

T.C
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CNC FREZE TEZGAHINDA HAVUZ İŞLEMEDE
TAKIM YOLU VE KESME PARAMETRELERİNİN
YÜZEY KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa BOZDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Mustafa AY

İSTANBUL 2012

T.C
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CNC FREZE TEZGAHINDA HAVUZ İŞLEMEDE
TAKIM YOLU VE KESME PARAMETRELERİNİN
YÜZEY KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa BOZDOĞAN
(141522420089013)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Mustafa AY

İSTANBUL 2012

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın endüstrimize ve akademik çalışmalara faydalı olduğunu görmek benim için büyük bir onur olacaktır.

Böyle bir çalışmanın ortaya çıkmasında bana yol gösterici, söz ve fikir sahibi olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa AY hocama, bana verdiği destek ve bana duyduğu güven nedeni ile teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Öğr. Gör. Gültekin BASMACI ve Arş. Gör. Barkın BAKIR'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın akışını değiştiren, yüreği faydalı olmak arzu ve sevdası ile yanan, her zaman örnek almaya çalıştığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa KURT'a her sözümün kifayetsiz kalacağı bilinci ile sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; bu çalışmada bana her türlü desteği veren, güvenimi ve inancımı perçinleyen, sonsuz sevgilerini hep yanımda hissettiğim BOZDOĞAN ailesine ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER	vii
KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER	ix
TABLolar	xi
BÖLÜM I GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM II GENEL BİLGİLER	10
II.1. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİ VE PARMAK FREZE İLE İŞLEME	10
II.1.1. Talaş Kaldırma Yöntemleri	10
II.1.2. Dik Kesme	10
II.1.3. Eğik Kesme	11
II.1.4. Çevresel Frezeleme	12
II.1.5. Alın Frezeleme	13
II.1.5.1. Simetrik Frezeleme Yöntemi	14
II.1.5.2. Asimetrik Frezeleme Yöntemi	14
II.1.6. Zıt Yönlü ve Aynı Yönlü Frezeleme Yöntemi	15
II.1.7. Parmak Frezeler	17
II.1.8. TSE 303 Standardına Göre Parmak Freze Elamanlarının Tanımı	17

II.1.9. Frezeleme İşlemi İçin Parmak Frezenin Seçim Kriterleri.....	19
II.2. FREZE TEZHAGINDA HAVUZ İŞLEMENİN EN ÇOK KULLANILDIĞI KALIPÇILIK	21
II.2.1. Kalıpçılık İle İlgili Tanımlar ve Kalıp Çeşitleri.....	21
II.2.2. Kalıpçılık Alanları	23
II.2.2.1. Metal Kalıpları.....	24
II.2.2.2. Plastik ve Kauçuk Kalıpları.....	26
II.2.2.3. Cam Kalıpları	28
BÖLÜM III. TEZ ÇALIŞMALARI	29
III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ	29
III.2. DENEY TASARIMI VE MODELLEME TEKNİKLERİ	29
III.2.1. Taguchi Yöntemi.....	29
III.3. MALZEME VE METOT	32
III.3.1. Malzeme ve Teçhizat.....	32
III.3.1.1. CNC Freze Tezgahı	32
III.3.1.2. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi (PMD23) Özellikleri	33
III.3.1.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar	34
III.3.2. Deney Metotları	35
III.3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyleri.....	35
III.3.2.2. Kesme Kuvveti Deneyleri.....	35
III.3.2.3. Deney Tasarımları.....	37
III.4. DENEYSSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	38
III.4.1. PMD Toz Metalürji Soğuk İş Çeliği Malzemesinin Parmak Freze Çakısı İle İşlenmesi	38
III.4.1.1. Yüzey Pürüzlülüklerinin Sonuçları Değerlendirilmesi ..	40
III.4.1.2. Kesme Kuvveti Sonuçları Değerlendirilmesi	42

III.4.1.3. ANOVA ile Parametrelerin Değerlendirilmesi.....	45
III.4.1.4. Regresyon Modeli ile Ra Tahminsel Denklem Oluşturulması	46
III.4.1.5. Doğrulama Deneyleri ve Sonuçları	47
BÖLÜM IV. SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

CNC FREZE TEZGAHINDA HAVUZ İŞLEMEDE TAKIM YOLU VE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada, PMD 23 soğuk iş takım çeliği, çoklu-katmanla TiAlN kaplamalı kesici takımlarla frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve kesme kuvvetleri deneysel olarak incelenmiştir. İlerleme oranı, kesme hızı ve talaş derinliği yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır. Buna ilaveten, frezeleme sonucu elde edilen talaş formları incelendi. Frezeleme işleminin optimizasyonu için Taguchi tekniği kullanıldı. Ayrıca, her bir parametrenin elde edilen sonuçlara etkisinin tayini içinde varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Son olarak bağımlı değişkenlerle bağımsız değişkenler arasındaki ilişki regresyon analizi ile modellenmiştir. Bu çalışma ile PMD 23 soğuk iş takım çeliği, çoklu-katmanla TiAlN kaplamalı ile optimal işlenebilirliği tayin edilmiştir.

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS AND CUTTING TOOL PATH OF SURFACE QUALITY IN CNC MILLING PROCESS

In this study, an experimental investigation on surface roughness, cutting temperature and cutting forces in milling of PMD 23 cold work-tool steel using multi-layered coated TiAlN cutting tools is presented. The influences of the feed rate, cutting speed and depth of cut on surface roughness, cutting temperature and cutting force have been examined. In addition to that, the obtained chip formations have been observed. In order to optimize the milling process, Taguchi optimization method has been used. The influence of each parameter on obtained results has been determined by using analysis of variance (ANOVA). The relationship of the dependent parameters and independent parameters has been modeled with Regression analysis. The optimal machinability of PMD 23 cold work-tool steel using multi-layered coated TiAlN cutting tool has been successfully determined in this study.

February, 2012

Mustafa BOZDOĞAN

SEMBOLLER

Ac	: Yarıçapta Kesme Derinliği
Al	: Alüminyum
Ap	: Kesme Derinliği
C	: Karbon
Cr	: Krom
Fz	: Yeme Oranı
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
Si	: Silisyum
n	: Dönme Yönü
N	: Azot
Ti	: Titanyum
t_o	: Talaş Derinliği
t_c	: Talaş Kalınlığı
v	: İlerleme
α	: Talaş Açısı
Φ	: Kesme Açısı
⁰C	: Santigrat Derece
Vc	: Kesme Hızı

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Standardı)
AWS	: American Welding Society
EDM	: Soğutma Sıvısı
FEA	: Finite Element Anaysis
MIM	: Metal Injection Moulding
MAG	: Metal Aktif Gaz
MIG	: Metal İnerit Gaz
TIG	:Tungsten Inert Gas
HSM	: High Speed Machining
PCBN	: Polikristalin Bor Nitrür
HRC	: Rockwell C Sertliği

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil II.1. Talaş Kaldırma Yöntemi	10
Şekil II.2. Dik Kesme Modeli	11
Şekil II.3. Eğik Kesme Modeli	11
Şekil II.4. İki Boyutlu Ortogonal Model	12
Şekil II.5. Çevresel Frezeleme İşleminde Talaş Kaldırma İşlemi	15
Şekil II.6. Alın Frezeleme Çakısı.....	14
Şekil II.7. Simetrik Alın Frezelemenin Gösterilisi	14
Şekil II.8. Asimetrik Frezelemenin Gösterilisi	15
Şekil II.9. (a) Zıt Yönlü Frezeleme Şematik Gösterimleri. (b) Aynı Yönlü Frezeleme Şematik Gösterimleri	16
Şekil II.10. Frezeleme Biçimleri.....	17
Şekil II.11. Çeşitli Parmak Frezeler.....	17
Şekil II.12. Kullanıldıkları Yerlerine Göre Parmak Frezeler	21
Şekil III.1. Taguchi 'nin Kalite Kontrol Sistemi	30
Şekil III.2. Johnford VMC – 550 Model CNC Freze Tezgahı	33
Şekil III.3. Deneyde kullanılan iş parçaları.....	34
Şekil III.4. Deneyde Kullanılan Kesici Takım Örnekleri	35
Şekil III.5. MAHR-Perthometer M1 Taşınabilir Pürüzlülük Cihazı	35
Şekil III.6. KISTLER Dinamometre.....	36
Şekil III.7. KISTLER 5019b Tipi Yük Amplifikatörü	36
Şekil III.8. Deney Düzeneginin Şematik Görüntüsü	38
Şekil III.9. Deneyin Fotoğrafik Görüntüsü	39
Şekil III.10. Deneysel Çalışmanın Görüntüsü.....	39

Şekil III.11. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin S/N Oranları (İnce Paso İçin).....	41
Şekil III.12. Takım Yolu ve İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri	42
Şekil III.13. Kesme Derinliği ve İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri	42
Şekil III.14. Kesme Derinliği ve Takım Yolunun Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri	42
Şekil III.15. Max. Kesme kuvvetlerinin S/N oranları.....	44
Şekil III.16. Takım Yolunun ve İlerlemenin Kesme Kuvvetine Etkileri	44
Şekil III.17. Kesme Derinliğinin ve İlerlemenin Kesme Kuvvetine Etkileri	44
Şekil III.18. Kesme Derinliğinin ve Takım Yolunun Kesme Kuvvetine Etkileri	45

TABLO LİSTESİ

SAYFA NO

Tablo II.1. Çeşitli Parmak Frezelerin Özellikleri ve Kullanıldıkları Yerler	19
Tablo III.1. Faktöriyel Tasarımı ile Taguchi Yönteminin Kıyaslanması	31
Tablo III.2. CNC Freze Tezgahının Teknik özellikleri	33
Tablo III.3. PDM 23'ün Kimyasal Özellikleri	34
Tablo III.4. PDM 23'ün Mekanik Özellikleri	34
Tablo III.5. Deney Parametreleri.....	37
Tablo III.6. L ₉ Deney Tasarımı	38
Tablo III.7. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra μm), Kesme Kuvveti (N) değerleri.....	40
Tablo III.8. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin S/N Oranları	41
Tablo III.9. Max. Kesme Kuvveti Değerlerinin S/N Oranları	43
Tablo III.10. Ra Değerlerine Göre ANOVA Sonuçları.....	45
Tablo III.11. Kesme Kuvveti Değerlerine Göre ANOVA Sonuçları	46
Tablo III.12. Tahmin Edilen Ra Değeri ile Doğrulama Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması	47
Tablo III.13. Tahmin Edilen Kesme Kuvveti Değeri ile Doğrulama Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması.....	47

BÖLÜM I

GİRİŞ ve AMAÇ

Modern işleme tezgahlarından CNC freze tezgahları talaşlı imalatta yoğun olarak kullanılmaktadır. Birçok ürünün işlenmesinde kullanıldığı gibi kalıp imalatında da kullanılan CNC freze tezgahların programlanmasında çeşitli CAM yazılım programları kullanılmaktadır. Bu programlar kullanılarak takım yolu işleme programları çıkarılırken işleme şekli olarak tek yönlü, zigzag, spiral vb. birçok şekil önerilmektedir. Bu yöntemlerin seçimi de işlenen malzemenin işleme zamanını ve yüzey kalitesini etkilemektedir[1-3].

CNC freze tezgahı malzemelerden talaş kaldırarak hızlı ve kaliteli ürünler oluşturmak için yüksek kesme hızında ve ilerlemelerle çalışabilmektedir. Malzeme teknolojisindeki gelişmelerle yüksek mukavemete sahip malzemeler elde edilmiştir. Bu malzemeler üzerinden talaş kaldırma esnasında uygun kesici takımın seçimi maksimum verimliliğin sağlanması için şarttır. Takım malzemesi ve kesme geometrisinin seçimi çok önemlidir. Takım uygun seçilmiş olsa bile işleme koşulları standart dışı ise verimlilik düşer. Yüksek verimliliğin ve ekonomik işleme yapabilmek için işlenecek malzeme ve kesici takım çeşitlerinin her biri ile ilgili teorik çalışmalar yapılması gerekir.

Kalıpcılık ve takım sanayinde kullanılan malzemeden numune parça temin edildi. Bu numune parçanın üzerinde havuz işleme tasarımı yapıldı. Bu parça daha sonra CNC freze tezgâhında bağlı olan kuvvet ölçme deney düzeneğine bağlanarak daha önceden belirlenen kesme parametreleri ile parça yüzeyinden talaş kaldırıldı. Talaş kaldırma esnasında iş parçasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülecek ve bilgisayar yardımıyla kayıt altına alındı. İşlenen parça yüzeylerinin yüzey pürüzlülük değerleri yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçüldü.

Bu tez içerisinde çeşitli malzemeler ve çeşitli geometrilere sahip parametrelerle yapılan frezeleme işlemleri için kesme hızları ve aşınma arasındaki ilişkiler hakkında belirtilen literatür çalışmaları bulunmaktadır.

Law ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada; parmak freze ile havuz işlemede takım yer değiştirme yöntemlerinin döngülerin özellikle kenar oluşumunu olumsuz etkilediği belirtmektedir. Özellikle takım yer değiştirme şekilleri kesme kuvvetlerini etkilemektedir. Oluşan kesme kuvvetlerini azaltmak için takım yer değiştirme hatalarının indirgenmesi gerektiği belirtilmiştir. Parmak freze ile havuz işlemede bir yöntem tasarımı yaparak takım sapma hatalarında ve kesme kuvvetlerinde kayda değer bir azalma saptamışlardır. Deneysel çalışmada kesme kuvvetleri ölçülmüş ve takım sapma hatalarının tahmini detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Sonuçlar parmak freze ile havuz işlemede hataların olumlu şekilde azaltılabileceğini göstermektedir [1].

Toh, yapmış olduğu çalışmada, hacim kalıpları, havacılık ve kesme kalıpların frezelenmesinde kesici takım stratejilerinin ve hareketlerinin seçimi ve uygulanmasının kritik olduğu belirtilmiştir. Doğru seçim işleme zamanının azaltılmasını, yüzey kalitesini, takım ömrü, üretim maliyetini ve verimin yükselmesine sebep olur. Literatürde ki çalışmalarda analitik analiz, frezenin giriş ve çıkışı ve kesici takımın eğimi gibi genel manada üç alanda incelemeler yapılmıştır. Piyasada kaydırma, tarama ve tek yönlü frezeleme stratejileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Takım yolu analitik analizleri ağırlıklı olarak düzlem yüzey üzerinde ideal kesme açısının yöneliminin değerlendirilmesi ve belirlenmesi üzerinedir. İnce frezeleme için dikkat çekici bir çalışmadır. Özellikle yüksek hızlı çalışmalar için çok önem arz etmektedir [2].

Sotiris ve Andreas yapmış oldukları çalışmada CNC frezeleme için yeni bir çevrim geliştirmişlerdir. Epitrakholid kenarları ile cepleri işlemek için bir strateji önermişlerdir. CNC freze tezgahının kontrol ünitesine entegre edilen bir yöntemdir. CNC tezgahlarının hareketleri mümkün olan en yüksek doğrulukla interpolasyon yapacak bir algoritma ile elde eder. Yüzey kalitesi kaba ve ince pasolarla kontrol edilmiştir. Bütün işleme tek bir blokta programlanabilir. Geliştirmiş oldukları algoritmayı simülasyonla test etmişlerdir ve desteklemişlerdir [3].

Pateloup ve arkadaşları yapmış oldukları cep işlemede köşe optimizasyonu isimli çalışmalarında yüksek hızlı takım tezgahı işleme takımlarının takım yolu kinematik performansının artırmak için bir yöntem geliştirmişlerdir. İşleme zamanının azaltılması için takım yolunun hesaplanması önemlidir. Bu zamanı azaltmak için takım yolunun uzunluğunu azaltmak ve besleme hızını artırmak önem arz eder. Besleme hızını

artırmak için köşe radüslerinin modifikasyonu önerilmektedir. Önerilen yöntemle klasik yöntemlere göre %25 zaman kazancı sağlandığı belirtilmektedir [4].

Hinduja, ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, frezelemede takım yolunu radyal kesme genişliği (b) ve kesici takım yarı çapı (D) değerlerini dikkate alarak hesaplamışlardır. Bir çok çalışmada radyal kesmede b/D oranının takım yolu boyunca sabit olduğu belirtilmesine rağmen havuz v.b şekilli işlemlerde bu oran sabit olmadığı vurgulanmıştır. Takım yolunda b/D değişkenlerini takip ederek en uygun değişkenleri tespit etmeye çalışmışlardır. Küçük çaplı takım takım yolunu uzatırken büyük çaplı takım takım yolunu kısaltmaktadır. Tezgahın gücüne ve hız kabiliyetine göre tercih edilebilir [5].

Hinds ve Ong yapmış oldukları çalışmada, dairesel havuzların parmak freze ile frezelenmesinde istenilen geometrik toleransların karşılanması için deneysel çalışma yapmışlardır. Dengesiz talaş yükleri ile işleme sonucu parça yüzeylerinde boyutsal hatalar meydana geldiği belirtilmiştir. Burada kullanılan tezgahın rijitliği, verilen hareket komutlarını karşılayabilmesi ve esnekliği gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Özellikle tezgahın iş parçasına giriş-çıkış hataları, dönüş hareketlerini ideal yapabilmesi önem arz etmektedir. Bir tahmin denklemiyle dairesel havuzların işlenmesinde karşılaşılan geometrik hataların giderilmesi çalışılmıştır [6].

