

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

**CNC TORNA TEZGAHINDA 17-4 PH PASLANMAZ
ÇELİĞİN İŞLEME PARAMETRELERİNİN DENEYSEL
OLARAK BELİRLENMESİ**

**Ali KALYON
(Teknik Öğretmen)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Mustafa AY**

İSTANBUL 2010

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

**CNC TORNA TEZGAHINDA 17-4 PH PASLANMAZ ÇELİĞİN
İŞLEME PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK
BELİRLENMESİ**

**Ali KALYON
(522408001)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Mustafa AY**

İSTANBUL 2010

ÖNSÖZ

Günümüz üretim teknolojisinde, rekabet şartları düşük maliyetli yüksek kalitede ürünler ortaya koyma zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Talaşlı imalat ile ilgili pek çok çalışmanın olduğu bir ortamda bu çalışma iş parçası kesme kuvvetlerinin parçanın kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi ve optimizasyonu üzerinde çalışılmış, ürün kalitesinde iyileştirilmeye gidilmiştir.

Bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim, tezimin hazırlanması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen tez danışmanım sayın Yrd.Doç.Dr. Mustafa AY'a ve tez çalışmalarım boyunca maddi ve manevi büyük desteğini gördüğüm sayın Doç.Dr. Halil DEMİR hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Deney ortamının sağlanmasındaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Barkın BAKIR'a teşekkür ederim.

Temmuz, 2010

Ali KALYON

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER	vii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER	x
TABLolar	xii
BÖLÜM I GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM II GENEL BİLİGİLER.....	3
II.1 PASLANMAZ ÇELİKLER.....	3
II.1.1. Paslanmaz Çeliklerin Genel Özellikleri.....	3
II.1.2. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri	4
II.1.2.1. Korozyon Dayanımı.....	4
II.1.2.2. Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar.....	4
II.1.2.3. İmalat Kolaylığı	4
II.1.2.4. Mekanik Dayanım.....	4
II.1.2.5. Görünüm	4
II.1.2.6. Hijyenik Özellik.....	4
II.1.2.7. Uzun Ömür	5
II.1.3. Paslanmaz Çelik Türleri.....	5
II.1.3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler	6
II.1.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	7
II.1.3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	8
II.1.3.4. Östenitik-Ferritik (dubleks) Paslanmaz Çelikler.....	9
II.1.3.5. Çökme Sertleşmesi (Yaşlandırma) Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler.....	10
II.1.4. Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalatı	11

II.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	13
BÖLÜM III. TALAŞLI İMALAT	17
III.1. TALAŞLI İŞLEMLERİN İMALAT TEKNİĞİNDEKİ YERİ	17
III.2. TALAŞ KALDIRMA VE TAKIM TEZGAHLARININ GELİŞMESİ	18
III.3. KESİCİ TAKIMLARIN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ	20
III.4. METAL KESME TEKNİĞİ	24
III.4.1. Talaş Oluşumu ve Talaş Geometrisi	24
III.4.2. Talaş Tipleri	25
III.4.2.1. Sürekli Talaş (Akma Talaş)	26
III.4.2.2. Süreksiz Talaş (Kesintili Talaş)	26
III.4.2.3. Kaleme Yapışan Talaş	27
III.4.3. Talaş Şekilleri	28
III.4.4. Kesme Kuvvetleri	28
III.4.4.1. Kesme kuvvetlerini etkileyen faktörler	31
III.4.5. Yüzey Pürüzlülüğü	33
III.4.5.1. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü	33
III.4.5.2. Tabii yüzey Pürüzlülüğü	34
III.4.6. Talaş Kaldırmada Isı Oluşumu	35
III.4.7. Talaş Kaldırmada Sıcaklık Dağılımı	35
III.4.8. Takım Aşınması	37
III.4.9. Aşınma Mekanizmaları	38
III.4.9.1. Sürtünme İle Aşınma	38
III.4.9.2. Yayınma (Difüzyon) İle Aşınma	39
III.4.9.3. Yorulma ile aşınma	39
III.4.9.4. Yapışma ile aşınma	40
III.4.10. Aşınma şekilleri	40
III.4.10.1. Serbest (Yan) Yüzey Aşınması	41
III.4.10.2. Çentik Aşınması	42
III.4.10.3 Krater Aşınması	42
III.4.10.4. Tali Yan Yüz Aşınması	42

III.5. İŞLENEBİLİRLİK VE İŞLENEBİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	43
III.5.1. İŞLENEBİLİRLİK	43
III.5.1.2. İşlenebilirliğin ölçülmesi	45
III.5.1.2.1. İşlemeli deneyler	45
III.5.1.2.2. İşlemesiz deneyler	46
III.5.2. Çelikte işlenebilirliği etkileyen faktörler	47
BÖLÜM IV. TEZ ÇALIŞMALARI	48
IV.1.DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN TEZGAH, CİHAZ ve ALETLER	48
IV.1.1. CNC Torna Tezgahı	48
IV.1.2. Kuartz Dinamometre (CNC Torna Tezgahı için)	50
IV.1.3. Yük Amplifikatörü	51
IV.1.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti	51
IV.1.5. İş Parçası	52
IV.1.6. Kullanılan Kesici Uçlar	54
IV.2. DENEY TASARIMLARI	54
IV.3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	56
IV.3.1. Yüzey Pürüzlülüklerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi .58	
IV.3.2. Kesme Kuvveti Sonuçları Değerlendirilmesi	63
IV.3.3 Anova İle Parametrelerin Değerlendirilmesi	68
IV.3.4. Regresyon Modeli ile Ra Tahminsel Denklem Oluşturulması	70
IV.4. Doğrulama Deneyleri	71
BÖLÜM V. SONUÇ VE TARTIŞMA	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	78

ÖZET

CNC TORNA TEZGAHINDA 17-4 PH PASLANMAZ ÇELİĞİN İŞLEME PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Talaşlı üretim, imal usulleri içerisinde en önemli üretim tekniğidir. Tüm konvansiyonel ve modern üretim tekniklerinin geniş ölçüde kullanıldığı günümüz endüstrisinde; kesme koşulları ve takım geometrisi gibi işlem girdilerinin proses performansının ölçütleri olan işlem kararlılığı, takım aşınması, takım deformasyonu, yüzey hatası ve yüzey yapısını nasıl etkilediğini anlamak önemlidir.

Tornalamada kesme kuvvetleri dinamiği özellikle NC ve CNC operasyonlarında optimal kontrol için kesme koşullarının tanımlanmasında belirleyici rol oynar. Sınır kesme kuvvetleri, ortalama kesme kuvvetleri ve bu ortalama kuvvetlerdeki değişimlere ilişkin bilgiler, proses performansının optimize edilmesinde kesme işlem öncesi üretim mühendisine yardımcı olur.

Bu çalışmada, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin PVD kesici takımlarla tornalanmasında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü deneysel olarak incelenmiştir. İlerleme oranı, takım köşe radüsü ve talaş derinliği, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır. Tornalama prosesinin 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 17-4 PH alaşım malzemesinin PVD kaplama ile optimal işlenebilirliği tayin edilmiştir.

Temmuz 2010,

Ali KALYON

ABSTRACT

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MACHINING PARAMETERS OF 17-4 PH STAINLESS STEEL IN CNC TURNING

Metal cutting is the most important manufacturing technique among the production methods. As with all conventional and modern machining processes widely used in today's Industry, it is important to understand how the process inputs such as cutting conditions and tool geometry, affect such measures of process performance as process stability-tool wear- tool breakage and surface texture.

Dynamics of cutting forces in turning play a decisive role in determining the cutting condition for optimal control especially in NC and CNC operations. Knowledge of the peak cutting forces and variations of these average forces can aid production engineer " in optimizing the performance of the process well" ahead of the cut.

In this study, an experimental investigation on cutting forces and surface roughness in turning of 17-4 PH stainless steel using PVD coated cutting tools is presented. The influence of feed rate, tool peak radius, depth of cut on surface roughness and cutting force have been examined. In order to optimize the turning 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 between dependent parameters and independent parameters has been modeled by Regression analysis. The optimal Machinability of 17-4 PH stainless steel with PVD coated insert has been successfully determined in this study.

July 2010,

Ali KALYON

SEMBOLLER

TiC	: Titanyum Karbür
TiN	: Titanyum Nitrür
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
V	: Kesme Hızı
u	: İlerleme Hızı
V_e	: Etken Hızı
α	: Serbest Açı
β	: Kama Açısı
γ	: Talaş Açısı
r	: Yuvarlatma Yarıçapı
\emptyset	: Kesme Açısı
b	: Talaş Geniliği
t₀	: Talaş Kalınlığı
t_c	: Deforme Edilmiş Talaş Kalınlığı
V_c	: Takımın Parçadan Uzaklaşma Hızı
R	: Talaş Kaldırma Kuvveti
F_c	: Kesme Kuvveti
F_s	: Düzlem Boyunca Kesme Kuvveti
θ	: Düzleme Göre R Tarafından Oluşturulan Açı
K_{AB}	: Düzlem Boyunca Kesme Gerilmesi
F_T	: Kesme Doğrultusu İçindeki Kuvvet
I	: Eğim Açısı
η_c	: Talaş Akma Açısı
α_n	: Normal Talaş Açısı
F_f	: İlerleme Kuvveti
F_R	: Radyal Kuvvet
C_s	: Kesme Kenarı Yanal Açısı
r_s	: Kavis Yarıçapı
Q_m	: İkincil Deformasyon Bölgesi Boyunca Sürtünmeli Isı Oluşumu
Q_s	: Birincil Deformasyon Bölgesi Boyunca Geçen Malzemedeki Sıcaklık Artışı

- Q₀** : İş Parçası Başlangıç Sıcaklığı
σ_n : Normal Gerilme
τ : Kesme Gerilmesi
τ_y : Malzeme Akma Gerilmesi
KB : Krater Genişliği
KM : Krater Merkezinin Uca Uzaklığı
KT : Krater Derinliği
VB_B : Serbest Yüzey Aşınma Bölgesinin Genişliği
VB_N : Çentik Profil Uzunluğu
C : Taylor sabiti
T : Takım Ömrü (dak)
B : Malzemenin Isıl İletkenliği
L : İşleme Boyuna Bağlı Uzunluk
Ar : Çekme Deneyi Sonunda Malzemenin Kesit Alanındaki % Daralma
l_{cn} : Malzemelerin Karbon Miktarı İle Tabii Temas Uzunluğu
R_a : Ortalama Pürüzlülük değeri (μm)
R_t : Pürüzlülük Yüksekliği (μm)
R_z : Ortalama Pürüz Yüksekliği

KISALTMALAR

CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
AISI	: Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
Al	: Alüminyum
DLC	: Elmas Benzeri Karbon
ANOVA	: Varyans Analizi
ISO	: Milletlerarası Standart Teşkilatı
ANSI	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BSD	: Malzemenin Brinell Sertlik Değeri
CNC	: Bilgisayar Kontrollü Tezgah
LED	: Light Emitting Diyote
DIN	: Deutsches Institut für Normung
ISO	: International Standart Organisation
PVD	: Fiziksel Buhar Çökertme
HR_C	: Rockwell C Sertliği

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil II.1 Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları	6
Şekil II.2. Bazı paslanmaz çelik türlerinin iç yapıları	8
Şekil II.3. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler.....	11
Şekil III.1. Torna klemi	20
Şekil III.2. Torna takımının çalışma düzeneği.....	21
Şekil III.3. Takım geometrisini tayin eden düzlemler	22
Şekil III.4. Talaş oluşumunda kart modeli ve dik kesmenin şematik gösterimi	24
Şekil III.5. Talaş oluşumunda kart modeli ve dik kesmenin şematik gösterimi	25
Şekil III.6. Talaş tipleri	26
Şekil III.7. Kesintili talaş oluşumuna talaş açısının etkisi	27
Şekil III.8. Talaş şekilleri ve işlenebilirlik etkisi	28
Şekil III.9. Kesme düzlemi modeliyle kesme kuvvetleri.....	29
Şekil III.10. Eğik kesmede talaş oluşum modeli ve tornalamada kesme kuvvetleri.....	30
Şekil III.11. Pirinç-Bakır, Demir-Çelik için kesme Hızı-Kesme kuvvetleri ilişkisi	32
Şekil III.12. Yuvarlak uçlu bir takım için yüzey pürüzlülüğünün ideal modeli	34
Şekil III.13. Dik kesmede ısı oluşumu.....	35
Şekil III.14. Dik kesme sırasında talaş parçası arasındaki sıcaklık dağılımı	35
Şekil III.15. Kesme hızının talaş kaldırmada oluşan ısı üzerine etkisi (Teorik).....	36
Şekil III.16. Takım aşınma yüzeyindeki gerilmelerin şematik gösterimi	37
Şekil III.17. Talaş kaldırmada temel aşınma mekanizmaları.....	38
Şekil III.18. Torna kaleminde aşınma şekilleri	41
Şekil III.19. Kontrol Halkası Şeklinde Gösterilen Talaş Kaldırma İşlemeleri.	44
Şekil IV.1. CNC Torna Tezgahı	48
Şekil IV.2. Deney düzeneği.....	49
Şekil IV.3. Dinamometre-Amplifikatör-Kart-Bilgisayar çevrimi	50
Şekil IV.4. Kuartz dinamometre.....	50
Şekil IV.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	51
Şekil IV.6. Deneyde kullanılan iş parçaları.....	52
Şekil IV.7. Deneyde kullanılan kesici uçlar	54

Şekil IV.8. Kontrol faktörlerine karşılık gelen S/N oranları	59
Şekil IV.9. Talaş derinliğinin ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri	59
Şekil IV.10. Talaş derinliğinin ve uç köşe radüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkileri.....	59
Şekil IV.11. Uç köşe radüsünün ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri	60
Şekil IV.12. Kontrol faktörlerine karşılık gelen S/N oranları	61
Şekil IV.13. Talaş derinliğinin ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri	61
Şekil IV.14. Uç köşe radüsünün ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri	62
Şekil IV.15. Talaş derinliğinin ve uç köşe radüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkileri.....	62
Şekil IV.16. Kontrol faktörlerine karşılık gelen S/N oranları	64
Şekil IV.17. Talaş derinliği ve ilerlemenin kesme kuvvetine etkisi.....	64
Şekil IV.18. Uç köşe radüsünün ve ilerlemenin kesme kuvvetine etkisi	65
Şekil IV.19. Talaş derinliği ve uç köşe radüsünün kesme kuvvetine etkisi	65
Şekil IV.20. Kontrol faktörlerine karşılık gelen S/N oranları	66
Şekil IV.21. İlerlemenin ve uç köşe radüsünün kesme kuvvetine etkisi	66
Şekil IV.22. Talaş derinliği ve ilerlemenin kesme kuvvetine etkisi.....	67
Şekil IV.23. Talaş derinliği ve uç köşe radüsünün kesme kuvvetine etkisi	67

TABLO LİSTESİ

SAYFA NO

Tablo III.1. Talaş Açısı ve Kesme Kuvvetleri Arasındaki İlişki	33
Tablo IV.1. Malzemenin kimyasal içeriği	53
Tablo IV.2. Deney parametreleri (24 HR _C)	55
Tablo IV.3. L ₉ Deney tasarımı (24 HR _C)	55
Tablo IV.4 Deney parametreleri (36 HR _C)	56
Tablo IV.5. L ₉ Deney Tasarımı (36 HR _C)	56
Tablo IV.6. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm), Kesme Kuvveti (N), Sertlik (HR _C) değerleri (24 HR _C)	57
Tablo IV.7. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm), Kesme Kuvveti (N), Sertlik (HR _C) değerleri (36 HR _C)	57
Tablo IV.8. Ra değerlerinin S/N oranları (24 HR _C)	58
Tablo IV.9. Ra değerlerinin S/N oranları(36 HR _C)	59
Tablo IV.10. Kesme kuvveti değerlerinin S/N oranları (24 HR _C)	63
Tablo IV.11. Kesme kuvveti değerlerinin S/N oranları (36 HR _C)	66
Tablo IV.12. Ra değerlerine göre ANOVA sonuçları (24 HR _C)	68
Tablo IV.13. Ra değerlerine göre ANOVA sonuçları (36 HR _C)	69
Tablo IV.14. Kesme kuvveti değerlerine göre ANOVA sonuçları	69
Tablo IV.15. Kesme kuvveti değerlerine göre ANOVA sonuçları	70
Tablo IV.16. 24 HR _C Yüzey Pürüzlülüğü İçin Optimal Sonuçları	71
Tablo IV.17. 24 HR _C için Kesme Kuvveti İçin Optimal Sonuçları	72
Tablo IV.18. 36 HR _C Yüzey Pürüzlülüğü İçin Optimal Sonuçları	72
Tablo IV.19. Kesme Kuvveti İçin Optimal Sonuçları	72

BÖLÜM I

I. GİRİŞ VE AMAÇ

Talaşlı imalat yıllardır önemini korumakta olup, bu alanda yapılan çalışmalar ise imalat firmaları tarafından yakinen takip edilmektedir. Her imalatın bir maliyeti ve bu maliyeti belirleyen faktörler vardır. Kesici takım ve iş parçası maliyetini; talaşlı imalattaki en önemli faktörlerden sayılabilir. Dolayısıyla üretim maliyetini düşürüp, ürünü daha ucuza mal etmek için bu faktörleri dikkate almak gerekmektedir.

Kesici takımın daha uzun ömürlü olabilmesi ve iş parçasının ise istenilen kalitede üretilerek hammadde israfını önlemek için, kesme performansı ve şartlarını optimize etme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için, kesici takımların ömrüne tesir eden etkenler ile iş parçasının kalitesinin belirlenmesinde etkili olan etkenler bilim adamları tarafından araştırılmaktadır. Uzun yıllardır yapılan çalışmalar göstermektedir ki; tornalamada kesici takım ömrünü ve iş parçası kalitesini etkileyen birçok parametre ve durum vardır. Kesici takım ömrü ve üretilen ürünün kalitesini etkileyen faktörler, kesici takımın geometrik özellikleri, kesici takım uç açısı, yaklaşma açısı, ilerleme oranı, kesme hızı, talaş derinliği, kaplamalar, soğutma sıvısı, talaş kırıcı formu, iş parçası ve kesici takımdaki rijitlik oranı vs. gibi parametreler hem kesici takım ömrünü hem de üretilen ürünün kalitesini etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin, iş parçası malzeme özelliğine uygun olarak seçilmesi; kesici takım ömrünü ve üretilen ürünün yüzey kalitesini arttırarak, üretim maliyetini, ve sarf edilen enerjiyi azalmaktadır. Tüm bunlar dikkate alındığında, tornalamada iş parçası malzeme özelliğine uygun kesme parametrelerinin seçilmesinin önemi görülmektedir.

İmalat prosesinde dikkat edilmesi gereken konulardan biride, imalat süresince çevreye verilen zararı mümkün olduğunca azaltabilmektir. Çevreyle uyumlu ürünlerin gözde olduğu günümüz dünyasında, bu ürünler üretim sürecinde de

mümkün olduğunca çevreyle uyumlu ortamlar oluşturmak ve bu ortamlarda imalatı gerçekleştirmek gerekmektedir. Bu durumda, talaşlı imalatta kuru işleme ön plana çıkmaktadır. Böylece, soğutucu sıvıların çevreye vereceği zarar ortadan kaldırılmış olacaktır. Soğutucu sıvı kullanmaksızın imalat yapabilmek ise güçtür. Soğutucu sıvılar sayesinde iş parçası ile kesici takım arasında, sürtünmeden dolayı oluşan ısı azaltılmakta ve soğutucu sıvılar; kesme prosesinde oluşan talaşların kesme bölgesinden uzaklaşması ve kırılmasına yardımcı olmaktadır. Soğutucuların kullanılmaması yukarıda bahsedilen problemlerin oluşmasına neden olacaktır. Bu problemlerin en aza indirgenebilmesi için, kaplama teknolojilerinden yararlanılmaktadır. İş parçasının özellikleri dikkate alınarak kaplanmış kesici takımla yapılan imalatta, ısı oluşumu ve talaş birikintisi aşağı çekilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada farklı uç köşe radüslerine sahip PVD kaplamalı kesici takımlar kullanılarak 17-4 PH paslanmaz çeliğinin malzemesi üzerinden talaş kaldırılmıştır.

BÖLÜM II GENEL BİLGİLER

II.1 PASLANMAZ ÇELİKLER

II.1.1. Paslanmaz Çeliklerin Genel Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptirler. Kullanımları giderek yaygınlaşan paslanmaz çeliklerin tüketimi, artık toplumlarda refah seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır. Dünyada her yıl 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir. Bunların büyük çoğunluğu yassı mamul biçimindedir. Daha az miktarlarda ise; çubuk, tel, boru, dövme parça ve döküm parça olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır, ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar. Dolayısıyla parçanın tüm ömrü dikkate alınarak yapılacak fiyat analizlerinde, tasarımlarda paslanmaz çelik kullanımının daha ekonomik olduğu görülür.

Paslanmaz çelikler bileşimlerinde en az %11 krom içeren bir çelik ailesidir. Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan unsur; yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının bulunmasıdır. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı pasif davranarak indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dayanım kazanırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilere (aşınma, kesme veya talaşlı imalat vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur.

II.1.2. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

II.1.2.1. Korozyon Dayanımı

Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltileri ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Bu çelikler ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir.

II.1.2.2. Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar

Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklarda dahi tufallanma ve malzemenin mekanik dayanımında önemli bir düşme görülmez. Bazı türleri ise çok düşük sıcaklıklarda dahi gevrekleşmezler ve tokluklarını korurlar.

II.1.2.3. İmalat Kolaylığı

Paslanmaz çeliklerin hemen hepsi kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla biçimlendirilebilirler.

II.1.2.4. Mekanik Dayanım

Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu soğuk şekillendirme ile pekleşir ve dayanımın artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir. Bazı türlerde ise ısıl işlemler ile malzemeye çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkündür.

II.1.2.5. Görünüm

Paslanmaz çelikler çok farklı yüzey kalitelerinde temin edilebilirler. Bu yüzeylerin görünümü ve kalitesi, bakımı kolay olduğundan kolaylıkla uzun süre korunabilirler.

II.1.2.6. Hijyenik Özellik

Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilir olması, bu malzemelerin hastane, mutfak, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar.

