

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

**Ti6Al4V TİTANYUM ALAŞIMININ ÖN ISITMALI ŞARTLARDA
FREZELENMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Emre HAMAMCI

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

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2014**

©2014 [EmreHAMAMCI]

TEZ ONAYI

Emre HAMAMCI tarafından hazırlanan **Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Ön Isıtmalı Şartlarda Frezelenmesinin Araştırılması.** 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

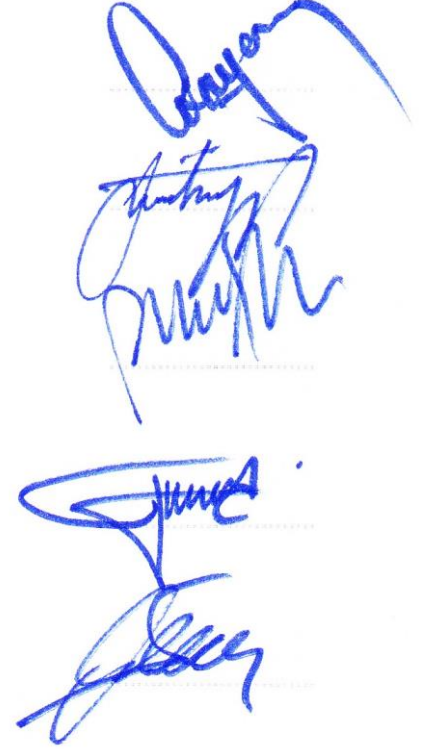
Jüri Üyesi **Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ**
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Fatih TAYLAN**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Oğuz ÇOLAK**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. 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.

Emre HAMAMCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
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. Frezeleme.....	4
1.1.2.1. Kesme Kuvvetleri.....	5
1.1.2.2. Frezeleme İşleminin Mekanikliği.....	6
1.1.3. Takım Ömrü	7
1.1.4. Yüzey Pürüzlülüğü.....	10
1.1.4.1. Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	10
1.1.5. İndüksiyon Fırınları	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	14
2.1. Sert İşleme İle İlgili Kaynak Özetleri	14
2.2. Ön Isıtma İle İlgili Kaynak Özetleri	16
2.3. Takım Aşınması ve Takım Ömrü İle İlgili Kaynak Özetleri.....	27
2.4. Akıllı Yöntemler ve Uygulamaları	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Materyal	34
3.1.1. Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler.....	34
3.1.1.1. Kesici Takım.....	34
3.1.1.2. Takım Tutucu	35
3.1.1.3. İş Parçası	36
3.1.2. Cihaz ve Sistemler.....	37
3.1.2.1. Dinamometre.....	38
3.1.2.2. İndüksiyon Cihazı ve Tesisatı.....	38
3.1.2.3. Veri Toplama Cihazı (Data Logger Cihazı)	40
3.1.2.4. Veri Toplama Kartı	41
3.1.2.5. Termokupl	41
3.1.2.6. Amplifikatör	41
3.1.2.7. Yüzey Pürüzlülük Cihazı.....	41
3.1.2.8. Stereo Zoom Mikroskop	42
3.1.2.9. Tarama Elektron Mikroskobu.....	42
3.1.3. Tezgâhlar.....	42
3.1.3.1. Dalma Erozyon Tezgâhı.....	42
3.1.3.2. Dik İşleme Merkezi.....	43
3.2. Yöntem.....	43
3.2.1. Ön Hazırlık Deneylerinin Yapılması.....	44
3.2.2. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi.....	49
3.2.3. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi	54
3.2.4. Kesme Kuvveti Ölçümleri	54

3.2.5. Takım Aşınması Ölçümleri.....	56
3.2.6. Evrimsel Programlama ile Modelleme	57
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	58
4.1. Kesme Kuvveti Bulguları	58
4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları.....	82
4.3. Takım Aşınması ve Takım Ömrü Bulguları.....	115
4.4. Evrimsel Programlama ile Modelleme	122
4.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Tahmini İçin Modellemeler ve Uygulaması.	122
4.4.2. Kesme Kuvvetleri (Fxort ve Fyort) İçin Modellemeler ve Uygulaması	129
5. SONUÇLAR.....	140
KAYNAKLAR	144
ÖZGEÇMİŞ.....	150

ÖZET

DOKTORA TEZİ

Ti6Al4V TİTANYUM ALAŞIMININ ÖN ISITMALI ŞARTLARDA FREZELENMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Emre HAMAMCI

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

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN

Bu çalışmada, frezelemede titanyum alaşımı olan Ti6Al4V malzeme, (PVD ile) kaplanmış karbür kesici uçlarla farklı kesme şartlarında ve farklı ön ısıtma sıcaklıklarında talaş kaldırmak suretiyle kesici uçlardaki aşınma mekanizmaları, iş parçası üzerinde oluşan pürüzlülük incelenmiş, literatür çalışmalarıyla mukayese edilmiş ve takım ömrü belirlenmeye çalışılmıştır.

Deneyler CAD/CAM Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan Hartford marka dikey işleme merkezinde yapılmıştır. Ön ısıtma işlemi CAD/CAM Merkezinde bulunan indüksiyon fırını ile yapılmıştır.

Çalışmada kesme sırasında oluşan kesme kuvveti, dinamometre ile takım aşınması SEM tarama elektron mikroskobu ile ve yüzey pürüzlülük değerleri elmas uçlu yüzey pürüzlülük test cihazı ile malzemede oluşan sıcaklık ise termokupllar ile ölçülmüştür. Deney parametrelerine göre elde edilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri akıllı yöntemlerden biri olan evrimsel programlama ile modellenmiş ve matematiksel olarak denklemleri türetilmiştir.

Ti6Al4V malzemesinin ön ısıtma yapılarak işlenmesinde takım aşınması mekanizmaları, ön ısıtmasız işlemedeki takım aşınma mekanizmalarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca malzemenin ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız işlenebilirlikleri karşılaştırılmıştır. Bütün bunlarla birlikte en uygun ön ısıtmalı kesme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Ön ısıtma yapılan iş parçasını işleme sırasında, karbür uçlarla farklı kesme şartlarında 125 deney yapılmıştır, neticesinde elde edilen kesme kuvvetleri incelenmiştir, incelemeler sonucunda elde edilen değerlere göre en iyi kesme şartları belirlenmeye çalışılmıştır.

Ön ısıtma işlemi ile elde edilen iyileştirmeler neticesinde, oda sıcaklığında yapılan işlemeye göre ön ısıtma ile yapılan deneylerde işleme zamanı açısından %30'lara yakın avantaj sağlanmıştır. Kesme kuvvetlerinin incelenmesi neticesinde ise, ön ısıtma işleminin iş parçasına uygulanması ile kesme kuvvetlerinde %7-16 aralığında azalmaların gözlendiği, özellikle 400°C ön

ısıtma değerinde en dūřuk kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Bunun yanında elde edilen verilerin akıllı yöntemlerde modellenmiş, evrimsel programlamada türetilen matematiksel ifadelerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri %79 oranında doğruluk payı ile tahmin edilmiştir. Aynı şekilde $F_{x_{ort}}$ kesme kuvveti %74, $F_{y_{ort}}$ 'da %78 doğruluk oranlarında tahmin edilmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Frezeleme, n ısıtmalı işleme, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, aşınma, evrimsel modelleme

2014, 151 sayfa

ABSTRACT

PH.D.THESIS

AN INVESTIGATION OF PREHEATING MILLING OF Ti4Al6V TITANIUM ALLOYS

Emre HAMAMCI

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

Supervisor: Prof. Dr. M.Cengiz KAYACAN

In this study, in milling operations, the Ti6Al4V titanium alloy, machining with carbide-coated cutting inserts on the different pre- heating temperatures, different cutting conditions and investigated tool wear mechanism, workpiece surface roughness, compared with literature studies and try to deteminated tool life.

Experiments were made with the Hartford brand was vertical machining center at CAD / CAM Research and Application Center. The pre-heating application was made with induction furnace at CAD / CAM center.

In this study, during cutting, cutting force was measured with dynamometer, tool wear measured with scanning electron microscope SEM and surface roughness measured with diamond prob surface roughness tester, the temperature of the material was measured with thermocouples. The amounts of cutting force and surface roughness values which were obtained according to experimental parameters were modeled with evolutionary programming and mathematical equations were derived.

Ti6Al4V material machining with pre-heating tool wear mechanism compaired with convensional machining tool wear mechanism. With all of these tried to determine the most appropriate pre-heated cutting parameters.

Pre-heating the workpiece during machining, carbide inserts coated with different cutting conditions, cutting forces obtained from 125 test result analyzed, using the values obtained as a result of views tried to determine the best cutting conditions.

The improvements obtained by pre-heating as a result of processing performed at convensional machining when tested in accordance with pre-heating time in terms of processing advantages are provided close to 30%. As a result of examination of the cutting forces, the implementation of pre-heating the workpiece in the range of 7-16% reduction in cutting forces observed, in particular, pre-heating value of 400°C was measured at low cutting forces.

Moreover, the resulting data was modeled in a evolutionary programming, obtained from mathematical expressions derived in surface roughness value of 79% was estimated with accuracy. $F_{x_{ort}}$ cutting forces in the same way as 74%, in $F_{y_{ort}}$ were estimated at 78% accuracy rate.

Keywords: Milling, pre-heating machining, cutting force, surface roughness, tool wear, evolutionary programming

2014, 151 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. M.Cengiz KAYACAN'a teşekkürlerimi sunarım.

2392-D-10No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Emre HAMAMCI
ISPARTA, 2014

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Frezeleme çeşitleri a çevresel frezeleme b alın frezeleme c eksenel yönde ilerleyerek frezeleme	5
Şekil 1.2. Dik ve Eğik Kesme Metodları	5
Şekil 1.3. Dik Kesmede Oluşan Kuvvetler.....	6
Şekil 1.4. Kesme hızına bağlı aşınma tipleri ve takım ömrü ilişkileri	8
Şekil 1.5. Taylor takım ömrü eşitliğinin grafiksel ifadesi.....	9
Şekil 2.1. Malzemelerin çekme dayanımının sıcaklığa bağlı değişimi	15
Şekil 2.2. Malzemelerin sertliğinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	15
Şekil 2.3. Lazerle ön ısıtmalı alın frezeleme işlemi.....	17
Şekil 2.4. Torçla ön ısıtma yapılmış tornalama işlemi.....	18
Şekil 2.5. Çift lazerle ön ısıtma yapılmış tornalama işlemi Lazerle ön ısıtma yapılmış frezeleme işlemi	18
Şekil 2.6. Lazer destekli sert malzeme tornalamasının şematik gösterimi	19
Şekil 2.7. Kesici takıma lazer çubuk yerleştirilerek ön ısıtma yapılan frezeleme işlemi	20
Şekil 2.8. İnconel 718'in tornalama işleminde konvansiyonel ve ön ısıtma işlemedeki ekonomik analizi.....	22
Şekil 2.9. AISI 4130 sertleştirilmiş çeliğinin sıcaklık artışı ile spesifik kesme enerjileri değişimi	23
Şekil 2.10. AISI 4130 sertleştirilmiş çeliğinin sıcaklığa göre yüzey pürüzlülük değerleri değişimi.....	23
Şekil 2.11. Sertleştirilmiş çelik malzemenin indüksiyonla yapılmış ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız frezeleme işleminde takım aşınmaları.....	26
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kesici uç ve boyutları.....	35
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan takım tutucu ve boyutları	35
Şekil 3.3. Ön Hazırlık Deneylerinde Kullanılan Ti Alaşımlarının Şematik Gösterimi.....	36
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan iş parçası	37
Şekil 3.5. Kesme kuvveti sinyallerinin elde edilmesinde kullanılan dinamometre teknik özellikleri ve boyutları	38
Şekil 3.6. İndüksiyon fırını tesisat şeması	39
Şekil 3.7. İndüksiyon bobini, kesici takım ve iş parçası temsili şekli.....	39
Şekil 3.8. İndüksiyon fırını ve hazırlanan ön ısıtma sistemi	40
Şekil 3.9. Ön hazırlık deneylerinde kullanılan iş parçasının dalma erozyon tezgâhında hazırlanması.....	43
Şekil 3.10. Ön ısıtma deneyinde kullanılan iş parçasının tezgaha bağlanma şekli	45
Şekil 3.11. İndüksiyon fırınının istenilen şekilde bağlanmasını sağlayan şasenin temsil resmi	46
Şekil 3.12. Bobin ile İş Parçası Arasında Manyetik Alan Etkileşimi	47
Şekil 3.13. İndüksiyon ile malzeme yüzeyinin ısıtılması	48
Şekil 3.14. İş Parçasına Y Eksenine Doğrultusunda Yerleştirilen Termokupllardan Alınan Değerin Grafiksel Gösterimi	48
Şekil 3.15. İş Parçasına X Eksenine Doğrultusunda Yerleştirilen Termokupllardan Alınan Değerin Grafiksel Gösterimi	49

Şekil 3.16. Deneylerde iş parçası yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü noktalar.....	54
Şekil 3.17.CutPro programından elde edilen ham kesme kuvveti sinyalleri	55
Şekil 3.18. Kesme kuvveti sinyallerinin işlenen 10s'lik veri gösterimi	56
Şekil 4.1. 200°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri.....	60
Şekil 4.2. 300°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri.....	63
Şekil 4.3. 400°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri.....	66
Şekil 4.4. 500°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri.....	69
Şekil 4.5. 600°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri.....	72
Şekil 4.6. İlerleme oranı 0,05mm/dış olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri	75
Şekil 4.7. İlerleme oranı 0,1mm/dış olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri	77
Şekil 4.8. İlerleme oranı 0,15mm/dış olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri	78
Şekil 4.9. İlerleme oranı 0,2mm/dış olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri	80
Şekil 4.10. İlerleme oranı 0,25mm/dış olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri.....	81
Şekil 4.11. 200°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı.....	84
Şekil 4.12. 300°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı.....	87
Şekil 4.13. 400°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı.....	90
Şekil 4.14. 500°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı.....	92
Şekil 4.15. 600°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı.....	95
Şekil 4.16. 200°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı.....	98
Şekil 4.17. 300°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı.....	100
Şekil 4.18. 400°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı.....	102
Şekil 4.19. 500°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı.....	104
Şekil 4.20. 600°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı.....	105
Şekil 4.21. Kesme hızının 20m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi	107
Şekil 4.22. Kesme hızının 25m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi	109

Şekil 4.23. Kesme hızının 30m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi	110
Şekil 4.24. Kesme hızının 35m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi	112
Şekil 4.25. Kesme hızının 40m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi	114
Şekil 4.26. 35m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında yapılan deneyde elde edilen aşınma fotoğrafı	115
Şekil 4.27. Deneyler neticesinde kesici takım ömrü-sıcaklık grafiği	116
Şekil 4.28. 20°C'de yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma	117
Şekil 4.29. 300°C ön ısıtma uygulanarak yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma	118
Şekil 4.30. 400°C ön ısıtma uygulanarak yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma	119
Şekil 4.31. 500°C ön ısıtma uygulanarak yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma	120
Şekil 4.32. 600°C ön ısıtma uygulanarak yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma	121
Şekil 4.33. Yapılan deneylerin iş parçası yüzey pürüzlülüğü için kurulan evrimsel programlama modeli grafiği	123
Şekil 4.34. Yüzey pürüzlülüğü için deneysel verilerin evrimsel modelleme verileri ile karşılaştırılması	124
Şekil 4.35. 20°C'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması	126
Şekil 4.36. 300°C'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması	128
Şekil 4.37. Yapılan deneylerin $F_{x_{ort}}$ için kurulan evrimsel programlama modeli grafiği	129
Şekil 4.38. $F_{x_{ort}}$ için deneysel verilerin evrimsel modelleme verileri ile karşılaştırılması	130
Şekil 4.39. 20°C'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması	132
Şekil 4.40. 300°C'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması	134
Şekil 4.41. Yapılan deneylerin $F_{y_{ort}}$ için kurulan evrimsel programlama modeli grafiği	135
Şekil 4.42. $F_{y_{ort}}$ için deneysel verilerin evrimsel modelleme verileri ile karşılaştırılması	136
Şekil 4.43. 20°C'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması	138
Şekil 4.44. 300°C'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması	139

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Ti6Al4V kimyasal bileşimi.....	36
Çizelge 3.2. Taguchi Metodu ile belirlenen kesme şartları.....	50
Çizelge 3.3. Deneyler için belirlenen kesme şartları.....	51
Çizelge 3.4. 7 farklı sıcaklık değerinde yapılan takım ömrü deney parametreleri.....	56
Çizelge 4.1. 20 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri	59
Çizelge 4.2. 300 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri	62
Çizelge 4.3. 400 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri.....	65
Çizelge 4.4. 500 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri.....	68
Çizelge 4.5. 600 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri.....	71
Çizelge 4.6. 20 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen R _a değerleri.....	83
Çizelge 4.7. 300 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen R _a değerleri.....	86
Çizelge 4.8. 400 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen R _a değerleri.....	89
Çizelge 4.9. 500 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen R _a değerleri	91
Çizelge 4.10. 600 ⁰ C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen R _a değerleri	94
Çizelge 4.11. Takım ömrü deney parametreleri ve elde edilen sonuç	116

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CBN	Kübik bor nitrür
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
D	Takım tutucu çapı veya takım çapı
d	Çap
EP	Evrimsel programlama
f	İlerleme
F _c	Kesme kuvveti
F _n	Sürtünme vektörüne dik kuvvet
F _{ns}	Kayma kuvvetine dik kuvvet
F _f	İlerleme kuvveti
F _R	Bileşke kuvvet
F _r	Radyal kuvvet
F _s	Kayma (kesilme) düzlemi boyunca etkiyen kuvvet
F _p	Pasif Kuvvet
f _z	Diş başına ilerleme
GA	Genetik algoritma
GP	Genetik programlama
h _a	Ortalama talaş kalınlığı
i	Kesme kenarı ile normal düzlem arasındaki açı
L _c	Kayma düzlemi uzunluğu
L	Örnekleme uzunluğu
L _m	Ölçme uzunluğu
L _t	Toplam uzunluk
l _t	Toplam temas uzunluğu
N	Fener mili devri
n	Takım tutucudaki diş sayısı
P _n	Normal düzlem
PCBN	Polikristal kübik bor nitrür
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
r	Takım ucu yarıçapı
R _a	Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeri
R _z	On nokta yüksekliği yüzey pürüzlülük değeri
TEM	Tarama elektron mikroskobu
T	Takım ömrü
V	Kesme Hızı
W	İş parçası uzunluğu
α	Talaş açısı
β	Sürtünme açısı
ϕ	Kayma açısı
ϕ_i	Eğim açısı
σ_s	Normal gerilme
τ_s	Kayma (kesilme) gerilmesi

1. GİRİŞ

Çalışmada iş parçası olarak seçilen titanyum alaşımının (Ti6Al4V), son yıllarda, kullanım alanlarında artışlar görülmektedir. Özellikle medikal sektöründe, havacılık ve uzay sanayisinde kullanımı önem kazanmıştır. Birçok implant, uçak motorlarının bazı kritik parçaları vb. bu malzemeden imal edilmektedir.

Geometrik yapılarına bağlı olarak, titanyum parçaların imalatında, talaşlı imalat, en yaygın kullanılan imalat yöntemidir. Ancak titanyum malzemesi üzerinden talaş kaldırma işlemi sırasında bazı problemlerle karşılaşmaktadır. İşleme esnasında titanyum oldukça yüksek kimyasal tepkime vermektedir. Bundan dolayı ortaya çıkan talaş, yüksek oranda kesici takıma kaynama eğilimi göstermektedir. Titanyum alaşımları hemen hemen tüm takım malzemeleri ile kesme sıcaklığı 500°C aşıldığında kimyasal olarak reaksiyona girmektedir. Reaksiyon sonucu talaşların takımlara sıvanması ile kesici takımda adhezyon, difüzyon vb. aşınmalar görülebilmektedir. Bu da işleme sırasında takımda küçük kırılmalara neden olmaktadır. Titanyum alaşımlı malzemeler işlenirken, oluşan ısının yaklaşık %80'i takıma geçmektedir. Çünkü titanyum alaşımlarının düşük termal iletkenlikleri yüzünden (çeliklerin 1/6'sı kadar) ısı takıma yakın bölgede birikmektedir. Isının kesme bölgesinde birikmesinden dolayı talaş ve takımda yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Bu yüzden işleme anında soğutma sıvısı kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır (Ensarioğlu, 2005).

Titanyumu işlerken oluşan kesme kuvvetleri, çelikleri işlerken oluşan kuvvetlerle benzerlik göstermektedir. Ancak çelik malzemeye göre titanyumda daha yüksek değerlerde gerilmeler oluşmaktadır. Düşük elastisite modülünün neden olduğu tırlama, özellikle hassas işlemelerde üstesinden gelinmesi gereken önemli bir problemdir (Ensarioğlu, 2005).

Son yıllarda, yukarıda bahsedilen işlemedeki dezavantajları ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Bu çalışmaların başlıcası, iş parçasının talaşlı imalat öncesi ön ısıtılmaya tabi

tutulmasıdır. Bu yöntem özellikle, daha kolay olmasından dolayı, lazer ön ısıtma ile tornalama işlemlerinde uygulanmaktadır. Lazer, noktasal kaynağa sahip olmasından dolayı frezeleme işlemlerinde çok yaygın kullanılmamaktadır. Frezeleme işlemlerinde ön ısıtma genellikle indüksiyon fırını ile yapılmaktadır. Ön ısıtma yönteminin yanısıra, titanyum malzemesinin işlenmesinde kimyasal tepkimeyi azaltabilmek adına işleme sırasında sıvı azotla soğutma yapılmaktadır (kriyojenik işleme). Titanyumun işlenmesinde kesme şartlarının iyileştirilerek kesici takım ömrünün uzatılması araştırma çalışmalarına yoğun bir şekilde devam edilmektedir.

Bu çalışmada, frezelemede Ti6Al4V titanyum alaşımının işlenmesi neticesinde ortaya çıkan kesme kuvvetleri, iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Kesme işlemi sırasında iş parçasına indüksiyonla ön ısıtma yöntemi uygulanmış, ön ısıtmalı kesme ve ön ısıtmasız kesme işlemleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Aynı zamanda sabit kesme parametrelerinde ön ısıtmasız ve ön ısıtmalı olarak kesici ucun ömrü tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneylerde kaplanmış karbür kesici uç kullanılmıştır. Deney parametrelerine göre elde edilen kesme kuvvetleri verileri ve yüzey pürüzlülük verileri evrimsel programlama ile modellenmiş ve matematiksel olarak denklemleri türetilmiştir.

Tezin birinci bölümünde, talaşlı imalat, frezeleme ve frezeleme işlemlerinde takım ömrü, indüksiyon fırını, yüzey pürüzlülüğü ve evrimsel modelleme ile ilgili bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde konu ile ilgili olarak yayımlanmış literatürden elde edilen makalelerin özetleri mevcuttur.

Materyal ve yöntem üçüncü bölümünde anlatılmıştır. Söz konusu bölümde materyal olarak deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi, kesici takım, takım tutucu, dinamometre, indüksiyon cihazı, termokupllar, yüzey pürüzlülük cihazı, tarama elektron mikroskobu ve stereo zoom mikroskop hakkında bilgi verilmiştir. Ön ısıtma deneyleri, deney parametrelerinin tespiti, kesme

kuvvetlerinin ölçümü, yüzey pürüzlülük değerleri, takım aşınma ölçümlerinin yapılması ve evrimsel programlama konuları anlatılmıştır.

Tezin dördüncü bölümü, deneylerden elde edilen verilerin değerlendirildiği araştırma bulgularına ayrılmıştır. Çalışmada ilk olarak kesme anında ölçülen kesme kuvveti sinyalleri ile her deney parametresi için ortalama kesme kuvveti değerleri tespit edilmiştir. Kesme işlemi neticesinde iş parçası yüzeyinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü olarak hangi deney parametresinde, en kaba ve en hassas pürüzlülük değerlerinin elde edildiği tartışılmıştır. Ardından takım aşınması ve takım ömrü irdelenmiştir. Son olarak deneylerden elde edilen veriler ışığında evrimsel programlama kullanılarak takım ömrü-sıcaklık ilişkisi modeli oluşturulmuştur. Bu modellere göre kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü tahmini yaptırılmıştır. Tüm elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

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

1.1. Kuramsal Temeller

Bu bölümde talaşlı imalat, metal kesme mekaniği, frezeleme işlemlerinde takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve evrimsel modelleme konuları hakkında açıklama yapılmıştır.

1.1.1. Talaşlı İmalat

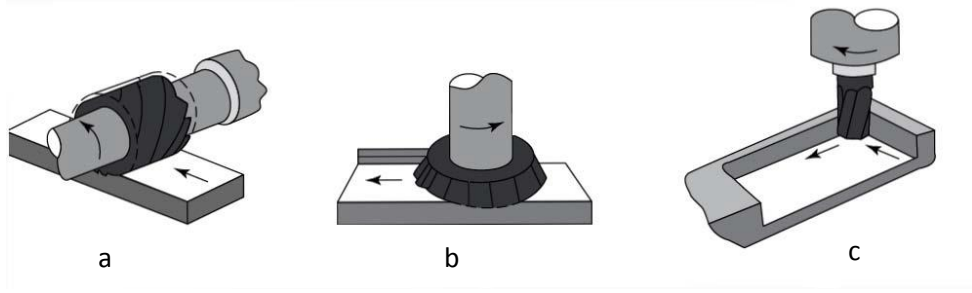
Birçok mekanik parçanın son olarak şekillendirilmesi talaşlı işlemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. En yaygın talaşlı imalat yöntemleri

tornalama, frezeleme, delik delme ve bunları takiben honlama, broşlama, form kesme gibi özel işlemlerdir.

1.1.2. Frezeleme

Frezeleme prensip olarak, dönen çok uçlu bir takım ile iş parçasının doğrusal hareketi sonucunda gerçekleştirilen, bir talaş kaldırma işlemidir. Günümüzde frezeleme işleminde takım hemen hemen her yönde iş parçasına doğru hareket edebilmektedir. Freze olarak anılan kesici takımların birçok kesici kenarı vardır ve her kenar belirli bir miktar talaş kaldırma kapasitesine sahiptir. Frezelemenin avantajları yüksek işleme verimliliği, iyi yüzey kalitesi, hassasiyet ve şeklin oluşturulmasındaki esnekliktir. Frezeleme genellikle düzlem yüzeylerin, dik köşelerin ve kanalların işlenmesi amacıyla kullanılan bir işlemdir (Kılıçay, 2012).

Frezeleme metotlarının farklılığından dolayı, takımın dönme eksenine bağlı olarak, farklı ilerleme yönleri mevcuttur (Yürekli, 2012). Bu ilerleme yönlerine göre alın frezeleme, çevresel frezeleme ve eksenel yönde ilerleyerek frezeleme işlemleri yapılabilir. Çevresel frezeleme (Şekil 1.1-a) takımın çevresindeki kesiciler ile gerçekleştirilir. Freze, teğetsel ilerlemeye paralel bir eksen etrafında döner. Alın frezeleme (Şekil 1.1-b) genellikle takımın çevresinde ve bazı durumlarda alın yüzeyinde bulunan kesici kenarlar ile gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Bu işlemde freze iş parçasının radyal ilerleme yönüne dik açı yapacak şekilde döner. Bazı frezeler üçüncü bir ilerleme yönü olan eksenel yönde (Şekil 1.1-c) de çalışabilirler. Bu, frezenin alın yüzeyindeki kesici uçlar tarafından gerçekleştirilen, bir delme işlemidir. Bu işlemlerde takım belirli bir derinliğe kadar aşağıya doğru deler ve daha sonra radyal ilerleme yönünde ilerleyerek, çevresindeki kesici kenarların sayesinde deliği büyütür (Çakır, 2000).

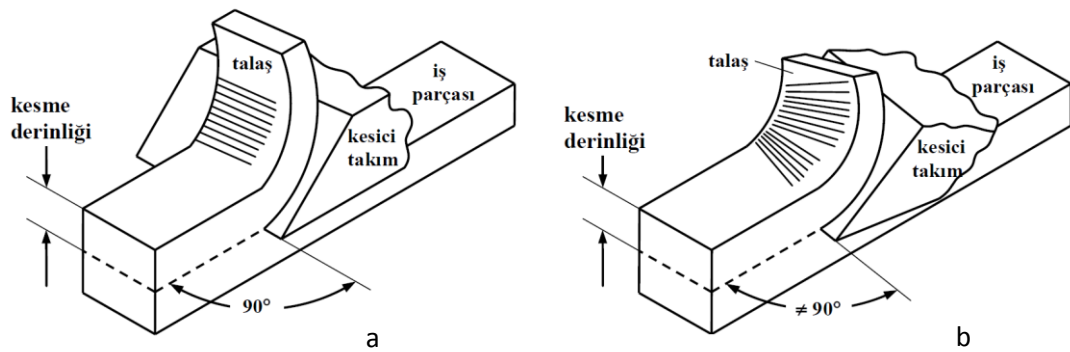


Şekil 1.1 Frezeleme çeşitleri a çevresel frezeleme b alın frezeleme c eksenel yönde ilerleyerek frezeleme (Schneider, 2002)

1.1.2.1. Kesme Kuvvetleri

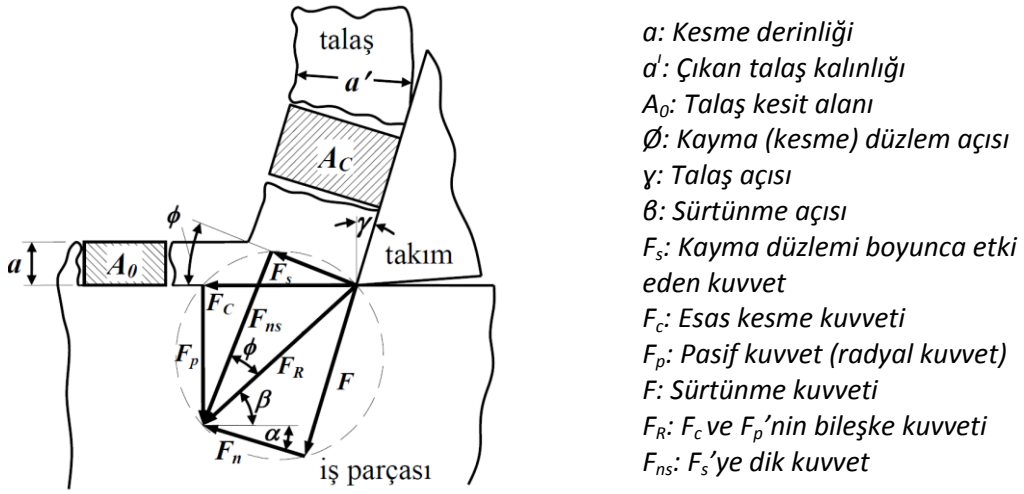
Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri; ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçası boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgâhlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında kullanılır (Kurt, 2006).

Kesmenin analizi için yaygın olarak kullanılan iki kesme metodu vardır: Dik (ortogonal) (Şekil 1.2a) ve eğik (oblik) kesme (Şekil 1.2b). Dik kesme, üç boyutlu problemden ziyade iki boyutlu bir problem davranışı gösterdiğinden kesme mekaniğini oluşturan eşitliklerin çıkarılmasındaki deneysel ve teorik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir metottur. Kesici etkisiyle kaldırılan kesme derinliği genellikle düzgün talaş kalınlığı olarak bilinir ve pratik kesme operasyonlarında ve yapılan çalışmalarda kolaylık olması açısından genellikle sabit olarak alınır (Kurt, 2006).



Şekil 1.2. Dik ve Eğik Kesme Metotları (Kurt, 2006)

Frezelemede eğik kesme, üç boyutlu durumu gerektirirken dik kesme iki boyutlu kuvvet sistemi ile tanımlanabilir. Şekil 1.3’de kayma düzleminde dairesel kuvvet diyagramı gösterilmiştir. Talaş kaldırma işlemi sırasında gerekli olan bileşke kuvvet, R ; sürtünme kuvveti, F ve takım/talaş ara yüzeyi temas alanı üzerine etkiyen normal kuvvet, N ’den oluşur. Bileşke, R_1 ise kayma kuvveti, F_s ve kayma düzlemi alanına etkiyen normal kuvvet, F_n ’den meydana gelir. R ve R_1 kuvvetleri eşit, zıt yönlü ve aynı doğrultu üzerinde olmalıdır. Bu kuvvetlerin belirlenebilmesi ölçülebilen üçüncü bir kuvveti gerekli kılar (Şahin, 2003)



Şekil 1.3. Dik kesmede oluşan kuvvetler (Donaldson, 1980)

1.1.2.2. Frezeleme İşleminin Mekaniği

Frezeleme işleminde, kesici takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ve parçanın ilerleme hareketi yapması sonucu talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Talaş kaldırma işlemi takım ve iş parçası arasındaki izafi hareketlerin sonucu olarak meydana gelir. Bunlar sırasıyla kesme hareketi, ilerleme hareketi ve yardımcı hareketlerdir. Frezeleme işlemi diğer talaşlı imalat yöntemlerinden farklı olarak kesici takımda bulunan diş sayısına bağlı olarak verimliliği oldukça yüksek bir talaşlı imalat yöntemidir. İş parçası yüzeyinin işlenmesine göre frezeleme işlemleri, çevresel ve alın frezeleme olarak iki grupta incelenir (Özkan, 2000).

Çevresel frezeleme, eksenini yatay durumda bulunan ve silindirik bir frezenin çevresindeki dişlerle talaş kaldırma biçimidir. Bu yöntemde kesici takımın her birdişi bağımsız olarak düşünüldüğünde talaş kaldırma işlemi, tornalamada olduğu gibi meydana gelir. Ancak burada iş parçası ilerleme hareketi yapar ve dişler belirli bir eksen etrafında döner. Bu nedenle işlem sırasında talaş kesit alanı devamlı değişir. Bunun için tornalama işlemine göre daha kompleks bir yapıya sahiptir (Özkan, 2000).

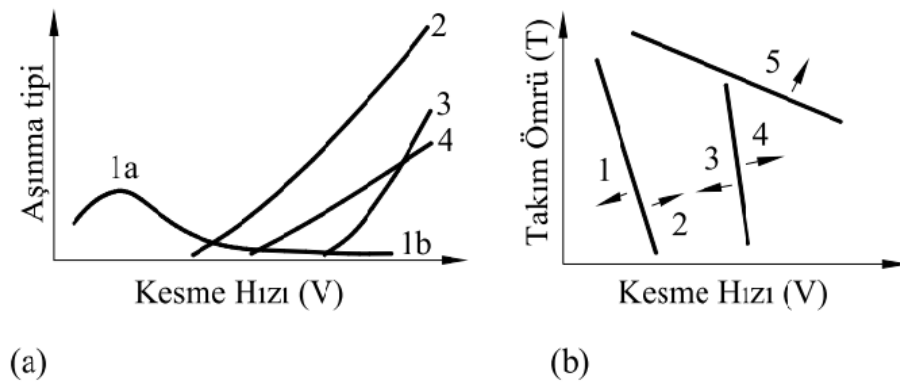
1.1.3. Takım Ömrü

Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında işlenen parça yüzeyi bozulmaya başlar, enerji sarfiyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri takımın körlendiğini gösterir ve körleninceye kadar toplam işleme zamanına takım ömrü denilir. Genel bir ifade ile takım ömrü, takımın kesme ucunda kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar geçen talaş kaldırma zamanıdır. Takım ömrü genelde T ile gösterilir ve dakika ile ölçülür (Çolak, 2002).

Takım ömrü, çeşitli aşınmalar tarafından sınırlanmaktadır. Bu aşınma çeşitleri takım ömrünü tayin eden kriterleri oluşturmaktadır. Pratik bakımından takım ömrünü tayin eden en önemli kriter takımın serbest yüzeyinde meydana gelen aşınmadır. İkinci sırada krater aşınması meydana gelir. Serbest yüzeyde meydana gelen aşınma kesme ağzından başlayarak kabul edilen bir VB_{em} aşınma değerine erişinceye kadar sürekli ilerlemektedir. Bu bakımından takım ömrü, kabul edilen bir aşınma değerine bağlıdır. Frezeleme işlemi için bu aşınma değerleri ISO 8688-1 yüzey frezeleme standardında belirtilmiştir (ISO 8688-1, 1989).

Aşınma olayının gelişmesinde kesme hızının çok büyük etkisi vardır. Bu bakımdan denilebilir ki, kesme hızı takım ömrünü etkileyen en önemli faktördür. Örneğin tungsten esaslı karbür takım malzemesi için kesme hızına bağlı çeşitli aşınma çeşitleri Şekil 1.4.a'da verilmiştir. Burada 1-talaş birikintisi,

2-adezyon aşınması (serbest yüzey), 3-difüzyon aşınması (krater), 4-oksidasyon aşınması, 5-plastik şekil değiştirmedir. Görüldüğü gibi talaş birikintisi düşük hızlarda (1a) meydana gelmekte ve sıcaklığın da büyük olduğu yüksek hızlarda kaybolmaktadır (1b). Şekil 1.4b'de takım ömrünü, kesme hızına bağlı olarak tayin eden çeşitli aşınma bölgeleri verilmiştir. Aşınma bölgeleri çizgilerle ayrılmıştır. Görüldüğü gibi oksidasyon aşınması ve plastik şekil değiştirme çok yüksek hızlarda meydana gelmektedir (Şeker 1997).



Şekil 1.4. Kesme hızına bağlı aşınma tipleri ve takım ömrü ilişkileri (Şeker, 1997).

Takım ömrü ile ilgili ilk araştırma 1900...1908 arasında F. Taylor tarafından yapılmış ve ilk olarak aşağıdaki gibi ifade edilen bir model ortaya konulmuştur. Bu modelde Taylor takım ömrünü (T), kesme hızı (V) ve ilerleme (f)'nin bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir (Şeker, 1997).

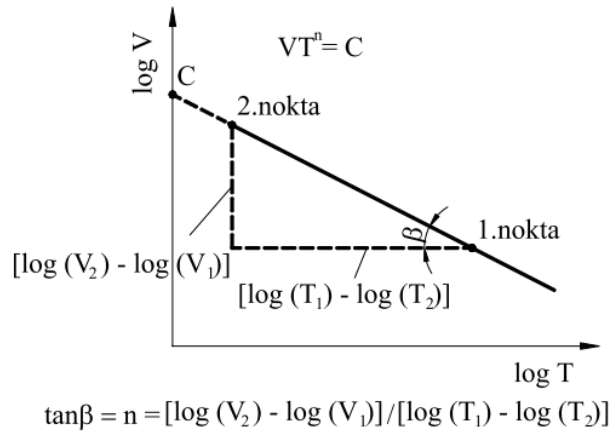
$$T = \frac{\text{Sabit}}{f_x V_y} \quad (1.1.)$$

Daha sonraki yıllarda bu eşitlik daha yaygın olarak bilinen aşağıdaki formunu almıştır.

$$VT^n = C \quad (1.2.)$$

Burada n , öncelikle takım malzemesine bağlı, fakat aynı zamanda iş parçası malzemesinden, kesme şartlarından ve ortamdan etkilenen bir katsayı, C ise özellikle ilerlemeyi ihtiva eden tüm girdi parametrelerine bağlı bir sabittir. Aynı zamanda C takım ve parça malzemesine bağlı olan bir dakikalık ömre karşılık gelen kesme hızıdır.

Bu eşitlik, ampirik olarak oluşturulmuş kesme hızı-takım ömrü ilişkisini veren eğrilerin logaritmik grafiklerinden elde edilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Taylor takım ömrü eşitliğinin grafiksel ifadesi (Şeker, 1997).

Takım geometrisinde, talaş derinliği ve ilerlemedeki kayda değer değişiklikler C sabitinin değerini değiştirmekte ve hatta n üssünde bile küçük değişikliklere sebep olabilmektedir. Bütün bunlara rağmen n üssü takım malzemesinin bir fonksiyonu olmaktadır. Gilbert tarafından 1950 yılında geliştirilen yeni bir kesme modeli, kesme hızı ile birlikte ilerleme (f) ve talaş derinliğini (a) de dikkate alarak, Taylor modelinin tamamlayıcısı olmuştur. Bu modele göre takım ömrü;

$$K = VT^n f^{n_1} h^{n_2} \quad (1.3.)$$

eşitliğinden elde edilir.

Burada K oransal bir sabit (C 'nin ilerleme ve talaş derinliğine bağlı değişmiş hali), f ilerleme (mm/dev), h talaş derinliği (mm), n_1 ilerlemeye ait üs

(ortalama değeri 0,5-0,8, genel kullanımda 0,77), n_2 talaş derinliğine ait üs (ortalama değeri 0,2-0,4, genel kullanımda 0,3)'dür. (Şeker, 1997).

1.1.4. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzeyler genellikle düzensiz ve karmaşık işlemlerle imal edilirler. Çoğu işlemlerde sıradan kontroller ve minimum kalite kontrolü ile genel yüzey doku gereksinimleri tam olarak karşılanamamaktadır. Çalışma şartlarına uygun olarak, bazı özel durumlar için yüksek mukavemet gerektiren, ağır basınçlara dayanabilen parçaların imalatı, genellikle özel ve detaylı yüzey kalitesine ihtiyaç duyulur. Bu yüzden bu parçalar için, yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve kalite kontrolü gerekmektedir. Sürtünmeye karşı kullanılan yağlar ve yağlayıcılar, korosif ortamda çalışan makine elemanları, dönen makaralar, kaplanmış yüzeyler, bujiler vb. gibi parçaların imatları titizlik gerektirir (Çaydaş, 2002).

Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin başında kesici uç yarıçapı, ilerleme, takım kesici kenarının keskinliği, işleme esnasında malzemenin yırtılması ve işlenen yüzeyde yığıntı talaşın kalması gelmektedir. (Özcan, 2001).

Yüzey dokusu, üç boyutlu yüzey topografisi şeklinde nominal yüzeyden sapmalar olarak tanımlanabilir. İş parçasının profilindeki bu sapmalar, mekanik, optik ve elektronik devrelerin bir kombinasyonu ile ölçülebilir. Hiç bir zaman tam anlamıyla düzgün bir yüzey elde edilemez ve daima bir miktar pürüzlü bir yapı kalır. Bu durum bitirme işleminde kalitesine göre biraz artabilir. Bazı yüzeyler hem pürüzlü hem dedalgalı olabilir. Yüzey dokusu dört elemandan oluşmaktadır. Bunlar; pürüzlülük, dalgalanmalar, yataylık ve çatlaklıklardır (Çaydaş, 2002).

1.1.4.1. Yüzey Pürüzlük Değerleri

Yüzey pürüzlülüğünün değerlerinin belirlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük, en yüksek tepe-çukur pürüzlülük yüksekliği ve on nokta yüksekliği

olmak üzere başlıca üç ayrı yüzey pürüzlülüğü değerleri vardır. Yüzey pürüzlülük değerleri standart olarak bunlarla belirtilmektedir. (Çaydaş, 2002).

1.1.5. İndüksiyon Fırınları

İndüksiyon fırınları, günümüzde iletken malzemelerin işlenmesinin ısıtma kısmında önemli bir yere sahiptir. Sanayinin çeşitli kollarında özellikle metal sektöründe ısıtma, ergitme, tavlama, sertleştirme, birleştirme gibi ısıtma işlemlerde geniş bir kullanım alanı vardır (Alınca, 2012).

İndüksiyon fırınlarının temel prensibini şöyle açıklayabiliriz. Değişken bir manyetik alan içerisine iletken bir malzeme sokulduğunda bu malzeme içerisinde bir gerilim indüklenir, indüklenen bu gerilim iletken malzeme üzerinde büyük değerlerde eddy akımları dolaştırır, dolaşan bu akımlara karşılık malzemenin iç direnciyle malzeme hızlı bir şekilde ısınır bu ısıtma şekline indüksiyonla ısıtma denir (Alınca, 2012).

İndüksiyon fırınları günümüzde çalışma frekanslarına göre üçe ayrılırlar.

1.Düşük frekanslı ($f < 1\text{kHz}$), 2.Orta frekanslı ($1\text{kHz} < f < 100\text{kHz}$), 3.Yüksek frekanslı ($f > 100\text{kHz}$). Güçleri ise düşük frekanslar için 100MW'tan başlayıp yüksek frekanslar için 5KW'a kadardır (Semiconductor, 2000).

İndüksiyonla ısıtmanın temel prensibi indüksiyon bobinine zamanla değişen akım uygulamaktır. Zamanla değişen akım bobin üzerinde Amper yasasına göre zamanla değişen bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan, içerisinde veya yakın çevresinde iletken bir malzeme var ise bu malzeme üzerinde Faraday kanuna göre bir gerilim indükler. İndüklenen bu gerilim malzeme üzerinde Eddy akımlarının dolaşmasını sağlar. Eddy akımları malzeme üzerinde dolaşırken malzemenin iç direnciyle oluşan kayıplarla malzeme hızlı bir şekilde ısınır (Semiconductor, 2000).

İndüksiyon bobini içerisinde manyetik alan şiddeti her yerde aynı değildir. Manyetik alan İndüksiyon bobini ile malzeme arasında ki hava aralığında yoğun, malzemenin yüzeyinden merkeze doğru üstel olarak azalmaktadır. Manyetik alanın kuvvetli olduğu bölgelerde indüklenen akımda kuvvetlidir. Eddy akımlarının en yoğun olduğu bölge malzemenin yüzeyidir, bu yoğunluğun malzeme içerisinde indiği derinliğe nüfuz derinliği denir. Nüfuz derinliği frekansa ve malzemenin cinsine bağlı bir büyüklüktür. Nüfuz derinliğinden yararlanarak malzemelerin istenilen bölgeleri ısıtılabilir, sanayide yüzey sertleştirme, tavlama ve benzeri uygulamalar indüksiyon fırınlarının nüfuz derinliği özelliğinden yararlanılarak yapılmaktadır (Alınca, 2012).

Nüfuz derinliğini formül 3.2'den yararlanılarak yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir (Inan, 1999).

$$d_0 = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}} \quad (1.4.)$$

d_0 : Nüfuz derinliği (mm), ρ : Özgül direnç (Ωm), μ_r : Bağıl manyetik geçirgenlik, f : Frekans (Hz) (Inan, 1999).

Isıtma işlemi sırasında meydana gelen malzeme içindeki ısı dağılımı malzemenin her tarafında aynı değildir. Malzeme yüzeyinden derinlere inildikçe ısı yoğunluğu azalmaktadır. İndüksiyon ile ısıtma işleminde meydana gelen ısı transferi geçici ısı depolama aşaması, sabit sıcaklık yükselişi ve soğurma zamanı olmak üzere üç bölümde incelenebilir (Çetin, 2005).