Kang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Hybrit kaplama yöntemi kullanarak yüzeyleri karbür kaplanmış $Ti_{0.75} Al_{0.25} N$ ve $Ni_{0.69} Al_{0.23} Si_{0.008} N$ takım malzemelerinin sulu, kuru ve minimum oranda yağlayıcı içeren ortamlarda AISI D2 soğuk işlenmiş kalıp çeliğinin yüksek hızda işlenmesinin karşılaştırmışlardır.

$Ti_{0.75} Al_{0.25} N$ ve $Ni_{0.69} Al_{0.23} Si_{0.008} N$ kaplamalar hybrid yöntemiyle WCo-C numuneler ve kesici takımların yüzeylerinde biriktirilmiştir. Ti-Al-N kaplama içerisinde %8 oranında Si ilave edildiğinde Ti-Al-N kristalleri ve Si_3N_4 amorf yapısına oranla iyi oranda kompanze olmuş mikro yapı elde edilmiştir. Ti-Al-N kaplaması $700^{\circ}C$ nin üzerindeki sıcaklıklarda süper oranda oksidasyona dayanım oranına sahipken, Ti-Al-Si-N kaplamasının Ti-Al-N kaplamaya oranla çok daha iyi oksidasyon dayanımının olduğu tespit edilmiştir. MQL (minimum oranda yağlama) işlemi hem $Ti_{0.75} Al_{0.25} N$ ve $Ni_{0.69} Al_{0.23} Si_{0.008} N$ kaplanmış takımların MQL ile kesme sırasında yüksek hızlarda son frezeleme altında mükemmel kesme performansı göstermektedir. Ayriyeten bu malzeme ile kaplanmış olan takımın

oldukça yüksek mikro sertlik değerine ve fevkalade oksidasyon dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir [7].

Nurul Amin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; PBCN (polikristalin bor nitür) ucun, sertleştirilmiş olan D2 çeliğinin oda sıcaklığında ve tavllanmış durumdayken frezelenmesine ait olarak deneysel incelmelerde bulunulmuş ve bu deneylerden elde edilen sonuçlar üzerine yorumlarda bulunulmuştur. Çatlak yoğunluğu, parçacık oluşumundaki düzensizlik, takım aşınması ve takım yüzeyinden partikül kopması ile işlenmiş olan parçaların yüzeylerinin pürüzlülüğünün karşılaştırılması yapılmıştır. Parçaların birincil ve ikincil testereye benzer dişler içermekte olduğu ve bunların oluşum oranlarının çatlak yoğunluğuyla ilişkilendirildiği bulunmuştur. Tanımlanmış olan malzemenin işlenmesi esnasında bu malzemenin yüzeyinde meydana gelen ilk ortalama aşınma miktarının oda sıcaklığındakine oranla biraz daha fazla olduğu, bu işlemin gerçekleştirilmesinde kullanılan takımın ömrünün de daha fazla olduğu görülmüştür. Takımda meydana gelen bu yetersizliğin nedeni, yüzeysel olarak meydana gelen plastik deformasyon, difüzyon ve kertik oluşumu gösterilebilir. Dişlerin yeme yüzdesinin, kesme hızının, tavlamanın ve çatlaklardaki genişlemenin direkt olarak yüzey pürüzlülüğünü etkilediği gözlemlenmiştir. Tavllanmış olan malzemenin işlenmesi sonucu 0,4 mikrondan daha düşük oranlarda yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir ki yüksek kesme hızlarında bu malzemenin öğütülmesinden ve parlatılmasından sakınılmalıdır [8].

Brandao ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; Kalıpcılıkta ve kalıplarda kullanılmakta olan sertleştirilmiş çeliklerin, yüksek hızda frezelenmesi esnasında meydana gelen ısınma, deneysel ve teoriksel olarak araştırılmıştır. AISI H13 ve AISI D2 çelikleri Ti-Al-N kaplanmış ve PCBN uçlarla frezelenmiştir. Takım geometrisi kalıpcılık endüstrisinde yaygın bir şekilde işlenmekte olan kompleks yüzeyler ve ince parçalara uygun olacak şekilde, takım-iş parçası arasındaki ilişkiye bağlı olarak tasarlandı. Kuru işlemede sıkıştırma ve soğutma sistemleri kıyaslandı. AISI D2 çeliğinin yüksek hızda frezelenmesi esnasında oldukça düşük oranlarda sıcaklık değişiminin olduğu tespit edilmiştir. Özellikle soğuk havada, ısının işleme bölgesinden uzaklaştırılması için tüm soğutma sistemleri yüksek kapasitede kullanıldı. Sıkıştırılmış havanın iş parçasının kısmen kararlı bir sıcaklıkta tutulabilmesinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Soğutma sistemlerinde kullanılan ortalama ısı yayılım katsayısı ve iş parçasında meydana gelen enerji

değişimi arasındaki bağıntıyı tespit edebilmek amacıyla teorik olarak bir modelde kullanıldı. Sıkıştırılmış hava ve değişik soğutma sistemleri kullanılması kıyaslandığında, soğutulmuş havanın iş parçasının sıcaklığını sabit bir şekilde tutulmasına izin verdiği görülmüştür. Fr₁ ve Fr₂ olmak üzere farklı geometrilere sahip Ti-Al-N kaplanmış takımların işlenmesi sırasında Fr₁ türü takım geometrisinin şeklinin parçacık oluşumuna izin verir türde olmasından dolayı iş parçasının sıcaklığının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fr₃ türünde takım geometrisine sahip PBCN türü takım ile diğerlerine oranla daha fazla kesme hızı kullanıldığından dolayı iş parçasının sıcaklığının en az düzeyde olduğu tespit edilmiştir. AISI D2 çeliğinin AISI H13 çeliğine oranla daha sert olmasından dolayı daha yüksek sıcaklık değeri ölçüldü [9].

Koshy ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; AISI D grubunda yer alan takım çelikleri sahip oldukları mükemmel aşınma dirençleri ve sertleşebilme özelliklerinden dolayı soğuk şekil verilmiş kalıpların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yaptıkları çalışmada 58 HRC' ye sertleştirilmiş olan soğuk iş takım çeliğini karbür ve sermet takımlarla ve katı karbür uç bulunan frezelerle işlenmesine ait deneyler hakkında detaylı bilgiler gösterilmiştir. Yaptıkları çalışmanın amacı; takım aşınma mekanizmalarının ve uygun kesme parametrelerinin belirlenmesidir. AISI D2 çeliğiyle 52 HRC'ye sertleştirilmiş olan AISI H13 çeliğinin kesilmeleri esnasındaki takımların ömrü ve yüzeylerinin pürüzlülüğü birbirleriyle kıyaslanmıştır. PCBN takımı kullanılarak yüzey frezelenme işlemine ait verilerde detaylı olarak belirlenmiştir. Sementit karbür ürünlerle takım ömrü arasında çok az bir farkın olduğu bulunmuştur. Takım ısınması mekanizmaları; talaş ve adhezyon aşınmasıdır. 25-200 m/dak'lık kesme hızında 15-35 m kesme boyutlarında max. 0.3mm'lik aşınmanın görüldüğü takımın yan kısımları takım ömrü ölçütü olarak alınmıştır. H13 için kesme hızı 150-350 m/dak olarak alınmıştır ve 50-250 arasındaki takım ömrü hesaplanmıştır. 58 HRC 'ye sertleştirilmiş AISI D2 çeliğinin frezelenmesinde takım ömrünün 40 m den daha küçük kesme boyutuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Takım aşınmasının temel mekanizmalarının talaş, adhezyon ve sürtünmeden kaynaklandığı tespit edilmiştir. PCBN takımlarının kesme bölgesindeki kırılmalardan etkilendiği tespit edilmiştir. Sertleştirilmiş D2 çeliğinin işlenmesinde kullanılan takımın ömrünün H13 dekine oranla daha düşük olduğu ve bunun da D2 çeliğinin sahip olduğu yüksek sertlik ve kimyasal bileşiminden dolayı olduğu tespit edilmiştir. Karbürlü uçla frezeleme işleminde 1-6 mikron oranında değişmekte olan

yüzey pürüzlülüğü, PCBN de bu oranın 0,1-0,2 mikron arasında değiştiği tespit edilmiştir [10].

Tsao ve Honk yaptıkları çalışmada; TiCN/TiAlCN kaplanmış olan farklı takım malzemesiyle değişik kesme koşulları altında su verilmiş olan AISI 1045 çeliğinin frezelenmesi taguchi yöntemiyle incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda, AISI 1045 çeliğinin frezelenmesinde kontrol edilmesi mümkün faktörlerin (farklı kaplamalarla biriktirme, besleme oranı, mil hızı ve takım malzemesi) arasında temel olarak etkileyen faktör takım malzemesidir. Ayrıca değişik sert kaplamalar içerisinde TiCN'nin en iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Fakat farklı kaplama yöntemleriyle gerçekleştirilen biriktirme (depolama) işlemlerinin etkisinin çok önemli olmadığı saptanmıştır. Su verilmiş AISI 1045 çeliğinin işlenmesinde kontrol edilebilir faktörlerin arasında en fazla etkinin takım malzemesinin olduğu ve bununla takım ömrünü etkilediği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, TiCN sert kaplamanın biriktirilmesinin diğer kaplamalara oranla daha iyi performansa yol açtığı bulunmuştur. Sert kaplama tabakalarının takım yüzeyi üzerine biriktirilmesi ile takım yüzeyinde meydana gelen aşınma probleminin azaltılması sağlanabilmektedir. Su verilmiş AISI 1045 çeliğinin işlenmesinde K40 takım malzemesinin TiCN ile kaplanması ile en iyi aşınma dayanımının elde edildiği görülmüştür. TiAlCN kaplamaya K40 takım malzemesinin benzer işleme durumlarında birbirleriyle ilişkili olabileceği TiCN kaplamanın K40 takım malzemesinin kesiciliğinin %188 oranında arttırdığı tespit edilmiştir [11].

Arsecularatne ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Sertleştirilmiş AISI D2 çeliğinin PCBN kesici takımla işlenilmesidir. Sertliği 62 HRC olan AISI D2 çeliğini PCBN takımlarla farklı kesme parametrelerde işlenmesine ait deneysel incelemeler açıklanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde en uygun işlemlerin ve kesici takım hızının 0.08- 0.2 mm/dev ve 70-120 m/dak olduğu PCBN takımlardaki kullanım ömrünü kesici takımı yan yüzeylerindeki aşınmalardan dolayı azaldığı tespit edilmiştir. Takım ömrünün en yüksek kabul edilebilir değeri ve 70 m/dak oldukça düşük kesme hızında olduğu tespit edilmiştir. Bu hızın işlemede takım ve iş parçası kombinasyonu göz önüne alındığında en uygun değer olduğu tespit edilmiştir. Bu durumlar göz önüne alındığında takım ömrü ve kesme parametreleri arasındaki ilişki toylar türü takım ömrü belirleme eşitliğine uygundur.

Seçilmiş olan AISI D2 çeliği ve PCBN takımları için oldukça yüksek takım ömrüne ve çok talaşa 7m/dak ulaşılmıştır. Ancak yüksek kesme testi sonucunda oldukça yüksek talaş yoğunluğuna ulaşıncaya düşük kesme oranında takım ömrü artmıştır. Elde edilmiş olan takım ömrü ve talaş hacmi değerlerinin geleneksel yöntemlerle karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin karbürü ve kaplanmış takımların ömrü ve talaş yoğunluğunun bu çalışmada geliştirilmiş olan yönteme oranla daha yüksek değerleri yüksek sertlikteki D2 çeliği iş parçasının sonuçları ile benzer yönde olduğu tespit edilmiştir [12].

Ghani ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Sert H13 takım çeliğinin yüksek hızda frezelenmesinde P10 titanyum nitrür kaplama takımının performansını incelenmişlerdir. 50 ±3 HRC değerine kadar sertleştirilmiş olan AISI H13 takım çeliği yüksek kesme hızında P10 titanyum nitrür kaplanmış karbür uçla kaba talaş ve son paso frezeleme, kesme hızı, yenme oranı, kesilen bölgenin derinliğinin takım ömrü üzerinde olan etkileri deneysel olarak açıklamaya çalışmışlardır. Frezeleme koşullarındaki test oranlarındaki takım ömrünün yenme oranından ve talaş derinliğinden oldukça yüksek oranda etkilendiği sonucuna da varılmıştır. Bunun nedeni olarak ta kesme derinliğinin ve yüksek yenme oranına bağlı olarak takımın yüzeyinde çatlaklar oluşmaktadır. Yüksek kesme hızına bağlı olarak ta, kesme bölgesinde de çatlaklar görülüyor. Yapılan deneysel incelemelerin sonucunda belirtilmiş olan kesme hızı, kesme derinliğinin takım özelliklerini etkilediği tespit edilmiş olup kesme hızının testleri çok az oranda etkilediği, yüksek kesme hızına bağlı olarak aşınan bölgelerde yüksek bir ısı elde edilmektedir. Bu ısınmada etkisiyle yüksek yenme oranı ve kesme derinliğine de bağlı olarak kesme bölgesindeki çatlamanın süresini azaltıcı yönde etki ettikleri görülmüştür [13].

Abou-El-Hossein ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; modifiye edilmiş AISI P20 çeliğini frezeleme işleminde kullanarak kesme yönünün belirlenmesini incelemiştir. AISI P20 takım çeliğine frezeleme işlemindeki kesme kuvvetinin birinci ve ikincil modelleri geliştirilerek birbirleri arasında kıyaslanmıştır. Birinci ve ikinci modellerdeki kesme gücü eşitlikleri 4 kesme parametresi göz önüne alınarak yüzey metodolojisi kullanılarak geliştirilmiştir. Parametreler arasındaki ilişki oluşturulmaya çalışılmıştır. Talaş derinliği ile yenme arasındaki ilişki konulmuş, boylamasına olarak AISI P20 titanyum nitrür kaplama uçlarla frezelenmesinde ön görülen boylarına kesme kuvveti yüzey metodolojisi metodu ile göz önüne alınarak test edilip uygun bir biçimde tespit edilebilmiştir. İşleme tekniğine ait tespit edilmiş değerler

RSM minitab kullanılarak doğru bir şekilde tahmini değerlere de dayanarak deneysel olarak açıklana bilmiştir. Faktörler arasında yenme oranının en önemli faktör olduğu ve kesme gücünün artan yenme oranıyla ve kesme derinliğiyle arttığı fakat kesme hızının artmasına bağlı olarak ta kesme hızının azaldığı tespit edilmiştir [14].

Coldwell ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Takımlarda, haddelerde, dökümde, plastik kalıplarda, ısıtılmış 48-52 HRC sertliğe sahip AISI D2 çeliğin yaygın olarak kullanılmaktayken 60-62 HRC arasında yüksek oranda sertliğe sahip AISI D2 çelikleri pres takımı olarak kullanılmaktadır. Son 10 yıldır sertleştirilmiş numunelerden prizmatik bileşenlerden direk olarak üretimi üzerine yüksek hızla frezeleme ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada bu çeliklerin işlenebilirliği üzerine deneysel araştırmalarda bulunulmuştur. Deneysel çalışmalar neticesinde AISI H13 çeliğinin frezelemede karbür esaslı takımların AISI D2 çelikleri içinde parmak freze ile yapılmıştır. H13 çeliği matkapla 30 m/dak yeme oranı 0.1 mm/min ve 16 mm derinliğinde delik açılabilir. Delme işlemi esnasında soğutucu olarak su ve soğutucu sıvılar kullanılmıştır. D2 çeliğinin delinmesinde H13 çeliğinin delinmesine oranla 6 ila 9 kat arasında değişen oranlarda delinmesi zordur. Sonuç olarak D2 çeliğinin yüksek hızda işlenmesi tekniği ile geleneksel işleme teknikleri birbiri ile kıyaslanarak otomotiv pres takım parçalarındaki üretilebilirliği detaylı olarak araştırılmıştır. Yüksek hızda üretim tekniği kullanıldığında üretim süresinin %75 oranda azaldığı fakat takım ömrünün de buna bağlı olarak azalmaların olduğu tespit edilmiştir. H13 (52 HRC) delinmesinde alüminyum titanyum nitrür kaplanmış karbür takımlar kullanılmış, su ve soğutucu sıvısı kullanılmıştır ve talaş oluşumunun yaygın olarak bozukluklarının olduğu tespit edilmiştir. H13 çeliğinin delinmesinde sıvı kullanılması hybrid oluşmasına neden olduğu görülmüştür. D2 çeliğinin delinmesi ve frezelenmesinde kullanılan takımların ömrünün D2 içinde çözünmemiş halde bulunan krom karbür partiküllerinden dolayı H13 takım çeliğinin işlenmesinde kullanılan takım ömrüne oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 60 HRC D2 çeliğinin delinmesinde takımın ömrünün kısa olduğu ancak oldukça iyi yüzey kalitesi oluşturduğu tespit edilmiştir [15].

