

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

77673

**ÖSTENİTİK MANGANLI ÇELİĞİN SICAK TALAŞLI
İŞLENMESİNDE KALEM ÖMRÜNÜN TEORİK VE
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Mak. Yük. Müh. Latif ÖZLER

77673

DOKTORA TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELAZIĞ
1998**

T.C. FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖSTENİTİK MANGANLI ÇELİĞİN SICAK TALAŞLI
İŞLENMESİNDE KALEM ÖMRÜNÜN TEORİK VE
DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Mak. Yük. Müh. Latif ÖZLER

DOKTORA TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez,Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri tarafından Oybirliği ile Başarılı
Olarak Değerlendirilmiştir.

İmza
Danışman:
Doç.Dr. Ali İNAN

İmza

İmza

ÖZET

Doktora Tezi

**ÖSTENİTİK MANGANLI ÇELİĞİN SICAK TALAŞLI İŞLENMESİNDE
KALEM ÖMRÜNÜN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Mak. Yük. Müh. Latif ÖZLER

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

1998, Sayfa:112

Nükleer ve uzay endüstrilerinde sıkça kullanılan yüksek çekme mukavemetli ve aşınmaya dirençli malzemeler, genellikle zor işlenebilmektedirler. Bunlardan biri de östenitik manganlı çeliklerdir. Bu tür yüksek çekme mukavemetli ve aşınmaya dirençli malzemeler ise ısıtılarak sıcak talaşlı olarak işlenmektedirler. Bu durum göz önüne alınarak bu araştırmada, östenitik manganlı çeliğin(%16.25 Mn'li) torna tezgahında işlenmesi için geleneksel talaşlı işleme ile sıcak talaşlı işleme deneyleri yapıldı.

Sıcak talaşlı işleme deneyleri için, iş parçasının ısıtılmasında alevle ısıtma metodu seçildi ve likit petrol gazı ile oksijen gazı karışımı kullanılarak iş parçası ısıtıldı. İş parçasının sıcaklığını kontrol altına alabilmek için elektronik bir devre kuruldu.

Bütün deneylerde M20 kalitesindeki torna kalemleri kullanılarak, farklı kesme şartları (22, 33, 46, 63 ve 75 m/dak.'lık kesme hızları , 0.05, 0.1, 0.2 ve 0.4 mm/dev 'lik ilerlemeler, 0.5 mm, 1.5 mm ve 2.5 mm paso derinlikleri ve 200 °C, 400 °C ve 600 °C ısıtma sıcaklıkları) altında deneyler yapıldı . Araştırmada her bir parametre değiştirilerek, ısıtma sıcaklığının, kesme hızının, ilerlemenin ve paso derinliğinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendi. Ayrıca geleneksel ve sıcak talaşlı işlemedeki takım ömürleri ve yüzey pürüzlülükleri birbirleri ile karşılaştırıldı.

Matematiksel modelin çıkarılmasında faktöriyel regresyon analiz metodu kullanıldı. Bunun için deneysel planlama yapılarak deneyler yapıldı ve regresyon analiz metodu yardımıyla takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü denklemleri belirlendi.

Anahtar Kelimeler:Sıcak talaşlı imalat, yüksek manganlı çeliklerin işlenmesi, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü

SUMMARY

PhD Thesis

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE TOOL LIFE USED IN HOT MACHINING OF AUSTENITIC MANGANESE STEEL

Mak Yük. Müh. Latif ÖZLER

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

1998, Page:112

The processing of materials with high resistance to wearing and tensile is a difficult task. These materials are generally used in nuclear and aerospace industries. One of these materials is austenitic manganese steel. Only way of processing these materials is the chip processing following heating. In the study, conventional chip processing and hot chip processing of austenitic manganese steel (%16.25 Mn) in the lathe were compared. The comparison was carried out in experimental processing.

For hot chip processing experiments, the materials are heated with flame was mixture of liquid petroleum and oxygen gas was used for the heating. An electronic circuit was established for the purpose of controlling the temperature of materials.

and 200, 400, and 600 °C heating temperatures). In the experiments, the influence of heating temperature, cutting speed, feed and depth of cut on the tool life and roughness of the surface were determined. Each parameter was tested separately. The tool lives and the roughnesses of surfaces in traditional and hot chip processing were compared to each other.

Factorial regression analysis was used in obtaining the mathematical model. For this purpose, following experimental planning, the experiments were carried out and with the help of the regression analysis method and equations for tool life and surface roughness were determined.

Key words: Hot machining, the machining austenitic manganese steels, tool wear, the surface roughness



TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında çalışmalarımı teşvik eden, her türlü yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmam hocam Sayın Doç. Dr. Ali İNAN 'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmada gerekli alet ve cihazların teminini ve laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Kazım PIHTILI'ya, tezle ilgili bilgi ve görüşlerinden faydalandığım hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKSOY' a, tezin hazırlanması sırasında bana yardımcı olan Uzman Nihat TOSUN' a ve Makina Mühendisliği atölye teknisyenlerine teşekkür ederim.

Projenin başarılı ve verimli olması açısından mali destek sağlayan başta sayın Rektörümüz Prof.Dr. G. Eyüp İSBİR ve FÜNAF (Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu) Müdürü Prof. Dr. Vedat TANYILDIZI bey olmak üzere, tüm FÜNAF çalışanlarına teşekkür ederim

Latif ÖZLER

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
SUMMARY.....	III
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XII
SİMGELER LİSTESİ.....	XV
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. GENEL BİLGİLER	11
3.1. Östenitik Manganlı Çeliklerin Tanıtılması	11
3.1.1. Östenitik Manganlı Çeliklerin Tipleri	11
3.1.2.Östenitik Manganlı Çeliklerin Isıl İşlemi	12
3.1.3. Alaşım Elementleri	14
3.1.4. Aşınmaya Karşı Direnci.....	15
3.1.5. Manganlı Çeliklerin İşlenmesi	16
3.1.6. Kullanılma Alanları	17
3.2. İş Parçasını Isıtma Metotları	17
3.2.1. Sürekli Isıtma Metotları	18
3.2.1.1. Fırında Isıtma	18
3.2.1.2. Elektrik Direnciyle Isıtma	19
3.2.2. Bölgesel Isıtma Metotları	19
3.2.2.1. Endüksiyonla Isıtma	19
3.2.2.2. Elektrik Arkı İle Isıtma	19
3.2.2.3. Gaz Yakıcılarla Isıtma	20
3.2.2.4. Elektrik Temas Direnciyle Isıtma	20
3.2.2.5. Sürtünme İle Isıtma	21
3.2.2.6. Radyasyonla Isıtma	21
3.2.2.7. Plazma Arkıyla Isıtma	21
3.3. Takım Aşınması ve Aşınmanın Ölçümü	21

3.3.1. Ana Serbest Yüzey Aşınması	22
3.3.2. Çentik Aşınması	23
3.3.3. Talaş Yüzeyi Aşınması	23
3.3.4. Yan Yüzey Aşınması	23
3.4. Takım Ömrü	25
3.4.1. Genişletilmiş Takım Ömrü Bağıntısı	28
3.4.2. Takım Ömrü Kıstasları	28
3.5. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü	28
4. DENEY YÖNTEMİ	35
4.1. Deneylerde Kullanılan Tezgah Cihaz ve Malzemelerin Özellikleri	35
4.1.1. Torna Tezgahı	35
4.1.2. Sıcaklık Ölçme Aleti	36
4.1.3. Sıcaklık Kontrol Cihazı	36
4.1.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçü Aleti	36
4.1.5. Gaz Debi Ölçer	36
4.1.6. Mikroskop	37
4.1.7. Selanoid Vana	37
4.1.8. Hamlaç	37
4.1.9. İş Parçası Malzemesi	37
4.1.10. Takım Malzemesi	38
4.1.11. Yakıcı Gaz	38
4.2. Deney Şartlarının Belirlenmesi	38
4.2.1. Kesme Hızı	39
4.2.2. İlerleme	39
4.2.3. Paso Derinliği	39
4.2.4. Isıtma Sıcaklığı	40
4.3. Deney Düzeneği ve Çalışma Prensibi	40
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	44
5.1. Aşınma-Zaman Deneyleri	45
5.2. Takım Ömrünün Belirlenmesi	66
5.3. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyleri	72
6. MATEMATİKSEL MODELİN ÇIKARILMASI	78

6.1. Regresyon Analiz ve Regresyon Metotları.....	79
6.1.1. Basit Regresyon	80
6.1.2. Regresyon Katsayılarının Elde Edilmesi	80
6.1.3. Çoklu Regresyon	82
6.1.4. Lineer Olmayan Regresyon	83
6.1.5. Polinom Regresyonu	84
6.2. Regresyon Metodu İçin Matris Formülasyonu	85
6.2.1. Önemlilik Testi	87
6.3. Faktöriyel Denemeler	88
6.3.1. 2 ⁿ Faktöriyel Denemeler	89
6.4. Takım Ömür Denklemi Bulunması	90
6.5. Yüzey Pürüzlülük Denkleminin Bulunması	93
6.6. Elde edilen Denklemlerin Önemlilik Testi (F _α testi)	98
6.6.1. Takım Ömrü Denklemin Önemlilik Testi	98
6.6.2. Yüzey Pürüzlülük Denkleminin Önemlilik Testi	102
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	108

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1: Manganlı çeliklerin karbon mangan ilişkisi	12
Şekil 3.2: Su verme sıcaklığına bağlı olarak sertlik ilişkisi.....	13
Şekil 3.3: Torna kalemlerindeki aşınma	24
Şekil 3.4: Ömür -kesme hızı ilişkisi	26
Şekil 3.5: Çeşitli iş parçası malzemesi için ömür -kesme hızı ilişkisi	27
Şekil 3.6: Aşınma-ömür-kesme hızı ilişkisi	27
Şekil 3.7: Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler	30
Şekil 3.8: Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi.....	31
Şekil 3.9: Yüzey kalitesini tayin eden faktörler	31
Şekil 3.10: Ra ile Rp arasındaki ilişki	32
Şekil 3.11: Yüzey pürüzlülüğü sembollerinin gösterilişi.....	33
Şekil 3.12: Yüzey izleri ve sembolleri	34
Şekil 4.1: Deney düzeneğinin görünüşü	41
Şekil 4.2: Hamlacın iş parçası üzerindeki konumu	42
Şekil 4.3: Deney setinin şematik görünüşü.....	43
Şekil 5.1: Yan yüzey aşınmasının metalografik mikroskopla görünüşü	47
Şekil 5.2: Kesici ağzının üstten görünüşü	48
Şekil 5.3: Oda sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	49
Şekil 5.4: $\theta=200$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	50
Şekil 5.5: $\theta=400$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	51
Şekil 5.6: $\theta=600$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	52
Şekil 5.7: $V=22$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	53
Şekil 5.8: $V=33$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	54

Şekil 5.9: $V=46$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	55
Şekil 5.10: $V=62$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	56
Şekil 5.11: $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	57
Şekil 5.12: $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma-zaman ilişkisi ($\theta=200$ °C , $S=0.2$ mm/dev)	58
Şekil 5.13: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($\theta=600$ °C , $S=0.2$ mm/dev)	59
Şekil 5.14: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($\theta=200$ °C , $d=2.5$ mm)	60
Şekil 5.15: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($\theta=600$ °C , $d=2.5$ mm)	61
Şekil 5.16: $V=22$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev)	62
Şekil 5.17: $V=22$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($S=0.4$ mm/dev)	63
Şekil 5.18: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev)	64
Şekil 5.19: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($S=0.4$ mm/dev)	65
Şekil 5.20: $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –kesme hızı ilişkisi ($S= 0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)	66
Şekil 5.21: $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –Sıcaklık ilişkisi ($S= 0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)	68
Şekil 5.22: $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –ilerleme ilişkisi ($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm).....	70
Şekil 5.23: $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –paso derinliği ilişkisi ($V=75$ m/dak, $S= 0.2$ mm/dev).....	71
Şekil 5.24: Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü	72

Şekil 5.25: Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ($S=0.2\text{ mm/dev}$, $t=0.1\text{ mm}$)	73
Şekil 5.26: Ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ($S=0.1\text{ mm/dev}$, $t=0.1\text{ mm}$).....	74
Şekil 5.27: Ortalama yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile değişimi ($V=75\text{ m/dak}$, $t=2.5\text{ mm}$).....	75
Şekil 5.28: Ortalama yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği ile değişimi ($V=75\text{ m/dak}$, $S=0.2\text{ mm/dev}$).....	76
Şekil 6.1: F dağılım eğrisi	88
Şekil 6.2: $V_B=0.3\text{ mm}$ için deneysel ve teorik takım ömrü-kesme hızı ilişkisi ($t=1.5\text{ mm}$, $S=0.1\text{ mm/dev}$)	100
Şekil 6.3: $V_B=0.3\text{ mm}$ için deneysel ve teorik takım ömrü-sıcaklık ilişkisi ($t=1.5\text{ mm}$, $S=0.1\text{ mm/dev}$)	100
Şekil 6.4: $V_B=0.3\text{ mm}$ için deneysel ve teorik takım ömrü-ilerleme ilişkisi ($V=75\text{ m/dak}$, $t=2.5\text{ mm}$).....	101
Şekil 6.5: $V_B=0.3\text{ mm}$ için deneysel ve teorik takım ömrü-paso derinliği ilişkisi ($V=75\text{ m/dak}$, $S=0.2\text{ mm/dev}$).....	101
Şekil 6.6: Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü ile kesme hızı ilişkisi ($V=75\text{ m/dak}$, $S=0.1\text{ mm/dev}$)	103
Şekil 6.7: Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü ile sıcaklık ilişkisi ($V=75\text{ m/dak}$, $S=0.1\text{ mm/dev}$)	103
Şekil 6.8: Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü ile paso derinliği ilişkisi ($V=75\text{ m/dak}$, $S=0.2\text{ mm/dev}$)	104
Şekil 6.9: Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme ilişkisi ($V=75\text{ m/dak}$, $t=2.5\text{ mm}$)	104

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1: Bazı östenitik manganlı çeliklerin mekanik özellikleri	14
Tablo 3.2: İş parçasını ısıtma metotlarını sınıflandırılması	18
Tablo 3.3: Takım aşınmasını belirleme metotları	26
Tablo 3.4: Yüzey işleme yöntemleri ve erişilebilecek yüzey pürüzlülüğü	33
Tablo 4.1: Torna tezgahının devir sayısı kademeleri	36
Tablo 4.2: Kaynak hamlaç uçlarının karakteristik özellikleri	37
Tablo 4.3: Deneylerde kullanılan manganlı çeliğin kimyasal bileşimi	38
Tablo 5.1: Oda sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma -zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S=0.1$ mm/dev)	49
Tablo 5.2: $\theta=200$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	50
Tablo 5.3: $\theta=400$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	51
Tablo 5.4: $\theta=600$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	52
Tablo 5.5: $V=22$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	53
Tablo 5.6: $V=33$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	54
Tablo 5.7: $V=46$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($d=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	55
Tablo 5.8: $V=62$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($d=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	56
Tablo 5.9: $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi ($d=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)	57
Tablo 5.10: $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma-zaman ilişkisi ($\theta=200$ °C ve $S=0.2$ mm/dev)	58
Tablo 5.11: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($\theta=600$ °C ve $S=0.2$ mm/dev)	59

Tablo 5.12: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($\theta=200$ °C ve $t=2.5$ mm)	60
Tablo 5.13: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($\theta=600$ °C ve $t=2.5$ mm)	61
Tablo 5.14: $V=22$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev)	62
Tablo 5.15: $V=22$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($S=0.4$ mm/dev)	63
Tablo 5.16: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev)	64
Tablo 5.17: $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma-zaman ilişkisi ($S=0.4$ mm/dev).....	65
Tablo 5.18: $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –kesme hızı ilişkisi ($S= 0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)	66
Tablo 5.19: $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –Sıcaklık ilişkisi ($S= 0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)	68
Tablo 5.20: $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –paso derinliği ilişkisi ($V=75$ m/dak, $S= 0.2$ mm/dev)	69
Tablo 5.21: $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –ilerleme ilişkisi ($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm)	71
Tablo 5.22: Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ($S=0.2$ mm/dev, $t=0.1$ mm)	73
Tablo 5.23: Ortalama yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile değişimi ($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm).....	75
Tablo 5.24: Ortalama yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği ile değişimi ($V=75$ m/dak, $S=0.2$ mm/dev)	76
Tablo 6.1: 2^4 faktöriyel dizaynda kullanılan bağımsız değişken ve seviyeleri	91
Tablo 6.2: Matematiksel modelde kullanılan 16 deneme ve elde edilen takım ömürleri	92
Tablo 6.3: Kesme şartları ile takım ömürlerinin logaritmaları	92
Tablo 6.4: Kesme şartları ile yüzey pürüzlülüklerinin logaritmaları	94

Tablo 6.5: Polinom regresyonunda kullanılan ortalama yüzey

pürüzlülüğü ve bağımsız değişkenler 97

Tablo 6.6: Deneysel dizaynda kullanılan deneysel takım ömürleri

ile teorik takım ömürlerinin karşılaştırılması99



SİMGELER LİSTESİ

		<u>Birim</u>
α :	Takım-ömür denklemindeki takım ömrü sabiti	-
θ :	İş parçasını ısıtma sıcaklığı	(°C)
λ :	Takım-ömür denklemindeki sıcaklık sabiti	-
γ :	Takım-ömür denklemindeki ilerleme sabiti	-
β :	Takım-ömür denklemindeki kesme hızı sabiti	-
φ :	Takım-ömür denklemindeki paso derinliği sabiti	-
$a_0, a_1, a_2, a_3 \dots a_n$:	Regresyon fonksiyonunun bilinmeyen katsayıları	-
e :	Deneysel hata	-
$F\alpha$:	F istatistik anlamlılık düzeyi	-
F :	F istatistik	-
K_t :	Krater derinliği	(mm)
L :	Eksenel kesme uzunluğu	(mm)
m :	Regresyon fonksiyonunun faktör sayısı	-
n :	Deney sayısı veya gözlem sayısı	-
R :	Korelasyon katsayısı	-
R_a :	Ortalama yüzey pürüzlülüğü	(μm)
R_p :	Maksimum yüzey pürüzlülüğü	(μm)
S :	İlerleme	(mm/dev)
S_e :	Hataların karelerinin toplamı	-
S_r :	Regresyon kareler toplamı	-
t :	Paso derinliği	(mm)
T :	Takım ömrü	(dak)
V :	Kesme hızı	(m/dak)
V_B :	Ana serbest yüzey aşınma genişliği	(mm)
$x_1, x_2, x_3 \dots x_n$:	Bağımsız değişkenler	-
$\bar{x}$:	Bağımsız değişkenlerin aritmetik ortalaması	-
y :	Regresyon fonksiyonunun bağımlı değişkenin gözlem değeri	-
$\bar{Y}$:	Bağımlı değişkenin aritmetik ortalaması	-
$z_1, z_2, z_3 \dots z_n$:	Regresyon fonksiyonunun bağımsız değişkenleri	-

1.GİRİŞ

Metallerin işlenebilme kabiliyeti talaşlı imalata uygulanabilme kabiliyetinin bir belirtisidir. Nükleer ve uzay endüstrilerinde yaygın kullanılan yüksek çekme mukavemetli ve aşınmaya dirençli malzemeler, genellikle zor işlenebilmektedirler. Zor işlenen malzemelerden biri de östenitik manganlı çeliklerdir. Bilindiği gibi bu tip malzemelerin talaşlı işlenebilmesi için, kesici malzemesinin iş parçası malzemesinden daha sert olmasını gerekir. Kesici takımı değiştirme ve bileme maliyetinin yüksek olması da, birçok farklı yöntemlerin kullanılmasına sebep olmaktadır. Kitagawa'ya göre (1988), (rölatif bakış açısı dikkate alındığında), kesici malzemesinin kalitesinin artırılması yerine, ilave yöntemlerle iş parçasını yumuşatarak işleme etkili bir yöntemdir. Sıcak talaşlı imalatla bu yöntemlerden biridir. Sıcak talaşlı imalatla malzemeyi kolay bir şekilde işleyebilmek için parçanın ya tümü ya da belli bir kısmı işlemeden hemen önce ısıtılır. Bu durumda, kesme sırasında meydana gelen soğuk şekil değiştirme sertleşmesi (pekleşme), tekrar kristalleşme sıcaklığında ısıtılması ile ortadan kaldırılarak yüksek manganlı çeliklerin işlenebilirliği kolaylaşır.