Geçici ısı depolama aşamasında, malzeme içindeki ısı dağılımı malzemenin tabakaları arasında olmaktadır. Malzeme yüzeyinden itibaren her bir tabaka kendi üzerinde ısıyı depoladıktan sonra diğer tabakaya iletmektedir. Geçici ısı depolama aşamasından sonra ısı bütün bir malzeme boyunca aynı oranda yükselmektedir. Bu sabit sıcaklık yükselişinden sonra malzemelerin uygulamalarda hemen kullanılabilmesi için ısının malzeme tarafından soğrulma zamanına ihtiyaç vardır. Genellikle ısıtma işlemi sırasında

malzemenin yüzeyi ile merkezi arasında düzgün sıcaklık dağılımı olmadığı için çok yüksek sıcaklık farkları oluşur. Soğurma zamanı ile bu sıcaklık farkı giderilir (Çetin, 2005).

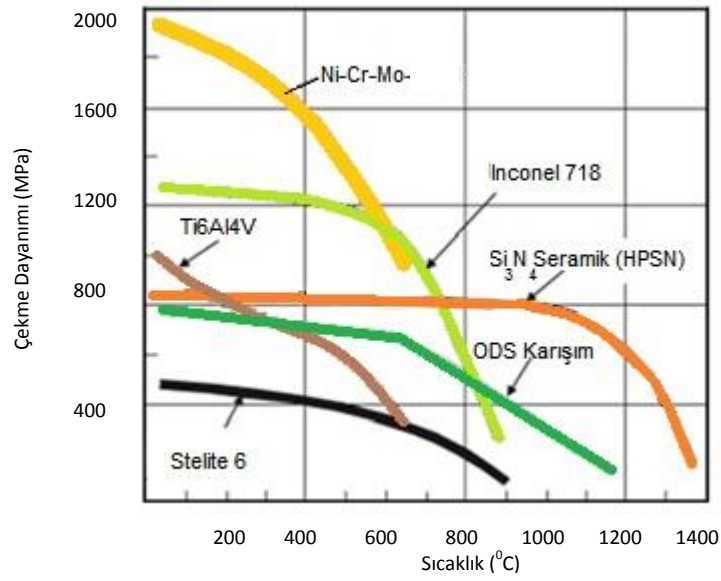
2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde takım ömrü, frezeleme, sürekli olmayan kesme, kesme kuvvetleri, ön ısıtılmalı işleme ve evrimsel programlama anahtar kelimeleri kullanılarak yapılan araştırmalar neticesinde birçok makaleyle karşılaşılabilir. Bu çalışmaya yakın olarak seçilen makaleler bu bölümde irdelenmiştir.

2.1. Sert İşleme İle İlgili Kaynak Özetleri

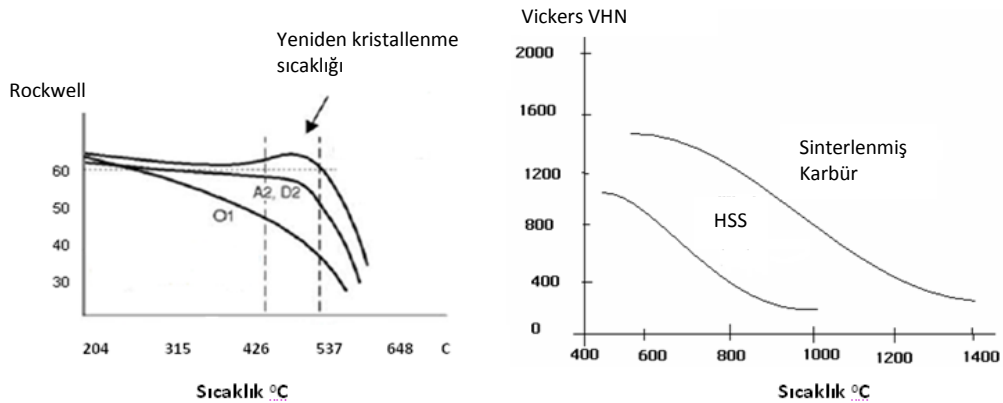
Sert işleme, işlenecek malzemenin sertliğinin 45 HRC'den daha fazla olan malzemelerin işlenmesine denir (Davim,2008, Sun vd, 2010). Kesici takım işleme performansındaki olumlu gelişmeler sayesinde, son yıllarda sert malzemelerin kullanım alanları önemli oranda artmaktadır, bundan dolayı da sert işleme gittikçe önem kazanmıştır. Önemi artan bu alan, araştırmacılar tarafından yoğun olarak çalışılmaktadır. Sert malzemelerin yüksek gerilme, düşük ısı iletkenlik gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı, kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklıkları çok yüksektir. Bahsedilen bu özellikler takım ömrünü azaltır (Sun vd, 2010, Pfefferkorn vd, 2005, Ho vd, 2007). Ön ısıtma ile malzeme yüzeyi ısı etkisiyle yumuşar, böylelikle kesme sırasında sünek bir yapıdan ziyade gevrek bir yapı meydana gelir (Armitage vd, 2002, Pfefferkorn vd, 2005). 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 sebebiyet vermektedir. Sert malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkan olumsuzlukların giderilmesi için yapılan çalışmalardan bir tanesi de ön ısıtılmalı işleme yöntemleridir. Sert malzemelerde, talaş derinliği kadar kısmın belli bir ısı kaynağından yararlanılarak hedeflenen sıcaklığa yükseltilmesi ile akma mukavemeti kopma mukavemeti değerine kadar düşmesi (Pfefferkorn vd, 2005, Davim,2008), gerilme sertleşmesi ve malzeme sertliği azalacağından ve sünekliği artacağından dolayı işleme kolaylaşmaktadır (Ho vd, 2007).

Çeşitli malzemelerin çekme dayanımının, akma gerilmesinin ve sertliğin sıcaklığa bağlı değişimleri sırasıyla Şekil 2.1 ve 2.2'de verilmiştir.



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 düşük sıcaklıklarda bile çekme dayanımları düşerken (Ni-Cr-Mo çelik, Ti6Al4V alaşım, stellite6), bazılarında orta derece sıcaklıkta çekme dayanımı düşmeye başlamaktadır [inconel, ODS (oksit dağılımı ile güçlendirilmiş) alaşımlar]. Bazı malzemelerde ise (seramik) çekme dayanımları da çok yüksek sıcaklıklarda azalmaya başlamaktadır.



Şekil 2.2. Malzemelerin sertliğinin sıcaklığa bağlı değişimi (Lazis vd, 2009), (Goudhaman 2007)

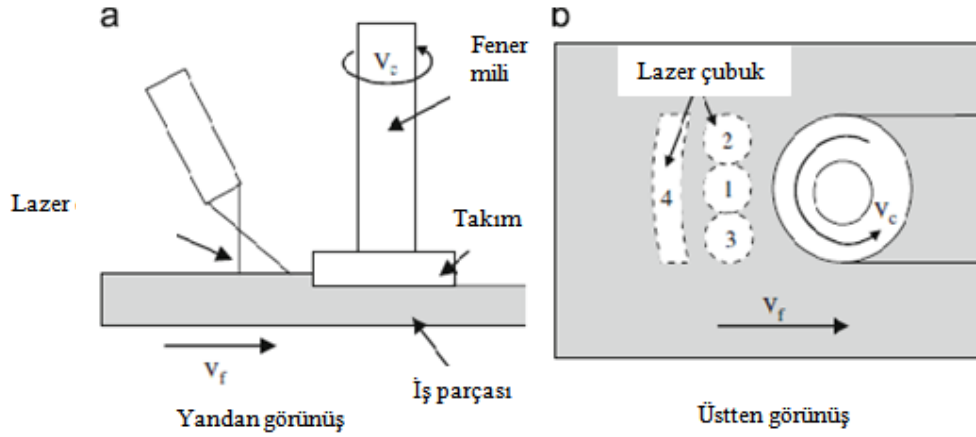
Malzemelerin çekme dayanımlarının sıcaklıkla değişiminde olduğu gibi, sertliğinin de sıcaklıkla değişiminde farklılıklar göstermektedir. Şekil 2.2'den de anlaşıldığı gibi O1 (yağda sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliği) malzemesinin sertliği düşük sıcaklıklardan itibaren azalma eğilimi göstermektedir. A2 (hava ile sertleştirilmiş orta alaşımlı soğuk iş takım çeliği) malzemesinin ise sertliği 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.

Çelik malzemelerde olduğu gibi alüminyum alaşımlarda da sıcaklığa bağlı olarak akma mukavemetlerinde değişimler görülmektedir (Yongho vd, 2008, Goudhaman 2007). 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).

2.2. Ön Isıtma İle İlgili Kaynak Özetleri

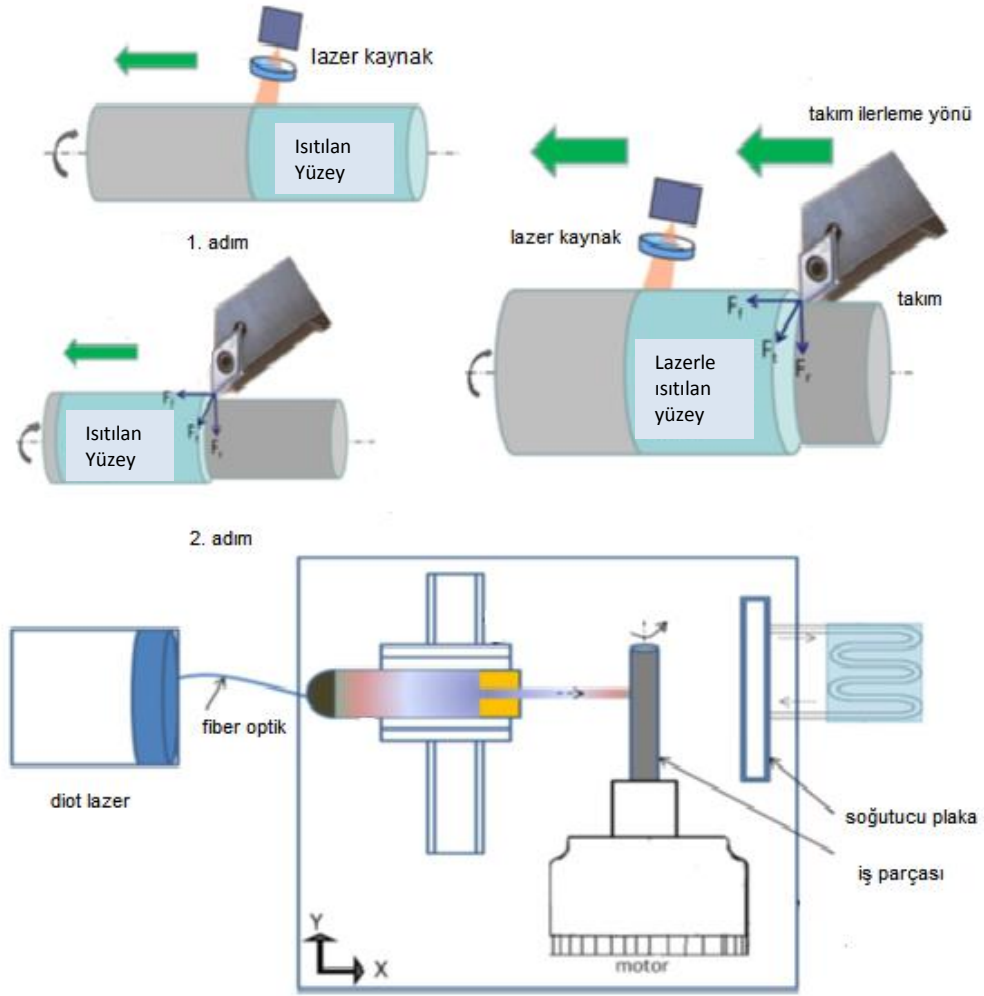
Talaşlı imalatla, işleme yöntemlerine göre değişik ön ısıtma kaynakları kullanılır (Özel vd, 2007, Sun vd, 2010, Anderson vd, 2006, Özler vd, 2001, Hamamcı vd, 2012, Chryssolouris vd, 1997). Ön ısıtma kaynakları olarak, lazerle, alevle (torç), indüksiyonla, plazmayla, elektrik akımı ile ısıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu ısıtma yöntemlerinden lazer ışın demeti, alevle ısıtma (torç) tornalama işlemlerinde daha çok tercih edilirken, indüksiyonla ısıtma yöntemi frezeleme işlemlerinde daha çok tercih edilmektedir. Tornalama işlemlerinde malzeme takım ilişkisinden dolayı noktasal ısı kaynağı yeterli olmaktadır. Buna karşın frezeleme işlemlerinde takım iş parçası ilişkisinden dolayı çizgisel/düzlemsel ısı kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır (Hamamcı vd, 2012). Ön ısıtma işlemlerinden lazerle ve plazma ile ısıtma hızlı, yüksek ve bölgesel sıcaklıklara ulaşabildiğinden dolayı daha çok tercih edildiği literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır. Frezeleme işleminin özelliğinden lazerle ön

ısıtma da birden fazla lazer ışın demeti kullanılmaktadır (Sun vd, 2010). Bu da sistemin maliyetini artırmaktadır.



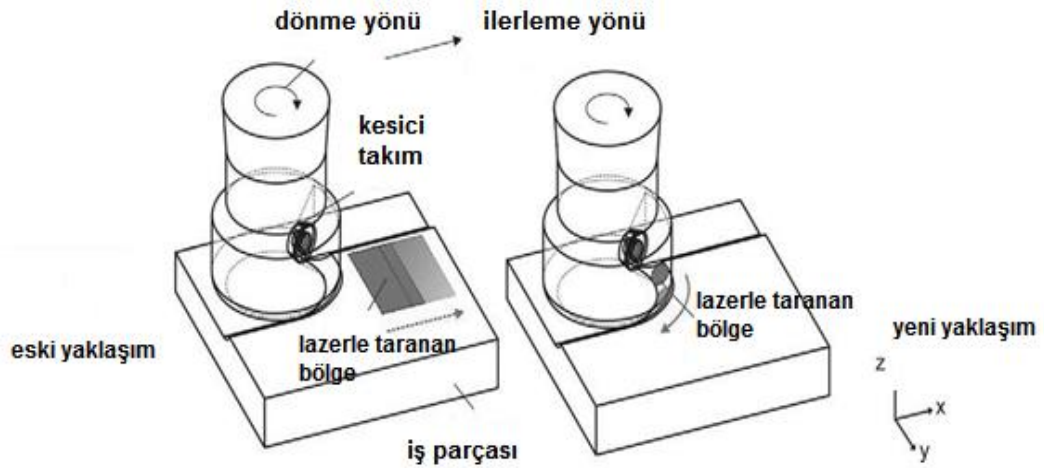
Şekil 2.3. Lazerle ön ısıtmalı alın frezeleme işlemi (Sun vd, 2010)

Diğer ön ısıtma yöntemlerinde olduğu gibi, lazer çubuk enerjisi iş parçası yüzeyi tarafından emilip ve ısıya dönüşmesi sonucunda da sıcaklık kademeli olarak artar. Bölgesel ve geçici olan sıcaklık yüzeyde ilerler ve bundan dolayı kesme derinliğinin, en iyi kesme ve lazer çubuk parametrelerinin belirlenmesi şarttır. Bunun amacı istenilen talaş kaldırma oranını elde etmektir. Lazerle ön ısıtmada çubuk yoğunluğu ve etkileşim zamanı, sıcaklıkla iş parçası yüzeyine zarar vermeyecek şekilde seçilmelidir (Chryssolouris vd, 1997)



Şekil 2.6. Lazer destekli sert malzeme tornalamanın şematik gösterimi (Radhavan vd., 2013)

Şekil 2.7.'de ise frezeleme işleminde, kesici uç içerisine yerleştirilen lazer ile ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.7. Kesici takıma lazer çubuk yerleştirilerek ön ısıtma yapılan frezeleme işlemi (Brecher vd., 2011)

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. Bu 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 (Maity vd, 2008, Chang vd, 2007). Bütün bunlar dikkate alındığında, ön ısıtma sıcaklığı, malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklığının altında olmalıdır (Maity vd, 2008). Ön ısıtmada en ciddi dezavantajlardan biriside malzemelerin sertliğinde oluşan azalmadır. Malzemelerin ön ısıtma işleminde yukarda bahsedilen tüm parametreler dikkate alınarak uygun sıcaklıkların seçimi önem arz etmektedir.

Örneğin, yapılan çalışmalarda, tornalama işlemlerinde, seramik malzemeler oda sıcaklığı ile 1400°C arasında, çelik malzemeler oda sıcaklığı ile 600°C, inconel malzemeler oda sıcaklığı ile 550°C'ye kadar ve titanyum alaşımları oda sıcaklığı ile 600°C'ye kadar ön ısıtmalı işlenmiştir (Pfefferkofn vd, 2009, Özler

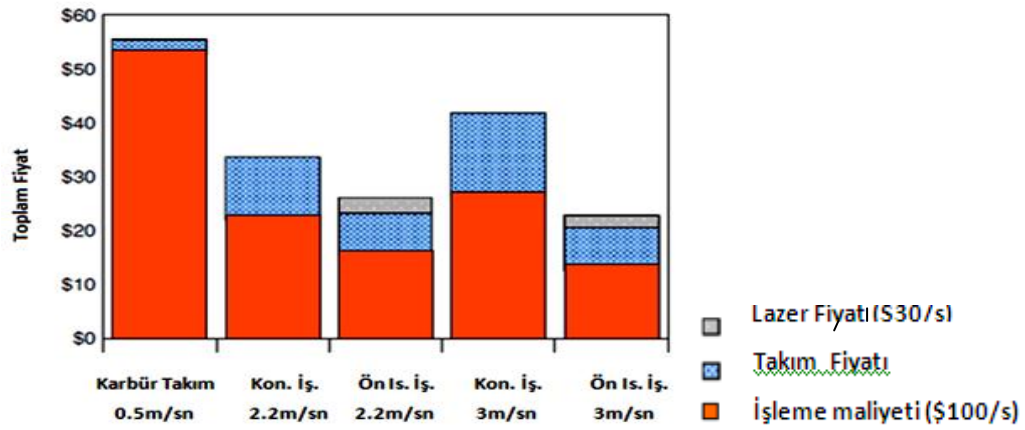
vd, 2001, Özel vd, 2007, Maity vd, 2008, Rebro vd, 2002). Frezeleme işlemlerinde ise seramik malzemeler oda sıcaklığı ile 1600°C, çelik malzemeler oda sıcaklığı ile 600°C, inçonel malzemeler oda sıcaklığı ile 600°C, titanyum alaşım malzemeler oda sıcaklığı ile 500°C'ye kadar ön ısıtmalı çalışmalar yapılmıştır (Sun vd, 2010, Yongho vd, 2008, Chryssolouris vd, 1997, Chang vd, 2007, Yang vd, 2008).

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 en iyi takım aşınma direnci, yüzey pürüzlülüğü, talaş formu elde edilmiştir (Rebro vd, 2004). Seramik malzemeler için aşınma değerleri 1000-1100°C'lerde minimum olduğu (Yang vd, 2008), yine 960°C'lerde kesme kuvvetlerinin, daha düşük sıcaklıklara nazaran minimum değerlerde ölçülmüştür (Jung vd, 2009). Başka bir seramik malzeme ile yapılan ön ısıtmalı kesmede (1260, 1410, 1570°C), aşınma değerleri, kesme enerjisi ve kesme kuvvetleri en düşük 1570°C'de olduğu belirtilmiştir (Lei vd, 2001).

Tornalama işlemlerinde çelik malzemeler üfleç ve lazer yardımı ile ön ısıtma işlemi neticesinde 600°C' de takım ömrü açısından en iyi sonuçlar elde edilmektedir (Maity vd, 2008, Tosun vd, 2002). Çelik malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklıkları 500-650°C aralığında olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı maksimum çelik ön ısıtma sıcaklığı 600°C seçilebilir. Buna karşılık ön ısıtma sıcaklıkları 400 ve 600 °C'de yapılan deneylerde takım ömründe dikkate alınabilecek bir değişim olmadığı ortaya konulmuştur. Bu durum dikkate alındığında, malzemenin 400°C' de işlendiğinde, işleme maliyeti en az olacaktır (Özler vd, 2001). Çelik malzemenin lazerle ön ısıtmalı işleminde takım ömrünün konvansiyonel işlemeye göre %100'e kadar artabildiğine işaret edilmiştir (Dumitrescu vd, 2006).

Lazerle 120-425°C aralığında yapılan deneylerde en ekonomik sonuçlar 425°C'de elde edilmiştir (Chang vd, 2007). Çelik malzemenin tornalamada konvansiyonel işlemeye göre ön ısıtma işlemesinde yaklaşık %50 avantaj sağladığı ifade edilmektedir (Anderson vd, 2006).

Çelik malzemelere benzer bir çalışmada, inconel 718 540°C' ye kadar ön ısıtma tornalama işlemine tabi tutulmuş ve ekonomik analizleri yapılmıştır (Şekil 2.8.). Konvansiyonel karbür takım ve ön ısıtma seramik takım kullanılarak yapılan çalışmada, işleme maliyetinde yaklaşık %50'lik bir avantaj sağlamaktadır (Germain vd, 2008).



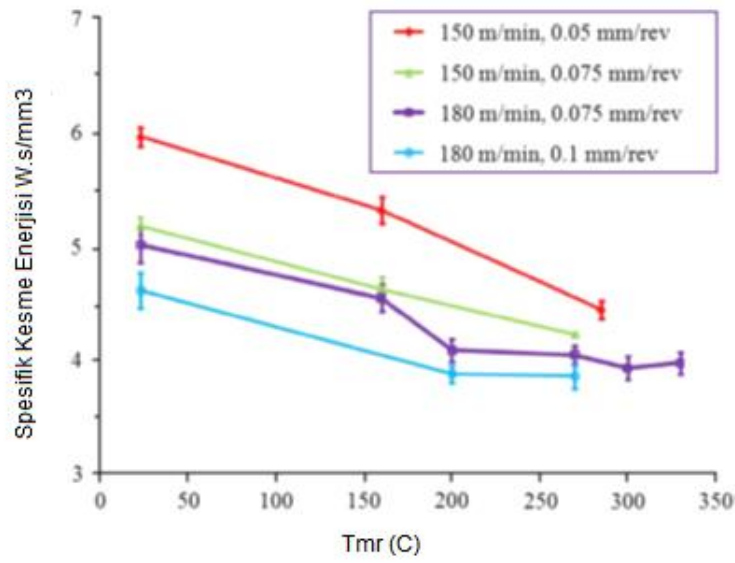
Şekil 2.8. Inconel 718'in tornalama işleminde konvansiyonel ve ön ısıtma işlemedeki ekonomik analizi (Germain vd, 2008)

Başka bir çelik malzeme olan AISI 52100 çeliği seramik ve CBN takımlar kullanılarak işlenmiş, yapılan deneyler sonunda lazer destekli işlemede konvansiyonel işlemeye göre Ra pürüzlülük değeri artarken Rt pürüzlülük değerinde düşüş gözlenmiştir (Raghavan vd., 2013).

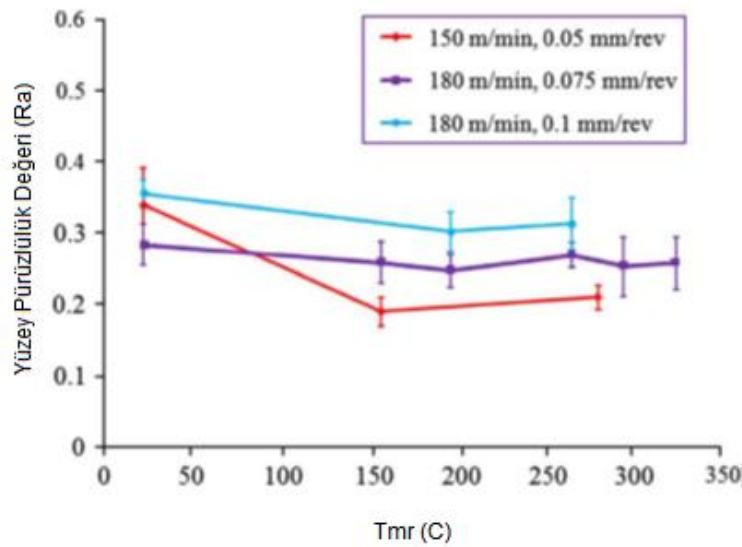
Ön ısıtmanın uygulanması ile özgül kesme enerjilerinde düşüş olmaktadır (Raghavan vd., 2013; Ding vd., 2010). Özgül kesme enerjisinin düşmesi ile birlikte çelik malzemelerde daha yüksek kesme hızlarında çalışılabilmektedir (Raghavan vd., 2013). Ön ısıtma işlemede kesme bölgesindeki gerilmeler, talaş kaldırma oranının ve ilerleme hızının artmasıyla düşmektedir. Fakat

kesme hızının artmasıyla kesme bölgesindeki gerilmelerde belirgin farklılıkların olmadığı anlaşılmaktadır (Lei vd., 2000).

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



Şekil 2.9.. AISI 4130 sertleştirilmiş çeliğinin sıcaklık artışı ile spesifik kesme enerjileri değişimi (Ding vd., 2010).



Şekil 2.10. AISI 4130 sertleştirilmiş çeliğinin sıcaklığa göre yüzey pürüzlülük değerleri değişimi (Ding vd., 2010).

İnconel malzemelerde spesifik kesme enerjileri konvansiyonel işlemeye göre ön ısıtılmalı işlemede düşüş göstermektedir (Germain vd, 2008, Tian vd, 2008, Anderson vd, 2006). Fakat 360 ve 540°C'lerde oluşan kesme enerjilerinde çok az fark görülmektedir (Anderson vd, 2006). 1500 W lazer ısı kaynağı ile ısıtılarak yapılan işlemeye konvansiyonel işlem arasında kesme kuvvetlerinde %40' ın üzerinde düşüş ve takım ömründe %25 iyileşme sağlanmaktadır (Germain vd, 2008). Oda sıcaklığında yapılan başka bir tornalama işlemine göre, ön ısıtma sıcaklığı 540°C'deki işlemede, yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık %100 düşüş göstermiştir (Tian vd, 2008).

Frezeleme sonucunda inconel 718 malzemesi TiAlN kaplı sementit karbür uçlar kullanılarak elde edilen deneyler sonunda kesme kuvvetinde ve yan yüzey aşınmasında önemli düşüşler olduğu belirlenmiştir. Lazer kullanılarak yapılan deneylerde F_y kuvvetinde %60, F_x kuvvetinde ise %40 azalmalar olduğu saptanmıştır. Çalışmada, inconel 718 malzemesinin lazerle ön ısıtma ile frezeleme sonrasında elde edilen aşınma- kesme kuvveti diyagramı verilmiştir. Ayrıca inconel 718 malzemesinin farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde kesme kuvvetlerinde elde edilen % değişim grafiksel olarak verilmiştir. Kesme hızının 70m/dak olduğu durumda ilerleme kuvvetindeki değişim ilerleme oranının artması ile farklı eğilimler göstermektedir. Kuvvetteki değişim önce %14'lere kadar çıkmakta daha sonra %5'e kadar hızla azalmaktadır (Brecher vd., 2011).

İnconel 718 malzemesinin işleme zamanına göre kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınma değerlerindeki değişim grafiksel olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre işleme süresinin uzaması ile birlikte kesme kuvvetinde ciddi artışlar gözlenmektedir. Aynı şekilde yüzey pürüzlülüğünde ve serbest yüzey aşınması gibi değerlerde de artışlar görülmektedir. (Navas vd. 2013)

Ön ısıtılmalı Al_2O_3/Al kompozit malzemenin tornalama işleminde, kesme kuvvetlerinde konvansiyonel işlemeye göre F_x ve F_y de yaklaşık %50, F_z 'de

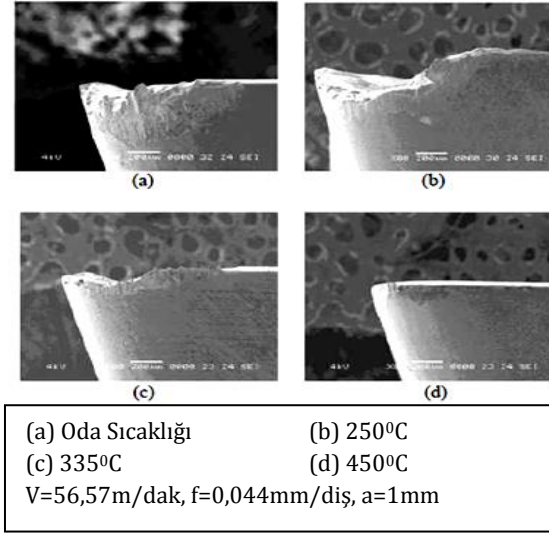
%10, kesme kuvvetinde ise %30-50 düşüş olduğu ifade edilmektedir (Wang vd, 2002).

Küresel grafitli dökme demir, 400°C' ye kadar ısıtıldığında yüzey pürüzlülüğü yaklaşık %5 artış göstermiştir. Yine aynı koşullarda grafit dökme demir takım ömründe konvansiyonel işlemeye göre %30 artış tespit edilmiştir (Skvarenina vd, 2006)

Ön ısıtılmalı işlemede, tornalama kadar yaygın olmamakla birlikte frezeleme işlemlerinde de hatırı sayılır çalışmalar yapılmıştır. Seramik malzemeler için 850°C'de ön ısıtma yapılan frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü ile ilgili çalışmada seçilen ayrı on noktadan alınan değerler çizelge şeklinde verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, ön ısıtılmalı işlemede konvansiyonel işlemeye göre 2,5 kat daha iyileşmiştir. Aynı çalışmada, ön ısıtılmalı işleme, konvansiyonel işlemeye oranla takım aşınması değerlerin de daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Chang vd, 2007).

Seramik malzemenin işlenmesinde (1150, 1210, 1280, 1360°C) sıcaklıklarında en iyi aşınma değeri 1210°C'deki deneylerde elde edilmiştir. 1210°C'nin altındaki ve üzerindeki değerler de aşınma değerlerinin arttığı görülmüştür (Tian vd, 2008).

Frezeleme işlemlerinde çelik malzemeler için çalışılan ön ısıtma sıcaklık değerlerinden 400-600°C'ler arasında en iyi takım aşınması ve yüzey pürüzlülük sonuçları elde edilmektedir (Şekil 2.11.). Sertleştirilmiş çeliğin (AISI D2) yeniden kristalleşme sıcaklığı (455-565°C), göz önüne alınarak maksimum ön ısıtma sıcaklığı 450°C olarak seçilmiştir. İndüksiyonla ön ısıtılmalı işleminin yapıldığı takımlardaki en iyi aşınma değeri 450°C de elde edilmiştir (Goudhaman vd, 2007).



Şekil 2.11. Sertleştirilmiş çelik malzemenin indüksiyonla yapılmış ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız frezeleme işleminde takım aşınmaları (Goudhaman vd, 2007).

İndüksiyon fırını ile 350°C'de paslanmaz çelik malzemenin frezeleme işlemindeki yüzey pürüzlülük değerleri ve yüzde pürüzlülük azalma oranları çizelge şeklinde verilmiştir. Bu çalışmada ön ısıtmalı işlemin yüzey pürüzlülük değerlerinde %26 ve %33 oranlarında azalma ölçülmüştür [Amin vd, 2003].

Ti-6Al-4V alaşım malzemesi kullanılarak yapılan çalışmada takım ömrü ve kesme kuvveti sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 2.27'de verilmiştir. Ti-6Al-4V alaşım malzemesi için takım ömründe oda sıcaklığı ve 315°C' ler de fark yokken 450°C'de yaklaşık %65, 650°C'de ise %300 artış vardır. Kesme kuvvetinde (F_c) ise 650°C'de oda sıcaklığına göre %25 düşüş gözlenmiştir (Ginta vd, 2009). Yine aynı malzeme 650°C'de oda sıcaklığına göre kesme kuvvetlerinde %32,5 düşüş olduğu ölçülmüştür (Ginta vd, 2010).

İnconel malzemenin lazer çubuk yardımıyla 400, 520, 1200°C'lere kadar ısıtılarak frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmada yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş olup en iyi sonuç 520°C' de elde edilmiştir (Tian vd, 2008).

2.3. Takım Aşınması ve Takım Ömrü İle İlgili Kaynak Özetleri

Titanyum alaşımlarının (Ti-6Al-4V) yüzey frezelenmesi işlemlerinde, kaplanmış karbür takımların (PVD ve CVD ile kaplanmış) her ikisinde de en iyi kesme şartlarında, en yüksek takım ömrü 30 dakika olarak belirlenmiştir. Malzemeden kaldırılan talaş hacmi olarak bakıldığında 55 m/dak. Kesme hızında ve 0,15mm yan ilerlemede en yüksek hacim 503 cm³ olarak CVD takımlarda elde edilmiştir. Ti-6Al-4V malzemesinin yüzey frezelenmesi işleminde genellikle CVD ile kaplanmış takımlar, PVD ile kaplanmış takımlardan daha üstün performans göstermişlerdir. Aşınma mekanizmaları incelendiğinde, kesici kenarda plastik deformasyona rastlanmıştır. Abrasyon ve difüzyon aşınması, kaplanmış takımların her ikisinde de yanıl ve kesici kenar yüzeyinde meydana gelmiştir(Jawaid vd, 2000).

Bir çalışma neticesinde, frezleme işlemlerinde, Titanyum alaşımlarının işlenmesinde ise kaplamasız takımların performansı düşük olduğu kanısına varılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre;

- Ti-6Al-4V malzemesinin yüksek hızda frezelenmesinde düzgün olmayan yan yüzey aşınmaları oluşmuştur.
- Titanyum alaşımlarının işlenmesinde CBN ile PCD takımların takım ömürleri kıyaslandığında PCBN takımların çok daha fonksiyonel olduğu görülmüştür.
- Aynı kesme derinliğinde 0,125 mm/diş tabla ilerleme hızından daha yüksek hızlarda kesme hızının artmasıyla takım ömrü azalmıştır. 0,075 mm/diş hızından daha düşük hızlarda ve daha yüksek kesme hızları ile yapılan işlemlerde, takım ömrü daha düşük hızlarda yapılan kesme hızlarına göre uzamıştır. Daha yüksek kesme hızı ve daha düşük tabla ilerleme hızı kullanımı daha optimum kesme şartlarını elde etmek için ideal olarak belirtilmiştir.
- Takım-iş parçası ara yüzeyinde kuvvetli bir bağ vardır. Takım yan yüzeyine yapışmış olan talaş, aşınma oranının azalmasına yardımcı olur ancak bu yapışan malzeme daha sonra yapışan yüzeyden kalktığında

sadece kümelenmiş bir şekilde takım malzemesinin kopmasına sebep olmaz, aynı zamanda yan yüzey aşınmasının hızlanmasına sebebiyet verir.

- Daha yüksek kesme derinliği, tabla ilerleme hızı ve kesme hızlarında Ti-6Al-4V frezelenirken çıkan talaşlar kesici takım yüzeyine yapışmıştır. Diğer kesme şartlarında ise malzeme yapışma olayı takım yüzeyinden ziyade sadece yan yüzeyde oluşmuştur. Daha sonra bu durum takımın bozulmasıyla sonuçlanmıştır (Wang vd, 2005).

Karbür freze çakılarıyla 7475-T7351 alüminyum alaşımlarının yüksek hızda işlenmesi sırasında çentik aşınması ve bunu takiben kesici uçta bozulmalar görülebilir. Kesme işlemi esnasında, alüminyumun, kesici takıma sıvanması ile kesme bölgesindeki sıcaklığın yükselmesi muhtemeldir. Bu difüzyon işlemi ile karbür taneleri arasında bağlayıcı olarak görev yapan kobalt sert ve kırılgan ötoktoid olan AlCo alaşımına dönüşür. Sonuç olarak alüminyumun takım malzemesine nüfuz etmesi, kesici uçların tamamında kırılganlık meydana getirmekte ve çentiklenme daha da büyük hasarlara sebebiyet vermektedir (Calatoru vd, 2008).

Bir başka çalışmada, K40 takım malzemesinin TiCN kaplamalarda, su verilmiş 1045 çeliğinin işlenmesi sırasında en iyi aşınma direncine sahip olduğu görülmüştür. Aynı kesme şartlarında TiCN kaplı K 40 freze çakısı TiAlCN kaplı K 10 freze çakısından % 188 civarında daha az aşınmıştır (Chung-Chen vd, 2002)

Al₂O₃/Al kompozit, zayıf işlenebilirliği nedeniyle aşırı takım aşınmasına ve kötü işlenmiş yüzey oluşumuna sebep olmaktadır. Çalışmalarda işlenebilirliği arttırabilmek için lazer destekli ısıtma işlemi yapılmıştır. Sonuçlarda kesme kuvvetlerinde %30-50, takım aşınmasında %30-50 azalma ve işlenmiş yüzey kalitesinde konvansiyonel işlemeye göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçta, Al₂O₃/Al kompozit malzemesi için lazer destekli ısıtma işleminin çok etkili yol olduğu anlaşılmıştır. Al₂O₃/Al kompozit malzemesinin lazer destekli

ısıt işlenmesinde eksene F_x ve radyal F_y kesme kuvvetlerinde yaklaşık %50, F_z kesme kuvvetinde ise yaklaşık %10 azalma olduğu görülmüştür. Lazer destekli ısıt işleme takım aşınması azalmasına ve takım ömrünün de artmasına sebep olmuştur. Lazer destekli ısıt işleme, işlenen yüzeyin yorulma dayanımı artırmış, bunun sonucunda da yüzey kalitesi arttığı kanısına varılmıştır (Wang vd, 2002).

2.4. Akıllı Yöntemler ve Uygulamaları

Yapılan çalışmada, frezeleme işleminde optimum kesme koşullarını belirlemek için amaç fonksiyonları oluşturulmuş ve matematiksel model kurulmuştur. Çok amaçlı optimizasyon problemi olarak geliştirilen modelin Evrimsel Programlama (EP) yardımıyla optimizasyonu yapılmıştır ve optimum kesme koşulları elde edilmiştir. Frezeleme işleminde optimum kesme koşullarının belirlenmesinde EP metodun çok etkin olarak kullanılabileceği ve performanslarının kullanılan parametrelere bağlı olduğu belirlenmiştir.

EP, özellikle optimizasyon problemlerinin çözümünde çok etkili olarak kullanılmaktadır. EP' nin çok amaçlı modellerdeki eş zamanlı optimizasyon yeteneği, endüstriyel problemlerin çözümünde kullanımını diğer yapay zeka tekniklerine göre daha ön plana çıkarmaktadır.

İşleme parametrelerinin optimizasyonu genellikle iki adımdan oluşur (Ünüvar vd., 2012, Candida, F., 2002). Birinci adım matematiksel bir optimizasyon modeli oluşturmaktır. Model çeşitli kısıtlar ve işleme şartlarını temel alarak gerçekleştirilir. İkinci adım ise optimal yada optimale yakın uygun çözüm prosedürleri araştırmaktır. İşleme parametrelerinin optimizasyonu tek ve çok pasolu talaş kaldırma işlemlerine ayrı ayrı uygulanabilir. Tek pasolu operasyonlarda toplam arzulanan kesme derinliği tam bir pasoda gerçekleştirilir. Pratikte bu nadiren başarılabilir. Bu yüzden işleme parametrelerinin belirlenmesi için çok pasolu işleme yaklaşımı dikkate alınır.

Optimizasyon modeller geliştirilirken amaç fonksiyonları optimizasyon kriteri olarak belirlenir. İşleme parametrelerinin optimizasyonunda beş şekilde amaç fonksiyonu belirlenebilir.

- Minimum üretim maliyeti
- Minimum üretim zamanı veya maksimum üretim hızı
- Maksimum kar oranı
- Maksimum yüzey kalitesi
- Çeşitli amaç fonksiyonlarının ağırlıklı kombinasyonu

Çok amaçlı optimizasyon problemlerine örnek olarak bir frezeleme işleminde alın ve parmak frezelemenin belirlenen amaç fonksiyonlarına göre Pareto tarafından geliştirilen modelin, Genetik algoritma (GA) operatörlerinin etkinliği incelenmiş ve en uygun çaprazlama ve mutasyon kombinasyonunun literatürde bulunan aralıklara bağlı olarak seçilmiştir. Literatürde çaprazlama oranları 0,5 ile 0,9 arasında olması ve mutasyon oranının da 0,01 ile 0,05 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Analizini yaptığımızda bu modelin çözümünde kullanılacak mutasyon ve çaprazlama oranlarının sırasıyla 0,75 ve 0,01 olarak seçilmiştir. GA yardımı ile elde edilen sonuçların tahmin edilen normal standart sonuçlara yakınlığı gözlenmiştir. Pareto tarafından geliştirilen çözümlerde ikili (binary) sayılı kodlama sistemi kullanılmış ve daha etkin sonuçlar elde edilmiştir, dolayısıyla gerçek sayılı kodlama sistemi yerine, binary (ikili) sayılı kodlama sisteminin daha etkin olabileceği düşünülmektedir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde GA'ların kullanılması istenilen sonuçlara ulaşmayı kolaylaştırmaktadır. Optimizasyon problemlerinin klasik çözümlerinde genellikle tek amaç hedeflenmektedir ve amaç sayısı arttığında klasik teknikler yetersiz kalmaktadır. Oysa GA, problem çözümünde tüm amaçları göz önünde tutabilmektedir. Optimizasyon problemlerinde tek amaçlı fonksiyonlardan çok amaçlı fonksiyonlara doğru çözüm aranmaya başlandığı noktada, çözümlerin bulunması güç olmaktadır. GA kullanılarak optimizasyonu yapılan problemlerde amaç fonksiyonlarımızı tek tek belirleyerek ve belirlediğimiz amaç fonksiyonlarının tekli optimizasyonu yapılabilmektedir. Ayrıca. amaç

fonksiyonlarımız birleştirilerek çok kriterli optimizasyona dönüştürülerek GA tekniği ile optimize edilmekte ve çözüm aranmaktadır.

Pareto modeli kullanılarak yapılan çalışmada, öncelikle amaç fonksiyonlarının tekli optimizasyonu yapılmıştır, daha sonra amaç fonksiyonları birleştirilerek GA tekniği ile yeniden optimize edilmiştir. Yapılan çalışmada binary (ikili) sayılı kodlama tekniği kullanılmıştır. Bu teknik gerçek sayı sistemli GA kodlamalarından daha iyi çözümler verdiği görülmüştür. Gerçek sayılı GA kodlama sistemleri daha hızlı çözüm bulmasına rağmen, binary (ikili) sayılı GA kodlama sistemleri evrimi daha iyi simüle etmekte ve daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle Pareto metodu ile GA tekniği kullanılarak yapılan optimizasyon işlemlerinde binary (ikili) sayı sistemlerin kullanılması daha uygundur. Yapılan çalışmada seçim aşamasında elitizm modelini kullanarak seçim yapılmıştır. Yani her iterasyon sonucunda pareto optimal sonuçlardan bir miktar birey (kromozom) rasgele olarak alınır ve bir sonraki popülasyona ilave edilir. Elitizm için alınacak paretooptimal çözüm miktarı 5-10 birey (kromozom) arasında değişir. Yapılan çalışmada elitizm için paretooptimal sonuçlardan rasgele seçilecek birey (kromozom) sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Her iterasyon sonucu 5 birey (kromozom) bir sonraki popülasyona ilave edilmistir. GA kullanılarak optimize edilecek problemler için kullanılacak çaprazlama oranları 0,5 ile 0,9 arasında, mutasyon oranları ise 0,01 ile 0,05 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmada literatürde belirtilen değerlere göre çaprazlama oranı ve mutasyon oranı literatürde bulunan değerlerden seçilmiştir. Seleksiyonda Rulet tekerleği yöntemi kullanılmıştır. Çaprazlama da tek noktalı çaprazlama esas alınmıştır. Mutasyonda ise bit mutasyon işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmada tek takımlı ve çok takımlı isler için frezeleme optimum koşulları belirlenmiştir. Bu çok kriterli bir problemin pareto optimal çözümleri GA metodu kullanılarak irdelenmiştir ve çıkan Pareto optimal çözümler her iki işlem için kıyaslanmıştır. Elde edilen pareto optimal sonuçlar üretici için alternatif çözümler sunmaktadır. (Ünüvar vd., 2012).

(Suresh vd., 2002), çalışmada yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonunda iki adım takip edilmiştir.

Birincisi; RMS (Root Mean Square) deney metodundan çıkan regrasyon analizlerine göre yüzey pürüzlülüğünün matematik modelinin oluşturulması

İkincisi; elde edilen 2. dereceden matematiksel fonksiyonun GA kullanılarak optimum kesme şartlarının istenen yüzey özelliğine göre optimize edilmesidir.

Kurulan matematiksel fonksiyon sayesinde istenilen pürüzlülükte yüzeyler elde edilmiştir.

Genetik Programlama (GEP) algoritması bilgisayar programı tarafından yeniden oluşturulabilen sabit sayıda ve uzunlukta lineer kromozomlardan oluşur. Oluşturulan kromozomlar .Açıklama Ağaçları. (AA) şeklinde GEP' in operatör ve işlemcileri sayesinde farklı şekil ve boyutlarda ifade edilebilmektedirler. GEP algoritması, GA ve mevcut GP algoritmaları gibi bir veya daha çok genetik operatör kullanarak rastgele elde edilen yeni kromozomlardan, hedef fonksiyon ve değerlere (Fitnes) ulaşır. Elde edilen yeni popülasyonlar hedef değerlere en uygun fonksiyonu veren algoritmadır, (Dayık, 2005).

GEP Algoritması, GA ve mevcut GP algoritmalarının bir bileşkesi olarak geniş bir fonksiyon taraması yapar. GEP her iki algoritmanın avantajlarını bünyesine birleştirmiştir. Yapısal olarak bu üç algoritmanın arasındaki farklılıklar ve benzerlikler şu şekilde sıralanabilir:

- Genetik Algoritmalarının karakteristiği, sabit uzunluktaki kromozomlardan oluşan lineer dizidir. Bu lineer diziler basit lineer problemler için genetik operatörlerle kolayca çözüm üretmesine rağmen karmaşık, non-lineer problemlerde fonksiyonel değildirler. Genetik Algoritma genellikle fonksiyonların genel optimizasyonlarında kullanılır. Genetik algoritma aynı zamanda genetik programlama ve genetik tabanlı makine eğitiminde de kullanılabilir.

- GEP, Genetik Algoritmalarından farklı olarak değişik boyut ve şekillerdeki non-liner değişkenler arasındaki ilişkileri ifade etmek için oluşturdukları .ayrıştırma ağaçları. (parse tree) ile uygun çözüme ulaşmaya çalışırlar. GP karmaşık ve non-lineer problemlerde istenen sonuçların elde edilmesinde yetersiz kalmaktadır.

- GEP Algoritmasında ise GA ve GP Algoritmalarının avantajları birleştirilmiştir. Karakteristik olarak sabit sayı ve uzunluktaki çok sayıda non-liner değişken genetik operatörler ve işlemciler kullanılarak farklı boyut ve şekilde lineer dizinlere dönüştürülerek uygun fonksiyon türetilir. GEP Algoritması makine öğrenme gibi kompleks yapıda non-lineer ifadelerin ilişkilerin kurulması ve ifade edilmesinde de kullanılabilir, (Candida, F., 2002).