Orhan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; freze kullanarak titreşim ve takım aşınması arasındaki ilişki deneysel olarak incelenmiştir. AISI D3 soğuk iş takım çeliği 35 HRC sertliğinde CBN kullanılarak kristalin bor nitrür işleme yönündeki titreşim ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sensör yardımıyla yapılmıştır. Takım aşınmasında mikroskop yardımıyla açıklanmıştır. Takım aşınmasının artmasıyla

birlikte titreşimde görülmüştür. Takımdaki aşınma 160 mikrometreyi aştıktan sonra titreşim görülmeye başlıyor artan değerlerde de titreşimin arttığı görülüyor [16].

Göloğlu ve Sakarya yapmış oldukları çalışmada, 1.2738 çeliğin frezelenmesinde takım yolu stratejilerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini Taguchi optimizasyon tekniği ile tasarım yaparak incelemiştir. Kesme parametrelerinin ve takım yolu stratejisinin yüzey pürüzlülüğüne önemli etkilerinin olduğu belirtilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün üzerine her bir değişkenin etkisi tam olarak bilinmemesine rağmen bir tasarım yapılarak uygun işleme ve takım yolu stratejisi belirlenebilir. Taguchi deney tasarımı yöntemini kullanarak 1.2738 kalıp çeliğinin optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi için kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve takım yolu adımı değişken olarak belirlenmiştir. 1.2738 kalıp çeliğinin HSS takımla işlenebileceği, ilerleme tek yönlü ve zig-zag takım yollarında etkin parametre olduğu, talaş derinliğinin de ise spiral takım yolu ile işlemede etkin parametre olduğu belirtilmiştir [17].

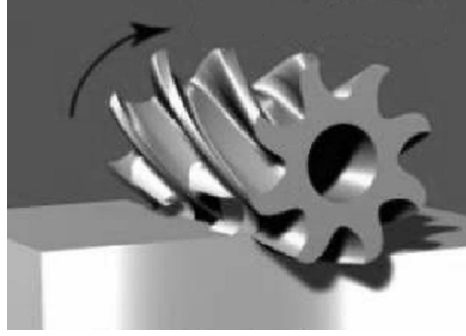
BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

II.1. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİ VE PARMAK FREZE İLE İŞLEME

II.1.1. Talaş Kaldırma Yöntemleri

Kesici bir kenara sahip bir takım ile parça yüzeyinden Şekil II.1’de görüldüğü gibi malzeme ayırma yöntemi talaş kaldırma olayı olarak adlandırılır. Bu olay esnasında iş parçasından ayrılan parçaya da talaş adı verilir.

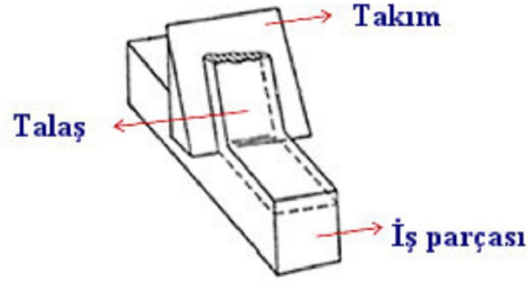


Şekil II.1. Talaş kaldırma yöntemi.

Talaş kaldırma, fiziksel bakımdan kesici takım ile iş parçası arasındaki kesme ve ilerleme hareketi sonucunda elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması, takım ucunun aşınması gibi olaylar meydana gelen fiziksel ve karmaşık bir olaydır. Bu, ancak takıma uygulanan kuvvetin yeterli ve kesici takım malzemesinin iş parçası malzemesinden daha sert olmasıyla gerçekleşir. Kesici takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Metal tabakasında akmalar başlar ve gerilmeler, malzemenin kopma dayanımı sınırını aştığı anda tabaka talaş şeklinde bir yüzey boyunca parçadan ayrılır. Kesme, kesicinin parçaya nüfuz etme şekline göre iki şekilde meydana gelmektedir [18].

II.1.2. Dik Kesme

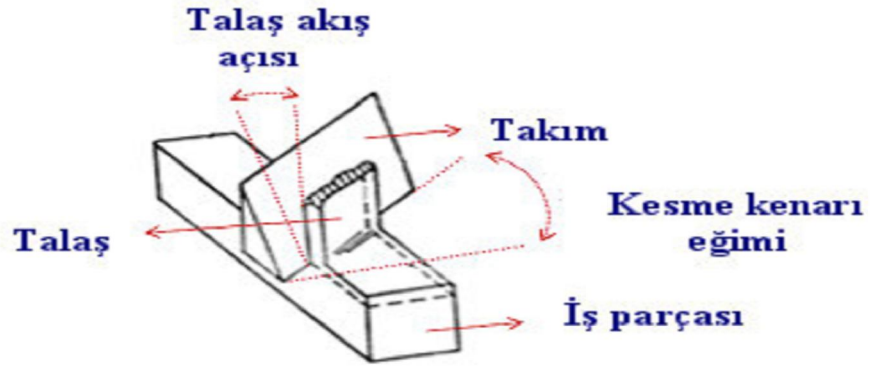
Dik kesme işleminde kesme hızı vektörü ile takımın kesme kenarı birbirine diktir. Şekil II.2.’de dik kesme modeli şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil II.2. Dik kesme modeli.

II.1.3. Eğik Kesme

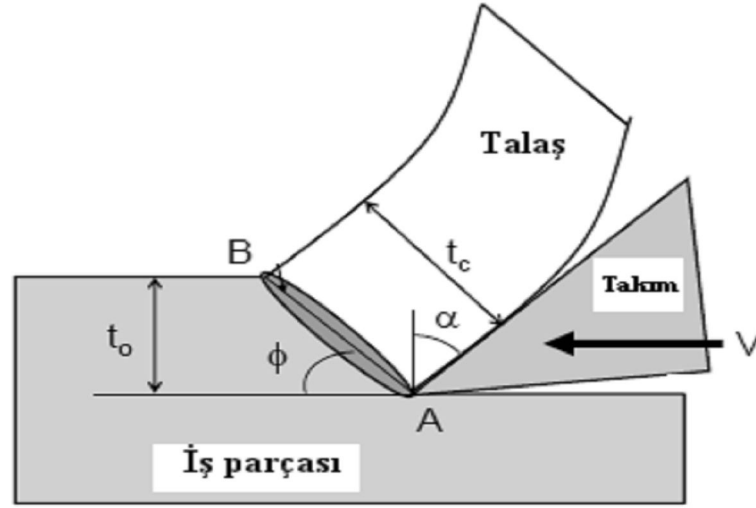
Eğik kesmede kesme hareketi ile kesici uç birbirine dik değildir. Şekil II.3.'de eğik kesme modeli şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil II.3. Eğik kesme modeli.

Üç boyutlu kesme işlemlerini modellemek için iki boyutlu model üç boyutlu İşlemlerin davranışlarını ideal gösteren bir geometriye sahip olduğundan deformasyon işleminin açıklanmasında bu iki boyutlu modelden yararlanır.

Şekil II 4.'de iki boyutlu ortogonal model üzerinde kesme birinci kayma bölgesi, hızı Vektörü, talaş açısı (α), kesme açısı (Φ), kesme yüzeyi boyunca iş parçasından ayrılacak olan talaşın kalınlığı (t_o), kesme işlemi sonucu oluşan talaşın kalınlığı (t_c) şematik olarak gösterilmektedir.

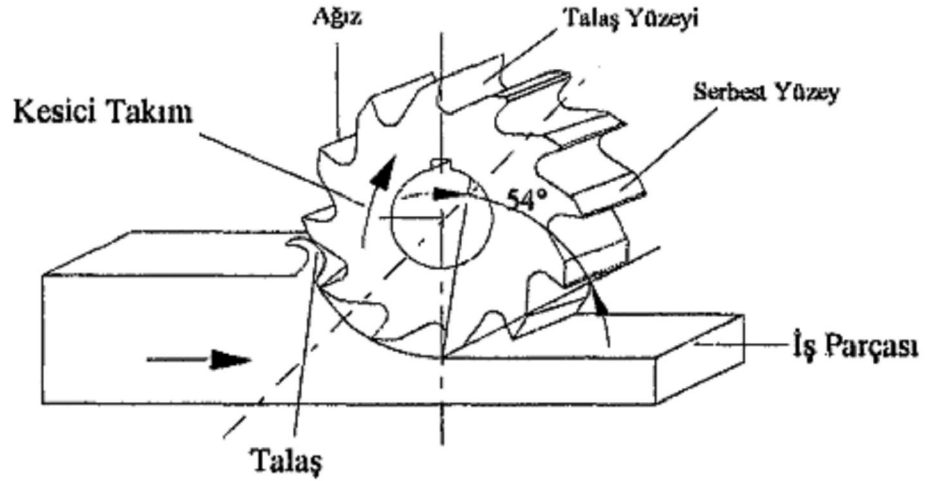


Şekil II.4. İki boyutlu ortogonal model.

Takımın iş parçası üzerine talaş oluşumu için yeterli olan belirli bir kuvvetle bastırıldığı ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği düşünülürse, takım ucunun temas ettiği metal tabakasında akmlar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı zaman tabaka talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca malzemenin ayrılır [18]. Frezeleme işleminde, kesici takımın kendi ekseninde dönmesi ve bununla beraber parçanın ilerleme hareketi yapması sonucu talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Parçanın işlenmesi sırasında takım ve iş parçası arasında üç ayrı hareket meydana gelir. Bunlar sırasıyla kesme hareketi, ilerleme hareketi ve yardımcı hareketlerdir. Frezeleme işleminde kesme hareketi takımın dönmesiyle meydana gelir. İş parçası ilerleme hareketi yapar. Yardımcı hareketlerde, iş parçasına kesici takım yaklaşması ve kesme işleminden sonra parçadan ayrılması gibi hareketlerdir. İş parçası yüzeyinin işlenmesine göre frezeleme işlemleri çevresel ve alın frezeleme olarak iki grupta incelenir [18].

II.1.4. Çevresel Frezeleme

Çevresel frezeleme, eksenini yatay durumda bulunan ve silindirik bir frezenin çevresindeki kesici dişlerle talaş kaldırma işlemidir. Bu yöntemde kesici takımın her bir dişi bağımsız olarak düşünüldüğünde talaş kaldırma işlemi; tornalamada olduğu gibi meydana gelir. Ancak burada iş parçası ilerleme hareketi yapar ve dişler belirli bir eksen etrafında döner. Bu nedenle işlem sırasında talaş kesit alanı devamlı değişir. Bunun için tornalama işlemine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Şekil II.5’de çevresel frezeleme görülmektedir [18].



Şekil II.5. Çevresel frezeleme işleminde talaş kaldırma işlemi.

II.1.5. Alın Frezeleme

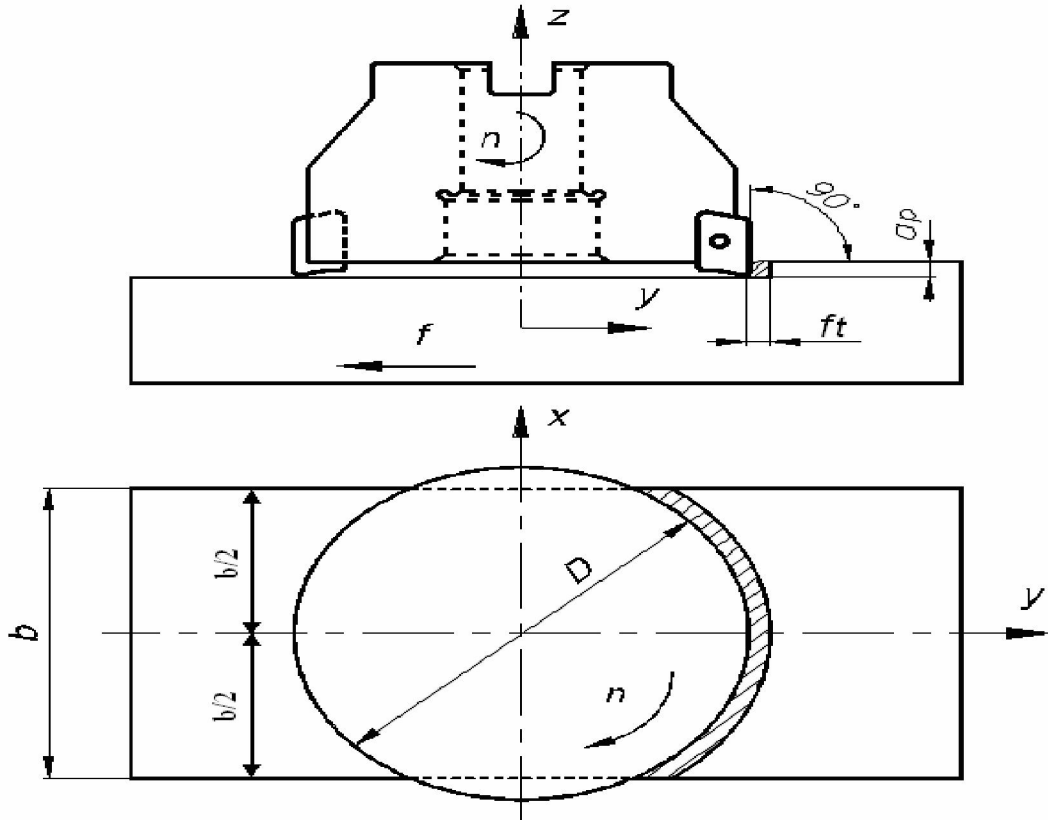
Freze çakısının alın ve çevresindeki kesici ağızların birlikte kesmesi ile yapılan frezelemedir. Elde edilen yüzeyler çakının dönme eksenine diktir. Burada kesme işleminin büyük bir kısmı, çevredeki kesici ağızlar tarafından yapılır. Alın yüzeydeki kesici ağızlar ise ince talaş işleme etkisi gösterirler. Silindirik alın freze çakıları ve takma uçlu alın freze çakıları ile düzlem yüzeyler işlenmeden önce iş mili diklik kontrolünün yapılması gerekmektedir. Silindirik alın freze çakıları, yüksek hız çeliğinden (HSS) bir bütün olarak imal edildiği gibi sert maden takma uçlu kesiciler sinterleme yöntemi ile imal edilir. Sinterleme yöntemi ile imal edildikten sonra kaplama yöntemleri ile kaplanarak daha yüksek kesme hızlarına ulaşmak mümkün olmaktadır. Sert maden kesici uçlar tutucu shaftın etrafına mekanik sıkmalı veya lehimleme yöntemi ile takılırlar. Alın freze çakıları ile düzlem yüzeylerden simetrik ve asimetrik yöntemle talaş kaldırılır.



Şekil II.6. Alın frezeleme çakısı.

II.1.5.1. Simetrik Frezeleme Yöntemi

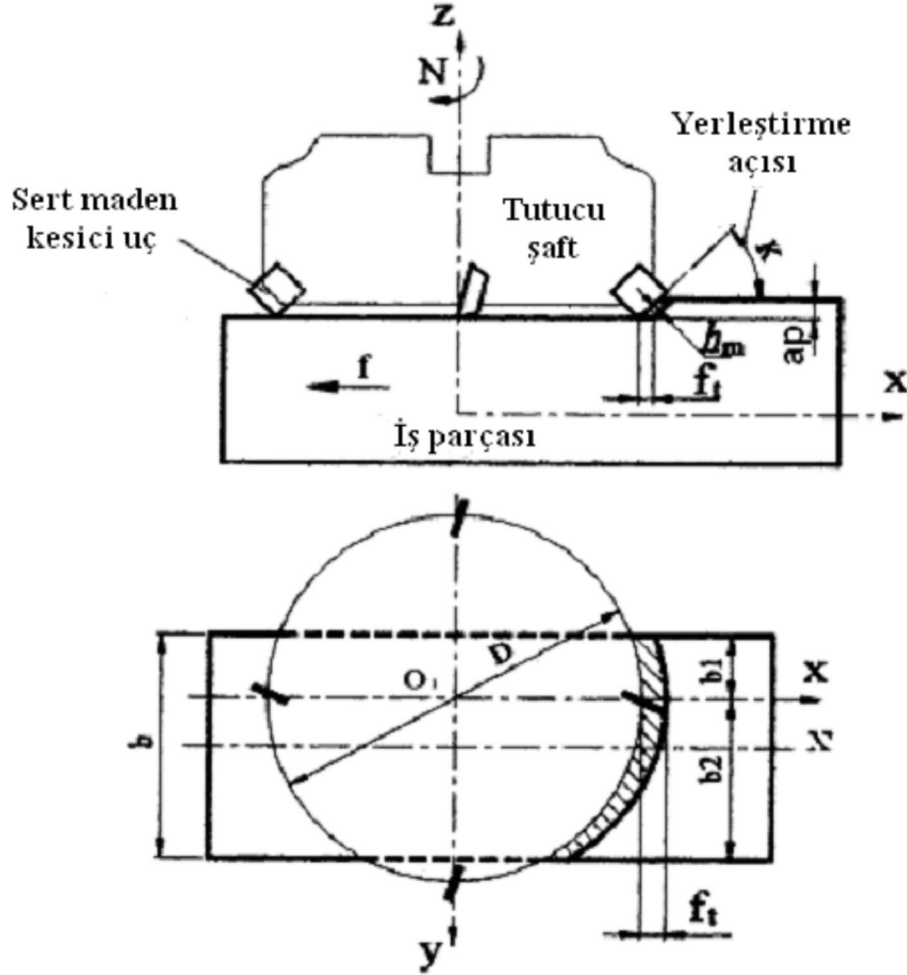
Alın frezeleme çakısı ile Şekil II.7’de görüldüğü gibi simetrik frezeleme yapılmaktadır. Simetrik frezeleme yöntemi kesici takımın dönme eksenini iş parçasının ilerleme yönündeki eksenine çakıştırmak suretiyle talaş kaldırma işlemidir. Yani kesici takım talaş kaldırırken iş parçasının tam ortasında hareket ettirilmelidir.