II.1.2.7. Uzun Ömür

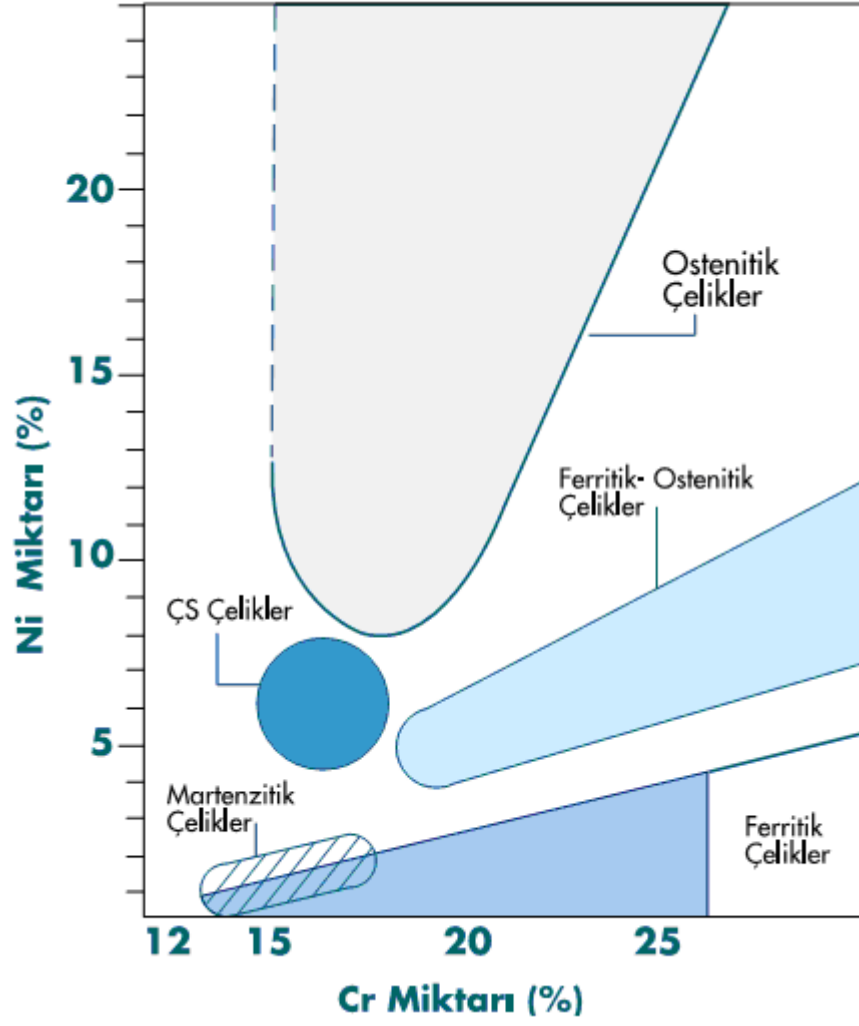
Paslanmaz çelikler dayanıklı ve bakımı kolay malzemeler olduklarından, üretilen parçanın tüm kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik malzemelerdir.

II.1.3. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Krom miktarı yükseltilecek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu şekilde makine tasarımcıları ve imalatçıları değişik kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. (Şekil II.1)

Paslanmaz Çelikler 5 ana grupta toplanırlar

- 1) Ferritik
- 2) Martenzitik
- 3) Östenitik
- 4) Ferritik-Östenitik (dubleks)
- 5) Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar



Şekil II.1 Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (Ç.S: Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar)

Bu gruplandırma malzemelerin içyapısına göre yapılmıştır. Bu gruplar içinde en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik çelikler olup, bunların kullanımları tüm paslanmaz çelikler içinde %95'e ulaşır.

II.1.3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bunlar düşük karbonlu ve %12-18 krom içeren paslanmaz çeliklerdir.

Başlıca Özellikleri:

- Orta ila iyi derecede olan korozyon dayanımı, krom miktarının artması ile iyileşir.
- Isıl işleme dayanım artırılmaz ve sadece tavllanmış durumda kullanılır.
- Manyetikler
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.

e) Östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilmezler.

Bazı kullanım Yerleri:

Mutfak gereçleri, dekoratif uygulamalar, otomobil şasi parçaları, egzoz elemanları, sıcak su tankları.

II.1.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Karbon miktarı %0,1 den fazla olan çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik içyapıya sahiptirler. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050 ° C arasındadır. Bu sıcaklıklarda tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde edilen yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile birlikte artar.

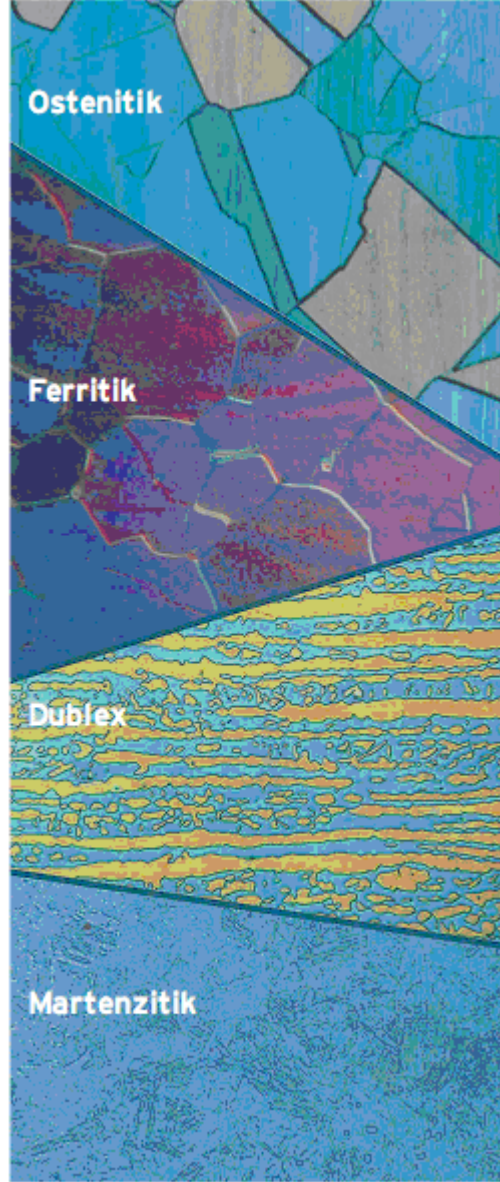
Ürün tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavllanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavllanmış olarak satın alınan ürünler biçim verildikten sonra ıslah işlemine (su verme + temperleme) tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek değişik özellik kombinasyonları elde edilebilir. En iyi korozyon dayanımını elde etmek için tavsiye edilen ısı işlem sıcaklıklarına uyulması çok önemlidir.

Başlıca Özellikleri

- a) Orta derecede korozyon dayanımına sahiptirler.
- b) Isıl işlem uygulanabilir, böylece yüksek dayanım ve sertlikler elde edilebilir.
- c) Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- d) Manyetikler.

Bazı Kullanım Alanları:

Bıçaklar, ameliyat aletleri, miller, pimler



Şekil II.2. Bazı paslanmaz çelik türlerinin içyapıları

II.1.3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliğin bileşiminde yeterince nikel bulunursa, içyapısı oda sıcaklığında dahi östenitik olur. Östenitik çeliklerin temel bileşimi %18 krom ve %8 nikeldir. Östenitik paslanmaz çelikler, biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun kombinasyon sunarlar. Süneklikleri, toklukları ve biçimlendirilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Manyetik olmayan bu çeliklere, östenitik içyapıları dönüşüm göstermediği için

normalleştirme veya sertleştirme ısıl işlemleri uygulanmaz, mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir.

Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde östenitik çeliklerin payı %70'tir ve aralarında en çok kullanılan 304 kalitedir.

Başlıca Özellikleri:

- a) Mükemmel korozyon dayanımına sahiptirler.
- b) Kaynak edilebilme kabiliyetleri mükemmeldir.
- c) Sünek olduklarından kolay şekillendirebilirler.
- d) Hijyeniktirler, temizliği ve bakımı kolaydır.
- e) Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahiptirler.
- f) Düşük sıcaklıklarda mekanik özellikleri mükemmeldir.
- g) Manyetik değildirler. (tavlanmış halde)
- h) Dayanımları sadece pekleşme ile artırılabilir.

Bazı Kullanım Alanları:

Makine ve imalat sanayinde çeşitli uygulamalar, asansörler, bina ve dış cephe kaplamaları, mimari uygulamalar, gıda işleme ekipmanları, mutfak gereçleri, kimya tesisleri ve ekipmanları, bilgisayar klavye yayları, mutfak evyeleri

II.1.3.4. Östenitik-Ferritik (dubleks) Paslanmaz Çelikler

Bunlar, yüksek oranda krom (%18-28) ve orta miktarda nikel (%4,5-8) içeren çeliklerdir. Nikel miktarı en çok %8 olup, bütün içyapının östenitik olması için yetersizdir. Ferrit ve östenit fazlarından oluşan içyapı nedeniyle çelikler dubleks olarak adlandırılır. Dubleks çeliklerin çoğunluğu %2,5-4 molibden içerir. Bunlar hem iyi mukavemet hem de iyi süneklik özelliklerini birlikte sağlarlar. Ayrıca korozif ortamlarda dahi çok uygun yorulma dayanımları vardır. Tavsiyelere dikkat ederek uygulanması halinde kaynak yapılması kolaydır. Genellikle kimyasal aparat imalatında, arıtma tesislerinde ve deniz veya off-shore teknolojisinde kullanılır.

Başlıca Özellikleri:

- a) Gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptirler.
- b) Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek korozif dayanım gösterirler.
- c) Östenitik ve ferritik çeliklerden daha yüksek mekanik dayanım sağlarlar.
- d) İyi kaynak edilebilirlik ve şekil alma kabiliyeti vardır.

Bazı kullanım alanları:

Deniz ve tuzlu su ortamında, özellikle orta sıcaklıklarda, ısı değiştiricilerinde, petrokimya tesislerinde.

II.1.3.5. Çökeltme Sertleşmesi (Yaşlandırma) Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler

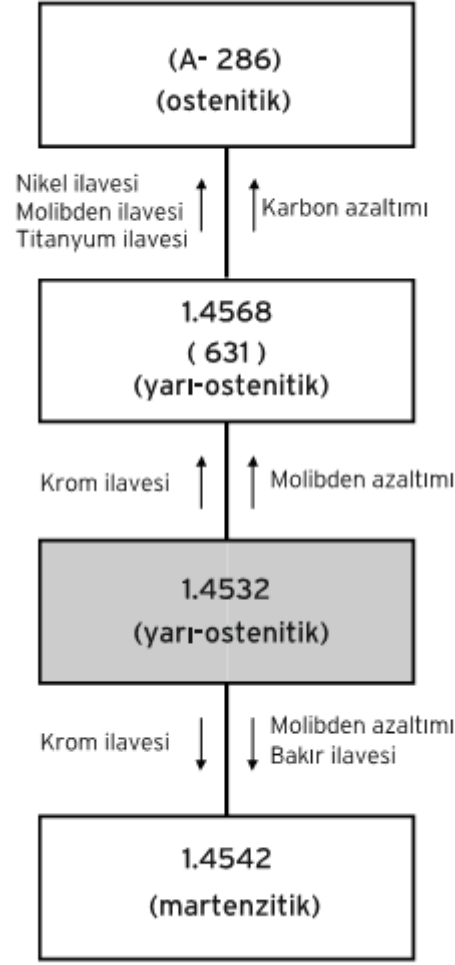
Bunların ana içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Çökeltme olayını gerçekleştirebilmek için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede mukavemetleri 1700 MP'a kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir. Piyasada çözme tavı görmüş halde satılır; Malzeme bu durumda yumuşak olup, imalat işlemleri uygulanabilir ve daha sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilir.

Başlıca özellikleri:

- a) Orta ila iyi derecede korozyon dayanımı vardır.
- b) Çok yüksek mekanik dayanım gösterirler.
- c) Kaynak edilebilme kabiliyetleri iyidir.
- d) Manyetikler

Genel Kullanım Alanları

Paslanmaz çeliğin çok değişik kalite ve özelliklerde temin edilebiliyor olması, bunların kullanımını da sürekli olarak yaygınlaştırmaktadır. Günümüzde artık ziynet eşyasından büyük sanayi tesislerine kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Günlük hayatımızda kullandığımız pek çok ürün bugün paslanmaz çelikten yapılmaktadır.



Şekil II.3. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler

II.1.4. Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalatı

Paslanmaz çeliklerin talaşlı imalatı, şekillendirmelerinde olduğu gibi yüksek mukavemetleri, pekleşme özellikleri ve sünekliklerinden dolayı karbon çeliklerine oranla daha zordur. Türler arasında büyük farklılıklar bulunmakla beraber, daha yüksek güç, daha düşük kesme hızı ve daha kısa takım ömrü yanında, kesme sırasında ortaya çıkan yüzey kalitesi sorunlar ve kesici takım üstünde malzeme birikmesi problemleri ortaya çıkabilmektedir.

Paslanmaz çeliklerin kesme işleminde titreşimlerin önlenmesi için takım tezgahı ve kesici takım rijitliği büyük önem taşır. Özellikle Ostenitik ve yüksek alaşımli türlerde sert ve sürekli talaş oluştuğu için, talaş kırıcısı ve kıvrıcısı taşıyan

takımlar veya plaketter tavsiye edilir. Çoğu uygulamada, aşınma dayanımları daha iyi olan karbürli kesici takımlar tercih edilir.

Kesilmekte olan malzemenin yüzeyinde oluşabilecek pekleşmenin önlenmesi için bazı hususlara dikkat etmek gerekir. Takımın kesme öncesinde yüzey üstünde hafif temas ile hareketi, yüzeyin hemen altındaki tabakada ezilmeye ve pekleşmeye, yüzeyin parlatılmasına ve takımın daha yüzeye dalmadan yanmasına yol açabilir. Ayrıca iş parçasında bir önceki işlemde (şekillendirme ve talaşlı imalat) gelen sertleşmenin talaş kaldırmaya etkisi hesaba katılmalıdır. Kesme sırasında oluşabilecek pekleşme, karbon çeliklerinkine göre daha düşük besleme ve kesme hızları ile önenebilir.

Düşük alaşımli martenzitik ve ferritik çeliklerin talaş kaldırılarak işlenmesi karbon çeliklerinkine çok benzer. Bu türlerin gevrek oluşu kırık talaş oluşmasını sağlar. 38 HR_C civarında su verilip temperlenmiş düşük alaşımli martenzitik çelikler kullanılarak boyut toleransları ve yüzey kalitesi çok iyi ürünler elde edilebilir.

Yüksek alaşımli martenzitik çeliklerde (420 ve 440 gibi) tavllanmış haldeki sertlik yüksek olduğundan, yüksek kromlu ferritiklerde (446 gibi) ise yüksek süneklikten ötürü talaş kaldırma zordur.

Ostenitik ve çökeltme sertleşmesi uygulanabilen çeliklerin işlenmesi ise malzemenin türüne göre büyük farklılıklar gösterir. En kolay talaş kaldırılabilen türler otomat çeliği sınıfında olanlardır. 304 ve 316 gibi Ostenitik çelikler tavllanmış halde 550-620 MPa çekme dayanımına sahiptir. Bu malzemelerde akma ile çekme dayanımları arasındaki büyük fark ve aradaki pekleşme sonucu kesme zorlaşır. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen çelikler ise Ostenitik, ferritik, martenzitik veya çift fazlı iç yapıda bulunabildiklerinden kesme özelliği de buna bağlı olarak çok değişir. Çoğu zaman martenzitik çeliklerde olduğu gibi ısı işlem ile sertleştirilip, daha sonra talaşlı işlenmeleri uygun olur. Alaşıma kükürt veya selenyum eklenmesi sonucu elde edilen 416, 430F ve 303 gibi otomat çeliklerinde talaşlı imalat, diğerlerine oranla çok daha kolay ve problemsizdir. Alaşım içinde mangan sülfür

formunda bulunan kükürt, kırık talaş oluşumunu sağlar ve kesici takım üstünde birikmeyi önler.

Selenyum ise çok iyi yüzey kalitesi elde edilmesini sağlar. Malzeme olarak diğerlerinden daha pahalı olan otomat paslanmaz çelikleri, kolay işlenebilmelerinin maliyette sağladığı düşüş ile önemli avantajlar sağlar. Bu malzemeler genel olarak %10'dan fazla talaş kaldıracığı zaman tercih edilmelidir. Malzeme seçiminde imalatın yanında kullanım özellikleri de dikkatte alınmalıdır. Korozyon dayanımı diğer paslanmazlara daha düşük olan otomat çelikleri, selenyumlu olan türler hariç soğuk kafa yığıma gibi şekillendirme işlemlerine uygun değildir.

II.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

H. Shao ve arkadaşları %3 kobalt ve %12 krom içeren paslanmaz çeliğin işlenebilirliği üzerine çalışmışlardır. %12 Krom içeren paslanmaz çeliklerin yüksek sertlikleri ve ısı dirençlerinden dolayı işlenebilirlikleri zordur. Yaptıkları çalışmada takım aşınma ve takım körelme nedenlerini araştırmışlardır. Küçük talaş açısının uzun takım ömrü sağladığını ve büyük talaş açısının daha iyi yüzey tamlığı sağladığını bulmuşlardır [1].

Wen – Tung Chien ve Chung-Shay Tsai yaptıkları çalışmada serbest yüzey aşınmasının önceden tahmin metodu ve optimum kesme parametreleri için optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Maksimum talaş kaldırma oranını sağlamak için serbest yüzey aşınması için önceden tahmin metodu ve optimize kesme koşulları için optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model ile optimum kesme şartlarında maksimum talaş oranını sağlamak için kullanılabilir. Oluşturulan model ile verimli bir şekilde optimum kesme şartları bulunmuştur [2].

Zdzislaw Klim ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada takım ömrünü belirlemeye yönelik yeni bir model geliştirmişlerdir. Oluşturulan model ile serbest yüzey aşınması dikkate alarak takım ömrünü analiz etmişlerdir. Oluşturulan metod sabit ve değişken ilerleme şartlarında takım performansının detaylı analizinin yapılmasını sağlamıştır [3].

Çiftçi İ. yapmış olduğu çalışmada östenitik paslanmaz çeliklerin çoklu kaplamalı CVD uçlarla kuru olarak işlenmesini incelemiştir. Yapmış olduğu deneyler sonucunda kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne önemli etkisi olduğunu bulmuştur [4].

Korkut İ. ve arkadaşları östenitik paslanmaz çeliğin sement karbür takımlarla optimum kesme hızında işlenebilmesini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada yüzey pürüzlülük değerinin artan kesme hızlarında azaldığını bulmuştur [5].

Şeker U. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada farklı oranlarda nikel ve bakır içeren sünek malzemelerin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetine olan etkisini araştırmışlardır. Yapmış oldukları deneyler sonucunda en iyi yüzey kalitesini ve kesme kuvvetleri sonucunu %7 nikel ve %0,7 bakır içeren numunelerde bulmuşlardır [6].

Tekiner Z. ve Yeşilyurt S. Yaptıkları çalışmada östenitik paslanmaz çelik için en iyi kesme şartlarını ve parametrelerini incelemiştir. Çalışmalarında kesme parametrelerinin değişmesiyle kesme ses basıncı seviyesinin değiştiğini gözlemlemiştir. Bu sebeple, kesme ses basıncı seviyesinin değişimine bağlı olarak bir ikaz sisteminin geliştirilebileceğini belirtmişlerdir[7].

A. Senthil Kumar ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada sertleştirilmiş martenzitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliğinin takım aşınmasına ve takım ömrüne olan etkisini incelemiştir. Çalışmaları sonucunda serbest yüzey aşınmasının takım ömrüne düşük hızlarda etki ettiğini buna karşılık krater ve çentik aşınması takım ömrüne yüksek işleme hızlarında etki ettiğini bulmuşlardır [8].

M.Y. Noordin ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada sertleştirilmiş martenzitik malzemeyi kuru olarak kaplamalı uçlarla işlenebilirliğini incelemiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda kesme hızının ve ilerlemenin takım aşınmasına etkisi olduğunu bulmuşlardır. Yan kesme kenar açısının -5 olduğu uçlarla düşük kesme hızı ve ilerlemelerde daha uzun takım ömrü olduğunu elde etmişlerdir [9].

W. Grzesik ve Z. Zalisz yapmış oldukları çalışmada sert çeliklerin işlenebilirliğini seramik takımlarla araştırmaları sonucunda takım serbest yüzey aşınmasının evvela takımın köşesinde ve daha sonra kesme kenarında oluştuğunu bulmuşlardır [10].

W.Y.H. Liew ve arkadaşları ultra hassas işlemlerde PCBN uçların aşınma davranışını incelemiştir. Deneyler sonucunda eğim yüzeyinde oluşan aşınmaların kesme kuvvetlerine ve işleme sırasında oluşan sıcaklığa bağlı olduğunu bulmuşlardır. PCBN uçtaki bağlayıcı oranını artırarak ve tane boyutunu azaltarak gözenekli yapının azalmasını sağlayarak böylece malzemenin sünekliği ve bağlama kuvveti artar ve dolayısıyla uçun aşınma direnci arttığını bulmuşlardır [11].

Turgut Y. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AISI 303 paslanmaz çeliklerin işlenmesinde, kesme hızı ve ilerlemenin talaş biçimine etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Yaptıkları deneyler ve ölçümler sonucunda, kesme hızının yüksek olması, talaşın artmasına sebep olmuştur. Talaş kalınlığının artması kesme düzlemi açısının küçülmesine aynı zamanda malzemenin daha zor deforme olmasına yol açarak kesme bölgesinde basıncın artmasına yol açarak kesme bölgesinde basıncın artmasına ve bu da titreşiminin, ısının ve kesme kuvveti değerinin büyümesine yol açtığını bulmuşlardır [12].

Yeyen H. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada AISI 303 paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kesme kuvvetinin azalmasının daha az titreşime dolayısıyla daha iyi yüzey kalitesi oluşmasına neden olduğunu belirlemiştir [13].

Özer A. Ve Bahçeci E. yapmış oldukları çalışmada AISI 410 martenzitik paslanmaz çeliğin işlenebilirlik özelliğini TiC-TiN, TiC kaplı sementit karbür, kaplamasız sementit karbür ve CBN kesici takımlarla işleyerek incelemiştir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda TiC+TiN kaplı sementit karbür takım en yüksek kesme kuvveti değerlerini vermiştir. CBN takım en düşük kesme kuvvetleri

vermesine karşın, kısa işleme mesafelerinde takımında kırılmalar meydana gelmiştir. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü bakımından optimum değerler karbür takım ile talaş kaldırma işleminde elde edilmiştir [14].

Nalbant A. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada takım kaplamalarının ve kesme hızının, kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırmışlardır. Bu amaçla Inconel 718 super alaşımını kuru olarak 3 farklı sement karbür takımlarla CNC torna tezgahında işlemişlerdir. Deneyler sonucunda asgari yüzey kalitesi tek katmanlı (TiN) kaplamalı sement karbür takımla elde edilirken maksimum yüzey pürüzlülüğü çoklu kaplamalı Al_2O_3 ile elde edilmiştir. Takımların burun uç geometrilerinin (yuvarlak ve radüs) yüzey pürüzlülüğüne etkisinin önemli derecede olduğu görülmüştür. Yuvarlak burun uç geometrisine sahip uçlar en iyi performansı sağlamıştır [15].

Kara F. yapmış olduğu çalışmada, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin ortogonal kesme şartlarında tormalanması esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel ve nümerik olarak analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla farklı kesme parametrelerinde, kaplamalı (TiCN+ Al_2O_3 +TiN ve Al_2O_3) ve kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılarak AISI 316L östenitik paslanmaz çelik için kesme deneyleri yapılmıştır. Kesme hızındaki %100' lük bir artışla birlikte bütün kesici takımlar için, asıl kesme kuvvetleri yaklaşık %15 oranında azaldığını ve kesme hızındaki artışla doğru orantılı bir biçimde kesme kuvvetlerinin de azaldığı bulmuştur [16].

Karagöl T. yapmış olduğu çalışmada, Al 7075 alaşımın DLC kaplamalı kesici takımlarla tormalanmasında 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. İşlenmiş yüzeyde oluşan pürüzlülük değerinde en etkili kontrol faktörünün ilerleme oranı olduğunu, kesme kuvvetinin oluşumunda kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme oranının etkili olduğunu bulmuştur [17].