Yapılan bu çalışma ile uygulama alanı oldukça hızlı genişleyen Ti6Al4V alaşımının ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız frezelenmesi ile kesme esnasında kesme kuvvetlerindeki değişimleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrünün nasıl etkilendiği konularında neticeler elde edilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, yapılan çalışmada kullanılan materyallerden ve yöntemlerden bahsedilmiştir.

3.1. Materyal

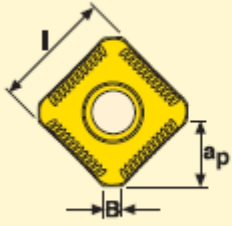
Deneysel çalışmada kullanılan kesici takım ve iş parçası, cihaz ve sistemler bu bölümde anlatılmıştır. İş parçasının kimyasal bileşimi, boyutları, ön hazırlık deneylerine hazırlanma aşamaları açıklanmıştır. Ayrıca deneyler sırasında kullanılan kesici takım ve kesici uçlar, ısı değerlerinin belirlenmesinde kullanılan termokupllar, kuvvetlerin ölçümünde kullanılan dinamometre, bilgi toplama cihazları ve ön ısıtma işlemi için kullanılan indüksiyon fırınından söz edilmiştir. Deneyler sonunda yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesinde kullanılan cihazlar ve özelliklerinden, aşınma fotoğraflarının ve aşınma değerlerinin belirlenmesinde kullanılan mikroskoplar anlatılmıştır.

3.1.1. Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan malzemeler, kesici takım, takım tutucu ve iş parçasından oluşmaktadır.

3.1.1.1. Kesici Takım

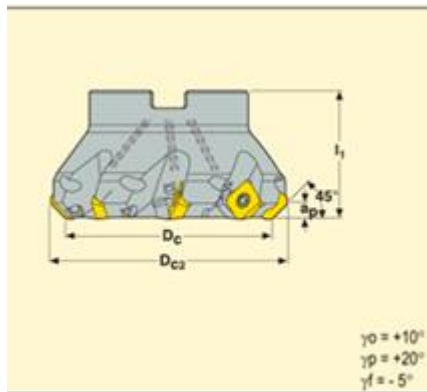
Deneylerde kesici takım olarak PVD kaplamalı karbür Seco marka SEEX1204AFTN-ME11 F40M model uç kullanılmıştır. Takım dört kesme ağzına sahiptir. Kullanılan ucun boyutları Şekil 3.1. de verilmiştir. Bir kesme ağzı bir deney için kullanılmıştır. Toplam 125 adet deney yapılmıştır. Bu nedenle 50 adet uç temini yapılmıştır.

	Uç Büyüklüğü l	Max.Talaş Derinliği a _p	Giriş Genişliği B
	12	6	1,6

Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan kesici uç ve boyutları (SECO, 2013)

3.1.1.2. Takım Tutucu

Kesici takım olarak Seco marka R220.53-0040-12-3A model tutucu kullanılmıştır. Bu takım seçilirken firma önerileri ve katalog değerleri dikkate alınmıştır. Takım 3 adet kesici uç bağlanma kapasitesine sahiptir. Kesme çapı ise 40mm'dir. Şekil 3.2.'de takım tutucu ve ölçüleri verilmektedir.



Model	Ölçüler mm							
	D _c	D _{c2}	l ₁	a _p				
R220.53 -0040-12-3A	40	52	40	6	3	0,4	16500	SE X1204
-0050-12-4A	50	62	40	6	4	0,4	14800	SE X1204
-0063-12-5A	63	75	40	6	5	0,5	13200	SE X1204
-0080-12-6A	80	92	50	6	6	1,1	11700	SE X1204
-0100-12-7A	100	112	50	6	7	1,7	10500	SE X1204
-0125-12-8A	125	137	63	6	8	3,2	9400	SE X1204
-0160-12-10	160	172	63	6	10	4,6	8300	SE X1204
-0200-12-12	200	212	63	6	12	7,6	7400	SE X1204

Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan takım tutucu ve boyutları (SECO, 2013)

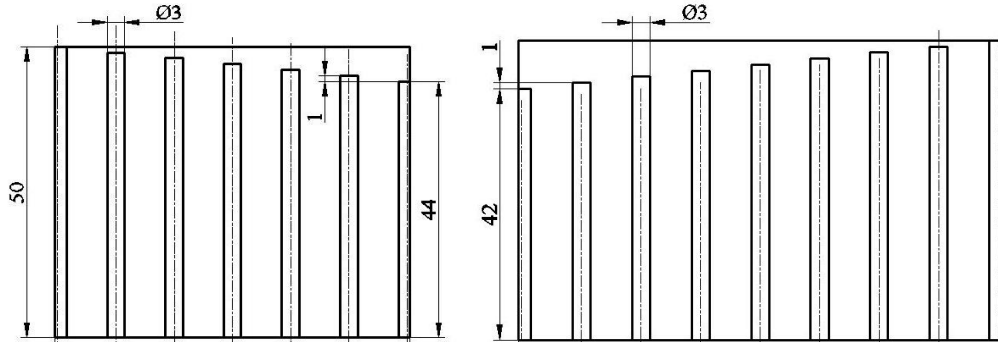
3.1.1.3. İş Parçası

Bu çalışmada kullanılan titanyum alaşımının Ti6Al4V'un kimyasal bileşimi Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ti6Al4V kimyasal bileşimi (TİMET)

Kimyasal Bileşim								
Alaşım Tipi	Ti	N	C	H	Fe	O	Al	V
Ti6Al4V	90,25	0.05	0.08	0.015	0.40	0.20	5.50	3.50

Çalışmada iki farklı ebatlarda malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin birinde ön hazırlık deneyleri yapılmıştır. İkinci malzeme üzerinde ise talaşlı imalat deneyleri yapılmıştır. Ön hazırlık deneylerinin yapılmasında 40x120x50mm boyutlarında bir malzeme kullanılmıştır. İş parçası üzerinde oluşabilecek zamana bağlı sıcaklığın ölçülebilmesi için iş parçası üzerinde enine 10 mm aralıklarda, derinlikleri 1mm fark olacak şekilde 3 mm çapında delikler açılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Ön hazırlık deneylerinde kullanılan Ti alaşımının şematik gösterimi

Kesme işleminin yapıldığı deneyler için ise 40x120x100mm boyutlarında bir iş parçası hazırlanmıştır. ISO 8688-1 standardına göre frezelenen malzemenin boyu, kullanılan kesici takım kesme çapının 3 katından az olmayacağı bilinmektedir (ISO 8688-1, 1989). 40mm kesme çapı bulunan kesici takımı için kesme boyu $40 \times 3 = 120$ mm olarak tespit edilmiştir.

Literatüre göre, kesici takım $\frac{D}{2}$ genişliğinde (yanal adım) kesme yapılacağı düşünülürse malzeme genişliği 40mm olarak belirlenmiştir. Böylelikle 1mm derinlik için iki deney yapılması sözkonusu olmuştur. Şekil 3.4.'te kesme işleminde kullanılan iş parçası görülmektedir. Aynı zamanda iş parçasının dinamometreye bağlanabilmesi için bağlama pabuçlarının genişliğine uygun olarak 10x10x120mm boyutlarında kanallar açılmıştır.



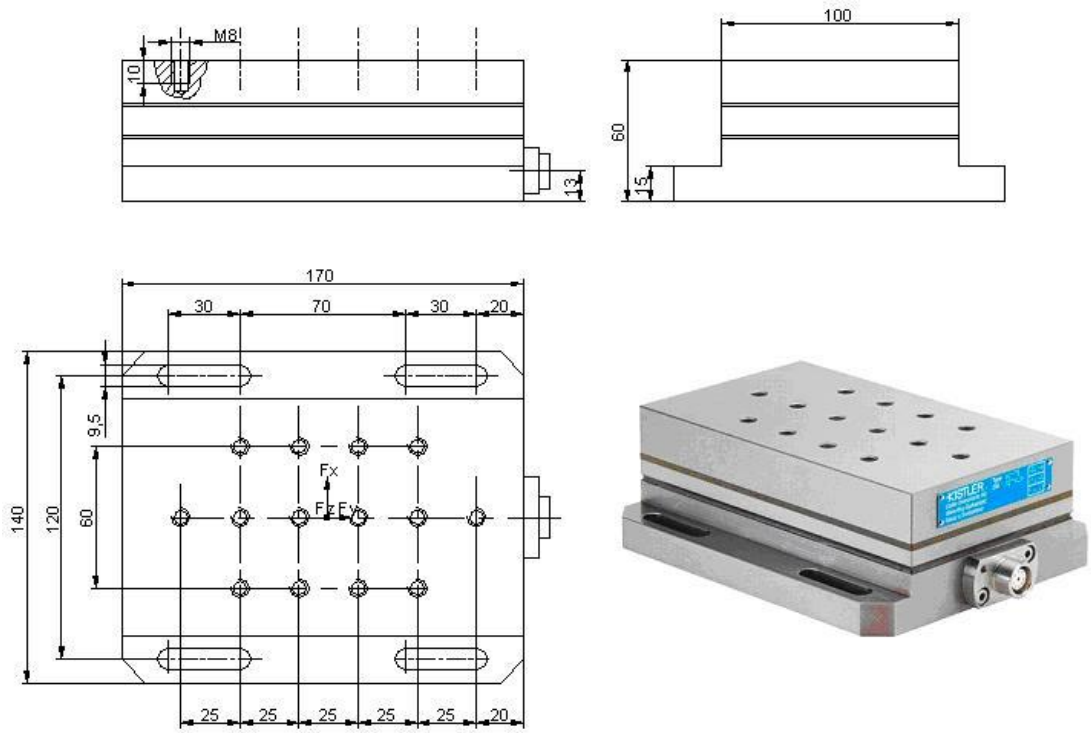
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan iş parçası

3.1.2. Cihaz ve Sistemler

Ön ısıtma deneyleri yapımı aşamasında indüksiyon güç kaynağı, sıcaklık ölçümleri için termokupllar ve veri toplama cihazı (datalogger) kullanılmıştır. Kesme deneylerinde kuvvet sinyallerinin ölçülmesinde dinamometre ve veri toplama kartı kullanılmıştır. Sinyaller Cut-Pro programı yardımı ile alınmıştır. İşlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğünün belirlenmesinde yüzey pürüzlülük cihazından yararlanılmıştır. Takım aşınması ölçümlerinde aşınma miktarlarını net alabilmek için tarama elektron mikroskobu kullanılmıştır.

3.1.2.1. Dinamometre

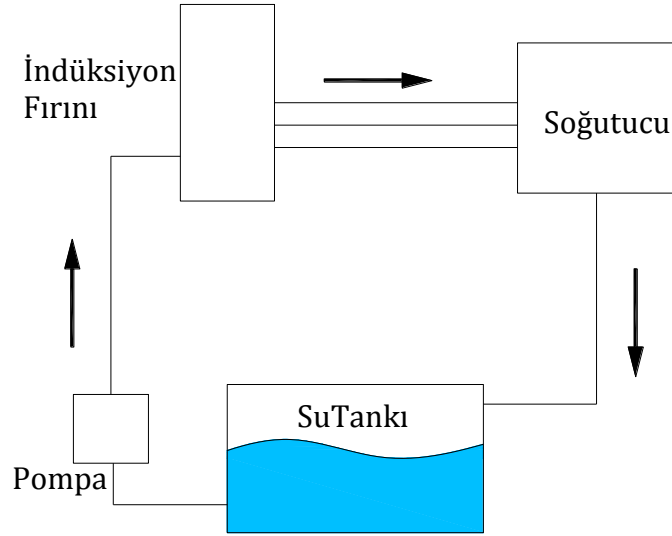
Talaşlı imalatta kesme kuvvetlerinin belirlenmesi, uygun kesme şartlarının oluşturulmasında büyük rol oynamaktadır. Kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için kullanılan dinamometreler, torna tezgâhlarında kesici takım tutucu mekanizmasına, freze ve matkaplarda iş parçasının bağlandığı tablaya veya iş mili yataklarına monte edilmektedirler. Kesme kuvveti sinyallerinin ölçülmesinde Kistler firmasına ait dinamometre kullanılmıştır (Şekil 3.5). Piezoelektrik malzemelerin F_x , F_y , F_z olmak üzere 3 ekseninde kesme kuvvetlerini ölçer.



Şekil 3.5. Kesme kuvveti sinyallerinin elde edilmesinde kullanılan dinamometre teknik özellikleri ve boyutları

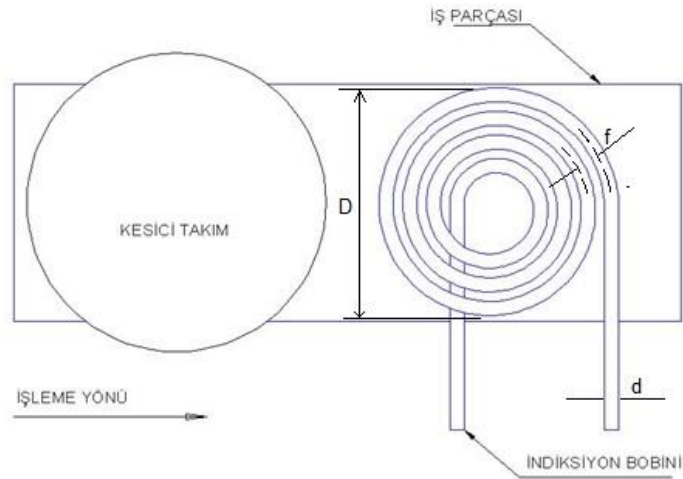
3.1.2.2. İndüksiyon Cihazı ve Tesisatı

Isıtma sistemi, indüksiyon fırını, soğutucu ünitesi, su tankı ve su pompası gibi elemanlardan oluşmaktadır. Sistemi oluşturan elemanlar arasında gerekli tesisat oluşturulmuş ve freze tezgâhında deneylerin yapılmasına uygun hale getirilmiştir. Şekil 3.6.'da İndüksiyon fırını tesisat şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.6. İndüksiyon fırını tesisat şeması

İndüksiyon fırınına bağlanacak bobinin, iş parçasının genişliğine uygun olacak şekilde 6 mm çapında bakırdan sarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sarım için 6mm çapındaki borunun içi kum ile doldurulmuştur. Bu şekilde dönüş kısımlarında çap daralmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Daha sonra oksijen kaynağı ile ısıtılan bakır boru hazırlanan kalıp yardımı ile kıvrılabilmektedir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. İndüksiyon bobini, kesici takım ve iş parçası temsili şekli

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 o derecede artar. Isıtma bobininin hazırlanmasında takım tutucunun geometrik şekli ile beraber ısıtılacak malzemenin geometrik büyüklüğü de önem taşımaktadır.

Şekil 3.8.'de de indüksiyon fırını ve hazırlanan sistem görülmektedir.



Şekil 3.8. İndüksiyon fırını ve hazırlanan ön ısıtma sistemi

Isıtma amaçlı kullanılacak olan indüksiyon fırını, özel tasarlanıp imal edilmiş ayarlanabilir şase üzerine yerleştirilmiştir. İndüksiyon fırınının çalışması esnasında ısınan iş parçasından radyasyon yöntemi ile ısınan bobin, içerisinde su sirkülasyonu sağlanarak soğutulmuştur.

3.1.2.3. Veri Toplama Cihazı (Data Logger Cihazı)

Kesme işlemi sırasında kesme kuvvetlerinin elde edilmesini sağlayan veri toplama cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın saniyedeki örnekleme hızı 332.000'dir.

3.1.2.4. Veri Toplama Kartı

Dinamometreden gelen kesme kuvveti sinyalleri sinyal düzenleyiciden geçtikten sonra veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmıştır.

Kartın özellikleri:

- 16 bit analog sinyali 1.25MS/s veri girişi,
- Analog çıkış,
- 8 dijital giriş/çıkış kanalı,
- 24 adet bit sayıcı,
- 70"den fazla sinyal izleyebilme özelliklerine sahiptir.

3.1.2.5. Termokupl

Deneyler sırasında Tetcis marka NiCr-Ni mineral izoleli K tipi 3mm çaplı olan termokupllar kullanılmıştır. Bu termokuplların ölçme aralıkları -200°C ile +1350°C'dir. Ölçme hassasiyeti ise %0,05'dir. Termokuplların bağlantısı sırasında 3m kompanzasyon kablosu kullanılmıştır.

3.1.2.6. Amplifikatör

Deneylerde KISTLER 5070A11100 tipi amplifikatör kullanılmıştır (Şekil 3.12.). Bu cihaz piezoelektrik dinamometre veya kuvvet platformu ile çok bileşenli kuvvet-tork ölçümü için kullanılmaktadır. Piezoelektrik kuvvet sensörleri dalgalanan yük ile doğru orantılı olarak değişen bir elektrik yükü üretirler. Bu şekilde kuvvet ölçümleri yapılmaktadır.

3.1.2.7. Yüzey Pürüzlülük Cihazı

Deneylerde farklı kesme parametrelerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde 0,01 µm hassasiyette ölçüm yapabilen, elmas uçlu Hommel

Werke firmasının T 500 yüzey pürüzlülük test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.13). Ölçüm ayarları şu şekilde seçilmiştir.

Örnekleme uzunluğu (L) = 0,8 mm

Ölçme uzunluğu (Lm) = 5 x Lc = 5 x 0,8 = 4 mm

Toplam uzunluk (Lt) = 4,8 mm

3.1.2.8. Stereo Zoom Mikroskop

Takım aşınmalarını gözlemleyebilmek, ölçmek ve görüntüleri dijital ortama aktarabilmek için en küçük büyültme oranı 6,7 birim, en büyük 90 büyültme yapabilen, ring aydınlatmalı, hareketli tablası olan, 1.3megapixel çözünürlüklü kamera ve ölçüm programı olan OLYMPUS SZ 61 modeli Stereo Zoom mikroskop kullanılmıştır.

3.1.2.9. Tarama Elektron Mikroskobu

Takım aşınma fotoğraflarının incelenmesinde 4x'den 1.000.000x'e kadar büyütme aralığı olan Vega\\LSU tarama elektron mikroskobundan faydalanılmıştır.

3.1.3. Tezgâhlar

Ön hazırlık deneylerinde kullanılan iş parçasının delinmesinde dalma erozyon tezgâhı, deneylerin gerçekleştirilmesinde dik işleme merkezi kullanılmıştır.

3.1.3.1. Dalma Erozyon Tezgâhı

Ön ısıtma deneylerinde kullanılan iş parçasına termokupllar için gerekli olan deliklerin açılmasında CAD/CAM Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan AJAN EDM marka dalma erozyon tezgâhı kullanılmıştır (Şekil 3.9). Dalma erozyon tezgâhının çalışma alanı X ekseninde 420mm, Y ekseninde 270mm'dir. Maksimum bağlanabilecek iş parçası yüksekliği 250 mm, ağırlığı 400 kg'dır.



Şekil 3.9. Ön hazırlık deneylerinde kullanılan iş parçasının dalma erozyon tezgâhında hazırlanması

3.1.3.2. Dik İşleme Merkezi

Deneylerin yapılmasında CAD/CAM Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan Hartford VMC-1020 CNC Dik işleme merkezi kullanılmıştır. Dik işleme merkezi 3 eksenlidir. Tezgâh tablası x ve y ekseninde yani yatay ekseninde hareket ederken, iş mili z ekseninde dikey doğrultuda hareket etmektedir. Tezgâhın tabla boyutu X ekseninde 1020 mm, Y ekseninde 500 mm dir. Tezgâh magazin kapasitesi 20 takım olup maksimum iş mili devri maksimum 6000 dev/dak'dır.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımının, konvensiyonel işleme ve ön ısıtmalı işlenmesi sırasında kesme kuvvetleri ölçümleri yapılmış, yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiş ve ön ısıtma sıcaklığının takım ömrüne etkisi üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çalışmada deneylerin yapım süreci şu şekilde ilerlemiştir;

- Ön hazırlık deneyleri yapılması,
- Kesme parametrelerinin belirlenmesi; kesici takım katalogları yardımı ile ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız işleme parametrelerinin belirlenmesi,
- Kesme kuvvetlerinin ölçümü,
- Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü,
- Takım ömrü deneyi,
- Elde edilen veriler kullanılarak evrimsel programlama ile modelleme çalışmaları yapılmıştır.

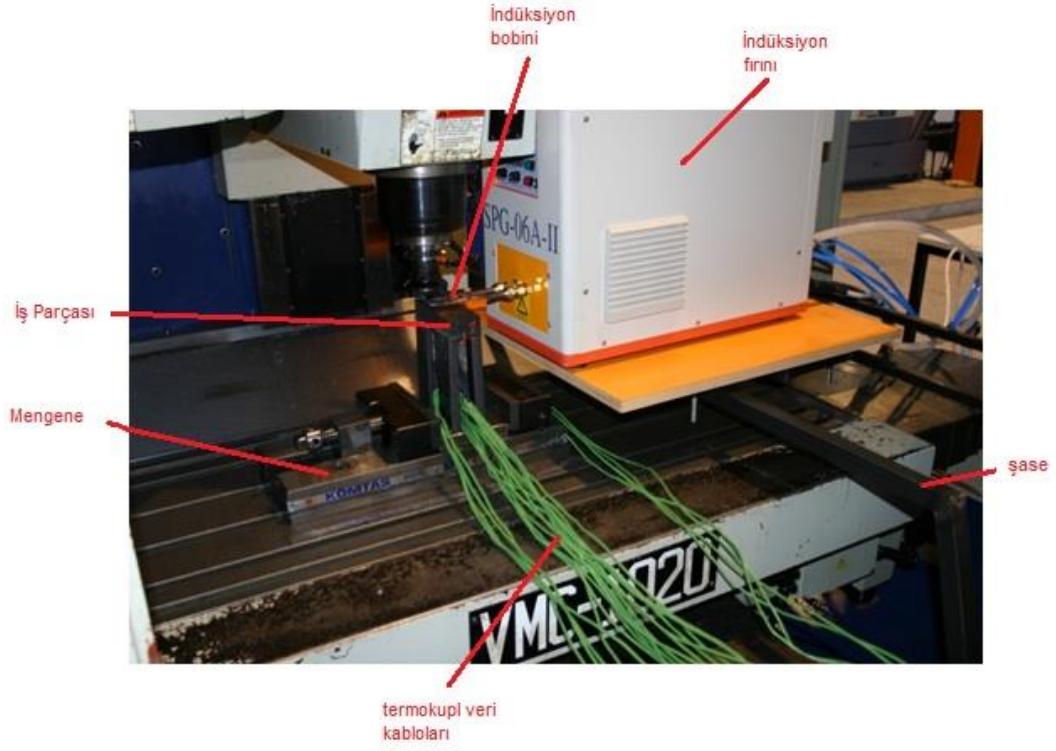
3.2.1. Ön Hazırlık Deneylerinin Yapılması

Deneysel çalışmalara başlamadan önce indüksiyon fırın parametreleri ile, iş parçası kesme parametreleri arasında ilişki kurabilmek amacı ile ön ısıtma deneyleri yapılmıştır. İndüksiyon fırını hangi frekansta iken, hangi ilerleme değerlerinde, kesme derinliği kadar mesafede hangi sıcaklıklara ulaşıldığı ön hazırlık deneyleri ile belirlenmiştir.

Sıcaklık dağılım deneyleri, indüksiyon fırını kullanılarak yapılmıştır. Freze tezgâhında yapılan deneylerde, daha önceden hazırlanan 40x120x50mm ebatlarındaki titanyum alaşımı (Ti6Al4V) kullanılmıştır.

Ön hazırlık deneylerinde kullanılan iş parçasına, delik açma işleminde karbür uçlar kullanılmıştır. Matkap ucunun uç açısı, delik delindikten sonra termokuplların yerleşiminde alın düzleminin tam parçaya oturmamasına neden olmaktaydı. Bu problemi ortadan kaldırmak amacıyla deliklere dalma erozyon işlemi uygulanmış ve delik tabanları düzleştirilmiştir.

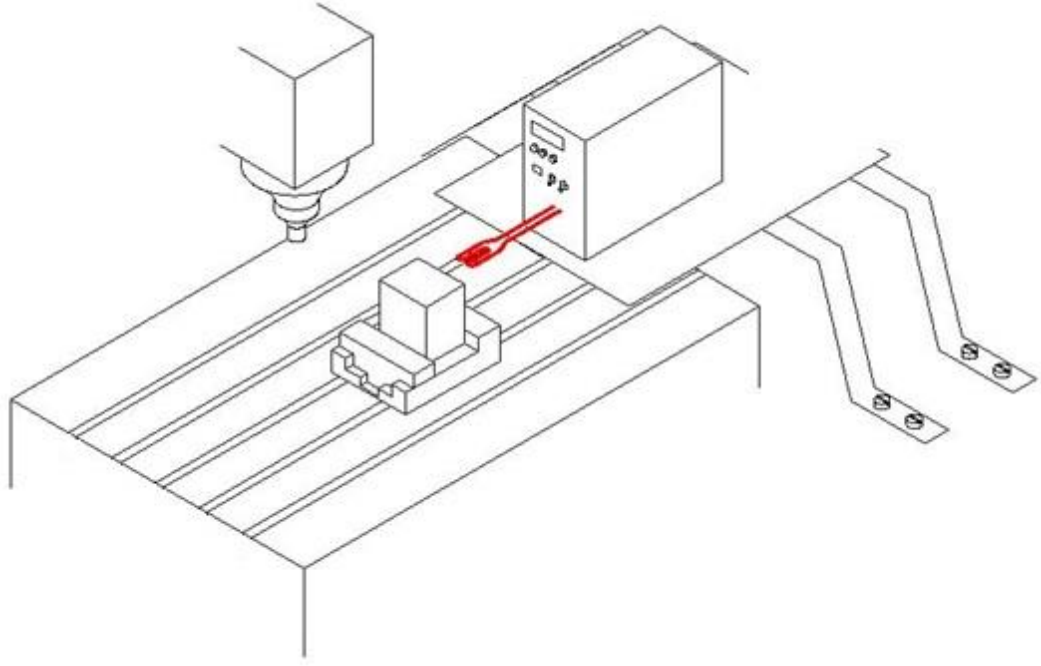
Farklı yüksekliklerde yapılacak olan sıcaklık ölçümlerinin hatasız olması termokuplların yerleştirilmesi ile doğrudan alakalıdır. Termokupllar iş parçasının alt kısmına gelecek şekilde deliklere yerleştirilmiştir. Termokuplların uzunlukları iş parçasından 2-3 cm dışarıda kalacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Ön ısıtma deneyinde kullanılan iş parçasının ve termokuplların bağlantı şekli

Termokuplların zarar görmemesi için hazırlanmış özel bağlama kalıbı ile iş parçasının alt kısmında tabla ile arasında mesafe bırakılmıştır. Termokuplların data logger ile uygun bağlantıları yapılarak, veriler RS232 kablo yardımı ile bilgisayara aktarılmıştır.

Isıtma amaçlı kullanılacak olan indüksiyon fırını, özel tasarlanıp imal edilmiş ayarlanabilir şase üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.11.). Bu şekilde indüksiyon fırınının freze tezgâhına yerleştirilmesi sağlanmış, aynı zamanda indüksiyon fırını parametrelerinden olan iş parçası- indüksiyon bobini arası mesafe (h) parametresinin ayarlanması kolaylaştırılmıştır (Şekil 3.13). Bu şase sayesinde indüksiyon bobini rahatlıkla aşağı yukarı hareket edebilmektedir.



Şekil 3.11. İndüksiyon fırınının istenilen şekilde bağlanmasını sağlayan şasenin temsili resmi

Amaca uygun bobin tasarım ve imalatın tamamlanmasıyla hazırlık deneyi sistem bileşenleri hazırlanmıştır. Hazırlanan sistem kullanılarak hazırlık deneyleri yapılmıştır.

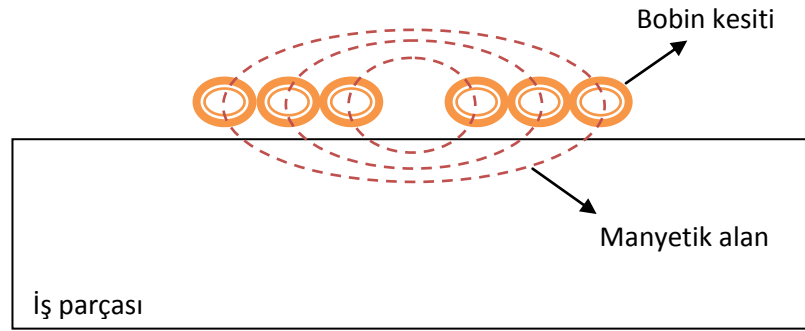
Hazırlık deneylerinden amaç, titanyum alaşımı iş parçasının hangi tezgâh ilerleme hızında, indüksiyon fırınının hangi parametrelerinde (güç, frekans vb.) talaş derinliğinde 300, 400, 500 ve 600°C derecelere ulaştığını bulmaktır. Bu değerlerin bulunması ile, kesme esnasında, talaş derinliğindeki sıcaklığın öngörülen sıcaklıkta olup olmadığı belirlenmiştir.

Ön ısıtma deneylerinde, bobin ile iş parçası arası mesafe $h=1$ mm olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.13.). Bunun yanısıra indüksiyon fırını frekansı da sabit tutulmuştur.

İstma bobini birincil devre, yük parçası ikinci devre olarak düşünüldüğü taktirde indüksiyon ısıtma sistemi transformatöre benzetilebilir. Isıtma bobininde üretilen manyetik akının yük parçası üzerinden devresini

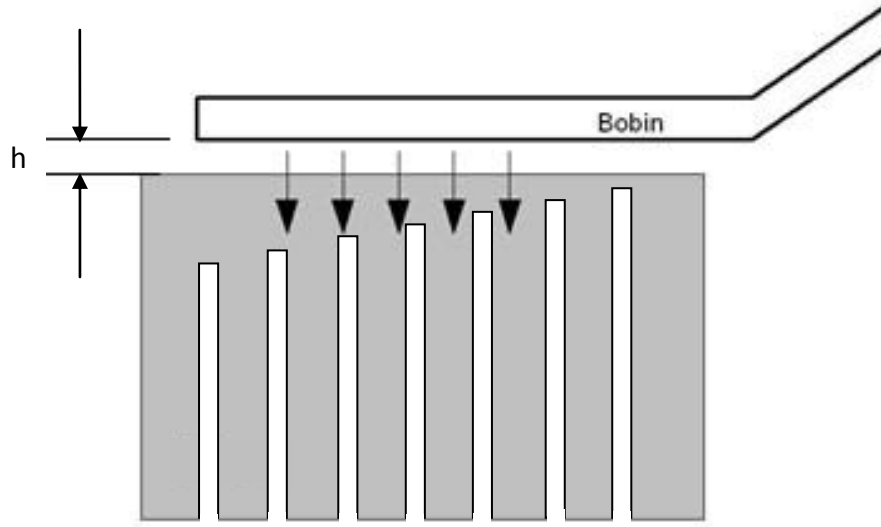
tamamlama oranı sistemin verimliliği açısından önemlidir. Yük parçası ile bobin arasındaki manyetik etkileşimi tamamlamaya yönelik kullanılan kavramlardan birisi .kuplaj faktörü. dür (Öncü, 2005).

Isıtma bobini ve yük parçası iki bobin gibi düşünülürse, hava boşluğunun mevcut oluşu, kuplajlı bobinde esaslı enerji deplanmasını ifade eder (Witulski, 1995)



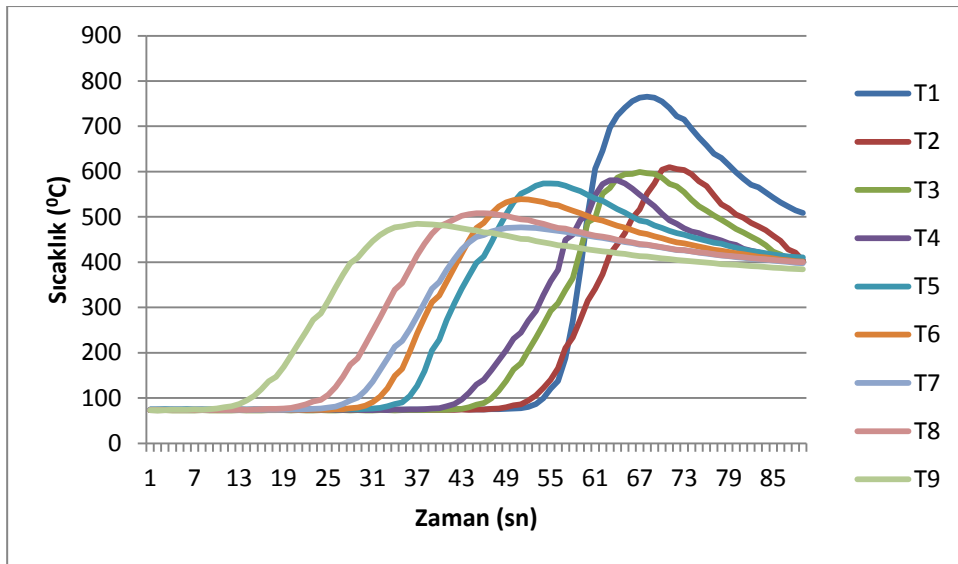
Şekil 3.12. Bobin ve iş parçası arasındaki manyetik alan etkileşimi

Yük parçasının şekline ve ebatlarına uygun bobin kullanılması, yük ile bobin arasındaki mesafenin mümkün olabilen en küçük seviyede tutulması gibi tedbirler ile, hava boşluğu nedeniyle sisteme etki eden endüktif reaktans etkisi azaltılabilir (Şekil 3.13.). Çünkü bobin empedansının reaktif bileşeninin en büyük parçasını hava boşluğu reaktansı oluşturmaktadır. Kuplaj faktörünün artırılması ile hava boşluğu reaktansı küçültülerek bobinin verimi ve güç katsayısı yükselir, bobindeki sarım başına gerilim değeri azalır ve sistemin gücü düşer (Davies, 1979). Bu nedenle iş parçası ile bobin arasındaki mesafe 1mm olarak seçilmiştir.

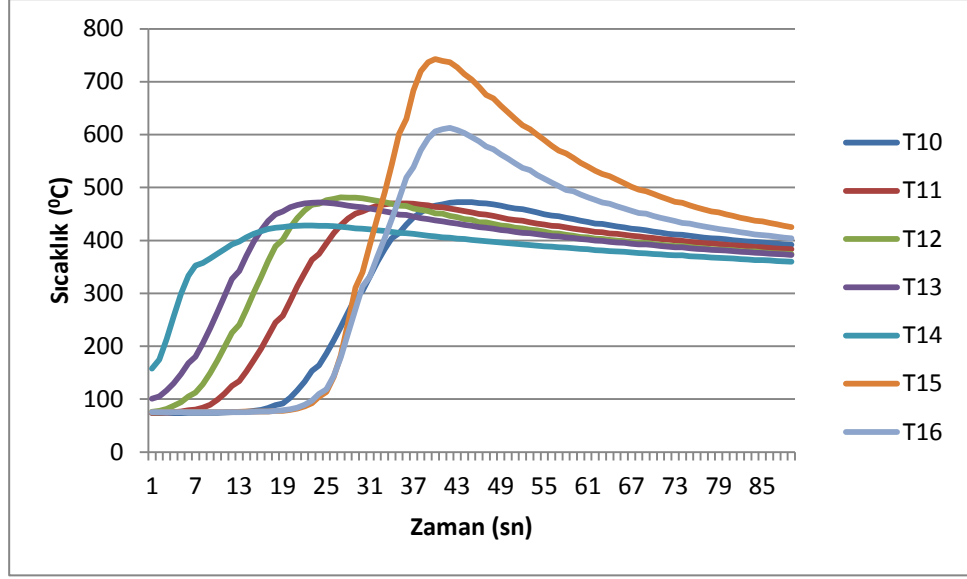


Şekil 3.13. İndüksiyon ile malzeme yüzeyinin ısıtılması

Ön hazırlık deneyleri neticesinde, deney numunesindeki, Y eksenine doğrultusunda dizilmiş termokupllardan alınan verilerle zamana bağlı sıcaklığın değişim grafiği (Şekil 3.14), X eksenine doğrultusunda dizilmiş termokupllardan alınan verilerle zamana bağlı sıcaklığın değişim grafikleri (Şekil 3.15.) çizilmiştir.



Şekil 3.14. İş parçasına Y eksenine doğrultusunda yerleştirilen termokupllardan alınan değerlerin grafiksel gösterimi (ilerleme: 198,75mm/dak)



Şekil 3.15. İş parçasına X eksenine doğrultusunda yerleştirilen termokupllardan alınan değerlerin grafiksel gösterimi (ilerleme: 198.75mm/dak)

Bu şekilde üç farklı tabla ilerleme hızında (132,5mm/dak, 198,75mm/dak ve 265mm/dak) yapılan deneyler neticesinde iş parçası için bir ısı modeli oluşturulmuştur.

Oluşturulan model ile iş parçası ile bobin arasındaki mesafenin 1mm olarak sabit alınması, indüksiyon fırınının frekans değerinin maksimum olduğu değerde talaş derinliği kadar mesafede yani 1mm derinlikte malzemenin 300°C'ye çıkması için tezgâh tabla hızının 398mm/dak olması, 400°C çıkması için tezgâh tabla hızının 313mm/dak olması, 500°C çıkabilmesi için tezgâh tabla hızının 246mm/dak olması ve son olarak da 600°C'ye ulaşabilmesi için tezgâh tabla hızının 198mm/dak olması gerektiği belirlenmiştir. Bu saptamalar ışığında kesme işleminin gerçekleştiği deney aşamasına geçilmiştir.

3.2.2. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Seçilen kesici takım-iş parçası için uygun kesme parametreleri kesici takım kataloğu kullanılarak seçilmiştir. Kesici takım kataloğuna göre tavsiye edilen ilerleme oranı aralığı 0,1-0,15mm/diş, kesme hızı aralığı 26-34m/dak ve maksimum kesme derinliği 6mm olarak verilmiştir. Çalışmada talaş derinliği

1mm olarak seçilmiştir. Kullanılan tezgâhın gücü ve teknik özellikleri bu seçimde etkili olmuştur. İşleme parametrelerinin belirlenmesinin ardından Taguchi de L25 ortagonal dizisi ile modelleme yapılmıştır. 5 farklı Kesme hızı, İlerleme oranı ve sıcaklık değerleri seçilerek yapılan modelde kullanılan parametreler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Taguchi Metodu ile belirlenen kesme parametreleri

Test No	Vc(m/dak)	f(mm/diş)	T(°C)	n(dev/dak)	Tek Uç İçin Tabla İlerleme Hızı (mm/dak)
1	35	0,15	20	279	41,8
2	20	0,05	20	159	7,9
3	40	0,1	20	318	31,8
4	25	0,25	20	199	49,8
5	30	0,2	20	239	47,7
6	40	0,15	300	318	47,7
7	30	0,25	300	239	59,7
8	25	0,05	300	199	9,9
9	35	0,2	300	279	55,7
10	20	0,1	300	159	15,9
11	20	0,15	400	159	23,9
12	40	0,2	400	318	63,7
13	25	0,1	400	199	19,9
14	35	0,25	400	279	69,6
15	30	0,05	400	239	11,9
16	30	0,1	500	239	23,9
17	25	0,15	500	199	29,8
18	40	0,25	500	318	79,6
19	35	0,05	500	279	13,9
20	20	0,2	500	159	31,8
21	20	0,25	600	159	39,8
22	40	0,05	600	318	15,9
23	25	0,2	600	199	39,8
24	35	0,1	600	279	27,8
25	30	0,15	600	238	35,8

25 deneyin tamamlanmasının ardından çalışmanın kapsamını genişletmek ve alınan sonuçları akıllı sistemlerde modelleyebilmek için Taguchi yönteminden vazgeçilmiş, deney sayısı 125 çıkarılmış ve kalan diğer parametreler için de deneyler tamamlanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 3.3.’de kesme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneyler için belirlenen kesme parametreleri

Test No	Vc(m/dak)	f(mm/diş)	T(°C)	n(dev/dak)	Tek Uç İçin Tabla İlerleme Hızı (mm/dak)
1	35	0,15	20	279	41,8
2	20	0,05	20	159	7,9
3	40	0,1	20	318	31,8
4	25	0,25	20	199	49,8
5	30	0,2	20	239	47,7
6	40	0,15	300	318	47,7
7	30	0,25	300	239	59,7
8	25	0,05	300	199	9,9
9	35	0,2	300	279	55,7
10	20	0,1	300	159	15,9
11	20	0,15	400	159	23,9
12	40	0,2	400	318	63,7
13	25	0,1	400	199	19,9
14	35	0,25	400	279	69,6
15	30	0,05	400	239	11,9
16	30	0,1	500	239	23,9
17	25	0,15	500	199	29,8
18	40	0,25	500	318	79,6
19	35	0,05	500	279	13,9
20	20	0,2	500	159	31,8
21	20	0,25	600	159	39,8
22	40	0,05	600	318	15,9
23	25	0,2	600	199	39,8
24	35	0,1	600	279	27,8
25	30	0,15	600	238	35,8
26	25	0,05	20	199	9,9
27	30	0,05	20	238	11,9
28	35	0,05	20	279	13,9
29	40	0,05	20	318	15,9
30	20	0,1	20	159	15,9
31	25	0,1	20	199	19,9
32	30	0,1	20	238	23,9
33	35	0,1	20	279	27,8
34	20	0,15	20	159	23,8
35	25	0,15	20	199	29,8
36	30	0,15	20	238	35,8
37	40	0,15	20	318	47,7
38	20	0,2	20	159	31,8
39	25	0,2	20	199	39,8
40	35	0,2	20	279	55,7
41	40	0,2	20	318	63,7
42	20	0,25	20	159	39,8

43	30	0,25	20	238	59,7
44	35	0,25	20	279	69,6
45	40	0,25	20	318	79,6
46	20	0,05	600	159	7,9
47	25	0,05	600	199	9,9
48	30	0,05	600	238	11,9
49	35	0,05	600	279	13,9
50	20	0,1	600	159	15,9
51	25	0,1	600	199	19,9
52	30	0,1	600	238	23,9
53	40	0,1	600	318	31,8
54	20	0,15	600	159	23,8
55	25	0,15	600	199	29,8
56	35	0,15	600	279	41,8
57	40	0,15	600	318	47,7
58	20	0,2	600	159	31,8
59	30	0,2	600	238	47,7
60	35	0,2	600	279	55,7
61	40	0,2	600	318	63,7
62	25	0,25	600	199	49,8
63	30	0,25	600	238	59,7
64	35	0,25	600	279	69,6
65	40	0,25	600	318	79,6
66	20	0,05	300	159	7,9
67	30	0,05	300	238	11,9
68	35	0,05	300	279	13,9
69	40	0,05	300	318	15,9
70	25	0,1	300	199	19,9
71	30	0,1	300	238	23,9
72	35	0,1	300	279	27,8
73	40	0,1	300	318	31,8
74	20	0,15	300	159	23,8
75	25	0,15	300	199	29,8
76	30	0,15	300	238	35,8
77	35	0,15	300	279	41,8
78	20	0,2	300	159	31,8
79	25	0,2	300	199	39,8
80	30	0,2	300	238	47,7
81	40	0,2	300	318	63,7
82	20	0,25	300	159	39,8
83	25	0,25	300	199	49,8
84	35	0,25	300	279	69,6
85	40	0,25	300	318	79,6
86	20	0,05	400	159	7,9
87	25	0,05	400	199	9,9
88	35	0,05	400	279	13,9
89	40	0,05	400	318	15,9
90	20	0,1	400	159	15,9

91	30	0,1	400	238	23,9
92	35	0,1	400	279	27,8
93	40	0,1	400	318	31,8
94	25	0,15	400	199	29,8
95	30	0,15	400	238	35,8
96	35	0,15	400	279	41,8
97	40	0,15	400	318	47,7
98	20	0,2	400	159	31,8
99	25	0,2	400	199	39,8
100	30	0,2	400	238	47,7
101	35	0,2	400	279	55,7
102	20	0,25	400	159	39,8
103	25	0,25	400	199	49,8
104	30	0,25	400	238	59,7
105	40	0,25	400	318	79,6
106	20	0,05	500	159	7,9
107	25	0,05	500	199	9,9
108	30	0,05	500	238	11,9
109	40	0,05	500	318	15,9
110	20	0,1	500	159	15,9
111	25	0,1	500	199	19,9
112	35	0,1	500	279	27,8
113	40	0,1	500	318	31,8
114	20	0,15	500	159	23,8
115	30	0,15	500	238	35,8
116	35	0,15	500	279	41,8
117	40	0,15	500	318	47,7
118	25	0,2	500	199	39,8
119	30	0,2	500	238	47,7
120	35	0,2	500	279	55,7
121	40	0,2	500	318	63,7
122	20	0,25	500	159	39,8
123	25	0,25	500	199	49,8
124	30	0,25	500	238	59,7
125	35	0,25	500	279	69,6

Deneyler yapılırken, tabla ilerleme değerinin çok düşük olduğu değerlerde (7,9mm/dak ve 9,9mm/dak değerlerinde) indüksiyon fırınının akımının minimum olmasına rağmen malzeme çok fazla ısınma ve istenilen sıcaklık değerleri aşılması gibi problemlerle karşılaşmıştır. Bu deneylerin yapılabilmesi için indüksiyon bobini- iş parçası arasındaki 1mm olan değeri 3,5mm değerine çıkararak bu problemler aşılmıştır. Bu değere çıkarılmasında, ön hazırlık deneyleri sırasında oluşturulan ısı modelinden yararlanılmıştır.

3.2.3. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Belirlenmesi

Deneylerde, işleme sonrasında, yüzey pürüzlülüklerini ölçmek için $0.01\mu\text{m}$ hassasiyette ölçüm yapan, elmas uçlu HommelWerke T-500 adlı yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı, ölçüm ayarları örnekleme uzunluğu (L_c) 0,25 mm, ölçme uzunluğu (L_m) 1,25 mm ($5L_c$), travers uzunluğu (L_t) 1,5 mm olarak seçilerek kullanılmıştır. Deneylerin yapımı sırasında her pasodan sonra iş parçası yüzeyinin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçüm 6 farklı noktadan değerler alınarak yapılmıştır. Parçanın alaşım olması, homojen bir yapıya sahip olmama ihtimaline karşı böyle bir ölçüm stratejisi belirlenmiştir. Alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak nihai pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.16.'da iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçümünün yapıldığı noktaları görünmektedir.

