

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SERTLEŞTİRİLMİŞ ÇELİKLERİN ÖN ISITMALI İŞLENMESİ**

**Benek HAMAMCI**

**Danışman  
Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2015**

**© 2015 [Benek HAMAMCI]**

## TEZ ONAYI

**Benek HAMAMCI** tarafından hazırlanan "**Sertleştirilmiş Çeliklerin Ön Isıtmalı İşlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Fevzi BEDİR**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Ertuğrul DURAK**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



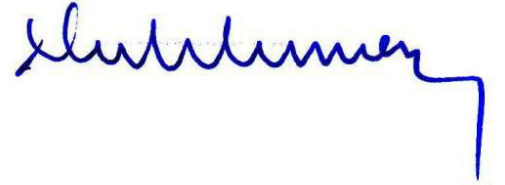
**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. İlhan ASİLTÜRK**  
Selçuk Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Nihat YILMAZ**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Enstitü Müdürü**

**Prof. Dr. Ahmet ŞAHİNER**

.....

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Benek HAMAMCI**

## İÇİNDEKİLER

|                                                               | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER.....                                              | i     |
| ÖZET .....                                                    | iii   |
| ABSTRACT .....                                                | iv    |
| TEŞEKKÜR.....                                                 | v     |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                         | vi    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                       | xi    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                           | xii   |
| 1. GİRİŞ .....                                                | 1     |
| 1.1. Kuramsal Temeller .....                                  | 3     |
| 1.1.1. Talaşlı İmalat.....                                    | 3     |
| 1.1.2. Metal Kesme Mekanizması .....                          | 3     |
| 1.1.2.1. Dik (Ortogonal) Kesme Teorisi .....                  | 3     |
| 1.1.2.2.Eğik (Oblik) Kesme Teorisi .....                      | 6     |
| 1.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü.....                                 | 7     |
| 1.1.4. Takım Aşınması .....                                   | 8     |
| 1.1.4.1. Aşınma Mekanizmaları.....                            | 9     |
| 1.1.4.1.1. Abrasiv Aşınma.....                                | 9     |
| 1.1.4.1.2. Difüzyon Aşınması.....                             | 10    |
| 1.1.4.1.3. Oksidasyon Aşınması.....                           | 10    |
| 1.1.4.1.4.Yorulma ile Aşınma .....                            | 11    |
| 1.1.4.1.5. Adhesiz Aşınma.....                                | 11    |
| 1.1.5. Takım Aşınma Tipleri .....                             | 12    |
| 1.1.5.1. Serbest Yüzey Aşınması .....                         | 13    |
| 1.1.5.2. Krater Aşınması.....                                 | 13    |
| 1.1.5.3. Çentik Aşınması.....                                 | 14    |
| 1.1.5.4. Isıl ve Mekanik Çatlaklar.....                       | 14    |
| 1.1.5.5. Yığılma ve Sıvanma(BUE).....                         | 15    |
| 1.1.5.6. Plastik Deformasyon .....                            | 15    |
| 1.1.5.7. Kırılma .....                                        | 16    |
| 1.1.5.8. Kenar Çentiklenmesi .....                            | 17    |
| 1.1.6. İndüksiyonla Isıtma.....                               | 17    |
| 1.1.6.1. Dalma Derinliği.....                                 | 18    |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ .....                                      | 20    |
| 2.1. Ön ısıtmalı Sert İşlemede Isıtma Yöntemleri .....        | 20    |
| 2.2. Ön Isıtmalı İşlemenin İşleme Parametrelerine Etkisi..... | 27    |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                   | 33    |
| 3.1. Materyal .....                                           | 33    |
| 3.1.1. İş Parçası Malzemesi .....                             | 33    |
| 3.1.2. Kesici Takım ve Tutucu .....                           | 35    |
| 3.1.3. Kullanılan Cihaz ve Sistemler .....                    | 36    |
| 3.1.4. Kullanılan Tezgâhlar .....                             | 39    |
| 3.2. Yöntem.....                                              | 40    |
| 3.2.1. Ön Hazırlık Deneylerinin Yapılması.....                | 41    |
| 3.2.2. Taguchi Deney Tasarımı.....                            | 46    |
| 3.2.3. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi.....        | 47    |
| 3.2.4. Kesme Kuvveti Ölçümleri.....                           | 48    |

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.5. Anova Analizi .....                                                                         | 49  |
| 3.2.6. Evrimsel Programlama ile Modelleme.....                                                     | 49  |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....                                                                        | 51  |
| 4.1. Deneysel Bulgular ve Taguchi Performans Analizi.....                                          | 51  |
| 4.1.1. Deneysel Bulgular .....                                                                     | 51  |
| 4.1.2. Taguchi S/N Analizi.....                                                                    | 52  |
| 4.1.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) Ve Kesme Kuvvetleri ( $F_c$ , $F_f$ , $F_p$ )<br>S/N Analizi ..... | 52  |
| 4.1.2.2. Takım Aşınma Derinlik ve Uzunluk S/N Analizi .....                                        | 58  |
| 4.1.3. Tahmini ve Deneysel Bulgular .....                                                          | 61  |
| 4.2. Kesme Kuvveti Bulguları.....                                                                  | 66  |
| 4.2.1. İlerleme Hızı- Kesme Kuvveti İlişkisi.....                                                  | 66  |
| 4.2.2. Ön Isıtma Sıcaklığı- Kesme Kuvveti İlişkisi .....                                           | 69  |
| 4.2.3. Kesme Hızı- Kesme Kuvveti İlişkisi .....                                                    | 71  |
| 4.3. Takım Aşınma Bulguları.....                                                                   | 76  |
| 4.3.1. Kesme Hızı – Takım Aşınma İlişkisi.....                                                     | 80  |
| 4.3.2. Sıcaklık – Takım Aşınma İlişkisi.....                                                       | 87  |
| 4.4. Yüzey Pürüzlülük Bulguları .....                                                              | 94  |
| 4.4.1. Kesme Hızı- Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi .....                                                | 94  |
| 4.4.2. İlerleme Hızı- Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi .....                                             | 96  |
| 4.4.3. Sıcaklık- Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi.....                                                   | 97  |
| 4.5. İş parçası Sertlik Değerleri ve Mikro Yapısı .....                                            | 100 |
| 4.6. Anova Analizi.....                                                                            | 102 |
| 4.7. Evrimsel Programlama ile Modelleme .....                                                      | 105 |
| 4.7.1. Yüzey Pürüzlülüğü Tahmini İçin Model Tasarımı .....                                         | 105 |
| 4.7.2. Aşınma Derinliği Tahmini için Model Tasarımı.....                                           | 110 |
| 5. SONUÇLAR.....                                                                                   | 116 |
| KAYNAKLAR .....                                                                                    | 122 |
| EKLER.....                                                                                         | 128 |
| EK A.Çizelgeler .....                                                                              | 129 |
| EK B. Şekiller .....                                                                               | 136 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                      | 153 |

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

#### SERTLEŞTİRİLMİŞ ÇELİKLERİN ÖN ISITMALI İŞLENMESİ

**Benek HAMAMCI**

**Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN**

Bu çalışmada, sertliği 61HRC, DIN 1.2842 soğuk iş takım çeliğine CBN (kübik bor nitrür) kesici uçlarla, indüksiyon fırını ile ön ısıtılmalı yüzey frezeleme işlemi yapılmıştır. İşleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri ve kesici uçlarda meydana gelen aşınmalar belirlenmiştir.

Taguchi metodu ile ön ısıtılmalı frezeleme işlemi; 0,6mm sabit kesme derinliğinde, 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızı, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızı ve 350, 400, 450, 500°C ön ısıtma sıcaklığı parametrelerine göre L16 deney tasarımı oluşturulmuştur. Kesme işlemi esnasında oluşan kesme kuvveti sinyalleri ölçülmüştür. Kesme işleminden sonra kesici uçlarda meydana gelen aşınmalar ve iş parçası yüzeyinde oluşan yüzey pürüzlülük değeri belirlenmiştir.

L16 tasarımına göre yapılan deneylerin sonuçlarının optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon ile sinyal/gürültü oranlarına göre kesme hızı, takım aşınma, yüzey pürüzlülük miktarlarının maksimum ve minimum değerleri belirlenmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen minimum veriler doğrulama deneyleri ile test edilmiş ve diğer deney kombinasyonları Taguchi metodu ile tahmin edilmiştir. Tahmin edilen ve deneyler sonucu ile elde edilen veriler ANOVA varyans analizine tabi tutulmuştur. Bu analiz sonucunda, ön ısıtma sıcaklığı, kesme hızı, ilerleme hızının, yüzey pürüzlülük, kesme kuvveti, takım aşınması üzerindeki etkileri istatistiksel olarak belirlenmiştir. Ayrıca ön ısıtma ile işleme yapılmış parçaların mikroyapı ve sertlik değerleri incelenmiştir.

Aşınma miktarları ve yüzey pürüzlülük değerleri akıllı yöntemlerden biri olan evrimsel programlama ile modellenerek matematiksel olarak denklemleri türetilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen veriler daha önce çalışılmış literatür bilgisiyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ön Isıtılmalı İşleme, Takım Aşınması, CBN, Frezeleme, Sert Malzemelerin Frezelenmesi, Talaş Kaldırma, Kesme Kuvveti, Evrimsel Programlama, İndüksiyon Fırını

**2015, 154 sayfa**

## **ABSTRACT**

### **Ph.D.THESIS**

#### **HARDENED STEEL PREHEATED MACHINING**

**Benek HAMAMCI**

**Süleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. M.Cengiz KAYACAN**

In this study, pre-heated with induction furnace surface milling process was applied to DIN 1.2842, 61HRC hardness cold work tool steel by CBN inserts. Cutting forces occurred during machining, surface roughness and wear occurring on the cutting insert were determined.

Pre-heated milling process was experimentally designed by using the Taguchi L16 method with parameters of at constant cutting depth 0.6mm, 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/min cutting speed, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/tooth feed rate and 350, 400, 450, 500°C the preheating temperature formed cutting signals were measured during cutting operations. At the end of the machining insert wear and workpiece surface roughness were determined.

The results of the L16 designed experiments were optimized. With the optimization maximum and minimum values of cutting speed, tool wear, surface roughness were determined by considering signal/noise ratio. The minimal data obtained by optimisation was tested by verification experiments and other experimental combinations were estimated by using Taguchi method. ANOVA variance analysis was applied estimated and experimentally found data. As a result of this analysis, the effects of pre-heating temperature, cutting speed, feed rate on surface roughness, the effects on tool wear, cutting force and tool wear were determined statistically. Of pre-heated milling parts microstructure and hardness values was also examined.

Wear and surface roughness values were modeled with one of the intelligent method the evolutionary programming and mathematical equations were derived. The data obtained from this study was compared with the previous literature.

**Keywords:** Pre Heated Machining, Insert Wear, CBN, Milling, Hard Materials Milling, Metal Cutting, Cutting Force, Evolutionary Programming, Induction Furnace

**2015, 154 pages**

## TEŞEKKÜR

Önce beni yaratan Rabbime hamdolsun. Doktora tez çalışmamda beni teşvik eden ve benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. M. Cengiz KAYACAN'a, Evrimsel Programlama ile Modellemeden türetilen Visual Basic kodunu matematiksel ifadeye dönüştürmede yardımcı olan Doç. Dr. Oğuz ÇOLAK, Yrd. Doç. Dr. Ergün KORKMAZ'a ve deneyler esnasında her türlü kolaylık ve yardımı sağlayan SDÜ CAD/CAM Araştırma ve Uygulama Merkezindeki ve SDÜ Teknoloji Fakültesi, İmalat ve Enerji Mühendisliği Bölümündeki mesai arkadaşlarıma, çalışmanın her safhasında anlayış gösteren ve destek sağlayan eşim ve oğluma, bugünlerimi borçlu olduğum aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalar esnasında bana yardımcı olan SDÜ CAD\CAM Araş. ve Uyg. Merkezi teknisyenleri Süleyman DEMİRAĞ'a ve Ahmet İZCİLER'e teşekkür ederim. Çalışmayı maddi olarak destekleyen SDÜ Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne (Proje no:2306-D-10) ayrıca teşekkür ederim.

Benek HAMAMCI

ISPARTA, 2015

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                           | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Ortogonal kesme geometrisi [(a) Düzlemsel parçalarda<br>ortogonal kesme, (b) Silindirik parçalarda ortogonal kesme .....       | 4     |
| Şekil 1.2. Ortogonal kesme mekaniği .....                                                                                                 | 5     |
| Şekil 1.3. Oblik kesme işlemi geometrisi .....                                                                                            | 6     |
| Şekil 1.4. Eğik kesme geometrisi .....                                                                                                    | 7     |
| Şekil 1.5. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler .....                                                                                    | 8     |
| Şekil 1.6. Serbest yüzey aşınması .....                                                                                                   | 13    |
| Şekil 1.7. Krater aşınması .....                                                                                                          | 14    |
| Şekil 1.8. Çentik aşınması .....                                                                                                          | 14    |
| Şekil 1.9. Isıl çatlaklar .....                                                                                                           | 15    |
| Şekil 1.10. Yığılma ve sıvanma.....                                                                                                       | 15    |
| Şekil 1.11. Plastik deformasyon .....                                                                                                     | 16    |
| Şekil 1.12. Kırılma .....                                                                                                                 | 16    |
| Şekil 1.13. Kenar çentiklenmesi .....                                                                                                     | 17    |
| Şekil 1.14. Malzeme yüzeyindeki atomların vektörel yönlerinin sıcaklıkla<br>değişimi .....                                                | 18    |
| Şekil 1.15. Dalma derinliğinin üstel olarak azalması .....                                                                                | 19    |
| Şekil 2.1. Malzemelerin çekme dayanımının sıcaklığa bağlı değişimi.....                                                                   | 21    |
| Şekil 2.2. (a) Malzemelerin sertliğinin sıcaklığa bağlı değişimi (b) Yüksek<br>manganlı çeliğin sıcaklığa göre sertliğinin değişimi ..... | 22    |
| Şekil 2.3. Alüminyum alaşımlar için akma mukavemetinin sıcaklıkla<br>değişimi .....                                                       | 22    |
| Şekil 2.4. Lazerle ön ısıtmalı alın frezeleme işlemi.....                                                                                 | 24    |
| Şekil 2.5. Torçla ön ısıtma yapılmış tornalama işlemi .....                                                                               | 25    |
| Şekil 2.6. Çift lazerle ön ısıtma yapılmış tornalama işlemi ve lazerle ön<br>ısıtma yapılmış frezeleme işlemi .....                       | 25    |
| Şekil 2.7. Lazer destekli sert malzeme tornalamanın şematik gösterimi .....                                                               | 26    |
| Şekil 2.8. Kesici takıma lazer çubuk yerleştirilerek ön ısıtma yapılan<br>frezeleme işlemi .....                                          | 26    |
| Şekil 2.9. İndüksiyonla ön ısıtmalı frezeleme işlemi.....                                                                                 | 27    |
| Şekil 3.1. (a) İş parçası malzemesi (b) İş parçasının standarda göre<br>hazırlanması ve dinamometre tablası üzerine bağlanması.....       | 34    |
| Şekil 3.2. Deneyde kullanılan CBN kesici takımlar .....                                                                                   | 35    |
| Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan takım tutucu şekli, boyutları ve<br>özellikleri .....                                                    | 36    |
| Şekil 3.4. İndüksiyon fırını ve soğutma tesisat .....                                                                                     | 37    |
| Şekil 3.5. İndüksiyon fırını tesisat şeması .....                                                                                         | 38    |
| Şekil 3.6. İndüksiyon bobini, kesici takım ve iş parçası temsili şekli .....                                                              | 38    |
| Şekil 3.7. İş parçası üzerinde açılmış deliklerin farklı yönlerden gösterimi                                                              | 42    |
| Şekil 3.8. Deney Düzeneği.....                                                                                                            | 43    |
| Şekil 3.9. İş parçasına enlemesine ve boylamasına yerleştirilen<br>termokupullardan alınan sıcaklık değerlerinin gösterimi.....           | 44    |
| Şekil 3.10. Deneylerde iş parçası yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü<br>noktalar.....                                                         | 47    |
| Şekil 3.11. CutPro programından elde edilen ham kesme kuvveti<br>sinyalleri.....                                                          | 48    |
| Şekil 3.12. Kesme kuvveti sinyallerinin işlenen 10s'lik veri gösterimi .....                                                              | 49    |

|                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerleri S/N oranları.....                                                                                                                                                 | 54 |
| Şekil 4.2. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri S/N oranları.....                                                                                                                                               | 55 |
| Şekil 4.3. İlerleme kuvveti ( $F_f$ ) değerleri S/N oranları.....                                                                                                                                                 | 56 |
| Şekil 4.4. Pasif kesme kuvveti ( $F_p$ ) değerleri S/N oranları.....                                                                                                                                              | 57 |
| Şekil 4.5. Aşınma derinlik değerleri S/N oranları.....                                                                                                                                                            | 59 |
| Şekil 4.6. Aşınma uzunluk değerleri S/N oranları.....                                                                                                                                                             | 60 |
| Şekil 4.7. 20(Taylan, 2009), 350, 400, 450, 500°C ( $\pm 10$ ) sıcaklıkta<br>524.5,451.3,278.1,154.4m/dak kesme hızlarında elde edilen $F_c$<br>ve $F_p$ kesme kuvveti - ilerleme hızı değerleri değişimleri..... | 67 |
| Şekil 4.8. 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1,<br>0.15mm/diş ilerleme hızı kesme işlemi sonucunda elde edilen<br>$F_c$ ve $F_p$ kesme kuvveti - sıcaklık değerleri değişimleri.....   | 70 |
| Şekil 4.9. 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızında 350, 400, 450,<br>500°C ön ısıtma sıcaklığında kesme işlemi sonucunda elde<br>edilen $F_c$ ve $F_p$ kesme kuvveti – kesme hızı değerleri değişimleri     | 72 |
| Şekil 4.10. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında,<br>450°C’de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafı.....                                                                                 | 76 |
| Şekil 4.11. Konvansiyonel ve ön ısıtma sıcaklıklarına göre elde edilen %<br>takım aşınma değişimleri .....                                                                                                        | 78 |
| Şekil 4.12. 350°C’de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında<br>yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma<br>miktarı– kesme hızı değerleri değişimleri .....                               | 81 |
| Şekil 4.13. 400°C’de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında<br>yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma<br>miktarı– kesme hızı değerleri değişimleri .....                               | 82 |
| Şekil 4.14. 450°C’de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında<br>yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma<br>miktarı– kesme hızı değerleri değişimleri .....                               | 83 |
| Şekil 4.15. 500°C’de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında<br>yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma<br>miktarı– kesme hızı değerleri değişimleri .....                               | 84 |
| Şekil 4.16. 20°C’de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında<br>yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma<br>miktarı– kesme hızı değerleri değişimleri .....                                | 86 |
| Şekil 4.17. 154.4m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş<br>ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen<br>takım aşınma miktarı – sıcaklık değerleri değişimleri.....                 | 87 |
| Şekil 4.18. 278.1m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş<br>ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen<br>takım aşınma miktarı – sıcaklık değerleri değişimleri.....                 | 89 |
| Şekil 4.19. 451.3m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş<br>ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen<br>takım aşınma miktarı – sıcaklık değerleri değişimleri.....                 | 90 |
| Şekil 4.20. 524.5m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş<br>ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen<br>takım aşınma miktarı – sıcaklık değerleri değişimleri.....                 | 91 |
| Şekil 4.21. 350, 400, 450, 500( $\pm 10$ )°C sıcaklıkta 154.4, 278.1, 451.3,<br>524.5m/dak kesme hızlarında yapılan kesme sonunda elde<br>edilen yüzey pürüzlülüğü – ilerleme hızı değerleri değişimleri....      | 95 |

|                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.22. 20(±10)°C sıcaklıkta 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızlarında yapılan kesme sonunda elde edilen kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü değerleri değişimleri .....                                                                       | 96  |
| Şekil 4.23. 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında kesme işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü – ilerleme hızı değerleri değişimleri .....                                        | 97  |
| Şekil 4.24. 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızında 350, 400, 450, 500°C ön ısıtma ile yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü-ön ısıtma sıcaklığı değerleri değişimleri.....                                           | 98  |
| Şekil 4.25. İş parçası malzemelerinin tanecik yapıları, a) Konvansiyonel işlenmiş malzeme, b) 350°C ön ısıtma yapılmış malzeme, c)400°C ön ısıtma yapılmış malzeme, d) 450°C ön ısıtma yapılmış malzeme, e) 500°C ön ısıtma yapılmış malzeme ..... | 101 |
| Şekil 4.26. Yüzey pürüzlülük tahmini için kurulan evrimsel programlama modeli.....                                                                                                                                                                 | 106 |
| Şekil 4.27. Yüzey pürüzlülük verileri ile evrimsel programlama verilerinin karşılaştırılması .....                                                                                                                                                 | 107 |
| Şekil 4.28. Ön ısıtma sıcaklığı 350°C’de yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması.....                                                                                                                | 108 |
| Şekil 4.29. Ön ısıtma sıcaklığı 400°C’de yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması.....                                                                                                                | 108 |
| Şekil 4.30. Ön ısıtma sıcaklığı 450°C’de yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması.....                                                                                                                | 109 |
| Şekil 4.31. Ön ısıtma sıcaklığı 500°C’de yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması.....                                                                                                                | 109 |
| Şekil 4.32. Aşınma derinlik tahmini için kurulan evrimsel programlama modeli.....                                                                                                                                                                  | 110 |
| Şekil 4.33. Aşınma derinlik verileri ile evrimsel programlama verilerinin karşılaştırılması.....                                                                                                                                                   | 112 |
| Şekil 4.34. 500°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma derinliği-ilerleme deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması .....                                                                              | 113 |
| Şekil 4.35. 450°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma derinliği-ilerleme deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması .....                                                                              | 113 |
| Şekil 4.36. 400°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma derinliği-ilerleme deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması .....                                                                              | 114 |
| Şekil 4.37. 350°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma derinliği-ilerleme deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması .....                                                                              | 114 |
| EK B1. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, 450°C’de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları.....                                                                                                                       | 135 |
| EK B2. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, 20°C’de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....                                                                                                                       | 135 |
| EK B3. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında, 350°C’de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları.....                                                                                                                      | 136 |

|                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| EK B4. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....    | 136 |
| EK B5. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızında, 500°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları.....    | 137 |
| EK B6. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....    | 137 |
| EK B7. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....  | 138 |
| EK B8. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....   | 138 |
| EK B9. 278.1m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları.....    | 139 |
| EK B10. 278.1m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....   | 139 |
| EK B11. 278.1m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında, 350°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları ..... | 140 |
| EK B12. 278.1m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....  | 140 |
| EK B13. 278.1m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızında, 450°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....  | 141 |
| EK B14. 278.1m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızında, 20°C de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....   | 141 |
| EK B15. 278.1m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, 500°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları.....    | 142 |
| EK B16. 278.1m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....    | 142 |
| EK B17. 451.3m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında, 450°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....  | 143 |
| EK B18. 451.3m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....   | 143 |
| EK B19. 451.3m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında, 500°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları ..... | 144 |
| EK B20. 451.3m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....  | 144 |
| EK B21. 451.3m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, 350°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları.....    | 145 |
| EK B22. 451.3m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....    | 145 |
| EK B23. 451.3m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....  | 146 |
| EK B24. 451.3m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....   | 146 |
| EK B25. 524.5m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında 500°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....   | 147 |
| EK B26. 524.5m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....    | 147 |
| EK B27. 524.5m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında, 450°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları ..... | 148 |

|                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| EK B28. 524.5m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında,<br>20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları ..... | 148 |
| EK B29. 524.5m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de<br>yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları.....   | 149 |
| EK B30. 524.5m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de<br>yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....   | 149 |
| EK B31. 524.5m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızında<br>350°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....  | 150 |
| EK B32. 524.5m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de<br>yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları .....  | 150 |
| EK B33. DIN 1.2842 soğuk iş takım çeliği sertifikası .....                                                                         | 151 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                  | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 3.1. İş parçası malzemesi kimyasal bileşimi .....                                                                                                                                        | 34    |
| Çizelge 3.2. Termokupllar yardımıyla veri toplayıcıdan alınan sıcaklık değerlerinin zamana bağlı ilerleme oranı değişimi .....                                                                   | 44    |
| Çizelge 3.3. 350, 400, 450, 500°C(±10) ön ısıtmalı farklı kesme parametrelerine göre elde edilen indüksiyon cihazı akım değerleri .....                                                          | 45    |
| Çizelge 3.4. Taguchi deney tasarımı için belirlenen faktörler ve seviyeler ..                                                                                                                    | 46    |
| Çizelge 3.5. Taguchi L16 modeli .....                                                                                                                                                            | 47    |
| Çizelge 4.1. Taguchi L16 modeline göre elde edilen deney sonuçları.....                                                                                                                          | 52    |
| Çizelge 4.2. Kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları.                                                                                                                        | 53    |
| Çizelge 4.3. Minimum yüzey pürüzlülük (Ra) değeri.....                                                                                                                                           | 54    |
| Çizelge 4.4. Minimum esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) değeri .....                                                                                                                                   | 55    |
| Çizelge 4.5. Minimum ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) değeri.....                                                                                                                                      | 56    |
| Çizelge 4.6. Minimum pasif kesme kuvveti ( $F_p$ ) değeri .....                                                                                                                                  | 57    |
| Çizelge 4.7. Takım aşınma uzunluk, derinlik değerleri ve S/N oranları.....                                                                                                                       | 58    |
| Çizelge 4.8. Minimum aşınma derinlik değeri .....                                                                                                                                                | 60    |
| Çizelge 4.9. Minimum aşınma uzunluk değeri.....                                                                                                                                                  | 61    |
| Çizelge 4.10. Tahmini ve Deneysel $F_c$ , $F_f$ ve Ra değerleri.....                                                                                                                             | 62    |
| Çizelge 4.11. Tahmini ve Deneysel takım aşınma değerleri .....                                                                                                                                   | 64    |
| Çizelge 4.12. Ön ısıtmalı işlemenin konvansiyonel işlemeye göre kesme kuvvetlerindeki % iyileşme değerleri.....                                                                                  | 75    |
| Çizelge 4.13. Deneysel bulgular sonucunda elde edilen aşınma takı uzunluk ve derinlik değerleri.....                                                                                             | 77    |
| Çizelge 4.14. Deneylerden elde edilen ortalama aşınma değerleri ve tahmin edilmiş aşınma değerleri .....                                                                                         | 79    |
| Çizelge 4.15. Ön ısıtmalı işlemede deneylerden elde edilen aşınma derinlik ve aşınma uzunluk değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre % iyileşme değeri ve tahmin edilmiş aşınma değerleri ..... | 93    |
| Çizelge 4.16. Ön ısıtmalı işlemenin, konvansiyonel işlemeye göre yüzey pürüzlülük değerlerinin % iyileşme değerleri .....                                                                        | 100   |
| Çizelge 4.17. Farklı ön ısıtma sıcaklıklarda malzeme sertlik değerleri .....                                                                                                                     | 100   |
| Çizelge 4.18. Deney parametreleri ve seviyeleri .....                                                                                                                                            | 102   |
| Çizelge 4.19. $F_c$ kesme kuvveti için anova bulguları .....                                                                                                                                     | 103   |
| Çizelge 4.20. $F_p$ kesme kuvveti için anova bulguları .....                                                                                                                                     | 103   |
| Çizelge 4.21. Yüzey pürüzlülüğü için anova bulguları.....                                                                                                                                        | 103   |
| Çizelge 4.22. Takım aşınması için anova bulguları .....                                                                                                                                          | 104   |
| Çizelge 5.1. Konvansiyonel işlemeye göre maksimum $F_c$ ve $F_f$ kesme kuvvetlerinde elde edilen % iyileşme değerleri .....                                                                      | 114   |
| EK A1. Yüzey pürüzlülük değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre % iyileşme değerleri .....                                                                                                      | 129   |
| EK A2. Kesme kuvveti değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre % iyileşme değerleri .....                                                                                                         | 131   |
| EK A3. Takım aşınma değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre % iyileşme değerleri .....                                                                                                          | 133   |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|           |                                                                            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|
| A         | Kesilmemiş Talaş kalınlığı                                                 |
| ac        | Kesilmiş Talaş kalınlığı                                                   |
| $a$       | Eksenel kesme derinliği                                                    |
| $b$       | Kesme genişliği                                                            |
| CBN       | Kübik Bor Nitrür                                                           |
| CVD       | Kimyasal Buhar Biriktirme                                                  |
| D1        | Bobin sarım çapı                                                           |
| d1        | Bobin dış çapı                                                             |
| $f$       | Tabla ilerleme hızı                                                        |
| $f_f$     | Frekans (Hertz)                                                            |
| $F_s$     | Kayma (kesilme) Düzlemi Boyunca Etki Eden Kuvvet                           |
| $F_c$     | Kesme (işleme) Kuvveti (Esas kesme kuvveti)                                |
| $F_f$     | İlerleme Kuvveti                                                           |
| $F$       | Sürtünme Kuvveti                                                           |
| $F_R$     | $F_c$ ile $F_p$ Bileşke Kuvveti                                            |
| $F_n$     | Sürtünme Vektörüne Dik Kuvvet                                              |
| $F_{ns}$  | Kayma Kuvvetine Dik Kuvvet                                                 |
| $F_p$     | Pasif Kuvvet                                                               |
| HRC       | Rockwell sertlik değeri                                                    |
| K         | Kalınlık                                                                   |
| I         | Akım (A)                                                                   |
| l1        | Bobin sarımları arası mesafe                                               |
| N         | İş mili devri                                                              |
| P         | Deney parametreleri ve arasındaki etkileşim değeri                         |
| PCBN      | Çok kristalli kübik bor nitrür                                             |
| PCD       | Çok Kristalli elmas                                                        |
| PVD       | Fiziksel buhar biriktirme                                                  |
| $P_n$     | Normal düzlem                                                              |
| $P_v$     | Hız düzlemi                                                                |
| $R_a$     | Yüzey pürüzlülük değeri                                                    |
| $R_t$     | Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı |
| S/N       | Sinyal faktörünü/Gürültü faktörünü                                         |
| T         | Ön ısıtma sıcaklığı                                                        |
| TEM       | Tarama Elektron Mikroskobu                                                 |
| Vb        | Takım aşınma derinlik değeri                                               |
| Vc        | Kesme Hızı                                                                 |
| xy        | Kesme düzlemi                                                              |
| xz        | Normal düzlem                                                              |
| W         | Parça Uzunluğu                                                             |
| W'        | Çıkan Talaş Uzunluğu                                                       |
| $\alpha$  | Talaş Açısı                                                                |
| $\beta$   | Sürtünme Açısı                                                             |
| $\theta$  | Kama Açısı                                                                 |
| $\varphi$ | Kayma Açısı                                                                |
| $\gamma$  | Serbest kenar boşluk açısı                                                 |
| $\mu$     | Manyetik geçirgenlik katsayısı (Wb/At-m)                                   |

$\rho$  Malzemenin özgül direnci ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )  
 $\delta$  Dalma derinliği (mm)

## 1. GİRİŞ

Talaşlı imalat teknolojileri, üretim endüstrisinin, geçmişte olduğu gibi gelecekte de önemini yitirmeyecek en önemli alanlarından biridir. Dünyada tüm ülkelerin ekonomisine yön veren otomotiv, havacılık, makine imalatı gibi sektörlerin önemseydiği talaşlı imalat konusunda yapılan araştırma çalışmaları, güncelliğini her zaman korumuştur. Günümüzde, global ekonominin, işletmeleri ağır rekabet şartlarına zorlaması, üretimde optimizasyonun ve en uygun üretim şartlarının tespit edilmesi için yapılması gereken araştırma geliştirme çalışmalarını zorunlu kılmaktadır.

Talaşlı imalatla yapılan çalışmaların amaçları genelde, kesme tekniklerini geliştirip verimliliği artırarak maksimum üretim hacmine ulaşabilmek, yüksek hassasiyette parça üretebilmek ve mevcut imkânları en uygun şekilde kullanarak farklı ürünlerin işlenebilirliğini arttırabilmektir (Çolak, 2006).

Talaşlı imalatla işlenebilirliği, malzemenin sertliği, sünekliği, yüzey gerilemeleri, mekanik özellikleri ve içyapısı etkilemektedir. Talaşlı imalatla malzemenin sertliği işlenebilirliğini azaltmaktadır. Sert malzemelerin işlenmesinde geleneksel işleme yöntemleri ekonomik olmadığı gibi yüksek takım aşınması ve yüksek işleme zamanı doğurur (Khan vd., 2009).

Sert malzeme işleme, sertliği 45HRC veya daha yüksek olan sertleştirilmiş iş parçası malzemelerinin, talaşlı imalatı anlamına gelmektedir (Davim, 2008). Sert malzemeler yüksek mukavemetli ve ısıya dayanıklı olduklarından birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak bu malzemelerin işlenmesi, fiziksel ve mekanik özelliklerinden (örneğin yüksek mukavemetli ve düşük ısı iletkenlik) dolayı genellikle zordur. Bu özellikler, kesme kuvvetlerini, kesme sıcaklıklarını yükselterek takım ömrünün kısılmasına sebep olmaktadır. Bu dezavantajları gidermek amacıyla son yıllarda ileri teknoloji takımları geliştirme, işlenecek malzemeyi kesme işleminden önce ön ısıtmaya tabi tutma ve kriyojenik işleme gibi çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmada ön ısıtmalı işleme yöntemi kullanılarak sert malzemenin kesme kuvvetini, takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmak amaçlanmıştır. Ön ısıtmalı işlemede, harici bir ısı kaynağı kullanılmakta ve malzemenin yumuşaması sağlanmaktadır. Ön ısıtmak amaç, iş parçasının talaş kalınlığı kadar kısmını ısıtarak işlenebilirliğini arttırmaktır (Pfefperkorn vd., 2005). Daha fazla (derin) ısıtma, malzemenin başta sertliği olmak üzere mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzlukların giderilebilmesi için, sert malzeme üzerindeki ısıtılmış bölgenin, talaş olarak kaldırılması gerekmektedir. Bu şekilde malzemenin işlenecek bölgesinin akma mukavemeti ve sertliği azalacaktır.

Bu çalışmada; indüksiyonla ön ısıtma yapılmış sertleştirilmiş DIN 1,2842 (90MnCrV8) alaşımlı soğuk iş takım çeliğinin frezeleme ile işlenebilirliği araştırılmıştır. Söz konusu çelik malzeme, başta kalıpcılık olmak üzere özellikle aşınmaya karşı çalışacak makine elemanları (ovalama yanakları, rayba, kılavuz pim, vida tarağı vb.) imalatında kullanılmaktadır.

Tezin birinci bölümünde, talaşlı imalat, frezeleme işlemlerinde takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve indüksiyonla ısıtma ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde konu hakkında literatür çalışmaları değerlendirilmiştir.

Materyal ve yöntem üçüncü bölümünde anlatılmıştır. Söz konusu bölümde deneylerde kullanılan materyaller ve cihazlar hakkında bilgi verilmiştir. Ön ısıtma deneyleri, Taguchi metodu ile deney tasarımı, elde edilen sonuçların nasıl değerlendirildiği ile ilgili yöntemler anlatılmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde, deneylerden elde edilen veriler ve değerlendirilmesi bulunmaktadır. Öncelikle ölçülen kesme kuvveti sinyalleri incelenmiş ve kesme işlemi neticesinde iş parçası yüzeyinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri analiz edilmiştir. Deney parametrelerine bağlı olarak, işleme sonrası ölçülen iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri tartışılmıştır. Ardından takım aşınması irdelenmiştir. Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak evrimsel programlama ile yüzey pürüzlülüğü-sıcaklık ilişkisi ve

takım aşınma- sıcaklık ilişkisi modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan model ile tahmin edilen verilerin doğruluk oranları değerlendirilmiştir.

Tezin son bölümü olan sonuçlar kısmında ise araştırma bulgularından elde edilen takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri tartışılmıştır. Evrimsel programlama ile oluşturulan modellerden türetilen matematiksel ifadeler kullanılarak tahmin edilen aşınma ve yüzey pürüzlülük değerleri ile deneylerden elde edilen veriler kıyaslanmıştır.

### **1.1. Kuramsal Temeller**

Bu bölümde metal kesme mekaniği, talaş kaldırma kabiliyeti, frezeleme işlemlerinde takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve indüksiyon ile ısıtma konuları hakkında genel bilgiler verilmiştir.

#### **1.1.1. Talaşlı İmalat**

Şekillendirilecek iş parçası üzerinden kesici takımlar yardımıyla küçük parçacıklar halinde malzeme koparılarak (talaş) yapılan imalata talaşlı imalat denir. En yaygın talaşlı imalat yöntemleri tornalama, frezeleme, delik delme ve bunları takiben honlama, broşlama, form kesme yöntemleridir. Tüm metal kesme işlemlerinin mekanik prensipleri aynı olmakla birlikte bunların geometri ve kinematikleri birbirilerinden farklı olabilmektedir (Taylan, 2009).

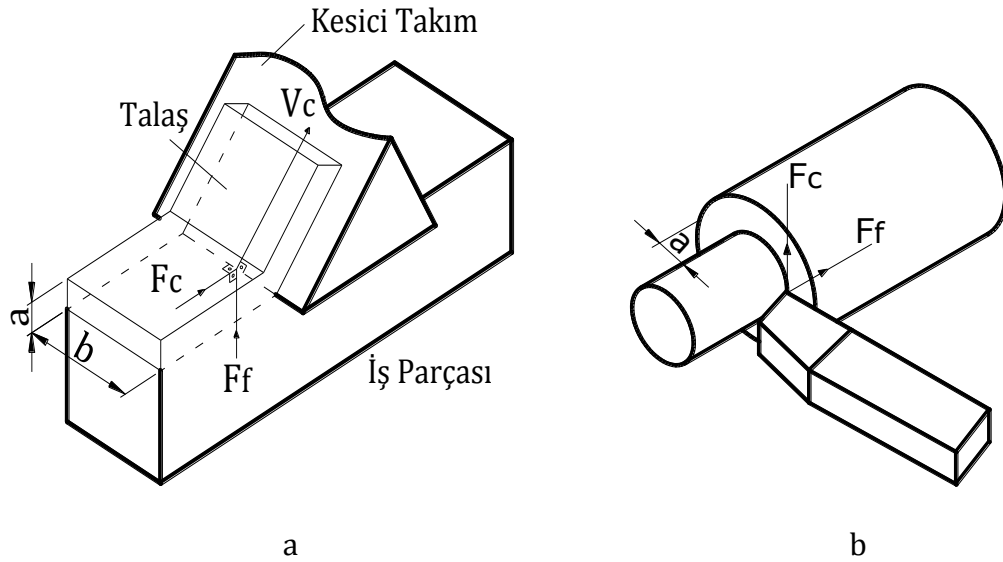
#### **1.1.2. Metal Kesme Mekaniği**

Bu bölümde talaşlı imalatın temeli olan ortogonal (dik) kesme mekaniği ve oblik (eğik) kesme mekaniği konuları bilgileri verilmiştir.

##### **1.1.2.1. Dik (Ortogonal) Kesme Teorisi**

Kesme işlemleri üç boyutlu ve karmaşık geometrilere sahip olmasına rağmen, iki boyutlu ortogonal kesme, metal talaş kaldırma işleminin genel mekaniğini

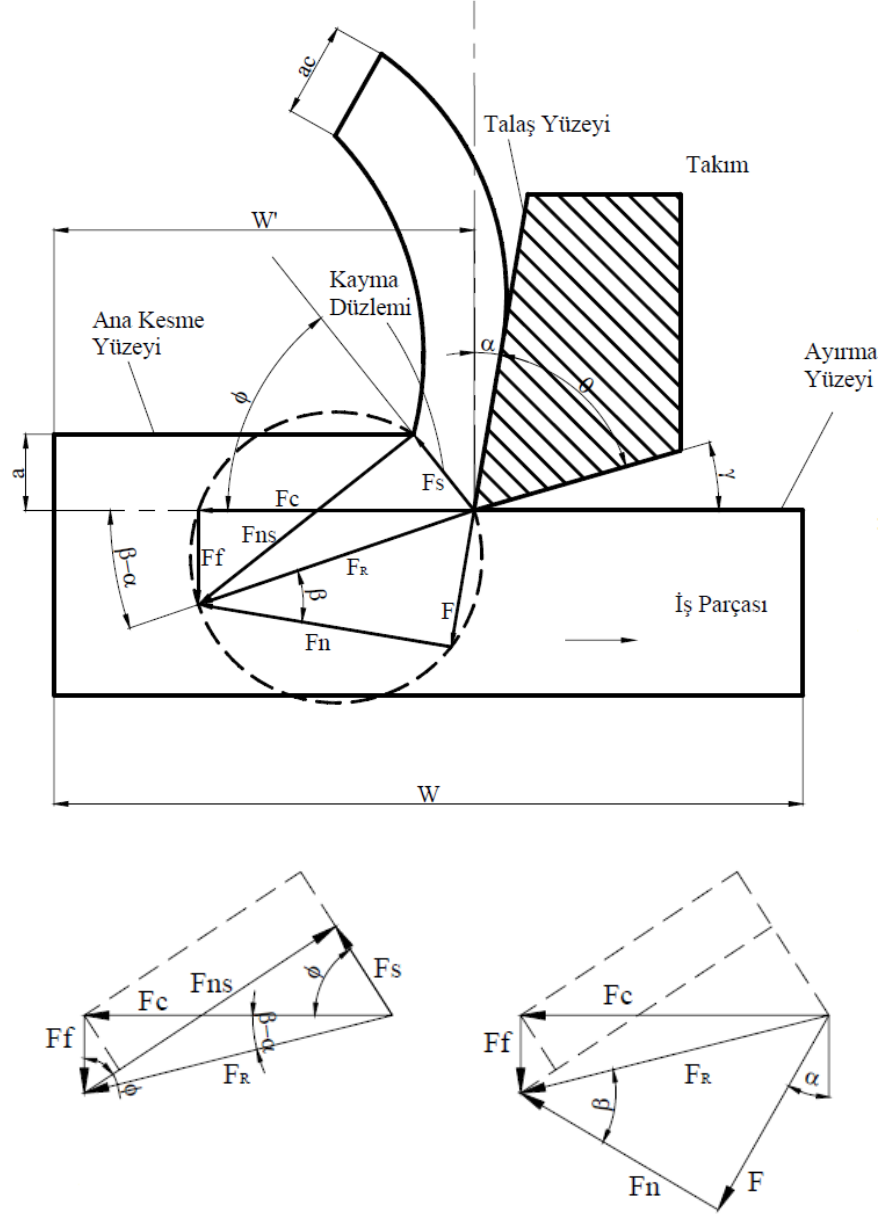
açıklamak için kullanılır. Ortogonal kesmede malzeme ile takım kesme kenarı arasında dik açı altında talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Daha karmaşık üç boyutlu eğik kesme işlemleri; genellikle ortogonal kesme işleminde uygulanmış geometrik ve kinematik şekil değiştirmelerle değerlendirilir. Şekil 1.1’de de şematik olarak ortogonal kesme işlemlerinin gösterimi yapılmıştır. Ortogonal kesmede, kesme kenarı kesme hızına dik olan takım kullanılmaktadır. Kesme genişliği ( $b$ ) ve kesme derinliği (paso) ( $a$ ) boyutunda bir metal talaş, iş parçasından kesilerek ayrılır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylelikle malzemenin yanına yayılma olmadan iki boyutlu düz gerilimli şekil değiştirme işlemi gerçekleşmektedir. Dolayısıyla kesme kuvvetleri sadece esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) olup kesme hızı ve normali yönünde oluşur. (Altıntaş, 2000).



Şekil 1.1. Ortogonal kesme geometrisi (a) Düzlemsel parçalarda ortogonal kesme, (b) Silindirik parçalarda ortogonal kesme

Ortogonal kesmede malzeme ile takım kesme kenarı arasındaki açı diktir ve bu şekilde talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Daha karmaşık, üç boyutlu eğik kesme işlemlerinin mekaniği, genellikle ortogonal kesme işlemine uygulanmış geometrik ve kinematik dönüşüm modelleriyle değerlendirilir. Şekil 1.1’de şematik olarak ortogonal işlemlerinin temsili gösterimi yapılmıştır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylelikle malzemenin kenarına yayılma olmaksızın iki boyutlu düz birim şekil değiştirme işlemi gerçekleşmiş olur. Dolayısıyla, kesme kuvvetleri sadece esas

kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) olarak isimlendirilen hız ve kesilmemiş talaş kalınlığı doğrultusunda güç sarf eder (Taylan, 2009).

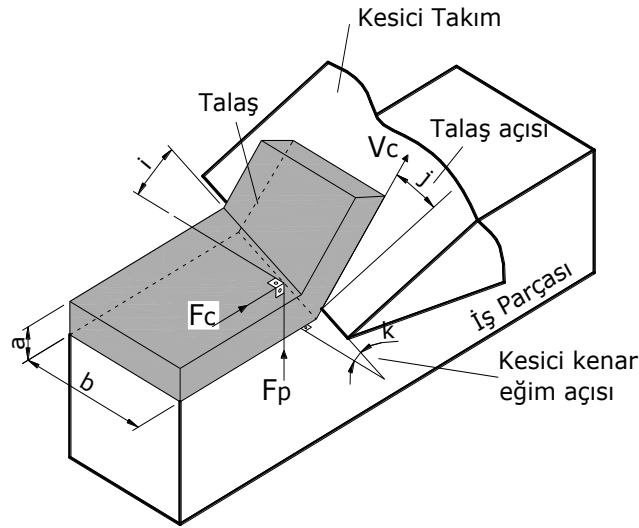


Şekil 1.2. Ortogonal kesme mekaniği (Şeker, 1997; Altıntaş, 2000)

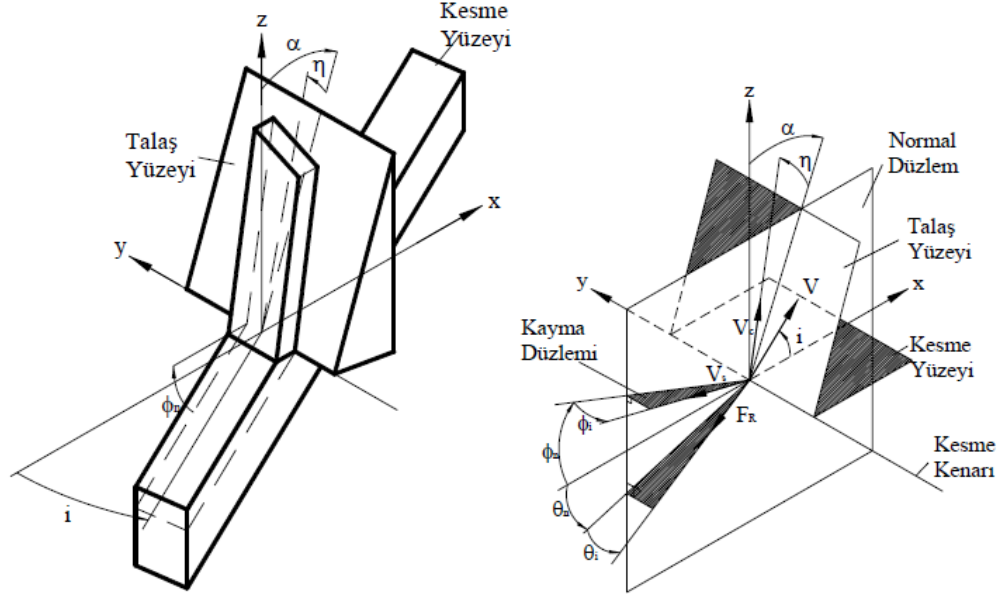
Şekil 1.2'deki  $F_s$  kayma (kesilme) düzlemi boyunca etki eden kuvvet,  $F_c$  kesme (işleme) kuvveti (esas kesme kuvveti),  $F_f$  ilerleme kuvveti,  $F$  sürtünme kuvveti,  $F_r$ ,  $F_c$  ile  $F_p$  bileşke kuvveti,  $F_n$  sürtünme vektörüne dik kuvvet,  $F_{ns}$  kayma kuvvetine dik kuvvettir.  $\phi$  kayma açısı,  $\beta$  sürtünme açısı,  $\alpha$  talaş açısı,  $v$  serbest kenar boşluk açısı,  $\theta$  kama açısı,  $a$  kesilmemiş talaş kalınlığı,  $a_c$  kesilmiş talaş kalınlığı,  $W$  parça uzunluğu,  $W'$  çıkan talaş uzunluğudur.

### 1.1.2.2.Eğik (Oblik) Kesme Teorisi

Eğik kesme mekaniği Şekil 1.3'te görülmektedir. Kesme hızı ( $V_c$ ) ortogonal kesmede kesme kenarına diktir. Oysaki eğik kesmede, kesme kenarı ile normal düzlemi arasında bir ( $i$ ) eğim açısı bulunmaktadır. Normal düzleme dik üçüncü doğrultuda bir kesme kuvveti yoktur. Eğik kesme işlemlerinde kesme hızı eğimlidir ve böylece kayma, sürtünme, talaş akışı ve bileşke kuvvet doğrultuları 3 kartezyen koordinatın bileşkeleridir. Şekil 1.4'de x eksenini kesme kenarına diktir, fakat kesme yüzeyi üzerindedir. Y eksenini kesme kenarıyla hizalıdır ve z eksenini xy düzlemine diktir. Eğik kesmede kuvvetler 3 doğrultunun tümünde de oluşmaktadır. Eğik kesmede önemli olan düzlemler kayma düzlemi, talaş yüzeyi, kesme yüzeyi xy, normal düzlem xz, veya  $P_n$  ve hız düzlemi  $P_v$  dir. Normal düzlemdeki eğik kesmenin mekaniği ortogonal kesme ile aynıdır, dolayısıyla tüm hız ve kuvvet vektörleri normal düzlemde hesaplanır (Altıntaş, 2000).



Şekil 1.3 Oblik kesme işlemi geometrisi

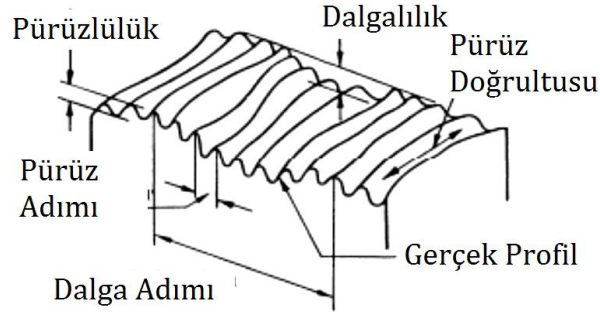


Şekil 1.4. Eğik kesme geometrisi (Altıntaş, 2000)

### 1.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalat sırasında iş parçasında istenmeyen izler oluşur. İşleme metodu, kesicinin cinsi, işlenen malzeme ve kesme parametreleri, fiziksel, kimyasal ve ısı faktörleri ve kesen-kesilen arasındaki mekanik hareketlere bağlı olarak, nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir (Oktay, 2011).

Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık, yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder (Şekil 1.5.). Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olarak belirlenir (Akkurt, 2000).



Şekil 1.5. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler (Oktay, 2011)

#### 1.1.4. Takım Aşınması

Aşınma, katı cisimlerin sürtünen kuru yüzeyleri arasında malzeme kayıplarının meydana gelmesidir. ASTM G40-93 standartlarına göre aşınma; “kullanılan malzemelerin, başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır. Başka bir tabirle, izafi hareket yapan elemanlar arasındaki sürtünme sonucu meydana gelen malzeme erozyonu veya kayıplarıdır. Aşınma; kuvvet, kayma hızı, sıcaklık, yağlama düzeyi, malzeme cinsi ve sertliğinden etkilenen karmaşık bir olaydır. Bu etkilerin bazılarının baskın olması farklı aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarmaktadır. Bazı durumlarda, birkaç aşınma mekanizması birlikte etkili olmaktadır. Dolayısıyla bu durum, aşınma olayını ve simülasyonunu karmaşık bir hale getirmektedir, (Özcan, 2001). Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve bu aşınma, kesici takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Kesici kenar ömrü dakika olarak ifade edilir ve günümüzde takım ömrü eskiden olduğundan daha azdır ve çoğunlukla 15 dakikalık süre üzerine oturtulmakla beraber genellikle bir miktar daha fazla olur. Kesici takımın ömrü; takımın iş parçalarını kabul edilebilir parametrelerin sınırları dâhilinde işlemesi sırasında gerçekleşecek üretim zamanı olarak kabul edilir. İlk zamanlarda takım ömrü parametresi sadece takımın daha fazla kesmemesi gibi basitçe ifade edilirdi. Günümüzde yüzey dokusu, hassasiyet, takım aşınma biçimi, talaş oluşumu önceden kestirilebilir güvenli takım ömrü gibi yaygın parametreler söz konusudur. Doğru kesici takımın seçimi işleme sırasında

maksimum verimliliğin elde edilmesi için kritik bir faktördür. Özellikle kesici malzeme seçimi ve kesme geometrisi önemlidir. Ancak bununla beraber işleme şartları ve özellikle işleme parametreleri genel kararlılık, rijitlik standart değilse doğru takım ile optimum takım ömrü elde edilemeyecektir. Titreşimler sonucu takım tutucunun ve bağlamanın rijitliğinde meydana gelecek bir eksiklik pek çok kesici kenarın vaktinden evvel ömrünü doldurmasına sebep olacaktır. Takım aşınmasının olup olmaması değil, olduğunda ne kadar ve hangi tipte meydana geldiğini tespit edebilmek ve aşınmayı izlemek takım ömrünün tespitinde en önemli faktördür (Özcan, 2001).

Takım aşınması kesici kenar üzerindeki yük faktörleri kombinasyonunun bir ürünüdür. Kesici kenar ömrü takım geometrisini değiştirmeye çalışan çeşitli yüklerle belirlenir. Aşınma takım-iş parçası-işleme şartları arasındaki karşılıklı etkileşimin bir sonucudur (Şeker, 1997).

#### **1.1.4.1. Aşınma Mekanizmaları**

Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder.

Bunlar;

1. Abrasiv (aşındırıcılarla) aşınma
2. Difüzyon (atomik yer değiştirme ile) aşınma
3. Oksidasyon aşınma
4. Yorulma ile aşınma
5. Adheziv (yapışma ile) aşınma şeklinde özetlenebilir.

##### **1.1.4.1.1. Abrasiv Aşınma**

Abrasiv aşınma çoğunlukla iş parçası malzemesinin sert taneciklerinin sebep olduğu aşınma şeklidir. Sert tanecikler yumuşak malzemenin yüzeyinden

parçalar kopması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Kopan parçacıklar malzemelerin ara yüzünden uzaklaştırıldığı, yapışmanın olmadığı ve böylelikle yüzeyde malzeme kaybının fazla olduğu bir mekanizmadır (Özcan, 2001).

Kesici kenarın abraziv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti önemli ölçüde sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırılması ile oluşan takım malzemesi abraziv aşınmaya karşı koyabilecektir. Fakat işleme sırasında oluşan diğer yük faktörleri ile başa çıkacak şekilde donatılmış olmayabilir. Abraziv aşınma takım talaş yüzeyinde ise krater oluşmasına sebep olur (Şeker, 1997).

#### **1.1.4.1.2. Difüzyon Aşınması**

Difüzyon aşınmasında talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasının oluşumunu belirleyecektir. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalurjik ilişki aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin eder. Bazı takım malzemeleri, bazı iş parçası malzemelerine karşı yüksek birleşme eğilimine sahipken bazıları iş parçası malzemelerinin çoğuna karşı asaldır (birleşme eğilimi yoktur).

Tungsten karbür ve çelik birbirine karşı difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasına sebep olan birleşme eğilimine sahiptirler. Bunun sonucu olarak takımın talaş yüzeyi üzerinde bir çukur oluşması söz konusudur. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüksek kesme hızlarında daha büyüktür. Atomik değişim ferrit ve karbonun iki yollu transferi ile oluşur. Ferrit çelikten takıma transfer olurken küçük olan ve demirde harekete hazır karbon talaşa nüfuz eder (Şeker, 1997).

#### **1.1.4.1.3. Oksidasyon Aşınma**

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir.

Tungsten ve kobaltta talaş tarafından daha kolay kazınıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oluşur. Bununla beraber “alüminyum oksit” gibi bazı oksitler daha güçlü ve daha serttir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha meyillidir. Özellikle kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde (talaş derinliğinde) hava talaş kaldırma sürecine katılma imkanı elde eder. Oksidasyon bu bölgede, kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olur. Ancak bu tür aşınma günümüzün işleme şartlarında yaygın olmayan bir durumdur (Şeker, 1997).

#### **1.1.4.1.4. Yorulma ile Aşınma**

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin yüklenmesi ve kaldırılması kesici kenarda çatlaklara ve kırılmalara sebep olur. Kesintili kesme etkisi sürekli ısı oluşumu soğumaya ve aynı zamanda kesici kenara çarpımlarla darbelere sebep olur. Bazı takım malzemeleri yorulma mekanizmasına diğerlerinden daha duyarlıdır. Aynı zamanda, kesme kuvvetleri, kesici kenarın mekanik dayanımı çok yüksek olduğunda sırf mekanik yorulma ortaya çıkabilir. Bu durum sert ve işlenmesi zor (dayanım sınırı yüksek) malzemelerin oldukça yüksek ilerleme değerleriyle işlenmesinden veya takım malzemesinin yeterince sert olmamasından kaynaklanabilir. Bununla beraber bazı durumlarda plastik deformasyonun hâkimiyeti de söz konusudur (Şeker, 1997).

#### **1.1.4.1.5. Adhesiv Aşınma**

Bu aşınma aynı zamanda “yıpranma aşınması” diye de bilinir. Takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun talaş (akma talaş) ve kısa (kopuk) talaş veren iş parçası malzemelerinin hepsinde (çelik – alüminyum ve dökme demir gibi) söz konusu olabilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında kenarda yığılmış talaş oluşmasına sebep olur. Dinamik bir yapısı vardır. Talaştan birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası halini alır. Kenarda yığılmış talaş tabakası yırtılıp uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici

kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına, kırılmaya sebep olabilir. Bazı kesici malzemeleri ve bazı iş parçası malzemeleri örneğin sünek (özlü-çekilebilir) çelikler gibi bu basınçla kaynamaya diğerlerinden daha fazla eğilim gösterirler. Daha yüksek işleme sıcaklıklarına ulaşıldığında bu durum için şartlar önemli ölçüde ortadan kalkar. Belli bir sıcaklık aralığı, takım ve iş parçası malzemesi arasındaki yakınlık ve kesme kuvvetleri ile oluşan yüklerin kombinasyonu adhezyon aşınma mekanizması oluşturur.

Deformasyonla sertleşmiş malzemeler (örneğin östenitik paslanmaz çelikler) işlenirken, talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması bölgesel aşınmanın hızlanmasına sebep olur. Bu durum, en yaygın “çentik aşınma” tipidir ve aynı zamanda takım malzemesiyle iş parçası malzemesinin (kimyasal) yakınlığına (benzeşmesine) da bağlıdır. Bu temel mekanizmaları genellikle birleşerek, talaş kaldırma işleminde, kesici kenarın küçük bir kısmı boyunca biçimi ve orijinal malzemeyi değiştirmeye teşebbüs eder. Çoğunlukla takım malzemesinin özelliklerine bağlı olarak, bu mekanizmalar kesici kenarı belli bir aşınma tipinin oluşmasına sebep olacak şekilde etkiler. Bu mekanizmaların esasının anlaşılması takım aşınma tiplerinin analizini ve bir işlem için doğru takım ve doğru şartların oluşturulmasına yardımcı olur.

#### **1.1.5. Takım Aşınma Tipleri**

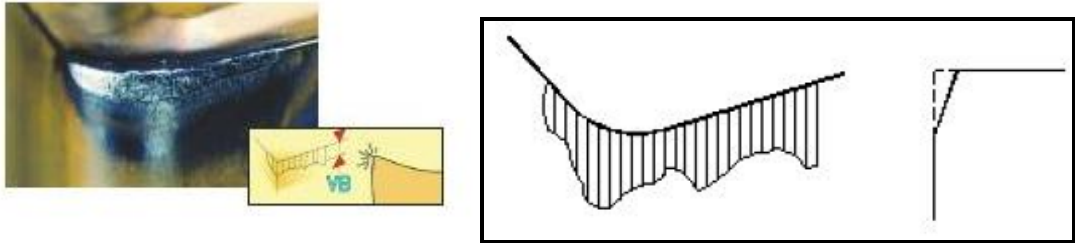
Kesici takım ömrü hakkında fikir sahibi olabilmek için, kesici takımın zayıflamasına neden olan sebepleri bilmek gereklidir. Takım hasarı, aşınma, plastik deformasyon ve kırılma nedeniyle meydana gelir. Takım aşınması, takımın etkilendiği bölge veya aşınmayı meydana getiren fiziksel mekanizmaya göre sınıflandırılırlar. Kesici takımlarda görülen hasar ve aşınma tiplerinin sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

1. Serbest Yüzey Aşınması
2. Krater Aşınması
3. Çentik Aşınması
4. Isıl ve Mekanik Çatlaklar

5. Yığılma ve Sıvanma (BUE)(Build up Edge)
6. Plastik Deformasyon
7. Kırılma
8. Kenar Çentiklenmesi

#### 1.1.5.1. Serbest Yüzey Aşınması

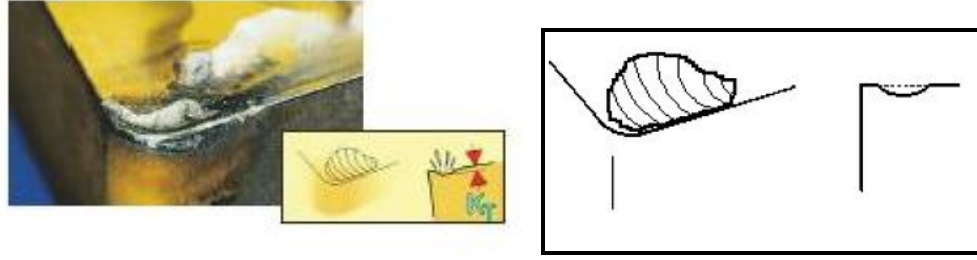
Takım aşınma mekanizmalarından en yaygın olanlardan biri serbest yüzey aşınmasıdır (Şekil 1.6.). Serbest yüzey aşınması, iş parçası malzemesindeki sert bileşenlerin neden olduğu aşınmaya bağlı olarak veya takımın işlenmiş iş parçası yüzeyi ile temas halinde olan yan kenar yüzeyinin sürtünmesinden dolayı oluşmaktadır. Sürtünmeden dolayı takım yan kenarında oluşan aşınma bölgesinin genişliği, serbest yüzey aşınmasının miktarı olarak alınır. Serbest yüzey aşınması belirli bir değere ulaştığında, takım kesme işlemini yerine getiremez ve titreşimlere neden olur. Oluşan titreşimler iş parçasının yüzey kalitesini olumsuz etkiler.



