SOĞUK TAKIM ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

EDA ARBATUN

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUK TAKIM ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

EDA ARBATUN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MAKİNA MÜHENDİSLİK ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

HAZİRAN 2022

DİYARBAKIR

SOĞUK TAKIM ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Eda ARBATUN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan Dalkılıç
Müdür, **FenBilimleri Enstitüsü** _____

Doç.Dr. Ahmet YARDIMEDEN
Danışman, **Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi** _____

SınavJürisi:

Doç.Dr. Yahya Hışman ÇELİK*
Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği, Fırat Üniversitesi _____

Doç.Dr. Ahmet YARDIMEDEN**
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi _____

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP
MakinaMühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi _____

ONAY

Savunma Tarihi: 28 /06 /2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Ceren'e…

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Eda ARBATUN

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Doç. Dr. Ahmet Yardımeden'e çalışmanın daha fikir aşamasından, örnekleme, deney setlerini oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına dek gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim. Sayın Yahya Hışman Çelik hocama verdiği destekten ve tezimde bulunduğu katkılardan dolayı çok minnettarım. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim. Dicle Üniversitesi Laboratuvarlarının dan faydalanma imkanı sağlayan Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Vedat Oruç'a, frezeleme deneyleri sırasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Erol Kılıçkap hocama ve yüksek lisan eğitim süresi boyunca bana destek veren, yol gösteren ve bu konuda cesaretlendiren Dr.Öğr.Üyesi Haluk Kejanlı'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Deneyde kullanmış olduğumuz malzeme temininden dolayı Saglam Metal'e, malzeme ile ilgilenip yardımda bulunan Sağlam Metal'den Hakan Güllü'ye ve kesici takım temini için Walter firmasına ve Walter firmasından Hayati Atlı'ya ilgilerinden dolayı teşekkür ederim. Tüm eğitim hayatım boyunca bana verdikleri destekten, ne olursa olsun yanımda durduklarından ve duydukları sonsuz güvenden dolayı annem Sevim Arbatun ve babam Kemal Arbatun'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ x
EKLER LİSTESİ xi
ABSTRACT xv
1. GİRİŞ 1
1.1 Literatür Taraması 2
2. KAVRAMSAL TEMELLER 20
2.1 Çelikler 20
2.1.1 Soğuk iş takım çeliği 20
2.2 Talaşlı İmalat 22
2.3 Frezeleme 23
2.3.1 Cep Frezeleme 23
2.3.2 Parmak freze 29
2.4 Kesme Kuvvetleri 29
2.5 Yüzey Pürüzlülüğü 30
2.5.1 Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) 31
2.5.2 Ortalama pürüzlülük derinliği (Rz) 31
2.5.3 Quadratik ortalama pürüzlülük (Rq) 32
2.5.4 Ortalama pürüzlülük derinliği (Rk) 32
3. MATERYAL VE YÖNTEM 33
3.1 Deneylerde Kullanılan Makine ve Cihazlar 33
3.1.1 Deney malzemesi ve numunesi 33
3.1.2 Frezeleme parametrelerinin belirlenmesi 33
3.1.3 Deneylerde kullanılan kesici takım 34

3.1.4 Deneyde kullanılan takım tezgâhı 35
3.1.5 Kesme kuvveti ölçümü 36
3.1.6 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü 37
3.2 Deneysel Çalışmalarının Yapılışı 38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 40
4.1 Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi 46
4.2 Yüzey Pürüzlülüğü 51
4.3 İşleme Süresi 53
5. SONUÇ 54
KAYNAKLAR 55
EKLER 61
ÖZGEÇMİŞ 69

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Doğrusal takım yolu 24
Şekil 2.2 Doğrusal olmayan takım yolu 24
Şekil 2.3 Kontur-paralel takım yolu 25
Şekil 2.4 Eğrisel takım yolu 25
Şekil 2.5 Zig-Zag cep işleme yöntemi 26
Şekil 2.6 Constant Overlap Spiral cep işleme 26
Şekil 2.7 Paralel Spiral-Clean Corners cep işleme 27
Şekil 2.8 Morph Spiral cep işleme 27
Şekil 2.9 High Speed cep işleme 28
Şekil 2.10 True Spiral cep işleme 28
Şekil 2.11 Kesme kuvvetleri 29
Şekil 2.12 Kesme kuvveti gösterimi 30
Şekil 2.13 Yüzey pürüzlülüğü grafiği. 30
Şekil 2.14 Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) 31
Şekil 2.15 Ortalama pürüzlülük derinliği (Rz) 31
Şekil 2.16 Quadratik ortalama pürüzlülük (Rq) 32
Şekil 3.1 AISI 2379 D2 soğuk iş takım çeliği 33
Şekil 3.2 Karbür parmak freze 34
Şekil 3.3 Brother S500X1 model CNC dik işleme 35
Şekil 3.4 Kistler 9257B dinamometre 36
Şekil 3.5 Kesme kuvvet ölçümü için kurulan düzenek 37
Şekil 3.6 Mitutoyo Sj-310 pürüzlülük ölçüm cihazı 37
Şekil 3.7 Deneysel çalışma yapılışı 39
Şekil 4.1 Zig-Zag cep işleme yöntemi ile iş parçasının işleme esnası 40
Şekil 4.2 Parçanın Zig-Zag cep işleme yöntemi ile işlenmiş hali 40
Şekil 4.3 Zig-Zag cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği 40
Şekil 4.4 Constant Overlap Spiral yöntemi ile iş parçasının işlenme esnası 41
Şekil 4.5 Parçanın Constant Overlap Spiral cep işleme yöntemi ile işlenmiş hali 41
Şekil 4.6 Constant Overlap Spiral cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği 41
Şekil 4.7 Paralel Spiral-Clean Corners yöntemi ile iş parçasının işleme esnası 42
Şekil 4.8 Paralel Spiral-Clean Corners cep işleme yöntemi ile işlenmiş hali 42

Şekil 4.9 Paralel Spiral-Clean Corners cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği 42
Şekil 4.10 Morph Spiral cep işleme yöntemi ile iş parçasının işleme esnası 43
Şekil 4.11 Morph Spiral cep işleme yöntemi ile işlenmiş hali 43
Şekil 4.12 Morph Spiral cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği 43
Şekil 4.13 High Speed cep işleme yöntemi ile iş parçasının işleme esnası 44
Şekil 4.14 High Speed cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenmiş hali 44
Şekil 4.15 High Speed cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği 44
Şekil 4.16 True Spiral cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenme esnası 45
Şekil 4.17 True Spiral cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenmiş hali 45
Şekil 4.18 True Spiral cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği 45
Şekil 4.19 Takım yolu izi üsten görünüş 46
Şekil 4.20 Deney sonrası işlenmiş parça 46
Şekil 4.21 Fx kuvvetine göre işleme yöntemlerinin kıyaslanması 47
Şekil 4.22 Fy kuvvetine göre işleme yöntemlerinin kıyaslanması 48
Şekil 4.23 Fz kuvvetine göre işleme yöntemlerinin kıyaslanması 49
Şekil 4.24 Fx, Fy, Fz kesme kuvveti grafiği 50
Şekil 4.25 Cep işleme yöntemlerinin yüzey pürüzlülük grafiği 52
Şekil 4.26 İşleme süresi grafiği 53

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Soğuk iş takım çeliklerinin sahip olduğu temel özellikler 21
Tablo 2.2 1.2379 iş takım çeliğinin mekanik özellikleri 21
Tablo 2.3 1.2379 iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi 22
Tablo 2.4 1.2379 takım çeliğinin ısıl işlem bilgileri 22
Tablo 3.1 Kesme parametreleri ve değerleri 34
Tablo 3.2 AlCrSiN PVD kaplamalı karbür kesici takıma ait bazı özellikler 35
Tablo 3.3 Brother marka S500X1 model CNC dik işleme teknik özellikleri 36
Tablo 3.4 Kistler 9257B piezo-elektrik dinamometrenin teknik özellikleri 36
Tablo 3.5 Mitutoyo Sj-310 yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri 38
Tablo 4.1 Deneyde elde edilen sayısal kuvvet verileri 50

EKLER LİSTESİ

Ek 1: Literatür Tablosu 62

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
α	Yüzey eğim açısı
Dc	Kesici kenar çapı
Fx	İlerleme kuvveti(N)
Fy	Radyal kuvvet(N)
Fz	Eksenel kuvvet(N)
fz	İlerleme miktarı (mm/diş)
l	Takım çıkıntısı
11	Toplam uzunluk (mm)
14	Fonksiyonel uzunluk(mm)
1c	Kesici kenar uzunluğu(mm)
Mn	Magnezyum
Mo	Molibden
N	Azot
Ni	Nikel
R	Bileşke kesme kuvveti(N)
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (µm)
Rc	Köşe pahı (mm)
Rk	Ortalama Pürüzlülük Derinliği (µm)
Rq	Quadratik Ortalama Pürüzlülük (µm)
Rt	Profilin maksimum yüksekliği (µm)
Rz	Ortalama Pürüzlülük Yükseklik Derinliği
S	Kükürt
Si	Silisyum
SiMo	Dökme demir
Sn	Saniye
V	Vanadyum
Vc	Kesme hızı(m/dk)

Kısaltma	Açıklama
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
FEM	Sonlu elemanlar metodu
GRA	Gri ilişkisel analiz
HSS	Yüksek hız çeliği
MQL	Soğutma sıvıları ile yapılan üretim sistemi
OA	Taguchi'nin ortogonal dizisi
PVD	Fiziksel buhar biriktirme kaplama yöntemi
S/N	Sinyal-gürültü oranı
YSA	Yapay sinir ağları

ÖZET

SOĞUK TAKIM ÇELİĞİNİN FREZELENMESİNDE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Eda ARBATUN
Yüksek Lisans, Mühendislik Bölümü
Danışman: Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN
Haziran 2022, 86 sayfa

Frezeleme işlemi talaşlı imalat sanayinin en temel işlemlerinden biridir. Otomotiv, havacılık, kalıpçılık gibi birçok alanda tercih edilmektedir ve gün geçtikçe bu alanı geliştirmek adına çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalardaki asıl amaç kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, kesici takım geometrisi, iş parçası ve kesici takım malzeme çifti gibi çeşitli parametrelerin işlenebilirlik üzerine etkilerinin tespit edilmesi en verimli kesme parametre değerlerinin bulunmasıdır. Ancak talaşlı imalat endüstrisinde, özellikle karmaşık şekilli parçaların işlenmesi için farklı cep işleme yöntemlerinin kullanıldığı göz önüne alındığında, cep işleme yönteminin de işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılmalıdır. Bu tez çalışmasında, karbür parmak freze çakısıyla AISI 2379 D2 soğuk iş takım çeliği üzerine farklı cep işleme yöntemleri uygulanmıştır. Cep işleme yöntemleri olarak "Zig-Zag", "Constant Overlap Spiral", "Parelel Spiral Clean Corners", "Morph Spiral", "High Speed", "True Spiral" olan 6 farklı cep işleme yöntemi tercih edilmiştir. Cep işleme deneyleri kuru işleme şartlarında ve sabit kesme parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Cep işleme yöntemlerinin işleme süresi, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda cep işleme yöntemlerinin işleme süresi, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri kıyaslanmış olup en uygun cep işleme yöntemi belirlenmiştir. Bu kapsamda en düşük işleme süresine sahip cep işleme yönteminin Zig-Zag işleme yöntemi olduğu, en uzun cep işleme süresine sahip cep işleme yönteminin ise High Speed işleme yöntemi olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetleri açısından en yüksek ve en düşük kesme kuvvetleri sırasıyla Constant Overlap Spiral ve High Speed cep işleme yöntemlerinden elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçlarına göre ise Parelel Spiral Clean Corners cep işleme yönteminden en düşük yüzey pürüzlülük değeri, Zig-Zag cep işleme yönteminden en yüksek yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Frezeleme, Parmak freze, Frezeleme, Kesme yolu stratejileri, Çelik

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MACHINABILITY IN MILLING OF COLD TOOL STEEL

Arbatun, Eda
Master of Science in Department of Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr.Ahmet Yardımeden
June 2022, 86 pages

Milling is one of the most basic operations in the machining industry. It is preferred in many fields such as automotive, aviation, mold making, and various studies are being carried out to improve this field day by day. The main purpose of the made studies is to determine the effects of various parameters such as cutting speed, feed, depth of cut, cutting tool geometry, work-piece and cutting tool material pair on machinability and to find the most efficient cutting parameter values. However, considering that different pocket processing methods are used in the machining industry, especially for the processing of parts with complex shapes, the effects of pocket processing on machinability should also be investigated. In this thesis, different pocket machining methods were applied on AISI 2379 D2 cold work tool steel with a carbide end mill cutter. As pocket machining methods, 6 different pocket machining methods such as "Zig-Zag", "Constant Overlap Spiral", "Parallel Spiral Clean Corners", "Morph Spiral", "High Speed" and "True Spiral" were preferred. Pocketing experiments were carried out under dry machining conditions and constant cutting parameters. The effects of pocket machining methods on machining time, cutting forces and surface roughness were investigated. In the direction of the data obtained, the machining time, cutting forces and surface roughness values of the pocket processing methods were compared and the most suitable pocket processing method was determined. The effects of pocket machining methods on machining time, cutting forces and surface roughness were investigated. Within this scope ıt was seen that Zig-Zag machining method was the pocket machining method with the lowest machining time, while the High Speed machining method was the pocket machining method with the longest pocket machining time. In terms of cutting forces, the highest and lowest cutting forces were obtained from Constant Overlap Spiral and High Speed pocket machining methods, respectively. According to the surface roughness measurement results, the lowest surface roughness value was obtained from the Parallel Spiral Clean Corners pocket machining method and the highest surface roughness value was obtained from the Zig-Zag pocket machining method.

Keywords: Milling, End mill, Milling Cutting Path Strategies, Steel

1. GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişlik düzeyinin ve sanayi altyapılarının belli başlı göstergelerinden biri olan imalat sanayi ülkemizde giderek gelişmektedir. İmalat sektörünün olanak ve yeteneklerini sergileyen, sanayinin epeyce koluna yön veren talaşlı imalat sektörü, istikrarlı bir şekilde gelişmektedir ve çok çeşitli ham maddeler üzerine talaş kaldırma işlemi uygulanarak çeşitli sektörlere temel parçalar üretmektedir. Talaşlı imalat sektöründe çok çeşitli talaş kaldırma işlemleri bulunmaktadır. Bu işlemler ham madde, uygulama, istek ve ihtiyaca göre çeşitlenmiştir. Talaşlı imalatın önemli işlem kollarından biri olan frezeleme işlemi yıllardır kullanılan ve gittikçe gelişen talaş kaldırma işlemlerinden biridir.

Frezeleme işlemi parçadan artık talaşlar kaldırarak gerçekleştirilen yüzey işleme prosesidir. Bu işleme çok çeşitli frezeleme işlemleriyle yapılabilmektedir. Frezeleme çeşitlerinden biri olan parmak freze işlemi otomobil, havacılık, kalıp yapımı, biyomedikal aletler vb. gibi birçok imalat endüstrisinde kullanılmaktadır. Frezeleme işleminde olduğu gibi diğer imalat sektörlerinde de parça işlenirken işlemden maksimum seviyede verim almak istenir. Bu verim iş parçasının istenilen şartlarda kaliteli bir şekilde işlenmesi, düşük maliyet gerektirmesi ve kesici takımın olabildiğince en az hasar ile işlemini tamamlaması olarak tanımlanır. İş parçası işlenirken gerek kesici takımda gerekse iş parçasında çeşitli nedenlerden ötürü bozulmalar meydana gelmektedir. Parça ile kesici takım teması ile frezeleme işlemi başlar ve bu temas ile bu iki parça birbirleriyle etkileşime geçer. Geçen zamana bağlı olarak titreşim, termal olaylar, yüzey pürüzlülüğü buna bağlı olarak gürültü, nihayetinde aşınma ve kırılmaya kadar yol açabilecek küçük dokunuşların zaman ile büyük hasarlara sebebiyet vereceği bir dizi olaylar gerçekleşir.

Parça işlenmesinde istenmeyen durumlardan bazıları da parçada oluşabilecek yüzey pürüzlülüğü ve büyük kuvvet oluşumlarıdır. Bunları önlemek üzere bu oluşumlara neden olan parametreler üzerinde durulmuş bu parametreleri geliştirerek iyileştirmeye yönelik yıllardan beri çalışmalar yapılmıştır. En uygun işleme yöntemini belirlemek amacıyla çeşitli parametreler veya uygulama yöntemleri değiştirilerek çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada farklı işleme yöntemlerinin kesme kuvvetleri, işleme süresi ve yüzey pürüzlülüğü etkisi hakkında bir inceleme yapmak amaçlanmaktadır. Bu kapsamda iş takım çelik türlerinde önemli bir yere sahip olan AISI 2379 D2 soğuk iş takım çeliği üzerine farklı işleme yöntemleri ile "Zig-Zag", "Constant Overlap Spiral", "Parelel Spiral Clean Corners", "Morph Spiral", "High Speed", "True Spiral" deneysel olarak parmak frezeleme işlemi uygulanmıştır. İlerleme, kesme hızı, kesme derinliği parametre değerleri sabit tutularak değişken cep işleme yöntemleri ile kesme kuvvetleri, işleme süresi ve yüzey pürüzlülüğü etkileri incelenmiştir.

1.1 Literatür Taraması

Demir çelik sektörü dünya çapında oldukça talep edilen bir sektördür. Küresel anlamda ekonomiye önemli katkıları bulunur. Dünyada demir çelik üretiminde Çin, ABD, Japonya, Hindistan ve Rusya başta gelir. Çelik, demiryolları, binalar ve köprüler temel altyapı parçası rolünü üstlenir. Özellikle mühendislik alanında gelecekteki gelişim ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir yere sahiptir. Çelikler, tercih edilen sektör doğrultusunda istenilen özellikler elde edilerek kullanılır. Bu özellikleri çelik içerisine çeşitli alaşım elementleri ekleyerek ve çeşitli ısıl işlemlere tabi tutarak kazandırılır [1]. Bu kapsamda çelikler üzerine yapılan farklı uygulamalar ve işlemler ile en verimli şekilde imalat yapmak üzere çok oldukça geniş alanlarda araştırmalar yapılmıştır. Daha iyi ve kaliteli imalat yapmaya yönelik yapılmış olan araştırmalarda çok çeşitli unsurlar değiştirilip üzerinde durulmuştur. Bunlar temel işlenecek iş parçaları, kesici takımlar, uygulama alanları, ısıl işlemler, kesme parametreleri, uygulanan talaş kaldırma yöntemi ve analizine dek daima bu unsurlar ele alınmış ve farklı bakış açıları ortaya konmak istenmiştir.

Yüzey kalitesi için yapılan bu çalışmada 6061 Alüminyum malzemesi üzerine parmak frezeleme yapılmıştır. Uygulama sonrası çoklu regresyon tahmin modeli kullanılarak yüzey kalitesinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bulunan sonuçlar ile deneysel verileri karşılaştırılıp tahmin etme yakınlığını değerlendirmek amaçlanmıştır. Yapılan gözlemler sonucu çoklu regresyon modelinin sonuçlarının gerçek sonuçlara çok yakın olduğu belirlenmiştir. İlerleme hızının, yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek için kullanılan en önemli işleme parametresi olduğu tespit edilmiştir [2].

Yüzey kalitesini belirlemeye yönelik 35 HRC ve 62 HRC sertliğindeki AISI D3 soğuk iş takım çeliğine CBN kesici takımlar ile parmak frezeleme yapılmıştır. Çalışmada yüzey kalitesi ve yanal yüzey aşınma değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre seramik bağlayıcının yüksek hızlarda oluşan yüklere direnç göstermesinden dolayı iş malzemesinin sertliğinin arttığı durumlarda aşırı çentiklenmeye maruz kaldığı sonucuna varılmıştır [3].

Takım aşınması açısından, farklı sıcaklıkta ısıl işlem uygulanmış AISI D3 soğuk iş takım çeliğine frezeleme yapılarak yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınması incelenmiştir. Kesme hızının artması durumunda takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana geldiği ancak belli bir değerden sonra iki değerinde arttığı çalışma sonunda gözlemlenmiştir. Takım aşınmasının ilerlemesiyle titreşim genliğinde artış meydana geldiğini ifade edilmiştir [4].

Bu çalışmada, AISI 316 östenitik paslanmaz çelik malzemesine ADPT 1035 PDERGP, ADPT 1035 PDSRGC ve ADPT 1035 PDERGC olarak kodlanmış 3 farklı kesici takım ile parmak frezeleme işlemi uygulanarak talaş kırıcı formun kesici kenar üzerindeki aşınma ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri üzerinde durulmuştur. ERGC tipi talaş kırıcılı formun diğer takımlara oranla daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. ERGC kodlu kesici takımın kaldırdığı talaş miktarının, ERGP ve SRGC kodlu kesici takımlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Talaş kırıcı formun, talaşı daha çabuk uzaklaştırdığını böylelikle ısı oluşumunun azaldığını ve takımın kaldırabileceği talaş miktarının artığı belirlenmiştir [5].

Kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada Ç1050 ve Ç4140 çeliklerine tornalama uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Kaplamasız seramik kesici takımın (KY1615), kaplamalı seramik takımın (KY4400) tornalama işleminde; kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertlikleri, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre takım ömrü üzerinde en etkili parametreler sırasıyla; iş parçası sertliği, kesme hızı, kesme hızı-ilerleme miktarı etkileşimi, kesme hızı-iş parçası sertliği etkileşimi, talaş derinliği-kesici takım sertliği

etkileşimi, ilerleme miktarı-iş parçası arasındaki sertlik etkileşimi ve ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir. Diğer kontrol parametrelerinin etkisinin % 5'den az olduğu ifade edilmiştir. Sertleştirilmiş iş parçalarının seramik takımlarla işlenmesinde genellikle çentik aşınma tipi oluşmuştur. Ç1050 çeliğinin yüksek kesme hızı, düşük ilerleme miktarı ve düşük talaş derinliğinde KY4400 takımla işlenmesinde aşınma tiplerinin yanak aşınması ve krater aşınmasının oluştuğu gözlemlenmiştir. Ç4140 çeliğinin KY1615 takımla işlenmesinde çentik aşınması oluşmamıştır. Ayrıca, Ç4140 iş parçasının işlenebilirliği Ç1050 çeliğinden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Düşük kesme hızında, Ç4140 çeliği KY4400 takım ile işlenmesinde kesme hızının yanı sıra kaplamanın takım ömrü üzerinde iyi bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir [6].

Yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek amacıyla bu çalışmada yapay sinir ağı ile entegre bir makine kullanılmış, parmak freze yapılmış ve yüksek hız çeliği üzerinde incelemeler yapılmıştır. YSA' nın deneysel veriler ile çok yakın olduğu ve kullanılabilir bir metot olduğu belirlenmiştir [7].

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen; kesme hızı, ilerleme hızı, kesici uç sayısı ve kesme derinliği gibi parametreler deneysel olarak araştırılmış olduğu bu çalışmada, PVD yöntemiyle kaplanmış kesici takımlar kullanılarak AISI 1050 çeliğine yüzey frezeleme yapılmış ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre diş sayısı azaldıkça yüzey pürüzlülüğünde azalma olduğu ve en ideal yüzey pürüzlülüğünün diş sayısının 1 (Z=1) olduğu durumlarda meydana geldiği belirlenmiştir. İlerlemenin artmasıyla da yüzey pürüzlülüğünde iyileşme olduğu ve ilerlemenin 0.15 mm/dev olduğunda en ideal yüzey pürüzlülük değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve kesme derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünde de iyileşme olduğu tespit edilmiştir [8].

Yüzey pürüzlülük değerlerini ve takım aşınmalarını belirlemeyi hedefleyen bu çalışmada AISI D2 soğuk iş takım çeliğine frezeleme yapılmış ve üç farklı sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulmuştur. Yapılan deney doğrultusunda yüksek ilerleme ve yüksek kesme hızı değerlerinde takımın aşınmasına bağlı olarak yüzey kalitesinin kötüleştiği, takım aşınmasının sadece en sert olan M3 malzemesinde olduğu ve meydana gelen aşınmanın yanak aşınmasında ziyade plastik deformasyon olarak meydana geldiği

tespit edimiştir. Üç farklı sıcaklığa tabi tutulan malzeme için tavsiye edilen kesme hızları ve ilerleme miktarları belirlenmiştir [9].