Sıcak talaşlı imalatla iki temel fonksiyon vardır. Bunlardan biri pahalı yöntemlerle imalat zorunluluğundan farklı olarak, malzemelerin talaşlı imalatını mümkün kılmak, diğeri ise malzemelerin işlenebilme ekonomikliliğini ve üretim hızını artırmaktır (Barrow,1966). Bu durumda malzemelerin talaşlı imalatını kolaylaştırmanın yanında daha uzun takım ömrü ve daha az güç sarfiyatı sebebiyle ekonomik bir imalat elde edilir.

Sıcak talaşlı olarak işlenen malzemeler alaşım miktarları ve özelliklerine göre dört ana grup altında toplanırlar(Chambers,1978). Bu malzemeler, kokil döküm (Ni ile sertleştirilmiş), sertliği 50 RC' den daha fazla olan çelikler, kobalt ve alaşımla yüzeyleri sertleştirilen çelikler ve soğuk işlemeyle sertleşen çeliklerdir(yüksek manganlı çelikler ve östenitik paslanmaz çelikler).

Malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini kolaylaştırmak için iş parçasını ısıtma metodu yeni bir metot değildir. 1941 yılında sıcak çelik kütükler Almanya'daki Krupp çelik fabrikalarında testere ile kesilmiştir. Sıcak talaşlı işleme ile ilgili araştırmalar daha sonraki yıllarda artmış ve günümüze kadar devam etmiştir.

İşlenecek metallerin ideal bir durumda ısıtılmasını sağlamak için kullanılacak olan ısıtma metodunun en iyi şekilde seçilmesi gerekir. Hatalı ısıtma metodunun seçimi, malzemede istenmeyen yapı değişikliklerine neden olabileceği gibi, maliyetin artmasına da sebep olabilir. Araştırmalarda iş parçasını ısıtmak için kullanılan bir çok metod vardır. Bu metodlardan literatürde en fazla olanları elektrik direnci ve plazma arkı yardımıyla iş parçasını ısıtma metodlarıdır. Bununla beraber son yıllarda farklı ısıtma metodları da kullanılarak sıcak talaşlı imalat çalışmaları yapılmıştır(Mukherji, 1973; Akasawa, 1978; Gratcos, 1993). Larin ve Martynow (1966), ısıtma metodlarını ayrıntılı bir şekilde ele almış, kullanılacak olan yöntemin üstünlük ve zayıflıklarını açıklamışlardır.

Talaşlı imalatla takım ömrü ve imalat maliyeti imalat özellikleri ve kesme şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle sıcak talaşlı işlemeyle ilgili çalışmalarda, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde araştırmalar yoğunlaşarak kesme şartlarının optimizasyonu yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, östenitik manganlı çeliğin(%16Mn) tornalamada sıcak talaşlı işlenmesi için literatürde rastlanılmayan likit petrol gazı alevi ile ısıtma metodu kullanarak takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmaktır. Çalışma sekiz bölümden ibarettir. İkinci bölümde sıcak talaşlı işleme ile ilgili literatür araştırmaları yapılmış ve yüksek manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi hakkında yapılan çalışmaların bir özeti sunulmuştur. Üçüncü bölümde, östenitik manganlı çelikler, iş parçasını ısıtma metodları, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölüm deney yöntemini içermektedir. Bu bölümde deneylerde kullanılan tezgah, cihaz ve malzemelerin özellikleri, deney şartlarının belirlenmesi ve deney düzeneğinin çalışma prensibi anlatılmıştır. Beşinci bölüm ise deneylerin yapılışı ve sonuçlarını içermektedir. Bu bölümde ilk olarak, belirlenen kesme şartları altında (kesme hızı, ilerleme, paso derinliği ve ısıtma sıcaklığı) aşınma-zaman deneyleri yapılmış ve daha sonra elde edilen sonuçlardan yararlanarak takım ömrü ile kesme hızı, ilerleme, paso derinliği ve ısıtma sıcaklığı arasındaki ilişki ayrı ayrı belirlenerek grafikler halinde sunulmuştur. Ayrıca her deney sonrası iş parçasının yüzey pürüzlülükleri ölçülerek, yüzey pürüzlülüğü ile kesme şartları arasındaki ilişki de tesbit edilmiştir. Altıncı bölümde faktöriyel regresyon analiz metodundan yararlanarak matematiksel modele uygun deneysel planlama yapılmış, takım ömrü

ile yüzey pürüzlülük denklemleri elde edilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirmesi ise yedinci bölümde yapılarak , araştırmadan elde edilen sonuçlar yüksek manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi ile ilgili olarak yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Aşınma veya hasardan dolayı meydana gelen takım değiştirme maliyeti, üretim yapılan fabrika ve atölyelerde önemli bir yere sahiptir. Kegg (1984) araştırmasında, takım hasarının imalat sistemlerinin maliyetinde % 6.8 'e varan bir artış meydana getirdiği ifade etmiştir. Dan ve Mahew(1990), imalat esnasında aşınmayı ölçme tekniklerini ele almış ve son yıllarda geliştirilmiş olan aşınma tekniklerini açıklamışlardır.

Malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini kolaylaştırmak için iş parçasını ısıtma metodu yeni bir metot değildir. 1941 yılında sıcak çelik kütükler Almanya'daki Krupp çelik fabrikalarında testere ile kesilmiş, daha sonraları iş parçasını indüksiyonla ısıtma metodu için bir patent çıkartılmıştır (U.S.Patent No: 2412797). 1949-1955 yılları arasında S816 alaşımı , inconel X, Timken 16-25-6 ve krom-nikel çeliği gibi malzemeler üzerine yapılan bir kaç sıcak talaşlı imalat araştırması mevcuttur (Tour ve Fletcher,1949). Bu araştırmacılar iş parçasını elektrik direnciyle ısıtmışlar, iş parçasının yüzey sıcaklığının artırılmasıyla birlikte, takım ömründe de büyük artışın olduğunu belirtmişlerdir. Krabacher ve Marchant(1951), optimum sıcaklık mevcudiyetinden bahsederek optimum sıcaklık haricinde kesicinin yumuşadığını ve kolay aşındığını, sıcaklığın artması ile malzemenin akma gerilmesinin ve soğuk şekil değiştirme sertleşmesinin azaldığını, kesme hızının artması ile birlikte takım ömrünün lineer olarak arttığını ifade etmişlerdir.

Sanayinin gelişmesi ile birlikte, yüksek mukavemetli ve aşınmaya karşı dirençli malzemelere talebin artması sonucunu ortaya çıkarmış ve sıcak talaşlı imalat üzerine yapılan araştırmalar da çoğalmıştır. Barrow (1966), yaptığı çalışmada En23 ve En26 malzemelerini elektrik direnciyle ısıtma metodunu kullanarak karbür kesicilerle işlemiş ve farklı ısıtma akımları kullanarak takım ömrünü , iş parçası sertliklerini , takım-talaş ara yüzey sıcaklıklarını ve kesme kuvvetlerini incelemiştir. Bu çalışmada belirli bir ısıtma akımına kadar kesici ömrünün arttığı (170 amp), daha sonra kesicinin ömrünün azaldığı grafiklerle gösterilmiştir. Çalışmada optimum bir kesme hızından bahsedilmiş(300 ft/dak) ve düşük kesme hızlarında takım ömrünün arttığı, yüksek hızlarda ise azaldığı gösterilmiştir. Isıtma akımı nedeniyle kesme bölgesine harcanan ısı miktarının takım-talaş ara yüzeyi ile kesme bölgesinin

direncine bağılı olduğu ifade edilmiştir. Düşük kesme hızlarında kesicinin talaş yüzeyi üzerindeki temas uzunluğunun küçülmesi nedeniyle takım ile talaş arasındaki temas direncinin küçüleceği ve ısının büyük bir miktarının takım talaş ara yüzeyine harcanacağı şeklinde açıklanmıştır. Ayrıca yüksek kesme hızlarında, yeterli zamanın olmaması nedeniyle kesme bölgesine iletilen ısı miktarının azalacağı belirtilmiştir.

Elektrik direnci yardımıyla sıcak talaşlı imalatla ilgili yapılan başka bir çalışmada ise En24 malzemesinin işlenmesidir (Chen ve Lo,1973). Araştırmacılar çalışmalarında P10,P20, P30,P40 tipi karbür kesiciler kullanarak değişik kesme hızları, ilerlemeler ve farklı ısıtma akımları ile ilgili deneyler yapmışlar, deneysel çalışmalarının sonucunda sıcak talaşlı imalattaki takım ömrünün geleneksel imalattaki takım ömrüne oranını grafikler halinde sunmuşlardır. Ayrıca araştırmacılar, En24 malzemesinin sıcak talaşlı işlenmesinde pozitif ve negatif talaş açılı kesiciler kullanmışlar ve sıcak talaşlı imalatla negatif talaş açılı kesicilerden daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Yapılan bu sıcak talaşlı imalatla, takım talaş açısına bağılı olarak en düşük veya en yüksek takım ömrünün elde edilmesinde optimum ısıtma akımı ve kesme hızı değerlerinden bahsedilmiştir. Sıcak talaşlı işlemenin geleneksel talaşlı imalata oranını en fazla etki yapan akımın iş parçası sertliğinden bağımsız olduğu ifade edilmiş ve optimum takım ömrünün elde edilmesinde kesici takımın sıcaklığının yükselmesi durumunda ısı iletkenlik ile aşınma direnci arasında bir denge gerekliliğinden söz edilmiştir.

Kaint ve Chaturvedi (1975); En24 malzemesi için yaptıkları bir çalışmada elektrik direnci ile ısıtma metodunu kullanarak takım-talaş ara yüzey sıcaklığını ele almış ve analizini yapmışlardır. Araştırmada takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ile kesme hızı arasındaki ilişki incelenmiş ve 26.4 m/dak. kesme hızı üzerindeki hızlarda takım-talaş ara yüzey sıcaklığının arttığı ifade edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla kesici ile iş parçası arasındaki elektrik direncinin arttığı ve takım-talaş temas uzunluğunun azaldığı belirtilmiştir.

En24 malzemesinin sıcak talaşlı işlenmesi ile ilgili yapılan başka bir çalışmada, iş parçası elektrik direnciyle ısıtılmış, değişik kesme hızları ve ısıtma akımları kullanılarak kesme hızı ile kalem aşınmasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır(Roghurom , vd.,1980). Sıcak talaşlı işlemenin geleneksel talaşlı

işlemeye göre verimini belirlemek için belirlenen kesme şartları altında ($V=24$ m/dak, 47m/dak, 84m/dak, 100m/dak) değişik ısıtma akımları kullanılarak ($I=0A$, 50A, 100A, 200A) deneyler yapılmış ve optimum ısıtma akımı araştırılmıştır. En24 malzemesinin elektrik direnciyle ısıtılarak işlenmesinde en yüksek sıcaklığın $I=100A$ de elde edildiği ifade edilmiştir.

Kitagawa ve Meakawa (1990), yaptığı çalışmada, plazma arkı ile ısıtma metodu kullanarak K10 tipi karbür kesicilerle alüminyum oksit, pirex, mulite, zirkon ve silikon nitrat gibi mühendislik seramikleri ve ateşe dayanıklı cam malzemeleri işlemişler ve kesme kuvvetleri ile yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Artan sıcaklıkla kesme kuvvetlerinin azaldığı, daha sonra kritik bir sıcaklıkta kesme kuvvetlerinin en yüksek seviyeye ulaştığını ve artan sıcaklıkla tekrar azaldığı açıklanmıştır. Araştırmada normal kesme kuvvetinin (F_n) teğetsel kesme kuvvetine(F_t) oranının birden büyük olması durumunda elde edilen talaşın kırılğan tip olduğu ve $F_n/F_t < 1$ olması durumunda ise elde edilen talaşın süreli tip olduğu ifade edilmiştir. $F_n/F_t=1$ olması durumunu ise geçiş bölgesi olarak tanımlanmıştır. Geçiş bölgesinde elde edilen talaşın farklı tipte olması sebebiyle en iyi yüzey elde edildiği, bununla beraber çok yüksek plazma akımlarında iş parçasına aşırı ısı girişi nedeniyle işlenen yüzeyde hasar meydana gelmesinden dolayı pürüzlülüğün arttığı belirtilmiştir.

Plazma arkı ile ısıtma metodu kullanılarak yapılan başka bir çalışmada ise paslanmaz çelik (sertliği 200 BHN olan SS410 çeliği) ve alaşımlı çelik (sertliği 290BHN olan 3,75 Cr ve 2,75 Mo 'lu çelik) malzemeler işlenmiştir(Madhavulo, 1994). Çalışmada $V=100$ m/dak kesme hızı ve $S=0.175$ mm/dev'lik ilerleme ile sinterlenmiş karbür kesiciler kullanılarak iş parçaları işlenmiş ve geleneksel ve sıcak talaşlı işlemedeki ayna gücü, farklı paso derinliklerine göre tesbit edilmiştir. Sıcak talaşlı işlemedeki ayna gücünün geleneksel talaşlı imalata göre daha az olduğu belirtilmiştir. Bu azalmanın paslanmaz çeliklerin işlenmesinde 1 mm paso derinliğinde işlemede % 16 olduğu , 5 mm paso derinliğinde işlemede ise %21 olduğu ifade edilmiştir. Alaşımlı çeliklerde ise 1 mm paso derinliğinde %4 iken, 5 mm paso derinliğinde %25'e düştüğü belirtilmiştir. Araştırma sonucunda ise, plazma ile sıcak talaşlı işlemedeki toplam enerji sarfiyatının geleneksel imalata göre çok fazla olduğu, fakat maliyet analizi yapıldığında, zaman enerji artış maliyetinin takım

maliyetinden daha küçük olduğu ve sıcak talaşlı işlemedeki enerji artışının önemsiz olduğu ifade edilmiştir.

Sıcak talaşlı imalat da takım ömrü ve kesme şartları ile ilgili yapılan araştırma sonuçlarının geleneksel talaşlı imalat sonuçlarından iyi olması, araştırmacıları değişik malzemeler ve farklı ısıtma metotları üzerinde yoğunlaştırmıştır. (Mukherjee ve Basu 1973), bu amaçla yaptıkları çalışmalarında Cr-Ni çeliğini oksii-asetilen aleviyle ısıtarak işlemişler ve iş parçasının yüzey sıcaklığını temtiliks'ler (iş parçasının sıcaklığını renk karşılaştırması ile belirlemek için kullanılan boya kalemi) ile ölçmüşlerdir. Çalışmalarında değişik kesme şartlarında takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü araştırılmış, regresyon analiz metodu yardımı ile takım ömrü denklemi ve yüzey pürüzlülük denklemi elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün artan sıcaklıkla ve kesme hızıyla azaldığı, bu azalmanın daha çok sıcaklığın artmasıyla olduğu ve ilerleme ile paso derinliğinin artması ile de yüzey pürüzlülüğünün arttığı ifade edilmiştir. Takım ömrünü en fazla kesme hızının , daha sonra da sırasıyla iş parçası sıcaklığı, ilerleme ve paso derinliğinin etkilediği belirtilmiştir. Belirlenen kesme şartlarında artan iş parçası sıcaklığı ile birlikte malzemenin yumuşayarak takım ömrünün arttığı açıklanmıştır.

Oksii-asetilen alevi kullanılarak sıcak talaşlı işleme ile ilgili yapılan başka bir çalışmada, karbon çeliklerinin işlenmesidir(Akasawa, 1987). Çalışmada %0.05C ve %0.17 C çelikler ısıtılarak işlenmiş ve iş parçası sıcaklıkları ısı çifti yardımıyla ölçmüşlerdir. Deneyler sinterlenmiş karbür (P10), TiN ve TiC kaplamalı karbür , seramik ve CBN tipi kesiciler olmak üzere dört değişik tipte kesicilerle yapılarak, $V=80$ m/dak kesme hızı, $S=0.2$ mm/dev ilerleme ve $t=2$ mm paso derinlikleri kullanılarak iş parçası işlenmiştir. Sıcak ve geleneksel talaşlı imalat deneylerinde, 1 mm'lik aşınma kriteri ($V_B=1$ mm) için en uzun takım ömrünün oksitli seramik kesicilerde elde edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca hava soğutmalı oksitli kesiciler de kullanılarak sıcak talaşlı işleme deneyleri yapılmış ve hava soğutmalı kesicilerin takım ömrünün bütün kesicilerden daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Manganlı çeliklerin oda sıcaklığında işlenmesinin çok zor olması ve talaşlı imalat esnasında kesici takımın çabuk aşınmasıyla yerine yenisinin değiştirilmesi neticesinde maliyetin artması, farklı imalat yöntemlerinin araştırılmasını

gerektirmiştir. Bu amaçla manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi ile ilgili yapılan birçok araştırma vardır. Molodstow (1968), östenitik manganlı çeliklerin geleneksel olarak işlenebilmesi için kesme şartlarının seçimi ile ilgili çalışma yapmış ve yüksek manganlı çeliklerin sinterlenmiş karbür kesicilerle işlenmesinde kesme şartlarının ve takım parametrelerinin belirli sınırlar içerisinde olması gerektiği belirtilmiştir. Bunlar; kesme hızı $V=12\sim65$ m/dak, ilerleme $S=0.1\sim1.1$ mm/dev ve paso derinliği $t=0.5\sim6$ mm olan kesme şartları ve yan serbest açısı $\alpha=9\sim27^\circ$, talaş açısı $\gamma=2\sim13^\circ$, eğim açısı $\lambda=4\sim20^\circ$ ve $r=0.5\sim5$ mm olan takım parametreleridir. Çalışmada takım-talaş arayüzey sıcaklığının hesaplanması için yukarıdaki kesme şartları dikkate alınarak bir ampirik formül sunulmuştur.

