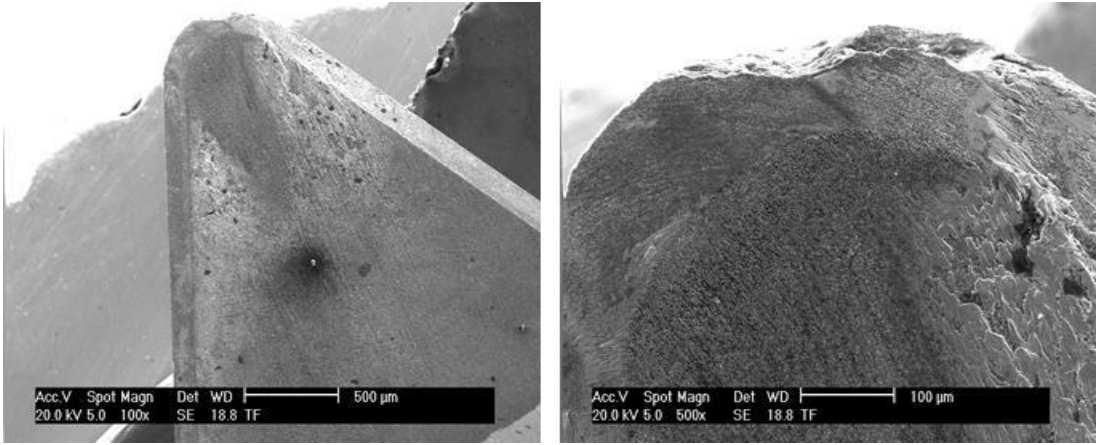
Distaloy AB malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımda oluşan uç aşınmalarının görüntü analizleri farklı büyütmelerde yapılmıştır. 50 m/dak, 150 m/dak ve 250 m/dak kuru ortamda kesme hızlarındaki SEM görüntüleri sırasıyla; Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmiştir. 50 m/dak, 150 m/dak ve 250 m/dak kesme sıvısı ortamında kesme hızlarındaki SEM görüntüleri sırasıyla; Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de verilmiştir.



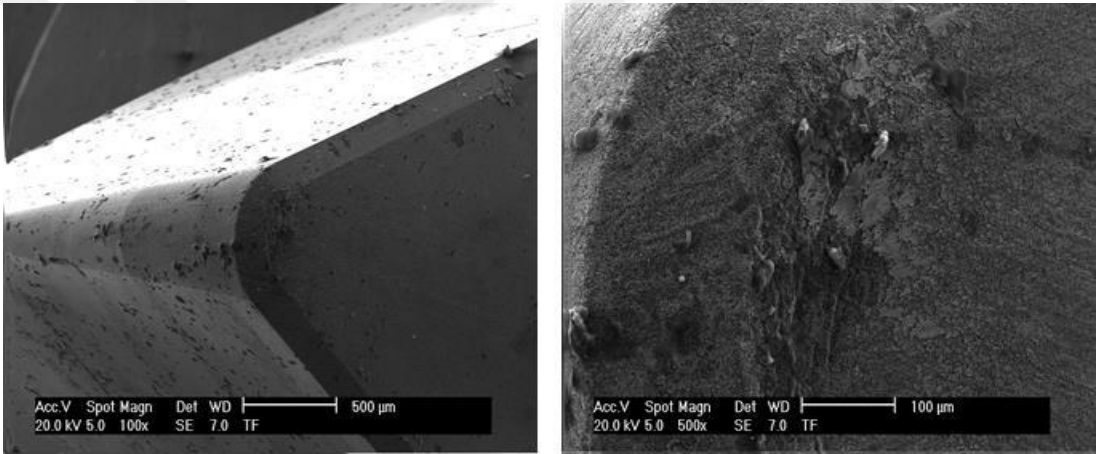
Şekil 4.28: 50 m/dak kesme hızıyla kuru ortamda kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.



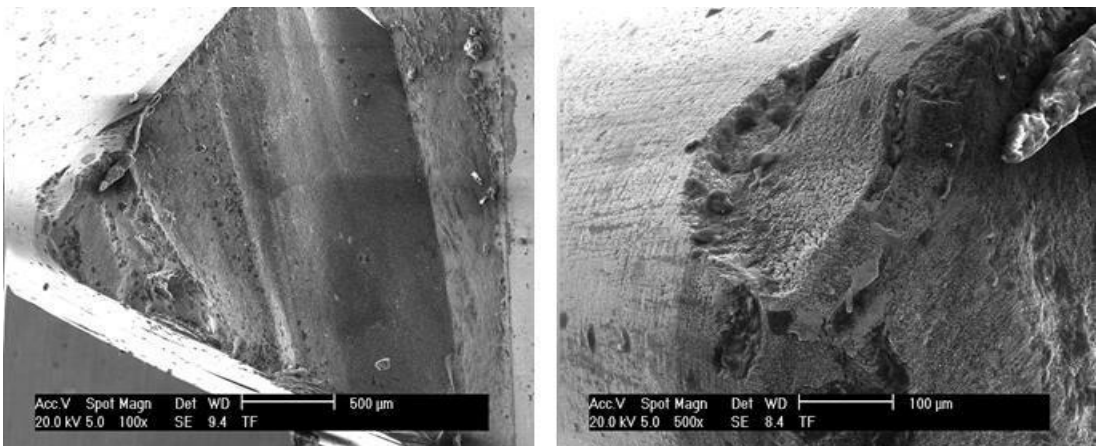
Şekil 4.29: 150 m/dak kesme hızıyla kuru ortamda kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.



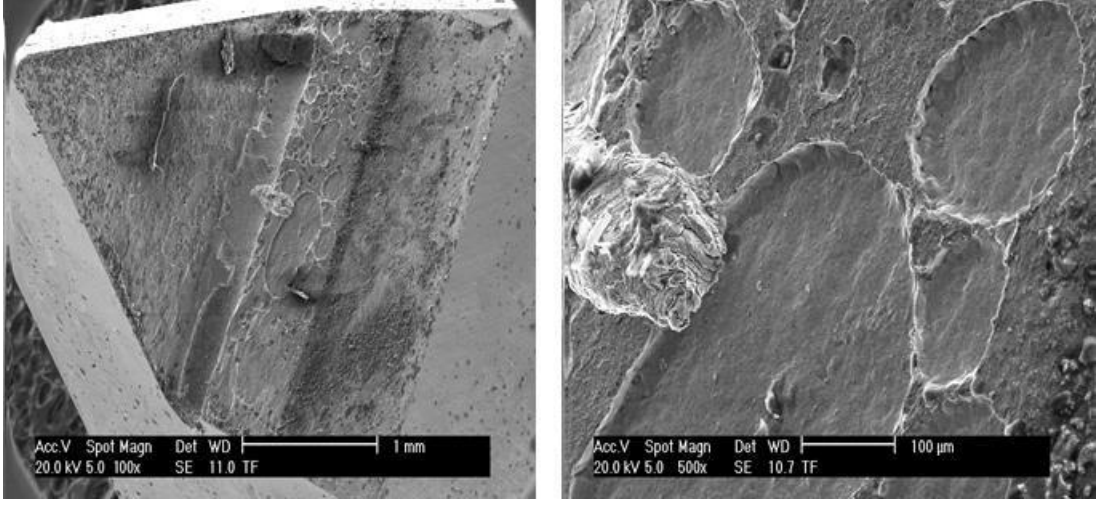
Şekil 4.30: 250 m/dak kesme hızıyla kuru ortamda kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.



Şekil 4.31: 50 m/dak kesme hızıyla kesme sıvısı ortamında kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.



Şekil 4.32: 150 m/dak kesme hızıyla kesme sıvısı ortamında kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.



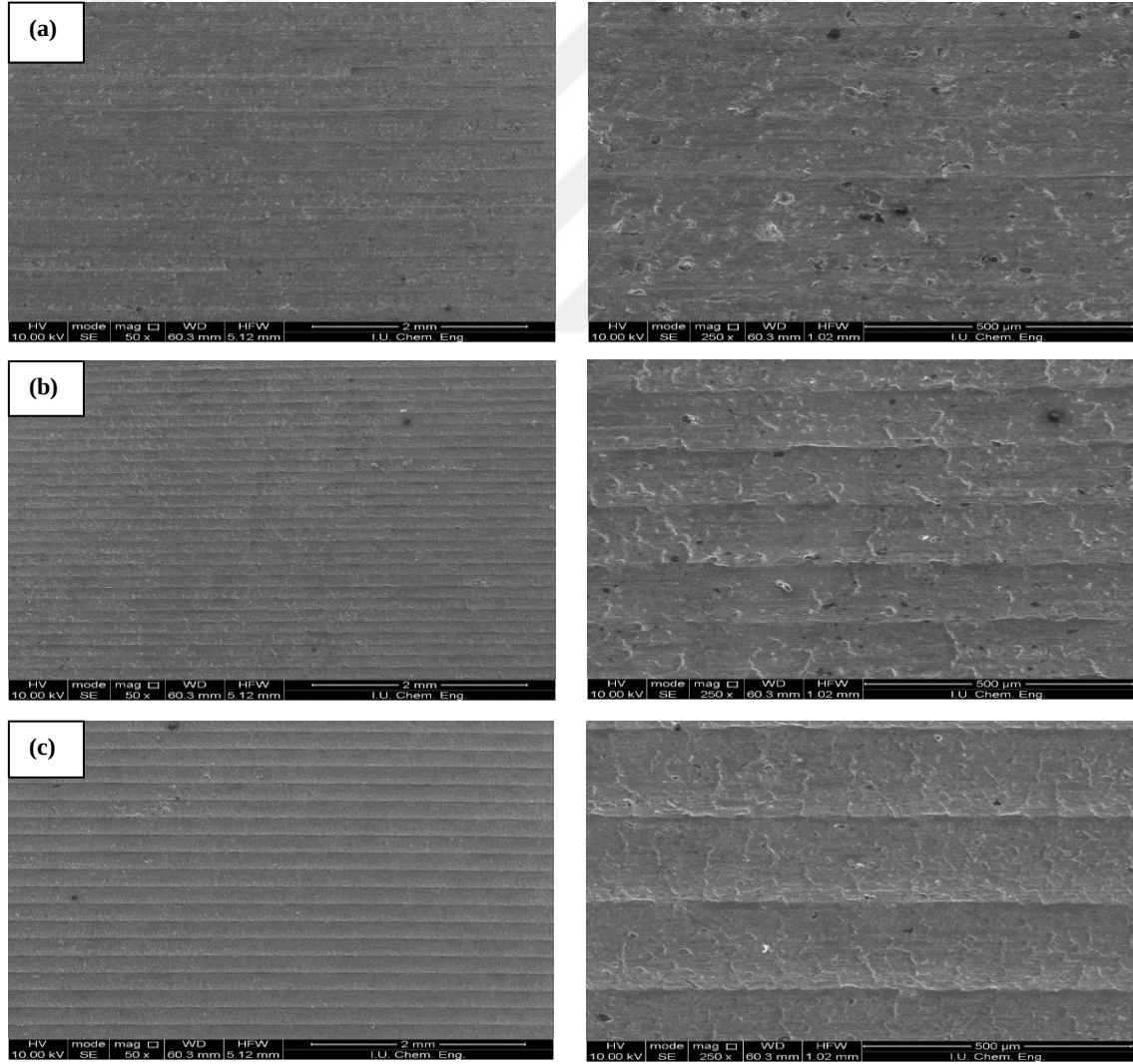
Şekil 4.33: 250 m/dak kesme hızıyla kesme sıvısı ortamında kesici ucun aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü.

Kesici uçlarda oluşan aşınma veya talaş kaldırma esnasında iş parçası malzemesinden kopan, yığıntı katman (YK, Built-Up Layer) ve yığıntı talaş (YT, Built-Up Edge) dediğimiz parçaların kesici takımın üzerinde oluşumu araştırılmıştır. Şekil 4.28-4.30 arasında verilen SEM görüntüleri incelendiğinde kesici uçlarda, kesme hızı arttıkça aşınmanın arttığı çok net olarak görülmektedir. Kuru ortamda işlenen kesici takımın kesme kenarı ve yan yüzeyinde sürtünme aşınması sonucu olarak serbest yüzey aşınması oluşmuştur. Kesme sırasında artan kesme hızıyla sıcaklıkta artar ve bu sıcaklık artışı oluşan YT'nin sertliğini ve mukavemetini düşürür ve gerilmeler sonucu kesici kenardan kopup uzaklaşır. Kopan YT'ler, kesici uçtan küçük parçalar koparak aşınmasına sebep olur. Literatürde yapılan birçok çalışmada bunu desteklemektedir (Ezugwu ve diğ., 2005, Karagöz, 2012, Karayel ve Nalbant, 2014, Rahman ve diğ., 1997, Remadna ve Rigal 2006, Sugihara ve diğ., 2017, Şeker ve Koç, 2012). Şekil 4.28'de verilmiş olan 50 m/dak kesme hızında kuru ortamda işlenen kesici uca YT'nin oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da YT ve YK'nin oluştuğu tespit edilmiştir.