BÖLÜM III. TALAŞLI İMALAT

III.1. TALAŞLI İŞLEMLERİN İMALAT TEKNİĞİNDEKİ YERİ

İmalatın amacı, ham madde halinde bulunan herhangi bir malzemeyi, belirli bir şekle dönüştürmektir. İmalat, insan ve hayvan gücü kullanılarak ilkel yöntemlerle veya mekanik enerji kullanılarak makinelerle yapılabilir. Makinelerin çoğunlukla kullanıldığı imalat sistemine sanayi denir. Toplumun, örneğin tarım, tekstil, gıda vs gibi herhangi bir üretim alanına tatbik edilebilen sanayi, ülkenin kalkınmasında ve ekonominin gelişmesinde önemli rol oynar.

İmalatın hedefi olan ürün, üretim araçları ile gerçekleştirilir. Çok geniş bir anlamda tüm üretim araçlarına takım tezgahı denilebilir. Ancak dar bir anlamda tüm üretim araçlarına sadece metal, plastik, ahşap ve taş gibi malzemeleri işleyen ve bunlara belirli bir şekil veren üretim araçlarına takım tezgahı denilir. Takım tezgahlarından en yaygın olanları metalik malzemeleri işleyen takım tezgahlarıdır.

Takım tezgahına bağlanan, belli bir geometriye sahip kesici takım aracılığıyla istenilen boyut ve biçimde parça üretilmesi veya iş parçasından fazla malzemelerin talaş şeklinde kaldırılma işlemine, özellikle iş parçası metal ise bu işlem “Talaş Kaldırma” işlemi olarak adlandırılır.

Herhangi bir imalat, şekil değişimine uğrayan malzemenin yanı sıra, imalat yönetimi, takım ve tezgah olmak üzere üç etkenin yardımı ile gerçekleşir. İmalat yöntemi, ham maddeye şekil vermek için uygulanan fiziksel olay; takım, imalat işlemi gerçekleştiren eleman; tezgah, imalat yöntemini gerçekleştirmek için hammaddeye ve takıma gereken hareketleri sağlayan makinedir. Tekniğin gelişmesi ile, bu konular kendi aralarında yapılan incelemelerin ve araştırmaların sonucu olarak ayrı ayrı gelişme göstermişler ve günümüzde, İmalat Yöntemleri, Takım Konstrüksiyonu ve Tezgah Konstrüksiyonu olarak ayrı ayrı bilim dallarını oluşturmuşlardır. Bunun yanı sıra, imalat işlemi kolaylaştırmak ve işlem kalitesini sağlamak amacı ile gerek parçaların, gerekse takımların tezgaha tutturulmasını

inceleyen Tutturma Tertibatı Konstrüksiyonu; bir parçaya nihai şekli vermek için, en yüksek prodüktiviteyi ve en düşük maliyeti sağlamak amacı ile uygulanması gereken imalat yöntemlerini inceleyen İmalat Teknolojisi; aynı kriterlere göre tüm fabrika çapında veya fabrikalardan kurulu holding ve karteller çapında imalat proseslerini inceleyen Fabrika Organizasyonu ve Yöneylem Araştırması gibi bilim dalları meydana gelmiştir.

İmalat yöntemleri, mekanik ve fiziksel-kimyasal olmak üzere iki büyük gruba ayırabiliriz. Bunlardan en önemlisi olan mekanik imalat yöntemleri, talaşlı ve talaşsız olmak üzere iki gruba ayrılır. Adı üzerinde talaşsız imalat yöntemleri, talaş kaldırmadan, talaşlı imalat yöntemleri ise talaş kaldırarak şekil veren yöntemlerdir.

Talaşsız imalat yöntemleri döküm, dövme, presleme, haddeme, çekme, derin çekme, sıvama, bükme, kaynak, lehim, yapıştırma ve perçinlemedir. Talaşlı imalat yöntemleri ise, tormalama, delik delme, delik işleme, kesme ve kanal açma, vida çekme, frezeleme gibi işleri kapsamaktadır. Fiziksel-kimyasal işleme grubuna elektro erozyon, tel erozyon, kimyasal, elektro-kimyasal, elektron, lazer ve plazma ile işleme gibi yöntemler girmektedir.

Çok kısa zamanda gerçekleştirilmelerine rağmen, talaşsız imalat yöntemleri, yüzey, boyut ve şekil kalitesi bakımından parçada istenilen kaliteyi sağlayamamaktadırlar. Bu nedenle, bu şekilde imal edilen parçaların yüzeylerinin bir kısmı veya tamamı, talaşlı imalat yöntemleri ile işlenmektedir. Bundan dolayı talaşlı imalat yöntemleri sıra bakımından birinci, talaşsız imalat yöntemleri ise ikincidir denilebilir [18].

III.2. TALAŞ KALDIRMA VE TAKIM TEZGAHLARININ GELİŞMESİ

Üretim aracı olarak takım tezgahlarının kullanılması insanlık tarihi ile başlar. Ancak 19. yüzyılın başlangıcında İngiltere ve diğer Batı Avrupa ülkeleri sanayi devriminin başlamasıyla, takım tezgâhları günümüzdeki anlamı ile hızlı bir gelişme göstermişler ve bu ülkelerde, sanayinin beklemediğini oluşturan güçlü bir takım tezgâhı sanayi kurulmuştur.

Sanayinin ilk aşamasında parçalar, tezgâhlarda kaba boyutları ile işleniyor ve sonra birbirleri ile çalışması (montajı) için elle alıştırmaya yapılıyordu. 19. yüzyılın ortalarında, parçaların değiştirilebilirlik ilkesinin bulunması, parçaların tezgâhlarda toleranslı olarak imal edilmesini sağlamış ve montajlar, elle alıştırmaya değil de, parçanın tezgâhlarda işlenmiş hali ile yapılabilmiştir. Bu buluş üretkenliği artırarak seri imalatın ilk etkeni olmuştur. 19. yüzyılın sonlarına doğru imalat teknolojisinin ve imalat organizasyonunun ilkelerinin tespiti ile seri imalat çağı başlamış, 1900 yılında, o tarihe kadar takımlar için kullanılan alışsız ve az çeliklerinin yanı sıra, Taylor tarafından hız çelikleri uygulamaya konulmuş, kesme hızlarında ve buna bağlı olarak üretimde büyük artışlar sağlanmıştır.

Bu şekilde lokomotifler, motorlar, türbinler, ucuz fiyata otomobiller, dikiş makineleri ve saatler daha çok imal edilmeye başlanmıştır. 1930'lu yıllarda sert karbürlerin bulunması, kesme hızlarını daha da artırarak daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesini sağlamıştır. Şöyle ki, bu gelişmelerin sonucu olarak atölyelerde başlayan usta ve işçilerin kişisel tecrübelerine dayanan talaş kaldırma olayı ampirik seviyeden bilim seviyesine ulaşmıştır. Bu hususta M.E. Merchant, F. W. Taylor ve M. Kronenberg gibi bilim adamlarının büyük katkıları olmuştur. Bu gelişmelere paralel olarak gerek takım gerekse tezgah konstrüksiyonunda önemli değişiklikler olmuş ve yine aynı yıllarda, üretimin artırılmasında önemli bir etken olan otomatik takım tezgahlarının imalatı başlamıştır.

Talaş kaldırma ve Takım tezgâhı alanındaki gelişmeler, özelliğinden dolayı, diğer gelişmeler; örneğin ulaşım, haberleşme, uzay, enerji alanındakiler gibi toplum tarafından sezilememekte ve takip edilememektedir. Ancak, yukarıda belirtilen tüm alanlardaki gelişmelerin gerçekleşmesini, takım tezgâhı alanındaki gelişmelerin sağladığı unutulmamalıdır.

Takım tezgâhlarında bu gelişmeyle birlikte güvenilirlik, verimli, hassas seri parçaların üretilmesi de kaplamalı karbür, seramik ve kübik bor nitrür gibi yeni kesici takım malzemelerinin de gelişmesine sebep olmuştur. Özellikle işleme

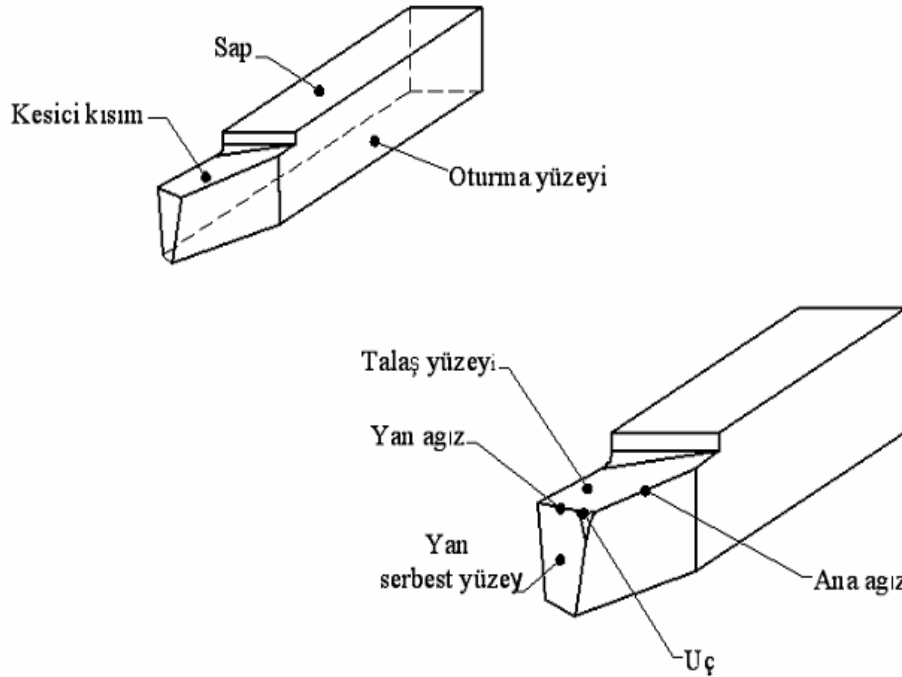
maliyetini azaltmak, takım ömrünü artırmak ve daha iyi yüzey kalitesi elde etme isteği talaş kaldırma alanında araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

III.3. KESİCİ TAKIMLARIN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ

Tornalama işlemlerinde kullanılan takımlar tek ağızlı takımlardır. Torna kalemleri, sap ve kesici kısımlardan meydana gelir. Kesici kısım; talaş yüzeyi, serbest yüzeyler, ana ağız, yan ağız ve uçtan oluşur (Şekil III.1). Sapın önemli olan yüzeyi, oturma yüzeyidir. Talaş yüzeyi, parçadan kaldırılan talaşın aktığı yüzeydir. Bazı hallerde bu yüzeyin ağza paralel olan tarafı kırılır, kırılan bu yüzeye talaş yüzeyinin eğik kenarı denir.

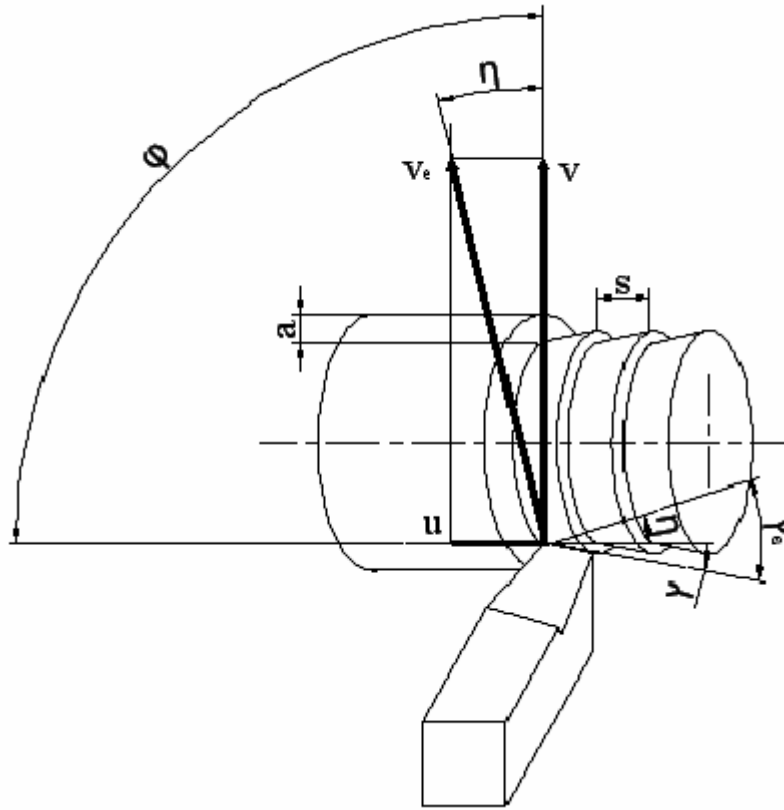
Serbest yüzeyler, takımın işlenen yüzeye doğru bakan yüzeyleridir. Bu yüzeylere ana serbest yüzeyi ve yardımcı serbest yüzeyi denir.

Ana ağız, takımın talaş kaldıran kesme kenarıdır. Bu kenar, ana serbest ve talaş yüzeylerinin kesişmesinden meydana gelir. Yan ağız, yardımcı serbest yüzey ile talaş yüzeyinin kesişmesinden oluşan ağızdır. Uç, ana ve yan ağzın birleştiği yerdir; uç belirli bir yarıçapa göre yuvarlatılır.



Şekil III.1 Torna Kalem

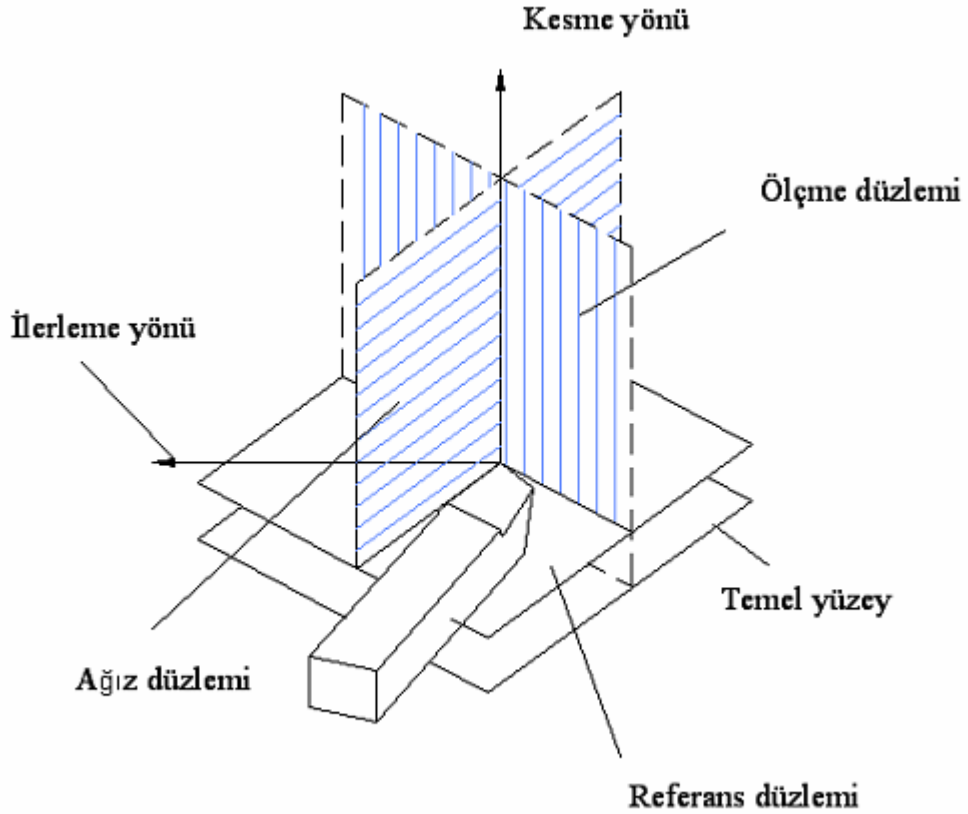
Dolayısıyla kesme ve ilerleme hareketinin sonunda, parça üzerinden kaldırılan talaşın izleri helis şeklide olacaktır. Talaş kaldırma sırasında, takımın parçaya göre konumu, kesme ve ilerleme yönleri ve bu yönlerde kesme hızı(v) ve ilerleme hızı (u) Şekil III.2.' de gösterilmiştir. Kesme ilerleme hareketlerinin bileşimi etken hareketini, bunların yönleri etki yönünü ve hızları da etken hızı (V_e) oluşturur. Etken hareketin esası bir helis hareketidir.



Şekil III.2 Torna Takımının Çalışma Düzeniği

Takımın kesici kısmının geometrisi belirli bir referans sistemine göre tayin edilir. Kesme yönünü esas alan takım referans sistemi ve etki yönünü esas alan etki referans sistemi olmak üzere iki referans sistemi vardır. Burada takımın açıları, takım referans sistemine göre ifade edilir. Bu referans sistemi Şekil III.2'de gösterildiği gibi; referans düzlemi, ağız düzlemi ve ölçme düzleminden oluşur.

Referans düzlemi; kesme yönüne dik, temel yüzeye paralel ve takım ağzının belirli bir noktasından geçen düzlem, ağız düzlemi; takımın ana ağzını ve kesme yönünü içeren ve referans düzleme dik olan düzlem, ölçme düzlemi; bu iki düzleme ve dolayısıyla ana ağza dik düzlemdir [19].



Şekil III.3. Takım Geometrisini Tayin Eden Düzlemler

Takım geometrisini tayin eden faktörler; (α) serbest açısı, (β) kama açısı, (γ) talaş açısı gibi ana açılar ve takım ucunun (r) yuvarlatma yarıçapıdır. Parçanın işlenmiş yüzeyine teğet bir doğru ve bu doğruya dik bir doğru koordinat sistemi olarak seçilirse bu koordinat sistemine göre teğet ile serbest yüzey (parçanın işlenmiş yüzeyine bakan yüzey) arasındaki açı (α) serbest açısı, dikey doğru ile talaşın temas ettiği talaş yüzeyi arasındaki açı (γ) talaş açısını meydana getirir. Kama şeklindeki kesici kısmın açısı da (β) kama açısını oluşturur. Bu açılar Şekil III.3'te torna kaleminin takım referans sistemine göre ölçme düzlemindeki kesitinde gösterilmiştir.

Bu açılar arasında:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (\text{II.1})$$

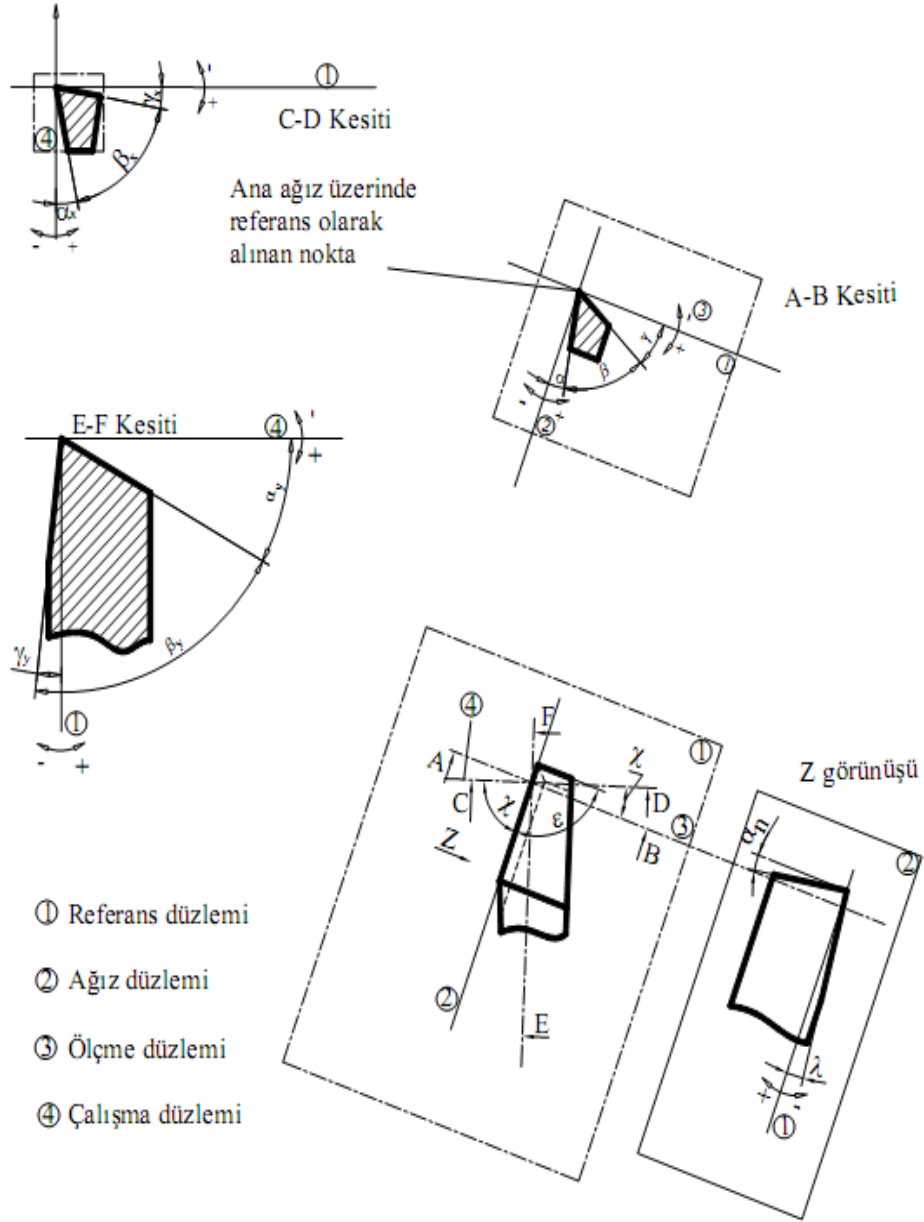
bağıntısı vardır.

Talaş açısı (γ) talaşın parçadan uzaklaşmasına, kama açısı (β) takımın parçaya nüfuz etmesini ve serbest açı (α) takımın işlenen yüzeye sürtünmemesini sağlar. Pratikte α açısı takım ve parça malzemesine bağlı olarak genellikle $\alpha=3^\circ-7^\circ$ arasında alınır. Dolayısıyla talaş kaldırma olayını esas olarak γ ve β açıları etkiler. Bu hususta (II.1) bağıntısı göz önüne alınırsa iki durum ortaya çıkar;

a) α açısı küçük, β açısı büyük ise; takımın ucu küt olduğundan malzemeye nüfuz etmesi zorlaşır, kesme kuvvetleri büyür, ısı oluşumu artar ve takımın ucu bozulur.

b) γ açısı büyük, β açısı küçük ise; takım ucu ince olduğundan malzemeye daha kolay nüfuz eder, daha küçük kesme kuvvetleriyle talaş kaldırır, talaş kolaylıkla akar ve takım daha yüksek kesme hızlarında kullanılabilir. Ancak uç ince olduğundan takımın mukavemeti azalır ve kırılma olasılığı artar.

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda kırılğan malzemeler için γ açısı küçük β açısı büyük; sünek malzemeler için γ açısı büyük, β açısı küçük seçilmelidir.