Larin (1970), östenitik manganlı çeliğin (G12) sıcak talaşlı işlenmesinde önceden ısıtılan iş parçasında takım-talaş ara yüzey sıcaklığından meydana gelen sıcaklık değişimi incelenmiş ve sıcaklık farkını veren ampirik bir formül sunulmuştur. Çalışmada farklı kesme hızları (15 m/dak, 20 m/dak, 30 m/dak ve 60 m/dak) ve sıcaklıklar (400 °C, 500 °C, 600 °C) dikkate alınarak, kesme hızları ve sıcaklıklar için deneysel sıcaklık farkları ile teorik sıcaklık farkları ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Ön ısıtma sıcaklığının artması ile takım-talaş ara yüzey sıcaklığının arttığı, ve bu artışın yavaş bir şekilde olduğu buna ilaveten kesme kuvvetinin de hızlı bir şekilde azaldığı ifade edilmiştir. Araştırmada 400 °C de ön ısıtma ve 15 m/dak kesme hızı ile işlenen iş parçasının takım-talaş ara yüzey sıcaklığının 800 °C ve 60 m/dak 'lık kesme hızında ise 910 °C olduğu belirtilirken, 400 °C'de ön ısıtma ve 15 m/dak kesme hızı ile işlenen iş parçasında takım-talaş ara yüzey sıcaklığının 830 °C ve 60 m/dak 'lık kesme hızında ise 880 °C olduğu gösterilmiştir. Araştırmanın sonucunda iş parçasını ön ısıtma olmaksızın işlemede takım-talaş ara yüzey sıcaklığının hızlı bir şekilde arttığı ifade edilerek, iş parçasında yapısal değişikliklerin ortadan kaldırılması için optimum bir ısıtma sıcaklığında iş parçasını ısıtmak gerektiği belirtilmiştir.

Moore (1979), yüksek manganlı çeliği (%12Mn) seramik kesiciler kullanarak plazma arkı ile ısıtarak işlemiştir. 130 A akım ve 17 l/dak argon gazı kullanılarak işlenen iş parçasında 80 dakikalık takım ömrü için optimum kesme hızı ve paso derinliği araştırılmıştır. Çalışmada geleneksel talaşlı işlemede, kesme hızının 16 m/dak, paso derinliğinin 2 mm ve ilerlemenin ise 0.5 mm/dev plazma ile işlemede ise

kesme hızının 60 m/dak, paso derinliğinin 4 mm ve ilerlemenin 0.8 mm/dev olduğu belirtilerek talaşlı işleme oranını 12 kat arttığı ifade edilmiştir.

Ünüvar (1984), çalışmasında %12.25 manganlı çeliği elektrik akımıyla ısıtarak işlenmesini incelemiş ve kesici ömrünü ve kesme kuvvetlerini araştırarak, faktöriyel regresyon analiz metodu kullanarak elde ettiği sonuçları değerlendirmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların optimizasyonu yapılmış ve belirlenen bir kesme şartında üretim maliyeti hesaplanmıştır. Araştırmada optimum takım ömrünün geleneksel talaşlı imalatla yaklaşık olarak 20 ile 30 m/dak. kesme hızı aralığında elde edildiği, sıcak talaşlı imalatla ise optimum takım ömrüne karşılık gelen kesme hızının yaklaşık olarak 70 ile 80 m/dak. hız aralığında olduğu belirtmiştir. Takım ömrünün ısıtma akımının artması ile arttığı ve yüksek akımlarda takım malzemesinin yumuşaması nedeniyle takım ömründe daha düşük değer elde edildiğinden bahsetmiş ve optimum ısıtma akımının yaklaşık olarak 100 ile 140 amper arasında olduğunu ifade etmiştir. Manganlı çeliklerin düşük elektrik direncine sahip olması nedeniyle ısıtma akımıyla birlikte iş parçasının kesme direncinin düşürülmesinin yanında, takım malzemesinin daha çabuk yumuşamasından dolayı kesicinin daha çabuk aşındığını belirtmiştir. Araştırmada manganlı çeliklerin işlenmesinde elektrik akımıyla ısıtma metodu yerine sadece malzemenin ısıtılmasını sağlayacak başka metotların kullanılması tavsiye etmiştir.

Kitagawa vd (1988) , % 2,25 Cr'lu kokil döküm ve %18 Mn'lı aşınmaya dirençli malzemeleri deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmada; ısıtma metodu olarak plazma ark tercih edilmiş ve çalışmada argon gazı kullanılarak takım ömrü ile kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne yer verilmiştir. Manganlı çeliklerin ısıtılarak işlenmesinde kesme kuvvetlerinin azaldığı, düşük kesme hızlarında serbest yüzey aşınmasının daha az olduğu, bunun I=100 A'lik ısıtma akımında en düşük seviyede görüldüğü ve artan sıcaklıkla (I=150A'den sonra) yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ifade edilmiştir. % 2,25 Cr'lu kokil dökümün sıcak talaşlı işlenmesinde ise toplam kesme maliyetinin %50 azaldığı ve ayrıca işlenen kokil dökümün sertliğinin HB350 olmasına rağmen bu malzemenin plazma arkı ile işlenmesinde K10 tipi kesicilerin kullanılmasının mümkün olduğu belirtilmiştir.

Altan ve Çakır (1990), çalışmalarında DIN 1.3401(% 12 Mn) çeliği kaplamasız sert metal kesici takımla işlemişlerdir. Araştırmada elektrik temas direnci ısıtma metodu ile negatif ve pozitif talaş açısına sahip K10 ve M20 tipi sert metal uçlar kullanılmış ve değişik kesme şartları altında ısıtma akımı ile kesici ömrü arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmalarında manganlı çeliğin oda sıcaklığında işlenmesinde negatif talaş açılı kesicilerin ömürlerinin daha fazla olduğu fakat sıcak talaşlı imalat da ise pozitif talaş açılı kesicilerin daha verimli olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca negatif talaş açılı kesicilerin yüksek manganlı çeliklerin işlenmesinde kullanışlı olmadıkları bildirilmiştir.

Altan (1990), çalışmasında yüksek manganlı çeliği (DIN 1.3401) K10 tipi kaplamasız kesici kullanarak değişik kesme şartlarında elektrik temas direnci ile ısıtarak işlemiş ve negatif ve pozitif talaş açılı kesicilerin iş parçasının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Araştırmada negatif talaş açılı kesicilerle işlemede elde edilen yüzey pürüzlülüğünün pozitif talaş açılı kesicilere göre daha az olduğu belirtilmiştir. Isıtma akımının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ifade edilerek, en düşük yüzey pürüzlülüğünün 160 A'lık ısıtma ve 45 m/dak kesme hızlarında elde edildiği belirtilmiştir.

Pal ve Basu (1971), %10 Mn'lı malzemeleri sıcak talaşlı olarak vargel tezgahında işlemişler ve sıcaklığın kesme parametreleri ile kesme kuvvetleri üzerine etkisini incelemişlerdir. İş parçaları 400°C, 500°C, 650°C ve 800°C de ısıtılarak işlenmiştir. Araştırmacılar artan sıcaklıkla birlikte takım ömrünün arttığını , bu artışın yaklaşık 650°C civarlarında olduğu ifade edilerek daha yüksek ısıtma sıcaklıklarında takım ömrünün düştüğü ifade edilmiştir. Ayrıca artan sıcaklıkla beraber kesme kuvvetlerinin de azaldığını belirtmişlerdir.

Malzemelerin sıcak talaşlı işlenmesinde yeni bir parametre olan sıcaklık; kesme hızı, ilerleme ve paso derinliği gibi kesme şartları üzerinde çok fazla etkilidir. Bu nedenle, sıcak talaşlı imalatla sıcaklığın tesiri geleneksel talaşlı işleme parametrelerinin üzerine konmalıdır. Mukherjee ve Basu (1973) vb, yapmış oldukları sıcak talaşlı imalat çalışmalarında, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü ile kesme şartları arasındaki ilişkiyi belirlemek için faktoriyel regresyon analiz tekniğini kullanmışlardır. Bu tekniğin takım ömrünün ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılmasında rahatça kullanılabileceğini göstermişlerdir.

3.GENEL BİLGİLER

3.1. Östenitik Manganlı Çeliklerin Tanıtılması

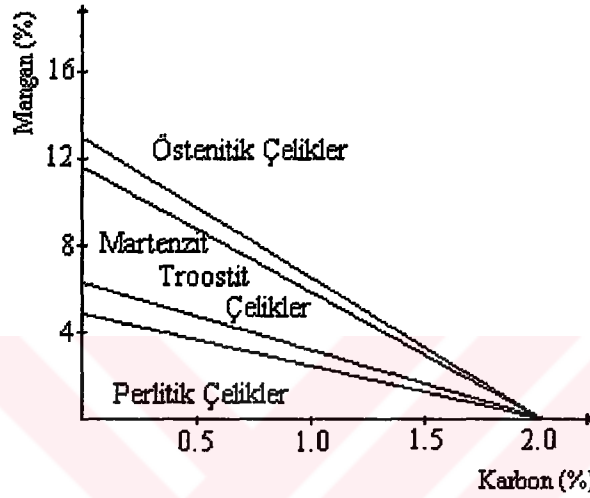
Birçok endüstriyel alanlarda kullanılan östenitik manganlı çelikler; yüksek mukavemete, yüksek sünekliliğe ve yüksek aşınma ve darbe direncine sahiptirler. Bu çeliklerin magnetik özellikleri yoktur. Üretim zorluğu nedeniyle çelik haddelerde üretimi pek istenmez. Düşük sade karbonlu ile su verilmiş ve temperlenmiş orta alaşımlı çeliklerden mukavemet özellikleri daha iyidir. Fakat onlardan toklukları daha fazladır. Bu toklukları çatlak ilerlemesine karşı bir direnç olarak ifade edilirler. Bu malzemeler, iş serleşmesi (pekleşme) özelliklerine sahip olması nedeniyle, çalışma esnasında aşınmaya karşı dirençlidirler.

Östenit , demirin γ katı erigidir. Östeniti oluşturan elementler; Ni dışında Mn, C, Co, Cu, ve N dir. Yüksek oranda (%10-18) manganız içeren ve döküldüğü zaman uygun soğuma şartlarında yapısı tamamıyla östenitik kalabilen çeliğe, kaşifi Sir Robert Hadfield adına izafen Hadfield çeliği denmektedir. Bu çeliğin en önemli özelliği mekanik tesirlerle yapısının ϵ - martenzite dönüşecek şekilde bir sertleşme kabiliyetinin olmasıdır. Tamamiyle östenitik bir yapının elde edilebilmesi için, yeteri miktarda manganız, nikel, krom, molibden içeriğinin yanında yüksek östenitleme sıcaklığında ve bulunabilecek maksimum miktarda karbonun eriyik içerisinde tutulması gerekir. Bu çeliklerin yüzeylerine soğuk işlemin uygulanması ile östenitin martenzite dönüşümü sağlanır ve bunun sonucunda yüzey sertliğinde büyük bir artış meydana gelir.

3.1.1. Östenitik Manganlı Çeliklerin Tipleri

Östenitik manganlı çelikler kararlı ve kararsız östenite sahip olmak üzere iki tiptir. Östeniti kararlı yapan bir elementin ilavesiyle kararsız östenit kararlı östenite dönüştürülebilir. Standart östenitik manganlı çelikleri normal olarak, %10-18 arasında mangan, % 1.0-1.4 arasında karbon, max. %0.1 fosfor, max. % 0.05 kükürt ve % 0.3-1.0 arasında silisyum içerir. Kimyasal bileşimi %1.25 C, %13 Mn, ve %0.5 Cr olan ve su verilmiş halde tamamen östenitik yapı gösteren Hadfield çeliğinin sertliği 220HB dir. Östenitik halde iken sertliği 600 HB değerine çıkar. %12-14 Mn ,16-18 Mn ve %1.2-1.4

C içeren çelikler, su verme tavlama sonrası tamamen östenitiktirler. Yapılan deneyler, az alaşımlı östenitin çalışma sırasında kırılmaya ve parçalanmaya meyli olduğu ortaya çıkmıştır (Norman, 1958). Sadece yüksek Cr ve C içeren metastabil tipli östenitler parçalanmadan çalışabilmektedirler. Östenitik manganlı çelikler yüksek ölçüde stabilize edilmiş çelik tipleridir. Östenitik oluşumunda manganez-karbon dengesi büyük önem taşımaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Manganlı çeliklerin karbon mangan ilişkisi (Turhan, 1994).

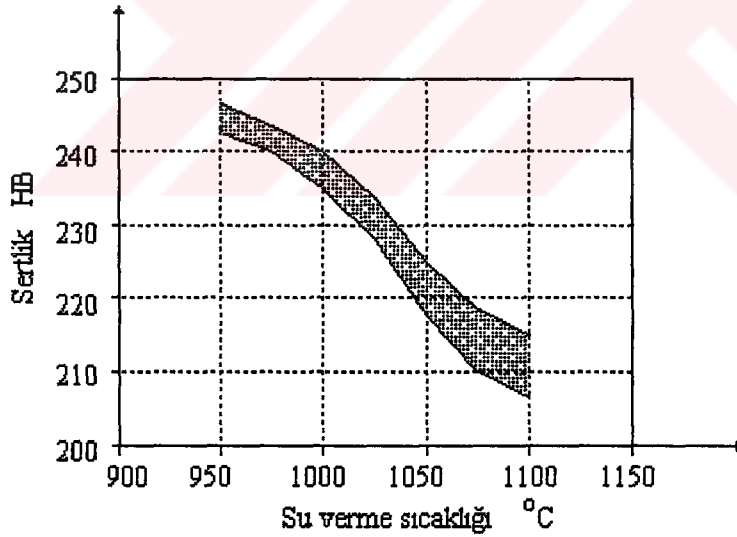
3.1.2.Östenitik Manganlı Çeliklerin Isıl İşlemi

Yalnız östenitik manganlı çelikler için uygulanan su verme tavlama, gerçekte bir homojenleştirme tavlama veya bazı hallerde yeniden kristalleşme tavlamasından meydana gelir. Östenitik çeliklerde yavaş yavaş soğuma veya ısıtma, karbürlerin çökmesine neden olur. Karbür çökme bölgeleri genel olarak tane sınırlarıdır. 18/8 türü östenitik paslanmaz çeliklerde böyle bir çökme olayı, tane sınırlarında krom azalmasını ifade eder. Bu ise çeliklerde, tane sınırlarının korozyona karşı direncini düşürür ve taneler arası korozyonun başlamasına neden olur.

Karbür çökmesi, çeliğin 500-800 °C sıcaklıkları arasında ısıtılması ile de oluşur. Genellikle döküm parçalar olarak kullanılan östenitik manganezli çeliklerin döküm sıcaklığından kalıp içerisinde soğumaları sırasında, çok aşırı karbür çökmesi olayı meydana gelir. Aşırı karbürü yapı düşük darbe mukavemeti özelliği sergiler.

Yukarıda açıklanan karbür çökelme işlemi , karbürün katı eriyik içerisine alınması ve daha sonra su verilmesi suretiyle (örneğin suda soğutmayla) önlenir. Bu işlem çeliğin östenitik homojenleştirme sağladığı sıcaklıkta (1000-1100 ° C) ısıtılması, yaklaşık 30 dakika süreyle bekletilip bunu takiben de çok hızlı soğutulması (su verilmesi) kademelerinden oluşur. Küçük parçalar için havada soğutma işlemi, çeliğe istenilen yapıyı vermeye yeterli olmaz. Östenitik manganlı çeliklerin su verme sıcaklıklarına bağlı olarak sertlik değişimi Şekil 3.2 de verilmiştir.

Östenitik manganlı çeliklerin en etkili ısısal işlemi, östenitleme (çökeltiliyi alma) ve hemen arkasından suda soğutmadır. Bu işlem normal çekme özelliklerini ve tokluğu sağlamasını hedefler. Yüksek manganlı çelikler de ne soğutma işlemi ne de ısıtma işlemi sırasında östenitik yapı tane küçülmesine neden olacak herhangi bir faza dönüşmez. Bu nedenle katı eriyik içine alma işlemi, dönüşüm olmadan bir miktar tane kabalaşmasını ortada bırakmaktadır. Ancak bu işlemin çeliğin tokluğuna herhangi bir kötü etkisi yoktur. Katı eriyik oluşturma işlemi, aksine östenitik manganlı çeliğin tokluğunu artırır.



Şekil 3.2. Su verme sıcaklığına bağlı olarak sertlik ilişkisi(Turhan,1994).

Soğuk işlenmiş östenitik çeliklere su verme tavlamaşı uygulandığında, yeniden kristalleşme olayı meydana gelir. Yeniden kristalleşme işlemi ile en düşük sertlik elde edilir. Eğer bu çelikler kritik şekil değiştirmeye (deformasyona) tabi tutulursalar, anormal tane büyümesi meydana gelir. Bu çelikler ısıtma işleminde doku dönüşümüne

uğramazlar ve bu nedenle hızlı soğutma ile sertleşmezler. Bazı östenitik manganlı çeliklerin ısıtıl işlem uygulandıktan sonraki mekanik özellikleri Tablo 3.1 de verilmiştir

Tablo 3.1. Bazı östenitik manganlı çeliklerin mekanik özellikleri(Turhan,1994).

	Dökülmüş	Dökülmüş ve ısıtıl işlemli	Dökülmüş, haddelenmiş ve ısıtıl işlemli
Kimyasal bileşimi			
C	1.11	1.0-1.4	1.1-1.4
(%) Mn	12.70	10-14	11-14
Si	0.54	0.2-1	0.2-0.6
Akma dayanımı (N / mm ²)	364	350-400	300-470
Çekme dayanımı (N / mm ²)	455	700-1000	900-1100
Uzama (%)	4.0	30-65	40-63
Kesit daralması	-	30-40	35-50
Sertlik (Brinell)	-	185-210	170-200
Darbe mukavemeti (Jul / cm ²)	-	122-300	-

Östenitik manganlı çeliklerin kum ve kokil kalıplara dökülmesiyle soğuma hızının farklı olmasından dolayı meydana gelen karbür çökmesi mekanik özelliklerinde farklılık meydana getirir. Kokil dökümlerde sertlik 190 ile 240 HB aralığında olmasına rağmen kum kalıba dökümlerde sertlik 280 ile 300 HB aralığında elde edilmektedir.