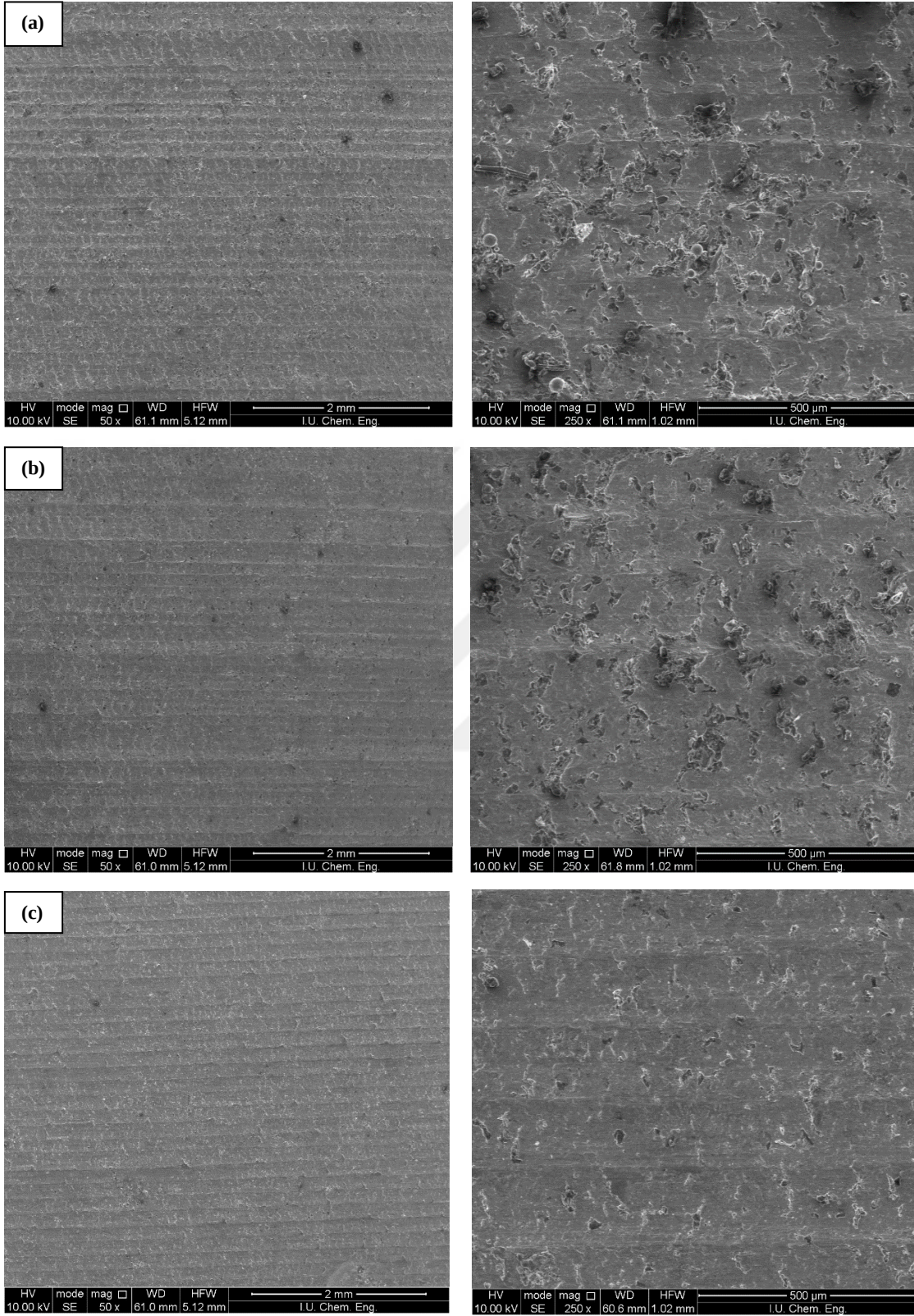
Şekil 4.31'de verilmiş olan 50 m/dak kesme hızında kesme sıvısı ortamında işlenen kesici uç SEM görüntüleri incelendiğinde kesici uca YT ve YK'nin oluştuğu görülmektedir. 1000x büyütmedeki SEM görüntülerinde kesici uca ince çizgilerin oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te verilen SEM görüntüleri incelendiğinde ise; kesici uçlarda termal şoktan kaynaklı serbest yüzey kırılmasının oluştuğu ve kullanılamaz duruma geldiği görülmektedir.

4.3.7.2. İşlem Görmüş Yüzeylerin SEM Analizleri

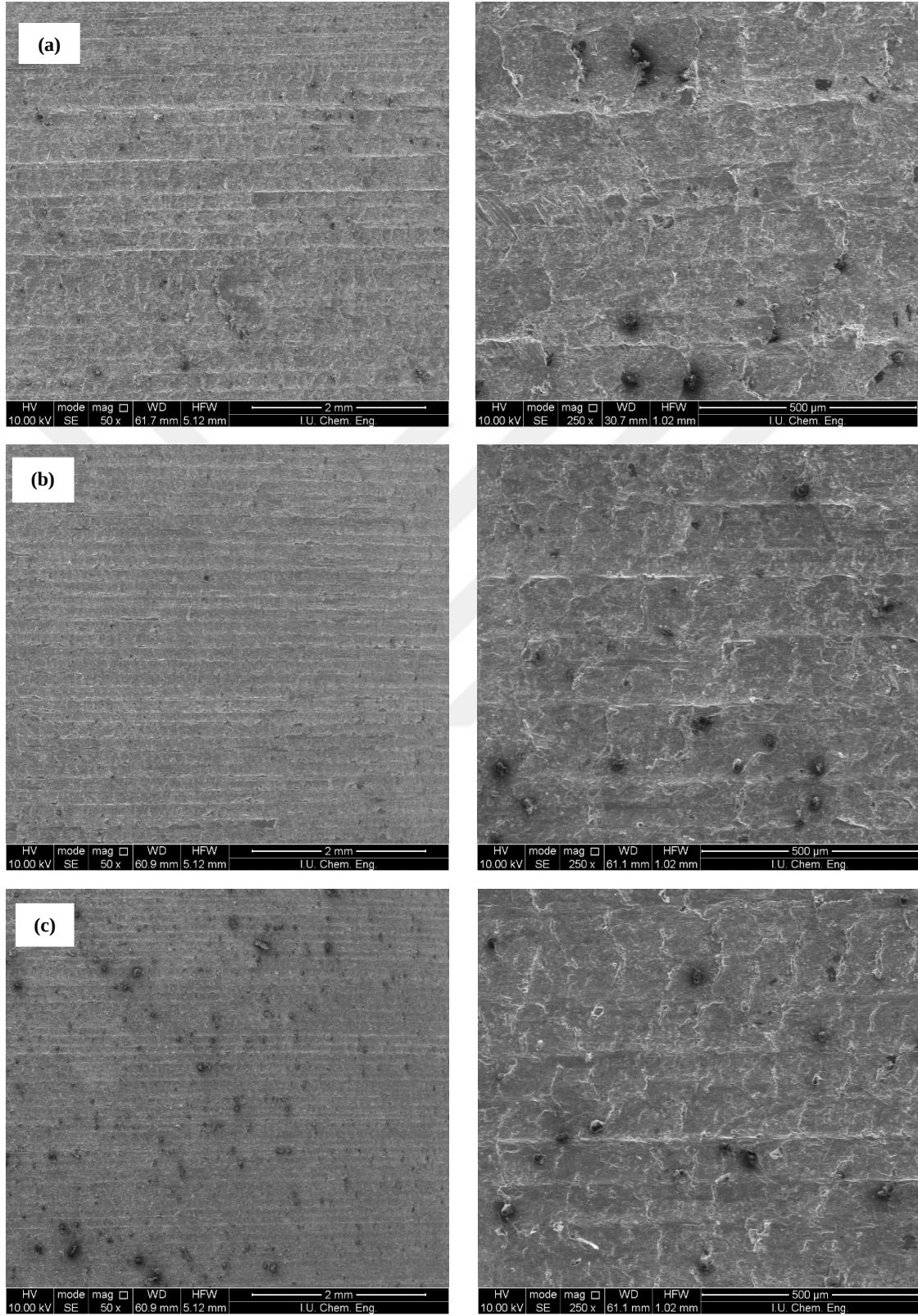
İşlem görmüş aşınan yüzeylerin değerlendirilmesi; ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliğine göre üç farklı değişken parametreye göre ele alınarak, her bir parametrede kendi arasında üç farklı değerde gruplandırılmıştır. İşleme sonucu aşınan yüzeylerin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri; 250 m/dak kesme hızı ve 0,6 mm kesme derinliğinde; 0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarında sırasıyla Şekil 4.34 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. 150 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızında; 0,2, 0,4 ve 0,6 mm kesme derinliklerinde sırasıyla Şekil 4.35 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir. 0,4 mm kesme derinliği ve 0,10 mm/dev ilerleme hızında; 50, 150 ve 250 m/dak kesme hızlarında sırasıyla SEM görüntüleri Şekil 4.36 (a), (b) ve (c)'de verilmiştir.



Şekil 4.34: (a) 0,05, (b) 0,10 ve (c) 0,15 mm/dev ilerleme hızlarında aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri.



Şekil 4.35: (a) 0,2, (b) 0,4 ve (c) 0,6 mm kesme derinliklerinde aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri.



Şekil 4.36: (a) 50, (b) 150 ve (c) 250 m/dak kesme hızlarında aşınan yüzeylerin SEM görüntüleri.

Talaşlı imal usulleri ile işlenen yüzeyler doğrudan veya dolaylı olarak işleme parametrelerinden etkilenmektedir. İyi seçilmeyen işleme parametreleri kesici takımların hızlı aşınması, kırılması gibi kayıpların yanı sıra iş parçasının bozulması veya yüzey kalitesinin düşüklüğü gibi ekonomik kayıplara da neden olmaktadır (Can, 2003).

Şekil 4.34'te görüldüğü gibi; ilerleme hızının artmasıyla yüzey aşınmasının arttığı tespit edilmiştir. 0,05 mm/dev olan en düşük ilerleme hızında elde edilen yüzeyler incelendiğinde, daha düzgün yüzeyin elde edildiği görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla yüzeyde aşınma izlerinin daha belirgin olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla yüzeyde oluşan aşınma izlerinin arasındaki mesafenin arttığı görülmektedir.

Şekil 4.35'te görüldüğü gibi; kesme derinliğinin artmasıyla yüzey aşınmasının arttığı tespit edilmiştir. 0,2 mm olan en düşük kesme derinliğinde elde edilen yüzeyler incelendiğinde, kesme derinliğinin miktarı düşük olan işlemlerde daha düzgün yüzeyin elde edildiği görülmektedir. Kesme derinliğinin miktarının 0,4 mm'ye artmasıyla yüzeyde aşınma izlerinin meydana geldiği görülmektedir. Kesme derinliği miktarının 0,6 mm'ye artmasıyla yüzeyde oluşan aşınma izlerinin arttığı ve daha net bir şekilde ortaya çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.36'da görüldüğü gibi; kesme hızı arttıkça yüzey aşınmasının azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle kesme hızı miktarı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya çıkarıldığında yüzey aşınmasında belirgin bir şekilde azalma meydana geldiği görülmektedir. 50 m/dak olan en düşük kesme hızında yüzeyin düzgün değildir ve aşınma izlerinin net bir şekilde görülmesi mümkündür. Kesme hızının artmasıyla bu izlerin azaldığı görülmektedir. Bölüm 4.3.3 başlığı altındaki Ra, Rt ve Rz yüzey pürüzlülüğü sonuçları bu yorumları desteklemektedir.

SEM görüntülerinde açıkça aşınma çizgilerinin birbirine paralel ve hemen hemen eşit aralıklarda olduğu görülmektedir. Ayrıca görüntülerde yer yer küçük siyah noktalarında yüzeyde zamanla oluşan oksit kalıntıları olduğu noktasal EDS ile belirlenmiştir. SEM görüntüleri daha önce verilen yüzey pürüzlülük sonuçları ile uyumluluk içerisindedir.