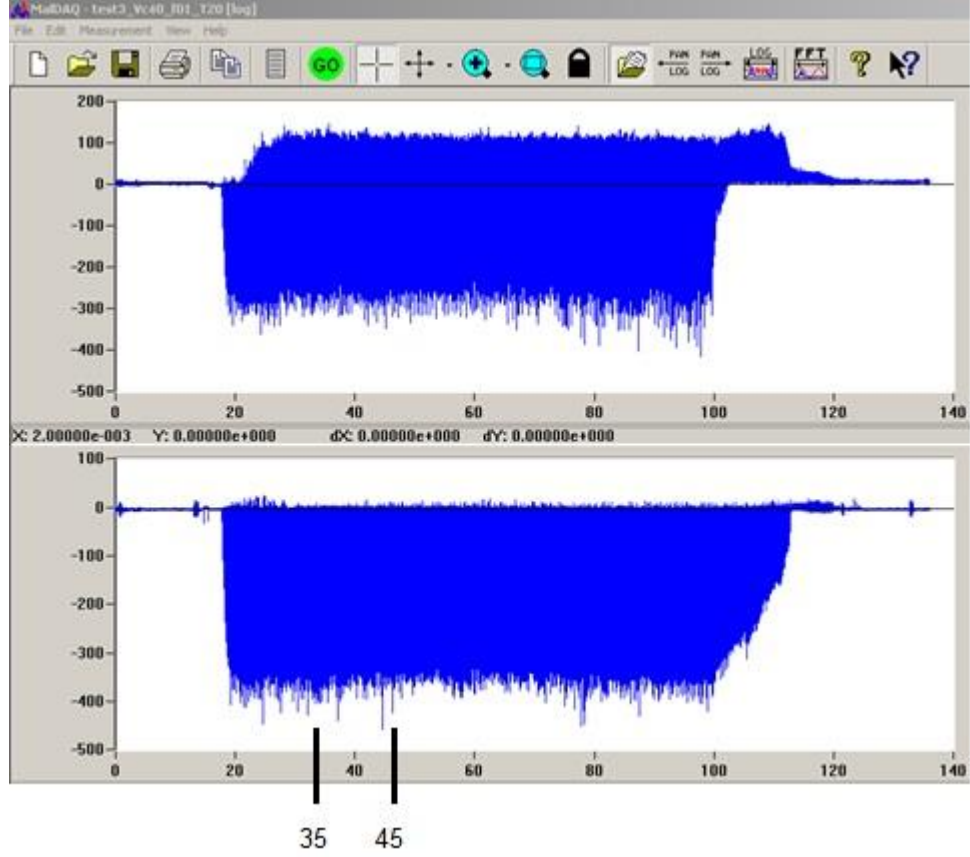


Şekil 3.16. Deneylerde iş parçası yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü noktalar

3.2.4. Kesme Kuvveti Ölçümleri

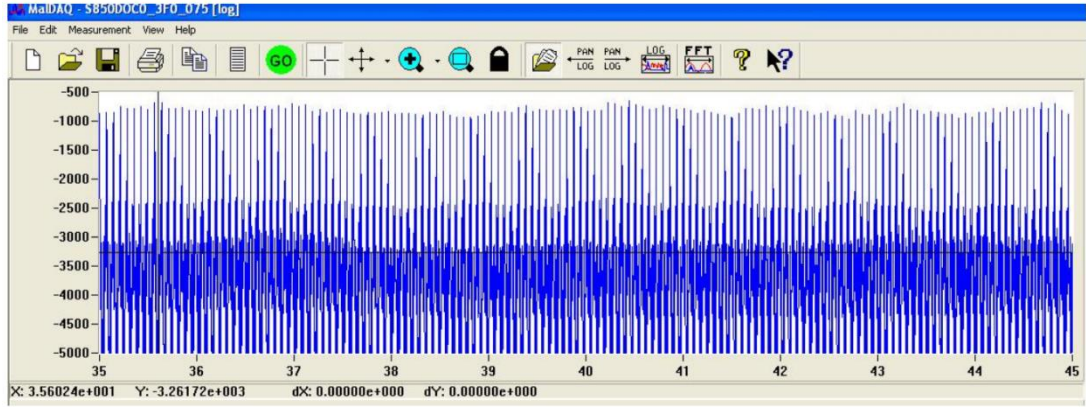
Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde dinamometre, amplifikatör, veri toplama kartı ve Cut-Pro yazılımından faydalanılmıştır. Dinamometre tezgâh üzerine

sabitlendikten sonra iş parçasının ve bağlantı kablolarının montajı yapılmıştır. Şekil 3.17.'de kesme neticesi elde edilen kesme kuvveti ham sinyalleri görülmektedir.



Şekil 3.17. CutPro programından elde edilen kesme kuvveti ham sinyalleri

Sinyallerin kararlı olduğu bölgelerden 10sn'lik sinyaller alınmıştır. Şekil 3.18.'da bu sinyaller gösterilmektedir. Alınan tüm bu sinyallerin her deney için ortalaması alınarak F_x , F_y ve F_z kuvvet kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.18. Kesme kuvveti sinyallerinin işlenen 10sn'lik (35-45sn) veri gösterimi

3.2.5. Takım Aşınması Ölçümleri

Seçilen kesme parametrelerine göre yapılan deneylerde elde edilen takım aşınması ölçümlerinde tarama elektron mikroskobundan faydalanılmıştır. Her bir parametre için 1 adet kesici kenar kullanılmıştır. İkişer tekrarlı olarak yapılan deneyler sırasında sıcaklık parametresi dışındaki tüm parametreler sabit tutulmuş, hangi sıcaklıkta takım ömrünün ne olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Takım ömrü tespiti amacıyla yapılan deneyler için parametreler Çizelge 3.4.'te verilmiştir. Bu parametreler kesici takım kataloğundaki kullanılan kesici takım için en üst sınır değerlerdir.

Çizelge 3.4. 7 farklı sıcaklık değerlerinde yapılan takım ömrü deneyi parametreleri

Test No	Vc(m/dak)	f(mm/diş)	T(°C)	s(dev/dak)
1	30	0,15	20	238
2	30	0,15	100	238
3	30	0,15	200	238
4	30	0,15	300	238
5	30	0,15	400	238
6	30	0,15	500	238
7	30	0,15	600	238

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 kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmini için modelleme yapılmıştır.

125 deney neticesinde elde edilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinin kullanıldığı modellemede, 25 adet deney parametresi modellemenin test kısmında, kalan 100 deneylik kısım ise eğitim kısmında kullanılmıştır. Modellemede kesme hızı, tabla ilerleme hızı ve sıcaklık girdi parametresi, yüzey pürüzlülüğü, X eksenindeki kesme kuvveti değeri ve Y eksenindeki kesme kuvveti değerleri ayrı ayrı çıktı parametresi olarak değerlendirilmiştir. Bu şekilde 3 farklı modelleme yapılmıştır. Bu parametreler ve evrimsel programlamada yer alan kromozon sayıları, gen sayıları, baş sayısı, seçim aralığı, uygunluk her bir modelde değiştirilerek birçok evrimsel model kurularak denemeler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çözüm modelini oluşturan girdi parametreleri ve çıktı parametresi arasında matematiksel bağlantıyı veren program kodu türetilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, ön ısıtmasız ve ön ısıtmalı olarak yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü bulguları, kesme hızına, sıcaklığa ve ilerleme hızına göre değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen veriler, evrimsel modelleme ile eğitilerek yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti tahminleri için kullanılabilecek denklem türetilmiştir.

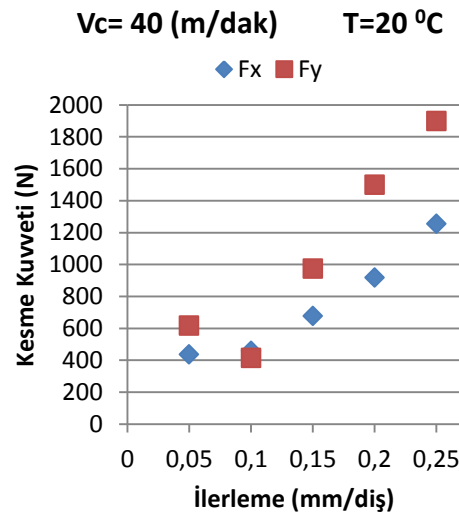
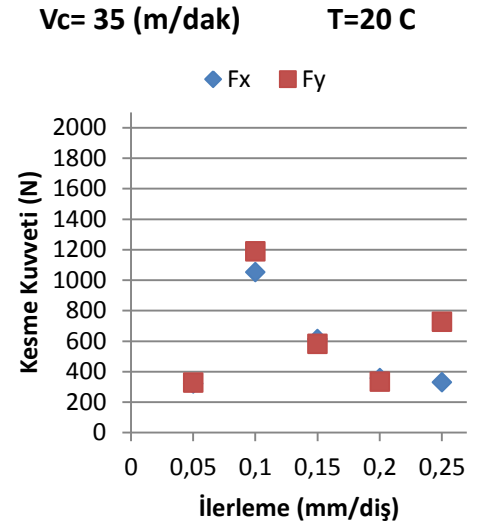
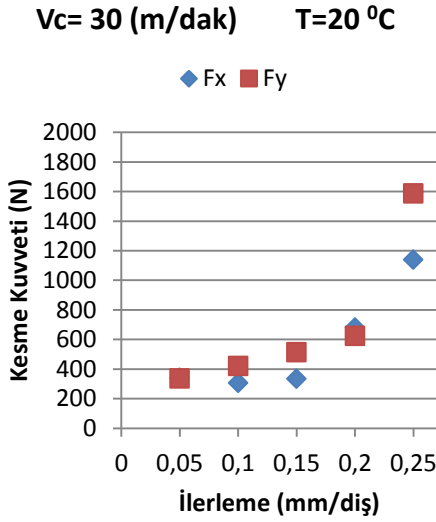
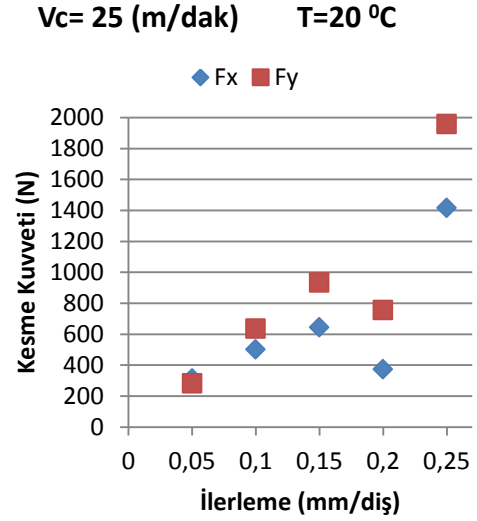
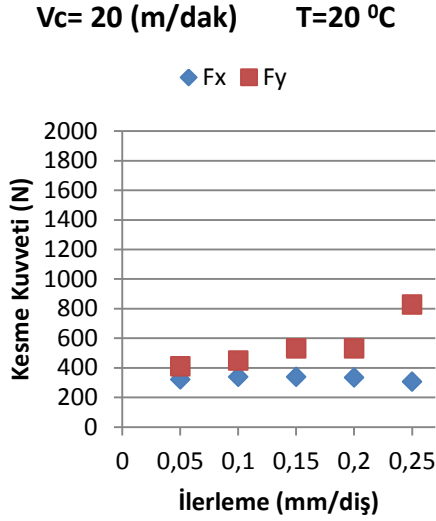
4.1. Kesme Kuvveti Bulguları

Bu çalışmada, ikişer tekrarlı olmak üzere 125 deney yapılmıştır. Her deney parametresi için yapılan iki deneyin ortalaması alınmıştır. Deneylerde belirlenen sıcaklıklar sabit tutularak yapılan 25'er deney gruplar halinde çizelgelerle verilmiştir. Çizelgelerdeki bu değerler kullanılarak her sıcaklık değerleri için farklı kesme hızlarına göre ortalama kesme kuvveti-ilerleme hızı grafikleri elde edilmiştir. Çizelge 4.1'de 20°C'de yapılan deneyler ve parametreleri ile bu deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. 20 °C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Oranı (mm/diş)	Tabla ilerleme oranı (mm/dak)	Ort. Fx (N)	Ort. Fy (N)
1	20	20	0,05	7,9	321	410
2	20	25	0,05	9,9	313	282
3	20	30	0,05	11,9	341	336
4	20	35	0,05	13,9	321	326
5	20	40	0,05	15,9	436	617
6	20	20	0,1	15,9	339	448
7	20	25	0,1	19,9	501	634
8	20	30	0,1	23,9	306	419
9	20	35	0,1	27,8	1053	1188
10	20	40	0,1	31,8	458	413
11	20	20	0,15	23,8	337	530
12	20	25	0,15	29,8	643	932
13	20	30	0,15	35,8	334	512
14	20	35	0,15	41,8	612	581
15	20	40	0,15	47,7	677	973
16	20	20	0,2	31,8	334	530
17	20	25	0,2	39,8	372	755
18	20	30	0,2	47,7	679	624
19	20	35	0,2	55,7	357	334
20	20	40	0,2	63,7	918	1499
21	20	20	0,25	39,8	306	826
22	20	25	0,25	49,8	1415	1958
23	20	30	0,25	59,7	1137	1586
24	20	35	0,25	69,6	330	726
25	20	40	0,25	79,6	1255	1897

Şekil 4.1'de de bu çizelgedeki değerlerden elde edilen grafikler sunulmuştur.



Şekil 4.1. 20°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri

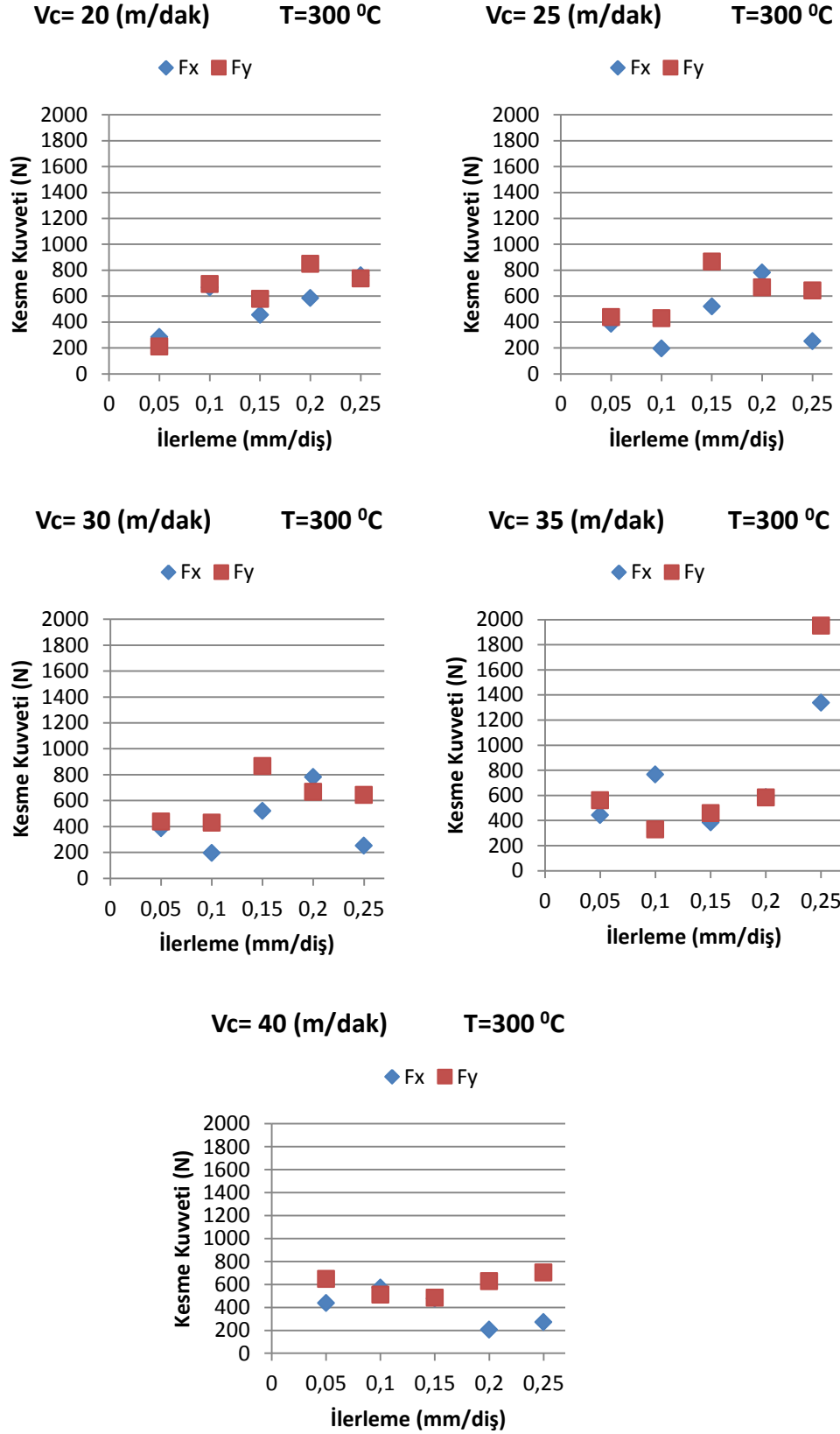
Oda sıcaklığında yapılan deneyler neticesinde, kesme hızının 20m/dak olduğu grafikte F_y ortalama kesme kuvvetinin diğer eksenlerdeki değerlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. F_x ve F_z kuvvetlerinin ise ilerleme oranının artışı ile çok fazla değişiklik gösterdiği söylenemez. 20°C’de kesme hızı 25m/dak olan deney sonucu elde edilen kesme kuvveti-ilerleme oranı grafiğine bakıldığında kesme hızının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinde ciddi artışlar görülmektedir. Kesme hızının 30m/dak olduğu grafikte, kesme hızı-ilerleme oranı, kesme hızının 25m/dak’daki değerlere yakın değerlerde çıkmıştır. X ekseninde ölçülen değerler Y eksenindeki değerlerden daha aşağıdadır. Kesme hızının 35m/dak olması neticesinde kesme kuvvetlerinde ilerleme değerlerinin artması ile birlikte kesme kuvvetlerinde azalmalar görülmüştür. Bu azalmaların sebebi, uygun kesme şartlarının oluşması olarak açıklanabilir. Son olarak kesme hızının maksimum olduğu değerde ilerleme oranlarının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinde %50 civarlarında artışlar saptanmıştır.

$V_c=20$ m/dak’da kesme kuvveti en fazla 800N değer ölçülürken $V_c=25$ m/dak ve $V_c=40$ m/dak’da yaklaşık 1800N’luk değer ölçülmüş, $V_c=30$ m/dak’da yaklaşık 1400N ölçülmüş, $V_c=35$ m/dak’da ise en fazla yaklaşık 800N ölçülmüştür. Grafiklerden de anlaşıldığına göre kesme kuvveti başlangıç değeri $V_c=20, 25, 30, 40$ m/dak,’larda yaklaşık 300N ölçülmüştür. $V_c=35$ m/dak’da ise başlangıç kuvveti yaklaşık 600N olarak ölçülmüş, $V_c=25, 30$ ve 40 m/dak’da kuvvetler ilerlemeye bağlı olarak hızla artarken, $V_c=20$ m/dak’da çok az bir artış, $V_c=35$ m/dak’da azalış olmuştur.

Çizelge 4.2’de ön ısıtma sıcaklığı 300°C iken kesme parametreleri ve alınan kesme kuvveti değerleri verilmektedir. Şekil 4.2.’de de bu değerler neticesinde oluşturulan grafikler sunulmuştur.

Çizelge 4.2. 300°C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Oranı (mm/diş)	Tabla ilerleme oranı (mm/dak)	Ort. Fx (N)	Ort. Fy (N)
26	300	20	0,05	7,9	284	209
27	300	25	0,05	9,9	386	438
28	300	30	0,05	11,9	211	318
29	300	35	0,05	13,9	443	560
30	300	40	0,05	15,9	438	647
31	300	20	0,1	15,9	667	692
32	300	25	0,1	19,9	196	428
33	300	30	0,1	23,9	396	561
34	300	35	0,1	27,8	765	327
35	300	40	0,1	31,8	570	510
36	300	20	0,15	23,8	455	577
37	300	25	0,15	29,8	520	866
38	300	30	0,15	35,8	448	616
39	300	35	0,15	41,8	385	457
40	300	40	0,15	47,7	475	482
41	300	20	0,2	31,8	584	848
42	300	25	0,2	39,8	781	667
43	300	30	0,2	47,7	803	785
44	300	35	0,2	55,7	584	582
45	300	40	0,2	63,7	204	628
46	300	20	0,25	39,8	759	736
47	300	25	0,25	49,8	251	643
48	300	30	0,25	59,7	660	632
49	300	35	0,25	69,6	1336	1951
50	300	40	0,25	79,6	271	704



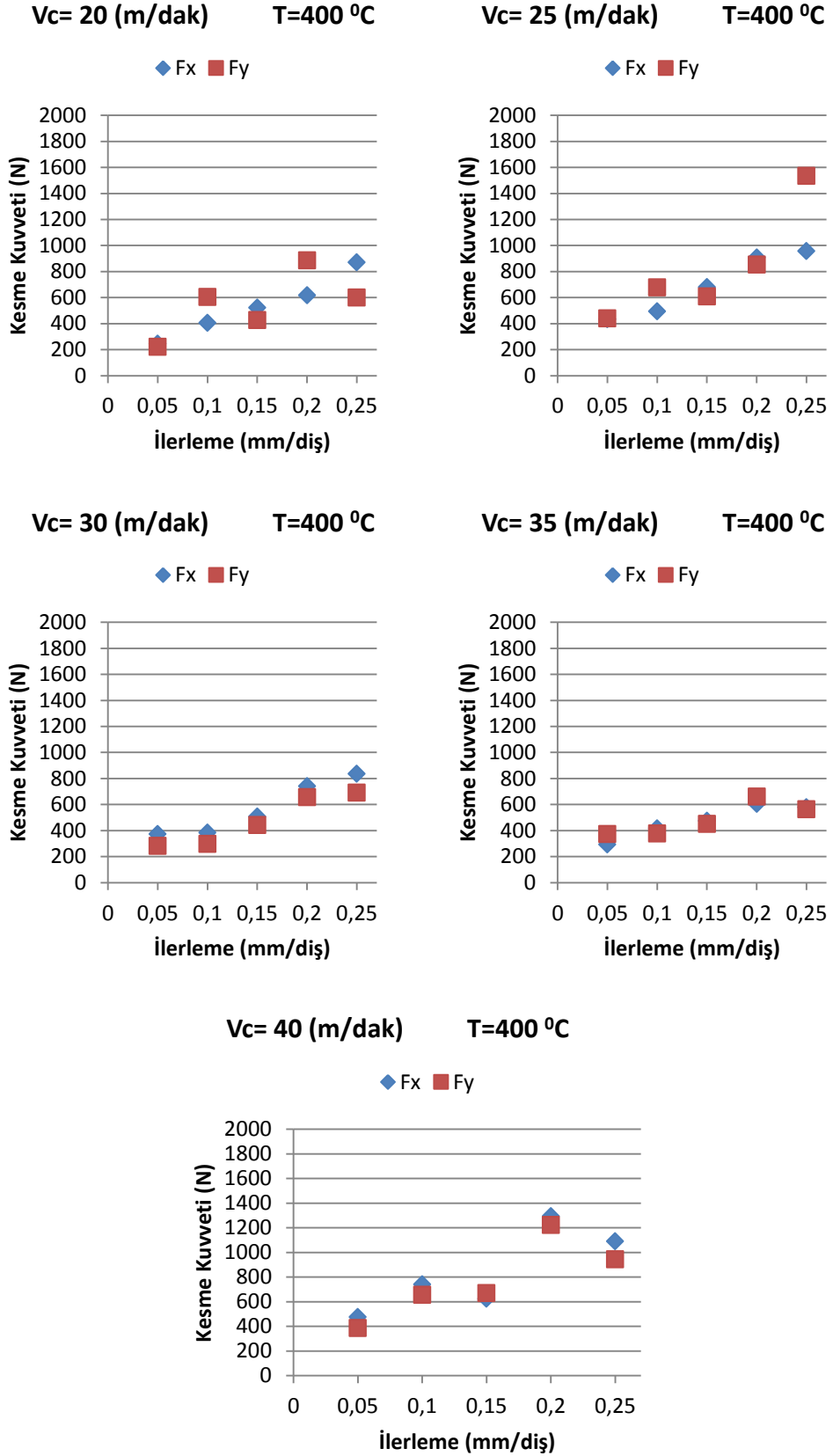
Şekil 4.2. 300°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri

Ön ısıtma sıcaklığının 300°C olan deneyler neticesinde, kesme hızının 20, 25, 30 ve 40m/dak olduğu durumlarda kesme kuvveti yaklaşık 800N olduğu görülmektedir. Kesme hızı 35m/dak iken ise bu değer yaklaşık 1400N olarak ölçülmüştür. Tüm kesme hızı oranlarında başlangıç değerleri 400N olarak görülmektedir. $V_c=20, 25, 30$ ve 40m/dak'da ilerleme oranının artması ile kesme kuvvetlerinde de normal seyrinde bir artış görülürken kesme hızının $V_c=35$ m/dak'da kesme kuvveti değerleri ilerleme ile birlikte hızla artmıştır.

Ön ısıtma sıcaklığının 400°C olduğu durum için kullanılan kesme parametreleri ve elde edilen kesme kuvveti değerleri Çizelge 4.3.'te sunulmuştur. Şekil 4.3'te de elde edilen grafikler verilmiştir.

Çizelge 4.3. 400°C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Oranı (mm/diş)	Tabla ilerleme oranı (mm/dak)	Ort. Fx (N)	Ort. Fy (N)
51	400	20	0,05	7,9	244	220
52	400	25	0,05	9,9	432	439
53	400	30	0,05	11,9	373	281
54	400	35	0,05	13,9	292	373
55	400	40	0,05	15,9	475	387
56	400	20	0,1	15,9	405	604
57	400	25	0,1	19,9	493	677
58	400	30	0,1	23,9	382	296
59	400	35	0,1	27,8	416	376
60	400	40	0,1	31,8	741	655
61	400	20	0,15	23,9	522	425
62	400	25	0,15	29,8	679	608
63	400	30	0,15	35,8	507	442
64	400	35	0,15	41,8	475	450
65	400	40	0,15	47,7	624	669
66	400	20	0,2	31,8	616	885
67	400	25	0,2	39,8	906	853
68	400	30	0,2	47,7	741	655
69	400	35	0,2	55,7	603	660
70	400	40	0,2	63,7	1293	1222
71	400	20	0,25	39,8	869	600
72	400	25	0,25	49,8	957	1535
73	400	30	0,25	59,7	836	691
74	400	35	0,25	69,6	577	562
75	400	40	0,25	79,6	1089	944



Şekil 4.3. 400°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri

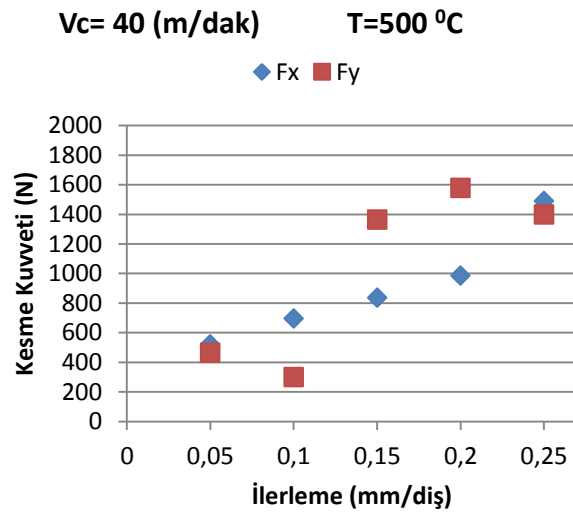
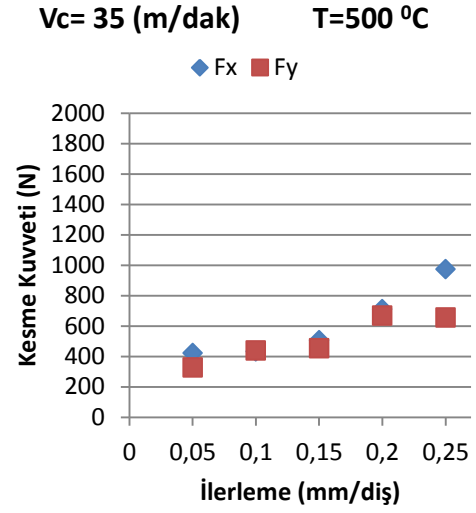
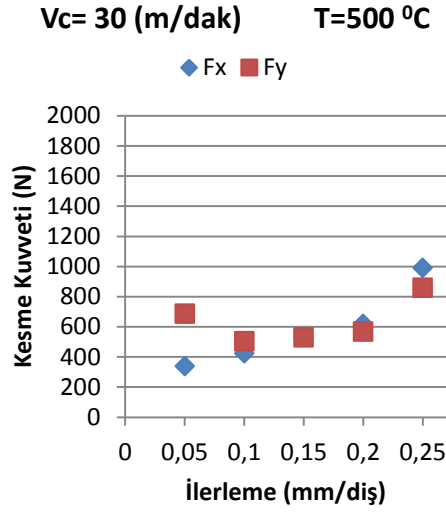
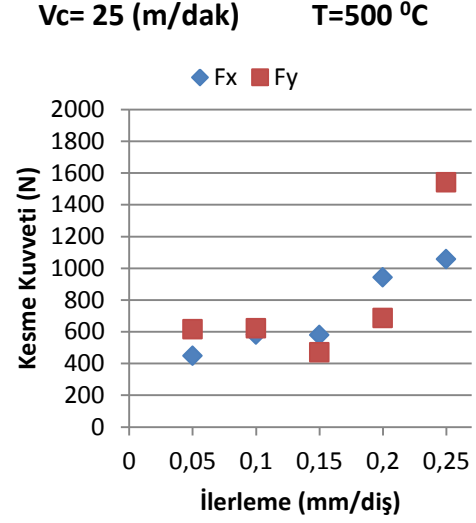
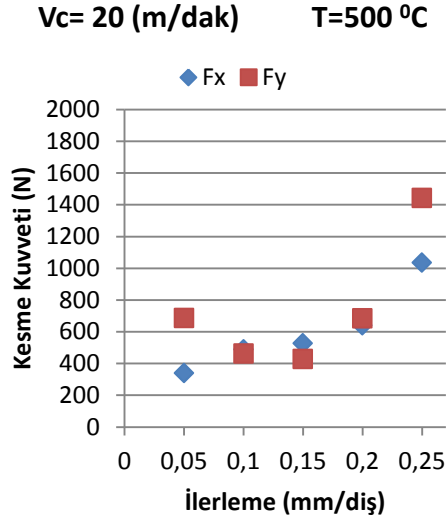
Grafikler dikkatli incelendiğinde 400°C ön ısıtmaya tabi tutulan iş parçasının işlenmesi neticesinde ortaya çıkan kesme kuvvetlerinde önemli oranda azalmalar görülmektedir. Kesme hızının 20 ve 30m/dak olduğu durumlarda en yüksek kesme kuvveti değerinin 800N olduğu görülmektedir. $V_c=25\text{m/dak}$ ve 40m/dak 'da en yüksek kesme kuvveti değeri 1200N civarlarında ölçülmüştür. $V_c=35\text{m/dak}$ olduğu durumda ise X ekseninde okunan en yüksek kesme kuvveti değeri yaklaşık 600N'dur. Her bir kesme hızı değerlerinde kesme kuvveti başlangıç değerleri 300N civarlarındadır. İlerleme oranının artması ile birlikte her grafikte normal artış eğilimi görülmektedir.

Çizelge 4.4'te 500°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneyler ve elde edilen kesme kuvveti değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. 500°C’de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/diş)	Tabla İlerleme Oranı (mm/dak)	Ort. Fx (N)	Ort. Fy (N)
76	500	20	0,05	7,9	338	686
77	500	25	0,05	9,9	448	616
78	500	30	0,05	11,9	338	686
79	500	35	0,05	13,9	420	325
80	500	40	0,05	15,9	518	464
81	500	20	0,1	15,9	488	462
82	500	25	0,1	19,9	581	622
83	500	30	0,1	23,9	423	503
84	500	35	0,1	27,8	432	439
85	500	40	0,1	31,8	695	298
86	500	20	0,15	23,8	527	427
87	500	25	0,15	29,8	579	470
88	500	30	0,15	35,8	531	529
89	500	35	0,15	41,8	504	453
90	500	40	0,15	47,7	835	1363
91	500	20	0,2	31,8	640	684
92	500	25	0,2	39,8	941	686
93	500	30	0,2	47,7	618	567
94	500	35	0,2	55,7	710	667
95	500	40	0,2	63,7	984	1578
96	500	20	0,25	39,8	1034	1442
97	500	25	0,25	49,8	1057	1541
98	500	30	0,25	59,7	990	858
99	500	35	0,25	69,6	973	656
100	500	40	0,25	79,6	1489	1397

Şekil 4.4’te de bu değerler ışığında elde edilen grafikler sunulmuştur.



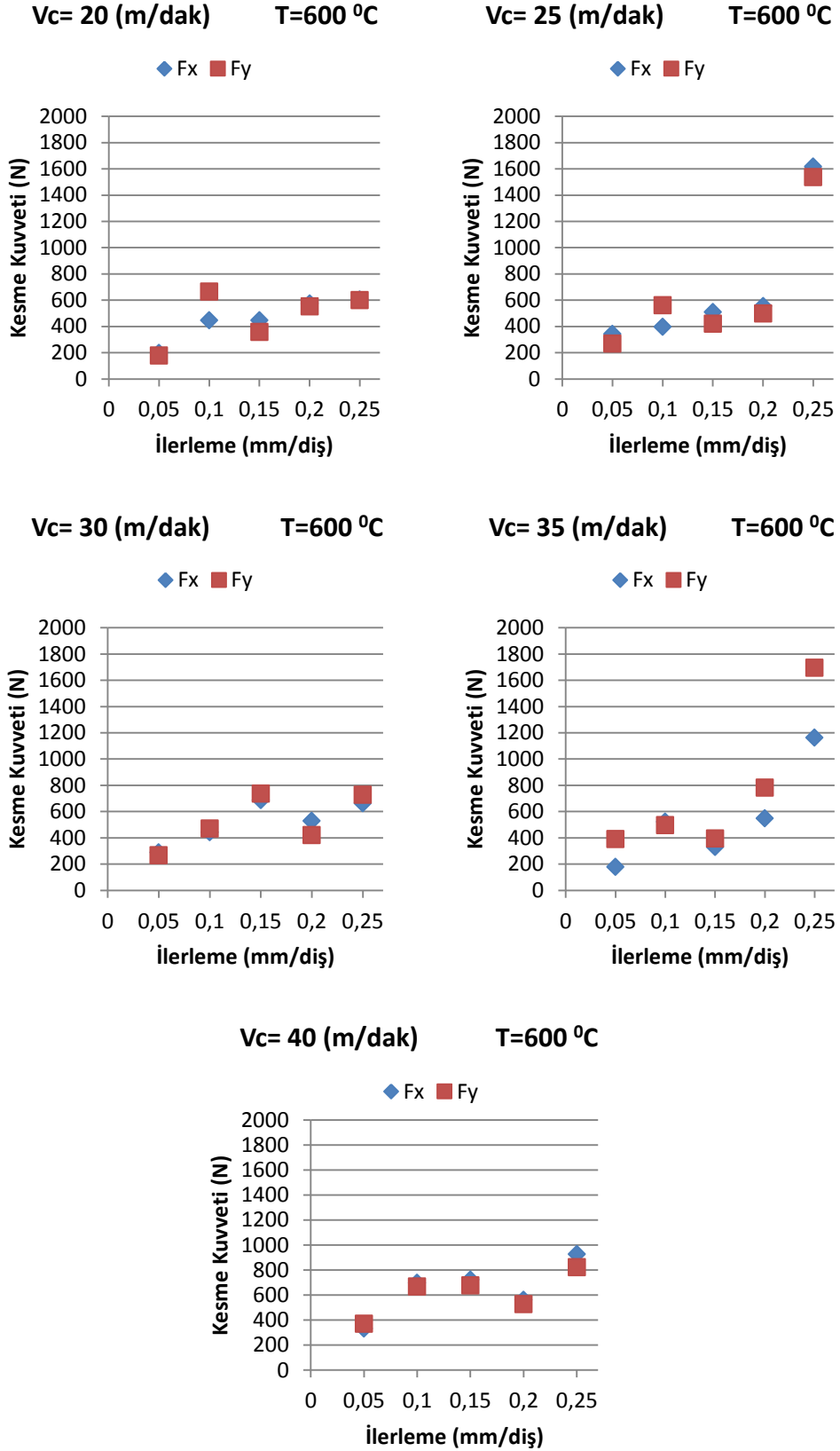
Şekil 4.4. 500°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri

Ön ısıtma değeri 500°C iken, iş parçasının işlenmesi sonucunda kesme hızının 20 ve 25m/dak olduğu durumda en yüksek kesme kuvveti değeri yaklaşık 1200N olarak ölçülmüştür. Kesme hızı 30m/dak'da en yüksek kesme kuvveti değeri 1000N, $V_c=35$ m/dak iken ise en yüksek kesme kuvveti değeri 600N civarlarında tespit edilmiştir. Kesme hızı 40m/dak'da en yüksek kesme kuvveti değeri yaklaşık 1600N civarlarında ölçülmüştür. Başlangıç değerleri her grafik için aşağı yukarı aynı değerdedir. Tüm kesme hızı değerlerinde başlangıç kesme kuvveti değeri 500N olarak tespit edilmiştir. İlerleme oranı arttıkça kesme kuvvetinin 40m/dak olduğu grafikte kesme kuvveti değerleri çok hızlı bir artış göstermektedir. Diğer kesme hızı değerlerinde ise artış oranı benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.5'de ön ısıtma sıcaklığı 600°C iken kesme parametreleri ve alınan kesme kuvveti değerleri verilmektedir. Şekil 4.5.'de de bu değerler neticesinde oluşturulan grafikler sunulmuştur.

Çizelge 4.5. 600°C'de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen kesme kuvveti değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dış)	Tabla İlerleme Oranı (mm/dak)	Ort. Fx (N)	Ort. Fy (N)
101	600	20	0,05	7,9	198	179
102	600	25	0,05	9,9	343	268
103	600	30	0,05	11,9	289	266
104	600	35	0,05	13,9	178	389
105	600	40	0,05	15,9	330	368
106	600	20	0,1	15,9	446	664
107	600	25	0,1	19,9	396	561
108	600	30	0,1	23,9	442	469
109	600	35	0,1	27,8	522	495
110	600	40	0,1	31,8	696	667
111	600	20	0,15	23,8	446	358
112	600	25	0,15	29,8	509	420
113	600	30	0,15	35,8	686	736
114	600	35	0,15	41,8	328	394
115	600	40	0,15	47,7	722	675
116	600	20	0,2	31,8	573	551
117	600	25	0,2	39,8	555	498
118	600	30	0,2	47,7	527	420
119	600	35	0,2	55,7	548	780
120	600	40	0,2	63,7	561	525
121	600	20	0,25	39,8	605	600
122	600	25	0,25	49,8	1617	1537
123	600	30	0,25	59,7	663	726
124	600	35	0,25	69,6	1163	1695
125	600	40	0,25	79,6	926	822



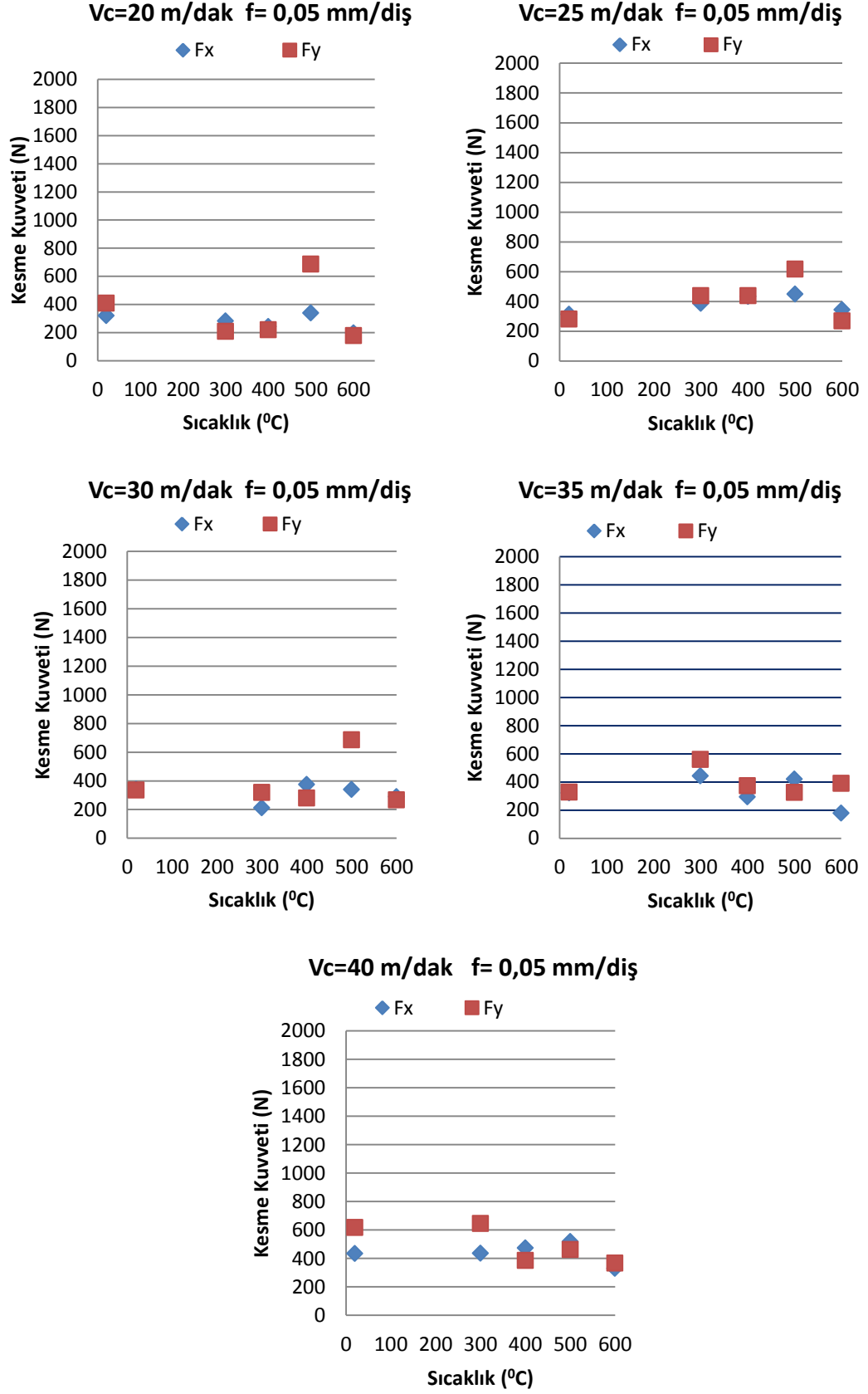
Şekil 4.5. 600°C'de kesme hızı 20, 25, 30, 35 ve 40m/dak için kesme kuvveti-ilerleme oranı grafikleri

600°C ön ısıtma ile iş parçasının işlenmesi neticesinde kesme hızının 20, 30 ve 40m/dak olduğu durumda ölçülen maksimum kesme kuvveti değeri yaklaşık 600N civarlarındadır. Kesme kuvveti 25m/dak iken ölçülen en yüksek kuvvet 1200N'dur. $V_c=35$ m/dak iken ise ölçülen en yüksek kesme kuvveti değeri 1000N olarak tespit edilmiştir. Tüm kesme hızlarında başlangıç kesme kuvveti değerleri aşağı yukarı aynıdır. Yaklaşık 300N olarak belirlenen başlangıç değerlerinin ardından, ilerleme oranının artması ile birlikte kesme kuvvetlerinde artışların olduğu görülmektedir.

İlerleme oranı-kesme kuvveti grafiklerin tüm sıcaklık değişimine göre birlikte değerlendirildiğinde ilerlemeye bağlı olarak en yüksek kuvvet değişimi oda sıcaklığında olmuştur. En düşük değerler ise $T=300$ ve 400°C 'lerde olmuştur. $T=500$ ve 600°C 'de ilerlemeye bağlı kuvvetlerde kısmen artış olduğu söylenebilir.

Bu sonuçlara göre, literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında, çalışmada ortaya çıkan sonuçların literatürdekilerle benzer oldukları görülmektedir. Sun vd. 2010 yılında yaptıkları çalışma neticesinde ön ısıtma ile kesme kuvvetlerini azaltabilmişlerdir. Bu çalışma sonucunda da iş malzemesi ön ısıtmaya tabi tutulmuş, bu şekilde kesme kuvvetlerinde %20-35 aralığında azalmalar tespit edilmiştir. Özellikle 300°C ve 400°C ön ısıtma sıcaklıklarında kesme kuvvetlerindeki azalmalar dikkate değerdir (Sun, 2010). Armitage vd. yapmış olduğu çalışmalar neticesinde de ön ısıtma ile malzeme yüzeyini yumuşatmışlar, böylelikle kesme işlemini kolaylaştırmışlardır (Armitage, 2002). Chang vd. 2007 yılında yaptıkları çalışma neticesinde düşük ön ısıtma değerlerinde kesici takım ömrü ve kesme kuvvetlerinde iyileşmeler tespit edememişlerdir. Aynı şekilde yüksek ön ısıtma değerlerinde de erken kesici takım hasarları ile karşılaşmıştır (Chang 2007). Bu çalışmada da, oda sıcaklığında ve ön ısıtmalı yapılan deneyler sonucunda kesme kuvvetlerindeki değişim incelenmiştir. Ön ısıtma sıcaklığı 300°C ve 400°C olduğu durumlarda kesme kuvvetleri %35 oranına kadar azalma göstermiş, ön ısıtma sıcaklığının 500°C ve 600°C olduğu durumlarda kesme kuvvetlerinde tekrar bir artış gözlemlenmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler ışığında, kesme kuvvetlerinin sıcaklıkla olan değişimleri aşağıdaki şekillerde sunulmuştur. Şekil 4.6'da ilerleme oranı 0,05mm/diş iken kesme kuvvetlerinin sıcaklık ile değişimleri gösterilmektedir.