Şekil 1.6. Serbest yüzey aşınması (Sandvik, 2015)

#### 1.1.5.2. Krater Aşınması

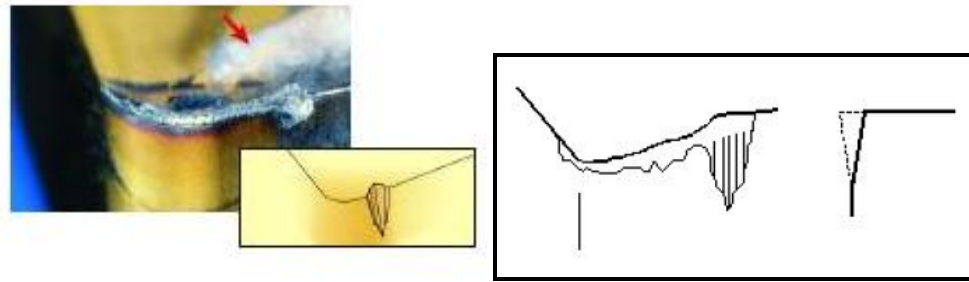
Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar(Şekil 1.7.). Krater aşınmasının belli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar.



Şekil 1.7. Krater aşınması (Sandvik, 2015)

#### 1.1.5.3. Çentik Aşınması

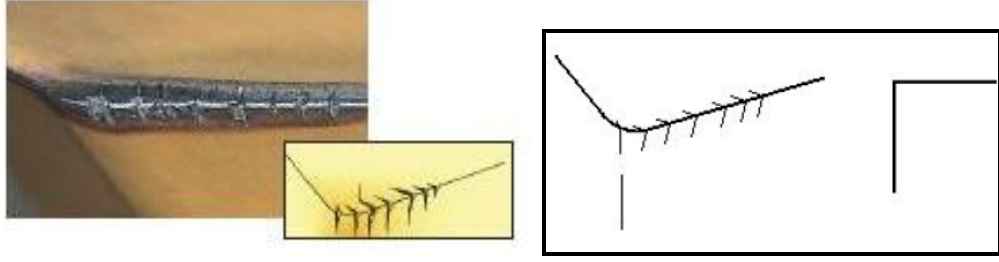
Yardımcı kesici kenarda çentik aşınması tipik bir adhezif (yapışma) aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile büyüyebilir (Şekil.1.8.). Çentik, kesici kenar ile parça malzemesinin birleştiği yerde oluşur. Kesici kenarda çentik oluşması mekanik yüklerin bir sonucudur ve genellikle daha sert malzemelerin işlenmesi sırasında oluşur. Aşırı çentik aşınması, bitirme talaşında yüzey dokusunu (yüzey pürüzlülüğü) etkiler ve özellikle kesici kenarın dayanımını zayıflatır.



Şekil 1.8. Çentik aşınması (Sandvik, 2015)

#### 1.1.5.4. Isıl ve Mekanik Çatlaklar

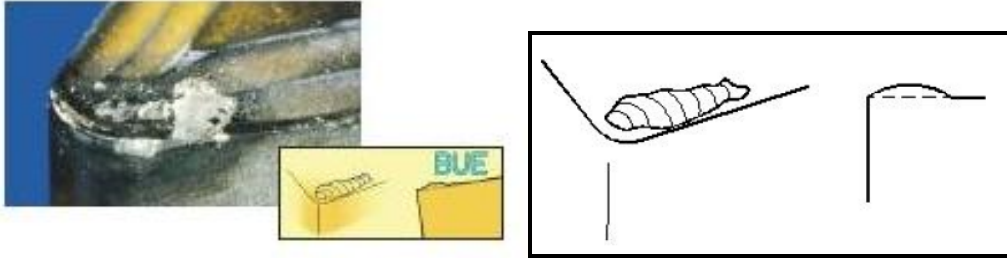
Bu çatlaklar, kesintili talaş kaldırmada takımın değişken yüklerle yüklenmesi veya talaş kaldırma sırasında yüksek takım-talaş sıcaklıkları nedeniyle oluşur (Şekil.1.9.). İki tip çatlak oluşur; özellikle bir soğutucu kullanıldığında değişken ısı yükleri altında kesme kenarlarına dik olarak oluşan çatlaklar ve değişken mekanik yükler nedeniyle kesme kenarlarına paralel olarak oluşan çatlaklar. Çatlak oluşumu takımın hızlı bir şekilde hasara uğramasına neden olur.



Şekil 1.9. Isıl çatlaklar (Sandvik, 2015)

#### 1.1.5.5. Yığılma ve Sıvanma (BUE)

Genellikle, yumuşak malzemelerin düşük hızlarda islenmesi durumunda oluşur (Şekil.1.10.). Yığılma; islenen malzemenin kesme kenarlarına çok güçlü yapışmasında, bunların birikmesi ve çıkıntı oluşturmasıyla meydana gelir. Özellikle delmede yığılma ve sıvanma önemli bir problemdir. Yığılma ve sıvanma oluşumu, etkili kesme derinliğini (veya delik çapını) değiştirdiği, böylelikle kesme derinliğinin kararsız olmasına ve dolayısıyla kalitesiz bir islenmiş yüzeyin meydana gelmesine neden olduğu için istenilmez.

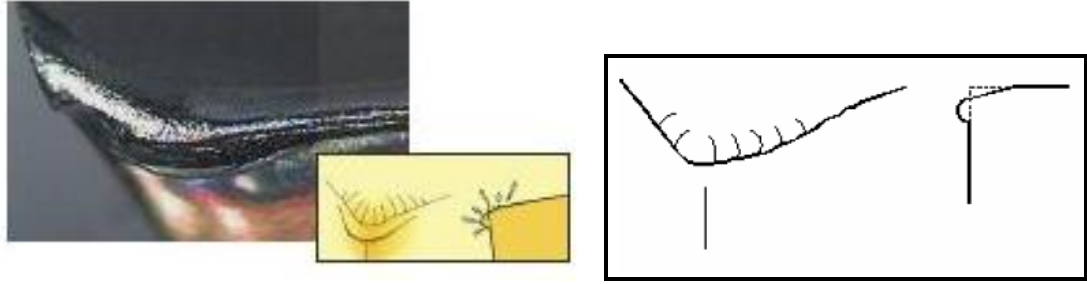


Şekil 1.10. Yığılma ve sıvanma (Sandvik, 2015)

#### 1.1.5.6. Plastik Deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar (Şekil.1.11.). Yüksek hızlar ve yüksek ilerlemeler, sert iş parçası malzemesi, sıcak ve basınç anlamı taşır. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek sıcaklık sertliği kritiktir. Kesici kenarda bir şişmenin

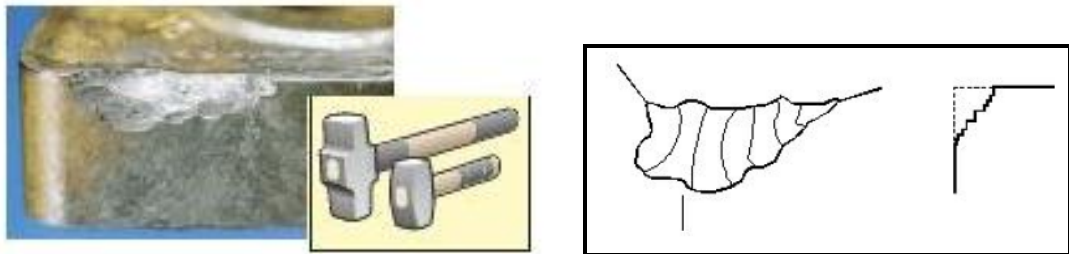
oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olacak ve kritik bir noktaya ulaşınca kadar etkisi devam edecektir. Kenar yuvarlatmanın (uç yarıçapı) boyutu ve takım geometrisi (kesme geometrisi) bu tip aşınmanın engellenmesinde önemli rol oynar.



Şekil 1.11. Plastik deformasyon (Sandvik, 2015)

#### 1.1.5.7. Kırılma

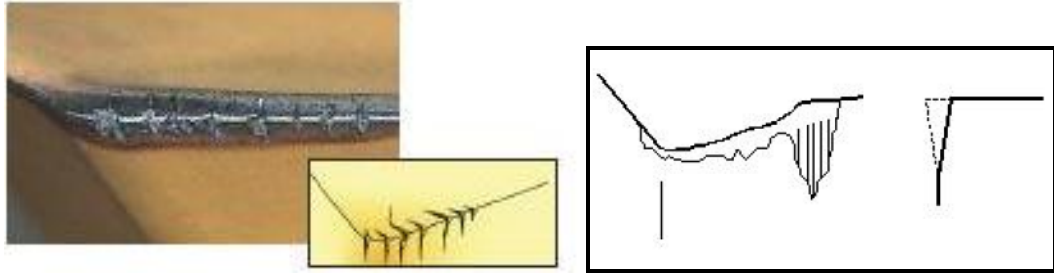
Kesici takımın kesme ucunun veya bozukluk mekanizmalarına bağlı olarak kesme kenarlarının kırılması, takım kırılması olarak adlandırılır (Şekil.1.12.). Takım kırılması genellikle seramik esaslı takımlarda, takım bozukluk mekanizmalarının çok fazla etkisi olmadan gerçekleşir. Çünkü yüksek sertliğe sahip takımlar, yüksek sertliklerinden dolayı süneklikleri az olmakla birlikte gevrekler. Takım kırılması hasarını önlemek ve takım ömrünü yükseltmek için kesme kuvvetlerinin azaltılması, sağlam ve daha rijit takım tertibatlarının kullanılması ve kırılma tokluğu arttırılmış takımların kullanılması gereklidir.



Şekil 1.12. Kırılma (Sandvik, 2015)

#### 1.1.5.8. Kenar Çentiklenmesi

Kenar parçalanması seramik gibi gevrek takımlarla yapılan talaş kaldırmada veya sert ya da abraziv parçacıklar içeren metal matrisli kompozitler gibi malzemelerin işlenmesi durumunda oluşur (Şekil.1.13.). Aşırı kesme kuvvetleri veya düşük sistem rijitliği nedeniyle meydana gelen titreşim de kenar çentiklemesine neden olur. Kenar çentiklemesi nedeniyle işlenen yüzeyin kalitesi düşer, serbest yüzey aşınması artar ve sonuçta takım kırılabilir. Bu mekanizma; takım kenarlarının değiştirilmesiyle veya takımların kırılma dayanımlarının artırılmasıyla kontrol edilebilir.

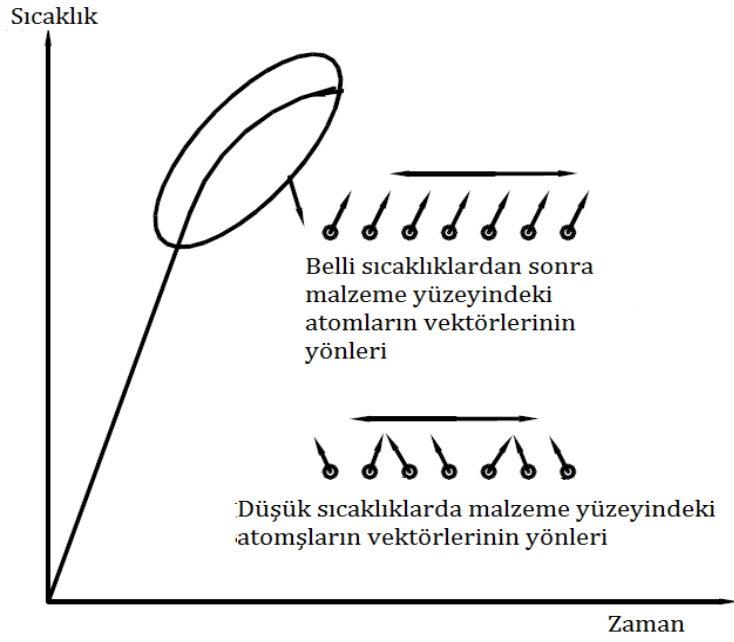


Şekil 1.13. Kenar çentiklenmesi (Sandvik, 2015)

#### 1.1.6. İndüksiyonla Isıtma

İndüksiyon ile ısıtma temassız ısıtma işlemidir. Yüksek frekanslı akım metal malzemenin yüzeyine uygulandığında, düşük sıcaklıklarda atomların vektörel yönü düzensiz olan atomlar sıcaklığın artmasıyla yönlerini hızlı bir şekilde değiştirmeye başlar. Atomlar vektörel yönlerini değiştirirken, sürtünme kuvveti oluşur. Oluşan sürtünme kuvveti malzemenin yüzeyinin sıcaklığını hızlı bir şekilde artırır. Belli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra, metal malzemenin yüzeyindeki atomların vektör yönleri aynı yönde hizalanır (Kayacan vd., 2004).

Şekil 1.14.'de malzeme yüzeyindeki atomların vektörel yönlerinin sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir.

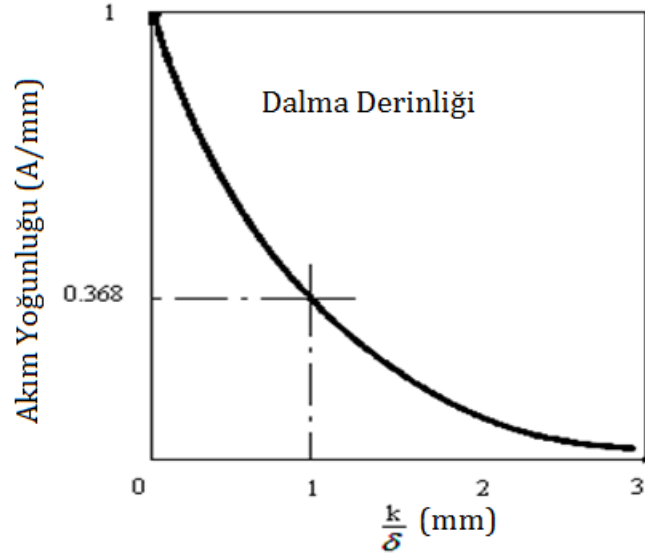


Şekil 1.14. Malzeme yüzeyindeki atomların vektörel yönlerinin sıcaklıkla değişimi (Kayacan vd., 2004)

#### 1.1.6.1. Dalma Derinliği

Malzeme üzerinde meydana gelen girdap akımlarının, malzeme yüzeyinden itibaren erişebileceği derinliğe dalma derinliği adı verilir. Düzgün dağılıma sahip değişken manyetik alan etkisindeki bir malzeme içinde oluşan girdap akımları düzgün dağılıma sahip değildir. İş parçasına işleyen manyetik alanın şiddeti, dolayısıyla girdap akımlarının genliği, deri etkisi nedeniyle yüzeyden merkeze doğru gidildiğinde Şekil 1.15’de görüldüğü gibi azalmaktadır. Akım, malzeme üzerinde malzeme kalınlığının yaklaşık olarak üçte birine kadar iner. Bu derinlik dalma derinliği olarak adlandırılmaktadır ve denklem 1.1.’de görüldüğü gibi ifade edilir (Elfallah, 1987, Sen, 1996). Şekil 1.152deki ifadede  $\rho$  malzemenin özgül direnci ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ),  $\mu$  malzemenin manyetik geçirgenliği ( $\text{Wb}/\text{At}\cdot\text{m}$ ),  $\delta$  dalma derinliği ( $\text{mm}$ ),  $f$  frekans (Hertz) olarak ifade edilmiştir.

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu f \pi}} \quad (1.1.)$$



Şekil 1.15. Dalma derinliğinin üstel olarak azalması (Sazak, 1999)

Grafik üzerinde görüldüğü gibi  $k$  ısıtılan cismin kalınlığıdır. Cismin en dış yüzeyinde akım yoğunluğu maksimumdur ve merkeze doğru inildikçe azalmaktadır. Denklem 1.1.'de görüldüğü gibi akımın artması deri kalınlığını azaltır. Dolayısıyla akım parçanın en dış yüzeyine dağılır. Dalma derinliğinin malzemenin özgül direnci  $\rho$  ve katsayılarına bağlı olması ve bu sabit katsayıların sıcaklığa bağlı olarak değişmesi sistemin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken özelliklerdir (Sazak, 1999).

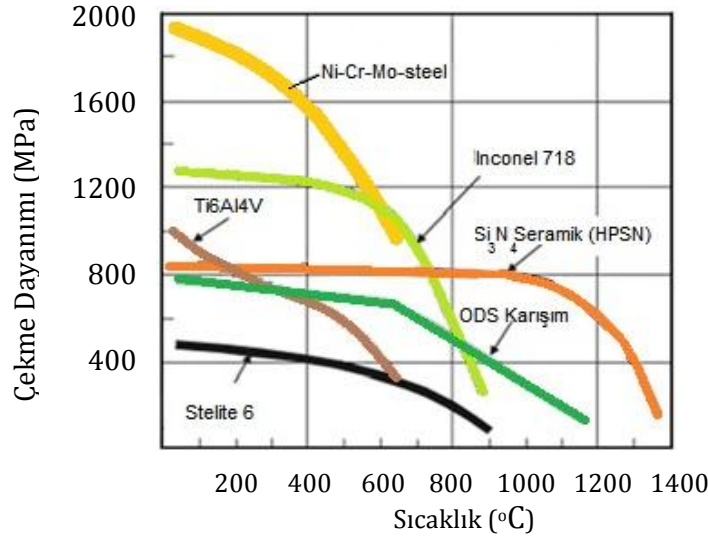
## **2. KAYNAK ÖZETLERİ**

Literatürde takım aşınması, frezeleme, sürekli olmayan kesme, sert işleme, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, ön ısıtılmalı işleme kelimeleri kullanılarak yapılan araştırmalar neticesinde birçok makaleyle karşılaşılabilir. Çalışmaya yakın olarak seçilen makaleler bu bölümde irdelenmiştir.

### **2.1. Ön Isıtılmalı Sert İşlemede Isıtma Yöntemleri**

Sert işleme, işlenecek malzemenin sertliğinin 45HRC'den daha fazla olan malzemelerin işlenmesine denir (Gaitonde vd., 2009, Davim 2008). Kesici takım işleme performansındaki olumlu gelişmeler sayesinde, sertleştirilmiş malzemelerin işlenmesi çalışmaları önemli oranda artmaktadır. Sert malzemelerin yüksek gerilme, düşük ısı iletkenlik gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı, kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklıkları çok yüksektir. Bahsedilen özellikler takım ömrünü azaltmaktadır (Sun vd., 2010; Germain vd., 2008; Gaitonde vd. 2009). Yüksek sertlikteki malzemelerin işlenmesi esnasında, takımlarda çatlama, kırılma, krater aşınması vb. aşınmalar oluşmaktadır. Kesici takımlarda oluşan bu tip kusurlar iş parçasında kalitesiz yüzey elde edilmesine ilave olarak işleme maliyetinin artmasına sebebiyet vermektedir. Sert malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkan olumsuzlukların giderilmesi için yapılan çalışmaların başında ön ısıtılmalı işleme yöntemleri gelmektedir (Birmingham vd., 2012; Lajis vd., 2009; Armitage vd., 2002). Ön ısıtma ile malzeme yüzeyi ısı etkisiyle yumuşar, böylelikle kesme sırasında gevrek bir yapıdan ziyade sünek bir yapı meydana gelmektedir (Armitage vd., 2004; Masood vd., 20011; Brecher vd., 2011). Sert malzemelerde, talaş derinliği kadar kısmın belli bir ısı kaynağından yararlanılarak hedeflenen sıcaklığa yükseltilmesi ile kopma mukavemeti değerinin akma mukavemeti değerine kadar düşmesi neticesinde işleme kolaylaşmaktadır (Pfefferkorn vd., 2005; Ho vd., 2007).

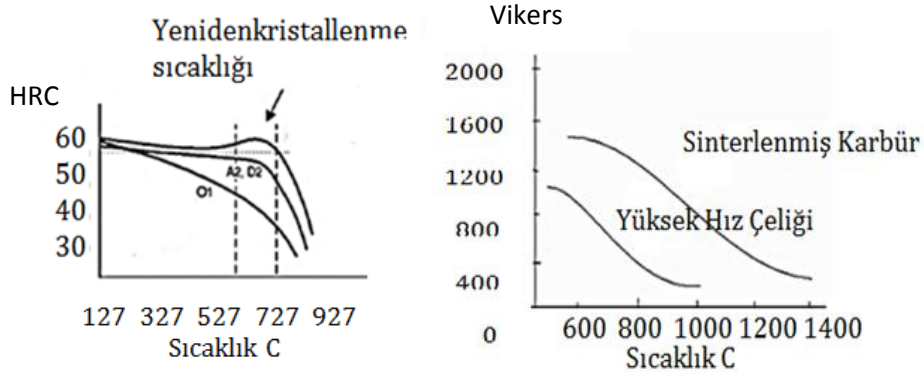
Çeşitli malzemelerin çekme dayanımının, akma gerilmesinin ve sertliğin sıcaklığa bağlı değişimleri Şekil 2.1,2.2 ve 2.3'te verilmektedir.



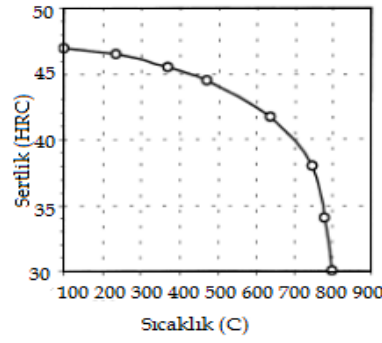
Şekil 2.1. Malzemelerin çekme dayanımının sıcaklığa bağlı değişimi (Sun vd., 2010)

Şekil 2.1'den de anlaşıldığı gibi malzemelerin çekme dayanımlarının sıcaklığa bağlı değişimlerinde farklılıklar görülmektedir. Bazılarının 200°C sıcaklıklarda çekme dayanımları düşerken (Ni-Cr-Mo çelik, Ti6Al4V alaşım, stellite6), bazılarında 500°C sıcaklıkta çekme dayanımı düşmeye başlamaktadır. Inconel, ODS (oksit dağılımı ile güçlendirilmiş) alaşımlar]. Bazı malzemelerde ise çekme dayanımları 1000°C sıcaklıkta azalmaya başlamaktadır (seramik). Farklı malzemelerin sıcaklıkla sertliğinin değişimleri şekil 2.2'de verilmiştir.

Malzemelerin çekme dayanımları sıcaklıkla farklılıklar gösterdiği gibi, sertliğinin de sıcaklıkla değişiminde farklılıklar göstermektedir. Şekil 2.2(a)'da O1 (yağda sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliği) malzemesinin sertliği düşük sıcaklıklardan itibaren azalma eğilimi göstermektedir. A2 (hava ile sertleştirilmiş orta alaşımlı soğuk iş takım çeliği) malzemesinin sertliği ise yaklaşık 450°C'den itibaren düşme eğilimi göstermekle beraber D2 (yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliği) malzemesinde yaklaşık 850°C'den sonra bir artış gösterip 500°C'den sonra azalma eğilimine girmektedir. Şekil 2.2(a) 'da HSS ve sinterlenmiş karbür malzemelerin sıcaklıkla değişen sertlik değerleri görülmektedir (Goudhaman, 2007). Şekil 2.2(b)'de yüksek manganlı çeliğin sıcaklığa bağlı sertliğinin azaldığı anlaşılmaktadır (Çakır vd., 2008).

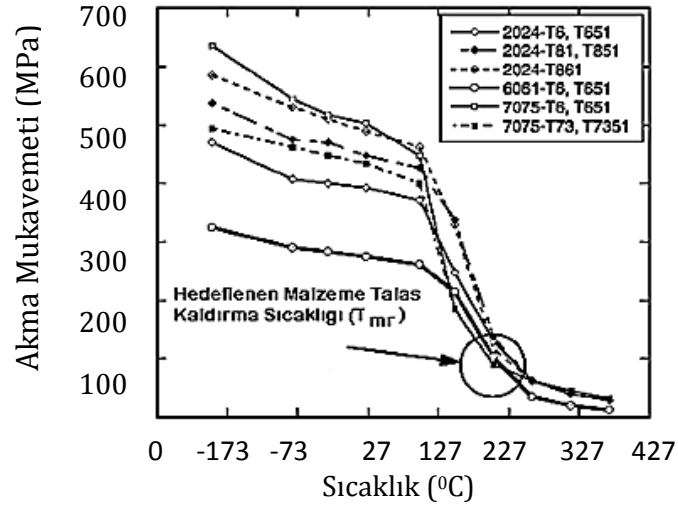


(a)



(b)

Şekil 2.2.(a) Malzemelerin sertliğinin sıcaklığa bağlı değişimi (Lajis vd., 2009), (Goudhaman, 2007), (b) Yüksek manganlı çeliğin sıcaklığa göre sertliğinin değişimi (Çakır vd., 2008)



Şekil 2.3. Alüminyum alaşımlar için akma mukavemetinin sıcaklıkla değişimi (Yongho vd., 2008)

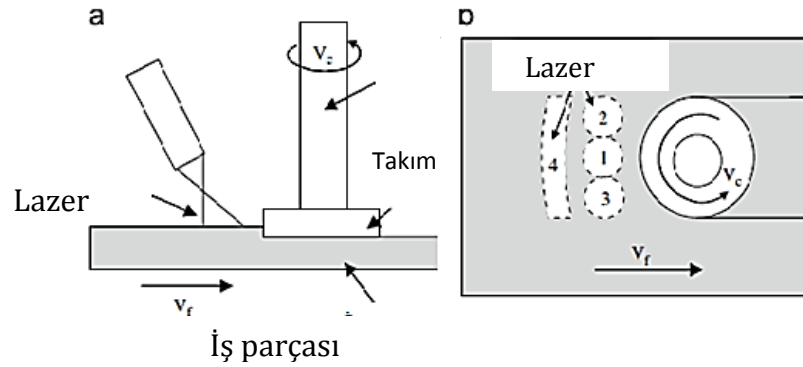
Çelik malzemelerde olduğu gibi alüminyum alaşımlarda da sıcaklığa bağlı olarak akma mukavemetlerinde değişimler görülmektedir (Şekil 2.3).

Alüminyum alaşımlarının akma dayanımları yaklaşık 120°C'ye kadar benzer eğimle düşüş gösterirken, 120°C ile 227°C arasında farklı oranlarda azalmakta olup 227°C'den sonra akma mukavemetleri yaklaşık eşitlenerek benzer oranda yavaşlayarak azalma göstermektedir (Yongho vd., 2008).

Isıl destekli talaşlı imalat, işlenmesi zor (sert) malzemeler, dışarıdan bir ısı kaynağı kullanılarak, talaş derinliğinde, istenilen ön ısıtma sıcaklığına kadar ısıtılarak işlenir. Bu yöntemde, malzemenin bağ enerjisi ve akma mukavemetinin azalması sertliğin düşmesine sebep olur. Sert malzemelerin talaşlı imalatında, ön ısıtmalı işleme, geleneksel işlemeye alternatif olarak geliştirilmiş ve metaller, seramik alaşımları, plastikler ve kompozitler dâhil çeşitli malzemelerin işlenmesinde kullanılabilmektedir. Ön ısıtmalı işleme, geleneksel işleme yöntemlerine göre; takım aşınması, takım kırılması, tırlama, işleme sapmaları ve mekanik malzeme hasarları gibi kritik konularda önemli iyileşmeler yaptığını belirtmişlerdir (Hamamcı vd., 2012; Sun vd., 2010).

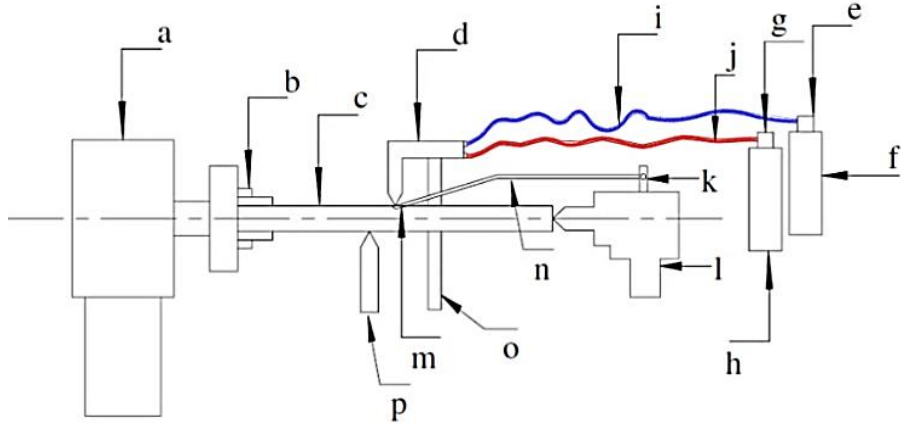
Ön ısıtma uygulamasının etkin olabilmesi için ısıtma kaynağının hızlı, bölgesel ve kolay kontrol edilebilmesi gerekmektedir (Sun vd., 2010). Bu nedenle farklı talaşlı imalat yöntemlerine göre değişik ön ısıtma kaynakları kullanılmaktadır. Ön ısıtma kaynakları olarak, lazer (Yung 2011; Germain vd., 2011; Chrysosolouries, 1997; Anderson vd., 2006; Dumitrescu vd., 2006; Armitage vd., 2004; Brecher vd., 2011) alevle (torç) (Amin vd., 1986), indüksiyon (Lajis vd., 2009; Amin vd., 2008; Amin vd., 2003; Ginta vd., 2009; Hossain vd., 2012), plazma (Novak, 1997; Leshock vd. 2001; Lacalle vd., 2004; Shin, 1996; Kitagava, 1990), elektrik akımı (Barrow, 1966) ile ısıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Isıtma yöntemlerinden lazerle ısıtma tornalama işlemlerinde daha çok tercih edilirken, indüksiyonla ısıtma yöntemi frezeleme işlemlerinde tercih edilmektedir. Tornalama işlemlerinde malzeme- kesici takım ilişkisinden dolayı noktasal ısı kaynağı yeterli olmaktadır. Buna karşın frezeleme işlemlerinde çizgisel/düzlemsel ısı kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır (Hamamcı vd., 2012). Şekil 2.4'de ön ısıtmalı işlemede kullanılan ısıtma yöntemleri şematik olarak verilmektedir. Ön ısıtma işlemlerinden lazerle ve plazma ile ısıtma hızlı, yüksek

ve bölgesel sıcaklıklara ulaşabildiğinden dolayı daha tornalama işlemlerinde daha çok tercih edildiği literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır (Sun vd., 2010). Lazerle ön ısıtma hem frezelemede hem de tornalamada kullanılan bir metottur (Armitage vd., 2005). Şekil 2.4'den de görüldüğü gibi frezeleme işleminin özelliğinden lazerle ön ısıtma da birden fazla lazer ışın demeti kullanılmaktadır (Sun vd., 2010). Buda sistemi hem maliyetini arttırmış hem de işlemeyi zorlaştırmaktadır (Hamamcı vd., 2004).



Şekil 2.4. Lazerle ön ısıtmalı alın frezeleme işlemi (Sun vd., 2010)

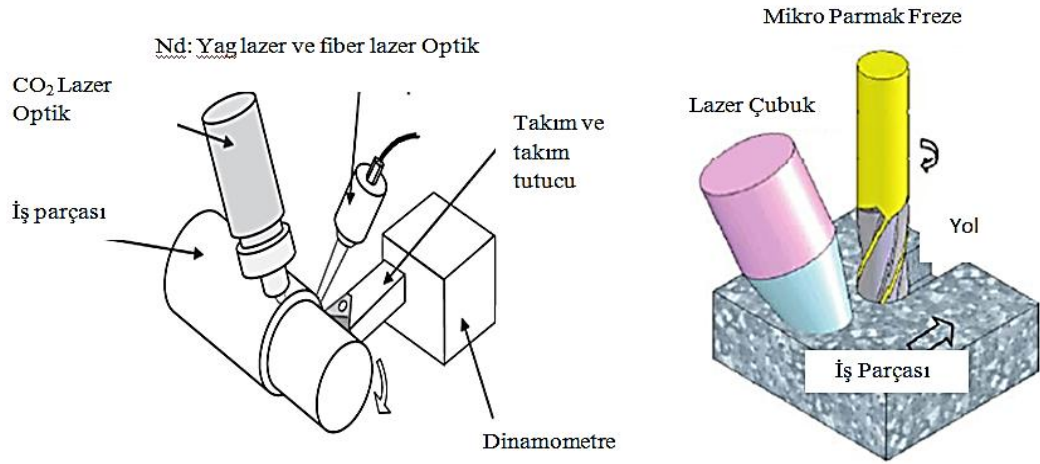
Diğer ön ısıtma yöntemlerinde olduğu gibi, lazer çubuk enerjisi, iş parçası yüzeyi tarafından emilip ve ısıya dönüşmesi sonucunda sıcaklık kademeli olarak artar. Bölgesel ve geçici olan sıcaklık, yüzeyde ilerler. Bu durumun kontrollü olması için kesme derinliğinin, en iyi kesme ve lazer çubuk parametrelerinin belirlenmesi şarttır. Amaç istenilen talaş kaldırma oranını elde etmektir. Lazerle ön ısıtmada çubuk yoğunluğu ve etkileşim zamanı, sıcaklıkla iş parçası yüzeyine zarar vermeyecek şekilde seçilmelidir (Chryssolouris, 1997). Lazer destekli işleme yardımıyla, iş parçası lazer mesafesi, lazer spot büyüklüğü, lazer gücü ve ışınının uygun açısı seçilmesiyle kesme kuvvetleri %40 görüldüğü anlaşılmaktadır (Germain vd. 2007; Sun vd., 2008). Benzer şekilde Şekil 2.5'te görüldüğü gibi uygun plazma ve uygun torç yerleşimi, parametreleri ön ısıtma sıcaklıkların malzemeyi doğru ve zamanında ısıtmasında önemli rol oynamaktadır (Amin vd., 2008; Maity vd., 2008).



a: Torna, b: Ayna, c: iş parçası, d: Torç e: Oksijen akış kontrol valfi, f: Oksijen tüpü, g: LPG akış valfi, h: LPG tüpü, i: oksijen hortumu, j: LPG hortumu, k: sıcaklık göstergesi, m: Termokupul, n: Kablo, o: uzaktan ayarlama kolu, p: kesici takım

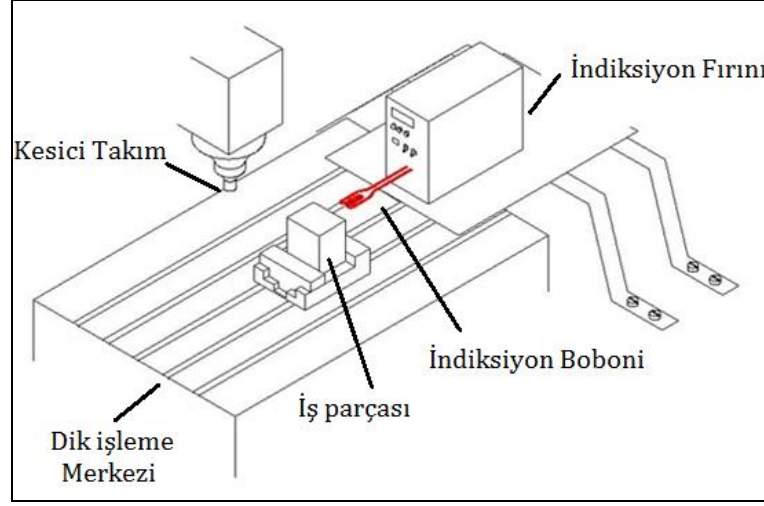
Şekil 2.5. Torçla ön ısıtma yapılmış tornalama işlemi (Ranganathan vd. 2011)

Aynı zamanda Şekil 2.6 ve 2.7’de sert malzemelerin tornalanmasında ve frezelenmesinde lazer ile ön ısıtılmanın şematik olarak gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.6. Çift lazerle ön ısıtma yapılmış tornalama işlemi (Anderson vd., 2006), Lazerle ön ısıtma yapılmış frezeleme işlemi (Özel vd., 2007)





Şekil 2.9. İndüksiyonla ön ısıtmalı frezeleme işlemi (Hamamcı, 2014)

Frezeleme işlemlerinde, ısı kaynağı olarak kullanılan bobinin işlemede kullanılan takım geometrisine benzer şekilde imal edilebilmesinden dolayı ön ısıtma işlemi indüksiyon fırını ile daha çok tercih edilmektedir.

Ön ısıtmalı işleme yapılırken, uzun takım ömrü ve en iyi yüzey kalitesi elde edebilmek için en uygun sıcaklıklarda çalışılmalıdır. Şayet seçilen ön ısıtma sıcaklıkları çok yüksek ise erken kesici takım hasarlarına yol açabilmektedir. Bahsedilen durum iş parçası yüzeyinin bozulmasına ve işleme maliyetinin yükselmesine sebep olmaktadır. Buna karşın, seçilen düşük ön ısıtma sıcaklığı ile de kesici takım ömründe, işlenen yüzey kalitesinde, kesme kuvvetlerine beklenen iyileştirmeler elde edilememektedir (Chang vd., 2007). Bütün bunlar dikkate alındığında, ön ısıtma sıcaklığı malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklığının altında olmalıdır (Maity vd., 2008; Özler vd., 2001). Ön ısıtmada en ciddi dezavantajlardan biriside malzemelerin sertliğinde oluşan azalmadır. Malzemelerin ön ısıtma işleminde yukarıda bahsedilen tüm parametreler dikkate alınarak uygun sıcaklıkların seçimi önem arz etmektedir.

## 2.2. Ön ısıtmalı işleminin İşleme Parametrelerine Etkisi

Ön ısıtmalı işleminin kesme kuvvetlerini, özgül kesme enerjilerini, yüzey pürüzlülüğünü ve takım ömrünü olumlu yönde etkilediği anlaşılmıştır (Sun vd.,

2010). Ön ısıtılmalı işlemede seramikler (Chang vd., 2007; Lei vd., 2000; Tian vd., 2008; Novak, 1997; Yang vd., 2008; Ho vd., 2007), metaller (Ezugwu vd., 2003; Anderson vd., 2006; Brecher vd., 2011), metal matris kompozitler (Pramanik vd., 2008) üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Düşük yoğunluğu, üstün aşınma ve korozyon direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı olan seramikler mühendislik ve tıbbi alanlarda artan bir şekilde kullanılmaktadır. Seramik malzemeler sert ve kırılgan olduklarından konvansiyonel işlemesi zorlaşmaktadır (Samant vd., 2009; Sun vd., 2010). Bahsedilen sebepten işleme sırasında kullanılan takımların ömrünün kısalığından ve işleme sonrasında oluşan yüzey çatlakları ve yüzey kusurlarından seramiklerin işleme maliyetleri yükselmektedir (Sun vd., 2010; Chang vd., 2007). Olumsuzlukların giderilmesi, işlenebilirliğinin artırılması ve takım aşınma ve yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi için ön ısıtılmalı işleme çalışmaları yapılmaktadır. Ön ısıtma sayesinde seramik malzemenin deformasyon davranışını kırılgandan süneğe dönüştürmektir. Amaç iş parçasında kopma mukavemet değerini akma mukavemet değerinden daha düşük bir değere getirmektedir (Pfefferkorn vd., 2005).

Seramiklerin konvansiyonel işlenmesindeki zorlukları ortadan kaldırmak için ön ısıtılmalı işleme yapılarak işlenmesinin daha uygun olacağı anlaşılmaktadır. Konuyla ilgili çeşitli çalışmalar vardır. Örneğin Chang ve Kuo (2007) yaptıkları bir çalışmalarında seramikler ve kompozit malzemelerin lazerle ön ısıtma yapılmış tornalama ve freze uygulamalarının sonunda düşük kesme kuvveti, küçük takım aşınması ve yüksek talaş kaldırma oranı elde edilebileceğini tespit etmiştir.

Seramik malzemelerin lazer destekli ön ısıtılmalı işlenmesinde kesme anında bağımsız kesme kuvvetlerinin aksine (Lei vd., 2000), lazer destekli ve plazma ile ön ısıtılmalı tornalama ve frezeleme çalışmalarında zamanla işleme zamanının artmasıyla arttığı fakat artışın konvansiyonel işlemeye kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Tian vd., 2008; Novak, 1997).

Seramik malzemelerle yapılan çalışmalarda oda sıcaklığı ile ön ısıtma sıcaklığı 1600°C'e kadar ön ısıtmalı işlenmiştir (Yang vd., 2008; Lei vd., 2001, Ho vd., 2007). Tornalama işlemlerinde seramik malzemeleri ön ısıtma sıcaklığının 1000-1100°C'lerde minimum aşınma değerleri elde edildiği, 1200°C ve üzerindeki sıcaklıklarda ve 1000°C altındaki sıcaklıklarda aşınma değerlerinin ve takım ömrünün azaldığı elde edilen sonuçlardan biridir (Yang vd., 2008). 1000 ve 1300°C'lerde konvansiyonel işlemeye göre daha az takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, talaş formu elde edilmektedir (Rebro vd., 2004). Seramik malzemeler için aşınma değerleri 1000-1100°C'lerde minimum olduğu (Yang vd., 2008), yine 960°C'lerde kesme kuvvetleri, düşük sıcaklıklara nazaran minimum değerlerde tespit edilmektedirler (Jung vd., 2009). Seramik malzemenin ön ısıtmalı işleme işleminde, ön ısıtma sıcaklıkları 1260, 1410, 1570°C aşınma değerleri, kesme enerjisi ve kesme kuvvetleri en düşük 1570°C'de oluşmuştur (Lei vd., 2001). 1150, 1210, 1280, 1360°C sıcaklıkları arasında en iyi aşınma değeri 1210°C'deki deneylerde elde edilmektedir. 1210°C'nin altındaki ve üzerindeki değerler de aşınma değerlerinin arttığı görülmektedir (Tian vd., 2008). Literatürde seramik malzemeler ile yapılan çalışmalar neticesinde ön ısıtma sıcaklığının 1000-1200°C aralığında olduğu durumlarda kesme kuvvetlerinde ciddi düşüşler gözlenmektedir, en iyi aşınma değerlerine bu aralıkta ulaşılmıştır (Jung vd., 2009; Rebro vd., 2004; Yang vd., 2008).

Ön ısıtmalı işlemede, tornalama kadar yaygın olmamakla birlikte frezeleme işlemlerinde de birçok çalışma yapılmıştır (Brecher vd., 2011; Ginta vd., 2009; Ginta vd., 2012). Frezeleme işleminde seramik malzemeler için ön ısıtma sıcaklığının uygulanması ile yüzey pürüzlülüğü konvansiyonel işlemeye göre daha iyi sonuç vermektedir. Aynı şekilde takım aşınması değerlerinde de daha iyi sonuç elde edilmektedir (Chang vd., 2007 ).

Ön ısıtmalı işleme yapılmadan önce malzemeye uygun kesici takım seçimi oldukça önemlidir. Takımın yanlış seçilmesi ile birlikte ön ısıtmadan beklenen faydalar ortadan kalkmaktadır. Örneğin seramik malzemelerin ön ısıtmalı işlenmesinde PCD takımların uygun olmadığı anlaşılmaktadır (Pfefferkorn vd.,

2005). Silikon nitrür seramikler ve (Lei vd., 2001; Rozzi vd., 2000; Yang vd., 2008; Rebro vd. 2004), kısmi stabilize Zirkonya(PSZ) (Pfefferkorn vd., 2005) malzemeler için PCBN takımlar kullanıldığı belirtilmektedir. Mullit seramikler için karbür (Rebro vd., 2002),  $Al_2O_3$  seramikler için ise seramik takımlar (Chang vd., 2007) kullanılmaktadır.

Metal malzemeler süper alaşımlar (Nikel bazlı), titanyum alaşımları ve serleştirilmiş çelikler olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

Inconel 718 malzemesinin yaklaşık 500°C'ye kadar ısıtılması ile mukavemetinde ve tokluğunda bir değişme olmadığı görülmektedir (Ezugwu vd., 2003; Anderson vd., 2006). Ön ısıtmalı inconel malzemelerin işlenmesinde özgül kesme enerjileri, kesme kuvvetleri ve takım aşınmasında konvansiyonel işlemeye göre daha iyi sonuçlar vermektedir (Anderson vd., 2006; Germain vd., 2008; Brecher vd., 2011). Aynı zamanda frezeleme sonucunda Inconel 718 malzemesi TiAlN kaplı sementit karbür takımlar kullanılarak işlendiğinde yan yüzey aşınmasında önemli düşüşler olduğu ispatlanmıştır (Brecher vd., 2011).

Inconel 718 malzemesinin işleme zamanına göre %30-40 kesme kuvveti, %20 yüzey pürüzlülüğü, %40 takım aşınma değerlerinde konvansiyonel işlemeye göre yüzey pürüzlülük değerlerinde serbest yüzey aşınma bulgularında azalmaların olduğu anlaşılmaktadır (Navas vd. 2013; Brecher vd., 2011). Lazer ısı kaynağı ile ön ısıtmaya tabi tutulan inconel 718 malzemesinde %30 daha iyi pürüzlülük değerleri 400-600°C de elde edilmiştir (Tian vd., 2008).

Inconel malzemeleri işlerken kullanılan takımlar karbür (Germain vd., 2008; 2009; Tian vd., 2008) ve seramik (Novak, 1997; Leshock vd., 2001; Anderson vd., 2006; Tian vd., 2008; Germain vd., 2008) takımlardır.

Titanyum alaşımlar yüksek korozyon direnci, yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemetinden kaynaklanan üstün özelliklerinden dolayı son yıllarda havacılık endüstrisinde çok tercih edilmektedir. Titanyum alaşımlarının işlenebilirliğinin zayıf olması düşük ısı iletkenliği ve yüksek kimyasal

reaksiyona girebilme yeteneğinden ve elastisite modülünün düşük olmasından kaynaklanmaktadır. (Sun vd., 2010; Germain vd., 2007; Ginta vd., 2012).

Ti-6Al-4V malzemesinin yüzey frezelenmesi işleminde genellikle CVD ile kaplanmış takımlar, PVD ile kaplanmış takımlardan daha üstün performans göstermektedir. Titanyum alaşımları işlerken genellikle karbür (Ginta vd., 2010; Bermingham vd., 2012; Ginta vd., 2013) ve PCD (Ginta vd., 2009) takımlar kullanılmaktadır.

Ti-6Al-4V alaşım malzemesi için takım ömründe 300-600°C aralıklarında artış olmaktadır. Kesme kuvvetlerinde %40-45 düştüğü anlaşılmıştır (Ginta vd., 2009; Ginta vd., 2010; Bermingham vd., 2012). 600°C'nin üstünde ön ısıtma yapılarak işlendiğinde takım ömründe %40 azaldığı görülmüştür (Ginta vd., 2009).

Çelik malzemelerin tornalanmasında takım ömrü açısından en iyi sonuçlar ön ısıtma sıcaklığı 600°C'de olduğu tespit edilmiştir (Maity vd., 2008, Tosun vd., 2002). Çelik malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklıkları 500-650°C aralığındadır. Bu nedenle ön ısıtma sıcaklığının maksimum 600°C olması gerekmektedir (Maity vd., 2008; Özler vd., 2001). Ön ısıtma sıcaklığı 400°C'den büyük değerlerde takım ömrünün çok iyi sonuçlar vermemektedir. En iyi takım ömrü değerleri ön ısıtma sıcaklığının 400°C olduğu durumlarda elde edilmektedir (Özler vd., 2001). Çelik malzemelerin ön ısıtma ile işlenmesinin takım ömrü açısından konvansiyonel işlemeye göre %25-50 arasında daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Dumitrescu vd., 2006; Anderson vd., 2006; Germain vd., 2008; Zhao vd., 2010, Pfefferkorn vd. 2009; Chang vd., 2007).

Çelik malzemelerin işlenmesinde ön ısıtmanın uygulanması ile malzemenin işlenebilirliği artmakta, takım ömrünü ve işleme maliyetlerini azaltmaktadır (Germain vd., 2008; Zhao vd., 2010; Pfefferkorn vd. 2009).

Ön ısıtmanın uygulanması ile özgül kesme enerjilerinde düşüş olmaktadır (Raghavan vd., 2013). Özgül kesme enerjisinin düşmesi ile birlikte çelik

malzemelerde daha yüksek kesme hızlarında çalışılabilmektedir (Raghavan vd., 2013). Ön ısıtılmalı işlemede kesme bölgesindeki gerilmeler, talaş kaldırma oranının ve ilerleme hızının artmasıyla düşmektedir. Fakat kesme hızının artmasıyla işleme bölgesindeki gerilmelerde belirgin farklılıkların olmadığı anlaşılmaktadır (Lei vd., 2000).

Aynı zamanda ön ısıtma sıcaklığının artmasıyla  $R_a$  pürüzlülük değerleri artmakta,  $R_t$  pürüzlülük değerleri düşmektedir (Raghavan vd., 2013). Bu değişimler kesme enerjilerindeki değişimler kadar keskin olmasa da 400°C ön ısıtma sıcaklığına kadar pürüzlülük değerleri azalmakta 400°C sıcaklıklardan sonra ise pürüzlülük değerleri sabit kalmaktadır (Ding vd., 2010; Goudhaman, 2007).

Metal matris kompozitlerin mukavemetlerini ve aşınma dirençlerini arttırmak için seramik malzemelerle güçlendirilmesi gerekmektedir. Buna karşın seramiklerle güçlendirilen metal matris kompozitlerin işlenmesi zorlaşmakta ve işlemede kullanılan takımların ömürleri azalmaktadır (Paramanik vd., 2008; Wang vd., 2002). Bu tür malzemelere, talaşlı imalat sırasında ön ısıtma sıcaklığının uygulanması ile kesme kuvvetlerini azaltmaktadır. Aynı şekilde ön ısıtılmalı işlemede konvansiyonel işlemeye göre takım aşınması değerlerinde ciddi azalmalar görülmektedir (Wang vd., 2002).

Bu çalışmanın özgünlüğü; literatürdeki çalışmalardan farklı olarak 61HRC sertliğindeki soğuk iş takım çeliğinin indüksiyon cihazı ile 500°C'ye kadar ön ısıtma sıcaklığına tabi tutularak CBN kesici takımla işlenmesi, kesme kuvvetleri ve takım aşınmasının incelenmesidir. Endüstride zaman ve ekonomik kısıtlamalarının yapılması çok önem arz etmektedir. Aynı şekilde mühendislikte, deney girdi parametreleri ile çıktı parametreleri arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek ve optimizasyonu gerçekleştirmek önemlidir. Deney sayısının azalması endüstri ve bilime zaman, maliyet açısından katkı ve tasarruf sağlayacaktır. Bu nedenle ön ısıtılmalı frezelemenin verilerinin Taguchi metodu optimizasyonu ve evrimsel programlama algoritması kullanılarak denklemlerin bulunması çalışmanın ulusal ve uluslararası literatüre önemli katkısıdır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu bölümde, yapılan çalışmada kullanılan materyal ve yöntem verilmiştir.

#### **3.1. Materyal**

Deneysel çalışmalarda kullanılan takım, malzeme, cihaz, sistem ve tezgâhlar materyal kısmında anlatılmıştır. İş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi, boyutları, sertlik ölçümlerinin işlem sırası, numunelerin standarda uygun boyutlara getirilmesi ve bağlantı şekilleri belirtilmiştir. İş parçası malzemesinin standarda uygun boyutlara getirilmesinde dalma erozyon tezgâhı, ön ısıtma işleminde kullanılan indüksiyon cihazı ve deneylerin yapılmasında dik işleme merkezinden yararlanılmıştır. Ayrıca çalışmada sert malzemelerin frezelenmesinde kullanılan CBN kesici takımlar, uçların bağlandığı takım tutucu, kuvvet sinyallerinin ölçümü için dinamometre kullanılmıştır. Deneylerde işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde pürüzlülük cihazı, aşınmanın belirlenmesinde “stereo zoom mikroskop ve scanning elektron mikroskop” cihazları kullanılmıştır. Yukarıda bahsedilen cihaz sistem ve malzemelerle ilgili teknik bilgiler aşağıda verilmiştir.

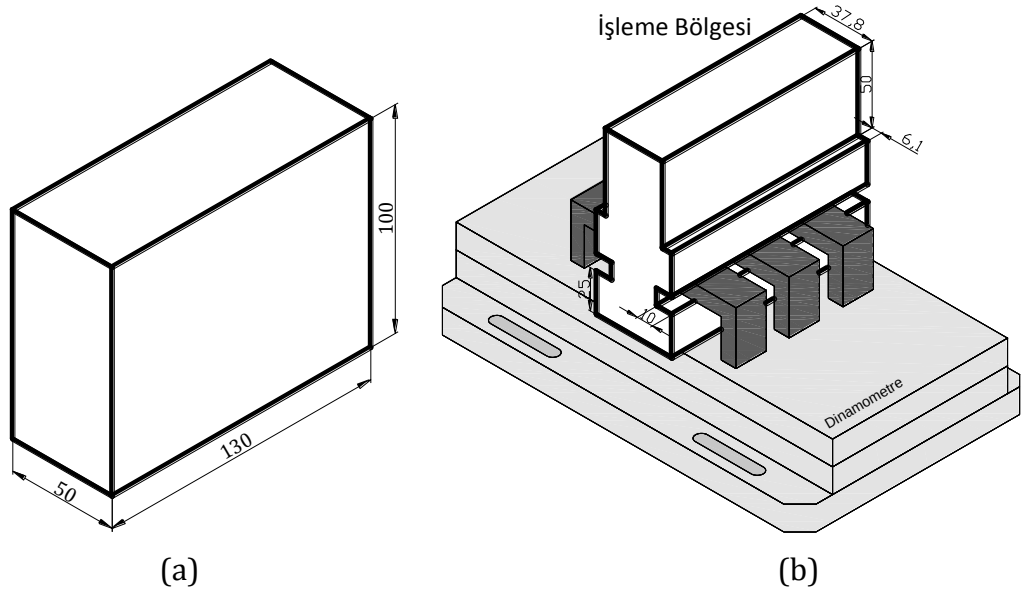
##### **3.1.1. İş Parçası Malzemesi**

DIN 1.2842 soğuk iş takım çeliğinin kullanım alanının yaygınlığı, sertleşebilme kabiliyeti ve işlenebilirlik özellikleri dikkate alınarak 90 MnCrV8 çeliği deney malzemesi olarak seçilmiştir. Malzeme, 6mm'ye kadar saçlarda kesme ve şekillendirme takımları, kesme ve basma kalıpları, küçük kesme bıçakları, vida tarağı ve ovalama yanakları, kılavuz, pim, püskürtücü, rayba, ölçme aleti, plastik ve lastik pres kalıpları gibi alet ve takımların imalinde kullanılmaktadır (Topbaş, 1998). İş parçası olarak seçilen soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.1'de belirtilmiştir. Ayrıca ekler bölümünde çeliğin sertifikası verilmiştir.

Çizelge 3.1. İş parçası malzemesi kimyasal bileşimi

| Kimyasal Bileşimi (% ağırlık) |      |      |       |       |      |      |
|-------------------------------|------|------|-------|-------|------|------|
| C                             | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | V    |
| 0.88                          | 0.29 | 2.07 | 0.024 | 0.009 | 0.26 | 0.08 |

61HRC sertliğinde 130x100x50mm boyutlarında ısıtıl işlemi yapılmış olarak temin edilmiştir (Şekil 3.1). ISO 8688-1 standardına göre deney numunesi olarak frezelenen malzemenin ölçüleri, kullanılan takım tutucu çapının en az 3 katı kadar boy ve 0,6 katı kadar kesme genişliği ölçülerinde olması tavsiye edilmektedir. Buna göre 63mm çapında takım tutucu kullanıldığı dikkate alındığında malzeme boyutları;  $L=3 \times 63=189\text{mm}$  boy ve  $b=0,6 \times 63=37,8\text{mm}$  kesme genişliği (en) ebatlarında olması gerektiği hesaplanmıştır. Mevcut malzemenin uzunluğu ise 130mm dir. Standarda göre en az kesme uzunluğu değerinde çalışma yapmak için aynı deney parametreleri kullanılarak iki paso kesme işlemi yapılmıştır. Böylece toplam kesme uzunluğu  $130 \times 2=260\text{mm}$  olmuştur.



Şekil 3.1. (a) İş parçası malzemesi ve (b) iş parçasının standarda göre hazırlanması ve dinamometre tablası üzerine bağlanması

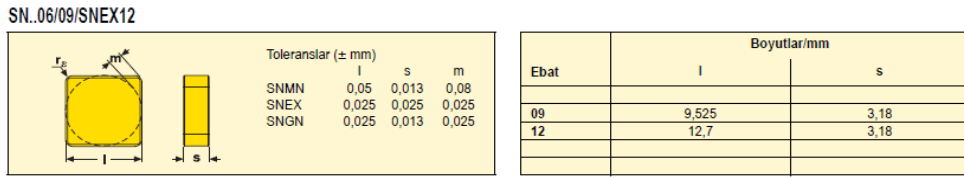
Standarda uygun olarak erozyon tezgâhına bağlanmış bakır elektrot yardımı ile deney malzemelerinin 50mm olan kesme genişliği, her iki yan yüzeyden 6.1mm ve üst yüzeyden 40mm dalmak suretiyle 37.8mm ölçüsüne getirilmiştir. Ayrıca deney numunelerinin bağlama pabuçları ile sabitlenmesi için dalma erozyon

cihazında 10x10x130mm boyutlarında numuneler üzerine bağlama kanalları açılmıştır ve dinamometre tablasına şekildeki gibi bağlanmıştır (Şekil 3.1(b)).

İş parçası dinamometreye standarda uygun bir şekilde bağlantısının yapılabilmesi için özel bağlama pabuçları tasarlanmış ve tel erozyon tezgâhında kesilerek imal edilmiştir.

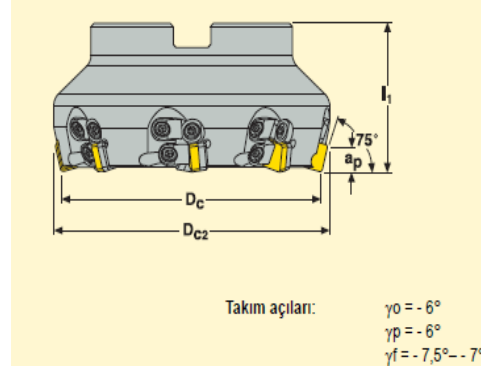
### 3.1.2. Kesici Takım ve Tutucu

CBN uçlar sertlik, oksidasyon direnci, kırılma tokluğu, uzun takım ömrü ve mükemmel uç dayanımına sahiptir. Bu nedenle yapılan çalışmada kesici uç olarak CBN uçlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan CBN kesici uçlara ait geometrik boyutlar ve standart bilgileri şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Deneyde kullanılan CBN kesici takımlar (SECO, 2013)

Deneylerde ISO 8688 yüzey frezeleme standardında takım tutucu olarak 63 mm çap ölçüsüne sahip altı adet uç kapasiteli takım tutucu kullanılması tavsiye edilmektedir. Kesici uçların temin edildiği SECO firmasının bir ürünü olan, altı adet uç kapasiteli takım tutucunun katalog numarası R220.74 0063- 09-6 olarak belirtilmektedir. Seçilen takım tutucunu geometrik büyüklükleri ve standardı Şekil3.3'de verilmiştir.



| Parça No.          | Boyutlar/mm    |                 |                |                |   |     |       |        |
|--------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---|-----|-------|--------|
|                    | D <sub>c</sub> | D <sub>c2</sub> | l <sub>1</sub> | a <sub>p</sub> |   |     |       |        |
| R220.74 -0063-09-6 | 63             | 65,3            | 40             | 8              | 6 | 0,8 | 10200 | SN..09 |

Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan takım tutucu şekli, boyutları ve özellikleri (SECO, 2013)

### 3.1.3. Kullanılan Cihaz ve Sistemler

Deneylerde cihaz ve sistem olarak kuvvet sinyallerinin ölçülmesinde dinamometre, veri toplama kartı ve sinyal yükseltici, ön ısıtma işlemi için indüksiyon fırını ve bobin, iş parçasısıcaklığını ölçmek için termokupl kullanılmıştır. Talaş kaldırılmış yüzeylerin pürüzlülüğünün belirlenmesinde yüzey pürüzlülük cihazı yararlanılmıştır. Takım aşınması ölçümlerinde ise tarama elektron mikroskobu, iş parçası yüzey mikro yapı incelenmeleri için ise ışık mikroskobu kullanılmıştır.

#### a) Dinamometre

Deneylerde x, y ve z eksenlerinde oluşan kesme kuvvet sinyallerinin ölçülmesinde dinamometre, veri toplama kartı ve sinyal yükseltici kullanılmıştır. Yazılım olarak ise Cut-Pro programından faydalanılmıştır.

#### b) Amplifikatör (Sinyal Düzenleyici)

Dinamometreden gelen ham sinyaller çok küçük olduğu için bir sinyal düzenleyici tarafından kullanılabilir analog sinyal haline getirilmesi KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör tarafından sağlanmıştır.

### c) Veri Toplama Kartı

Dinamometreden gelen kesme kuvveti sinyalleri sinyal düzenleyiciden geçtikten sonra National Instrument DAQ 6062E tipi veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmıştır.

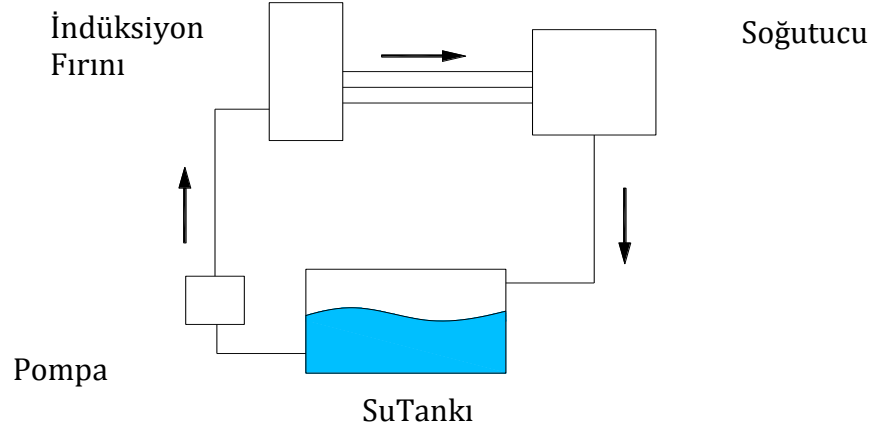
### d) İndüksiyon Fırını

Kuvvetli bir elektro manyetik alana maruz kalan metal malzemenin üzerinde oluşan elektrik akımı, malzemenin yüzeyindeki sıcaklığı arttırmaktadır. Çalışmada iş parçasının ön ısıtılması için SPG-06-II-HF marka indüksiyon fırını kullanılmıştır. Şekil 3.4'de de indüksiyon fırını ve hazırlanan sistem görülmektedir.