Farklı çep işleme yöntemlerinin üzerinde durulduğu bu çalışmada, kalıp çeliği üzerine frezeleme uygulanarak 8 farklı işleme yöntemi (Zig-Zag, Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral, Parallel Spiral Clean Corners, Morph Spirals, High Speed, One Way and True Spirals) işleme süresi açısından ele alınmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda kesme yolunun kısa olmasından dolayı en düşük kesme süresine sahip işleme yönteminin Zig-Zag işleme yöntemi olduğu, en uzun kesme yoluna sahip olmasından dolayı en yüksek işleme süresine sahip olan işleme yönteminin True Spiral ve High Speed olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca dönen bir kesmenin (spiral) tekrarlı hareketinden dolayı uzun kesme süresi oluşturabileceği ifade edillmiştir [10].

Farklı cep işleme yöntemlerini işleme süresi açısından değerlendirmek amacıyla bu çalışmada, AISI P20 çelik malzemesine Zig-Zag, Paralel Spiral ve Constant Overlap Spiral olarak 3 farklı işleme yöntemi ile parmak frezeleme yapılmış ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Çalışmada işleme süresi açısından en uygun işleme yönteminin belirlenmesi ve işleme süresine etki eden parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda en az işleme süresine sahip işleme yöntemi olarak Constant Overlap Spiral işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir. Çalışmada hesaplanan S/N oranına göre, işleme süresini en çok etkileyen parametrenin kesme genişliğinin olduğu, 2. sırada ilerlemenin, 3. sırada hızın yer aldığı ifade edilmiştir [11].

Takım aşınmasının değerlendirilmesi hedeflenen bu çalışmada AZ91 magnezyum alaşımının işlenmesi sırasında farklı işleme yöntemleri ile parmak freze işlemi uygulanarak takımda oluşan kuvvetler ve takım aşınması ile ilgili bir çalışma sunulmuştur. Basınçlı hava ve kesme sıvısı olan farklı soğutma uygulamaları uygulanmış ve uygulamalar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kesme sıvısı uygulamanın hava ile soğutmaya göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Kesici takım ile parçanın birbirine uzun temas etmesi durumunda sıcaklığın yükseldiğini ve bundan dolayı takım aşınma değerlerinde artış meydana geldiği ifade edilmiştir [12].

Aşınma performansı ve takım ömrü performansı araştırılmak üzere bu çalışmada, AISI M35 yüksek hız çeliğinden yapılmış, kaplamasız küresel uçlu parmak freze ve kaplamalı küresel uçlu parmak freze ile EN10083 C45 karbon frezelenmiş ve değerler incelenmiştir. Kaplamalı kesici takım ile kaplamasız kesici takımın karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde kaplamalı parmak frezelerin ömrü, aynı şekilde test edilmiş kaplamasız takımla karşılaştırıldığında 2,5 kat daha uzun olduğu; kaplamalı takımın plastik deformasyonu azaltıp aşınma direncini artırdığı ve yüzey bütünlüğüne katkı sağladığı belirlenmiştir [13].

İşlenebilirliğin üerinde durulduğu bu çalışmada, nikel bazlı GH4169 süper alaşımını sialon bazlı parmak frezelemede seramik takım kullanılarak aşınma modelleri analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları doğrultusunda yüksek kesme hızına sahip seramik bazlı parmak freze takımı ile süper alaşımlarının işlenmesinin uygulama fizibilitesi ile doğrulanmış olduğu ifade edilmiştir [14].

Bu çalışmada, mikro parmak freze işlemi sırasında Tİ-6Al-4V malzemeden yapılmış olan iş parçasındaki artık gerilme dağılımının bulunması amaçlanmıştır. Bu kapsamda sonlu elemanlar modeli oluşturularak simülasyon yapılmıştır. Oluşabilecek artık gerilmenin deneysel sonuçlar ile simüle edilmiş sonuçların doğruluğu araştırılmıştır. Hem deneysel hem de simüle edilmiş sonuçlar arasında iyi bir uyum sağlandığı ve birbirine yakın sonuçlar ortaya çıktığı belirlenmiştir. Boyut etkisinden dolayı takım kenar yarıçapı ile birlikte kesme kuvvetleri ve artık gerilmenin arttığı ve bunun takım ile iş parçası arasında malzeme sıkışmasına yol açtığı gözlemlenmiştir. Analitik modelden, maksimum kalıntı gerilme büyüklüğünün derinlikten çok yüzeyde olduğu belirlenmiştir [15].

Bu çalışmada, 7075 alüminyum ve Ti-6Al-4 V titanyum alaşımları üzerinde mikro parmak frezelemede üretilen bazı fiziksel fenomenlerin tahmini için bir talaş analiz prosedürü önerilmiştir. Mikro frezelemeden ötürü talaşta oluşan kırılma süreçleri, malzeme türü (sünek veya kırılgan) hakkında bilgi sağlamıştır. Ayrıca prosesin sıcaklık oluşumundan çok malzeme deformasyonlarından etkilendiği belirlenmiştir [16].

Kuvvet katsayısı için titreşimin dikkate alındığı bu çalışmada, ince parmak frezeleme yapılmış, uygulama sonrası değerler elde edilmiştir. Ölçülen değerler ile ince parmak frezenin kesici kenarının frekans yanıtı tahmin edilmiştir. Frezeleme kuvvetine bağlı olarak, frezeleme işleminin titreşimi hesaplanmıştır. Dolayısıyla, frezeleme kuvveti katsayısının tespit edilmesinde fikstür titreşiminin etkisi ortadan kaldırılabileceği belirlenmiştir [17].

Kesici takım tasarımının işleme performansına olan etkisinin incelendiği bu çalışmada, Ti-6Al-4V'nin malzemesine karbür parmak freze ile frezeleme yapılmıştır. Kesici takım üzerine soğutma olukları olarak tabir edilen kanallar açılıp bu olukların kesici takım üzerinde yaratabileceği etkileri araştırılmıştır. Oluklar olan ve olmayan (dokusuz) takım etrafındaki kesme sıvısı akışının simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Modelleme ve simülasyondan, bu soğutma oluklarının takımın başındaki sıvının hızında bir artış meydana getirdiğini, bunun da daha verimli soğutma ile sonuçlandığını ve sonuç olarak kesme kenarı boyunca sıcaklığı azalttığı sonucuna varılmıştır. Kesici takımın boşluk tarafına soğutma oluklarının(dokulu) eklenmesinin takım aşınmasını azaltarak takım performansını iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak da bir parmak frezenin boşluk tarafına soğutma oluklarının eklenmesinin, akışkanı oluklardan aktardığı ve kesme kenarlarına doğru hızlandırarak soğutma verimliliğini arttırdığı için avantajlı olduğu belirlenmiştir. Bunun daha düşük takım aşınmasına sebep olduğu ifade edilmiştir [18].

Kesme parametrelerinin frezeleme üzerine etkilerini değerlendirmek için AISI1020 çelik malzemesine hem deneysel olarak hem de YSA modeli geliştirilerek uygulama yapılmıştır. AISI1020 çelik malzemesinin karbür parmak frezelemede talaş kaldırma oranı, işleme süresi, takım ömrü, kesme kuvveti, tork ve güç gibi performans değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca YSA modeli ile deney sonuçlarının yakınlığı karşılaştırılmıştır. Yapılmış olan çalışmadan elde edilen bulgulara göre YSA modelinin sonuçları ile deney sonuçları arasında iyi bir uyum belirlenmiştir. Geliştirilen yapay sinir ağı modelinin, seçilen herhangi bir malzeme ile parmak frezeleme deney yapılabilir olduğu ve sonuçlar ile uygun olduğu ifade edilmiştir. [19].

Yüzey pürüzlülüğü ve işlenebilirliği değerlendirmek üzere AISI 52100 rulman çeliği TiAlN kaplı karbür uçlu parmak freze ile frezelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) optimizasyonu ve sertleşmiş çeliğin, temperlenmiş çeliğin ve tavlanmış çeliğin işlenebilirliği üzerinde durulmuştur. Deneyler doğrultusunda elde edilen sonuçlar, çeliğin iki durumu için kesme hızının ve diş başına ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olduğu belirlenmiştir. Sertleştirilmiş çeliğin kırılma mukavemeti artığından ötürü sertleşmiş ve temperlenmiş çeliğin işlenebilirliğinin tavlanmış çeliğe göre daha zor olduğu belirlenmiştir. Tavlanmış çelik için kesme derinliği, titreşimi, kesme hızı ve ilerleme hızı en etkili parametre iken sertleştirilmiş çelik durumunda kesme hızı en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır [20].

Talaş oluşumuna yönelik parmak freze üzerine oluk tasarımı yapılarak bu oluğun radyal kesme kenarları boyunca meydana getirdiği etkiyi ve kuvvetleri nasıl iyileştirdiği ile ilgili bu araştırma sunulmuştur. AISI 4140 malzemesi temel alınarak FEM analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmadan elde edilmiş olan bulgulara göre yeni kanal tasarımı ile daha yüksek üretkenlik için malzeme kaldırma oranı artarken aynı kararlı seviyelere ulaşılabilir olduğu ve kesme kuvvetleri ile özgül enerjide bir azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir [21].

Bu çalışmada EN 1.2379 çeliği üzerinde oluşabilecek aşınma tahmin edilmek istenmiştir. Bu kapsamda bir Nanoindenter kullanılarak kaplama sertliği çekme testine tabi tutulmuş ve belirlenmiş olan sürtünme katsayısı ile deneysel testler uygulanmıştır. Deneylerden belirlenen sonuçlara göre sürtünmeyi ve aşınmayı azaltmanın en uygun yolun, şekillendirme işleminden önce boş yüzeylere yağlayıcı uygulamanın olduğu belirlenmiştir. Aşınmanın derinliği ile şerit çekme çevrimlerinin sayısı arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılmıştır. Aşınma testinin önerilen sayısal modellemesi başarıyla doğrulanmıştır [22].

EN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliği değerlendirilmek istenmiştir. Bunun için EN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine konvansiyonel arıtma, plazma nitrürleme ve kriyojenik işlem uygulanmış olup işlem sonrasında çeliğin sertliği, mikro yapısı ve aşınma davranışı incelenmiştir. Çalışma sonucunda ısıl ve kimyasal işlemlerle mikro yapıları ve yüzeyi değiştirilerek takım çeliklerinin özelliklerinin olumlu yönde

etkilendiği kanısına varılmıştır. Çoklu tavlama işlemleri, kriyojenik işlem, takım çeliklerinin mukavemet ve sertlik parametrelerini olumlu olarak etkilemiş olduğunu, plazma nitrürlemenin sertleşmeyi %40'tan fazla artırdığını gözlemlenmiştir. EN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin geleneksel ısıl işlemine kıyasla kriyojenik işlem ve plazma nitrürlü yüzey işleminin sertlik ve aşınma davranışında artışa neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Soğutma sıvısının etkilerini belirmek adına bu çalışmada MQL yağındaki suyun, Ti6Al4V parmak frezelemede konvektif ısı transferi ve işlenebilirliğe etkisi incelenmiştir. Çalışma sonuçlarında takım aşınması arttıkça işleme sırasında takım eğilme momentinin ilerlediği ve eğilme momenti ile güç tüketimi arasında benzer ilişki olduğu ve OA%50'deki artan soğutma kapasitesinin takım ömrüne OA4'e kıyasla %20 artmış olduğu belirlenmiştir. Yüksek hızlı işlemede, geliştirilmiş soğutma kapasitesinin, bilhassa termal kaynaklı takım aşınmasının daha belirgin olduğu durumlarda takım ömrünü uzatabileceği belirlenmiştir [24].

Kesici takım kaplaması üzerinde durulduğu bu çalışmada VT20 titanyum alaşımına kaplamasız kesici uç, Ti-TiN-(Ti,Cr,Al)N kaplamalı kesici uç ve Zr-ZrN-(Zr,Cr,Al)N kaplamalı kesici uç ile parmak frezeleme yapılmış olup kesici takımlar kesme kuvveti parametresi ve takım ömrü açısından değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kaplamalı takımın takım ömrünün kaplamasız takımın takım ömrüne göre 2.5 -3 kat daha uzun ömürlü olduğu, kaplamalı takımın çatlak oluşumu ve gevrek kırılmaya karşı direnç oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ti-TiN-(Ti,Cr,Al)N ve Zr-ZrN-(Zr,Cr,Al)N aşınmaya dayanıklı kaplamaların kullanılması kesme kuvveti parametrelerini azalttığı, kaplamasız ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin değerleri, kaplamalı takımlara kıyasla net bir şekilde daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [25].

Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük parametreleri değerlendirilmek üzere Hardox 600 kalıp çeliğine frezeleme yapılmış ve etkiler Taguchi yöntemiyle değerlendirilmiştir. En önemli olan parametrenin radyal dalma oranı olduğu belirlenmiş ardından ise sırasıyla kesme derinliği, iş mili devri, ilerleme hızı olduğu belirtilmiştir. 16 mm/dak ilerleme hızı, 200 devir/dak iş mili devri, 0.35 mm kesme

derinliği ve %50 radyal dalma oranında en yüksek sinyal/gürültü oranı olduğu tespit edilmiştir [26].

İşleme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük açısından etkileri değerlendirilmek üzere AISI P20Ni kalıp çeliğine kaplamasız sementit karbür kesici takım ile frezelenme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ilerleme arttıkça kesici takımın iş parçası üzerinden kaldıracağı talaş oranının artmış olduğunu ve kesici takımda titreşim meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu yüzden ortalama yüzey pürüzlülük değeri ilerleme arttıkça artmıştır, her iki talaş derinliğinde de kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinde azalma meydana geldiği belirtilmiştir [27].

Yüzey pürüzlülük yapısının değerlendirilmesi amacıyla bu çalışmada yumuşak çelik malzemesi üzerine HSS-Al ve HSS-Al Nikel kaplı parmak freze frezeleme yapılmış ve etkiler incelenmiştir. Ni ile kaplanmış ve Ni ile kaplanmamış HSS-Al parmak freze kesme parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Kaplamasız HSS-Al parmak freze takımının, kaplamalı HSS-Al ucuna kıyasla daha fazla aşınma oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Nikel kaplı parmak freze takımının performansı normal parmak freze takımından daha iyi olduğu ve işleme süresinin, takımın aşınmasını ve maliyetini azalttığı ve iş parçasının yüzey pürüzlülük kalitesini artırmış olduğu sonucuna varılmıştır [28].

Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti parametreleri değerlendirilmek üzere bu çalışmada vermüküler grafitli dökme demiri frezelenmiştir. İşlem sırasında yüksek ilerleme esnasında oluşacak kesme kuvvetini ve malzeme üzerinde meydana gelecek yüzey pürüzlülüğünü Pythia yapay sinir ağları programına göre oluşturulan modelle araştırılmıştır. Kesme hızının bileşke kuvvet üzerinde çok etkili olmadığı, bileşke kuvvetin ilerleme ile doğru orantılı arttığı, talaş kaldırma oranı arttıkça kesme kuvvetinin de arttığı belirlenmiştir. Talaş kaldırma oranı arttıkça kesme kuvvetinin de arttığı, ilerleme arttıkça da ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Sertlik arttıkça talaş kaldırma kolaylaşmış, sertlik ve kesme hızına bağlı girdi değişkenlerine göre en yüksek ortalama yüzey pürüzlüğünün en düşük kesme hızında elde edildiği sonucuna varılmıştır [29].

Yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerinde durulan bu çalışmada AISI 1050 çeliğinin TiN kaplı karbür kesici takım ile frezelenmesi sırasında belirli parametreler değiştirilerek deney gerçekleştirilmiştir. En düşük titreşim ve yüzey pürüzlülüğünü elde etmek üzere Taguchi yönteminin kullanılması amaçlanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda titreşimin; kesici uç artışı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin artışları ile artmış olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ve kesici ucun artmasıyla arttığı, kesme hızının artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Dolayısıyla en iyi seçimin ilerleme ve kesici ucun en düşük, kesme hızının ise en yüksek seviyede seçildiği durum olduğunu belirlenmiştir. Titreşim için sırasıyla çoktan aza doğru etki eden parametrelerin ilerleme, uç adedi ve kesme derinliği olduğunu ifade edilmiştir. Kesme hızının titreşim üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü için sırasıyla ilerleme, uç adedi, kesme hızı ve kesme derinliğinin etkili olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen verilere bakılarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin diğer parametrelere kıyasla ilerleme olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca doğrulama deneyleriyle elde edilmiş olan değerlerin Taguchi yöntemi ile tahmin edilen değerlere uygun olduğu belirlenmiştir [30].

İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerinin incelenmiş olduğu bu çalışmada BS L168-T6511 alüminyum alaşımlı test numuneleri üzerine parmak frezeleme yapılmıştır. Taguchi'nin ortogonal dizisine (OA) ve gri ilişkisel analizine (GRA) dayalı, çoklu yanıtlarla parmak frezeleme işleminin işleme parametrelerinin optimizasyonu için yeni bir yaklaşım ile ortaya koyulmuştur. Çalışmaya göre, kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok önemli etkiye sahip olduğu, en etkili parametrenin ilerleme ve en az etkili parametrenin de kesme hızının olduğu sonucuna varılmıştır [31].

Farklı cep işleme yöntemlerinin güç ve enerji tüketimi açısından ele alındığı bu çalışmada Al 6061 alüminyum alaşımına 4 farklı cep işleme yöntemi olan Zig-Zag, Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral ve One-Way işleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemler ile frezeleme işlemi esnasında güç ve enerji tüketimi bakımından en uygun işleme yönteminin belirlenmesi hedeflenmiştir. Buna ilaveten ilerleme hızı ve kesme hızı gibi kesme parametrelerinin enerji tüketimine olan etkileri de araştırılmıştır. En düşük işleme süresine sahip olan işleme yönteminin Zig-Zag, en

yüksek işleme süresine sahip işleme yönteminin One-Way işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek ilerleme hızı ile malzeme üzerinden daha fazla talaş kaldırılmasının bir sonucu olarak besleme hızındaki artışın, daha az enerji tükettiği sonucuna varılmıştır. Enerji tüketimi açısında ele alındığında en yüksek enerji tüketen işleme yönteminin One-Way işleme yöntemi, en düşük enerji tüketen işleme yönteminin Zig-Zag işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir [32].

Farklı cep işleme yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü açısından ele alındığı bu çalışmada Al 2011 alüminyum alaşım malzemesine 3 farklı işleme yöntemi olan Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral ve Parallel Zig-Zag cep işleme yöntemleri ile frezeleme işlemi uygulanmıştır. Değişken besleme hızı ve işleme yöntemleri ele alınarak yüzey pürüzlülüğü değerleri ve işleme süreleri değerlendirilip kıyaslanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre yüzey pürüzlülük değerlerinin her üç işlem tipi içinde birbirine yakın olduğu ancak en iyi sonuçlarının elde edildiği işleme yönteminin "Constant Overlap Spiral" cep işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir [33].

Kesme parametreleri, aşınma ve çapak oluşumu yönünden değerlendirilen bu çalışmada mikro parmak frezeleme ile geleneksel parmak frezeleme ele alınmıştır. Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral ve Parallel Zig-Zag olmak üzere 3 farklı işleme yöntemi uygulanmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda geleneksel makro kesmenin aksine, mikro kesme derinliğine sahip mikro kesme, takım kenarının etkisinin yadsınamaz olduğu, Paralel Spiral ile üretilen çapakların çok daha belirgin olduğu ifade edilmiştir. İşleme yöntemi, yüzey pürüzlülüğü RzI'ye göre, küçük fark edilmeyen çapaklarla ve 2 mm/diş sabit ilerleme hızı için en iyi sonuçların elde edildiği işleme yöntemi olarak Constant Overlap Spiral olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mikro parmak frezeleme ile mikro yüzeyleri neredeyse çapaksız işlenebileceğini ifade edilmiştir [34].

Kaplamalı ve kaplamasız takımlarda oluşabilecek aşınmanın değerlendirilmesi üzerine bu çalışmada Titanyum Alaşımı - Grade 12 (Near Alpha) - Ti-0.3Mo-0.8Ni- yüksek hızlı mikro parmak frezeleme uygulanmıştır. Kaplamalı takım olarak PVD kaplı AlTiN, TiAlN tungsten karbür parmak freze kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular ile difüzyon, oksidasyon, adeziv ve aşındırıcı aşınma mekanizmalarının

mikro parmak frezelerin kesici kenarlarında oluştuğu gözlemlenmiştir. Titanyum Alaşımlı Sınıf 12 işleme için kesici takımların karşılaştırılmasından, kaplamasız takımların AlTiN ve TiAlN tungsten karbür takımlardan daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Kaplamalı TiAlN takımı, kaplamasız ve kaplamalı AlTiN takımlarına göre minimum aşınma göstermiş olduğu ve kaplamalı TiAlN ve kaplamalı AlTiN takımları karşılaştırıldığında, AlTiN takımın daha iyi performans göstermiş olduğu belirlenmiştir. PVD kaplı katmanların delaminasyondan dolayı Titanyum Grade 12'yi işlerken, kaplamasız tungsten karbür takımların PVD kaplı TiAlN ve AlTiN tungsten karbür takımlardan daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Takım aşınmasını ve akabinde kesme derinliğini etkileyen en önemli faktörlerin ilerleme ve kesme hızı olduğu ifade edilmiştir [35].

Frezeleme işleminde kesici takım tasarımının ve diş sayısının aerodinamik gürültü üretimi ve yayılımı üzerindeki etkilerininin araştırılmış olduğu bu çalışmada farklı gulet(oluk) tasarımı ve diş sayılarına ele alınarak aerodinamik gürültü için uygun gulet tasarımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre kesici diş sayısının azalmasıyla gürültünün artacağı belirlenmiştir. Altı temsili freze için, sekiz dişli tasarım arasında gürültü oluşumunun azaldığı, kesici C'nin oluk tasarımının beş ve yedi dişli tasarımlar arasında gürültü oluşumunu azaltmada kesici A'nın gulet tasarımından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Kesici kanal bölgelerinden yayılan gürültü ile kesici yüzeyinde diğer bölgelerden yayılan gürültü arasındaki parazit etkileri genel aerodinamik gürültüyü önemli ölçüde azaltabileceğini ifade edilmiştir. Yapılan çalışma altı ana frezeleme takımının, kesici kanal bölgelerinin şeklinin ve hacminin, aerodinamik gürültü oluşumunu büyük ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır [36].

Titreşim ve gürültü etkileri üzerine sertleştirilmiş alaşımlı çelik 55NiCrMoV6 numunesi üzerine sinterlenmiş tungstenden yapılmış küresel parmak freze yapılmıştır. Titreşimleri, kesme kuvvetlerini ve buna bağlı yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için yüzey eğim açısı α ve takımın çıkıntısının l optimal seçimi üzerinde durulmuştur. α açısının büyümesinin, titreşim değerlerinin ivmelerini azaltan bir etki verdiği belirlenmiştir. Takımın kullanma mesafesinin değişimi, titreşim değerlerinin ivmesini önemli ölçüde etkilediği ve l parametresinin büyümesi ile özellikle kanal frezeleme

için (α = 0 ile) titreşim genliklerinin hızlanmasında bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir [37].

Gürültü emisyonunu araştırmak üzere bu çalışmada AlSi7 kalıp döküm alüminyum alaşımı kullanılarak 4 eksenli yatay milli işleme merkezi içeren orijinal yankısız bir oda düzenlemiş ve deney yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına bakıldığında takım çapının yüksek dönüş hızında gürültü emisyonu için önemli birinci etken, takım balansının ise ikinci önemli etken olduğu belirlenmiştir. Kesme hızının artmasına paralel olarak ses basınç seviyesindeki artışın, iş milinin sağladığı darbe enerjisindeki artışa da bağlanmıştır. Diş başına ilerleme arttıkça ses basıncının artığı gözlemlenmiştir. Sertlik oranı, kesme hızı, diş başına ilerleme ve eksenel kesme derinliğin ses basınç seviyesini artırma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Ancak bunlar arasında ses basıncı seviyesinde artışa yol açan en önemli parametrenin malzemenin sertliği olduğu ve radyal kesme derinliğinin gürültü emisyonu üzerinde düşük bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır [38].

Yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresi etkileri incelenmek üzere bu çalışmada Ti-6Al-4V malzemesine parmak frezeleme yapılmıştır. Üç farklı frezeleme parametresinin işleme süresi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi için Taguchi yöntemi tercih edilmiştir. Ardından deneysel sonuçlar sinyal-gürültü oranı S/N için ANOVA kullanılıp daha sonra yüzey pürüzlülüğünün ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sonuçların analizi MINITAB 18.1 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda işleme süresi üzerindeki en etkili faktörün kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre radyal kesme derinliği ae olduğu ifade edilmiştir [39].

Kesme parametrelerinin gürültü üzerindeki etkilerini belirlemek adına bu çalışmada AISI SAE 1020 çeliğine frezeleme yapılmış ve malzeme yüzeyindeki oluşumlar Barkhausen gürültüsü korelasyonu ile ele alınmıştır. Kesme derinliği ile diş başına ilerleme sabit tutulmuş ve üç farklı kesme hızı seviyesi ile frezeleme yapılmıştır. Ayrıca yüzeydeki pürüzlülüğün ölçümleri yapılmıştır. Kesme hızına göre pürüzlülüğün arttığı gözlemlenmiş ve bununda kesme hızından kaynaklanan

titreşimlerle açıklanabildiği öne sürülmüştür. Kesme hızı artışının, kesme sıcaklığı artışına ve yüzey pürüzlülüğüne etki etmiş olduğu belirlenmiştir [40].

Kesme kuvvetlerinin sinyaller ile gürültü üzerindeki etkisinin araştırılmış olduğu bu çalışmada parmak frezeye sürücü akım sinyal analizi uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar ile sinyal analizi karşılaştırılmış ve analiz ile deneysel verilerin doğruluğu göz önüne alınmıştır. Çalışma sonucundan elde edile bulgulara göre kesme kuvveti sinyalinin yanı sıra, analizde dikkate alınan etkenlerin sahte sinyaller, yüksek frekanslı gürültü, akım kontrol komütasyon ve vidalı mil etkileri olduğu belirlenmiştir. Freze tezgâhından alınan sinyaller aracılığı ile kesme kuvveti etkisinin belirlenmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır [41].

Bu çalışmada AZ91D alaşımına frezeleme uygulanmış ve deneysel veriler gri ilişkisel analizi ile gerçekleştirilmiştir. Taguchi'nin sinyal-gürültü oranına göre istenen yüzey pürüzlülüğü ve mikro sertlik için en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Gri ilişkisel varyans analizi, magnezyum alaşımının frezelenmesinde yüzey bütünlüğünü etkileyen en baskın faktörün ilerleme olduğunu göstermiştir. Elde edilen deney bulgularına göre, gri ilişkisel analizli Taguchi'nin kuru kesme şartlarında magnezyum alaşımını frezelemek için istenen yüzey kalitesini mevcut kesme parametrelerini belirlemede etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır [42].

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini belirlemek üzere bu çalışmada 1. 2379 malzemesine parmak frezeleme yapılmıştır. Taguchi deney metodu yardımı ile L36 karma tasarım deney verileri tasarlanmıştır. İlerleme, kesme hızı, talaş derinliği, kesme derinliği, talaş açısı ve kesici takım çapı kontrol faktörü olarak belirlenmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin oluşumuna en etkili parametrenin kesici takım diş başına ilerlemesi, ikinci etken parametrenin kesme hızı olduğunu tespit edilmiştir. Bunların ardından kesme derinliği, talaş açısı, kesici takım ağız sayısı ve kesici takım çapı olduğu ifade edilmiştir [43].

Parmak frezelemede parça yüzeyinde meydana gelebilecek termal oluşumları tahmin edebilmek amacıyla bu çalışmada 30CrNiMo8 çeliğine parmak frezeleme yapılmıştır. Termal analiz için AdvantEdge yazılım paketinden alınan malzemenin FEA modeli

solidworks programında yapılmıştır. Analiz sonucunda, işleme başlangıcında en yüksek sıcaklığa en yüksek kesme hızıyla ulaşıldığı ve daha düşük bir kesme hızında maksimum sıcaklık değerine ulaşmak için daha fazla zamana ihtiyaç duyulduğu sonucu çıkarılmıştır. Takım geometrisinin karmaşıklığı ve hassasiyetinin parçayı işlemek için ihtiyaç duyulan süreyi etkilediği belirlenmiştir [44].

Yüzey pürüzlülüğü ve takım yolu etkileri araştırılmak üzere bu çalışmada karbon çeliği EN9 malzemesinden yapılmış kam miline parmak frezeleme yapılmıştır. Kam – a, kam-b, kam-c olmak üzere 3 kam mili üzerine parmak frezeleme simülasyonu ile Zig-Zag, Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral, Parallel Spiral, Clean Corners, High Speed, True Spiral, One Way ve Morph Spiral olan 8 farklı işleme yöntemi tercih edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda daha az ilerleme hızı ve kesme derinliği parametrelerinden ötürü kam-c, diğer kamlara kıyasla düşük yüzey pürüzlülüğü, yani daha iyi yüzey yapısı göstermiştir. Takım yolu optimize edilmiş döngü süresi göstermiş olmasından ve diğer takım yollarına karşılaştırıldığında çarpışma durumu oluşturmamasından dolayı, Constant Overlap Spiral yönteminin her iki taraflı kaba işleme için en iyi işleme yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır [45].

Kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğü, gürültü seviyesi ve kesici uç aşınmasına etkilerini araştırmak üzere bu çalışmada SiMo dökme demir malzemesine frezeleme yapılmıştır. Elde edilmiş olan bulgulara göre kesme hızının artması ile gürültü seviyesinin düştüğü, ilerlemenin artması ile tezgâh gürültü seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir. Tezgâh gürültü seviyesinin minimum olduğu bölge saptanmış, bu bölgenin dışına çıkıldığında tezgâh gürültü seviyesinde artış meydana geleceği ve riskli olabileceği vurgulanmıştır. Kesme hızı değerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerinde azalma, ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değerinde artış yaşandığı belirlenmiştir. Oluşan yığıntı talaşın yüzey kalitesini olumsuz etkilediği; Uç radyüsüne yakın kesme derinliği seçilmesinin ise yüzey kalitesine olumlu etki yaptığı vurgulanmıştır [46].

Termal ve mekanik takım yüklemesini, küresel kesici uç geometrisinin özelliklerini ve kesici uçlarda oluşabilecek stres durumu ile takım sıcaklığını değerlendirmek amacıyla bu çalışmada Ti-6Al-4V iş parçasına frezeleme yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Sonlu elemanlar modeli geliştirilmiş böylelikle deneysel veriler ile sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilmiş olan veriler kıyaslanmıştır. Sayısal analize göre yuvarlak kesici uç geometrisinin aşınmaya karşı direnç gösterdiği belirlenmiştir. Malzemede oluşan gerilmenin hızlı artışının, takım malzemeyi kesmeye başladığındaki yüksek dinamik prosesten ve kesilmemiş talaş kalınlığının hızlı artışından kaynaklandığı belirlenmiştir. Talaş yüzeyinde daha yüksek sıcaklık seviyesine rağmen, yan yüzde daha yüksek plastik deformasyon meydana geldiği belirlenmiştir [47].

Frezeleme işleminde termomekanik yükleme ve takım aşınması bakımından yukarı frezeleme ve aşağı frezeleme işlemlerinin nasıl değişkenlik gösterdiğini ve kesici uçların aşınmasını belirlemeye yönelik bu çalışmada Ti-6Al-4V malzemesi frezeleme işlemine tabi tutulmuş ve değerlendirilmiştir. Ti-6Al-4V malzemesine kesme testi uygulamıştır. Kesici uçlar optik ve elektron mikroskobu ile belirli aralıklarla gözlemlenmiştir. Bulgular doğrultusunda yukarı frezelemenin aşağı frezelemeye kıyasla olumsuz etki yarattığı belirlenmiştir. Aşınma analizi açısından, yukarı frezelemede daha yüksek aşınma oranı elde edilmiştir. Kesme kuvvetleri açısından, aşağı frezeleme ile karşılaştırıldığında yukarı frezelemede hızlandırılmış takım bozulmasının oluştuğu belirlenmiştir. Yukarı frezelemede daha yüksek derecede plastik deformasyon meydana gelmesinden ötürü yukarı frezelemede kesici kenarın daha erken geometrik değişim ve takım bozulmalarının meydana geldiği belirlenmiştir. Yukarı frezeleme işleminin sonunda sıcaklıktaki hızlı artışın, gerçek bir sonuç olduğu ve aynı durumun aşağı frezelemede olduğu ifade edilmiştir [48].

Bu çalışmada işleme süresi ve takım aşınması açısından farklı cep işleme yöntemleri ele alınıp değerlendirilmiştir. Bu kapsamda St37 yumuşak çelik malzemesine Mastercam yazılımı ile parmak freze işlemi uygulanmıştır. Çalışmada 8 farklı işleme yöntemine göre (Zig-Zag, Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral, Parallel Spiral-Clean Corners, Morph Spiral, High Speed, One Way ve True Spiral) parmak freze işlemi uygulanış ve bu durumunda malzemede oluşabilecek takım aşınması ve işleme süresinin kıyaslanması yapılarak en uygun işleme yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen verilere dayanarak işleme süresi bakımından en uygun işleme yönteminin Zig-Zag işleme yöntemi olduğu ve takım aşınması

bakımından en uygun işleme yönteminin True Spiral işleme yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır[49].

Farklı cep işleme yöntemleri ile iş parçasının işlenebilirliğini ve cep işleme yöntemlerini karşılaştırmak amacıyla AISI X210Cr12 soğuk iş takım çeliği üzerine frezeleme yapılmış olup takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresi açısından değerlendirilmiştir. Bu hususta “Zig-Zag”, “Zig”, “Follow Part”, “Trochoidal” olarak dört farklı işleme metodu tercih edilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre tüm takım yolu stratejileri için talaşlanma ve takım kırılmaları meydana geldiği belirtilmiştir. İşleme süresi bakımından en iyi takım yolu stratejisini en düşük işleme süresi ile “Follow Part”, en büyük işleme süresi "Zig" takım yolu stratejisi olduğu belirlenmiştir. “Zig” takım yolunun deney ile simülasyon işleme süresi arasındaki farkın nedeninin, kesici takımın bu yol üzerindeki boşta kalma süresinin yüksek olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. “Trochoidal” takım yolunun takım ömrü bakımından diğer yöntemlere göre daha önemli olduğu belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü bakımından en iyi yüzey pürüzlülük değeri yan yüzey için “Follow Part” ve “Trochoidal” olarak belirlenmiştir. Takım ömrü bakımından esas faktör olan aşınma kaybı bulgularına göre mevcut modele açısından takım yolu stratejisi “Trochoidal”takım yolu ve "Zig-Zag" ve "Zig" takım yolları bu geometri için elverişli olmadığı sonucuna varılmıştır [50].

Bu çalışmada farklı dalga geometrisine sahip parmak frezeler; işleme performansları, kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi ve takım ömrü kriteri açısından standart parmak frezelerle kıyaslamalı olarak ele alınmıştır. Çalışmada AISI 316L, Ti 6Al 4V, GG25 malzemeleri tercih edilmiştir. Deneysel ve istatistiksel verilere dayanarak değerlendirme yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda dalga formlu tüm takımlarda, standart takıma kıyasla daha yüksek kesme kuvveti elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için kesme hızının artışı ve ilerlemenin azalması ile kesme kuvvetlerinde düşüş gerçekleştiği belirlenmiştir. Kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde diğer parametrelere kıyasla ilerlemenin diğerlerine göre daha etkin bir parametre olduğu saptanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü açısından AISI 316L malzemesi için etkili olan parametrenin kesme hızının olduğu, Ti 6Al 4V malzemesi için ilerlemenin daha etkili olduğu ifade edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından ele

alındığında standart ve dalga formlu kesici takımlar arasında belirgin farklılıkların oluştuğu gözlemlenmiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi üzerinde, negatif talaş açısının pozitif talaş açısına kıyasla daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Pozitif ve negatif talaş açıları büyük olan takımlar standart takıma göre kötü takım aşınma performansı sergilerken, talaş açılarının küçülmesi durumunda dalga formlu takımların daha iyi aşınma performansı sergilediği belirtilmiştir. GG25 malzemesinin 8-250 ve 6-450 dalga formlu takımlar ile işlenmesi durumunda düşük kesme kuvvetleri oluşmuştur. AISI 316L malzemesinin ise yüksek takım aşınması sorununa karşın, düşük aşınma performansı göstermesinden dolayı 8-250 dalga formlu takımın kaba talaş işleme için uygun olduğu kanısına varılmıştır. AISI 316L, Ti 6Al 4V, GG25 malzemelerin 8-250 dalga formlu takım ile işlenmesi durumunda daha yüksek işleme performansı sergilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmadan elde edilen oldukça önemli bir diğer sonuçda yığıntı talaş oluşumunun malzemede oluşturduğu pozitif etki olmuştur. Bu anlamda bu çalışma farklı bakış açıları sunmuştur [51].

Değinmiş olduğumuz çalışmalar ile ilgili özet bilgiler literatür tablosunda verilmiştir. Literatür tablosunda daha önceki çalışmalarada tercih edilmiş olan iş parçası malzemesine, uygulanılan talaş işlemine, çalışmada üzerinde durulmuş olan faktörlere, kesici takım türüne ve uygulama yöntemine yer verilmiştir. Yapılmış olan genel literatür tablosu Ek-1 de yer almaktadır.

2. KAVRAMSAL TEMELLER

2.1 Çelikler

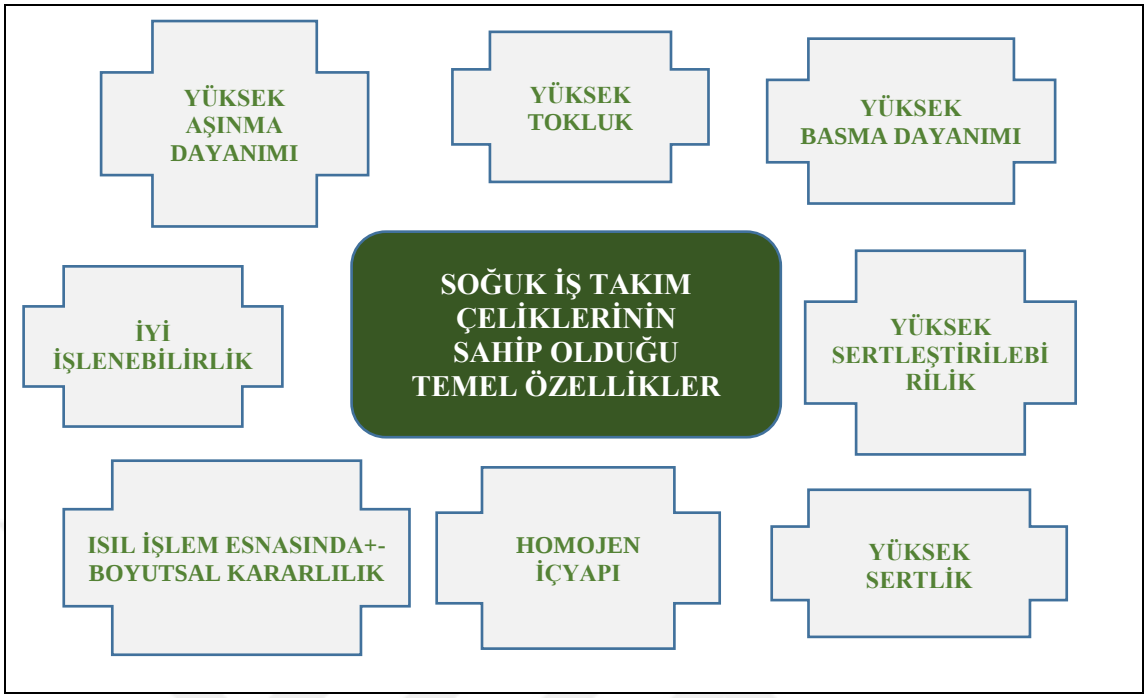
İmal edilmek üzere kullanılan malzemelerin belli başlı özelliklere sahip olması istenir. Kullanılan malzemenin sert, mukavemetli, tok, kolayca işlenebilen, şekillendirilebilen, ucuz ve kolay bir şekilde elde edilebilir, akma dayanımı ve süneklik özelliklerine sahip olması istenir [52]. Yüzyıllardan beri süre gelen talaşlı imalatta kullanılan malzemeye istenilen özellikleri kazandırmaya yönelik çeşitli çalışmalar ve denemeler yapılmıştır. Gelişen teknoloji, biriken bilgi deneyim ve tecrübe ile kimi zaman deneme yanılma yönüyle kimi zaman elde edilen bilgiyi doğru bir şekilde kullanarak ve aslında kimi zamanda tesadüfen elde edilen yöntemler ile malzeme özellikleri iyileştirilmiştir. Malzeme üzerine yapılan bazı fiziksel çalışmalar eklenen kimyasal bileşenler mekanik işlemler ve termal işlemler ile malzeme özellikleri iyileştirilip optimum değerlerde istenilen doğrultuda oluşturmuştur.

2.1.1 Soğuk iş takım çeliği

Alaşımlı veya alaşımsız, metalik ya da metalik olmayan malzemelerin 200 ºC' üzerine çıkmayan sıcaklıklarda, malzemenin soğuk olarak şekillendirildiği durumlarda kullanılan ve yapısında yüksek oranda C içeren bununla birlikte Cr, V ve Mo gibi karbür yapıcı alaşım elementleri de bulunduran çeliklerdir [54].

DIN normlarına göre birkaç soğuk iş takım çelikleri vardır. 1. 2379, 1. 2767, 1. 2363, 1. 2550, 1. 2436 şeklinde soğuk iş takım çelikleri bulunuyor [53].

Tablo 2.1 Soğuk iş takım çeliklerinin sahip olduğu temel özellikler



2.1.1.1 1.2379 Soğuk iş takım çeliği

1.2379 kalıp çeliği soğuk iş takım çeliğidir. İçeriğinde yüksek karbon ve yüksek krom bulundurur. Bununda etkisiyle yüksek aşınma direnci, yüksek tokluk, yüzey işlemlerine uygunluk ve kolay sertleştirilebilme kabiliyetine sahiptir. Yüksek dayanımı ve yüksek tokluğa sahip olduğundan ötürü kesme ve ezme için çok tercih edilen bir çelik türüdür. Nitrasyon veya tenifer yapılarak kullanılabilir. Oldukça aşındırıcı olan plastik kalıplarında tercih edilir. Sertliği 62 RC ye kadar çıkabilir [58].

Tablo 2.2 1.2379 iş takım çeliğinin mekanik özellikleri

MEKANİK ÖZELLİKLER	METRİK
Sertlik, Rockwell	62
Sertlik, Vickers	748
Poisson Oranı	0.27-0.30
Elastik Modülü (GPa)	190-210

Tablo 2.3 1.2379 iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

MALZEMENİN KİMYASAL BİLEŞİMİ (%)							
C	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Mo**	**V**
1.45-1.6	0.1-0.6	0.2-0.6	0.03	0.03	11-13	0.6-.08	0.9-1.1

Tablo 2.4 1.2379 takım çeliğinin ısıl işlem bilgileri

ISIL İŞLEM BİLGİLERİ							
Sıcak Şekillendirme Sıcaklığı (ºC)	**Yumuşatma Tavlama Sıcaklığı (ºC)**	**Gerilim Giderme Sıcaklığı (ºC)**	**Sertleştirme**			**Meneviş Sıcaklığı (°C)**	**Sertlik (HRC)**
			Östenitleme Sıcaklığı (ºC)	**Sertlik (HRC)**			
850 - 1050	700 - 750	600 - 650	1020 - 1080	Hava	Yağ	200	63
				62 - 63	-	300	61
						400	59
						525	58

2.2 Talaşlı İmalat

İmalat endüstrisinde isteğe uygun parçalar imal edebilmek için çeşitli kesim tezgâhları ile uygun girdiler doğrultusunda iş parçası işlenerek üretilir.

Talaşlı imalatta işlenecek malzemeye uygun kesici takımlar ile istenilen parametreler doğrultusunda parça yüzeyinde talaş kaldırarak işlem yapılır.

Talaş kaldırılırken belirli parametrelerin etkisi büyüktür. Bunlar kesici takım türü, işlenecek malzemeye yapısı, kullanılan takım tezgâhı, çeşitli kesme parametreleri gibi faktörler talaşlı imalatta göz ardı edilemez derecede önemli ve etkilidir.

2.3 Frezeleme

Frezeleme, birincil talaşlı imalat yöntemlerindendir. İlk olarak 19. yy sonlarına doğru ortaya çıkan freze, talaşlı imalatın vazgeçilmezlerinden biridir. Kendi ekseni etrafında dönerek çoklu kesici kenarlı takım ile sabit iş parçası üzerinden birden fazla eksende çeşitli form ve açılarda ilerleyerek parçayı işleyen bir talaş kaldırma işlemidir.

Çok çeşitli frezeleme işlemleri bulunmaktadır. Bunlar kenar frezeleme, yüzey frezeleme, profil frezeleme, cep frezeleme… gibi isteğe, işlenecek parçanın geometri ve hassasiyetine, maliyet gibi unsurlara dayanarak çeşitlenebilmektedir [57].

2.3.1 Cep Frezeleme

CNC frezeleme işlemlerinden biri olan cep frezeleme kalıpçılık, havacılık ve tersane endüstrilerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Cep frezelemede iş parçasının üst yüzey kısmından belirli bir derinlik verilerek talaş kaldırma işlemidir. İlk olarak kaba işlem ile işlenir ardından cep bir parmak freze ile ince işlem yapılır veya parça bitirilir. Cep frezeleme için çoğunlukla düztabanlı parmak frezeler kullanılır [59].

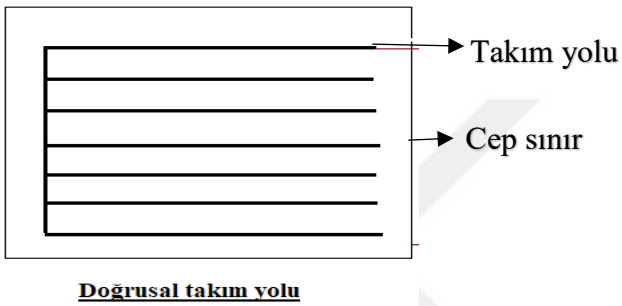
Cep işleme yöntemlerinde çok çeşitli takım yolları ile gerçekleştirilir. Takım yolunun seçilmesi iş parçasının işlenecek kısmın geometrisine bağlı olarak seçilebilir. Buna bağlı olarak işlem süresi üzerinde de avantaj sağlamaktadır. Bunun için işlem süresi, maliyet, iyi işlenebilirlik açısından uygun takım yolu seçmek çok önemlidir. Çok çeşitli takım yolları mevcuttur. İşleme yöntemleri temel anlamda doğrusal takım yolu ve doğrusal olmayan takım yolu olarak iki ana başlık altında çeşitlendirilir.

1. Doğrusal takım yolu
   - Zig-Zag
2. Doğrusal olmayan takım yolu
   - Kontur-paralel takım yolu
     - Constant Overlap Spiral Cep İşleme
     - Paralel Spiral-Clean Corners Cep İşleme
     - Morph Spiral Cep İşleme
   - Eğrisel takım yolu
     - High Speed Cep İşleme

•True Spiral Cep İşleme

2.3.1.1 Doğrusal Takım Yolu

Doğrusal takım yolu bünyesinde tek yönde ilerleme ile işlem gerçekleştiren takım yolu esasına dayanır. Kesici takım her bir adımı işlemesinin ardından yolu işlemekte, işlem bittikten sonra başladığı noktaya geri dönmekte paralel olarak aynı işlemleri tekrarlamak üzere diğer adıma geçerek işlemi tamamlamaktadır.