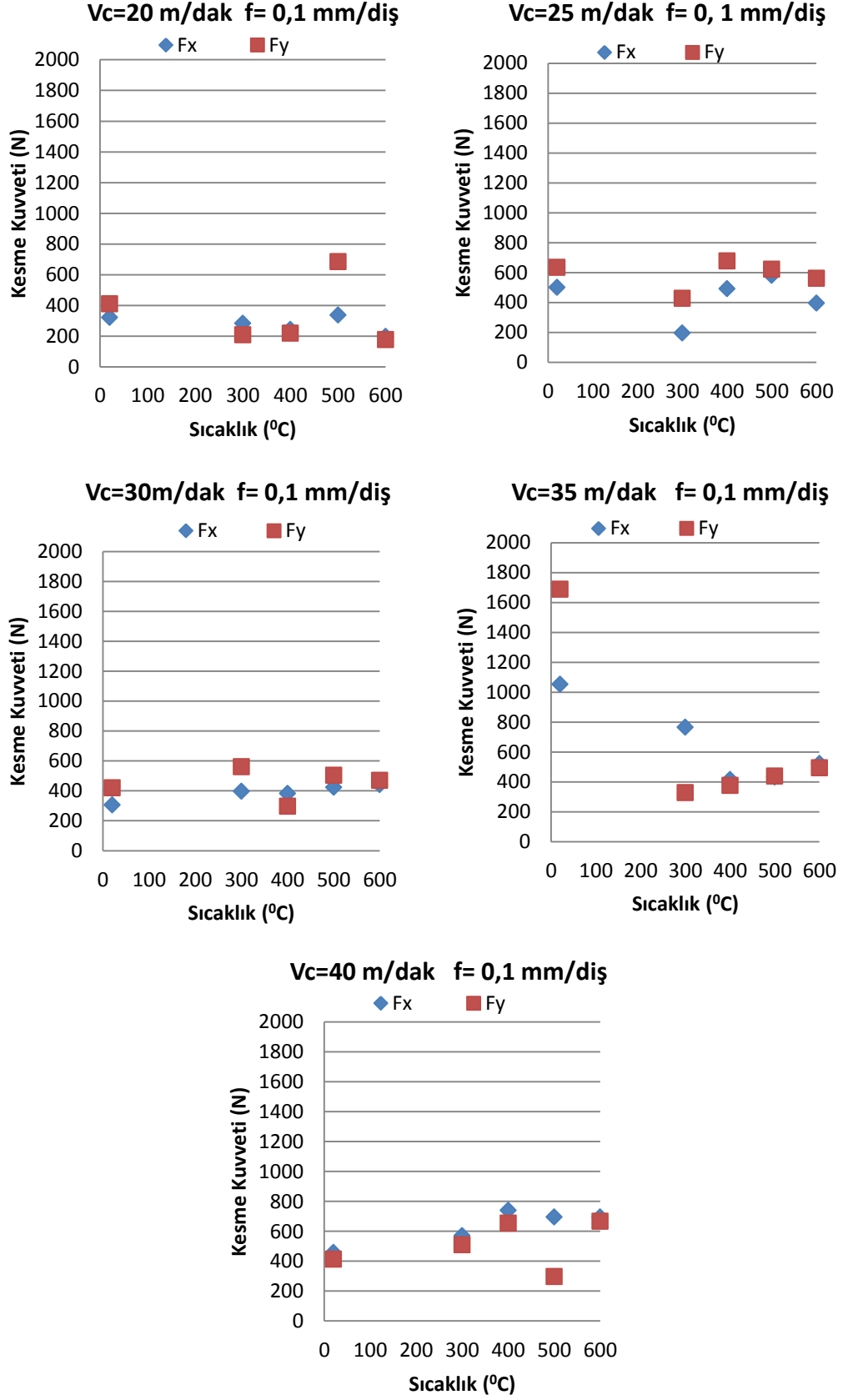


Şekil 4.6. İlerleme oranı 0,05mm/diş olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri

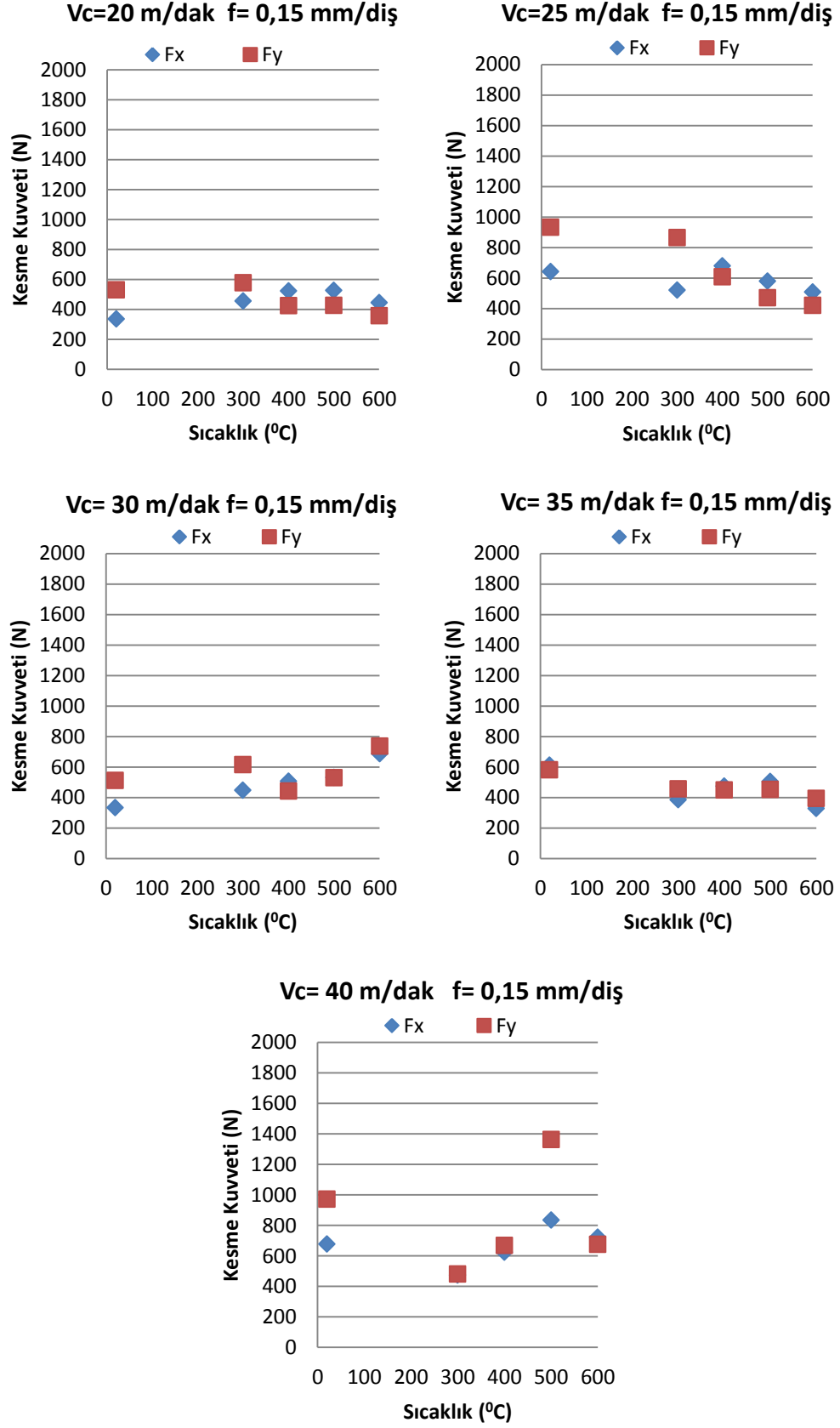
Yukarıdaki grafiklerde ilerleme oranı sabit tutulmuş, kesme hızı değişmiş, kesme kuvvetlerinin sıcaklıkla olan bağlantısı analiz edilmiştir. Şekil 4.6.'da kesme hızı 20, 25, 30 ve 35m/dak olduğu durumlarda oda sıcaklığında yapılan kesme işlemleri sonucu kesme kuvveti değeri ortalama 300N olarak tespit edilmiştir. $V_c=40\text{m/dak}$ 'da ise kesme kuvveti 500N civarlarına yükselmektedir. Aynı şekilde ön ısıtma sıcaklığı arttıkça kesme kuvvetlerinde azalmalar görülmekte, $V_c=40\text{m/dak}$ için 600°C 'de kesme kuvveti 400N'a kadar düşmektedir. Kesme hızının 40m/dak olduğu grafikte başlangıç kesme kuvveti değerinin diğerlerine göre biraz daha yüksek olmasının nedeni, malzemenin homojenlik durumuna bağlıdır denebilir. Bu şekildeki sonuçlara literatürde özellikle titanyum ve alaşımlarının incelendiği çalışmalarda sık sık rastlanmaktadır.

Şekil 4.7.'de ilerleme oranı 0,1mm/diş'tir. Burada da yine farklı kesme hızlarında incelenen veriler neticesinde özellikle kesme hızının 35m/dak olduğu grafikte kesme kuvvetinin sıcaklığın artması ile birlikte oldukça azaldığı, 600°C ön ısıtmalı deneyler neticesinde kesme kuvvetlerinin 400N'un altında değerlere ulaştığı görülmektedir. Bunun yanında kesme hızının 25 ve 30m/dak olduğu durumlarda kesme kuvvetleri fazla bir değişkenlik göstermemiş, ortalama 500N civarlarında kalmıştır (Şekil 4.7.).

Şekil 4.8'de de ilerleme oranı 0,15mm/diş'tir.



Şekil 4.7. İlerleme oranı 0,1mm/diş olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri

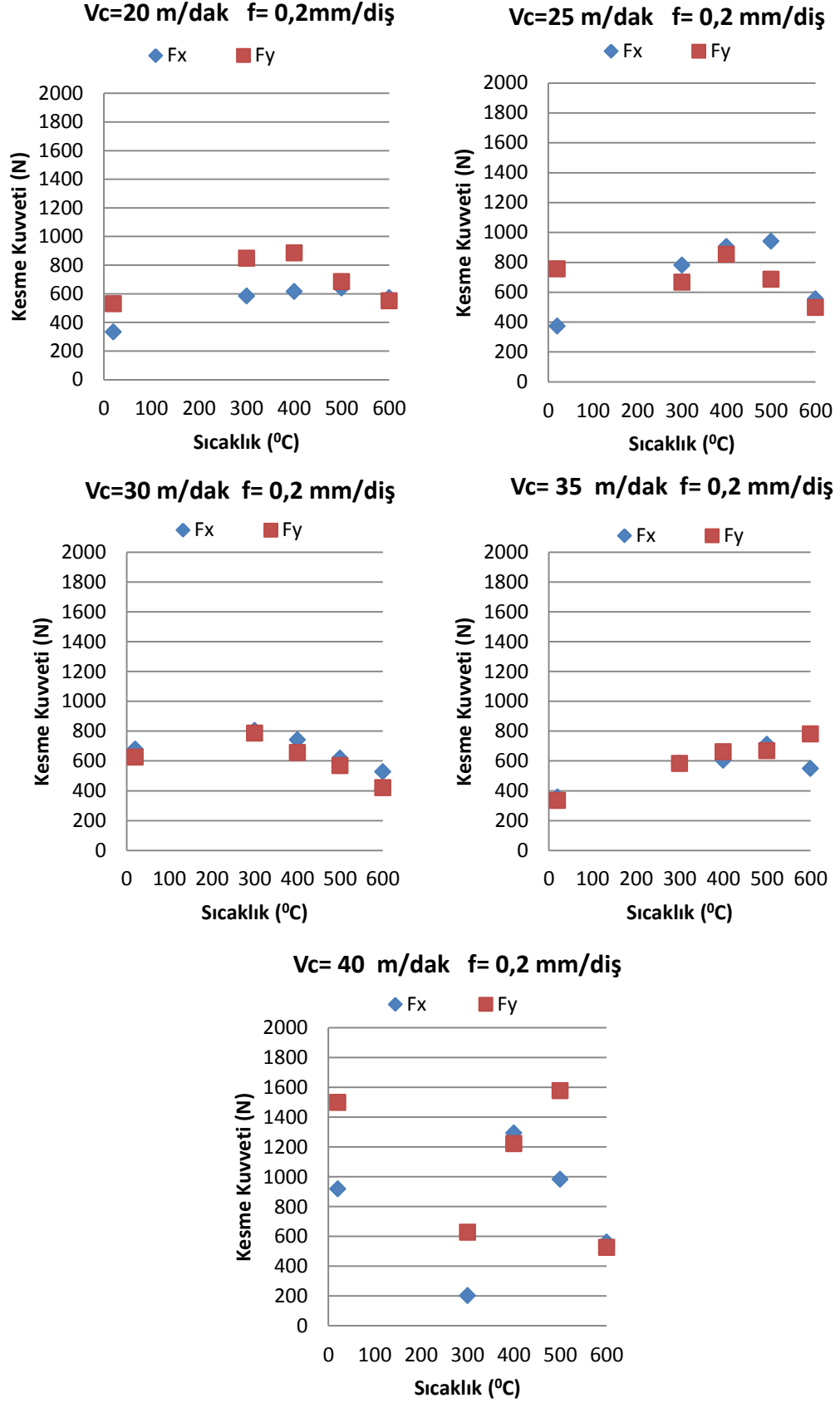


Şekil 4.8. İlerleme oranı 0,15mm/diş olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri

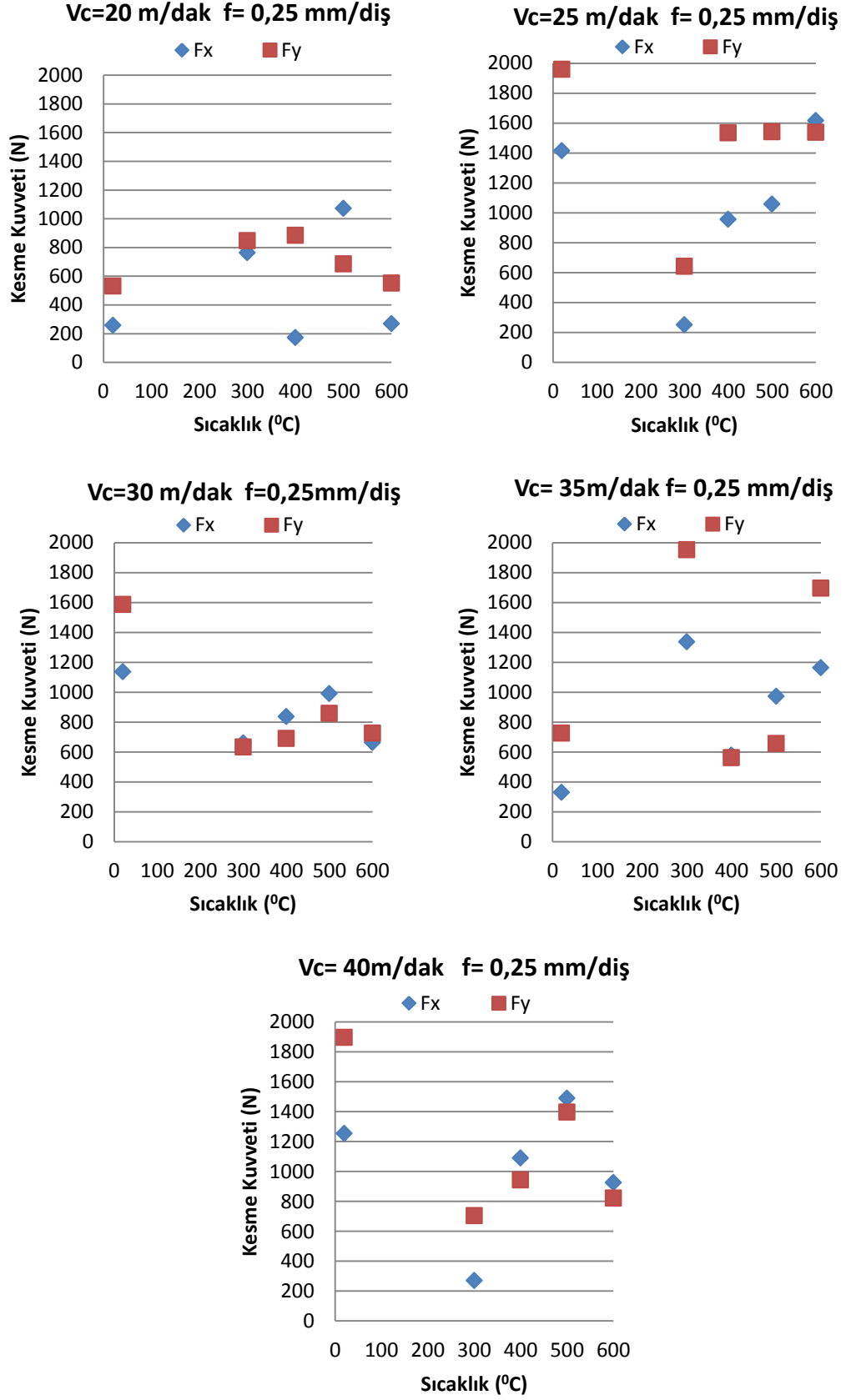
Şekil 4.8.'e göre kesme hızının 25m/dak olduğu durumda kesme kuvveti ön ısıtmasız işleme sırasında 1000N civarlarında tespit edilmişken ön ısıtma uygulaması neticesinde 600°C sıcaklıkta 400N değerlerine kadar düşmüştür. Kesme hızı 30m/dak olan grafikte ise kesme kuvveti, artış eğilimindedir. Kesme kuvvetinin 40m/dak olduğu durumda ise kesme kuvvetinde çok fazla bir değişiklik görülmemektedir. Özellikle X ekseninin kesme yönü olması sebebiyle bu yöndeki F_x kuvvetinde ciddi değişimlerin olması normaldir.

Şekil 4.9.'a göre de yine kesme hızı 20, 25, 30 ve 35m/dak olduğu durumlarda kesme kuvveti oda sıcaklığında 400N civarında tespit edilmiştir. $V_c=40m/dak$ iken oda sıcaklığında kesme kuvveti 1000N civarlarındadır. Ön ısıtmanın uygulanması ile birlikte kesme kuvvetinin 35m/dak olduğu durumda kesme kuvvetlerinde artış gözlenmektedir. Ön ısıtma sıcaklığının 600°C olmasdurumunda kesme kuvveti 700N'a kadar yükselmiştir. $V_c=40m/dak$ 'da ön ısıtma sıcaklığı 600°C olduğunda kesme kuvveti 800N değerlerine kadar düşmüştür. Çok aykırı verilerin olduğu durumlarda, örneğin kesme hızının 40m/dak, ilerleme oranının 0,2mm/diş olduğu grafikteki başlangıç değerlerinde kesici takım incelenmiş herhangi bir aşınmaya veya kırılmaya rastlanmamıştır. Bu aykırılığın iş parçasının yapısının homojen olmaması ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.10'da da ilerleme oranı 0,25mm/diş'tir.



Şekil 4.9. İlerleme oranı 0,2mm/diş olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri



Şekil 4.10. İlerleme oranı 0,25mm/diş olduğu durumlarda kesme kuvveti-sıcaklık ikilisi grafikleri

Şekil 4.10'da da yine bir önceki ilerleme oranında olduğu gibi kesme hızının 25, 30 ve 40 olduğu durumlarda ön ısıtma sıcaklıklarının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinde bir azalma görülmektedir. Kesme hız 30m/dak olduğu durumda ön ısıtmasız yapılan deneyler sırasında kesme kuvveti değeri 1400N civarlarında iken 600°C'de ön ısıtma uygulandıktan sonra bu değer 600N'un altına düşmüştür. Aynı şekilde kesme hızının 40m/dak olduğu durumda ön ısıtma sıcaklığının artışı ile birlikte kesme kuvvetlerinde önemli oranda azalmalar görülmektedir.

Alınan değerlerle, literatürdeki araştırmalar incelendiğinde benzer noktaların fazla olduğu tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan kesme işlemlerinde kesme kuvvetlerindeki yüksek değerlerin, iş parçasına 400°C'ye kadar uygulanan ön ısıtma işlemi ile azaldığı ortaya çıkmıştır. Literatürde de Sun vd. 2010 yılında yaptıkları çalışmada ve Chang vd. 2007 yılında yaptıkları çalışmalarda ön ısıtma sıcaklığının artması ile birlikte kesme kuvvetlerinde azalmaların olduğu, kesme işleminin kolaylaştığını tespit etmişlerdir. 400°C'den sonra ise tekrardan kuvvetlerde bir artış görülmektedir. Bu sonuçlar ile Maity vd. 2008 yılında yapmış oldukları çalışmada ön ısıtma sıcaklığının yeniden kristalleşme sıcaklığının altında olmalıdır sonucu ile paralellik göstermektedir. Çalışmada kullanılan iş parçasının (Ti6Al4V alaşımı) yeniden kristalleşme sıcaklığı 370°C olduğu düşünülürse, yapılan deneyler neticesinde ön ısıtma sıcaklığının 300°C ve 400°C olduğu durumlarda kesme kuvvetlerinde %50'ye yakın düşüş görülmektedir. Ön ısıtma sıcaklığının yükselmesi ile birlikte kesme kuvvetlerinde de artışlar tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde Armitage vd. yaptığı çalışmalar neticesinde ön ısıtma sıcaklığının artması ile kesme kuvvetlerinin azaldığını ve kesme işleminin kolaylaştığını söylemişlerdir. Ancak 400°C'nin üstündeki ön ısıtma sıcaklıklarında malzemenin yapısındaki değişikliklerin kesmeyi olumsuz etkilediğini ileri sürmüşlerdir.

4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları

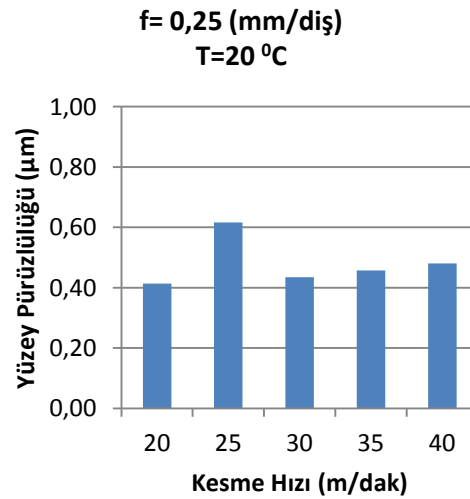
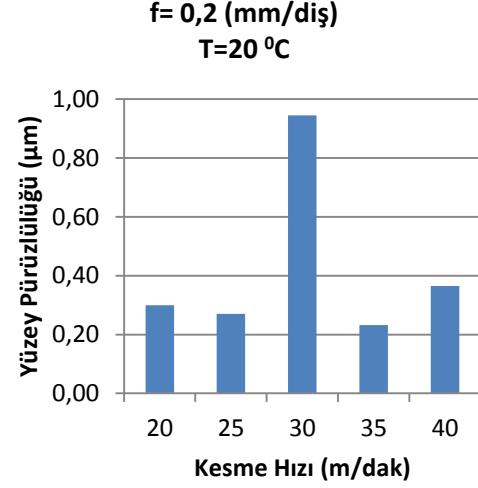
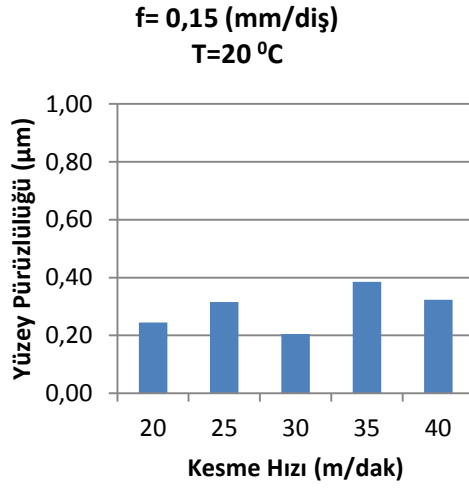
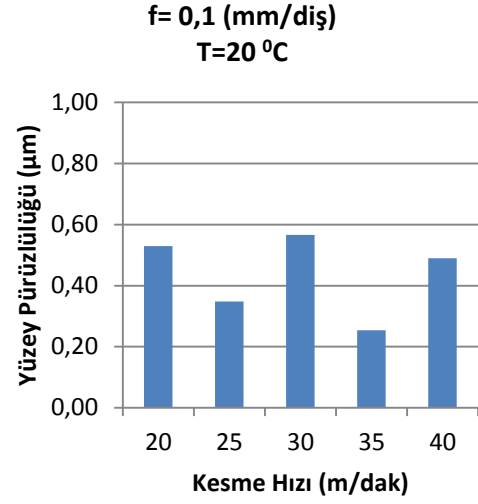
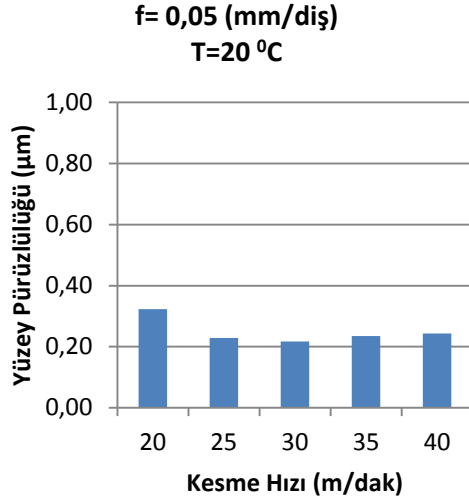
Aşağıdaki çizelgelerde, deney kesme parametreleri ve deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ayrıca bu değerlerin grafiksel olarak

ifadeleri şekiller halinde sunulmuştur. Çizelgelerdeki bu değerler kullanılarak farklı sıcaklık değerlerinde yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü-ilerleme oranı ve yüzey pürüzlülüğü-sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Çizelge 4.6.'da konvensiyonel kesme sıradaki işleme parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. 20 °C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen Ra değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Oranı (mm/diş)	Ort. Ra (µm)
1	20	20	0,05	0,32
2	20	25	0,05	0,23
3	20	30	0,05	0,22
4	20	35	0,05	0,24
5	20	40	0,05	0,24
6	20	20	0,1	0,53
7	20	25	0,1	0,35
8	20	30	0,1	0,57
9	20	35	0,1	0,25
10	20	40	0,1	0,49
11	20	20	0,15	0,25
12	20	25	0,15	0,32
13	20	30	0,15	0,21
14	20	35	0,15	0,39
15	20	40	0,15	0,32
16	20	20	0,2	0,30
17	20	25	0,2	0,27
18	20	30	0,2	0,95
19	20	35	0,2	0,23
20	20	40	0,2	0,37
21	20	20	0,25	0,41
22	20	25	0,25	0,62
23	20	30	0,25	0,44
24	20	35	0,25	0,46
25	20	40	0,25	0,48

Aşağıdaki şekilde de Çizelge 4.6. verilerinden elde edilen grafikler sunulmuştur (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. 20°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı

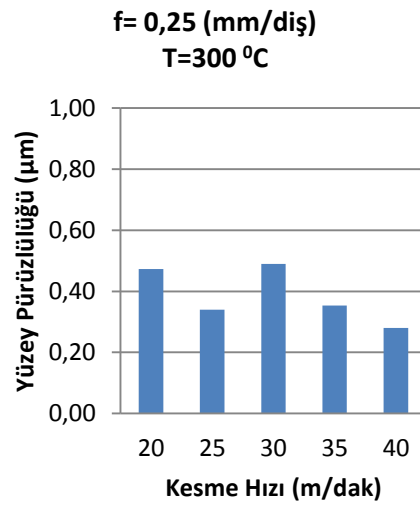
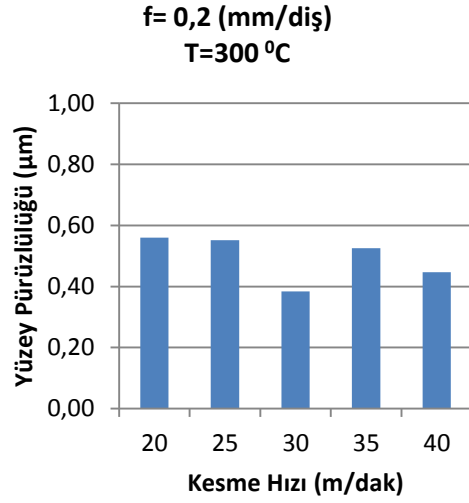
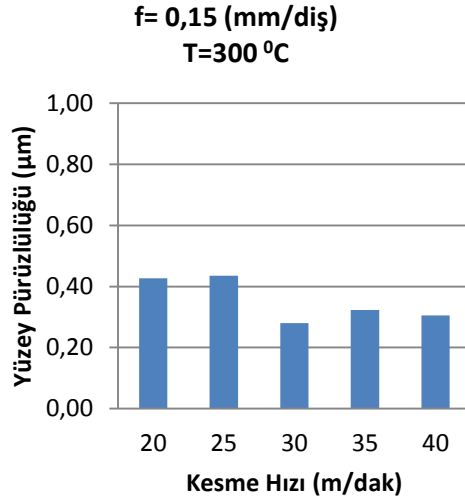
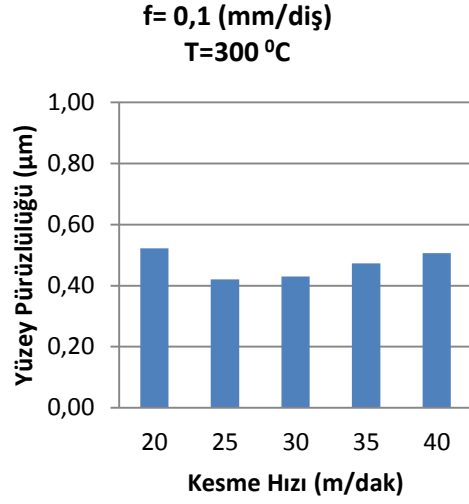
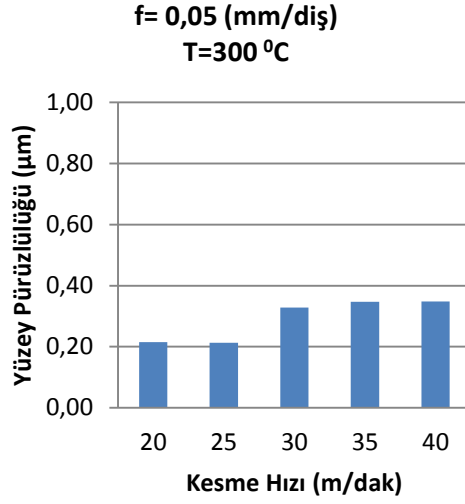
Literatür verileri incelendiğinde genel olarak (Chang vd, 2007, Pfefferkorn vd, 2009, Lei vd, 2001), ilerleme sabit tutulduğunda kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü düşüş göstermektedir. Bu genel değerlendirme ışığında bakıldığında, oda sıcaklığında, $f=0,15-0,2\text{mm/diş}$ ilerlemelerde kesme hızının artımıyla pürüzlülük artış göstermiştir. $f=0,05-0,1$ ve $0,25\text{mm/diş}$ ilerlemelerde pürüzlülük kesme hızının artışına bağlı olarak düşüş göstermiştir (Şekil 4.11). Ancak yapılan deneyler neticesinde ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde çok büyük farkların oluşmadığı söylenebilir. Yüzey pürüzlülüğü için $0,10$ veya $0,20\mu\text{m}$ gibi değerler çok büyük sayılmamaktadır. Bu farklar kesme sırasında talaşın kesici takım ile iş parçası arasına sıkışması ve yüzeyi çizmesi ile oluşabilecek farklılardır.

Çizelge 4.7'de de 300°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan deneylere ait işleme parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. 300°C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen Ra değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Oranı (mm/diş)	Ort. Ra (µm)
26	300	20	0,05	0,22
27	300	25	0,05	0,21
28	300	30	0,05	0,33
29	300	35	0,05	0,35
30	300	40	0,05	0,35
31	300	20	0,1	0,52
32	300	25	0,1	0,42
33	300	30	0,1	0,43
34	300	35	0,1	0,47
35	300	40	0,1	0,51
36	300	20	0,15	0,43
37	300	25	0,15	0,44
38	300	30	0,15	0,28
39	300	35	0,15	0,32
40	300	40	0,15	0,31
41	300	20	0,2	0,56
42	300	25	0,2	0,55
43	300	30	0,2	0,38
44	300	35	0,2	0,53
45	300	40	0,2	0,45
46	300	20	0,25	0,47
47	300	25	0,25	0,34
48	300	30	0,25	0,49
49	300	35	0,25	0,35
50	300	40	0,25	0,28

Şekil 4.12'de ise yukarıdaki çizelge verileri kullanılarak oluşturulan grafikler gösterilmektedir.



Şekil 4.12. 300°C’de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı

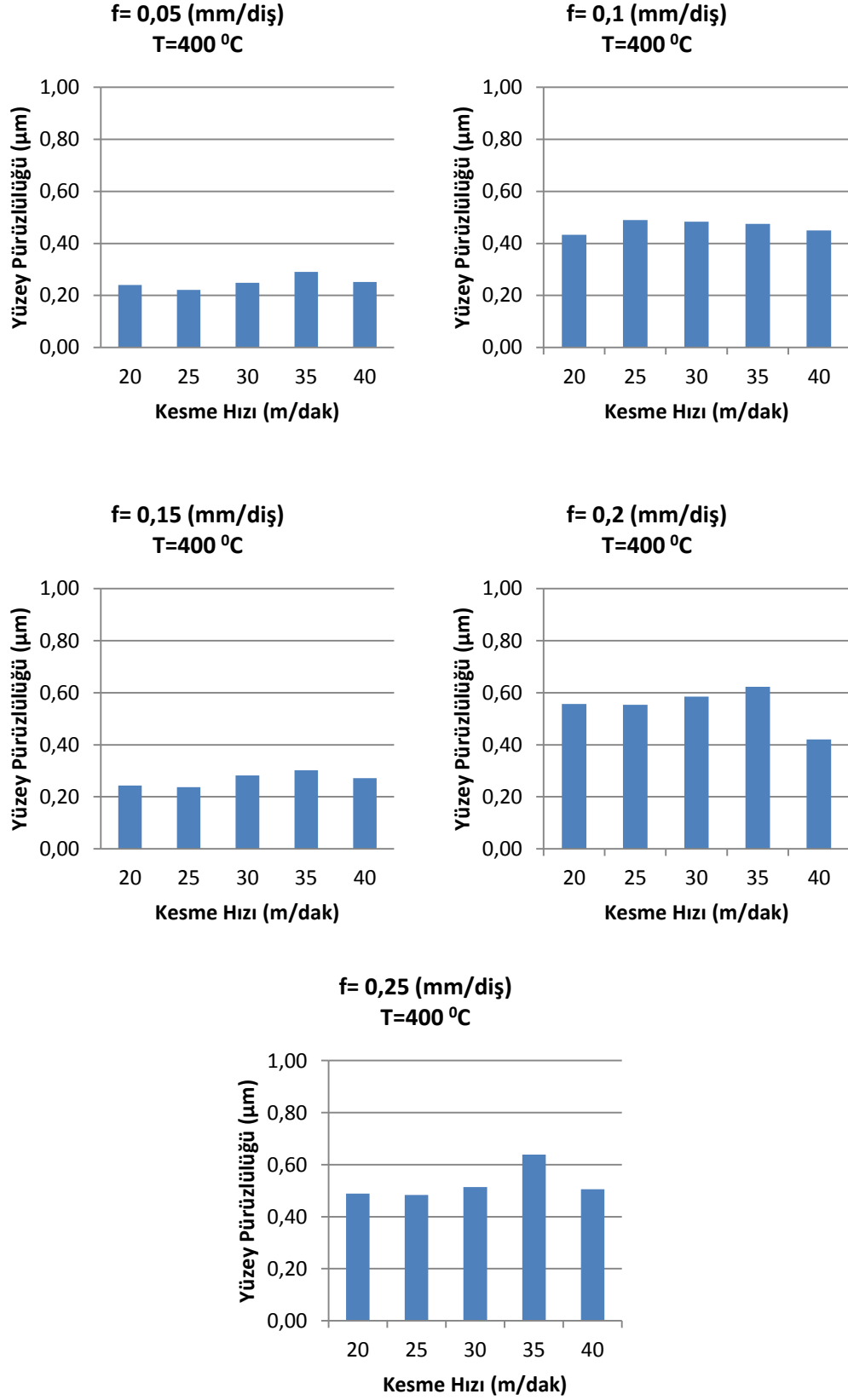
Yapılan ölçümler neticesinde, ön ısıtma sıcaklığının 300°C olduğu deneyler için, ilerleme değerinin 0,05mm/diş ve kesme hızının 20m/dak olduğu durumda en düşük yüzey pürüzlülüğü değerine ulaşılmıştır. İlerleme oranının 0,15, 0,2 ve 0,25mm/diş olduğu durumlarda kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde azalmalar görülmektedir. İlerleme oranının 0,05 ve 0,1mm/diş olduğu durumlarda ise kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerleri de artmaktadır. En yüksek yüzey pürüzlülük değere ise ilerleme oranının 0,2mm/diş ve kesme hızının 20m/dak olduğu deneylerde ulaşılmıştır. Kesici takım incelendiğinde kesmeler sonrası takım yüzeyinde herhangi bir aşınma veya kırılma bulgularına rastlanılmamıştır. Çok düşük ve yüksek ilerleme oranlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin diğerlerine oranla daha iyi çıktığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri grafiksel olarak gösterildiğinde büyük farklar olduğu izlenimi vermektedir. Aslında değer olarak incelenirse 0,1µm' luk farkın çok da önemsenecek bir fark olmadığı bilinmektedir.

Çizelge 4.8'de ön ısıtma sıcaklığının 400°C olduğu durumdaki işleme parametreleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. 400°C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen Ra değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/diş)	Ort. Ra (µm)
51	400	20	0,05	0,24
52	400	25	0,05	0,22
53	400	30	0,05	0,25
54	400	35	0,05	0,29
55	400	40	0,05	0,25
56	400	20	0,1	0,43
57	400	25	0,1	0,49
58	400	30	0,1	0,48
59	400	35	0,1	0,48
60	400	40	0,1	0,45
61	400	20	0,15	0,24
62	400	25	0,15	0,24
63	400	30	0,15	0,28
64	400	35	0,15	0,30
65	400	40	0,15	0,27
66	400	20	0,2	0,56
67	400	25	0,2	0,55
68	400	30	0,2	0,59
69	400	35	0,2	0,62
70	400	40	0,2	0,42
71	400	20	0,25	0,49
72	400	25	0,25	0,48
73	400	30	0,25	0,51
74	400	35	0,25	0,64
75	400	40	0,25	0,51

Şekil 4.13'de Çizelge 4.8'deki verilen ışığında hazırlanan grafikler verilmiştir.

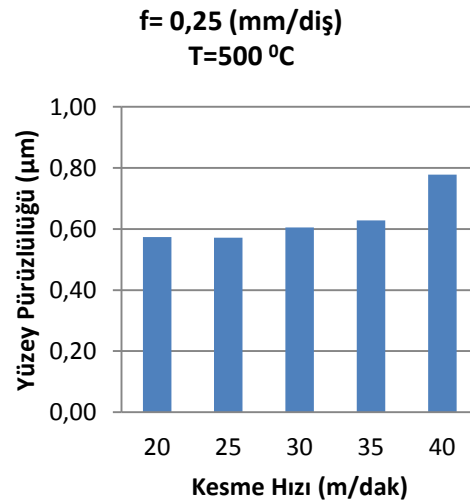
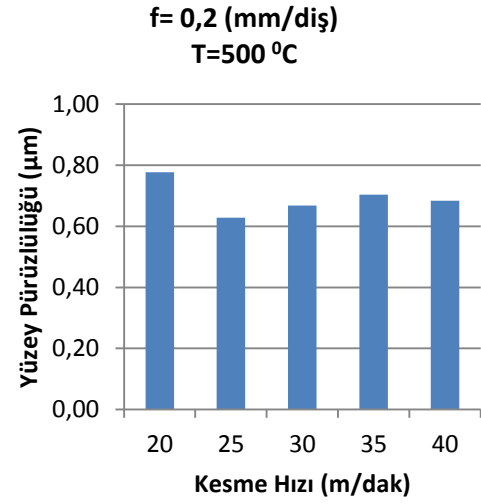
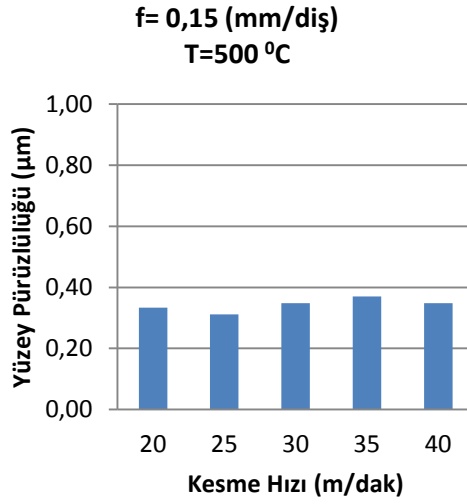
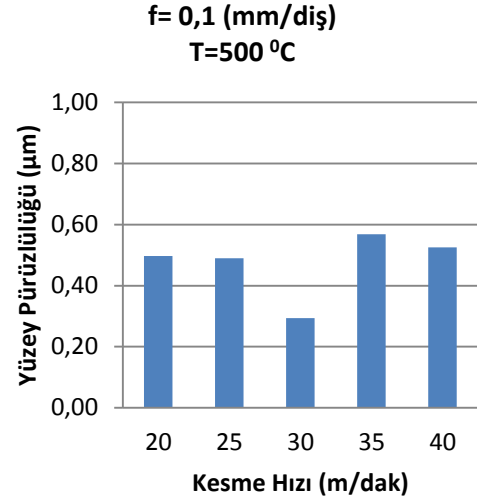
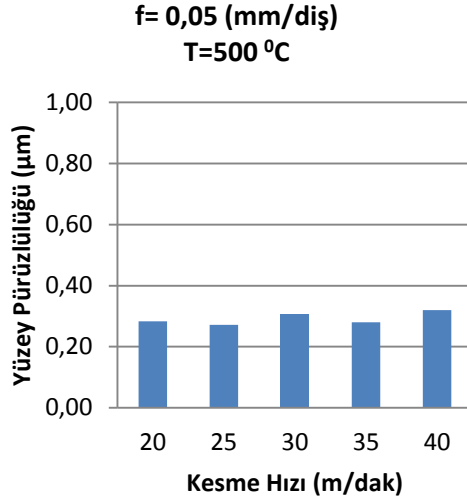


Şekil 4.13. 400°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı

400°C ön ısıtma sıcaklığında, $f=0,05, 0,1, 0,15\text{mm/diş}$ değerlerinde kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artışlar görülmektedir. 300°C ön ısıtma sıcaklığında da benzer grafiklerle karşılaşılmıştır. Aynı şekilde ilerleme oranının 0,2 ve 0,25mm/diş olduğu durumlarda kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri kesme hızının 25m/dak ve ilerleme değerinin 0,05mm/diş olduğu durumda tespit edilmiştir. En yüksek değere ise kesme hızının 35m/dak ve ilerleme oranının 0,25mm/diş olduğu parametrelerde ulaşılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.9'da 500°C ön ısıtma sıcaklığında yapılan kesme işlemi parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Şekil 4.14'te de grafiksel olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.9. 500°C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen Ra değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Oranı (mm/diş)	Ort. Ra (µm)
76	500	20	0,05	0,28
77	500	25	0,05	0,27
78	500	30	0,05	0,31
79	500	35	0,05	0,28
80	500	40	0,05	0,32
81	500	20	0,1	0,50
82	500	25	0,1	0,49
83	500	30	0,1	0,29
84	500	35	0,1	0,57
85	500	40	0,1	0,53
86	500	20	0,15	0,33
87	500	25	0,15	0,31
88	500	30	0,15	0,35
89	500	35	0,15	0,37
90	500	40	0,15	0,35
91	500	20	0,2	0,78
92	500	25	0,2	0,63
93	500	30	0,2	0,67
94	500	35	0,2	0,70
95	500	40	0,2	0,68
96	500	20	0,25	0,57
97	500	25	0,25	0,57
98	500	30	0,25	0,61
99	500	35	0,25	0,63
100	500	40	0,25	0,78



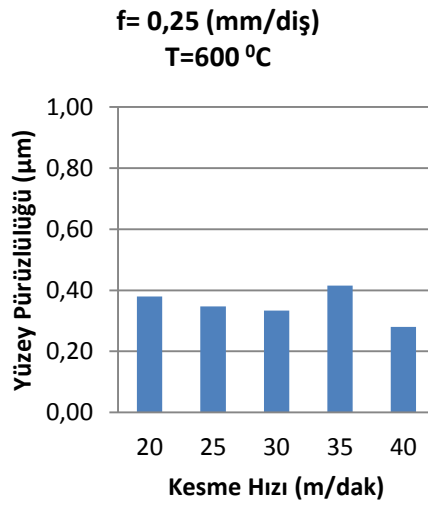
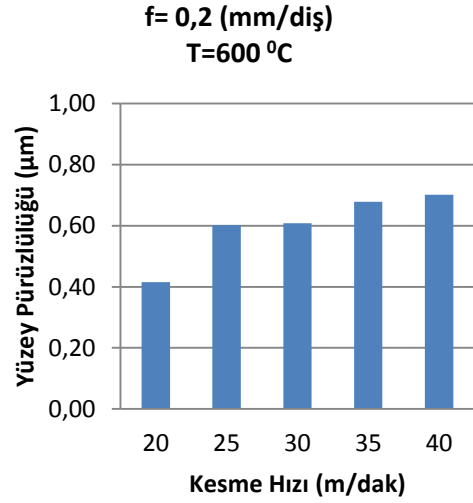
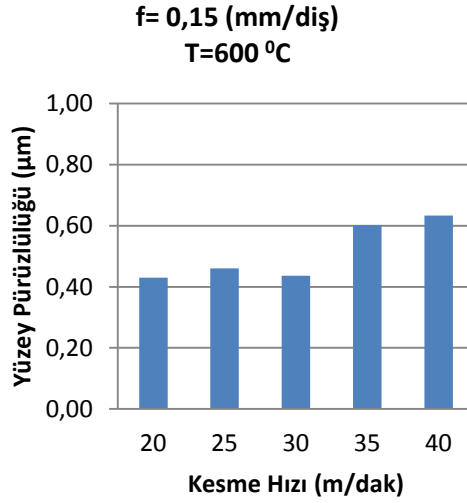
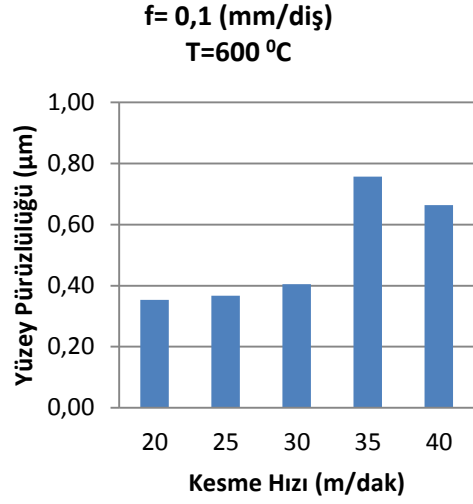
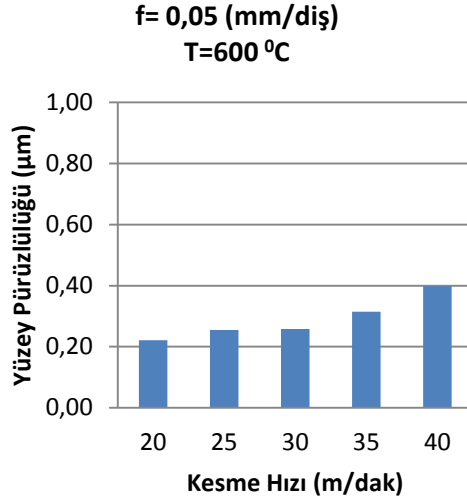
Şekil 4.14. 500°C’de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı

Ön ısıtma değerinin 500°C olduğu durumda, $f=0,2\text{mm/diş}$ olduğu durum hariç diğer tüm ilerleme oranlarında kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri de artmıştır. Ancak ilerleme oranının 0,2mm/diş olduğu durumda ise kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. Grafiklere göre $f=0,2$ ve 0,25mm/diş olduğu durumlarda genel olarak yüzey pürüzlülük değerleri diğer ilerleme oranlarına göre daha yüksek değerdedir. Kesme hızının 25m/dak ve ilerleme oranının 0,05mm/diş olduğu parametrelerde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Kesme hızının 20m/dak, ilerleme oranının 0,2 ve kesme hızının 40m/dak ve ilerleme oranının 0,25 olduğu durumlarda ise yüzey pürüzlülüğü 0,78µm olarak ölçülmüştür. Aşağıyukarı arada 0,1µm'lik farklar oluşmaktadır ki yüzey pürüzlülüğü için bu değerler çok küçük farkların olduğunu ortaya koymaktadır. Çizelge 4.10'da ise 600°C ön ısıtma sıcaklığı uygulanarak yapılan deneylerde kullanılan parametreler ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10. 600°C' de yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen Ra değerleri

	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/diş)	Ort. Ra (µm)
101	600	20	0,05	0,22
102	600	25	0,05	0,26
103	600	30	0,05	0,26
104	600	35	0,05	0,32
105	600	40	0,05	0,40
106	600	20	0,1	0,35
107	600	25	0,1	0,37
108	600	30	0,1	0,41
109	600	35	0,1	0,76
110	600	40	0,1	0,66
111	600	20	0,15	0,43
112	600	25	0,15	0,46
113	600	30	0,15	0,44
114	600	35	0,15	0,60
115	600	40	0,15	0,63
116	600	20	0,2	0,42
117	600	25	0,2	0,60
118	600	30	0,2	0,61
119	600	35	0,2	0,68
120	600	40	0,2	0,70
121	600	20	0,25	0,38
122	600	25	0,25	0,35
123	600	30	0,25	0,33
124	600	35	0,25	0,42
125	600	40	0,25	0,28

Şekil 4.15'de ise grafik 4.10. verileri kullanılarak oluşturulmuş kesme hızı- yüzey pürüzlülüğü grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.15. 600°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızı ile arasındaki bağlantı

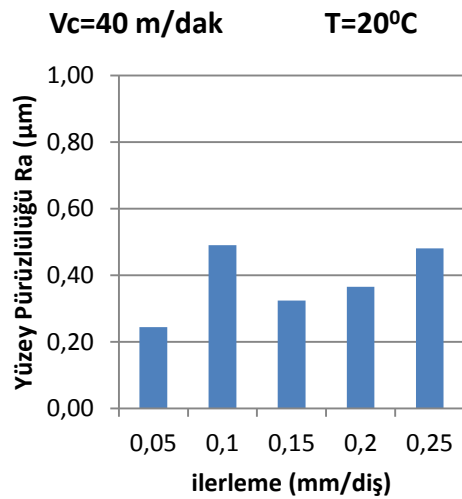
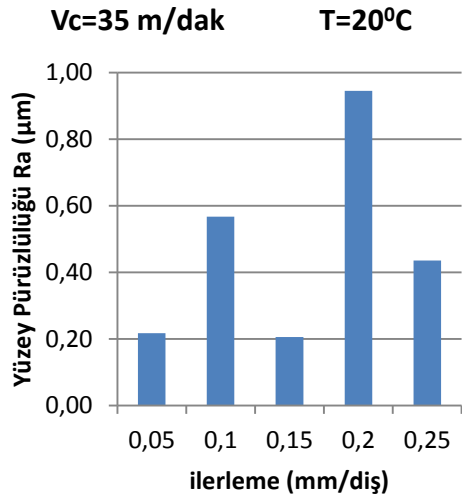
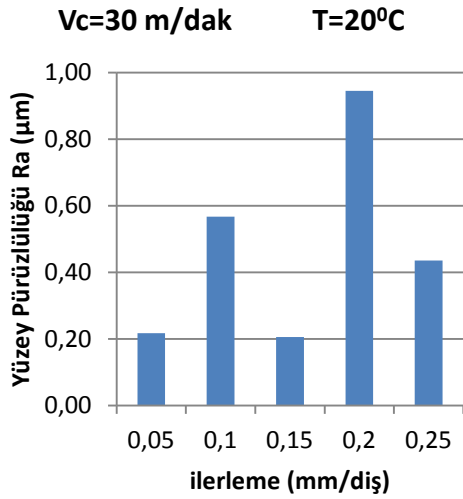
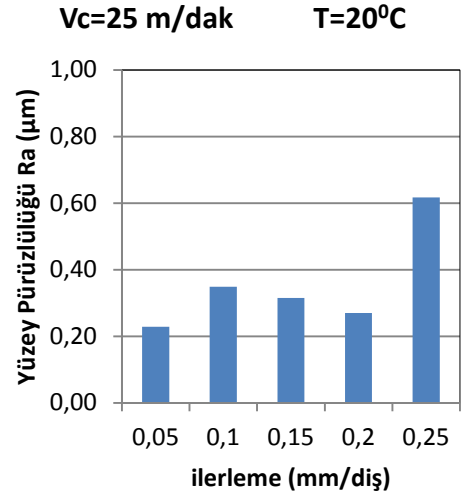
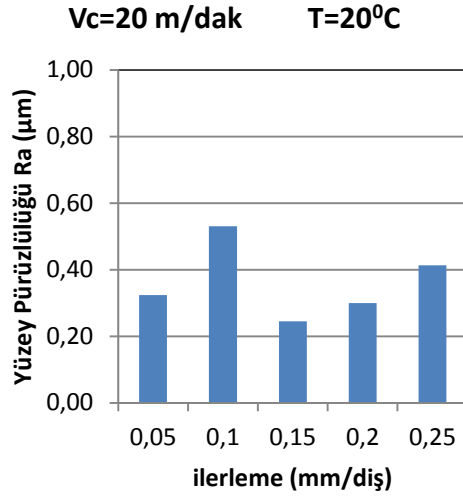
Yukarıdaki Şekil 4.15'e göre 600°C ön ısıtma ile iş parçasının işlenmesi neticesinde tüm ilerleme oranlarında kesme hızının artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde de artış görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri, kesme hızının 20m/dak, ilerleme oranının da 0,05mm/diş olduğu parametrelerde ölçülmüştür. Kesme hızının 35m/dak ve ilerleme oranının 0,1mm/diş olduğu parametrelerde ise yüzey pürüzlülüğü 0,76µm olarak ölçülmüştür ki bu değer en yüksek değerdir.