4.4. KESME KUVVETLERİ

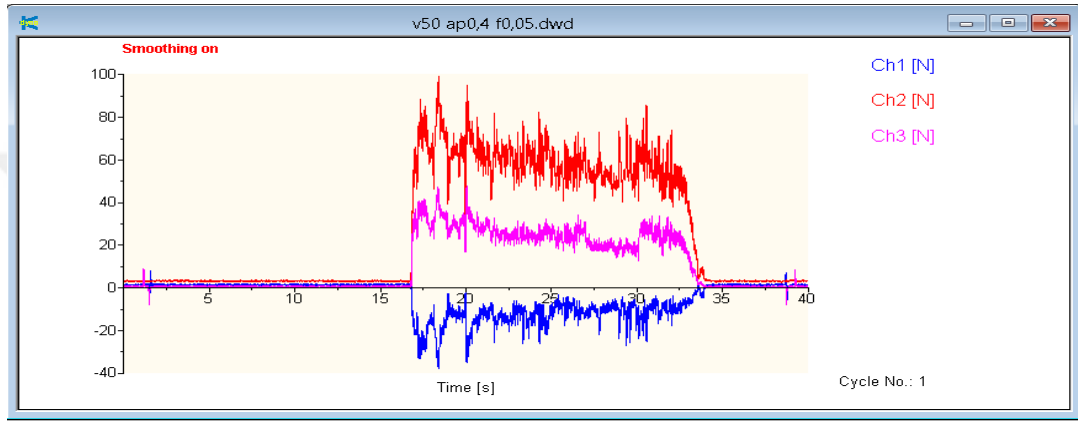
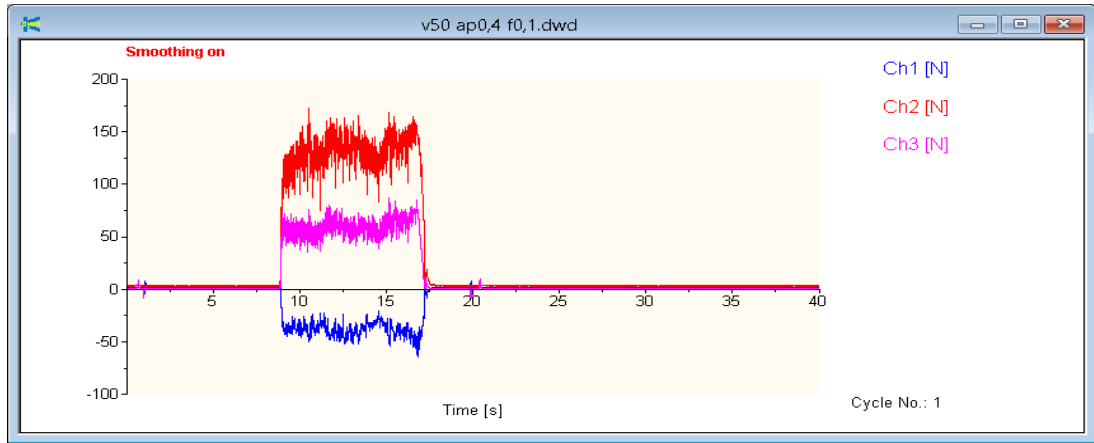
Kesme kuvvetleri, 27 numune üzerinde ölçülmüştür. Ölçümlerinde 50, 150 ve 250 m/dak.'lık kesme hızları; 0.05, 0.1 ve 0.15 mm/dev'lik ilerleme hızları ve 0.2, 0.4 ve 0.6 mm'lik kesme derinlikleri kullanılmıştır. Kesici takım olarak 0° talaş açısı ve 5° boşluk açısı geometrisindeki B₃N esaslı PCBN-Secomax CBN200 uç kullanılmıştır. Farklı parametrelerle işlenen 27 adet parçanın kesme kuvveti sonuçları Tablo 4.13'te verilmiştir. Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da sırasıyla; 50 m/dak, 0,4 mm kesme derinliği ve 0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızları ile Dynoware yazılımı programından elde edilen sonuçların analizi verilmiştir.

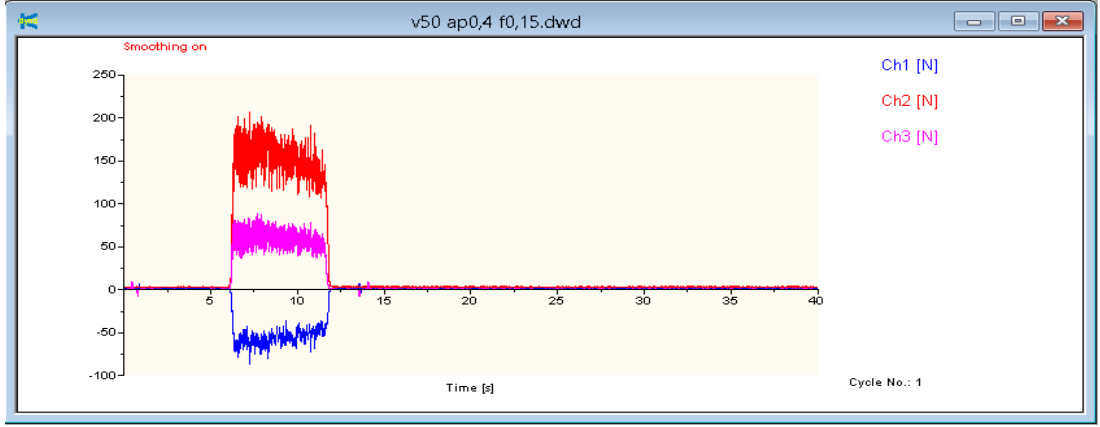
Tablo 4.13: Kesme kuvvetlerinin sonuçları.

Kesme Hızı (m/dak)	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Radyal Kuvveti (F _x) (N)	Kesme Kuvveti (F _y) (N)	İlerleme Kuvveti (F _z) (N)
50	0,2	0,05	13	30,705	9,51
		0,10	24,55	60,185	19,225
		0,15	41,08	103,76	31,675
	0,4	0,05	16,535	65,095	27,455
		0,10	37,16	132,15	59,61
		0,15	57,71	156	61,08
	0,6	0,05	13,3	87,25	43,17
		0,10	46	173,35	86,32
		0,15	77,4	233,65	100,04
150	0,2	0,05	1935	37,15	14,085
		0,10	31,6	60,81	19,2
		0,15	40,1	75,225	18,05
	0,4	0,05	30,5	67,075	29,535
		0,10	47,7	114,45	47,85
		0,15	63,75	157	54
	0,6	0,05	33,4	112,8	80,115
		0,10	49,9	164,05	88,7
		0,15	73,5	229	102
250	0,2	0,05	40,815	51,785	30,32
		0,10	52	68,2	31,405
		0,15	66,45	89,92	35,375
	0,4	0,05	48,83	92,185	75,9

Tablo 4.13 (devam): Kesme kuvvetlerinin sonuçları.

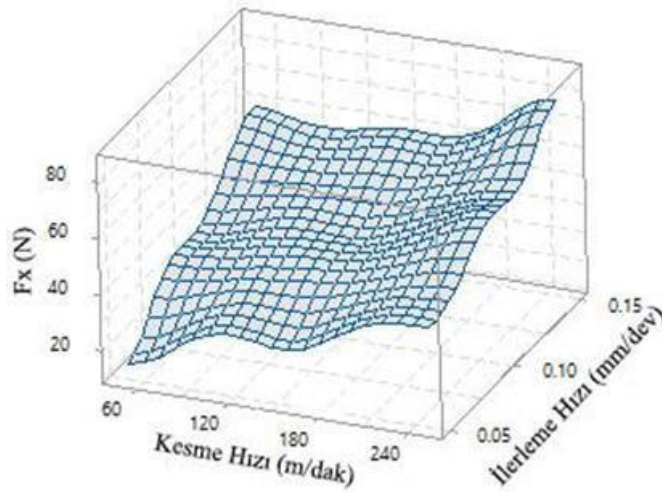
		0,10	67	134,7	84,01
		0,15	84,2	171	85,58
	0,6	0,05	42,9	113,3	103,6
		0,10	64,45	170,25	117,25
		0,15	85,075	234,5	127,95

**Şekil 4.37:** 50 m/dak kesme hızıyla, 0,4 mm kesme derinliği ve 0,05 mm/dev ilerleme hızındaki Dynaware yazılımı görüntüsü.**Şekil 4.38:** 50 m/dak kesme hızıyla, 0,4 mm kesme derinliği ve 0,10 mm/dev ilerleme hızındaki Dynaware yazılımı görüntüsü.

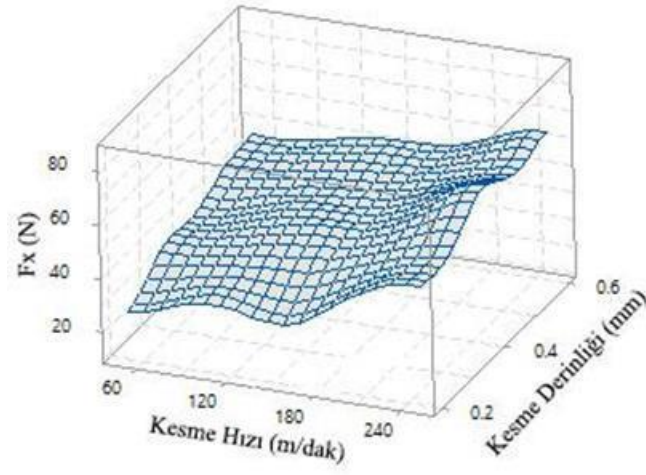


Şekil 4.39: 50 m/dak kesme hızıyla, 0,4 mm kesme derinliği ve 0,15 mm/dev ilerleme hızındaki Dynoware yazılımı görüntüsü.

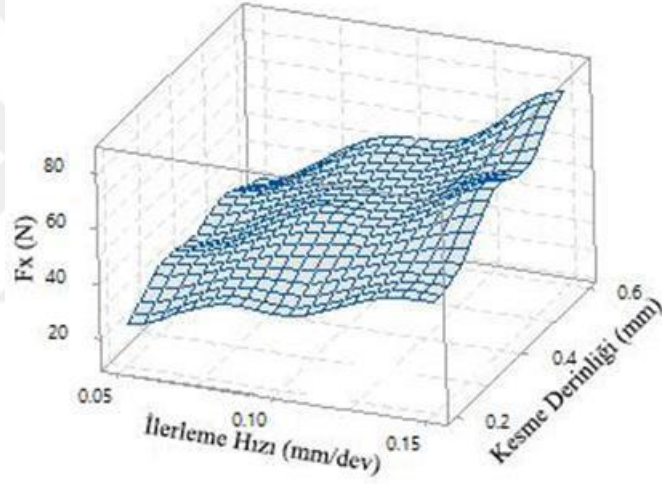
Tablo 4.11’deki değerleri kullanarak kesme parametresi etkilerinin daha net değerlendirilmesi için grafikler çizilmiştir. Şekil 4.40, 4.41 ve 4.42’de sırasıyla; 27 adet işlenmiş parçanın radyal kuvvetine; ilerleme hızı-kesme hızının, kesme derinliği-kesme hızının ve kesme derinliği-ilerleme hızının etkileri görülmektedir. Şekil 4.43, 4.44 ve 4.45’te sırasıyla; kesme kuvvetine; ilerleme hızı-kesme hızının, kesme derinliği-kesme hızının ve kesme derinliği-ilerleme hızının etkileri görülmektedir. Şekil 4.46, 4.47 ve 4.48’te sırasıyla; ilerleme kuvvetine; ilerleme hızı-kesme hızının, kesme derinliği-kesme hızının ve kesme derinliği-ilerleme hızının etkileri görülmektedir. Programdan faydalanarak grafiklerdeki standart sapmalar tespit edilmiştir. F_x , F_y ve F_z ’e standart sapma değerleri sırasıyla; 20,93 N, 59,60 N ve 24,52 N olarak hesaplanmıştır.



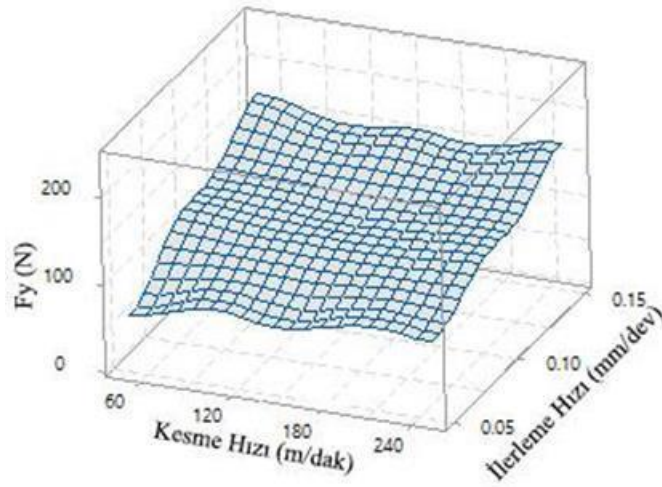
Şekil 4.40: İlerleme hızı ve kesme hızlarının, F_x ’e etkileri.