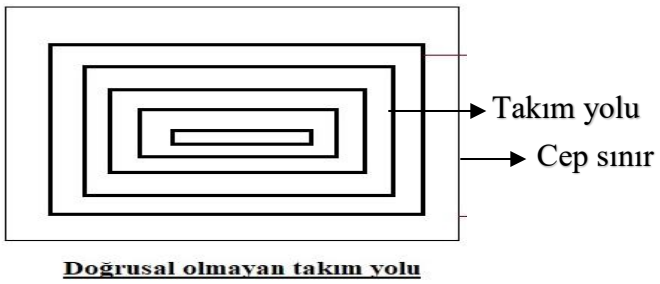


Şekil 2.1 Doğrusal takım yolu

Zig-Zag frezeleme işlemi doğrusal takım yolu ile işleme sınıfına girmektedir.

2.3.1.2 Doğrusal olmayan takım yolu

Doğrusal olmayan takım yolu bünyesinde çok yönde hareket bulunduran takım yolu esasına dayanır. Kontur-paralel frezeleme, takım yolu elemanları olarak cep konturunu kullanır. Bu, cep alanının spiral veya buna benzer şekilde işlemesiyle oluşur. Eşit aralıktaki eğriler boyunca işler ve ardından gelen geçiş için dışa doğru (sırasıyla içe doğru) olarak yol alarak işlemeye devam eder.

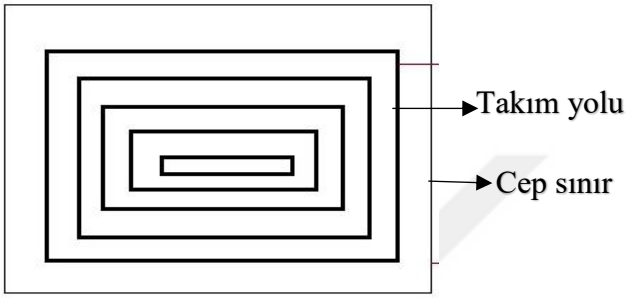


Şekil 2.2 Doğrusal olmayan takım yolu

Doğrusal olmayan işleme yöntemlerine Constant Overlap Spiral, Parelel Spiral-Clean Corners, Morph Spiral, High Speed, True Spiral işleme yöntemlerini örnek olarak verebiliriz.

- Kontur paralel takım yolu

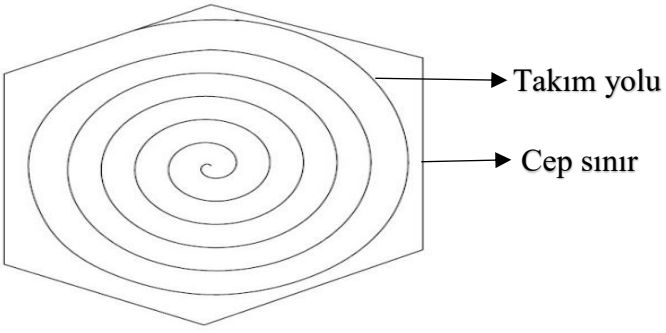
X veya Y ekseni boyunca parçanın içten dışa veya dıştan içe şeklinde paralel şekil işlem şeması ile işlendiği doğrusal olmayan takım yoludur.



Şekil 2.3 Kontur-paralel takım yolu

- Eğrisel takım yolu

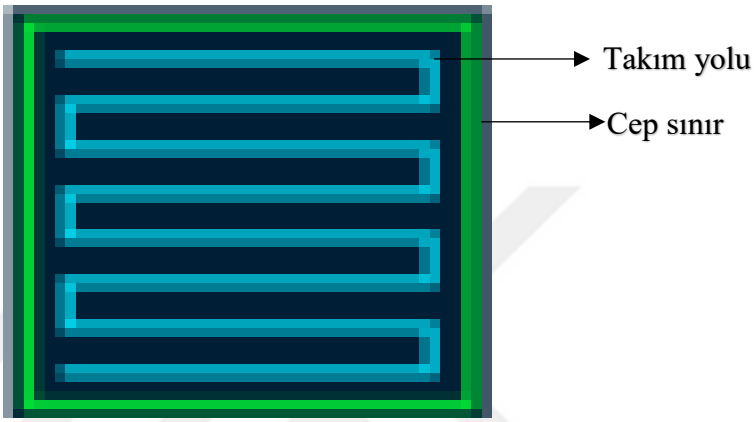
Kesici takım aşamalı olarak sarmal bir işleme yolu doğrultusunda spiral olarak iş parçasını işler. İsteğe göre cebin merkez kısmından harekete başlar ve sarmal yol boyunca dönerek en dışa doğru hareket eder veya en dış sarmaldan başlayarak spiral hareketler ile içe doğru hareketini tamamlar [61].



Şekil 2.4 Eğrisel takım yolu

Zig-Zag cep işleme

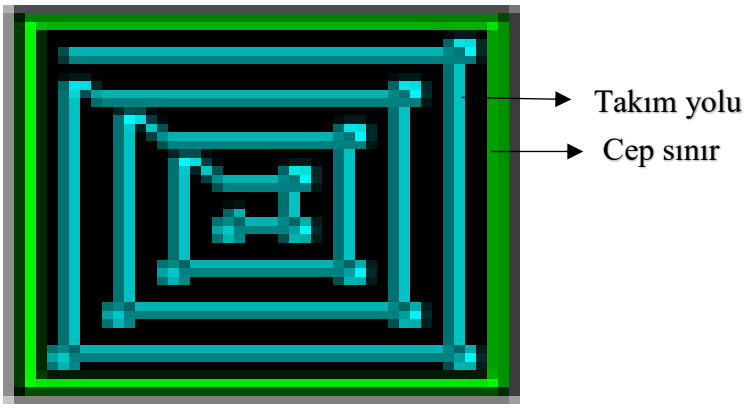
Doğrusal işleme yöntemlerinden biri olan Zig-Zag cep işleme yöntemi Zig-Zag bir ana hat işlem yolunda, kesici takımın bu yol doğrultusunda doğrusal ilerleme ile yaptığı işleme yöntemidir. Aynı hareket yolundan oluşan birbiri ardına gelen çevrimlerden oluşur.



Şekil 2.5 Zig-Zag cep işleme yöntemi

Constant Overlap Spiral cep işleme

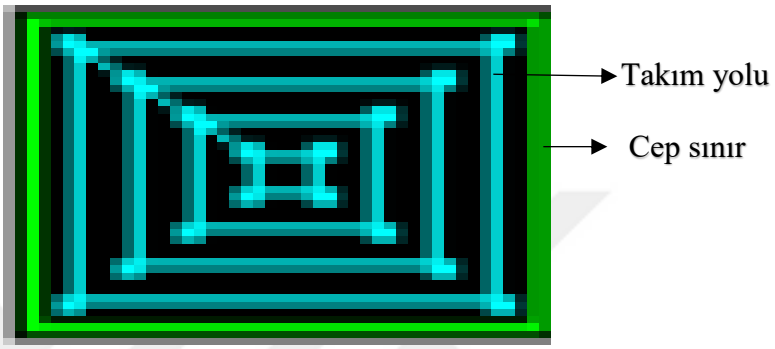
Kontur-paralel takım yolu cep işleme yöntemlerinden biridir. Cep merkezinden başlayarak belirlenen doğrusal ilerleyip yolu işler ve çevrim tamamladıktan sonra dışa doğru geçerek aynı işlemi gerçekleştirmek üzere devam eder. Her çevrimde şema aynıdır ancak içten dışa doğru X ve Y eksenlerinde aldığı mesafe sürekli olarak artmaktadır. Buna bağlı olarak her çevrim birbirinden farklı süre ve kuvvet ile tamamlanmaktadır.



Şekil 2.6 Constant Overlap Spiral cep işleme

Paralel Spiral-Clean Corners

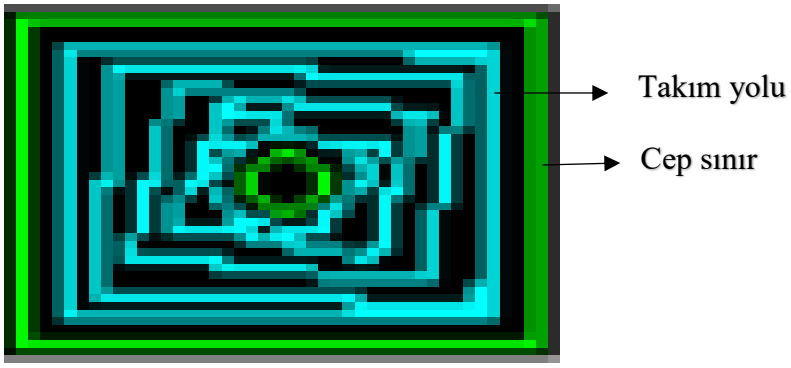
Kontur-paralel takım yolu cep işleme yöntemlerinden biridir. Cep işlemin dış kısmandan başlayıp cep merkezine doğru doğrusal olarak işler ve gittikçe daralan bir işleme yöntemidir. Her çevrimde şema aynıdır ancak dıştan içe doğru X ve Y eksenlerinde aldığı mesafe sürekli olarak azalmaktadır. Buna bağlı olarak her çevrim birbirinden farklı süre ve kuvvet ile tamamlanmaktadır.



Şekil 2.7 Paralel Spiral-Clean Corners cep işleme

Morph Spiral

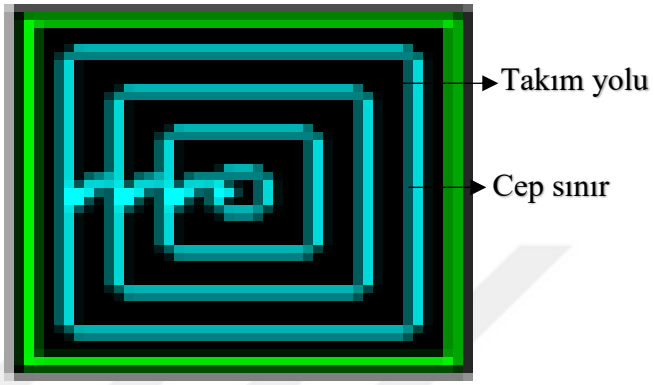
Cep işlemin merkezinde başlar, dairesel olarak X ve Y eksenlerinde ilerleyerek işlemi tamamlar. X ve Y eksenlerinde aldığı mesafe sürekli olarak artmaktadır. Buna bağlı olarak her çevrim birbirinden farklı süre ve kuvvet ile tamamlanmaktadır.



Şekil 2.8 Morph Spiral cep işleme

High Speed

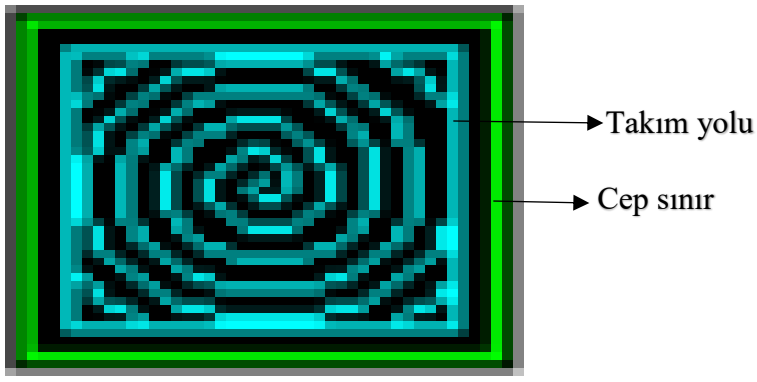
Eğrisel takım yolu cep işlemlerinden biridir. Hem dairesel olarak işlem görmekte hem de dairesel olarak yol almaktadır. Birbiri ardına gerçekleşen kısa ve çoklu çevrimlerden oluşmaktadır ve belirli bir düzlem boyunca ilerlememesinden dolayı bundan dolayı X,Y,Z eksenlerinde ani yön değişimleri gelişmiştir.



Şekil 2.9 High Speed cep işleme

True Spiral

Eğrisel takım yolu cep işlemlerinden biridir. Cep merkezinden başlayarak dairesel bir yol boyunca sarmal şekilde ilerleyen bir cep işleme türüdür. Belirli bir yön veya doğrultuda değil de spiral bir yol boyunca gerçekleşir.



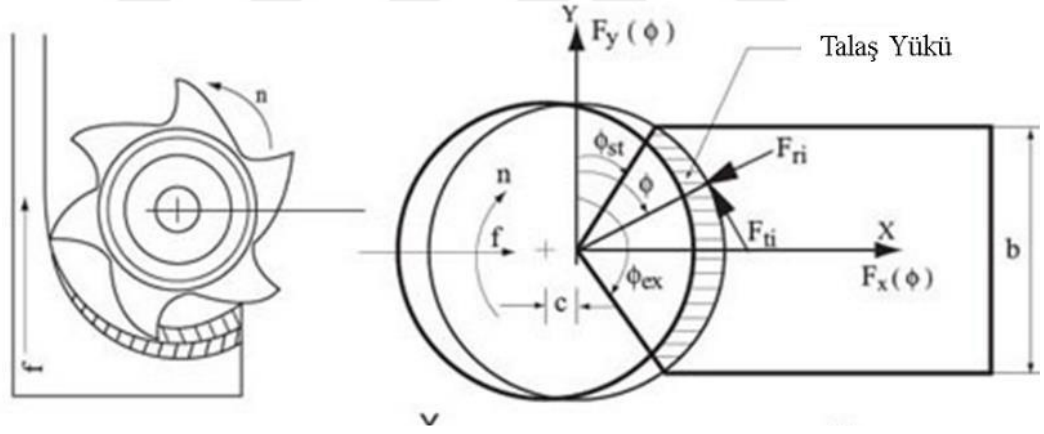
Şekil 2.10 True Spiral cep işleme

2.3.2 Parmak freze

Çok çeşitli freze çeşitleri vardır. En sık kullanılan freze takımlarından biri olan parmak freze x, y, z, üç eksende de talaş kaldırarak çeşitli tür ve geometrik yapıda parçayı işleme olanağı sağlayan kesici takım çeşididir. Parmak frezeler kenar kesme ve kenar kesmeye izin veren, iki kenarda ve ucunda farklı ön çizgilere sahip yuvarlak ve oyuk bir yapıya sahiptir [28]. Geometrik formundan ötürü talaşı kendinden uzaklaştıran bir yapıya sahiptir. Cep işleme yöntemlerinde kullanılan freze çeşididir [62].

2.4 Kesme Kuvvetleri

Frezeleme işlemi ile iş parçası istenilen formda işlenir. İşlem gerçekleşirken takımın ilerleme hareketine karşı iş parçası tarafından kesme kuvvetlerinin etkisiyle direnç meydana gelmektedir. Frezelemede takımın kesici kısmına etki eden kesme kuvvetleri üç temel kuvvet meydana gelmektedir. Bunlar ilerleme kuvveti (Fx), radyal kuvvet (Fy) ve eksenel kuvvet (Fz). Bu üç kesme kuvvetinin bileşenleri ile bileşke kesme kuvveti (R) hesaplanır.



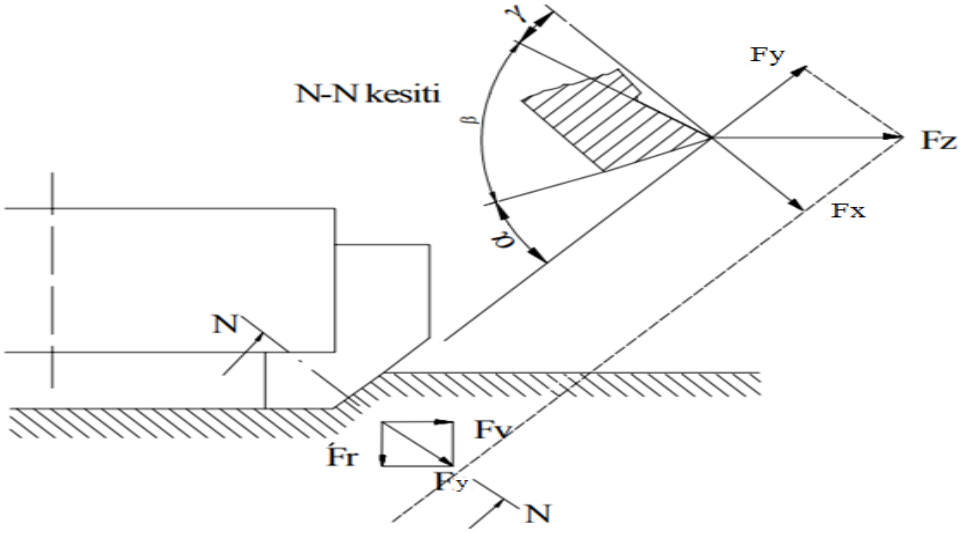
Şekil 2.11 Kesme kuvvetleri

$$Fx\,(\phi) = -(\phi) - Fr\sin(\phi) \quad (2.1)$$

$$Fy\,(\phi) = (\phi) - Fr\cos(\phi) \quad (2.2)$$

$$Fz\,(\phi) = F\alpha \quad (2.3)$$

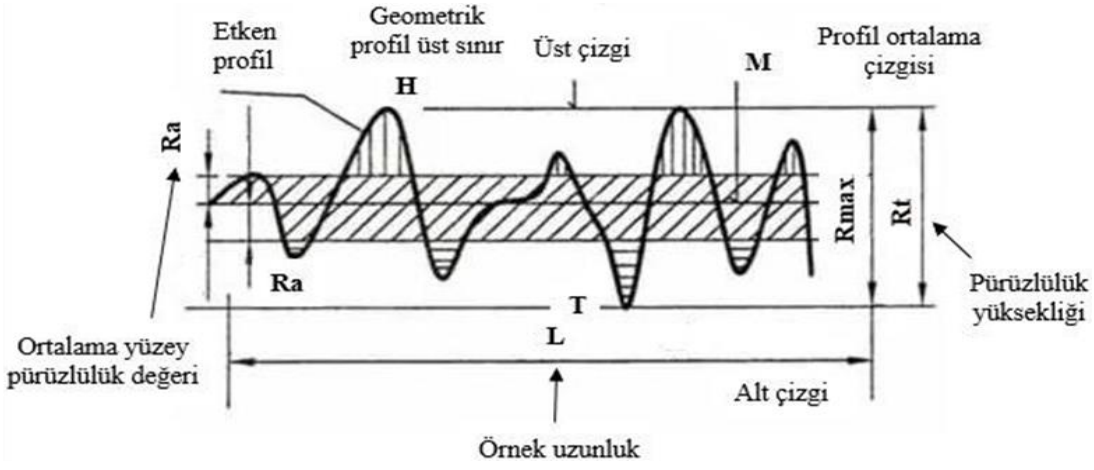
$$R = \sqrt{Fx^2 + Fy^2 + Fz^2} \quad (2.4)$$



Şekil 2.12 Kesme kuvveti gösterimi

2.5 Yüzey Pürüzlülüğü

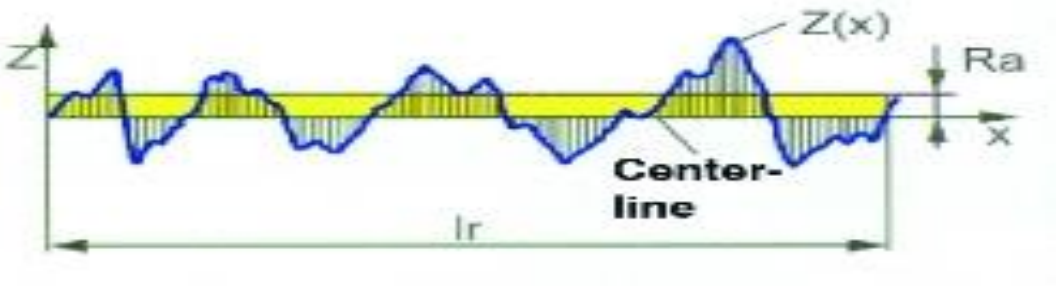
Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü ve buna müteakip takım aşınmasının meydana gelmesi ve nihayetinde takımlarda meydana gelebilecek bozulmalar takım ömrünü ve üretim hızını etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü malzemenin kalitesini bozan ve işleyişini değiştiren bunların bir sonucu olarak da takım ömrünü ciddi şekilde etkileyen istenmeyen ve önlenmeye çalışılan bir durumdur. Bu etki güç kaybı meydana getirip zaman kaybını ortaya çıkarmaktadır bundan ötürü üretim ve maliyet kaybı oluşmaktadır. Bir iş parçası yüzey yapısı üç temel parametre ile açıklanabilir. Yüzey pürüzlülüğü profili olan R profili, uzun dalga parçalarını P profilinden ayırmak için bir kesme filtresi kullanılarak hesaplanır [64-65].



Şekil 2.13 Yüzey pürüzlülüğü grafiği.

2.5.1 Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)

Evrensel bir yüzey pürüzlülük parametresi olup ISO tarafından N ile simgelenmiştir. Dikey doğrultu olan Y ekseni boyunca dip ve tepe noktalarının aritmetik ortalamasıyla hesaplanan parametredir.

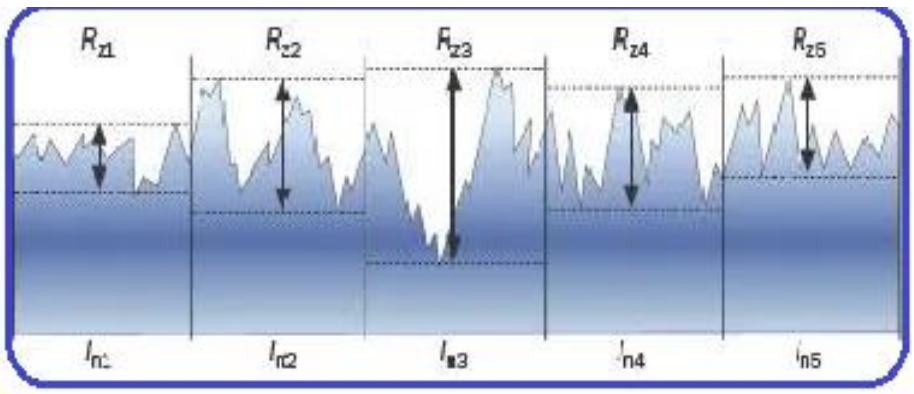


Şekil 2.14 Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)

$$Ra = \frac{1}{lr}\int_0^{lr}|Z(x)|dx \tag{2.5}$$

2.5.2 Ortalama pürüzlülük derinliği (Rz)

Rz, ortalama pürüzlülük derinliği, ölçüm mesafesi ln içindeki beş ayrı ölçümün ortalama alınarak elde edilen parametredir.

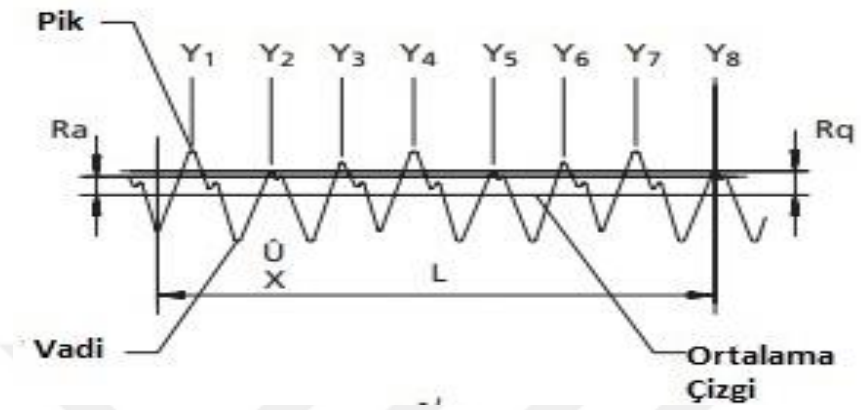


Şekil 2.15 Ortalama pürüzlülük derinliği (Rz)

$$Rz = \frac{R_{z1}+R_{z2}+R_{z3}+R_{z4}+R_{z5}}{5} \tag{2.6}$$

2.5.3 Quadratik ortalama pürüzlülük (Rq)

Y ekseni doğrultusunda bulunduğu y-koordinatlarına karşılık gelen yüzey pürüzlülüğünün kuadratik ortalama değeridir [65].