Şekil 3.4. İndüksiyon fırını ve soğutma tesisatı

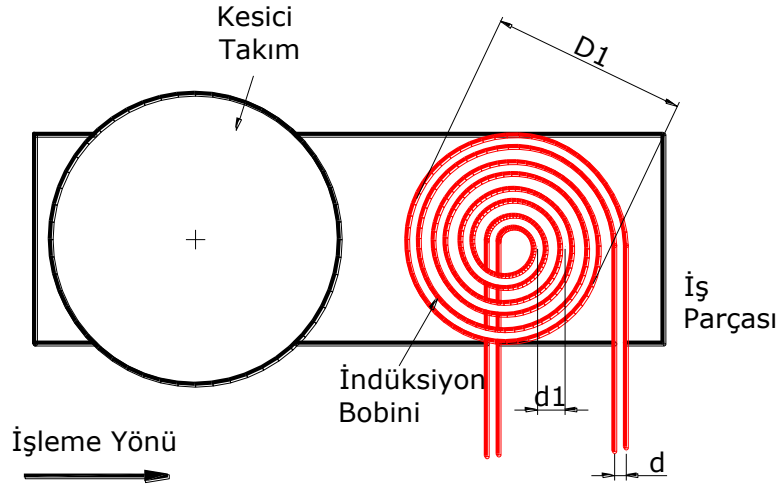
İndüksiyon fırınının çalışması esnasında ısınan iş parçasından indüksiyon bobinine radyasyon yöntemi ile ısı geçişi olur ve bobin bu sayede ısınır. Bobindeki ısınmayı engellemek için bobin içinden su sirkülasyonu bir tesisat yardımı ile gerçekleştirilir. Bobinin ısısına engel olmak için yapılan indüksiyon fırını su tesisatı oluşturulmuş ve şeması şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. İndüksiyon fırını tesisat şeması

#### e) Bobin

İş parçasının ısıtılmasında kullanılmak üzere bakır bir bobin tasarlanmış ve bobinin sarım çapı  $D_1$ , sarımlar arası mesafe  $d_1$  ve bobin dış çapı  $d$  olarak imal edilmiştir. Bobin tasarımında 6mm çapında içi boş bakır boru kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bobin şekli 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. İndüksiyon bobini, kesici takım ve iş parçası temsili şekli

#### f) Termokupl

İş parçasının sıcaklık dağılımını ölçebilmek için Tetcis marka NiCr-Ni mineral izoleli K tipi, ölçme aralıkları  $-200^{\circ}\text{C}$  -  $+1350^{\circ}\text{C}$  ve ölçme hassasiyeti  $\%0.05$  olan

3mm çaplı termokupllar kullanılmıştır. Ayrıca veri toplayıcı ile termokuplların arasındaki bağlantıyı sağlamak için 3m kompanzasyon kablosu kullanılmıştır.

#### **g) Veri Toplayıcı (Data Logger)**

Termokupllar yardımıyla alınan sıcaklık verileri, AHLBorn marka Almemo 5990-2 veri toplayıcı cihazının yazılımı ile değerlendirilip, sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Cihazın saniyedeki örnekleme hızı 332 000Hz'dir.

#### **h) Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı**

Deneylerde farklı kesme parametrelerin de işlenen iş parçasında oluşan yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde 0.01µm hassasiyette ölçüm yapabilen, elmas uçlu Hommel Werke firmasının T500 yüzey pürüzlülük test cihazı kullanılmıştır.

#### **ı) Tarama Elektron Mikroskobu**

İşleme sonunda takımda oluşan kırılma, aşınma, bozulmaların boyutlarını ve şekillerinin belirlenebilmesi için Tescan firmasının ürünü olan, 4x'den 1.000.000x'e kadar büyütme aralığı olan Vega\\LSU tarama elektron mikroskobundan (TEM) görüntü alınmıştır.

#### **İ ) Işık Mikroskobu**

İşleme sonrasında iş parçasının mikro yapısını incelemelerinde 10x100 kadar büyütme yapabilen Olympus marka GX51 mikroskopu kullanılmıştır.

#### **3.1.4. Kullanılan Tezgâhlar**

Deney numunelerinin ve bağlama pabuçlarının imalinde tel erozyon ve dalma erozyon tezgâhı, deneylerin gerçekleştirilmesinde iş mili devri 6000dev/dak Hartford VMC-1020 CNC dikey freze tezgâhı kullanılmıştır.

İş parçası malzemesinin, en ölçüsünün, kullanılan takım tutucu çapının 0.6 katı olan 37.8mm ölçüsüne getirilmesinde ve üzerine bağlama kanallarının açılmasında SDU CAD/CAM Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan AJAN EDM marka dalma erozyon tezgâhı ve Hartford VMC-1020 CNC Dik işleme merkezi kullanılmıştır.

### 3.2. Yöntem

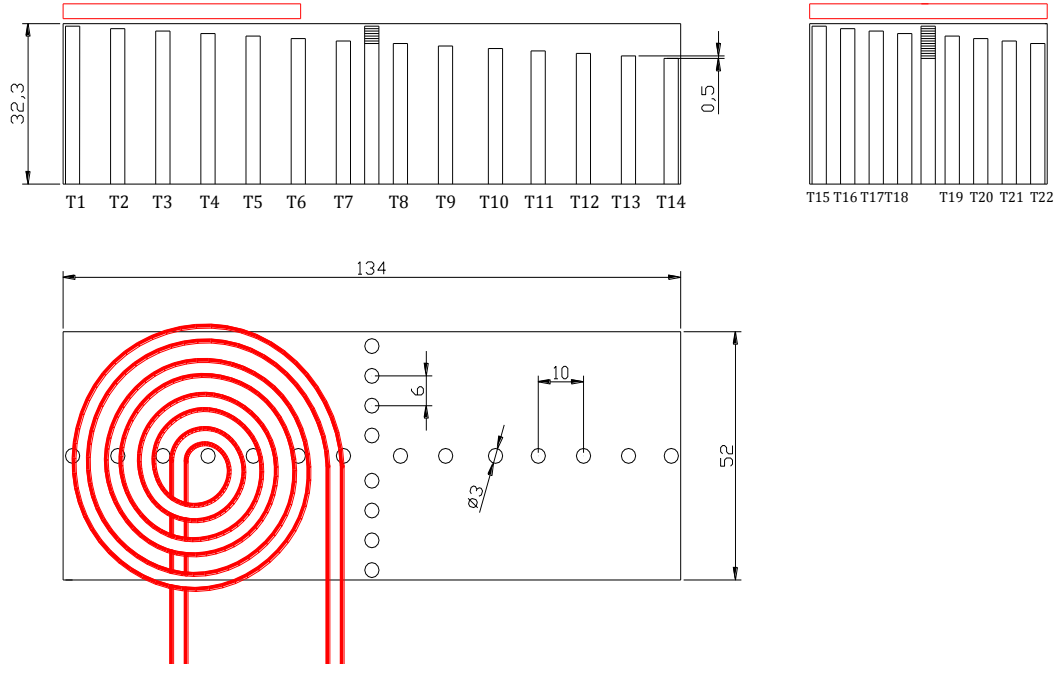
Çalışmada, soğuk iş takım çeliğinin ön ısıtmalı işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınmaları, mikro yapısı ve sertlik değerleri araştırılmıştır. Kesme parametreleri kesici takım üreticilerinin tavsiyeleri ve literatür çalışmaları göz önünde bulundurularak 0.6mm sabit kesme derinliğinde, 4 farklı kesme hızı ( $V_c=154.4, 278.1, 451.3, 524.5$ m/dak), 4 farklı ilerleme hızı ( $f=0.05, 0.075, 0.1, 0.15$ mm/diş) ve 4 farklı ön ısıtma sıcaklığı ( $T=350, 400, 450, 500^\circ\text{C}$ ) şartlarında, tek diş kullanılarak, kuru kesme yapılarak gerçekleştirilmiştir. Girdi parametrelerine göre yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ), kesme kuvveti ( $F_c, F_f, F_p$ ) ve takım aşınma derinlik ( $V_b$ ) ve uzunluk değerleri tespit edilmesi planlanmıştır.

Kesme parametrelerine göre farklı ön ısıtma sıcaklıklarına ulaşabilmek için ön hazırlık deneyleri yapılmıştır. Ön hazırlık deneyleri ile indüksiyon fırın parametreleri belirledikten sonra taguchi deney tasarım modeli kurulmuştur. Kurulan modele göre deneyler yapılmış parametrelerin ara değerleri model tarafından türetilmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirilip literatürdeki çalışmalarla kıyaslanmıştır. Ön ısıtmalı işleme sonrasında iş parçası mikro yapısı inceleme ve yüzey sertlik değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen tüm veriler ANOVA analizi yardımıyla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri, ilerleme hızı, kesme hızı ve ön ısıtma sıcaklık değerlerine göre birbirleri ile etkileşimleri araştırılmıştır. Ayrıca yapılan çalışma evrimsel programlama metodu ile yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınma değerleri ile modellemesi yapılmıştır.

### 3.2.1. Ön Hazırlık Deneylerinin Yapılması

Deneysel çalışmalara başlamadan önce indüksiyon fırını akımı, iş parçası sıcaklık ve işleme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı) arasında ilişki kurabilmek amacı ile ön hazırlık deneyleri yapılmıştır. Ön hazırlık deneylerinden amaç, indüksiyon fırını hangi akımda iken, tezgâhın belirli ilerleme değerlerinde, kesme derinliği kadar mesafede hangi sıcaklıklara ulaşıldığını belirlemektir.

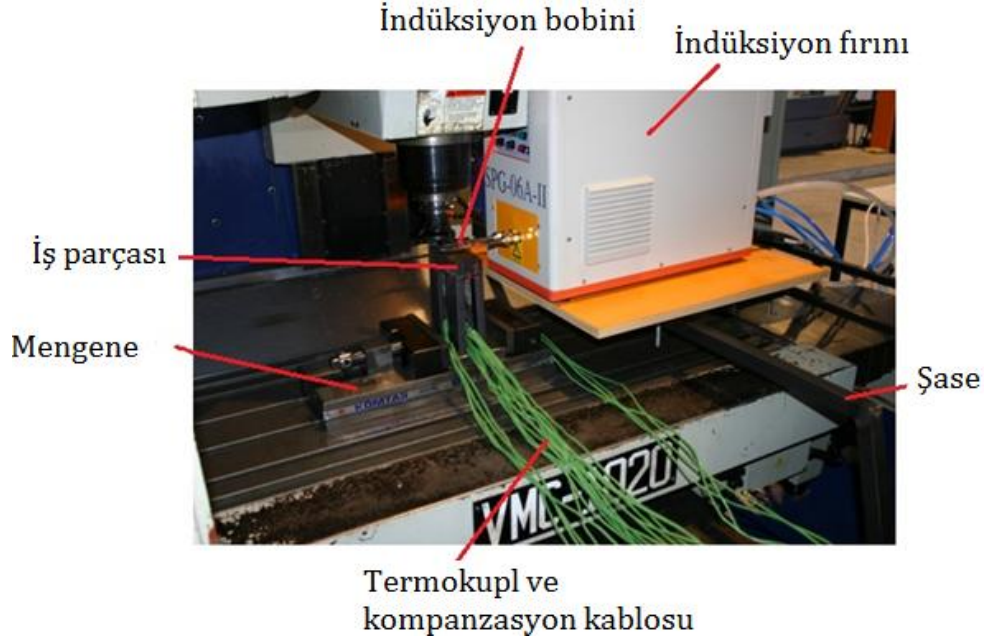
Hardfort marka CNC Freze tezgâhında yapılan ön hazırlık deneylerinde, 52x32.3x134mm ebatlarındaki soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Soğuk iş takım çeliğinin indüksiyon fırını parametreleri ve tezgâh ilerleme parametresine göre iş parçası yüzeyinde zamana bağlı sıcaklık dağılımını ölçülebilmek için malzemeye belli aralık ve uzunluklarda termokupl delikleri delinmiştir. Bu termokupl delikleri iş parçası üzerinde boylamasına 8 enlemesine 14 toplamda 22 adettir. Çapları 3mm olan deliklerin merkezleri arası 10mm'dir ve boyuna 0.5mm azalarak sıralanmıştır (Şekil 3.7). Delik açma işlemi iki kademeli olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci kademede delikler belli mesafeye kadar kaplamalı karbür uçlar kullanılmıştır. İkinci kademede delik boyları dalma erozyonda grafit elektrotla hassas boylarına getirilmiş ve delik alın kısımları düzleştirilmiştir. Açılan bu deliklere termokupullar yerleştirilmiş daha sonra termokupullardan sıcaklık değerlerini belirlemek için kompanzasyon kablosu ve konnektör yardımıyla veri toplayıcıya bağlantısı yapılmıştır. Böylece sıcaklık verileri bilgisayara aktarılabilmiştir.



Şekil 3.7. İş parçası üzerinde açılmış deliklerin farklı yönlerden gösterimi

Isıtma amaçlı kullanılacak olan indüksiyon fırınının, frezeye yerleştirilebilmesi için aşağı yukarı ayarlanabilir bir şase imal edilmiştir. Ayarlanabilir şase sayesinde iş parçası ile bobin arasındaki tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Bobinden, ısıtılacak malzemeye maksimum manyetik alan etkisi ve maksimum akım atlaması olabilmesi için, bobinin malzemeye olabilecek en yakın mesafede olması istenir. Malzeme üzerindeki manyetik akı ve akım atlaması yoğunlaştıkça malzemede açığa çıkan ısı artar (Hamamcı, 2014). Bu sebepten iş parçası ile bobin arasındaki mesafe 1mm olarak belirlenmiştir.

Termokupllar yerleştirilen malzeme, mengene ile tezgâha bağlanmıştır. İndüksiyon cihazını freze içine yerleştirebilmek için ayarlanabilir bir sehpa yapılmıştır. Talaş kaldırma işlemi yapılmadan işleme yapılıyormuş gibi malzeme indüksiyon cihazı ile ısıtılmış ve malzemedeki sıcaklık dağılımı tespit edilmiştir (Şekil 3.8).



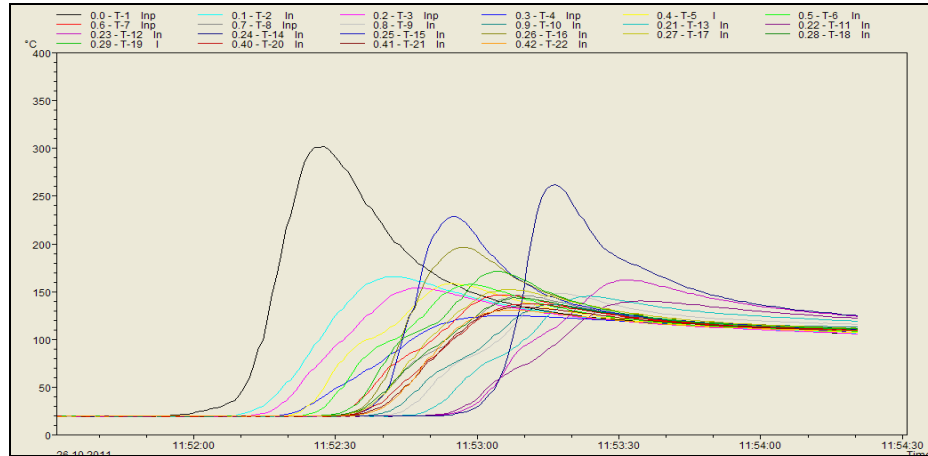
Şekil 3.8. Deney Düzenegi

Ön hazırlık deneylerinin amacı, 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme ve 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında iş parçasını 350, 400, 450, 500°C ( $\pm 10$ ) ön ısıtma sıcaklıklarına getirmektir. İşparçasının istenilen ön ısıtma sıcaklığına ulaşılabilmesi için indüksiyon fırın akım değerleri her bir kesme parametresinde 4-5 kez test edilerek elde edilebilmiştir.

Ön hazırlık deneyleri neticesinde iş parçasının enlemesine ve boylamasına yerleştirilmiş termokupllardan alınan verilerle zamana bağlı sıcaklığın değişim grafikleri elde edilmiştir. Termokupllardan alınan sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.2, Şekil 3.9).

Çizelge 3.2. Termokupllar yardımıyla veri toplayıcıdan alınan sıcaklık değerlerinin zamana bağlı ilerleme oranı değişimi

| 53 | Date       | Time     | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    | T9    | T10   |
|----|------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 55 | 26.10.2011 | 11:52:37 | 332,8 | 149   | 116,3 | 90,7  | 73,6  | 59,4  | 33,4  | 30,1  | 23,8  | 23,3  |
| 56 | 26.10.2011 | 11:52:38 | 324,1 | 140,3 | 107,6 | 82    | 64,9  | 50,7  | 54,5  | 33,8  | 27,5  | 27    |
| 57 | 26.10.2011 | 11:52:39 | 315,4 | 131,6 | 98,9  | 73,3  | 56,2  | 42    | 63,2  | 37,5  | 31,2  | 30,7  |
| 58 | 26.10.2011 | 11:52:40 | 306,7 | 122,9 | 90,2  | 64,6  | 47,5  | 45,7  | 71,9  | 41,2  | 34,9  | 34,4  |
| 59 | 26.10.2011 | 11:52:41 | 298   | 114,2 | 81,5  | 55,9  | 38,8  | 49,4  | 80,6  | 44,9  | 38,6  | 38,1  |
| 60 | 26.10.2011 | 11:52:42 | 289,3 | 105,5 | 72,8  | 47,2  | 42,5  | 53,1  | 89,3  | 48,6  | 42,3  | 41,8  |
| 61 | 26.10.2011 | 11:52:43 | 280,6 | 96,8  | 64,1  | 50,9  | 46,2  | 56,8  | 98    | 52,3  | 46    | 45,5  |
| 62 | 26.10.2011 | 11:52:44 | 271,9 | 88,1  | 55,4  | 54,6  | 49,9  | 60,5  | 106,7 | 56    | 49,7  | 49,2  |
| 63 | 26.10.2011 | 11:52:45 | 263,2 | 79,4  | 59,1  | 58,3  | 53,6  | 64,2  | 115,4 | 59,7  | 53,4  | 52,9  |
| 64 | 26.10.2011 | 11:52:46 | 254,5 | 70,7  | 62,8  | 62    | 57,3  | 67,9  | 124,1 | 63,4  | 57,1  | 56,6  |
| 65 | 26.10.2011 | 11:52:47 | 245,8 | 74,4  | 66,5  | 65,7  | 61    | 71,6  | 132,8 | 67,1  | 60,8  | 60,3  |
| 66 | 26.10.2011 | 11:52:48 | 237,1 | 78,1  | 70,2  | 69,4  | 64,7  | 75,3  | 141,5 | 70,8  | 64,5  | 64    |
| 67 | 26.10.2011 | 11:52:49 | 228,4 | 81,8  | 73,9  | 73,1  | 68,4  | 79    | 150,2 | 74,5  | 68,2  | 67,7  |
| 68 | 26.10.2011 | 11:52:50 | 219,7 | 85,5  | 77,6  | 76,8  | 72,1  | 82,7  | 158,9 | 78,2  | 71,9  | 71,4  |
| 69 | 26.10.2011 | 11:52:51 | 211   | 89,2  | 81,3  | 80,5  | 75,8  | 86,4  | 167,6 | 81,9  | 75,6  | 75,1  |
| 70 | 26.10.2011 | 11:52:52 | 202,3 | 92,9  | 85    | 84,2  | 79,5  | 90,1  | 176,3 | 85,6  | 79,3  | 78,8  |
| 71 | 26.10.2011 | 11:52:53 | 193,6 | 96,6  | 88,7  | 87,9  | 83,2  | 93,8  | 185   | 89,3  | 83    | 82,5  |
| 72 | 26.10.2011 | 11:52:54 | 184,9 | 100,3 | 92,4  | 91,6  | 86,9  | 97,5  | 193,7 | 93    | 86,7  | 86,2  |
| 73 | 26.10.2011 | 11:52:55 | 176,2 | 104   | 96,1  | 95,3  | 90,6  | 101,2 | 202,4 | 96,7  | 90,4  | 89,9  |
| 74 | 26.10.2011 | 11:52:56 | 167,5 | 107,7 | 99,8  | 99    | 94,3  | 104,9 | 211,1 | 100,4 | 94,1  | 93,6  |
| 75 | 26.10.2011 | 11:52:57 | 158,8 | 111,4 | 103,5 | 102,7 | 98    | 108,6 | 219,8 | 104,1 | 97,8  | 97,3  |
| 76 | 26.10.2011 | 11:52:58 | 150,1 | 115,1 | 107,2 | 106,4 | 101,7 | 112,3 | 228,5 | 107,8 | 101,5 | 101   |
| 77 | 26.10.2011 | 11:52:59 | 141,4 | 118,8 | 110,9 | 110,1 | 105,4 | 116   | 237,2 | 111,5 | 105,2 | 104,7 |
| 78 | 26.10.2011 | 11:53:00 | 132,7 | 122,5 | 114,6 | 113,8 | 109,1 | 119,7 | 245,9 | 115,2 | 108,9 | 108,4 |
| 79 | 26.10.2011 | 11:53:01 | 124   | 126,2 | 118,3 | 117,5 | 112,8 | 123,4 | 254,6 | 118,9 | 112,6 | 112,1 |
| 80 | 26.10.2011 | 11:53:02 | 115,3 | 129,9 | 122   | 121,2 | 116,5 | 127,1 | 263,3 | 122,6 | 116,3 | 115,8 |
| 81 | 26.10.2011 | 11:53:03 | 106,6 | 133,6 | 125,7 | 124,9 | 120,2 | 130,8 | 272   | 126,3 | 120   | 119,5 |



Şekil 3.9. İş parçasına enlemesine ve boylamasına yerleştirilen termokupullardan saniyede alınan sıcaklık değerlerinin gösterimi

Termokupullardan elde edilen sıcaklık değerlerine göre iş parçasını istenilen ön ısıtma sıcaklıklarına ( $\pm 10$ ) getirebilmek için indüksiyon cihazı uygun akım değeri bulunmaya çalışılmıştır. Elde edilen kesme parametreleri ve ön ısıtma sıcaklıklarına göre indüksiyon akım değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. 350, 400, 450, 500°C(±10) ön ısıtmalı farklı kesme parametrelerine göre elde edilen indüksiyon cihazı akım değerleri

| Deney No | Ön ısıtma Sıcaklığı (°C) | İş Mili Devri (N)(dev/dak) | Kesme Hızı(Vc) (m/dak) | Tabla İlerleme Hızı (f) (mm/dış) | İndüksiyon Akım Değeri (A) |
|----------|--------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 1        | 350                      | 2650                       | 524.5                  | 0.05                             | 4.3                        |
| 2        |                          |                            |                        | 0.075                            | 6.3                        |
| 3        |                          |                            |                        | 0.1                              | 10.5                       |
| 4        |                          |                            |                        | 0.15                             | 11                         |
| 5        |                          | 2280                       | 451.3                  | 0.05                             | 3.9                        |
| 6        |                          |                            |                        | 0.075                            | 5.4                        |
| 7        |                          |                            |                        | 0.1                              | 7.5                        |
| 8        |                          |                            |                        | 0.15                             | 9                          |
| 9        |                          | 1405                       | 278.1                  | 0.05                             | 3.0                        |
| 10       |                          |                            |                        | 0.075                            | 3.8                        |
| 11       |                          |                            |                        | 0.1                              | 4.4                        |
| 12       |                          |                            |                        | 0.15                             | 7.0                        |
| 13       |                          | 780                        | 154.4                  | 0.05                             | 2.0                        |
| 14       |                          |                            |                        | 0.075                            | 2.6                        |
| 15       |                          |                            |                        | 0.1                              | 3.1                        |
| 16       |                          |                            |                        | 0.15                             | 4.1                        |
| 17       | 400                      | 2650                       | 524.5                  | 0.05                             | 6.2                        |
| 18       |                          |                            |                        | 0.075                            | 9                          |
| 19       |                          |                            |                        | 0.1                              | 12                         |
| 20       |                          |                            |                        | 0.15                             | 16,5                       |
| 21       |                          | 2280                       | 451.3                  | 0.05                             | 5.3                        |
| 22       |                          |                            |                        | 0.075                            | 7.8                        |
| 23       |                          |                            |                        | 0.1                              | 10.3                       |
| 24       |                          |                            |                        | 0.15                             | 13.6                       |
| 25       |                          | 1405                       | 278.1                  | 0.05                             | 3.5                        |
| 26       |                          |                            |                        | 0.075                            | 5                          |
| 27       |                          |                            |                        | 0.1                              | 6.5                        |
| 28       |                          |                            |                        | 0.15                             | 9.6                        |
| 29       |                          | 780                        | 154.4                  | 0.05                             | 2.1                        |
| 30       |                          |                            |                        | 0.075                            | 3                          |
| 31       |                          |                            |                        | 0.1                              | 3.8                        |
| 32       |                          |                            |                        | 0.15                             | 5.5                        |
| 33       | 450                      | 2650                       | 524.5                  | 0.05                             | 8.9                        |
| 34       |                          |                            |                        | 0.075                            | 13.8                       |
| 35       |                          |                            |                        | 0.1                              | 18.6                       |
| 36       |                          |                            |                        | 0.15                             | 30                         |
| 37       |                          | 2280                       | 451.3                  | 0.05                             | 7.6                        |
| 38       |                          |                            |                        | 0.075                            | 11.7                       |
| 39       |                          |                            |                        | 0.1                              | 15.8                       |
| 40       |                          |                            |                        | 0.15                             | 24                         |
| 41       |                          | 1405                       | 278.1                  | 0.05                             | 4.5                        |
| 42       |                          |                            |                        | 0.075                            | 6.3                        |
| 43       |                          |                            |                        | 0.1                              | 9.1                        |
| 44       |                          |                            |                        | 0.15                             | 14.7                       |

Çizelge 3.3'ün devamı

| Deney No | Ön ısıtma Sıcaklığı (°C) | İş Mili Devri (N) (dev/dak) | Kesme Hızı(Vc) (m/dak) | Tabla İlerleme Hızı (f) (mm/diş) | İndüksiyon Akım Değeri (A) |
|----------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 45       | 450                      | 780                         | 154.4                  | 0.05                             | 3                          |
| 46       |                          |                             |                        | 0.075                            | 3.6                        |
| 47       |                          |                             |                        | 0.1                              | 5                          |
| 48       |                          |                             |                        | 0.15                             | 7.4                        |
| 49       | 500                      | 2650                        | 524.5                  | 0.05                             | 10.1                       |
| 50       |                          |                             |                        | 0.075                            | 18.1                       |
| 51       |                          |                             |                        | 0.1                              | 30.1                       |
| 52       |                          |                             |                        | 0.15                             | 32                         |
| 53       |                          | 2280                        | 451.3                  | 0.05                             | 8.1                        |
| 54       |                          |                             |                        | 0.075                            | 14.1                       |
| 55       |                          |                             |                        | 0.1                              | 23.5                       |
| 56       |                          |                             |                        | 0.15                             | 25,3                       |
| 57       |                          | 1405                        | 278.1                  | 0.05                             | 4.8                        |
| 58       |                          |                             |                        | 0.075                            | 6.8                        |
| 59       |                          |                             |                        | 0.1                              | 10.9                       |
| 60       |                          |                             |                        | 0.15                             | 19.6                       |
| 61       |                          | 780                         | 154.4                  | 0.05                             | 3.7                        |
| 62       |                          |                             |                        | 0.075                            | 4.4                        |
| 63       |                          |                             |                        | 0.1                              | 5.2                        |
| 64       |                          |                             |                        | 0.15                             | 8.4                        |

### 3.2.2. Taguchi Deney Tasarımı

Taguchi metodu için 3 farklı parametre olan kesme hızı, ilerleme hızı, sıcaklık ve her bir parametre içinde 4 ayrı seviye belirlenmiştir. Kullanılan üç farklı parametre ve 4 farklı seviyeler için Taguchi'nin L16 (4\*\*3) standart ortogonal dizisi seçilmiştir. Kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri (Çizelge 3.4)'deki gibidir.

Çizelge 3.4. Taguchi deney tasarımı için belirlenen faktörler ve seviyeler

| Kontrol Faktörü    | Birim  | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 3 | Seviye 4 |
|--------------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Kesme Hızı         | m/dak  | 154.4    | 278.1    | 451.3    | 524.5    |
| İlerleme Hızı      | mm/diş | 0.05     | 0.075    | 0.1      | 0.15     |
| Ön Isıt. Sıcaklığı | °C     | 350      | 400      | 450      | 500      |

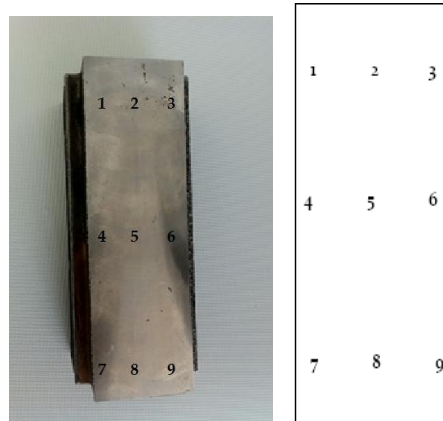
Tasarlanan taguchi metoduna göre kesme parametreleri çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Taguchi L16 modeli

| std | run | Kesme Hızı<br>(Vc)<br>(m/dak) | İlerleme<br>Hızı (f)<br>(mm/diş) | Sıcaklık<br>(°C) | İndüksiyon<br>Akımı<br>(A) |
|-----|-----|-------------------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------|
| 1   | 5   | 154.4                         | 0.05                             | 350              | 3.1                        |
| 2   | 9   | 154.4                         | 0.075                            | 400              | 3                          |
| 3   | 6   | 154.4                         | 0.1                              | 450              | 5                          |
| 4   | 7   | 154.4                         | 0.15                             | 500              | 8.4                        |
| 5   | 3   | 278.1                         | 0.05                             | 400              | 3.5                        |
| 6   | 14  | 278.1                         | 0.075                            | 350              | 3.8                        |
| 7   | 1   | 278.1                         | 0.1                              | 500              | 10.9                       |
| 8   | 4   | 278.1                         | 0.15                             | 450              | 14.7                       |
| 9   | 15  | 451.3                         | 0.05                             | 450              | 7.6                        |
| 10  | 16  | 451.3                         | 0.075                            | 500              | 14.1                       |
| 11  | 2   | 451.3                         | 0.1                              | 350              | 7.5                        |
| 12  | 11  | 451.3                         | 0.15                             | 400              | 31.4                       |
| 13  | 8   | 524.5                         | 0.05                             | 500              | 10.1                       |
| 14  | 12  | 524.5                         | 0.075                            | 450              | 13.8                       |
| 15  | 13  | 524.5                         | 0.1                              | 400              | 12.1                       |
| 16  | 10  | 524.5                         | 0.15                             | 350              | 30                         |

### 3.2.3. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi

Frezeleme işlemi sırasında her pasodan sonra iş parçası yüzeyinin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçüm ikiye tekrarlı olarak malzeme üzerinde dokuz farklı noktadan değerler alınarak yapılmıştır. Alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak nihai pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.10'da iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçümünün yapıldığı noktaları gösterilmiştir.

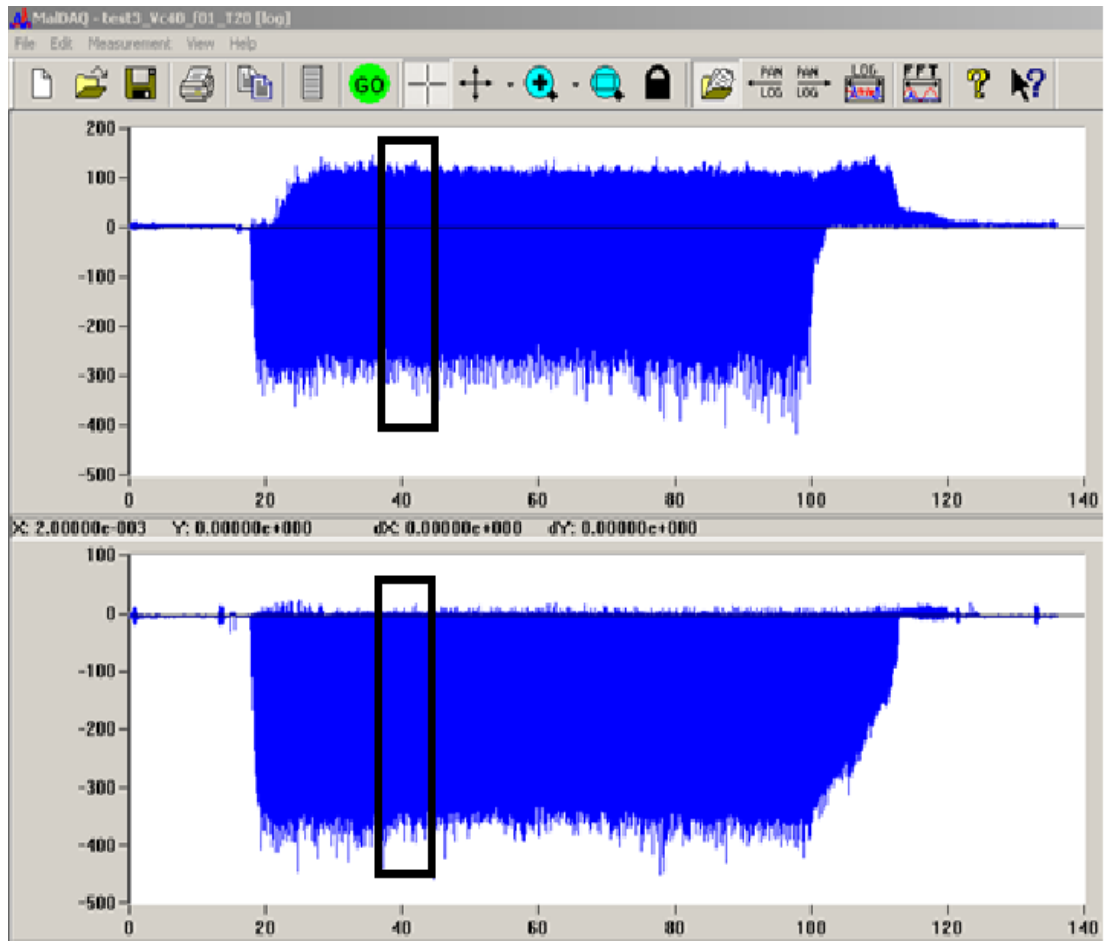


Şekil 3.10. Deneylerde iş parçası yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü noktalar

### 3.2.4. Kesme Kuvveti Ölçümleri

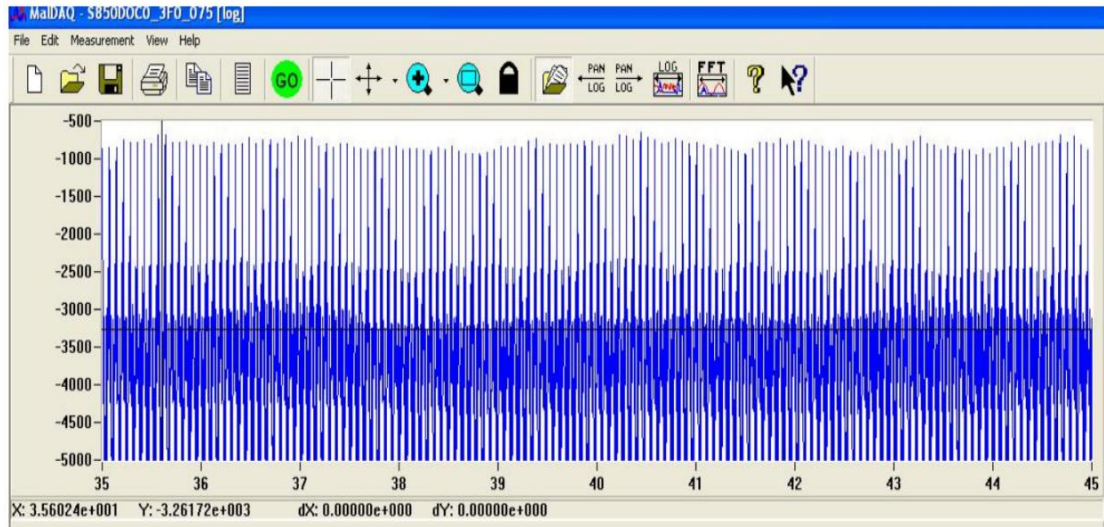
Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde; dinamometre, amplifikatör, veri toplama kartı ve Cut-Pro yazılımından faydalanılmıştır. Dinamometre ile her üç ekseninde kesme kuvveti sinyalleri ölçülmüştür. Şekil 3.11’de işleme neticesi elde edilen ham sinyallerin görüntüsü verilmektedir.

Cut-Pro yazılımından ham olarak alınan sinyaller Matlab programı ile düzenlenerek sinyallerin aritmetik ortalamaları alınmış, nihai kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.11. CutPro programından elde edilen ham kesme kuvveti sinyalleri

Sinyallerin kararlı olduğu bölgelerden 10sn’lik sinyaller alınmıştır. Şekil 3.12’de bu sinyaller gösterilmektedir. Alınan tüm bu sinyallerin her deney için ortalaması alınarak  $F_c$ ,  $F_f$  ve  $F_p$  kuvvet kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.12. Kesme kuvveti sinyallerinin işlenen 10s'lik veri gösterimi

### 3.2.5. ANOVA analizi

Varyans analizi, incelenen faktörlerin, kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerlerini ne oranda etkilediklerini ortaya koyabilmek için kullanılır (Çetin, 2010). Taguchi deney tasarımına bağlı olarak yapılan ön ısıtmalı sert frezeleme deneylerinde ölçülen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri için ANOVA tabloları Minitab 16 yazılımı yardımıyla hazırlanmıştır. Anova analizinden elde edilen F değeri, o parametrenin deney sonuçlarına katkısının tüm parametreler içerisindeki etki oranını yüzde olarak göstermektedir. ANOVA'daki küçük p değeri ise hangi parametrelerin fiziki ve istatistiki öneme sahip olduğunu belirtmektedir. %95 güvenilirlik seviyesinde p değerinin 0.05 değerine eşit ve küçük olması, ilgili parametrenin imalat sistemi içinde fiziki ve istatistiki öneme sahip olduğunu belirtir.

### 3.2.6. Evrimsel Programlama ile Modelleme

Genetik algoritma ve genetik programlama algoritmalarının bir bileşkesi olarak, geniş bir fonksiyon taramasına sahip evrimsel programlama algoritması ile aşınma derinliği ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmini için modelleme yapılmıştır. Model ile toplam 64 farklı kesme parametresi ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu deney sayısının % 75'ini kapsayan 48 adet deney

parametresi modellemenin eğitim kısmında, kalan % 25'lik kısım ise modellemenin denemesinde kullanılmıştır. Birinci modellemede eksenel kesme derinliği değeri sabit olduğu için, kesme hızı ve tabla ilerleme hızı girdi parametresi, aşınma derinliği çıktı parametresi olarak ikinci modellemede ise yine kesme hızı ve tabla ilerleme hızı girdi parametresi, yüzey pürüzlülüğü çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Bu parametreler, evrimsel programlamaya tabi tutulmuş, birçok model oluşturulmuş ve % olarak en başarılı model seçilmiştir. En başarılı model ile girdi parametreleri ve çıktı parametresi arasında Visual Basic program kodu türetilmiş ve matematiksel bir ifade elde edilmiştir.

#### **4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR**

Çalışmada, Taguchi metodu ile L16 (4\*\*3) standart ortogonal dizisinde belirlenen farklı kesme hızı, ilerleme hızı, ön ısıtma sıcaklığına göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Modele göre 16 deney üç kez tekrar edilerek yapılmış ve değerlerin ortalaması alınmıştır. Taguchi metodunu kullanılarak ara deney sonuçları türetilmiştir. Bunun sebebi deney verilerinin genel değerlendirmelerini yapabilmek ve akıllı yöntemlerden biri olan evrimsel programla ile bir model oluşturabilmektir. Sonuçta 16'sı deney sonucu 48'i tahmin edilerek 64 adet kesme kuvveti, takım aşınma miktarı ve yüzey pürüzlülük sonuçları elde edilmiştir. Soğuk iş takım çeliğinin ön ısıtmalı frezeleme deneylerinin sonuçları ve Taylan (2009), doktora çalışmasındaki aynı şartlar, aynı kesici takım ve aynı kesme parametreleri ile yapılan konvansiyonel deney sonuçları grafikler üzerinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Çalışmanın mikro yapıları ve sertlik değerleri irdelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca, bulunan sonuçlar literatür verileri ile karşılaştırılmıştır. Bunlara ilaveten işleme parametrelerine bağlı varyans analizi (ANOVA) metodu kullanılarak ilerleme hızı, kesme hızı ve ön ısıtma sıcaklık parametrelerinin, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerindeki etkinlik dereceleri analiz edilmiştir. Aşınma miktarları ve yüzey pürüzlülük değerleri akıllı yöntemlerden biri olan evrimsel programlama ile modellenmiş ve matematiksel olarak denklemleri türetilmiştir.

##### **4.1. Deneysel Bulgular ve Taguchi Performans Analizi**

###### **4.1.1. Deneysel Bulgular**

Taguchi metoduna göre L16 deney tasarımına göre kesme parametreleri ile deneyler yapılmış ve kesme kuvveti, yüzey pürüzlülük, aşınma uzunluk ve aşınma derinlik değerleri bulunmuş ve Çizelge 4.1'de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Taguchi L16 modeline göre elde edilen deney sonuçları

|    | Kesme Hızı (Vc)<br>(m/dak) | İlerleme Hızı (f)<br>(mm/diş) | Ön ısıtma<br>Sıcaklığı (°C) |        |        |        | Aşınma uzunluk<br>miktarı(μm) | Aşınma derinlik<br>miktarı(μm) | Yüzey Pürüzlülüğü<br>Ra(μm) |
|----|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1  | 154.4                      | 0.05                          | 350                         | 264.63 | 218.88 | 376.50 | 258.5                         | 207                            | 0.19                        |
| 2  | 154.4                      | 0.075                         | 400                         | 687.25 | 629.13 | 457.00 | 716.5                         | 696.5                          | 0.36                        |
| 3  | 154.4                      | 0.1                           | 450                         | 898.13 | 820.88 | 744.25 | 629                           | 673                            | 0.9                         |
| 4  | 154.4                      | 0.15                          | 500                         | 416.13 | 617.25 | 234.62 | 988.5                         | 925.5                          | 1.53                        |
| 5  | 278.1                      | 0.05                          | 400                         | 559.50 | 502.50 | 392.25 | 88.5                          | 47                             | 0.4                         |
| 6  | 278.1                      | 0.075                         | 350                         | 566.45 | 428.88 | 237.88 | 485.5                         | 508                            | 0.66                        |
| 7  | 278.1                      | 0.1                           | 500                         | 1108.1 | 910.13 | 974.13 | 299.5                         | 329                            | 0.67                        |
| 8  | 278.1                      | 0.15                          | 450                         | 675.00 | 592.63 | 195.25 | 357.5                         | 299.5                          | 1.1                         |
| 9  | 451.3                      | 0.05                          | 450                         | 477.25 | 381.38 | 371.50 | 572                           | 145                            | 0.59                        |
| 10 | 451.3                      | 0.075                         | 500                         | 501.50 | 423.38 | 243.75 | 0                             | 0                              | 0.54                        |
| 11 | 451.3                      | 0.1                           | 350                         | 1356.4 | 1072.0 | 154.87 | 722                           | 501                            | 0.46                        |
| 12 | 451.3                      | 0.15                          | 400                         | 1010.8 | 933.88 | 477    | 823                           | 928                            | 1.27                        |
| 13 | 524.5                      | 0.05                          | 500                         | 464.88 | 446.63 | 169.50 | 0                             | 0                              | 0.28                        |
| 14 | 524.5                      | 0.075                         | 450                         | 742.38 | 606.38 | 179.75 | 639.5                         | 527.5                          | 0.45                        |
| 15 | 524.5                      | 0.1                           | 400                         | 1206.8 | 809.13 | 522.38 | 613                           | 471                            | 0.47                        |
| 16 | 524.5                      | 0.15                          | 350                         | 700.75 | 782.00 | 376.50 | 846.5                         | 1242.5                         | 1.11                        |

#### 4.1.2. Taguchi S/N Analizi

Deney tasarımına göre yapılan deneyler sonuçları Taguchi metodu ile sinyal/gürültü (S/N) oranları optimize edilmiştir. Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bu yaklaşımda, sonuçları analiz edebilmek için S/N oranı olarak bilinen bir istatistiksel performans ölçüsü kullanılır. S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılamayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir.

##### 4.1.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü(Ra) ve Kesme Kuvvetleri( $F_c$ , $F_f$ , $F_p$ ) S/N Oranı

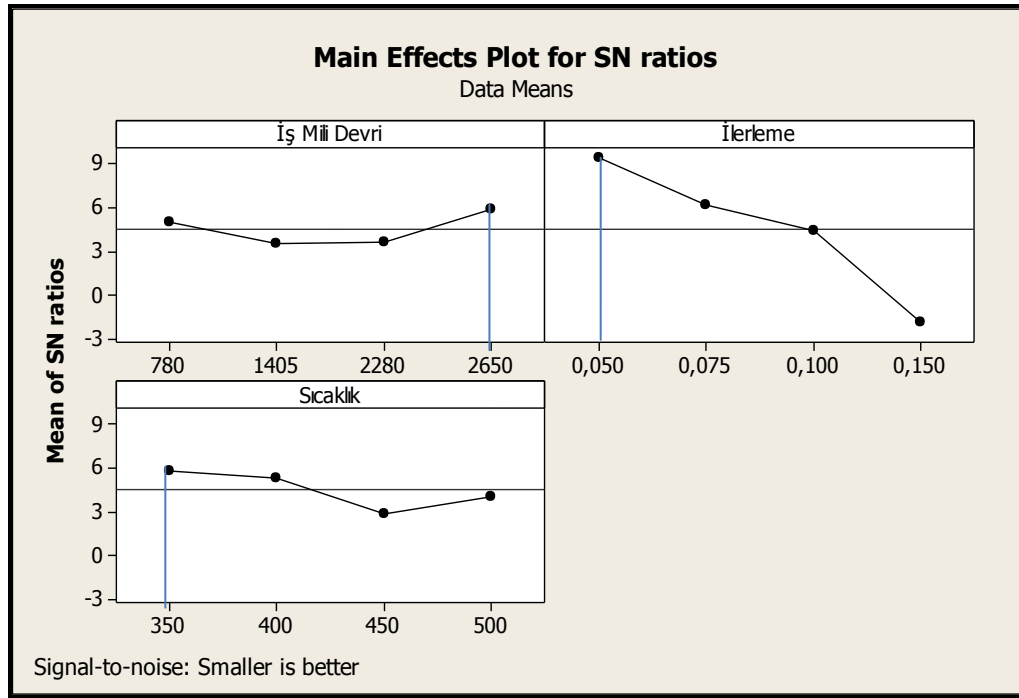
Taguchi metodu ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti S/N oranları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri için tasarım yapılırken S/N oranının en küçük olması tercih edilmiştir.

Çizelge 4.2. Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları (Minimum kesme kuvveti, yüzey pürüzlülük değerleri yeşil, maksimum kesme kuvveti, yüzey pürüzlülük değerleri pembe, maksimum S/N oranları yeşil ve minimum S/N oranları pembe renkle gösterilmiştir.)

|    | İş mili devri (N)<br>dev/dak | Kesme Hızı (Vc)<br>(m/dak) | İlerleme Hızı (f)<br>(mm/diş) | Sıcaklık (°C) | Ra (µm) | F <sub>c</sub> (N) | F <sub>f</sub> (N) | F <sub>p</sub> (N) | Ra S/N oranı | F <sub>c</sub> S/N oranı | F <sub>f</sub> S/N oranı | F <sub>p</sub> S/N oranı |
|----|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1  | 780                          | 154.4                      | 0.05                          | 350           | 0.19    | 264.63             | 218.88             | 376.50             | 13.98        | -48.45                   | -46.80                   | -57.43                   |
| 2  | 780                          | 154.4                      | 0.075                         | 400           | 0.36    | 687.25             | 629.13             | 257.00             | 8.88         | -56.74                   | -55.97                   | -47.40                   |
| 3  | 780                          | 154.4                      | 0.1                           | 450           | 0.9     | 898.13             | 820.88             | 244.25             | 0.92         | -59.06                   | -58.28                   | -51.87                   |
| 4  | 780                          | 154.4                      | 0.15                          | 500           | 1.53    | 416.13             | 617.25             | 234.62             | -3.69        | -52.38                   | -55.80                   | -47.52                   |
| 5  | 1405                         | 278.1                      | 0.05                          | 400           | 0.4     | 559.50             | 502.50             | 392.25             | 7.96         | -54.95                   | -54.02                   | -59.77                   |
| 6  | 1405                         | 278.1                      | 0.075                         | 350           | 0.66    | 566.45             | 428.88             | 237.88             | 3.61         | -53.66                   | -52.64                   | -45.81                   |
| 7  | 1405                         | 278.1                      | 0.1                           | 500           | 0.67    | 1108.1             | 910.13             | 374.13             | 3.48         | -60.89                   | -59.18                   | -51.39                   |
| 8  | 1405                         | 278.1                      | 0.15                          | 450           | 1.1     | 675.00             | 592.63             | 195.25             | -0.83        | -56.58                   | -55.45                   | -47.73                   |
| 9  | 2280                         | 451.3                      | 0.05                          | 450           | 0.59    | 477.25             | 381.38             | 371.50             | 4.58         | -53.57                   | -51.62                   | -43.79                   |
| 10 | 2280                         | 451.3                      | 0.075                         | 500           | 0.54    | 501.50             | 423.38             | 243.75             | 5.35         | -54.00                   | -52.53                   | -53.57                   |
| 11 | 2280                         | 451.3                      | 0.1                           | 350           | 0.46    | 1356.4             | 1072               | 154.87             | 6.74         | -62.64                   | -60.60                   | -44.58                   |
| 12 | 2280                         | 451.3                      | 0.15                          | 400           | 1.27    | 1010.8             | 933.88             | 477                | -2.07        | -60.09                   | -59.40                   | -45.09                   |
| 13 | 2650                         | 524.5                      | 0.05                          | 500           | 0.28    | 464.88             | 446.63             | 169.50             | 11.05        | -53.34                   | -52.99                   | -54.35                   |
| 14 | 2650                         | 524.5                      | 0.075                         | 450           | 0.45    | 742.38             | 606.38             | 179.75             | 6.93         | -57.41                   | -55.65                   | -51.51                   |
| 15 | 2650                         | 524.5                      | 0.1                           | 400           | 0.47    | 1206.8             | 809.13             | 372.38             | 6.55         | -61.63                   | -58.16                   | -57.43                   |
| 16 | 2650                         | 524.5                      | 0.15                          | 350           | 1.11    | 700.75             | 782.00             | 376.50             | -0.90        | -56.91                   | -57.86                   | -47.40                   |

Kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü, S/N oranının en yüksek değerinde en düşük, tam tersi en düşük S/N oranında da ise en yüksek değerdedir. Çizelge 4.2’de minimum yüzey pürüzlülük değeri, maksimum S/N oranı 13.98 olan 154.4m/dak kesme hızı, 0.05mm/diş ilerleme hızı, 350°C ön ısıtma sıcaklığında 0.19µm tespit edilmiştir. Maksimum yüzey pürüzlülük değeri minimum S/N oranı -3.69 olan 154.4m/dak kesme hızı, 0.15mm/diş ilerleme hızı, 500°C ön ısıtma sıcaklığında 1.53µm bulunmuştur. Yine aynı şekilde S/N oranlarının en yüksek değerlerinde kesme kuvvetlerinin en düşük, S/N oranlarının en yüksek değerlerinde ise en değerde olduğu görülmektedir.

Şekil 4.1’de tüm yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin S/N oranları grafiksel olarak verilmiştir.



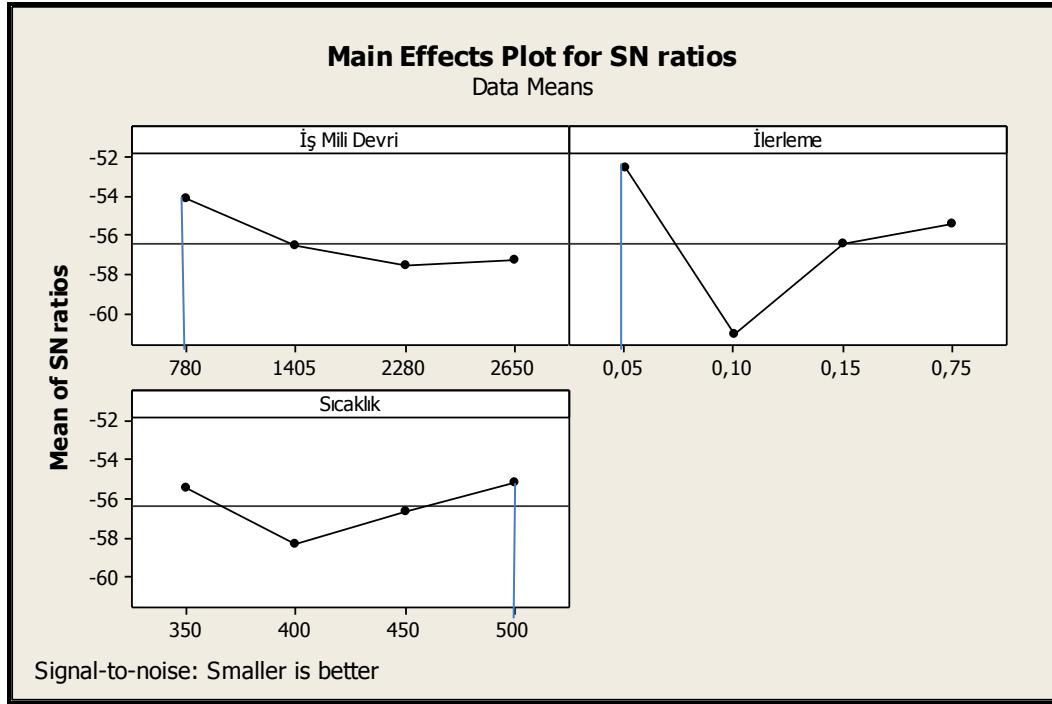
Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri S/N oranları

Deney parametrelerinin S/N oranlarının maksimum olduğu koşullarda, yani iş mili devri 2650dev/dak (524.5m/dak), ilerleme hızının 0.05mm/diş ve ön ısıtma sıcaklığı 350°C deney şartlarında minimum yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir (Çizelge 4.3). Bu minimum yüzey pürüzlülüğü değeri Taguchi tahmini ile 0.19 $\mu$ m olarak hesaplanmıştır. Teorik olarak elde edilen minimum yüzey pürüzlülüğü değerini doğrulamak için belirlenen uygun deney şartlarında doğrulama testi yapılmıştır. Yapılan doğrulama testi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri 0.21 $\mu$ m olarak ölçülmüştür. Minimum yüzey pürüzlülük değeri elde etmek için teorik olarak hesaplanan yüzey pürüzlülük değeri doğrulama testi sonucu ile karşılaştırılmış ve %90.5 oranında gerçek değere yaklaşım tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Minimum yüzey pürüzlülük (Ra) değeri

| Kesme hızı<br>(mm/dak) | İlerleme Hızı<br>(mm/diş) | Sıcaklık<br>(°C) | Tahmini Ra ( $\mu$ m) | Deney Ra ( $\mu$ m) | Yaklaşım % |
|------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------|---------------------|------------|
| 524.5                  | 0.05                      | 350              | 0.19                  | 0.21                | 90.5       |

Şekil 4.2’de tüm esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerlerinin S/N oranları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) değerleri S/N oranları

Çizelge 4.4’de esas kesme kuvvetinin deney parametrelerinin S/N oranlarının maksimum olduğu koşullarda, yani iş mili devri 780dev/dak (154.4m/dak), ilerleme hızı 0.05mm/diş ve ön ısıtma sıcaklığı 500°C deney şartlarında minimum  $F_c$  kesme kuvveti 186.83N elde edilmiştir.

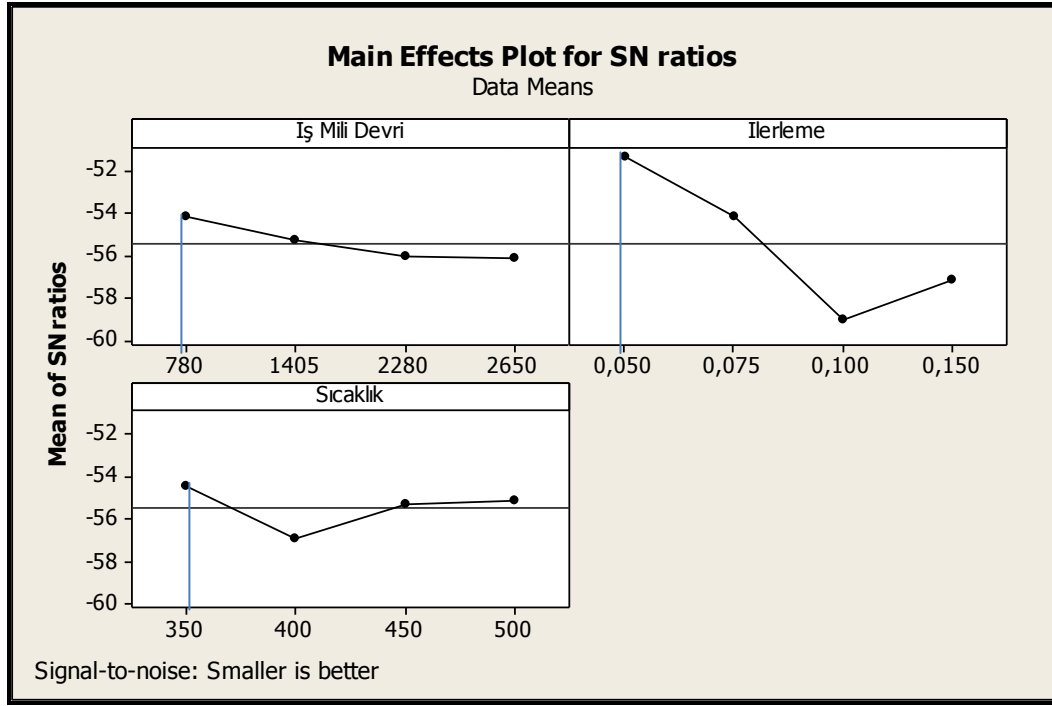
Çizel 4.4. Minimum esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) değeri

| Kesme hızı<br>(mm/dak) | İlerleme Hızı<br>(mm/diş) | Sıcaklık<br>(°C) | Tahmini $F_c$ (N) | Deney $F_c$ (N) | Yaklaşım % |
|------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------|
| 154.4                  | 0.05                      | 500              | 186.83            | 203.71          | 91.7       |

Minimum  $F_c$  kesme kuvveti değeri Taguchi tahmini ile 186.83N olarak hesaplanmıştır. Teorik olarak elde edilen minimum kesme kuvveti değerini doğrulamak için belirlenen uygun deney şartlarında bir adet doğrulama testi yapılmıştır. Yapılan doğrulama testi sonucu elde edilen kesme kuvveti değeri 203.71N olarak ölçülmüştür. Minimum esas kesme kuvveti elde etmek için

teorik olarak hesaplanan esas kesme kuvveti değeri doğrulama test sonucu ile karşılaştırılmış ve %91.7 oranında gerçek değere yaklaşım tespit edilmiştir.

Şekil 4.3’de tüm ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) değerlerinin S/N oranları grafiksel olarak verilmiştir.



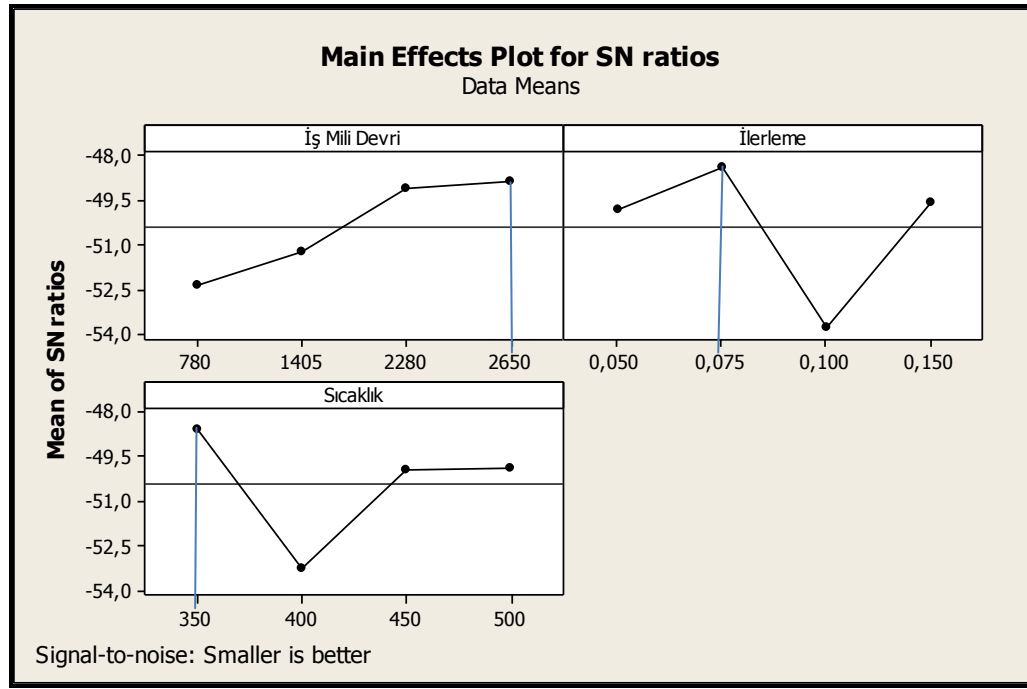
Şekil 4.3. İlerleme kuvveti ( $F_f$ ) değerleri S/N oranları

Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi deney parametrelerinin S/N oranlarının maksimum olduğu koşullarda, yani iş mili devri 780dev/dak (154.4m/dak), ilerleme hızı 0.05mm/diş ve ön ısıtma sıcaklığı 350°C deney şartlarında minimum ilerleme kuvveti olan 218.88N deneylerden elde edilmiş değerdir.

Çizelge 4.5. Minimum İlerleme kuvveti ( $F_f$ ) değeri

| Kesme hızı<br>(mm/dak) | İlerleme Hızı<br>(mm/diş) | Sıcaklık<br>(°C) | Deney $F_f$ (N) |
|------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| 154.4                  | 0.05                      | 350              | 218.88          |

Şekil 4.4’de tüm pasif kesme kuvveti ( $F_p$ ) değerlerinin S/N oranları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. Pasif kesme kuvveti ( $F_p$ ) değerleri S/N oranları

İş mili devri 2650dev/dak (524.5m/dak), ilerleme hızı 0.075mm/diş ve ön ısıtma sıcaklığı 350°C deney şartlarında minimum  $F_c$  kesme kuvveti olan 114.23N elde edilmektedir.