3.1.3. Alaşım Elementleri

Genellikle bu çeliklerde kullanılan karbon oranı %1.0 - 1.4 arasında değişir. Karbon oranı % 1.10 ile %1.25 arasında olan çelik türleri ısıtıl işlem sonucu, iyi aşınma direnci ve süneklik ile çatlamaya daha az meyilli bir yapı elde edilir. Genel olarak aşınmaya dirençli dökümler için çeliğin sünekliliğine zarar vermeden karbon içeriğinin yüksek seviyede tutulması gerekir. Yüksek karbon oranlı östenitik manganlı çelik dökümler, soğurken çatlamaya meyillerler. Bunun nedeninin büyük oranda karbürlerin tane sınırları veya kristallografik düzlemler boyunca levhalaşmalarından ileri gelen gevrekleşme ile bağlantılıdır. Krom ilavesi ise bu durumu artırıcı etki yapar. Diğer

tarafından molibden %1.5 den fazla miktarlarda mevcut olduğu zaman dendrit içinde erime sebebiyle oluşan küresel tipte bir karbür meydana gelir ve tane sınırlarında Fe_3C tipi karbürlerin oluşumunu minimuma iner. Krom bu tip çeliklerde akma sınırını artırmaya rağmen süneklik ve çekme mukavemetini düşürür. Buna karşılık kromsuz çeliklerde manganez miktarını azaltmakla süneklikte kayıp olmadan aşınma direncinde artışlar elde edilebilir.

Silisyum normal olarak östenitik manganlı çeliğe deoksidasyon amacıyla ilave edilir. Silisyumun %2 ' ye yakın değerlerde ilavesiyle akma dayanımında orta derecede bir artış sağlar. Ayrıca daha yüksek oranda silisyum içeriklerinin, ya karbür ya da perlit olarak çökeltirek östenitteki eriyiğin dışına çıkardığı tesbit edilmiştir. Burada artan silisyum içeriği, yapıdaki erimemiş karbürlerin miktarını artırır. İyi bir aşınma direnci istendiği zaman östenitte yüksek karbon ve yüksek olmayan silisyum oranının olması gerekir. Östenitik manganlı çeliklerde zararlı etkilerinden dolayı fosfor önemli bir alaşım elamanı olarak sayılmaktadır. Bu tip çelik dökümlerinde fosfor %10 civarında ilave edilir. %10'un üzerinde ilave edilen fosfor oda sıcaklığında sünekliği ve çekme dayanımını hızla düşürür.

3.1.4. Aşınmaya Karşı Direnci

Şiddetli darbe ve öğütme aşınmasına maruz uygulamalar için östenitik manganlı çelik en uygun olanıdır. Yüksek gerilmeli aşınma koşullarında karbonun karbürler halinde bulunmasından ziyade eriyik içinde bulunması arzu edilir. Bu tip çeliklerde en iyi aşınma direnci, manganezin minimum sınırlarda olduğu zaman elde edilmektedir. Bununla birlikte karbon, eriyik içinde tutulabilecek en yüksek düzeyde olmalıdır. Isıl işlem yapılmış %2 molibdenli manganez çeliği 665 saat , %2 kromlu manganez çeliği 448 ile 505 saatlik bir ömre sahiptir. %12 manganez ve %2 molibdenli bir östenitik manganlı çelik %40 daha fazla bir ömre sahiptir(Turhan,1994).

Ayrışma yoluyla sertleştirilen düşük alaşımlı bir östenitik manganez çeliğinde, iyi bir tokluk elde etmek için karbonun %1.3 mangan miktarından en azından %8 miktarına yükseltilmesi gerekir. Çelikte karbon içeriğinin artışı ile dayanım artmakta, fakat karbürlerin çökmesi sonucu plastiklik ve darbe dayanımı azalmaktadır. % 0.2 karbonlu çeliğin α martenzitinin sertleşmesinden kaynaklanan bir yüksek sertlik

ile darbe dayanımına ve dayanıklılığına sahip olduğu görülür. Çelikte karbon oranını artması ile daha zayıf ve daha plastik bir faz olan ϵ martenzit yapı görülür ve çeliğin yapısındaki α martenzitin azalması ile birlikte östenit miktarında artış olur. Bu durumda sertlikte azalmaya, plastik ve darbe dayanımında artmaya sebep olur. Karbon içeriğinin % 0.5 'e yükseltilmesi çelikte martenzitin oluşumuna neden olur ve çeliğin dayanımını artırır. Östenit ise deformasyon sertleşmesi kapasitesini belirler.

3.1.5. Manganlı Çeliklerin İşlenmesi

Manganlı çeliklerin toklukları çok yüksektir. Talaşlı işlemede takım malzemeye temas ettiği anda işlenen yüzey sertleşir. Bu tip malzemeler sinterlenmiş karbür kesiciler ve kobaltlı hız çelikleri ile işlenebilirler. Kesme işleminde soğutma sıvısı olarak kükürtlü kesme yağı ve düşük kesme hızları tercih edilirler. Kesici takım olarak M10-M20 tipi karbür kesiciler kullanılabilir. Manganlı çelik üreten dökümhaneler işleme operasyonlarını taşlama yapacak şekillerde teçhiz ederler. Bu çeliklerin frezeleme ile işlenmeleri pratik olarak pek tavsiye edilmezler. Talaşlı işleme 500-650 °C civarında tekrar ısıtma işlemi ile kolaylaştırılabilir(Turhan,1994). Tartaklama titreşimin ortadan kaldırılması için yeterince rijid takım tezgahı ve iş bağlama düzenekleri bulunmalıdır.

3.1.6. Kullanılma Alanları

Bu malzemeler yer altı çalışmalarında kullanılan teçhizatlardan öğütücü değirmen astarları gibi aşınmaya maruz kalan yerlerde dayanıklı alaşımlar olarak geniş ölçüde kullanılırlar. Bu sebeple yüksek derecede aşınma direnci, orta derece süneklilik veya mukavemetin arandığı yerlerde başarıya kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek manganlı çeliklerin dönüşmemiş östeniti daha az geçirgenlikle anti-magnetiktir. Magnet kapak plaklarında olduğu gibi magnetik özelliği olmayan bir metal kullanılmak istendiğinde bu alanda kullanılmalarına imkan tanır. Bu tip çeliklerin kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Maden işleme ve öğütme değirmenleri teçhizatlarında,
- Su pompaları millerinde,

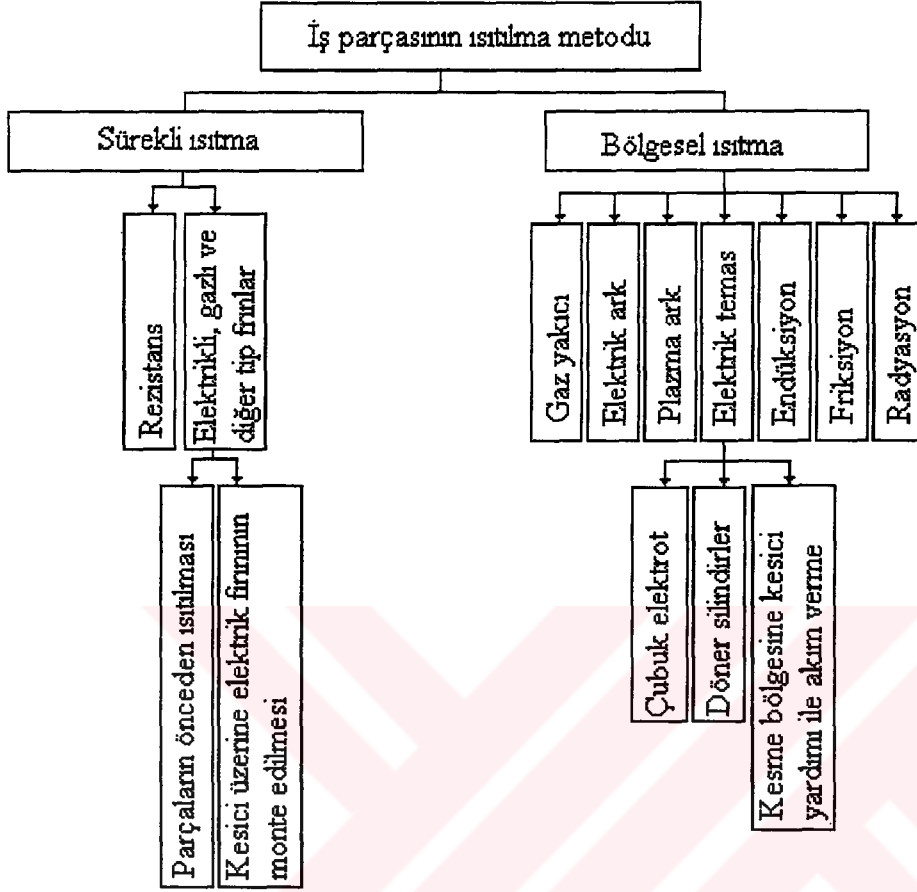
- Zincir ve dişlilerde,
- Piston pimlerinde,
- Supap ve kam millerinde,
- Piston segmanlarında,
- Traktör dingil millerinde ve greyder bıçaklarında
- Sarsıntılı eleklerde
- Değirmen astarlarında, bilyalarında ve ızgaralarında,
- Vida kılavuzlarında,
- Vites kutularında,
- Oto transmisyon, kam mili dişlilerinde,
- Yay makara imalatı vb. alanlarda,
- Petrol kuyusu arama tesisatlarında,
- Vagon, aşınma plakaları ve pabuçları gibi alanlarında,

3.2. İş Parçasını Isıtma Metodları

Yüksek mukavemetli ve aşınmaya dirençli malzemeleri kolay ve verimli bir şekilde işlemek için bir yöntemi pratikte kullanmadan önce, ihtiyaçların iyi bir şekilde belirlenmesi gerekir.

Metallerin ideal bir durumda ısıtılması, ancak yüksek sıcaklıklarda meydana gelecek yapısal değişikliklerden kaçınılan bir kesme bölgesi ile sınırlandırılması ile olur. Isı kaynağı kesme yüzeyinde hızlı ısıtmayı sağlayabilmesi için yüksek ısıtma kapasitesine sahip olması gerekir. Uygulanan sıcaklığın kontrolü ve ayarı önemli ihtiyaçlardandır. En iyi tesir, en yüksek işlem verimliliği ve kesicinin ömrünü maksimum yapan bir optimum sıcaklıkta yerini getirilir. Kullanılacak ısıtma tertibatı kolayca montaj edilebilmeli ve operatöre güvenli olmalıdır. Talaşlı imalatla malzemelerin ısıtılmasında kullanılan metodların detaylı sınıflandırılması Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. İş parçasının ısıtma metodlarını sınıflandırılması (Larin ve Martynow,1966).



3.2.1. Sürekli Isıtma Metodları

3.2.1.1. Fırında Isıtma

Bu metod ile ısıtılacak malzeme makina atölyesinde bulunan ya da tezgah üzerine monte edilen gaz veya elektrik fırınları yardımıyla ısıtılır. Fırında ısıtma işlemi basit ve kolay bir işlemdir. Fırında ısıtılan malzemelerin işlenmesi esnasında sıcaklıkta meydana gelen hızlı düşüş talaşlı imalatı kararsız bırakır. Isıtılan parçaların tezgaha taşınması zordur. Bu metodun avantajı basit ve ucuz olmasıdır. Malzemeye termal zarar verme nedeniyle endüstriyel uygulamalarda kullanımı dikkat gerektirir.

3.2.1.2. Elektrik Direnciyle Isıtma

Elektrik direnciyle ısıtma, sıcak talaşlı imalat tipleri içerisinde sürekli ısıtma metodları içerisinde karakterize edilir (Larin ve Martynov,1966). Bu metod da elektrik akımı bir teçhizat içerisinde montaj edilen ısıtma elemanlarından veya parçadan geçirilir. Özel elektrik ısıtıcıları kesme işlemi sırasında gerekli sıcaklığı sağlaması için kesici üzerine yerleştirilir. Bu metodun endüstriyel uygulamalarda kullanımı zordur.

3.2.2. Bölgesel Isıtma Metodları

İş parçasını en verimli ısıtma metodu bölgesel ısıtma metodudur. Bu metodlarla ısıtmada, sıcaklık iş parçasının işlenen kısmında sınırlandırıldığından dolayı enerji kaybı daha az olur.

3.2.2.1. Endüksiyonla Isıtma

Endüksiyonla ısıtma metodunda iş parçası üzerine sarılan bir primer sargı yardımıyla akım iş parçasına verilir. İndüklenen akım, malzemenin direncine ve geçirgenliğine bağlıdır. Endüksiyon akımıyla iş parçası yüzeyinde elde edilen sıcaklık kısa zamanda yüksek değerlere ulaşır. Bu metod da iş parçasının yüzey sıcaklığı 800-900 °C arasında olduğu zaman malzemenin yüzeyinden 20 mm derinlikteki sıcaklık 240-400 °C arasında olur. Bu metodla ısıtmada iş parçasının yapısı ve özelliği hemen hemen hiç değişmez. Isıtma derinliğinin ayarı ve sıcaklık kontrolü kolaydır. Bununla beraber pahalı elektrik donanımı ve yüksek enerji sarfiyatı gerekir. Ayrıca faturalı çapların tornalanması mümkün değildir ve delme ve frezeleme gibi işlemlerde kullanmak zordur.

3.2.2.2. Elektrik Arkı İle Isıtma

Karbon ya da erimez elektrotlarla iş parçasının hemen önünde bir ark meydana getirilerek ısıtma işlemi yapılır. Bu metodla ısıtmada hem alanda ve hem de derinlikte iyi ısı konsantrasyonu sağlanır. Endüksiyonla ısıtma metoduna göre donanım maliyeti

daha azdır. Düşük magnetik özelliğine sahip metallerin ısıtılması verimli bir şekilde yapılabilir. Bu methodla ısıtmada temas sıcaklığının korunması zahmetlidir. Ayrıca aşırı ısınmadan dolayı yüzeyin hasara uğrama tehlikesi vardır. Method olarak işletimini zorlaştıran ve donanım maliyetini artıran özel düzenekler(magnetik stabilazör vs.) gereklidir. Güçlü ark tutuşması dolayısıyla özel korunmaya ihtiyaç vardır.

3.2.2.3. Gaz Yakıcılarla Isıtma

Bu methodla ısıtmada iş parçası üstünde ve kesicinin hemen önünde hareket eden gaz yakıcılar kullanılır. Bu ısıtma işlemine en basit olarak oksi- asetilen alevi örnek verilebilir. Düzeneği basit ve kolaydır. Fazla yatırım masrafı gerektirmemesi bu methodu elverişli kılar. Bu methodla düşük elektrik geçirgenliğine sahip malzemeler verimli bir şekilde ısıtılabilir. İş parçasının ısıtılması için gerekli olan yüksek ısı girişi, çift gaz yakıcılar kullanmak suretiyle sağlanabilir. Dikkat edilmediği takdirde ısı sınırlaması zor olur ve alev iş parçasına direkt temasından dolayı yüzeyde bir hasar meydana getirebilir.

3.2.2.4. Elektrik Temas Direnciyle Isıtma

İş parçasının temas bölgesine elektrik akımı verilmek suretiyle bir ısı girişi sağlanır. Bu methodda temas direnci çubuk elektrotla, döner silindirler ya da kesici yardımı ile sağlanır. Temas direnci akımın karesiyle doğru orantılı olarak artar. Kesici yardımı ile ısıtmada akım kesiciden verilir ve kater altına yerleştirilen elektrottan geri döner. Bununla birlikte bu işlemde kesici ağızdan yüksek bir akımın geçmesi imkansızdır. Kesici kenarından yüksek bir akımın geçmesi, iş parçası ile kesici arasındaki zayıf temas nedeniyle kesici ağızda ark meydana getirerek kesicide hasara neden olur. Aşınmaya dirençli malzemelerin işlenmesinde şiddetli elektrot aşınması nedeniyle çubuk elektrotlarla ısıtma işlemi elverişsizdir. Çubuk elektrotların yerine döner silindirlerin kullanılması ile bu aşınma önlenabilir. Bu methodla ısıtmada yüksek enerji sarfıyatı olur ve faturalı çapların tornalanması zordur.

3.2.2.5. Sürtünme İle Isıtma

Sürtünme ile ısıtmada, işlenecek malzemenin yüzeyine sürtünme bloklarının yerleştirilmesi ile dönen iş parçasına çok yüksek basınçlar uygulanır. Bu uygulanan basınç neticesinde kısa sürede malzeme yüzeyinde ısınma meydana gelir. Metalik blokların biçiminin işlenecek malzeme boyutlarına uygun olması gerekir. Donanım maliyeti pahalıdır. Farklı boyutlarda ve faturalı malzemelerin tornalanmasında yeni blokların yerleştirilmesi bu metodu elverişsiz kılar.

3.2.2.6. Radyasyonla Isıtma

Reflektör ve mercek kullanmak suretiyle iş parçası yüzeyinde ışık enerjisi yoğunlaştırmak suretiyle yapılan bir ısıtma metodudur. Bu metodda 3.8 mm çapındaki bir parçada 1500 °C 'nin üzerinde bir sıcaklık elde edilebilir. Isıtma sırasında yaklaşık %60 civarında enerji kaybolur. Isıya dirençli metallerin ısıtılmasında elverişlidir. Çok yüksek endüstriyel donanım maliyetinin gerekmesi, reflektör kirlenmesi ve ısıtma esnasındaki esnasında meydana gelen enerji kaybı dezavantajlarıdır.

3.2.2.7. Plazma Arkıyla Isıtma

Plazma ile ısıtma, elektrot ve iş parçası arasında gaz üflecinden kısa bir ark geçirmek suretiyle yapılan ısıtma işlemidir. Magnetik olmayan malzemelerin ısıtılmasında verimli bir şekilde kullanılabilir. Bu metodta ısıtma sıcaklığı hemen hemen 22.000 °C dir (Larin ve Martynov,1966). Donanım maliyeti pahalı fakat işletim maliyeti düşüktür. Köreltici ışığı ve gürültüsü dezavantajlarındandır.

3.3. Takım Aşınması ve Aşınmanın Ölçümü

Takım aşınması, kesme sırasında kalem malzemesinin yavaş yavaş azalması ile kalemin ilk biçimini değiştirmesine denir. Talaşlı imalat esnasında kesicide meydana gelen sürtünme ve sıcaklık takım aşınmasının en önemli nedenlerindendir. Kesme işleminde sürtünme, aşınmanın ana sebebi olup sıcaklık ise kesicinin aşınmaya karşı direncini azaltan ve olayı hızlandıran en önemli etkenlerden biridir. Sürtünme takım ile

talaş ara yüzeyi ve iş parçası ile takım serbest yüzeyi arasında meydana geldiğinden , aşınma en çok serbest yüzey, talaş yüzeyi ya da her iki yüzeyde meydana gelir (Şekil 3.3). Aşınmayı hızlandıran diğer etkenler ise uygun seçilmeyen kesici takım, kesme hızı , ilerleme, paso derinliği ve soğutma sıvısı kullanmama gibi kesme şartlarıdır.