Şekil 2.16 Quadratik ortalama pürüzlülük (Rq)

$$Rq = \sqrt{1}/\mathrm{L} \int_0^L Y^2(x)dx \ ) \tag{2.7}$$

2.5.4 Ortalama pürüzlülük derinliği (Rk)

Rk parametre ailesi esas olarak silindir deliği balataları için kullanılır ve Motif parametreleri esas olarak Fransız otomotiv endüstrisinde kullanılır [65].

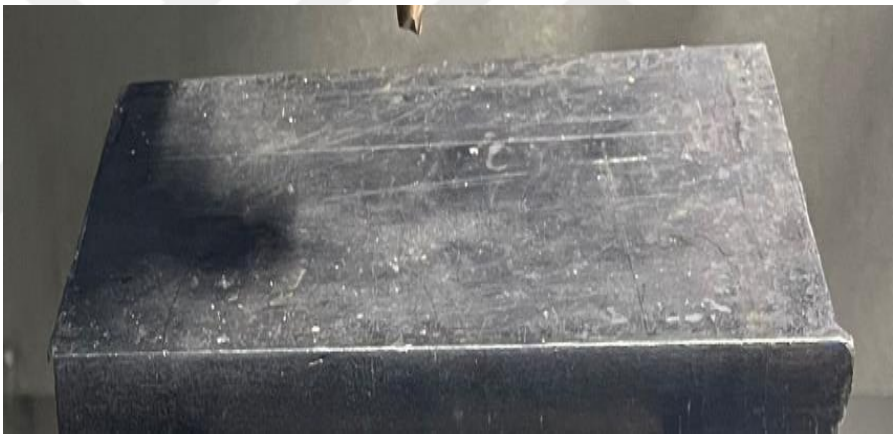
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde seçilen malzemeler, cihazlar ve ölçüm yöntemlerini içeren deneysel çalışmalara ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Elde edilen verilerin geçmiş çalışmalar doğrultusunda ele alınması daha doğru ve ilerleyen çalışmalar için faydalı olacaktır.

3.1 Deneylerde Kullanılan Makine ve Cihazlar

3.1.1 Deney malzemesi ve numunesi

Parmak frezelemenin yapıldığı bu tez çalışmasında deney malzemesi olarak yüksek aşınma direnci ve yüksek tokluk özelliklerine sahip olması göz önünde bulundurularak AISI 2379 D2 soğuk iş takım çeliği seçilmiştir. İş parçası, 170×100×20 mm boyutlarında Sağlam Metal A. Ş. firmasından temin edilmiştir. İş parçası Şekil 3.1' de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 AISI 2379 D2 soğuk iş takım çeliği

3.1.2 Frezeleme parametrelerinin belirlenmesi

İş parçasının frezelenmesinde ilerleme, iş mili devri gibi kesme parametrelerinin belirlenmesi, işlenmiş yüzeyin yüzey kalitesi ve kesme performansı açısından oldukça önemlidir. AISI 2379 D2 soğuk iş takım çeliğine uygulanacak deneyde kesme parametrelerinin belirlenmesinde daha önce yapılmış olan çalışmalardaki veriler göz önüne alınarak seçilmiştir. Deneyler 6 mm çapında AlCrSiN PVD kaplamalı, ISO MC232-06.0W2B-WJ30ED tipi karbür kesici takım kullanılmıştır. Tablo 3.1'de deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve değerleri verilmiştir.

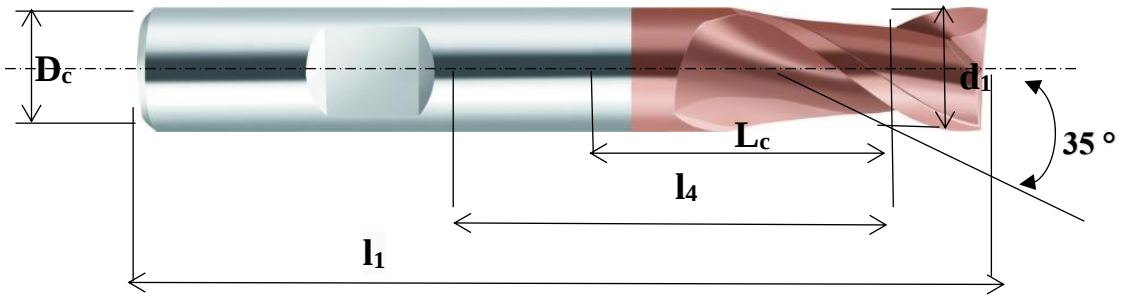
Tablo 3.1 Kesme parametreleri ve değerleri

Kesme Parametreleri	Değer
Feed Rate (Kesme anındaki ilerleme miktarı)	180 mm / d
FPT (Diş Başına ilerleme Miktarı)	0.03 mm
Plunge Rate (Dalma ilerleme hızı)	240 mm / d
Depth of Cut (Kesme Derinliği)	0.5mm
CS (Kesme Hızı)	56.5504 (Feed rate ve devir sayısına göre belirlendi)
Retract Rate (İşlem sonunda takımın Geri Çıkış Hızı)	250 mm / d
Work Piece (İş parçası)	AISI 2379 D2

3.1.3 Deneylerde kullanılan kesici takım

AISI 2379 D2 soğuk iş takım çeliği yüksek dayanım ve yüksek aşınma direncine sahip bir malzeme olduğu için bunu işleyebilecek yüksek performanslı talaş kaldırma ve sert iş parçalarını işleyebilme özelliği bulunan AlCrSiN kaplamalı karbür parmak freze tercih edilmiştir.

Deneylerde Walter firmasının önerisiyle 6mm çapında, 35° helis açısına sahip, 2 ağızlı, AlCrSiN PVD kaplamalı, ISO MC232-06.0W2B-WJ30ED tipi karbür kesici takım kullanılmıştır. Kesici takıma ait bazı özellikler Şekil 3.2 ve Tablo 3.2'de yer verilmiştir.



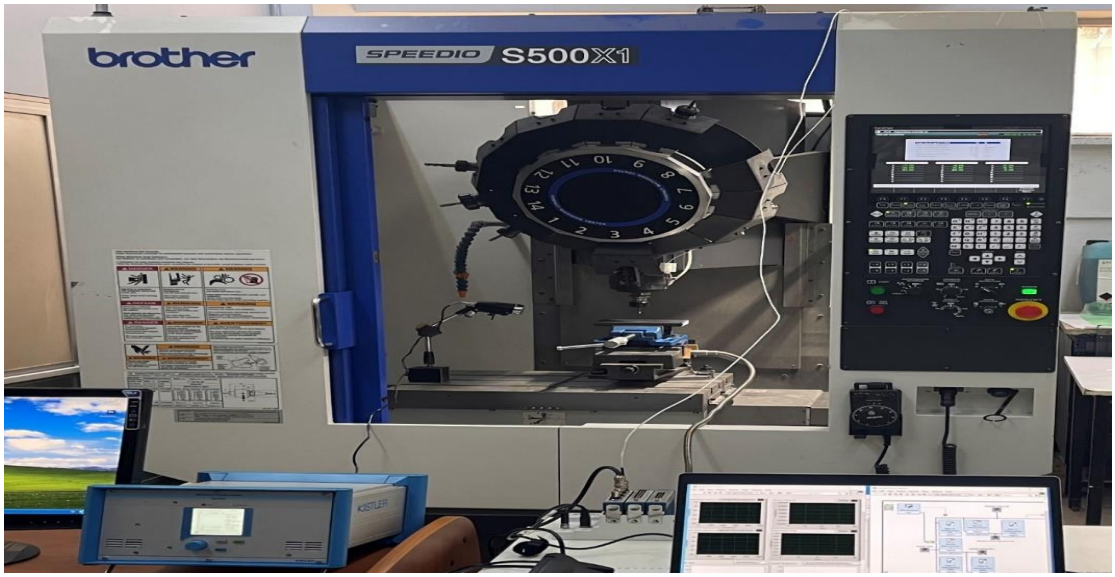
Şekil 3.2 Karbür parmak freze

Tablo 3.2 AlCrSiN PVD kaplamalı karbür kesici takıma ait bazı özellikler

Parametre	Sembol	Değerler
Tool dia (Takım Çapı)	Dc	6 mm
Corner Radius (Köşe Radyusu – R)	R	0 mm
Kesici kenar çapı (h12)	Lc	10 mm
Fonksiyonel uzunluk	l4	21 mm
Toplam uzunluk	l_1	57 mm
Diş Sayısı	Z	2
Tool name (Takım Adı)		MC232-0.60W2B-WJ30ED

3.1.4 Deneyde kullanılan takım tezgâhı

AISI 2379 D2 çeliğinin frezelemesinde, 500mmx400mm işleme kapasitesi bulunan maksimum devir 10000 dev/dak çalışabilen Brother marka S500X1 model CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır (Şekil 3.3). Tezgâha ait teknik özellikler Tablo 3.3' te verilmiştir.



Şekil 3.3 Brother S500X1 model CNC dik işleme

Tablo 3.3 Brother marka S500X1 model CNC dik işleme teknik özellikleri

Model	S500X1
Kapasite	500mmx400mm
İş Mili Devri	10000 dev/dak
İş Mili Motor Gücü	10 kVA
Takım Sayısı	14

3.1.5 Kesme kuvveti ölçümü

AISI 2379 D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin hesaplanması kapsamında –5 ile 10 KN ölçme kapasitesi bulunan ve üç kesme kuvveti bileşenini (Fx, Fy, Fz) aynı esnada hesaplayabilen Kistler marka 9257B model üç bileşenli kuvvet ölçme cihazı (Dinamometre) kullanılmıştır (Şekil 3.4). Dinamometreye ait teknik özellikler Tablo 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Kistler 9257B dinamometre

Tablo 3.4 Kistler 9257B piezo-elektrik dinamometrenin teknik özellikleri

Özellikler	**Birim**	**Type 9257B**
Ölçüm Modu	-	Direkt
İşlem Sıcaklık Aralığı	ºC	0…70
Uzunluk mm	mm	170
Genişlik	mm	100
Eksen Sayısı	-	3
Ölçüm Aralığı(Fx)	kN	5.00, 10.0
Ölçüm Aralığı(Fy)	kN	5.00, 10.0
Ölçüm Aralığı(Fz)	kN	5.00, 10.0

Dinamometreden elde edilen sinyaller Kistler 5070-A amplifikatör vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Ardından verilerin işlenmesi ve gerekli grafiklerin oluşturulması için Windows işletim sistemi ile uyumlu Kistler Dynoware yazılımından faydalanılmıştır. Frezeleme sırasında oluşan kuvvetlerin ölçümünün yapıldığı düzenek Şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Kesme kuvvet ölçümü için kurulan düzenek

3.1.6 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

İşlenen yüzeylerin pürüzlülüğü, Mitutoyo Sj-310 yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3.6).

Yüzey pürüzlülüğü numune yüzeyinden her bir işleme yöntemi için 3 er defa numunenin farklı bölgelerden ölçülmüş olup bu 3 ölçümün ortalaması alınarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü için toplam 18 defa ölçüm yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük cihazına ait teknik özellikler Tablo 3.5'te verilmiştir.



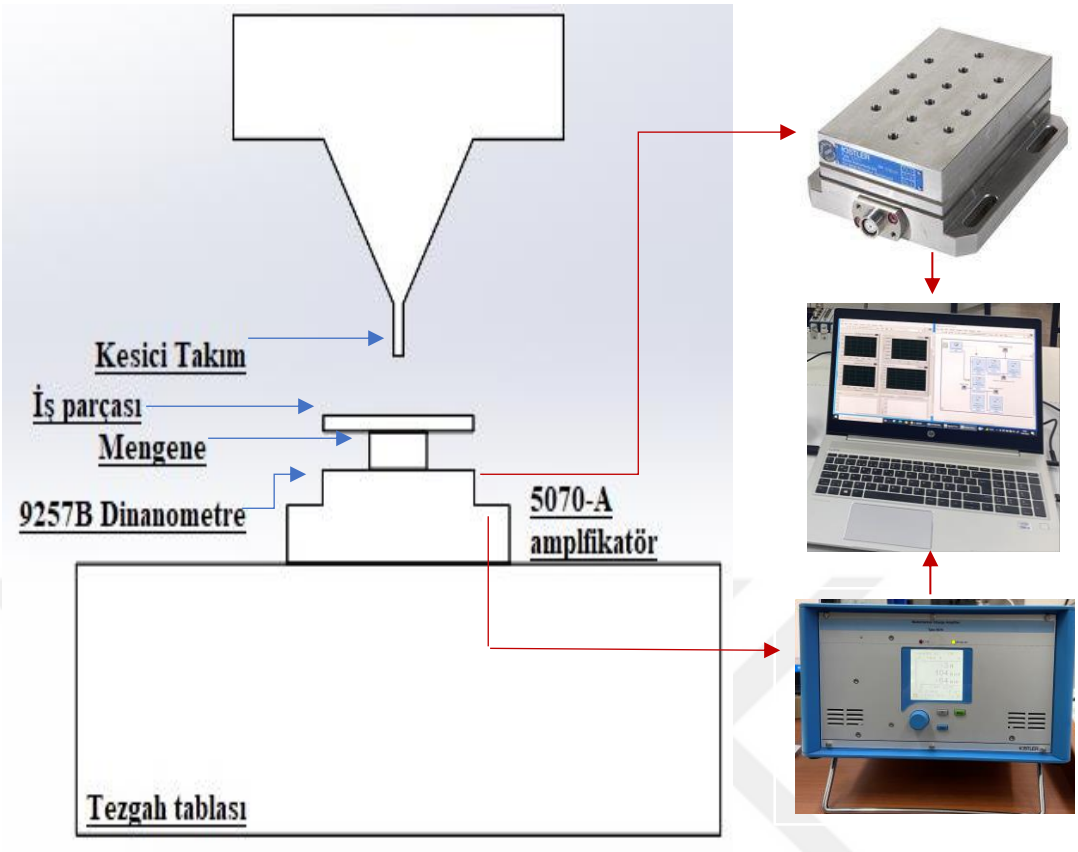
Şekil 3.6 Mitutoyo Sj-310 pürüzlülük ölçüm cihazı

Tablo 3.5 Mitutoyo Sj-310 yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri

Özellikler	Type Sj-310
Dedektör Ölçüm Kuvveti:	0.75 mN
Stylus Ucu açısı:	60°
Stylus Ucu radyüsü:	2 µm
Ağırlık:	1.7 kg
Kablo uzunluğu:	1 m
Ölçüm metodu (standart prob):	Induction method
Stylus:	Diamond Tip
Kızak yarı çapı (standart prob):	40 mm
Ölçüm kuvveti (standart prob):	0,75 mN

3.2 Deneysel Çalışmalarının Yapılışı

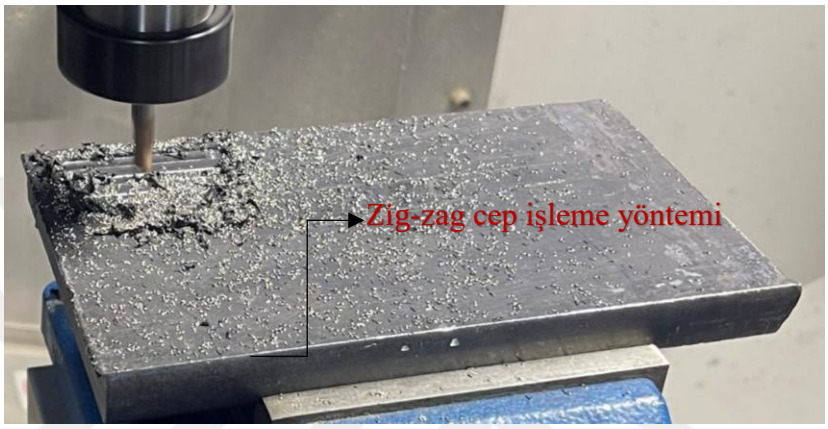
Deneysel çalışmada değişken olarak 6 takım yolu belirlenmiş olup, yüzey pürüzlülüğü için ve kesme kuvvetleri için 1 adet deney yapılmıştır. Buna göre, 1 adet iş parçası ve kesici uç temin edilmiştir. Deneyde ilk olarak takım yolu stratejisinin imalatta geçen süre ile ilişkisi incelenmiştir. 3 adet kronometre ile her bir işleme yöntemi için işlemeye başladığı an ile işlem bittiği an arasındaki süre kaydedilmiştir. Daha sonra deneyler sırasında takıma etkiyen kuvvetler ele alınmıştır. CNC tezgâhına bağlı dinamometreden elde edilen sinyaller amplifikatör vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Ardından verilerin işlenmesi ve gerekli grafiklerin oluşturulması için Kistler Dynoware yazılımından kullanılmıştır. Her bir işleme yöntemi için Fx, Fy, Fz kuvvetlerinin verileri alınmıştır. Ardından Fx, Fy, Fz kuvvetlerinin sayısal verileri ayrı ayrı grafiğe dökülmüştür. Son olarak işlenmiş parça üzerinden topografik görüntü alınarak yüzey pürüzlülükleri tespit edilmiştir. Her bir işleme yöntemi için 3'er defa ölçüm yapılmış olup ortalama alınarak Ra, Rq, Rz ve Rk değerleri ayrı ayrı belirlenmiş, veriler girilmiş ve işleme yöntemlerine göre kıyaslama yapılmıştır.



Şekil 3.7 Deneysel çalışma yapılışı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

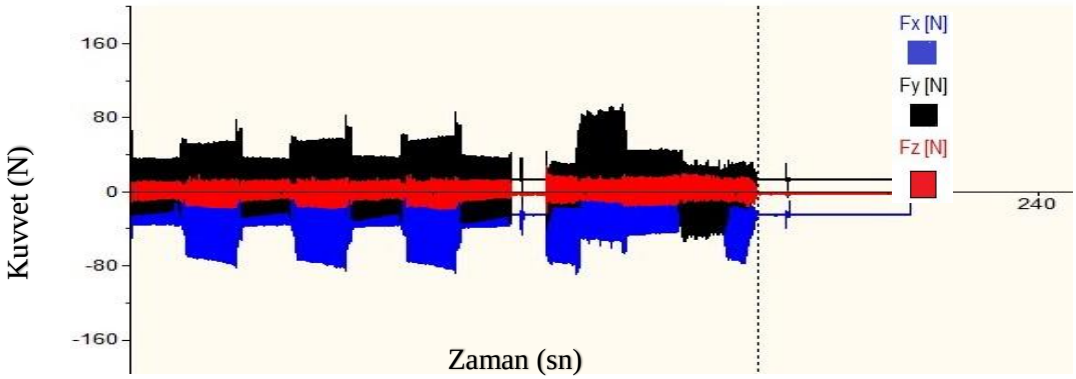
Yapmış olduğumuz deney çalışmamızdan elde edilen veriler ışığında, Zig-zag cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenmesi 190 sn sürmüştür. İşlem esnası ve işlem sonrası iş parçasının görüntüsü Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Ayrıca işlem gerçekleşirken parçada oluşan kesme kuvvetleri değişimi Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Zig-Zag cep işleme yöntemi ile parçasının işleme esnası

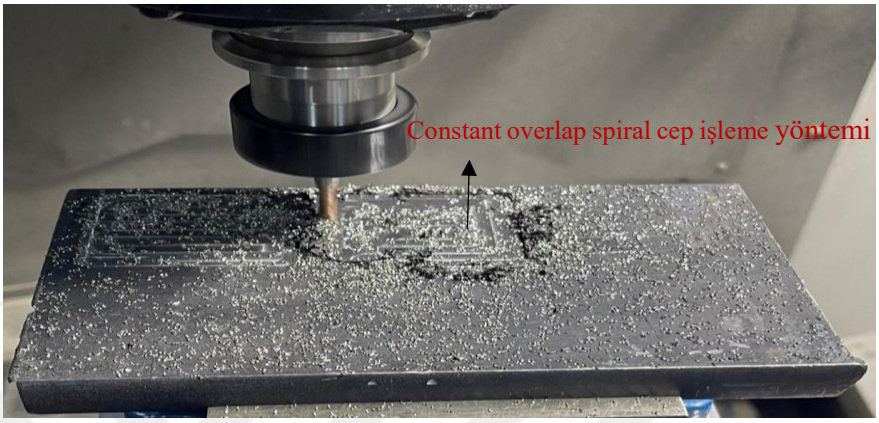


Şekil 4.2 Zig-Zag cep işleme yöntemi ile işlenmiş

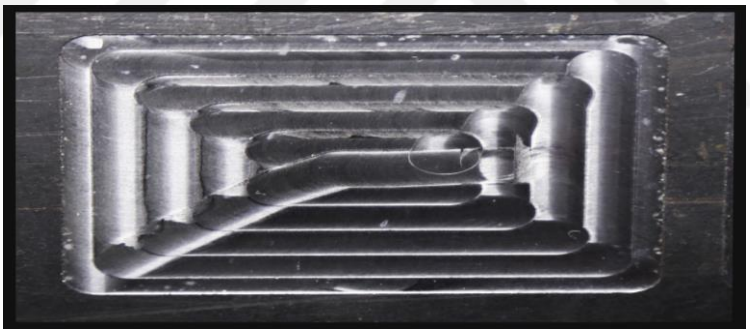


Şekil 4.3 Zig-Zag cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği

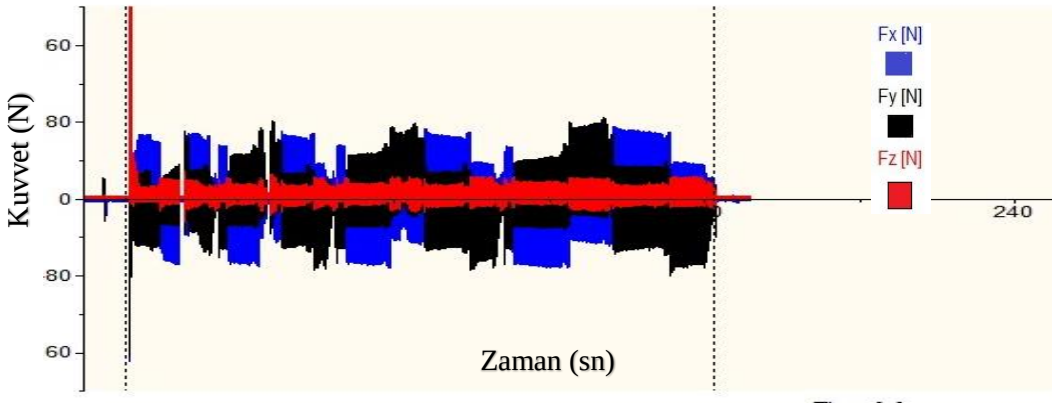
Constant Overlap Spiral cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenmesi 212 sn sürmüştür. İşlem esnasında ve işlem sonrası iş parçasının görüntüsü Şekil 4.4 ve Şekil 4.5' de verilmiştir. Ayrıca işlem gerçekleşirken parçada oluşan kesme kuvvetleri değişimi Şekil 4.6' da gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Constant Overlap Spiral yöntemi ile parçasının işlenme esnası