Çizelge 4.6. Minimum pasif kesme kuvveti ( $F_p$ ) değeri

| Kesme hızı (mm/dak) | İlerleme Hızı (mm/diş) | Sıcaklık (°C) | Tahmini $F_p$ (N) | Deney $F_p$ (N) | Yaklaşım % |
|---------------------|------------------------|---------------|-------------------|-----------------|------------|
| 451.3               | 0.075                  | 350           | 114.42            | 131.23          | 87.2       |

Minimum  $F_p$  kesme kuvveti değeri Taguchi tahmini ile 114.42N olarak hesaplanmıştır. Teorik olarak elde edilen minimum kesme kuvveti değerini doğrulamak için belirlenen uygun deney şartlarında bir adet doğrulama testi yapılmıştır. Yapılan doğrulama testi sonucu elde edilen kesme kuvveti değeri 131.23N'dur. Yapılan doğrulama test sonucu elde edilen pasif kesme kuvveti değeri 114.42N olarak ölçülmüştür. Minimum pasif kesme kuvveti elde etmek için teorik olarak hesaplanan pasif kesme kuvveti değeri doğrulama testi sonucu ile karşılaştırılmış ve %87.2 oranında gerçek değere yaklaşım tespit edilmiştir.

#### 4.1.2.2. Takım Aşınma Derinlik ve Uzunluk S/N Analizi

Taguchi metodu ile elde edilen takım aşınma uzunluk ve derinlik S/N oranları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Takım aşınma derinlik ve uzunluk için tasarım yapılırken S/N oranının en küçük olması tercih edilmiştir.

Çizelge 4.7. Takım aşınma uzunluk, derinlik değerleri ve S/N oranları

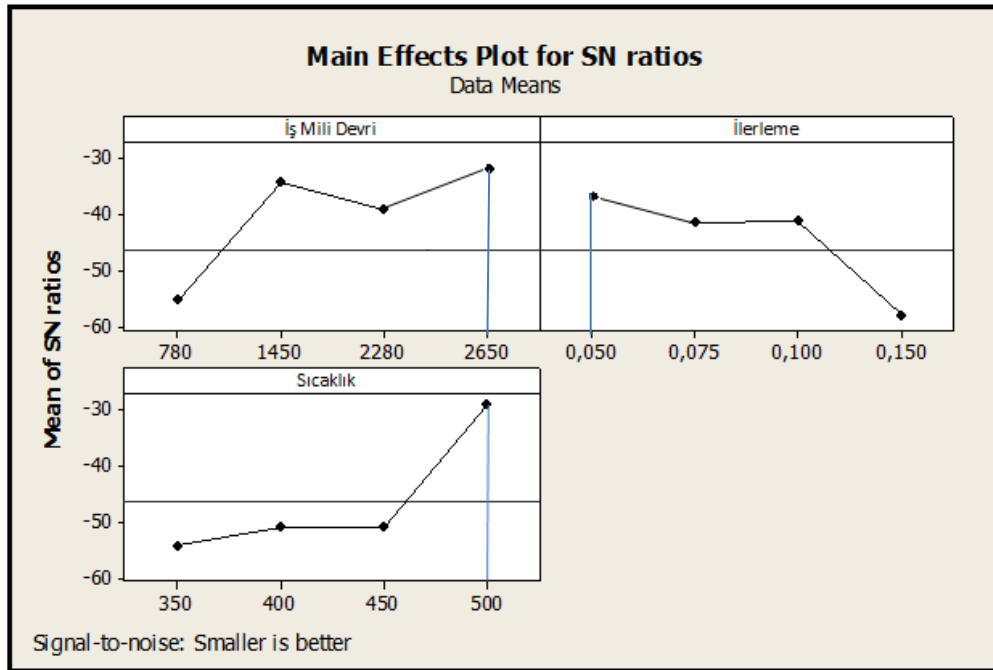
|    | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Hızı (mm/diş) | Sıcaklık (°C) | Aşınma uzunluk miktarı(μm) | Aşınma derinlik miktarı(μm) | Aşınma uzunluk S/N Oranı | Aşınma derinlik S/N Oranı |
|----|--------------------|------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1  | 154.4              | 0.05                   | 350           | 258.5                      | 207                         | -48.249                  | -46.319                   |
| 2  | 154.4              | 0.075                  | 400           | 716.5                      | 696.5                       | -57.104                  | -56.858                   |
| 3  | 154.4              | 0.1                    | 450           | 629                        | 673                         | -55.973                  | -56.560                   |
| 4  | 154.4              | 0.15                   | 500           | 988.5                      | 925.5                       | -61.920                  | -61.026                   |
| 5  | 278.1              | 0.05                   | 400           | 88.5                       | 47                          | -38.938                  | -33.442                   |
| 6  | 278.1              | 0.075                  | 350           | 485.5                      | 508                         | -53.723                  | -54.117                   |
| 7  | 278.1              | 0.1                    | 500           | 299.5                      | 329                         | -52.030                  | -54.469                   |
| 8  | 278.1              | 0.15                   | 450           | 357.5                      | 299.5                       | -51.065                  | -49.527                   |
| 9  | 451.3              | 0.05                   | 450           | 572                        | 145                         | -55.149                  | -43.227                   |
| 10 | 451.3              | 0.075                  | 500           | 0                          | 0                           | 0                        | 0                         |
| 11 | 451.3              | 0.1                    | 350           | 722                        | 501                         | -57.170                  | -53.996                   |
| 12 | 451.3              | 0.15                   | 400           | 823                        | 928                         | -58.308                  | -59.351                   |
| 13 | 524.5              | 0.05                   | 500           | 0                          | 0                           | 0                        | 0                         |
| 14 | 524.5              | 0.075                  | 450           | 639.5                      | 527.5                       | -56.116                  | -54.444                   |
| 15 | 524.5              | 0.1                    | 400           | 613                        | 471                         | -55.749                  | -53.460                   |
| 16 | 524.5              | 0.15                   | 350           | 846.5                      | 1242.5                      | -58.552                  | -61.885                   |

Takım aşınma derinlik değeri, S/N oranının en yüksek değerinde en düşük, tam tersi en düşük S/N oranında da ise en yüksek değerdedir. Çizelge 4.7’de minimum aşınma uzunluk ve derinlik değerlerine, maksimum S/N oranının sıfır olan 500°C ön ısıtma sıcaklığında 10. ve 13. satırdaki parametreler ile yapılan deneyler sonucunda ulaşılmış, aşınmasız takım tespit edilmiştir. Maksimum takım aşınma uzunluk değeri minimum S/N oranı -61.92 olan 154.4m/dak kesme hızı, 0.15mm/diş ilerleme hızı, 500°C ön ısıtma sıcaklığında 988.5μm olarak bulunmuştur. Maksimum takım aşınma derinlik değeri minimum S/N

oranı -61.88 olan 524.5m/dak kesme hızı, 0.15mm/diş ilerleme hızı, 350°C ön ısıtma sıcaklığında 1242.5µm bulunmuştur.

Şekil 4.5’de tüm takım aşınma derinlik değerlerinin S/N oranları grafiksel olarak verilmiştir.

Ara deneyler ve deneylerden elde edilen sonuçlarda ise hangi değerlerde en iyi sonuçların elde edilebileceğini bulabilmemiz için ise Taguchi programından elde edilen S/N oran tablosu oluşturulmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Aşınma derinlik değerleri S/N oranları

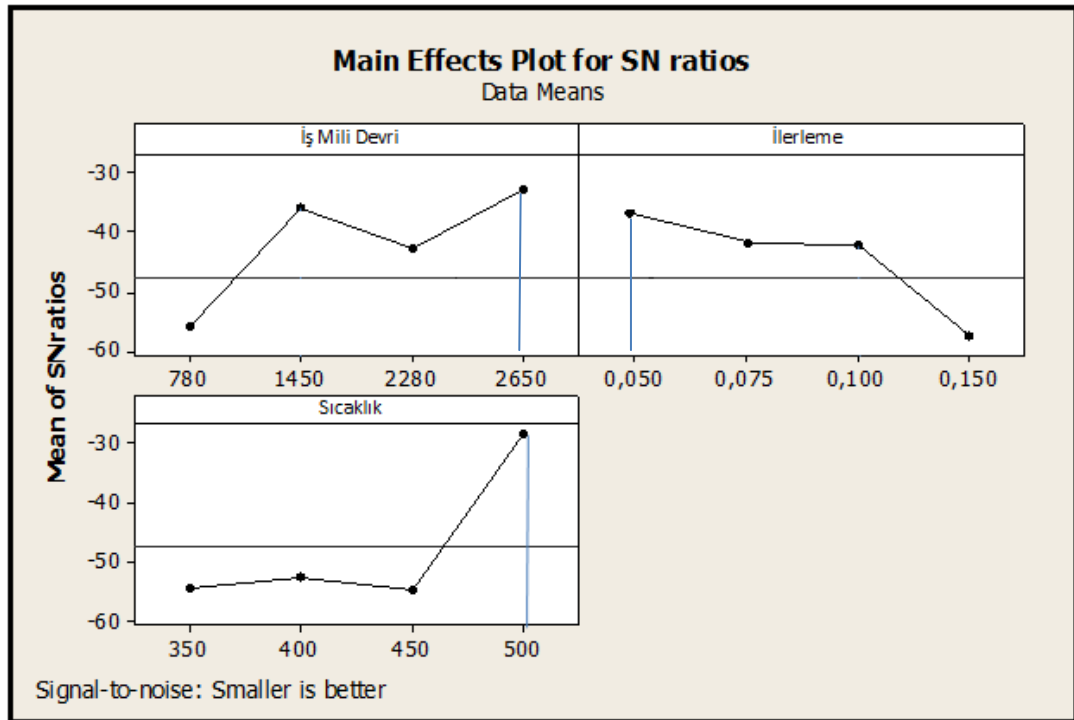
Deney parametrelerinin S/N oranlarının maksimum olduğu koşullarda, yani iş mili devri 2650dev/dak (524.5m/dak), ilerleme hızı 0.05mm/diş ve ön ısıtma sıcaklığı 500°C deney şartlarında minimum aşınma derinlik değerleri elde edilmektedir (Çizelge 4.8).

Minimum aşınma derinlik değerleri Taguchi tahmini ile sıfır olarak hesaplanmıştır. Teorik olarak elde edilen minimum aşınma derinlik değerlerini yapılan deneylerle de yine sıfır olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.8. Minimum aşınma derinlik değeri

| Kesme hızı<br>(mm/dak) | İlerleme Hızı<br>(mm/diş) | Sıcaklık<br>(°C) | Tahmini Aşınma Derinlik(μm) |
|------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------|
| 524.5                  | 0.05                      | 500              | 0                           |

Şekil 4.6.'da tüm takım aşınma uzunluk değerlerinin S/N oranları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.6. Aşınma uzunluk değerlerinin S/N oranları

Deney parametrelerinin S/N oranlarının maksimum olduğu koşullarda, yani iş mili devri 2650dev/dak (524.5m/dak), ilerleme hızı 0.05mm/diş ve ön ısıtma sıcaklığı 500°C deney şartlarında minimum aşınma derinlik değerleri elde edilmektedir (Çizelge 4.9).

Minimum aşınma uzunluk değerleri Taguchi tahmini ile sıfır olarak hesaplanmıştır. Teorik olarak elde edilen minimum aşınma derinlik değerlerini yapılan deneylerle de yine sıfır olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.9. Minimum aşınma uzunluk değeri

| Kesme hızı<br>(mm/dak) | İlerleme Hızı<br>(mm/diş) | Sıcaklık<br>(°C) | Tahmini Aşınma Uzunluk(μm) |
|------------------------|---------------------------|------------------|----------------------------|
| 524.5                  | 0.05                      | 500              | 0                          |

#### 4.1.3. Tahmini ve Deneysel Bulgular

Taguchi L16 modelindeki kesme parametrelerine göre yapılan deneylerden yüzey pürüzlülük, kesme kuvveti, takım aşınma uzunluk ve derinlik değerleri elde edilmiştir. Aynı kesme parametreleri kullanılarak farklı kombinasyonlardaki sonuçlar tahmin edilmiş ve veri sayısı 64'e tamamlanmıştır.

Çizelge 4.10'da elde edilen toplam 64 adet yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ),  $F_c$ ,  $F_f$  kesme kuvveti, takım aşınma uzunluk ve derinlik değerleri verilmiştir. Çizelgede 1, 6, 11, 16, 18, 21, 28, 31, 35, 40, 41, 46, 52, 55, 58, 61. satırlar deneysel ve geri kalan satırlar tahmin verilerini içermektedir.

Çizelge 4.10'da en büyük  $F_c$  kuvvetinin 400°C ön ısıtma sıcaklığında 27. satır, en büyük  $F_f$  kuvvetinin 350°C ön ısıtma sıcaklığında, 11. satırdaki kesme parametreleri sonucunda sırasıyla 1401 ve 1072N olduğu görülmüştür. En büyük  $R_a$  değeri ise 500°C ön ısıtma sıcaklığında 52. satırdaki kesme parametreleri sonucunda 1.53μm olarak belirlenmiştir. En küçük  $F_c$  esas kesme kuvveti 500°C ön ısıtma sıcaklığında 49. satır, en küçük  $F_f$  kesme kuvveti 350°C ön ısıtma sıcaklığında 1. satır, en küçük yüzey pürüzlülük değeri ise 350°C ön ısıtma sıcaklığında 13. satırdaki kesme parametreleri sonucunda sırasıyla 186.83, 218.88N ve 0.19μm olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Tahmini ve deneysel  $F_c$ ,  $F_f$  ve  $R_a$  değerleri(Gri renkteki satırlar deneysel bulguları, farklı renkteki satırlar farklı ön ısıtma sıcaklıklarında elde edilen deney sonuçlarını göstermektedir.)

|    | Kesme Hızı (Vc)<br>(m/dak) | İş mili devri (N)<br>(dev/dak) | Tabla ilerleme<br>hızı (f)<br>(mm/diş) | Sıcaklık (°C) | Tek Uç Tabla<br>ilerleme Hızı<br>(mm/dak) | $R_a(\mu m)$ | $F_c$ (N) | $F_f$ (N) |
|----|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|
| 1  | 154.4                      | 780                            | 0.05                                   | 350           | 39                                        | 0.19         | 264.63    | 218.88    |
| 2  | 154.4                      | 780                            | 0.075                                  | 350           | 58.5                                      | 0.47         | 426.83    | 447.04    |
| 3  | 154.4                      | 780                            | 0.1                                    | 350           | 78                                        | 0.62         | 965.9     | 828.13    |
| 4  | 154.4                      | 780                            | 0.15                                   | 350           | 91.26                                     | 1.25         | 524.21    | 656.53    |
| 5  | 278.1                      | 1405                           | 0.05                                   | 350           | 70.25                                     | 0.32         | 404.74    | 349.44    |
| 6  | 278.1                      | 1405                           | 0.075                                  | 350           | 105.375                                   | 0.66         | 566.45    | 428.88    |
| 7  | 278.1                      | 1405                           | 0.1                                    | 350           | 140.5                                     | 0.58         | 1105.5    | 865.13    |
| 8  | 278.1                      | 1405                           | 0.15                                   | 350           | 210.75                                    | 1.2          | 663.83    | 693.53    |
| 9  | 451.3                      | 2280                           | 0.05                                   | 350           | 114                                       | 0.3          | 535.05    | 443.57    |
| 10 | 451.3                      | 2280                           | 0.075                                  | 350           | 171                                       | 0.41         | 696.77    | 578.16    |
| 11 | 451.3                      | 2280                           | 0.1                                    | 350           | 228                                       | 0.46         | 1356.4    | 1072      |
| 12 | 451.3                      | 2280                           | 0.15                                   | 350           | 342                                       | 1.19         | 794.14    | 787.66    |
| 13 | 524.5                      | 2650                           | 0.05                                   | 350           | 132.5                                     | 0.19         | 477.27    | 401.94    |
| 14 | 524.5                      | 2650                           | 0.075                                  | 350           | 198.75                                    | 0.3          | 638.99    | 536.54    |
| 15 | 524.5                      | 2650                           | 0.1                                    | 350           | 265                                       | 0.45         | 1178.1    | 917.63    |
| 16 | 524.5                      | 2650                           | 0.15                                   | 350           | 397.5                                     | 1.11         | 700.75    | 782       |
| 17 | 154.4                      | 780                            | 0.05                                   | 400           | 39                                        | 0.38         | 430.24    | 405.66    |
| 18 | 154.4                      | 780                            | 0.075                                  | 400           | 58.5                                      | 0.36         | 687.25    | 629.13    |
| 19 | 154.4                      | 780                            | 0.1                                    | 400           | 78                                        | 0.63         | 1131      | 921.35    |
| 20 | 154.4                      | 780                            | 0.15                                   | 400           | 91.26                                     | 1.26         | 689.33    | 749.75    |
| 21 | 278.1                      | 1405                           | 0.05                                   | 400           | 70.25                                     | 0.4          | 559.5     | 502.5     |
| 22 | 278.1                      | 1405                           | 0.075                                  | 400           | 105.375                                   | 0.45         | 731.58    | 577.26    |
| 23 | 278.1                      | 1405                           | 0.1                                    | 400           | 140.5                                     | 0.6          | 1270.6    | 958.35    |
| 24 | 278.1                      | 1405                           | 0.15                                   | 400           | 210.75                                    | 1.22         | 828.95    | 786.75    |
| 25 | 451.3                      | 2280                           | 0.05                                   | 400           | 114                                       | 0.32         | 700.17    | 536.79    |
| 26 | 451.3                      | 2280                           | 0.075                                  | 400           | 171                                       | 0.43         | 861.89    | 671.38    |
| 27 | 451.3                      | 2280                           | 0.1                                    | 400           | 228                                       | 0.58         | 1401      | 1052.5    |
| 28 | 451.3                      | 2280                           | 0.15                                   | 400           | 342                                       | 1.27         | 1010.8    | 933.88    |
| 29 | 524.5                      | 2650                           | 0.05                                   | 400           | 132.5                                     | 0.21         | 642.39    | 495.16    |
| 30 | 524.5                      | 2650                           | 0.075                                  | 400           | 198.75                                    | 0.32         | 804.11    | 629.76    |
| 31 | 524.5                      | 2650                           | 0.1                                    | 400           | 265                                       | 0.47         | 1206.8    | 809.13    |
| 32 | 524.5                      | 2650                           | 0.15                                   | 400           | 397.5                                     | 1.1          | 901.48    | 839.25    |
| 33 | 154.4                      | 780                            | 0.05                                   | 450           | 39                                        | 0.51         | 262.36    | 287.32    |
| 34 | 154.4                      | 780                            | 0.075                                  | 450           | 58.5                                      | 0.62         | 424.08    | 421.91    |
| 35 | 154.4                      | 780                            | 0.1                                    | 450           | 78                                        | 0.9          | 898.13    | 820.88    |
| 36 | 154.4                      | 780                            | 0.15                                   | 450           | 91.26                                     | 1.4          | 521.46    | 631.41    |
| 37 | 278.1                      | 1405                           | 0.05                                   | 450           | 70.25                                     | 0.47         | 401.99    | 324.32    |
| 38 | 278.1                      | 1405                           | 0.075                                  | 450           | 105.375                                   | 0.58         | 563.7     | 458.91    |
| 39 | 278.1                      | 1405                           | 0.1                                    | 450           | 140.5                                     | 0.73         | 1102.77   | 840.01    |
| 40 | 278.1                      | 1405                           | 0.15                                   | 450           | 210.75                                    | 1.1          | 675       | 592.63    |
| 41 | 451.3                      | 2280                           | 0.05                                   | 450           | 114                                       | 0.59         | 477.25    | 381.38    |
| 42 | 451.3                      | 2280                           | 0.075                                  | 450           | 171                                       | 0.57         | 694.01    | 553.04    |

Çizelge 4.10'un devamı

|    | Kesme Hızı<br>(V <sub>c</sub> )<br>(m/dak) | İş mili devri<br>(N)<br>(dev/dak) | Tabla ilerleme<br>hızı (f)<br>(mm/diş) | Sıcaklık (°C) | Tek Uç Tabla<br>İlerleme Hızı<br>(mm/dak) | Yüzey<br>Pürüzlülüğü<br>(Ra)(µm) | F <sub>c</sub> (N) | F <sub>f</sub> (N) |
|----|--------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| 43 | 451.3                                      | 2280                              | 0.1                                    | 450           | 228                                       | 0.71                             | 1233.08            | 934.13             |
| 44 | 451.3                                      | 2280                              | 0.15                                   | 450           | 342                                       | 1.34                             | 791.39             | 762.54             |
| 45 | 524.5                                      | 2650                              | 0.05                                   | 450           | 132.5                                     | 0.34                             | 474.52             | 376.82             |
| 46 | 524.5                                      | 2650                              | 0.075                                  | 450           | 198.75                                    | 0.45                             | 742.38             | 606.38             |
| 47 | 524.5                                      | 2650                              | 0.1                                    | 450           | 265                                       | 0.6                              | 1175.3             | 892.51             |
| 48 | 524.5                                      | 2650                              | 0.15                                   | 450           | 397.5                                     | 1.23                             | 733.61             | 720.91             |
| 49 | 154.4                                      | 780                               | 0.05                                   | 500           | 39                                        | 0.48                             | 186.83             | 286.34             |
| 50 | 154.4                                      | 780                               | 0.075                                  | 500           | 58.5                                      | 0.59                             | 348.55             | 420.94             |
| 51 | 154.4                                      | 780                               | 0.1                                    | 500           | 78                                        | 0.74                             | 887.62             | 802.04             |
| 52 | 154.4                                      | 780                               | 0.15                                   | 500           | 91.26                                     | 1.53                             | 416.13             | 617.25             |
| 53 | 278.1                                      | 1405                              | 0.05                                   | 500           | 70.25                                     | 0.44                             | 326.46             | 323.34             |
| 54 | 278.1                                      | 1405                              | 0.075                                  | 500           | 105.375                                   | 0.55                             | 488.17             | 457.94             |
| 55 | 278.1                                      | 1405                              | 0.1                                    | 500           | 140.5                                     | 0.67                             | 1108.13            | 910.13             |
| 56 | 278.1                                      | 1405                              | 0.15                                   | 500           | 210.75                                    | 1.33                             | 585.55             | 667.44             |
| 57 | 451.3                                      | 2280                              | 0.05                                   | 500           | 114                                       | 0.44                             | 456.77             | 417.47             |
| 58 | 451.3                                      | 2280                              | 0.075                                  | 500           | 171                                       | 0.54                             | 501.5              | 423.38             |
| 59 | 451.3                                      | 2280                              | 0.1                                    | 500           | 228                                       | 0.68                             | 1157.55            | 933.16             |
| 60 | 451.3                                      | 2280                              | 0.15                                   | 500           | 342                                       | 1.31                             | 715.86             | 761.56             |
| 61 | 524.5                                      | 2650                              | 0.05                                   | 500           | 132.5                                     | 0.28                             | 464.88             | 446.63             |
| 62 | 524.5                                      | 2650                              | 0.075                                  | 500           | 198.75                                    | 0.42                             | 560.71             | 510.44             |
| 63 | 524.5                                      | 2650                              | 0.1                                    | 500           | 265                                       | 0.57                             | 1099.77            | 891.53             |
| 64 | 524.5                                      | 2650                              | 0.15                                   | 500           | 397.5                                     | 1.2                              | 658.08             | 719.94             |

Çizelge 4.11'de ön ısıtmalı soğuk iş takım çeliğinin CBN uçlar ile frezelenmesiyle elde edilen deney sonuçları ve Taguchi L16 metodu kullanılarak tahmin edilen toplam 64 adet takım aşınma uzunluk ve derinlik değerleri verilmiştir. Çizelgede 1, 6, 11, 16, 18, 21, 28, 31, 35, 40, 41, 46, 52, 55, 58, 61. satırlar deneysel ve geri kalan satırlar tahmin edilen veriler içermektedir.

Çizelge 4.11. Tahmini ve deneysel takım aşınma değerleri (Gri renkteki satırlar deneysel bulguları, farklı renkteki satırlar farklı ön ısıtma sıcaklıklarında elde edilen deney sonuçlarını göstermektedir.)

|    | Kesme Hızı (Vc)<br>(m/dak) | İlerleme Hızı (f)<br>(mm/diş) | Sıcaklık (°C)<br>(±10) | Ortalama Uzunluk (µm) | Ortalama Derinlik (µm) |
|----|----------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1  | 154.4                      | 0.05                          | 350                    | 258.5                 | 207                    |
| 2  | 154.4                      | 0.075                         | 350                    | 701.6                 | 735.6                  |
| 3  | 154.4                      | 0.1                           | 350                    | 732.2                 | 813.8                  |
| 4  | 154.4                      | 0.15                          | 350                    | 959.6                 | 1201.2                 |
| 5  | 278.1                      | 0.05                          | 350                    | 90.8                  | 72.7                   |
| 6  | 278.1                      | 0.075                         | 350                    | 485.5                 | 508                    |
| 7  | 278.1                      | 0.1                           | 350                    | 252.4                 | 252.2                  |
| 8  | 278.1                      | 0.15                          | 350                    | 579.8                 | 739.6                  |
| 9  | 451.3                      | 0.05                          | 350                    | 387.2                 | 252.6                  |
| 10 | 451.3                      | 0.075                         | 350                    | 518.2                 | 453.8                  |
| 11 | 451.3                      | 0.1                           | 350                    | 722                   | 501                    |
| 12 | 451.3                      | 0.15                          | 350                    | 876.2                 | 919.4                  |
| 13 | 524.5                      | 0.05                          | 350                    | 482.3                 | 551.3                  |
| 14 | 524.5                      | 0.075                         | 350                    | 613.3                 | 752.6                  |
| 15 | 524.5                      | 0.1                           | 350                    | 643.9                 | 830.8                  |
| 16 | 524.5                      | 0.15                          | 350                    | 846.5                 | 1242.5                 |
| 17 | 154.4                      | 0.05                          | 400                    | 552.7                 | 455.3                  |
| 18 | 154.4                      | 0.075                         | 400                    | 716.5                 | 696.5                  |
| 19 | 154.4                      | 0.1                           | 400                    | 734.3                 | 734.8                  |
| 20 | 154.4                      | 0.15                          | 400                    | 941.7                 | 1122.2                 |
| 21 | 278.1                      | 0.05                          | 400                    | 88.5                  | 47                     |
| 22 | 278.1                      | 0.075                         | 400                    | 203.9                 | 195                    |
| 23 | 278.1                      | 0.1                           | 400                    | 234.6                 | 173.2                  |
| 24 | 278.1                      | 0.15                          | 400                    | 561.9                 | 660.6                  |
| 25 | 451.3                      | 0.05                          | 400                    | 369.3                 | 173.6                  |
| 26 | 451.3                      | 0.075                         | 400                    | 500.3                 | 374.8                  |
| 27 | 451.3                      | 0.1                           | 400                    | 530.9                 | 353                    |
| 28 | 451.3                      | 0.15                          | 400                    | 823                   | 928                    |
| 29 | 524.5                      | 0.05                          | 400                    | 464.4                 | 472.3                  |
| 30 | 524.5                      | 0.075                         | 400                    | 595.4                 | 673.6                  |
| 31 | 524.5                      | 0.1                           | 400                    | 613                   | 471                    |
| 32 | 524.5                      | 0.15                          | 400                    | 953.4                 | 1139.2                 |
| 33 | 154.4                      | 0.05                          | 450                    | 541.9                 | 331                    |
| 34 | 154.4                      | 0.075                         | 450                    | 672.9                 | 532.2                  |
| 35 | 154.4                      | 0.1                           | 450                    | 683                   | 629                    |
| 36 | 154.4                      | 0.15                          | 450                    | 930.94                | 998                    |
| 37 | 278.1                      | 0.05                          | 450                    | 62.2                  | 0                      |
| 38 | 278.1                      | 0.075                         | 450                    | 193.2                 | 70.6                   |
| 39 | 278.1                      | 0.1                           | 450                    | 223.8                 | 48.8                   |
| 40 | 278.1                      | 0.15                          | 450                    | 357.5                 | 299.5                  |
| 41 | 451.3                      | 0.05                          | 450                    | 572                   | 145                    |
| 42 | 451.3                      | 0.075                         | 450                    | 489.6                 | 250.4                  |
| 43 | 451.3                      | 0.1                           | 450                    | 520.2                 | 328.7                  |
| 44 | 451.3                      | 0.15                          | 450                    | 847.6                 | 716                    |

Çizelge 4.11'in devamı

|    | Kesme Hızı (Vc)<br>(m/dak) | İlerleme Hızı (f)<br>(mm/diş) | Sıcaklık (°C)<br>(±10) | Ortalama Uzunluk (µm) | Ortalama Derinlik (µm) |
|----|----------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 45 | 524.5                      | 0.05                          | 450                    | 453.7                 | 347.9                  |
| 46 | 524.5                      | 0.075                         | 450                    | 639.5                 | 527.5                  |
| 47 | 524.5                      | 0.1                           | 450                    | 645.3                 | 627.5                  |
| 48 | 524.5                      | 0.15                          | 450                    | 942.7                 | 1014.8                 |
| 49 | 154.4                      | 0.05                          | 500                    | 404.7                 | 333.8                  |
| 50 | 154.4                      | 0.075                         | 500                    | 535.7                 | 535                    |
| 51 | 154.4                      | 0.1                           | 500                    | 566.3                 | 615                    |
| 52 | 154.4                      | 0.15                          | 500                    | 988.5                 | 925.5                  |
| 53 | 278.1                      | 0.05                          | 500                    | 0                     | 0                      |
| 54 | 278.1                      | 0.075                         | 500                    | 55.9                  | 73                     |
| 55 | 278.1                      | 0.1                           | 500                    | 299.5                 | 329                    |
| 56 | 278.1                      | 0.15                          | 500                    | 413.9                 | 539                    |
| 57 | 451.3                      | 0.05                          | 500                    | 221.3                 | 52                     |
| 58 | 451.3                      | 0.075                         | 500                    | 0                     | 0                      |
| 59 | 451.3                      | 0.1                           | 500                    | 382.9                 | 231.6                  |
| 60 | 451.3                      | 0.15                          | 500                    | 710.3                 | 718.9                  |
| 61 | 524.5                      | 0.05                          | 500                    | 0                     | 0                      |
| 62 | 524.5                      | 0.075                         | 500                    | 447.4                 | 552                    |
| 63 | 524.5                      | 0.1                           | 500                    | 478                   | 630.3                  |
| 64 | 524.5                      | 0.15                          | 500                    | 805.4                 | 1017.7                 |

Çizelge 4.11'de en büyük takım aşınma uzunluk değeri 350°C ön ısıtma sıcaklığında 52. satır, en büyük aşınma uzunluk değeri 500°C ön ısıtma sıcaklığında 16. satırdaki kesme parametreleri sonucunda sırasıyla 1242.5 ve 988.5µm olduğu görülmüştür. En küçük aşınma derinlik ve uzunluk değeri 500°C ön ısıtma sıcaklığında 53, 58 ve 61. satırdaki parametrelerle yapılan deneylerin sonucunda tespit edilmiştir.

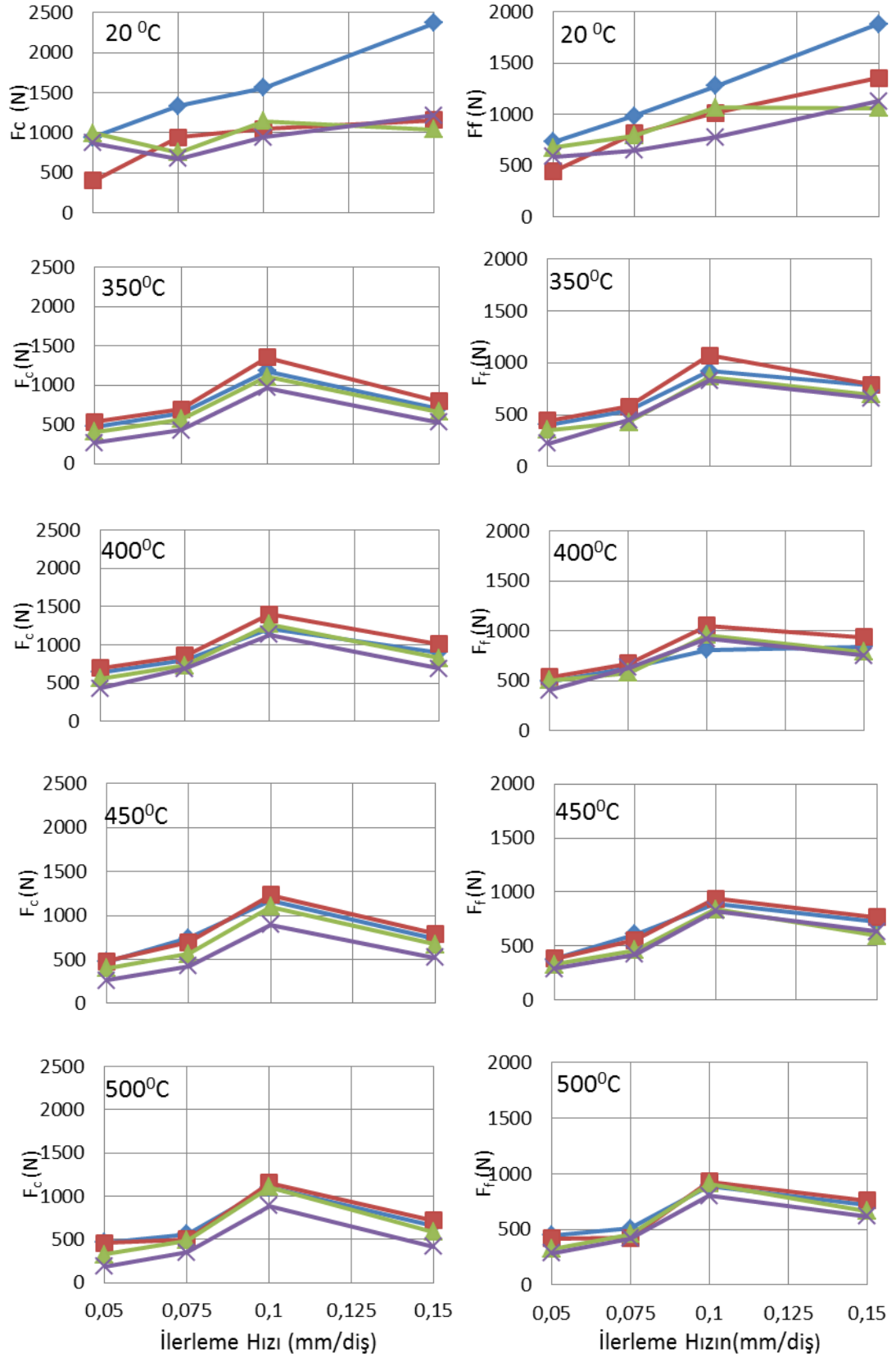
## 4.2. Kesme Kuvveti Bulguları

Çizelge 4.10'da bulunan tüm veriler kesme kuvvetinin ( $F_c$ ,  $F_f$ ) karşılaştırılması amacıyla ilerleme hızı, sıcaklık ve kesme hızına göre karşılaştırabilmek amacıyla grafikler oluşturulmuştur.

### 4.2.1. İlerleme Hızı- Kesme Kuvveti İlişkisi

Bu kısımda grafikler önce sıcaklık esas alınarak kendi içinde değerlendirilip daha sonra Taylan F.'nin konvansiyonel çalışması ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.7'de 20 (Taylan, 2009), 350, 400, 450, 500°C ( $\pm 10$ ) sıcaklıkta 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızlarında elde edilen  $F_c$  ve  $F_f$  kesme kuvveti - sıcaklık değerleri değişimleri verilmiştir.

Ön ısıtma sıcaklığı 350( $\pm 10$ )°C'de genel olarak eksenlerdeki değişimler benzer özellik göstermektedir. Aynı kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1mm/diş ilerleme hızlarında ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinde de artış gözlenmiştir. 0.15mm/diş ilerleme hızında ise düşüş gözlenmiştir. Kesme kuvvetlerinin oda sıcaklığında yapılan deneylere göre, daha az olduğu anlaşılmıştır. Çizelge 4.10'da bulunan değerlerde en küçük  $F_c$  kesme kuvveti değeri 154.4m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyde 264.63N ve  $F_f$  de yine aynı parametrelerde 218.88N olarak ölçülmüştür. 20°C'de yapılan deneylerin minimum  $F_c$  (872.8N) ve  $F_f$  (585.9N) kuvvetine göre daha küçüktür (Taylan, 2009).



Şekil 4.7. 20(Taylan, 2009), 350, 400, 450, 500°C ( $\pm 10$ ) sıcaklıkta 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızlarında elde edilen  $F_c$  ve  $F_f$  kuvveti - ilerleme hızı değerleri değişimleri

Ön ısıtma sıcaklığı  $400(\pm 10)^{\circ}\text{C}$ 'de sabit kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1mm/diş ilerleme hızlarında ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinde de artış gözlenmiştir. 0.15mm/diş ilerleme hızında ise azalma gözlenmiştir. Konvansiyonel deneylere oranla kesme kuvvetlerinin daha az olduğu anlaşılmıştır (Taylan, 2009). En büyük  $F_c$  kuvveti 451.3m/dak kesme hızında 0.1mm/diş ilerleme hızı kullanılarak yapılan çalışmada  $F_c$  kuvvetinde 1401N,  $F_f$  kuvveti ise yine aynı parametrelerde 1052.5N, en düşük  $F_c$  kuvveti 430.24N,  $F_f$  kuvveti ise 405.66N'dur.

Ön ısıtma sıcaklığı  $450(\pm 10)^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan deney sonuçları incelendiğinde en büyük kesme kuvveti 451.3m/dak kesme hızında 0.1mm/diş ilerleme hızı kullanılarak yapılan çalışmada  $F_c$  kuvvetinde 1233.08N,  $F_f$  kuvvetinde ise 934.13N olarak ölçülmüştür. Yine en küçük kesme kuvveti değeri 154.4m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyde  $F_c$  kuvvetinde 262.36N,  $F_f$  kuvvetinde 287.32N olarak ölçülmüştür.

Ön ısıtma sıcaklığı  $500(\pm 10)^{\circ}\text{C}$ 'de sabit kesme hızında en büyük kesme kuvveti 451.3m/dak kesme hızında 0.1mm/diş ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneysel çalışmada  $F_c$  kuvvetinde 1157.55N,  $F_f$  kuvvetinde 933.16N olarak ölçülmüştür. En küçük  $F_c$  kuvveti 154.4m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyde 186.83N,  $F_f$  kuvvetinde ise 287.32N olarak ölçülmüştür.

Konvansiyonel işlemede en küçük kesme kuvveti değeri 451.3m/dak kesme hızı ve 0.05 mm/diş ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyde 397.95 N olarak ölçülmüştür. En büyük kesme kuvveti değeri ise 524.5 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/diş ilerleme hızında yapılan deneyde 2396.26N olarak ölçüldüğü görülmüştür. Kesme hızları 524.5, 278.1, 154.4m/dak'da  $F_c$  kuvveti 900N'dan başlamış 2400N'a kadar çıkmıştır. 451.3m/dak kesme hızında ise  $F_c$  kuvveti 400N'dan başlamış 1400N'a kadar çıkmıştır (Taylan, 2009).

En büyük kesme kuvveti 451.3m/dak kesme hızında 0.1mm/diş ilerleme hızı kullanılarak yapılan çalışmada  $F_c$  kuvveti 1356.8N olarak ölçülmüştür. Bu değer

konvansiyonel işleme sonunda elde edilen deney sonuçlarında maksimum  $F_c$  kuvvetine (2369.3N) göre %74.6 daha küçüktür (Taylan, 2009).

Konvansiyonel işlemede ilerleme hızını artmasıyla kesme kuvvetlerinde yaklaşık olarak lineer artış gözlemlenirken ön ısıtmalı işlemede belli ilerleme değerine kadar arttığı daha sonra azaldığı gözlenmiştir.

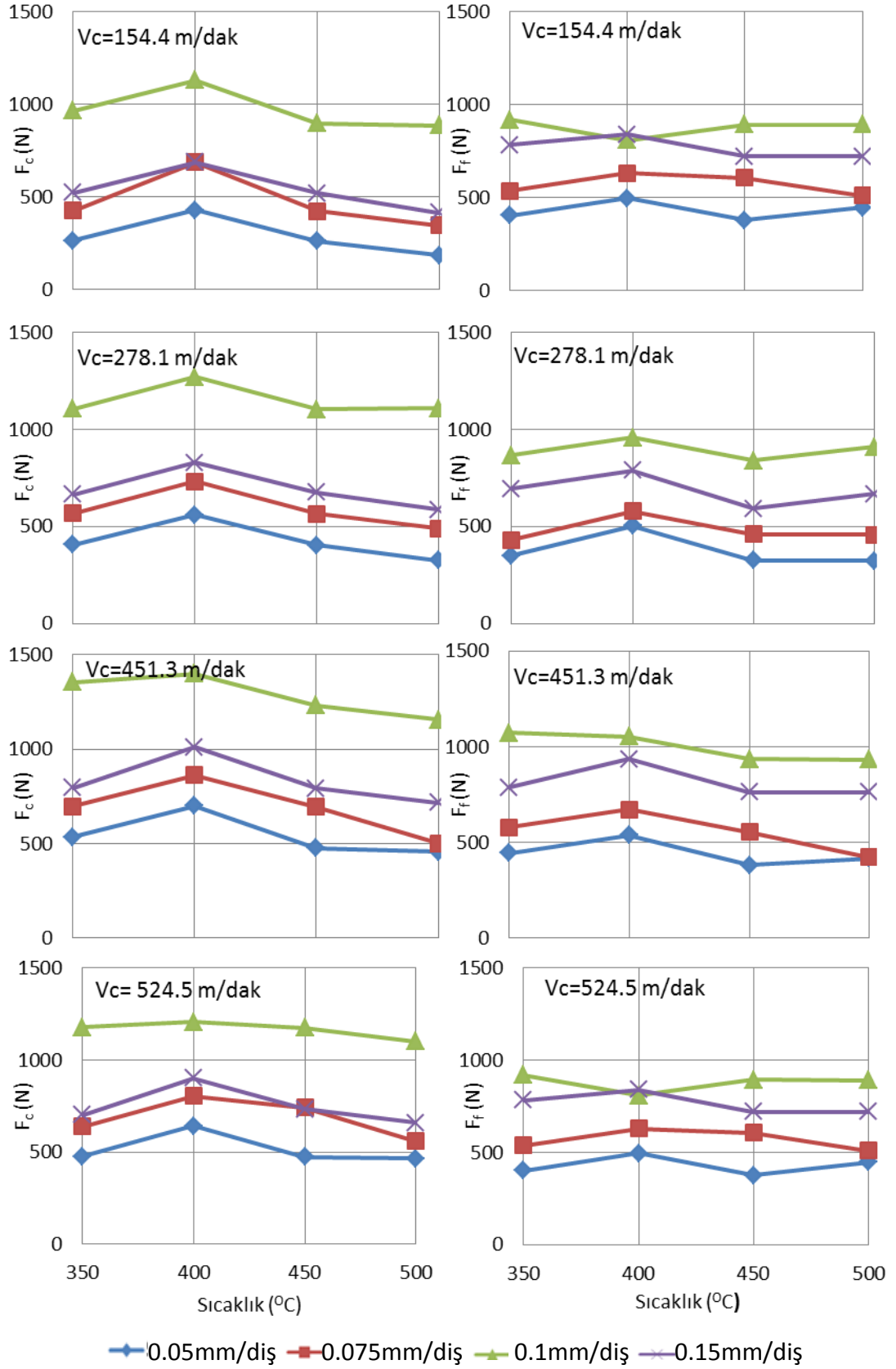
#### **4.2.2. Ön Isıtma Sıcaklığı- Kesme Kuvveti İlişkisi**

Şekil 4.8 'de 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızı kesme işlemi sonucunda elde edilen  $F_c$  ve  $F_f$  kesme kuvvetleri - sıcaklık değerleri değişimleri verilmiştir.

Kesme hızı 154.4m/dak ile yapılan çalışmada grafiklere göre sabit ilerleme hızında sıcaklık arttıkça  $F_c$  kuvvetlerinde önce biraz yükselme daha sonra düşüş gözlenmiştir.  $F_f$  kuvvetinde kayda değer bir değişimin olmadığı belirlenmiştir.

Kesme hızı 278.1m/dak'da incelenen veriler neticesinde özellikle ilerleme hızının 0.05mm/diş olduğu grafikte  $F_c$  kuvvetinin 500N ile başlayıp ilerleme hızının artmasıyla ve  $F_f$  kuvvetlerin sıcaklığın artması ile sabit kaldığı ve en az kesme kuvveti değerlerin elde edildiği anlaşılmıştır. İlerleme hızının 0.1mm/diş olduğu durumda en yüksek kesme kuvvetleri elde edilmiştir. İlerleme hızı 0.15mm/diş'de minimum kesme kuvvetleri elde edilmiştir.

Kesme hızı 451.3m/dak özellikle ilerleme hızının 0.1mm/diş olduğu grafikte maksimum  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetleri elde edilmiştir ve sıcaklığın artması ile birlikte kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. İlerleme hızının 0.05, 0.075 ve 0.15mm/diş olduğu durumda 400°C ön ısıtma sıcaklığında  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetinde artış olmuş sıcaklık arttıkça azalmıştır.



Şekil 4.8. 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızı kesme işlemi sonucunda elde edilen  $F_c$  ve  $F_f$  kuvveti - sıcaklık değerleri değişimleri

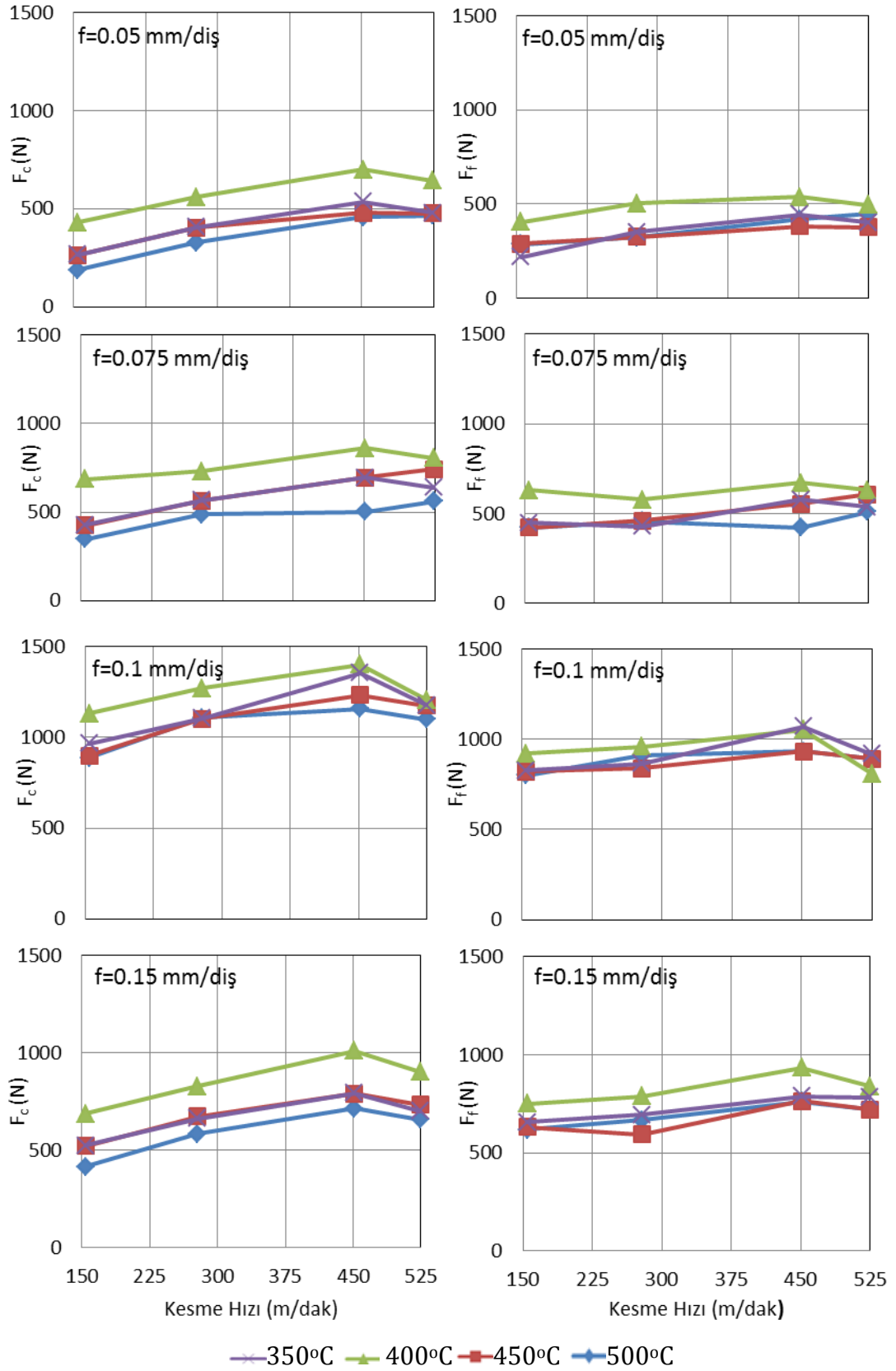
Kesme hızı 524.5m/dak, 400°C ön ısıtma sıcaklığında  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetlerinde artış sıcaklık artışı ile düşüş gözlenmiştir. İlerleme hızı 0.1mm/diş'te  $F_f$  kuvvetinde 400°C ön ısıtma sıcaklığında azalma daha sonra artış olmuştur.

Şekil 4.7'deki konvansiyonel işlemede ise 0.05mm/diş ilerleme hızında 154.4m/dak kesme hızında  $F_c$  kuvveti yaklaşık 870N'dan başlayıp kesme hızının ilerlemesiyle önce en küçük kesme kuvveti değeri olan 400N civarına inip tekrar 524.5m/dak kesme hızında 930N ulaşip tamamlanmıştır. 0.075mm/diş ilerleme hızında 154.4m/dak kesme hızında 670N ile başlamış kesme hızının artmasıyla giderek artarak 1350N'a ulaşmıştır. İlerleme hızı 0.1mm/diş'te ise 950N ile başlamış giderek artarak 524.5m/dak kesme hızında 1570N değeri bulmuştur. İlerleme hızı 0.15m/dak'da ise 1200N ile başlamış önce 1050N inmiş en son olarak 2470N'a kadar çıkmıştır.  $F_f$  kuvvetinde ise 0.05 mm/diş ilerleme hızında önce 590N'dan başlamış 750N seviyelerine 0.075mm/diş ilerleme hızında 650N ile başlayıp 990N'a 0.1mm/diş kesme hızında ise 780N giderek artarak 1280N'a ulaşmıştır. Son olarak 0.15 mm/diş ilerleme hızında  $F_f$  kuvveti 1150N'la başlamış önce biraz düştükten sonra 1900N'a kadar yükselmiştir (Taylan, 2009).

#### 4.2.3. Kesme Hızı- Kesme Kuvveti İlişkisi

Şekil 4.9'da farklı ilerleme hızlarında, 350, 400, 450, 500( $\pm 10$ )°C ön ısıtma sıcaklığında  $F_c$  ve  $F_f$  kuvveti - sıcaklık değerleri değişimleri verilmiştir.

İlerleme hızının 0.05mm/diş sabit tutulduğu grafiklerde ön ısıtma sıcaklığının 350, 450, 500°C olduğu durumlarda ortalama  $F_c$  kuvveti değeri 300N civarında başlayıp kesme hızının artmasıyla artmış ve yaklaşık 500N değerine ulaşmış, 400°C 'de ise 400N ile başlamış kesme kuvvetinin artmasıyla 600N'a ulaşmıştır.  $F_f$  kuvveti ise tüm sıcaklıklarda 300N'dan başlayıp kesme kuvveti arttıkça 450N'a ulaşmıştır. Konvansiyonel yapılan deneylerde ise kesme kuvveti değeri 800N'dan başlayıp kesme kuvveti attıkça  $F_c$  ve  $F_f$  sabit kaldığı görülmüştür (Taylan, 2009).



Şekil 4.9. 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızında 350, 400, 450, 500°C ön ısıtma sıcaklığında kesme işlemi sonucunda elde edilen  $F_c$  ve  $F_f$  kuvveti – kesme hızı değerleri değişimleri

Sabit 0.075mm/diş ilerleme hızında 500°C'de yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafiklere göre kesme hızlarının tüm değerlerinde ortalama  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetleri yaklaşık 500N civarlarında olduğu anlaşılmıştır. 350, 450°C ön ısıtma sıcaklığı ile yapılan deneylerde ise kesme kuvvetleri 400N'dan başlayıp 600N civarına kadar arttığı görülmüştür. 400°C ön ısıtma sıcaklığında ise kesme kuvveti 700N civarında sabit kaldığı anlaşılmıştır. Konvansiyonel deneylerden elde edilen değerler ise  $F_c$  kuvveti 700N ile başlamış kesme hızı 524.5m/dak ulaştığında 1400N'a,  $F_f$  kuvveti ise 700N ile başlayıp 1000N'a kadar ulaştığı anlaşılmıştır (Taylan, 2009).

İlerleme hızı 0.1mm/diş'de, ön ısıtma sıcaklığı 350, 400, 450, 500°C'de yapılan deneylerde ise  $F_c$  kuvvetleri yaklaşık 900N'dan başlayıp 1200N'larda sonlandığı görülmüştür. Ön ısıtma sıcaklığı 400°C'de yapılan deneylerde ise kesme kuvveti değerleri kesme hızının artmasıyla sabit kaldığı anlaşılmıştır. Kesme kuvveti bu değerlerde 1100N civarlarındadır. Sabit ilerleme hızı 0.1mm/diş'de  $F_c$  kuvveti oda sıcaklığında yaklaşık 1000N'dan 1600N civarına kadar yükseldiği görülmüştür. Çalışmada tüm ön ısıtma sıcaklıklarında 0.1mm/diş ilerleme hızında maksimum kesme kuvvetlerine ulaşılmıştır.  $F_f$  kuvveti 350, 400, 450, 500°C ön ısıtma sıcaklıklarında 800N ile başlamış kesme hızı arttıkça 900N'a ulaşmıştır. Konvansiyonel işlemede ise 800N'dan başlamış ve 1300N'a kadar çıkmıştır (Taylan, 2009).

İlerleme hızının 0.15mm/diş sabit tutulduğu grafiklerde ise ön ısıtma sıcaklıklarının tümünde ortalama  $F_c$  kuvveti değeri 500N'dan başlamış kesme hızı ilerledikçe  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetleri 800N'a kadar  $F_f$  kuvvetinin ise 650N ile başlayıp 800N'a kadar attığı görülmüştür. Konvansiyonel yapılan deneylerde ise  $F_c$  kesme kuvveti değeri 1200N'dan başlayıp kesme kuvveti attıkça  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetlerinin 2400N'a ulaştığı ve  $F_f$  kuvvetinde ise 1000N ile başlayıp 1900N'a kadar çıktığı görülmüştür (Taylan, 2009).

Sabit ilerleme hızlarında, kesme hızı artışına bağlı olarak kesme kuvvetinde oluşan artış, literatür çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir (Taylan, 2009; Hamamcı , 2014; Germain vd., 2011; Brecher vd., 2011, Li vd., 2000).

Ön ısıtma sıcaklıklarının artmasıyla kesme kuvvetlerinde azalmaların olması istenir. Çalışmada 400°C'de yapılan deneylerin sonuçlarına göre diğer sıcaklıklara göre kesme kuvveti daha yüksek değerdedir. Benzer şekilde Dandekar (2010) titanyum alaşımı ile yaptığı çalışmada konvansiyonel işlemeye göre 250°C ön ısıtma sıcaklığında kesme kuvvetinde düşüş, 300°C ön ısıtma sıcaklığında yükselme, 350, 400 ve 500°C sıcaklıklarında tekrar düşüşlerin olduğunu tespit etmiştir.

Dandekar (2010) yaptığı çalışmada bazı kesme parametrelerinde talaş yığılma (Build up Edge (BUE)) eğiliminin olabileceğini ve yığılan talaş ile kesme kuvvetinin ve takım aşınmasının olumsuz etkilendiğini belirtmiştir. Çalışmada 451.3m/dak kesme hızı ve 0.1mm/diş ilerleme hızında, kesme kuvvetlerinin artmasının, talaş yığılması kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Navas (2013) yaptığı çalışmada, lazerle ön ısıtmalı Ti-6Al-4V tornalama işlemi sonunda konvansiyonel işlemeye göre  $F_c$  kuvvetinde %8,  $F_f$  kuvvetinde ise %18 düştüğü görülmüştür. Brecher (2011) çalışmasında lazerle ön ısıtmalı inconel718'in frezelenmesinde  $F_c$  kuvvetinde %40,  $F_f$  kuvvetinde %60 azalma olduğunu belirtmişlerdir. Lazerle İnkoneel 781 tornalanmasında  $F_c$  kuvvetinde %42 (Germain vd., 2007) azalma olduğu görülmüştür. Ti-6Al-4V alaşım malzemesinin ön ısıtmalı işlenmesi sonunda kesme kuvvetlerinde %40-45 düştüğü görülmüştür. (Ginta vd., 2009; Ginta vd., 2010). Wang'ın (2002) çalışmasında  $Al_2O_3$  metal matris kompozit malzemesi ile tornalaması işleminde  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetlerinde %50 iyileşmeler olduğu gözlenmiştir. Bermingham (2012) çalışmasında ön ısıtmalı tornalama işleminde  $F_c$  kuvvetinde %30 oranında azalma olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 4.12. Ön ısıtmalı işlemenin konvansiyonel işlemeye göre kesme kuvvetlerindeki % iyileşme değerleri

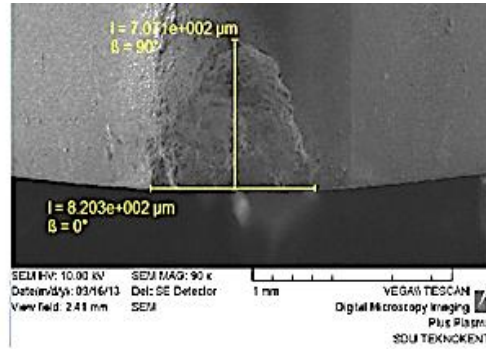
|    | İş Mili Devri (N)<br>(dev/dak) | Kesme Hızı (Vc)<br>(m/dak) | Tabla İlerleme Hızı (f)<br>(mm/diş) | Ön ısıtma Sıcaklık (°C) | Ön ısıtmalı İşleme                              |                                                 | Konvansiyonel İşleme (20°C)                   |                                               | F <sub>c</sub> Kuvveti % Değişimi | F <sub>f</sub> Kuvveti % Değişimi |
|----|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|    |                                |                            |                                     |                         | Ön ısıtmalı İşlemede F <sub>c</sub> Kuvveti (N) | Ön ısıtmalı İşlemede F <sub>f</sub> Kuvveti (N) | Konvansiyonel İşl. F <sub>c</sub> Kuvveti (N) | Konvansiyonel İşl. F <sub>f</sub> Kuvveti (N) |                                   |                                   |
| 1  | 780                            | 154.4                      | 0.05                                | 350                     | 264.63                                          | 218.88                                          | 872.8                                         | 585.9                                         | %69.7                             | %62.6                             |
| 2  | 780                            | 154.4                      | 0.075                               | 400                     | 687.25                                          | 629.13                                          | 677.5                                         | 649.4                                         | %-1.4                             | %3.1                              |
| 3  | 780                            | 154.4                      | 0.1                                 | 450                     | 898.13                                          | 820.88                                          | 943.6                                         | 780                                           | %4.8                              | %-5.2                             |
| 4  | 780                            | 154.4                      | 0.15                                | 500                     | 416.13                                          | 617.25                                          | 1218.3                                        | 1127.9                                        | %65.8                             | %45.3                             |
| 5  | 1405                           | 278.1                      | 0.05                                | 400                     | 559.5                                           | 502.5                                           | 991.2                                         | 675.1                                         | %43.6                             | %25.6                             |
| 6  | 1405                           | 278.1                      | 0.075                               | 350                     | 566.45                                          | 428.88                                          | 753.2                                         | 793.5                                         | %24.8                             | %46.0                             |
| 7  | 1405                           | 278.1                      | 0.1                                 | 500                     | 1108.1                                          | 910.13                                          | 1141.4                                        | 1069.3                                        | %2.9                              | %14.9                             |
| 8  | 1405                           | 278.1                      | 0.15                                | 450                     | 675                                             | 592.63                                          | 1041.3                                        | 1063.2                                        | %35.2                             | %44.3                             |
| 9  | 2280                           | 451.3                      | 0.05                                | 450                     | 477.25                                          | 381.38                                          | 398                                           | 441.9                                         | %-19.9                            | %13.7                             |
| 10 | 2280                           | 451.3                      | 0.075                               | 500                     | 501.5                                           | 423.38                                          | 944.8                                         | 813                                           | %46.9                             | %47.9                             |
| 11 | 2280                           | 451.3                      | 0.1                                 | 350                     | 1356.4                                          | 1072                                            | 1043.7                                        | 1015.6                                        | %-30.0                            | %-5.6                             |
| 12 | 2280                           | 451.3                      | 0.15                                | 400                     | 1010.8                                          | 933.88                                          | 1156                                          | 1357.4                                        | %12.6                             | %31.2                             |
| 13 | 2650                           | 524.5                      | 0.05                                | 500                     | 464.88                                          | 446.63                                          | 938.7                                         | 732.4                                         | %50.5                             | %39.0                             |
| 14 | 2650                           | 524.5                      | 0.075                               | 450                     | 742.38                                          | 606.38                                          | 1335.2                                        | 982.7                                         | %44.4                             | %38.3                             |
| 15 | 2650                           | 524.5                      | 0.1                                 | 400                     | 1206.8                                          | 809.13                                          | 1563.7                                        | 1278.1                                        | %22.8                             | %36.7                             |
| 16 | 2650                           | 524.5                      | 0.15                                | 350                     | 700.75                                          | 782                                             | 2396.3                                        | 1878.1                                        | %70.8                             | %58.4                             |

Çizelge 4.12’de ön ısıtmalı yapılan deneylerin sonuçlarının konvansiyonel (Taylan, 2009) yapılan deney sonuçlarına göre kesme kuvvetlerinde % iyileşme sonuçları verilmiştir. % karşılaştırılmıştır. Ön ısıtma sıcaklığının 350°C olduğu 16. satırdaki deneysel çalışmada F<sub>c</sub> kuvvetinin konvansiyonel işlemeye göre en yüksek %70.8, F<sub>f</sub> kuvvetinde ise aynı sıcaklıkta 1. satırdaki deneysel çalışmada %62.6 iyileşme değeri elde edilmiştir.