Şekil II.7. Simetrik alın frezelemenin gösterilisi

II.1.5.2. Asimetrik Frezeleme Yöntemi

Kesici takımın dönme eksenini ile iş parçasının ilerleme yönündeki eksenini çakıştırmıyor ise bu frezeleme yöntemine asimetrik frezeleme yöntemi denir. Şekil II.8’de görüldüğü gibi alın freze çakısı ile asimetrik olarak talaş kaldırılmaktadır. Simetrik ve asimetrik olarak talaş kaldırılabilmesi için, kesici takımın çapı frezelenen iş parçasının genişliğinden daima büyük olmalıdır [18,19].

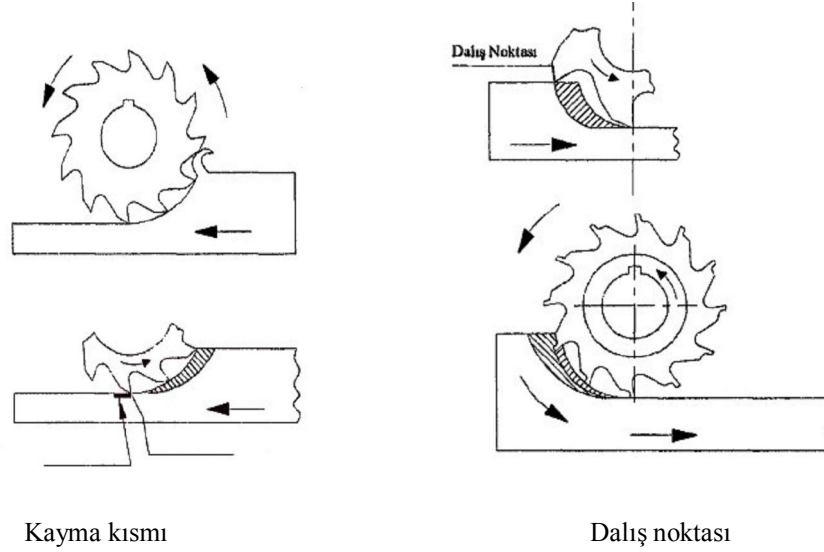


Şekil II.8. Asimetrik frezelemenin gösterilmesi

II.1.6. Zıt Yönlü ve Aynı Yönlü Frezeleme Yöntemi

Zıt yönlü frezeleme işleminde, iş parçasının ilerlemesi kesici takımın dönme yönüne karşı olduğu zaman yapılan frezeleme yöntemidir. Şekil II.9.(a)'da gösterildiği üzere karşı olarak dönmekte ve kesme işlemi aşağıdan yukarıya doğru yapılmaktadır. Bu yöntemde kesici takımın iş parçasının çıkış noktasında maksimum talaş kaldırma işlemi yapan aynı yönlü frezelemede Şekil II.9. (b)'de görüldüğü gibi, kesici takımın iş parçasıyla temas noktasındaki kaldırdığı talaş maksimum, çıkış noktasında ise minimum olur. Çevresel frezeleme dikkate alındığında aynı yönlü

frezeleme işleminde takım, iş parçası üst yüzeyine baskı uygulayarak parçayı tezgah tablasına bastırarak kendine doğru çekmeye çalışır.



Şekil II.9. (a) Zıt yönlü frezeleme şematik gösterimleri.

(b) Aynı yönlü frezeleme şematik gösterimleri

Aynı ve zıt yönlü frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma işleminin birbirine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Bu farklılıkları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Zıt yönlü frezelemede kesme kuvveti ile iş parçasının karşı koyma kuvveti zıt yöndedir. Bu sebeple meydana gelen kesme kuvveti bileşkesi büyüdüğünden tezgâhın enerji sarfıyatı artmaktadır.

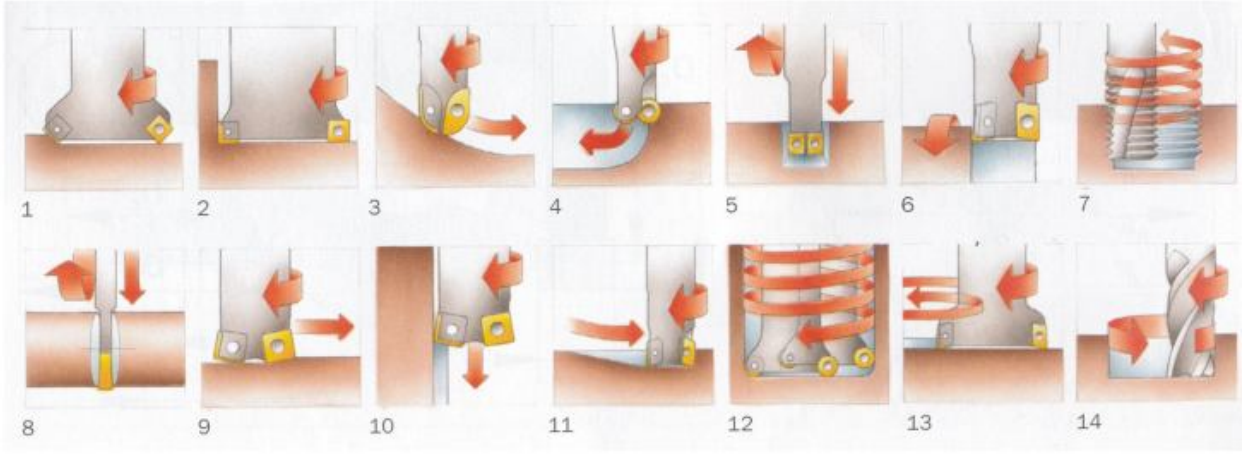
2. Kesme kuvvetinin başlangıçta en yüksek olması, aynı yönde frezeleme yöntemi için bir kusurdur. Parçayı tablaya bastırıyor olarak çalışması ise bir üstünlüktür.

Bu sayede iş parçasının titreşimi azalacak ve yüzey kalitesi yükselecektir.

3. Döküm yoluyla elde edilen parçaların yüzeylerinde sert tabaka olduğundan aynı yönlü frezeleme yönteminde kesme dişi başlangıçta sert tabakaya nüfuz etmeye çalışır. Bu nedenle takım daha çabuk aşınır ve takım ömrü azalır.

4. Zıt yönlü frezeleme yönteminde diş daha yumuşak olan işlenmiş yüzeye nüfuz edecektir. Ancak kesme ağzının ucu çok azda olsa yuvarlatılmış olması nedeniyle diş ilk temasında kayacak ve daha sonra malzemeye nüfuz edecektir. Bu kayma takım aşınmasına ve takım ömrünün azalmasına neden olmaktadır.

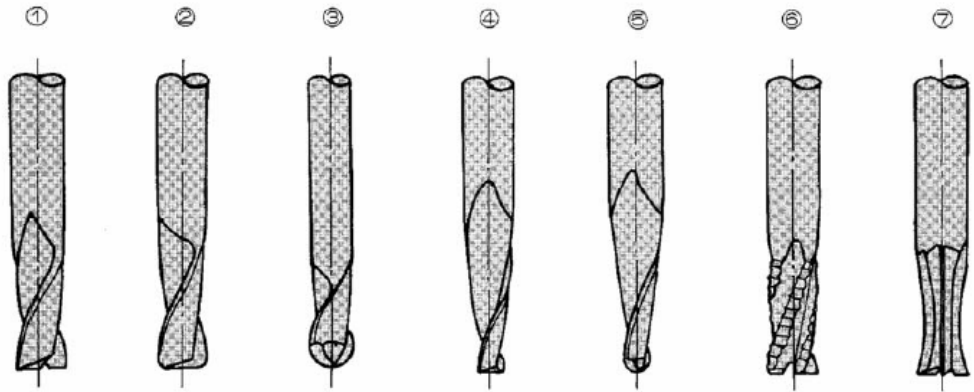
5. Zıt yönlü frezeleme yönteminde talaş kaldırma esnasında iş parçasının yüzeyinde oluşan elastik ve plastik deformasyon etkisinden dolayı işlenen iş parçasının yüzey kalitesi iyi değildir [18-20].



Şekil II.10. Frezeleme biçimleri

II.1.7. Parmak Frezeler

Frezeleme işlemlerinde çeşitli kanalların, yan duvarların ve çevrelerin işlenmesinde en çok kullanılan freze parmak freze diye isimlendirilen kesici takımdır.



Şekil II.11. Çeşitli parmak frezeler

II.1.8. TSE 303 Standardına Göre Parmak Freze Elamanlarının Tanımı

Kesici kısım, kesme işlemini yapan ve üzerinde kesici ağızların bulunduğu kısımdır.

Sap; frezelerin tezgâha bağlanmasına yarayan, silindirik veya konik kısımdır.

Kesici ağız; frezenin kesici kısmı üzerinde meydana getirilen ve üzerinde talaş yüzeyi, kesici kenar, zırh ve serbest yüzeyin bulunduğu kısımdır.

Talaş yüzeyi; kesici ağız üzerinde talaş kanalından kesici kenara doğru olan ve işleme esnasında çıkan talaşın sürterek geçtiği yüzeydir.

Talaş kanalı; komşu iki kesici ağız özel biçimde meydana getirilen ve talaşın çıkmasını sağlayan kısımdır.

Kesici kenar; talaş yüzeyi ile serbest yüzey veya freze sırtının ara kesitidir.

Serbest yüzey; sırtı frezelenmiş frezelerde kesici kenardan boşaltılmış sırta uzanan ve talaş kaldırma esnasında sürtünmesi için belli bir açı altında boşaltılmış kısımdır.

Boşaltılmış sırt; sırtı frezelenmiş frezelerde serbest yüzey ile talaş kanalı arasında belli bir biçimde oluşturulan kısımdır.

Düşürülmüş sırt; sırtı tornalanmış frezelerde kesici kenardan geriye doğru uzanan radyal ve/veya aksiyal yönde düşürülmüş kısımdır.

Sırtı frezelenmiş freze; kesici ağızların sırtı freze ile belirli bir biçimde boşaltılmış frezedir.

Sırtı düşürülmüş freze; kesici ağızların sırtı istenilen biçimde ve belli bir açı altında geriye doğru tornalama ile düşürülmüş frezedir.

Talaş açısı; kesici ağızları dönme eksenine paralel olan frezelerde kesici kenar üzerindeki bir noktadan takım dönme eksenine indirilen dik ile talaş yüzeyi arasındaki açıdır.

Serbest açı; kesici kenardan geçen teğet düzlem ile serbest yüzey arasındaki açıdır.

Kama açısı; kesici ağızlar dönme eksenine paralel olan frezelerde talaş yüzeyi ile serbest yüzey arasındaki açıdır.

Dış çap; frezelerin kesici kenarları üzerinden geçen dairenin çapıdır.

Helis yönü; frezede kesici ağızların dönme eksenine göre sağa ve sola doğru yükselme yönüdür.

Kesme yönü; frezenin tezgâha bağlandığı sap veya malafa tarafından bakıldığındaki dönme yönüdür.

Frezeleme işleminin geometrisine ve işleme tipine göre çeşitli parmak frezeler kullanılabilir.

Tablo.1. Çeşitli parmak frezelerin özellikleri ve kullanıldıkları yerler

	Parmak Freze tipi	Parmak Freze tipi Özellikleri	Uygulama Alanları
1	Kare Parmak Freze	Dış Kesme Kenarı ile 90° Açı Yapar	I profilinde kanal frezeleme işlemlerinde
2	Radyüslü Parmak Freze	Kesici takımın dış kesme kenarı ve kesilen kenarlar arasında bir radyus bulunur.	Genel kalıp işlemleri ve model uygulamalarında
3	Küresel Parmak Freze	Kesici kenarlar küresel forma sahiptir	Kalıp matris kopyalama işlemleri, vs.
4	Konik Parmak Freze	Yan kesici kenarlar belirli bir açıda koniktir.	Kalıp erkek yüzeylerinde
5	Konik Küresel Parmak Freze	Kesici kenarlar küresel forma sahiptir Yan kesici kenarlar belirli bir açıda koniktir.	Kalıp matris kopyalama işlemleri, vs.
6	Kaba Talaş Parmak Freze	Yan kesici kenarlarda çentikli dişler bulunur.	Kaba talaş işlemlerinde
7	Özel Formlu Parmak Freze	Yan kesici kenarlar özel bir forma sahiptir	Özel kenar profilleri için

II.1.9. Frezeleme İşlemi İçin Parmak Frezenin Seçim Kriterleri

Bir frezeleme işleminde en önemli temel parametreler kesicinin devir sayısı, ilerleme hızı ve kesme derinliğidir. İş parçasının cinsi, geometrisi ve yüzey kalitesi v.b. faktörler bu temel parametrelerin değerlerine etki etmektedir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve malzeme hakkında çok açık bilginin olmaması durumunda güvenlik açısından düşük kesme derinliği ve ilerleme hızı seçilmelidir. Bir parmak frezenin

çalışma aralığı çap ve talaş derinliği kapasiteyle tanımlanır. Bazı takımların kapasitesine işlemin tipide etkide bulunur. Bir kenarın veya 90^0 'lık bir faturanın işlenmesi genellikle iki yüzeyin oluşturulmasını gerektiren, kenar işleme olarak da bilinen, kenar frezelemedir. Bu işlemde takımın sehimi bir sınırlayıcı rolü oynayabilir. Bir kanal veya faturanın işlenmesi genellikle tam kanal açma olarak adlandırılır ve üç yüzeyin işlenmesini gerektirir. Kanalin her iki ucu açık olabileceği gibi bir ucu kapalıda olabilir. Parmak frezenin kesme kavrama açısı 180^0 'dir. Dolayısıyla freze, çevresinin yaklaşık yarısına kadar kesmeye katılmıştır. Bu ise kanal yan yüzeylerinin takımı sehime karşı desteklemesi demektir. Tam kanal açma işlemlerinde sınırlayıcı faktör genellikle talaşın naklidir. Yüksek talaş debisine sahip modern parmak frezeler çok etkili takımlardır, ancak kesici kenarın kırılmasına yol açabilecek talaş yığılmasının önlenmesi de şarttır. Sıkıştırılmış hava ile basınçlı soğutma sıvısının kanaldaki kesme bölgesine sevk edilmesi talaşların çabuk bir şekilde bölgeden uzaklaştırılması açısından son derece gereklidir.

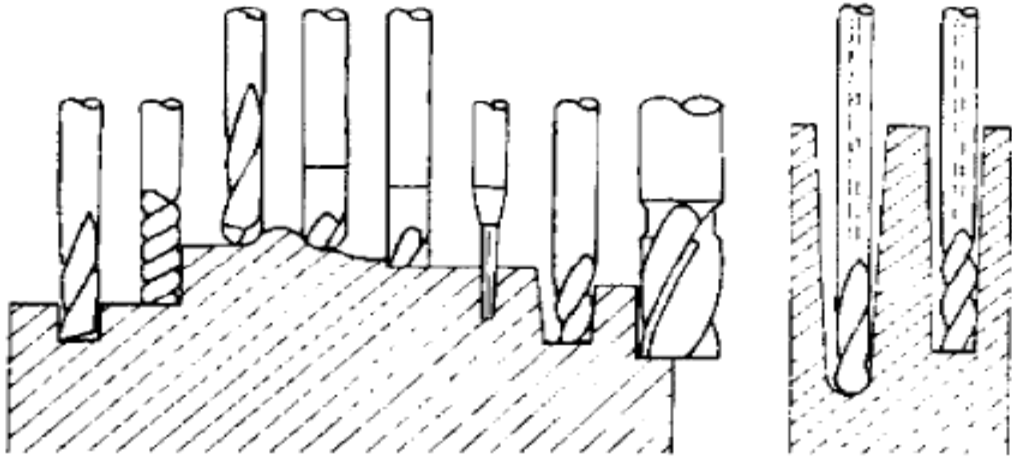
Parmak frezeler aksenal yönde hareket edecek şekilde tasarlanmış bir takımdır. Bu doğal olarak parmak frezeyi, özellikle yüksek işleme hızlarında, kesme kuvvetlerinin etkilerine karşı oldukça hassas bir duruma getirmektedir. Bu nedenle parmak frezeleme işleminde çok rijit bir takım tutucu sistemine gereksinim vardır. Aksi taktirde parmak frezeleme işleminde, büyük efektif takım uzunlukları nedeniyle, sehim ve titreşim kaçınılmazdır. Parmak frezelerin çeşitli saplı tipleri mevcuttur ve bunların bazıları diğerlerinden daha iyidir. Pens adaptörleri ve modüler takım tutucular genellikle sapı çok rijit bir şekilde tespit edilmesi sayesinde mükemmel bir rijitlik sağlar.

Titreşimin fazla olması neticesinde parmak freze şekil değişimine uğrayarak yüzey kalitesinin kötü olmasına sebebiyet verir. Bir parmak frezeleme işlemindeki kesme kuvvetleri işlem sonucuna fazlası ile etkide bulunurlar [20].