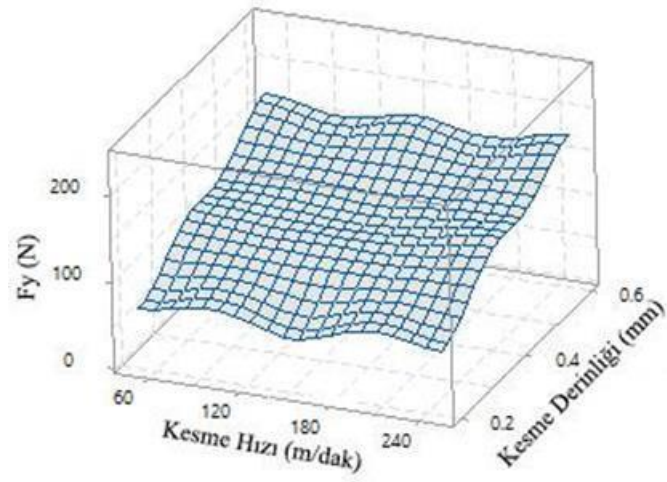
Şekil 4.41: Kesme derinliği ve kesme hızının, F_x 'e etkileri.



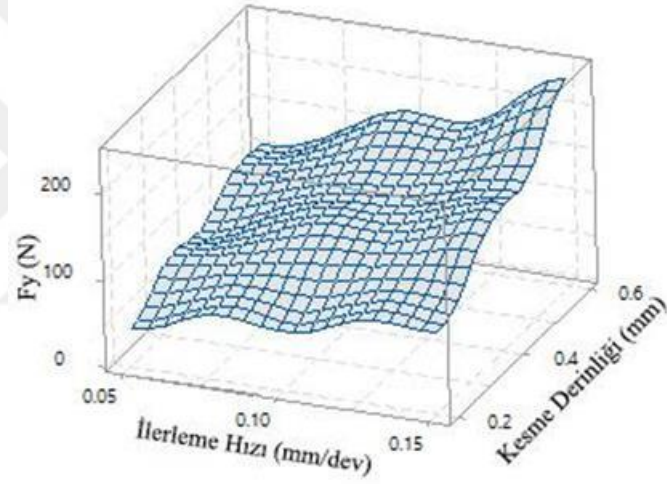
Şekil 4.42: Kesme derinliği ve ilerleme hızının, F_x 'e etkileri.



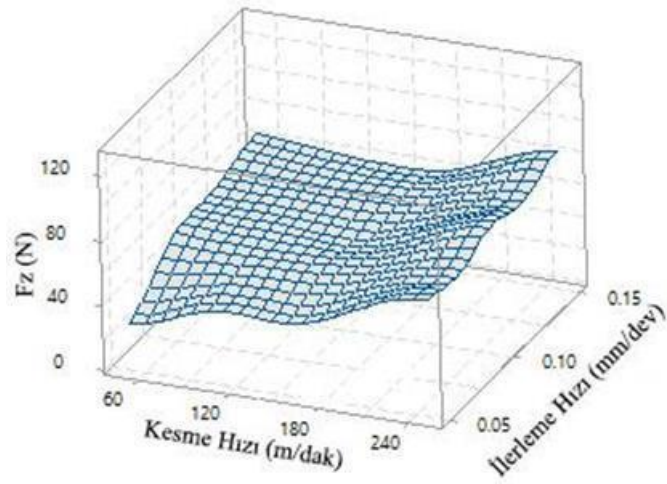
Şekil 4.43: İlerleme hızı ve kesme hızının, F_y 'ye etkileri.



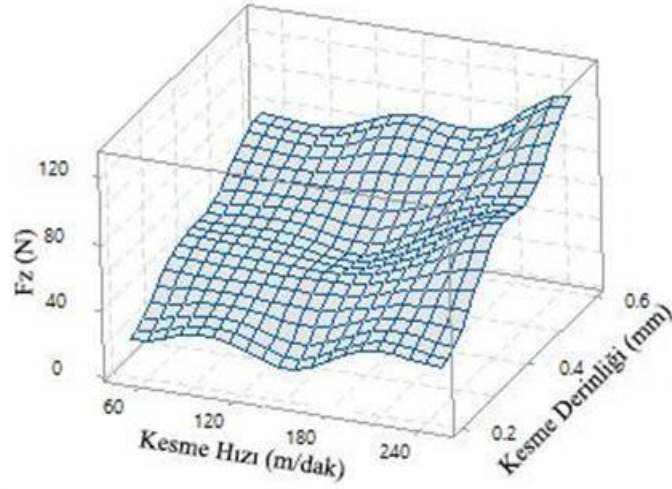
Şekil 4.44: Kesme derinliği ve kesme hızının, F_y 'ye etkileri.



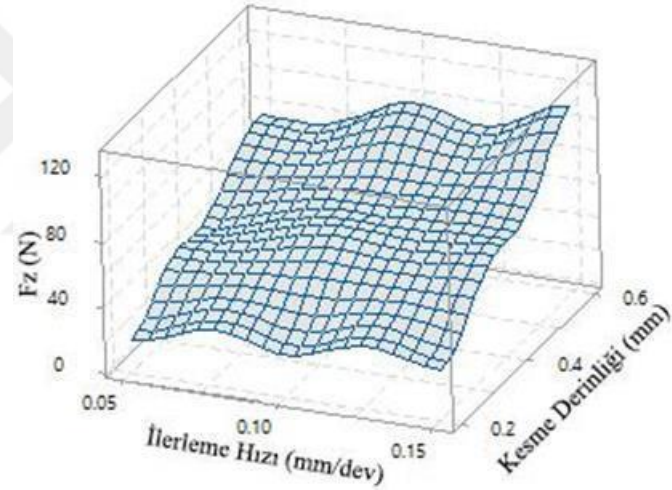
Şekil 4.45: Kesme derinliği ve ilerleme hızının, F_y 'ye etkileri.



Şekil 4.46: İlerleme hızı ve kesme hızının, F_z 'e etkileri.



Şekil 4.47: Kesme derinliği ve kesme hızının, F_z 'e etkileri.



Şekil 4.48: Kesme derinliği ve ilerleme hızının, F_z 'e etkileri.

Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de verilen radyal kuvvet grafikleri incelendiğinde, kesme hızı arttıkça F_x 'in ortalama olarak 36,30 N'den 61,30 N'e kadar arttığı görülmüştür. İlerleme hızı 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e çıktığında F_x 'in ortalama olarak 28,73 N'den 65,5N'a kadar arttığı tespit edilmiştir. Kesme derinliğinin 0,2 mm'den 0,6 mm'ye çıkarılmasıyla; F_x 'in 36,55 N'dan 54 N'a kadar arttığı ölçülmüştür.

Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te verilen kesme kuvveti grafikleri incelendiğinde, kesme hızı 50 m/dak'dan 150 m/dak'ya çıkarıldığında; kuvvette 116 N'dan 113 N'a kadar düşüş meydana geldiği görülmüştür. Fakat kesme hızının 250 m/dak'ya çıkarılmasıyla kuvvetin 125 N'a yükseldiği tespit edilmiştir. F_y 'nin değeri ilerleme hızına göre değerlendirildiğinde,

ilerleme hızının 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e artmasıyla kuvvetin ortalama olarak 73 N'dan 116,78 N'a kadar arttığı tespit edilmiştir. Kesme derinliğinin 0,2 mm'den 0,6 mm'ye çıkarılmasıyla; F_y 'nin 64,20 N'dan 169,35N'a kadar arttığı görülmüştür.

Son olarak; Şekil 4.46, 4.47 ve 4.48'de verilen ilerleme kuvveti grafikleri incelendiğinde ise kesme hızının 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya çıkarılmasıyla; F_z 'nin 48,67 N'dan 87,27 N'a kadar arttığı; ilerleme hızının 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e artmasıyla; 45,96 N'dan 68,41 N'a yükseldiği; kesme derinliğinin 0,2 mm'den 0,6 mm'ye çıkarılmasıyla; kuvvetin 23,20 N'dan 94,35 N'a kadar yükseldiği görülmüştür.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında; Cu-Ni-Mo ön alaşımlı demir esaslı sinter parçalar, CNC torna tezgâhında, farklı kesme parametreleri ile işlenmiştir. Kesme parametrelerine bağlı olarak talaş morfolojisi ve debisi, yüzey pürüzlülüğü, sertlik, takım ömrü, işlem esnasında kesici uç ve iş parçasının yüzey sıcaklıkları, kesici ucun ve işlenen parçaların yüzeylerinin SEM görüntüleri ve kesme kuvvetlerinin detaylı bir şekilde incelenmesine yönelik bu çalışma ile elde edilen sonuçlar bu bölümde verilerek daha önceden yapılan çalışmalarla mukayese edilmiştir. Sonuçların ışığı altında konunun literatüre katkısıda ele alınmıştır. Ayrıca konunun devamlılığı açısından bölüm sonunda çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

5.1. TALAŞ MORFOLOJİLERİ

Talaş formu, işlenmiş yüzeyin kalitesinin nasıl olacağını belirleyen en önemli unsurdur. Ayrıca malzemelerin işlenirken karşılaşılabileceği zorlukları, kesici takımın aşınmasının maruz kaldığı sebepleri açıklamada da önemlidir. Talaş oluşum mekanizması, deformasyon bölgesindeki plastik deformasyon davranışı ve takım kesici kenarında yığıntı talaş oluşumu gibi kompleks davranışları içerir (Özçatalbaş, 1998). Talaş oluşum mekanizması ve talaşın morfolojisi, işlenmiş yüzeyin kalitesi, kesme kuvvetleri ve takım ömrü gibi işlenebilirlik kriterlerini etkiler. Talaş morfolojisini; malzemenin kimyasal bileşimi, mikroyapısı ve kesme parametreleri etkiler. Talaşın biçimi ve boyutları ise yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetlerini etkiler (Özçatalbaş, 1998). Bu tez çalışmasında, değişen kesme parametrelerinin talaş oluşumu üzerine etkileri ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

- Talaş formunun; kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği ile değiştiği tespit edilmiştir.
- İlerleme hızının artmasıyla talaş uzunluğunun ve kalınlığının attığı, daha net ve kısa virgül şeklinde talaş oluştuğu gözlenmiştir. İlerleme hızının artması ile şekil değişimine uğrayan talaşlar daha büyük boyutlara ve şekli daha düzenli hale gelmiştir. Oyman ve diğ. (2013) ilerleme hızının değişimiyle talaş formları açısından oluşan farklılığın nedeni, ilerleme hızındaki değişimle birim zamanda iş parçasında kopan malzeme miktarının artmasıyla açıklamışlardır.

- Kesme derinliğinin artmasıyla talaş uzunluğunun ve kalınlığının arttığı, kısa tüp şekilli talaşın yerine karmaşık tipli talaş oluştuğu gözlenmiştir.
- Kesme hızının artmasıyla talaş uzunluğunun ve kalınlığının arttığı, talaş şeklinin ise daha karmaşık bir şekle sahip olduğu belirlenmiştir. Kaya ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada; yüksek kesme hızlarının daha karmaşık şekilli talaş forumlarına neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca artan kesme hızıyla kesme düzlem açısı küçülmüş, çıkan talaşın sürekliliği artmıştır. Artan kesme hızıyla beraber, birinci deformasyon bölgesindeki şekil değiştirme hızı da önemli oranda artmakta, kayma bant genişliğinin azalmasına neden olmaktadır (Sutter, 1997). Bunun da talaşın formu üzerine etkili olduğu söylenebilir.
- Boothroyd ve Knight (2006); işlenebilirlik üzerine yaptıkları çalışmada; kesme hızı artışı ile talaş boyutunun büyüyerek yüzeyde talaş yapışması eğilimini azalttığını rapor etmiştir. Bu çalışmada artan kesme hızının yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma yapmasını da açıklamaktadır.
- Çalışmada kullandığımız toz içerisindeki % 1,5 Cu oranı talaşların yüzey yırtılmasını engellemiş ve daha düzgün ve düzenli talaş çıkmasını sağlamıştır. Bu konuyu; Yılmaz ve Varol (2011) toz metal parçalara farklı oranlarda Cu ekleyerek yaptıkları çalışmada; Cu oranının etkisiyle plastik deformasyonun kolay olmasıyla açıklamışlardır.
- Talaş rengi üzerine ilerleme ve kesme hızının etkisinin bulunduğu, kesme derinliğinin önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Artan ilerleme ve kesme hızının talaş rengini koyulaştırdığı tespit edilmiştir. Oyman ve diğ. (2013); işlenebilirlik üzerine yaptıkları çalışmada; ilerleme ve kesme hızının artışın yüksek sıcaklığa neden olacağından iş parçasında sertlik ve kırılganlık artışına sebep olacağını belirtmişlerdir. Artan parametrelerin sonucu olan sıcaklık artışı çalışmamızda oluşan talaş renginin koyulaşmasına neden olmuştur. Litaratürde; talaş kalınlığındaki artış, artan kesme hızı ile talaşın kıvrılma yarıçapının azalmasıyla açıklanmaktadır (Turgut ve diğ., 2009).
- Kaya ve diğ. göre (2010); şerit, dolaşık ve burğu şekilli talaş forumları işlenebilirliği zor, kabul edilemez talaşlar olarak değerlendirilirken, kısa veya uzun şekilli talaş formları kabul edilebilir olarak değerlendirilmektedir. Başka bir çalışmada da en iyi talaş tipini kısa tüp ve spiral tüp şeklinde oluşan talaş tipleri olarak değerlendirmiştir (Kara ve diğ., 2010). Bu çalışmada elde edilen talaş forumları kısa ve virgüle yakın şekilde olduğundan dolayı yukarıda bahsi geçen tanımlara göre kabul edilebilir olmaktadır. Düşük kesme kuvvetleri, talaşın takıma yapışma eğiliminin olmaması gibi etkenler kısa talaş formuna neden

olmuştur. Talaş formu ve buna bağlı olarak yüzey kalitesi açısından en iyi sonuçlar; 150 m/dak kesme hızı, 0,15 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,2 mm kesme derinliği parametrelerinde sağlanmıştır.