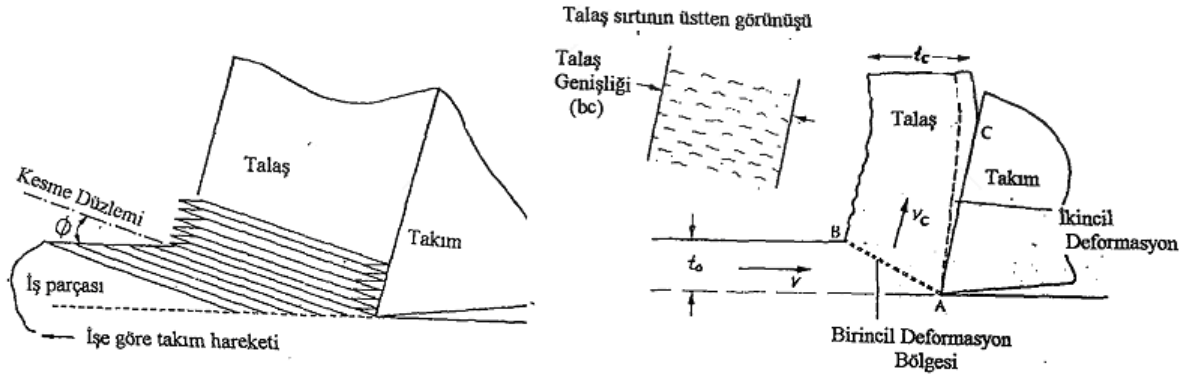
Şekil III.4 Torna kaleminin takım referans sistemine göre açıları

III.4. METAL KESME TEKNİĞİ

III.4.1. Talaş Oluşumu ve Talaş Geometrisi

Talaş oluşumu, Şekil III.5a'da gösterilen "kart modeli" teorisine göre birincil deformasyon bölgesi içinde oluşan belirli bir kesme düzlemi boyunca meydana gelir. Kesme düzlemine kadar malzeme elastik olarak uzatılır. İlk deformasyon, oluşan bu düzlem üzerinde başlar ve kesme yönüne yönelmiş ardışık kesme

düzlemleri boyunca devam eder. Kesme sırasında bu şekilde kaldırılan malzeme tabakasına “talaş” denir.



a) Talaş Oluşumunda Kart Modeli

b) Dik Kesmenin Şematik Gösterimi

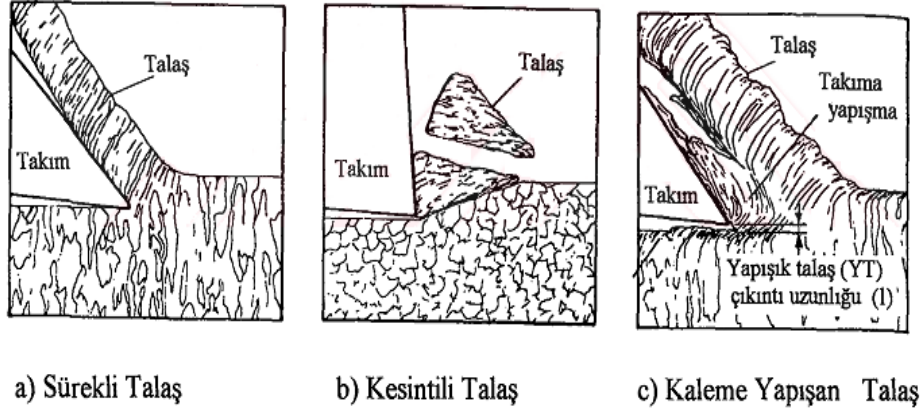
Şekil III.5. Talaş oluşumunda kart modeli ve dik kesmenin şematik gösterimi

Talaşın parça üzerinden ayrıldığı düzleme kesme düzlemi, bu düzlemin kesme yönü ile yaptığı açığa (\emptyset) kesme açısı denir. Kesme düzlemleri boyunca parçadan ayrılacak deforme edilmemiş talaşın genişliği (b) kalınlığı (t_0) ile ifade edilirken, oluşan talaşın kalınlığı (t_c) t_0 'den daha fazladır.

Talaş kaldırma sırasında takım, kesme yönünde (V) kesme hızı ile ilerler ve talaş, parçadan (V_c) hızı ile uzaklaşır. Takım yüzeyi boyunca yapışma ve sürtünme etkisiyle oluşan bölge ikincil deformasyon bölgesini oluşturur (Şekil III.5b).

III.4.2. Talaş Tipleri

Oluşan talaş tipleri büzülme faktörü, malzeme özellikleri, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve paso derinliğine göre değişir. Talaşın tipi, kesme şartları ve yüzey kalitesi hakkında bilgi veren bir faktördür. Talaş, oluşum mekanizmasına göre, sürekli, kesintili ve kaleme yapışan olmak üzere üç tip olarak meydana gelir.



Şekil III.6. Talaş tipleri

III.4.2.1. Sürekli Talaş (Akma Talaş)

Sabit şartlarda çoğunlukla sünek malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi sırasında makro düzeyde çatlaksız olarak meydana gelir (Şekil III.6a). Sürekli talaş, yüksek deformasyon nedeni ile sertleşir ve yüksek sertlik değerine ulaştığında takım aşınmasını artırır.

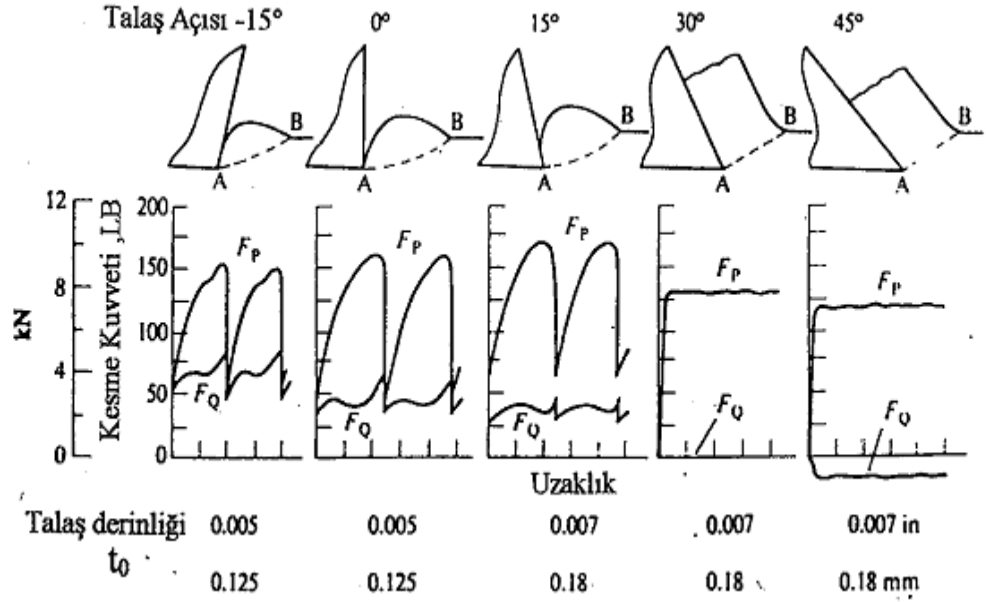
Eğer büzülme faktörü (r), $r=t_0/t_c=1/2$ civarında ise, sünek malzeme ve sürekli talaş için akma iyi yüzeye sonuçlanacaktır.

Sürekli talaşlar, bant şeklinde veya spiral ve değişik helisel şekillerde oluşmalarına rağmen, uzun talaş oluşumu kesme işlemini ve operatörü olumsuz etkilemesi bakımından istenmez.

III.4.2.2. Süreksiz Talaş (Kesintili Talaş)

Talaş oluşumu sırasında malzeme aşırı plastik deformasyona uğrar ve eğer malzeme kırılgansa kısmen şekillenen talaşla birlikte birincil deformasyon bölgesinde kırılma oluşur. Bu şartlar altında talaş dilimlenmiştir ve oluşan talaş kesintilidir (Şekil III.6b). Kesme sırasında değişen ayrılma hızı (V_c) sıkışmada en düşük, talaş kopmasında en büyük değeri alır. Takım talaş yüzeyinin yüklenmesi ise bunun tersinedir. Sürekli talaş tipine göre, periyodik değişen kesme kuvvetinin genliği büyük frekansı küçüktür.

Takımın talaş açısı da kesintili talaş oluşumunu etkiler. Örneğin, negatif talaş açısı ile işlenen pirinç malzemede oluşan kesintili talaş, büyük pozitif talaş açılarında sürekli talaşa dönüşür. İlerleme hızındaki ve kesme derinliğindeki artışla kesintili talaş oluşum eğilimi artar.



Şekil III.7 Kesintili talaş oluşumuna talaş açısının etkisi

Kesintili talaş genellikle, dökme demir ve dökme pirinç gibi sert malzemeler işlenirken veya düşük kesme hızıyla sünek malzeme işlenirken oluşur. Gevrek malzemelerde yüzey kalitesi iyi, kesme kuvveti düşük ve takım ömrü uygun olduğu halde, sünek malzemede yüzey kalitesi kötü, takım ömrü kısadır.

III.4.2.3. Kaleme Yapışan Talaş

Takım-İş parçası ara yüzeyindeki sıcaklığın düşük olduğu kesme hızlarında, kesme düzlemine dik açıdaki bir düzlem boyunca talaştan kopmalar oluşabilir. Takım yüzeyine yapışan kopmuş talaş parçacıkları talaştan ayrılır. Kesici takıma sinterlenerek yığılan bu parçacıklar kaleme yapışan talaş olarak isimlendirilir. Kritik bir boyuta ulaşıncaya kadar büyüyen bu yığıntı daha sonra talaşla birlikte ayrılır. Kesme hızındaki artışla birlikte takım-iş parçası ara yüzeyindeki sıcaklık artışı, yapışan talaşın boyutunu küçültür. Talaş gövdesinden ara yüzeye iletilen ısının, akma gerilmesinde azalışa sebep olacak ısıl yumuşamayı sağladığı anda yapışma kaybolur.

Yapışma, kesici takım ucunda kayma gerilmesinin ve etkin talaş açısının artmasına sebep olur. Kaleme yapışan talaşın kalıcı olması durumunda, kesici kenarı aşınmaya karşı korumasıyla birlikte aşırı sertleşmiş bu talaştan kopan parçaların talaşla birlikte akışı sürütürerek aşınmaya sebep olur. Bununla birlikte, temiz olmayan iş yüzeyleri, hatalı işleme ölçüleri, yapışık talaşın kopması sırasında kesici kenarın fazla yüklenmesi ve takımın yapışmayla aşınmasına sebep olur [20].

III.4.3. Talaş Şekilleri

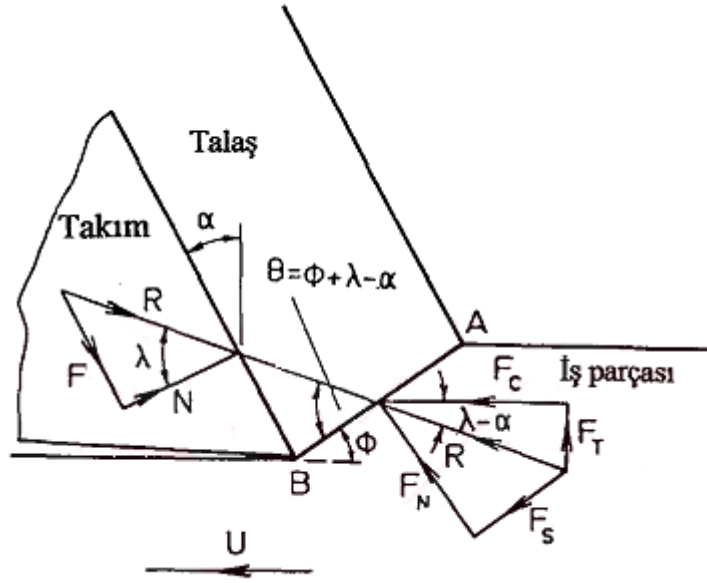
Tezgaah operatörünün çalışma şartlarında elde ettiği talaş şekilleri, işlenebilirlik açısından (operatör, verimlilik, tezgaah, işlenmiş yüzeyin bozulabilmesi vb.) rağmen talaşlı işlem açısından ideal talaşlar kısa spiral ve helisel şekilli talaşlardır. Uzun talaş oluşumu operatör için tehlikeli olmakla birlikte, talaşın kaldırılması için gereken zaman bakımından verimliliği azaltır, işlenen yüzeyi bozabilir.

			
Sürekli, karmaşık ve yassı helisel talaşlar.	Uzun helisel talaşlar.	Kısa helisel talaşlar.	Çok kısa talaşlar.
	İYİ		
KULLANILABİLİR			
OLUMSUZ			

Şekil III.8. Talaş şekilleri ve işlenebilirlik etkisi

III.4.4. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmek için kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı, kesici takıma talaş kaldırma kuvveti (R) uygulanır (Şekil III.10.). Kesme düzlemindeki kuvvetler; kesme kuvveti ;(F_c), takım-talaş ve takım-parça arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır.



Şekil III.9. Kesme düzlemi modeliyle kesme kuvvetleri

Dik kesmede kesme düzlemi modellerine göre, bir düzlem boyunca yayılmış olan bu kuvvetler AB kesme düzleminin ortasından tek bir kuvvet şeklinde tesir eder.

R, aşağıda verilen eşitliklere göre bileşenlerine ayrılır;

$$F_c = R \cdot \cos(\lambda - \alpha) \dots \dots \dots (III.1)$$

$$F_T = R \cdot \sin(\lambda - \alpha) \dots \dots \dots (III.2)$$

$$F = R \cdot \sin \lambda \dots \dots \dots (III.3)$$

$$N = R \cdot \cos \lambda \dots \dots \dots (III.4)$$

$$R = \frac{F_s}{\cos \theta} = \frac{K_{AB} \cdot t_0 \cdot b}{\sin \theta \cdot \cos \theta} \dots \dots \dots (III.5)$$

Burada;

F_s: AB boyunca kesme kuvveti

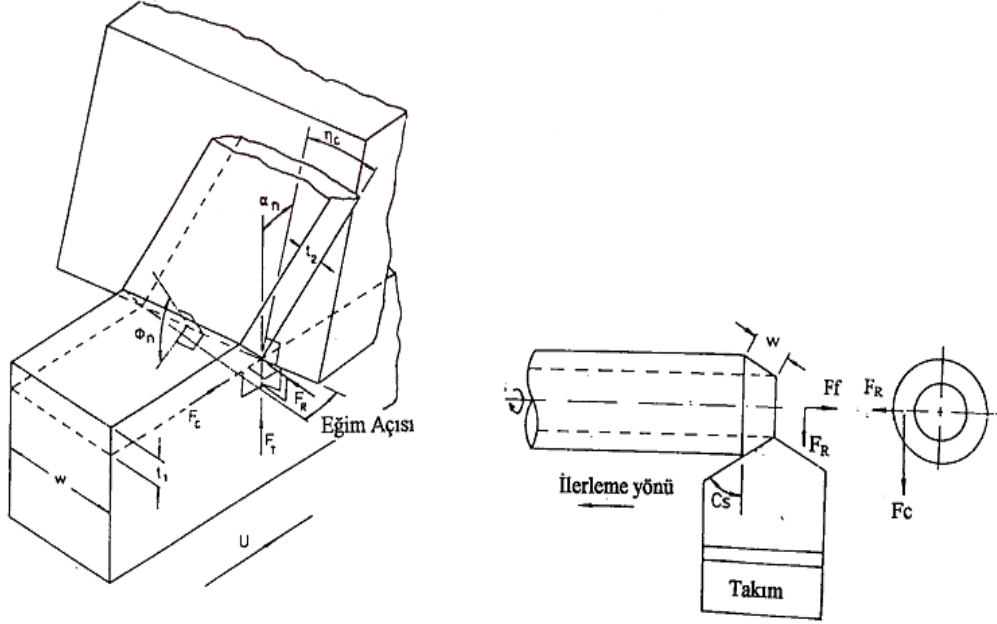
α: Takım talaş açısı

λ: Takım-talaş ara yüzeyinde esas sürtünme açısı

θ : AB'ye göre R tarafından oluşturulan açı

K_{AB}: AB boyunca kesme gerilmesi

F_c ve F_T kesme doğrultusu içindeki kuvvetlerdir ve F_T bu doğrultuya diktir. F ve N takım talaş ara yüzeyinde sürtünmeli ve normal kuvvetlerdir. Şekil III.11'de çoğu pratik kesme işlemlerinde uygulanan eğim açısı $I \neq 0$ için eğik kesmede talaş oluşum modeli ve kesme kuvvetleri gösterilmiştir.



a) Eğik kesmede talaş oluşum modeli

b) Tornalamada kesme kuvvetleri

Şekil III.10 Eğik kesmede talaş oluşum modeli ve tornalamada kesme kuvvetleri

$\alpha = \alpha_n$ ve $I = 0$ eşitliğiyle meydana gelen dik kesme şartlarında kesme kuvveti bileşenleri F_c ve F_T formül III.1 ve formül III.2 ile hesaplanabilir. Eğik kesme işleminde meydana gelen üçüncü bileşen (F_R) ise;

$$F_R = \frac{F_c(\sin I - \cos I \cdot \sin \alpha_n \cdot \tan \eta_c) - F_T \cos \alpha_n \cdot \tan \eta_c}{\sin I \cdot \sin \alpha_n \cdot \tan \eta_c + \cos I} \quad (\text{III.6})$$

Formülü ile bulunur.

Burada;

η_c : Talaş akma açısı

α_n : Normal talaş açısı

I : Eğim açısıdır.

Sonuçta eğik tornalama işlemlerinde meydana gelen kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvet (F_R) (Şekil III.11b);

$$F_c = R \cdot \cos(\lambda - \alpha) \dots\dots\dots(III.7)$$

$$F_f = F_T \cdot \cos C_s + F_R \cdot \sin C_s \dots\dots\dots(III.8)$$

$$F_R = F_T \cdot \sin C_s - F_c \cdot \cos C_s \dots\dots\dots(III.9)$$

Formülleri ile bulunur.

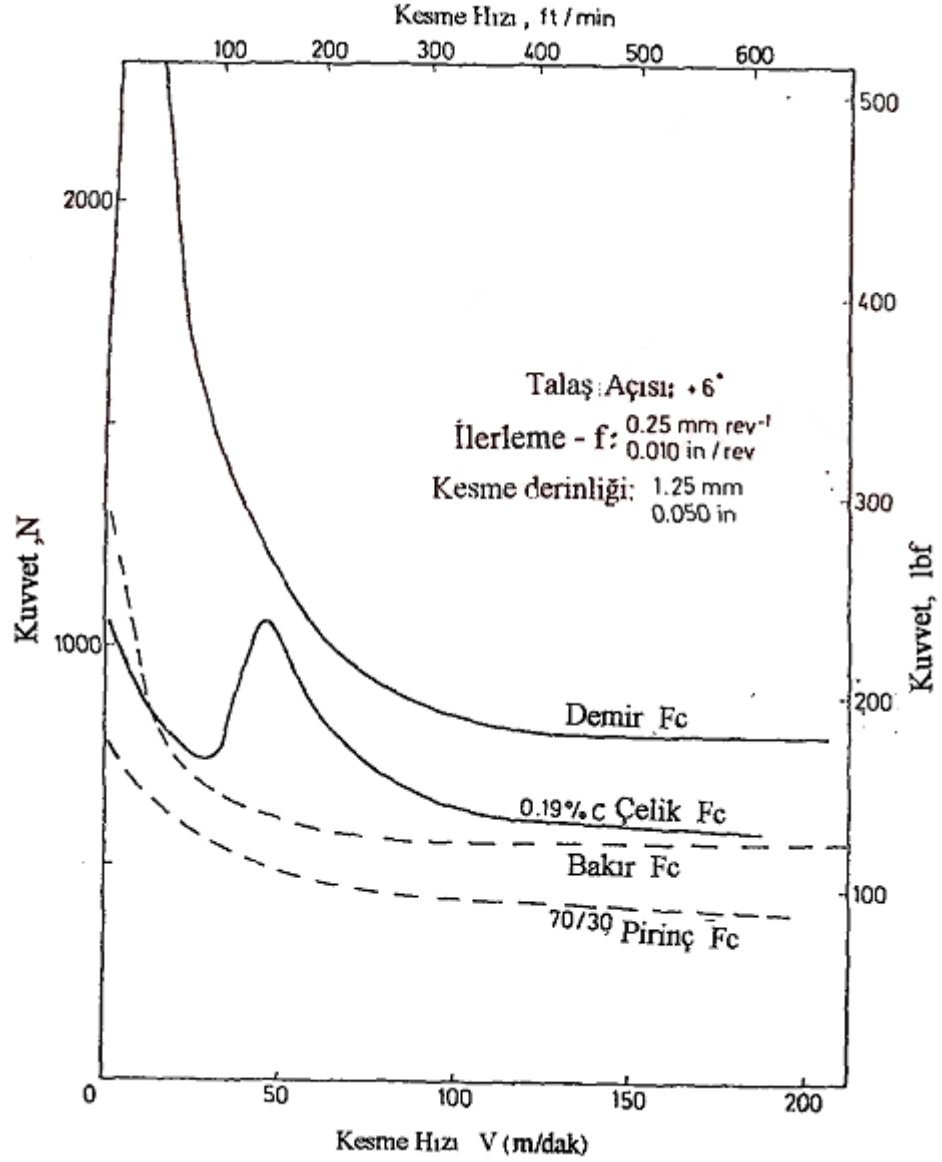
Burada;

C_s : Kesme kenarı yanal açısıdır.

III.4.4.1. Kesme Kuvvetlerini Etkileyen Faktörler

Çoğu metal ve alaşımlarından talaş kaldırırken, kesme hızındaki artışla birlikte kuvvetlerde azalma meydana gelir. Şekil III.11'de, t_0 : 1,25 ve $f=0,25$ mm/dev'de çeşitli metal ve alaşımları için kuvvet-kesme hızı eğrileri verilmiştir.

Kesme hızıyla birlikte F_c ve F_f 'deki azalma düşük kesme hızlarında daha belirgindir. Kuvvetlerdeki bu düşüşe, kısmen temas alanındaki azalma, kısmen de kesme hızındaki artışla birlikte sıcaklıktaki artışın malzemenin akma mukavemetini düşürmesi sebep olur.



Şekil III.11 Pirinç-Bakır, Demir-Çelik için kesme Hızı-Kesme kuvvetleri ilişkisi

Saf bir metalin alaşımlanması akma mukavemetini artırırken genellikle kesme kuvvetlerini düşürür. Çünkü takım- talaş yüzeyindeki temas uzunluğu kısalmır. Şekil III.11’de görüldüğü gibi, düşük kesme hızlarındaki en büyük fark, saf metallere göre alaşımların daha düşük kuvvetlerle kesilebilmesidir. Karbonlu çelik eğrisinde orta hız aralığındaki sapma, kaleme yapışan talaş etkisi gösterir. Bu olay saf metallere olmayan fakat çift fazlı alaşımların işlenmesi sırasında gözlenen olağan dışı bir sapmadır. Sabit kaleme yapışan talaş durumunda, kuvvetler genellikle anormal olarak düşer. Kaleme yapışan talaş, takım temas yüzeyini kısaltmış gibi davranır ve takım-talaş temas yüzeyindeki azalma kesme kuvvetlerinde azalmaya sebep olur [21].

Kesme kuvvetleri kesici takım geometrisinden de etkilenir. Bu konuda talaş açısı önemli bir parametredir. Tablo III.1’de görüldüğü gibi talaş açısındaki artışla kesme ve ilerleme kuvvetleri düşer.