Radyal, aksenal ve teğetsel kuvvetler parmak frezeyi eğilmeye ve çekmeye zorlar. Gerçekleştirilmek istenilen işlem ile ilişkili olarak frezeleme yönü ve herhangi bir eğim veya helis açısı da dikkate alınmalıdır. Kullanıldıkları yerlere göre parmak frezeleri şöyle adlandırılırlar;

1. Spiral parmak freze
2. Çok helisli parmak freze

3. Küresel parmak freze
4. Seramik küresel parmak freze
5. Seramik parmak freze
6. Konik parmak freze
7. Lehimli parmak freze
8. Düz grafit parmak freze
9. Küresel grafit parmak freze



Şekil II.12. Kullanıldıkları yerlere göre parmak frezeler

II.2. FREZE TEZGAHINDA HAVUZ İŞLEMENİN ENÇOK KULLANILDIĞI KALIPÇILIK,

II.2.1. Kalıpçılık İle İlgili Tanımlar ve Kalıp Çeşitleri

Kalıp ve Kalıpcı genel olarak şu şekilde tanımlanabilir. Özdeş parçaları istenilen ölçü tamlığı sınırları içerisinde ve en kısa zamanda üreten, malzeme sarfiyatı ve insan gücünün asgari düzeyde tutulmasına yardımcı olan ve takım tezgâhları ile çalışabilen ağıta kalıp denir. Bu ağıtın tasarımını hazırlayan, yapımını gerçekleştiren ve çalıştırabilen kişiye de kalıpcı denir. Bu açıklamalardan sonra kalıpçılık mesleği genel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir. Seri üretimi gerçekleştirecek herhangi bir kalıbın tasarımına, yapımına ve çalıştırılmasına

olanak sağlayan, uygulamalı eğitim ve oğretim yöntemlerini bir bütün olarak kabul eden meslek dalına kalıpcılık mesleği denir.

Kalıpcılık mesleğini konu edinenler, en azından basit matematik ve tasarı geometri kavramlarını, makine teknik resim çizimini ve okunuşunu, markacılık ve ölçme bilgisini, bütün takım tezgâhlarının kullanışını, ısı ve sertlik ölçme işlemlerinin yapılışını, ayrıca makine elemanlarının montajını gerektiren bilgileri almak zorundadır. Bu bilgileri alan ve pratik uygulamaları iyi değerlendirebilen bir kalıpcı, aşağdaki konularda bilgi ve beceri sahibi kişidir.

1. İyi bir kalıp tasarımcısı olarak göze çarpar.
2. Makine teknik resmini çizme ve okuma yeteneğine sahiptir.
3. Kalıp konstrüksiyonu hazırlamakta uzmandır.
4. Komple kalıbı oluşturan elemanların hangi takım tezgahında ve nasıl işlenebileceğini organize etmede ustadır.
5. Komple kalıbı meydana getiren malzemeleri en iyi şekilde seçebilen uzmandır.
6. Kalıp elemanlarının ısıl işlemlerini ve sertlik ölçme tezgahını kullanarak, parçaların sertlik değerlerini denetleyen kontrolördür.
7. Kalıbı oluşturan elemanların montajını yapandır.
8. Kalıplanacak parçanın malzemesini hazırlayan, yapımı bitmiş olan kalıbı imalat tezgâhına emniyetle bağlayan ve doğabilecek kazaları tasarlayarak giderici tedbirleri alabilen kişiler, kendilerini bu mesleğe adanmış kişilerdir.

Gelişmekte olan teknoloji çağında, kalıpcılığın kolayca açıklanamayacağı bir gerçektir. Çünkü kalıpcılık, günlük hayatımıza girmiş pek çok parçaların üretimini gerçekteşiren önemli sektörlerden biridir. Günlük hayatımıza giren bu parçaların üretiminde; zaman, kalite ve ölçü tamlığı, malzeme tasarrufu ve özdeşlik sağlayan, ayrıca işçilik giderlerini asgari düzeye indiren kalıpcılıktır. Kalıpları öncelikle işçiliklerine ve kalitelerine göre sınıflandırmak gerekmektedir.

Bunlar kısaca A tipi, B tipi ve C tipi kalıplar olarak tanımlanabilir. Kalıpların hangi tipinin nasıl bir karakteristik özellik çizdiğini anlayabilmek için kısaca bu türlerin tanımlanması gerekmektedir.

A Tipi Kalıp; Ardışık (Progresif) veya transfer kalıbı tipinde, otomatik transfer sistemine sahip, açık veya kapalı (iklimlendirilmiş, havalı soğutmalı) transfer sistemli ve yüksek hassasiyetteki kalıplardır. Genelde, operasyonları bir baskıda tamamlanamayan çok hassas parçaları imal etmektedirler.

B Tipi Kalıp; Genelde baskıda biçimlendirilen; nispeten büyük boyutlu ve hassasiyetleri biraz daha düşük olan sac parçalarının imalatında kullanılan kalıplardır. Üzerlerinde, kamlı, maçalı, hidrolik ve pinomatik tahrik sistemleri yer alabilmektedir. Kalıp ve makinenin bütünlük arz ettiği (aküple) ‘seri işlem makineleri’ de bu gruba dahil edilebilir.

C ve D Tipi Kalıplar; İmalat sayısı 100.000’in altında olan, nispeten kaba toleranslı, döküm gövdeli ve kilo ile satılabilen düşük kalıplardır. Esas amacı birbirinden farklı olmayan, ancak çalışma sistemi ve ürettikleri parçalar bakımından farklılıklar gösteren kalıpcılığı aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür;

1. Metal Kalıpları

- a. Sinterleme Kalıpları,
- b. Presle Şekil Verme,
- c. Enjeksiyon Kalıpları,
- d. Kokil Kalıpları,
- e. Ekstrüzyon Kalıpları,
- g. Haddeler,

2. Plastik ve Kauçuk Kalıpları

- a. Enjeksiyon Kalıpları,
- b. Ekstrüzyon Kalıpları,
- c. Şişirme Kalıpları,
- d. Vakum kalıpları,
- e. Pişirme Kalıpları

3. Cam Kalıpları

II.2.2. Kalıpcılık Alanları

Türkiye, Kalıpcılık Sektörü’nde birçok firma çeşitli alanlarda faaliyetlerini devam ettirmektedir. Bu çeşitlilik, her alan için tamamen farklı bir uzmanlık konusu yaratmaktadır. Bu sebeple, kalıpcılık alanlarını tam manasıyla kavrayabilmek için bu uzmanlık alanlarını derinlemesine incelemek gerekmektedir.

II.2.2.1. Metal Kalıpları

Türk Kalıpcılık Sektörü'nde gerek yurtiçi, gerekse yurtdışı piyasada katma değeri yüksek olan sac metal kalıpları özellikle ithalatımızda yoğun olarak talep edilmektedir. Bu noktada yüksek talep gören sac metal kalıplarının çeşitliliğini vurgulamak faydalı olmaktadır.

a. Sinterleme Kalıpları

Sinterleme, toz halindeki malzemenin erime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakılarak tozların birbirlerine değdikleri noktalardan başlayarak kaynaşmasına denir. Moleküler çekim kuvvetleriyle parçacık kabuğunda oluşan yüzey geriliminin, sıcaklıkla azaltılıp birbirine kaynaşması, bu yönüyle eriterek kaynaşmadan çok farklılık gösterir. Bu safhaların tamamlanması da Sinterleme yolu ile kalıbın oluşmasına olanak sağlamaktadır.

b. Presle Şekil Verme

Presle şekil verme, metal kalıplar için ihtiyaçlara uygun olarak edinilmiş pres makineleriyle şekillendirme sürecidir. Presle yapılan ürünler, demirli metallerin özelliklerine sahiptir. Çelikten ve karışımlardan yapılabilirler; basit şekilde hızlıca üretilebilirler. Presleme sürecinde yapılabilecek işlemlerden bazıları; kesme ve dilimleme işleri, açık kesme ve parsiyel kesme, sıkıştırarak delme ve hassas delme, çapak alma, delik açma ve zımbalama, kırma, tıraşlama ve kalibre etme, yüzey düzleştirme ve ütüleme, bükme, görünüş, döküm, kenar kıvrırma, açık kalıpta dövme ve kapalı kalıpta dövme, serbest ekstrüzyon, geriye, ters ekstrüzyon veya kalıpta ekstrüzyon, gerdirerek şekil verme.

c. Enjeksiyon Kalıpları (MIM, Metal Injection Moulding)

Metal Enjeksiyon Kalıplama ya da diğer adıyla MIM teknolojisi özellikle son 15-20 yıl içerisinde alternatif bir imalat metodu olarak kendini göstermeye başlamıştır. Göreceli olarak küçük, hassas ve karmaşık şekilli parçaların ekonomik biçimde üretilmesine imkân tanıyan MIM teknolojisi bugün itibariyle dünyada 1 milyar \$ tutarında iş hacmine ulaşmıştır. El aletleri endüstrisi, optik, tıp ve medikal endüstri, ateşli silahlar endüstrisi, havacılık endüstrisi, elektronik ve otomotiv endüstrisi günümüzün kitlesel imalat sektörlerine hizmet vererek sürekli gelişme

gösteren MIM endüstrisinin, 2010 yılı itibariyle 2 milyar \$'a varan bir Pazar büyüklüğüne erişeceği tahmin edilmektedir. MIM teknolojisi, aslında önceden bilinen toz metalürjisi ve plastik enjeksiyon teknolojilerinin bir arada kombine edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ancak MIM'in bir üretim metodu olarak uyarlanması ve ticari olarak kullanılmaya başlanması 1990'lara dayanmaktadır. Böylece nispeten karışık şekillere sahip parçalar kolayca ve milyonlarca üretilmektedir.

d. Kokil Kalıpları

Madenin döküleceği kalıpları hazırlamak amacı güden kalıplama işleminde kokil kalıplar döküm kumundan veya madenden oluşmaktadır. Kokil döküm metalden yapılan kokil kalıpta veya külçe kalıbında uygulanır. Kokil kalıba döküm genellikle dökme demir veya çelikten imal edilmiş ve birden fazla kullanılabilen kalıplar için kullanılır. Parçanın boşluk kısımlarını şekillendirmek için metal maçalar kullanılabilir gibi, kabuk maçaların da kullanımı mümkündür. Döküm işlemi yerçekimi kuvvetinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Kokil kalıbı seri halde alüminyum, magnezyum, çinko ve bakır alaşımların dökümüne uygundur.

e. Ekstrüzyon Kalıpları

Ekstrüzyon kalıbı zor koşullar altında çalışan bir nesnedir. İçinden geçen metal sanıldığı gibi sıvı değildir. Metal, ancak ideal 7-8 ton/cm²'lik basınçlar altında kalıp içinden adeta yırtılarak, zorla akar, bunun yanında sıcaklık ideal olarak 460-470 °C derecedir. (500°C ye çıkar). Üretim sırasında basınç da zaman zaman fazlası ile aşılır. Bu koşullar altında çalışan ekstrüzyon kalıbı sıcak aşınma, çökme, kırılma, ısıl yorulma gibi nedenlerden dolayı, çekilen profilin gramajı artar ve siparişin bitimine kadar kalıbın değiştirilmesi gerekebilir. İşte bu nedenlerle alüminyum ekstrüzyon kalıpları, ekstrüzyon fabrikalarında adeta bir sarf malzemesi gibidir, çok tüketilir.

Kalıplarda tasarım ve üretiminde kullanılan düşük seviyedeki otomasyonla kombine olarak, kalıplardaki sonuç, değişken tasarım kalitelerinde ve ekinde, imalatta reproduksiyon özelliği (yeniden 'aynen' imal edilebilirliği) zayıflığı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu düşük imalat reproduksiyon özelliği, istenilen görüntünün çekilebilmesi için, iyi tasarlanmış kalıpların bile niçin hala test ve ölçümleme gerektirdiğinin cevabının ta kendisidir. Bu engellerin ortadan kalkması için daha çok bilimsel yaklaşımlı çalışma yapılmalıdır. Bunu pratiğe geçirmek için, yeni kalıp

tasarım destek sistemlerinin, son yıllarda çok geliştirilmiş 3 boyutlu CAD-CAM ve FEA (Finite Element Analysis) modelleme programlarının yardımı ile araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir.

g. Haddeleme

Malzemeleri eksenleri etrafında aynı hızla ve birbirine zıt yönde dönen iki merdane arasına geçirerek yapılan şekil verme işlemine haddeleme denir. Haddeleme iki şekilde gerçekleştirilmektedir.

1. Sıcak Haddeleme
2. Soğuk Haddeleme

II.2.2.2. Plastik ve Kauçuk Kalıpları

Plastik ve kauçuk kalıpları sac metal kalıplarına oranla daha az katma değer yaratsa da Türkiye'nin ihracatında önemli bir yere sahip olduğundan çeşitliliğinin vurgulanması gerekmektedir.

a. Enjeksiyon Kalıpları

Enjeksiyon kalıbı, erimiş sıcak plastik malzemenin basınçla enjekte edildiği ve burada soğuduğu bir kalıp sistemidir. Enjeksiyon kalıbının görevleri arasında ergimiş plastiğe şekil vermek, kalıplanan sıcak malzemenin rijit ve katı hale gelene kadar soğumasını sağlamak, iyi bir katılma meydana geldikten sonra, iki (veya daha fazla) bölüme ayrılarak, parçayı kalıp dışına itmektir. Parça kalitesi tamamen kalıp tasarımına, üretimine ve kalıpcının işçilik kalitesine bağlıdır. Kalıbın büyüklüğü ve enjeksiyon makinesi kapasitesi arttıkça ortaya çıkan maliyetler de artmaktadır. Örnek vermek gerekirse çöp kovası ve kapağı üretiminde kullanılan kalıbın maliyeti 25.000 \$'a kadar çıkabilmektedir. Bu maliyetler dışında orijinal tasarım fikri, pazar araştırması, parçanın prototipleri, geliştirme, pazarlama gibi konular ikincil maliyetlerdir.

b. Ekstrüzyon Kalıpları

Ekstrüzyon kalıplarının üretimi sürecinde öncelikle üretim planlaması ile birlikte kalıp tasarım çizimleri yapılır. Üretim resmine göre sertifikalandırılmış çelikler testerede kesilir. Tornalama işlemi yapılır. CNC işleme merkezlerinde

havuzlar boşaltılır, pim delikleri delinir, zıvanalar şekillendirilir. Kalıbı oluşturan tüm parçalar ilgili işleme merkezlerinde ve tezgâhlarda talaşlı şekillendirildikten sonra montajı yapılır. Kalıp kalite kontrolden geçirilir ve ısıl işleme gönderilir. Tüm tel erozyon keşiş ve tüm finish (porthole) işlemleri ısıl işlemden sonra yapılır. Kalıp ve Ürün Tasarımlar üç boyutlu (3D) CAD programlarıyla yapılmakta ve CNC işlemleri 5 eksenli CAM programları üzerinden yapılmaktadır. Son kalite kontrol onayından geçen kalıp müşteriye teslim için hazırdır. Kusursuz numune alındıktan sonra, nitratlama (tenifer işlemi) uygulanır. Alüminyum profillerin ekstrüzyon yöntemi ile üretimi için 3 esas gereklidir.

1. Kütük (billet, biyet)
2. Ekstrüzyon presi,
3. Ekstrüzyon kalıbı.

c. Şişirme Kalıpları

Şişirme kalıp sistemleri, hızlı bir üretim sürecine sahip, hafif taşıma giderleri az, temiz yüzeyler ve monolitik bağlantılar elde edebilen sistemlerdir. Şişirme kalıplara örnek olarak; bidon, pet şişe vb. mamuller gösterilebilir.

d. Vakum Kalıpları

Elektronik olarak da kontrol edebilme olanağı sağlayan Vakum kalıplama sistemleri pahalı çelik kalıplara ihtiyaç duyulmaksızın plastik prototipler üretebilmek için kullanılırlar. Vakum kalıplama sistemlerinde kullanılan reçineler plastik, kauçuk ya da cam gibi hemen hemen bütün malzemeleri taklit etmeye müsaittirler. Vakum döküm işleminin esasını; ABS, naylon ve kauçuk parçaların üretimini simule eden poliüretan parçalar oluşturmaktadır.

e. Pişirme Kalıpları

Pişirme, tozların yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak bir araya gelip bağ kurmaları sürecidir. Mikro yapısal temelde, bu birleşme uygun boyun şekilleriyle (kaynak bağları) parçacıklar arasındaki temas noktalarında oluşur. Boyun büyümesine neden olan olaylar genellikle, difüzyon işlemleri olan birkaç olası transfer mekanizmalarına bağlıdır. Difüzyon ısı ile aktifleştirilir. Pişirmenin temel sebebi; sertlik, mukavemet, yorulma ömrü, elektrik iletkenliği, ısıl genleşme, manyetik doygunluk veya korozyon direnci gibi parça özelliklerini iyileştirmektir.

Bu özelliklerden her birinin pişirme derecesine duyarlılığı oldukça farklı olabilir. Ama genellikle yoğunlaşma derecesi ile artarlar.