- TM ürünlerde gözeneklerin varlığı, kesme sırasında gözenek arayüzeylerinde mikro çatlak oluşumuna sebep olabilir (Şalak ve diğ., 2005). Bu çalışmada gözlemlendiği gibi; gözeneklerin varlığı aynı parametrelerde talaş morfolojilerinde oluşan farklılıklara sebep olabilir.

5.2. TALAŞ DEBİLERİ

- Talaş debisinin; kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği ile değiştiği tespit edilmiştir.
- Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla talaş debisinin arttığı tespit edilmiştir.
- Kesme hızının artmasının talaş debisi üzerine etkisi diğer parametrelere göre daha az olduğu fakat ilerleme hızının etkisi de oldukça fazla olduğu görülmüştür.
- En iyi talaş kaldırma kabiliyeti 250 m/dak, 0,6 mm ve 0,15 mm/dev ile işlenmiş numunede tespit edilmiştir.
- Kesme hızının 50 m/dak' dan 250 m/dak değerine artması ile yaklaşık % 14, kesme derinliğinin 0,2 mm'den 0,6 mm'ye artması ile yaklaşık 2,5 kat ve ilerleme miktarının 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev değerine çıkması ile talaş debisi yaklaşık 4,5 kat artmıştır.
- Kesme derinliği ve ilerleme hızına göre elde edilen talaş debisi, yüzey pürüzlülük sonuçları ile uyum içerisinde.

5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı imalat yöntemleri kullanarak işlenen parçaların yüzey kalitesi birçok değişkene bağlıdır. İşlenmiş yüzeyin yapısı; yüzey kalitesini belirleyen önemli bir kriterdir. Yüzey pürüzlülüğün belirlenmesi bu açıdan son derece önemlidir. Yüzey kalitesi birbirinden bağımsız şartlar altında değerlendirilen yüzey pürüzlülük ölçümleri ile belirlenir (Boothroyd, 1981). Yüzey pürüzlülüğü, aşınma, yağlama, sürtünme gibi tribolojik faktörlerin dışında sızdırmazlık, elektrik-ısı iletimi, kaplama, hidrodinamik gibi özellikler açısından da son derece önemlidir. İşleme esnasında kullanılan kesme parametreleri yüzey kalitesini belirleyen yüzey pürüzlülüğünü etkiler (Griffiths, 2001). Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen; kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği gibi parametreler üzerine oldukça yoğun çalışmalar

yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu geleneksel yöntemlerle üretilen malzemelerle ilgilidir. TM ürünler üzerine yapılan çalışmalarda büyük boşluk vardır. Yapılan çalışmaların tümünde; yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğe bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir (Bayrak, 2002, Eriksen, 1998, Feng ve Wang, 2002, Kopac ve Bahor, 2001, Lin ve Lee, 2001, Petropoulos ve diğ., 2003, Risbood ve Dixit, 2003, Thomas, 1982). Yüzey kalitesi, doğru işleme parametrelerinin seçimiyle sağlanabilir. Kesme parametrelerin seçimi genelde çalışan operatörün tecrübesi veya takım-cihaz kullanım kataloglarında verilen bilgiler ışında yapılır. Ancak bunlar yüzey kalitesini sağlamak açısından yeterli değildir. Talaşlı imalatla yüzey kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin belirlenmesi için kesme parametrelerinin farklı değerlerde alınıp sonuçlarının değerlendirmesi gereklidir. Bu tez çalışmasında kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği gibi önemli parametreleri değiştirerek yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini inceledik. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

- Yüzey pürüzlülüğü kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Kesme hızı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya arttığında; Ra, Rt ve Rz değerlerinde sırasıyla % 40, % 48,5 ve % 40 azalma görülmüştür. İlerleme hızı 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e arttırıldığında; Ra, Rt ve Rz değerlerinde sırasıyla % 20, % 27,5 ve % 17 artış tespit edilmiştir. Kesme derinliği 0,2 mm'den 0,6 mm'ye arttırıldığında; Ra, Rt ve Rz değerlerinde sırasıyla % 24, % 8 ve % 14 artış tespit edilmiştir.
- Artan kesme hızı ile yüzey pürüzlüğünde azalma birçok çalışmada artan kesme hızıyla sıcaklığın artmasına bağlı olarak talaş akma dayanımının düşmesi ve talaş akışını kolaylaştırması ile açıklanmıştır (Boothroyd, 1981, Paul ve diğ., 1997, Shaw, 1984). Benzer bir çalışmada da kesme hızındaki artışın kesme bölgesinde talaş deformasyonunun kolaylaştırarak yüzey pürüzlülük değerini düşürdüğü ifade edilmiştir (Bingul ve Kacal, 2013, Tekaslan ve diğ., 2016). Sortino ve diğ., (2013) sinter Mo parçaların işlenmesinde, yüksek kesme hızlarında daha iyi yüzey kalitesi olduğunu tespit etmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için literatürde önerilen en yaygın yöntem; kesme hızını arttırmaktır (Sandvik, 1997, Şeker, 1997). Özçatalbaş (1998) yaptığı çalışmada 50-210 mm/dak aralıklarında arttırılan kesme hızıyla beraber, yüzey pürüzlülüğünde hızlı bir düşüş görülmüştür. Boothroyd (1981) işlenebilirlik üzerine yaptığı çalışmada; kesme hızındaki artış ile yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma olduğunu belirtmiştir. Buna neden olan etkileri ise; artan kesme hızının yüzeye talaş yapışmasını engellemesi olarak

açıklamıştır. Çalışmada elde edilen bir diğer sonuçta; düşük kesme hızında talaş boyutunun fazla olmasının yüzey pürüzlülüğünü arttırmasıdır. Düşük kesme hızlarında oluşan talaşlar ana malzemeden daha sert ve büyük boyutlarda yığıntı talaş oluşumuna neden olur, bunlar kesici kenar gibi davranır ve kesici kenarın alt kısmına doğru büyüyerek işlenmiş yüzeyi düzensiz deforme eder ve yüzey pürüzlülüğünü arttırır. Artan kesme hızıyla yığıntı talaş oluşumu ötelenmiş ve yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.

- Artan ilerleme hızıyla yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme arasında doğru orantı vardır. Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için önerilen diğer bir uygulama ilerleme oranının düşürülmesidir (Boothroyd, 1981, Sandvik, 1997, Shaw, 1984). Artan talaş derinliği ile yüzey pürüzlülüğünün artması da çalışmada elde edilen diğer bir sonuçtur. Yüzey pürüzlülük değerlerindeki artış; artan ilerleme hızı ve kesme derinliğinin takım üzerinde sıvanma, aşınma ve çentik etkisi bırakmasıyla da açıklanabilir (Boothroyd, 1981, Tekaslan ve diğ., 2016). Zeyveli ve Demir (2009); soğuk iş takımı çeliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığını ve ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını rapor etmişlerdir.
- Artan kesme hızı ile aşınma izlerinin azaldığı, ancak artan ilerleme hızı ve kesme derinliği ile arttığı tespit edilmiştir. SEM sonuçları yüzey pürüzlük sonuçlarını desteklemektedir. SEM görüntülerinde açıkça aşınma çizgilerinin birbirine paralel ve hemen hemen eşit aralıklarda olduğu görülmüştür. Ayrıca görüntülerde yer alan siyah küçük noktalarında yüzeyde zamanla oluşan oksit kalıntıları olduğu noktasal EDS ile tespit edilmiştir.
- Çalışmamızda Ra'ya göre yüksek yüzey kalitesi açısından; en iyi parametrelerin kesme hızı 150 m/dak, ilerlemenin 0,05 mm/dev ve talaş derinliğinin 0,2 mm olduğu; Rz ve Rt'ye göre kesme hızı 250 m/dak, ilerlemenin 0,06 mm/dev ve talaş derinliğinin 0,10 mm olduğu tespit edilmiştir. Düşük yüzey kalitesi bakımından ise Ra'ya göre; kesme hızı 50 m/dak, ilerleme 0,6 mm/dev ve talaş derinliği 0,05 mm; Rz'ye göre; kesme hızı 50 m/dak, ilerleme 0,6 mm/dev ve talaş derinliği 0,10 mm; Rt'ye göre; kesme hızı 150 m/dak, ilerleme 0,4 mm/dev ve talaş derinliği 0,15 mm parametrelerin kullanımında tespit edilmiştir. Yıldırım ve Kaçal (2016); TM ile üretilen PMD23 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemişlerdir. Minimum yüzey pürüzlülüğü için düşük ilerleme miktarı, yüksek kesme hızı ve düşük kesme derinliği parametrelerinin uygun olduğunu belirtmişlerdir (Kaçal ve Yıldırım, 2016).

- Yüzey pürüzlülüğüne kesme hızı ve kesme derinliğinin etkisi ilerleme miktarına göre daha belirgin olmuştur. Ozcatalbas ve Bahcesi (2007); TM yöntemiyle ürettikleri Al esaslı parçaların işlenmesinde, yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin parametrenin kesme hızı olduğunu belirtmişlerdir. 50 m/dak'dan 150 m/dak'ya artan kesme hızlarıyla yüzey pürüzlük değerinin hızla düştüğünü; 150 m/dak'dan 200 m/dak'ya çıkıldığında ise fazla değişmediğini belirtmişlerdir. Bu değişimi oluşturan talaş formuyla ilişkilendirmişlerdir. Ayrıca 200 m/dak kesme hızında işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerleri arası farkı önemsiz olduğunu ifade etmişlerdir.

5.4. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

- Brinell ve Rockwell sertlik ölçümlerinde de kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Brinell sertlik ölçümlerinde en fazla artış kesme hızı miktarı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya çıkarıldığında % 9 olarak kaydedilmiştir.
- İlerleme hızının artması ise HB'de kayda değer artış sağlamamıştır. Kesme derinliğinin artması sertlik değerini % 4'e kadar arttırmıştır.
- Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla HRB sertlik değerinin en fazla % 4 kadar arttığı görülmüştür.
- Her iki ölçüm yönteminde de en yüksek sertlik değerleri 250 m/dak kesme hızında, 0,10 mm/dev ilerleme hızında ve 0,4 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.
- Brinell yöntemi ile en düşük sertlik değeri 150 m/dak kesme hızında, 0,10 mm/dev ilerleme hızında ve 0,6 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.
- HRB'de en düşük sertlik değeri 150 m/dak kesme hızında, 0,10 mm/dev ilerleme hızında ve 0,4 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.