### 4.3. Takım Aşınması Bulguları

Çalışmada takım aşınması değerlerinin belirlenmesi amacıyla, TEM ile çekilen fotoğraflar kullanılmıştır. Literatürde, ön ısıtılmalı ve konvansiyonel yapılan çalışmalarda takım aşınması olarak çoğunlukla, yan yüzey aşınması (Maity vd., 2008, Amin vd., 2008, Yang vd., 2008, Lajis vd., 2009, Ginta vd., 2009, Sun vd., 2010), krater aşınmasına (Dandekar vd., 2010; Lei vd., 2001), çentik aşınması (Anderson vd., 2006) görülmüştür. Bu çalışmada TEM ile çekilen fotoğraflar sonucunda tüm takımlarda çentik aşınması tespit edilmiştir. Standartlara göre çentik aşınma düzeyinin belirlenmesinde aşınma derinliği ve aşınma uzunluğu değerleri göz önünde bulundurulmaktadır. Bu nedenle çalışmada takım aşınma grafiklerinde hem aşınma derinlik hemde aşınma uzunluk değerleri kullanılmıştır.

Şekil 4.10'da 154.4m/dak kesme hızı, 0.075mm/diş ilerleme hızında ve 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafı verilmiştir. Diğer kesme parametreleriyle yapılan deneylerden elde edilen takım aşınma fotoğrafların tamamı EK B'de verilmiştir.



Şekil 4.10. 154.4m/dak kesme hızı ve 0.075mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafı

ISO 8688 standardına göre aşınma uzunluğu 0.3mm den küçük olan aşınmalara mikro çentiklenme, 0.3-1mm arasında olan aşınmalara makro çentiklenme, 1mm den büyük olan aşınmalara da kırılma adı verilmektedir. Çentik aşınması kodlama sistemine göre makro ve mikro aşınmalar da kendi arasında aşınma derinliği miktarlarına göre küçük, orta ve büyük şeklinde sınıflanmaktadır.

Standartta aşınma derinliği 0.25mm'den az olan değerlerde küçük, 0.25-.50mm aralığındaki değerlerde normal ve 0.5mm'den büyük olan değerlerde ise büyük makro çentiklenme olarak ifade edilmiştir.

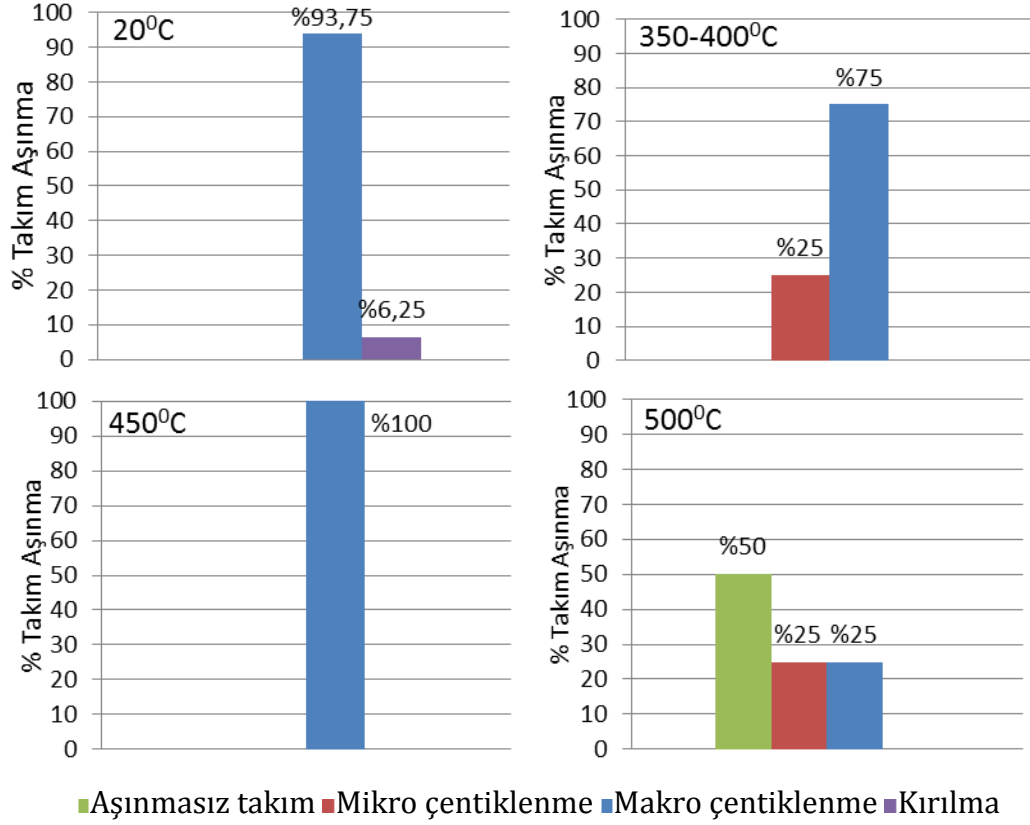
Takım aşınma uzunluk ve derinlik değerlerine göre ön ısıtma sıcaklığı 350°C'de 3 büyük makro 1 küçük mikro, 400°C'de 2 büyük makro, 1 normal makro, 1 küçük mikro, 450°C'de 2 büyük makro, 1 normal, 1 küçük makro, 500°C'de 2 aşınmasız, 1 büyük makro, 3 normal mikro çentiklenme olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.13. Deneysel bulgular sonucunda elde edilen takım aşınma uzunluk ve derinlik değerleri(Gri renkteki satırlar makro, pembe mikro, yeşil aşınma gerçekleşmeyen takımların elde edildiği deney parametrelerini göstermektedir.)

| Kesme Hızı<br>(Vc)<br>(m/dak) | İlerleme<br>Hızı<br>(f)<br>(mm/diş) | Sıcaklık<br>(°C) | Aşınma<br>uzunluk<br>miktarı<br>(µm) | Aşınma<br>derinlik<br>miktarı<br>(µm) | Aşınma Türü              |
|-------------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 154.4                         | 0.05                                | 350              | 258.5                                | 207                                   | Küçük mikro çentiklenme  |
| 154.4                         | 0.075                               | 400              | 716.5                                | 696.5                                 | Büyük makro çentiklenme  |
| 154.4                         | 0.10                                | 450              | 629                                  | 673                                   | Büyük makro çentiklenme  |
| 154.4                         | 0.15                                | 500              | 988.5                                | 925.5                                 | Büyük makro çentiklenme  |
| 278.1                         | 0.05                                | 400              | 63.5                                 | 37                                    | Küçük mikro çentiklenme  |
| 278.1                         | 0.075                               | 350              | 485.5                                | 508                                   | Büyük makro çentiklenme  |
| 278.1                         | 0.1                                 | 500              | 299.5                                | 329                                   | Normal mikro çentiklenme |
| 278.1                         | 0.15                                | 450              | 357.5                                | 299.5                                 | Normal makro çentiklenme |
| 451.3                         | 0.05                                | 450              | 572                                  | 145                                   | Küçük Makro çentiklenme  |
| 451.3                         | 0.075                               | 500              | 0                                    | 0                                     | Aşınma yok               |
| 451.3                         | 0.1                                 | 350              | 722                                  | 501                                   | Büyük makro çentiklenme  |
| 451.3                         | 0.15                                | 400              | 823                                  | 928                                   | Büyük makro çentiklenme  |
| 524.5                         | 0.05                                | 500              | 0                                    | 0                                     | Aşınma yok               |
| 524.5                         | 0.075                               | 450              | 639.5                                | 527.5                                 | Büyük makro çentiklenme  |
| 524.5                         | 0.1                                 | 400              | 613                                  | 471                                   | Normal makro çentiklenme |
| 524.5                         | 0.15                                | 350              | 846.5                                | 1242.5                                | Büyük makro çentiklenme  |

Şekil 4.11'de her bir ön ısıtılmalı ve konvansiyonel işleme deney sonuçlarının % aşınma uzunluk değişimleri verilmiştir. Ön ısıtma sıcaklığı 350, 400°C'de elde edilen deney sonuçlarına göre takımların %25 mikro, %75 makro çentiklenme gerçekleşmiştir. 450°C ön ısıtma sıcaklığı ile elde edilen deney sonuçlarında ise %100 makro çentiklenme, 500°C ön ısıtma sıcaklığı ile elde edilen deney

sonuçlarında ise %50 aşınmasız, %25 mikro çentiklenme, %25 takımda makro çentiklenme olduğu gözlenmiştir. Konvansiyonel işlemede %93.75 makro çentiklenme %6.25 kırılma gözlenmiştir (Taylan, 2009).



Şekil 4.11. Konvansiyonel(Taylan, 2009) ve ön ısıtma sıcaklıklarına göre elde edilen % takım aşınma değişimleri

Deneysel ve tahmin sonucunda elde edilen aşınma uzunluk ve derinlik değerlerine göre aşınma sınıflandırılması yapılmıştır (Çizelge 4.14).

Elde edilen 64 deney sonucuna göre kesici uçların 13 adedinde mikro çentiklenme, 48 adedinde makro çentiklenme, 3 adedinde ise aşınmanın olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. Deneylerden elde edilen ortalama aşınma değerleri ve tahmin edilmiş aşınma değerleri

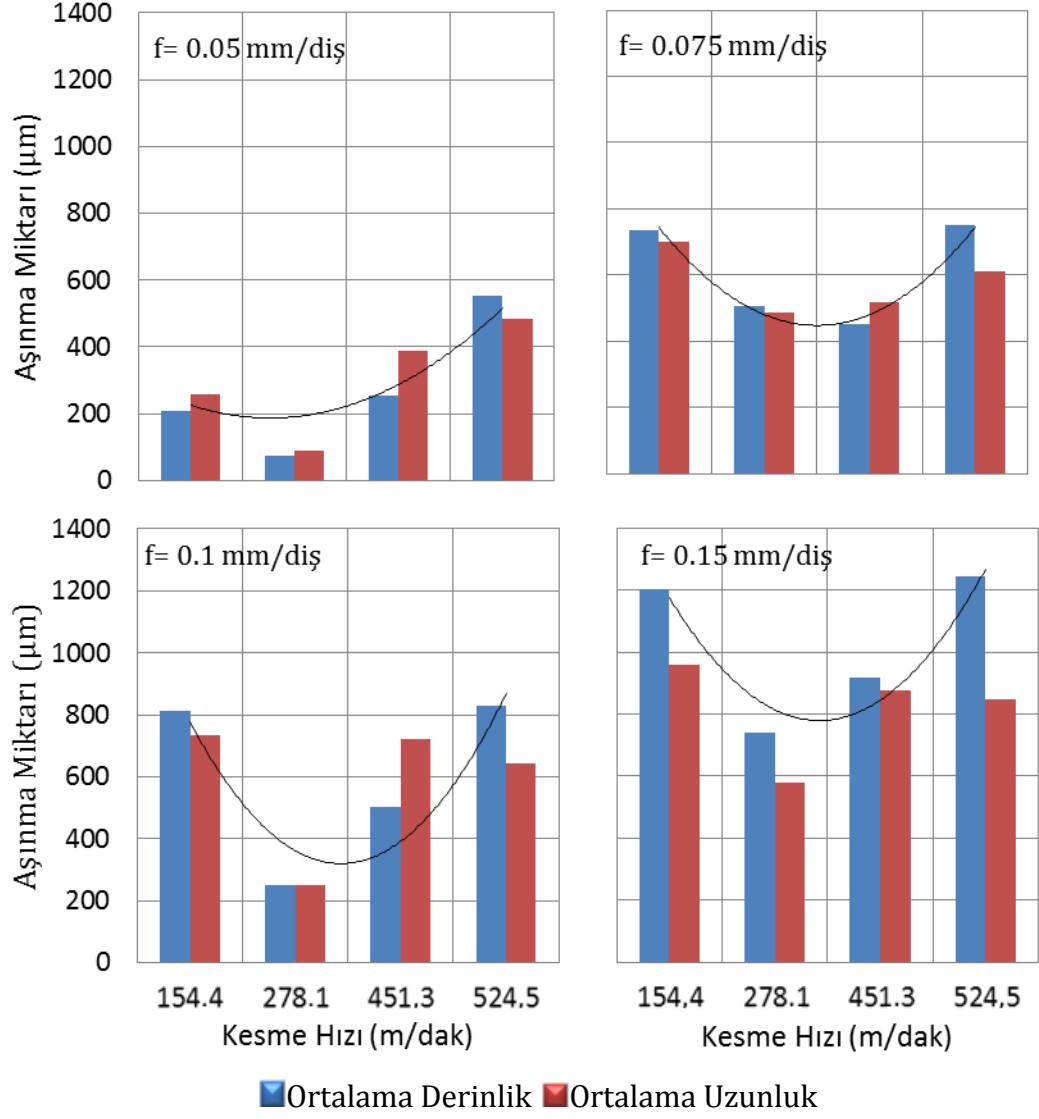
|    | Kesme Hızı (Vc) (m/dak) | İlerleme Hızı (f) (mm/diş) | Sıcaklık (°C) (±10) | Ortalama Uzunluk (μm) | Ortalama Derinlik (μm) | Aşınma Türü              |
|----|-------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| 1  | 154.4                   | 0.05                       | 350                 | 258.5                 | 207                    | Küçük mikro çentiklenme  |
| 2  | 154.4                   | 0.075                      | 350                 | 701.6                 | 735.6                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 3  | 154.4                   | 0.1                        | 350                 | 732.2                 | 813.8                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 4  | 154.4                   | 0.15                       | 350                 | 959.6                 | 1201.2                 | Büyük makro çentiklenme  |
| 5  | 154.4                   | 0.05                       | 400                 | 552.7                 | 455.3                  | Normal makro çentiklenme |
| 6  | 154.4                   | 0.075                      | 400                 | 716.5                 | 696.5                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 7  | 154.4                   | 0.1                        | 400                 | 734.3                 | 734.8                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 8  | 154.4                   | 0.15                       | 400                 | 941.7                 | 1122.2                 | Büyük makro çentiklenme  |
| 9  | 154.4                   | 0.05                       | 450                 | 541.9                 | 331                    | Normal makro çentiklenme |
| 10 | 154.4                   | 0.075                      | 450                 | 672.9                 | 532.2                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 11 | 154.4                   | 0.1                        | 450                 | 683                   | 629                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 12 | 154.4                   | 0.15                       | 450                 | 930.94                | 998                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 13 | 154.4                   | 0.05                       | 500                 | 404.7                 | 333.8                  | Normal makro çentiklenme |
| 14 | 154.4                   | 0.075                      | 500                 | 535.7                 | 535                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 15 | 154.4                   | 0.1                        | 500                 | 566.3                 | 615                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 16 | 154.4                   | 0.15                       | 500                 | 988.5                 | 925.5                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 17 | 278.1                   | 0.05                       | 350                 | 90.8                  | 72.7                   | Küçük mikro çentiklenme  |
| 18 | 278.1                   | 0.075                      | 350                 | 485.5                 | 508                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 19 | 278.1                   | 0.1                        | 350                 | 252.4                 | 252.2                  | Normal mikro çentiklenme |
| 20 | 278.1                   | 0.15                       | 350                 | 579.8                 | 739.6                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 21 | 278.1                   | 0.05                       | 400                 | 63.5                  | 37                     | Küçük mikro çentiklenme  |
| 22 | 278.1                   | 0.075                      | 400                 | 203.9                 | 195                    | Küçük mikro çentiklenme  |
| 23 | 278.1                   | 0.1                        | 400                 | 234.6                 | 173.2                  | Küçük mikro çentiklenme  |
| 24 | 278.1                   | 0.15                       | 400                 | 561.9                 | 660.6                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 25 | 278.1                   | 0.05                       | 450                 | 62.2                  | 0                      | Küçük mikro çentiklenme  |
| 26 | 278.1                   | 0.075                      | 450                 | 193.2                 | 70.6                   | Küçük mikro çentiklenme  |
| 27 | 278.1                   | 0.1                        | 450                 | 223.8                 | 48.8                   | Küçük mikro çentiklenme  |
| 28 | 278.1                   | 0.15                       | 450                 | 357.5                 | 299.5                  | Normal makro çentiklenme |
| 29 | 278.1                   | 0.05                       | 500                 | 0                     | 0                      | Aşınma yok               |
| 30 | 278.1                   | 0.075                      | 500                 | 55.9                  | 73                     | Küçük mikro çentiklenme  |
| 31 | 278.1                   | 0.1                        | 500                 | 299.5                 | 329                    | Normal mikro çentiklenme |
| 32 | 278.1                   | 0.15                       | 500                 | 413.9                 | 539                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 33 | 451.3                   | 0.05                       | 350                 | 387.2                 | 252.6                  | Normal makro çentiklenme |
| 34 | 451.3                   | 0.075                      | 350                 | 518.2                 | 453.8                  | Normal makro çentiklenme |
| 35 | 451.3                   | 0.1                        | 350                 | 722                   | 501                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 36 | 451.3                   | 0.15                       | 350                 | 876.2                 | 919.4                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 37 | 451.3                   | 0.05                       | 400                 | 369.3                 | 173.6                  | Küçük makro çentiklenme  |
| 38 | 451.3                   | 0.075                      | 400                 | 500.3                 | 374.8                  | Normal makro çentiklenme |
| 39 | 451.3                   | 0.1                        | 400                 | 530.9                 | 353                    | Normal makro çentiklenme |
| 40 | 451.3                   | 0.15                       | 400                 | 823                   | 928                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 41 | 451.3                   | 0.05                       | 450                 | 572                   | 145                    | Küçük makro çentiklenme  |
| 42 | 451.3                   | 0.075                      | 450                 | 489.6                 | 251                    | Normal makro çentiklenme |
| 43 | 451.3                   | 0.1                        | 450                 | 520.2                 | 328.7                  | Normal makro çentiklenme |
| 44 | 451.3                   | 0.15                       | 450                 | 847.6                 | 716                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 45 | 451.3                   | 0.05                       | 500                 | 221.3                 | 52                     | Küçük mikro çentiklenme  |

|    | Kesme Hızı (Vc) (m/dak) | İlerleme Hızı (f) (mm/diş) | Sıcaklık (°C) (±10) | Ortalama Uzunluk (µm) | Ortalama Derinlik (µm) | Aşınma Türü              |
|----|-------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| 46 | 451.3                   | 0.075                      | 500                 | 0                     | 0                      | Aşınma yok               |
| 47 | 451.3                   | 0.1                        | 500                 | 382.9                 | 231.6                  | Küçük mikro çentiklenme  |
| 48 | 451.3                   | 0.15                       | 500                 | 710.3                 | 718.9                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 49 | 524.5                   | 0.05                       | 350                 | 482.3                 | 551.3                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 50 | 524.5                   | 0.075                      | 350                 | 613.3                 | 752.6                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 51 | 524.5                   | 0.1                        | 350                 | 643.9                 | 830.8                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 52 | 524.5                   | 0.15                       | 350                 | 846.5                 | 1242.5                 | Büyük makro çentiklenme  |
| 53 | 524.5                   | 0.05                       | 400                 | 464.4                 | 472.3                  | Normal makro çentiklenme |
| 54 | 524.5                   | 0.075                      | 400                 | 595.4                 | 673.6                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 55 | 524.5                   | 0.1                        | 400                 | 613                   | 471                    | Normal makro çentiklenme |
| 56 | 524.5                   | 0.15                       | 400                 | 953.4                 | 1139.2                 | Büyük makro çentiklenme  |
| 57 | 524.5                   | 0.05                       | 450                 | 453.7                 | 347.9                  | Normal makro çentiklenme |
| 58 | 524.5                   | 0.075                      | 450                 | 639.5                 | 527.5                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 59 | 524.5                   | 0.1                        | 450                 | 645.3                 | 627.5                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 60 | 524.5                   | 0.15                       | 450                 | 942.7                 | 1014.8                 | Büyük makro çentiklenme  |
| 61 | 524.5                   | 0.05                       | 500                 | 0                     | 0                      | Aşınma yok               |
| 62 | 524.5                   | 0.075                      | 500                 | 447.4                 | 552                    | Büyük makro çentiklenme  |
| 63 | 524.5                   | 0.1                        | 500                 | 478                   | 630.3                  | Büyük makro çentiklenme  |
| 64 | 524.5                   | 0.15                       | 500                 | 805.4                 | 1017.7                 | Büyük makro çentiklenme  |

Ön ısıtma sıcaklığı 500°C’de 29, 46, 61. satırlardaki çalışmalarda aşınmasız takımlara rastlanmıştır. Ön ısıtma sıcaklığı 350°C’de 11 büyük makro, 2 normal makro, 2 küçük mikro, 1 normal mikro çentiklenme 400°C’de 7 büyük makro, 5 normal makro, 1 küçük makro, 3 küçük mikro değerine, 450°C’de 7 büyük makro, 5 normal makro, 3 küçük mikro ve 500°C’de ise 8 büyük makro, 2 normal makro, 3 küçük mikro çentiklenme, 3 tane aşınmasız takım olduğu görülmüştür.

#### 4.3.1. Kesme Hızı – Takım Aşınma İlişkisi

Takım aşınması derinlik ve uzunluk ölçülerinin kesme hızına göre değişiminin karşılaştırılması için her bir ön ısıtma sıcaklığında kesme hızı-aşınma miktarı grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.12’de 350°C ön ısıtma sıcaklığında farklı kesme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı değişimleri verilmiştir.

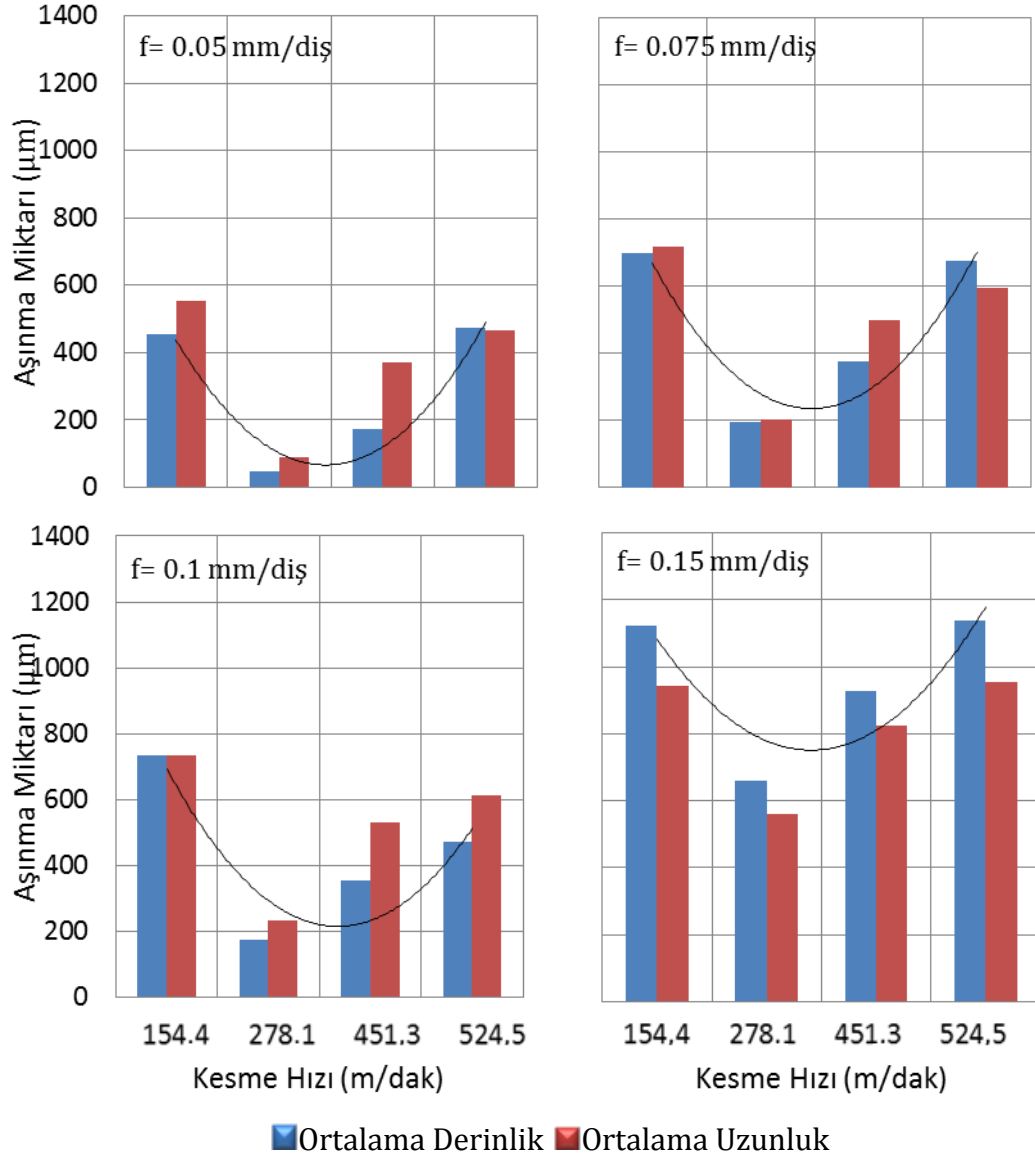


Şekil 4.12. 350°C'de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı- kesme hızı değerleri değişimleri

Tüm ilerleme hızlarında kesme hızının artmasıyla aşınma derinlik değerlerinde önce azalmalar sonra artışlar, aşınma uzunluk değerlerinde ise 0.05 ve 0.075mm/diş ilerleme hızında önce azalma sonra artış, 0.1 ve 0.15mm/diş ilerleme hızında önce azalma sonra artış sonra tekrar azalma olduğu gözlenmiştir. Aşınma uzunluk ve derinlik değerleri en az 0.05mm/diş ilerleme hızında elde edilmiştir. İlerleme hızı 0.05mm/diş' de aşınma değerleri 200µm'den başlamış, kesme hızı ilerledikçe 100µm'a düşmüş, daha sonrada 500µm'ye çıkmıştır. İlerleme hızı 0.15mm/diş, kesme hızı 524.5m/dak'da yapılan deneyler sonucunda en yüksek aşınma derinlik değerleri 1242µm

olarak ölçülmüştür. İlerleme hızı 0.15mm/diş' de, 154.4m/dak kesme hızında yapılan deneyler sonucunda en yüksek aşınma uzunluk değeri 960µm'dir.

Şekil 4.13'de 400°C ön ısıtma sıcaklığında farklı kesme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı değişimleri verilmiştir.

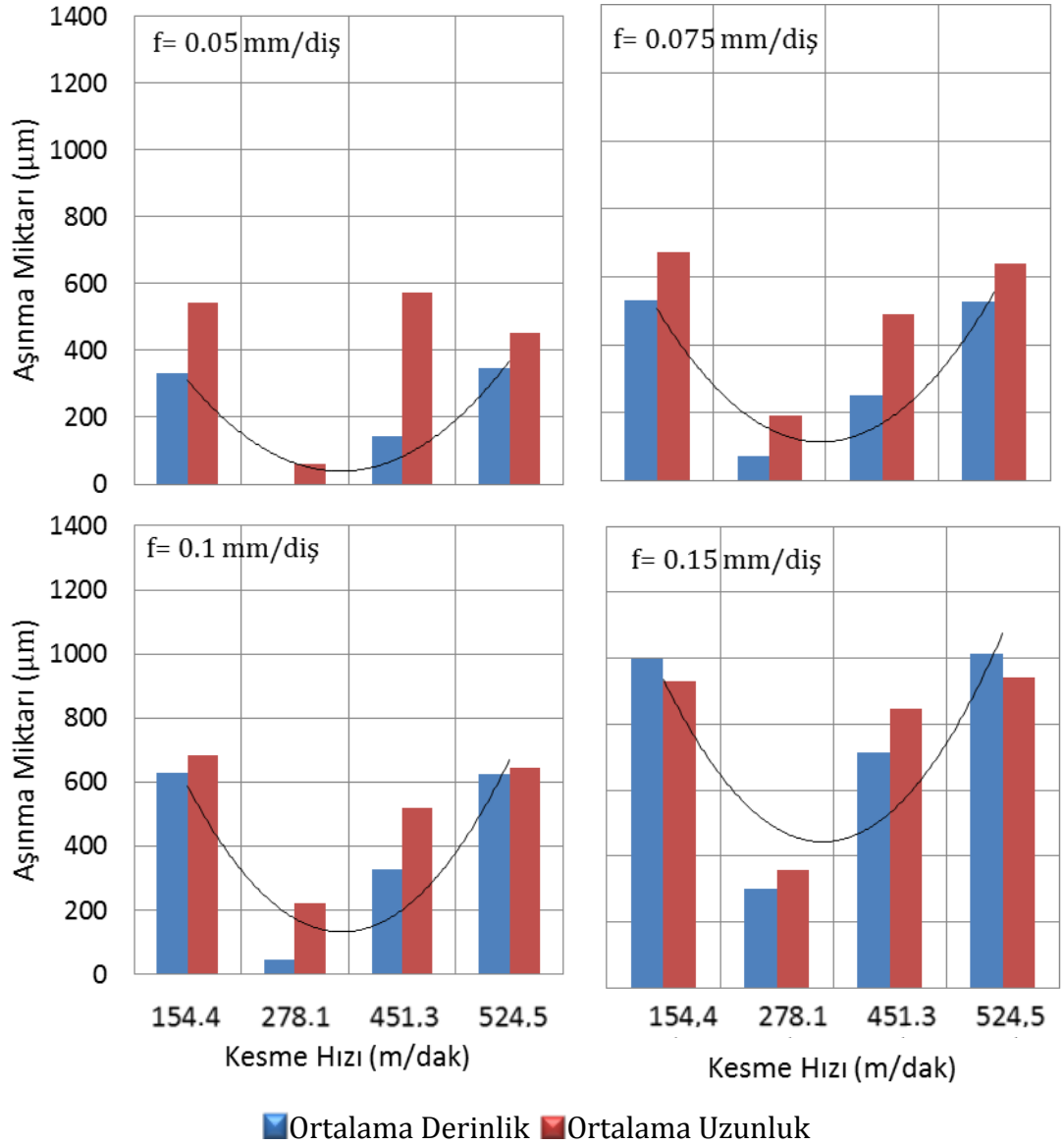


Şekil 4.13. 400°C'de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı- kesme hızı değerleri değişimleri

Kesme hızının artmasıyla aşınma uzunluk ve derinlik değerleri önce azalmış sonra artmıştır. İlerleme hızı 0.05mm/diş'de yapılan deneylerde en az, 0.15mm/diş ilerleme hızında en fazla aşınma derinlik ve uzunluk değerleri görülmüştür. Kesme hızı 278.1m/dak'da 0.05, 0.075 ve 0.1mm/diş ilerleme

hızlarında mikro çentiklenmelere rastlanmıştır. 0.15mm/diş ilerleme hızında 524.5m/dak kesme hızında aşınma derinlik değeri maksimum değerdedir.

Şekil 4.14'de 450°C ön ısıtma sıcaklığında farklı kesme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı değişimleri verilmiştir.

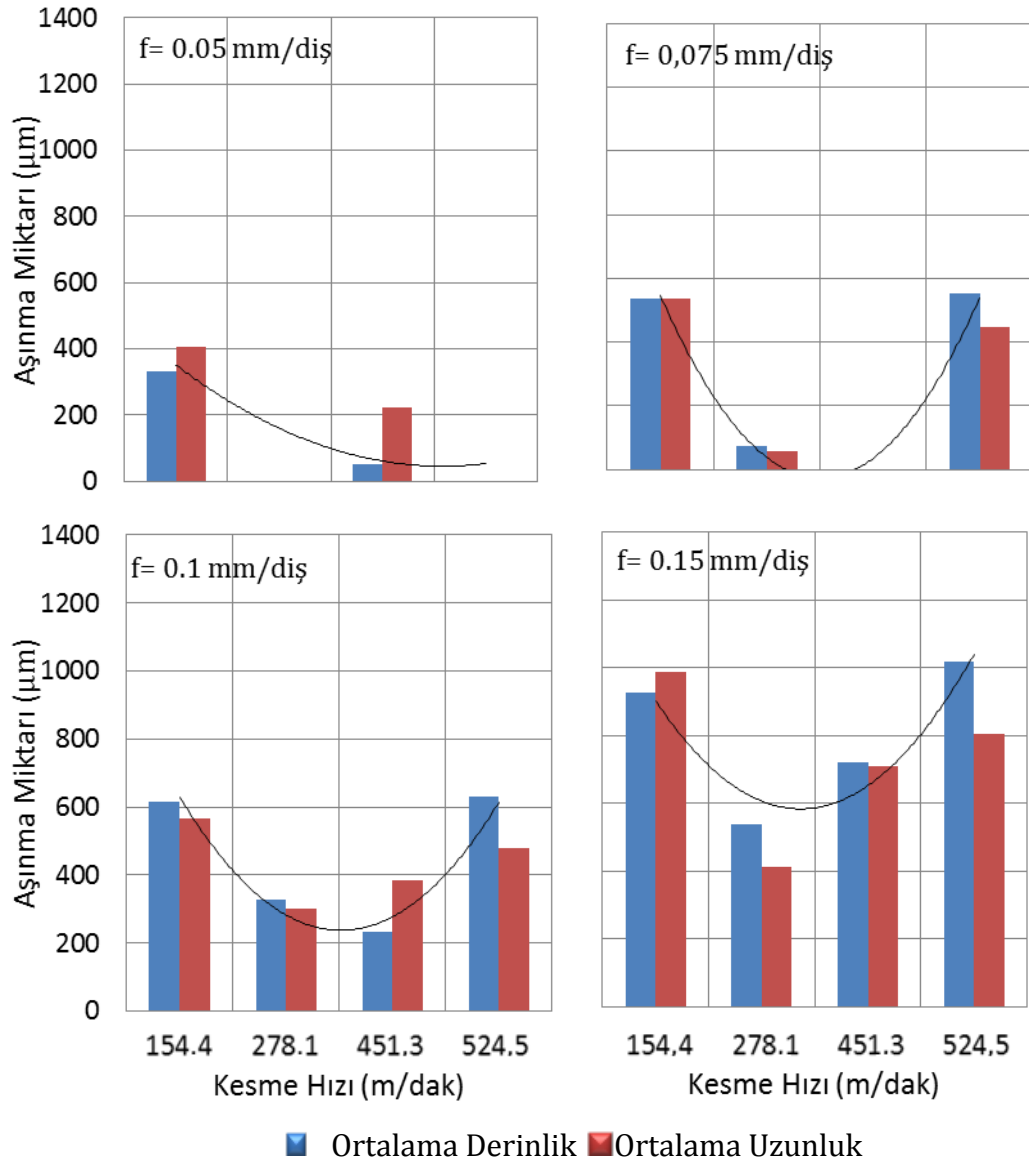


Şekil 4.14. 450°C'de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı- kesme hızı değerleri değişimleri

Ön ısıtma sıcaklığı 450°C'de 0.05mm/diş ilerleme hızında minimum, 0.15mm/diş ilerleme hızında aşınma derinlik değerlerinde maksimum sonuçlar elde edilmiştir. Tüm ilerleme hızlarında kesme hızının artmasıyla aşınma

değerlerinde önce azalmalar sonra artışlar gözlenmiştir. 278.1m/dak kesme hızında 0.05, 0.075 ve 0.1 mm/diş ilerleme hızlarında mikro aşınmalara uzunluk değerlerine rastlanmıştır.

Şekil 4.15’de 500°C ön ısıtma sıcaklığında farklı kesme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı değişimleri verilmiştir.



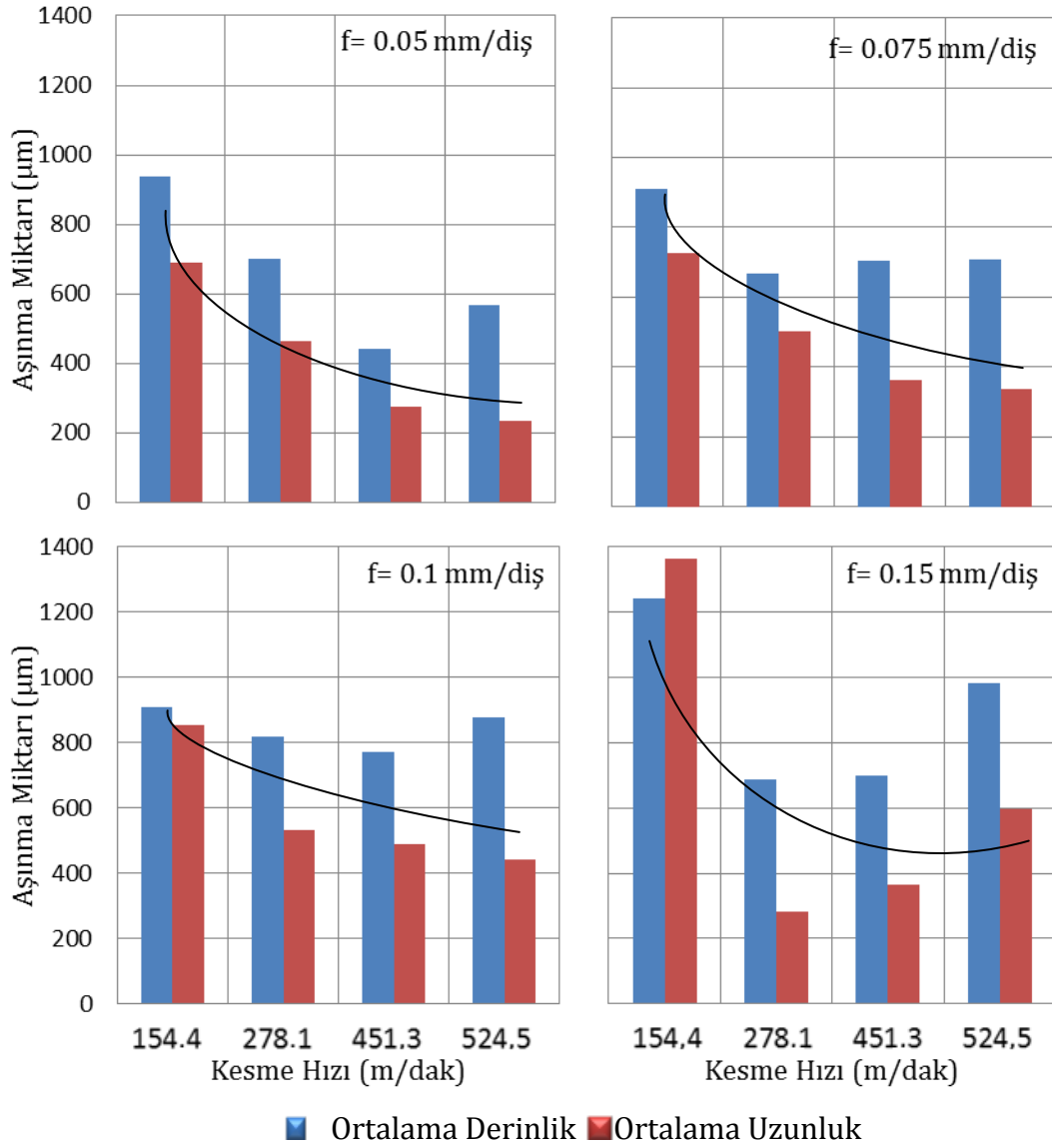
Şekil 4.15. 500°C’de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı- kesme hızı değerleri değişimleri

Ön ısıtma sıcaklığı 500°C’de 0.05mm/diş ilerleme hızında minimum, 0.15mm/diş ilerleme hızında aşınma derinlik değerlerinde maksimum sonuçlar elde edilmiştir. Tüm ilerleme hızlarında kesme hızının artmasıyla aşınma

değerlerinde önce azalmalar sonra artışlar gözlenmiştir. Sadece 0.05mm/diş ilerleme hızında önce azalma, sonra biraz artma daha sonrada azalma gözlenmiştir. Kesme hızı 278.1 ve 524.5m/dak, 0.05mm/diş ilerleme hızlarında, 451.3m/dak kesme hızı, 0.075mm/diş ilerleme hızında aşınmanın gerçekleşmediği anlaşılmıştır.

Şekil 4.16.'da konvansiyonel işlemede farklı kesme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı değişimleri verilmiştir (Taylan, 2009).

Taylan (2009) yaptığı çalışmada konvansiyonel işleme sonunda aşınma derinlik değerlerinin hepsinde makro aşınmalara ve kırılmalara rastladığını ve kesme hızı 154.4m/dak'da 0.15mm/diş ilerleme hızında takımda maksimum aşınma yani kırılma olduğunu belirtmiştir.

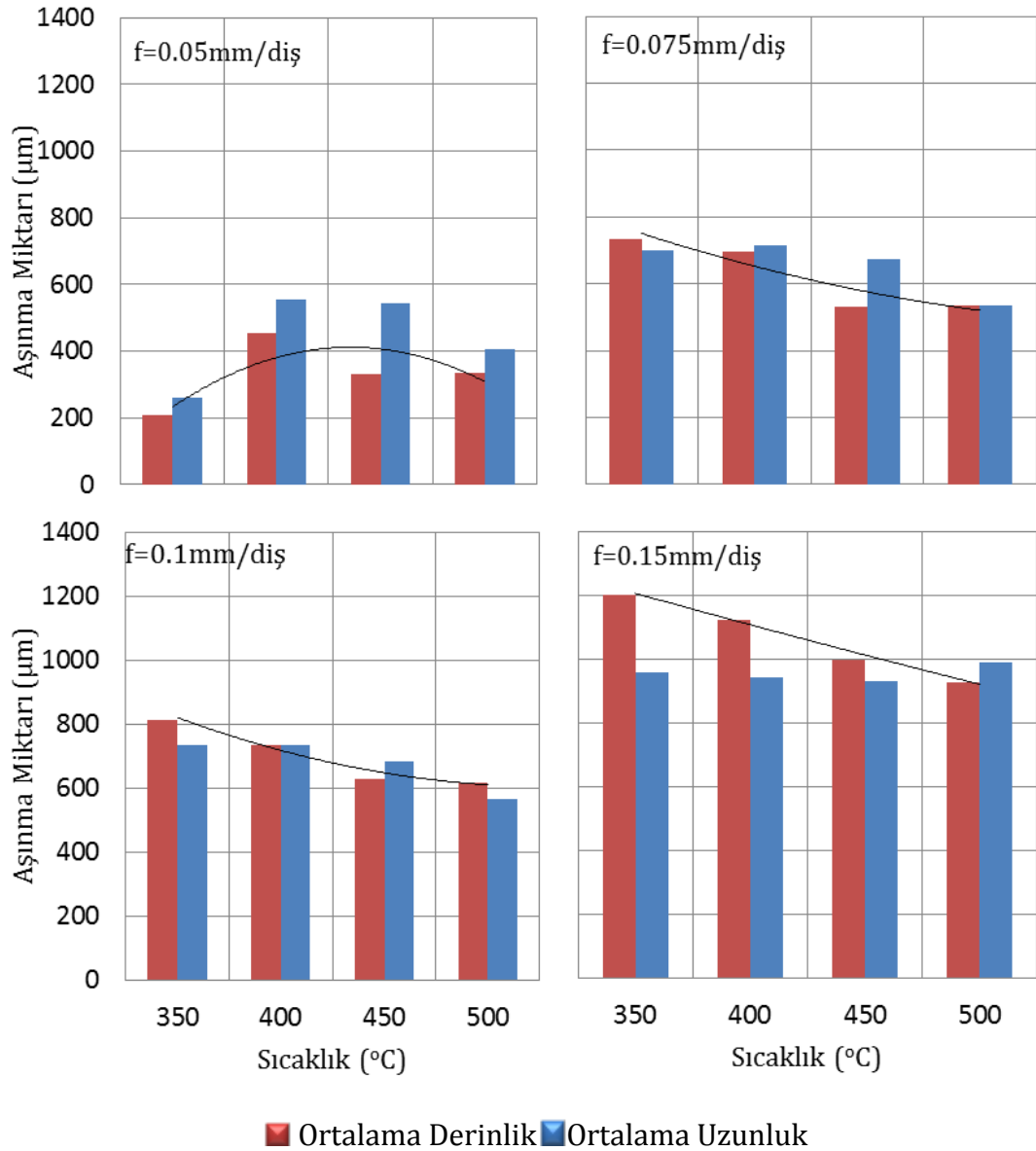


Şekil 4.16. 20°C'de 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı- kesme hızı değerleri değişimleri (Taylan, 2009).

Konvansiyonel işlemede ön ısıtmalı işlemeye göre daha fazla takım aşınma değerleri elde edilmiştir. Konvansiyonel işlemede 278.1m/dak kesme hızında, aynı kesme hızında ön ısıtmalı işleme sonunda takım aşınma değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre daha az olduğu görülmüştür. Aşınma derinlik değerleri ön ısıtmalı işlemedeki gibi kesme hızının artmasıyla önce azalmış daha sonra artmıştır. Fakat aşınma uzunluk değerleri ise kesme hızı arttıkça azalmıştır. Ön ısıtmalı işlemede aşınma uzunluk değerleri de önce azalmış sonra kesme hızının artmasıyla artmıştır.

#### 4.3.2. Sıcaklık – Takım Aşınma İlişkisi

Elde edilen ortalama derinlik ve uzunluk ölçülerinin ön ısıtma sıcaklığına göre değişiminin karşılaştırılabilmesi amacıyla ön ısıtma sıcaklığı-aşınma miktarı grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.17’de 154.4m/dak kesme hızında farklı ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı değişimleri verilmiştir.

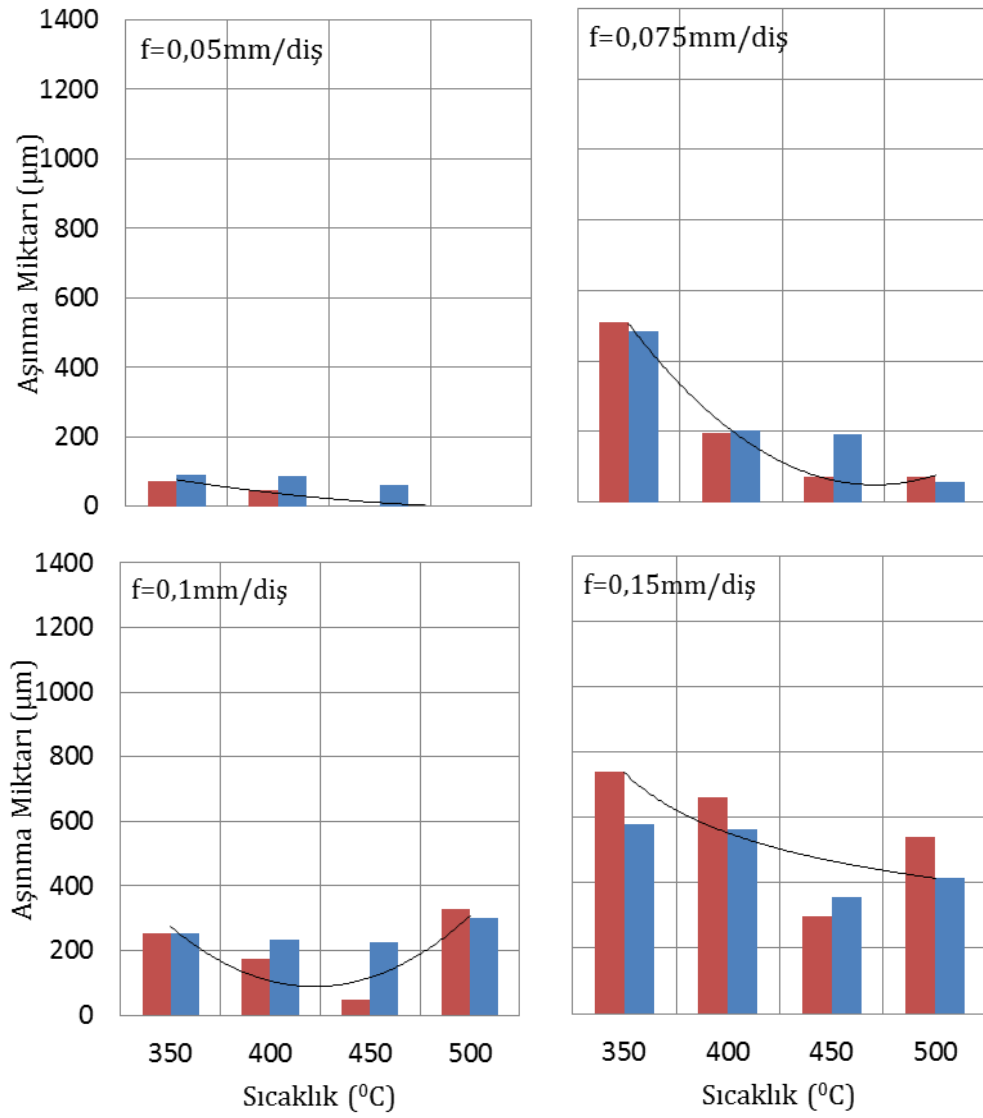


Şekil 4.17. 154.4m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı – sıcaklık değerleri değişimleri

Sabit kesme hızı 154.4m/dak'da 200µm civarındaki aşınma değerlerinin sıcaklığın artmasıyla biraz arttığı sonra azaldığı görülmüştür. 0.05mm/diş ilerleme hızında aşınma değerlerinin diğer ilerleme hızlarına göre daha az olduğu anlaşılmıştır. 0.075 ve 0.1mm/diş ilerleme hızında ise aşınma derinlik ve aşınma uzunluk değerleri yaklaşık 700µm'den başlamış, 550µm'değerlerine düşmüştür. 0.15mm/diş ilerleme hızında tüm sıcaklıklarda maksimum aşınma uzunluk ve derinlik değerlerine rastlanmıştır. İlerleme hızı 0.05mm/diş hariç tüm ilerleme hızlarında 500°C'de en düşük takım aşınma değerleri elde edilmiştir.

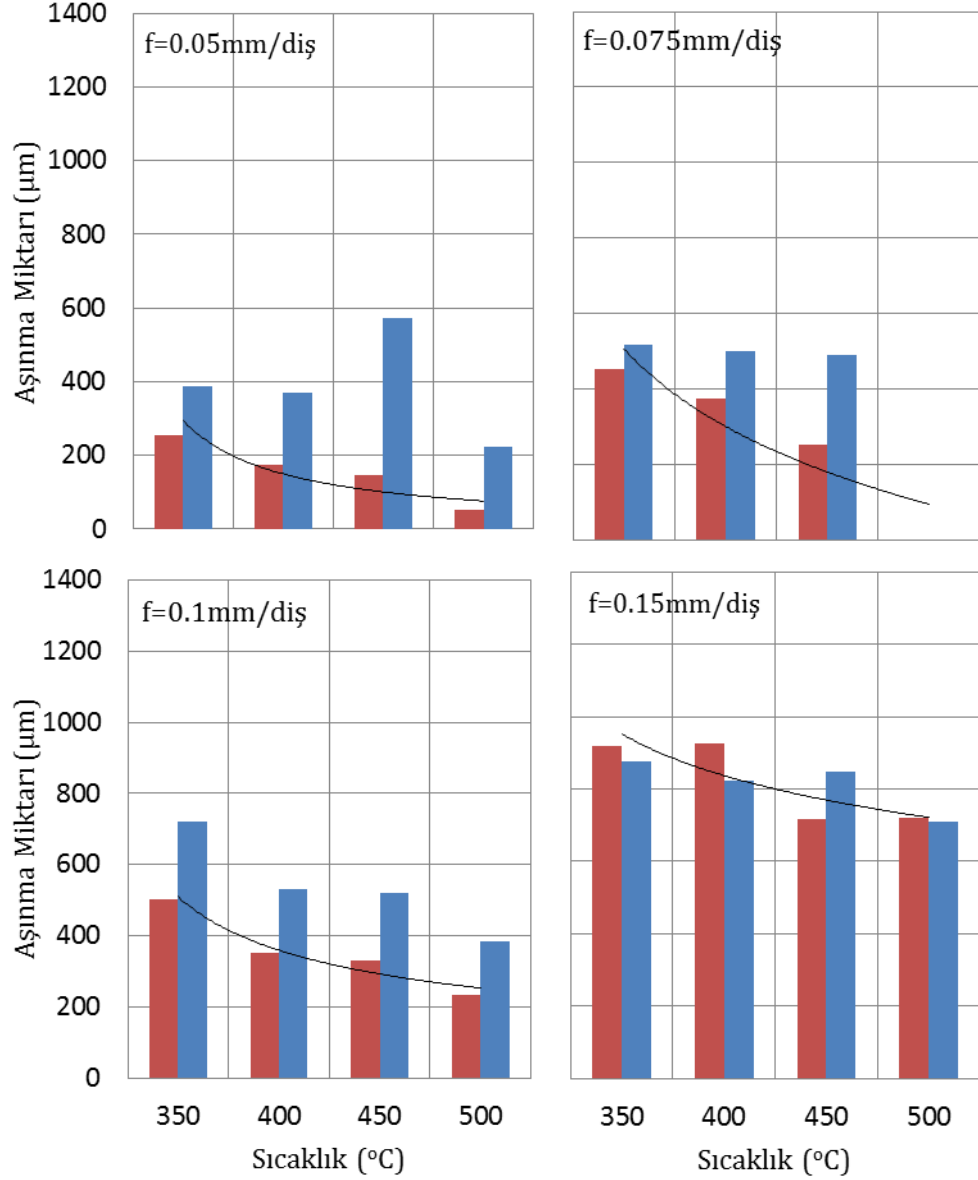
Şekil 4.18'de 278.1m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınması – sıcaklık değerleri değişimleri verilmiştir.

278.1m/dak sabit kesme hızında yapılan deneylerde aşınma derinlik ve aşınma uzunluk değerlerinin 0.05, 0.075, 0.1mm/diş ilerleme hızında aşınma değerlerinin 0.15 mm/diş ilerleme hızındaki değerlere göre az olduğu görülmüştür. 350°C ön ısıtma sıcaklığı ve 0.075 ilerleme hızında yapılan deney haricinde, tüm ön ısıtma sıcaklık değerlerinde 0.05, 0.075 ve 0.1mm/diş ilerleme hızlarında takımlarda mikro çentiklenmeler oluşmuştur.



Şekil 4.18. 278.1m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınma miktarı – sıcaklık değerleri değişimleri

Şekil 4.19.'da 451.3m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınması – sıcaklık değerleri değişimleri verilmiştir.

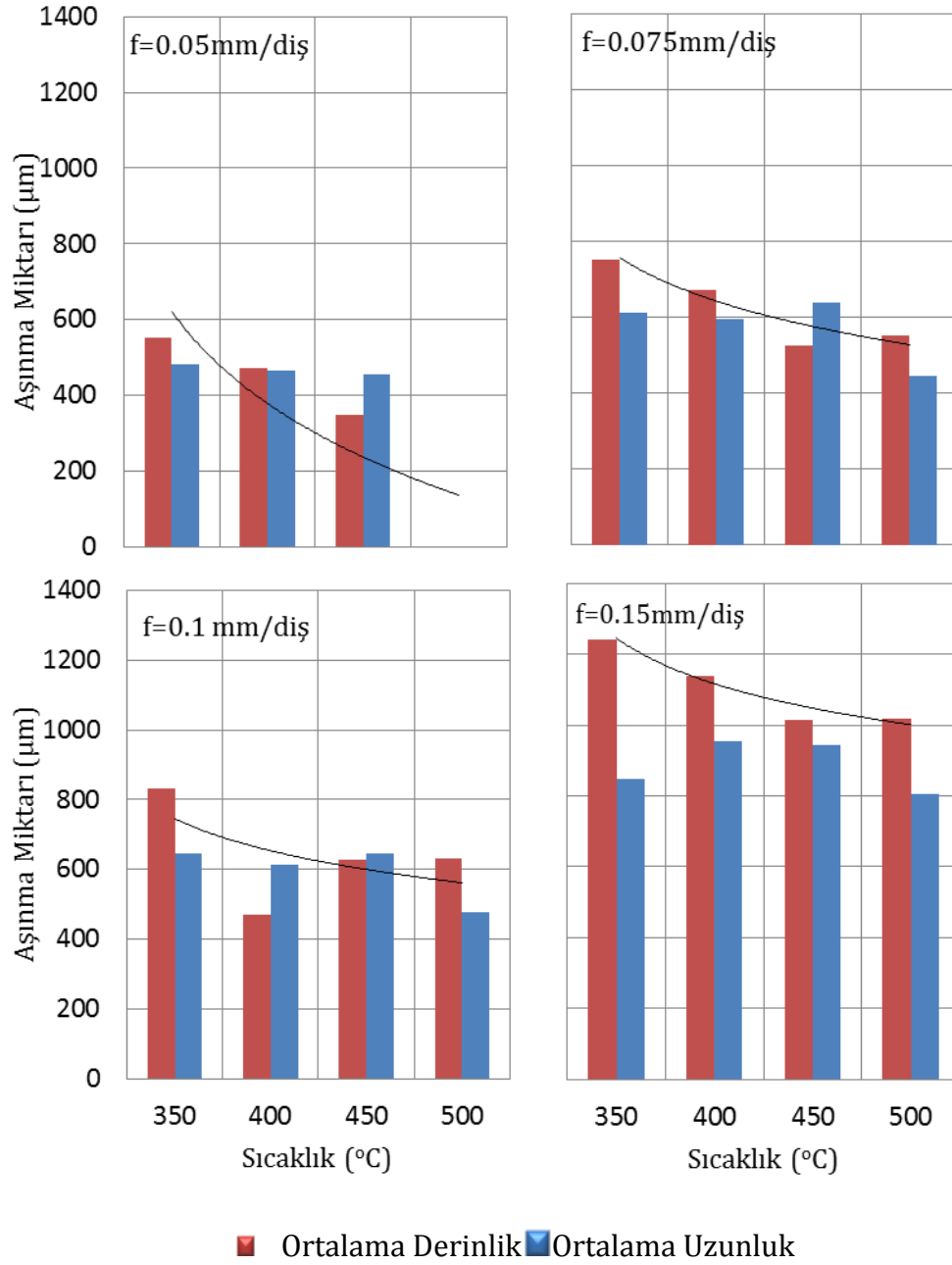


■ Ortalama Derinlik ■ Ortalama Uzunluk

Şekil 4.19. 451.3m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınması – sıcaklık değerleri değişimleri

Şekil 4.19.'da 0.15mm/diş ilerleme hızında yapılan deneyler dışında 451.3m/dak sabit kesme hızında sıcaklığın artmasıyla aşınma derinlik değerleri 900μm ile başlamış ve 700μm'ye kadar düşmüştür. En az aşınma değerleri 0.075mm/diş ilerleme hızında 500°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneylerde elde edilmiştir. En fazla aşınma değerine 0.15mm/diş ilerleme hızında rastlanmıştır.

Şekil 4.20.'de 524.5m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınması – sıcaklık değerleri değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.20. 524.5m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen takım aşınması – sıcaklık değerleri değişimleri

Sabit kesme hızı 524.5m/dak'da en yüksek aşınma değerleri 0.15mm/diş ilerleme hızında tespit edilmiştir. İlerleme hızı 0.15mm/diş'de takımlar tüm sıcaklıklarda büyük makro aşınmasına rastlanmıştır. Ortalama aşınma derinlik

ve uzunluk değeri 0.075, 0.1mm/diş ilerleme hızlarında aşınma değerinde çok fazla değişimlerin olmadığı görülmüştür. 0.05mm/diş ilerleme hızında 500°C ön ısıtma sıcaklığında takım aşınmadığı görülmüştür.

Çalışmada kesme hızı arttıkça aşınma değerleri parabolik olarak önce azalmış sonra artmıştır. Bunun sebebi olarak kesme hızı arttıkça aynı oranda takımın sıcaklığını artırmaktadır. Sıcaklığın artması takımın aşınmaya karşı mukavemetinin azalmasına, daha çabuk körlenmesine ve dolayısıyla takım ömrünün azalmasına neden olmaktadır (Özel vd., 2000).

Kesme hızı ve ön ısıtma sıcaklığının artmasıyla aşınma miktarlarında azalmalar olduğu literatür çalışmalarıyla benzerlik göstermiştir (Wang vd., 2002, Goudhaman, 2007, Özler 2001, Anderson vd., 2006, Sun vd., 2010).