II.2.2.3. Cam Kalıpları

Önceden tasarlanmış cam mamulün modeline göre belirlenmiş üretim tekniği doğrultusunda, ergimiş haldeki sıcak cam hamuruna bir takım aletler ve makineler yardımıyla veya elde şekil vererek cam eşya meydana getirilmesi sürecidir.

Süreçler;

1. Cam hammaddelerinin, istenilen ölçüde karışımını yaparak 1475 derecelik cam eritme fırınlarına verilmesini sağlar.

2. Cam üfleme borusunun ucuna şekillendirilecek eşyaya yetecek kadar cam fırından aldığı bir top cam madenini üfleyerek, çekerek veya direk otomatik veya otomatik olmayan araçlar yardımıyla şekil verir.

3. Modele göre hazırlanmış metal cam kalıplarına veya diğer otomatik kalıp tezgâhlarına camı yerleştirerek bir müddet bekler ve kalıpları fırına vererek camın kalıbın şeklini almasını sağlar.

4. Kalıplardan çıkardığı cam mamulü, ısının kademe kademe düştüğü soğutma fırınlarına bırakır.

5. Soğuması gerçekleşen cam mamulü, zımparalayarak otomatik taşlama makinesine bırakarak pürüzlü yüzeylerin düzeltilmesini sağlar.

BÖLÜM III.

TEZ ÇALIŞMALARI

III.1. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada deneysel çalışma yapılmıştır ve deney şartları mevcut literatür araştırması da dikkate alınarak yapılmıştır.

Deneysel çalışmada, kesme kuvveti gözlenmiştir. Elde edilen üründe ise, yüzey kalitesi incelenerek, kesme parametrelerindeki değişim ile yüzey kalitesin arasında bir ilişki elde edilmeye çalışılmıştır.

Kesme kuvveti ölçümü için, yine literatürde kullanımı yaygın olan Dinamometre ile ölçüm yöntemi tercih edilmiştir. Hazırlanan iş parçası dinamometre üzerine sabitlenerek delme esnasında oluşan kuvvet verileri bilgisayara x, y ve z eksenlerinde grafiksel olarak aktarılmıştır.

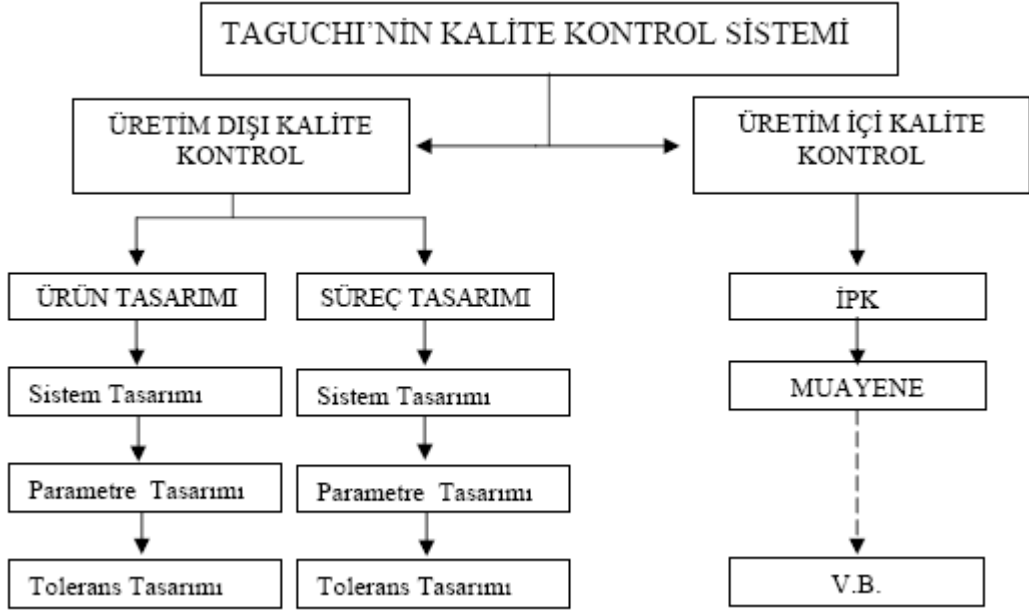
Elde edilen deneysel sonuçlar, Literatürde yaygın olarak kullanılan optimizasyon tekniklerinden Taguchi metodu ile optimize edilerek, parametre optimizasyonu yapılmıştır. Varyans analizi ile sonuçların şekillenmesinde etkili parametreler ve etki oranları tayin edilmiştir. Regresyon modeli kullanılarak da bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında denklem kurulmuştur.

III.2. DENEY TASARIMI VE MODELLEME TEKNİKLERİ

III.2.1. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi, ortogonal dizinleri kullanarak deney sayılarını önemli ölçüde azaltan ve ayrıca kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize etmeye çalışan deney tasarım yöntemidir. Taguchi, deneyin tasarımı aşamasında deney sayısını azaltarak, kaliteyi deney tasarımı aşamasında yakalayabilmektedir.

Taguchi yönteminin kalite kontrol sistemi Şekil III.1’de görülmektedir.



Şekil III.1.Taguchi 'nin kalite kontrol sistemi [23]

Taguchi yöntemi, talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Taguchi yöntemi kullanılarak yapılacak deney tasarımında takip edilecek yol aşağıda sıralanmıştır.

- Problemin belirlenmesi
- Faktörlerin ve seviyelerin belirlenmesi
- Bağımlı değişkenin seçimi
- Deney tasarımının seçimi
- Deneylerin yapılması ve verilerin elde edilmesi
- Verilerin analizi
- Sonuçlar

En genel şekilde yukarıdaki yol takip edilerek deney tasarımını yapmak mümkündür. Taguchi yönteminin diğer deney tasarımı yöntemlerine göre üstünlüğü Aşağıdaki tabloda görülmektedir. Aynı faktör ve seviyeler için faktöriyel tasarım ve Taguchi yönteminin öngördüğü deney sayıları Tablo III.1' de sunulmuştur.

Tablo III.1. Faktöriyel tasarımı ile Taguchi yönteminin kıyaslanması

Faktör	seviye	Deney sayıları	
		Faktöriyel tasarım	Taguchi yöntemi
2	2	4 (2^2)	4
3	2	8 (2^3)	4
4	2	16 (2^4)	8
7	2	128 (2^7)	8
15	2	32768 (2^{15})	16
4	3	81 (3^4)	9

Taguchi, uygulamadaki problemleri hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir S/G oranı tanımlamıştır [23].

1. Hedef Değer - en iyi tip problemler için,

$$\mu = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \text{ ve } \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (\text{III.1})$$

olduğu durumda,

$$S / N = 10 \cdot \log(\mu^2 / \sigma^2) = 10 \cdot \text{Log} \quad (\text{III.2})$$

Yukarıdaki III.1 denklemde n, her bir tasarım parametresi matrisi kombinasyonu için kullanılan harici gürültü gözleme kombinasyonlarının sayısıdır.

2. Daha-Küçük-Daha-İyi tipi problemler için,

$$S / N(\eta) = -10x \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{i^2}\right) \quad (\text{III.3})$$

Bu durumda sinyal, $y = 0$ olmasını amaçlayan sabit bir değerdir.

3. Daha-Büyük-Daha-İyi tipi problemler için,

Kalite performans karakteristikleri sürekli ve negatif değildirler, bu tip problemlerde y değerinin olabildiğince büyük olması istenir. S/G oranını bulmak için bu tip problemler Daha-Küçük-Daha-İyi tipi problemlere performans karakteristikleri göz önüne alınarak değiştirilmektedir.

$$S/N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) = -10 \cdot (MSD) \quad (III.4)$$

Burada MSD ortalama standart sapmayı ifade etmektedir. Tasarım parametrelerini ayarlamadaki stratejide ilk olarak çıktı değişkenliğini minimize etmek amacıyla kontrol faktörleri kullanılır, daha sonra sinyal faktörleri kullanılarak ortalama değer arzulanan hedef değere yaklaştırılır. Kontrol ya da sinyal faktörü olmadığı belirlenen tasarım parametreleri ise performansı etkilemedikleri sürece düşük maliyet ayarlarında tutulur. Taguchi metodu, çıktı değişkenliğinin etkisini minimize ederken aynı zamanda çıktı performansını ekonomik olarak maksimize etmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır[23].

İmalatta, bilhassa da yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, sıcaklık oluşumu gibi parametrelerde hedeflenen minimum değerlere ulaşmaktır. Bunun için parametre tasarımı yapılmakta ve en ideal yani optimal parametreleri içine alan bir deney oluşturulması amaçlanmaktadır. Bu açıdan, bu çalışmada en küçük en iyidir yaklaşımı Taguchi ile optimizasyonda kullanılacaktır.

III.3. MALZEME VE METOT

Malzeme ve metot bölümünde, deneysel yöntem kullanılarak yapılan araştırmada kullanılan kesici takım, iş parçası, takım tezgâhı, gerekli ölçüm aletleri ve cihazları incelenecektir. Ayrıca deneysel araştırmada kullanılan metotlar da bu bölümde sunulacaktır.

III.3.1. Malzeme ve Teçhizat

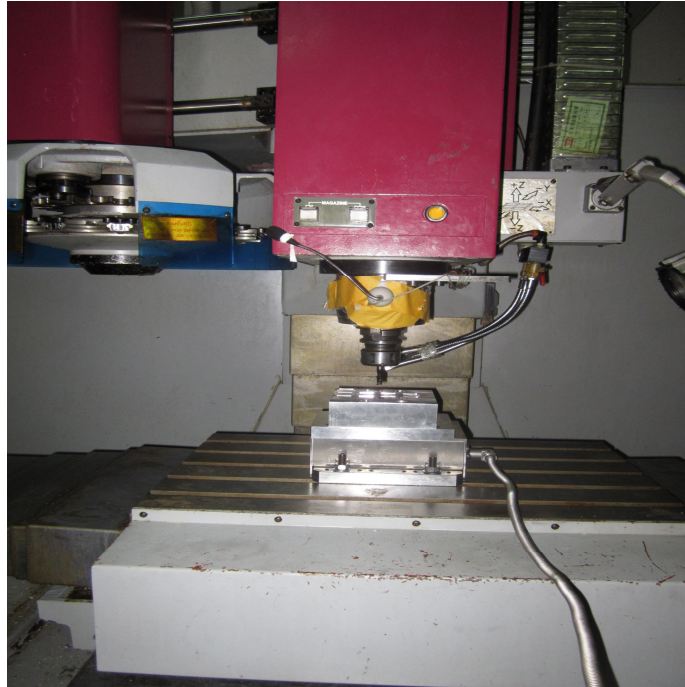
III.3.1.1. CNC Freze Tezgahı

Deney düzeneğinde kullanılan CNC tezgahı; üç eksenli lineer ve dairesel interpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO format programlama yapabilen FANUC kontrol ünitesi O-M serisi, bir adet freze tezgahıdır(Şekil III.2). Tablo III.2’de CNC Freze tezgahının teknik özellikleri verilmiştir.

Motor gücü 30 HP, X: 850 mm Y: 550 mm ve Z: 450 mm hareket kabiliyetine sahip, yüksek yüzey kalitesinde JOHNFORD VMC-850/550+APC CNC Fanuc 0T x-y-z eksenli CNC Freze Tezgahı

Tablo III.2. CNC Freze Tezgahının Teknik özellikleri

Model No	VMC – 850 / 550+APC
Hareket sınırları	X : 850 mm Y: 550 mm Z : 450 mm
İş mili motor Gücü	30 KW
Tabla yükleme kapasitesi	1980 Lbs (900 kg)
Tezgah zemin alanı	92.5” x 98.4” (2350 x 2500)
Makine ağırlığı	7500 KG



Şekil III.2. Johnford VMC – 550 Model CNC Freze Tezgahı

III.3.1.2. Deneyde Kullanılan İş Parçası Malzemesi (PMD 23) Özellikleri

Endüstride kalıp sanayinde kullanılan PMD 23 soğuk iş takım çeliği; yüksek sıcaklık kararlılığı, ısı iletkenliği, tokluğu ve aşınma direncini kaybetmeyen bir malzemedir[25]. PMD 23 soğuk iş takım çeliği ısı ile sertleştirilebilmektedir.

Deneyde kullanılan numuneler kare şeklinde olup, 135x70 mm ve 50 mm kalınlığındadır (Şekil III.3). Tablo III.3’de PMD 23’e ait kimyasal kompozisyonlar ve Tablo III.4’de ise mekanik özellikleri sunulmuştur.

Tablo III.3. PMD 23'in kimyasal özellikleri

PMD23	C	W	Cr	V
Temel	1.30	6.40	4.2	3.10

Tablo III.4. PMD 23'in mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Çentik-Darbe Dayanımı (Joule)	Uzama(%)	Sertlik(HRC)
460	530-650	24	25-36



Şekil III.3. Deneyde kullanılan iş parçaları

III.3.1.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar

Deneyisel çalışmada kullanılan parmak frezeler 4XSGEO L9322 Karbid parmak freze olup Çoklu-katmanla TiAlN kaplanmıştır. Bu takımlar Şekil III.4'de görülmektedir.



Şekil III.4. Deneyde kullanılan kesici takım örnekleri

III.3.2. Deney Metotları

III.3.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyleri

Deneyisel çalışmada, işleme sonrası elde edilen iş parçasının işlenen yüzeyindeki pürüzlülük değeri MAHR-Perthometer ile ölçülmüştür. Her ölçüm hassasiyeti arttırmak için üç defa tekrarlanmıştır. Şekil III.5’de ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil III.5. MAHR-Perthometer M1 taşınabilir pürüzlülük cihazı

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde, ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) esas alınarak ölçümler yapılmış ve sonuçlar Ra’ya göre yorumlanmıştır.

III.3.2.2. Kesme Kuvveti Deneyleri

Deneyisel çalışmada kesme kuvveti ölçümünü gerçekleştirmek için oluşturulan düzenekte iş parçasının işlenmesi esnasında iş parçasını etkileyen üç- eksenli bileşenlerinin ölçülmesinde ve analizinde kullanılmıştır. Oluşturulan düzenekteki parçalar; üç boyutlu kistler dinamometre (Şekil III.6), üç kanallı charge-amplifikatörü, dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin

analizi için DynoWare isimli yazılım programı, bilgisayar bağlantısı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır.



Şekil III.6. KISTLER dinamometre

Yük amplifikatörü olarak KISTLER 5019b tipi yük amplifikatörü kullanılmıştır (Şekil III.7). Bu amplifikatör kuvvet sensöründen üç eksende (x,y,z) gelen voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendirmektedir.



Şekil III.7. KISTLER 5019b tipi yük amplifikatörü

Kesme esnasında, yazılım yardımı ile üç eksende oluşan kuvvetler ölçülmüş ancak yorumlamalar için maksimum kuvvetler dikkate alınmıştır. Optimizasyon ve varyans analizinde de maksimum kuvvetler dikkate alınarak sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

III.3.2.3. Deney Tasarımları

Deney tasarımı Taguchi tekniği kullanılarak yapılmıştır. Böylece, daha az deney ile daha geniş kapsamlı sonuçlara ulaşmak mümkün olmuştur. Bu durumda, zaman ve maliyetten kazanım sağlanmıştır. Kalite karakteristiğini belirlerken, ölçülecek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti oranlarının en az olması istendiğinden dolayı, deneyler sonucunda ulaşılması beklenen kalite değerlerinden, en küçük en iyidir prensibi uygulanmıştır [25].

$$S / N(\eta) = -10x \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (III.5)$$

Denklem III.5 deki n = deney şartlarında yapılan deney sayısını ve y ise ölçülen karakteristiği (Bağımlı değişkeni) ifade etmektedir.

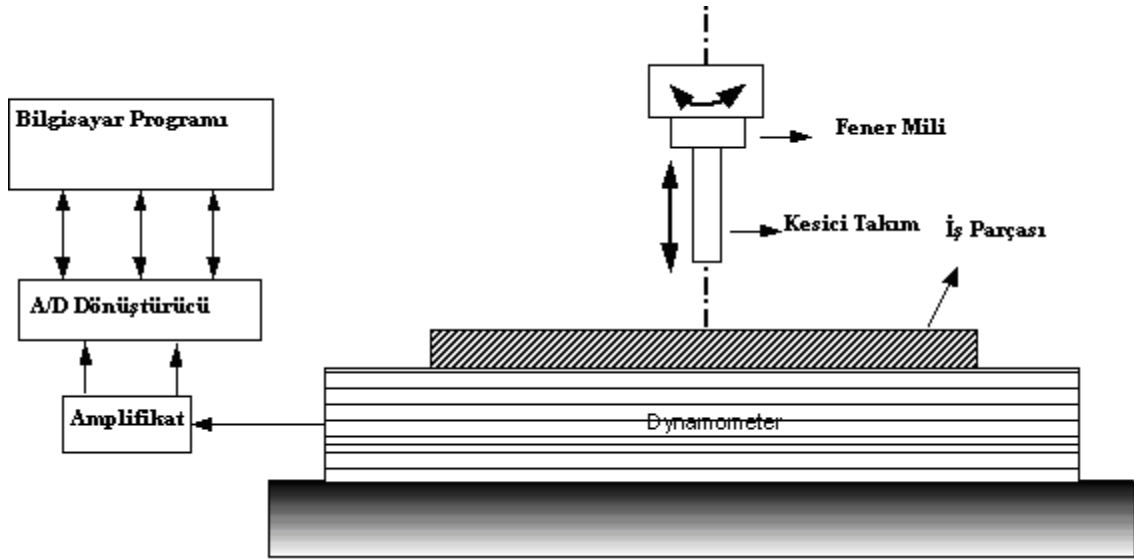
Bu deneysel çalışmada parametreler olarak, takım yolu, ilerleme ve talaş derinliği seçilmiştir. Tüm deneylerde Çoklu-katmanla TiAlN kaplamalı karbür parmak frezeler kullanılmış Deneyde kullanılacak parametreler ve seviyeleri Tablo III.5 de, L9 deney tasarımı ise Tablo III.6 'da sunulmuştur. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil III.8'da verilmiştir.