Talaş Açısı α	Kesme Kuvveti F_c (N) (İlerleme 0,16 mm/dev)	İlerleme Kuvveti F_f (N) (İlerleme 0,16 mm/dev)
+5 ⁰	913	392
+10 ⁰	840	289
+15 ⁰	743	200
+20 ⁰	716	151
+25 ⁰	627	80
+30 ⁰	600	49

Tablo III.1. Talaş Açısı ve Kesme Kuvvetleri Arasındaki İlişki

Takım kuvvetleri genellikle takım aşınması ile birlikte artar. Kesme sıvılarında takım kuvvetleri ve temas uzunluğu büyük ölçüde etkilenebilir. Kesme sıvısı kullanıldığında kuvvetler büyük ölçüde azalır.

III.4.5. Yüzey pürüzlülüğü

Tornalama işlemlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi aşağıdaki iki bağımsız değişkenle özetlenebilir.

a) İdeal yüzey pürüzlülüğü; kesici takımın geometrisi, ilerleme veya ilerleme hızının sonucudur.

b) Tabii yüzey pürüzlülüğü, talaş kaldırma işlemindeki düzensizliklerin sonucudur.

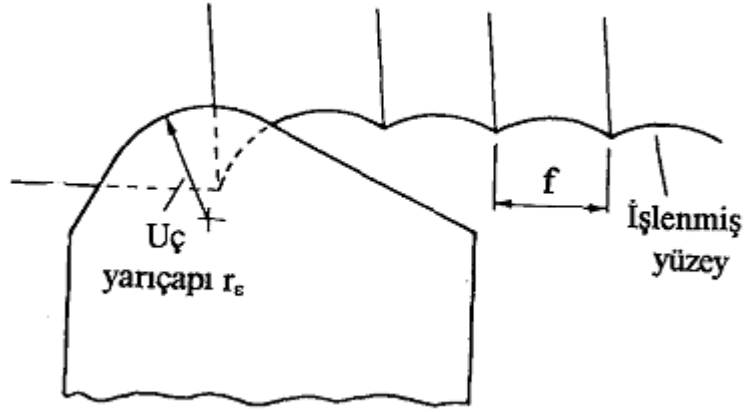
III.4.5.1. İdeal yüzey pürüzlülüğü

Kesici takımdaki hatalar, vuruntular, kaleme yapışan talaş yığılması gibi faktörler azaltıldığında, kesici uç biçimine ve ilerlemeye bağlı oluşturulan en iyi bitirme değerlerini gösterir. Sayısal karşılaştırmalar ve analizler için, bir dizi veya tek bir faktöre göre işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü belirlemek çok kullanışlı bir yöntem olabilir. Bu amaçla en genel kullanılan R_a aritmetik ortalama değeri olarak bilinir.

Genellikle, pratik kesme işlemlerinde kullanılan takımların ucu yuvarlatılmıştır. İdeal şartlarda bu tür takımla işlenen yüzey Şekil III.12’de gösterilmiştir. Böyle bir yüzey için matematiksel ortalama pürüzlülük değerini veren teorik eşitliğin esası, uç kavis yarıçapı ve ilerleme ile yakından bağlantılıdır.

Uç kavis yarıçapı r_s olduğunda;

$$R_a = \frac{0,00321f^2}{r_s} \quad (III.9)$$



Şekil III.12. Yuvarlak uçlu bir takım için yüzey pürüzlülüğünün ideal modeli

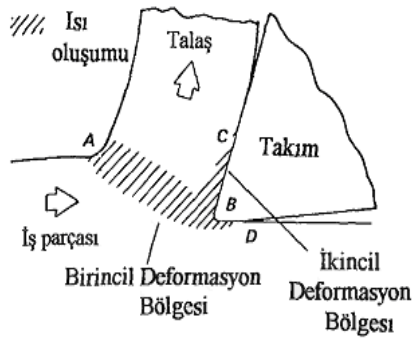
III.4.5.2. Tabii Yüzey Pürüzlülüğü

Tabii yüzey pürüzlülüğü, gerçek yüzey pürüzlülüğünün büyük bir kısmını içerir. Tabii yüzey pürüzlülüğünün, takım tezgâhı, iş bağlama sistemi, takım sistemi ve çalışma ortamı gibi faktörler etkiler. Bununla birlikte kesici kenarındaki yığılmalar da tabii yüzey pürüzlülüğünü artıran faktörlerdendir. Kesme hızındaki artışla ideal yüzey pürüzlülüğüne yaklaşılr. Uç yarıçapı sabit kalmak şartıyla, ilerleme hızındaki artış ise yüzey pürüzlülüğünü artırır.

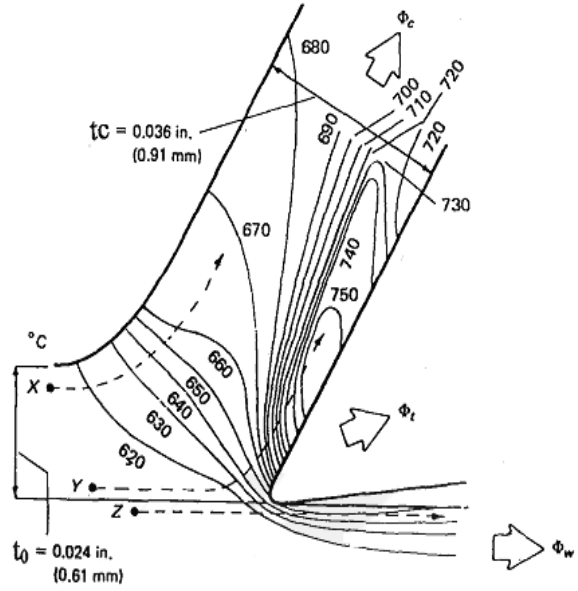
III.4.6. Talaş Kaldırmada Isı Oluşumu

Bir malzeme plastik olarak deforme edildiği zaman kullanılan enerjinin çoğu ısıya dönüştürülür. Talaş kaldırma anında malzeme aşırı derecede gerinmeye maruz kalır ve elastik şekil değişimi toplam deformasyonun çok küçük bir kısmını oluşturur. Bu da göstermektedir ki, bütün enerji ısıya dönüşmektedir.

Şekil III.13'te gösterildiği gibi enerjinin ısıya dönüşümü, birincil (AB) ve ikincil (BC) plastik deformasyon bölgesi içinde oluşur. Eğer, kesici takım yeterince keskin değilse, iş parçası yeni yüzeyi ve takım arasındaki sürtünme sebebi ile üçüncü bir ısı kaynağı (BD) oluşacaktır.



Şekil III.13. Dik kesmede ısı oluşumu



Şekil III.14. Dik kesme sırasında talaş parçası arasındaki sıcaklık dağılımı

III.4.7. Talaş Kaldırmada Sıcaklık Dağılımı

Şekil III.14'te dik kesme sırasında talaş ve iş parçasında oluşan deneysel sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Kesici takıma doğru hareket eden malzemedeki X noktası birincil deformasyon bölgesine doğru yaklaşır ve geçer. X noktası bu bölgeden ayrılana kadar ısıtılır ve talaş içinde doğru taşınır. Y noktası her iki deformasyon bölgesinden geçer ve ikincil deformasyon bölgesinden ayrılana kadar

ısıtılır. Bu nokta, talaş gövdesinde ısı iletimi yoluyla soğutulur ve talaşta üniform bir sıcaklık dağılımı oluşturulur. Böylece kesici kenardan belirli bir mesafede takım yüzeyi boyunca maksimum sıcaklık oluşur. İş parçası içinde kalan Z noktası birincil deformasyon bölgesinde ısı iletimi yoluyla ısıtılır.

Talaş içindeki maksimum sıcaklık ikincil deformasyon bölgesinde oluşur ve aşağıdaki eşitlikte verilir.

$$Q_{max} = Q_m + Q_s + Q_o \quad (III.10)$$

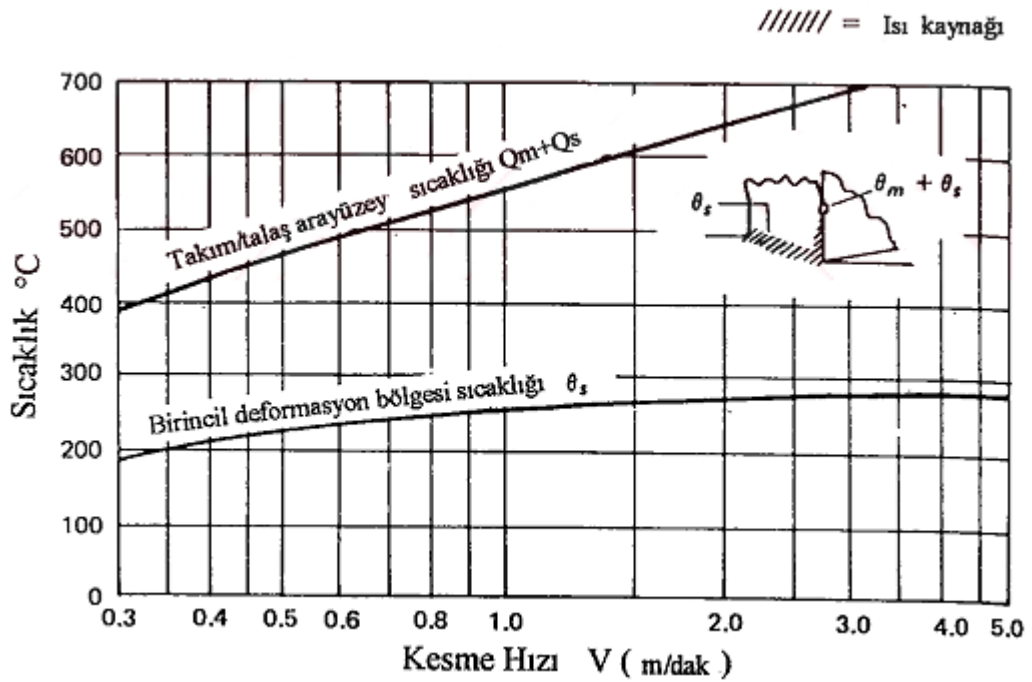
Burada;

Q_m : İkincil deformasyon bölgesi boyunca sürtünmeli ısı oluşumu

Q_s : Birincil deformasyon bölgesi boyunca geçen malzemedeki sıcaklık artışı

Q_o : İş parçası başlangıç sıcaklığı

Kesme hızının talaş kaldırmada oluşan ısı üzerine etkisi Şekil III.15'te görülmektedir.



Şekil III.15 Kesme hızının talaş kaldırmada oluşan ısı üzerine etkisi (Teorik)

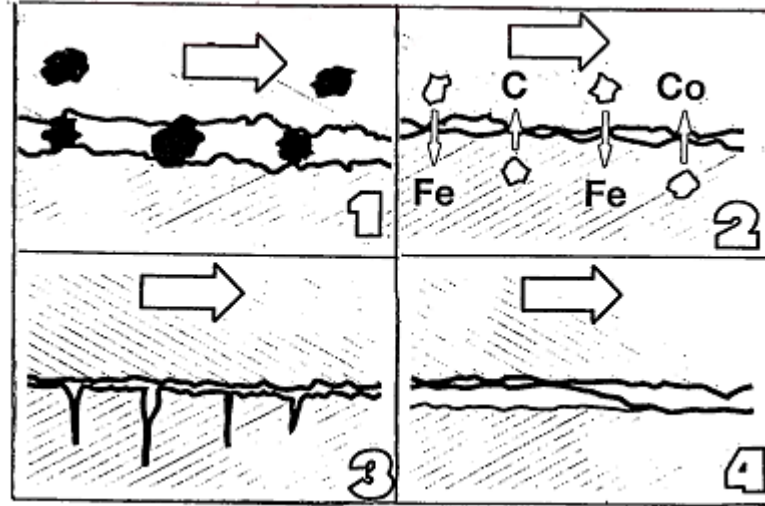
Kesme hızının artışı ile birincil kesme bölgesinde hafif bir sıcaklık artışı olmakta ve sonra sabit kalmaktadır. Bununla birlikte, kesme hızındaki artışla takım talaş ara yüzey sıcaklığı ($Q_m + Q_s$) hızla artmaktadır. İkincil deformasyon

Aşınmaya sebep olan esas yük faktörleri;

- a) Mekanik
- b) Isıl
- c) Kimyasal
- d) Sürtünme faktörleridir.

Bu faktörler sebebi ile talaş kaldırma sırasında meydana gelen birkaç temel aşınma mekanizması aşağıda sıralanmıştır (Şekil III.17).

- 1) Sürtünme ile Aşınma
- 2) Difüzyon ile Aşınma
- 3) Yorulma ile Aşınma



Şekil III.17. Talaş kaldırmada temel aşınma mekanizmaları

III.4.9. Aşınma Mekanizmaları

III.4.9.1. Sürtünme İle Aşınma

Takım aşınmasının en genel tipi sürtünmedir. Triboloji biliminde bir sürtünme sistemi içerisinde sert malzemenin yumuşak karşıtının çizerek aşındırmasıdır. Sürtünme aşınmasında yumuşak malzeme mikrosabanlama, mikrotalaş kaldırma, mikro kırılma ve mikro yorulma yoluyla aşınır.

Genelde takım malzemeleri, sürtünme aşınmasının engellenmesi için mikroyapısal sert fazlarla oluşturulur. Ancak iş parçası malzemesinde, örneğin çelik içerisinde benzer veya daha yüksek sertlikte oksit, nitrür ve karbür fazları bulunabilir. Özellikle keskin kenarlı bu sert fazlar, mikrokesmeler ve daha yüksek aşınmaya sebep olurlar. Yumuşak küresel kalıntılar, tanecik sürtünme aşınması oluşturmaktan ziyade plastik deformasyon yoluyla yüzeyde yivler meydana getirir.

III.4.9.2. Yayınma (Difüzyon) İle Aşınma

Talaş ve takım malzemesi arasındaki temas yüzeyinde artan sıcaklık difüzyona sebep olur. Böylece talaş / takım ara yüzeyindeki her iki yöne gerçekleşen atomsal düzeydeki yayılım nedeni ile takım malzemesi mikroyapısal değişime uğrar.

Malzemeler arasındaki metalurjik ilişki aşınma mekanizmasının miktarını belirler. Örneğin, Çelik ve Tungsten karbür birbirine karşı difüzyon aşınmasını geliştirme eğilimindedir. Bu durum, takımın talaş yüzeyinde bir krater oluşması ile sonuçlanır. Difüzyon ile aşınma mekanizması çoğunlukla sıcaklığa bağlıdır, bu nedenle yüksek kesme hızında daha fazla oluşur. İki şekilde atomik yayılım meydana gelir,

- 1) Takım içine çelikten demir transferi
- 2) Karbonun talaşa difüzyonu

III.4.9.3. Yorulma ile aşınma

Termo- mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklıktaki düzensiz değişimler ve kesme kuvvetlerindeki dinamik değişimler kesici kenardan çatlama ve kırılmalara sebep olur.

Titreşimli ve seri darbeli talaş kaldırmada, sıcaklık etkisi altında, kritik bir periyodik yüklemenin oluşması ile takım malzemesi termal yorulur. Yorulma sonucu çatlaklar ilerleyerek takım malzemesinden mikroskobik boyutta küçük parçacıklar kopar.

Yetersiz tokluk nedeni ile talaş kaldırma esnasında takım malzemesinden küçük parçacıkların kopmasıyla oluşan bir aşınma tipidir. Düşük ve orta hızlarda,

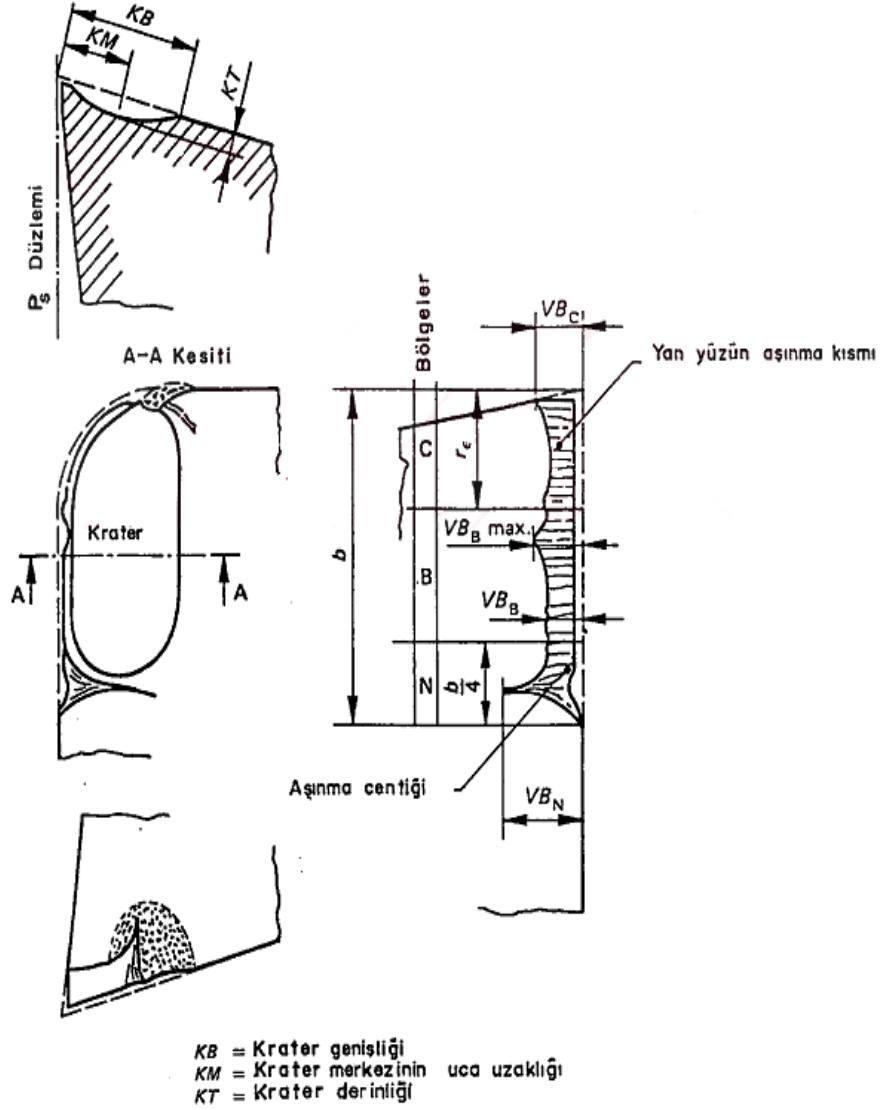
titreşim etkili kesmelerde oluşan bu aşınma mekanizması, kesici kenarın üzerinde oluşan kaleme yapışan talaş altında kalması sebebi ile zor belirlenir.

III.4.9.4. Yapışma ile aşınma

Kesme sırasında oluşan yeni yüzeyler son derece temiz ve doğal olarak, reaksiyon aktiftir. Talaş alt yüzeyinin takım ile temasında atomlar arası bağlantı gerçekleştiğinde yapışma (kaynak) olur. Daima, yoğun plastik deformasyondan geçen malzemenin üstüne yapışır. Böyle bir ara ilişki, takım-temas yüzeyinde iş parçası malzemesinin ince tabakalar halinde yapışmasına sebep olur. Sabit olmayan yapışık talaş, dinamik bir oluşum özelliği gösterdiğinde, kopma anında oluşturduğu bağ güçlü ise takım malzemesi küçük miktarlarla yüzeyden aşınır. Bu aşınma türü sünek malzemelerin işlenmesi sırasında düşük ve orta kesme hızlarında görülebilir.

III.4.10. Aşınma şekilleri

Bir torna kalemindeki aşınma şekilleri Şekil III.18'de verilmiştir. Genel olarak, serbest yan yüzey, çentik, krater ve tali yan yüz aşınması olmak üzere dört aşınma şekli vardır.



Şekil III.18. Torna kaleminde aşınma şekilleri

III.4.10.1. Serbest (Yan) Yüzey Aşınması

Esas olarak sürtünme aşınması yoluyla meydana gelir ve en genel aşınma şeklidir. Artan serbest yüzey ve uç kısmındaki aşınma, kenar geometrisinin bozulmasına, sürtünmenin artmasına ve yüzey kalitesinin bozulmasına sebep olur. Normal olarak serbest yüzey aşınma bölgesi, esas kesici kenarın düz kısmının orta bölgesi boyunca genellikle üniform genişliğe sahiptir.

Serbest yüzey aşınma bölgesinin genişliği VB_B iyi bir takım aşınma ölçüsüdür ve VB_B 'nin önceden belirlenmiş değeri iyi bir takım ömrü kriteri olarak kabul edilir.

III.4.10.2. Çentik Aşınması

Esas kesici kenarın kestiği yerlerde önem kazanan özel bir yan aşınma tipidir ve bazen takımın değiştirilmesini gerektirebilir. Çentiğin profili ve uzunluğu VB_N , büyük ölçüde takımın yerleştirilmesindeki hassasiyet bağlıdır.

Çentik aşınması, diğer aşınma şekillerinden daha etkili olduğu özel durumlarda aşınma çentiğinin uzunluğu takım aşınma ölçüsü olarak kullanılabilir.

III.4.10.3 Krater Aşınması

Sürtünme ve difüzyon aşınma mekanizması ile meydana gelir. Krater aşınması talaş yüzeyinin kesici kenara paralel aşınarak çukurlaşmasıdır ve en sık rastlanan yüz aşınma tipidir. Kesici kenardan uzak derin ve geniş bir krater, kesici kenara yakın daha az derin ve dar kraterden daha tehlikesizdir. Bu nedenle krater derinliği K_T takım ömrü kriteri olarak ilerlemeye bağlı verilir.

Şekil III.18'de görüldüğü gibi krater merkezi uzaklığı K_M , orijinal esas kesici kenar ile kraterin en derin noktası arasındaki uzaklıktır. Krater genişliği K_B ise orijinal esas kesici kenar ile kraterin bu kenara en uzak yanı arasındaki mesafedir.

III.4.10.4. Tali Yan Yüz Aşınması

Tornada işlenen yüzey esas olarak takımın ucu ve tali kesme kenarı tarafında şekillendirilir. Bu nedenle aşınma ile takımın ucundaki değişme işlenen yüzeyin kalitesini etkiler. Küçük ilerlemelerin verildiği bitirme tornalamalarında bir kesme periyodu sonunda genellikle tali yanın üzerinde birkaç oluk oluşur. Bu oluklar işlenen yüzeyin pürüzlülüğünü artırır.

Yüksek kesme hızlarında veya ilerlemelerde talaş kaldırırken artan sıcaklık, K_T veya VB_B aşınma kriterine ulaşılmadan tali yanın oksitlenmesi sonucu aşınmasına sebep olabilir.