5.5. TAKIM ÖMRÜ

Kesici takım aşınması, takımın yüzeyinde oluşan pürüzler (çizgiler) ile açıklanmaktadır. Kesme gücündeki değişiklikler takım aşınmasına neden olmaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, kesici takım aşınmasıdır. Zamanında tespit edilemeyen aşınmış bir takım ile parçayı işlemek parçanın yüzey kalitesini olumsuz etkileyeceği gibi, tezgâha da zarar verebilir. Bu nedenlerden dolayı takım aşınmasının

işlenebilirlik verimliliği üzerine etkisinin tespiti son derece önemlidir (Karayel ve Nalbant, 2014). İşleme sırasında meydana gelen, sürtünme ve ısı gibi etkenlerden dolayı kesici takım üzerinde birçok olumsuz durum oluşur. Bunlar kesici ucun işlememesine ve yan yüzeylerinde aşınmalara neden olur. Kesici takımın ömrünü tamamlayınca değiştirilmesi hem yüzey kalitesi hem üretim maliyeti açısından gereklidir (Uluğ, 2014). Takım ömrü deneylerinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği gibi farklı kesme parametrelerinde kesici takım ömrü tespit edilir. Bu çalışmada da en etkin kullanımı sağlayan takım ömrünü veren kesme parametreleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

- İşlenebilirlik testlerinde; takım ömrü (zaman) ve kesme hızı arasındaki ilişki ele alınmıştır ve kesme hızının kesici uç aşınması üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Beklenen yönde kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığı görülmüştür. Bu duruma artan kesme hızı ile birlikte artan ısının ve basıncın etkisi olmaktadır. Literatürde yapılan birçok çalışmada bunu desteklemektedir (Ezugwu ve diğ., 2005, Özçatalbaş ve Baş, 2006, Rahman ve diğ., 1997, Remadna ve Rigal 2006, Sugihara ve diğ., 2017, Şeker ve Koç, 2012, Xavior ve Adithan, 2009). Konuyla ilgili Sugihara ve diğ. (2017) yaptığı çalışmada; Inconel 718 parçalarını kuru ve kesme sıvısı ortamında tornalama ile işlemişler ve CBN uçları üzerinde farklı kesme hızlarının etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonunda; kesme hızının artmasıyla uç ömrünün azaldığını rapor etmişler. SEM görüntüleri kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığı ilişkisini desteklemektedir.
- Kuru ve kesme sıvısı kullanılan ortamda en uzun takım ömrü 50 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Kuru ortamda 25,5 dak takım ömrü elde edilirken kesme sıvısı kullanılan ortamda 28,5 dak elde edilmiştir. Her iki durum kıyaslandığında; kesme sıvısı kullanılan ortamda takım ömrünün %11,5 daha fazla olduğu görülmektedir. 150 m/dak ve 250 m/dak kesme hızlarına bakıldığında kuru ortamda kesici ucun aşınma süresinin gittikçe azaldığı ve kesme sıvısı ile çalışıldığında ucun daha kısa bir sürede serbest yüzey kırılmasına uğradığı görülmüştür. Daha önceden yapılan uygulamalara ve araştırmalara göre kesici uçlar iki sebepten dolayı kırılmaktadır. Birincisi; takım ömrünün serbest yüzey aşınması veya krater aşınmasına bağlı olarak yavaş yavaş tükenmesidir. İkinci sebep ise; aşınma belirli bir değere ulaştığında çok kısa süre içerisinde serbest yüzey aşınması hızlı bir artış göstermektedir. Buna bağlı olarak kesici kenar plastik deformasyona neden olmakta ve takım kırılmaktadır (Karagöz, 2012, Karayel ve Nalbant, 2014,). Kuru ortamda kesici uçlarda aşınma olmuş ancak kırılma gözlenmemiştir. Bu bağlamda kuru ortamın uç üzerine

daha olumlu etki yaptığı görülmüştür. Özer ve Bahçeci (2009) yaptığı çalışmada takım ucun kırılmasını, takım aşınması ve talaşın takıma yapışma eğiliminin fazla olması sonucu kesme kuvvetinin artması ile açıklamaktadır.

- Kuru ortamda kesici takımın kesme kenarı ve yan yüzeyinde sürtünme aşınması sonucu olarak serbest yüzey aşınması olduğu görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla oluşan sıcaklıktaki artış oluşan yığıntı talaş dayanımını düşürür ve gerilmeler sonucu kesici kenardan kopup uzaklaşarak takımın aşınmasına sebep olmaktadır. Kuru ortamda işlenen kesici uçlarda hızın artmasıyla oluşan yığıntı talaş ve yığıntı katman miktarının arttığı görülmüştür. Özçatalbaş ve Aydın (2006) çalışmalarında; yığıntı talaş oluşumunun kesici takımı kesme bölgesinden uzaklaştırarak kesici kenar gibi davranmasına neden olduğunu belirtmiştir. Ayrıca talaşların çok küçük boyutlarda olmasının yığıntı talaş oluşumunu engellediğini ve işlenmiş yüzeyin deformasyon miktarını ve yüzey hatalarını azalttığını da belirtmişlerdir. Benzer durum bizim çalışmamızda da tespit edilmiştir.
- Tüm kesme hızlarında talaş oranının sabitlenmesine rağmen, kesme hızının artmasıyla takım aşınması artmıştır. Kesme gücünün yüksek genlik ve titreşimi, yorulma aşınması mekanizması ile kesme ucunun pürüzlü yüzeyi üzerinde aşınmaya neden olur. Artan kesme hızıyla yüzey pürüzlük ve güç dalgalanmaları azalır ancak takım aşınması artar. Yüksek kesme hızlarında oluşan mikro çatlaklar, krater aşınmasının bir sonucu olarak takım yüzeyinde pürüzlere neden olmaktadır. Kesici uç üzerinde oluşan yan yüzeylerin aşınması, çentik oluşumu, yapışık kenar oluşumu ve talaş sıvanması gibi etkenler yüzey pürüzlülük değerlerini artırma yönünde etkili olmaktadır. M'Saoubi ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada; kimyasal içeriği farklı iki TM yüksek hız çeliğini PCBN Secomax CBN200 kesici uç kullanarak işlemişlerdir. Çalışmalarında; farklı kesme parametrelerinin ve MnS ilavesinin; kesici uç ve iş parçası yüzeyi üzerindeki etkilerini incelemişler. Çalışmalarının sonucunda; kuru işlemede özellikle MnS'ün ilave edilmesiyle daha uzun kesici uç ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmişlerdir.
- Takım aşınma tipi ve mekanizmalarını belirlemek için kesici uçların SEM görüntüleri alınmıştır. Yapılan incelemelerde kesici uç üzerinde az miktarda serbest yüzey aşınması olduğu tespit edilmiştir.
- Genel olarak, kesici uç yüzeyinde kesme derinliği ve ilerleme değerlerine göre oluşmuş aşınma ve 50 m/dak, 150 m/dak ve 250 m/dak kesme hızlarında sırasıyla; yaklaşık 334,

584 ve 667 μm serbest yüzey aşınması görülmektedir. Finit (bitirme) operasyonu 30-300 μm aralıklarında gerçekteştiği göz önüne alındığında, 150 ve 250 m/dak kesme hızlarında takım ömrünün oldukça olumsuz etkilendiği söylenebilir. Bu durumda takım ömrü açısından, 50 m/dak kesme hızının üzerinde işlenmemesi uygundur diyebiliriz.

- Cu-Ni-Mo içeren Distaloy parçaların heterojen mikroyapısının; kesme sırasında değişen yüklemeler oluşturmaları mikro düzeyde kopmalara sebep olabilir ve takım üzerinde talaşın temas ettiği yüzeyleri yırtabilir. Az miktarda serbest yüzey aşınması, heterojen mikroyapıdan kaynaklı farklı sertlikteki fazların bulunmasının neden olduğu abraziv aşınma mekanizmasının sonucudur. Abraziv aşınmanın neden olduğu izler kesici SEM görüntülerinde kenar boyuncada görülmektedir.
- Kesici kenar üzerinde az miktarda talaş yapışması ve sıvanması görülmektedir. Kesici uçda BUE oluşumu, yan kenar ve çentik aşınmalarından kaynaklanır. Buna düşük kesme hızları neden olabilir. Düşük kesme hızında uçda BUE oluşumu, yüksek kesme hızında aşınma ve çentik oluşumu gözlenir.

5.6. İŞLEM ESNASINDA KESİCİ UÇ VE İŞ PARÇASININ YÜZEY SICAKLIKLARI

İşlenen yüzeyin sıcaklığı, büyük oranda takım-talaş ara yüzeyindeki temasa, kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne ve kesici takım-iş parçası ara yüzeyindeki sürtünmeye bağlıdır. Genellikle, düşük kesme hızları iş parçasına iletilen ısıyı artırır, yüksek kesme hızları ise enerjinin çoğunun talaşla atılmasına ve kesici takım ve iş parçasına daha az ısı iletilmesine neden olur (Şalak ve diğ., 2005). Kesme parametreleri içerisinde sıcaklık üzerine en etkili parametre kesme hızıdır (Chen ve diğ., 1997) . Kesme hızının işlem esnasında kesici uç ve iş parçası üzerine etkisinin sonuçları aşağıda verilmektedir:

- Kesme sıvısı ortamında işleme ile ölçülen kesici uç ve parça yüzeyinin sıcaklık değerleri kesme hızıyla etkilenmediği ($\approx 20,6^\circ\text{C}$ olarak) tespit edilmiştir. Bu durum kesme bölgesine ve takım/talaş ara yüzeyine püskürtülen kesme sıvısının talaş kaldırma sıcaklığını düşürdüğü ve kesici takım üzerindeki sıcak talaşların hızla uzaklaştırdığının sonucu olarak açıklanmaktadır. Püskürtülen kesme sıvısı sayesinde talaşın takımla temas alanının azaltılması ve böylece ısı oluşumunda büyük etkisi olan sürtünme alanının önemli ölçüde azaltılması da sıcaklığın düşürülmesinde ve sabit tutmasında önemli etkiye sahip olmuştur (Özçatalbaş ve Baş, 2006).

- Kuru işleme ortamında kesme hızının artmasıyla kesici uç ve iş parçası yüzey sıcaklığının arttığı ve işleme süresinin artmasıyla da bu sıcaklığın arttığı tespit edilmiştir. Aydın ve diğ. (2010) yaptığı çalışmada; AISI 304 malzemesini kullanarak farklı kesme parametrelerinin talaş kaldırma sürecine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaç için; kesici uç ve kaldırılan talaş yüzeyinin sıcaklığını ölçmüşlerdir. Kesme hızının artmasıyla her iki durumda da sıcaklığın arttığı görülmüştür. Düşük kesme hızlarında, sıcaklığın sabit ve düzensiz artışlar yaptığı ancak orta ve yüksek kesme hızlarında sıcaklığın düzgün bir şekilde arttığını rapor etmişler.
- En yüksek sıcaklıklar kesici takım aşınmasında, kesici uç ve iş parçası yüzeyinde elde edilmiştir. Ancak sıcaklıklar arasında çok büyük farklar oluşmamıştır. Bunun sebebi; talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan sıcaklığın talaş, iş parçası ve kesici takıma dağılması ayrıca oluşan maksimum ısının gevrek yapıdaki talaşla uzaklaştırılması olarak açıklanabilir.

5.7. KESME KUVVETLERİ

- F_x , F_y ve F_z üzerine tüm parametrelerin etkisi olmuştur. Ancak kesme kuvvetleri üzerine en etkili parametreler kesme derinliği ve ilerleme hızıdır.
- Kesme hızı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya arttığında; ortalama olarak 36,30 N' den 61,30 N'e, ilerleme hızı; 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e arttırıldığında; ortalama olarak 28,73 N'den 65,5 N'a ve kesme derinliği 0,2 mm'den 0,6 mm'ye arttırıldığında; ortalama olarak Radyal kuvvetin 36,55 N'dan 54 N'a kadar arttığı görülmüştür.
- Kesme hızı 50 m/dak'dan 150 m/dak'ya çıkarıldığında Kesme kuvvetinde 116 N'dan 113 N'a kadar azalma. Ancak hızın 250 m/dak'ya çıkarılmasıyla bu kuvvetin 125 N'a yükseldiği, ilerleme hızı 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e arttırıldığında ortalama olarak 73 N'dan 116,78 N'a ve kesme derinliği 0,2 mm'den 0,6 mm'ye arttırıldığında ortalama olarak 64,20 N'dan 169,35 N'a kadar arttığı görülmüştür.
- Kesme hızı 50 m/dak'dan 250 m/dak'ya arttığında; ortalama olarak 48,67 N'dan 87,27 N'a, ilerleme hızı 0,05 mm/dev'den 0,15 mm/dev'e arttırıldığında ortalama olarak 45,96 N'dan 68,41 N'a ve kesme derinliği 0,2 mm'den 0,6 mm'ye arttırıldığında ortalama olarak İlerleme kuvvetinin 23,20 N'dan 94,35 N'a kadar arttığı görülmüştür.

- En yüksek F_x , F_y ve F_z değeri 50 m/dak kesme hızında, 0,15 mm/dev ilerleme hızında ve 0,6 mm kesme derinliğinde; en düşük F_x , F_y ve F_z değeri ise 50 m/dak kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme hızında ve 0,2 mm kesme derinliğinde tespit edilmiştir.
- Kesme kuvvetleri değerleri; genel olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği ile artmıştır. Literatürde bu durum; artan kesme hızıyla beraber kesici takım uç noktasında sürtünme gerilmesi oluşturmaları sonucu kesme kuvvetinin artmasına yol açmasıyla açıklanır (Özcatalbaş ve Ercan, 2003). Bu çalışmada düşük kesme hızlarında oluşan kısa ve ince talaşlar kesme ve ilerleme kuvvetlerini düşürmüştür. Wayal ve diğ. (2015) kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğindeki artışın işleme tezgâhının daha fazla yüke maruz bırakılmasından dolayı kesme kuvvetlerini ve titreşimi arttırdığını belirtmiştir. Artan stres konsantrasyonu talaş kırılmasını kolaylaştırır ve kesme gücünü azaltır. Yüksek kesme hızı, yüksek kesme sıcaklığına neden olur. Kesme gücü kesme hızıyla azalır. Özcatalbaş ve diğ. (2007) yaptıkları çalışma sonuçları da bu durumu destekler niteliktedir.

5.8. ÇALIŞMANIN LİTERATÜRE KATKILARI

Cu-Ni-Mo ön alaşımlı demir esaslı toz metal malzemenin farklı işleme parametreleri kullanılarak işlenmesi sonucu yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular ışığında konuyla ilgili literatüre katılan bilimsel faydalar aşağıda sıralanmıştır.