Ön ısıtma sıcaklığı 350, 450°C, 0.05 ve 0.1mm/diş ilerleme hızı, 278.1m/dak kesme hızında, 500°C ön ısıtma sıcaklığı, 278.1 ve 451.3m/dak kesme hızları, 0.075mm/diş ilerleme hızında en düşük aşınma değerleri elde edilmiştir. En düşük 154.4m/dak kesme hızı ve en yüksek 524.5m/dak kesme hızlarında aşınma değerleri diğer kesme hızlarındaki aşınma değerlerine göre daha yüksektir. Deneylerin tümünden elde edilen aşınma değerlerine göre en iyi aşınma değerleri 278.1m/dak kesme hızı ve 0.05, 0.075 ve 0.1mm/diş ilerleme hızında elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 4.15’de ön ısıtmalı işlemede takım aşınma değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre % iyileşme değerleri verilmiştir. Ön ısıtma sıcaklığı 500°C’de 10. ve 13. Satırdaki deneysel çalışmada takım aşınmasının olmadığı, konvansiyonel işlemede ise makro çentiklenmelerin olduğu anlaşılmıştır. Konvansiyonel işlemeye göre en fazla takım aşınma iyileşmesi, 400°C ön ısıtma sıcaklığı, 278.1m/dak kesme hızı ve 0.05mm/diş ilerleme hızında aşınma derinlik değerinde %87.4, aşınma uzunluk değerinde %89.8 olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.15. Ön ısıtmalı işlemede deneylerden elde edilen aşınma derinlik ve aşınma uzunluk değerlerinin konvansiyonel (Taylan, 2009) işlemeye göre % iyileşme değeri ve tahmin edilmiş aşınma değerleri

|    | Kesme Hızı<br>(m/dak) | İlerleme Hızı<br>(mm/diş) | Ön ısıtma<br>Sıcaklığı (°C) | Ön ısıtmalı<br>İşleme                           |                                                | Konvansiyonel<br>İşleme (20°C)                    |                                                  | Aşınma derinlik<br>değerlerinde<br>%iyileşme | Aşınma uzunluk<br>değerlerinde<br>%iyileşme |
|----|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
|    |                       |                           |                             | Ön ısıtmalı<br>Aşınma derinlik<br>değerleri(μm) | Ön ısıtmalı<br>Aşınma uzunluk<br>değerleri(μm) | Konvansiyonel<br>Aşınma derinlik<br>değerleri(μm) | Konvansiyonel<br>Aşınma uzunluk<br>değerleri(μm) |                                              |                                             |
| 1  | 154.4                 | 0.05                      | 350                         | 258.5                                           | 207                                            | 938.12                                            | 689.46                                           | 72.4                                         | 70                                          |
| 2  | 154.4                 | 0.075                     | 400                         | 716.5                                           | 696.5                                          | 910.05                                            | 727.02                                           | 21.3                                         | 4.2                                         |
| 3  | 154.4                 | 0.1                       | 450                         | 629                                             | 673                                            | 908.7                                             | 853.17                                           | 30.8                                         | 21.1                                        |
| 4  | 154.4                 | 0.15                      | 500                         | 988.5                                           | 925.5                                          | 1242.64                                           | 1361.97                                          | 20.5                                         | 32                                          |
| 5  | 278.1                 | 0.05                      | 400                         | 88.5                                            | 47                                             | 700.08                                            | 461.9                                            | 87.4                                         | 89.8                                        |
| 6  | 278.1                 | 0.075                     | 350                         | 485.5                                           | 508                                            | 666.49                                            | 501.15                                           | 27.2                                         | -1.4                                        |
| 7  | 278.1                 | 0.1                       | 500                         | 299.5                                           | 329                                            | 819.17                                            | 529.65                                           | 63.4                                         | 37.9                                        |
| 8  | 278.1                 | 0.15                      | 450                         | 357.5                                           | 299.5                                          | 687.59                                            | 281.44                                           | 48                                           | -6.4                                        |
| 9  | 451.3                 | 0.05                      | 450                         | 572                                             | 145                                            | 439.72                                            | 273.15                                           | -30.1                                        | 46.9                                        |
| 10 | 451.3                 | 0.075                     | 500                         | 0                                               | 0                                              | 703.72                                            | 336.4                                            | 100                                          | 100                                         |
| 11 | 451.3                 | 0.1                       | 350                         | 722                                             | 501                                            | 771.81                                            | 487.46                                           | 6.5                                          | -2.8                                        |
| 12 | 451.3                 | 0.15                      | 400                         | 823                                             | 928                                            | 697.3                                             | 364.59                                           | -18                                          | -154.5                                      |
| 13 | 524.5                 | 0.05                      | 500                         | 0                                               | 0                                              | 566.33                                            | 235.15                                           | 100                                          | 100                                         |
| 14 | 524.5                 | 0.075                     | 450                         | 639.5                                           | 527.5                                          | 708.72                                            | 336.4                                            | 9.8                                          | -56.8                                       |
| 15 | 524.5                 | 0.1                       | 400                         | 613                                             | 471                                            | 875.14                                            | 439.53                                           | 30.0                                         | -7.2                                        |
| 16 | 524.5                 | 0.15                      | 350                         | 846.5                                           | 1242.5                                         | 981.61                                            | 594.85                                           | 13.8                                         | -108.9                                      |

#### **4.4. Yüzey Pürüzlülük Bulguları**

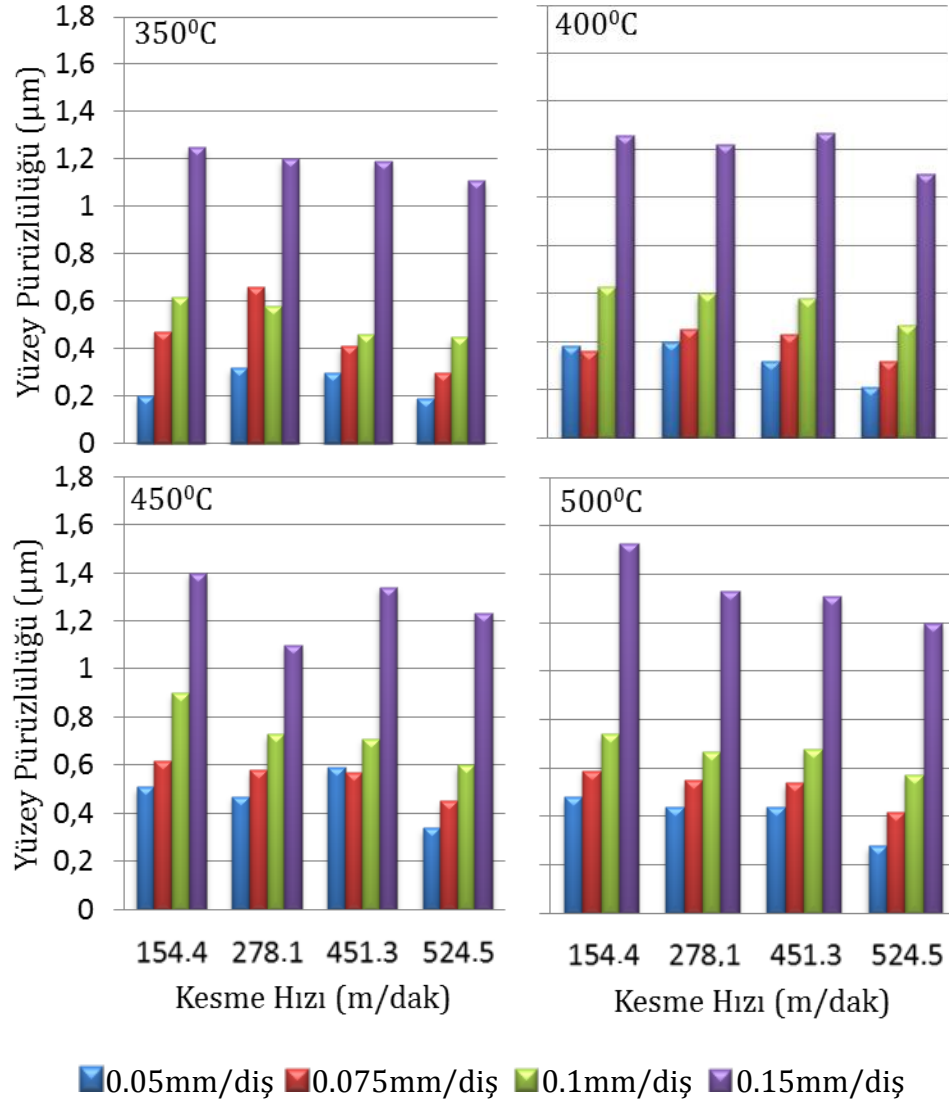
Çizelge 4.10'daki değerler kullanılarak farklı sıcaklık değerlerinde yüzey pürüzlülüğü- kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı ve yüzey pürüzlülüğü- sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur.

##### **4.4.1. Kesme Hızı- Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi**

Bu kısımda grafikler önce, ön ısıtma sıcaklıkları sabit tutularak kendi içinde değerlendirilip daha sonra Taylan (2009) tarafından yapılan konvansiyonel çalışması ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.21.ve 4.22.'de 20, 350, 400, 450, 500( $\pm 10$ )°C sıcaklıkta 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızlarında yapılan işleme sonunda elde edilen kesme hızı- yüzey pürüzlülüğü değerleri değişimleri verilmiştir.

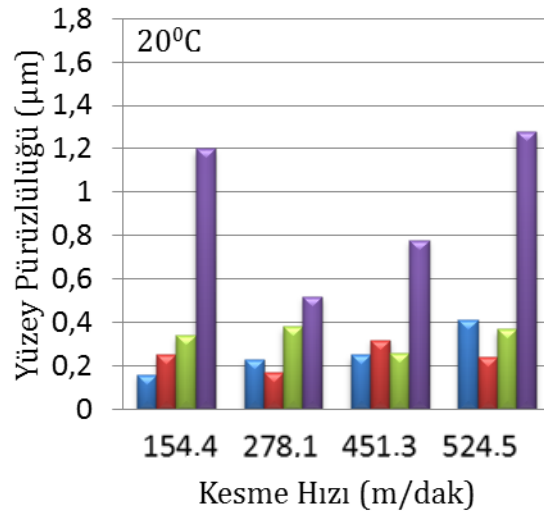
Tüm ön ısıtma sıcaklıklarında ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olmuştur. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri, ön ısıtma sıcaklığının 500°C, ilerleme hızının 0.15mm/diş ve kesme hızının 154.4m/dak'da olduğu parametrelerde elde edilen 1.53 $\mu$ m'dir. Minimum yüzey pürüzlülük değeri ise 350°C ön ısıtma sıcaklığında, 524.5m/dak kesme hızında 0.05mm/diş ilerleme hızında 0.19 $\mu$ m olarak elde edilmiştir. 450 ve 500°C ön ısıtmalı işlemede diğer ön ısıtma sıcaklıklarına göre yüzey pürüzlülük değerlerinde daha yüksek olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.21. 350, 400, 450, 500( $\pm 10$ )°C sıcaklıkta 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızlarında yapılan kesme sonunda elde edilen kesme hızı- yüzey pürüzlülüğü değerleri değişimleri

Şekil 4.22’de konvansiyonel işlemede 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızlarında elde edilen kesme hızı- yüzey pürüzlülüğü değerleri değişimleri verilmiştir (Taylan, 2009).

Konvansiyonel işleme sonucunda elde edilen değerlere göre 154.4m/dak kesme ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür. Diğer kesme hızlarında ise ilerleme hızı arttıkça düzensiz değişimlere rastlanmıştır. Minimum yüzey pürüzlülük değeri 154.4m/dak kesme hızında 0.05m/diş ilerleme hızında 0.16 $\mu\text{m}$ , maksimum değer ise 524.5m/dak kesme hızında 0.15mm/diş ilerleme hızında 1.28 $\mu\text{m}$ ’dir (Taylan, 2009).



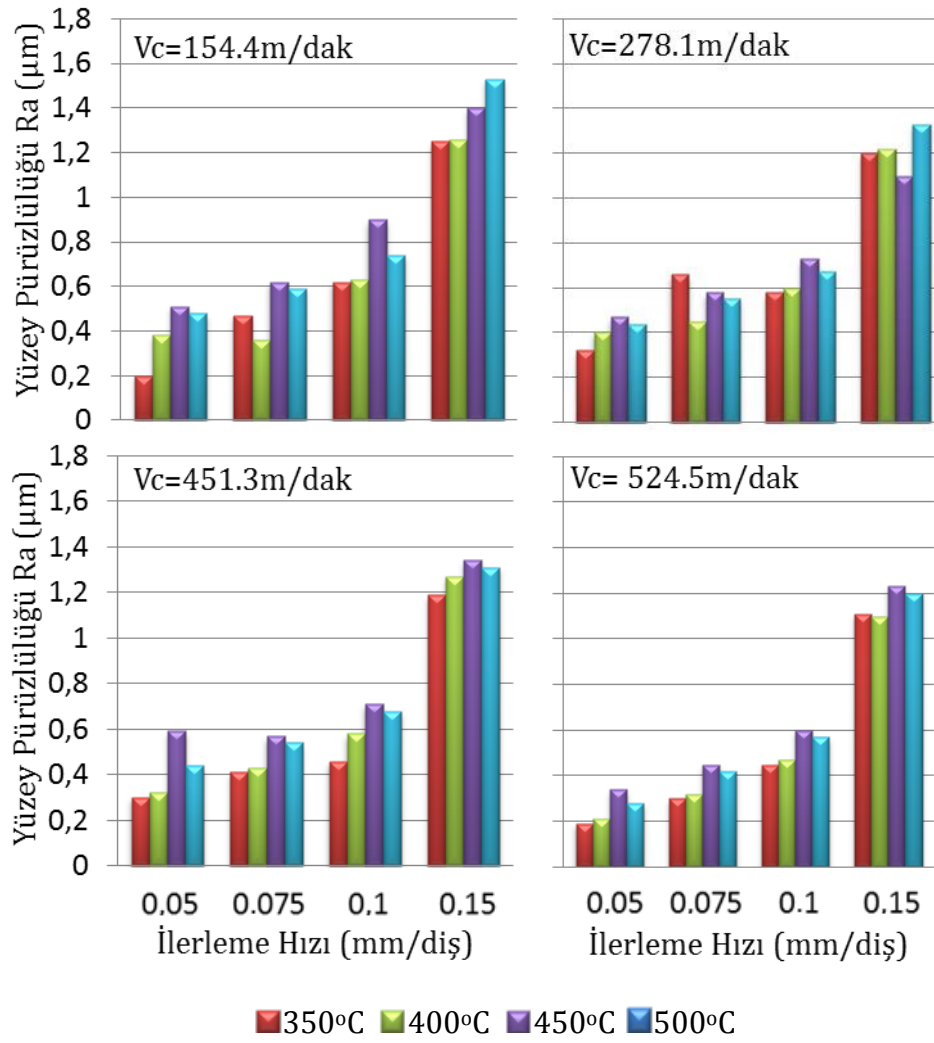
■ 0.05mm/diş ■ 0.075mm/diş ■ 0.1mm/diş ■ 0.15mm/diş

Şekil 4.22. 20(±10)°C sıcaklıkta 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızlarında yapılan kesme sonunda elde edilen kesme hızı- yüzey pürüzlülüğü değerleri değişimleri (Taylan, 2009)

#### 4.4.2. İlerleme Hızı- Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

Şekil 4.23’de 154.4m/dak kesme hızında, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında kesme işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü – ilerleme hızı değerleri değişimleri verilmiştir.

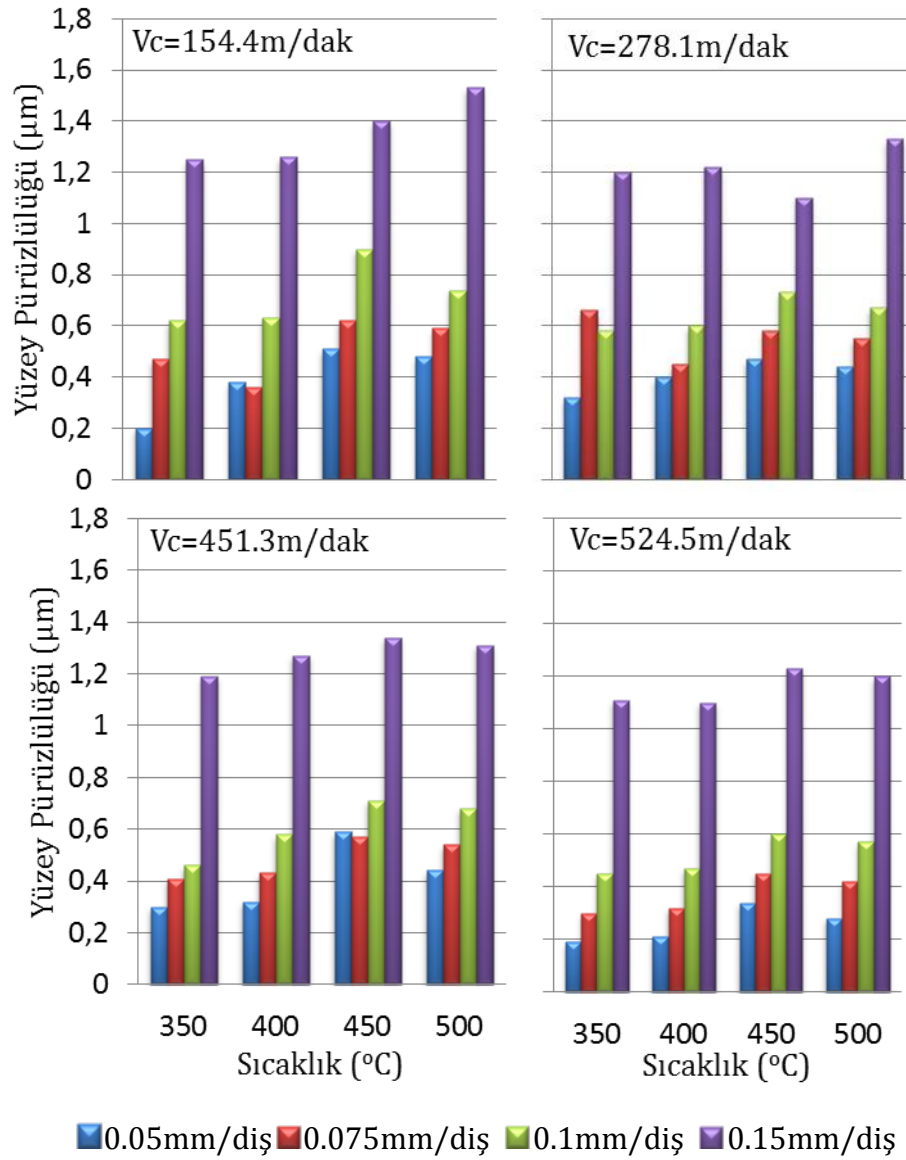
Sabit kesme hızlarında farklı ön ısıtma sıcaklıklarında ilerleme hızlarının artmasıyla pürüzlülük değerleri artmıştır. En yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızı 0.15mm/diş ile yapılan deneylerde elde edilmiştir. Özellikle ilerleme hızı 0.15mm/diş ile yapılan işleme neticesinde iş parçası yüzey pürüzlülük değeri, 0.05mm/diş ilerleme hızına göre ortalama 3 kat artış göstermiştir. İlerleme hızlarının 0.05, 0.075 ve 0.1mm/diş olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünde sıcaklıkla birlikte az artış görülmüştür.



Şekil 4.23. 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızında 0.05, 0.075, 0.1, 0.15mm/diş ilerleme hızlarında kesme işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü – ilerleme hızı değerleri değişimleri

#### 4.4.3. Sıcaklık- Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

Şekil 4.24’de 154.4m/dak kesme hızında 350, 400, 450, 500°C ön ısıtma ile yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü-ön ısıtma sıcaklığı değerleri değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.24. 154.4, 278.1, 451.3, 524.5m/dak kesme hızında 350, 400, 450, 500°C ön ısıtma ile yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü-ön ısıtma sıcaklığı değerleri değişimleri

Sabit ön ısıtma sıcaklığında ilerleme hızının artmasıyla pürüzlülük değerlerinde artış gözlenmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değerlerine, 350°C ön ısıtma sıcaklığı ve 524.5m/dak kesme hızında yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Ön ısıtmalı işlemenin yüzey pürüzlülük değerlerine olumlu bir etkisinin olamadığı tespit edilmiştir. Konvansiyonel işlemede elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, ön ısıtmalı işlemede elde edilen değerlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir(Taylan, 2009).

Literatürde yapılan çalışmalarda ön ısıtmalı işlemede yüzey pürüzlülük değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (Goudhaman, 2007; Anderson vd., 2006; Skvarenina vd., 2006; Chang vd., 2007; Tian vd., 2008; Amin vd., 2003). Skvarenina (2006) tarafından kompakt grafit demir ile lazerle ön ısıtmalı yapılan çalışmada konvansiyonel işlemeye göre %5 yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler bulunduğu belirtilmiştir. İnconel 718 malzemesi ile yapılan ön ısıtmalı işleme sonunda yüzey pürüzlülüğü değerinde %20 azalma sağlandığı tespit edilmiştir (Navas vd. 2013; Brecher vd., 2011). Lazer ısı kaynağı ile ön ısıtmaya tabi tutulan inconel 718 malzemesinde %30 daha iyi pürüzlülük değerleri elde edildiği bildirilmiştir (Tian vd., 2008).

Çalışmada ise yüzey pürüzlülük değerlerinde ön ısıtma sıcaklığının iyileştirici bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Tüm ön ısıtma sıcaklıklarında 0.15mm/diş ilerleme hızında, maksimum takım aşınma ve maksimum yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Ayrıca ön ısıtmalı işleme CBN takımlarla sertleştirilmiş çelikler ile yapılmış ve ön ısıtma sıcaklığının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı tespit edilmiş çalışmalarda mevcuttur (Raghavan vd., 2013; Panjehpour vd., 2014). Başka bir çalışmada çelik malzeme ile yapılan konvansiyonel işlemede ön ısıtma sıcaklığı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artmış daha sonra azalmıştır. Fakat yine konvansiyonel işleme kadar iyi yüzey elde edilememiştir (Jeon vd., 2008). Literatürde ön ısıtma sıcaklığını artışıyla yüzey pürüzlülük değerinin artışı, iş parçasının yumuşamasıyla kesme sırasında oluşan talaş kesici takıma yapışmakta ve takım çapının arttırmakta ve bu sayede işlemede kötü yüzey elde edilmekte şeklinde açıklanmıştır (Jeon vd., 2008). Çalışmamızda, konvansiyonel işlemeye göre ön ısıtmalı işlemede elde edilen kötü yüzey kalitesinin bu nedenden olduğu düşünülmektedir.

Konvansiyonel işlemeye göre ön ısıtmalı işlemede elde edilen sonuçlara göre çizelge 4.16'da yüzey pürüzlülük değerlerinin % değişimleri verilmiştir.

Konvansiyonel işlemeye göre ön ısıtma sıcaklığı 500°C'de 13. satırdaki, ön ısıtma sıcaklığı 350°C'de 16. satırdaki deney parametrelerine göre yapılan

deneylerin sonuçlarına göre yüzey pürüzlülük değerlerinde sırasıyla %31.7, %13.3 iyileşmeler olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.16. Ön ısıtmalı işlemenin, konvansiyonel işlemeye(Taylan, 2009) göre yüzey pürüzlülük değerlerinin % değişimleri

|    | Kesme Hızı (Vc)<br>(m/dak) | Tabla İlerleme Hızı<br>(f) (mm/diş) | Sıcaklık (°C) | Ön Isıtmalı<br>İşlemede Ra (µm) | Konvansiyonel İşl.<br>Ra (µm) | Ra % Değişimi |
|----|----------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------|
| 1  | 154.4                      | 0.05                                | 350           | 0.19                            | 0.16                          | %-25.0        |
| 2  | 154.4                      | 0.075                               | 400           | 0.36                            | 0.25                          | %-44.0        |
| 3  | 154.4                      | 0.1                                 | 450           | 0.9                             | 0.49                          | %-83.7        |
| 4  | 154.4                      | 0.15                                | 500           | 1.53                            | 1.35                          | %-13.3        |
| 5  | 278.1                      | 0.05                                | 400           | 0.4                             | 0.23                          | %-73.9        |
| 6  | 278.1                      | 0.075                               | 350           | 0.66                            | 0.17                          | %-288.2       |
| 7  | 278.1                      | 0.1                                 | 500           | 0.67                            | 0.38                          | %-76.3        |
| 8  | 278.1                      | 0.15                                | 450           | 1.1                             | 0.52                          | %-111.5       |
| 9  | 451.3                      | 0.05                                | 450           | 0.59                            | 0.25                          | %-136.0       |
| 10 | 451.3                      | 0.075                               | 500           | 0.54                            | 0.32                          | %-68.8        |
| 11 | 451.3                      | 0.1                                 | 350           | 0.46                            | 0.26                          | %-76.9        |
| 12 | 451.3                      | 0.15                                | 400           | 1.27                            | 0.78                          | %-62.8        |
| 13 | 524.5                      | 0.05                                | 500           | 0.28                            | 0.41                          | %31.7         |
| 14 | 524.5                      | 0.075                               | 450           | 0.45                            | 0.24                          | %-87.5        |
| 15 | 524.5                      | 0.1                                 | 400           | 0.47                            | 0.37                          | %-27.0        |
| 16 | 524.5                      | 0.15                                | 350           | 1.11                            | 1.28                          | %13.3         |

#### 4.5. İşparçası Sertlik Değerleri ve Mikro Yapısı

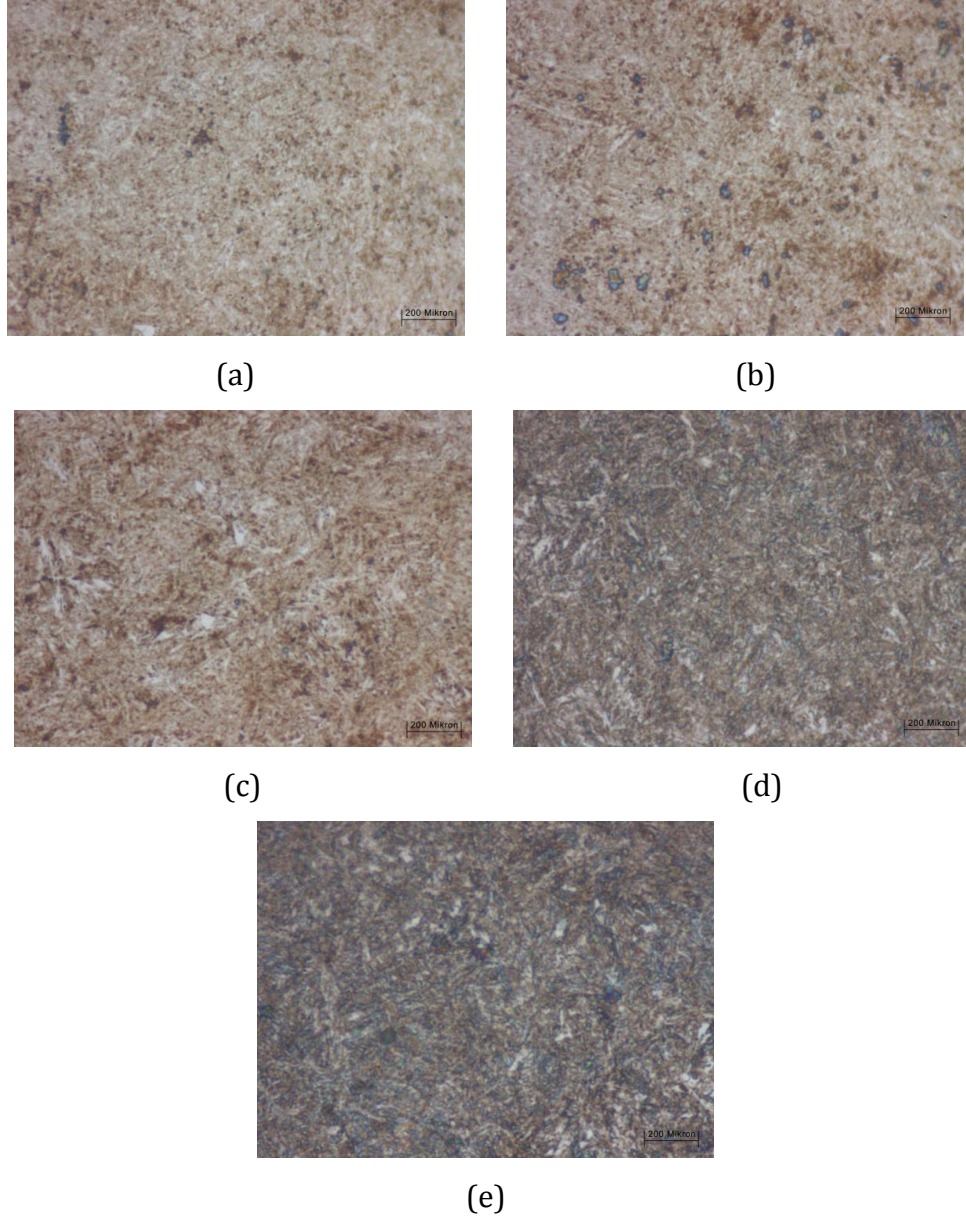
Çalışmada kullanılan soğuk iş takım çeliğinin sertliğinin 61HRC değerindedir. Konvansiyonel ve ön ısıtmalı işlemeye tabi tutulduktan sonra beş ayrı noktadan 3 kez alınan sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Farklı ön ısıtma sıcaklıklarda malzeme sertlik değerleri

|                          | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     |
|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Malzeme Sıcaklığı (°C)   | 20°C | 350°C | 400°C | 450°C | 500°C |
| Sertlik Ortalaması (HRC) | 61   | 58.6  | 58.3  | 58.9  | 58.6  |

Çizelge 4.17'den anlaşıldığı gibi sertlik değerlerinde bir değişim olmamıştır.

Deney numunesi olarak kullanılan malzeme ile malzemenin ön ısıtmalı işlemeden sonraki sertlik değerinde değişim yoktur.



Şekil 4.25. İş parçası malzemelerinin tanecik yapıları, a) Konvansiyonel (20°C) işlenmiş malzeme, b) 350°C ön ısıtma yapılmış malzeme, c) 400°C ön ısıtma yapılmış malzeme, d) 450°C ön ısıtma yapılmış malzeme, e) 500°C ön ısıtma yapılmış malzeme

#### 4.6. ANOVA Analizi Sonuçları

Varyans analizi (Analysis of Variance: ANOVA) ile hangi işlem üzerinde hangi faktörlerin ne derecede etkili oldukları istatistiksel olarak ortaya konur. Varyans analizinden amaç, incelenen faktörlerin, kaliteyi ölçebilmek için seçilen çıktı değerlerini ne oranda etkilediklerini ve farklı seviyelerin nasıl bir değişkenliğe neden olduklarını ortaya koyabilmektir. Ayrıca elde edilen sonuçların istatistiksel olarak güvenilirliği de test edilir (Çetin, 2010).

Ön ısıtılmalı frezeleme işlemlerinden hangi kesme parametresinin kesme kuvveti ( $F_c$ ,  $F_f$ ), yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) ve takım aşınma değerlerinde etkili olduğunu anlayabilmek için deney sonuçları Design Expert 6.0.10 programı kullanılarak ANOVA analizine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.18’de ANOVA analizinde kullanılan seviye ve parametreler verilmiştir. Analiz sonunda elde edilen ANOVA bulguları Çizelge 4.19-4.22’de belirtilmiştir. Çizelgelerdeki p değerinin 0.05 değerine eşit ya da küçük olması, %95 güvenilirlik seviyesinde deney parametrelerinin deney sonuçları üzerindeki etkileşimlerinin fiziki ve istatistiki öneme sahip olup olmadığını belirtmektedir. Yani karşılaştırılan grupların ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğuna karar verilir.

Çizelge 4.18. Deney parametreleri ve seviyeleri

| Seviye | Kesme hızı<br>$V_c$ (m/dak) | İlerleme hızı<br>$f$ (mm/devir) | Ön Isıtma<br>Sıcaklığı $T$ (°C) |
|--------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1      | 524.5                       | 0.05                            | 500                             |
| 2      | 451.3                       | 0.075                           | 450                             |
| 3      | 278.1                       | 0.1                             | 400                             |
| 4      | 154.4                       | 0.15                            | 350                             |

Kesme hızı, ilerleme hızı ve ön ısıtma sıcaklık verilerinin ANOVA analizi sonucunda ilerleme hızı ve kesme hızı parametrelerine olan etkisi p değerinin 0.05’den küçük olduğu ve bu parametre ortalama verilerinin  $F_c$  kesme kuvveti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu tesbit edilmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19.  $F_c$  kesme kuvveti için anova bulguları

|               | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F Değeri | p      |
|---------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|--------|
| Sıcaklık      | 3                   | 124100          | 41367              | 2.88     | 0.1248 |
| İlerleme Hızı | 3                   | 1061000         | 0.000354           | 24.67    | 0.0009 |
| Kesme Hızı    | 3                   | 161300          | 0.000150           | 10.44    | 0.0149 |
| Hata          | 6                   | 86035.38        | 14339.23           |          |        |
| Toplam        | 15                  |                 |                    |          |        |

Kesme hızı, ilerleme hızı ve ön ısıtma sıcaklık verilerinin analizi sonucunda Çizelge 4.20’de ilerleme hızının p değeri 0.05’den küçük olduğu ve bu parametre ortalama verilerinin  $F_f$  kesme kuvveti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu tesbit edilmiştir.

Çizelge 4.20.  $F_f$  kuvvet için anova bulguları

|               | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F Değeri | p      |
|---------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|--------|
| Sıcaklık      | 3                   | 38272.5         | 12757.5            | 0.62     | 0.6293 |
| İlerleme Hızı | 3                   | 621700          | 207200             | 0.01     | 0.0094 |
| Kesme Hızı    | 3                   | 40038.5         | 13346.17           | 0.64     | 0.614  |
| Hata          | 6                   |                 |                    |          |        |
| Toplam        | 15                  |                 |                    |          |        |

Kesme hızı, ilerleme hızı ve ön ısıtma sıcaklık verilerinin ANOVA analizi sonucunda ilerleme hızına olan etkisi Çizelge 4.21’de p değerinin 0.05’den küçük olduğu ve bu parametre ortalama verilerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu tesbit edilmiştir.

Çizelge 4.21. Yüzey pürüzlülüğü için anova bulguları

|               | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F Değeri | p      |
|---------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|--------|
| Sıcaklık      | 3                   | 51030           | 17010              | 0,83     | 0,8390 |
| İlerleme Hızı | 3                   | 828933,3        | 276266,7           | 0,01     | 0,0062 |
| Kesme Hızı    | 3                   | 53384,67        | 17794,89           | 0,85     | 0,8186 |
| Hata          | 6                   |                 |                    |          |        |
| Toplam        | 15                  |                 |                    |          |        |

Kesme hızı, ilerleme hızı ve ön ısıtma sıcaklık verilerinin ANOVA analizi sonucunda sıcaklık ve kesme hızına olan etkisi Çizelge 4.22’de p değerinin

0.05'den küçük olduğu ve bu parametre ortalama verilerinin takım aşınması üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu tesbit edilmiştir.

Çizelge 4.22. Takım aşınma için anova bulguları

|            | Serbestlik<br>Derecesi | Kareler<br>Toplamı | Kareler<br>Ortalaması | F<br>Değeri | p      |
|------------|------------------------|--------------------|-----------------------|-------------|--------|
| Sıcaklık   | 3                      | 85050              | 283507                | 1.38        | 0.0010 |
| İlerleme   | 3                      | 1381556            | 4604.4                | 0.02        | 1.3984 |
| Kesme Hızı | 3                      | 88974.44           | 296587.16             | 1.42        | 0.0010 |
| Hata       | 6                      |                    |                       |             |        |
| Toplam     | 15                     |                    |                       |             |        |

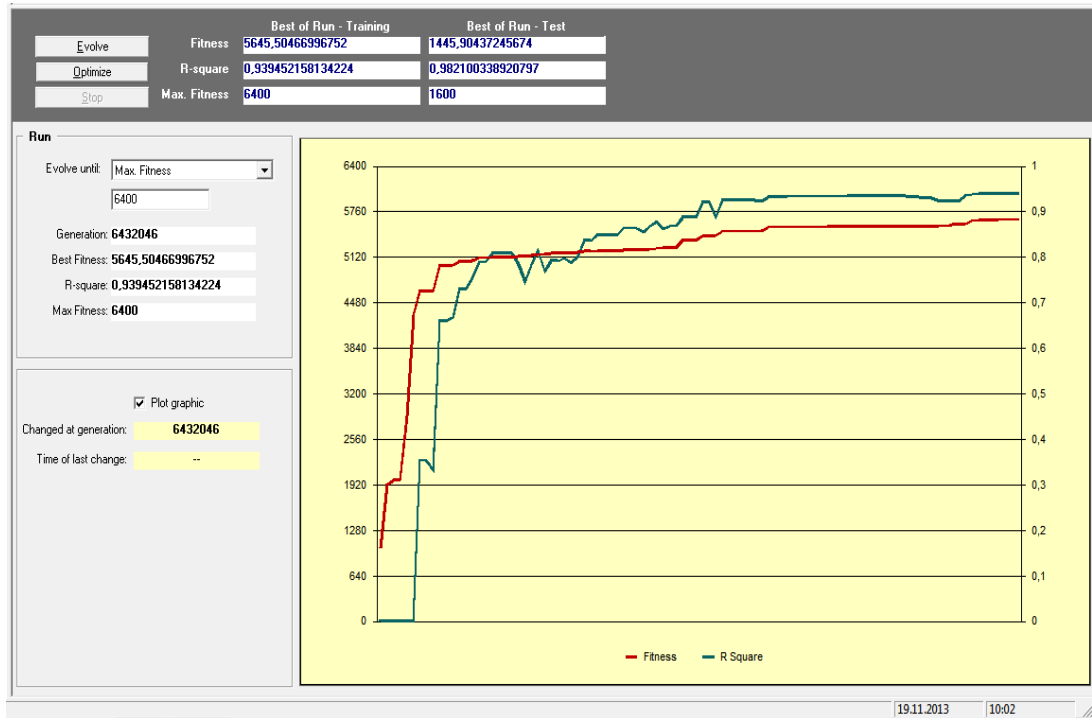
#### **4.7. Evrimsel Programlama ile Modelleme**

Genetik algoritma ve genetik programlama algoritmalarının bir bileşkesi olarak geniş bir fonksiyon taramasına sahip evrimsel programlama algoritması ile aşınma derinliği ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmini için modelleme yapılmıştır.

Farklı kesme parametreleri ve bu parametrelerle yapılan deney sonuçları kullanılarak iki ayrı modelleme yapılmıştır. Her iki modelde de, kesme hızı ve tabla ilerleme hızı girdi parametresi olarak değerlendirilmiştir. İlk modelde yüzey pürüzlülüğü, ikinci modelde ise aşınma derinliği çıktı parametresi olarak belirlenmiştir. Toplam 64 adet farklı kesme parametresinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deney sayısının %75'ini oluşturan 48 adet deney verisi modellemenin eğitim kısmında, kalan %25'lik kısım, yani 16 adet veri ise modellemelerin test kısımlarında kullanılmıştır. Modelde, seçim aralığı, uygunluk ve maksimum uygunluk gibi seçenekler sık sık değiştirilerek çok sayıda evrimsel model kurulmuştur.

##### **4.7.1. Yüzey Pürüzlülüğü Tahmini için Model Tasarımı**

Yüzey pürüzlülüğü tahmini için çok sayıda model oluşturularak test edilmiştir. Deney verileri 50 kromozoma bölünerek 0.044 mutasyon işlemine tabi tutulmuş, 6432046 iterasyon sonucunda  $R^2=0.939$ 'lık doğruluk değerine ulaşılmıştır (Şekil 4.26.).



Şekil 4.26. Yüzey pürüzlülük tahmini için kurulan evrimsel programlama modeli

Modelden, %93.9'luk doğruluk payı elde edilmiştir. Ayrıca oluşturulan visual basic kodu aşağıda verilmiştir.

Burada d(0) Vc kesme hızı, (d1) f ilerleme hızı, (d2) ise T ön ısıtma sıcaklığıdır.

Function APSfunction(ByRef d() As Double) As Double

Dim dblTemp As Double

dblTemp = 0

dblTemp = dblTemp + ((((((d(2) \* d(1)) + (d(1) + d(2)))) / (((d(2) + d(2)) + d(2)))) + d(1))

dblTemp = dblTemp + ((((((d(1)\*d(2))\*(d(1)\* d(1))) \* ((d(1) + d(1)) + d(1))) + d(1))

dblTemp = dblTemp + ((((((d(2) - d(0))) / (d(2))) \* (d(0) + d(0)))) / (((d(2) \* d(2)) + (d(0) + d(0))))

APSfunction = dblTemp

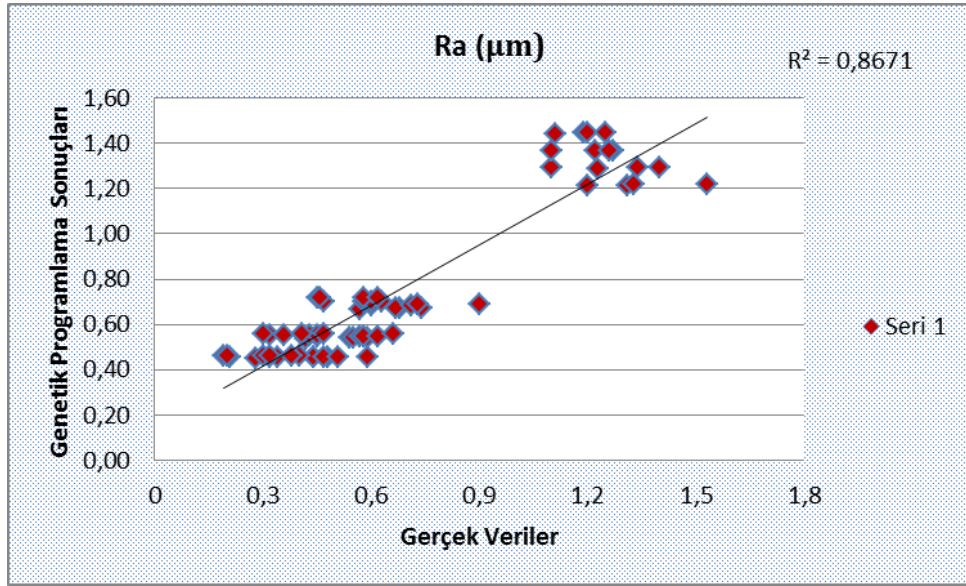
End Function

Elde edilen visual basic kodu ile kesme parametreleri değiştiğinde bile yzey pürüzlülüğü değerlerini %93.4 oranında tahmin edebilmektedir. Yzey pürüzlülük değerinin tahmini için program tarafından oluşturulan visual basic kodunun matematiksel olarak ifadesi;

$$Ra = \left( \frac{(T \cdot f) + (f + T)}{3T} + f \right) + (f^3 \cdot T \cdot (2f + T)) + \left( \frac{T - V_c}{T} \cdot 2V_c \right) / (T^2 + 2V_c) \quad 4.1.$$

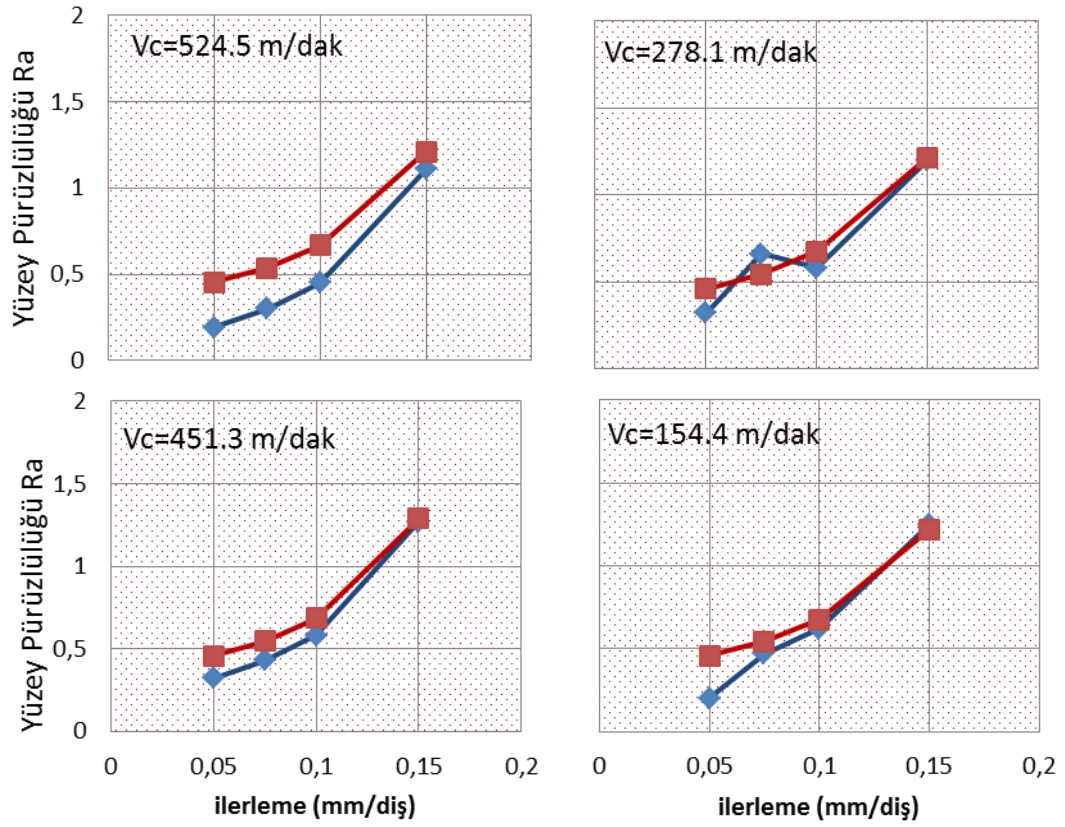
şeklindedir.

Çalışmada tespit edilen yzey pürüzlülük değerleri ile evrimsel programlamada ki matematiksel denklem kurularak hesaplanan veriler karşılaştırılmış ve aralarındaki ilişki en küçük kareler metoduna göre 0.8671 olarak bulunmuştur (şekil 4.27.).

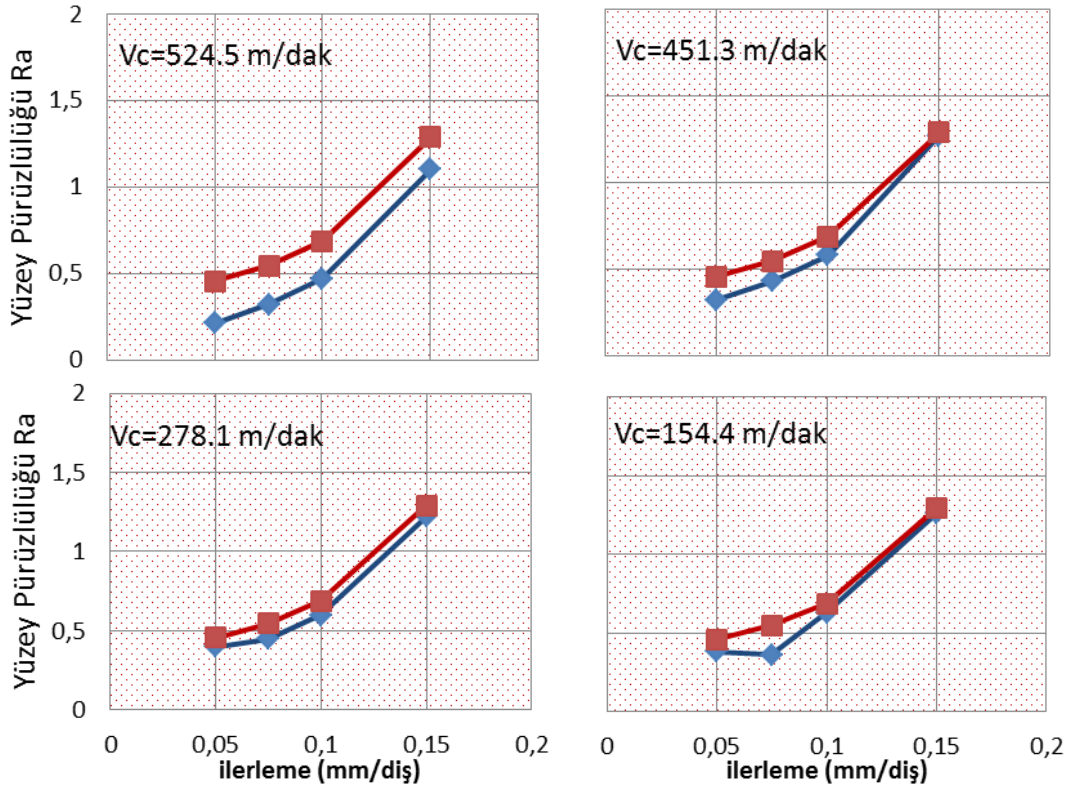


şekil 4.27. Yzey pürüzlülük verileri ile evrimsel programlama verilerinin karşılaştırılması

Denklem 4.1 kullanılarak kesme parametrelerine göre yzey pürüzlülük değerleri hesaplanmış ve çalışmadan elde edilen değerlerle grafiksel olarak karşılaştırılması yapılmıştır (şekil 4.28.-4.31.).

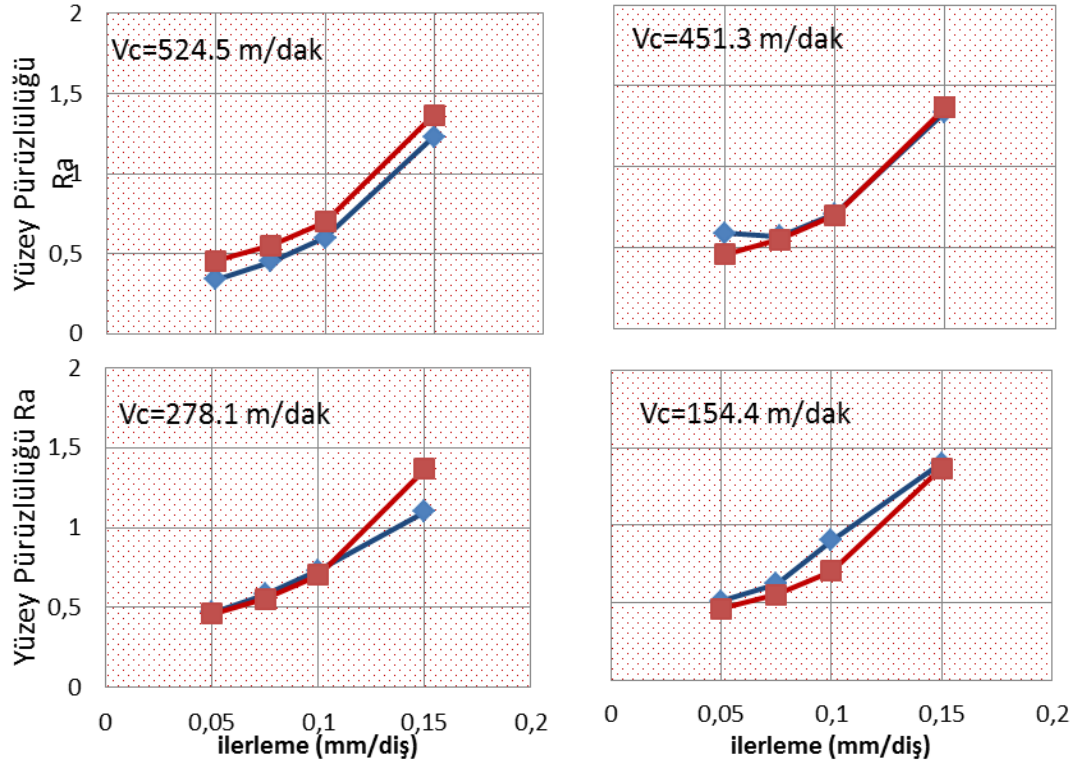


Şekil 4.28. Ön ısıtma sıcaklığı 350°C'de yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması

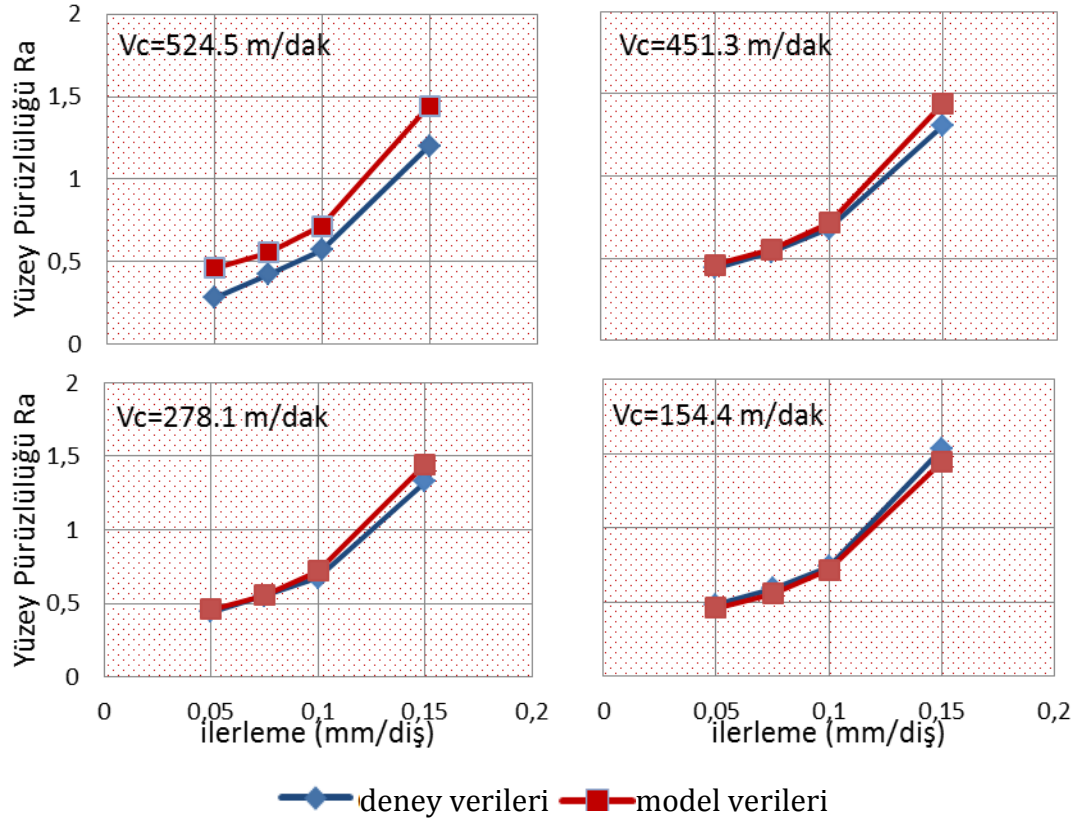


—♦— deney verileri —■— model verileri

Şekil 4.29. Ön ısıtma sıcaklığı 400°C'de yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.30. Ön ısıtma sıcaklığı 450°C'de yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması

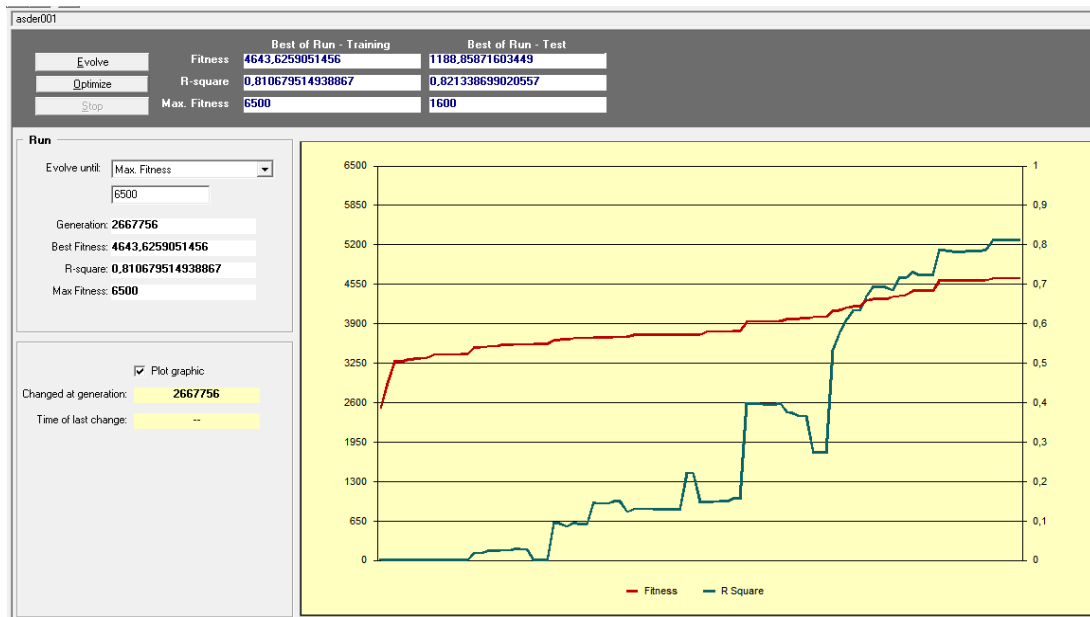


Şekil 4.31. Ön ısıtma sıcaklığı 500°C'de yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 28-31'deki yüzey pürüzlülük değerlerinin model verileri ve çalışma verileri ile benzer şekilde değişim gösterdiği anlaşılmıştır.

#### 4.7.2. Aşınma Derinliği Tahmini İçin Model Tasarımı

Aşınma derinliği tahmini için çok sayıda model oluşturularak test edilmiştir. Deney verileri 50 kromozoma bölünerek 0.044 mutasyon işlemine tabi tutulmuş, 2667756 iterasyon sonucunda  $R^2=0.81$ 'lık doğruluk değerine ulaşılmıştır (Şekil 4.32.).



Şekil 4.32. Aşınma derinlik tahmini için kurulan evrimsel programlama modeli

Modelden, %81'lik doğruluk payı elde edilmiştir. Ayrıca oluşturulan visual basic kodu aşağıda verilmiştir.

Burada  $d(0)$ ,  $V_c$  kesme hızı,  $d(1)$ , f ilerleme hızı,  $d(2)$  ise  $T$  ön ısıtma sıcaklığıdır.

Dim dblTemp As Double

dblTemp = 0

dblTemp = dblTemp + (10 ^ (IIf(Exp(Sin((Log(d(2)) / Log(10)))) >= ((-Int(-d(0))) ^ Tan(d(1))), Exp(Sin((Log(d(2)) / Log(10)))), ((-Int(-d(0))) ^ Tan(d(1))))))

```

dblTemp = dblTemp + If(d(0) > (((((d(2) ^ d(1)) * d(0))) / (Tan(d(0)))) + d(0)),
d(0), (((((d(2) ^ d(1)) * d(0))) / (Tan(d(0)))) + d(0)))
dblTemp = dblTemp + (((((Log(d(1))-Cos(d(0))))/(Sin(Sqr(d(1)))))))/(d(1)))
APSfunction = dblTemp
End Function

```

Elde edilen visual basic kodu ile kesme parametreleri değiştiğinde bile aşınma derinlik değerlerini %94 oranında tahmin edebilmektedir. Aşınma derinlik değerinin tahmini için program tarafından oluşturulan visual basic kodunun matematiksel olarak ifadesi;

Eğer  $10^{e^{\sin(\log(T)) \geq -\text{Int}(-V_c) \tan(f)}}$  ise

$$V_b = e^{\sin(\log(T))}$$

$10^{e^{\sin(\log(T)) \geq -\text{Int}(-V_c) \tan(f)}}$  değilse

$$V_b = (-\text{Int}(-V_c))^{\tan(f)}$$

Eğer  $V_c > \frac{((T^f).V_c)}{\tan(V_c)} + V_c$  ise

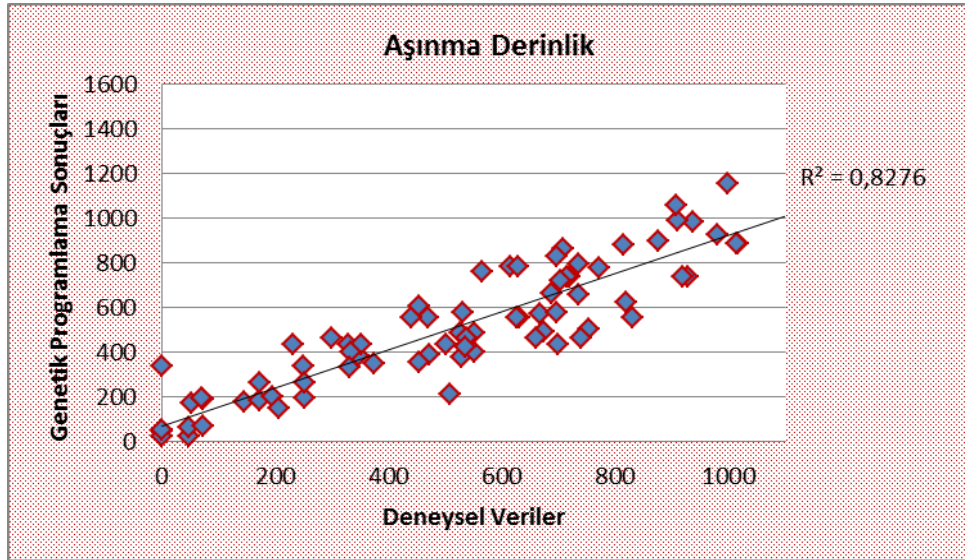
$$V_c = V_c$$

$V_c > \left(\frac{((T^f).V_c)}{\tan(V_c)}\right) + V_c$  değilse

$$V_c = \frac{(T^f).V_c}{\tan(v_c)} + V_c$$

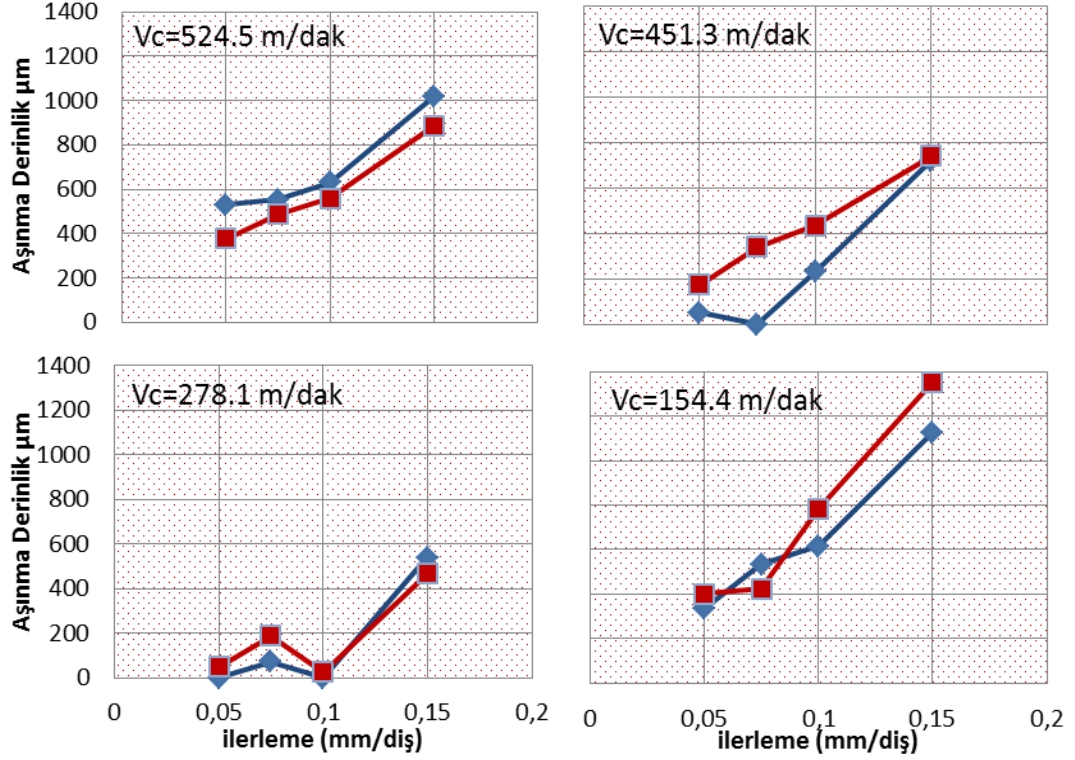
$$V_b = \frac{(\log(f) - \cos(V_c)) / \sin(\sqrt{f})}{f} \quad 4.2$$

Çalışmada tespit edilen aşınma derinlik değerleri ile evrimsel programlamada ki matematiksel denklem kurularak hesaplanan veriler karşılaştırılmış ve aralarındaki ilişki en küçük kareler metoduna göre 0.8276 olarak bulunmuştur (Şekil 4.33.).