Tablo III.5. Deney parametreleri

Parametreler	(A) Takım Yolu	(B) İlerleme (mm/min)	(C) Talaş Derinliği (mm)
Seviye I	Tek Yön	150	0.25
Seviye II	Zig-Zag	200	0.50
Seviye III	Spiral	250	0.75

Tablo III.6. L₉ Deneysel tasarımı

Deneysel No.	Değişkenler	(A) Takım Yolu	(B) İlerleme (mm/min)	(C) Talaş Derinliği (mm)
1	A ₁ B ₁ C ₁	1	1	1
2	A ₁ B ₂ C ₂	1	2	2
3	A ₁ B ₃ C ₃	1	3	3
4	A ₂ B ₁ C ₂	2	1	2
5	A ₂ B ₂ C ₃	2	2	3
6	A ₂ B ₃ C ₁	2	3	1
7	A ₃ B ₁ C ₃	3	1	3
8	A ₃ B ₂ C ₁	3	2	1
9	A ₃ B ₃ C ₂	3	3	2



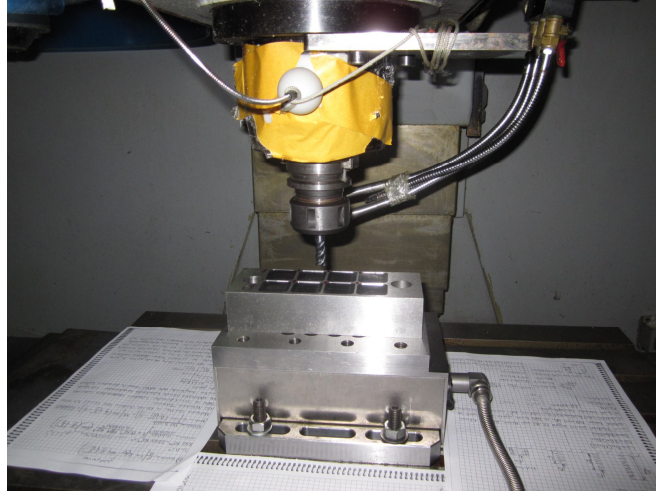
Şekil III.8. Deneysel düzeneğin şematik görüntüsü

III.4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

III.4.1. PMD 23 Soğuk Kalıp Malzemesinin Parmak Freze Çakısı İle İşlenmesi

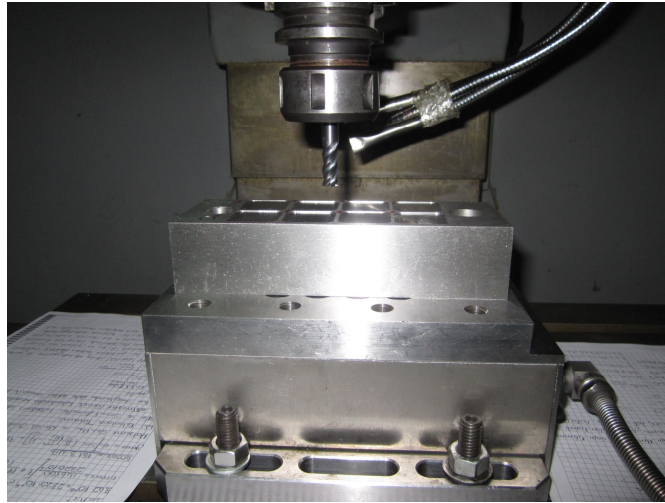
PMD 23 Soğuk iş takım çeliği sahip olduğu özelliklerden dolayı kalıp imalatında yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık kararlılığı, ısı iletkenliği, tokluğu ve aşınma direncini gibi sahip olduğu mekanik özellikleriyle ilgi görmektedir. Bu malzemeler ısıl işlem görmeden önce 20-30 HRC sertliğe sahipken

ıslıl işleme sonrasında 30-60 HRC sertliğine kadar ulaşabilmektedirler. Bu tür malzemelerin işleme parametrelerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda H13 malzemesi olarak da isimlendirilen bu malzemenin işleme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil III.9. Deneyin fotoğrafik görüntüsü

Yapılan deneysel çalışmada PMD 23 Soğuk iş takım çeliği malzemesi üzerinde çeşitli değişkenlerle havuz işlemek için çoklu-katmanla TiAlN kaplamalı karbür parmak frezelerle talaş kaldırılmıştır. Takım yolu, ilerleme ve talaş derinliği gibi parametrelerin yüzey kalitesine etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil III.10. Deneysel çalışmanın görüntüsü

Aşağıda deneyler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü (R_a μm) ve kesme kuvveti (N) değerleri Tablo III.7'de verilmiştir.

Tablo III.7. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra μm), Kesme Kuvveti (N) değerleri

Deney No.	Değişkenler	Ra (μm)	Kesme Kuvveti (N)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0,157	27,84
2	A ₁ B ₂ C ₂	0,273	67,34
3	A ₁ B ₃ C ₃	0,429	90,77
4	A ₂ B ₁ C ₂	0,174	70,26
5	A ₂ B ₂ C ₃	0,275	114,94
6	A ₂ B ₃ C ₁	0,435	74,66
7	A ₃ B ₁ C ₃	0,222	95,90
8	A ₃ B ₂ C ₁	0,301	50,49
9	A ₃ B ₃ C ₂	0,406	106,15

III.4.1.1. Yüzey Pürüzlülüklerinin Sonuçları Değerlendirilmesi

Yapılan deneysel çalışmada irdelenen konulardan biride işlenmiş yüzeylerin pürüzlülük değerleri olmuştur. Yıllardır yapılan çalışmalar sonucunda yüzey pürüzlülüğünün oluşumunda etkin parametreler belirlenmiş hatta bununla ilgili ampirik denklemler üretilmiştir.

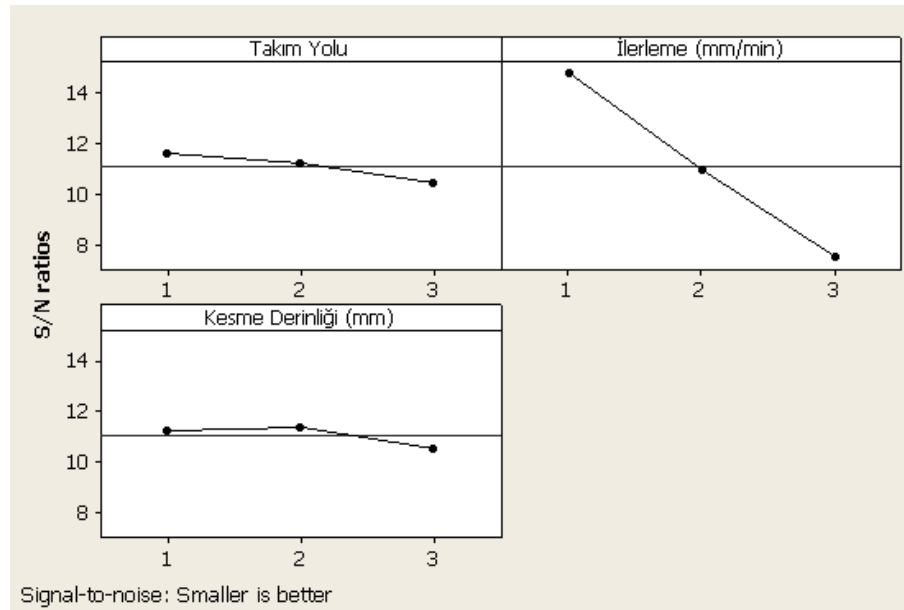
$$R_a = \frac{f \cdot r^2 \cdot 1000}{4D} \quad (\text{III.6})$$

Burada, Ra: yüzey pürüzlülüğünü, f : ilerleme, r ise uç yarıçapını ve D : kesici takımın çapını ifade etmektedir[23]. Denklem III.6'da görüldüğü gibi, Ra yüzey pürüzlülüğü değeri, ilerlemenin artışı ile artmakta, kesici takım uç yarıçapının artması ile de azalmaktadır. Ancak bu, çok genel bir denklemdir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar bu denklemle örtüşmüştür. Genel olarak, elde edilen pürüzlülük değeri, 0.157-0.435 μm arasında olmuştur ki bu değerler beklentileri karşılamaktadır. Yüzey pürüzlülük değerinin işleme parametrelerine göre S/N oranları aşağıdaki Tablo III.8 ve Şekil III.11'de sunulmuştur.

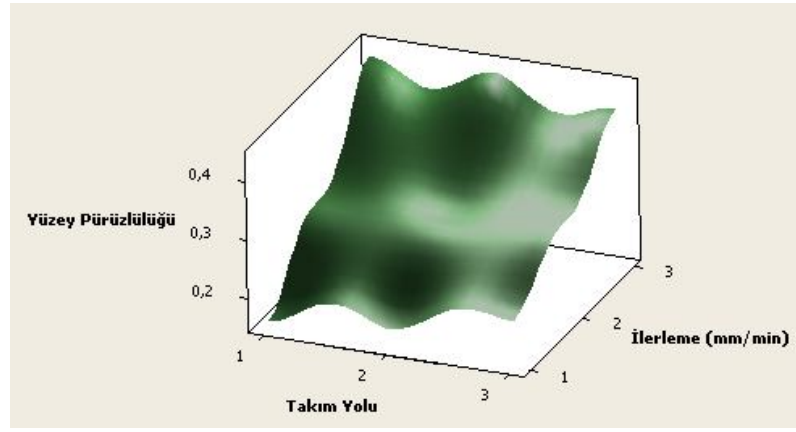
Tablo III.8 ve Şekil III.11’de görüldüğü gibi, yapılan dokuz deneyde elde edilen S/N oranına göre takım yolu zig-zag, ilerleme 150 mm/min ve talaş derinliğinin de 0.75 mm olduğunda en iyi yüzey kalitesinin elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, Ra’daki değişimin ilerleme ve takım yolundan hayli etkilenmekle birlikte, tamamen bu parametrelere bağlı olmadığını göstermektedir. Diğer parametreler ve etkileri Taguchi ile optimizasyon ve ANOVA bölümlerinde detaylı olarak incelenecektir.

Tablo III.8. Yüzey pürüzlülük değerlerinin S/N oranları

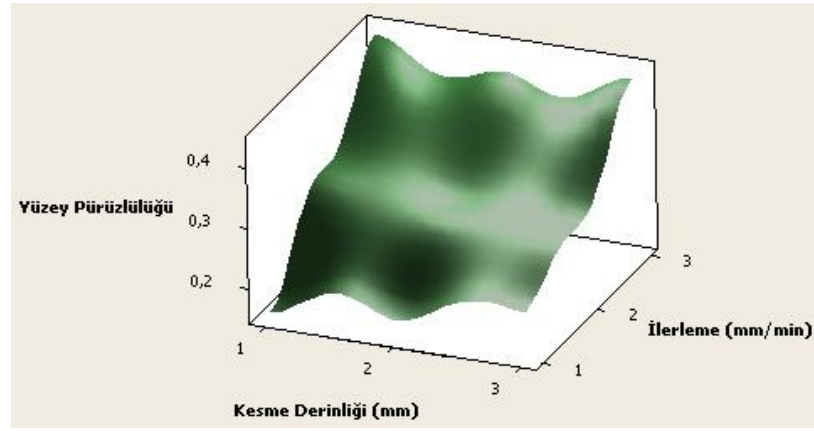
Seviye	A(Takım Yolu)	B (İlerleme mm/min)	C(Talaş Derinliği mm)
1	11,570	14,781	11,247
2	11,211	10,973	11,432
3	10,444	7,470	10,546
$\Delta_{\max-\min}$	1,126	7,311	0,886
Rank	2	1	3



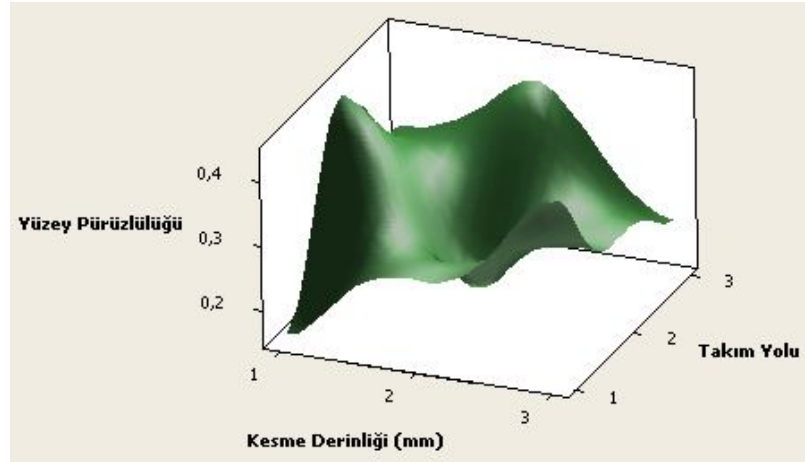
Şekil III.11. Yüzey pürüzlülük değerlerinin S/N oranları



Şekil III.12. Takım Yolu ve İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğüne etkileri



Şekil III.13. Kesme Derinliği ve İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğüne etkileri



Şekil III.14. Kesme Derinliği ve Takım Yolunun Yüzey Pürüzlülüğüne etkileri

III.4.1.2. Kesme Kuvveti Sonuçları Değerlendirilmesi

Kistler dinamometre kullanılarak gerçekleştirilen kesme kuvveti ölçümleri ile elde edilen sonuçlar, kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkisinin anlaşılması açısından belirleyici olmuştur. Deneysel çalışmada elde edilen kesme

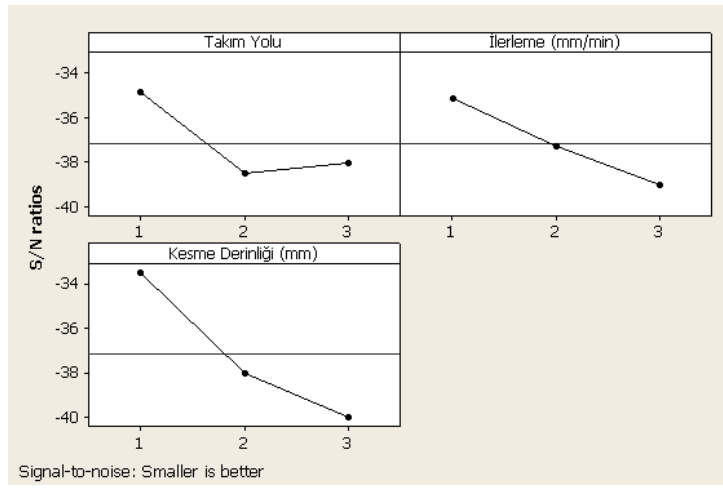
kuvveti neticelerinden maksimum kesme kuvvetleri dikkate alınmıştır. Kesme kuvvetlerinin iyi tayin edilmesi hem iş parçası hem de kesici takım açısından önemlidir. Çünkü kesme kuvvetleri hem iş parçasını hem de kesici takımı etkilemektedir. Kesme kuvvetlerinin sadece kesici takım aşınmasına değil, aynı zamanda iş parçasında meydana gelen gerilmelere ve hatta üretilen ürünün boyutsal doğruluğuna da etkisi vardır. Bu bağlamda, bir malzemenin işlenebilirliğinin tayininde, o malzeme üzerinden talaş kaldırma esnasında gerekli kesme kuvvetlerinin en uygun seviyelerinin tayin edilmesi kaçınılmaz bir gerekliliktir. Kesme esnasında kesme kuvvetlerinin büyüklüğünde en etkin parametrelerden biri kesici takım uç yarıçapı diğeri ise talaş derinliği olarak kabul edilebilir. Yıllardır yapılan bilimsel araştırmalar ve imalat sanayindeki tecrübeler bunu göstermektedir. Ancak, bunlar genel kabullerdir, imalat sanayindeki gelişmeler ve özellikle iş parçası olarak kullanılan malzeme özellikleri, kesici takım kaplama türleri ve işleme koşulları da kesme kuvvetinin oluşumunda etkili olan faktörlerdir.

Genel olarak, elde edilen kesme kuvveti değerleri, 27,84-114,94 N arasında olmuştur ki bu değerler beklentileri karşılamaktadır. Kesme kuvveti değerinin işleme parametrelerine göre S/N oranları aşağıdaki Tablo III.8 ve Şekil III.11’de sunulmuştur.