Hız değişimine paralel olarak yüzey pürüzlülük grafikleri genel olarak değerlendirildiğinde özellikle 500°C ve 600°C'de pürüzlülüğün arttığı anlaşılmıştır. 600°C'de tüm grafiklerde yüzey pürüzlülüğü kesme hızının artmasına paralel olarak artış göstermiştir. 500°C'de 3 grafikte kesme hızının artışına paralel olarak yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiştir. 400°C'de üç grafikte hızın artışına bağlı olarak pürüzlülük değerleri düşüş gösterirken diğer ikisinde pürüzlülüğün sabit kaldığı anlaşılmaktadır. 300°C'de üç grafikte, hızın artışına paralel olarak pürüzlülük değerleri azalmış, bir grafikte pürüzlülük değişimi olmamış, birinde pürüzlülük artışı olmuştur. Grafiklerden de görüldüğü üzere yüzey pürüzlülüğü değerleri, farklı kesme şartlarında anormal değişiklikler göstermektedir. Arada oluşan 0,2-0,3 µm'lük farklar çok büyük farklar değildir. Bu farkların oluşmasındaki etken kesme sırasında malzemenin sünek olmasından dolayı kopmayan talaşlar kesici takım- iş parçası arasına girmekte ve yüzeyi çizmektedir. Bundan dolayı bazı grafiklerde azalmalar, bazılarında da artışlar olabilmektedir.

Sıcaklık-kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü ortalaması, 20°C'de kesme hızının 30m/dak ve ilerleme oranının 0,15mm/diş olduğu ve 300°C'de kesme hızının 25m/dak ve ilerleme oranının 0,05mm/diş olduğu durumlarda en düşük değerler elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük oranı ise oda sıcaklığında kesme hızının 30m/dak ve ilerleme oranının 0,2mm/diş olduğu durumda ölçülmüştür.

Yukarıdaki çizelgelerde verilen parametrelere göre Şekil 4.16., 4.17., 4.18., 4.19. ve 4.20.'te, yapılan işlemler neticesinde yüzey pürüzlülüğüne ilerleme

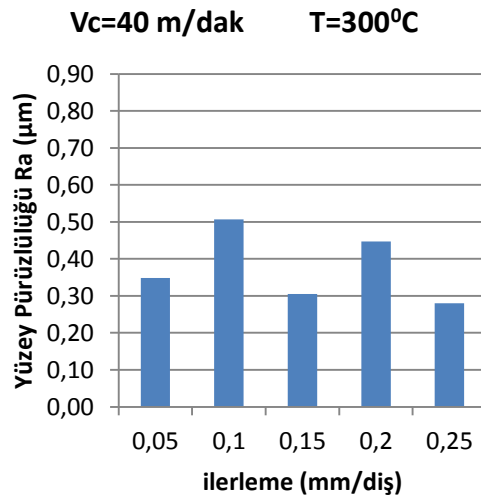
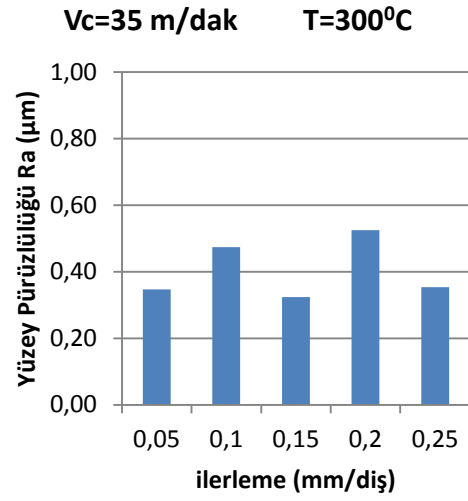
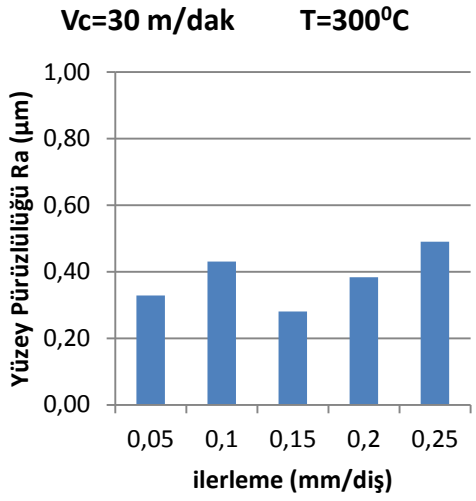
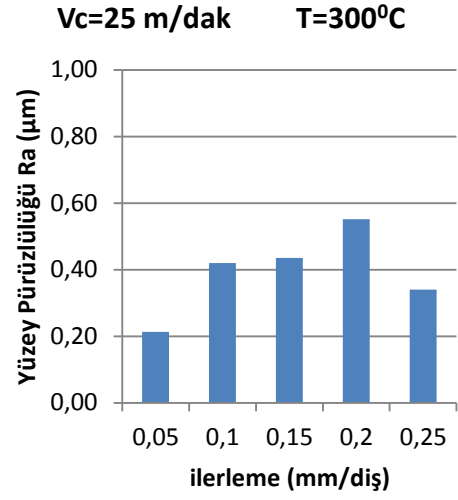
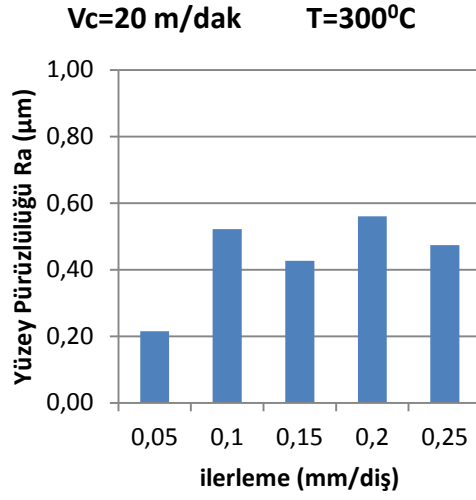
oranının etkisi de grafiksel hale getirilmiştir. Şekil 4.16'da konvensiyonel işleme sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağıntı verilmiştir.



Şekil 4.16. 20°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı

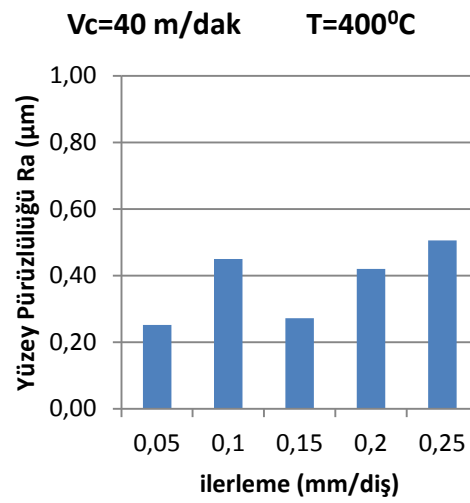
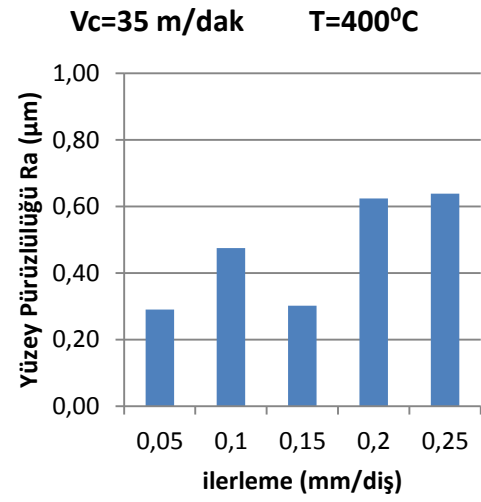
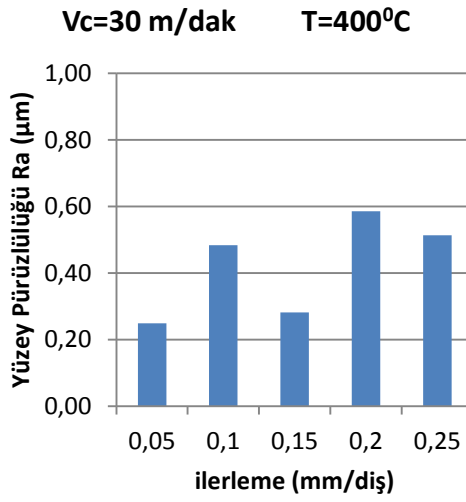
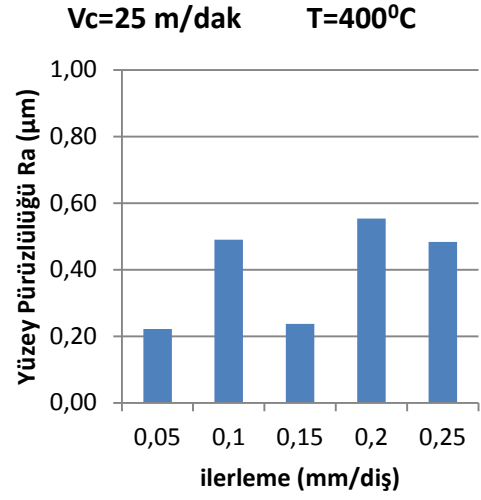
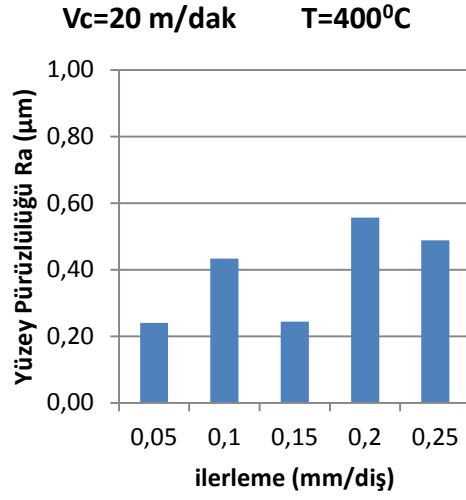
Şekil 4.16.'da 20°C'de yüzey pürüzlülüğü değerinin kesme hızına ve ilerleme oranına göre değişimleri gösterilmiştir. Şekle göre kesme hızının 20m/dak olduğu parametrelerde yüzey pürüzlülüğü değeri ilerleme oranı artıkça küçük de olsa bir azalma eğilimi göstermiştir. Diğer kesme kuvveti değerlerinde ise ilerleme oranı artıkça yüzey pürüzlülüğü değeri de artmıştır.

Şekil 4.17'de ise ön ısıtma sıcaklığı 300°C'dir. Bu grafiklerde ise, yüzey pürüzlülüğü değeri, kesme hızının 40m/dak olduğu durum haricinde tümünde bir artış göstermiştir. Özellikle kesme hızının 20m/dak olduğu durumda artış eğimi daha fazladır. Ancak kesme hızı 40m/dak'da ilerleme oranının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma görülmektedir.



Şekil 4.17. 300°C’de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı

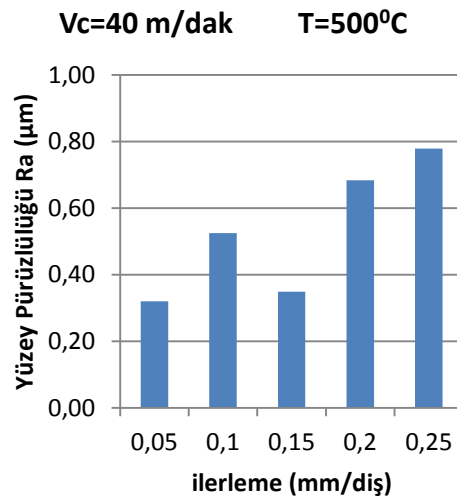
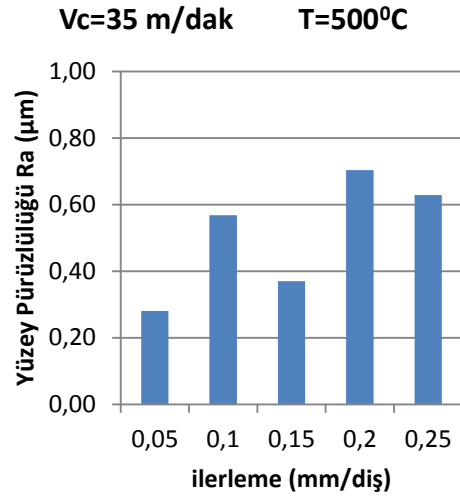
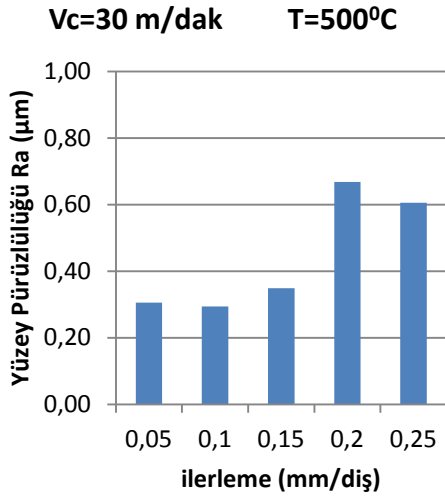
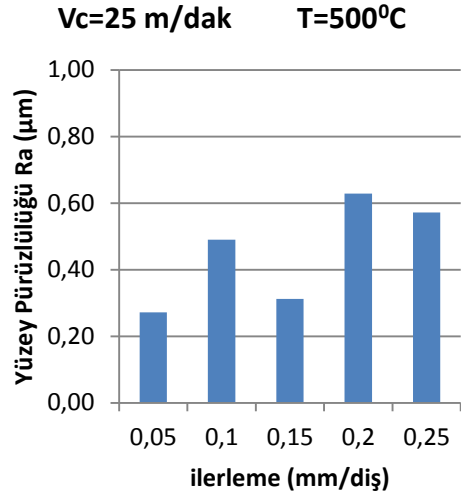
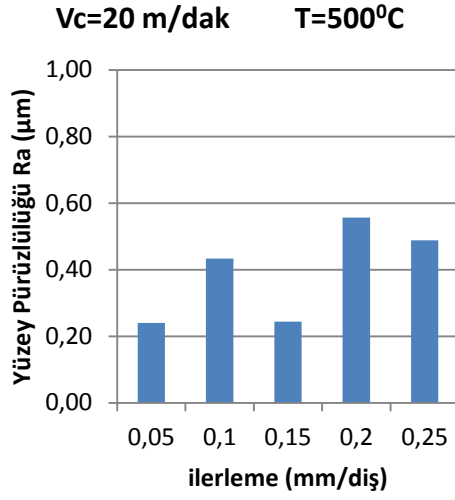
Şekil 4.17’de ise tüm kesme parametrelerinde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değeri de artmıştır. Burada kesme hızı 35m/dak olduğu durumda yüzey pürüzlülüğü, en yüksek değere ulaşmıştır. Kesme hızı 35m/dak ve ilerleme oranı 0,25mm/diş iken yüzey pürüzlülüğü değeri 0,6µm değerinin üzerine çıkmıştır. İlerleme oranının en düşük olduğu 0,05mm/diş değerinde yüzey pürüzlülüğü tüm grafiklerde en düşük seviyelerde kalmıştır.



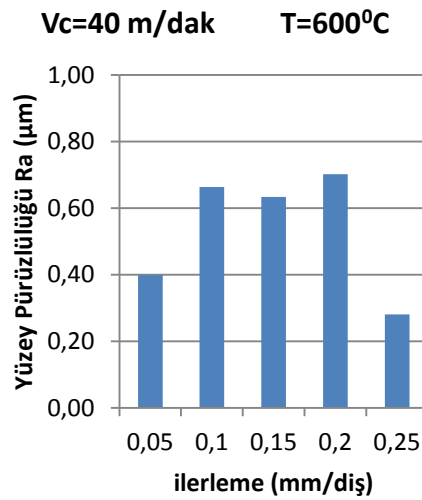
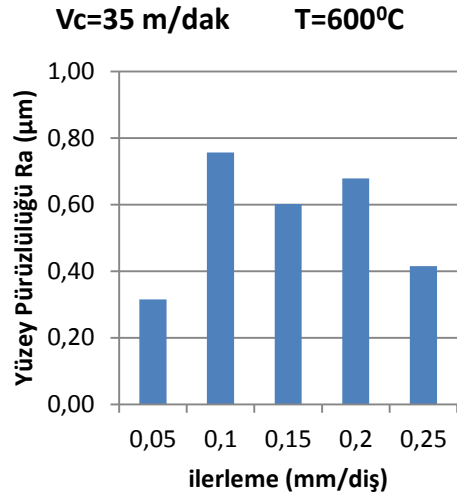
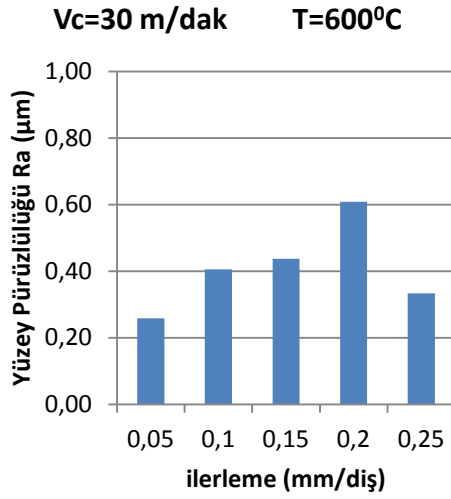
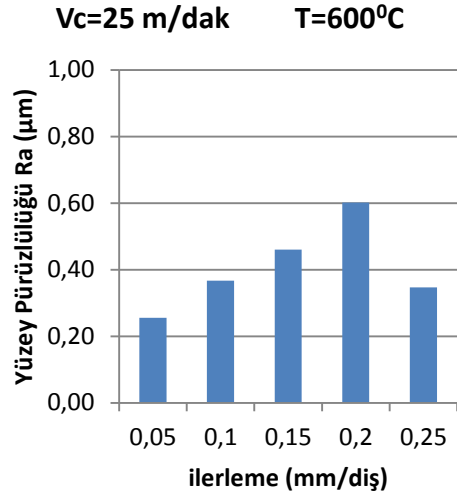
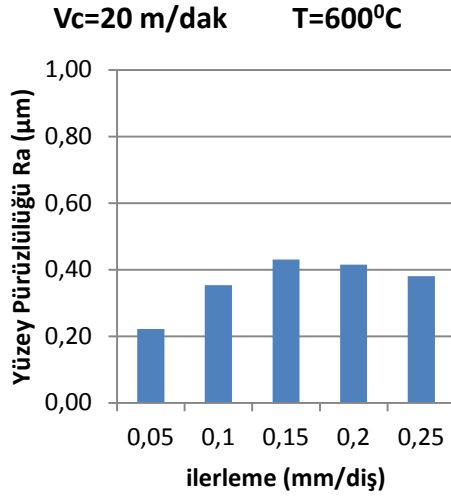
Şekil 4.18. 400°C’de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı

Şekil 4.19'da ön ısıtma sıcaklığı 500°C iken alınan sonuçlara göre kesme hızının tüm değerlerinde ilerleme oranı arttıkça yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmektedir. Burada en dikkat çeken husus ön ısıtma değerinin artması yüzey pürüzlülüğünün de artmasına neden olmuştur. Ön ısıtma değeri 400°C olan parametrelere göre alınan yüzey pürüzlülük değerleri 500°C'de alınan yüzey pürüzlülük değerlerine göre daha düşük değerde olduğu söylenebilir. Örneğin kesme hızının 40m/dak olduğu grafiğe göre ilerleme oranı 0,25mm/diş iken yüzey pürüzlülük değeri 0,7µm' nin üzerine çıkmıştır.

İş parçası 600°C'ye kadar ön ısıtma işlemine tabi tutulduğu durumda (Şekil 4.20.), kesme hızının 40m/dak olduğu grafikte yine yüzey pürüzlülüğü değeri bir azalma eğilimi içerisine girmiştir. İlerleme oranının artışı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değeri azalmıştır. Bu grafiklere göre yüzey pürüzlülüğünün en üst seviyesi kesme hızının 35m/dak, ilerleme oranının 0,25mm/diş ve kesme hızının 40m/dak, ilerleme oranının 0,05mm/diş olduğu değerler göze çarpmaktadır.



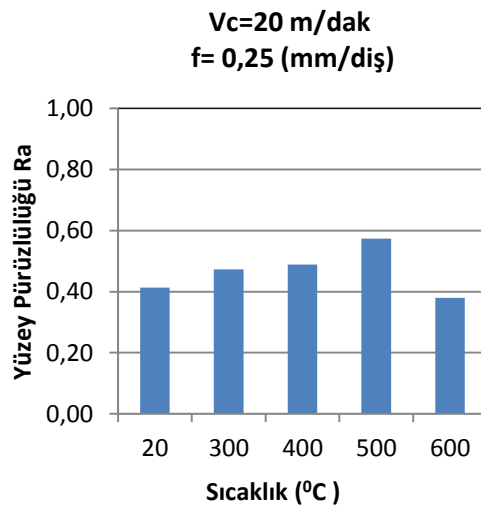
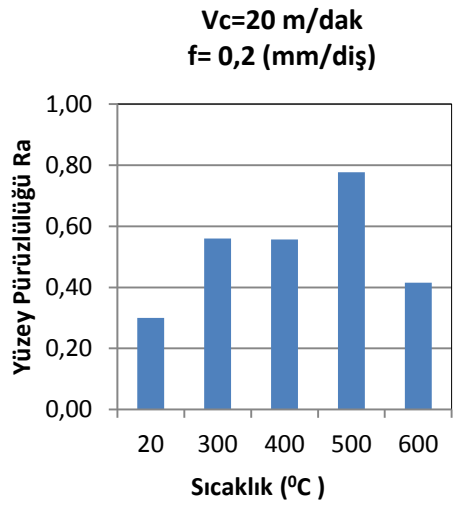
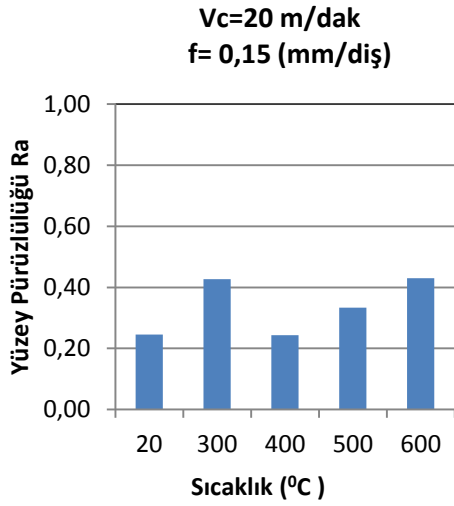
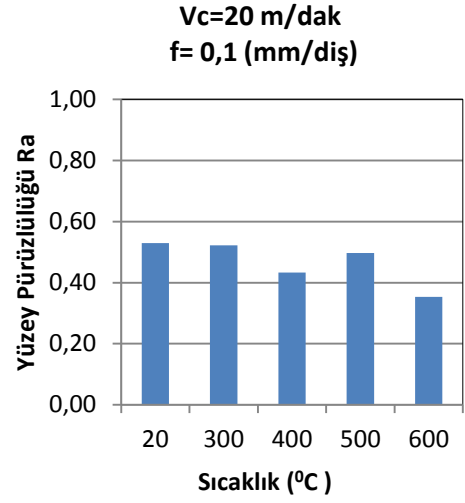
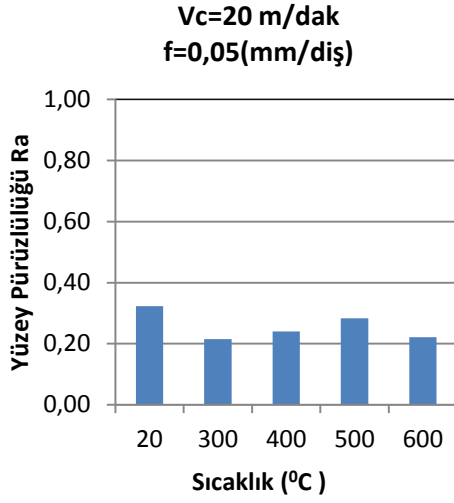
Şekil 4.19. 500°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı



Şekil 4.20. 600°C'de yapılan kesme işlemi sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme oranı ile arasındaki bağlantı

Yüzey pürüzlülüğünün ön ısıtma sıcaklığına göre değişim grafikleri de Şekil 4.21., 4.22., 4.23., 4.24. ve 4.25’da değerlendirilmiştir. Burada yine ön ısıtmasız ve ön ısıtmalı olarak iş parçasının işlenmesinin ardından yüzey pürüzlülükleri hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur.

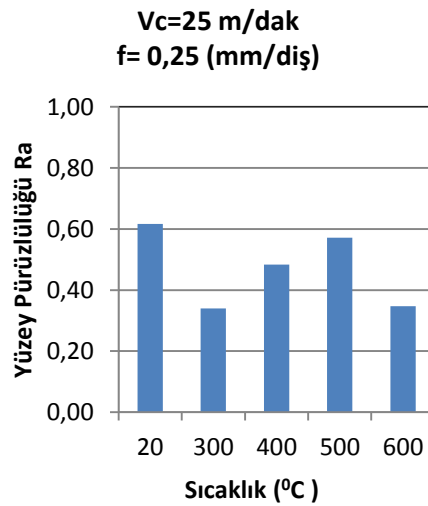
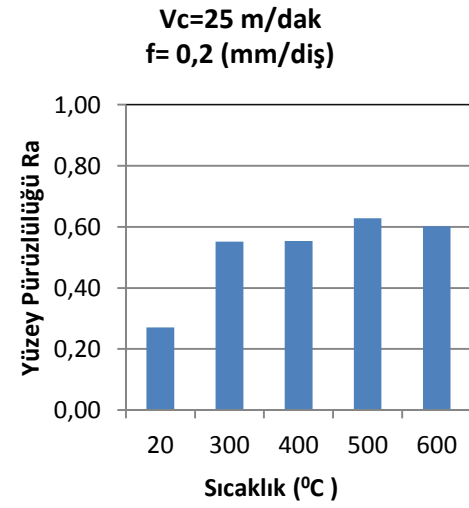
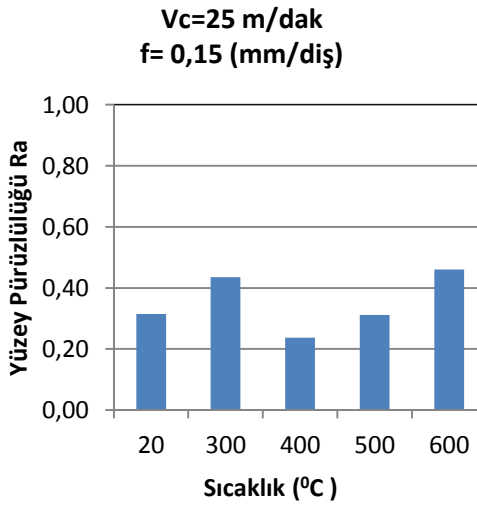
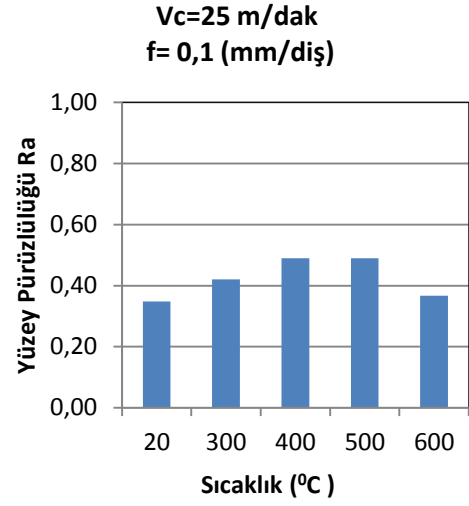
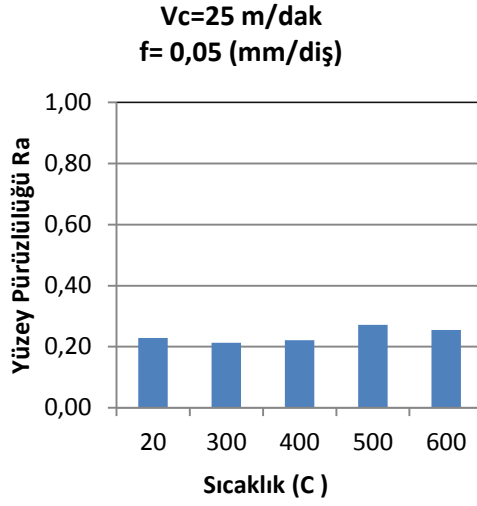
Aşağıdaki grafiklerde (Şekil 4.21.), kesme hızı 20m/dak olduğu durumlarda, sıcaklık artışı ile iş parçası yüzeyindeki pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Burada ilerleme oranının 0,1mm/diş olduğu durumda yüzey pürüzlülük değeri azalma göstermektedir. Ama ortaya çıkan azalmalar kaydadeğer azalmalar değildir. 0,2µm’luk azalmalar çok küçük azalmalardır. Kesici takım ile iş parçası arasına giren talaşlar iş parçasını çizebilmekte ve bu farklara etki edebilmektedir. Diğer durumlar içinse bunu söylemek mümkün değildir. İlerleme oranının 0,2mm/diş olduğu durumda ise sıcaklığın artışı ile birlikte yüzey pürüzlülüğünde diğer durumlara göre oldukça büyük oranda artış gözlenmektedir.



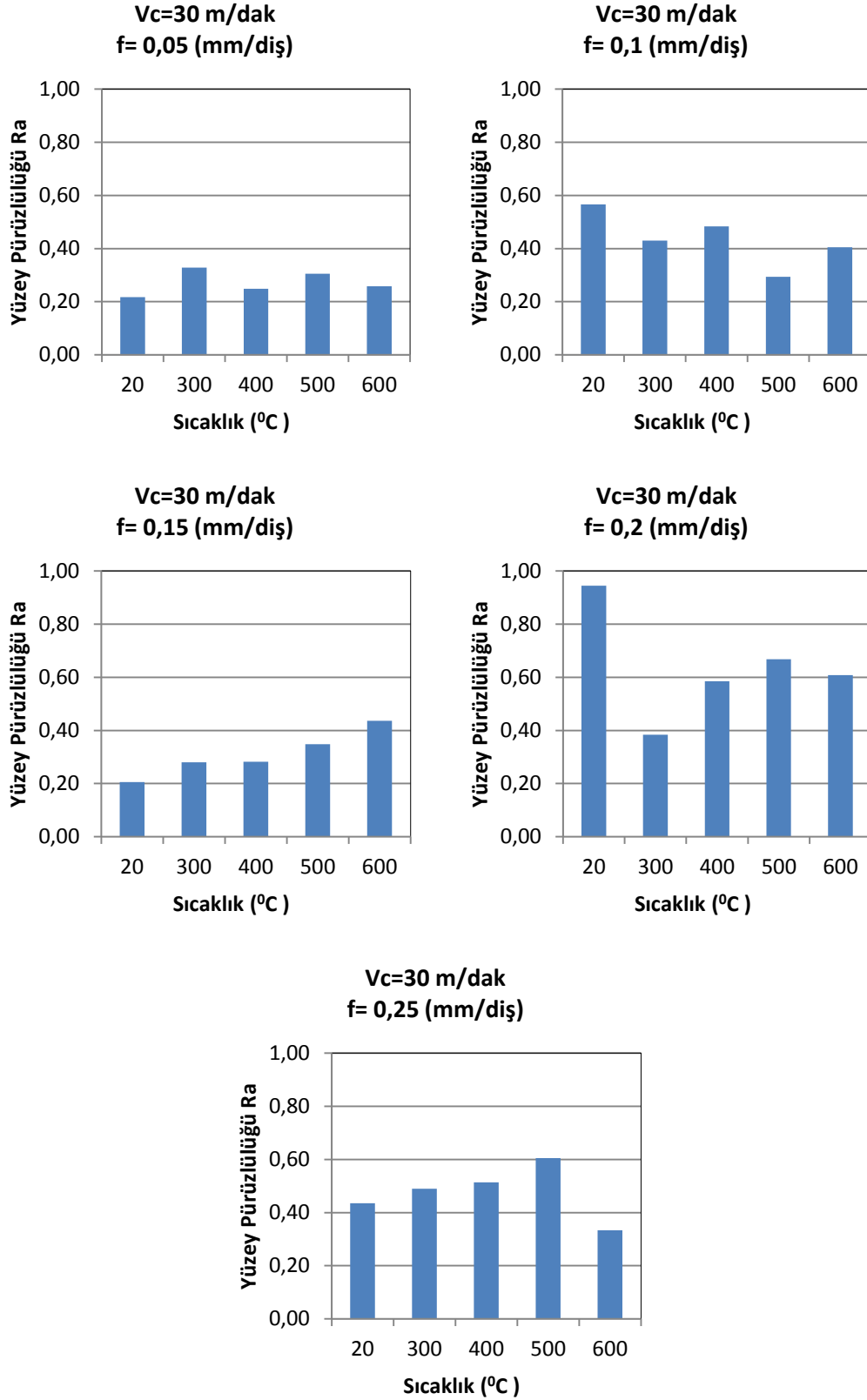
Şekil 4.21. Kesme hızının 20m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi

Kesme hızının 25m/dak olduğu durumda ise (Şekil 4.22.), ilerleme oranını 0,25mm/diş iken sıcaklığın artışı ile birlikte yüzey pürüzlülük değeri azalma göstermektedir. Ancak diğer durumlarda yüzey pürüzlülüğü değeri sürekli artış eğilimindedir. Özellikle ilerleme oranı 0,25mm/diş parametresinde yapılan kesme neticesinde iş parçası yüzey pürüzlülük değeri sıcaklıkla birlikte ciddi oranda artış göstermiş, sıcaklığın 600°C olduğu durumda yüzey pürüzlülük değeri 0,7µm'ye ulaşmıştır. Ancak oluşan bu küçük değerdeki farklar iş parçasının homojen olup olmaması ile, kesici takım ile iş parçasının arasına kesme sırasında giren talaşaların malzemeyi çizmesi ile oluşabilecek farklardır.

Şekil 4.23'de ise kesme hızı 30m/dak'dır.



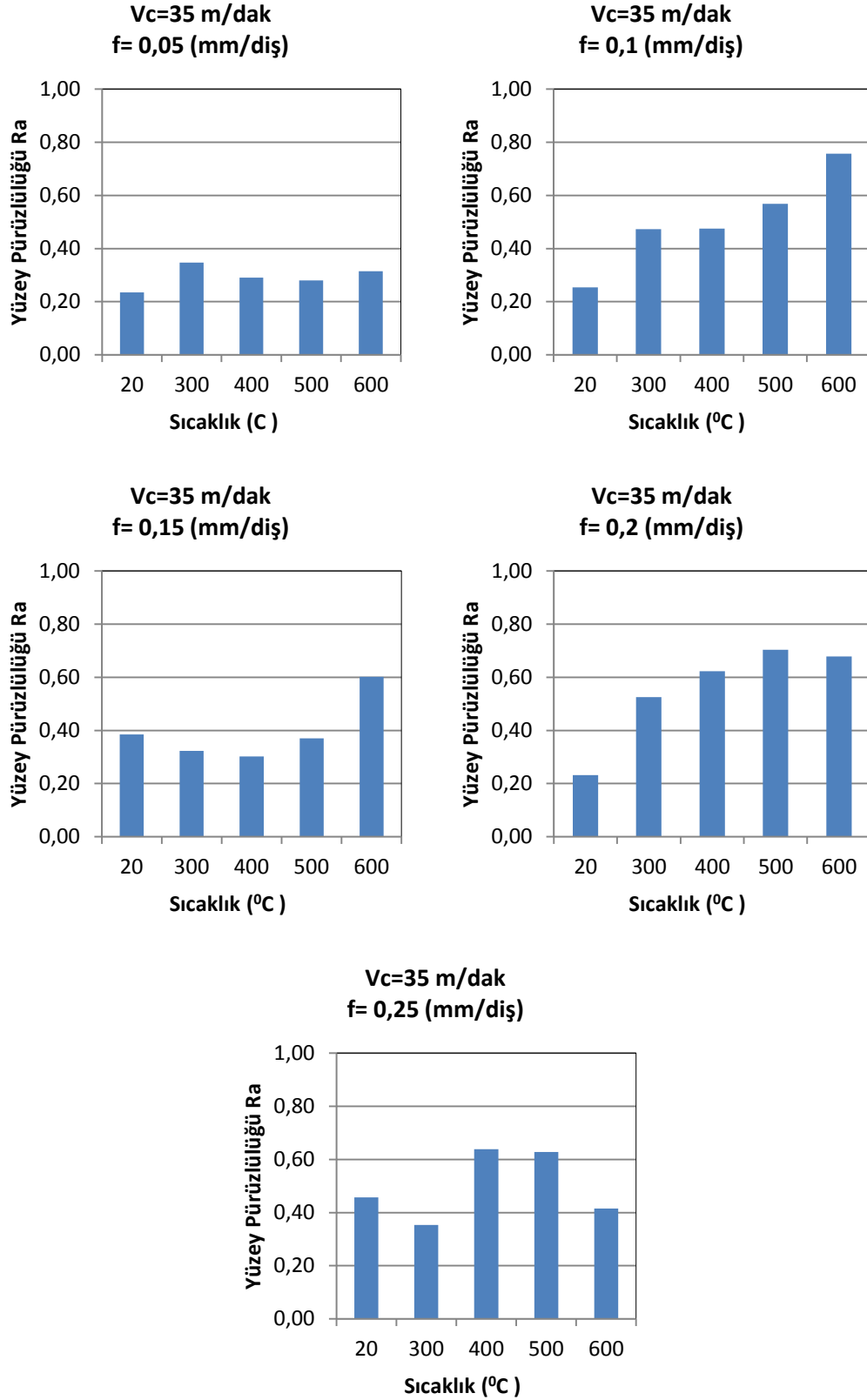
Şekil 4.22. Kesme hızının 25m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi



Şekil 4.23. Kesme hızının 30m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi

Kesme hızı 30m/dak ilerleme oranının 0,2mm/diş ve 0,1mm/diş olduğu durumlarda (Şekil 4.23.), yüzey pürüzlülüğü değerlerinde sıcaklığın artışı ile birlikte yine bir azalış göstermesi söz konusudur. Burada ilerleme oranı 0,2mm/diş iken ön ısıtma olmaksızın yapılan deneyler neticesinde yüzey pürüzlülüğü değeri en yüksek değerde, yaklaşık 0,8µm civarlarında tespit edilmiştir. İlerleme değerinin 0,05mm/diş olduğu durumda ise yüzey pürüzlülük değerleri diğer parametreler göre daha düşük değerlerde belirlenmiştir. İlerleme oranı 0,25mm/diş olduğu durumda ise sıcaklığın atması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinde çok fazla bir değişiklik gözlenmemektedir.

Aşağıdaki Şekil 4.24'a göre, kesme hızı 35m/dak'da, yüzey pürüzlülüğünde sıcaklıkla birlikte yaşanan artış en ciddi olarak ilerleme oranlarının 0,1 ve 0,2mm/diş olduğu durumlarda görülmektedir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ilerleme oranı 0,2mm/diş ve ön ısıtma sıcaklığı 600°C'de görülmektedir. Bu değerlerde yüzey pürüzlülüğü 0,7µm'nün üzerindedir. Ön ısıtma sıcaklığının 400°C'yi geçtiği durumlarda yüzey pürüzlülüğünde artışlar gözlenmektedir.