- Cu-Ni-Mo ön alaşımlı demir tozlarından üretilen parçaların işlenebilirliği, TM sektöründe yaygın olarak kullanılması (özellikle otomotiv sanayide % 80 oranında kullanıma sahip olması) açısından önem arz etmektedir.
- TM ürünlerin işlenebilirliği üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunun farklı alaşım gruplar, kesici uçlar, yağlayıcılar gibi konular üzerinde yoğunlaştığı Bölüm 2.3’de Literatür Araştırması kısmında açıkça ifade edilmiştir. Bu bağlamda kesme parametreleri üzerine çalışmanın özellikle bu toz grubuyla olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmayla literatürdeki bu boşluk giderilmeye çalışılmıştır.
- Yapılan çalışmanın deneysel bir çalışma olmasının yanı sıra parçaların TM teknolojisiyle üretiminin ve sonrasında işlenmesinin konusunda sektörde hizmet veren işletmelerde yapılması da sonuçların güvenilirliği açısından önem arz etmektedir.
- Çalışmada, işlenebilirlik kriterlerinin tamamı ele alınarak, detaylı malzemeler yapılmıştır. Bu anlamda çalışma bir bütün oluşturmaktadır.

- Titreşim ve titreşimin bir fonksiyonu olan ses şiddetinin; takım ömrü, yüzey kalitesi ve kesme kuvvetleri üzerine oldukça önemli etkileri bulunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kesme parametreleri ile tezgâhın maruz kaldığı titreşim arasındaki ilişki belirlenmelidir.



KAYNAKLAR

- Acır, A., 2003, Talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin incelenmesi, *Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, 209-216.
- Agapiou, J. S. & DeVries, M. F., 1988, Machinability of powder metallurgy materials, *The International Journal of Powder Metallurgy*, American Powder Metallurgy Institute, 24 (1), 47-57.
- Aksoy, T., 2009, *Toz metalürjisiyle üretilen PMD 23 çeliğinin işlenmesinde kesici takım performansının ve talaş geometrisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altın, A., Gökkaya, H. & Nalbant, M., 2006, İşleme parametrelerinden kesme hızının Inconel 718 süper alaşımın işlenebilirliğine etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), 581-586.
- Ambs, H., 1991, Machinability studies on sintered stainless steel, *Advances in Powder Metallurgy*, 3, 89-100.
- Andersson, O., 2009, Machining of warm compacted P/M parts in green state, *Andreas Benner, Institute f. Materials Science, Augustinerbach*, (4) 52062 Aachen, Germany.
- Andersson, O. & Berg, S., 2005, Machining of Chromium Alloyed PM Steels, *Höganäs AB, SE-263 83 Höganäs*, Sweden.
- Angelo, P. C. & Subramanian, R., 2008, *Powder metallurgy science, technology and applications*, New Delhi.
- ASM Metals Handbook, 1989, Volume 16: *Machining*, ASM International, 1146. USA.
- ASM Metals Handbook, 1998. *Powder metal technologies and applications Volume 7*, ASM International, 1146. USA.
- Aswad, S. M., 2011, *Püskürtmeli şekillendirme işleminin gözenekliliğe etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aswad, S. M. & Usta, Y., 2011, Püskürtmeli şekillendirme işleminin gözenekliliğe etkileri, 6. *Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı ve Sergisi*, 05-09 Ekim, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, (106), 691-699.
- Ataç, A., 2002, Toz metal parçaların işlenebilirliği ve toz metal A.Ş.'de işleme proseslerinde yapılan geliştirme çabaları, 3. *International Powder Metallurgy Conference*, 14-16 Sep. 2002 Turkish PM Association, Gazi University, Ankara, 804-816.
- Avishan, B., Yazdani, S. & Jalali V. D., 2011, Effect of austempering temperature on machinability of Cu-Ni-Mo alloyed austempered ductile iron for heavy section parts, *International Journal of Cast Metals Research*, 24(1), 22-27.

- Aydın, B., 2002, *AA2014 alaşımında yaşlandırma ısı işleminin işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, M., Uçar, M. & Cengiz, A., 2010, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kuru tornalanabilmesine kesme parametrelerinin etkisi, *II. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir*, 85-94.
- Bayer, R. G., 1994, Mechanical wear prediction and prevention, *Marcel Dekker, Inc, P. O. Box 5005, Monticello, NY 12701-5185, USA*, 657.
- Bayrak, M., 2002, *Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Berg, S., 1998, Machinability of sintered steels-guidelines for turning, drilling and tapping, *Metal Powder Report*, 6, 39.
- Bilgin, M. & Ulaş, H. M., 2015, İslah çeliğinin farklı kesici takımlarla işlenmesinde kesme parametrelerinin talaş şekilleri üzerine etkisi ve talaş şekillerinin sınıflandırılması, *ISITES Akademi Platfor*, Spain, 1308-1317.
- Bingul, E. & Kacal, A., 2013, Hard turning of powder metallurgical cold work tool steel tempered in different tempering temperature, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 72 (8), 498-505.
- Blais, C. & L'espérance, G, 2002, Turning and drilling of parts made from sinter hardenable steel powders, *Powder metallurgy*, 45(1), 39-47.
- Bocchini, G. & Lindsog, P., 1991, Applications and developments of sintered ferrous materials, *Powder Metallurgy-An Overview, The Institute of Metals Series on Powder Metallurgy, Editör: Jenkins I. and Wood, JV*, 287-295.
- Boothroyd, G., 1981, *Fundamentals of metal machining and machine tools*, International Student ed. 5th Printing, McGraw-Hill, New York, ISBN 0-07-085057-7.
- Boothroyd, G. & Knight W. A., 2006, Fundamentals of machining and machine tools, *3rd ed. Taylor and Francis*, Marcel Dekker, INC. ISBN: 0-8247-7852-9.
- Bozdağ, V., 2008, *Yakından eşlemeli laval nozul kullanılarak yapılan püskürtme şekillendirmenin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Brito, R., Carvalho, S. & Silva, S. L. E., 2015, Experimental investigation of thermal aspects in a cutting tool using comsol and inverse problem, *Applied Thermal Engineering*, 86, 60-68.
- Çakır, M., 2000, *Modern talaşlı imalatın esasları*, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını, Baskı Bursa, Türkiye.

- Çakır, M., 2006, *Modern talaşlı imalat yöntemleri*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, ISBN: 975-591-979-1.
- Çakır, M. C. & Özdemir, K., 2008, Kesme parametrelerinin başlangıç aşınmasına etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 13 (2), 99-109.
- Can, A., 2003, *AISI 5140 çeliğinin sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Capus, J. & Fournel, C., 1981, Tool wear measurements in machining of sintered ferrous alloys, *Progress in Powder Metallurgy*, 37, 165-176.
- Causton, R. J., 2002, Role of additives in PM machining, *P/M 2 TEC 2002 World Congress on PM and Particulate Materials*, 16-21 June 2002 Orlando, Florida.
- Causton, R. & Schade, C., 2003, Machinability: a material property or process response, *Advances In Powder Metallurgy And Particulate Materials*, 7-154.
- Çelik, A., 1994, *İşlenebilirlik ve kalsiyum uygulaması*, Teknik Yayınları 12. Bursa.
- Chen, Y., Baudisch, R., Ceci, L., Kiefer, R. & Whitman, C., 1992, Free-machining P/M alloy optimization using statistical analytical techniques-the effect of MnS content and particle size. *Advances In Powder Metallurgy & Particulate Materials--1992.*, 4, 269-281.
- Chen, W. C., Tsao, C. C. & Liang, P. W., 1997, Determination of temperature distributions on the rake face of cutting tools using a remote method, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 24 (2), 161-170.
- Chopra, K., 1988, Manganese sulfide in machining grade ferrous P/M alloys, *Modern Developments in Powder Metallurgy*, 21 (2), 361-379.
- Çiftçi, İ., 2004, AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliğin kaplanmış sementit karbür kesici takımla işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması, *Teknoloji*, 7 (3), 489-495.
- Çiftçi, İ., 2011, *İmalat yöntemleri*, Lisansüstü Ders Notları, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Karabük, 1-47.
- Czampa, M., Markos, S. & Szalay, T., 2013, Improvement of drilling possibilities for machining powder metallurgy materials, *Procedia CIRP*, 7, 288-293.
- Daymi, A., Boujelbene, M., Salem, S. B., Sassi, B. H. & Torbaty, S., 2009, Effect of the cutting speed on the chip morphology and the cutting forces, *Archives of Computational Materials Science and Surface Engineering*, 2 (1), 77-83.
- Degarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A. & Klamecki, B. E., 1997, *Materials and process in manufacturing*, Prentice Hall, New Jersey.

- Dessoly, V., Melkote, S. N. & Lescalier, C. 2004, Modeling and verification of cutting tool temperatures in rotary tool turning of hardened steel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44 (14), 1463-1470.
- Dieter, G. E. & Bacon, D. J., 1986, *Mechanical metallurgy*, McGraw-hill New York.
- Elajrami, M., Milouki, H. & Boukhoulda, F. B., 2013, Effect of drilling parameters on hole quality, *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)*, 1 (4), 254-257.
- Engström, U., 1983, Machinability of sintered steels, *Powder Metallurgy*, 26 (3), 137-144.
- Eriksen, E., 1998. Influence from production parameters on the surface roughness of a machined short fibre reinforced thermoplastic, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, 1611- 1618.
- Ertunç, H. M. & Sevim, İ., 2001, Kesici takımların aşınmasını gözlemleme üzerine yapılan çalışmalar, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 55-62.
- Ezugwu, E., 2005, Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 (12), 1353-1367.
- Feng, C. & Wang, X., 2002, Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 20, 1-8.
- Fulmer, J. J. & Blanton, J. M., 1992, The effect of microstructure on the machinability of an MPIF FC-0208 copper steel, *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 4, 283-296.
- Gagné, M. & Chagnon, F., 1999, Characterizing the machinability of green P/M parts, *Advances in powder metallurgy and particulate materials*, 3, 12-119.
- Gagné, M., Chagnon, F. & Iron, R. T., 1998, Enhancing the machinability of powder forged components, *PM World Congress Proceedings*, 18-22 October, Granada-Spain, Post Sintering, EPMA.
- Gavas, M., Yaşar, M., Aydın, M. & Altunpak, Y., 2013, *Üretim yöntemleri ve imalat teknolojileri*, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A. Ş., Ankara, ISBN:978-975-02-2470-6.
- German, R. M., 1984, *Powder metallurgy science*, Metal Powder Industries Federation, 105 College Rd. E, Princeton, N. J. 08540, U. S. A, 279.
- German, R. M., 1998, *Powder metallurgy of iron and steel*, John Wiley & Sons, Inc, 605 Third Ave, New York, NY 10016, USA, 496.
- German, R. M., 2007, *Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri*, Çeviri Editörleri, Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu N., Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, Ankara, ISBN:978-975-92463-2-7.

- Griffiths, B. J., 2001, *Manufacturing surface technology*, in: *Surface integrity and functional performance*, Penton Press. London.
- Gülsoy, H., Uçar, M. & Özcan, E., 1999, Fe-Cu-C kompaktlarına katılan ilave C miktarının işlenebilirlik özelliklerine etkisi, *Uluslararası katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı Bildiriler Kitabı*, 15-17 Eylül 1999 ODTÜ Ankara, 475-481.
- Höganäs, A.B., 1996, *Höganäs Iron and Steel Powders for Sintered Components*, Sweden.
- Höganäs, A. B., 2004, *Material and powder properties volume 1*, Höganäs Handbook for Sintered Components, Sweden.
- Höganäs AB, 2004a, *Material and Powder Properties Volume 1*, Höganäs Handbook for Sintered Components, Sweden.
- James, P., 1994, Factors affecting quality of drilled holes in sintered steels, *Powder metallurgy*, 37 (2), 133-136.
- Jin, D., Liu, Z., Yi, W. & Su, G., 2011, Influence of cutting speed on surface integrity for powder metallurgy nickel-based superalloy FGH95, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 56, 553-559.
- Johansson, R., 1988, Different methods to improve of high strength sintered steels, *Proceedings of Int. PM Conference*, 1988 Steps to Improve Machinability, APMI, 21(7).
- Kaçal, A. & Yıldırım, F., 2016, PMD23 çeliğinin tornalanmasında CBN kesici uçların kesme performansının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (1), 181-189.
- Kara, F., Aslantaş, K. & Çiçek, A., 2010, Ortogonal kesme işleminde kaplama malzemesinin talai morfolojisi üzerinde etkisinin araştırılması, 2. *Uluslararası Tasarım ve İmalat Analiz Kongresi*, 11-12 Kasım Balıkesir Türkiye, 95-104
- Karagöz, İ., 2012, Kesici takım malzemesi seçiminin kesici takım kaynaklı hatalar üzerindeki etkisinin incelenmesi, *Kalıp Dünyası Dergisi*, 76, 118-123.
- Karayel, B. & Nalbant, M., 2014, Ç4140 malzemesinin tornalamasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11 (3), 11-26.
- Kızıloğlu, Ç., 2016, *Otomotiv endüstrisinde toz metalürjisi*, <https://canerkiziloglu.blogspot.com.tr/2016/04/otomotiv-endustrisinde-toz-metalurjisi.html>, [Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2018].
- Klink, A., Guo, Y. & Klocke, F., 2011, Surface integrity evolution of powder metallurgical tool steel by main cut and finishing trim cuts in wire-EDM, *Procedia engineering*, 19, 178-183.