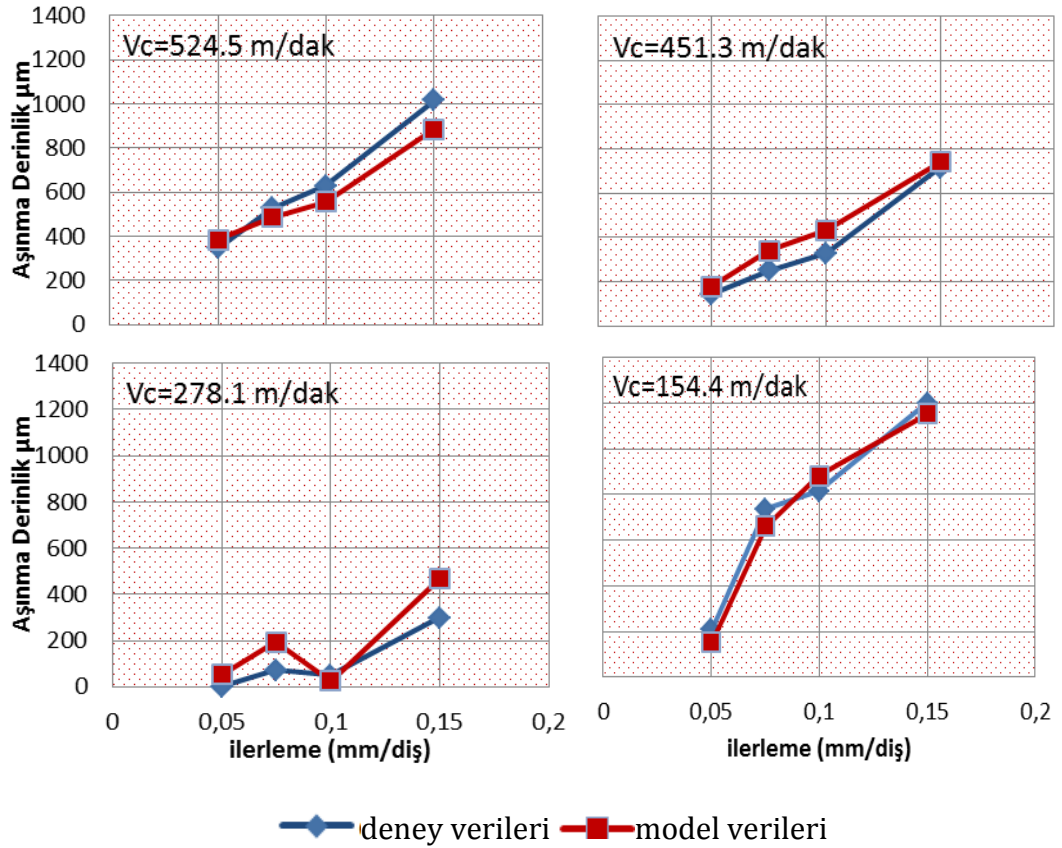


Şekil 4.33. Aşınma derinlik verileri ile evrimsel programlama verilerinin karşılaştırılması

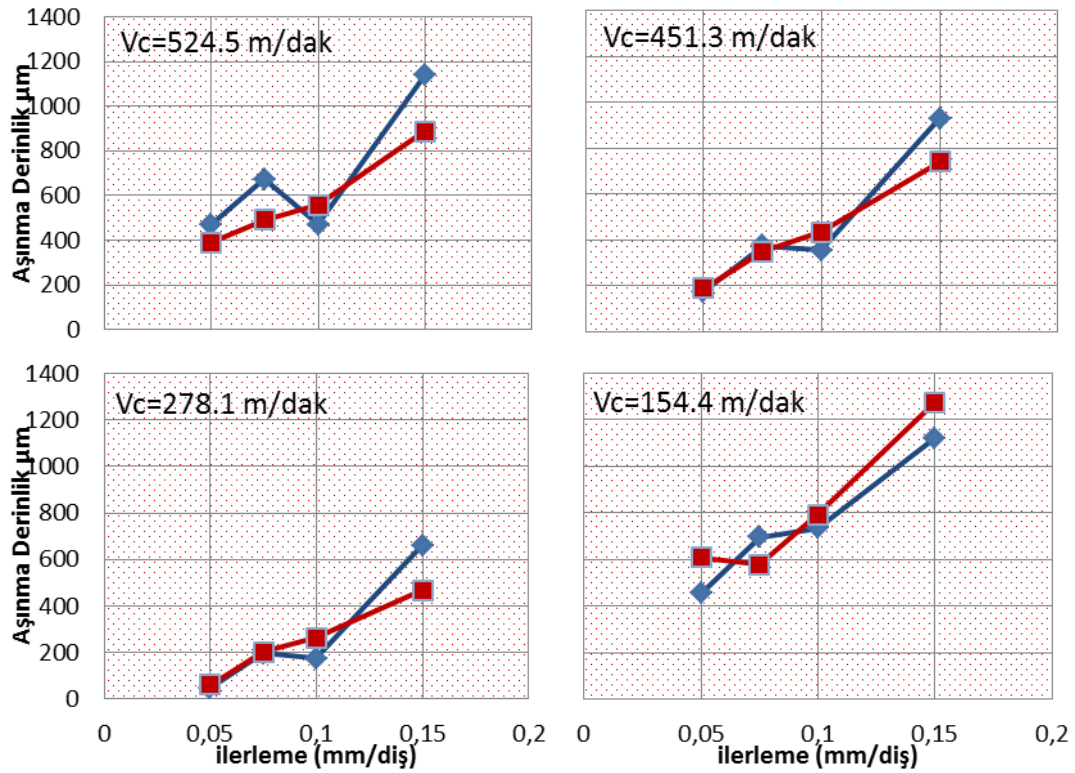
Denklem 4.2 kullanılarak kesme parametrelerine göre aşınma derinlik değerleri hesaplanmış ve çalışmadan elde edilen değerlerle grafiksel olarak karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 4.34-4.37).



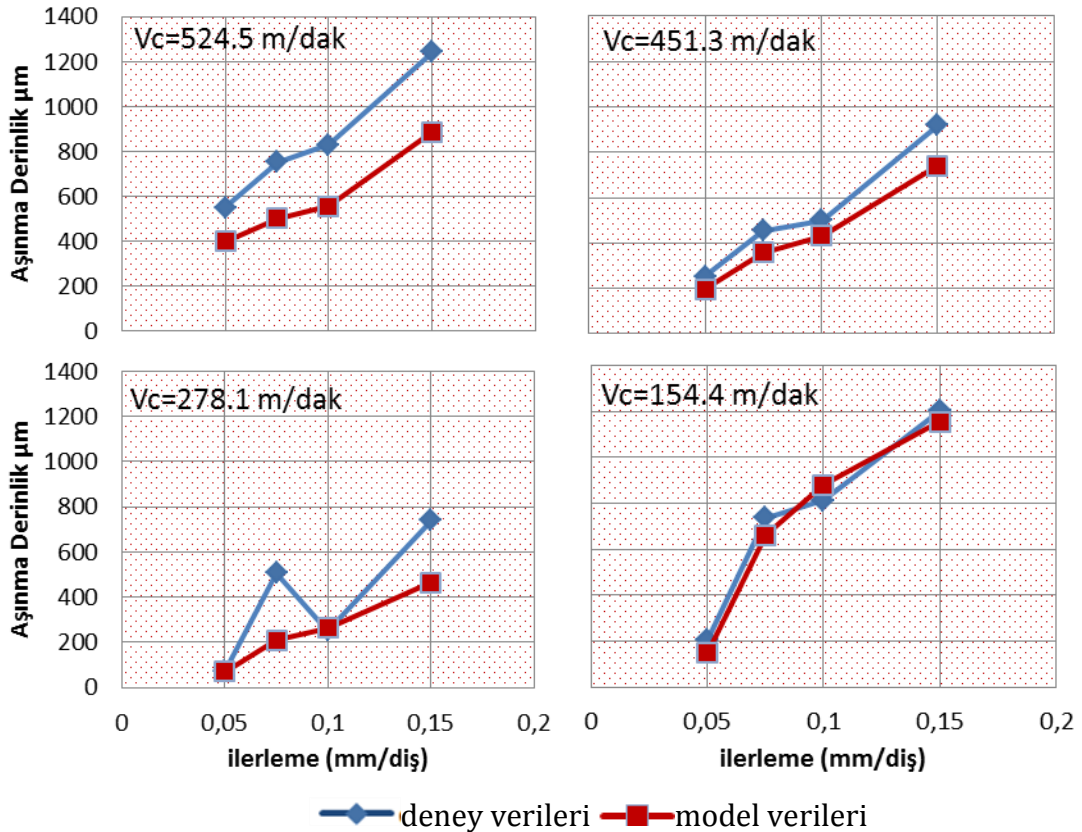
Şekil 4.34. 500°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma derinliği-ilerleme deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.35. 450°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma derinliği-ilerleme deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.36. 400°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma derinliği-ilerleme deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.37. 350°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen aşınma derinliği-ilerleme deneysel ve modelleme grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 35-37'deki takım aşınma derinlik değerlerinin model verileri ve çalışma verilerin değişimlerinin paralellik gösterdiği anlaşılmıştır. Ön ısıtma sıcaklığı 500°C, 451.3m/dak kesme hızında, verilerin saptığı görülmüştür. Ön ısıtma sıcaklığı 500°C, 451.3m/dak kesme hızında model verilerinin deney verilerinden büyük, 400°C, 524.5m/dak kesme hızında, 350°C, 524.5 ve 278.1m/dak kesme hızında ise deney verilerinin model verilerinde daha büyük olduğu anlaşılmıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sert malzeme işlemede en büyük problem, işleme esnasında kesici takımların çabuk aşınması ve kırılmasıdır. Bu durum işleme maliyetinin artışı ve işlemenin zorlaşmasına sebep olur. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla sert malzemelerin işlenmesinde ön ısıtılmalı işleme tercih edilmektedir. Bu çalışmada, 61HRC sertliğindeki, DIN 1.2842 soğuk iş takım çeliği, ön ısıtma uygulanarak, CBN kesici uçlar ile CNC dikey işleme merkezinde işlenmiştir. Kesme işlemi esnasında oluşan kesme kuvveti bileşenleri ve kesme sonunda yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınma değerleri belirlenmiştir. Taguchi metodu ile oluşturulan L16 tasarımına göre deneyler yapıldıktan sonra verilerin istatistiki analizi ANOVA tarafından yapılmıştır. Ön ısıtılmalı işleme sonucunda iş parçası sertliği ve mikro yapılarına bakılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak evrimsel programlama ile model oluşturulmuş, kesici uçlarda oluşabilecek aşınma miktarları ve yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmini için denklem geliştirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ön ısıtılmalı işleme yapılırken, uzun takım ömrü ve en iyi yüzey kalitesi elde edebilmek için en uygun sıcaklıklarda çalışılması gerekmektedir. Şayet seçilen ön ısıtma sıcaklıkları çok yüksek ise erken kesici takım hasarlarına yol açabilir. Bu durum iş parçası yüzeyinin bozulmasına, işleme maliyetinin yükselmesine sebep olmaktadır. Buna karşın, seçilen düşük ön ısıtma sıcaklığı ile de kesici takım ömründe, oluşan işleme kalitesinde, kesme kuvvetlerine beklenen iyileştirmeler elde edilememektedir (Chang vd., 2007). Bütün bunlar dikkate alındığında, ön ısıtma sıcaklığı malzemelerin yeniden-kristalleşme sıcaklığının altında olmalıdır (Maity vd., 2008, Özler vd., 2001). Soğuk iş takım çeliğinin yeniden kristalleşme sıcaklığının maksimum 565°C olduğu bilinmekte bu nedenle en yüksek ön ısıtma sıcaklığı 500°C olarak seçilmiştir. Çalışmada uygulanan farklı ön ısıtma sıcaklıkları arasında 500°C’de yapılan frezeleme sonunda minimum takım aşınma ve kesme kuvveti değerleri tespit edilmiştir.

- Literatürde, ön ısıtma ve konvansiyonel yapılan çalışmalar incelendiğinde takım aşınması olarak çoğunlukla yan yüzey aşınması, krater aşınması ve çentik aşınması görülmüştür. Bu çalışmada, deneysel verilerden elde edilen kesici uçlardaki aşınmalar TEM ile incelendiğinde, aşınma görülmeyen takımlara ve çentik aşınmasına rastlanmıştır. Ön ısıtma sıcaklığı 350, 400°C’de elde edilen deney sonuçlarına göre takımlarda %25 mikro, %75 makro çentiklenme gerçekleşmiştir. 450°C ön ısıtma sıcaklığı ile elde edilen deney sonuçlarında ise %100 makro çentiklenme, 500°C ön ısıtma sıcaklığı ile elde edilen deney sonuçlarında ise %50 aşınmasız, %25 mikro çentiklenme, %25 takımda makro çentiklenme olduğu gözlenmiştir. Konvansiyonel işlemede ise ön ısıtma işlemeye göre daha kötü takım aşınma değerlerine rastlanmıştır. Konvansiyonel işlemede takımlarda %93.75 makro çentiklenme, %6.25 kırılma gözlenmiştir (Taylan, 2009).

Konvansiyonel işlemeye göre, ön ısıtma sıcaklığı 500°C’de iken 451.3m/dak 0.075mm/diş ilerleme hızında ve 524.5m/dak kesme hızı, 0.05mm/diş ilerleme hızında takım aşınmasında %100, 400°C ön ısıtma sıcaklığı 278.1m/dak kesme hızı 0.075mm/diş ilerleme hızında takım aşınmasında %87.4 iyileşmeler gözlenmiştir.

Ön ısıtma sıcaklığı 500°C’de iken 451.3m/dak kesme hızı, 0.075mm/diş ilerleme hızında ve 524.5m/dak kesme hızı, 0.05mm/diş ilerleme hızında takım ucunda aşınma gerçekleşmemiştir. Konvansiyonel işlemede ise aynı parametrelerde yapılan deneylerin sonucunda elde edilen takımlarda makro çentiklenmeler gözlenmiştir (Taylan, 2009). Diğer ön ısıtma sıcaklıklarında elde edilen aşınma değerlerinde mikro ve makro çentiklenmelere rastlanmıştır.

Sonuç olarak bütün bu veriler doğrultusunda, literatürle benzer olarak ön ısıtma işlemine konvansiyonel işlemeye göre takım aşınmasının ciddi manada iyileştirdiği tespit edilmiştir. Tüm ön ısıtma sıcaklıklarında yapılan deneylerde 278.1m/dak kesme hızında minimum takım aşınma değerlerine rastlanmıştır. Soğuk iş takım çeliğinin ön ısıtma CBN takımlarla frezeleme uygulamalarında, 278.1m/dak kesme hızının en uygun kesme hızı olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, en

az takım aşınma değerlerine 500°C’de rastlandığı için, takım aşınma odaklı çalışmalarda ön ısıtma sıcaklığı olarak 500°C’nin tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

- Ön ısıtmalı yapılan deneylerin sonuçları ile konvansiyonel yapılan deney sonuçlarını karşılaştırılacak olursa, konvansiyonel işlemeye göre 350°C ön ısıtma sıcaklığında, yapılan deney sonucunda  $F_c$  kesme kuvvetinde maksimum değer olan %70.8, 500°C’de ise %65.8, iyileşme olmuştur.  $F_f$  kesme kuvvetinde de 350°C ön ısıtma sıcaklığında maksimum %62.6, 500°C’de ise %47.9 iyileşme olduğu tespit edilmiştir.
- Konvansiyonel işlemede 524.5m/dak kesme hızında 0.15mm/diş ilerleme hızında maksimum kesme kuvvetleri elde edildiği görülmüştür (Taylan, 2009). Ön ısıtmalı işlemede bu kesme parametrelerinde % iyileşmeler çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Konvansiyonel ve ön ısıtmalı işlemede  $F_c$  ve  $F_f$  kesme kuvveti değerleri

| Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Hızı (mm/diş) | Sıcaklık (°C) | $F_c$ (N) | $F_f$ (N) | % $F_c$ iyileşme | % $F_f$ iyileşme |
|--------------------|------------------------|---------------|-----------|-----------|------------------|------------------|
| 524.5              | 0.15                   | 20            | 2369.3    | 1878.7    |                  |                  |
| 524.5              | 0.15                   | 350           | 700.75    | 782       | 72.1             | 61.7             |
| 524.5              | 0.15                   | 400           | 901.48    | 839.25    | 70.4             | 58.4             |
| 524.5              | 0.15                   | 450           | 733.61    | 720.91    | 69.0             | 61.6             |
| 524.5              | 0.15                   | 500           | 658.08    | 719.94    | 72.2             | 61.7             |

Konvansiyonel işlemede  $F_c$  kuvveti 2369.3N’ken ön ısıtmalı 500°C ön ısıtma sıcaklığında bu değer 658.08N’a düşmüştür (%72.2 iyileşme). Aynı şekilde  $F_f$  kuvveti 1878.7N’ken ön ısıtmalı 500°C ön ısıtma sıcaklığında bu değer 719.94N’a düşmüştür (%61.7 iyileşme).

$F_c$  kesme kuvveti en düşük değerine ön ısıtma sıcaklığının 500°C, kesme hızının 154.4 m/dak ve ilerleme oranının 0.05mm/diş olduğu parametrelerde ulaşmıştır.  $F_f$  en düşük kesme kuvveti değeri ise 350°C ön ısıtma sıcaklığı, 154.4m/dak kesme hızı, 0.05mm/ diş ilerleme oranında elde edilmiştir. Elde

edilen minimum  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetlerinde konvansiyonel işlemede 872.8 ve 585.9N ölçülmüştür.

Konvansiyonel işlemede  $F_c$  kuvveti 872.8N'ken ön ısıtma sıcaklığı 500°C ön ısıtma sıcaklığında bu değer 286.34N'a düşmüştür (%78.6 iyileşme). Aynı şekilde  $F_f$  kuvveti 585.9N'ken ön ısıtma sıcaklığı 350°C ön ısıtma sıcaklığında bu değer 218.88N'a düşmüştür (%62.6 iyileşme).

Tüm ön ısıtma sıcaklıklarında ve konvansiyonel işlemede(Taylan, 2009) ortalama olarak kesme kuvveti 500°C ön ısıtma sıcaklıklarında en az değerlerde elde edilmiştir. Soğuk iş takım çeliği ön ısıtma frezeleme uygulamalarında, kesme kuvveti odaklı çalışmalarda 500°C ön ısıtma sıcaklığı tercih edilmeli sonucuna varılmıştır.

- Çalışmada ise yüzey pürüzlülük değerlerinde ön ısıtma sıcaklığının iyileştirici bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Tüm ön ısıtma sıcaklıklarında 0.15mm/diş ilerleme hızında, maksimum takım aşınma ve maksimum yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Ayrıca ön ısıtma işlemi CBN takımlarla sertleştirilmiş çelikler ile yapılmış ve ön ısıtma sıcaklığının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı tespit edilmiş çalışmalarda mevcuttur (Raghavan vd., 2013; Panjehpour vd., 2014). Başka bir çalışmada çelik malzeme ile yapılan konvansiyonel işlemede ön ısıtma sıcaklığı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri artmış daha sonra azalmıştır. Fakat yine konvansiyonel işleme kadar iyi yüzey elde edilememiştir. Literatürde ön ısıtma sıcaklığını artışıyla yüzey pürüzlülük değerinin artışı, iş parçasının yumuşamasıyla kesici takıma yapışmakta ve takım çapının arttırmakta ve bu sayede işlemede kötü yüzey elde edilmekte şeklinde açıklanmıştır (Jeon vd., 2008).

Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri 0.19-1.53µm aralığında olduğu görülmüştür. En büyük yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) değeri 500°C ön ısıtma sıcaklığı 154.4m/dak kesme hızı ve 0.15mm/diş ilerleme hızı kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneylerde 1.53µm, aynı kesme

parametrelerinde konvansiyonel işlemede  $1.35\mu\text{m}$ 'dir (Taylan, 2009). Ön ısıtılmalı yapılan deneylerde en küçük yüzey pürüzlülüğü değeri ise  $350^{\circ}\text{C}$ 'de  $154.4\text{m/dak}$  kesme hızı ve  $0.05\text{mm/diş}$  ilerleme hızda  $0.19\mu\text{m}$ , aynı kesme parametrelerinde konvansiyonel işlemede  $0.16\mu\text{m}$ 'dir (Taylan, 2009). Tüm ön ısıtılmalı işleme yüzey pürüzlülük sonuçları, konvansiyonel işlemede elde edilen sonuçlara göre daha yüksektir. Bu sonuçlar ışığında ön ısıtma sıcaklığının yüzey pürüzlülüğü parametresine olumlu etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Konvansiyonel işlemede yüzey pürüzlülük değeri  $0.41\mu\text{m}$  iken ön ısıtılmalı  $500^{\circ}\text{C}$  ön ısıtma sıcaklığında bu değer  $0.28\mu\text{m}$ 'ye düşmüştür (%31.7 iyileşme).

Eğer soğuk iş takım çeliğinin ön ısıtılmalı frezelenmesinde öncelikli amaç yüzey kalitesi ise  $500^{\circ}\text{C}$ 'nin en uygun ön ısıtma sıcaklık değeri olduğu söylenebilir.

Tüm ön ısıtma sıcaklıklarında yapılan deneyler sonucunda yüzey pürüzlülük değeri  $0.19\text{-}1.53\mu\text{m}$  aralığında ölçülmüştür. Her ne kadar konvansiyonel işlemeye göre yüzey pürüzlülük değerleri kötü çıkmış gibi görünsede değerlerin N4-N6 taşlama kalitesine karşılık gelmekte olduğu görülmüştür.

- Orijinal sertliği 61HRC olan iş parçasının, ön ısıtılmalı işleme sonucunda sertliği yaklaşık 59HRC olarak ölçülmüş, ön ısıtılmalı işleme sonunda soğuk iş takım çeliğinin sertliğinin orijinalindeki sertlik değerini yaklaşık olarak koruduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda ön ısıtılmalı işlemenin malzemenin mikro yapısında değişme sebep olmadığı görülmüştür.
- Deney sonuçlarının kesme parametreleri kullanılarak oluşturulan ANOVA analizi sonucunda kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen parametrenin ilerleme hızı, takım aşınma miktarını etkileyen en etkili parametrenin ise ön ısıtma sıcaklığı ve kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.
- Evrimsel Programlama kullanılarak türetilen matematiksel ifadelerin elde edilmesindeki amaç, soğuk iş takım çeliğinin ön ısıtılmalı işlenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve aşınma derinliği değerlerine deneyler yapılmadan ulaşılabilir.

- İleriki aşamalarda soğuk iş takım çeliği ile aynı deney parametreleri kullanılarak kriyojenik destekli işleme yapıp sonuçlar ön ısıtmalı işleme ve konvansiyonel işleme ile kıyaslanarak sonuçlar tartışılabilir.
- Bu çalışma ışığında esas kesme ve ilerleme kuvvet değerlerinin ilerleme hızına göre değişimleri araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 2006. Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları. İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 85-90.
- Altıntaş, Y., 2000. Manufacturing Automation. Cambridge University Pres, 275.
- Amin A.K.M.N., Talantov N.V., 1986. Influence of Instability Of Chip Formation and Preheating of Work on Tool Life in Machining High Temperature Resistance Steel and Titanium Alloy. Mechanical Engineering Research Bulletin, 52-62.
- Amin A.K.M.N., Dolah S.B., Mahmud M.B., Lajis M.A. 2008. Effects of Workpiece Preheating on Surface Roughness, Chatter and Tool Performance During End Milling of Hardened Steel D2. Journal of Materials Processing Technology, 466-470.
- Amin A.K.M.N., Abdelgadir M., 2003, The Effect of Preheating of Work Material on Chatter During End Milling of Medium Carbon Steel Performed on a Vertical Machining Center (VMC)", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of The ASME, 674-680.
- Anderson M., Patwa, R., Shin, Y. C., 2006. Laser-Assisted Machining of Inconel 718 With An Economic Analysis. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1879-1891.
- Armitage K., Masood S., Brandt M., 2004. Laser Assisted Machining of Hard-To-Wear Materials. Industrial Research Institute Swinburne (Iris), 1999-2012.
- Aslan, E., Camuscu, N., Birgören, B., 2007. Design Optimization of Cutting Parameters When Turning Hardened Aisi 4140 Steel (63 Hrc) With Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Ticn Mixed Ceramic Tool. Materials And Design, 1618-1622.
- Barrow G., 1966. Machining of High Strength Materials At Elevated Temperature Using Electrical Current Heating. CIRP Annals, 145-151.
- Bermingham, M.J., Palanisamya, S., Darguscha, M.S., 2012. Understanding The Tool Wear Mechanism During Thermally Assisted Machining Ti-6Al-4V. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 76-87.
- Brecher C., Emonts M., Rosen C.-J., Hermani J.-P., 2011. Laser-Assisted Milling of Advanced Materials. Physics Procedia, 599-606.
- Chang W., C.P. Kuo, 2007. Evaluation Of Surface Roughness In Laser-Assisted Machining of Aluminum Oxide Ceramics With Taguchi Method. International Journal of Machine Tools And Manufacture, 141-147.

- Chang C.-W., Kuo C.-P., 2007. An Investigation Of Laser-Assisted Machining of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramics Planing. International Journal Of Machine Tools & Manufacture, 452-461.
- Chrysosolouris, G., Anifantis, N., Karagiannis, S., 1997. Laser Assisted Machining: an Overview. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Asme, 766-769.
- Çakır O., Altan E., 2008. Hot Machining of High Manganese Steel: A Review. 12th International Research/Expert Conference.
- Çetin, M.S., 2010. Bitkisel Esaslı Kesme Sıvılarının Tornalamadaki Performansının Araştırılması. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 190s, Gebze.
- Çolak, O., 2006. CNC Freze Tezgahı İçin Kesme Parametrelerinin Akıllı Yöntemlerle Elektronik Ortamda Optimizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 291 s. Isparta.
- Davim P. J., 2008. Machining: Fundamentals and Recent Advances.
- Dandekar R. C., Shin Y. C., Barnes J., 2010. Machinability Improvement of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) Via LAM and Hybrid Machining. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 174-182
- Dereci S., 2010. İndüksiyonla Isıtma Sistemlerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ding H., Shin C. Y., 2010. Laser-Assisted Machining of Hardened Steel Parts With Surface Integrity Analysis. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 106-114.
- Dumitrescu, P., Koshy, J., Stenekes, M.A. Elbestawi, 2006. High-Power Diode Laser Assisted Hard Turning of AISI D2 Tool Steel. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2009- 2016.
- Elfallah, A., Ermiş, M., Tosun, H., 1987. Endüksiyonla Düzgün Isıtma Uygulamalarında İş Bobinin Tasarımı. Elektrik Mühendisliği II. Ulusal Kongresi, 753-756.
- Ezugwu E.O., Bonney J., Yamane Y., 2003. An Overview Of The Machinability of Aeroengine Alloys. Journal of Materials Processing Technology, 233-253.
- Gaitonde V.N., Karnik S. R., Luis Figueira & J. Paulo, 2009. Analysis of Machinability During Hard Turning Of Cold Work Tool Steel (Type: AISI D2). Materials and Manufacturing Processes, 1373-1382.

- Germain G., Morel F., Lebrun J.-L., Morel A., 2007. Machinability and Surface Integrity for a Bearing Steel And A Titanium Alloy in Laser Assisted Machining (Optimisation on LAM on Two Materials). *Lasers in Engineering*, 329–344.
- Germain G., Lebrun, J.L., Braham-Bouchnak, T., Bellett, D., Auger, S., 2008, "Laser-Assisted Machining Of Inconel 718 With Carbide and Ceramic Inserts", *Int J Mater Form Springer/Esaform*, Volume 1, Supplement 1, 523-526.
- Germain, G., Dal Santo, P., Lebrun, J.L., 2011. Comprehension of Chip Formation in Laser Assisted Machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 230–238.
- Ginta T.L., Amin A.K.M. N., Lajis M.A., Karim A.N.M., Radzi H.C.D.M., 2009. Improved Tool Life in End Milling Ti-6Al-4V Through Workpiece Preheating. *European Journal Of Scientific Research*, 384-391.
- Ginta T.L., Amin A.K.M. N., 2012. Cutting Force And Tool Life Models in End Milling Titanium Alloy Ti-4 Al-4V With Thermally-Assisted Machining. *Int. J. Of Mechanical Computational and Manufacturing Research*, 1-5.
- Ginta T.L., Amin A.K.M. N., 2013. Surface Integrity in End Milling Titanium Alloy Ti\_6Al\_4V Under Heat Assisted Machining. *Asian Journal of Scientific Research*, 609-614.
- Goudhaman J., 2007. Experimental Investigation Of Hot Machining Process Of High Manganese Steel Using Design Of Experiments By Taguchi Method. *Bachelor Of Technology In Mechanical Engineering*, A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Of, 36.
- Hamamcı E., 2014. Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Ön Isıtmalı Şartlarda Frezelenmesinin Araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 151s. Isparta.
- Hamamcı E., Hamamcı B., M. C. Kayacan, 2012. Zor İşlenen Parçaların Ön Isıtmalı İşlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknolojik Araştırmalar Elektronik Dergileri, Makine Teknolojileri Dergisi*, 1-15.
- Ho, C.Y., Wen, M.Y., J. Ho, E., Chen, D.Y., 2007. Temperature History For Cutting Of Ceramics Preheated By A Co<sub>2</sub> Laser. *Journal of Materials Processing Technology*, 525-531.
- Hossain M.I., Nurul Amin A.K.M., Patwari A.U., Karim A., 2012. Enhancement of Machinability By Workpiece Preheating in End Milling Of Ti-6Al-4V. *Of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 320-326.
- Iso 8688-1, 1989. Tool Life Testing in Milling, Part 1: Face Milling. *International Standard*.

- Jeon Y., Pfefferkorn F., 2008. Effect Of Laser Preheating The Workpiece On Micro End Milling of Metals. *Journal Of Manufacturing Science and Engineering*, volume 130.
- Jung J.W., Lee, C.M., 2009. Cutting Temperature and Laser Beam Temperature Effects On Cutting Tool Deformation in Laser- Assisted Machining. *Proceeding Of The International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists*.
- Khan, A. A., Ahmed M., I., 2009. Improving Tool Life Using Kreojenik Colling. *Journal of Materials Processing Technology*, 196, 149-154
- Kayacan M.C., Çolak O., 2004. A Fuzzy Approach For Induction Surface Hardening Parameter Selection. *Material&Design*, 155-161
- Kitagawa T., Maekawa K., 1990. Plasma Hot Machining For New Engineering Materials, *Wear*, 251–267.
- Lacalle L.N.L.D., Sanchez J.A., Lamikiz A., A. Celaya, 2004. Plasma Assisted Milling Heat-Resistant Superalloys. *Journal of Manufacturing Science and Engineer- Ing, Transactions of The ASME*, 274–285.
- Lajis, M.A. Nurul, A.K.M., Amin, A.N.M., Karim, H.C., Radzi, D.M. And Ginta, T.L., 2009. Hot Machining Of Hardened Steels With Coated Carbide Inserts. *American J. of Engineering and Applied Sciences*, 421-427.
- Lei S., Shin Y.C., Incropera F.P., 2000. Deformation Mechanisms And Constitutive Modeling For Silicon Nitride Undergoing Laser Assisted Machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2213–2233.
- Lei, S., Shin Y. C., F. P. Incropera, 2001. Experimental Investigation Of Thermo-Mechanical Characteristics in Laser-Assisted Machining of Silicon Nitride Ceramics. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Asme*, 639-646.
- Leshock C.E., Kim J.-N., Shin Y.C., 2001. Plasma Enhanced Machining of Inconel 718: Modeling of Workpiece Temperature With Plasma Heating and Experimental Results. *International Journal of Machine Tools and Manufac- Ture*, 877–897.
- Maity K.P., P.K. Swain, 2008, . An Experimental Investigation Of Hotmachining To Predict Tool Life. *Journal Of Materials Processing Technology*, 344-349.
- Masood S.H., Armitage K., Brandt M., 2001. An Experimental Study of Laser-Assisted Machining of Hard-To-Wear White Cast Iron. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 450–456.

- Navas V.G., Arriola I., Gonzalo O., Leunda J., 2013. Mechanisms Involved in The Improvement Of Inconel 718 Machinability By Laser Assisted Machining (LAM). International Journal of Machine Tools and Manufacture, 19–28.
- Novak J.W., Shin Y.C., Incropera F.P., 1997. Assessment Of Plasma Enhanced Machining For Improved Machinability Of Inconel 718. Journal Of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of The ASME, 125–129.
- Oktaý H., 2011. Eğik Yüzeylerin Frezelenmesinde Farklı İşleme Yönlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- Özcan, E., 2001. CNC Tezgahlarda Kullanılan Kesici Takımlarda Takım Aşınmasının Kesme Performansına Dinamik Etkileri. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 168, İstanbul.
- Özel T., Pfefferkorn F., 2007. Pulsed Laser Assisted Micromilling For Die/Mold Manufacturing. ASME, International Manufacturing Science and Engineering Conference, 337-342.
- Özler L., A. İnan, C. Özel, 2001. Theoretical And Experimental Determination Of Tool Life İn Hot Machining Of Austenitic Manganese Steel. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 163-172.
- Özel T., Altan T., 2000. Determination of Workpiece Flow Stress and Friction at The Chip–Tool Contact for High-Speed Cutting. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 133–152.
- Panjehpour A., Yazdi M., Shoja-Razavi R., 2014. An Experimental Investigation Of Pulsed Laser-Assisted Machining Of AISI 52100 Steel. Optics & Laser Technology, 137–143.
- Pramanik A., Zhang L.C., Arsecularatne J.A., 2008. Machining Of Metal Matrix Composites: Effect Of Ceramic Particles On Residual Stress, Surface Roughness And Chip Formation. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1613–1625.
- Pfefferkorn F. E., F. P. Incropera, Y. C. Shin, 2005. Heat Transfer Model Of Semi-Transparent Ceramics Undergoing Laser-Assisted Machining. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1999- 2012.
- Raghavan S., Melkote S., Hashimoto F., 2013. Laser Tempering Based Turning Process for Efficient Machining Of Hardened AISI 52100 Steel. Journal of Manufacturing Processes, 318-328.
- Ranganathan S., Senthilvelan T., 2011. Multi-Response Optimization Of Machining Parameters İn Hot Turning Using Grey Analysis. Int. J. Adv. Manuf Technol, 455–462.

- Rebro, P.A., Shin, Y.C., Incropera, F.P., 2002. Laser-Assisted Machining of Reaction Sintered Mullite Ceramics. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 875-885.
- Rebro P.A., Shin Y.C., Incropera F.P., 2004. Design Of Operating Conditions for Crackfree Laser-Assisted Machining Of Mullite. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 677-694.
- Rozzi J.C., Pfefferkorn F.E., Shin Y.C., Incropera F.P., 2000. Experimental Evaluation Of The Laser Assisted Machining Of Silicon Nitride Ceramics. *Journal Of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of The ASME*, 666-670.
- Samant A.N., Dahotre N.B., 2009. Laser Machining Of Structural Ceramics-A Review, *Journal of The European Ceramic Society*, 969-993.
- Sandvik, Talaşlı İmalat Teknik Kılavuzu. Sandvik Coromant El Kitabı.
- Sandvik, [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com). Erişim tarihi: 2015.
- Sazak, B.S., 1999. Design of A 500W Resonant Induction Heater. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 871-878.
- Shin Y.C., Kim J.-N., 1996. Plasma Enhanced Machining Of Inconel 718, *Manufacturing Science and Engineering. ASME*, 243-249.
- Skvarenina, S., Shin, Y.C., 2006. Laser-Assisted Machining of Compacted Graphite Iron. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 7-17.
- Sun, S., Brandt, M., Dargusch, M.S., 2010. Thermally Enhanced Machining of Hard-To-Machine Materials- A Review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 663-680.
- Şeker, U., 1997. TAI 408 Takım Tasarımı Ders Notları. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Taylan, F., 2009. Sert Malzemelerin Frezelenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 223s. Isparta.
- Tian Y., Wu B., Anderson M., Shin Y.C., 2008. Laser-Assisted Milling of Silicon Nitride Ceramics And Inconel 718. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, ASME*, 9.
- Topbaş, M. A., 1998. Çelik Ve Isıl İşlem El Kitabı. Ekim Ofset Ve Mücellithanesi., 593.

- Tosun, N., Özler, L., 2002. A Study of Tool Life in Hot Machining Using Artificial Neural Networks And Regression Analysis Method. *Journal of Materials Processing Technology*, 99-104.
- Wang, Y., Yang, L. J., Wang, N. J., 2002. An Investigation of Laser-Assisted Machining of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Particle Reinforced Aluminum Matrix Composite. *Journals Of Material Processing Technology*, 268-272.
- Yang B., Lei S., 2008. Laser-Assisted Milling Of Silicon Nitride Ceramic A Machinability Study. *Int. J. Mechatronics And Manufacturing Systems*, 116-130.
- Yongho J., Pfefferkorn F., 2008. Effect of Laser Preheating The Workpiece On Micro End Milling Of Metals. *Journal of Manufacturing Science And Engineering*, 45-48.
- Yung C. S., 2011. Laser Assisted Machining. *Machining Technology*, 2000.

## **EKLER**

**EK A.** Çizelgeler

**EK B.** Şekiller

## EK A ÇİZELGELER

EK A1. Yüzey pürüzlülük değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre % iyileşme değerleri

|    | İş Mili Devri (N)<br>(Dev/Dak) | Tabla İlerleme Hızı (f)<br>(Mm/Dış) | Sıcaklık (°C) | Tek Uç İçin Tabla İlerleme<br>Hızı (Mm/Dak) | Ön Isıtmalı İşlemede Yüzey<br>Pürüzlülüğü (Ra )<br>(µm) | Konvansiyonel İşlemede<br>Yüzey Pürüzlülüğü (Ra )<br>(µm) | Yüzey Pürüzlülüğü (Ra )<br>(µm) % |
|----|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1  | 2650                           | 0.05                                | 500           | 132.5                                       | 0.28                                                    | 0.41                                                      | 31.71                             |
| 2  | 2650                           | 0.075                               | 500           | 198.75                                      | 0.42                                                    | 0.24                                                      | -75.00                            |
| 3  | 2650                           | 0.1                                 | 500           | 265                                         | 0.57                                                    | 0.37                                                      | -54.05                            |
| 4  | 2650                           | 0.15                                | 500           | 397.5                                       | 1.2                                                     | 1.28                                                      | 6.25                              |
| 5  | 2280                           | 0.05                                | 500           | 114                                         | 0.44                                                    | 0.25                                                      | -76.00                            |
| 6  | 2280                           | 0.075                               | 500           | 171                                         | 0.54                                                    | 0.32                                                      | -68.75                            |
| 7  | 2280                           | 0.1                                 | 500           | 228                                         | 0.68                                                    | 0.26                                                      | -161.54                           |
| 8  | 2280                           | 0.15                                | 500           | 342                                         | 1.31                                                    | 0.78                                                      | -67.95                            |
| 9  | 1405                           | 0.05                                | 500           | 70.25                                       | 0.44                                                    | 0.23                                                      | -91.30                            |
| 10 | 1405                           | 0.075                               | 500           | 105.38                                      | 0.55                                                    | 0.17                                                      | -223.53                           |
| 11 | 1405                           | 0.1                                 | 500           | 140.5                                       | 0.67                                                    | 0.38                                                      | -76.32                            |
| 12 | 1405                           | 0.15                                | 500           | 210.75                                      | 1.33                                                    | 0.52                                                      | -155.77                           |
| 13 | 780                            | 0.05                                | 500           | 39                                          | 0.48                                                    | 0.16                                                      | -200.00                           |
| 14 | 780                            | 0.075                               | 500           | 58.5                                        | 0.59                                                    | 0.25                                                      | -136.00                           |
| 15 | 780                            | 0.1                                 | 500           | 78                                          | 0.74                                                    | 0.34                                                      | -117.65                           |
| 16 | 780                            | 0.15                                | 500           | 91.26                                       | 1.53                                                    | 1.2                                                       | -27.50                            |
| 17 | 2650                           | 0.05                                | 450           | 132.5                                       | 0.34                                                    | 0.41                                                      | 17.07                             |
| 18 | 2650                           | 0.075                               | 450           | 198.75                                      | 0.45                                                    | 0.24                                                      | -87.50                            |
| 19 | 2650                           | 0.1                                 | 450           | 265                                         | 0.6                                                     | 0.37                                                      | -62.16                            |
| 20 | 2650                           | 0.15                                | 450           | 397.5                                       | 1.23                                                    | 1.28                                                      | 3.91                              |
| 21 | 2280                           | 0.05                                | 450           | 114                                         | 0.59                                                    | 0.25                                                      | -136.00                           |
| 22 | 2280                           | 0.075                               | 450           | 171                                         | 0.57                                                    | 0.32                                                      | -78.13                            |
| 23 | 2280                           | 0.1                                 | 450           | 228                                         | 0.71                                                    | 0.26                                                      | -173.08                           |
| 24 | 2280                           | 0.15                                | 450           | 342                                         | 1.34                                                    | 0.78                                                      | -71.79                            |
| 25 | 1405                           | 0.05                                | 450           | 70.25                                       | 0.47                                                    | 0.23                                                      | -104.35                           |
| 26 | 1405                           | 0.075                               | 450           | 105.38                                      | 0.58                                                    | 0.17                                                      | -241.18                           |
| 27 | 1405                           | 0.1                                 | 450           | 140.5                                       | 0.73                                                    | 0.38                                                      | -92.11                            |
| 28 | 1405                           | 0.15                                | 450           | 210.75                                      | 1.1                                                     | 0.52                                                      | -111.54                           |
| 29 | 780                            | 0.05                                | 450           | 39                                          | 0.51                                                    | 0.16                                                      | -218.75                           |
| 30 | 780                            | 0.075                               | 450           | 58.5                                        | 0.62                                                    | 0.25                                                      | -148.00                           |

## EK A1'in devamı

|    | İş Mili Devri (N)<br>(Dev/Dak) | Tabla İlerleme Hızı (f)<br>(Mm/Diş) | Sıcaklık (°C) | Tek Uç İçin Tabla İlerleme<br>Hızı (Mm/Dak) | Ön Isıtmalı İşlemede Yüzey<br>Pürüzlülüğü<br>(Ra) (µm) | Konvansiyonel İşlemede<br>Yüzey Pürüzlülüğü<br>(Ra) (µm) | Yüzey Pürüzlülüğü<br>(Ra) (µm) % |
|----|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 31 | 780                            | 0.1                                 | 450           | 78                                          | 0.9                                                    | 0.34                                                     | -164.71                          |
| 32 | 780                            | 0.15                                | 450           | 91.26                                       | 1.4                                                    | 1.2                                                      | -16.67                           |
| 33 | 2650                           | 0.05                                | 400           | 132.5                                       | 0.21                                                   | 0.41                                                     | 48.78                            |
| 34 | 2650                           | 0.075                               | 400           | 198.75                                      | 0.32                                                   | 0.24                                                     | -33.33                           |
| 35 | 2650                           | 0.1                                 | 400           | 265                                         | 0.47                                                   | 0.37                                                     | -27.03                           |
| 36 | 2650                           | 0.15                                | 400           | 397.5                                       | 1.1                                                    | 1.28                                                     | 14.06                            |
| 37 | 2280                           | 0.05                                | 400           | 114                                         | 0.32                                                   | 0.25                                                     | -28.00                           |
| 38 | 2280                           | 0.075                               | 400           | 171                                         | 0.43                                                   | 0.32                                                     | -34.38                           |
| 39 | 2280                           | 0.1                                 | 400           | 228                                         | 0.58                                                   | 0.26                                                     | -123.08                          |
| 40 | 2280                           | 0.15                                | 400           | 342                                         | 1.27                                                   | 0.78                                                     | -62.82                           |
| 41 | 1405                           | 0.05                                | 400           | 70.25                                       | 0.4                                                    | 0.23                                                     | -73.91                           |
| 42 | 1405                           | 0.075                               | 400           | 105.38                                      | 0.45                                                   | 0.17                                                     | -164.71                          |
| 43 | 1405                           | 0.1                                 | 400           | 140.5                                       | 0.6                                                    | 0.38                                                     | -57.89                           |
| 44 | 1405                           | 0.15                                | 400           | 210.75                                      | 1.22                                                   | 0.52                                                     | -134.62                          |
| 45 | 780                            | 0.05                                | 400           | 39                                          | 0.38                                                   | 0.16                                                     | -137.50                          |
| 46 | 780                            | 0.075                               | 400           | 58.5                                        | 0.36                                                   | 0.25                                                     | -44.00                           |
| 47 | 780                            | 0.1                                 | 400           | 78                                          | 0.63                                                   | 0.34                                                     | -85.29                           |
| 48 | 780                            | 0.15                                | 400           | 91.26                                       | 1.26                                                   | 1.2                                                      | -5.00                            |
| 49 | 2650                           | 0.05                                | 350           | 132.5                                       | 0.19                                                   | 0.41                                                     | 53.66                            |
| 50 | 2650                           | 0.075                               | 350           | 198.75                                      | 0.3                                                    | 0.24                                                     | -25.00                           |
| 51 | 2650                           | 0.1                                 | 350           | 265                                         | 0.45                                                   | 0.37                                                     | -21.62                           |
| 52 | 2650                           | 0.15                                | 350           | 397.5                                       | 1.11                                                   | 1.28                                                     | 13.28                            |
| 53 | 2280                           | 0.05                                | 350           | 114                                         | 0.3                                                    | 0.25                                                     | -20.00                           |
| 54 | 2280                           | 0.075                               | 350           | 171                                         | 0.41                                                   | 0.32                                                     | -28.13                           |
| 55 | 2280                           | 0.1                                 | 350           | 228                                         | 0.46                                                   | 0.26                                                     | -76.92                           |
| 56 | 2280                           | 0.15                                | 350           | 342                                         | 1.19                                                   | 0.78                                                     | -52.56                           |
| 57 | 1405                           | 0.05                                | 350           | 70.25                                       | 0.32                                                   | 0.23                                                     | -39.13                           |
| 58 | 1405                           | 0.075                               | 350           | 105.38                                      | 0.66                                                   | 0.17                                                     | -288.24                          |
| 59 | 1405                           | 0.1                                 | 350           | 140.5                                       | 0.58                                                   | 0.38                                                     | -52.63                           |
| 60 | 1405                           | 0.15                                | 350           | 210.75                                      | 1.2                                                    | 0.52                                                     | -130.77                          |
| 61 | 780                            | 0.05                                | 350           | 39                                          | 0.2                                                    | 0.16                                                     | -25.00                           |
| 62 | 780                            | 0.075                               | 350           | 58.5                                        | 0.47                                                   | 0.25                                                     | -88.00                           |
| 63 | 780                            | 0.1                                 | 350           | 78                                          | 0.62                                                   | 0.34                                                     | -82.35                           |
| 64 | 780                            | 0.15                                | 350           | 91.26                                       | 1.25                                                   | 1.2                                                      | -4.17                            |

EK A2. Kesme kuvveti değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre % iyileşme değerleri

| İş Mili Devri (N)<br>(Dev/Dak) | Tabla İlerleme Hızı (f)<br>(Mm/Dış) | Sıcaklık (°C) | Tek Uç İçin Tabla İlerleme<br>Hızı (Mm/Dak) | Ön Isıtmalı İşlemede Esas<br>Kesme Kuvveti F <sub>c</sub> (N) | Ön Isıtmalı İşlemede F <sub>s</sub> (N) | Konvansiyonel İşlemede Esas<br>Kesme Kuvveti F <sub>c</sub> (N) | Konvansiyonel İşlemede F <sub>r</sub> (N) | F <sub>c</sub> (N)<br>% | F <sub>r</sub> (N)<br>% |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 2650                           | 0.05                                | 500           | 132.5                                       | 464.88                                                        | 446.63                                  | 938.7                                                           | 732.4                                     | 50.5                    | 39.02                   |
| 2650                           | 0.075                               | 500           | 198.75                                      | 560.71                                                        | 510.44                                  | 1334.2                                                          | 982.7                                     | 58.0                    | 48.06                   |
| 2650                           | 0.1                                 | 500           | 265                                         | 1099.8                                                        | 891.53                                  | 1563.7                                                          | 1278.1                                    | 29.7                    | 30.25                   |
| 2650                           | 0.15                                | 500           | 397.5                                       | 658.08                                                        | 719.94                                  | 2369.33                                                         | 1878.77                                   | 72.2                    | 61.68                   |
| 2280                           | 0.05                                | 500           | 114                                         | 456.77                                                        | 417.47                                  | 398                                                             | 441.9                                     | -14.8                   | 5.53                    |
| 2280                           | 0.075                               | 500           | 171                                         | 501.5                                                         | 423.38                                  | 944.8                                                           | 813                                       | 46.9                    | 47.92                   |
| 2280                           | 0.1                                 | 500           | 228                                         | 1157.6                                                        | 933.16                                  | 1043.7                                                          | 1015.6                                    | -10.9                   | 8.12                    |
| 2280                           | 0.15                                | 500           | 342                                         | 715.86                                                        | 761.56                                  | 1156                                                            | 1357.4                                    | 38.1                    | 43.90                   |
| 1405                           | 0.05                                | 500           | 70.25                                       | 326.46                                                        | 323.34                                  | 991.2                                                           | 675.1                                     | 67.1                    | 52.10                   |
| 1405                           | 0.075                               | 500           | 105.38                                      | 488.17                                                        | 457.94                                  | 753.2                                                           | 793.5                                     | 35.2                    | 42.29                   |
| 1405                           | 0.1                                 | 500           | 140.5                                       | 1108.1                                                        | 910.13                                  | 1141.4                                                          | 1069.3                                    | 2.9                     | 14.89                   |
| 1405                           | 0.15                                | 500           | 210.75                                      | 585.55                                                        | 667.44                                  | 1041.3                                                          | 1063.2                                    | 43.8                    | 37.22                   |
| 780                            | 0.05                                | 500           | 39                                          | 186.83                                                        | 286.34                                  | 872.8                                                           | 585.9                                     | 78.6                    | 51.13                   |
| 780                            | 0.075                               | 500           | 58.5                                        | 348.55                                                        | 420.94                                  | 677.5                                                           | 649.4                                     | 48.6                    | 35.18                   |
| 780                            | 0.1                                 | 500           | 78                                          | 887.62                                                        | 802.04                                  | 943.6                                                           | 780                                       | 5.9                     | -2.83                   |
| 780                            | 0.15                                | 500           | 91.26                                       | 416.13                                                        | 617.25                                  | 1218.3                                                          | 1127.9                                    | 65.8                    | 45.27                   |
| 2650                           | 0.05                                | 450           | 132.5                                       | 474.52                                                        | 376.82                                  | 938.7                                                           | 732.4                                     | 49.4                    | 48.55                   |
| 2650                           | 0.075                               | 450           | 198.75                                      | 742.38                                                        | 606.38                                  | 1334.2                                                          | 982.7                                     | 44.4                    | 38.29                   |
| 2650                           | 0.1                                 | 450           | 265                                         | 1175.3                                                        | 892.51                                  | 1563.7                                                          | 1278.1                                    | 24.8                    | 30.17                   |
| 2650                           | 0.15                                | 450           | 397.5                                       | 733.61                                                        | 720.91                                  | 2369.3                                                          | 1878.7                                    | 69.0                    | 61.63                   |
| 2280                           | 0.05                                | 450           | 114                                         | 477.25                                                        | 381.38                                  | 398                                                             | 441.9                                     | -19.9                   | 13.70                   |
| 2280                           | 0.075                               | 450           | 171                                         | 694.01                                                        | 553.04                                  | 944.8                                                           | 813                                       | 26.5                    | 31.98                   |
| 2280                           | 0.1                                 | 450           | 228                                         | 1233.1                                                        | 934.13                                  | 1043.7                                                          | 1015.6                                    | -18.1                   | 8.02                    |
| 2280                           | 0.15                                | 450           | 342                                         | 791.39                                                        | 762.54                                  | 1156                                                            | 1357.4                                    | 31.5                    | 43.82                   |
| 1405                           | 0.05                                | 450           | 70.25                                       | 401.99                                                        | 324.32                                  | 991.2                                                           | 675.1                                     | 59.4                    | 51.96                   |
| 1405                           | 0.075                               | 450           | 105.38                                      | 563.7                                                         | 458.91                                  | 753.2                                                           | 793.5                                     | 25.2                    | 42.17                   |
| 1405                           | 0.1                                 | 450           | 140.5                                       | 1102.8                                                        | 840.01                                  | 1141.4                                                          | 1069.3                                    | 3.4                     | 21.44                   |
| 1405                           | 0.15                                | 450           | 210.75                                      | 675                                                           | 592.63                                  | 1041.3                                                          | 1063.2                                    | 35.2                    | 44.26                   |
| 780                            | 0.05                                | 450           | 39                                          | 262.36                                                        | 287.32                                  | 872.8                                                           | 585.9                                     | 69.9                    | 50.96                   |
| 780                            | 0.075                               | 450           | 58.5                                        | 424.08                                                        | 421.91                                  | 677.5                                                           | 649.4                                     | 37.4                    | 35.03                   |
| 780                            | 0.1                                 | 450           | 78                                          | 898.13                                                        | 820.88                                  | 943.6                                                           | 780                                       | 4.8                     | -5.24                   |
| 780                            | 0.15                                | 450           | 91.26                                       | 521.46                                                        | 631.41                                  | 1218.3                                                          | 1127.9                                    | 57.2                    | 44.02                   |
| 2650                           | 0.05                                | 400           | 132.5                                       | 642.39                                                        | 495.16                                  | 938.7                                                           | 732.4                                     | 31.6                    | 32.39                   |
| 2650                           | 0.075                               | 400           | 198.75                                      | 804.11                                                        | 629.76                                  | 1334.2                                                          | 982.7                                     | 39.7                    | 35.92                   |
| 2650                           | 0.1                                 | 400           | 265                                         | 1206.8                                                        | 809.13                                  | 1563.7                                                          | 1278.1                                    | 22.8                    | 36.69                   |

EK A2'in devamı

| İş Mili Devri (N)<br>(Dev/Dak) | Tabla İlerleme Hızı (f)<br>(Mm/Diş) | Sıcaklık (°C) | Tek Uç İçin Tabla<br>İlerleme<br>Hızı (Mm/Dak) | Ön Isıtmalı İşlemede Esas<br>Kesme Kuvveti F <sub>c</sub> (N) | Ön Isıtmalı İşlemede F <sub>s</sub><br>(N) | Konvansiyonel İşlemede<br>Esas Kesme Kuvveti F <sub>c</sub><br>(N) | Konvansiyonel İşlemede<br>F <sub>r</sub> (N) | F <sub>c</sub> (N)<br>% | F <sub>r</sub> (N)<br>% |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 2650                           | 0.15                                | 400           | 397.5                                          | 901.48                                                        | 839.25                                     | 2369.3                                                             | 1878.7                                       | 61.9                    | 55.33                   |
| 2280                           | 0.05                                | 400           | 114                                            | 700.17                                                        | 536.79                                     | 398                                                                | 441.9                                        | -75.9                   | -                       |
| 2280                           | 0.075                               | 400           | 171                                            | 861.89                                                        | 671.38                                     | 944.8                                                              | 813                                          | 8.8                     | 17.42                   |
| 2280                           | 0.1                                 | 400           | 228                                            | 1401                                                          | 1052.5                                     | 1043.7                                                             | 1015.6                                       | -34.2                   | -3.63                   |
| 2280                           | 0.15                                | 400           | 342                                            | 1010.8                                                        | 933.88                                     | 1156                                                               | 1357.4                                       | 12.6                    | 31.20                   |
| 1405                           | 0.05                                | 400           | 70.25                                          | 559.5                                                         | 502.5                                      | 991.2                                                              | 675.1                                        | 43.6                    | 25.57                   |
| 1405                           | 0.075                               | 400           | 105.38                                         | 731.58                                                        | 577.26                                     | 753.2                                                              | 793.5                                        | 2.9                     | 27.25                   |
| 1405                           | 0.1                                 | 400           | 140.5                                          | 1270.6                                                        | 958.35                                     | 1141.4                                                             | 1069.3                                       | -11.3                   | 10.38                   |
| 1405                           | 0.15                                | 400           | 210.75                                         | 828.95                                                        | 786.75                                     | 1041.3                                                             | 1063.2                                       | 20.4                    | 26.00                   |
| 780                            | 0.05                                | 400           | 39                                             | 430.24                                                        | 405.66                                     | 872.8                                                              | 585.9                                        | 50.7                    | 30.76                   |
| 780                            | 0.075                               | 400           | 58.5                                           | 687.25                                                        | 629.13                                     | 677.5                                                              | 649.4                                        | -1.4                    | 3.12                    |
| 780                            | 0.1                                 | 400           | 78                                             | 1131                                                          | 921.35                                     | 943.6                                                              | 780                                          | -19.9                   | -                       |
| 780                            | 0.15                                | 400           | 91.26                                          | 689.33                                                        | 749.75                                     | 1218.3                                                             | 1127.9                                       | 43.4                    | 33.53                   |
| 2650                           | 0.05                                | 350           | 132.5                                          | 477.27                                                        | 401.94                                     | 938.7                                                              | 732.4                                        | 49.2                    | 45.12                   |
| 2650                           | 0.075                               | 350           | 198.75                                         | 638.99                                                        | 536.54                                     | 1334.2                                                             | 982.7                                        | 52.1                    | 45.40                   |
| 2650                           | 0.1                                 | 350           | 265                                            | 1178.1                                                        | 917.63                                     | 1563.7                                                             | 1278.1                                       | 24.7                    | 28.20                   |
| 2650                           | 0.15                                | 350           | 397.5                                          | 700.75                                                        | 782                                        | 2369.3                                                             | 1878.7                                       | 70.4                    | 58.38                   |
| 2280                           | 0.05                                | 350           | 114                                            | 535.05                                                        | 443.57                                     | 398                                                                | 441.9                                        | -34.4                   | -0.38                   |
| 2280                           | 0.075                               | 350           | 171                                            | 696.77                                                        | 578.16                                     | 944.8                                                              | 813                                          | 26.3                    | 28.89                   |
| 2280                           | 0.1                                 | 350           | 228                                            | 1356.4                                                        | 1072                                       | 1043.7                                                             | 1015.6                                       | -30.0                   | -5.55                   |
| 2280                           | 0.15                                | 350           | 342                                            | 794.14                                                        | 787.66                                     | 1156                                                               | 1357.4                                       | 31.3                    | 41.97                   |
| 1405                           | 0.05                                | 350           | 70.25                                          | 404.74                                                        | 349.44                                     | 991.2                                                              | 675.1                                        | 59.2                    | 48.24                   |
| 1405                           | 0.075                               | 350           | 105.38                                         | 566.45                                                        | 428.88                                     | 753.2                                                              | 793.5                                        | 24.8                    | 45.95                   |
| 1405                           | 0.1                                 | 350           | 140.5                                          | 1105.5                                                        | 865.13                                     | 1141.4                                                             | 1069.3                                       | 3.1                     | 19.09                   |
| 1405                           | 0.15                                | 350           | 210.75                                         | 663.83                                                        | 693.53                                     | 1041.3                                                             | 1063.2                                       | 36.2                    | 34.77                   |
| 780                            | 0.05                                | 350           | 39                                             | 264.63                                                        | 218.88                                     | 872.8                                                              | 585.9                                        | 69.7                    | 62.64                   |
| 780                            | 0.075                               | 350           | 58.5                                           | 426.83                                                        | 447.04                                     | 677.5                                                              | 649.4                                        | 37.0                    | 31.16                   |
| 780                            | 0.1                                 | 350           | 78                                             | 965.9                                                         | 828.13                                     | 943.6                                                              | 780                                          | -2.4                    | -6.17                   |
| 780                            | 0.15                                | 350           | 91.26                                          | 524.21                                                        | 656.53                                     | 1218.3                                                             | 1127.9                                       | 57.0                    | 41.79                   |