III.5. İŞLENEBİLİRLİK VE İŞLENEBİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

III.5.1. İşlenebilirlik

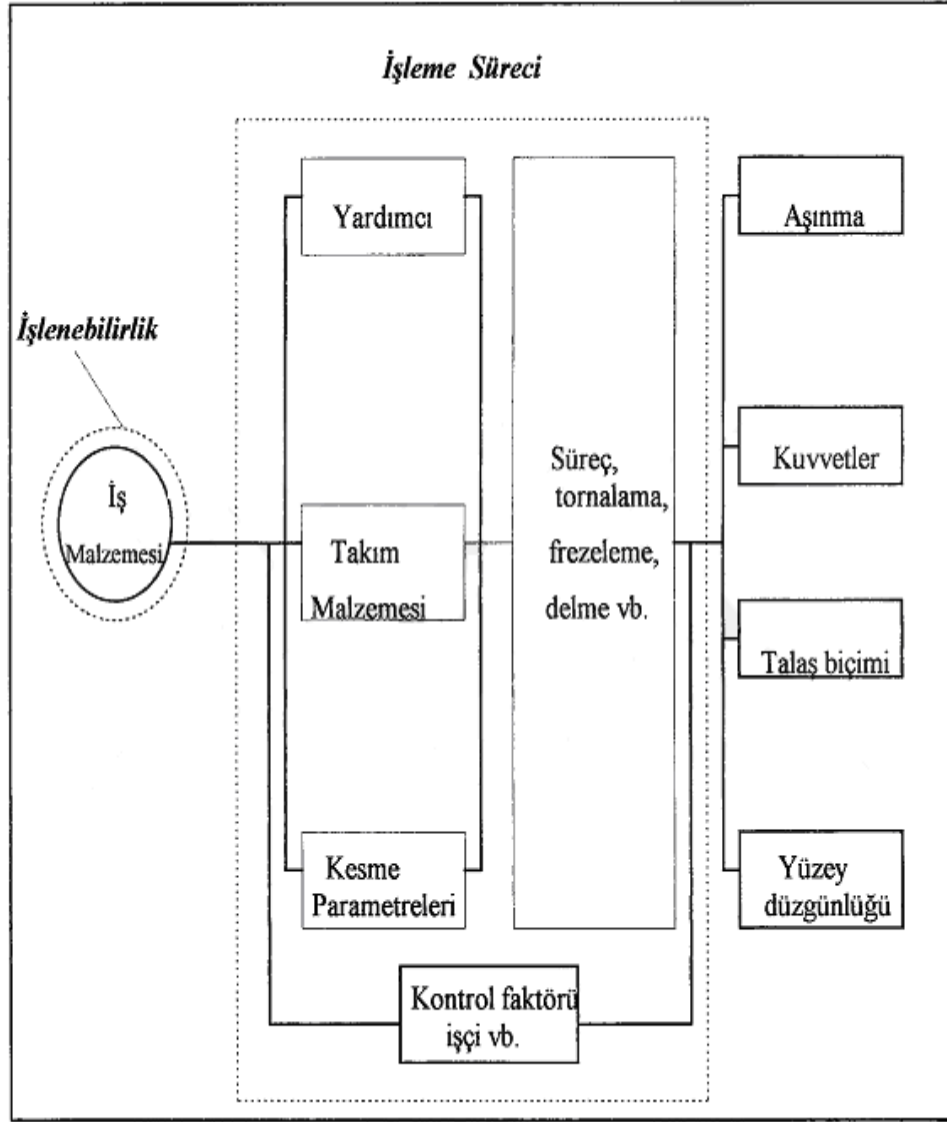
İşlenebilirlik, birçok kitap, makale veya tartışmalarda kolay veya zor işlemenin bir kriteri olarak ölçülen malzemenin kalitesi veya varlığını ifade etmek için kullanılır. İşlenebilirlik kavramının kesin bir tanımı olmamakla birlikte en basit şekilde aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

“İşlenebilirlik, bir malzemenin istenilen biçimde, boyutta veya yüzey kalitesinde işlenmesinin kolaylığını veya zorluğunu gösteren bir kavramdır”.

İş parçasının kimyasal bileşimi, mikroyapısı, ısıl işlem, saflık vb. bütün değişkenler işlenebilirliği etkiler. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzeyi kalitesi ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik karakteristikleri ile iş parçasının işlenebilirliği belirlenebilir. Fakat bu karakteristiklerin işleme parametrelerine de bağımlılığı önemlidir.

Şekil III.19’da girilen değişkenlere (kesici takım malzemesi, yardımcı malzemeler vb.) ve talaş kaldırma yöntemlerine bağlı yüzey pürüzlülüğü, talaş oluşum özellikleri, kuvvetler ve aşınma gibi, talaş kaldırma işlemlerinin sonuçlarını etkileyen karakteristikleri ve parametreleri özetler.

Şekil III.19’un bakış açısı, malzemenin işlenebilirliğini değil, talaş kaldırma sonuçlarının değiştirilebileceği veya yalnızca iyileştirme / kötüleştirme mümkün olacaktır.



Şekil III.20. Kontrol Halkası Şeklinde Gösterilen Talaş Kaldırma İşlemleri

Eğer kesme hızındaki bir artış en iyi talaş akışını sağlıyorsa, artırılan hızla birlikte takım aşınma miktarı da artacaktır. Bu durum, kullanılan tanımlardan birine bağlı olarak hem daha iyi ve hem de kötü işlenebilirlik için benzerdir. Açıkçası iyi veya kötü işlenebilirlik şeklinde değerlendirme subjektiftir ve göz önünde bulundurulmuş en önemli kritere bağlıdır. Bu yüzden bir malzemenin işlenebilirliği, onun üretim işlemlerine ve uygulandığı ısıl işlemlere göre tanımlanır.

III.5.1.2. İşlenebilirliğin ölçülmesi

İşlenebilirlik ölçümünün kesin kabul edilen genel bir metodu veya standardı yoktur. Ancak takım ömrü deneyleriyle ilgili standartlara göre standart işlenebilirlik deneyleri yapılabilir.

İşlenebilirlik deneyleri;

- 1) İşlemeli deneyler
- 2) İşlemesiz deneyler,

Olmak üzere iki temel kategoriye ayrılabilir.

III.5.1.2.1. İşlemeli deneyler

Bir malzemenin işlenebilirliği, aşağıda belirtilen kriterlerden birine veya daha fazlasına göre ölçülebilir.

1) Takım Ömrü: Takımdaki standart bir aşınma miktarına kadar veya takım kullanılmaz duruma gelmeden önce standart kesme şartlarına kaldırılan talaş miktarı veya talaş kaldırma süresidir.

2) Kesme Hızı: Standart kesme şartları ve takımla, belirlenen bir zaman aralığında talaş kaldırma işleminin başarı ile sürdürüldüğü maksimum kesme hızı veya işlenen parça sayısıdır (Otomatik tezgahlarda)

3) Kesme Kuvvetleri veya Güç Tüketimi: Takım üzerine etkiyen kesme kuvvetleri (belirli şartlarda dinamometre ile ölçülür) veya kesme işlemi için gerekli güçtür.

4) Yüzey Kalitesi: Belirli işleme şartları altında işlenen parçanın yüzeyindeki pürüzlülük derecesidir.

5) Talaş Biçimi: Standart kesme şartları altında, takımın kesme etkisine göre oluşan talaş biçimidir.

III.5.1.2.2. İşlemesiz deneyler

İşlemeli deneylerden daha az zaman alır ve genellikle kısa deneylerdir. Bu sebeple birçok araştırmacı işlemesiz deneylerle çeliklerin işlenebilirliği arasında bağıntılar kurmaya çalışmışlar ve birçok ilişki ortaya atmışlardır. Bu ilişki esas olarak üç alt başlık altında incelemek mümkündür.

1)Kimyasal bileşim deneyi: Aynı ısıl işlem gören ve aynı temel özelliklere sahip malzemeler için geçerli olarak bulunan sonuçlar bu tür çalışmalarını yapanların çoğu tarafından kabul edilmiştir.

2)Mikroyapı Deneyi: Whittman, Woldman, Robbins ve Lawless yaptıkları çalışmalarda, tornalama ve frezeleme işlemleri için düzenli dağılmış lamelli kaba perlitin, işlenebilirlik açısından optimum mikroyapı olduğunu belirtmişlerdir.

3)Fiziksel Özellik Deneyi: Henkin ve Datsko, boyutsal analiz tekniklerini kullanarak genel bir işlenebilirlik değeri geliştirmek için, malzemenin fiziksel özelliklerine dayalı basit bir kriter oluşturmuşlardır.

Bu bağıntı;

$$V_{60} \cong \frac{B}{LxBSD} \left(1 - \frac{Ar}{100}\right)^{1/2} \text{ dir.} \quad (\text{III.11})$$

Burada;

B: Malzemenin ısı iletkenliği

L: İşleme boyuna bağlı uzunluk

BSD: Malzemenin Brinell sertlik değeri

Ar: Çekme deneyi sonunda bulunan malzeme kesit alanındaki % daralmadır.

Benzer çalışmayı Janitzky yapmış ve;

$$V_{60} \cong \frac{D}{BSDxAr} \quad (\text{III.12})$$

Bağıntısı bulmuştur.

Burada “D” kesme boyuna bağlı sabittir.

III.5.2. Çelikte işlenebilirliği etkileyen faktörler

Çeliğin işleme performansını belirlemede, malzemenin kimyasal bileşimi ve mikroyapısı kadar, takım malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, kesme sıvısı ve takım- iř parçası destekleme sistemi de önemlidir. Sertlik, akma mukavemeti ve süneklik, malzemenin işlenebilirliğini etkileyen mekanik özelliklerdir. Bu özellikler, kimyasal bileşim ve mikroyapı ile kontrol edilir.

BÖLÜM IV. TEZ ÇALIŞMALARI

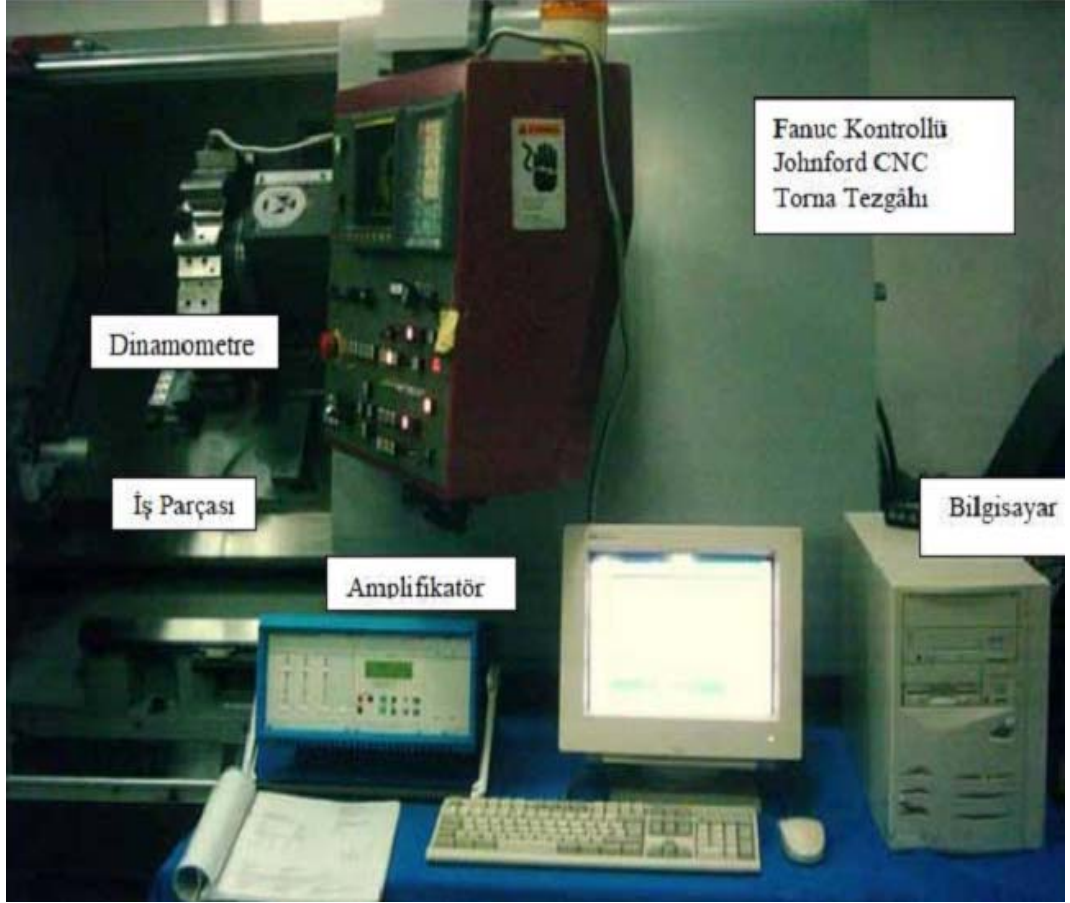
IV.1. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN TEZGAH, CİHAZ ve ALETLER

IV.1.1. CNC Torna Tezgahı

Deneylerde kullanılan torna tezgahı Johnford TC 35 CNC Fanuc OT x-z eksenli ve motor gücü 20 HP, ayna çapı 250 mm, ayna delik çapı 75 mm, yataklar arası mesafe 810 mm, 1/1000 hassasiyetinde iki boyutlu (x-z) , yüksek yüzey kalitesine sahip bir tezgahdır.



Şekil IV.1. CNC torna tezgahı



Şekil IV.2. Deney Düzeneği

Sistem, tornalama, taşlama ve frezeleme işlemleri sırasında bu işlemlere tabi tutulan malzemeyi etkileyen kuvvetin üç-eksenli bileşenlerinin ölçülmesinde ve analizinde kullanılmıştır. Sistem parçaları: üç boyutlu kuartz dinamometre, üç kanallı charge-amplifikatörü, dinamometreye bağlanabilen uç bağlama aparatı, ölçüm bilgilerinin analizi için program, bilgisayara bağlantı için ISA tipi A/D kartı ve ara bağlantı kablolarından oluşmaktadır.

IV.1.3. Yük Amplifikatörü

Yük amplifikatörü kuvvet sensöründen her yönde gelen (x,y,z) voltaj sinyalleri ayrı ayrı değerlendirebilmektedir. Analog kuvvet sensörlerinin ürettiği sinyallerin analog' dan sayısala dönüştürücünün algılama kapasitesinin altında bir değere sahip olabilir. Bu tip veri kayıplarını önlenmektedir. 3 kanallı ve mikroişlemci kontrollüdür.

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

IV.1.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Aleti

Deneyde mahr firmasının perhometer M1 tipi yüzey pürüzlülüğü ölçüm aleti kullanılmıştır. DIN, ISO, JIN , AISI standartlarına göre çeşitli parametrelerle yüzey pürüzlülüğü tayin edilir. Bulunan değer ekranda görülmesiyle birlikte Ra, Rz vb yüzey pürüzlülük değerlerinde çıktı alınabilir. Yüzey pürüzlülüğü değişik faktörlere bağlı olarak oluşur. Bu faktörler talaş kaldırma yöntemi, kullanılan takımın geometrisi, kesme hızı, ilerleme gibi faktörlerdir.



Şekil IV.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

IV.1.5. İş Parçası

İş parçası malzemelerinin mevcut sertlikleri 24 HR_C dir. 4 adet deney numunesinin 2 tanesi sertleştirilerek 36 HR_C sertliğe getirilmiştir. Artan sertlik değerinin işlemeye olan etkisi araştırılmıştır.



Şekil IV.6. Deneyde kullanılan iş parçaları

Çalışmada kullanılan malzeme 17-4 PH çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çeliktir. Kimyasal içeriği aşağıda belirtildiği gibidir.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Sn	Fe
0,041	0,335	0,78	0,028	0,021	15,915	0,405	4,69	0,001	0,063	3,42	0,229	0,002	0,084	0,068	0,008	73,908

Tablo IV.I. Malzemenin kimyasal içeriği

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, bakır, molibden, niobyum, titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri içeren, bu elementlerin bir veya birkaçının etkisi ile, çökelme sertleşmesi gösteren Fe-Cr-Ni'li paslanmaz çelikler ailesinin bir grubudur.

Çökelme sertleşmesi, prensip olarak alaşımı çözeltiliye alma tavından sonra uygulanan, hızlı soğumayı takip eden bir yaşlandırma işlemidir. Yukarıda belirtilen ve çeliğin içinde bulunan alaşım elementleri çözeltiliye alma tavlama sırasında çözünürler ve yaşlandırma işlemi sırasında da çok küçük zerrecikler halinde çökerek matrisin sertlik ve mukavemetini artırır. Mukavemetleri yaklaşık 1700 MPa'a kadar çıkabilmekte ve böylece, martenzitik paslanmaz çeliklerin mukavemetlerinin üzerinde değerlere ulaşabilmektedir.

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, çözeltiliye alma tavlamasından sonraki işlemler sonucu çeliğin yapısal değişimine ve özelliklerine bağlı olarak üç türde gruplanır. Bunlar; martenzitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, yarı-östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve östenitik çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler.

Çökelme sertleşmesi uygulanabilen çelikler iyi süneklik ve tokluk yanında, orta ila iyi derece arasında korozyon dayanımı gösterirler. Bu çeliklerde, martenzitik çeliklerle kıyaslandığında, mukavemet ve korozyon dayanımlarının iyi bir kombinasyonu elde edilir. Bu durum yüksek miktardaki alaşım elementleri ve en

çok %0,04 C bulunmasından dolayıdır. Ancak, bunun sonucunda aşınma dayanımında düşüş gözlenir.

Günümüzde üretilen çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, yüksek hızlı uçakların dış yüzeylerinde, füze gövdelerinde, deniz taşıtlarında, yakıt tanklarında, uçakların iniş takımlarında, pompalarda, millerde, somun, civata, kesici aletler ve kavramalarda yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Diğer kullanım alanları içinde filtreler, veya makinelerin hareketli parçaları gibi korozif ortamlarda kullanılan ağırlıkça hafif yüksek mukavemetli parçalar girmektedir.

IV.1.6. Kullanılan Kesici Uçlar

Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takım ucu olarak KENNAMETAL firmasının üretmiş olduğu CNMG serilerine ait KC5010 deformasyona karşı çok dirençli alaşımsız karbür alt yapısı üzerine gelişmiş PVD TiAlN kaplamalı uçlarla uç kavis yarıçapları farklı finiş uçlar kullanılmıştır.



Şekil IV.7. Deneyde kullanılan kesici uçlar

IV.2. DENEY TASARIMLARI

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 ulaşılmaması beklenen kalite değerlerinden, en küçük en iyidir prensibi uygulanmıştır.

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

Denklem IV.1 deki n = deney şartlarında yapılan deney sayısını ve y ise ölçülen karakteristiği (Bağımlı değişkeni) ifade etmektedir.

Bu deneysel çalışmada parametreler olarak, İlerleme oranı (f), devir (N) ve talaş derinliği (d) seçilmiştir. Deneyler 24 HR_C ve 36 HR_C sertliğindeki iş parçalarının CNC torna tezgahında ortogonal kesme yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Deneyde kullanılacak parametreler ve seviyeleri Tablo IV.2 ve Tablo IV.4'te, L9 deney tasarımı ise Tablo IV.3 ve Tablo IV.5'te sunulmuştur.

Parametreler	(A) İlerleme (mm/dev)	(B) Talaş Derinliği (mm)	(C) Köşe Radüsü (mm)
Seviye I	0.1	0.4	0.4
Seviye II	0.2	0.8	0.8
Seviye III	0.3	1.0	1.2

Tablo IV.2. Deney parametreleri (24 HR_C)

Deney No.	Değişkenler	(A) f (mm/dev)	(B) d (mm)	(C) r (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

Tablo IV.3. L₉ Deney tasarımı (24 HR_C)

Parametreler	(A) İlerleme (mm/dev)	(B) Talaş Derinliği (mm)	(C) Köşe Radüsü (mm)
Seviye I	0.1	0.4	0.4
Seviye II	0.2	0.8	0.8
Seviye III	0.3	1.0	1.2

Tablo IV.4 Deney parametreleri (36 HR_C)

Deney No.	Değişkenler	(A) f (mm/dev)	(B) d (mm)	(C) r (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

Tablo IV.5. L₉ Deney Tasarımı (36 HR_C)

IV.3. DENEYSSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu malzemeler ısıtıl işlem görmeyen önce 24 HR_C sertliğe sahipken ısıtıl işlem sonrasında 36 HR_C sertliğe gelmişlerdir. Bu tür malzemelerin işleme parametrelerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda 17-4 PH malzemesi olarak da isimlendirilen bu malzemenin işleme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Tornalama işlemi, sanayide kullanılan önemli imalat yöntemlerinden birisidir. Yaygın olarak kullanılmasından dolayı iş maliyetleri de imalat işlemlerinde büyük önem arz etmektedir. Yanlış seçilen kesme parametreleri zaman ve maliyet açısından negatif rol oynar. Maliyet ve zaman kaybını azaltmak ve iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde etmek talaşlı imalatta büyük öneme sahiptir.

Yapılan deneysel çalışmada 4 adet Ø18 mm ölçüsünde 90 mm boyunda ısıl işlem öncesi 24 HR_C sertlikte olan iş malzemelerinin, 2 adeti ısıl işlemle 36 HR_C sertliğe getirilmiştir. Ardından bu malzemeler sabit devir, farklı ilerleme oranları, farklı talaş derinlikleri ve farklı uç kavis yarı çaplarına sahip kesici uçlarla işlenmiştir. Kullanılan uçlar PVD yöntemiyle TiAlN kaplamalı uçlardır. İş parçalarının işleme parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Aşağıda deneyler sonucu 24 HR_C ve 36 HR_C sertliğindeki iş parçaları için elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra µm), ve kesme kuvveti (N) ve sertliği (HR_C) değerleri Tablo IV.6. ve Tablo IV.7’de verilmiştir.

DENEY SONUÇLARI							
Deney NO	Değişkenler	İlerleme	Talaş Derinliği	Uç Kavis Yarıçapı	Bileşke Kuvvet (N)	Ra (µm)	Sertlik (HR _C)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0,1	0,4	0,4	155,830	0,72	28,60
2	A ₁ B ₂ C ₂	0,1	0,8	0,8	253,737	0,76	22,87
3	A ₁ B ₃ C ₃	0,1	1	1,2	389,151	0,54	21,26
4	A ₂ B ₁ C ₂	0,2	0,4	0,8	247,378	1,80	29,46
5	A ₂ B ₂ C ₃	0,2	0,8	1,2	348,452	1,24	23,23
6	A ₂ B ₃ C ₁	0,2	1	0,4	382,335	2,01	26,90
7	A ₃ B ₁ C ₃	0,3	0,4	1,2	278,334	2,13	27,63
8	A ₃ B ₂ C ₁	0,3	0,8	0,4	486,480	4,50	25,93
9	A ₃ B ₃ C ₂	0,3	1	0,8	487,375	3,30	23,63

Tablo IV.6. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm), Kesme Kuvveti (N), Sertlik (HR_C) değerleri (24 HR_C)

DENEY SONUÇLARI							
Deney NO	Değişkenler	İlerleme	Talaş Derinliği	Uç Kavis Yarıçapı	Bileşke Kuvvet (N)	Ra (µm)	Sertlik (HR _C)
1	A ₁ B ₁ C ₁	0,1	0,4	0,4	233,415	0,92	36,16
2	A ₁ B ₂ C ₂	0,1	0,8	0,8	275,136	0,74	37,50
3	A ₁ B ₃ C ₃	0,1	1	1,2	309,048	0,62	39,73
4	A ₂ B ₁ C ₂	0,2	0,4	0,8	250,555	1,80	36,86
5	A ₂ B ₂ C ₃	0,2	0,8	1,2	369,586	1,05	38,36
6	A ₂ B ₃ C ₁	0,2	1	0,4	353,667	2,97	36,33
7	A ₃ B ₁ C ₃	0,3	0,4	1,2	466,100	2,56	36,90
8	A ₃ B ₂ C ₁	0,3	0,8	0,4	403,133	4,00	36,26
9	A ₃ B ₃ C ₂	0,3	1	0,8	463,139	3,10	36,13

Tablo IV.7. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm), Kesme Kuvveti (N), Sertlik (HR_C) değerleri (36 HR_C)

IV.3.1. Yüzey Pürüzlülüklerinin Sonuçlarının 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.