Aşınma nedeniyle kesicilerin değiştirilmesi, üretim yapılan fabrikalardaki talaşlı imalat sistemlerinin bir parçasıdır. Takım aşınması, imal edilen bir parçanın işleme süresini % 6.8'e kadar artırdığı ifade edilmiştir (Dan ve Mathev,1990). Bir kesicinin aşınma durumu ve aşınmanın miktarı işlenen parçanın kalitesi, kesici kalitesi ve kesme şartlarına bağlı olarak değişir. Birçok durumda kesici yavaş yavaş aşınarak iş parçasının boyut toleransının elde edilmesi imkansızlaşır. Ayrıca kesme kuvvetlerinin artması titreşimlere yol açar ve böylece yüzey pürüzlülüğünün de çok artmasına sebep olur. Aşınma, tüm bölgelerde sürekli olmaz genellikle bir bölgede meydana gelir.

Kalem aşınmasında kıstas olarak göz önüne alınabilecek dört aşınma bölgesi vardır . Bunlar aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

3.3.1. Ana serbest Yüzey Aşınması

En iyi bilinen aşınma tipidir. Kesicinin yan yüzeyi üzerindeki az üniform ya da çok üniform olarak aşınan serbest yüzey kısmıdır. Aşınan serbest yüzeyin genişliği çoğu kez serbest yüzeyin ortasında ve diğer kısımlarda aynıdır. Aşırı yüksek kesme hızları kullanılmadıkça, bütün kalem malzemeleri başlangıçta serbest yüzey aşınmasına karşı dayanıklıdır. Bununla beraber kısa bir süre kesme işlemi yaptıktan sonra genellikle bu mukavemet azalır.

Hız çeliği kalemlerde çok yüksek kesme hızları kullanılmadıkça yüzey aşınması, sert metal uçlardan farklı şekilde geliştiği için yan yüzey aşınmasında ölçülebilen çok küçük bir aşınma artışı için uzun bir sürenin geçmesi beklemek gerekebilir. Bu durum özellikle sünek malzemelerin düşük kesme hızlarda işlenmesinde görülür. Sementit karbür kesicilerde sıcaklığın yan yüzey aşınması üzerinde çok fazla etkili olmadığı ifade edilmiştir(Nam , 1980).

3.3.2. Çentik Aşınması

Bu durum ana serbest yüzey aşınmasının özel bir durumu olup, iş yüzeyi ile kesme kenarının kesiştiği yerdedir ve bu aşınma nadiren kalemin değişmesini gerektirir. Çentik aşınmasının diğer bütün aşınmalardan çok olduğu bütün özel durumlarda, aşınma çentiğinin uzunluğu kalem aşınma ölçüsü olarak kullanılabilir(TS 10329,1992). Bu aşınma genellikle iş parçasının dış çapından dolayı meydana gelir.

3.3.3. Talaş Yüzeyi Aşınması

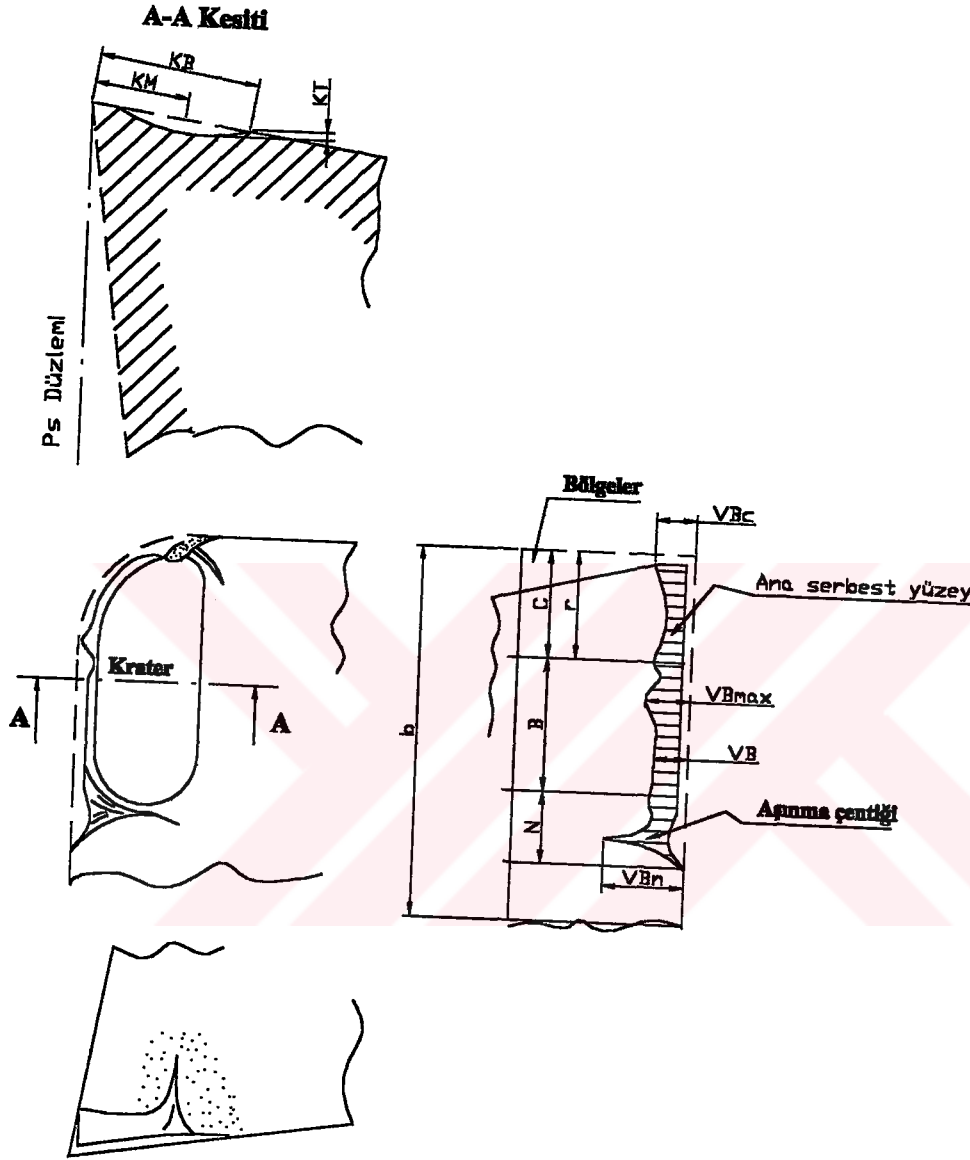
Krater aşınması talaş yüzeyi aşınmasının bilinen en genel şeklidir. Krater kesicinin talaş yüzeyinin içe çökük kısmı olup, talaş-takım ara yüzey sıcaklığı ve sürtünme gerilmesinden meydana gelir. Küçük hızlarda, krater aşınması esas yan yüzey aşınması ile mukayese edildiği zaman genellikle pek az olur. Sementit karbür ve hız çeliği kalemlerde yüksek hızlarda meydana gelen bir hasardır. Krater aşınma hızı sıcaklığa bağlı olarak artar. Krater derinliği (Kt), genellikle kesme kenarının belirli bir mesafesinde maksimum olur ve krater şekli talaş eğrilik yarıçapına göre oluşur. Kraterin derinliğinin önceden belirlenmiş bir değeri kalem ömrü kıstası olarak kullanılabilir. Krater aşınması sert metal kalemler için yüksek hız ve seramik kalemlerden daha önemlidir.

Krater konumu kesici kenara göre bağlı konumda belli bir önem taşır. Kesme kenarından uzakta olan derin ve geniş krater, kesici kenara yakın az derin bir kraterden daha az tehlikeli olabilir(TS 10329,1992).

3.3.4. Yan yüzey aşınması

Kalemin yardımcı yan yüzeyi ile iş parçası arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı oluşan hasardır. Yan yüzey aşınması sebebiyle kalem yüzeyinde meydana gelecek herhangi bir değişiklik, işlenen yüzey üzerinde etkili olur. Küçük ilerlemeler ile yapılan ince tornalamada, belirli bir kesme süresinde yan yüzeyde genellikle bir veya daha çok izin meydana geldiği görülür. Bu ise işlenen yüzeyin

pürüzlülüğünün artmasına neden olur. Bu tür kalem aşınmasının doğrudan gözlenmesi zordur. Ancak pürüzlülüğün belli bir değeri kalem ömrü kıstası olarak kullanılabilir.



Şekil 3.3. Torna kalemlerindeki aşınma (TS 10329,1992).

3.3.5. Kalem Aşınmasının Ölçülmesi

Ana serbest yüzeyin aşınan kısmının altına yapışan parçacıklar, aşınan kısmın daha geniş görülmesine sebep olacaklarından, kalem üzerine yapışmış olan parçacıklar dikkatli bir şekilde temizlenmelidirler. Ancak bu işlemler kimyasal aşındırıcılar

kullanılarak yapılmamalıdır. Aşınmanın ölçülmesi için esas kesici kenar üç bölgeye ayrılır (Şekil 3.3).

- C bölgesi, kalem köşesindeki kesici kenarın kavisli kısmı,
- N bölgesi, kesici kenarın kalem köşesinden en uzakta olan kısmı olup b'nin dörtte biri,
- B bölgesi, kesici kenarın C ve N bölgesi arasında kalan düz kısmıdır.

Ana serbest yüzeyin aşınan kısmının genişliği VB_B , esas kesme hareket yönü ve esas kesici kenarı ihtiva eden Ps düzlemindeki B bölgesinden ölçülmelidir ve serbest yüzeyin aşınan kısmının genişliği esas kesici kenarın ilk konumuna göre ölçülmelidir.

Krater derinliği KT , B bölgesindeki talaş yüzeyinin ilk konumu ile krater tabanı arasındaki azami mesafe olarak ölçülmelidir.

Takım aşınmasının belirlenmesi iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Gerçek takım aşınmasının belirlendiği direkt belirleme ve ölçülen takım aşınmasının bir parametre ile karşılaştırıldığı indirekt belirlemedir. Takım aşınmasının belirlenme metodları Tablo 3.3 'de verilmiştir(Dan ve Mathew,1990).

3.4. Takım Ömrü

Takım ömrü iki bileme arasında geçen süre ya da kalem ömrü kıstasına ulaşmak için gereken kesme süresi olarak tarif edilir. Bazı hallerde örneğin delme planyalama, broşlama gibi işlemlerde takım ömrü işleme uzunluğu (L) veya frezelemede olduğu gibi talaş hacmine göre de ifade edilebilir.

Esasen takım ömrü aşınma olayına bağlı olduğundan, aşınmayı etkileyen parça ve takım malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, kesme sıvısı gibi faktörler takım ömrünü etkilerler. Bunlardan en önemlisi kesme hızının etkisidir. Takım ömrü(T) ile kesme hızı (V) arasında Taylor bağıntısı olarak bilinen;

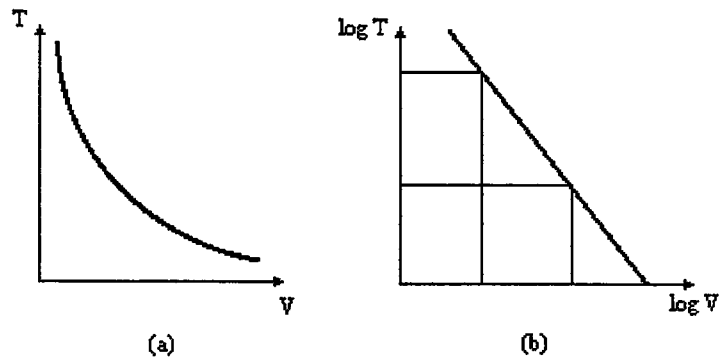
$$V.T^k = C$$

ifadesi yazılabilir. Yukarıdaki denklemde k takım-malzeme çiftine bağlı; C ise takım-malzeme çifti, ilerleme, kesme derinliği, kesme sıvısı gibi faktörlere bağlıdır. Bu bağıntı grafik şeklinde gösterilişine T-V diyagramı adı verilir ve bu bağıntı Şekil 3.4'da gösterildiği gibidir. Her iş parçası-takım malzemesi çifti için belirli kesme

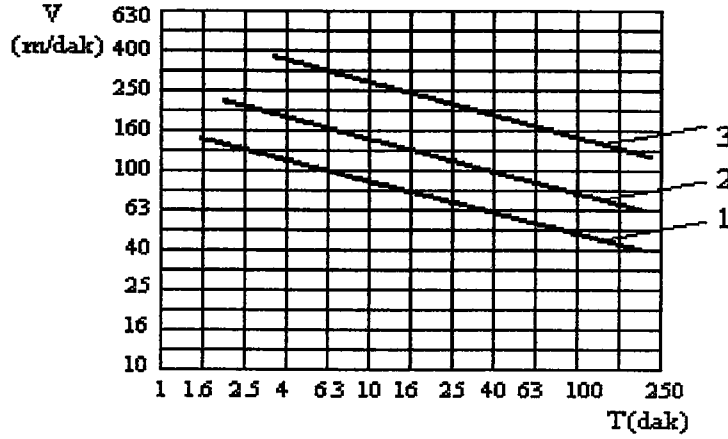
koşullarına bağlı olarak T-V diyagramı vardır. Aynı kesme şartları için çeşitli iş parçalarının V-T diyagramları Şekil 3.5’ da gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Takım aşınmasını belirleme metodları(Dan ve Mathew,1990).

	Ölçme yöntemi	Ölçülen değer	Ölme cihazı
Direk Ölçüm	Optik	Kesici ağzın biçimi	TV Kamerası; optik cihaz
	Radyoaktif parçacıklar	Parçacıkların büyüklüğü ve konsantrasyonu	Spektrofotometre
	Takım-işparçası temas direnci	Temas direncindeki değişim	Voltmetre
	İş parçası boyutu	İş parçası çapı	Mikrometre; optik, ultrasonik, elektromanyetik cihaz
	Takım-işparçası açıklığı	Takım ya da takım tutucu ile işparçası arasındaki açıklık	mikrometre; Pnömatik gauge; deplasman ölçer
Indirek Ölçüm	Kesme kuvvetleri	Kesme kuvvetindeki değişim	Dinamometre; strain-gauge
	Akustik emisyon	Gerilim dalga enerjisinin akustik emilmesi	AE çevirici mikrofon
	Titreşim	Takım ya da takım tutucunun titreşimi	Akselerometre
	Sıcaklık	Takım üzerindeki kesme sıcaklığının değişimi	Termocupol, pirometre
	Güç girişi	İlerleme motorunun ya da aynanın güç veya akım girişi	Ampermetre; dinamometre
	İşlenen yüzeyin pürüzlülüğü	İş parçasının yüzey pürüzlülüğündeki değişim	Mekanik iğneli cihaz; optik cihaz



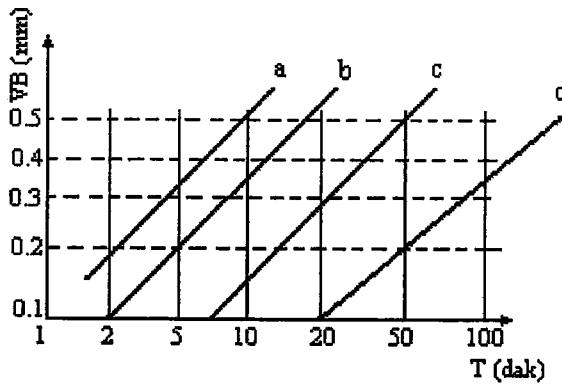
Şekil 3.4. Ömür -kesme hızı ilişkisi



Şekil 3.5. Çeşitli iş parçası malzemesi için ömür -kesme hızı ilişkisi(Akkurt,1985).

(1. Yüksek karbonlu çelik, 2.Dökme demir, 3. Düşük karbonlu çelik)

Belirli bir hız için takım ömrünün değeri müsaade edilen aşınma (V_B) değerine bağlıdır. Müsaade edilen aşınma değeri büyük olursa takım ömrü de büyür. Dolayısıyla ömür-kesme hızı-aşınma miktarı arasında sıkı bir bağıntı vardır. Bu bağıntı bir örnek üzerinde Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu durumda belirli bir hız -ömür ifadesi belirli bir aşınma değeri için geçerli olacaktır. Şekil 3.6'daki örnekte, $V=100$ m/dak kesme hızında $V_B=0.2$ mm aşınma değeri için $T=5$ dak olurken, $V_B=0.35$ mm aşınma değeri için $T=10$ dak'lık bir ömre karşılık gelmektedir.



Şekil 3.6. Aşınma - ömür - kesme hızı ilişkisi (Akkurt , 1985).

(a:V=120m/dak, b:V=100 m/dak, c:V=70 m/dak, d= 50 m/dak)

3.4.1. Genişletilmiş Takım Ömrü Bağıntısı

Kesme hızı-ömür ilişkisini etkileyen önemli bir faktör talaş kalınlığı ve genişliğidir. Talaş kalınlığı(t) ve talaş genişliği (ilerleme) dikkate alındığında genişletilmiş taylor bağıntısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V = \frac{C_0}{T^n \cdot t^y \cdot s^z}$$

Bu bağıntıdaki Co, n, y ve z katsayılarının değerleri iş parçası- takım malzemesi çifti için deneysel çalışmaların sonucu tayin edilirler.

3.4.2. Takım Ömrü Kıstasları

Deneyler sonucu faydalı kalem ömrünün sona ermesinde oldukça etkili olduğu inanılan aşınma şekli aşağıda belirtilen kalem ömür kıstaslarının birinin seçiminde rehber olarak kullanılmalıdır (TS 10329, 1992). Kullanılacak olan kıstasların tipi ve değeri belirtilmelidir.

Aşınma tipinin hangisinin hakim olduğu belli ise, ya V-T sonuç eğrisi üzerinde iki kıstas veya kesik V-T sonuç eğrisi üzerinde karma bir kıstas kullanmak mümkündür. TS 10329'a göre kalem ömrü kıstasları aşağıdaki gibidir.

-Kullanılmaz hale getiren aşınma

-Ana serbest yüzeyin aşınan kısmının ortalama genişliği $VB_B = 0.3 \text{ mm}$ ise B bölgesi için bu aşınma normal kabul edilir.

- Ana serbest yüzeyin aşınan kısmının azami genişliği $VB_{mak} = 0.6 \text{ mm}$ ise B bölgesinde kazınma dökölme veya çukurlaşmayla meydana gelen aşınma normal olmayan aşınmadır.