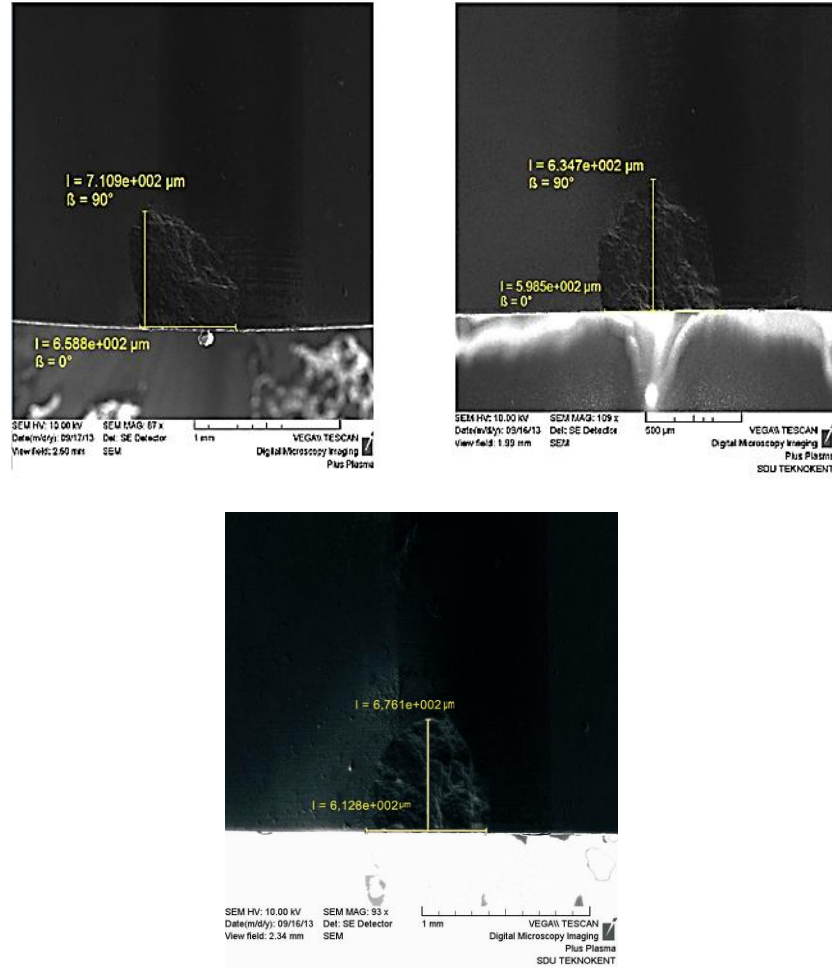
EK A3. Takım aşınma değerlerinin konvansiyonel işlemeye göre % iyileşme değerleri

| İş Mili Devri (N)<br>(Dev/Dak) | Tabla İlerleme Hızı (f)<br>(Mm/Diş) | Sıcaklık (°C) | Ön Isıtmalı İşlemede<br>Ortalama Aşınma Derinlik<br>Miktarı(µm) | Ön Isıtmalı İşlemede<br>Ortalama Aşınma Uzunluk<br>Miktarı(µm) | Konvansiyonel İşlemede<br>Ortalama Aşınma Uzunluk<br>Miktarı(µm) | Konvansiyonel İşlemede<br>Ortalama Aşınma Derinlik<br>Miktarı(µm) | % Aşınma Uzunluk<br>İyileşme Miktarı | % Aşınma Derinlik<br>İyileşme Miktarı |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 524.5                          | 0.05                                | 500           | 399.5                                                           | 529                                                            | 566.33                                                           | 235.15                                                            | 100                                  | 100                                   |
| 524.5                          | 0.075                               | 500           | 447.4                                                           | 552                                                            | 708.72                                                           | 336.4                                                             | 36.9                                 | -64.1                                 |
| 524.5                          | 0.1                                 | 500           | 478                                                             | 630.3                                                          | 875.14                                                           | 439.53                                                            | 45.4                                 | -43.4                                 |
| 524.5                          | 0.15                                | 500           | 805.4                                                           | 1017.7                                                         | 981.61                                                           | 594.85                                                            | 18                                   | -71.1                                 |
| 524.5                          | 0.05                                | 450           | 453.7                                                           | 347.9                                                          | 566.33                                                           | 235.15                                                            | 19.9                                 | -47.9                                 |
| 524.5                          | 0.075                               | 450           | 639.5                                                           | 527.5                                                          | 708.72                                                           | 336.4                                                             | 9.8                                  | -56.8                                 |
| 524.5                          | 0.1                                 | 450           | 645.3                                                           | 627.5                                                          | 875.14                                                           | 439.53                                                            | 26.3                                 | -42.8                                 |
| 524.5                          | 0.15                                | 450           | 942.7                                                           | 1014.8                                                         | 981.61                                                           | 594.85                                                            | 4                                    | -70.6                                 |
| 524.5                          | 0.05                                | 400           | 464.4                                                           | 472.3                                                          | 566.33                                                           | 235.15                                                            | 18                                   | -100.9                                |
| 524.5                          | 0.075                               | 400           | 595.4                                                           | 673.6                                                          | 708.72                                                           | 336.4                                                             | 16                                   | -100.2                                |
| 524.5                          | 0.1                                 | 400           | 613                                                             | 471                                                            | 875.14                                                           | 439.53                                                            | 30                                   | -7.2                                  |
| 524.5                          | 0.15                                | 400           | 953.4                                                           | 1139.2                                                         | 981.61                                                           | 594.85                                                            | 2.9                                  | -91.5                                 |
| 524.5                          | 0.05                                | 350           | 482.3                                                           | 551.3                                                          | 566.33                                                           | 235.15                                                            | 14.8                                 | -134.4                                |
| 524.5                          | 0.075                               | 350           | 613.3                                                           | 752.6                                                          | 708.72                                                           | 336.4                                                             | 13.5                                 | -123.7                                |
| 524.5                          | 0.1                                 | 350           | 643.9                                                           | 830.8                                                          | 875.14                                                           | 439.53                                                            | 26.4                                 | -89                                   |
| 524.5                          | 0.15                                | 350           | 846.5                                                           | 1242.5                                                         | 981.61                                                           | 594.85                                                            | 13.8                                 | -108.9                                |
| 451.3                          | 0.05                                | 500           | 221.3                                                           | 52                                                             | 439.72                                                           | 273.94                                                            | 49.7                                 | 81                                    |
| 451.3                          | 0.075                               | 500           | 0                                                               | 0                                                              | 703.11                                                           | 363.83                                                            | 100                                  | 100                                   |
| 451.3                          | 0.1                                 | 500           | 382.9                                                           | 231.6                                                          | 771.81                                                           | 487.46                                                            | 50.4                                 | 52.5                                  |
| 451.3                          | 0.15                                | 500           | 710.3                                                           | 718.9                                                          | 697.3                                                            | 364.59                                                            | -1.9                                 | -97.2                                 |
| 451.3                          | 0.05                                | 450           | 572                                                             | 145                                                            | 439.72                                                           | 273.94                                                            | -30.1                                | 47.1                                  |
| 451.3                          | 0.075                               | 450           | 489.6                                                           | 250.4                                                          | 703.11                                                           | 363.83                                                            | 30.4                                 | 31.2                                  |
| 451.3                          | 0.1                                 | 450           | 520.2                                                           | 328.7                                                          | 771.81                                                           | 487.46                                                            | 32.6                                 | 32.6                                  |
| 451.3                          | 0.15                                | 450           | 847.6                                                           | 716                                                            | 697.3                                                            | 364.59                                                            | -21.6                                | -96.4                                 |
| 451.3                          | 0.05                                | 400           | 369.3                                                           | 173.6                                                          | 439.72                                                           | 273.94                                                            | 16                                   | 36.6                                  |
| 451.3                          | 0.075                               | 400           | 500.3                                                           | 374.8                                                          | 703.11                                                           | 363.83                                                            | 28.8                                 | -3                                    |
| 451.3                          | 0.1                                 | 400           | 530.9                                                           | 353                                                            | 771.81                                                           | 487.46                                                            | 31.2                                 | 27.6                                  |
| 451.3                          | 0.15                                | 400           | 823                                                             | 928                                                            | 697.3                                                            | 364.59                                                            | -18                                  | -154.5                                |
| 451.3                          | 0.05                                | 350           | 387.2                                                           | 252.6                                                          | 439.72                                                           | 273.94                                                            | 11.9                                 | 7.8                                   |
| 451.3                          | 0.075                               | 350           | 518.2                                                           | 453.8                                                          | 703.11                                                           | 363.83                                                            | 26.3                                 | -24.7                                 |
| 451.3                          | 0.1                                 | 350           | 722                                                             | 501                                                            | 771.81                                                           | 487.46                                                            | 6.5                                  | -2.8                                  |
| 451.3                          | 0.15                                | 350           | 876.2                                                           | 919.4                                                          | 697.3                                                            | 364.59                                                            | -25.7                                | -152.2                                |
| 278.1                          | 0.05                                | 500           | 0                                                               | 0                                                              | 700.08                                                           | 461.9                                                             | 100                                  | 100                                   |
| 278.1                          | 0.075                               | 500           | 55.9                                                            | 73                                                             | 666.49                                                           | 501.15                                                            | 91.6                                 | 85.4                                  |
| 278.1                          | 0.1                                 | 500           | 0                                                               | 0                                                              | 819.17                                                           | 529.65                                                            | 63.4                                 | 37.9                                  |

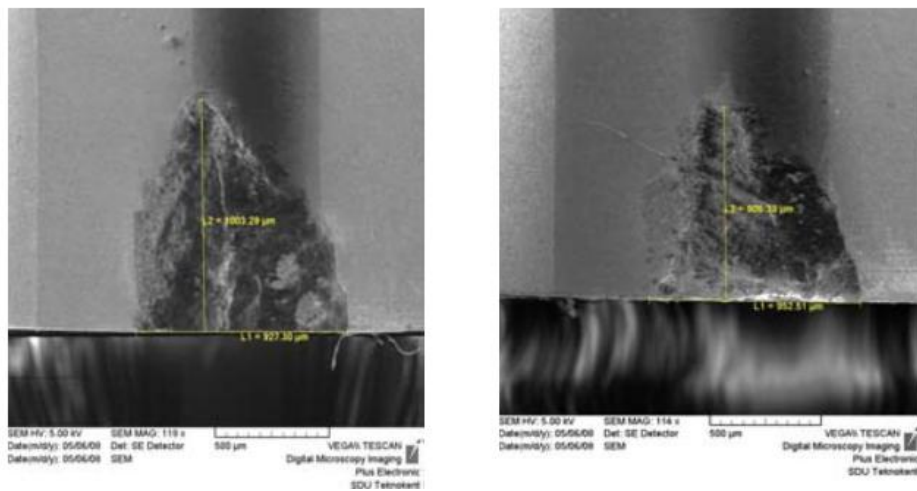
EK A3'ün devamı

| İş Mili Devri (N)<br>(Dev/Dak) | Tabla İlerleme Hızı (f)<br>(Mm/Diş) | Sıcaklık (°C) | Ön Isıtmalı İşlemede<br>Ortalama Aşınma Derinlik<br>Miktarı(μm) | Ön Isıtmalı İşlemede<br>Ortalama Aşınma Uzunluk<br>Miktarı(μm) | Konvansiyonel İşlemede<br>Ortalama Aşınma Uzunluk<br>Miktarı(μm) | Konvansiyonel İşlemede<br>Ortalama Aşınma Derinlik<br>Miktarı(μm) | % Aşınma Uzunluk İyileşme<br>Miktarı | % Aşınma Derinlik İyileşme<br>Miktarı |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 278.1                          | 0.15                                | 500           | 413.9                                                           | 539                                                            | 687.59                                                           | 281.44                                                            | 39.8                                 | -91.5                                 |
| 278.1                          | 0.05                                | 450           | 62.2                                                            | 0                                                              | 700.08                                                           | 461.9                                                             | 91.1                                 | 100                                   |
| 278.1                          | 0.075                               | 450           | 193.2                                                           | 70.6                                                           | 666.49                                                           | 501.15                                                            | 71                                   | 85.9                                  |
| 278.1                          | 0.1                                 | 450           | 223.8                                                           | 48.8                                                           | 819.17                                                           | 529.65                                                            | 72.7                                 | 90.8                                  |
| 278.1                          | 0.15                                | 450           | 357.5                                                           | 299.5                                                          | 687.59                                                           | 281.44                                                            | 48                                   | -6.4                                  |
| 278.1                          | 0.05                                | 400           | 88.5                                                            | 47                                                             | 700.08                                                           | 461.9                                                             | 87.4                                 | 89.8                                  |
| 278.1                          | 0.075                               | 400           | 203.9                                                           | 195                                                            | 666.49                                                           | 501.15                                                            | 69.4                                 | 61.1                                  |
| 278.1                          | 0.1                                 | 400           | 234.6                                                           | 173.2                                                          | 819.17                                                           | 529.65                                                            | 71.4                                 | 67.3                                  |
| 278.1                          | 0.15                                | 400           | 561.9                                                           | 660.6                                                          | 687.59                                                           | 281.44                                                            | 18.3                                 | -134.7                                |
| 278.1                          | 0.05                                | 350           | 90.8                                                            | 72.7                                                           | 700.08                                                           | 461.9                                                             | 87                                   | 84.3                                  |
| 278.1                          | 0.075                               | 350           | 485.5                                                           | 508                                                            | 666.49                                                           | 501.15                                                            | 27.2                                 | -1.4                                  |
| 278.1                          | 0.1                                 | 350           | 252.4                                                           | 252.2                                                          | 819.17                                                           | 529.65                                                            | 69.2                                 | 52.4                                  |
| 278.1                          | 0.15                                | 350           | 579.8                                                           | 739.6                                                          | 687.59                                                           | 281.44                                                            | 15.7                                 | -162.8                                |
| 154.4                          | 0.05                                | 500           | 404.7                                                           | 333.8                                                          | 938.12                                                           | 689.46                                                            | 56.9                                 | 51.6                                  |
| 154.4                          | 0.075                               | 500           | 535.7                                                           | 535                                                            | 910.05                                                           | 727.02                                                            | 41.1                                 | 26.4                                  |
| 154.4                          | 0.1                                 | 500           | 566.3                                                           | 615                                                            | 908.7                                                            | 853.17                                                            | 37.7                                 | 27.9                                  |
| 154.4                          | 0.15                                | 500           | 1247.5                                                          | 1125.5                                                         | 1242.64                                                          | 1361.97                                                           | 20.5                                 | 32                                    |
| 154.4                          | 0.05                                | 450           | 541.9                                                           | 331                                                            | 938.12                                                           | 689.46                                                            | 42.2                                 | 52                                    |
| 154.4                          | 0.075                               | 450           | 672.9                                                           | 532.2                                                          | 910.05                                                           | 727.02                                                            | 26.1                                 | 26.8                                  |
| 154.4                          | 0.1                                 | 450           | 683                                                             | 629                                                            | 908.7                                                            | 853.17                                                            | 24.8                                 | 26.3                                  |
| 154.4                          | 0.15                                | 450           | 1030.9                                                          | 998                                                            | 1242.64                                                          | 1361.97                                                           | 25.1                                 | 26.7                                  |
| 154.4                          | 0.05                                | 400           | 552.7                                                           | 455.3                                                          | 938.12                                                           | 689.46                                                            | 41.1                                 | 34                                    |
| 154.4                          | 0.075                               | 400           | 716.5                                                           | 696.5                                                          | 910.05                                                           | 727.02                                                            | 21.3                                 | 4.2                                   |
| 154.4                          | 0.1                                 | 400           | 734.3                                                           | 734.8                                                          | 908.7                                                            | 853.17                                                            | 19.2                                 | 13.9                                  |
| 154.4                          | 0.15                                | 400           | 1041.7                                                          | 1122.2                                                         | 1242.64                                                          | 1361.97                                                           | 24.2                                 | 17.6                                  |
| 154.4                          | 0.05                                | 350           | 258.5                                                           | 207                                                            | 938.12                                                           | 689.46                                                            | 72.4                                 | 70                                    |
| 154.4                          | 0.075                               | 350           | 701.6                                                           | 735.6                                                          | 910.05                                                           | 727.02                                                            | 22.9                                 | -1.2                                  |
| 154.4                          | 0.1                                 | 350           | 732.2                                                           | 813.8                                                          | 908.7                                                            | 853.17                                                            | 19.4                                 | 4.6                                   |
| 154.4                          | 0.15                                | 350           | 1059.6                                                          | 1201.2                                                         | 1242.64                                                          | 1361.97                                                           | 22.8                                 | 11.8                                  |

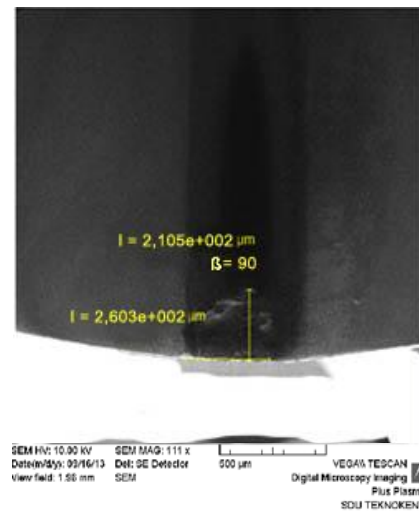
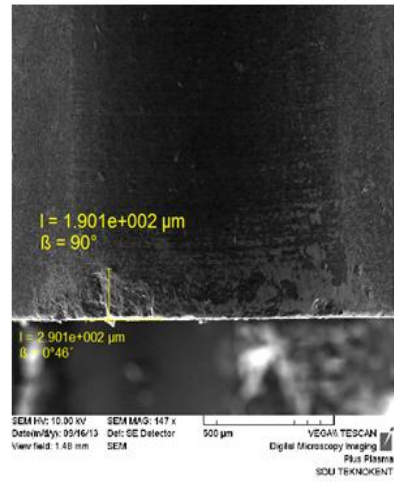
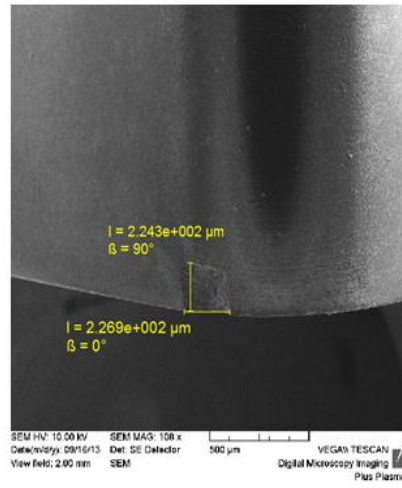
## EK B. ŞEKİLLER



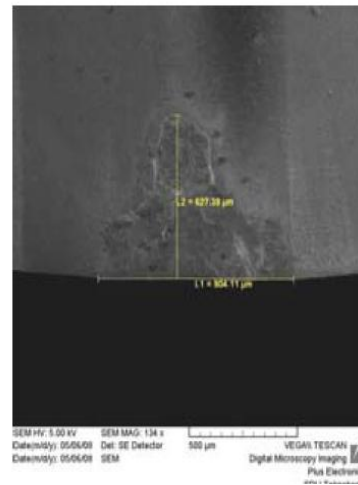
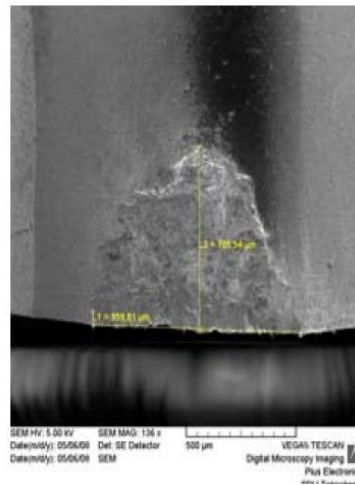
EK B1. 154.4m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş ilerleme hızında, 450°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



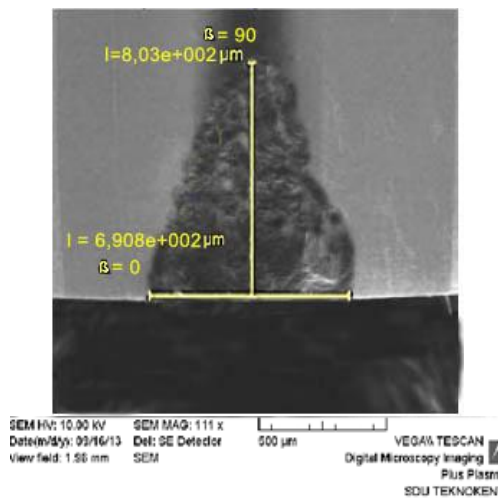
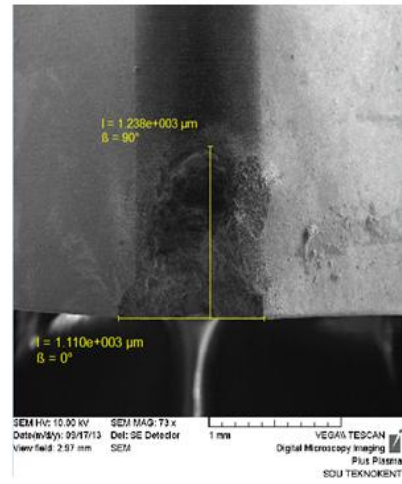
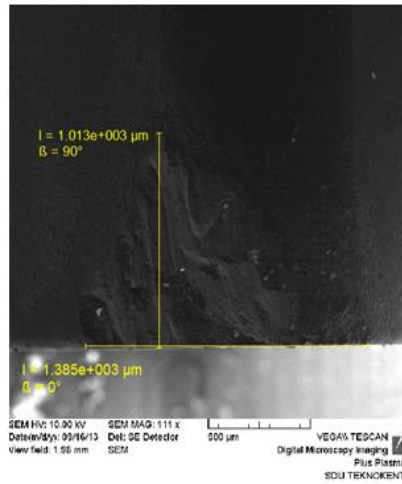
EK B2. 154.4m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



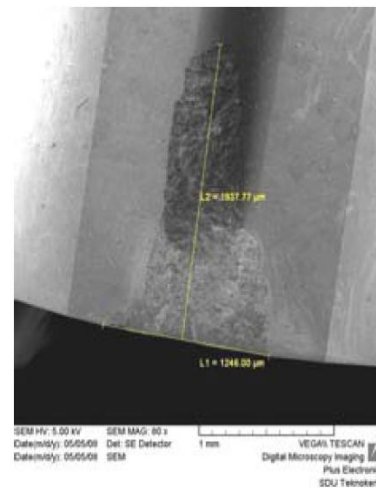
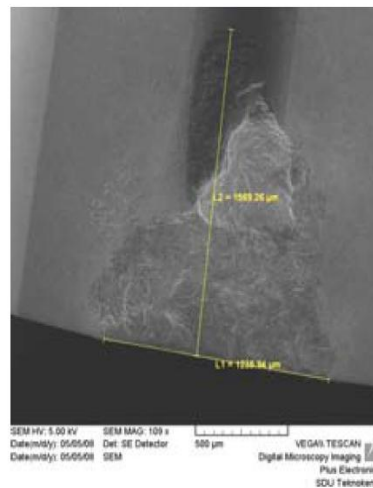
EK B3. 154.4m/dak kesme hızı ve 0,05mm/diş ilerleme hızında, 350°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



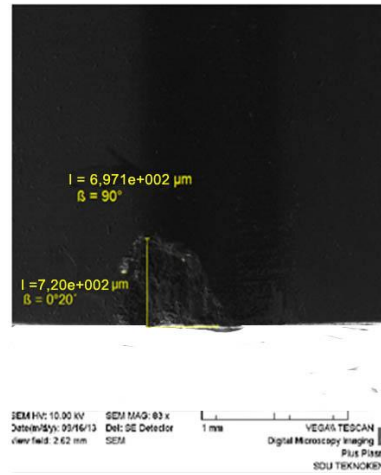
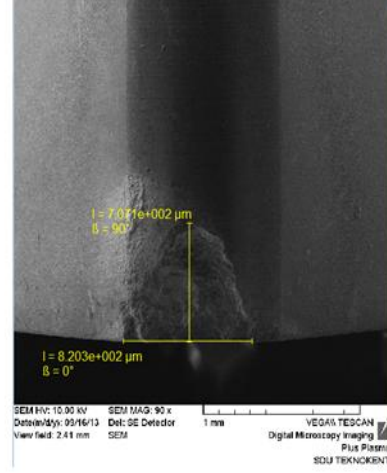
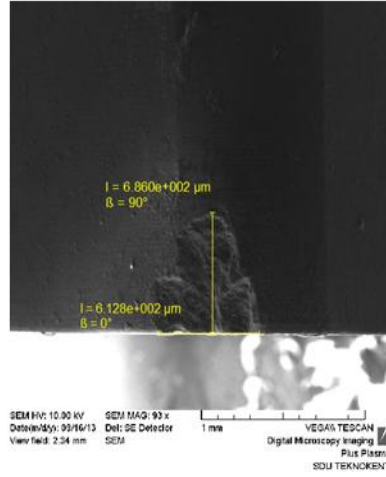
EK B4. 154.4m/dak kesme hızı ve 0,05mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



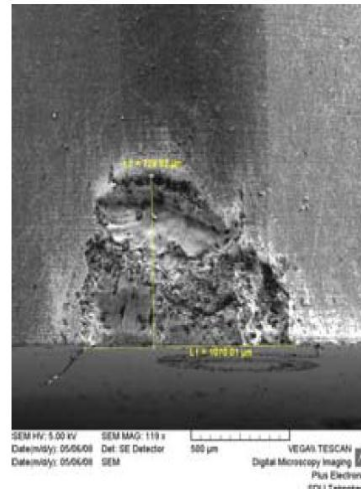
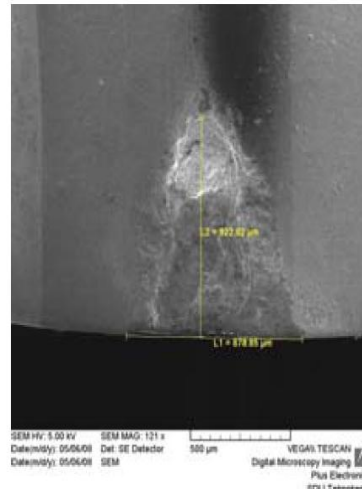
EK B5. 154.4m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında, 500°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



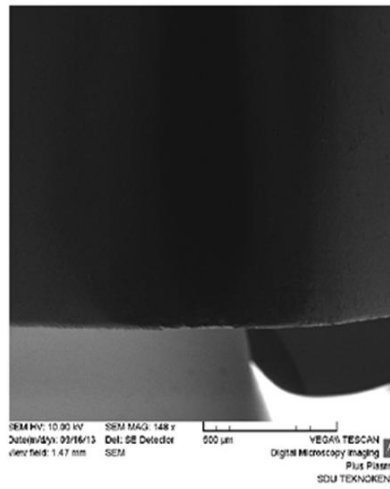
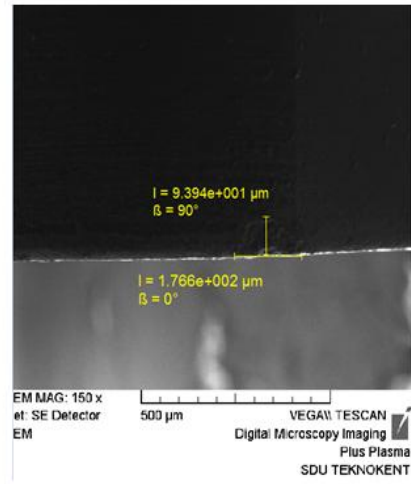
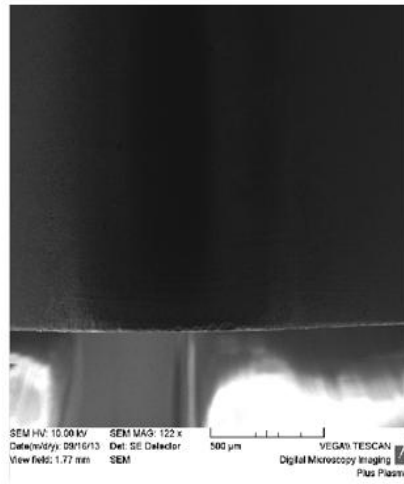
EK B6. 154.4m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



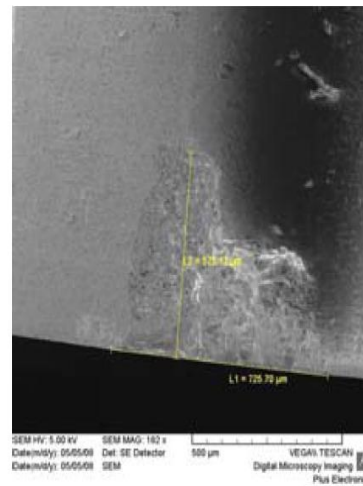
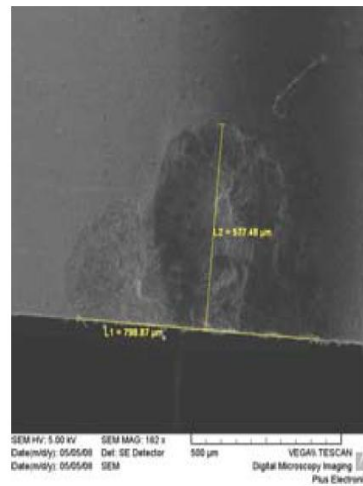
EK B7. 154.4m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



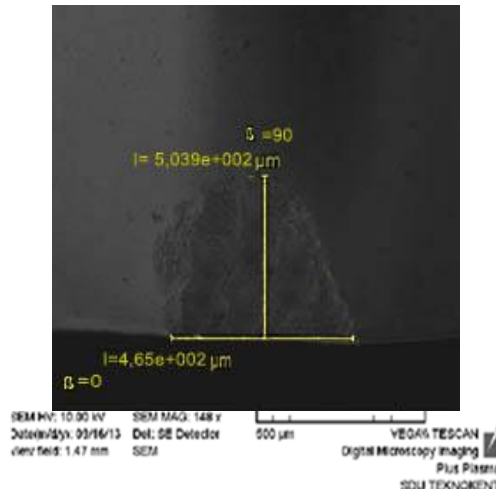
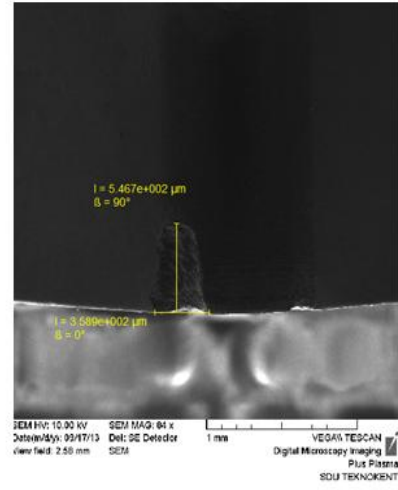
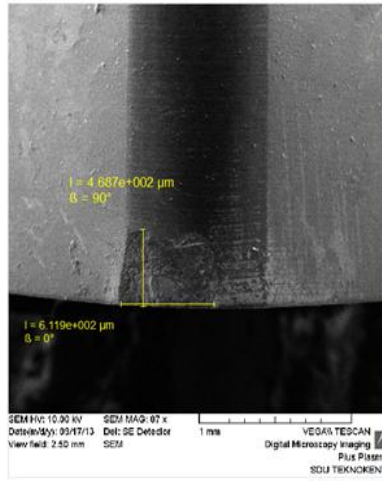
EK B8. 154.4m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



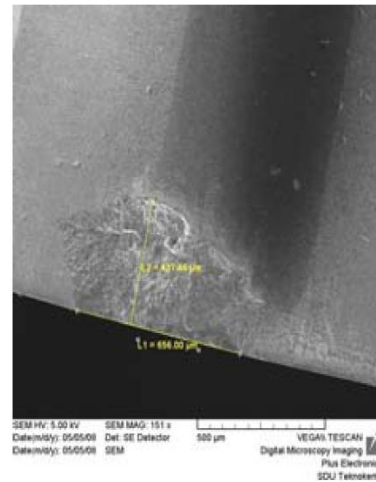
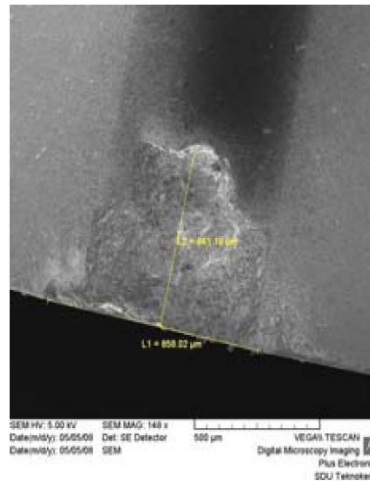
EK B9. 278.1m/dak kesme hızı ve 0,05mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



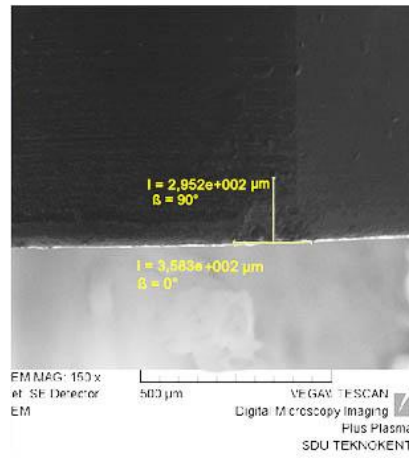
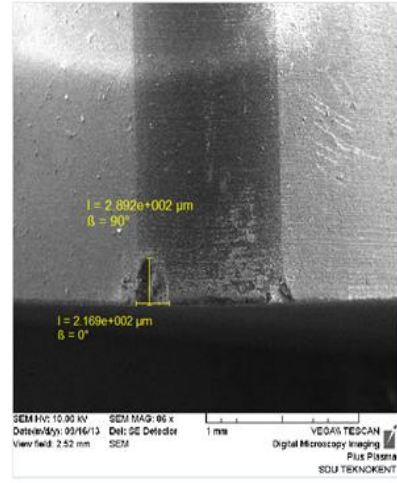
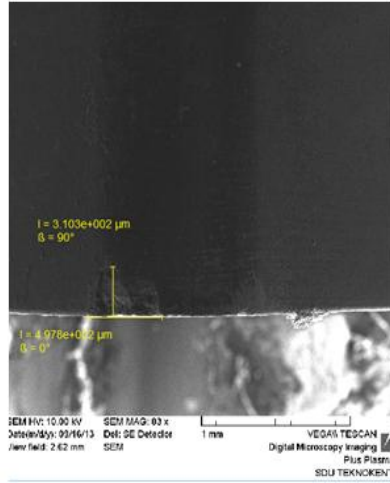
EK B10. 278.1m/dak kesme hızı ve 0,05mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



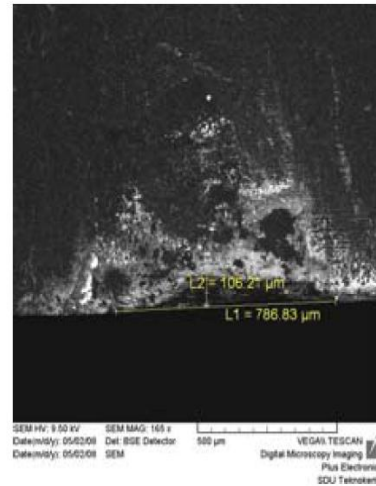
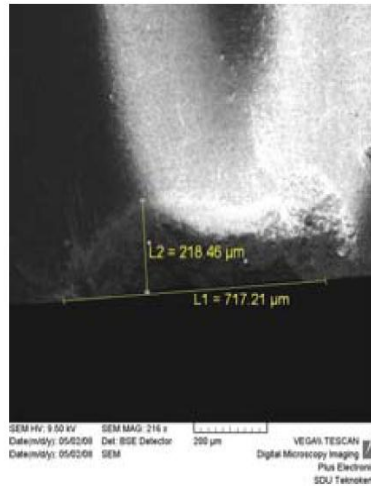
EK B11. 278.1m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş ilerleme hızında, 350°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



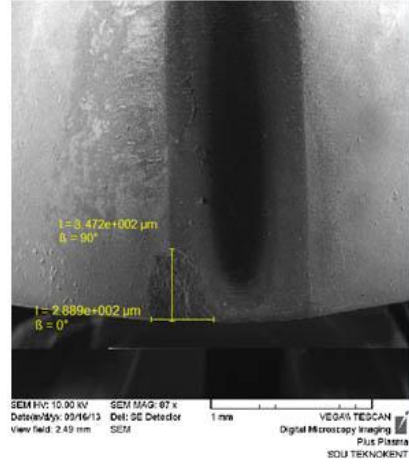
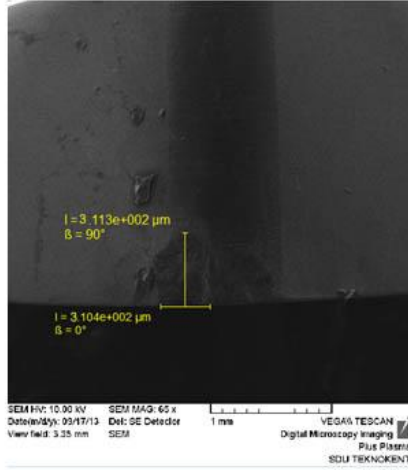
EK B12. 278.1m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



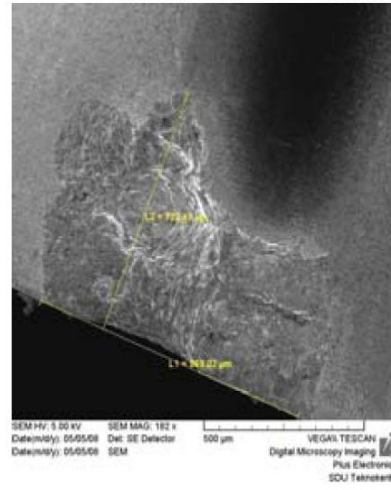
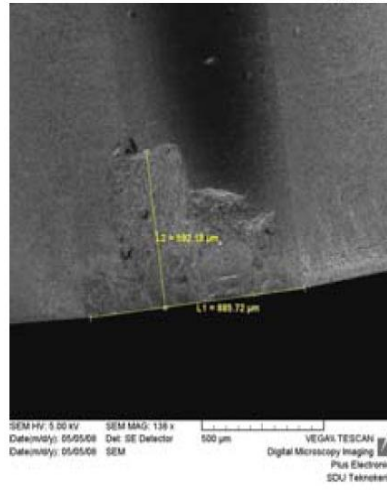
EK B13. 278.1m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında, 450°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



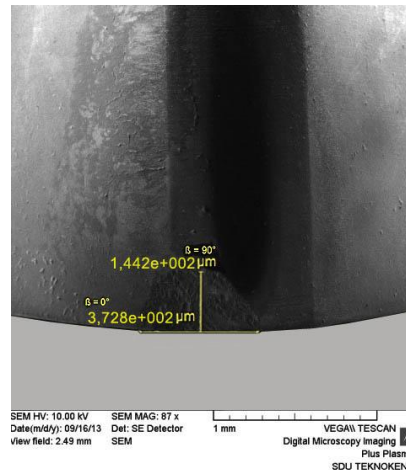
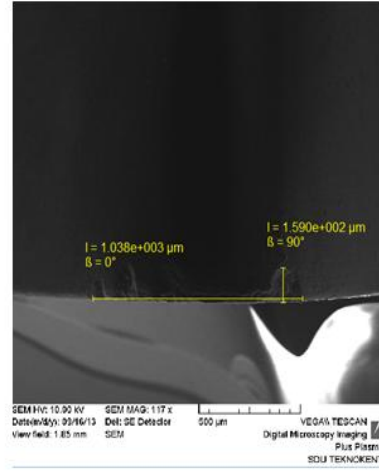
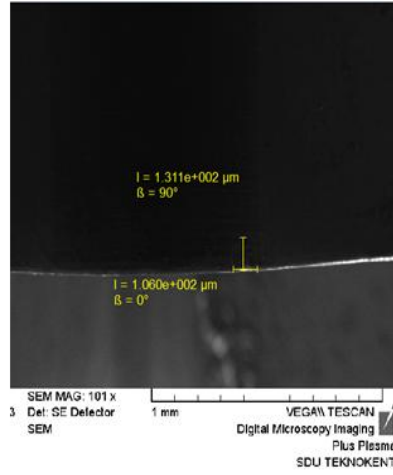
EK B14. 278.1m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



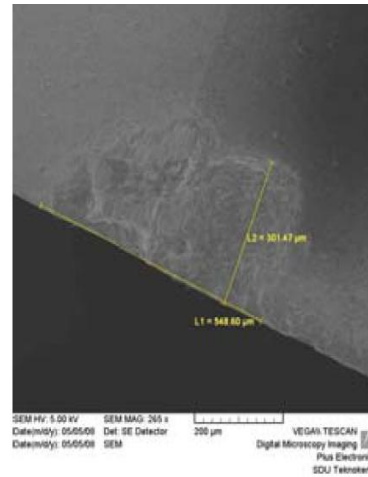
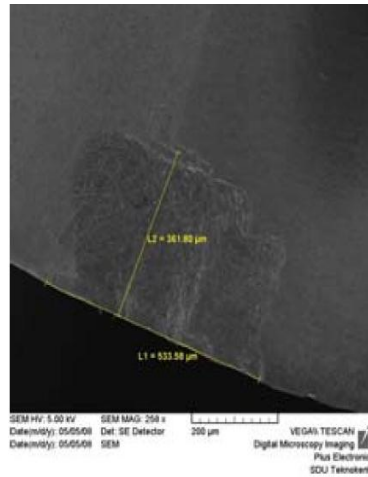
EK B15. 278.1m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş ilerleme hızında, 500°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



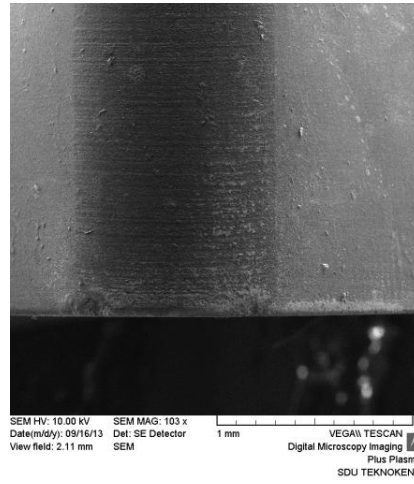
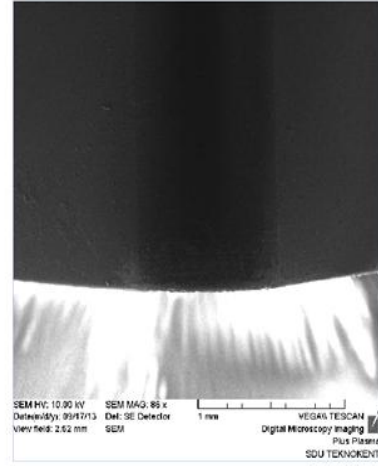
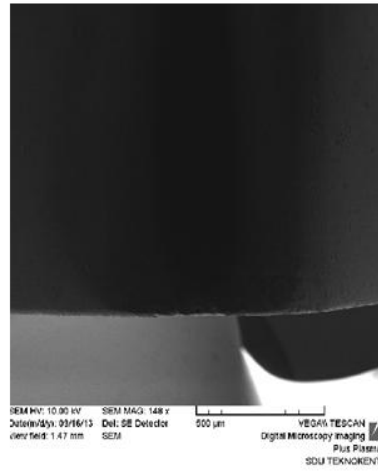
EK B16. 278.1m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



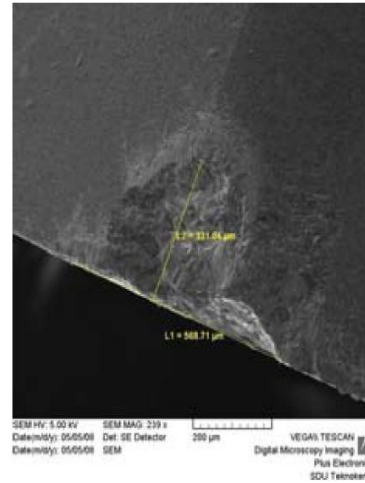
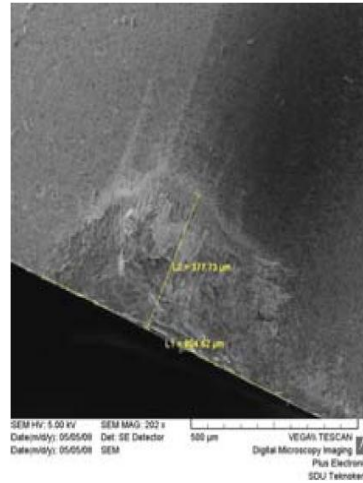
EK B17. 451.3m/dak kesme hızı ve 0,05mm/diş ilerleme hızında, 450°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



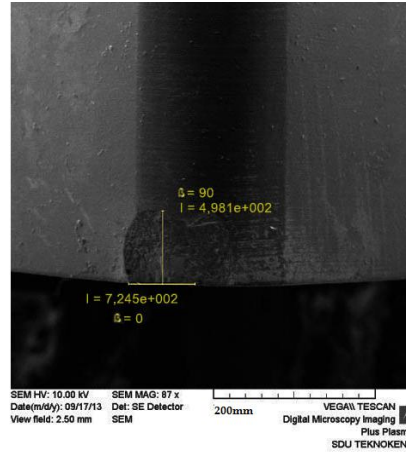
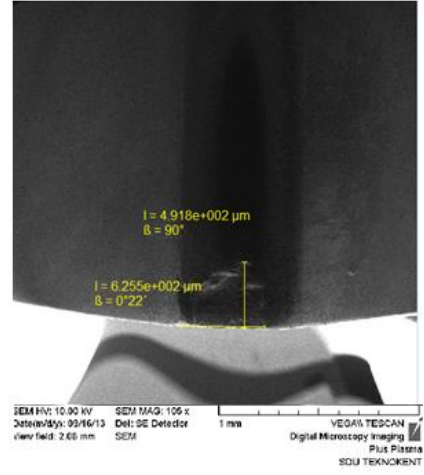
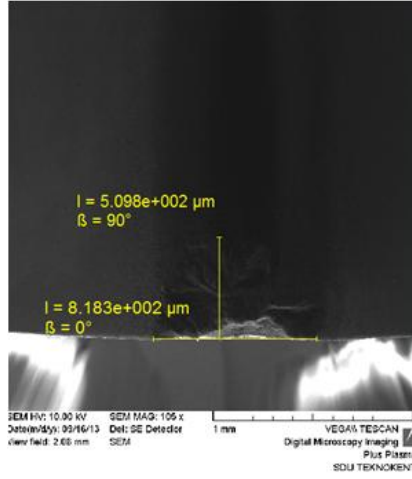
EK B18. 451.3m/dak kesme hızı ve 0,05mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



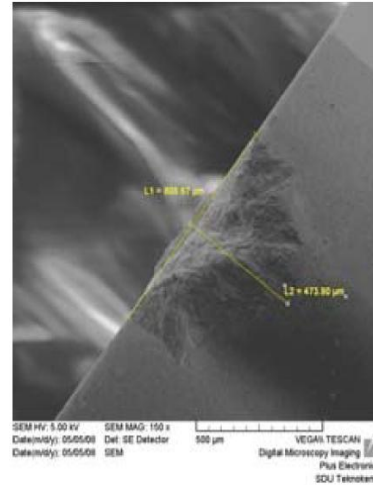
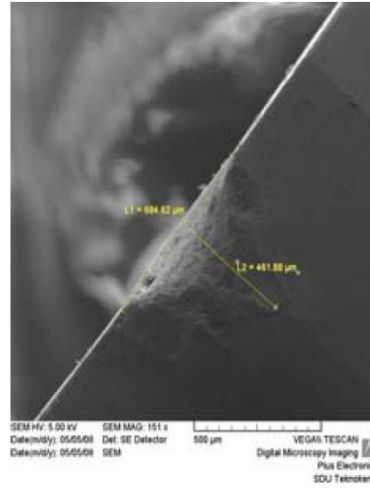
EK B19. 451.3m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş ilerleme hızında, 500°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



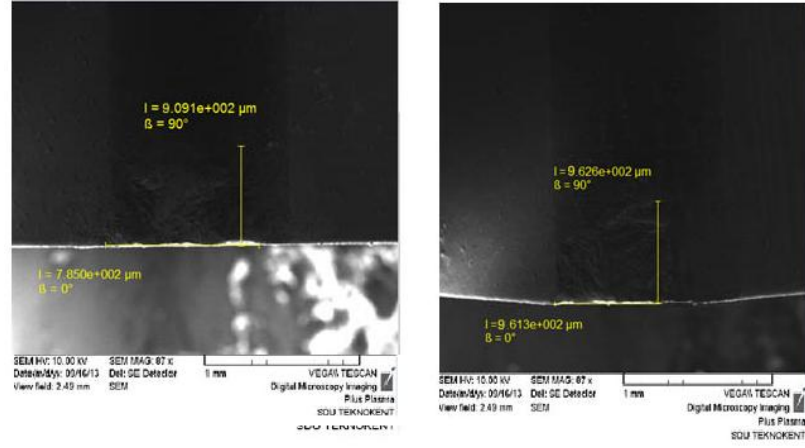
EK B20. 451.3m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



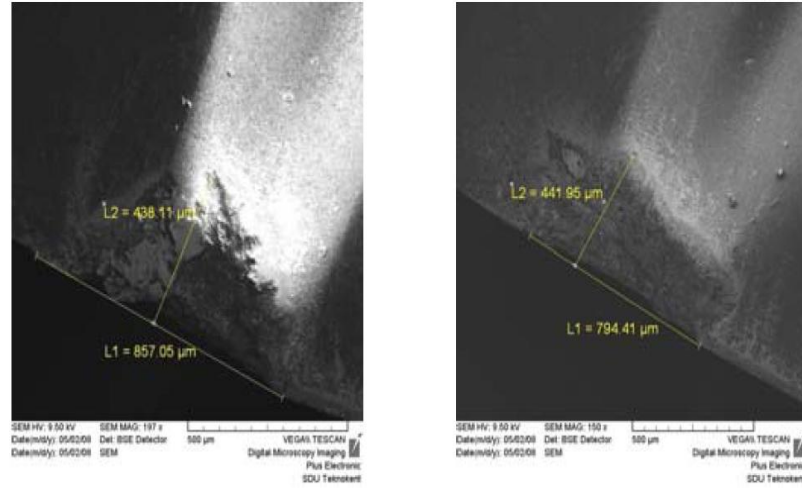
EK B21. 451.3m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş ilerleme hızında, 350°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



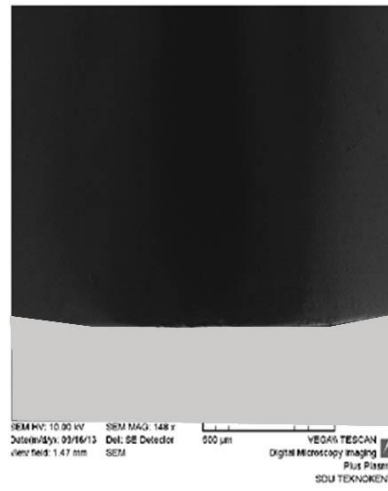
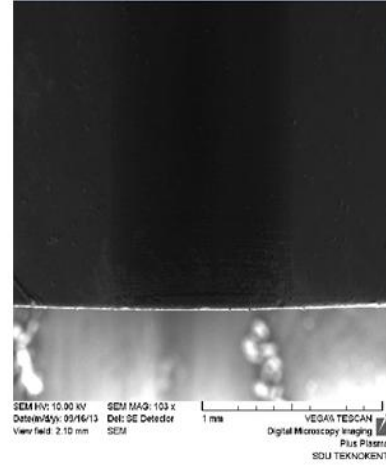
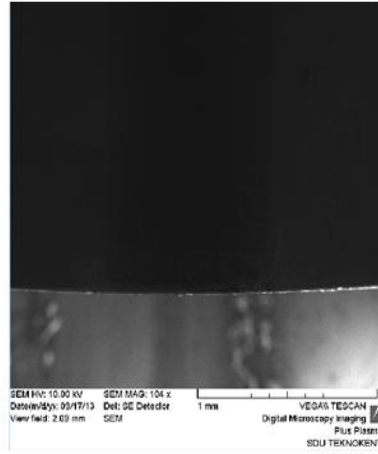
EK B22. 451.3m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



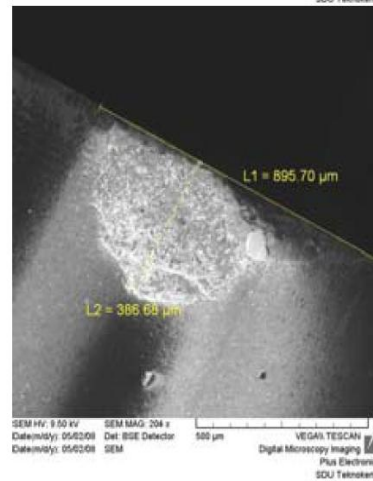
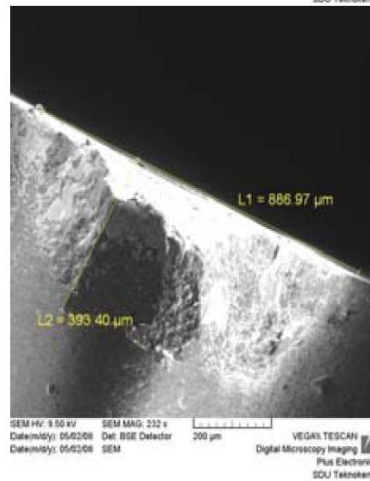
EK B23. 451.3m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



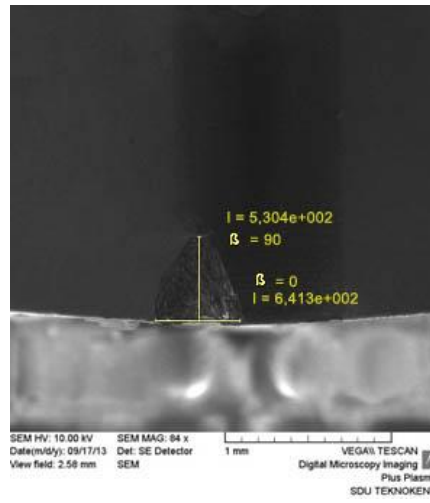
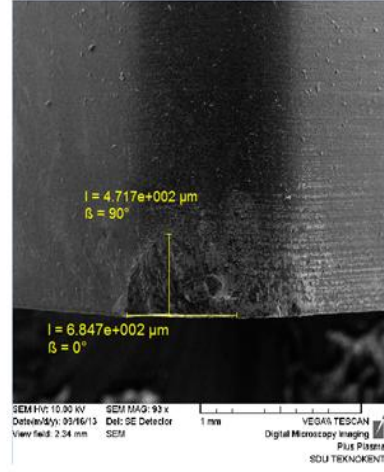
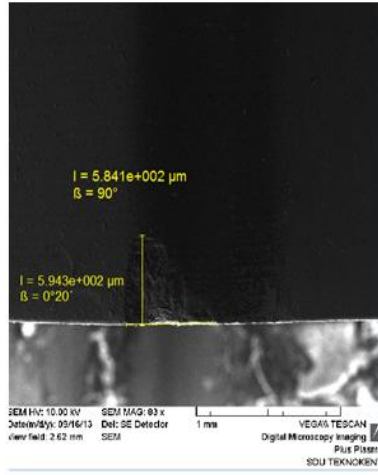
EK B24. 451.3m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



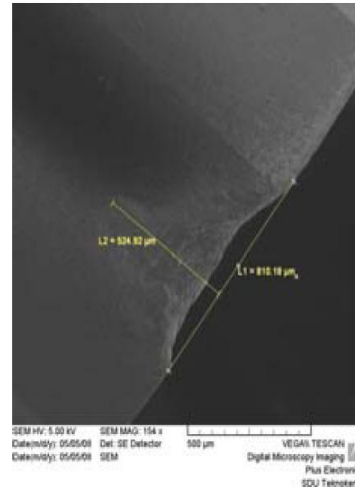
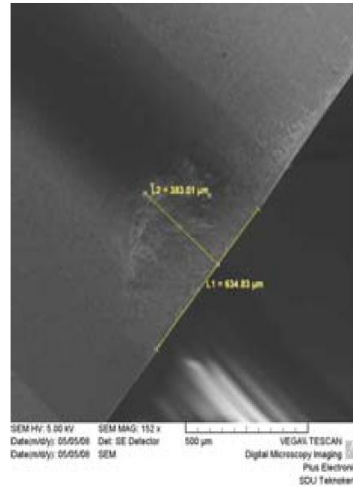
EK B25. 524.5m/dak kesme hızı ve 0,05mm/diş ilerleme hızında, 500°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



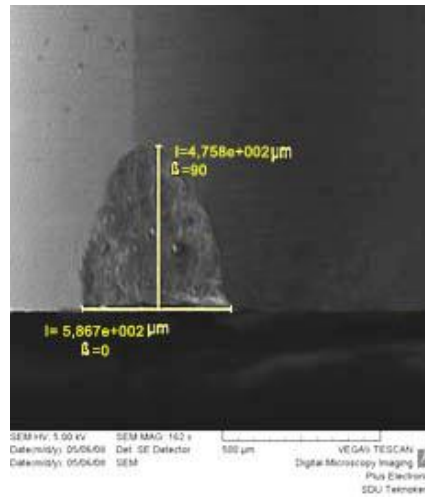
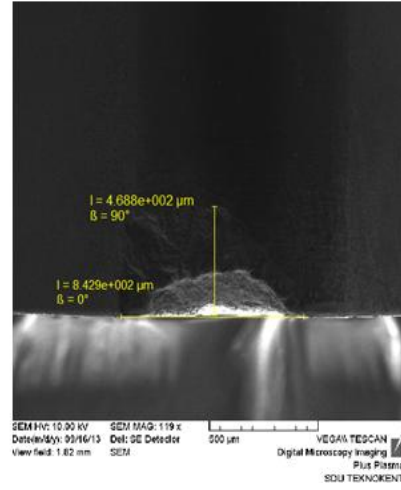
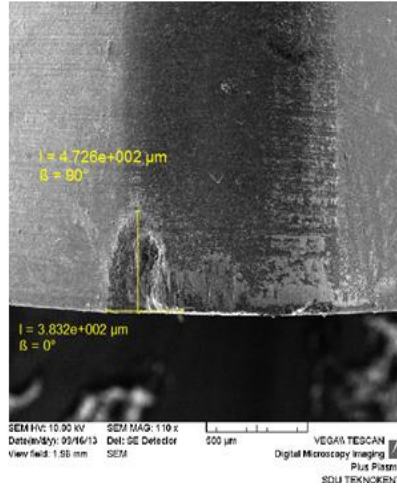
EK B26. 524.5m/dak kesme hızı ve 0,05mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



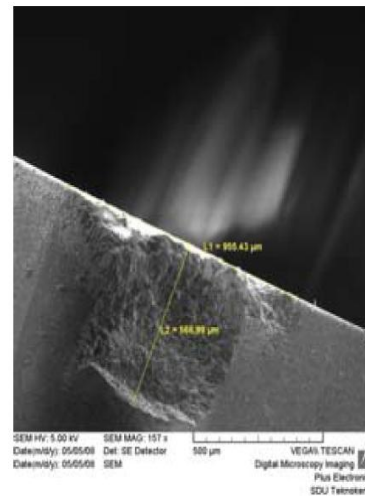
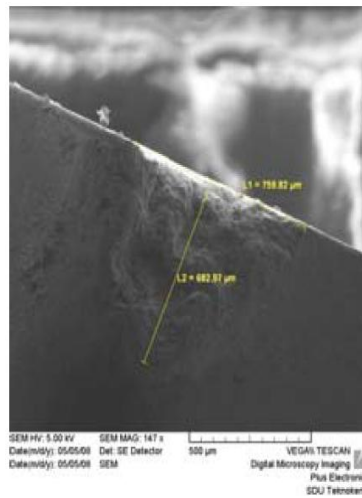
EK B27. 524.5m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş ilerleme hızında, 450°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



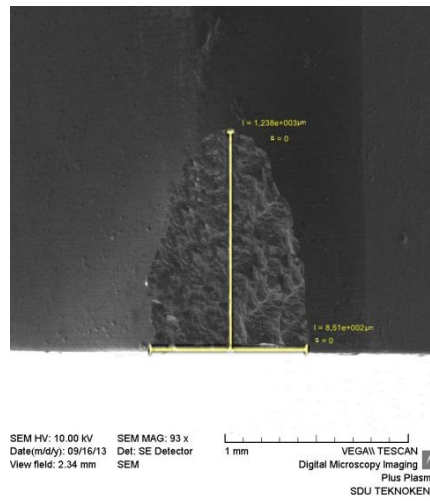
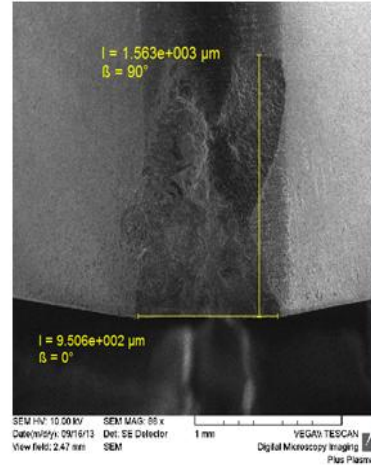
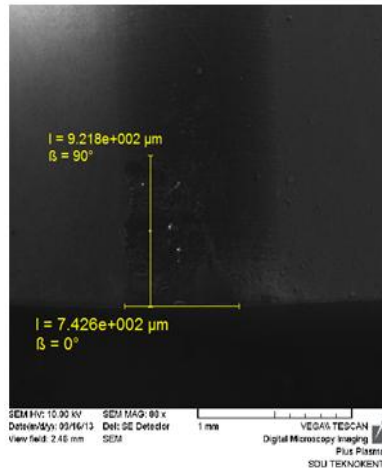
EK B28. 524.5m/dak kesme hızı ve 0,075mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



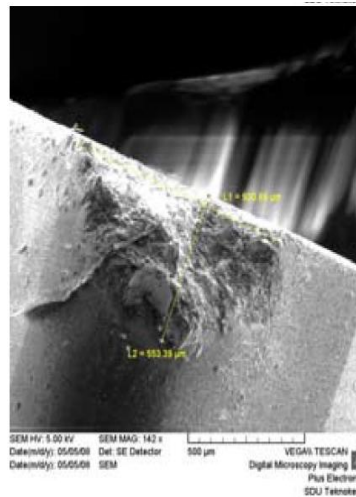
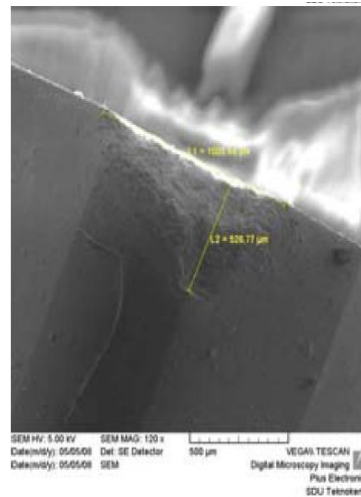
EK B29. 524.5m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş ilerleme hızında, 400°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



EK B30. 524.5m/dak kesme hızı ve 0,1mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)



EK B31. 524.5m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında, 350°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları



EK B32. 524.5m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında, 20°C'de yapılan deneylerde elde edilen aşınma fotoğrafları (Taylan 2009)

Besteller/Purchaser/Commandant  
OSMANLI CELIK SAN. TIC. LTD. STI.

DES SAN. SIT. 116 SOK. C23  
TR-81260 Y. DUDULLU - ISTANBUL  
TUERKEI

Bestell-Nr./Purchaser's Order No./No. de commande  
206135

Unsere Auftrags-Nr./Works Order No./No. de commande d'usine  
932.362/TR vom 06.09.18/01/

Lieferschein/Dispatch note/Avis d'expédition  
50/113.828/ vom 06.09.29

Prüfgegenstand/Object of tests/Object d'examen  
BOEHLER K720 W-NR. 1.2842  
STABSTAHL GEWALZT, GEGLUEHT MAX. 220 HB, GESTRAHLT  
ERZEUGUNGSLANG 3.000,000MM - 4.000,000MM

Umfang der Lieferung/Volume of delivery/liste descriptive

30 FL 100,000MM X 50,000MM

| Gewicht kg<br>Weight kgs<br>Poids kg | Schmelze<br>Heat No.<br>No. de coulée | Prüf-Nr<br>Test No.<br>Epreuve |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 262.00                               | N18026                                |                                |

Chemische Zusammensetzung/Chemical Composition/Composition chimique (%)

| Schmelze<br>Heat No.<br>No. de coulée | C    | SI   | MN   | P     | S     | CR   | V    |
|---------------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| N18026                                | 0,88 | 0,29 | 2,07 | 0,024 | 0,009 | 0,26 | 0,08 |

Mechanische Eigenschaften/Mechanical Properties/Caractéristiques mécaniques

| Prüf-Nr<br>Test No.<br>Epreuve | Haerte/<br>Brinell |
|--------------------------------|--------------------|
| 30                             | 0196-0196          |

Erschmelzungsart/Steelmaking Process/Procédé d'acieration:

BÖHLER  
Edelstahl GmbH  
  
(ATTESTSTELLE)

EK B33. DIN 1.2842 soğuk iş takım çeliği sertifikası

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Benek HAMAMCI  
Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1978  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : benekhamamci@sdu.edu.tr

## Eğitim Durumu

Lise : Sinop Anadolu Lisesi, 1996  
Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat Öğretmenliği  
Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi  
Doktora : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği

## Mesleki Deneyim

SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü 2004-2014

## Yayınlar

**SCI, SSCI ve AHCI tarafından taranan dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makale**

Melek USAL and Benek HAMAMCI "A Mathematical Model for the Linear Constitutive Equations of a Thermoelastic Composite Continuum Reinforced by Single Family of Arbitrarily Fiber", Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol.: 26, No:2, 315-324, 2011

**Hakemli dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdimi ve özet türünden yayınlar dışındaki makale**

Emre Hamamcı, Benek Hamamcı, M. Cengiz Kayacan, 2012, "Zor İşlenen Parçaların Ön Isıtmalı İşlenmesi". Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknolojik Araştırmalar Elektronik Dergileri, Makine Teknolojileri Dergisi, 9(3), 1-15.

**Ulusal toplantıda sunularak tam metin olarak yayımlanan bildiri**

Emre Hamamcı, Benek Hamamcı, M. Cengiz Kayacan, Sert Malzemelerin Ön Isıtmalı İşlenmesinde, İndüksiyonla Isıtmada, İşleme ve Isıtma Parametrelerine Göre Isıl Dağılımın Deneysel Belirlenmesi", VI. MAKİNA TASARIM ve İMALAT TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ, 22-23 Ekim 2011

**Ulusal kuruluşlarca desteklenen projede görev alma**

Sert Malzemelerin ön ısıtmalı işlenmesi, SDU BAP, 2306-D10