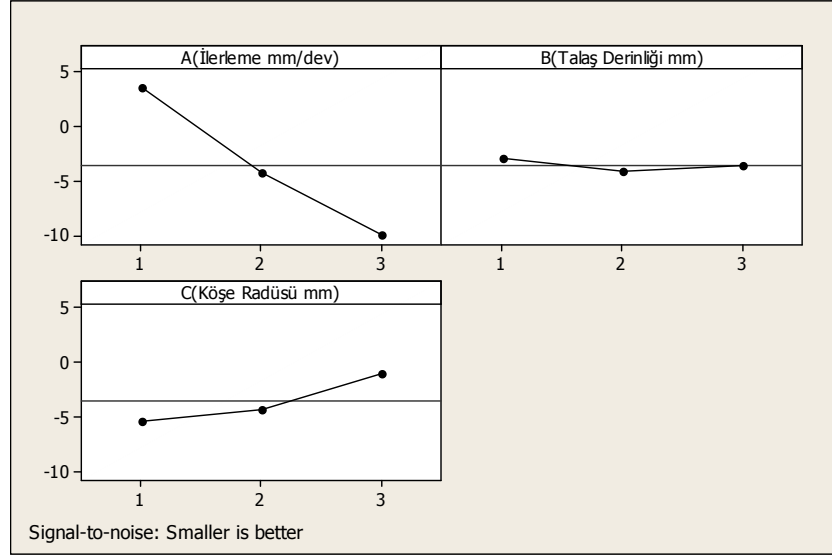
$$R_a = \frac{f \cdot r^2 \cdot 100}{4D} \dots\dots\dots (II.6)$$

Burada, R_a : yüzey pürüzlülüğünü, f : ilerleme oranını, r ise uç yarıçapını ve D : kesici takımın çapını ifade etmektedir. Denklem III.6'da görüldüğü gibi, R_a 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. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinden elde edilen diğer bir önemli neticede, oluşan talaşın görsel özelliği yüzey kalitesi hakkında tahminde bulunulmasına olanak sağlamaktadır. Daha düzgün ve sürekli kırılan talaşların elde edildiği deneysel çalışmalarda talaş kaldırılan yüzeyin pürüzlülük değeri daha az olurken, aksine kırılmayan ve kıvrımlaşarak kesici takım ve iş parçası etrafında biriken talaşların elde edildiği deneysel çalışmada talaş kaldırılan yüzeyin pürüzlülüğü ise daha fazla olmaktadır.

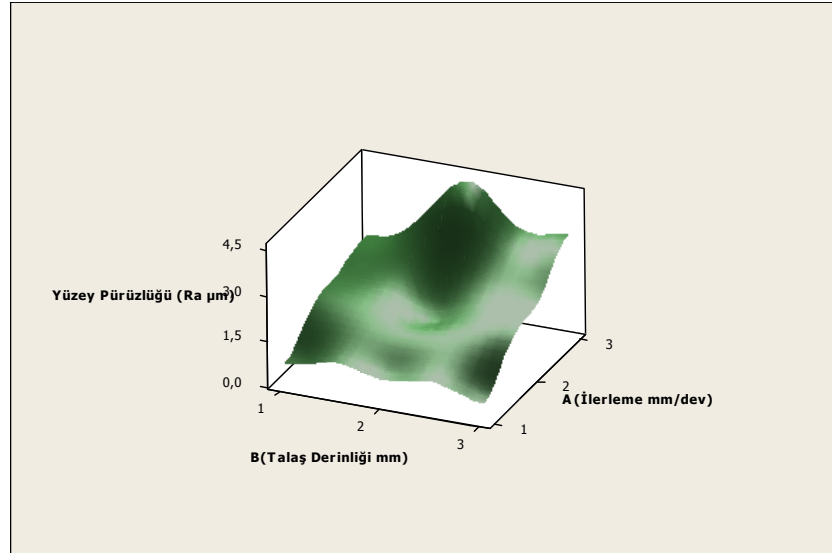
Genel olarak, elde edilen pürüzlülük değeri, 0.5- 4.5 μm arasında olmuştur ki bu değerler beklentileri karşılamaktadır. Yüzey pürüzlülük değerinin işleme parametrelerine göre S/N oranları aşağıdaki Tablo IV.8 ve Şekil IV.8'de sunulmuştur.

Tablo IV.8. R_a değerlerinin S/N oranları (24 HR_C)

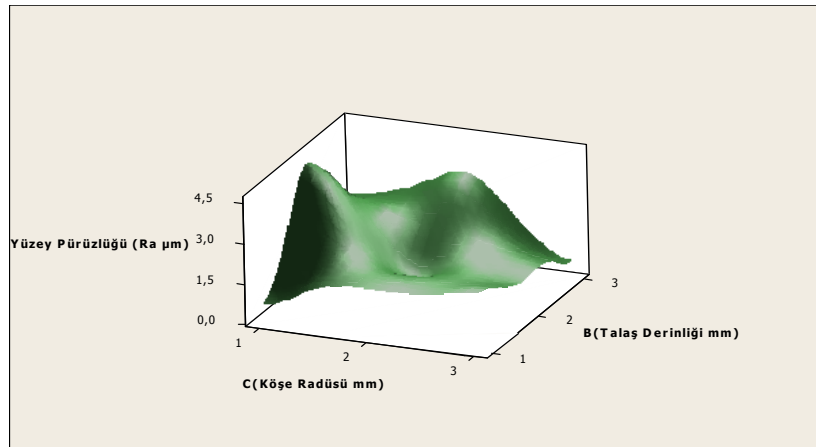
Seviye	A (İlerleme mm/dev)	B(Talaş Derinliği mm)	C(Köşe radüsü mm)
1	3,530	-2,940	-5,425
2	-4,346	-4,183	-4,364
3	-10,001	-3,694	-1,028
$\Delta_{\text{max-min}}$	13,530	1,243	4,397
Rank	1	3	2



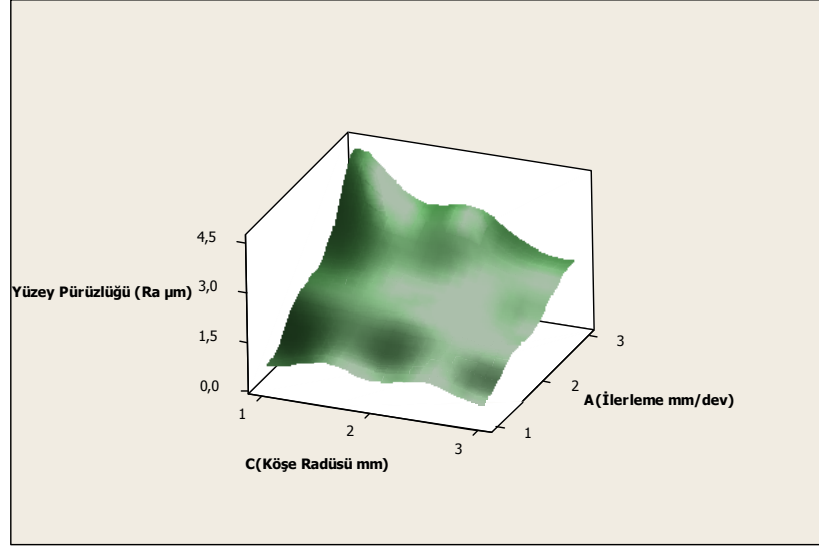
Şekil IV.8. Kontrol faktörlerine karşılık gelen S/N oranları



Şekil IV.9. Talaş derinliğinin ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri



Şekil IV.10. Talaş derinliğinin ve uç köşe radüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkileri



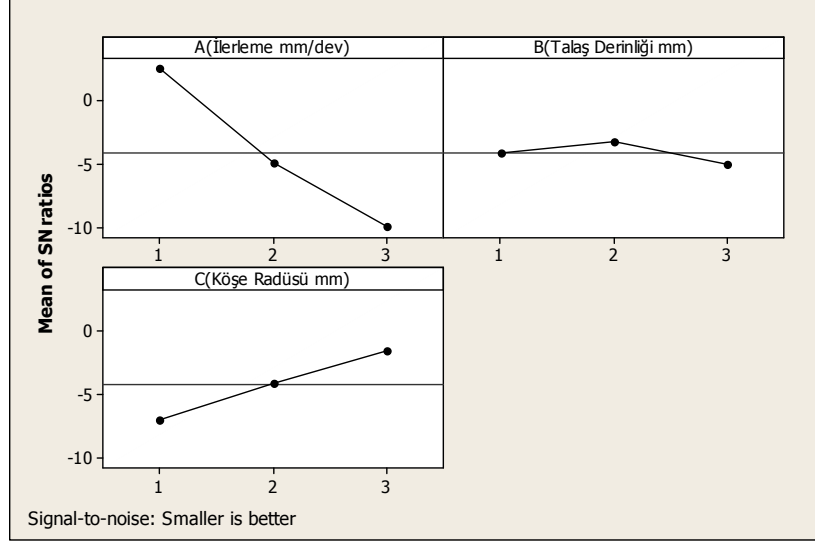
Şekil IV.11. Uç köşe radüsünün ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri

Tablo IV.8 ve Şekil IV.9’da görüldüğü gibi, yapılan dokuz deneyde elde edilen S/N oranlarına göre ilerleme 0,1 mm/dev, talaş derinliği 1 mm ve uç kavis yarıçapı 0,8 olduğunda en iyi yüzey kalitesinin elde edileceği anlaşılmaktadır. İlerleme oranının ve talaş derinliğin artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilemektedir. Uç köşe radüsünün artmasına rağmen ve talaş derinliğinin de artması yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır.

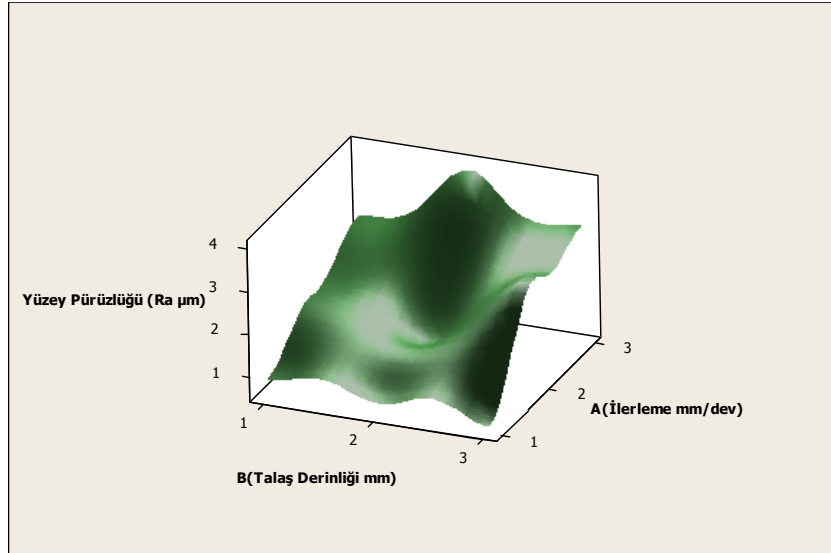
Yüzey Pürüzlülüğü

Tablo IV.9. Ra değerlerinin S/N oranları(36 HR_C)

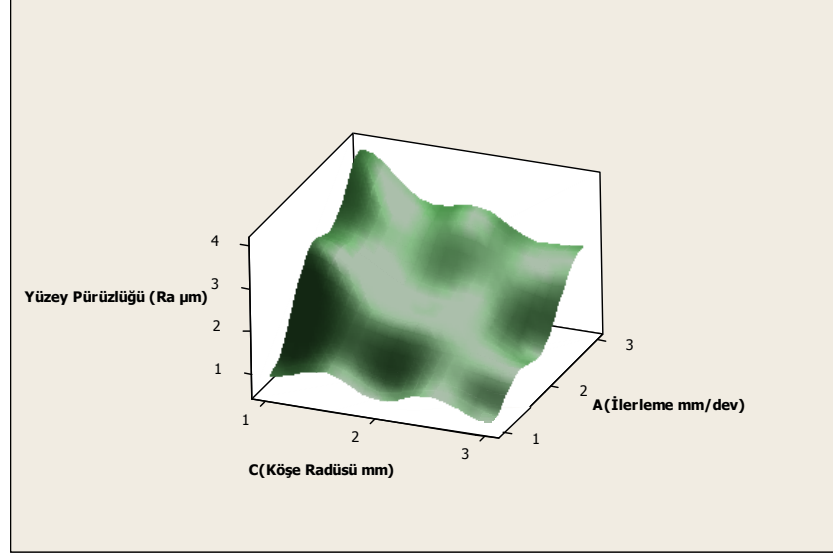
Seviye	A (İlerleme mm/dev)	B(Talaş Derinliği mm)	C(Köşe radüsü mm)
1	2,497	-4,182	-6,924
2	-4,995	-3,283	-4,106
3	-10,011	-5,043	-1,479
$\Delta_{\max-\min}$	12,508	1,760	5,445
Rank	1	3	2



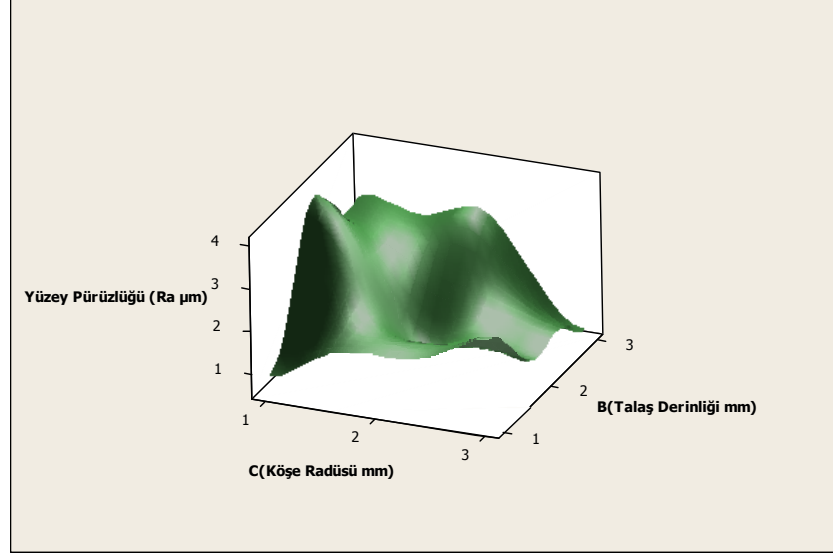
Şekil IV.12. Kontrol faktörlerine karşılık gelen S/N oranları



Şekil IV.13. Talaş derinliğinin ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri



Şekil IV.14. Uç köşe radüsünün ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri



Şekil IV.15. Talaş derinliğinin ve uç köşe radüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkileri

Tablo IV.9 ve Şekil IV.12’de görüldüğü gibi, yapılan dokuz deneyde elde edilen S/N oranlarına göre ilerleme 0,1 mm/dev, talaş derinliği 1 mm ve uç kavis yarıçapı 0,8 olduğunda en iyi yüzey kalitesinin elde edileceği anlaşılmaktadır. İlerleme oranının ve talaş derinliğinin artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilemektedir. Uç kavis yarıçapı azaldıkça ve talaş derinliği artıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. İlerleme ve uç köşe radüsü azaldıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.

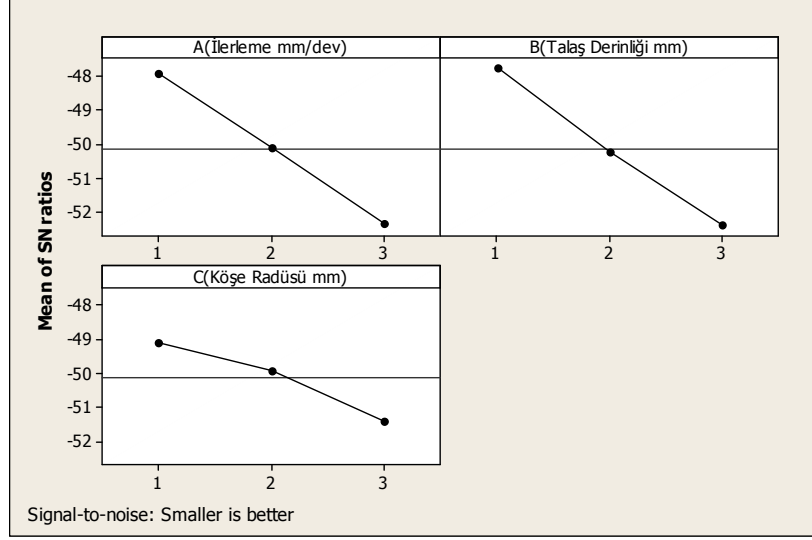
IV.3.2. Kesme Kuvveti Sonuçları Değerlendirilmesi

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.

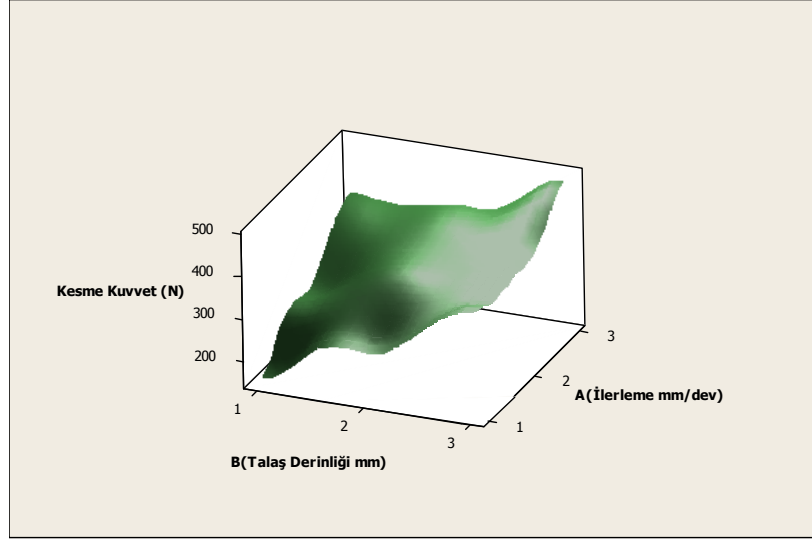
Kesme Kuvveti için

Tablo IV.10. Kesme kuvveti değerlerinin S/N oranları (24 HR_C)

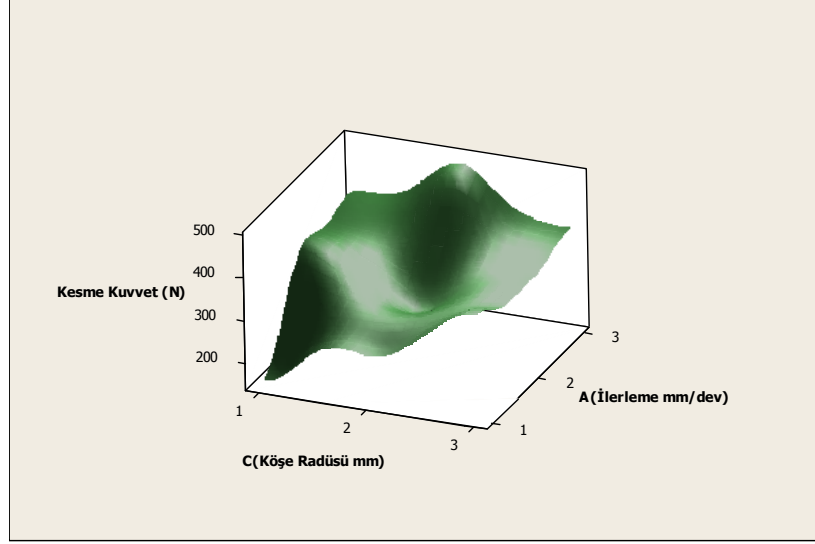
Seviye	A (İlerleme mm/dev)	B(Talaş Derinliği mm)	C(Köşe radüsü mm)
1	-47,91	-46,87	-49,75
2	-50,12	-50,89	-49,90
3	-52,13	-52,40	-50,51
$\Delta_{\max-\min}$	4,22	5,53	0,76
Rank	2	1	3



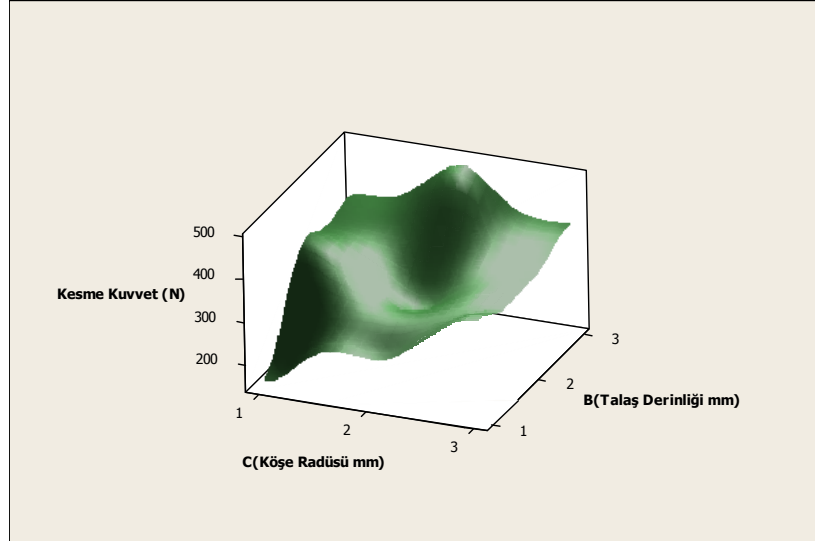
Şekil IV.16. Kontrol faktörlerine karşılık gelen S/N oranları



Şekil IV.17. Talaş derinliği ve ilerlemenin kesme kuvvetine etkisi



Şekil IV.18. Uç köşe radüsünün ve ilerlemenin kesme kuvvetine etkisi



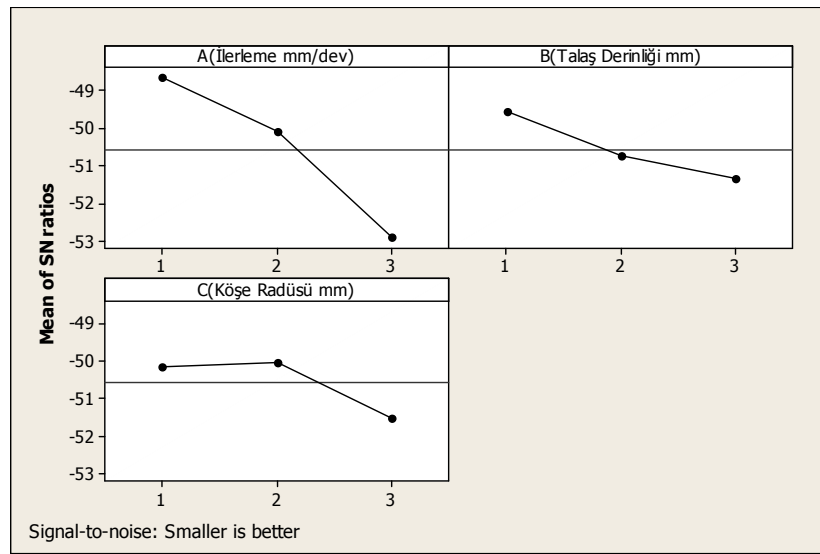
Şekil IV.19. Talaş derinliği ve uç köşe radüsünün kesme kuvvetine etkisi

Tablo IV.10 ve Şekil IV.16 da görüldüğü gibi, yapılan dokuz deneyde elde edilen 24 HR_C sertliğindeki iş parçalarının S/N oranına göre ile 0,2 ilerleme mm/dev, 0,4 mm talaş derinliği ve 1,2 köşe radüsü ile en düşük kesme kuvvetinin elde edildiği anlaşılmaktadır. Şekil IV.17 göstermektedir ki ilerleme artınca kesme kuvveti de artmaktadır. Uç köşe radüsünün azalması aynı şekilde kesme kuvvetini artırmaktadır. Talaş derinliği artıkça da kesme kuvveti artmaktadır.