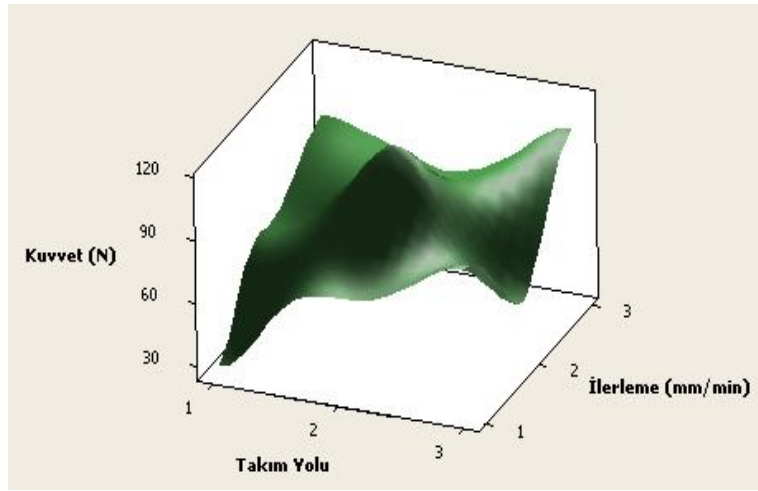
Tablo III.9 ve Şekil III.15’de görüldüğü gibi, yapılan dokuz deneyde elde edilen S/N oranına göre takım yolu spiral, ilerleme 200 mm/min ve talaş derinliğinin de 0.25 mm olduğunda en düşük kesme kuvvetinin elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, kesme kuvvetindeki değişimin ilerleme oranı ve kesme devrinin artışından hayli etkilenmekle birlikte, tamamen bu parametrelere bağlı olmadığını göstermektedir.

Tablo III.9. Max. Kesme kuvveti değerlerinin S/N oranları

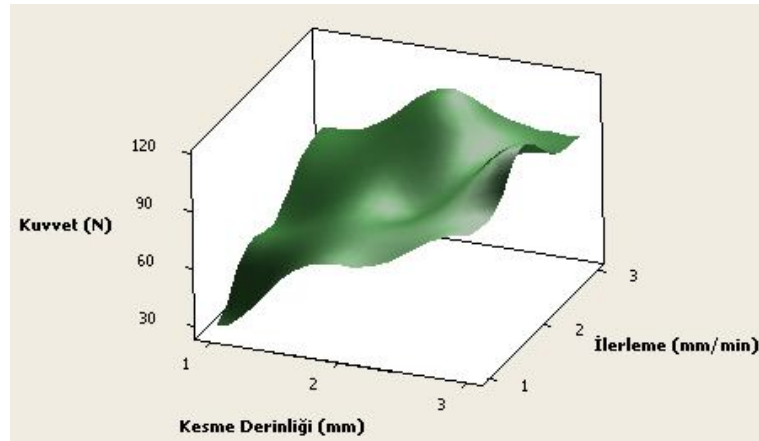
Seviye	A(Takım Yolu)	B (İlerleme mm/min)	C(Talaş Derinliği mm)
1	-34,87	-35,15	-33,47
2	-38,54	-37,28	-38,01
3	-38,07	-39,05	-40,00
Delta	3,66	3,89	6,53
Rank	3	2	1



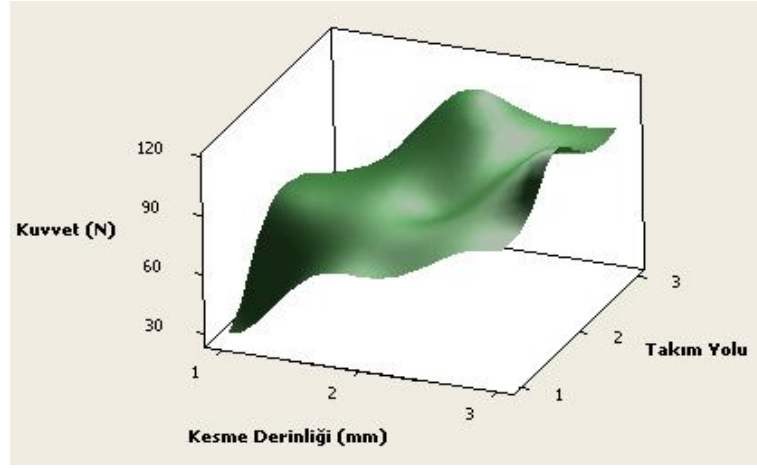
Şekil III.15. Max. Kesme kuvvetlerinin S/N oranları



Şekil III.16. Takım Yolunun ve İlerlemenin Kesme Kuvvetine etkileri



Şekil III.17. Kesme Derinliğinin ve İlerlemenin Kesme Kuvvetine etkileri



Şekil III.18. Kesme Derinliğinin ve Takım Yolunun Kesme Kuvvetine etkileri

III.4.1.3. ANOVA ile Parametrelerin Değerlendirilmesi

PMD 23 Soğuk iş çeliği malzemesinin tornalanmasında üç değişik faktör, üç değişik seviyede kullanılarak dokuz deney yapılmış ve bu deneylerin her birinden farklı Ra yanıt değerleri ölçülmüştür. Bu farklılıkların tamamen tesadüf mü yoksa faktörlerden mi kaynaklandığı ve her faktörün bu yanıtta etkisini belirlemek için varyans analizi kullanılmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin varyans analizi sonuçları Tablo III.10’da sunulmuştur. Tablo III.10’da görüldüğü gibi, PMD 23 malzemesinin TiAlN kaplamalı kesici takımlarla işlenmesi sonucu işlenen yüzeydeki pürüzlülüğün oluşumunda en etkili faktör % 98.04 ile ilerlemedir.

Tablo III.10. Ra değerlerine göre ANOVA sonuçları

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F oranı	Yüzde Oran (%)
A	2	0,000839	0,000419	0,56	0,95
B	2	0,086550	0,043275	57,72	98,04
C	2	0,000891	0,000445	0,59	1,00
Hata (e)	2	0,001500	0,000750		0,01
Toplam	8	0,089779			100

Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin varyans analizi sonuçları Tablo III.11’de sunulmuştur. Tablo III.11’de görüldüğü gibi, PMD 23 malzemesinin TiAlN

kaplamalı kesici takımlarla işlenmesi sonucu işlenen yüzeydeki pürüzlülüğün oluşumunda en etkili faktör % 63.95 ile kesme derinliğidir.

Tablo III.11. Kesme kuvveti değerlerine göre ANOVA sonuçları

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F oranı	Yüzde Oran (%)
A	2	1105,6	552,8	4,49	18,90
B	2	1003,1	501,6	4,07	17,13
C	2	3741,5	1870,7	15,19	63,95
Hata (e)	2	246,3	123,2		0,02
Toplam	8	6096,5			100

F dağılışı hipotezine göre yapılan varyans analizinde, 0.05 α düzeyine göre tablo değerleri kullanılmıştır. Güven aralığı % 95 seçilmiştir. Bu durumda, A,B ve C faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü oluşumuna istatistiksel ve fiziksel etkisi olduğu görülmektedir.

III.4.1.4. Regresyon Modeli ile Ra Tahminsel Denklem Oluşturulması

Talaş kaldırma için kullanılan kontrol faktörleri (Takım yolu, ilerleme ve talaş derinliği) ile yanıt (Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti) arasında tahmini denklem oluşturma ve bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Bu deneysel çalışma için elde edilen Ra denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Yüzey Pürüzlülüğü} = 0,0236 + 0,0117 A + 0,120 B + 0,0055 C + (\varepsilon) \quad (\text{III.7})$$

$$R^2 = 0,965$$

$$\text{Kuvvet (N)} = - 20,0 + 11,1A + 12,9B + 24,8C + (\varepsilon) \quad R^2 = 0,89 \quad (\text{III.8})$$

Bu denklemde A takım yolu, B ilerleme ve C talaş derinliğini sembolize etmektedir. Ayrıca, ε hatayı ifade etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü denklemini belirleme katsayısı R^2 değeri 0.965 olarak elde edilmiştir. Kesme kuvveti denklemini belirleme katsayısı R^2 değeri 0.89 olarak elde edilmiştir. R^2 değerinin 1 e yaklaşması, tahmin modelinin gerçek ilişkiye yakınlığını ifade etmekte ve 0.8 ve üzeri olması durumunda kuvvetli ilişki olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen tahminsel denklemde R^2 0.8 üzeri olduğu için kabul edilebilir sınırlar içindedir ve kuvvetli ilişkiye sahiptir.

III.4.1.5. Doğrulama Deneyleri ve Sonuçları

Tahmini optimal modelde ortaya çıkan deney şartları, doğrulama amaçlı yapılmıştır. Güvenilirliğin sağlanabilmesi için doğrulama deneyi üç kez tekrar edilmiştir. Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçları ve tahmin modelinde çıkan sonuç aşağıda Tablo III.12’de sunulmuştur. Tablo III.12’de görüldüğü gibi, doğrulama deneyi neticesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 0.207 μm . Tahmin modelinde sunulan sonuç ise 0.193 μm idi.

Tablo III.12. Tahmin edilen Ra değeri ile doğrulama deneyi sonuçlarının kıyaslanması

	Tahmin Edilen	Deney sonucu
Seviye	A ₂ B ₁ C ₃	A ₂ B ₁ C ₃
Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (μm)	0,193	0,207

Tablo III.13’da görüldüğü gibi, doğrulama deneyi neticesinde elde edilen ortalama kesme kuvveti değeri 61,18 N. Tahmin modelinde sunulan sonuç ise 57,57 N idi. Bu sonuçlar göstermiştir ki, Taguchi optimizasyon yöntemi ile talaşlı imalatta imalat performansını arttırmaktadır. Yapılan çalışma neticesinde, Taguchi optimizasyon tekniğinin başarı ile uygulandığı görülmektedir. Böylece, PMD 23 Soğuk iş çeliği malzemesinin TiAlN kaplamalı kesici takımlarla işlenmesinde oluşan yüzey pürüzlülük değeri 0.207 μm ‘a ve kesme kuvveti 61,18 N’a kadar indirilebilmiştir.

Tablo III.13. Tahmin edilen kesme kuvveti değeri ile doğrulama deneyi sonuçlarının kıyaslanması

	Tahmin Edilen	Deney sonucu
Seviye	A ₃ B ₂ C ₁	A ₃ B ₂ C ₁
Ortalama Kesme Kuvveti değerleri (N)	57,57 N	61,18 N

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

PMD 23 soğuk iş çeliği malzemesinin TiAlN kaplamalı uçlarla işlenebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada faydalı neticeler elde edilmiştir. İşlenebilirlik için incelenen kriterler, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti olmuştur. Bu kriterlerin en ideal şartlarda gerçekleşmesinde etkili olduğu düşünülen üç kontrol faktörü (takım yolu, ilerleme ve talaş derinliği) üç farklı seviyede seçilmiş ve deneysel çalışmada uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- PMD 23 soğuk iş çeliği malzemesinin TiAlN kaplamalı kesici takımlarla işlenmesinde, işlenmiş yüzeyde oluşan pürüzlülük değerinde en etkili kontrol faktörü ilerlemedir. Yüzey pürüzlülüğü oluşumunda her üç kontrol faktörü (takım yolu, talaş derinliği ve ilerleme) de etkili olmuştur. Çalışmaya göre en uygun yüzey pürüzlülük değerine, takım yolu zig-zag, ilerleme 150 mm/min, ve talaş derinliği 0.5 mm de ulaşılmıştır.
- Kesme kuvvetinin oluşumunda her üç kontrol faktörü (takım yolu, talaş derinliği ve ilerleme) de etkili olmuştur. Çalışmaya göre en uygun kesme kuvveti değerine, takım yolu spiral, ilerleme 200 mm/min, ve talaş derinliği 0.25 mm de ulaşılmıştır.
- Taguchi optimizasyon tekniği, PMD 23 Soğuk iş çeliği malzemesinin işlenebilirliği deney tasarımında ve parametrelerin optimizasyonu ile karşılık değerlerin istenilen oranlarda seyretmesinde etkili bir teknik olduğu yapılan çalışma ile görülmüştür.
- Varyans analizi (ANOVA) ile, deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların oluşumunda hangi kontrol faktörünün ne kadar önem derecesine sahip olduğu başarılı bir şekilde belirlenmiştir. Buna göre yüzey pürüzlülüğüne % 98.04 etkisiyle ilerleme, kesme kuvvetine ise % 63.95 etkisiyle talaş derinliği etkin parametreler olarak dikkat çekmektedir.

- Regresyon analizi ile, böyle bir deneysel çalışma için Ra tahminsel denklemi % 96,5 doğruluk ile ve kesme kuvveti tahminsel denklemi % 89 doğruluk ile elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kris M.Y. L., Geddam, A.; Ostafiev, V.A.: “A process-design approach to error compensation in the end milling of pockets”, *Journal of Materials Processing Technology*, 89–90, (1999), 238–244.
- [2] Toh, C.K.: “A study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling”, *Journal of Materials Processing Technology*, 152, (2004), 346–356.
- [3] Sotiris, L.O.; Nearchoub, A. C.: “An epitrochoidal pocket—A new canned cycle for CNC milling machines”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25, (2009), 73–80
- [4] Pateloup, V.; Duc, E.; Ray, P.: “Corner optimization for pocket machining”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44, (2004), 1343–1353.
- [5] Hinduja, S.; Roaydi, A.; Philimis, P.; Barrow, G.: “Determination of optimum cutter diameter for machining 2.-O pockets”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41, (2001), 687–702.
- [6] Hinds, B.K.; Ong, T.S.: “End milling of circular pockets to meet geometric tolerances”, *Journal of Materials Processing Technology*, 152, (2004), 339–345.
- [7] Kang, M.C.; Kim, K.H.; Shin, S.H.; Jang, S.H.; Park, J.H.; Kim, C.: “Effect of the minimum quantity lubrication in high-speed end-milling of AISI D2 cold-worked die steel (62 HRC) by coated carbide tools”, *Surface & Coatings Technology* 202, (2008), 5621–5624.
- [8] Nurul Amina, A.K.M.; Dolaha, S.B.; Mahmuda, M.B.; Lajis, M.A.: “Effects of workpiece preheating on surface roughness, chatter and tool performance during end milling of hardened steel D2”, *Journal of Materials Processing Technology*, 201, (2008), 466–470.
- [9] Branda, L.C.; Coelhob, R. T.; Rodriguesc, A. R.: “Experimental and theoretical study of workpiece temperature when end milling hardened steels using (TiAl)N-coated and PcBN-tipped tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 199, (2008), 234–244.
- [10] Koshy, P.; Dewes, R.C.; Aspinwall, D.K.: “High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (58 HRC)”, *Journal of Materials Processing Technology*, 127, (2002), 266–273.

- [11] Tsao, C.; Hocheng H.: “comparison of the tool life of tungsten carbides coated by multi-layer TiCN and TiAlCN for end mills using the taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 123,(2002),1-4.
- [12] Arsecularatne, J.A., Zhang, L.C.; Montross, C.; Mathew, P.: “On machining of hardened AISI D2 steel with PCBN tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 171,(2006),244–252.
- [13] Ghani, J.A.; Choudhury, I.A.; Masjuki, H.H.: “ Performance of P10 TiN coated carbide tools when end milling AISI H13 tool steel at high cutting speed”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154,(2004),1062–1066.
- [14] Abou-El-Hossein, K.A.; Kadirgama, K.; Hamdi, M.; Benyounis K.Y.: “ Prediction of cutting force in end-milling operation of modified AISI P20 tool steel” *Journal of Materials Processing Technology*, 182,(2007),241–247.
- [15] Coldwell, H.; Woods, R.; Martin, P.; Philip, K.; Richard, D.; David ,A.: “ Rapid machining of hardened AISI H13 and D2 moulds, dies and press tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 135, (2003), 301–311.
- [16] Orhan, S.; Er, A. O.; Camuşcu, N.; Aslan, E.: “ Tool wear evaluation by vibration analysis during end milling of AISI D3 cold work tool steel with 35 HRC hardness”, *NDT&E International*, 40,(2007),121–126.
- [17] Gologlu C.; Sakarya N.: “The effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 206,(2008), 7–15.
- [18] Akkurt, M.: “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları”, *Birsan Yayınevi*, (2004).
- [19] Şahin, Y.: “Talaş Kaldırma Prensipleri 1”, *Nobel Yayın Dağıtım*, (2000).
- [20] Gülmez, S. :“Bor Alaşımli Çeliklerin Alın Frezelenmesinde Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi”, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, (2003).
- [21] SME Publication Committee : “Tool & Manufacturing Engineers Hand Book”, Third Edition, Dallas, D:B., *MC Graw Hill Book Company*, Michigan, (1976).
- [22] Aslan, Ö.S.: “Freze Tezgahında Talaş Kaldırma İşlemine Etki Eden Faktörlerin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, İstanbul, Türkiye, (2000).

[23] Bakır, B.: ‘‘ CNC Freze Tezgahlarında Kullanılan Karbür Parmak Freze Takımı Geometrisinin İşlenebilirliğe Etkilerinin İncelenmesi’’, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek LİSANS Tezi*, (2005).

ÖZGEÇMİŞ

1 Kasım 1976 tarihinde Kahramanmaraş'ın Türkoğlu ilçesinde doğdu. İlk ve ortaöğretimimi Kahramanmaraş'ta tamamladı. Marmara Üniversitesi Talaşlı İmalat Teknolojisi Öğretmenliğini 1996 yılında bitirdikten sonra, bir süre özel sektörde çalıştı. 1998 yılında Milli Eğitim Bakanlığında öğretmen olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevini yapmaktadır.