- Klocke, F., 2010, Simulation in manufacturing technology: lecture 8, principles of cutting, *Fraunhofer Institute for Production Technology*, Aachen.
- Kopač, J. & Bahor, M., 1999, 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, 381-387.
- Kopac, J. & Bahor, M., 2001, Interaction of workpiece materials technological past and machining parameters on the desired quality of the product surface roughness, *Journal of Materials Processing Technology* 109, 105-111.
- Korkut, I., Kasap, M., Ciftci, I. & Seker, U., 2004, Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel, *Materials & Design*, 25, 303-305.
- Küçükarslan, S., 2006, *Gaz atomize kalay tozu üretim parametrelerinin deneysel olarak araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lin, W. S. & Lee, B. Y., 2001, Modelling the surface roughness and cutting force during turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 108, 286-293.
- Madan, D., 1991, An update on the use of manganese sulfide (MnS) powder in powder metallurgy applications. *Advances in Powder Metallurgy*, 3, 101-115.
- Madan, D., 1992, Effect of manganese sulfide (MnS) on properties of high performance P/M alloys and applications, *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 4, 245-267.
- M'Saoubi, R., Czotscher, T., Andersson, O. & Meyer, D., 2014, Machinability of powder metallurgy steels using PcBN inserts, *Procedia CIRP*, 14, 83-88.
- Ok, M., 2009, *AISI 304 paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde işlenebilirliğinin incelenmesi ve tahmin modellerinin oluşturulması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Oxley, P. L. B., 1989, *The mechanics of machining: an analytical approach to assessing machinability*, Halsted Press, England, ISBN: 0470-213-8-25.
- Oyman, E., Aslantaş, K. & Pazarkaya, İ., 2013, Ortogonal kesme işleminde talaş morfolojisi ve kayma bandını etkileyen parametrelerin araştırılması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10, 59-71.
- Ozcatalbas, Y., Bahceci, E. & Turker, M., 2007, Effect of cutting tool materials on surface roughness and cutting forces in machining of Al-Si₃N₄ composite produced by powder metallurgy, *Materials Science Forum*, 2007. Trans Tech Publ, 869-872.
- Özçatalbaş, Y., 1996, *1050, 4140, 8620 çeliklerinin ısıtma işlemle değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Özçatalbaş, Y., 1998, Düşük alaşımlı çelikte yığıntı talaş oluşumunun işleme özelliklerine etkisi, 8. *Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, 09-11 Eylül ODTÜ Ankara Türkiye, 25-33.
- Özçatalbaş, Y., 2014, *Mühendislik malzemelerin işlenebilirliği*, Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Ders Notlar, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Özçatalbaş, Y. & Ali, B., 2006, Tornalamada hava püskürtme ile soğutmanın kesme kuvvetleri ve takım ömrüne etkilerinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), 451-455.
- Özçatalbaş, Y. & Aydın, B., 2006, Mekanik özellik ve kesme geometrisinin AA2014 alaşımının işlenebilirlik özelliklerine etkileri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 21-27.
- Özçatalbaş, Y., Ercan, F. & Türker, M., 1997, 1050 çeliğinde mikroyapı ve mekanik özelliklerin talaş morfolojisi ile işleme özelliklerine etkisi, 9. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 11-15 Haziran İstanbul Türkiye, 319-326.
- Özçatalbaş, Y. & Ercan, F., 2003, The effects of heat treatment on the machinability of mild steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 227-238.
- Özdemir, U. & Erten, M., 2003, Talaslı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri, *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 1 (1), 37-50.
- Özer, A. & Bahçeci, E., 2009, AISI 410 martensitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplamasına bağlı işlenebilirliği, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (4), 693-698.
- Paul, D., Black, E. & Ronaldo, A. K., 1997, *Material and process in manufacturing*, Prentice Hall International Inc.
- Petropoulos, G. A., Torrance, A. & Pandazaras, C. N. 2003, Abbott curves characteristics of turned surfaces, *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, 43, 237-243.
- Poirer, J. & Gagné, M., 1990, A new approach to improve machinability of high strength PM parts, *Metal Powder Report*, 45 (3), 184-186.
- Rahman, M., Seah, W. & Teo, T., 1997, The machinability of Inconel 718, *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 199-204.
- Remadna, M. & Rigal, J. F., 2006, Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts, *Journal of Materials Processing Technology*, 178, 67-75.
- Risbood, K. A. & Dixit, U. S., 2003, Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibration in turning process, *Journal of Material Processing Technology*, 132, 203-214.

- Roy, L., De Rege, A. & Pease, L., 1988, Relationship between machinability and strength in a prealloyed manganese sulfide sintered material, *Modern Developments in Powder Metallurgy*, 21 (7), 327-360.
- Sandvik Coromant Co. Inc., 1997, *Modern Metal Cutting-A Practical Handbook*, Sweden.
- Sartorius, 1999, *Manual of weighing applications part 1 density*, *Weighing Technology*, 1-65.
- Sasahara, H., Satake, K., Takahashi, W., Goto, M. & Yamamoto, H., 2017, The effect of oil mist supply on cutting point temperature and tool wear in driven rotary cutting, *Precision Engineering*, 48, 158-163.
- Selvakumar, N., Raj, A. M. & Narayanasamy, R., 2012, Experimental investigation on workability and strain hardening behaviour of Fe-C-0.5 Mn sintered composites, *Materials & Design*, 41, 349-357.
- Shaw, M. C., 1984, *Metal cutting principles*, Oxford University Press, London, ISBN: 0-19-859002-4.
- Shaw, M. C. & Cookson, J., 1984, *Metal cutting principles*, Clarendon Press Oxford.
- Smith, G., 1990a, Surface integrity aspects of machinability testing of Fe-C-Cu powder metallurgy components, *Powder Metallurgy*, 33 (2), 157-164.
- Sortino, M., Totis, G. & Prosperi, F., 2013, Dry turning of sintered molybdenum, *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 1179-1190.
- Stephenson, D. A. & Agapiou, J. S., 2016, *Metal cutting theory and practice*, CRC press, New York.
- Sugihara, T., Tanaka, H. & Enomoto, T., 2017, Development of novel CBN cutting tool for high speed machining of Inconel 718 focusing on coolant behaviors, *Procedia Manufacturing*, 10, 436-442.
- Sutter, G., Faure, L., Molinari, A. Deiime, A. & Duzzinski, D., 1997, Experimental analysis of the cutting process and chip formation at high speed machining, *Journal De Physique IV*, 33-38.
- Şahin, Y., 2001, *Talaş kaldırma prensipleri II*, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, ISBN:975-591-219-3.
- Şahin, Y., 2003, *Talaş kaldırma prensipleri I*, Gazi Kitapevi Tic. Ltd. Şti., Ankara, ISBN:975-8640-57-7.
- Şahinoğlu, A., Güllü, A. & Dönertaş, M. A., 2017, GGG50 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde kesme parametrelerinin titreşim, ses şiddeti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin araştırılması, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (1), 67-79.

- Şan, S., 2007, *Mikroalaşımli çeliklerin işlenebilirliğinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Šalák, A., Selecká, M. & Danninger, H., 2005, *Machinability of powder metallurgy steels*, Cambridge Int Science Publishing, Cambridge UK, ISBN: 1-898326-82-7.
- Šalák, A., Vasilko, K. & Selecká, M., 2009, Machinability of sintered steels in face turning: effect of cutting speed and tool grade, *Institute of Materials Research of SAS*, 5-10.
- Şeker, U., 1997, *Takım tasarımı*, Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Şeker, U. & Koç, A., 2012, Takım ömrü modellerinde kübik bor nitrit kesici takımlar için “n” üstel değerlerinin deneysel olarak araştırılması, 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 4-5 Ekim 2012 Gazi Üniversitesi, Ankara, 407-413.
- Tekaslan, Ö., Gerger, N. & Şeker, U., 2016, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 3-12.
- Thomas, T. R., 1982, *Rough Surface*, Longman, New York.
- Trent, E. M. & Wright, P. K., 2000, *Metal cutting*, Butterworth-Heinemann.
- Turgut, Y., Yeyen, H. & Korkut, İ., 2009, AISI 303 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin talaş biçimine etkisi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük Türkiye.
- Uluğ, D., 2014, *Kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür takımlar için taylor takım ömrü modeli'ndeki “n” üstel değerinin deneysel olarak araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Upadhyaya, G. S., 1999, *Sintered Metallic and Ceramic Materials: Preparation, Properties, and Applications*, John Willey and Sons LTD, West Sussex, England.
- Uslan, İ. & Sarıtaş, S., 1996, Gaz atomizasyonunda nozul geometrisi, gaz cinsi ve basıncının alüminyum tozu boyutuna etkisinin araştırılması, 1. *Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Düzenleyen: Türk Toz Metalurjisi Derneği*, 16-17 Eylül 1996 Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Ankara, 217-226.
- Uzun, E., Boz, M., 2011, Elektroliz Yöntemi İle Toz Üretiminde Anot Yüzey Alanının Toz Boyutu ve Şekline Etkisi, 6.th *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16 - 18 Mayıs 2011 Fırat üniversitesi Elazığ, Türkiye, 83-87.
- Üllen, N. B., 2016, Machinability with different cutting parameters of sintered steels, *18th International Metallurgy and Materials Congress*, 29 Sept. – 01 Oct. Istanbul Turkey, 1002-1004.
- Ünal, R., 2010, *Toz metalurjisi üretim teknikleri*, Lisans Ders Notları. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

- Wayal, V., Ambhore, N., Chinchankar, S. & Bhokse, V., 2015, Investigation on cutting force and vibration signals in turning: Mathematical modeling using response surface methodology, *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 5(3), 64-68.
- Wyatt, J. E. & Trmal, G. J., 2006, Machinability: employing a drilling experiment as a teaching tool, *Journal of Industrial Technology*, 22, 1-12.
- Xavior, M. A. & Adithan, M., 2009, Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *Journal of materials processing technology*, 209, 900-909.
- Yağmur, S., Adem, A., Şeker, U. & Günay, M., 2013, Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (1), 1-6.
- Yazman, Ş., 2006, *Östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirlerde kesme parametrelerinin işlemeye etkisinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yeşilyurt, S., 2003, *AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerinin torna tezgahında işleme esnasındaki sese dayalı olarak araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldırım, F. & Kaçal, A., 2016, Toz metalürjisi takım çeliklerinde cevap yüzey metodu kullanarak optimum tornalam parametrelerinin belirlenmesi, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3 (2), 272-280.
- Yıldız, T. & Gür, A. K., 2006, Aşınma sistemleri, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölüm, 86-91.
- Yılmaz, N., 2006, *Demir esaslı toz metal malzemelerin talaşlı işlenebilirliği*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, N. & Varol, R., 2011, Bakır oranının demir-esaslı yapısal toz metal malzemelerin mekanik özellikleri ve delinebilirliğine etkisinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (1), 161-171.
- Zeyveli, M. & Demir, H. 2009. AISI 01 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından araştırılması, *Engineering Sciences*, 4 (3), 323-331.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Shaker Mahmood Aswad HASAK
Doğum Yeri	Telafer / Irak
Doğum Tarihi	12.08.1981
Uyruğu	☒ T.C. ☒ Diğer: Irak / Türkmen
Telefon	0535 360 14 20
E-Posta Adresi	halaybekoglu@gmail.com
Web Adresi	Yok



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Musul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	02.08.2003

Yüksek Lisans	
Üniversite	Gazi Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Makine Mühendisliği Programı

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Makine Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler	
- Hasak, S. M. A. & Yasin, B. 2003, "Protection Of Steel Pipes Buried Underground Corrosion" 8th Musul Üniversitesi Sempozyumu., Musul, Irak, 3-5 Mart, (13), 81-87. - Aswad, S. M. & Usta, Y., 2011, "Püskürtmeli Şekillendirme İşleminin Gözenekliliğe Etkileri" 6. Uluslar arası Toz Metalurji Konferansı ve Sergisi, 05-09 Ekim, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 106, 691-699. - Beköz Üllen N., Hasak S. M. A. & Dirikolu M., 2017, "Sinter Parçaların İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Talaş Morfolojisine Etkisi", 8th International Advanced Technology Symposium, 19-22 Ekim, Elazığ, Türkiye, 83, 212-217.	

4. Beköz Üllen N., Hasak S. M. A. & Dirikolu M., 2017, "Toz Metal Parçaların İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", 8th *International Advanced Technology Symposium*, 19-22 Ekim, Elazığ, Türkiye, 84, 218-224.