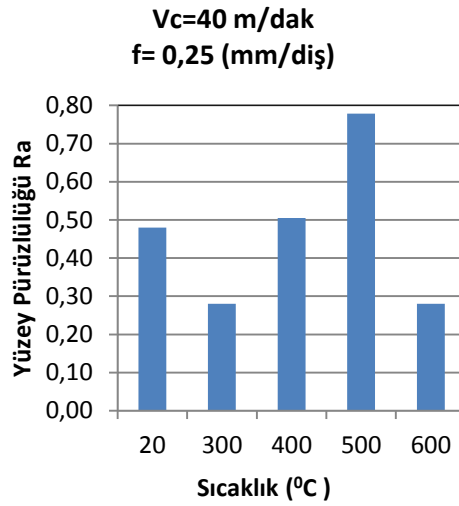
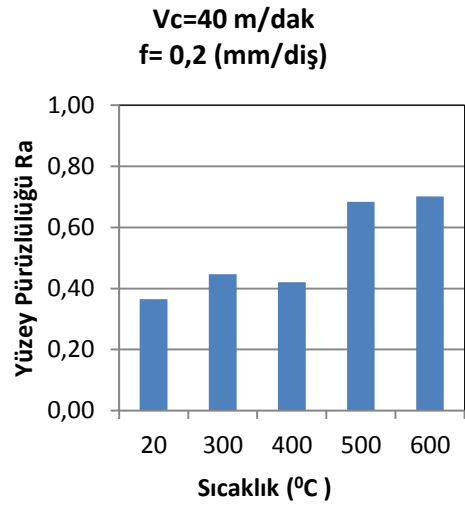
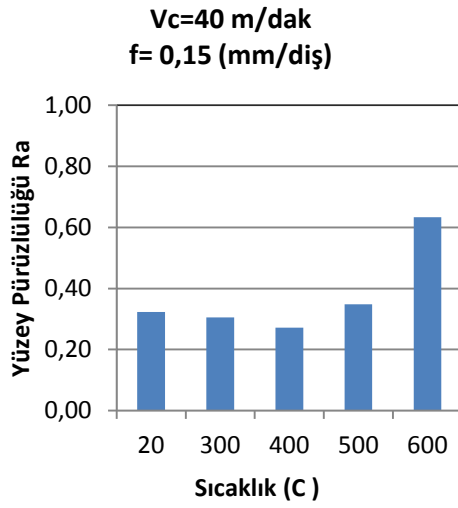
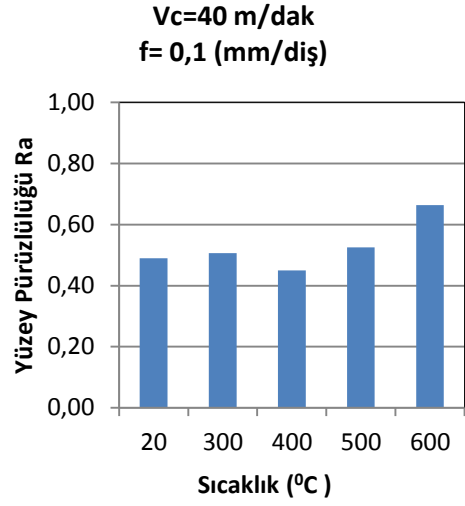
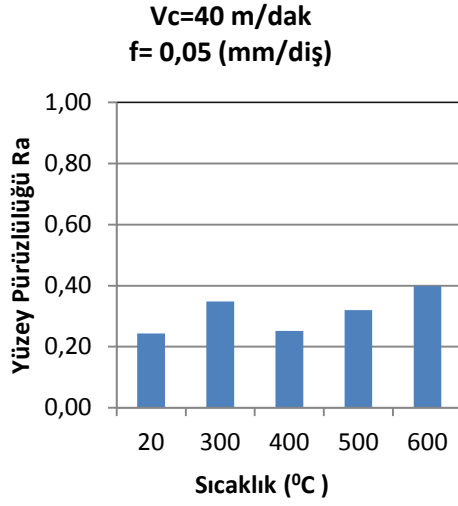


Şekil 4.24. Kesme hızının 35m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi

Şekil 4.25'de kesme hızı 40m/dak olduğu durum için yüzey pürüzlülüğünün sıcaklıkla değişimi görülmektedir.

Aynı şekilde kesme hızı 40m/dak olduğu durumda ise (Şekil 4.25), sıcaklığın artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde de artış olduğu görülmektedir. İlerleme oranı 0,2mm/diş olduğu durumda ön ısıtma sıcaklığı 600°C iken yüzey pürüzlülüğü değeri 0,7µm'ye yakın bir değer olarak ölçülmüştür.

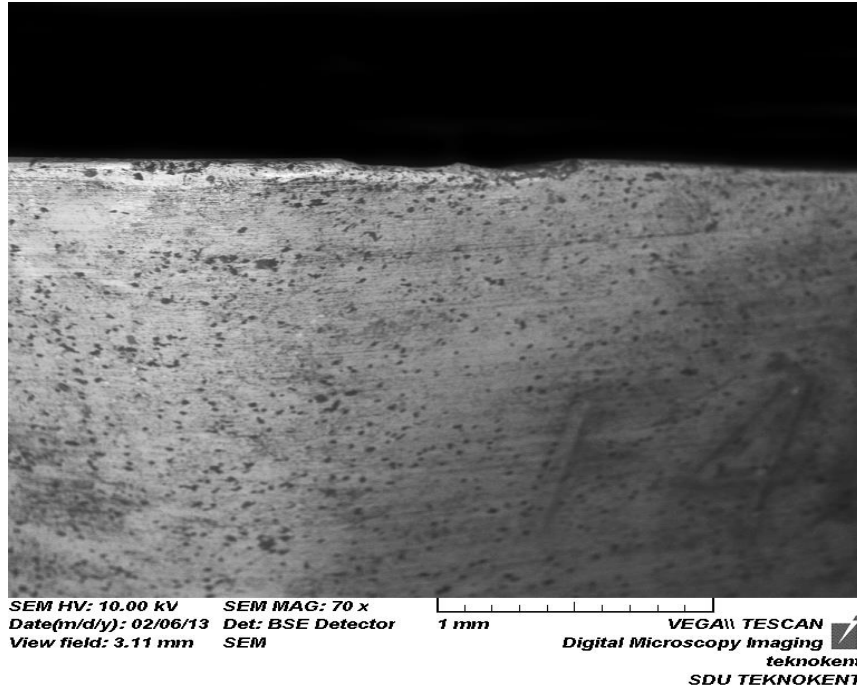
Literatür araştırmalarının ışığında, elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenecek olursa, ön ısıtmanın yüzey pürüzlülüğü değerlerini artırdığı söylenebilir. Oda sıcaklığında yapılan deney sonuçlarında yüzey pürüzlülüğü değerleri daha iyi sonuç vermiştir. Sıcaklığın artması ile birlikte yüzey pürüzlülük değerleri yükselmiştir. Literatürde yapılan incelemeler sonucunda Raghavan vd'nin 2013, rebro 2002, yılında yaptıkları çalışmanın neticesinde de bu sonuca benzer bir sonuç ortaya koymuşlardır. Laser kullanılarak yapılan çalışma neticesinde AISI 52100 çeliği seramik ve CBN takımlar kullanılarak işlenmiş, işleme neticesinde Ra pürüzlülük değerleri %12-35 oranında artış göstermiştir.



Şekil 4.25. Kesme hızının 40m/dak olduğu durumlar için iş parçası yüzey pürüzlülüğü değerinin sıcaklık değişimi ile değerlendirilmesi

4.3. Takım Aşınması ve Takım Ömrü Bulguları

Bu çalışmada, yapılan deneyler neticesinde elde edilen veriler göz önüne alınmış, literatürdeki çalışmalar ışığında bir değerlendirmede bulunulmuştur. Deneyler neticesinde kesici uçların bir kısmında çentik aşınmasıyla karşılaşılmıştır. Her yapılan deney sonrası kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar SEM de gözlenmiştir. Şekil 4.26'da 35m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında yapılan deneyde elde edilen aşınma fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.26. 35m/dak kesme hızı ve 0,15mm/diş ilerleme hızında yapılan deneyde elde edilen aşınma fotoğrafı

Ancak yapılan deneyler ve gözlemlere göre iş parçasının hem ön ısıtmasız hem de ön ısıtmalı işlenmesi neticesinde kesici uçların çoğunda aşınmaya rastlanmamıştır. Bazı parametrelerde aşınmalar görülmüştür.

Tüm parametrelerde aşınmaya rastlanmamasından dolayı herhangi bir modelleme ya da eğitim gerçekleştirilmemiştir. Bu gözlem sonrası yeni bir deney kurgusu oluşturulmuştur. Bu kurguda ön ısıtmanın Ti4Al6V işlemede takım ömrüne etkisi ne olacaktır sorusu üzerine çalışma yapılmıştır. Bunun

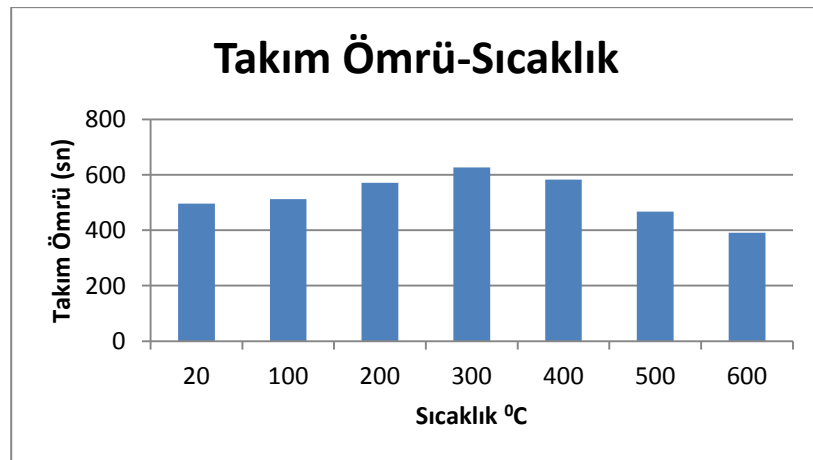
için 7 farklı deney yapılmıştır. Kesme parametreleri sabit tutulmuştur. Sadece ön ısıtma sıcaklığı değiştirilmiştir ve kesici uç kaçınıcı saniyede aşındığı tespit edilmiştir. Kesme esnasında, ISO 8688 standardında yan yüzey aşınma değeri sınır değerlere (Yan yüzey aşınması için 300µm, krater aşınması için 700 µm) ulaştığı anda kesici uç aşınmıştır demektir (ISO 8688-1, 1989). Bu kriter göz önüne alınarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 4.11.'de yapılan takım ömrü deneylerindeki kesme parametreleri ve takım ömrü verilmektedir.

Çizelge 4.11. Takım ömrü deney parametreleri ve elde edilen sonuç

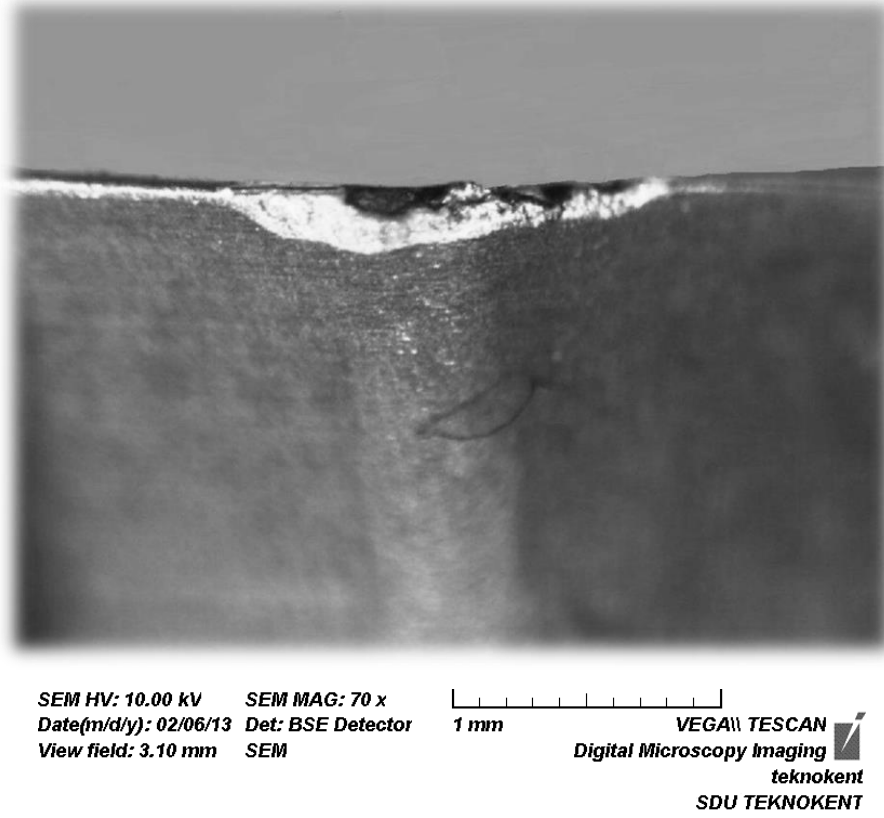
	Sıcaklık (°C)	Kesme Hızı (mm/dak)	İlerleme Hızı (mm/diş)	Takım Ömrü (sn)
1	20	35	0,2	496
2	100	35	0,2	512
3	200	35	0,2	571
4	300	35	0,2	627
5	400	35	0,2	583
6	500	35	0,2	467
7	600	35	0,2	391

Çizelgelerdeki bu değerler kullanılarak farklı sıcaklık değerlerinde takım ömrü grafiği oluşturulmuştur. Şekil 4.27.'de ön ısıtma sıcaklığı ile takım ömrü arasındaki bağıntılar sunulmuştur.



Şekil 4.27. Deneyler neticesinde ortaya çıkan kesici takım ömrü-sıcaklık grafiği

Takım ömrü tespiti için yapılan deneyler sonucu elde edilen kesici uçlardaki aşınmalar Şekil 4.28., 4.29., 4.30., 4.31. ve 4.32.'de verilmektedir.

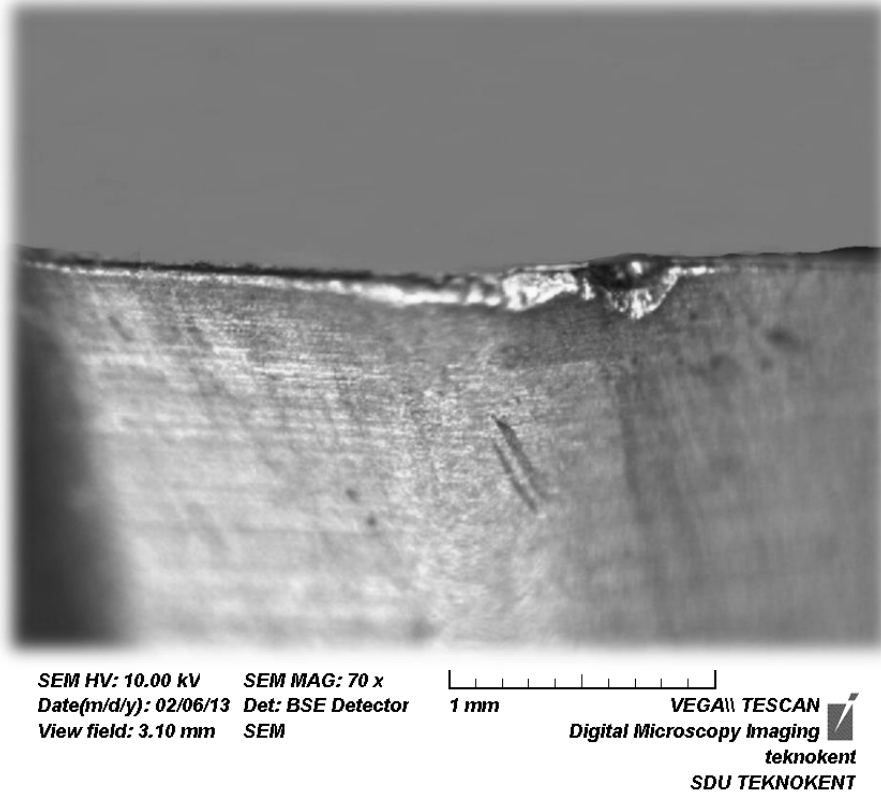


Şekil 4.28. 20°C'de yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma

Kesme parametreleri, kesme hızı 35m/dak, ilerleme oranı 0,2mm/diş ve talaş derinliği 1mm olarak belirlenen, 20°C'de yapılan kesme işlemi sonrası kesici uç 497sn sonrasında aşınma tiplerinden yan yüzey aşınması görülmüştür.

100°C'ye kadar ön ısıtma işlemine tabi tutulan iş parçasının aynı parametrelerde işlenmesi neticesinde takım ömrü 512sn olarak tespit edilmiştir. Aynı parametrelerde iş parçasının 200°C'ye kadar ısıtılması neticesinde yapılan deneyde ise 571sn'lik bir takım ömrü değerine ulaşılmıştır

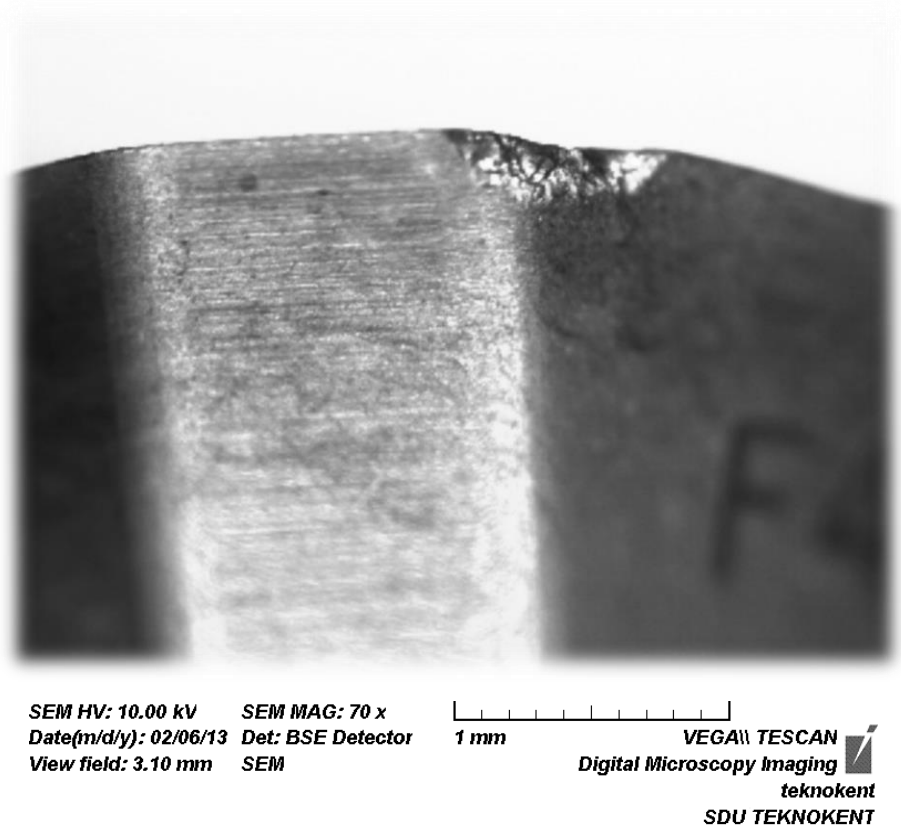
Şekil 4.29.'da ise iş parçası 300°C ön ısıtma sıcaklığına tabi tutulmuştur.



Şekil 4.29. 300°C ön ısıtma uygulanarak yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma

300°C ön ısıtma uygulanan deney neticesinde kesici uç 627sn sonra aşınmıştır.

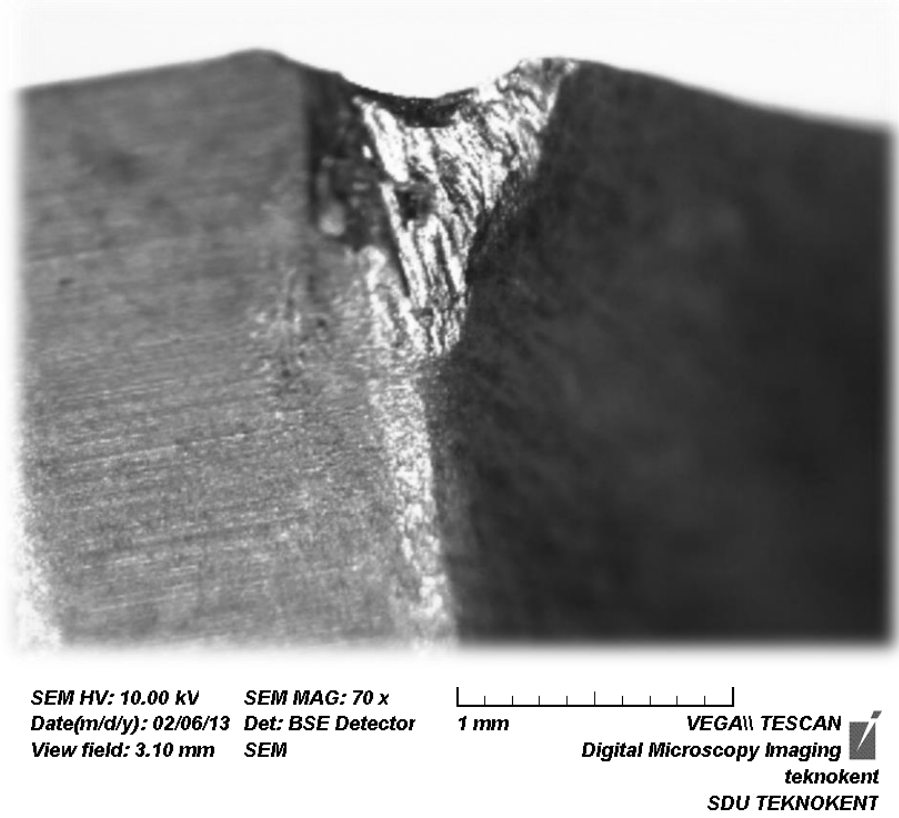
Şekil 4.30.'da ise iş parçası 400°C ön ısıtma sıcaklığına tabi tutulmuştur. Isıtma neticesinde kesici uç 583 saniye sonra aşınmıştır.



Şekil 4.30. 400°C ön ısıtma uygulanarak yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma

Yapılan deney sonucunda kesici uçta krater aşınması görülmüştür.

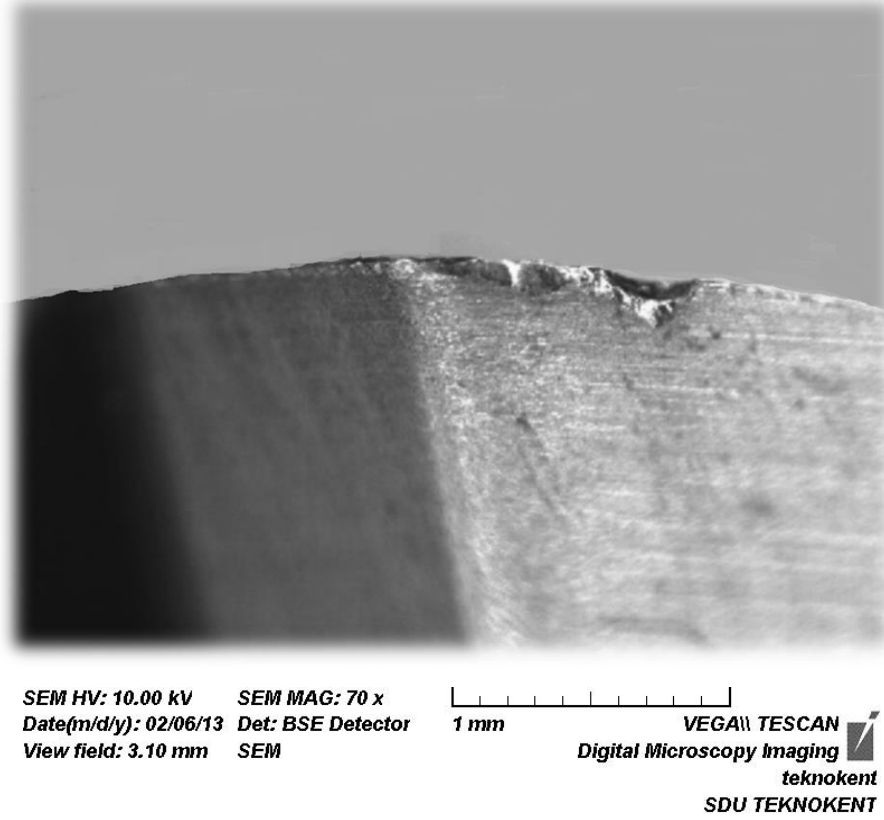
Aşağıdaki Şekil 4.31’de ise iş parçası 500°C ön ısıtma sıcaklığına tabi tutulmuştur.



Şekil 4.31. 500°C ön ısıtma uygulanarak yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma

Şekil 4.31.'de gösterilen aşınmış kesici uç, iş parçasının 500°C ön ısıtma sıcaklığına tabi tutulması ile sabit kesme parametrelerinde (Kesme hızı 35m/dak, ilerleme oranı 0,2mm/diş ve talaş derinliği 1mm) kesme işlemi yapıldıktan sonraki uçtur. 467 saniye sonunda kesici uç aşınmış, krater aşınması tespit edilmiştir.

Son deneyde yapılan ölçüm neticesinde iş parçası 600°C'ye kadar ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kesme neticesinde kesici uç 391 saniye sonra aşınmıştır (Şekil 4.32.). Yan yüzey aşınma tipine rastlanmıştır.



Şekil 4.32. 600°C ön ısıtma uygulanarak yapılan kesme işlemi sonrası kesici uçtaki aşınma

Yapılan takım ömrü deneyleri neticesinde konvensiyonel ve ön ısıtmalı işlemelerden sonra kesici takımdaki aşınma süreleri tespit edilmiştir. Aşınmalar yan yüzey aşınması ve krater aşınması olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında ön ısıtma sıcaklığının 400°C'ye kadar olduğu durumlarda takım ömrünün uzadığı, bu sıcaklığın aşılması ile takım ömrünün tekrar azaldığı tespit edilmiştir. Literatürde yapılan araştırmalar neticesinde yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki ön ısıtma değerlerinde takım ömrünün azaldığı, bu sıcaklığa kadar olan ön ısıtma değerlerinde ise takım ömrünün arttığı bilinmektedir. Ti6Al4V alaşımının yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık 370°C'dir.

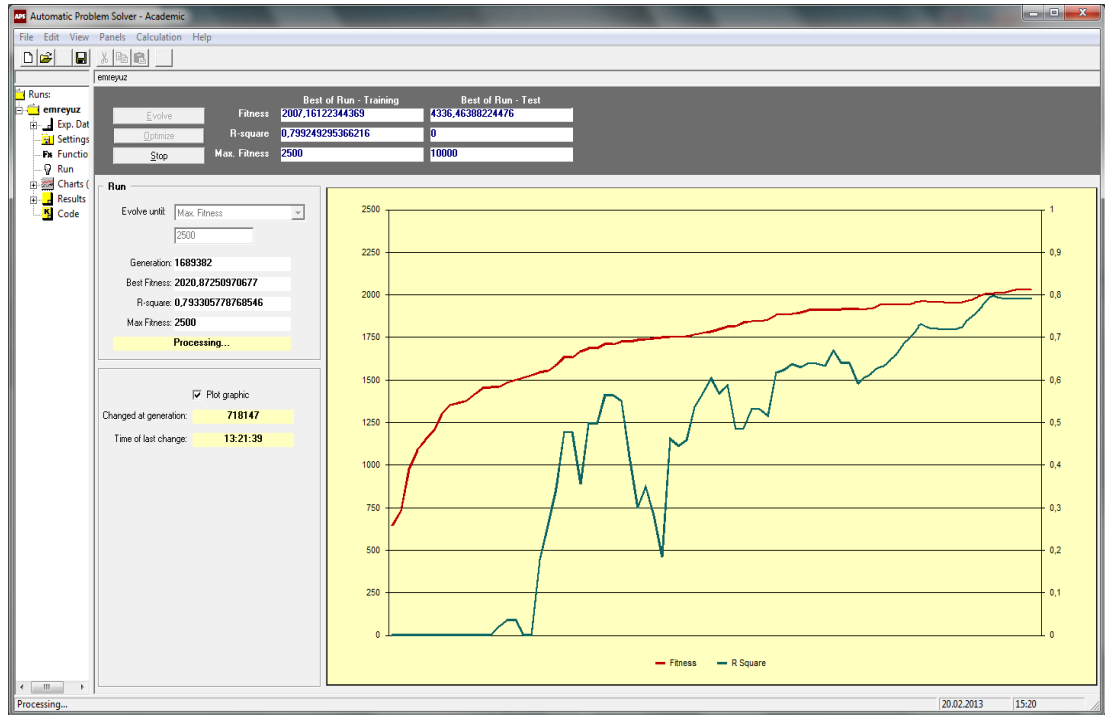
4.4. Evrimsel Programlama ile Modelleme

Evrimsel programlama algoritması ile kesme sırasında x ve y eksenlerinde oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmini için modelleme yapılmıştır. Modellemede kaplamalı karbür dört köşe kesici uçlarla yapılan deney verileri kullanılmıştır. Toplam 125 adet farklı kesme parametrelerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu deney sayısının % 80 'ini kapsayan 100 adet deney parametresi modellemenin eğitim kısmında, kalan% 25 lik kısım ise modellemenin test kısımlarında kullanılmıştır. İki ayrı modelde eksenel kesme derinliği değeri sabit olduğu için, kesme hızı, tabla ilerleme hızı ve sıcaklık girdi parametreleri, $F_{x_{ort}}$ ve $F_{y_{ort}}$ ayrı ayrı çıktı parametreleri olarak, üçüncü modellemede ise yine kesme hızı tabla ilerleme hızı ve sıcaklık girdi parametresi, yüzey pürüzlülüğü çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Bu parametreler ve evrimsel programlamada yer alan kromozon sayıları, gen sayıları, baş sayısı, seçim aralığı, uygunluk ve max. uygunluk her bir modelde değiştirilerek bir çok evrimsel model kurularak denemeler gerçekleştirilmiştir. Eğitim ve test verileri kendi arasında sürekli değiştirilerek eğitilmişlerdir. Denemeler neticesinde modellemeye en uygun olarak eğitim ve test için kesme parametreleri belirlenmiştir.

4.4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Tahmini İçin Modellemeler ve Uygulaması

Yüzey pürüzlülüğü tahmini için kaplamalı karbür uçlarla yapılan deneyler kullanılarak modelleme yapılmıştır.

Karbür kesici uçlar kullanılarak elde edilen deney verileri 50 kromozoma bölünerek 0,04 mutasyon işlemine tabi tutulmuş, 1689382 iterasyon sonucunda $R^2 = 0,79$ 'luk doğruluk değerine ulaşılmıştır (Şekil 4.33.).



Şekil 4.33. Yapılan deneylerin iş parçası yüzey pürüzlülüğü için kurulan evrimsel programlama modeli grafiği

Modelde elde edilen başarı oranı eğitim ve test verileri değiştirilerek ve farklı fonksiyon modelleri (Bölmenin 3. derecesi, cos 2. derece vs.) denenerek en uygun modelden elde edilen orandır. %79'luk doğruluk payı elde edilen modelin kodu (visual basic) aşağıda verilmiştir.

FunctionAPSfunction(ByRef d() As Double) As Double

Dim dblTemp As Double

dblTemp = 0

dblTemp = dblTemp + (((Sin(((Vc) / (F))) ^ Log(T))) / (((Vc - F) - ((F) / (T)))))

dblTemp = dblTemp + (((((Sqr(F)) / (Vc)) + ((F) / (T)))) / ((Log(T) - F)))

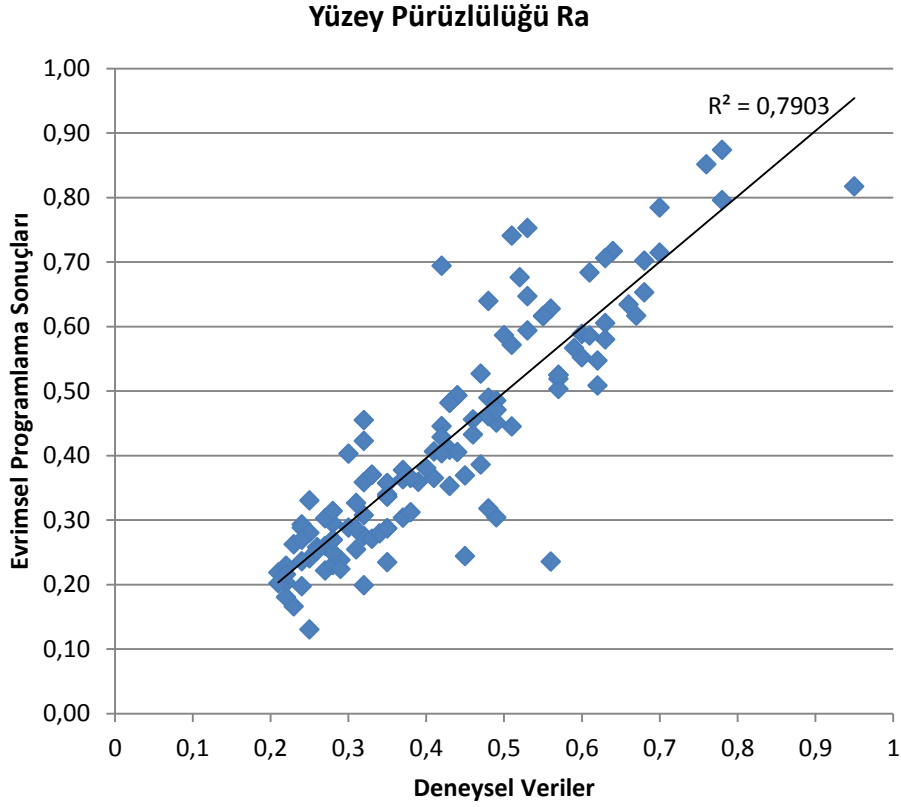
dblTemp = dblTemp + (((T + f) - T) - ((f) / (Vc))) + ((2*Vc) * ((f) / (F)))

APSfunction = dblTemp

EndFunction

Yukarıdaki kod, ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız işlemlerde karbür kesici uçlarla yapılan deneylerden elde edilecek yüzey pürüzlülüğü değerlerini, kesme

parametreleri değiştiğinde bile %79 oranında tahmin edebilmektedir. Aşağıdaki grafikte de (şekil 4.34.) deneysel şalışmalar neticesinde elde edilen veriler ile kurulan model sonunda elde edilen yzey pürzlölük değerleri kıyaslaması yapılmıştır.



şekil 4.34. Yzey pürzlölüğü için deneysel verilerin evrimsel modelleme verileri ile karşılaştırılması

şekil 4.34.'te görüldüğü üzere deneysel verilerle evrimsel programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki en küçük kareler metoduna göre 0,79 olup, kurulan modelin doğruluğunu göstermektedir. Yzey pürzlölük değerinin tahmini için program tarafından oluşturulan kodun matematiksel olarak ifadesi;

$$Ra = \frac{\sin(\frac{Vc}{F}) \log T}{(Vc-F) - \frac{F}{T}} + \frac{\frac{F^2}{Vc} + \frac{F}{T}}{\log T - F} + \left[\left(f - \frac{f}{Vc} \right) + (2Vc \cdot \frac{f}{F}) \right] \quad (4.1.)$$

şeklinde dir.

Burada,

R_a = Yüzey pürüzlülüğü

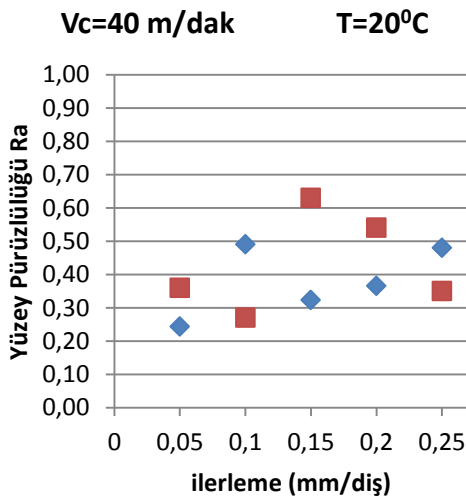
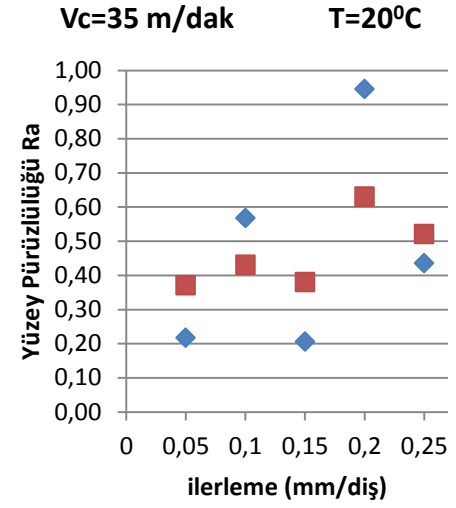
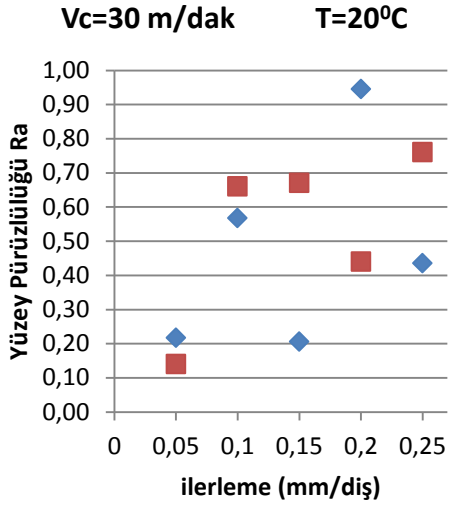
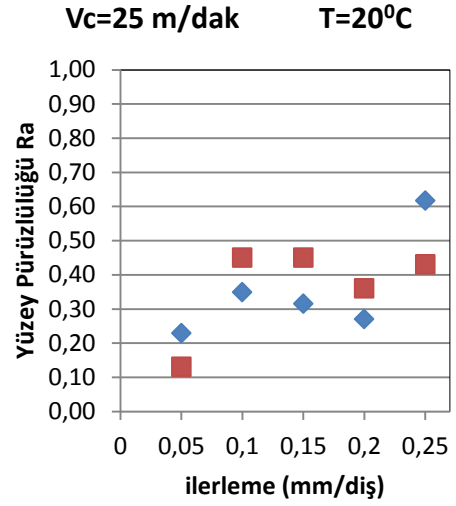
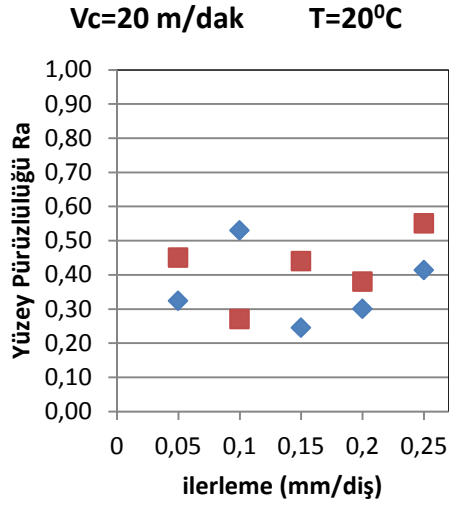
V_c = Kesme Hızı (m/dak)

f = İlerleme Hızı (mm/diş)

F = Tabla ilerleme değeri (m/dak)

T = Ön ısıtma sıcaklığı, değerlerini ifade etmektedir.

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 4.35.).

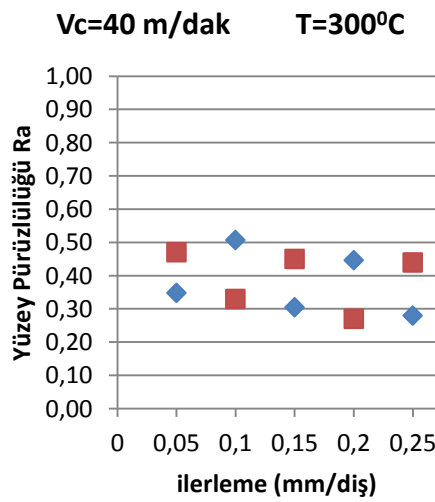
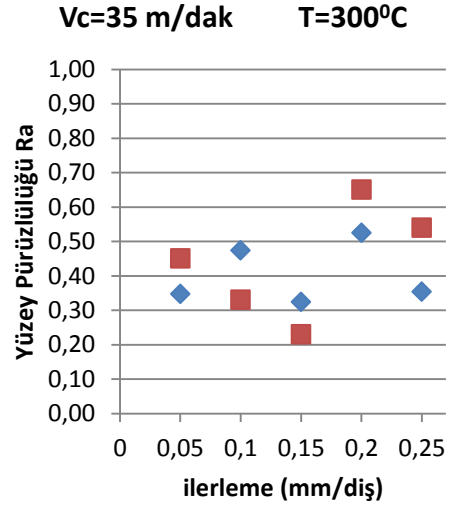
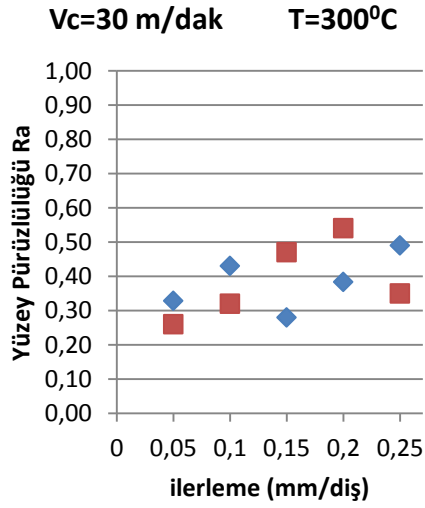
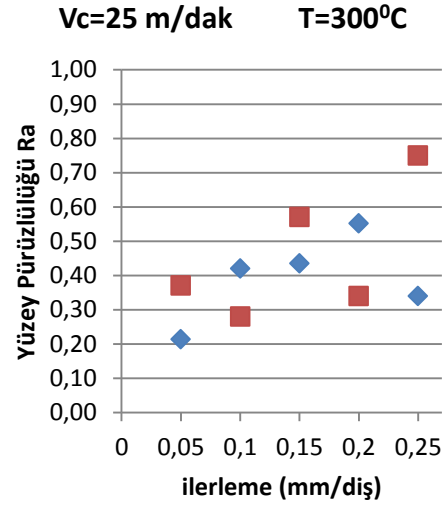
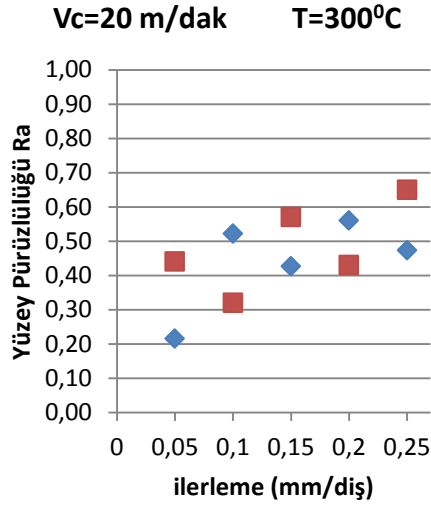


◆ Deney Verileri
■ Modelleme Verileri

Şekil 4.35. 20°C'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması

Kurulan model ile yapılan deneylerin kıyaslaması yapıldığında, kesme hızının 35m/dak olduğu durumda alınan sonucun birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Kesme hızının 20 ve 40m/dak olduğu durumlarda ise yüzey pürüzlülüğü değerlerinin modelleme verilerinde gerçek deney verilerine göre daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Bir diğer karşılaştırma da iş parçasının ön ısıtmaya tabi tutulması sonrası alınan veriler ile yapılan modelleme neticesinde elde edilen veriler arasında yapılmıştır (Şekil 4.36.).



◆ Deney Verileri
■ Modelleme Verileri

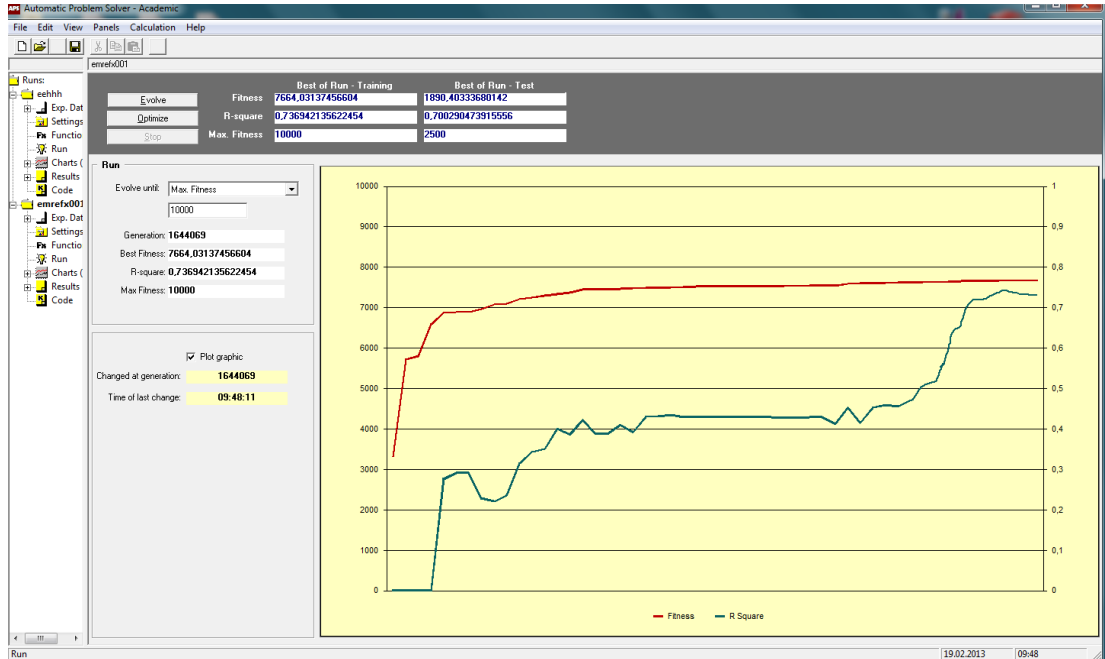
Şekil 4.36. 300°C'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması

300°C’de yapılan deneylerin verilerini kullanarak oluşturulan model ile gerçek deney verileri kıyaslandığında kesme hızının 25m/dak olduğu durum dışında tüm sonuçlar birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Yalnız kesme hızı 25m/dak iken, yapılan deneyler sonucu elde edilen deney verileri kurulan modelden elde edilen verilere oranla daha düşük olduğu görülmektedir.

4.4.2. Kesme Kuvvetleri ($F_{x_{ort}}$ ve $F_{y_{ort}}$) İçin Modellemeler ve Uygulaması

Deneyler sırasında elde edilen kesme kuvvetleri kullanılarak $F_{x_{ort}}$ ve $F_{y_{ort}}$ için ayrı ayrı modellemeler yapılmıştır.

Kesme sırasında oluşan $F_{x_{ort}}$ kesme kuvvetini modellerken, karbür kapılı kesici uçlar kullanılarak elde edilen deney verileri 50 kromozoma bölünerek 0,04 mutasyon işlemine tabi tutulmuş, 1644069 iterasyon sonucunda $R^2=0,73$ ’lük doğruluk değerine ulaşılmıştır (Şekil 4.37.).



Şekil 4.37. Yapılan deneylerin $F_{x_{ort}}$ için kurulan evrimsel programlama modeli grafiği

Modelde elde edilen başarı oranı eğitim ve test verileri değiştirilerek ve çeşitli fonksiyonlar denenerek en uygun modelden elde edilen orandır. %73'lük doğruluk payı elde edilen modelin kodu aşağıda verilmiştir.