3.5. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey kalitesi, parça yüzeyinde genellikle kesici takımın bıraktığı izlerden ve baskılardan meydana gelen düzgünsüzlük olarak ifade edilmektedir. Parçanın yüzey kalitesini gösteren düzgünsüzlük iki türdür. Birincisi çok küçük yüzeysel hatalardan

meydana gelen ve yüzey pürüzlülüğü denilen mikro geometrik düzgünsüzlük, ikincisi parçanın ideal şeklinden sapmalarını belirten ve form düzgünsüzlüğü denilen makro geometrik bozukluktur. Tamamen giderilemeyecek şekilde olan ve ekonomik bakımdan uygun görülen her iki yüzey düzgünsüzlüğü parçanın fonksiyonuna göre belirli sınırlar içerisinde tutulması gerekir. Bu sınırlar fonksiyonel ve ekonomik faktörler göz önüne alınarak tayin edilir.

Yüzey pürüzlülüğü Şekil 3.7'de görüldüğü gibi bir takım çıkıntı ve girintilerden meydana gelmiştir. Ölçme tekniğinin gelişmesi ile bu düzgünsüzlük kolayca ölçülebilir. Ayrıca bu tekniğe uygun olarak yüzey pürüzlülüğünü objektif bir şekilde ifade eden ve uluslararası kabul edilen bir sistem kurulmuştur.

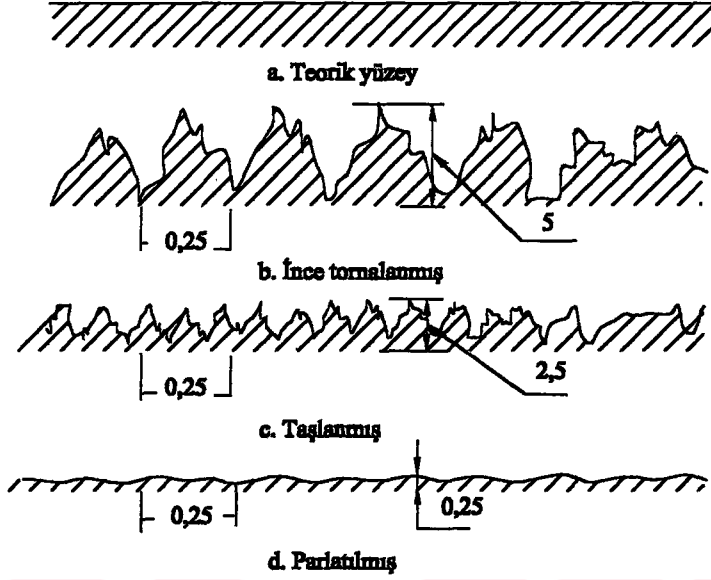
Bu sisteme göre pürüzler, yüzeylere dik olan kesite göre takdir edilir. Bu kesitte numune uzunluğu boyunca pürüzlerin şeklini gösteren profilin ortalama çizgisine göre ortalama sapmaları tayin edilir (Şekil 3.8.a). Profil ile ortalama çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olmak üzere bu çizginin yeri tayin edilir. Yüzey pürüzlülüğü profilin aritmetik ortalama yüksekliğidir ve R_a ile gösterilir. Böylece referans olarak profilin ortalama çizgisi alınırsa, yüzey pürüzlülüğü;

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l y \, dx \quad \text{veya} \quad R_a = \frac{|y_0| + \dots + |y_n|}{n}$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada $y_0, \dots, y_n$ - geometrik ortalama pürüz yükseklikleri ve n- numune uzunluğuna tekabül eden pürüz sayısıdır.

Bu ana değerin yanı sıra, pürüzlülüğü karakterize eden pürüzlülüğün eni, dalga yüksekliği, dalga eni, kesici takımın çoğunlukta olan izleri gibi ikinci mertebeden faktörler vardır(Şekil 3.9).

Yüzey pürüzlülüğünün birimi mikron $10^{-6} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$ veya mikroinch (10^{-6} inch) tir. Teorik bakımdan yüzey pürüzlülüğünü ifade etme olanağı sonsuz olmasına rağmen pratik nedenlere dayanarak, tercih edilen pürüzlülük dizileri veya yüzey pürüzlülüğü emsal sayıları tesbit edilmiştir. Müşterek çarpanı (1.25) olup R10 serisinden oluşan ve tercih esnasında gerçekleşen yüzey pürüzlülüğü işleme usulüne de bağlıdır. Tablo3.4. da kullanma yerine göre tavsiye edilen yüzey pürüzlülükleri gösterilmiştir.

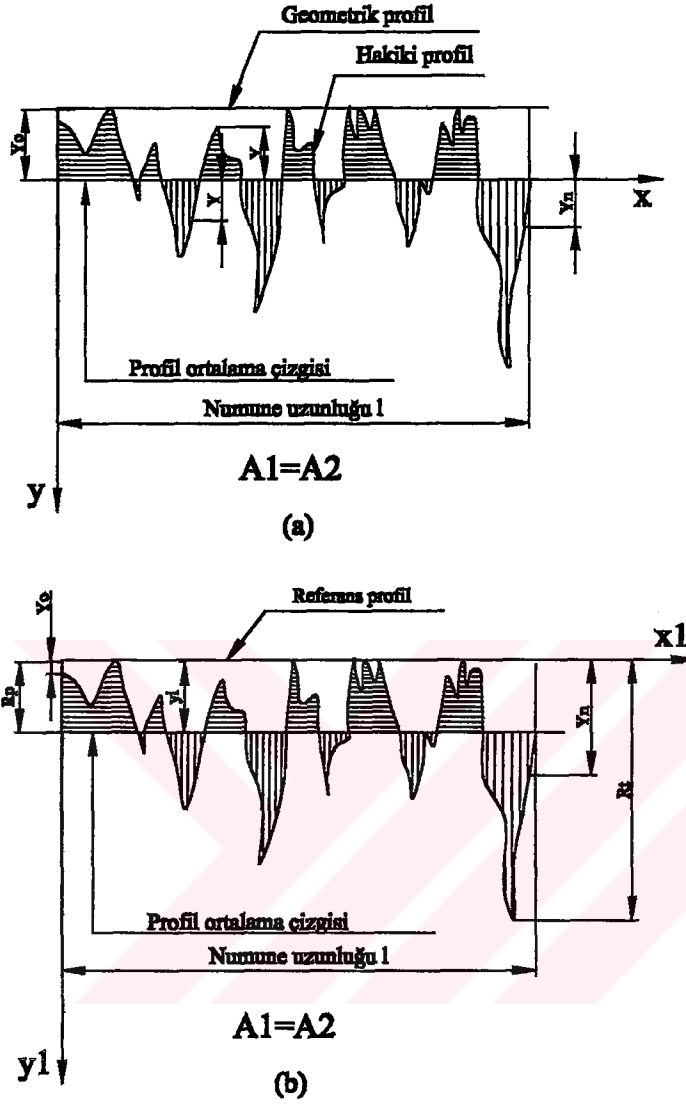


Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler

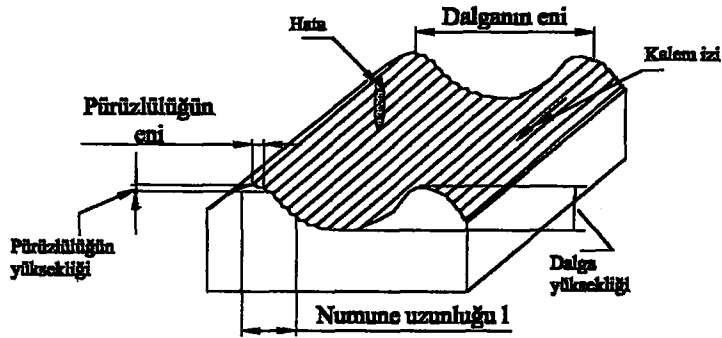
R_a 'nın yanı sıra, en yüksek çıkıntı ile en derin girinti arasındaki uzaklığı belirten R_t değerleri de pürüzlülük kontrolunda kullanılmaktadır(Şekil 3.8.b). Ancak maksimum pürüzlülüğü ifade eden R_t değeri ölçülen yere göre değiştiğinden bu yöntem yetersizdir. Bu nedenle yüzeyin maksimum pürüzlülüğü ezilme yüksekliği denilen R_p ile ifade edilmektedir. Burada referans (ölçme) profili olarak en yüksek çıkıntıya teğet olan çizgi alınır,

$$R_p = \frac{1}{l} \int_0^l y_1 dx \quad \text{veya} \quad R_p = \frac{y_0 + \dots + y_n}{n}$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

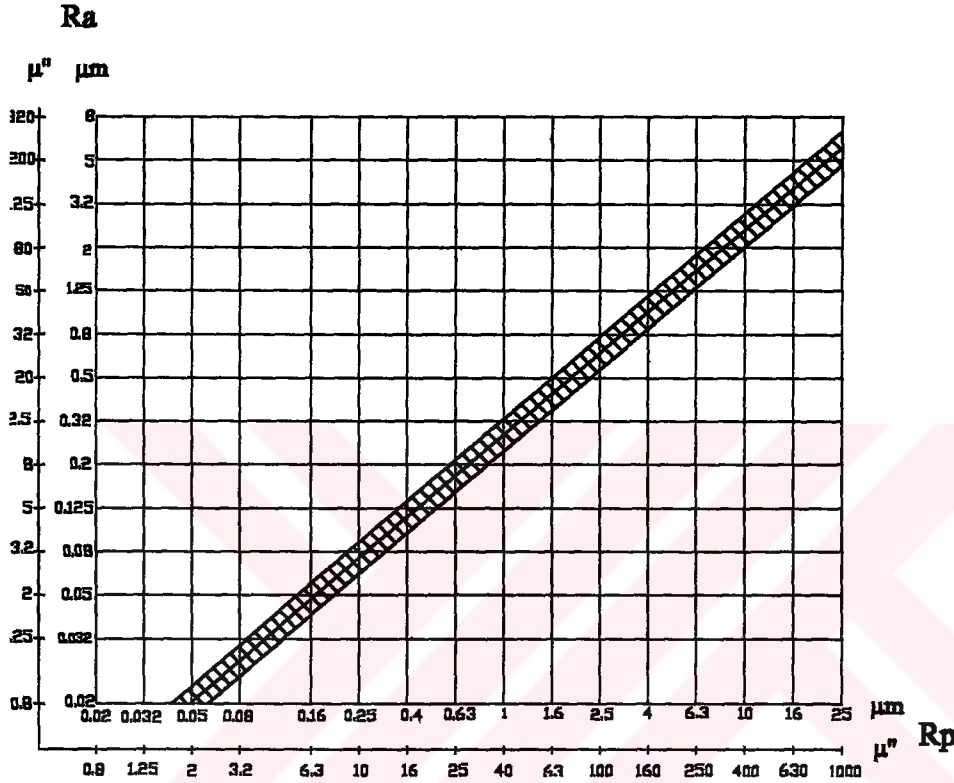


Şekil 3.9. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler

R_a ile R_p arasında belirli bir bağıntı olmamakla Şekil 3.10. da istatistik değerlere dayanarak sayısal bağıntılar vardır. Ortalama değer olarak

$$R_a = (0,2 \dots 0,25) R_p; \quad R_p = 0,6 R_t$$

alınabilir.



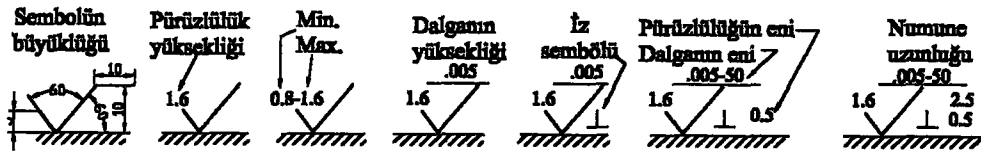
Şekil 3.10. R_a ile R_p arasındaki ilişki (Akkurt, 1985).

Teknik resimde pürüzleri belirtmek için kullanılan semboller Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Prensip olarak, yalnız çalışmayı etkileyecek durumda olan bir yüzeyin fonksiyonuna göre belirli bir yüzey pürüzlülüğü seçilir. Maksimum müsaade edilen R_a yüzey pürüzlülüğü sembolün sağ tarafında bulunan kısa çizginin biraz üzerine yazılır (b). Ayrıca maksimum pürüzlülüğün yanı sıra, minimum pürüzlülüğün değeri (c), dalganın yüksekliği (d), kesici takımı çoğunlukta olan izi (e), dalganın eni ve pürüzlülüğün eni (f), numune uzunluğu (g) yazılabilir. Şüphesiz ki bu değerler ölçme olanağı olduğu takdirde yazılır. Numune uzunluğu olarak 0.0762 (0.003 inch), 0.254 (0.010 inch), 0.762 (0.030 inch), 2.54 (0.10 inch) ve 25.4 mm alınır. Tercih edilen değer 0.762 mm (0.030 inch) tir. Bu uzunluk seçildiği takdirde, sembolün üzerine yazılmaz. Kesme takımların izlerinin yönleri sembolleri ile birlikte Şekil 3.12 'de verilmiştir.

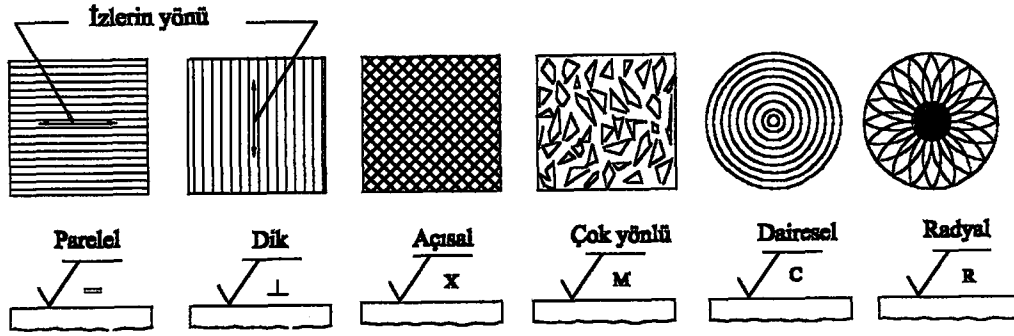
Tablo 3.4. Yüzey işleme yöntemleri ve erişilebilecek yüzey pürüzlülüğü(Akkurt,1985).

İmal usulü	Ra (µm)												
	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0
Alev kesmesi, testere ile kesme													
El ile taşlama													
Eğelerme													
Planyalama													
Kaba tormalama													
Kaba frezelerme													
Kaba taşlama													
Delme(zımba)													
Delme(matkable)													
İnce tormalama ve frezelerme													
Broşlama													
Alın düzlem taşlama													
Raybalama													
Silindirik taşlama													
Parlatma													
Tormalama(ekmek kalemle)													
Honlama													
Parlatma(deri ile)													
Lepleme													
Çok hassas parlatma													
İşlenmemiş yüzeyler													
Kum dökümü													
Kaynak													
Dövme													
Kokil döküm													
Kuyumcu dökümü													
Kalıpcı dökümü													
Haddelerme													
Ekstrüzyon													

■ Kullanılan alan □ Tüm ekonomik alan



Şekil 3.11. Yüzey pürüzlülüğü sembollerinin gösterilişi (Akkurt,1985).



Şekil 3.12. Yüzey izleri ve sembolleri(TS 971,1988).

İkinci mertebeden olan faktörlerin yazılması, bu değerlerin ölçme olanağına bağlıdır. Bu olanakların bulunduğu hallerde bile ölçme ve kontrol işlemlerinin parça maliyetini arttırdığı düşünülürse, yalnız çok önemli yüzeyler için yazılır. Yüzeyin önemini, sürtünmenin ve aşınmanın azaltılması, yorulma mukavemetinin yükseltilmesi, geçmelerin düzeltilmesi, sıkı toleransların elde edilmesi, eş çalışan yüzeyler arasındaki ısı iletiminin artırılması ve parçanın görünüşünün düzeltilmesi gibi faktörler tayin eder.

4. DENEY YÖNTEMİ

Uçak, uzay ve nükleer endüstrilerde sıkça kullanılan yüksek çekme mukavemetli ve aşınmaya dirençli malzemeler, genellikle zor işlenebilmektedirler. Bunlardan biri de östenitik manganlı çeliklerdir. Bu tür yüksek çekme mukavemetli ve aşınmaya dirençli malzemeler ise ancak ısıtılarak sıcak talaşlı olarak işlenmektedirler.

Talaşlı üretim yapılan fabrika ve atölyelerde üretimin ana hedeflerden biri malzemenin en ekonomik yolla üretimidir. Uygun olmayan bir seçim, maliyetin artmasına ve imalat kalitesinin düşmesine neden olur. Geleneksel imalat ve sıcak talaşlı imalat da takım ömrünü ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir çok faktör vardır. Bunlar, malzemenin cinsi, kalemin cinsi, kesme hızı, ilerleme, paso derinliği, sıcaklık, soğutma sıvısı ve tezgahın konstrüksiyonu gibi faktörlerdir. Bu faktörlerden birinin değişmesi ile takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü de değişebilmektedir. Ancak değişmeye neden olan faktörlerin etkileri birbirinden farklı ve bağımsız olabilecekleri gibi birbirleri ile ilişkili de olabilirler. Yapılan bu çalışmada sanayide kullanımı kolay ve fazla yatırım masrafı gerektirmeyen alevle ısıtma metodu kullanılarak, talaşlı işleme verimliliğini belirlemek için östenitik manganlı çelik işlenmiş ve burada kesme hızının , ilerlemenin, paso derinliğinin ve sıcaklığın takım ömrüne ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırıldı.

4.1. Deneylerde Kullanılan Tezgah, Cihaz ve Malzemelerin Özellikleri

Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü deneylerinin tümünde aşağıda özellikleri verilen tezgah, cihaz ve malzemeler kullanıldı.

4.1.1. Torna Tezgahı

Sıcak talaşlı işleme için kullanılan torna tezgahı, Fritz Warner lisansı ile Makine ve Kimya Endüstri Kurumu tarafından imal edilmiştir. Tezgah 6.5 Kw gücünde ve 12 kademeli devir sayısına sahip olup (Tablo4.1) punta açıklığı 2000 mm' dir. Araba üzerinde işlenebilecek maksimum parça çapı 220 mm ve kızaklar üzerinde işlenebilecek parça çapı ise 400 mm' dir.

Tablo 4.1. Torna tezgahının devir sayısı kademeleri

Devir sayıları (dev/dak)			
16	45	125	355
22,4	63	180	500
31,4	90	250	710

4.1.2. Sıcaklık Ölçme Aleti

İş parçası sıcaklığını ölçmek için dönen cisimlerin sıcaklığını temassız ölçebilen enfraruj termometre kullanıldı. Termometre Cole-Parmer marka ve H-08406-46 modelindedir. Cihaz 0~870 °C sıcaklık ölçme özelliğine sahip olup, ± 1 °C hassasiyetli ve 0~50 °C ortam sıcaklığına uyumlu ve 0.1 saniyede sıcaklık gösterme özelliğine sahiptir.