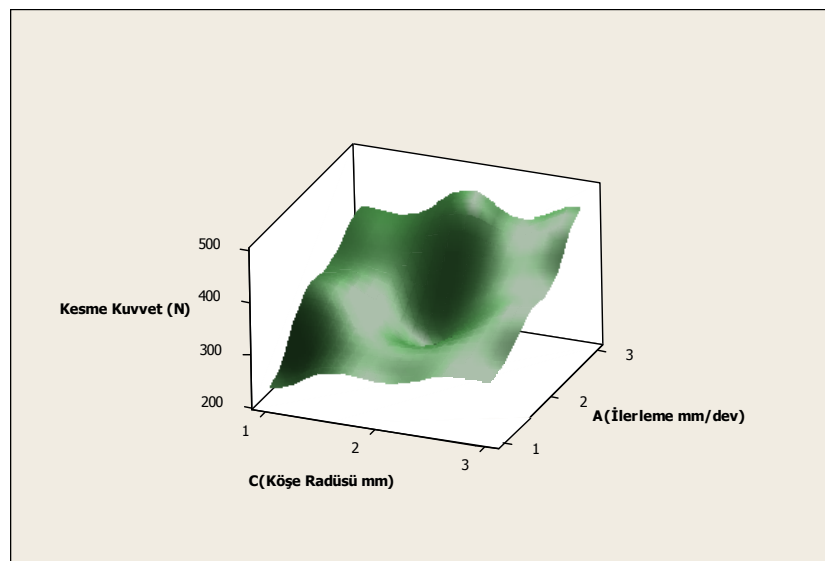
Kesme Kuvveti için

Tablo IV.11. Kesme kuvveti değerlerinin S/N oranları (36 HR_C)

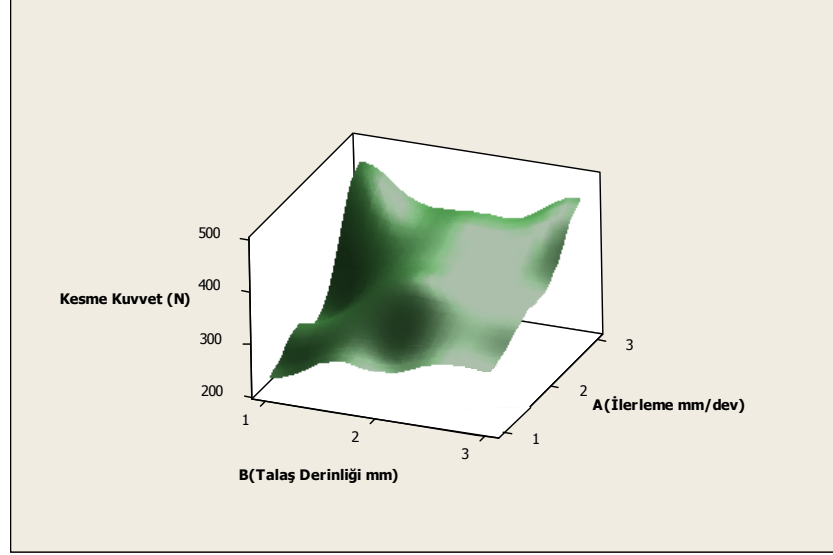
Seviye	A (İlerleme mm/dev)	B(Talaş Derinliği mm)	C(Köşe radüsü mm)
1	-48,65	-49,57	-50,15
2	-50,10	-50,75	-50,03
3	-52,93	-51,36	-51,51
$\Delta_{\max-\min}$	4,28	1,79	1,48
Rank	1	2	3



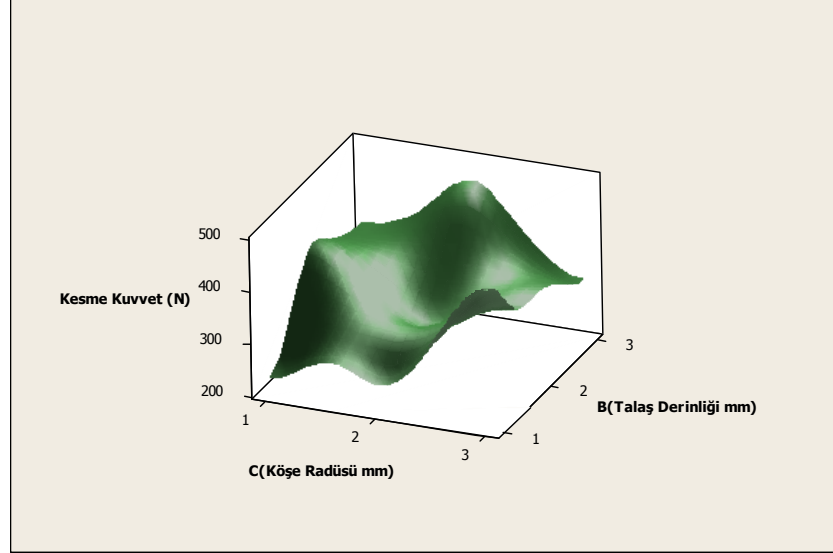
Şekil IV.20. Kontrol faktörlerine karşılık gelen S/N oranları



Şekil IV.21. İlerlemenin ve uç köşe radüsünün kesme kuvvetine etkisi



Şekil IV.22. Talaş derinliği ve ilerlemenin kesme kuvvetine etkisi



Şekil IV.23. Talaş derinliği ve uç köşe radüsünün kesme kuvvetine etkisi

Tablo IV.11 ve Şekil IV.20 de görüldüğü gibi, yapılan dokuz deneyde elde edilen 24 HR_C sertliğindeki iş parçalarının S/N oranına göre ile 0,1 ilerleme mm/dev, 0,8 mm talaş derinliği ve 1,2 köşe radyüsü ile en düşük kesme kuvvetinin elde edildiği anlaşılmaktadır. Şekil IV.17 göstermektedir ki ilerleme artınca kesme kuvveti de artmaktadır. Uç köşe radyüsünün azalması aynı şekilde kesme kuvvetini artırmaktadır. Talaş derinliği artıkçada kesme kuvveti artmaktadır.

IV.3.3. Anova İle Parametrelerin Değerlendirilmesi

17-4 PH çeliği üç değişik faktör, üç değişik seviyede kullanılarak ince ve kaba paso olmak üzere dokuzar deney yapılmış ve bu deneylerin her birinden farklı Ra yanıt değeri ölçülmüştür. Bu farklılıkların tamamen tesadüf mü yoksa faktörlerinden mi kaynaklandığı ve her faktörün bu yanıtta etkisini belirlemek için varyans analizi kullanılmaktadır. 24 HR_C sertliğindeki iş parçasının işleme parametrelerinin varyans analizi sonuçları Tablo IV.12'de sunulmuştur. Tablo IV.12'de görüldüğü gibi, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin işlenmesi sonucu işlenen yüzeydeki pürüzlülüğünün oluşumunda en etkili faktör %81,3 ile ilerleme oranıdır.

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F oranı	Yüzde Oran (%)
A	2	10,6182	5,3091	14,96	81,30
B	2	0,5872	0,2039	0,83	4,51
C	2	1,8558	0,0421	2,61	14,18
Hata (e)	2	0,7100	0,0005		0,01
Toplam	8	13,7711			100

Tablo IV.12. Ra değerlerine göre ANOVA sonuçları (24 HR_C)

36 HR_C sertliğindeki iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin varyans analizi sonuçları Tablo IV.13'de sunulmuştur. Tablo IV.13'de görüldüğü gibi, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin işlenmesi sonucu işlenen yüzeydeki pürüzlülüğünün oluşumunda en etkili faktör %77,67 ile ilerleme oranıdır.

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F oranı	Yüzde Oran (%)
A	2	9,0824	4,5412	24,88	77,67
B	2	0,3398	0,1699	0,93	2,90
C	2	2,2718	1,1359	6,22	19,41
Hata (e)	2	0,3650	0,1825		0,02
Toplam	8	12,0590			100

Tablo IV.13. Ra değerlerine göre ANOVA sonuçları (36 HR_C)

24 HR_C sertliğindeki iş parçasının işleme parametrelerinin varyans analizi sonuçları Tablo IV.14'te sunulmuştur. Tablo IV.14'te görüldüğü gibi, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin işlenmesi sonucu işleme esnasında kesme kuvvetleri değerlerinin oluşumunda en etkili faktör %48,17 ile talaş derinliğidir.

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F oranı	Yüzde Oran (%)
A	2	34770	17385	198,75	43,85
B	2	38193	19097	218,32	48,17
C	2	6324	3162	36,15	7,97
Hata (e)	2	175	87		0,01
Toplam	8	79461			100

Tablo IV.14. Kesme kuvveti değerlerine göre ANOVA sonuçları (24 HR_C)

36 HR_C sertliğindeki iş parçasının işleme parametrelerinin varyans analizi sonuçları Tablo IV.15'te sunulmuştur. Tablo IV.15'te görüldüğü gibi, 17-4 PH paslanmaz çeliğinin işlenmesi sonucu işleme esnasında kesme kuvvetleri değerlerinin oluşumunda en etkili faktör %81,51 ile ilerleme oranıdır.

Notasyonlar	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Değişkenler	F oranı	Yüzde Oran (%)
A	2	46440	23220	14,42	81,51
B	2	5172	2586	1,61	9,10
C	2	5354	2677	1,66	9,38
Hata (e)	2	3221	1610		0,01
Toplam	8	60186			100

Tablo IV.15. Kesme kuvveti değerlerine göre ANOVA sonuçları (36 HR_C)

IV.3.4. Regresyon Modeli ile Ra Tahminsel Denklem Oluşturulması

Talaş kaldırma için kontrol faktörleri (ilerleme oranı, talaş derinliği ve uç köşe radüsü) ile (ortalama yüzey pürüzlülüğü) arasında tahmini denklem oluşturma ve bunlar arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır.

24 HR_C sertliğindeki iş parçası için oluşturulmuş Ra denklemi aşağıda denklem IV.1’de sunulmuştur.

$$\text{Yüzey Pürüzlülüğü (Ra } \mu\text{m)} = - 0,041 + 1,32 A + 0,200 B - 0,553 C \quad R = 90,8\% \quad (\text{IV.1})$$

36 HR_C sertliğindeki iş parçası için oluşturulmuş Ra denklemi aşağıda denklem IV.2’de sunulmuştur.

$$\text{Yüzey Pürüzlülüğü (Ra } \mu\text{m)} = 0,263 + 1,23 A + 0,235 B - 0,610 C \quad R = 96,5\% \quad (\text{IV.2})$$

24 HR_C sertliğindeki iş parçası için oluşturulmuş kesme kuvveti denklemi aşağıda denklem IV.3’de sunulmuştur.

$$\text{Kesme Kuvvet (N)} = - 37,5 + 75,6 A + 79,6 B + 31,9 C \quad R = 98,6\% \quad (\text{IV.3})$$

36 HR_C sertliğindeki iş parçası için oluşturulmuş kesme kuvveti denklemi aşağıda denklem IV.4'de sunulmuştur.

$$\text{Kesme Kuvvet (N)} = 65,4 + 85,8 A + 29,3 B + 25,8 C \quad R = 88,5\% \quad (\text{IV.4})$$

Bu denklemlerde A ilerleme oranını, B talaş derinliğini ve C uç köşe radüsünü sembolize etmektedir. R katsayısı değerleri sırasıyla 90,8%, 96,5%, 98,6%, 88,5% olarak elde edilmiştir. Bu değerlerde tahmin modelinin gerçek ilişkiye yakınlığını ifade etmektedir. 80% üzeri olması durumunda kuvvetli ilişki olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen tahminsel denklemde R 80% üzeri olduğu için kabul edilebilir sınırlar içindedir ve kuvvetli ilişkiye sahiptir.

IV.4. DOĞRULAMA DENEYLERİ

Taguchi optimizasyon metodu kullanılarak, yapılan deneysel çalışmada optimal sonuçları elde edilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar bazı zamanlarda mevcut deneylerden herhangi biri olabilirken, bazı zamanlarda ise yapılan deneylerin haricinde bir deney yaparak optimal sonuca ulaşmayı da gerektirebilir. Doğrulama deneyinde elde edilen sonuçlar, yapılan optimizasyonun başarısını yansıtmaktadır. Bu bağlamda optimal şartların tahmin edildiği ve hesaplamalar sonucu elde edilen değerler ile doğrulama deneyleri sonucunda elde edilen ilerleme oranı, kesme kuvveti, uç köşe radüsü değerleri aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, elde edilen sonuçların gayet tatminkar olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, yapılan deneylerde Taguchi Optimizasyon metodunun başarı ile uygulanabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo IV.16. Yüzey Pürüzlülüğü İçin Optimal Sonuçlar (24 HR_C)

	Tahmin Edilen	Doğrulama Deneyi
Seviye	A ₁ B ₃ C ₂	A ₁ B ₃ C ₂
Pürüzlülük değeri (µm)	0.79	0,82

Tablo IV.17. Kesme Kuvveti İçin Optimal Sonuçlar (24 HR_C)

	Tahmin Edilen	Doğrulama Deneyi
Seviye	A ₂ B ₁ C ₃	A ₂ B ₁ C ₃
Kesme Kuvveti değerleri (N)	218,75 N	223,49 N

Tablo IV.18. Yüzey Pürüzlülüğü İçin Optimal Sonuçları (36 HR_C)

	Tahmin Edilen	Doğrulama Deneyi
Seviye	A ₁ B ₃ C ₂	A ₁ B ₃ C ₂
Pürüzlülük değeri (µm)	0.92	0,89

Tablo IV.19. Kesme Kuvveti İçin Optimal Sonuçlar (36 HR_C)

	Tahmin Edilen	Doğrulama Deneyi
Seviye	A ₁ B ₂ C ₃	A ₁ B ₂ C ₃
Kesme Kuvveti değerleri (N)	309,22 N	304,49 N

BÖLÜM V. SONUÇ VE TARTIŞMA

Talaşlı imalat üzerine yapılan çalışmalar hala güncelliğini korumakla birlikte, imalatın hassasiyeti ve üretilen parçaların boyutsal doğruluğu üzerine yapılan çalışmalarda yoğunluk görülmektedir. Bu durum, gereksinim ve üretimdeki rekabet ile doğrudan ilişkilidir. Bu durumda, bu konuda yapılan çalışmalarla da üretimde ulaşılabilecek kalite seviyesi artmaktadır. Bu çalışmada, talaşlı imalatın önemli bir uygulama alanı olan tornalama ile üretimi gerçekleştirilen 17-4 PH paslanmaz çeliğinin yüzey kalitesi ve kesme kuvvetleri üzerinde durulmuş ve bu bağımlı değişkenler üzerinde etkili olabilecek; talaş derinliği, ilerleme oranı ve uç radüsü gibi değişkenlerin etkisi irdelenmiştir. Ayrıca, tornalamada önemli bir işleme parametresi olan kesme hızı, bu çalışmada sabit tutulmuştur. Daha önceki tecrübeler ve literatürdeki çalışmaların incelenmesi sonucu bu parametrenin belirlenen bağımlı değişkenlere etkisinin göz ardı edilebileceğine karar verilmiştir.

Yapılan çalışmada, sonuçların daha sağlıklı ve kabul edilebilir değerlerde çıkmasına yardımcı olacağı ve optimal sonuçlara ulaşılarak zaman ve maliyetten kazanımların olacağı düşünülerek, istatistiksel bir yöntem olan Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi ile hem deney tasarımı yapılarak daha az deney ile daha verimli sonuçlara ulaşılmış ve böylece gereksiz deneylere harcanacak zaman ve maliyetten tasarruf edilmiş hem de deney sonuçlarında elde edilen datalar optimize edilerek en iyileşme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki matematiksel olarak regresyon analizi yöntemi ile modellenmiş ve böylece daha sonraları benzeri çalışmalarda deneysel çalışmaya gerek kalmaksızın tahmini değerlere ulaşma imkanı doğmuştur.

Bu çalışma ile ulaşılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Deneysel ve istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılan bu çalışmada, elde edilen sonuçlar; deney tasarımı aşamasında belirlenen parametreler ile, bu çalışma ile hedeflenen, yüzey kalitesi ve kesme kuvveti

parametreleri uyuşmuş ve böylece çalışma başarıyla tamamlanmıştır. Kısaca, bağımlı değişkenler için tahmin edilen bağımsız değişkenler probleme çözüm getirmiştir.

- Yüzey pürüzlülüğü gibi literatürde çok irdelenen ve üzerinde araştırma yapılan konu için sadece işleme parametrelerinin değil aynı zamanda, işlenecek iş parçasının sertliğinin de yüzey kalitesinde önemli bir faktör olduğu yapılan çalışma ile ulaşılan bir sonuçtur.
- Bu çalışma ile 17-4 PH paslanmaz çeliğinin, ilerleme oranı, talaş derinliği ve uç köşe radüsü farklı sertlik değerlerindeki iş parçalarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetine olan etkisi belirlenmiştir.
- Yapılan deneysel çalışmada ilerlemenin artmasıyla parçanın yüzey pürüzlülük değerinin arttığı gözlenmiştir. Düşük ilerleme hızlarında daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. Bu da literatürdeki çalışmalarla bağdaşmaktadır.
- Yapılan deneysel çalışmada kesme kuvvetine talaş derinliği, ilerleme ve uç radüsünün etkisi incelenmiş artan talaş derinliği ve ilerleme hızlarında kesme kuvvetlerinin arttığı belirlenmiştir.
- Regresyon modeli ile tahminsel denklemler oluşturulmuştur. Oluşturulan denklemlerin gerçek ilişkiye yakınlığı %80'dir ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde.
- ANOVA ile işleme parametreleri değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en etkili faktörün 24 HR_C ve 36 HR_C iş parçaları için ilerleme oranı olduğu belirlenmiştir. Kesme kuvvetlerine en etkili faktörün 24 HR_C iş parçası için ilerlemenin, 36 HR_C iş parçası için talaş derinliği olduğu belirlenmiştir.
- Taguchi optimizasyon yönteminin başarı ile uygulandığı bu çalışmada, kesme kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü gibi işleme prosesinde minimize edilip proses performansı arttırılmış ve elde edilen ürün kalitesi iyileştirilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] H. Shao , L. Liu, H.L. Qu : “*Machinability study on %3Co – 12Cr stainless steel in milling*” *Wear* 263 (2007) 736-744

[2] Weng-Tung Chien ve Chung-Shay Tsai.: “ *The investigation on the prediction of tool wear and the determination of optimum cutting conditions in machining 17-4 PH stainless steel*” *Journal of Materials Processing Technology* 140 (2003) 340-345

[3] Zdzislaw Klim, Elmekki Ennajimi, Marek Balazinski, Clément Fortin.: “ *Cutting tool reliability analysis for variable feed milling of 17-4 PH stainless steel* ” *Wear* 195 (1996) 206-213

[4] Çiftçi İ. “ *Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools*” *Tribology International* 39 (2006) 565-569

[5] Korkut İ., Kasap M., Çiftçi İ., Şeker U.: “ *Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel*” *Materials and Design* 25 (2004) 300-305

[6] Şeker U., Çiftçi İ., Hasırcı H.: “ *The effect of alloying elements on surface roughness and cutting forces during machining of ductile iron*” *Materials and Design* 24 (2003) 47-51

[7] Tekiner Z., Yeşilyurt S.: “ *Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel*” *Materials and Design* 25 (2004) 507-513

[8] A. Senthil Kumar, A. Raja Durai, T. Sornakumar: “ *The effect of tool wear on tool life of alumina-based ceramic cutting tools while machining hardened*

martensitic stainless steel” Journal of Materials Processing Technology 173 (2006) 151-156

[9] M.Y. Noordin, V.C. Venkatesh, S. Sharif: “*Dry turning of tempered martensitic stainless tool steel using coated cermet and coated carbide tools*” Journal of Materials Processing Technology 185 (2007) 83-90

[10] W. Grzesik, Z. Zalisz: “*Wear phenomenon in the hard steel machining using ceramic tools*” Tribology International 41 (2008) 802-812

[11] W.Y.H. Liew, B.K.A. Ngoi, Y.G. Lu: “*Wear characteristics of PCBN tools in the ultra-precision machining of stainless steel at low speeds*” Wear 254 (2003) 265-277

[12] Turgut Y., Yeyen H. E., Korkut İ.: “*AISI 303 Ostenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin talaş biçimine etkisi*” 5. Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu (IATS’09) (2009)

[13] Yeyen H. E., Korkut İ., Turgut Y., Çiftçi İ.: “*AISI 303 Ostenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri*” 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09) (2009)

[14] Özer A., Bahçeci E.: “*AISI 410 martensitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplamasına bağlı işlenebilirliği*” Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Beşevler, Ankara (2009)

[15] Nalbant M., Altın A., Gökkaya H.:” *The effect of coating material and geometry of cutting tool and cutting speed on Machinability properties of Inconel 718 super alloy*” Material and Design 28 (2007) 1719-1724

[16] Kara F, “*AISI 316L Paslanmaz Çeliğinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenmesi*” 2010 Yüksek Lisans Tezi

[17] Karagöl T, “*AL 7075 Alaşım Malzemesinin DLC Kaplamalı Kesici Takımlarla CNC Torna Tezgahında İşlenebilirliği*” 2008 Yüksek Lisans Tezi

[18] Küçük H, “*Torna Tezgahında Talaş Kaldırma İşlemine Etki Eden Faktörlerin Bilgisayar Destekli Optimizasyonu*” 2001 Yüksek Lisans Tezi

[19] Turhan A, “*Tornalama İşleminde Kesme Parametrelerinin ve İş Parçası Uzunluğunun Geometrik Toleranslara Etkilerinin İncelenmesi*” 2008 Yüksek Lisans Tezi

[20] Nas E, “*Frezelemede İşleminde Kesici Uç Sayısının Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi*” 2008 Yüksek Lisans Tezi

[21] Özçatalbaş Y, “*1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri*” 1996 Doktora Tezi

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ali KALYON

Doğum Yeri: Orhangazi

Doğum Tarihi: 01/01/1983

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ali Osman Sönmez A.T.L. (1998-2001)

Lisans: Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Anabilim dalı Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim
(2002-2006)

Yüksek Lisans: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl Aralığı

Aka Kalıp A.Ş., Bursa, İmalat Sorumlusu : 2008-2009

Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Makine Eğitimi, Karabük, Araştırma Görevlisi :2010 - Halen