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

```
    Dim dblTemp As Double
```

```
    dblTemp = 0
```

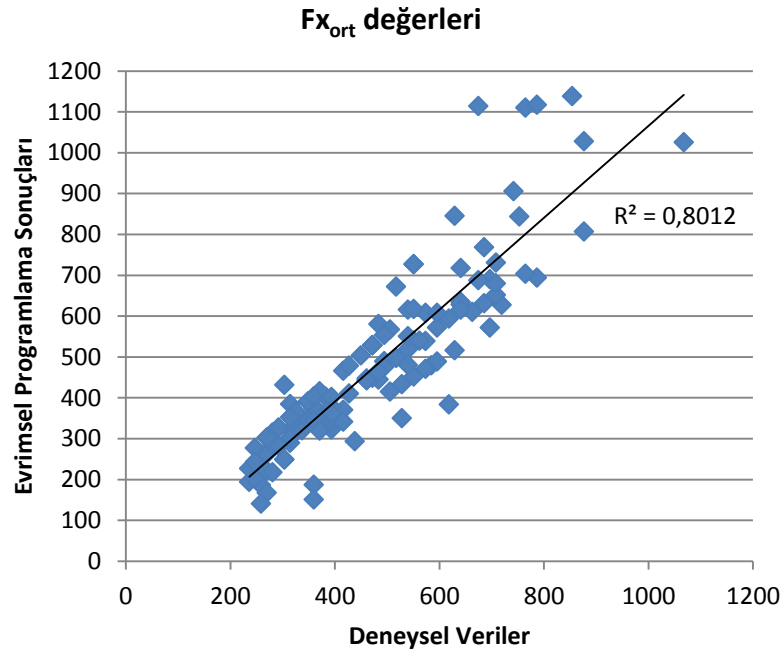
```
    dblTemp = dblTemp + (((1 / (f) + T)) / (Log(T))) * (Sin(Vc) + Cos(Vc)))
```

```
    dblTemp = dblTemp + (((2 * F) + F) * Cos(Vc)) + (((F) / (f)) ^ Cos(f))
```

```
    dblTemp = dblTemp + (-Int(-Log((((T2) * (2 * Vc)) * ((T * Vc)F))))))
```

```
    APSfunction = dblTemp
```

Yukarıdaki kod, ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız işlemlerde, yapılan deneylerden elde edilecek $F_{x_{ort}}$ değerlerini, %73 oranında tahmin edebilmektedir. Aşağıdaki grafikte de (Şekil 4.38.) deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen veriler ile kurulan model sonunda elde edilen $F_{x_{ort}}$ değerleri kıyaslaması yapılmıştır.



Şekil 4.38. $F_{x_{ort}}$ için deneysel verilerin evrimsel modelleme verileri ile karşılaştırılması

Şekil 4.38.'de görüldüğü üzere deneysel verilerle evrimsel programlama yönteminde hesaplanan veriler arasındaki ilişki en küçük kareler metoduna göre 0,80 olup, kurulan modelin doğruluğunu göstermektedir. $F_{x_{ort}}$ değerinin tahmini için program tarafından oluşturulan kodun matematiksel olarak ifadesi;

$$Fx = \frac{\frac{1}{f} + T}{\log T} \cdot [\sin(Vc) + \cos(Vc)] + \left[((2F + F) \cdot \cos(Vc)) + \frac{F^{(\cos f)}}{f} \right] + [-Int(\log((2 \cdot T^2 \cdot Vc) \cdot (T \cdot Vc)^F))] \quad (4.2.)$$

şeklindedir.

Burada,

F_x = x eksenindeki ortalama kesme kuvveti

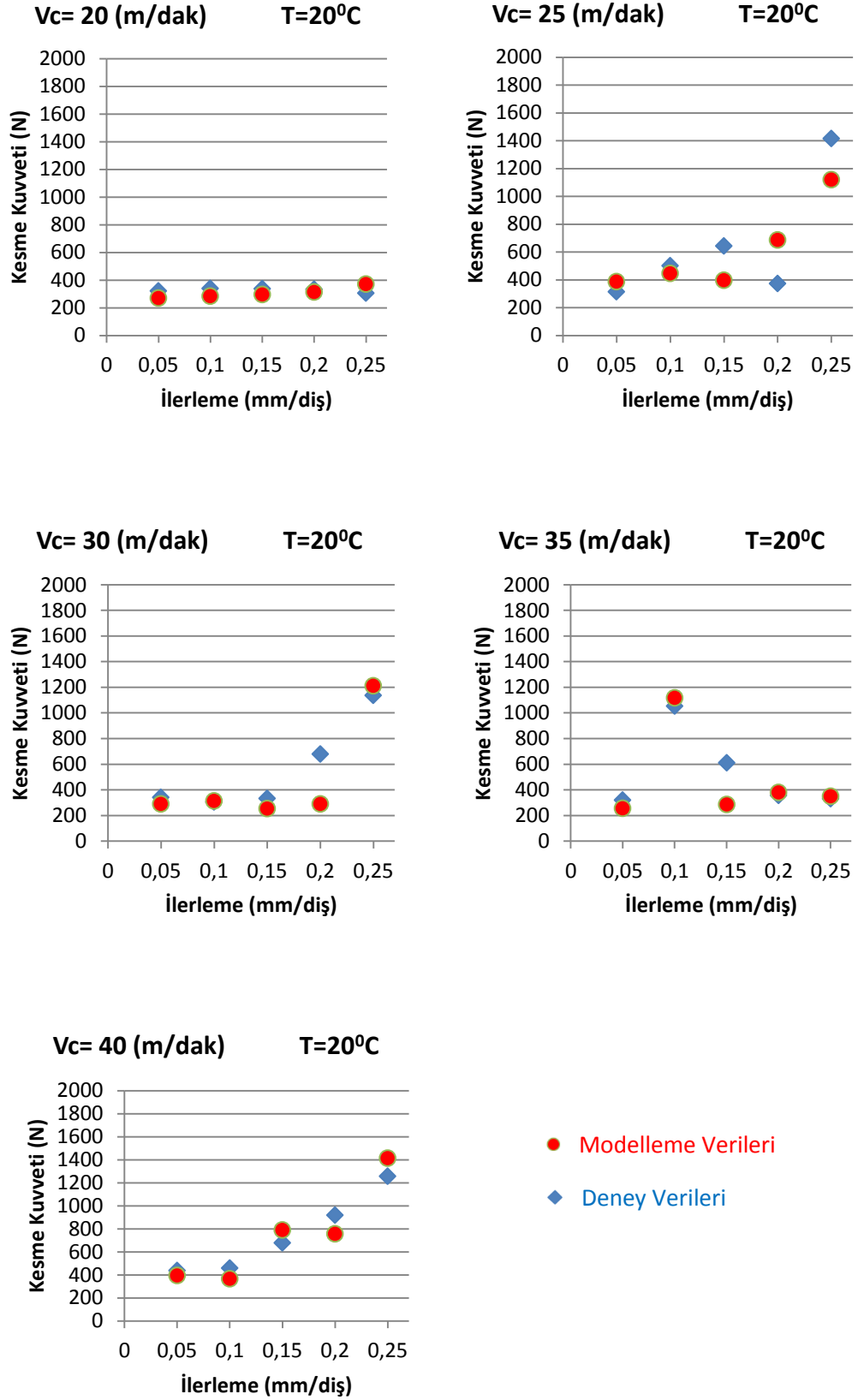
V_c = Kesme Hızı (m/dak)

f = İlerleme Hızı (mm/diş)

F = Tabla ilerleme hızı (m/dak)

T = Ön ısıtma sıcaklığı değerlerini ifade etmektedir.

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak kesme anında oluşan $F_{x_{ort}}$ değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır.

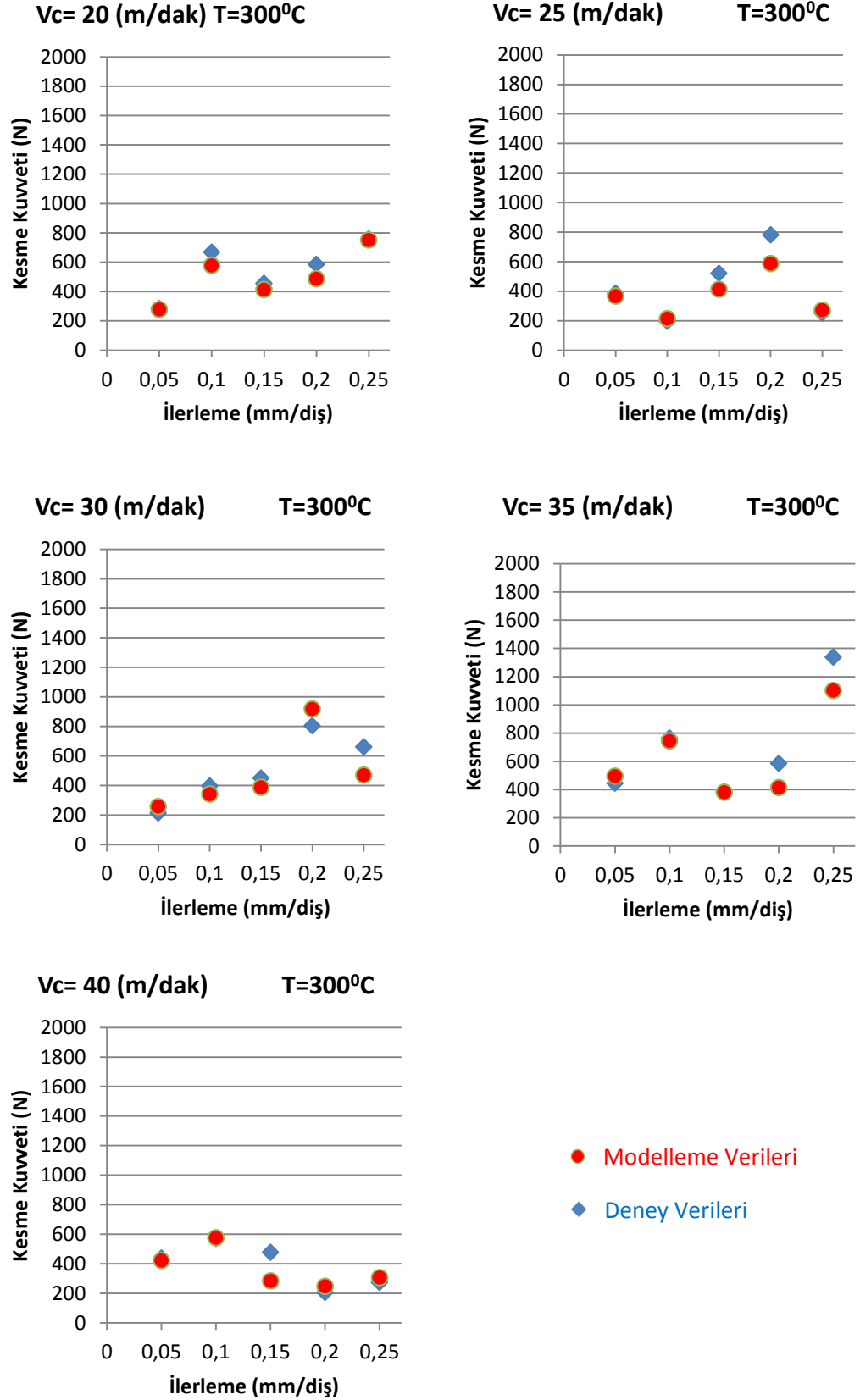


Şekil 4.39. 20°C’de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması (F_{xort})

Şekil 4.39'a bakıldığında gerçek deney verileri ile evrimsel programlamada oluşturulan modelden elde edilen veriler birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Kesme hızının 35m/dak olduğu durum hariç tüm grafiklerde ilerleme değeri arttıkça kesme kuvveti de artış eğilimi göstermiştir. Ancak kesme kuvvetinin 35m/dak olduğu deneyler için ilerleme oranı arttıkça kesme kuvveti azalmıştır. Aynı şekilde oluşturulan modelde de buna benzer bir sonuç ortaya çıkmaktadır.

Yine aynı durumlarda aşağıdaki Şekil 4.40.'ta 300°C ön ısıtma işlemine tabi tutulan kesme deneyleri sırasında elde edilen veriler ile modellemeden elde edilen veriler kıyaslanmıştır.

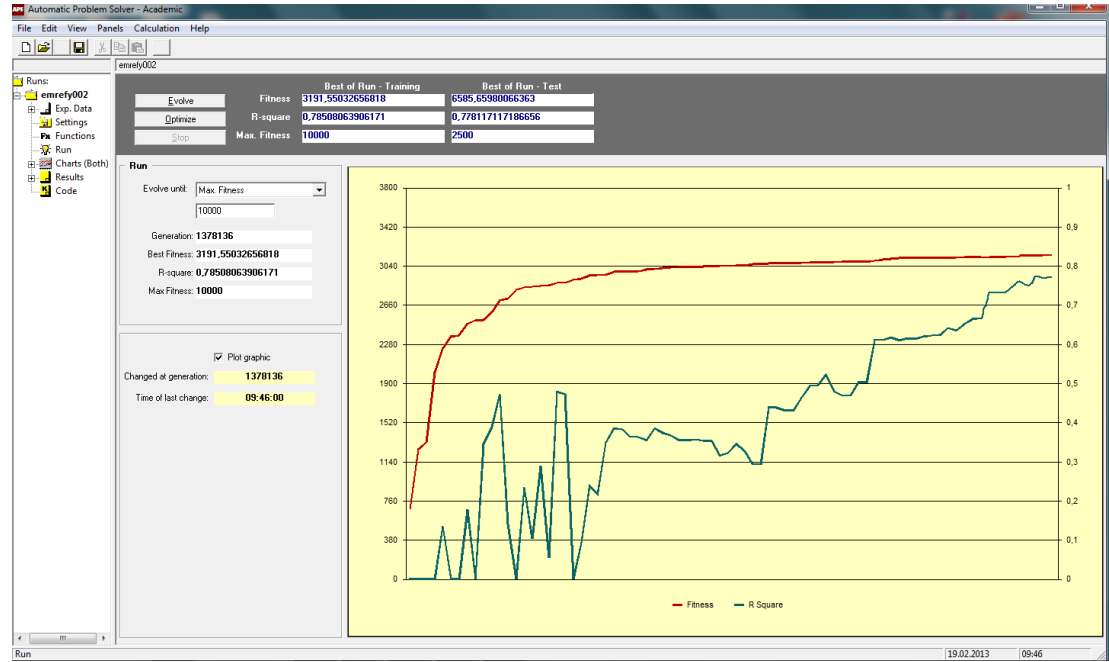
Kıyaslamalar neticesinde kurulan model ile gerçek deney verilerinden elde edilen veriler birbirlerine çok yakın tespit edilmişlerdir. Kesme hızının 40m/dak olduğu durumda ilerleme oranının artması ile birlikte kesme kuvvetinde bir düşüş görülmektedir. Bu durum kurulan model içinde geçerlidir. Diğer kesme hızı değerlerinde ise ilerleme oranının artması ile kesme kuvvetinde de artışlar görülmektedir.



Şekil 4.40. 300°C 'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması (F_{xort})

$F_{x_{ort}}$ için yapılan çalışmaların aynıları $F_{y_{ort}}$ için de yapılmıştır.

Kesme sırasında oluşan $F_{y_{ort}}$ kesme kuvvetini modellerken, yine deney verileri 50 kromozomabölünerek 0,04 mutasyon işlemine tabi tutulmuş, 1378136 iterasyon sonucunda $R^2 = 0,78$ 'lik doğruluk değerine ulaşılmıştır (Şekil 4.41.).



Şekil 4.41. Yapılan deneylerin $F_{y_{ort}}$ için kurulan evrimsel programlama modeli grafiği

Kurulan ve %78'lik doğruluk payı elde edilen modelin kodu aşağıda verilmiştir.

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

Dim dblTemp As Double

dblTemp = 0

dblTemp = dblTemp + (((Cos(V_c) + f) * (F + F)) + ((F + F) - Sqr(T)))

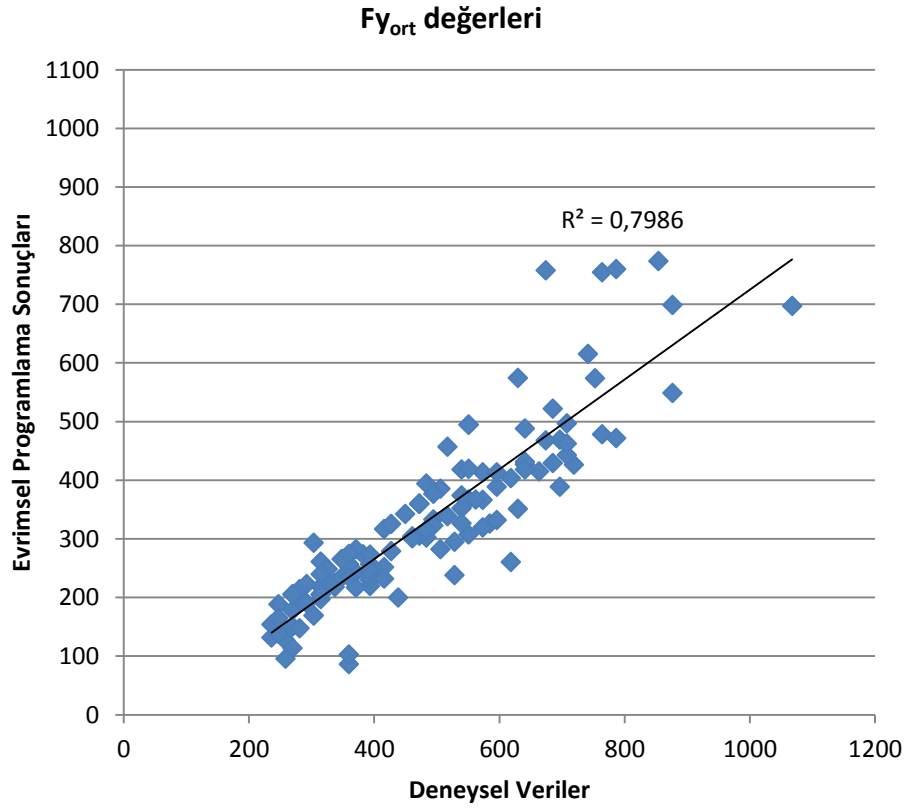
dblTemp = dblTemp + ((Int(F)) / (Log(Sqr(((Log(V_c) / Log(10)) - 1 / (V_c))))))

dblTemp = dblTemp + ((F) / ((f + Log(Sin((Log(V_c - f) / Log(10)))))))

APSfunction = dblTemp

End Function

Bu kod yardımı ile ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız işlemlerde, karbür kesici uçlarla yapılan deneylerden elde edilecek $F_{y_{ort}}$ değerlerini, %78 oranında tahmin edilebilmektedir. Aşağıdaki grafikte de (Şekil 4.42.) deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen veriler ile kurulan model sonunda elde edilen $F_{y_{ort}}$ değerleri kıyaslaması yapılmıştır.



Şekil 4.42. $F_{y_{ort}}$ için deneysel verilerin evrimsel modelleme verileri ile karşılaştırılması

$F_{y_{ort}}$ değerinin tahmini için program tarafından oluşturulan visual basic kodunun matematiksel olarak ifadesi;

$$F_{y_{ort}} = (\cos(Vc + f) + (2F - T^2)) + \frac{\ln(F)}{\log(\log(Vc))^2 - \frac{1}{Vc}} + \frac{F}{f + \log(\sin(\log(Vc - f)))} \quad (4.3.)$$

şeklindedir.

Burada,

$F_{y_{ort}}$ = y eksenindeki ortalama kesme kuvveti

V_c = Kesme Hızı (m/dak)

f = İlerleme Hızı (mm/diş)

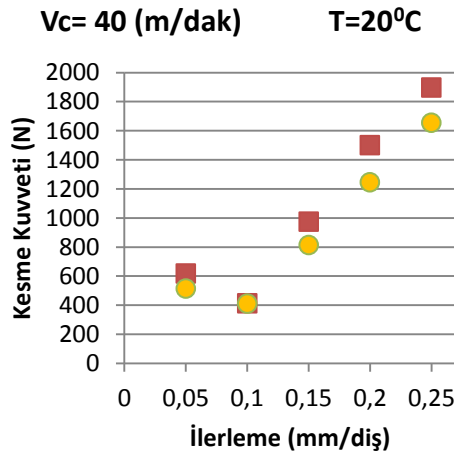
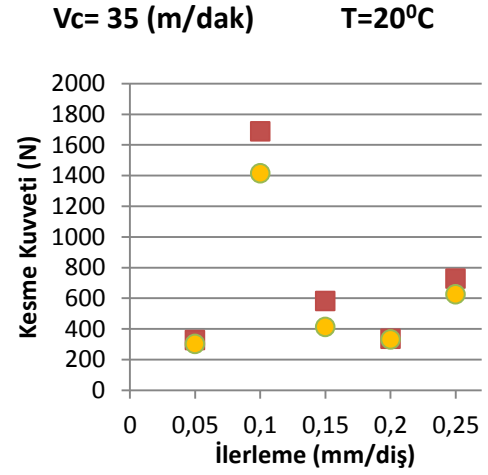
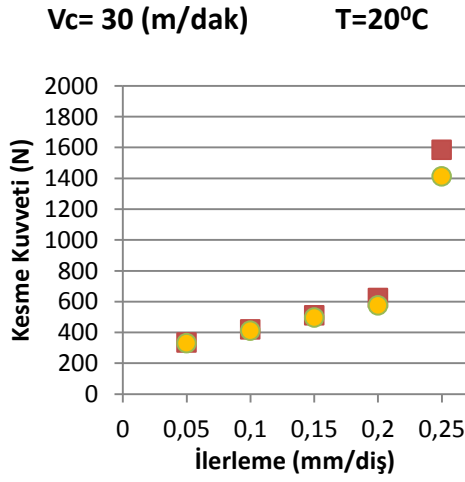
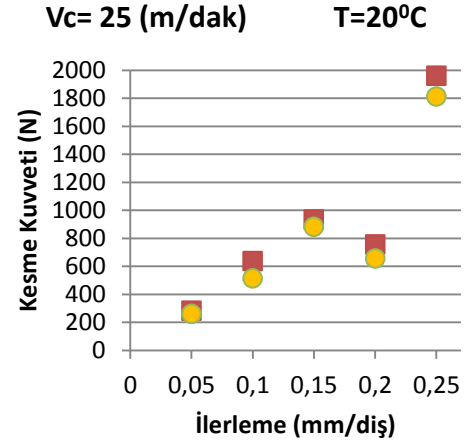
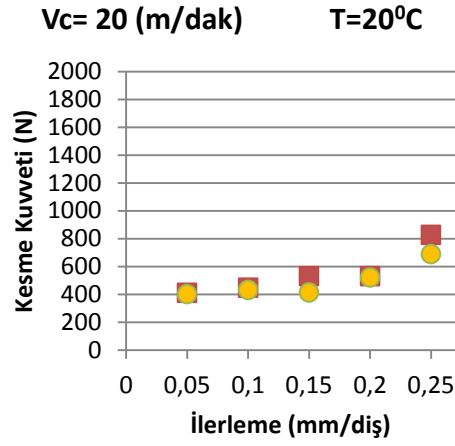
F = Tabla ilerleme hızı (m/dak)

T = Ön ısıtma sıcaklığı değerlerini ifade etmektedir.

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak kesme anında oluşan $F_{y_{ort}}$ değerleri hesaplanmış ve deneysel olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 4.49. ve 4.50.).

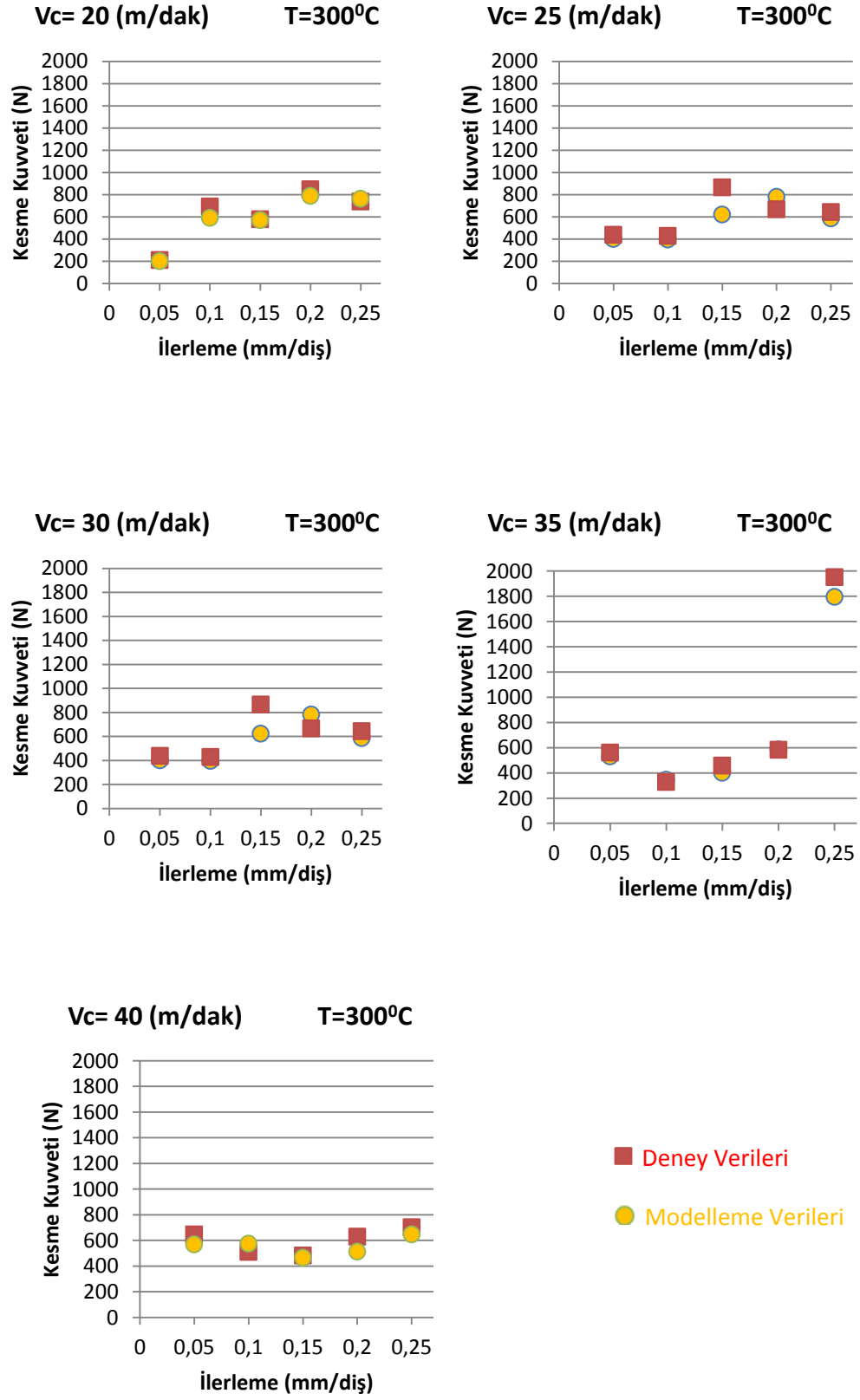
Şekil 4.43’de 20°C de, kesme hızının 35m/dak olduğu durum hariç tüm gerçek deneylerde ve oluşturulan model sonunda elde edilen verilere göre ilerleme değeri arttıkça kesme kuvveti değerleri de artmaktadır. Kesme hızının 35m/dak olduğu durumda ise ilerleme oranı arttıkça kesme kuvvetinde azalmalar görülmektedir. Oluşturulan model için de bu durumu söylemek mümkündür.

Şekil 4.44’te ise 300°C’ de yapılan deneyler ve oluşturulan model neticesinde y ekseninde alınan kesme kuvvetlerinin ilerleme oranı ile değişimi görülmektedir. Grafiklerden anlaşıldığı üzere gerçek deney verileri ile kurulan modelden elde edilen verilen birbirlerine yakınlık göstermektedirler.



■ Deney Verileri
● Modelleme Verileri

Şekil 4.43. 20°C’de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması (F_{yort})



Şekil 4.44. 300°C 'de elde edilen deneysel veriler ile evrimsel modelleme sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması (F_{yort})

5. SONUÇLAR

Çalışmanın sonunda, ön ısıtmanın Ti4Al6V alaşım işlemeye (frezeleme) etkisi ortaya konulmuştur. Ön ısıtmalı işleme ile ön ısıtmasız işleme kıyaslaması yapılmıştır. Ti4Al6V alaşımının ön ısıtma neticesinde takım ömründeki, işlenebilirliğindeki, işlem sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğündeki değişiklikler değerlendirilmiştir. Gerçek deney sonuçları ile evrimsel programlama yöntemi kullanılarak model oluşturulmuş, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmini için program kodu geliştirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Ön ısıtma ile işleme yapılırken, uzun takım ömrü için en uygun sıcaklıklarda çalışılmalıdır. Literatürde yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda takım ömrü uzamış, yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda takım ömrü azalmıştır (Chang vd. 2007, Maity vd. 2008). Ön ısıtma sıcaklığı çok düşük olursa kesici takım ömründe ve kesme kuvvetlerinde istenen iyileştirmeler gerçekleşmemektedir. Ön ısıtma sıcaklığı çok yüksek olursa da takım ömrü azalmakta, kesici takım erken aşınmaktadır.
- Ön ısıtma işlemi ile elde edilen iyileştirmeler neticesinde, oda sıcaklığında yapılan işlemeye göre ön ısıtma ile yapılan deneylerde işleme zamanı açısından %30'lara yakın avantaj sağlanmıştır. Özler vd. 2001 yılında yaptıkları çalışmada yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde deneylerini yapmışlar, zaman ve işleme maliyeti açısından iyi sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Kesici takım maliyeti açısından ise ön ısıtmasız işleme ile bir kesici takım 500sn sonra aşınmış, ön ısıtma uygulaması ile bu süre 630sn'lere kadar çıkmıştır. Bu da %35'lik bir kazanım ortaya koymaktadır. Ancak ön ısıtma maliyetinin işin içine katılması neticesinde bu kazanım %30'lardadır. (Chang vd. 2007) lazer ile ön ısıtmalı işleme yaptıkları çalışmalarında yaklaşık %50 oranında bir kazanım sağladıklarını ifade etmişlerdir.

- Kesme kuvvetlerinin incelenmesi neticesinde, ön ısıtma işleminin iş parçasına uygulanması ile kesme kuvvetlerinde %7-16 aralığında azalmaların gözlemlendiği, özellikle 400°C ön ısıtma değerinde en düşük kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Literatürde Chang vd. yaptığı çalışmada düşük ön ısıtma sıcaklıklarında kesme kuvvetlerinde herhangi bir değişikliğin olmadığı, ön ısıtma sıcaklığının artırılması ile kesme kuvvetlerinde azalmaların olduğunu tespit etmişlerdir.
- Bunun yanında 400°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ön ısıtmanın, kesici takım ömrü ve kesme kuvvetlerinin azalması gibi konularda çok da fayda sağlamadığı kanaatine varılmıştır. Maity, 2008 çalışmasında ön ısıtma sıcaklığının malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklığının altında olması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada kullanılan iş parçası Ti4Al6V'un yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık 370°C'dir.
- Literatür incelendiğinde, iş malzemesinin, sıcaklığı emmesi ve bünyesinde tutmasından dolayı yüksek sıcaklıklarda malzeme sünmekte, işlem sırasında kesmelerin zorlaştığı bilinmektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda talaşa kopma olmadığından, kesme sırasında kesici takım ile iş parçası arasına giren talaş, yüzeyi çizmekte ve pürüzlülüğü artırmaktadır. Sun, Yongho, Chang ve Yang'ın yaptığı çalışmalardan ön ısıtma sıcaklığının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmaktadır sonucuna ulaşmışlardır.
- Aynı zamanda frezeleme işleminde kesmenin sürekli olmamasından dolayı kesici ucun kaplamasında ve kendisinde kırılmalar gözlenmiştir. Bu kırılmalar iş parçası yüzey pürüzlülüğüne de olumsuz yönde etki etmiştir. Yapılan deneyler neticesinde, ön ısıtmanın olmadığı durumda, kesme hızı 30m/dak, ilerleme oranı 0,15mm/diş olduğu ve ön ısıtma sıcaklığının 300°C olduğu durumda kesme hızı 25m/dak, ilerleme oranı 0,05mm/diş iken en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri (0,21µm) elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerine (0,78µm), 500°C'de kesme hızı 20m/dak, ilerleme oranı 0,2mm/diş ve kesme hızı 40m/dak,

ilerleme oranı 0,25mm/diş olan deneylerde ulaşılmıştır. Bu sonuçlar ışığında ön ısıtma sıcaklığının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin çok fazla olmadığı anlaşılmıştır. Ding vd. (2010) yaptıkları çalışmada farklı kesme hızı ve ilerleme oranlarında yapılan deneyler neticesinde yüzey pürüzlülük değerlerinde fazla değişme olmadığı, belli sıcaklığa kadar düşüşler gözlemişler daha sonra değerlerin sabit kaldığını ortaya koymuşlardır. Literatürdeki bir başka çalışmada ise, 850°C'ye kadar ön ısıtma yapılan deneyde, frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüş, ön ısıtmasız işlemeye göre 2,5 kat daha iyileşmenin olduğu belirtilmiştir (Chang vd. 2007).

- TEM ile yapılan incelemeler neticesinde, kesici uçların çoğunda aşınma tespit edilmemiştir. Ön ısıtma işlemi ile takım ömrü %35 oranında uzatılmıştır. İş parçasının yumuşak olması takım ömrünün uzun olmasına neden olmaktadır. Ancak uzun süreli kesme işlemi sonunda kesici uçlar aşınmıştır. Aynı zamanda iş parçasının ön ısıtmaya tabi tutulmasının takım ömrüne etkisi incelenmiştir. Ön ısıtmasız kesme sırasında aynı parametrelerde kesici uç 496 saniye sonra aşınmıştır. Ön ısıtma sıcaklığı 100°C iken kesici takım ömrü 512sn olarak tespit edilmiştir. Ön ısıtma sıcaklığı 200°C'ye ulaştığında ise takım ömrü değeri 571sn olarak ölçülmüştür. 300°C ön ısıtmaya tabi tutulan deney sırasında ise kesici uç 627 sn dayanabilmiştir. Ön ısıtma sıcaklığı 400°C çıkarıldığında ise kesici takım ömrü 583sn olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıktan sonra ön ısıtma sıcaklığı arttıkça takım ömründe azalmalar görülmektedir. Ön ısıtma sıcaklığı 500°C olduğu durumda ise 467 sn olan takım ömrü, ön ısıtma sıcaklığı 600°C olduğunda ise 391 saniyeye gerilemektedir. Buradan çıkarılan sonuç ise ön ısıtma sıcaklığının 300-400°C aralığında daha iyi neticeler verdiği, bu sıcaklıklardan sonra ise takım ömrünün negatif etkilendiği söylenebilir. Goudhaman vd'nin 2007 de yaptığı çalışmalar neticesinde çelik malzemeler için ön ısıtma sıcaklığının 400-600°C'ler arasında en iyi takım aşınması ve yüzey pürüzlülük sonuçları elde etmişlerdir.

- Evrimsel programlamada türetilen matematiksel ifadelerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri %79 oranında doğruluk payı ile tahmin edilmiştir. Aynı şekilde $F_{x_{ort}}$ kesme kuvveti %74, $F_{y_{ort}}$ 'da %78 doğruluk oranlarında ile tahmin edilmişlerdir. Bu doğruluk oranlarına göre elde edilen formüller sayesinde yüzey pürüzlülüğü ve $F_{x_{ort}}$, $F_{y_{ort}}$ kesme kuvvetleri tahmin yapılabilmektedir. Genel olarak, oluşturulan formüller ile kesme öncesi hangi işleme parametreleri ile hangi ön ısıtma sıcaklıklarında hangi değerler elde edileceği bilinebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Alınca, A., 2012. İndüksiyon İle Kompozit Malzemelerin Isıtılmalarının İncelenmesi. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 72s, İstanbul.
- Amin 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 (Vcm). Asme, 674-680.
- Anderson M., Patwa, R., Shin, Y. C., 2006 .I Laser-Assisted Machining Of Inconel 718 With An Economic Analysis. International Journal Of Machine Tools And Manufacture 1879-1891.
- Armitage, K., A/Prof.S. Masood, A/Prof. M. Brandt, C. Pomat, 2002. Laser Assisted Machining Of Hard- To-Wear Materials. Industrial Research Institute Swinburne, Swinburne University Of Technology.
- Ateş, S., Er, A.O., Aslan, E., Camuşcu, N., 2006. Sertleştirilmiş P20 Kalıp Çeliğinin Kübik Bor Nitrür Kesici Takımlarla Yüksek Hızlarda Frezelenmesi, 12th International Congress of Mechanical Design and Manufacturing, Kusadasi.
- Brecher C., Emonts M., Rosen C.-J., Hermani J.-P., 2011. Laser-Assisted Milling Of Advanced Materials. Physics Procedia 12, 599-606.
- Candida, F., 2002. Analyzing The Founder Effect In Simulated Evolutionary Processes Using Gene Expression Programming. Soft Computing Systems: Design, Management And Applications, 153-162.
- Chang, W., Kuo, C.P., 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, W., Kuo C.P., 2007. An Investigation Of Laser-Assisted Machining Of Al₂O₃ Ceramics Planing. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 452-461.
- Chung –Chen, T., Hong, H., 2002. Comparison Of The Tol Life Of Tungsten Carbides Coated By Multi-Layer Ticn And Tialcn For End Mill Using The Taguchi Method. Journal Of Material Processing Technology, 1-4.
- Calatoru, V.D., Balazinski, M., Mayer, J.R.R., Paris, H., Esperance, G.L., 2008. Diffusion Wear Mechanism During High-Speed Machining of 7475-T7351 Aluminum Alloy With Carbide End Mills.
- Chryssolouris, G., Anifantis, N., Karagiannis, S., 1997. Laser Assisted Machining: An Overview., Journal Of Manufacturing Science And Engineerin. Asme, 766-769.

- Çakır, M.C., 2000. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri.
- Çaydaş, U., 2002. WEDM Yönteminde İşlem Parametrelerinin Mikro Yapı Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Elazığ.
- Çetin, S., 2005. Bir Fazlı Bir İndüksiyon Isıtma Sistemi Analizi Ve Dizaynı, Pamukkale Üniversitesi. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, 165s, Denizli.
- Çolak, O., 2002. Yüksek Hızda Talaşlı İmalatta Kullanılan Tezgahların Genel Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri, 62.
- Çolak, O., 2006. Cnc Freze Tezgahı İçin Kesme Parametrelerinin Akıllı Yöntemlerle Elektronik Ortamda Optimizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, 291s, Isparta.
- Davim P. J. 2008. Machining: Fundamentals And Recent Advances.
- Davies, J., 1979. Induction Heating Handbook. Mcgraw- Hill Book Company.
- Dayık, M., 2005. Dokumada Çözümlü Gerginliği Değişiminin Optimizasyonu. Fen Bilimleri Enstitüsü, S.D.Ü., 220s, Isparta.
- 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.
- Donaldson, C., Lecain, G.H. And Goold, V.C., 1980. Tool Design. Mcgraw-Hill, 223–239.
- 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.
- Ensarioğlu C. Ve Çakır M.C., 2005. Titanyum Ve Alaşımlarının İşlenebilirlik Etüdü. Mühendis Ve Makine, 36-46.
- Ferreira, C., 2002. Mutation, Transposition, And Recombination. An Analysis Of The Evolutionary Dynamics. 4th International Workshop On Frontiers In Evolutionary Algorithms, 614-617.
- Ferreira, C., 2001. Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm For Solving Problems. Complex Systems, 87-129.

- 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, 523-526.
- Ginta T. L., A.K.M. Nurul Amin, Mohd Amri Lajis, A.N. Mustafizul Karim, H.C.D. Mohd Radzi, 2009. Improved Tool Life İn End Milling Ti-6Al-4V Through Workpiece Preheating. European Journal Of Scientific Research, 384-391.
- Ginta T. L., A.K.M. Nurul Amin, 2010. Machinability Improvement İn End Milling Titanium Alloy Tİ-6Al-4V. SEGİ Review, 25-33 .
- Goudhaman J., 2007. Experimental Investigation Of Hot Machining Prosses Of High Manganese Steel Using Snmg-Carbide Inserts By Design Of Experiments Using Taguchi Method. Department Of Mechanical Engineering National Institute Of Technology.
- Hamamcı E., Hamamcı B., M. Kayacan C., 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 CO₂ Laser. Journal Of Materials Processing Technology, 525-531.
- Inan S.U., Inan S.A., 1999. Engineering Electromagnetic. Addison Wesley.
- Iso 8688-1, 1989. Tool Life Testing İn Milling, Part 1: Face Milling. International Standard.
- Jawaid, A., Sharif, S., Koksai, S., 2000. Evaluation Of Wear Mechanisms Of Coated Carbide Tools When Face Milling Titanium Alloy. Journal Of Materials Processing Technology, 266-274.
- Jung J.W., Lee, C.M., 2009. Cutting Temperature And Laser Beam Temperature Effects On Cutting Tool Deformation İn Laser-Assisted Machining. Proceeding Of The International Multi Conference Of Engineers And Computer Scientists, 18-20.
- Kılıçay, K., 2012. AISI 1020 Çeliğinin Frezelenmesinde Katı Yağlayıcı Kullanımının Araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enst. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 111s, Eskişehir.
- Koçak, H., 2011. Ggg 90 Küresel Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Aşınması Açısından Değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Ankara.

- Kurt, A., 2006. Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri Ve Mekanik Gerilmelerin Deneyisel Olarak İncelenmesi Ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 266s, Ankara.
- 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., F. P. Incropera, 2001. Experimental Investigation Of Thermo-Mechanical Characteristics İn Laser-Assisted Machining Of Silicon Nitride Ceramics. Journal Of Manufacturing Science And Engineering, Asme, 639-646.
- Maity, K.P., P.K. Swain, 2008. An Experimental Investigation Of Hotmachining To Predict Tool Life. Journal Of Materials Processing Technology, 344-349.
- Navas, V.G., 2013. Mechanisms Involved İn The İmprovement Of Inconel 718 Machinability By Laser Assisted Machining (Lam). International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 19-28.
- Öncü, S., 2005. Bir Fazlı Yüksek Verimli Ev Tipi Bir İndüksiyon Isıtma Sistemi. Pamukkale Üniversitesi Fenbilimleri Enst. Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Denizli.
- Özcan, E., 2001. Cnc Tezgahlarda Kullanılan Kesici Takımlarda Takım Aşınmasının Kesme Performansına Dinamik Etkileri. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 168s, İstanbul.
- Özel, T., Pfefferkorn F., 2007. Pulsed Laser Assisted Micromilling For Die/Mold Manufacturing. International Manufacturing Science And Engineering Conference, Asme, 337-342.
- Özkan, S. S., 2000. Cnc Tezgahlarında Kesme Şartları Ve İşleme Kalitesi Arasındaki İlişkinin Analizi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 228s, İstanbul.
- Özler, L., İnan, A., Özel, C., 2001. Theoretical And Experimental Determination Of Tool Life İn Hot Machining Of Austenitic Manganese Steel. International Journal Of Machine Tools & Manufacture, 163-172.
- Pfefferkorn, F.E., Incropera, F.P., Shin, Y.C., 2005. Heat Transfer Model Of Semi-Transparent Ceramics Undergoing Laser-Assisted Machining. International Journal Of Heat And Mass Transfer, 1999- 2012.
- Pfefferkorn, F. E., Leib, S., Jeona, Y., Haddada, G.T, 2009. A Metric For Defining The Energy Efficiency Of Thermally Assisted Machining. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 357-365.

- 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.
- 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., Y.C. Shin, F.P. Incropera, 2004. Design Of Operating Conditions For Crackfree Laser- Assisted Machining Of Mullite. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 677- 694.
- Semiconductor, F., 2000. Induction Heating System Topology Review.
- Schneider, G., 2002. Cutting Tool Applications, Gmrs Associates, 243.
- Seco Kesici Takım Kataloğu, 2013.
- 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.
- Suresh, P.V.S., Rao, P.V., 2002. A Genetic Algorithmic Approach For Optimization Of Surface Roughness Prediction Model. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 675-680.
- Şahin, Y., 2003. Talaş Kaldırma Prensipleri 1., Gazi Kitabevi.
- Şeker, U., 1997. Tal 408 Takım Tasarımı Ders Notları., Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.
- 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, 1-9.
- Timet Metal Medikal, Kocaeli, www.timet.com.tr
- 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.
- Ünüvar A., Tosun E., 2012. Frezelemede Çok Amaçlı Genetik Algoritma Yaklaşımı İle Kesme Koşullarının Optimizasyonu. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 178-195.

- Wang, Y., Yang, L. J., Wang, N. J., 2002. An Investigation Of Laser-Assisted Machining Of Al₂O₃ Particle Reinforced Aluminum Matrix Composite. Journals Of Material Processing Technology, 268-272.
- Wang, Z.G., Wong, Y.S., Rahman, M., 2005. High-Speed Milling Of Titanium Alloys Using Binderless Cbn Tools. International Journal Of Machine Tools& Manufacture, 105-114.
- Witulski, A.F., 1995. Introduction To Modeling Of Transformers And Coupled Inductors. Ieee Transaction On Power Electronics, 349-357.
- 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. And Pfefferkorn F., 2008. Effect Of Laser Preheating The Workpiece On Micro End Milling Of Metals. Journal Of Manufacturing Science And Engineering, 1-9.
- Yürekli, Y., 2012. Frezeleme İşleminde Eş Yönlü Ve Ters Yönlü Talaş Kaldırmanın Cvd/Pvd Kaplanmış Sert Metal Uçların Ömrüne Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 111s, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre HAMAMCI

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1979

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : emrehamamci@sdu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Isparta Özel Altınbaşak Lisesi, 1997

Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Tesisat Öğretmenliği

Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi

Mesleki Deneyim

SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

2002-2013

Yayınlar

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 sunulacak 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

Uluslararası toplantıda sunularak tam metin olarak yayımlanan bildiri

ILKAZ Sinan., ÇELİK Abdurrahman, KAYACAN M. Cengiz, ÇOLAK Oğuz, BEKÇİ Ufuk, HAMACI, Emre., 2006, .Fuzzy Based Cutting Parameter Selection For Turning Machining. Prooceding of Fifteenth Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Network TAINN2006, pp:99-108, Muğla University Printing Office, 2006, ISBN: 975-7207-70-5

Ulusal kuruluşlarca desteklenen projede görev alma

1. Ti6Al4V ön ısıtmalı işlenmesi, SDU BAP, 2392-D01
2. Yenilikçi teknolojiler merkezi (DPT)
3. M.Lütfi Baydar, M.Cengiz KAYACAN, Hüseyin YORGANCIGİL, Remzi VAROL, Erdal EROĞLU, Ramazan KAYACAN, Arş.Gör. Ufuk BEKÇİ, Oğuz ÇOLAK, Fatih TAYLAN, Sinan İLKAZ, Mehmet Mahir SOFU, Emre HAMAMCI, Özlem SALMAN, Lazer sinterleme yöntemiyle metal tozundan hızlı prototipleme yapan cihaz tasarımı ve imalatı, DPT Projesi, 2005, proje no: 2003K121020/11