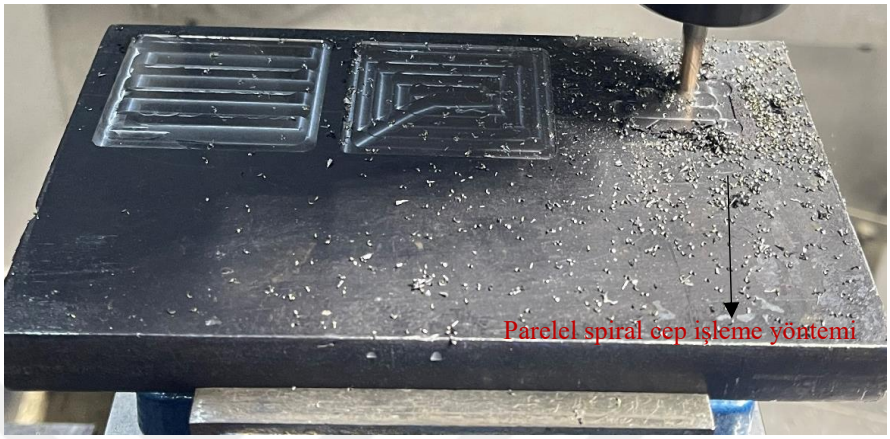


Şekil 4.5 Constant Overlap Spiral cep işleme yöntemi ile işlenmiş

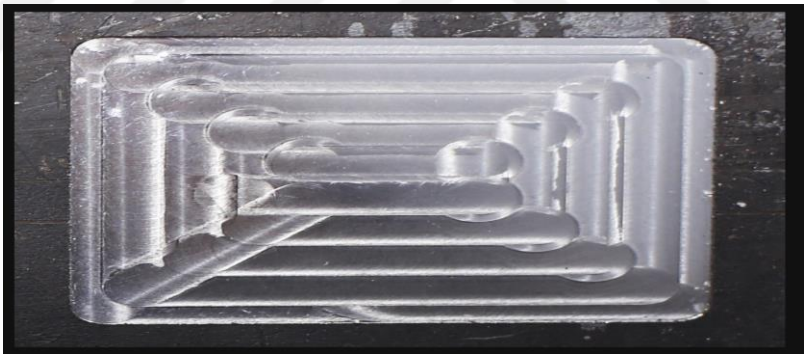


Şekil 4.6 Constant Overlap Spiral cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği

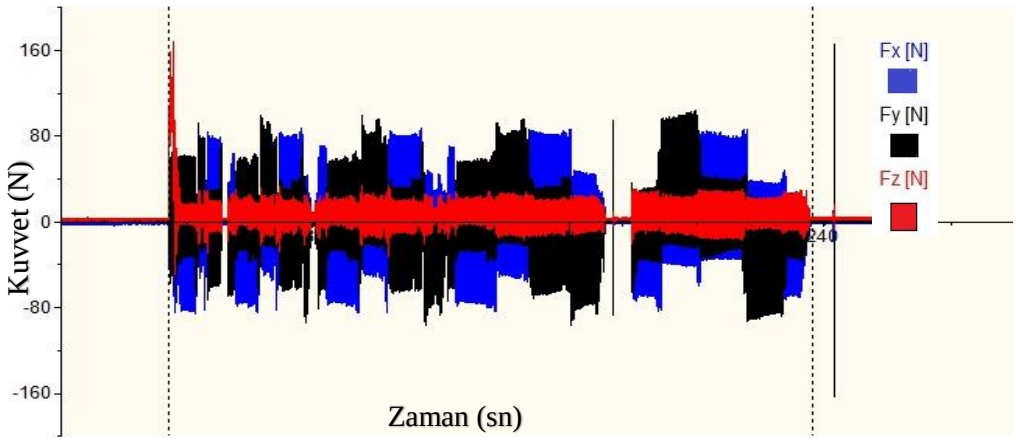
Paralel Spiral-Clean Corners cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenmesi 211 sn sürmüştür. İşlem esnasında ve işlem sonrası iş parçasının görüntüsü Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' de verilmiştir. Ayrıca işlem gerçekleşirken parçada oluşan kesme kuvvetleri değişimi Şekil 4.9' da gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Paralel Spiral-Clean Corners yöntemi parçasının işleme esnası

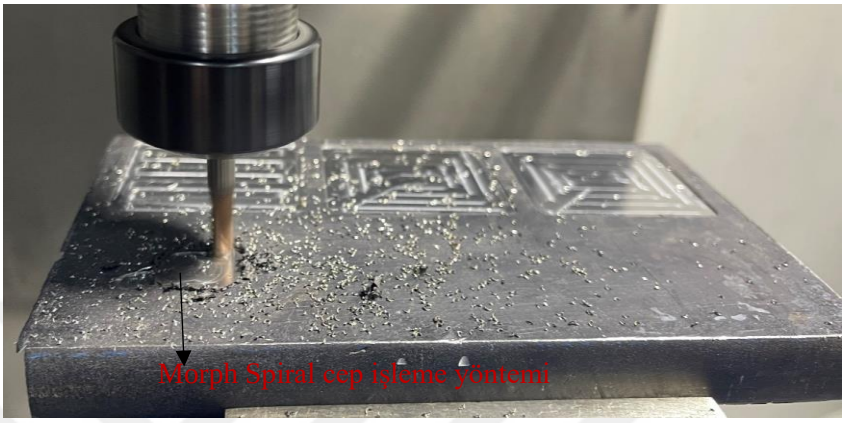


Şekil 4.8 Paralel Spiral-Clean Corners cep işleme yöntemi ile işlenmiş

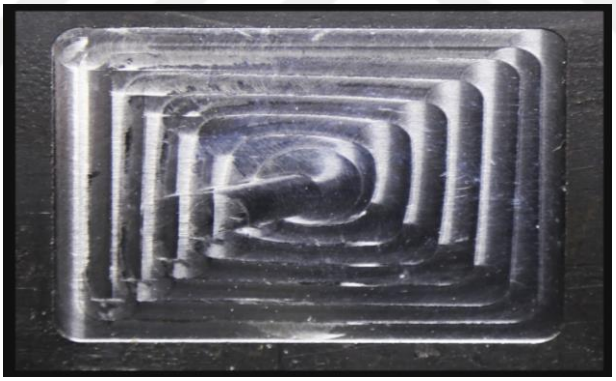


Şekil 4.9 Paralel Spiral-Clean Corners cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği

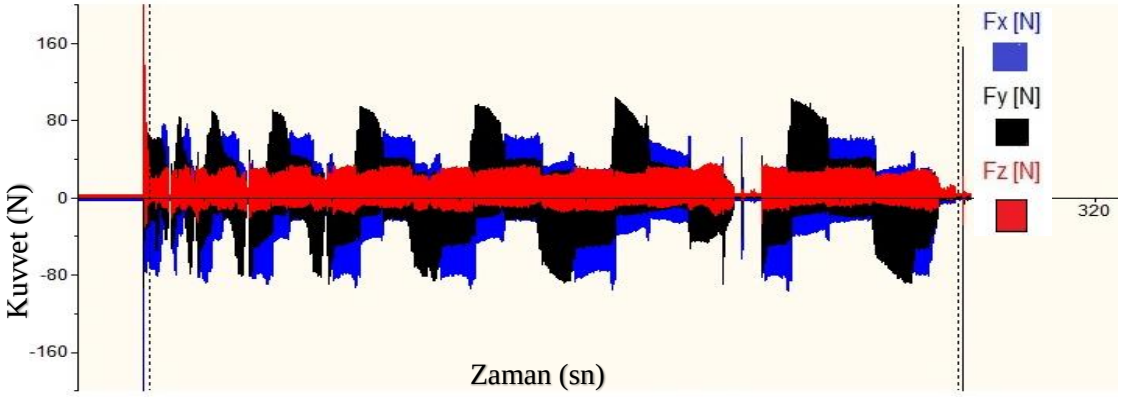
Morph Spiral cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenmesi 260 sn sürmüştür. İşlem esnasında ve işlem sonrası iş parçasının görüntüsü Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir. Ayrıca işlem gerçekleşirken parçada oluşan kesme kuvvetleri değişimi Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Morph Spiral cep işleme yöntemi ile parçasının işleme esnası



Şekil 4.11 Morph Spiral cep işleme yöntemi ile işlenmiş

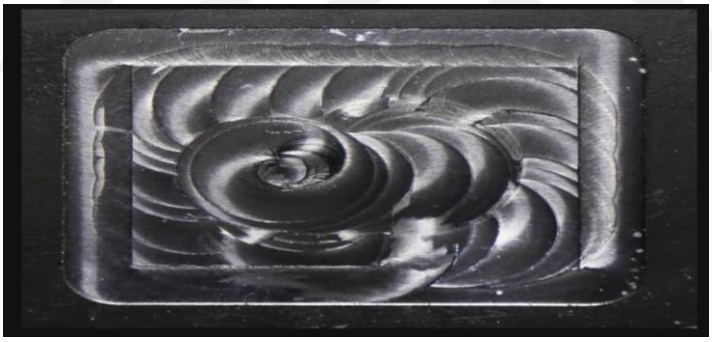


Şekil 4.12 Morph Spiral cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği

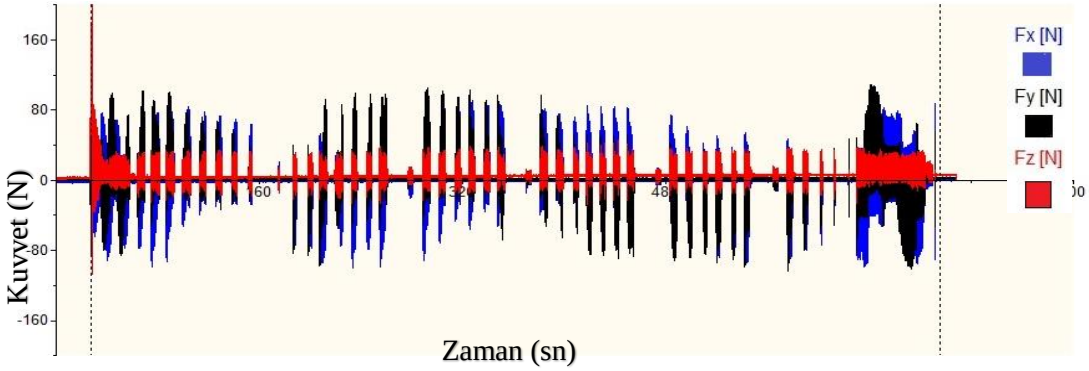
High Speed cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenmesi 660 sn sürmüştür. İşlem esnasında ve işlem sonrası iş parçasının görüntüsü Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmiştir. Ayrıca işlem gerçekleşirken parçada oluşan kesme kuvvetleri değişimi Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 High Speed cep işleme yöntemi ile parçasının işleme esnası

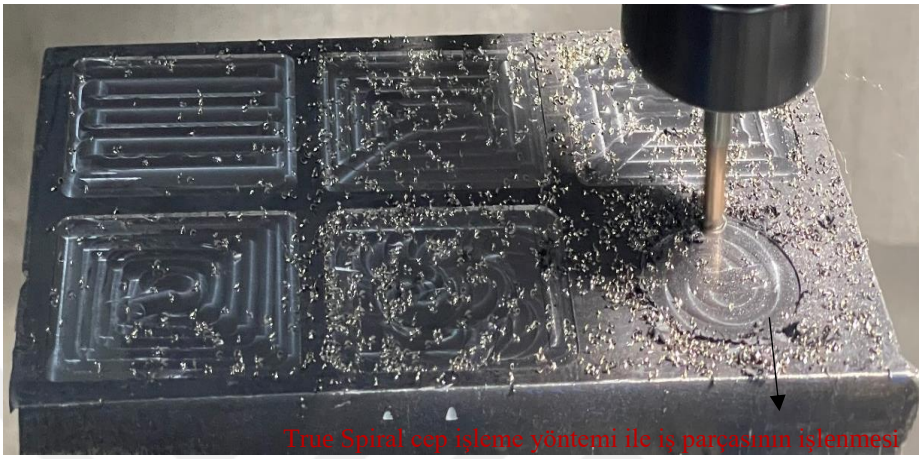


Şekil 4.14 High Speed cep işleme yöntemi ile işlenmiş



Şekil 4.15 High Speed cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği

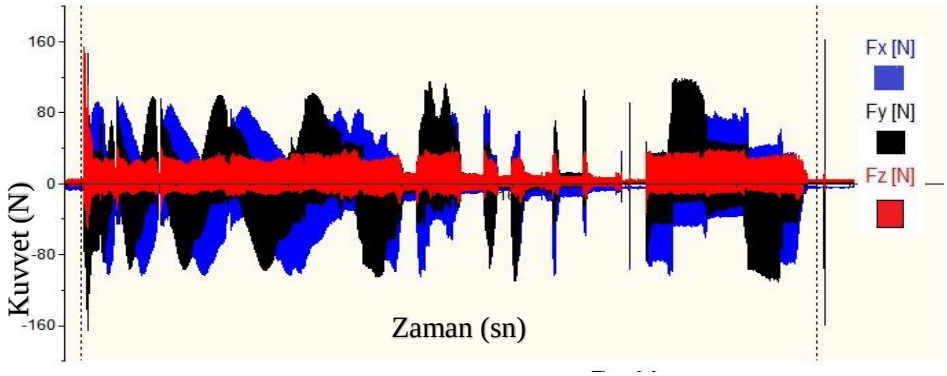
True Spiral cep işleme yöntemi ile iş parçasının işlenmesi 265 sn sürmüştür. İşlem esnasında ve işlem sonrası iş parçasının görüntüsü Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir. Ayrıca işlem gerçekleşirken parçada oluşan kesme kuvvetleri değişimi Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



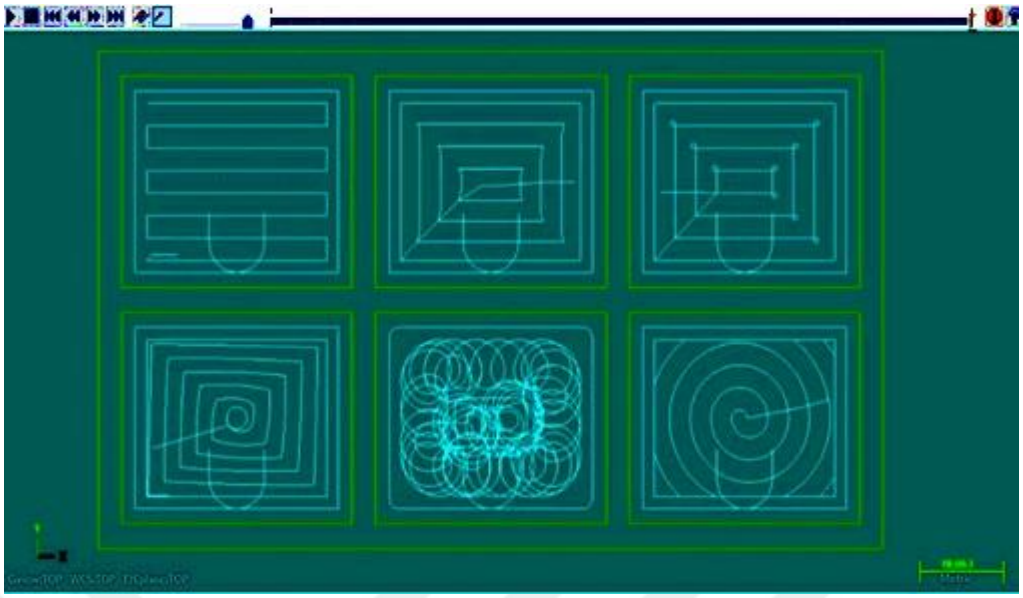
Şekil 4.16 True Spiral cep işleme yöntemi ile işlenme esnası



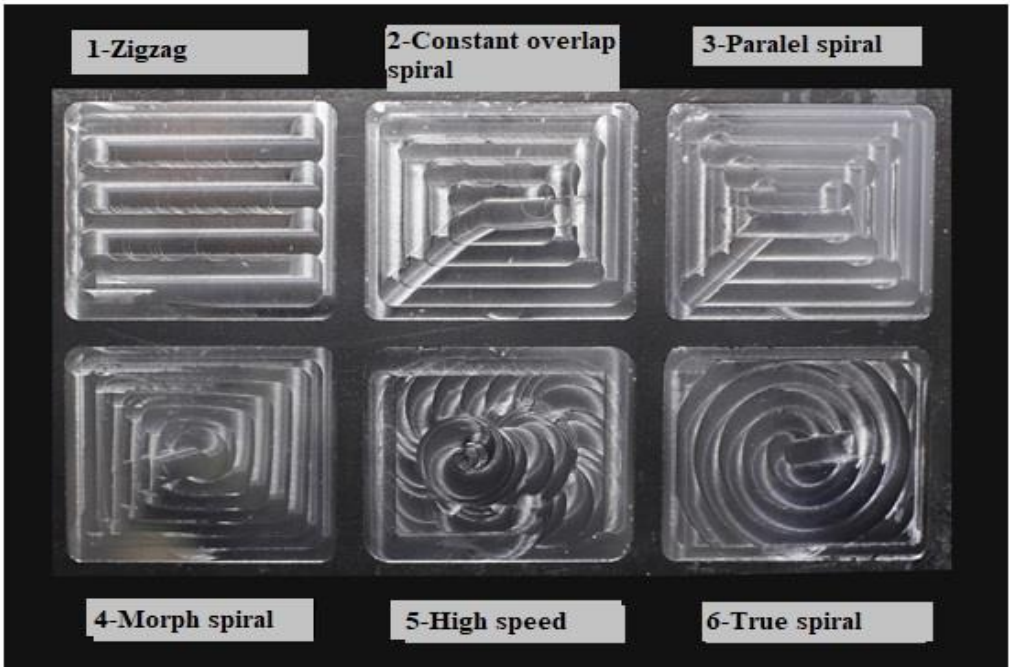
Şekil 4.17 True Spiral cep işleme yöntemi işlenmiş



Şekil 4.18 True Spiral cep işleme yöntemine ait kuvvet grafiği



Şekil 4.19 Takım yolu izi üsten görünüş

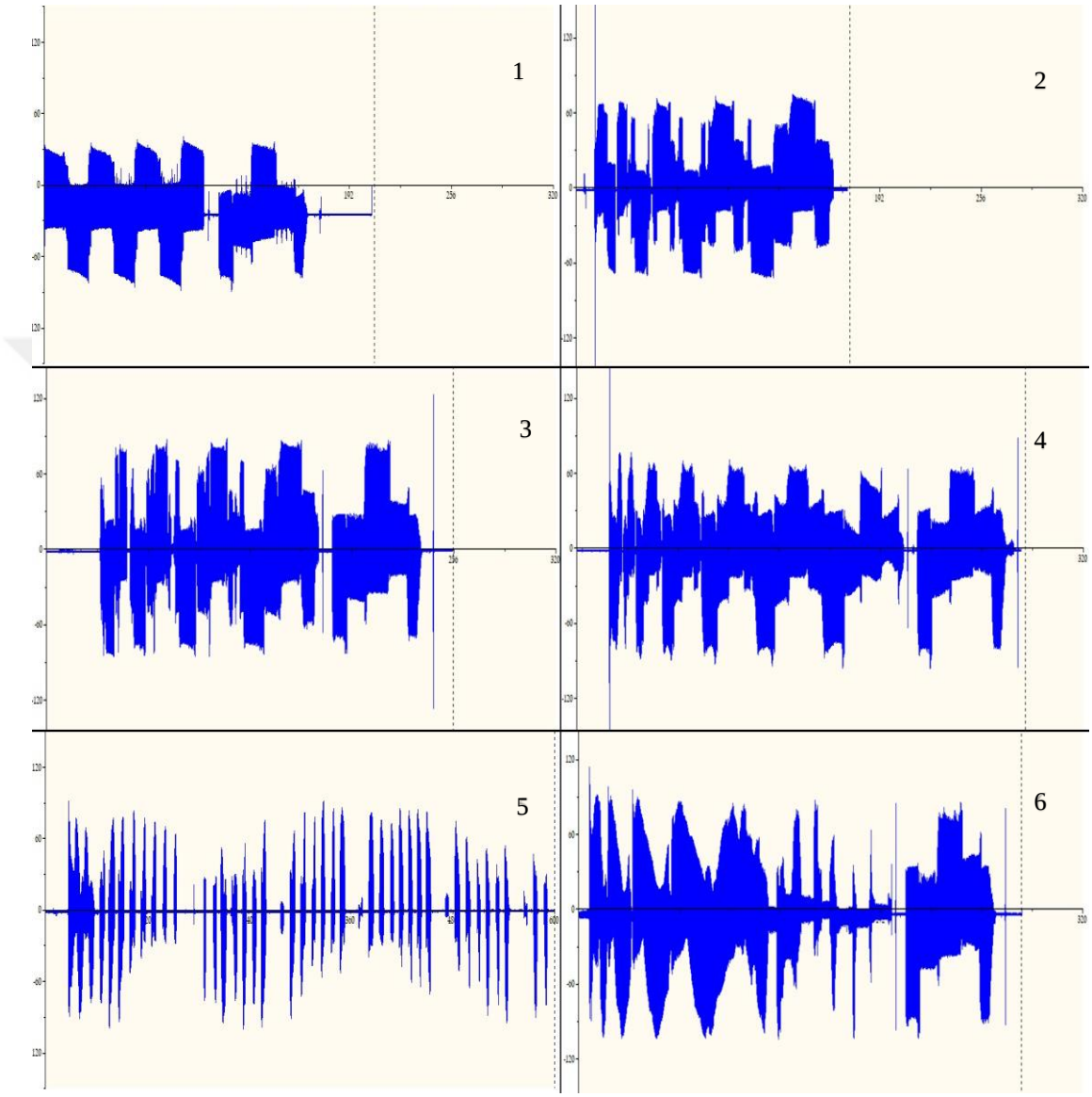


Şekil 4.20 Deney sonrası işlenmiş parça

4.1 Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Programdan elde edilen veriler doğrultusunda 6 farklı işleme yöntemi ile işlenmiş iş parçasında oluşan Fx, Fy, Fz kuvvetleri ayrı ayrı ele alınmıştır. Her bir işleme ait kuvvet değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Fx kuvvetine ait görüntüler Şekil 4.21'de, Fy kuvvetine ait görüntüler Şekil 4.22'de, Fz kuvvetine ait görüntüler Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

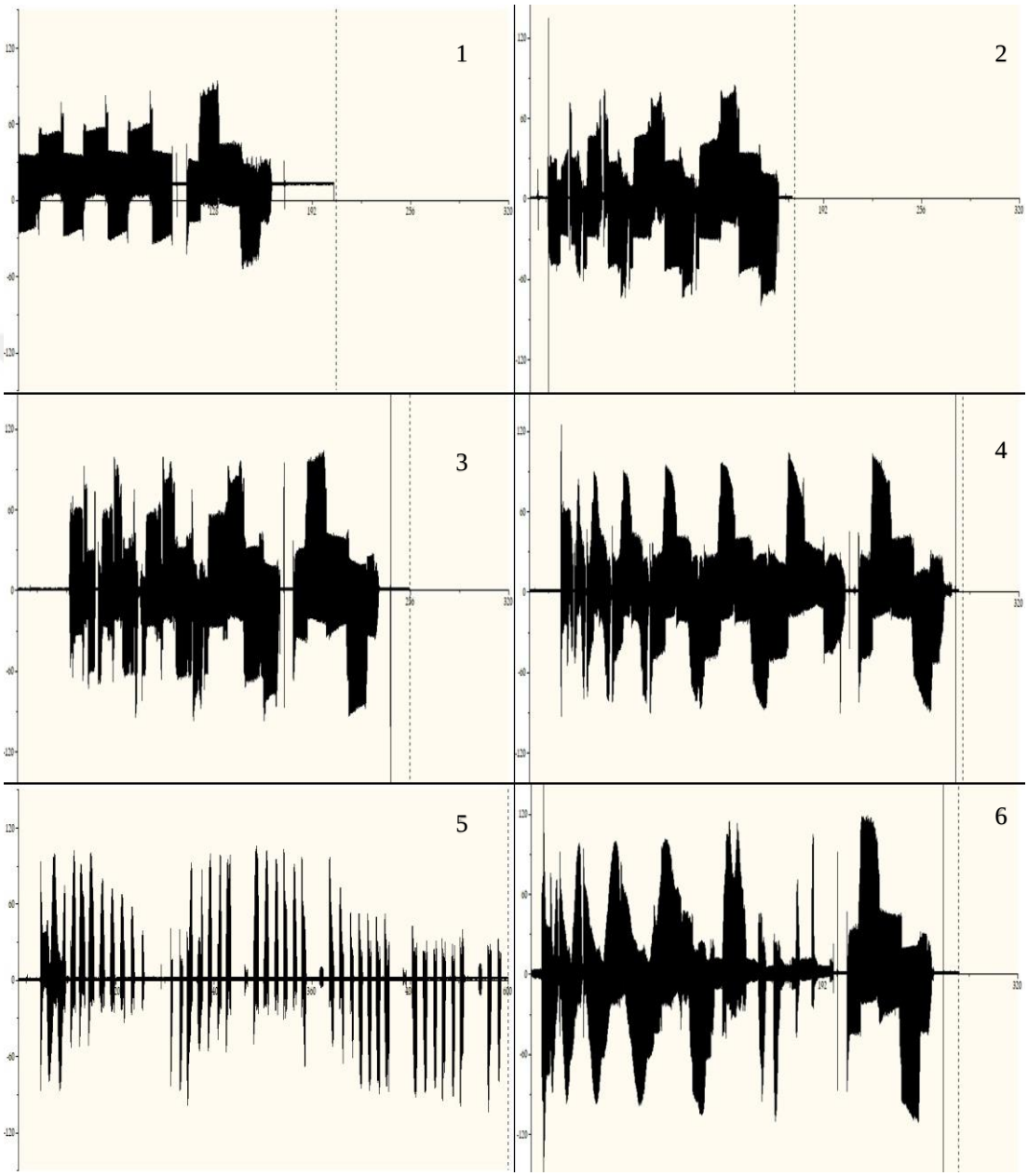
Şekil 4.21'de sırasıyla Zig-Zag(1), Constant Overlap Spiral (2), Paralel Spiral-Clean Corners (3), Morph Spiral(4), High Speed(5) ve True Spiral(6) işleme yöntemlerinin işlem esnasına oluşan Fx kuvvet grafiği verilip kıyaslanmıştır.