4.1.3. Sıcaklık Kontrol Cihazı

Deneylerde alevi kontrol altında tutabilen ve iş parçası sıcaklığına göre selenoid valfleri açıp kapayan cihaz Nel Elektronik A.Ş. tarafından imal edilmiştir. NEL NR 911E modelindeki cihaz, $3^{1/2}$ dijital sıcaklık göstergeli, Cr-Ni ısıtıcı çift girişli, -5~60 °C aralığındaki ortam sıcaklıklarına uyumlu ve kontrol sıcaklık aralığı 0~1200 °C arasındadır. Cihaz röleli tip olup zaman periyotlu olarak çalışmaktadır.

4.1.4. Yüzey Pürüzlülük Ölçü Aleti

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için kullanılan ölçü aleti, Mitutoyo marka SurfTest211 modelinde olup dijital göstergeli mekanik iğnelidir. Ölçme aralığı Ra: 0.05 ~40 µm, Rq:0.05 ~40 µm ve Ry:0.3 ~160 µm arasındadır.

4.1.5. Gaz Debi Ölçer:

Cole-Parmer marka H-03217-32 modelindeki gaz debi ölçer maksimum 27 ml/dak. O₂ gazı ölçebilme kapasitesine sahip olup, 70 °C ortam sıcaklığı ve maksimum 200 psi basınca dayanıklıdır.

4.1.6. Mikroskop

PME Olympus marka 35 ile 2000x büyütme kapasiteli ve 0-8.5 voltluk transformatorlu metalurjik mikroskoptur.

4.1.7. Selanoid Vana

Tüplerden gerektiği zaman gaz geçişini sağlayan ve gerektiği zaman kapatan vanalar Lucifer marka olup maksimum 30 bar basınç altında çalışabilmekte ve 220 VAC akımı ile sıcaklık kontrol cihazı tarafından beslenmektedir.

4.1.8. Hamlaç

İş parçasının ısıtılmasında Gloor Markanın en yüksek ısıtma kapasitesine sahip olan 5 nolu oksii-asetilen kaynak hamlaç ucu kullanıldı. Hamlaç uçlarının bazı karakteristik özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Hamlaç uçlarının karakteristik özellikleri

Hamlaç Ucu No.	Saç Kalınlığı (mm)	Kaynak Gücü (m/h)	Kaynak Süresi (dak./m)
1	0.3-0.5	15-10	4-6
2	0.5-1.0	12-6	5-10
3	1.0-2.0	9-4	6.7-38
4	2.0-4.0	4.5-2.5	8-24
5	4.0-6.0	3.0-1.8	13.3-30

4.1.9. İş Parçası Malzemesi

Deneylerde kullanılan östenitik manganlı çelikler Günhan Makine Sanayi A.Ş. tarafından endüksiyon ocaklarında 70 mm çapında ve 700 mm boyunda döküldü ve 1100 °C de ısıtıl işlem (Homojenleştirme tavlama) yapıldı. Deney malzemesinin

hazırlanmasında , ISO 3685-E de belirtilen ϕ ile boy oranının 1/10 olmasına dikkat edildi. Malzemenin kimyasal analizi Tan Çelik A.Ş. tarafından Spektro analiz cihazında yapılarak aşağıdaki değerler elde edilmiştir (Tablo 4.3). Isıl işlem sonrası ise sertliği 243 HB dir.

Tablo 4.3. Deneylerde kullanılan manganlı çeliğin kimyasal bileşimi

Element	Mn	C	Si	Cr	P	Ni	Mo	V	S	Fe
%	16.49	1.283	0.719	0.073	0.058	0.05	0.025	0.02	0.010	81.29

4.1.10. Takım Malzemesi

Yüksek manganlı çeliklerin işlenmesi için yapılan çalışmalarda M20 kalitesindeki kesiciler tavsiye edilmiştir (Ünüvar,1985; Altan ve Çakır, 1990). Bu nedenle bu çalışmada da M20 kalitesindeki kesiciler tercih edildi. Kesiciler ve kateri Makine Takım Endüstrisi A.Ş.'den temin edilerek bütün deneylerde aynı tip kesiciler kullanıldı. Deneylerde kullanılan kesiciler ISO 1832'ye uygun olup plaket ve katerinin sembolü aşağıdaki gibidir.

Kesici: SCMT 120408

Kater: SSBCR 2020K12

4.1.11.Yakıcı Gaz

Deneylerde iş parçasını ısıtmak için evlerde kullanılan likid petrol gazı kullanıldı. Bu gaz %70 propan ve %30 butan karışımından ibarettir.

4.2. Deney Şartlarının Belirlenmesi

Yüksek manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi için torna tezgahının konstrüksiyonu ve literatüre uygun kesme şartları dikkate alınarak deneysel çalışma iki aşamalı olarak yapıldı. Birinci aşamada, kesme hızı, ilerleme, paso derinliği ve sıcaklığın takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini belirlemek için her defasında

bir parametre değiştirilerek diğer parametreler sabit tutulmak suretiyle deneyler yapıldı. İkinci aşamada da uygun matematiksel modelin belirlenmesi için, buna uygun olarak kesme parametrelerinin alt ve üst seviyeleri önceden belirlendi.

Bu çalışmada , takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması için aşağıdaki kesme şartları seçildi.

4.2.1. Kesme Hızı

Yüksek manganlı çeliklerin sıcak talaşlı olarak işlenmesi için önerilen kesme hızı 20m/dak ile 40 m/dak arasındadır (Altan, 1990). Ancak bazı araştırmacılar kesme hızının üst sınırını 100 m/dak olarak almışlardır (Ünüvar, 1985). Bu nedenle kesme hızının seçimi , iş parçası çapı, tezgahın devir sayıları ve ayrıca manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi için yapılan çalışmalar dikkate alınarak yapıldı. Bu nedenle deneylerde 22, 33, 46, 63 ve 75 m/dak' lık kesme hızları kullanıldı. Ayrıca matematiksel model için kesme hızının alt ve üst seviyeleri olarak 22 m/dak ve 75m/dak kesme hızları seçildi.

4.2.2. İlerleme

İşlenecek parçanın yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörlerden biri ilerlemedir. Ancak tezgah konstrüksiyonunun ilerleme değerlerinin seçiminde etkili olması ve kesici takım üretici firma kataloglarında yüksek manganlı çeliklerin işlenmesi için önerilen maksimum 0.4 mm/dev ilerleme de dikkate alınarak; ilerlemeler 0.05, 0.1, 0.2 ve 0.4 mm/dev olmak üzere dört farklı değerde seçildi. Matematiksel model için ise alt ve üst seviye için 0.2mm/dev ve 0.4 mm/dev ilerlemeler alındı.

4.2.3. Paso Perinliği

Daha önceki araştırmacıların deneylerinde kabul ettikleri paso derinlikleri, tezgahın konstrüksiyonu ve kesici takım üreticilerinin M20 kesicilerle yüksek manganlı çeliklerin işlenmesi için önerdikleri maksimum 4 mm paso derinliği dikkate alınarak ,

deneylerde 0.5 mm, 1.5 mm ve 2.5 mm paso derinlikleri seçildi. Matematiksel model için ise alt ve üst seviye olarak 0.5 mm ile 2.5 mm değerleri alınarak deneyler yapıldı.

4.2.4. Isıtma Sıcaklığı

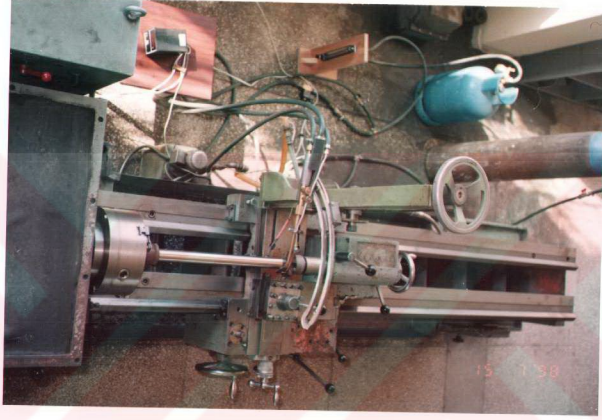
Yüksek manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesinde ısıtma sıcaklığı olarak 500 ile 600 °C arasındaki sıcaklıklar önerilmiştir (Turhan, 1994). Bu nedenle bu çalışmada da en yüksek ısıtma sıcaklığı 600 °C olarak alındı. Deneyler oda sıcaklığı, 200 °C, 400 °C ve 600 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta yapıldı. Oda sıcaklığı, deneysel çalışmaların yapıldığı andaki ortam sıcaklığı olup, deneylerin yapıldığı zamanki mevsim şartlarına göre değişmekte ve deney esnasındaki ortam sıcaklığının yaklaşık 16°C ile 25 °C arasında olduğu daha önceden laboratuvarında saptandığından ortalama 20°C kabul edildi. Matematiksel model için ise alt ve üst seviye olarak 200 °C ve 600 °C sıcaklıkları seçildi.

4.3. Deney Düzeneği ve Çalışma Prensibi

Deneysel çalışmada kullanılacak östenitik manganlı çeliklere punta delikleri açılarak ayna ile punta arasında bağlandı. İş parçasını ısıtma metodu olarak alevle ısıtma metodu ve alevi meydana getirmek için de hamlaç kullanıldı. Kesme işlemi boyunca iş parçası üzerinde hamlacın hareketini sağlamak için özel olarak hazırlanan aparat torna tezgahının arabası üzerine monte edildi ve hamlaç aparata bağlandı (Şekil 4.1.). Bütün deneylerde hamlaç, torna kaleminin karşı tarafında ve iş parçası üzerine 20 mm mesafede tutuldu(Şekil 4.2.).

Deneysel çalışma öncesi yapılan araştırmalarda, hamlacın ateşlenmesi sırasında gazın ani üflemesi nedeniyle pilot alevin sönmemesi için en uygun mesafenin 20 mm olduğu tespit edilerek bu uzaklık bütün deneylerde sabit tutuldu. Yakıcı gaz olarak evlerde kullanılan likit petrol gazı ve oksijen gazı karışımı kullanıldı. Karışım debi ölçerle 110 ml/dak likit petrol gazı ile 30ml/dak oksijen gazı miktarında tutuldu. Tüp çıkışındaki gaz basıncı ise basınç regülatörleri takılarak ayarlandı. Oksijen gazının belirtilen orandan fazla olması aşırı üfleme nedeniyle gazın tam yanma olmadan hamlaçtan dışarı atılmasına neden olmakta ve az olması da alevin isli olmasına ve

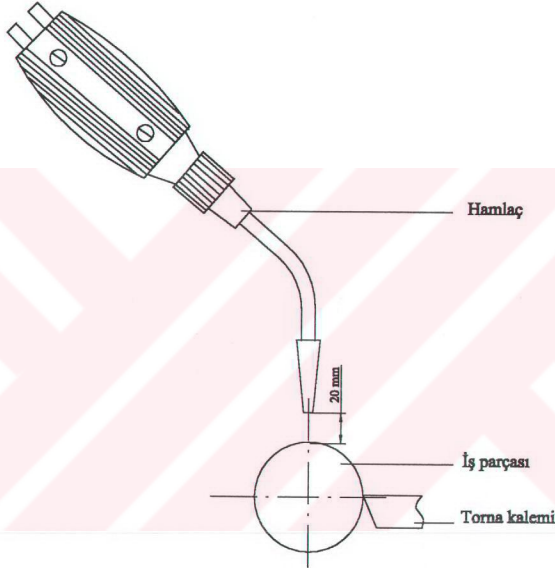
dolayısıyla iş parçası sıcaklığının düşük olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca belirtilen gaz miktarlarının artması tekrar ateşleme sırasında hamlaç ucunda patlamalar meydana getirmektedir.



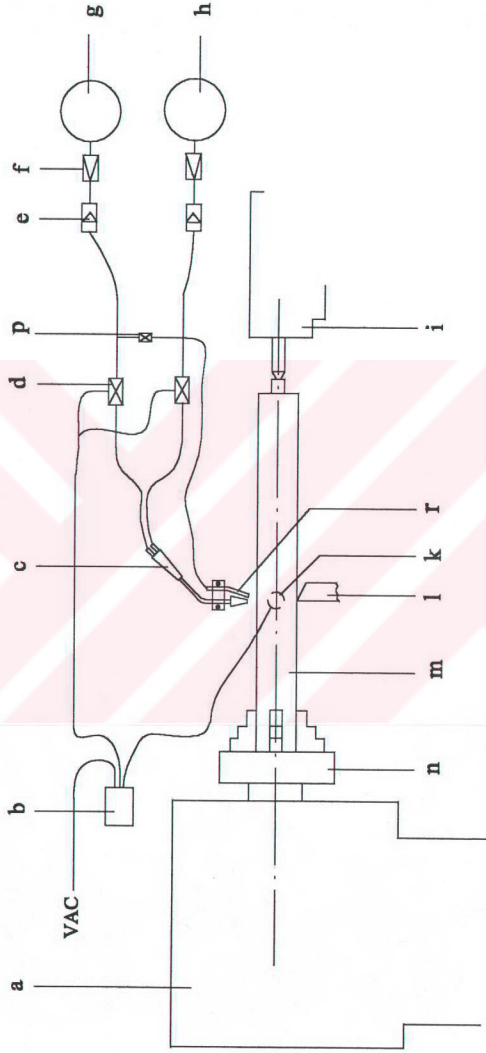
Şekil 4.1. Deney düzenine görünüşü

Gazın hamlaca girişini sağlamak için sıcaklık kontrol cihazı ile çalışabilen iki adet selenoid valf tüp çıkışlarına takıldı. İş parçası sıcaklığını kontrol altına alabilmek için ise, özel olarak imal ettirilen sıcaklık kontrol cihazı ve enfrauj termometre kullanıldı ve sıcaklık kontrol cihazı ile selenoid valfler birbirlerine monte edildi. Valflerin açılıp kapanması esnasında sönen alevi tekrar yakabilmek için oksijen asetilen hamlacının bitişine sürekli yanar vaziyette bulunan bir pilot alev kullanıldı(Şekil 4.3.). Bu alev, hamlaç için önceden ayarlanan gazın hamlaca gelmesiyle hamlacı otomatik olarak yakmakta ve deney öncesi çalışma sıcaklığına ayarlanan sıcaklık kontrol cihazının selenoid valfleri de sürekli olarak gaz ayarını kontrol altında tutmaktadır. Sıcaklığın belirlenen değere ulaşması ile iş parçası ile temas halinde bulunan ısı çifti sıcaklık kontrol cihazına akım göndermektedir. Sıcaklık kontrol cihazı tarafında okunan sıcaklık değeri, cihaza önceden bildirilen değere ulaştığı an selenoid valflere elektrik

akımını göndermesi ile valfleri kapatmakta ve hamlaca gaz girişini kesmektedir. Sıcaklığın düşmesi durumunda ise yine aynı şekilde cihaz valfleri açmakta ve gaz akışını serbest bırakmaktadır.



Şekil 4.2. Hamlacın iş parçası üzerindeki konumu



Şekil 4.3. Deney setinin şematik görünüşü (a.Torna tezgahı, b.Sıcaklık kontrol cihaz, c.Hamlaç, d.Selenoid valf, eDebi ölçer, fBasınç regülatörü, g.Likit petrol gazı, h.Oksijen gazı, iGezer punta, k-İsl çift, l)torna kaleni, m.İş parçası, n.Ayna r. Plot alev, p.Plot alev valfi)

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneylerde, östenitik manganlı çeliklerin işlenmesinde etkili olan takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması ISO 3685-E de belirtilen norm değerler göz önüne alınarak yapıldı. Yukarıda bahsedilen konulara sıcak talaşlı işlemede etkili olan faktörlerin çokluğu ve bunların tümünün birden araştırılması zor olduğundan, bunların bir kısmı sabit tutularak diğerlerinin birbirine etkilerinin araştırmasının sıhhatli bir şekilde yapılmasına yardımcı olacağı düşüncesiyle aşağıda görülen bir program hazırlandı.

1. Aşınma-zaman deneyleri;
 - 1.1. Hız değişken,
 - 1.2. Sıcaklık değişken,
 - 1.3. Paso derinliği değişken,
 - 1.4. Devir başına ilerleme değişken,
2. Takım ömrünün belirlenmesi;
 - 2.1. Takım ömrü -kesme hızı değişimi,
 - a) Sıcaklık değişken.
 - 2.2. Takım ömrü-sıcaklık değişimi,
 - a) Kesme hızı değişken.
 - 2.3. Takım ömrü-paso derinliği değişimi,
 - a) Sıcaklık değişken.
 - 2.4. Takım ömrü-devir başına ilerleme değişimi,
 - a) Sıcaklık değişken.
3. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri;
 - 3.1. Yüzey pürüzlülüğü -kesme hızı deneyleri,
 - a) Sıcaklık değişken.
 - 3.2. Yüzey pürüzlülüğü -sıcaklık deneyleri,
 - a) Kesme hızı değişken.
 - 3.3. Yüzey pürüzlülüğü -paso derinliği deneyleri,
 - a) Sıcaklık değişken.
 - 3.4. Yüzey pürüzlülüğü -devir başına ilerleme deneyleri,
 - a) Sıcaklık değişken.

şeklinde bir yol takip edilerek, aşağıdaki deneyler yapıldı ve elde edilen sonuçların tablo ve grafikleri hazırlanarak, araştırmanın tamamlanmasına çalışıldı.

5.1. Aşınma-Zaman deneyleri

Östenitik manganlı çeliklerin işlenmesi için 70 mm çapında ve 700 mm boyunda malzemeler kullanıldı. Önce bu malzemelerin punta delikleri özel olarak temin edilen sert metal uçlu kesicilerle standart bir şekilde açıldı. Daha sonra bu malzemeler tezgaha sırasıyla ayna ile punta arasına alınarak bağlandı. Deneylerin soğuk talaşlı ve sıcak talaşlı olarak yapılması planlandığı için, ilk deneyler soğuk talaşlı olarak yapıldı. Ayrıca dökümden çıkmış manganlı çeliklerin yüzeylerindeki kum tabakasının aşınma deneylerine olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için deney malzemeleri M20 kesicilerle tormalanarak kumdan temizlendi.