Şekil 4.21 Fx kuvvetine göre işleme yöntemlerinin kıyaslanması

Fx kuvveti olarak işleme yöntemlerinin kıyaslanması durumunda Constant Overlap Spiral işleme yöntemi 60,85 N ile diğerlerine göre en yüksek Fx kuvvetine sahipken, en düşük Fx kuvvetine sahip işleme yönteminin 17,70 N ile High Speed işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir.

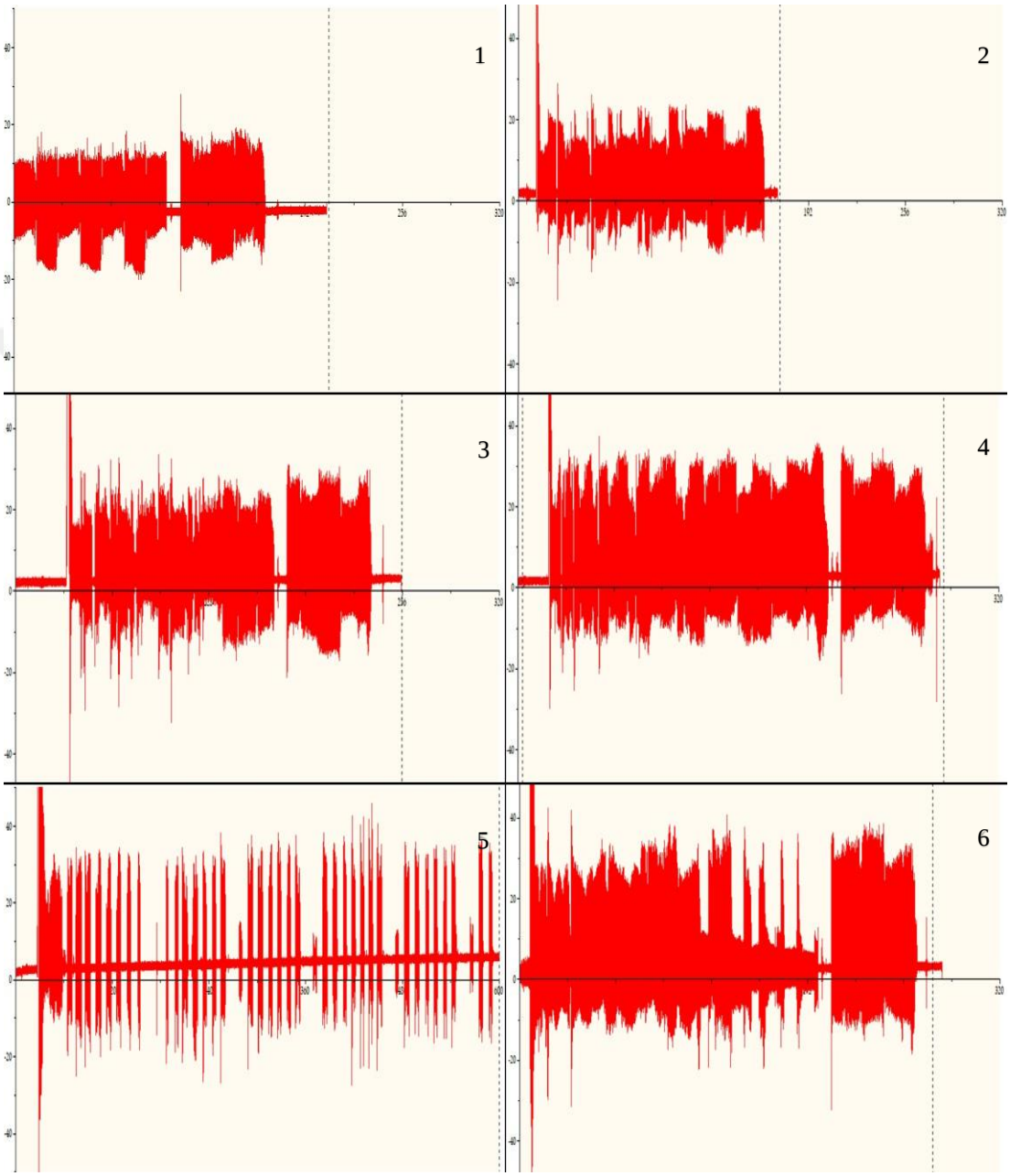
Şekil 4.22’de sırasıyla Zig-Zag(1), Constant Overlap Spiral (2), Paralel Spiral-Clean Corners (3), Morph Spiral(4), High Speed(5) ve True Spiral(6) işleme yöntemlerinin işlem esnasına oluşan Fy kuvvet grafiği verilip kıyaslanmıştır.



Şekil 4.22 Fy kuvvetine göre işleme yöntemlerinin kıyaslanması

Fy kuvveti olarak işleme yöntemlerinin kıyaslanması durumunda Constant Overlap Spiral işleme yöntemi 36,68 N ile diğerlerine göre en yüksek F değerlerine sahipken en düşük Fy kuvvetine sahip işleme yönteminin 17,74 N ile High Speed işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.23’de sırasıyla Zig-Zag (1), Constant Overlap Spiral (2), Paralel Spiral-Clean Corners (3), Morph Spiral(4), High Speed(5) ve True Spiral(6) işleme yöntemlerinin işlem esnasına oluşan Fz kuvvet grafiği verilip kıyaslanmıştır.



Şekil 4.23 Fz kuvvetine göre işleme yöntemlerinin kıyaslanması

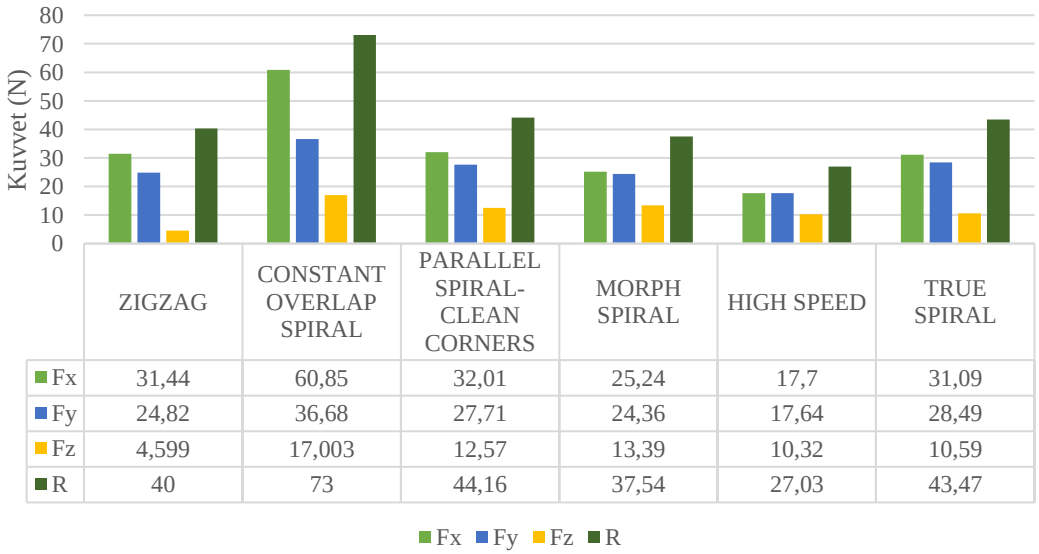
Fz kuvveti olarak işleme yöntemlerinin kıyaslanması durumunda Constant Overlap Spiral işleme yöntemi yöntemi 17,00 N ile diğerlerine göre en yüksek R değerine sahipken en düşük Fz kuvvetine sahip işleme yönteminin 4,59 N ile Zig-Zag işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen kuvvet değerlerinin sayısal verileri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Deneyde elde edilen sayısal kuvvet verileri

NO	İŞLEME YÖNTEMİ	Fx	Fy	Fz	R
1	Zig-Zag	31,44	24,82	4,599	40,31
2	Constant Overlap Spiral	60,85	36,68	17,003	73,05
3	Parallel Spiral-Clean Corners	32,01	27,71	12,57	44,16
4	Morph Spiral	25,24	24,36	13,39	37,54
5	High Speed	17,70	17,64	10,32	27,03
6	True Spiral	31,09	28,49	10,59	43,47

Bileşke kuvvetin kıyaslanması durumunda en yüksek kuvvet değerine sahip işleme yöntemi 73,05 N İle Constant Overlap Spiral işleme yöntemi iken en düşük kuvvet değerine sahip işleme yönteminin High Speed işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.24 Fx, Fy, Fz kesme kuvveti grafiği

Elde edilen değerler doğrultusunda işleme zamanı boyunca en yüksek kuvvet değerine sahip işleme yönteminin 73,05 N ile Constant Overlap Spiral olduğu belirlenmiştir. En düşük kuvvet değerine sahip işleme yönteminin 27,03 N ile High Speed işleme yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.

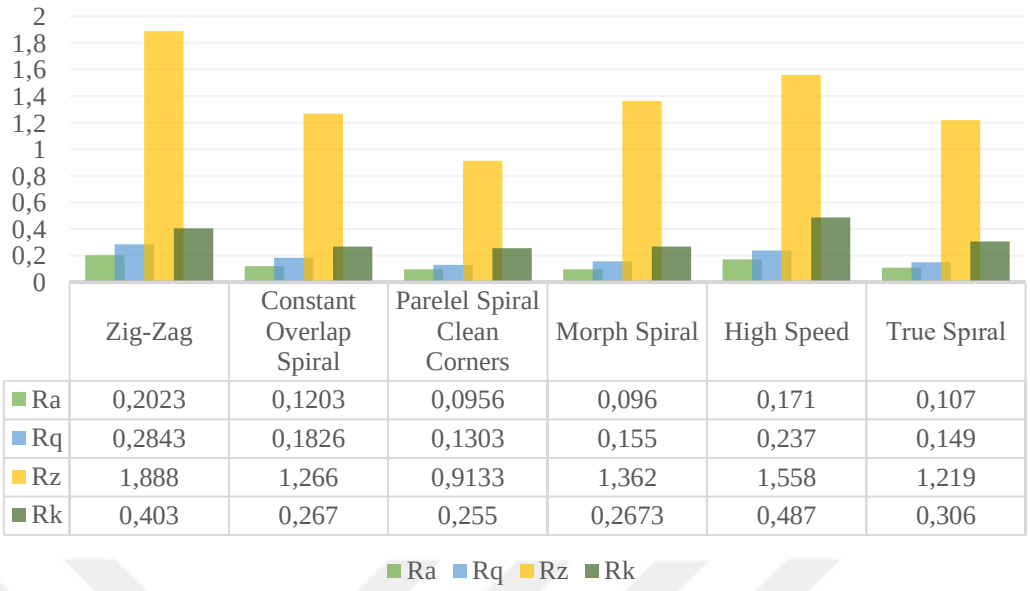
Constant Overlap Spiral işleme yöntemi X, Y ve Z eksenlerinde ilerlemektedir. Eksenler arası geçiş olması ve hem üç farklı eksende yol alması hem de aynı esnada iş parçasını işlemesinden dolayı yüksek kuvvet değerlerine sahiptir.

Zig-Zag işleme yönteminin asıl işleme şeması iki eksende gerçekleşmekte olup sadece yön değişiminde Z ekseninde yol almıştır. Böylelikle Fz kuvvet değeri diğer işleme yöntemlerine kıyasla daha düşük bir değer ile sonuçlanmıştır.

High Speed işleme yöntemine bakıldığında ne Zig-Zag işleme yöntemi gibi doğrusal bir yol şemasına sahiptir ne de True Spiral gibi dairesel bir yol şemasına sahiptir. Belirli bir işlem doğrultusu yoktur. Parça dairesel olarak işleyip işlediği alan üzerinde ilerlemektedir. Herhangi bir eksende belirli doğrultuda ilerlememesi ile X, Y ve Z eksenlerinde belirli mesafe yol kat etmediğinden dolayı Fx, Fy ve Fz kuvvetlerinde de büyük artışlar meydana gelmemiştir. Böylelikle diğer işleme yöntemlerine kıyasla en düşük kuvvet değerine sahiptir.

4.2 Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü için Ra, Rz, Rq ve Rk olmak üzere 4 adet yüzey pürüzlülüğü parametresi ele alınmıştır. Deney doğruluğu açısından her işleme yöntemi için 3 defa ölçüm yapılmış olup tabloda verilmiş olan değerler 3 ölçümün ortalama değeri baz alınarak işlenmiştir. Şekil 4.25'de cep işleme yöntemlerine ait veriler yüzey pürüzlülük grafiğinde gösterilmiştir.



	Zig-Zag	Constant Overlap Spiral	Parelel Spiral Clean Corners	Morph Spiral	High Speed	True Spıral
Ra	0,2023	0,1203	0,0956	0,096	0,171	0,107
Rq	0,2843	0,1826	0,1303	0,155	0,237	0,149
Rz	1,888	1,266	0,9133	1,362	1,558	1,219
Rk	0,403	0,267	0,255	0,2673	0,487	0,306

Şekil 4.25 Cep işleme yöntemlerinin yüzey pürüzlülük grafiği

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinden elde edilen veriler doğrultusunda en yüksak Ra, Rz ve Rq değerine sahip olan işleme yönteminin Zig-Zag cep işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir. En yüksek Rk değerine sahip işleme yönteminin High Speed cep işleme yöntemi olduğu belirlenmiştir.

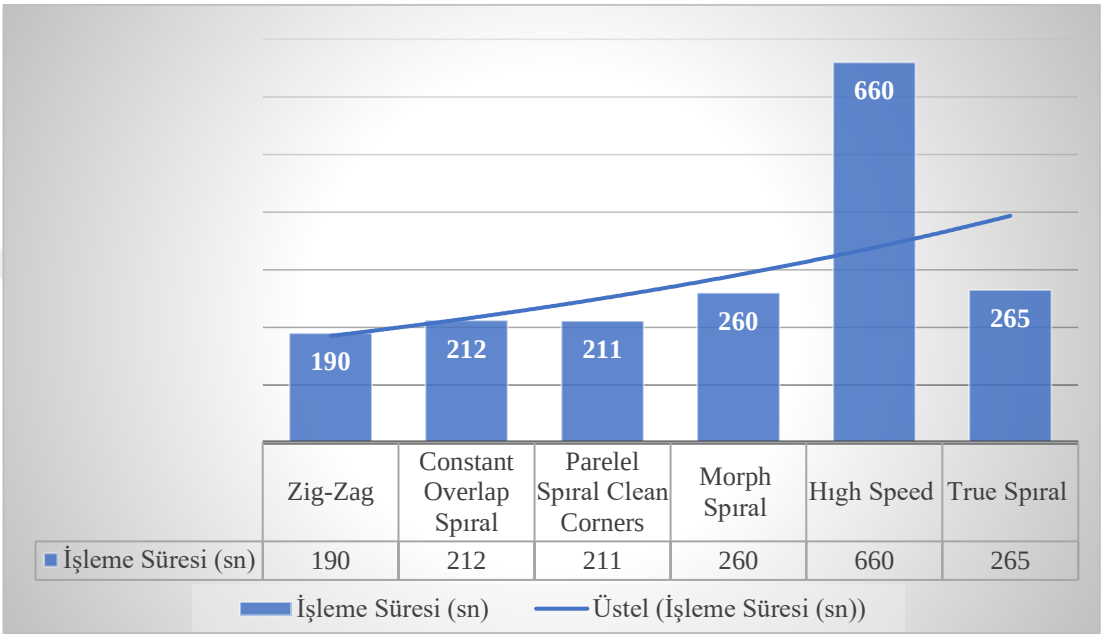
Ra Y ekseni boyunca en üst ve en alt değerlerin ortalamasıyla oluşan bir değerdir. Y ekseninde diğer yöntemlere kıyasla daha fazla mesafe almasından dolayı en üst ve en alt nokta arasındaki değer artışına bağlı olarak Zig-Zag işlemede Ra değeri daha büyüktür çıkmıştır.

Rz, beş ayrı ölçümün ortalamasıyla oluşan bir değerdir ve bu değerin yüksek çıkması ortalaması alınan değerlerin yüksek olmasından kaynaklanır ve Zig-Zag işleme yönteminin y ekseninde daha fazla mesafe almasıyla Rq değeri daha yüksek çıkmıştır. Buna bağlı en çok yüzey pürüzlülüğü ile sonuçlanan işleme yöntemi Zig-Zag işleme yöntemidir.

Rk parametresi silindir yapılarda kullanılan bir değerdir. High Speed işleme yöntemi dairesel bir yörüngede işlediği için bu değer High Speed işleme yönteminde daha büyük çıkmıştır.

4.3 İşleme Süresi

Deneyin ilk aşamasında iş parçası 6 farklı kesici yöntem ile işlenmiştir. Her bir işleme yöntemi gerçekleştiği anda ve işlem bittiği an arasındaki süre farklı belirlenmiştir. Böylelikle işleme yöntemlerinin işleme süreleri elde edilmiştir. İşleme süreleri Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



Şekil 4.26 İşleme süresi grafiği

En uzun işleme süresi 660 sn olarak High Speed işleme yöntemine aittir. En düşük işleme süresi ise 190 sn ile Zig-Zag işleme yöntemine aittir. Zig-Zag takım yolunun belirli bir yönde ilerledikten sonra yön değiştirmesinden dolayı işleme süresi daha düşüktür ancak High Speed işleme yönteminde sürekli olarak yön değiştiği için işleme süresi uzamakta ve bundan dolayı en uzun işleme süresi High Speed işleme yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada soğuk takım çeliği olan AISI 2379 D2 çeliği üzerine parmak frezeleme işlemi uygulanmıştır. Bu kapsamda "Zig-Zag", "Constant Overlap Spiral", "Parelel Spiral-Clean Corners", "Morph Spiral", "High Speed", "True Spiral" olmak üzere 6 farklı işleme tekniği ile malzeme üzerinde oluşabilecek yüzey pürüzlülüğü değerleri ve kesme kuvvetleri açısından ele alınmıştır.

- ✓ İşleme süresi açısından değerlendirmek üzere 6 farklı işleme tekniğinin başlangıç ve bitiş süreleri belirlenerek işleme süreleri hesaplanmıştır. Belirlenen değerlere göre en düşük işleme süresine sahip işleme yönteminin Zig-Zag işleme yöntemi olduğu, en uzun işleme süresine sahip işleme yönteminin ise High Speed olduğu sonucuna varılmıştır.

- ✓ Değerlendirilmek istenen parametrelerden biri olan kesme kuvvetleri için Kistler® DynoWare yazılımından kesme kuvvetleri değerleri elde edilmiştir. R bileşke kuvvet değerleri için 6 farklı yöntem kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonucunda hem dairesel olarak işleyiş hem de bu işleyiş ile X ve Y eksenleri boyunca yol almasından dolayı en yüksek kesme kuvvetine sahip olan işleme yönteminin Constant Overlap Spiral olduğu belirlenmiştir. Düzlem boyunca belirli bir işlem şeması olmaması ve o doğrultuda ilerlememesinden dolayı High Speed işleme yönteminin en düşük kesme kuvvetine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

- ✓ Yüzey pürüzlülüğü için 18 farklı ölçüm yapılmıştır. Elde edilen ölçümler göz önüne alınarak Parelel Spiral-Clean Corners işleme yönteminin en düşük yüzey pürüzlülük değerine sahip olduğu, Zig-Zag yönteminin en yüksek yüzey pürüzlülük değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma çeşitli parametrelerin birden fazla işleme yöntemi ile kıyaslanmasını sunmaktadır. Çeşitli ve çok yönlü bir çalışma olduğu için bundan sonraki yapılacak çalışmalara veri sağlayabilecek bir çalışma olmuştur.

KAYNAKLAR

[1] M. A. Rehan,“ Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of a 5 wt.% Cr cold work tool steel” , Diss. University West, 2019.

[2] M.Lou, J. Chen, C. Li , “Surface Roughness Prediction Technique For CNC End-Milling” , Journal of Industrial Technology, vol. 15, no.1, 1999.

[3] E. Aslan, N. Camuşcu, “Hıgh Speed End Mıllıng Of Hardened Aısı D3 Cold Work Tool Steel”, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, vol.18, no.3, s.453-458, 2005.

[4] S. Orhan, A. Er, N. Camuscu, E. Aslan , “Tool wear evaluation by vibration analysis during end milling of AISI D3 cold work tool steel with 35 HRC hardness” , NDT&E International, vol.40, s.121–126, 2007.

[5] E. Altınkaya, A. Güllü ,” AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinde Talaş Kırıcı Formunun Takım Aşınmasına ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi” Politeknik Dergisi, vol.11, no. 1, s.13-17, 2008.

[6] A. R. Motorcu,” Ç1050 Ve Ç4140 Çeliklerinin Seramik Takımlarla İşlenmesinde Optimum Takım Ömrünü Sağlayan Parametrelerin Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi ve Takım Aşınmalarının İncelenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, vol.24, no. 4, s.699-708, 2009.

[7] S. Palani, U. Natarajan,” Prediction of surface roughness in CNC end milling by machine vision system using artificial neural network based on 2D Fourier transform”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.54, s.1033–1042, 2011.

[8] E. Nas, G. Samtaş, H. Demir,” CNC Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 18, no.1, s. 47-59, 2012.

[9] E. Şirin, Y. Turgut, İ. Korkut,” Farklı Sertlikteki AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasına Etkisi”, Politeknik Dergisi, vol. 15, no. 1, s. 9-14, 2012.

[10] W. Sumbodo, “Optimization of CNC Milling Machining Time through Variation of Machine Parameters and Toolpath Strategy in Various Cross-sectional Shape on Tool Steels and Die Steels Materials”, Proceedings of the 7th Engineering International Conference on Education, Concept and Application on Green Technology, s.84-92, 2018.

[11] W.Sumbodo, “Simulation and Optimization of Machining Time During Milling AISI P20 Steel”, The 9th Engineering International Conference IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, vol.700, 2021.

[12] Talaşlı İmalalat Yöntemleri Frezeleme. Erişim tarihi: 2 Kasım 2021. https://tf.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/033003/TALA%C5%9ELI%20%C4%B0MALAT%20Y%C3%96NTEMLER%C4%B0-FREZELEME.pdf.

[13] A.S. Chaus, M.V. Sitkevich, P. Pokorný, M. Sahul, M. Harˇs´ani, P. Babincov´a ," Wear resistance and cutting performance of high-speed steel ball nose end mills related to the initial state of tool surface", ScienceDirect Wear, s.472-473, 2021.

[14] Y. Li, B. Zou, Z. Shi, C. Huang, L. Li, H. Liu, H. Zhu, P. Yao, J. Liu, " Wear patterns and mechanisms of sialon ceramic end-milling tool during high speed machining of nickel-based superalloy", ScienceDirect Ceramics International, vol.47, s. 5690–5698, 2021.

[15] R. Yadav, K. Vipindas, J. Mathew, " Methodology for prediction of sub-surface residual stress in micro end milling of Ti-6Al-4V alloy" , Journal of Manufacturing Processes, vol. 62 s.600–612, 2021.

[16] M. J. Remolina, M. A. Velasco, E. Córdoba, " Chip experimental analysis approach obtained by micro-end-milling in (Ti-6Al-4 V) titanium alloy and (7075) aluminium alloy ", Journal of King Saud University - Engineering Sciences, 2021.

[17] S. Cai, Z. Cai, B. Yao, Z. Shen, X. Ma, "Identifying the transient milling force coefficient of a slender end-milling cutter with vibrations", Journal of Manufacturing Processes, vol.67, s.262–274, 2021.

[18] R. Gaddam, G. M. Pittala, N. Z. Yussefian, M. Jamal, T. L. See, "Study of new solid end mill for side milling of Ti-6Al-4V with improved cooling efficiency", Science Direct Procedia CIRP, vol.101, s.282–285, 2021.

[19] J. G. Parmar, K.G. Dave, A.V. Gohil, H.S. Trivedi , "Prediction of end milling process parameters using artificial neural network", Materials Today: Proceedings, vol.38, s.3168–3176, 2021.

[20] M. Z. Zahaf, M. Benghersallah, "Surface roughness and vibration analysis in end milling of annealed and hardened bearing steel", Measurement: Sensors, vol.13, 2021.

[21] J. Boyea, S. M. George, L.Sharivker, W.Penkert, "Studies of End Mill Flute Geometry Enhancements on Specific Cutting Energy and Chip Formation", Procedia CIRP 101, s.286-289, 2021.

[22] A Almohallami, D. Yilkiran, D. Wulff, S. Hübner, M. Vucetic, H.Jürgen Maier, B.A. Behrens, "Numerical Modelling of the Tribology of a Selective Oxidised 1.2379 Tool Steel Surface Developed for Dry Metal Forming" , Dry Met. Forming OAJ FMT, vol.1, s.91–95, 2015.

[23] L. Toth, "Examınatıon Of The Properties And Structure Of Tool Steel En 1.2379 Due To Dıfferent Heat Treatments", European Journal of Materials Science and Engineering, vol.3, s.165-170, 2018.

[24] A. Shokrani, J. Betts, M. Carnevale," Numerical Modelling of the Tribology of a Selective Oxidised 1.2379 Tool Steel Surface Developed for Dry Metal Forming ", Procedia CIRP, vol.101, s.358–361, 2021.

[25] M. Oganyan, A. Vereschaka, M. Volosova, V. Gurin , "Influence of the application of wear-resistant coatings on force parameters of the cutting process and the tool life during end milling of titanium alloys", Materials Today: Proceedings, vol.38, s.1428–1432, 2021.

[26] A. Mamedov , "Taguchi Yöntemleri Kullanılarak Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Araştırılması", Mühendis ve Makine, vol.62, no.703, s.321-331, 2020.

[27] Ç. Topçu, " AISI P20Ni kalıp çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

[28] E. S.Paul, Shivashankara, N. J. Roy, A. Munaf, M. Karpakaraj, S.K. R. Kanna , "An experimental investigation of tool wear rate in end mill HSS-AL with nickel coated tool " , Materials Today: Proceedings, vol.45, s.7086–7092, 2021.

[29] R. Çakıroğlu, G. Uzun," Yüksek İlerleme ile Frezeleme İşlemi Esnasında Oluşan Kesme Kuvvetinin ve İş Parçası Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi" , Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol.7, no.1, s. 58-66, 2021.

[30] V. Yılmaz, H. Dilipak, M. Sarıkaya, C. Yaman Yılmaz, G. Meral, "Frezeleme İşlemlerinde Titreşimi ve Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Parametrelerin Optimizasyonu" , Teknik Bilimler Dergisi, vol.4, no.1, s. 37-44, 2014.

[31] B. S. Rao, C. K. Babu, H. S. Nayaka, " Multi-response optimization of machining parameters for end milling process on BSL168-T6511 aluminium alloy using Taguchi basedgrey relational analysis", 2021.

[32] S. Pervaiz, İ. Delab, S. Zafar, S. Shams, "Prediction of energy consumption and surface roughness in reaming operation of Al-6061using ANN based models" , International Conference of Robotics and Artificial Intelligence, s.169-173, 2012.

[33] P. Cardoso, J. P. Davim, "Optimization of surface roughness in micromilling.", Materials and Manufacturing Processes, vol.25, no.10, s.1115-1119, 2010.

[34] P. Cardoso, J. P. Davim, "Micro milling of metallic materials-A brief overview." Transactions of FAMENA, vol.36, no.2, s.79-85, 2012.

[35] C. Bandapalli, B.M. Sutaria, D.V.P. Bhatt, K.K. Singh, "Tool wear analysis of micro end mills-uncoated and PVD coated TiAlN & AlTiN in high speed micro milling of titanium alloy-Ti-0.3 Mo-0.8 Ni.", Procedia Cirp, vol.77, s.626-629, 2018.

[36] C. Ji, Z.Liu, X. Ai, "Effect of cutter geometric configuration on aerodynamic noise generation in face milling cutters " , Applied Acoustics, vol.75, s. 43–51, 2014.

[37] S. Wojciechowskia, R. W. Marudab, G. M. Krolczykc, P. Niesłonyc, "Application of signal to noise ratio and grey relational analysis to minimize forces and vibrations during precise ball end milling ", Precision Engineering, vol.51, s.582–596, 2018.

[38] J. Rech, F. Dumont, A. Le Bot, P.J. Arrazola, "Reduction of noise during milling operations" CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol.18, s.39–44, 2017.

[39] W.Mersni, M. Boujelbene, S. B. Salem, H.P. Singh, "Machining time and quadratic mean roughness optimization in ball end milling of titanium alloy Ti-6Al-4V – Aeronautic field", Materials Today: Proceedings, vol.26, s.2619–2624, 2020.

[40] E. G.Conte, J. C. Teixeira, M. A. Campos, H. A. Piccolo, D. A. O. Oliva, L. R. Rodrigues, "Barkhausen Noise Analysis as an Alternative Method to Online Monitoring of Milling Surfaces", Ieee Transactıons On Magnetıcs, vol.52, no.5, 2016.

[41] R.T. Rene´ de Jesu´s, H.R. Gilberto, T.-V. Iva´n, J.C. J. Carlos, "Driver current analysis for sensorless tool breakage monitoring of CNC milling machines ", International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol.43, s.529–1534, 2003.

[42] K. Shi, D. Zhang1, J. Ren, "Optimization of process parameters for surface roughness and microhardness in dry milling of magnesium alloy using Taguchi with grey relational analysis", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.81, no.1, s.645-651, 2015.

[43] B. Bakır, M. Kurt, G.Basmacı, O. Girit , "Frezelemede Kesici Takım Çapı, Ağız Sayısı Ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü Ve Kesici Takım Sehimlerine Etkileri" , 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi Balıkesir, 2012.

[44] A. Mitrović , P. Kovač, N. Kulundžić, B. Savković, I. Mankova, "3D end milling finite element thermal analysis" , MATEC Web of Conferences, vol.184, 2018.

[45] P. Navaneetham, B. Baby, and Umasekar VG, "Effects of Machining Parameters on Tool Path, Surface Roughness, and Cycle Time During Multi-Axis CNC Milling Machining of Radial Camshaft. ", International Journal for Modern Trends in Science and Technology, vol.05, no.06, 2019.

[46] Ç. Topçu, " AISI P20Ni kalıp çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans tezi. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

[47] T. Kaltenbrunner, " Combined experimental and numerical analysis of critical loading conditions for hard metal tool damage in titanium milling", Journal of Manufacturing Processes, vol.77, s.125-137, 2022.

[48] T. Kaltenbrunner, " Differences in evolution of temperature, plastic deformation and wear in milling tools when up-milling and down-milling Ti6Al4V" , Journal of Manufacturing Processes, vol.77, s.75–86, 2022.

[49] B. S. Wijanarka, “Optimization of pocket cycle machining process in computer numerically controlled milling machining”, Journal of Physics: Conference Series, vol.1700, no.1, 2020.

[50] M. Uzun, “Influence of tool path strategies on machining time, tool wear, and surface roughness during milling of AISI X210Cr12 steel”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, s.1-12, 2022.

[51] K. Aydın, Ş. Katmer, A. Gök, U.Şeker, “Dalga formlu parmak frezelerin AISI 316L paslanmaz çelik üzerindeki işleme performansının deneysel ve istatistiksel olarak araştırılması.”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol.36, no.4, s.2225-2238, 2021.

[52] Soğuk İş Takım Çelikleri, Malzeme bilim 2011. Erişim tarihi: 07.04.2022. https://malzemebilimi.net/soguk-is-takim-celikleri.html.

[53] Soğuk iş takım çeliklerinin kullanım alanları, Ekol demir 2016. Erişim tarihi: 02.04.2022. https://www.ekoldemir.com/soguk-is-takim-celiklerin-kullanim-alanlari.

[54] Soğuk iş takım çeliklerinin özellikler, Art metalürji 2019. Erişim tarihi: 02.04.2022. https://artmetalurji.com/soguk-is-takim-celigi.html.

[55] 1.2379 soğuk iş takım çeliği, Aras çelik 2018. Erişim Tarihi: 07.04.2022. http://arascelik.com.tr/urunler/soguk-is-takim-celikleri/12379/11.

[56] 1.2379 soğuk iş takım çeliği, Kalite metalürji 2013. Erişim tarihi: 07.04.2022 http://kalitemetalurji.com.tr/urunlerimiz/soguk-is-takim-celikleri/1-2379-soguk-is-takim-celigi/.

[57] Başarılı frezeleme, Sandvik coromat. Erişim tarihi: 27.05.2022. https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/milling/pages/default.aspx.

[58] 1.2379 (X153CrMoV12, Sağlam metal 2015. Erişim tarihi: 3.04.2022. https://www.saglammetal.com/tr/celik/takim-celikleri/soguk-is-takim-çelikleri/12379-x153crmov12.

[59]Frezeleme(işleme), Wikipedia 2001. Erişim tarihi:26.05.2022. https://en.wikipedia.org/wiki/Milling_(machining)#CNC_pocket_milling.

[60] Contour parallel tool path, Wikipedia 2001. Erişim Tarihi: 26.05.2022. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/1/18/Contour-parallel_tool_path.jpg.

[61] Eğrisel araç yolu, Wikipedia 2001, . Erişim tarihi: 26.05.2022 https://en.wikipedia.org/wiki/File:Curvilinear_tool_path.jpg.

[62] Parmak freze çakıları hakkında bilgi,,Makina eğitimi .Erişim tarihi:30.05.2022. https://www.makinaegitimi.com/parmak-freze-cakilari-hakkinda-bilgi/.

[63] Y.Altıntaş, “Mechanıcs Of Metal Cuttıng”,“ İmalat otomasyonu: metal kesme mekaniği, takım tezgahı titreşimleri ve CNC tasarımı”, Uygulama makine Rev. , 2001, s.18-50.

[64] İş parçası yüzey ölçümü, Sandvik coromat. Erişim tarihi: 27.05.2022. https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/materials/pages/workpiece-surface-measurement.aspx.

[65] Yüzey ölçüm parametreleri, Yamasa 2016. Erişim tarihi: 17.05.2022. https://yamasa.com.tr/242/1/4/yamasa/yuzeyolcumparametreleri.aspx.

[66] MC232-06.0W2B-WJ30ED Solid carbide tool, Walter Tools 2022. Erişim tarihi: 29.05.2022.https://www.walter-tools.com/en gb/search/pages/default.aspx/product/mc232-06.0w2b-wj30ed).

[67] Brother marka S500X1 model CNC dik işleme teknik özellikleri, Tezmaksan. Erişim tarihi: 29.05.2022. https://www.tezmaksan.com.tr/brother-s500x1-cnc-dikey-isleme-merkezi-urundetay-556.

[68] Dinamometre, Kistler9257B, NDSU researchtoolbox 01.02.1999.Erişim Tarihi 29.05.2022 http://researchtoolbox.ndsuresearchpark.com/inventory/153736.

[69] Mitutoyo yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı, Mitutoyo. Erişim tarihi: 29.05.2022. https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/tr/mitutoyo/1292249267209/Surftest%20SJ-310%20%5Bmm%5D/$catalogue/mitutoyoData/PR/178-570-11D/index.xhtml;jsessionid=41C37D2D25A6B18778D6BD8848E23BD8.

[70] İ.Korkut, M.A. Dönertaş, “Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri”, Politeknik Dergisi, vol.6, no.1, 2003.

[71] M.P. Groover, “Theory Of Metal Machınıng”, “Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems”, John Wiley & Sons, 2010, s.481-583.

EKLER

Ek 1: Literatür Tablosu

LİTERATÜR TABLOSU						
NO	**YIL**	**MALZEME**	**TALAŞ İŞLEMİ**	**ÜZERİNDE DURULAN FAKTÖRLER**	**KESİCİ TAKIM**	**YÖNTEM**
2	1999	6061 Alüminyum	Parmak Freze	Yüzey pürüzlülüğü	Yüksek Hız Çeliği	Çoklu Regresyon analizi ve deneysel yöntem
41	2003		Freze	Kesme kuvvetleri ve gürültü etkisi		Deneysel yöntem
3	2005	AISI D3 iş takım çeliğinin 35 HRC ve 62 HRC	Parmak Freze	Yüzey kalitesi ve yanal yüzey aşınma durumu kesici ömrü	CBN kesici takım	Deneysel yöntem
4	2007	AISI D3 soğuk iş takım çeliği	Freze	Titreşim ve takım aşınması		Fourier Dönüşüm Yöntemi
5	2008	AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çelik	Parmak Freze	Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü	3 farklı takım ucu kullanılmıştır. ADPT 1035 PDERGP, ADPT 1035 PDSRGC ve ADPT 1035 PDERGC	Deneysel yöntem
6	2009	Ç1050 ve Ç4140 Çelikleri	Torna	Takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması	Seramik kesici takım olarak KY1615 ve KY4400 seramik kesici uç.	Taguchı yöntemi ve Deneysel yöntem

7	2010	Hız çeliği	Parmak Freze	Yüzey pürüzlülüğü		Yapay sinir ağı (YSA) ve 2D Fourier transform
8	2011	AISI 1050 Çeliği	Freze	Yüzey pürüzlülüğü	PVD yöntemiyle kaplanmış kesici takım.	Deneysel Yöntem ve 2D Fourier transform
9	2012	AISI D2 Takım Çeliği	Freze	Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması	ADMT 120408R-F56 kodlu kaplamalı sementit karbür kesici takım	Deneysel Yöntem
32	2013	Al 6061 Alüminyum	Freze	4 farklı işleme yöntemi (Zig-Zag, Constant Overlap Spiral, parallel spiral and one-way) ile güç ve enerji tüketimi açısından analiz edilmiştir.	Yüksek hız çeliği (HSS	Deneysel Yöntem
33	2012	Al2011 Alüminyum alaşımı	Freze-Parmak freze	3 farklı işleme Yöntemi(Constant Overlap Spiral, parallel spiral, and parallel zig-zag) ile çapak oluşumu , aşınma ve termal etkiler ele alınmıştır	Karbür K10 kesici uç	Deneysel Yöntem
43	2012	1.2379 Çeliği	Parmak Frez33e	Yüzey pürüzlülüğü	Ti(C,N) +(Ti,Al)N + Ti üç katman	Anova analizi, Taguchı

					kaplamalı kesici uç.	Yöntemi ve Deneysel Yöntem
36	2013		Freze	Aerodinamik gürültü ve oluk tasarımına etkilerini belirlemek.		Navier-Stokes (N–S) denklemi
30	2014	AISI 1050 Çeliği	Freze	Yüzey pürüzlülüğü	TiN kaplı karbür kesici takım	Deneysel Yöntem ve Anova Analizi
22	2015	1.2379 Çeliği	Derin çekme	Aşınma tahmini	α-Fe2O3 ile kaplanmış çelik.	Deneysel Yöntem
42	2015	AZ91D alaşımı	Freze	Yüzey pürüzlülüğü ve mikro sertlik için en uygun kesme parametreler	Kaplamasız ince taneli karbür kalite kesici uç	Deneysel Yöntem ve Taguchı Yöntemi
38	2016	AlSi7 kalıp döküm alüminyum alaşımıydı.	Yüzey Frezeleme	Gürültü emisyonunu araştırmak		Deneysel Yöntem
40	2016	AISI SAE 1020 çeliğinin	Yüzey Frezeleme	Yüzey pürüzlülüğü	Sinterlenmiş karbür uç	Barkhausen gürültüsü ile korelasyonu
34	2010	Al 2011 alüminyum alaşımı	Parmak Freze	Yüzey pürüzlülüğü	Sinterlenmiş karbür uç	Deneysel Yöntem
23	2018	1.2379 Çelik	Konvansiyonel arıtma, plazma nitrürleme	Aşınma	Al2O3 malzemeden (Aşınma testi için)	Deneysel Yöntem

27	2018	A24ISI P20Ni kalıp çeliğinin	Freze	Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü	Sementit karbür kesici takım	Deneysel Yöntem
37	2018	55NiCrMoV 6 Çeliği	Parmak Freze	Yüzey kalitesini için yüzey eğim açısı α ve takımın çıkıntısının l	Sinterlenmiş tungstenden yapılmış küresel uç	Gri İlişkisel Analiz(GRA)
44	2018	30CrNiMo8 Çeliği	Parmak Freze	Termal oluşum.		AdvantEdge FEM Analizi
39	2020	Ti-6Al-4V' Titanyum Alüminyum	Parmak Freze	Ortalama pürüzlülüğü Rq ve işleme süresini T ele almıştır		Taguchi Yöntimi ve Deneysel Yöntem
45	2019	Karbon çeliği EN9	Parmak Freze	Yüzey pürüzlülüğü ve takım yolu		Mastercam simülasyon
46	2020	EN - GJS - XSiMo - 40.10 Yüksek sıcaklığa dayanıklı SiMo dökme demir	Freze	Gürültü , yüzey pürüzlülüğü, ve kesici uç aşınmasına	Karbür kesici uç	Taguchı Yöntemi ve Deneysel Yöntem
16	2020	Ti-6Al-4 V) VE (7075) Alüminyum alaşımı	Mikro Parmak Freze	Kesme parametrelerinin termal açıdan değerlendirilmesi.		Deneysel Yöntem

18	2020	Ti-6Al-4V Alüminyum alaşımı	Parmak Freze	Takım aşınması ve olukların termal etkisi	Karbür kesici uç	Deneysel Yöntem
25	2021	VT20 Titanyum alaşımı	Parmak Freze	Konvektif ısı transferi ve işlenebilirlik etkisi	Karbür kesici uç (Zr-ZrN-(Zr,Cr,Al)N ve Ti-TiN-(Ti,Cr,Al)N kaplamalı)	Deneysel Yöntem
13	2021	AISI M35 çelik	Parmak Freze	Aşınma direnci ve Kesme performansı	Karbür kesici uç	Deneysel Yöntem
14	2021	Nıkel bazlı GH4169 Süper alaşım	Parmak Freze	Aşınma modelleri ve aşınma mekanizmaları	Seramik uç	Deneysel Yöntem
15	2021	Ti-6Al-4V	Mikro Parmak Freze	Artık gerilme	Sert Tungsten Karbür uç	Deneysel Yöntem
17	2021	C45 steel	Parmak Freze	Titreşim		FEM Analizi
19	2021	AISI1020 çelik	Parmak Freze	Takım ömrü, kesme kuvveti, tork ve güç gibi	Karbür kesici uç	Taguchı Yöntemi ve Deneysel Yöntem
20	2021	AISI 52100 rulman çeliğini	Freze	Yüzey pürüzlülüğü ve İş parçasında yer değiştirmelerini	(Ti,ALN) kaplamalı GC1030 sinterlenmiş karbür kesici uç	Taguchı Yöntemi ve Deneysel Yöntem
21	2021	AISI-4140	Parmak Freze	Yeni oluk tasarımının kuvvet üzerindeki etkisi		FEM analizi, ThirdWave AdvantEdge ve Deneysel Yöntem

25	2021	VT20 titanyum alaşımı	Parmak Freze	Aşınma ve kesme kuvvetleri	Karbür uçlu kesici takım	Deneysel Yöntem
26	2021	Hardox 600 Kalıp çeliği	Freze	Yüzey pürüzlülüğü	TiCN kaplı karbür kesici takım	Taguchı Yöntemi ve Deneysel Yöntem
28	2021	Yumuşak çeliktir	Parmak Freze	Aşınma ve takım ömrü tahmini kaplamalı ile kaplamasız kıyaslama	HSS-Al ve HSS-Al Nikel kaplı parmak freze takımıdır	Deneysel Yöntem
29	2021	Vermiküler grafitli dökme demir	Freze	Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü	Ti(C,N)+Al2O3+TiN kaplamalı sementit karbür kesici takım kullanılmıştır	Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi
31	2021	BS L168-T6511 alüminyum alaşımlı	Parmak Freze	Kesme parametre tahmini	AlTiN kaplı KC5010 karbür uçlar kullanıldı.	Taguchı Yöntemi, Gri İlişkisel Analiz(GRA), ve Deneysel Yöntem
35	2018	Ti-0.3Mo-0.8Ni	Parmak Freze	Takım Aşınması	AlTiN, TiAlN tungsten karbür uç.	Deneysel Yöntem
47	2022	Ti-6Al-4V	Freze	Kesici uçlarda oluşabilecek stres durumunu ve takım sıcaklığı.		Fem Analizi ve Deneysel Yöntem
48	2022	Ti-6Al-4V	Freze	Yukarı frezeleme ve aşağı frezeleme işlemlerinde termomekanik	Karbür uç	Fem Analizi ve Deneysel Yöntem

				yönden nasıl değiştiğini ve kesici uçların aşınmasını		
49	2020	ST37 yumuşak çelik	Parmak Freze	İşleme süresi ve takım aşınması	HSS çelik	Mastercam simülasyon
50	2021	AISI X210Cr12	Freze	Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü	Karbür uç	Fem Analizi ve Deneysel Yöntem
10	2020	Kalıp çeliği	Parmak Freze	İşleme süresi	TiAN kaplı karbür uç	Mastercam simülasyon
11	2021	AISI P20 Çelik	Parmak Freze	İşleme süresi	TiAN kaplı karbür uç	Deneysel yöntem ve CADCAM yazılımı ve CNC simülatör ile Taguchi yöntemi
51	2021	AISI 316L paslanmaz çelik ve Ti 6Al 4V , C45 ıslah çeliği, GG25 gri dökme demir ve AISI 304 paslanmaz çelik	Parmak Freze	Takımların aşınması, kesme kuvveleri ve yüzey pürüzlülüğü	K20-K40 (ISO) Karbür uç	Fem Analizi ve Deneysel Yöntem

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Arbatun, Eda
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	
Lisans	Dicle Üniversitesi	2018
Lise	N.Ö.Ş.C Anadolu Lisesi	2014

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2021	Referans Kalıp Alüminyum A.Ş	Makine Mühendisi
2020	Beden Mermer A.Ş	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Özel İlgiler

Fotoğraf çekmek, Müzik dinlemek, Doğayı gezmek, Kamp yapmak

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Eda Arbatun		
Öğrenci No	18818202		
Ana Bilim Dalı	Mühendislik		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Doç. Dr. Ahmet Yardımeden		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Soğuk Takım Çeliğinin Frezelenmesinde İşlenebilirliğinin İncelenmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	86		
Raporlama Tarihi	30.06.2022		
Benzerlik Oranı (%)	13		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 86 sayfalık kısmına ilişkin, 30/06/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal proğramından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %13 olarak tespit edilmiştir.
Uygulanan filtrelemeler:

☐ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐ Kaynaklar hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☒ Diğer (Her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı Soyası: Eda ARBATUN İmza:

Tarih: 30/06/2022

Danışman İmza:
Doç. Dr. Ahmet YARDIMEDEN

Tarih: 30/06/2022

Ana Bilim Dalı Başkanı İmza:

Prof. Dr. Vedat ORUÇ
Tarih: 09/06/2022