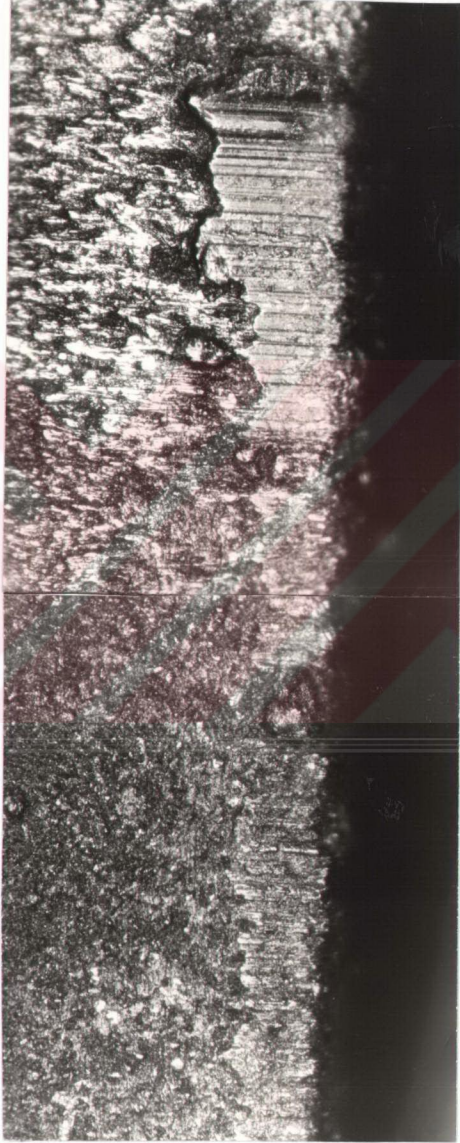
Yüzeyleri temizlenen iş parçalarının soğuk talaşlı işleme deneylerinde, önceden belirlenen standart kesme hızları kullanıldı. Bunun için iş parçalarının çapları belirlenen kesme hızını sağlayacak şekilde tormalanarak deneye hazır bir hale getirildi. Kesme hızının belirlenmesinde iş parçası çapı olarak ISO 3685-E de belirtildiği gibi işlenecek yüzey esas alındı ve iş parçaları çapları deneyler için önceden belirleyen kesme hızlarını sağlayacak ölçüye getirildi. Deneylerde kesici takımında meydana gelen aşınmalar, 22 m/dak ve 33 m/dak kesme hızlarında 4 dakikalık zaman aralıklarında , 46m /dak, 62 m/dak ve 75 m/dak kesme hızlarında ise 3 dakikalık zaman aralığında yan yüzey aşınması (V_B) değerleri ölçüldü(Şekil 5.1). Kesici plakentinin özelliğinden dolayı kalemin talaş yüzeyinde krater aşınması meydana gelmedi(Şekil 5.2). Kalemin yan yüzeyi üzerindeki aşınma miktarları çeşitli büyütmelemlerde büyütülerek mikroskobun optik ekranından ölçüldü. Bu işlem sırasında plaket üzerine yapışan metalik parçacıklar dikkatli bir şekilde temizlendi. Mikroskoptaki ölçme işlemlerinde 150x, 200x ve 300x büyütmelemleri kullanıldı. Kalem aşınması dışında, kesici ucun ani kırılması ve bozulmasından dolayı meydana gelen hasarlar, deneylerde dikkate alınmadı ve aynı deneyler kesici uç değiştirilerek tekrarlanıp kalem aşınmaları ölçüldü.

Aşınma deneyleri ISO 3685-E standardına göre ana serbest yüzey aşınması(V_B) 0.3 mm değerine ulaşıldığı zaman deneyler durduruldu. Daha sora deneylerden elde

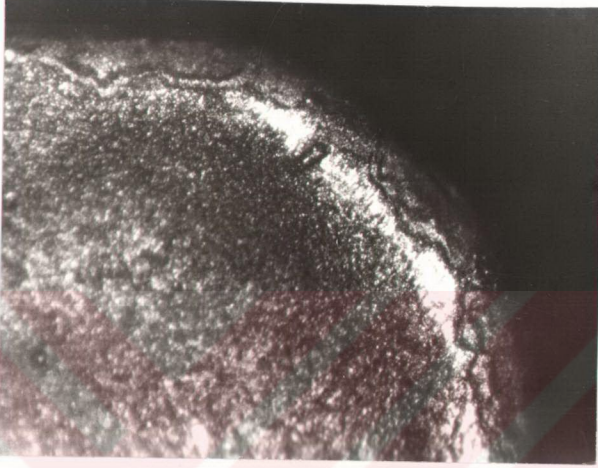
edilen aşınma miktarları tablo haline getirilerek (Tablo 5.1), aşınma- zaman değişimleri çizildi (Şekil 5.3).

Östenitik manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesinde, soğuk talaşlı işleme deneylerinde kullanılan kesme şartları (kesme hızı, ilerleme, paso derinliği) aynı şekilde kullanıldı ve deneyler 200 °C , 400 °C ve 600 °C deki iş parçası yüzey sıcaklığı için yapıldı. Deneylere başlamadan önce hamlacın Şekil 5.2 de gösterildiği gibi 20 mm mesafede ve gaz miktarlarının oksijen için 30 ml/dak ve likit petrol gazı için 110 ml/dak olmasına dikkat edildi. Bu karışımda yanmanın daha iyi olduğu yapılan çeşitli karışım oranları sonucunda saptandı. İş parçası sıcaklığını doğru bir şekilde belirleyebilmek ve deneyler esnasında sıcaklığı sabit tutabilmek için cihaz ve ısı çift her defasında kalibre edildi. Kalibrasyon işlemi, deney sıcaklığında ve her deney öncesi enfiruj temassız termometre ile yapıldı. 200 °C de yapılan bütün deneylerde hamlacın ısıtma kapasitesinin yeterli bir seviyede olduğu görüldü. Bu nedenle 200 °C için deney öncesi iş parçasını ön ısıtılmasına gerek kalmadı. 400 °C deki sıcaklıkta ise düşük kesme hızları ve ilerlemeler için hamlaç yeterli miktarda ısıtma sağlamadı. Ancak daha yüksek kesme hızları ve ilerlemeler için 400 °C ve 600 °C sıcaklıklardaki deneylerde iş parçası sabit ilerlemeler ile üniform bir şekilde ön ısıtmaya tabi tutuldu.

Sıcak talaşlı işleme deneylerinde de ISO standardına uygun olarak $V_B = 0.3$ mm değerine gelinceye kadar deneylere devam edildi. Deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar tablolar haline getirildi (Tablo 5.2-5.4) ve aşınma-zaman eğrileri çizildi (Şekil 5.4-5.6). Ayrıca elde edilen değerler kesme hızlarına bağlı olarak da tablo halinde verilerek, (Tablo 5.5-5.9) ayrı ayrı grafikleri çizildi (Şekil 5.7-5.11). Deneylerde takım ömrüne, ilerleme ve paso derinliğin etkisi de araştırıldı (Tablo 5.10-5.17) ve aşınma zaman grafikleri çizildi (Şekil 5.12-5.20).



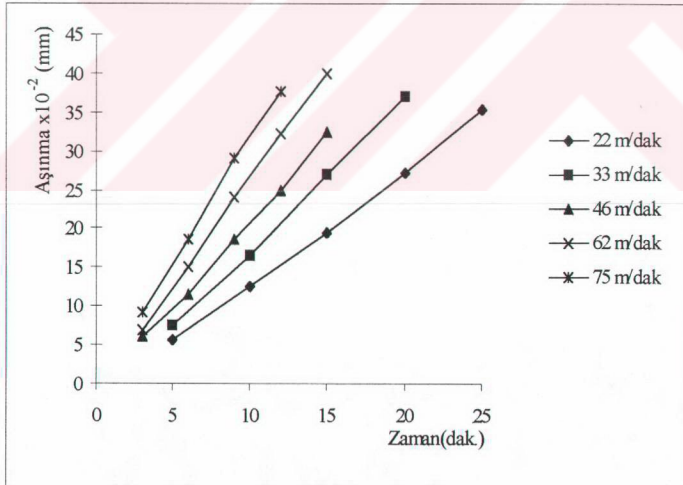
Şekil 5.1. Yan yüzey aşınmasının metalografik mikroskopla görünüşü
(Büyütlme: 10x15)



Şekil 5.2. Kesici ağzının üstten görünüşü (Büyütme:10x15)

Tablo 5.1. Oda sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma -zaman ilişkisi
($t=1.5$ mm, $S=0.1$ mm/dev)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 22 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 33 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 46 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 62 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 75 m/dak
5	5,6	5	7,6	3	6	3	7	3	9,3
10	12,6	10	16,6	6	11,6	6	15	6	18,6
15	19,5	15	27	9	18,6	9	24	9	29
20	27,3	20	37	12	25	12	32,3	12	37,6
25	35,3			15	32,5	15	40		

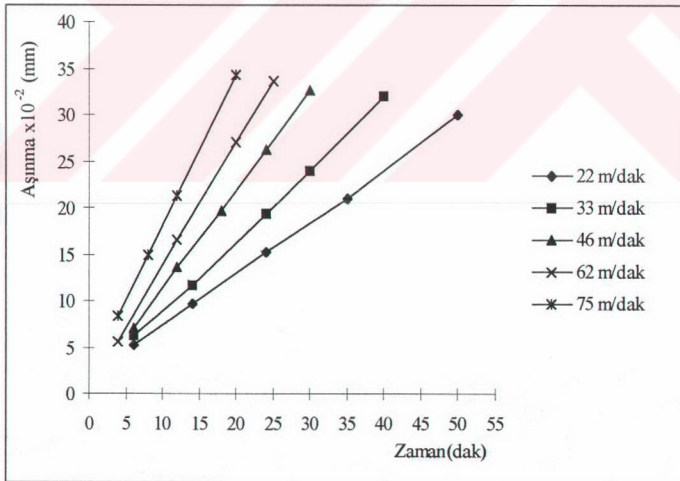


Şekil 5.3. Oda sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi
($t=1.5$ mm, $S=0.1$ mm/dev).

Tablo 5.2. $\theta=200$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi

(t=1.5 mm, S= 0.1 mm/dev)

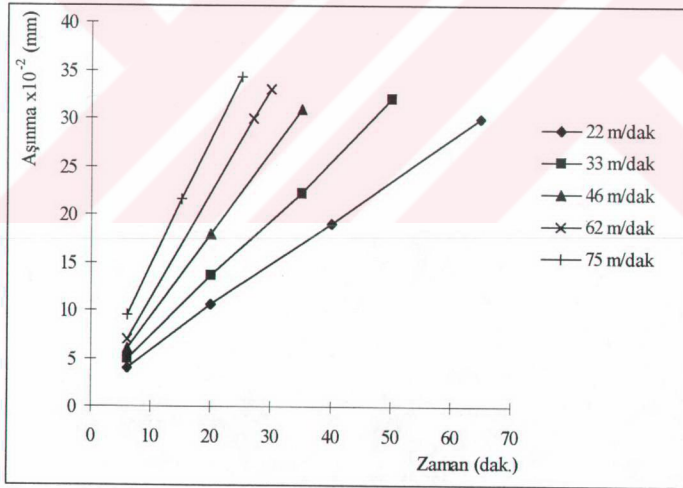
Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 22 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 33 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 46 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 62 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 75 m/dak
6	5,3	6	6,3	6	7	4	5,6	4	8,3
14	9,6	14	11,6	12	13,6	12	16,6	8	15
24	15,3	24	19,3	18	19,6	20	27	12	21,3
35	21	30	24	24	26,3	25	33,6	20	34,3
50	30	40	32	30	32,6				

**Şekil 5.4.** $\theta=200$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi

(t=1.5 mm, S= 0.1 mm/dev)

Tablo 5.3. $\theta=400\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi
($t=1.5\text{ mm}$, $S=0.1\text{ mm/dev}$)

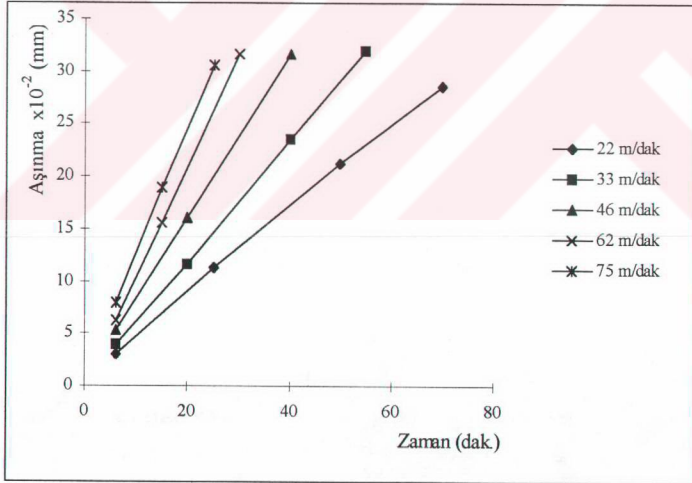
Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 22 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 33 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 46 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 62 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 75 m/dak
6	4	6	5	6	6	6	7	6	9,6
20	10,6	20	13,6	20	18	27	30	15	21,6
40	19	35	22,3	35	31	30	33	25	34,3
65	30	50	32						



Şekil 5.5. $\theta=400\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi
($t=1.5\text{ mm}$, $S=0.1\text{ mm/dev}$)

Tablo 5.4. $\theta=600$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi
($t=1.5$ mm, $S=0.1$ mm/dev)

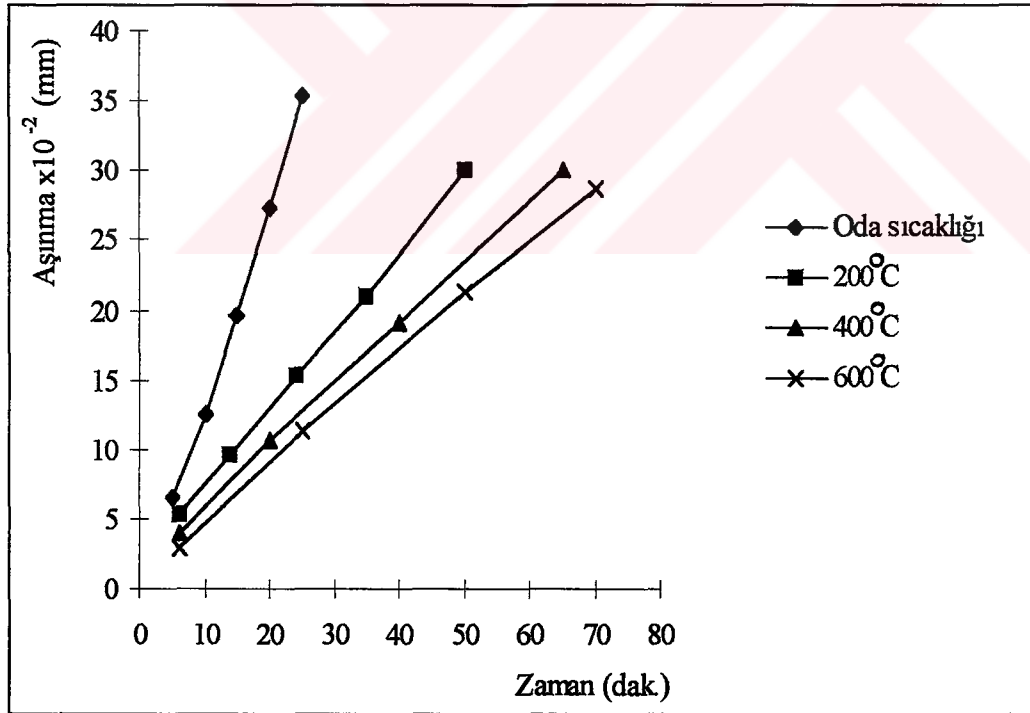
Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 22 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 33 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 46 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 62 m/dak	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 75 m/dak
6	3	6	4	6	5,3	6	6,3	6	8
25	11,3	20	11,6	20	16	15	15,6	15	19
50	21,3	40	23,6	40	31,6	30	31,6	25	30,6
70	28,6	55	32						



Şekil 5.6. $\theta=600$ °C sıcaklığında talaşlı işleme için aşınma- zaman ilişkisi
($t=1.5$ mm, $S=0.1$ mm/dev)

Tablo 5.5. $V=22$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi
($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) Oda sıcaklığı	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 400 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 600 °C
5	6,6	6	5,3	6	4	6	3
10	12,6	14	9,6	20	10,6	25	11,3
15	19,5	24	15,3	40	19	50	21,3
20	27,3	35	21	65	30	70	28,6
25	35,3	50	30				

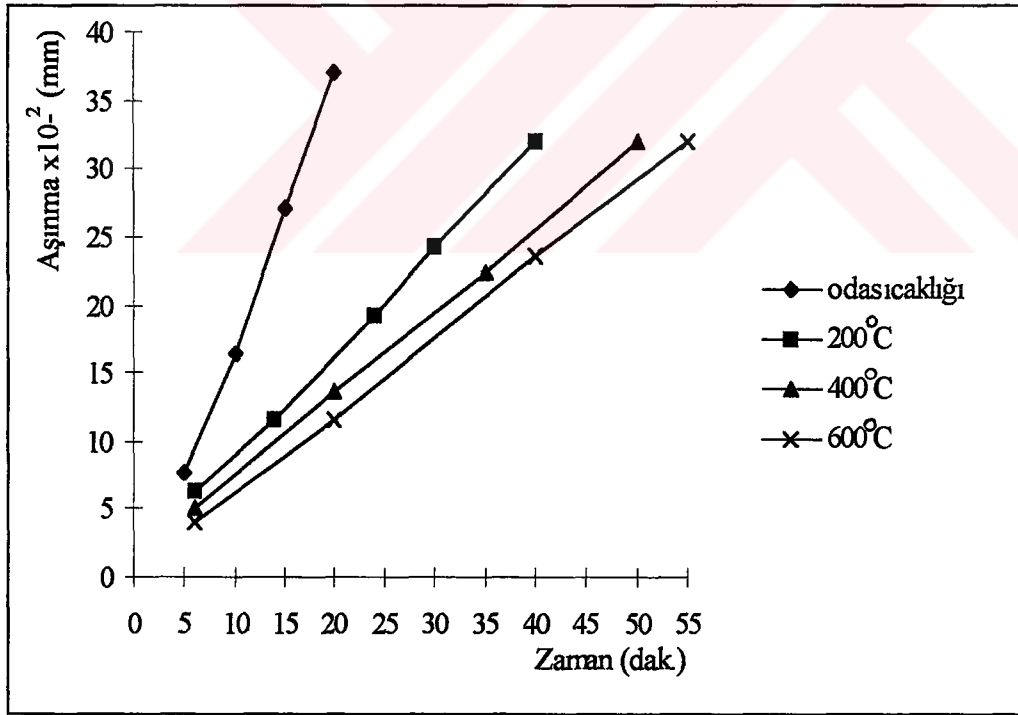


Şekil 5.7. $V=22$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi
($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)

Tablo 5.6. V=33 m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi

(t=1.5 mm, S= 0.1 mm/dev)

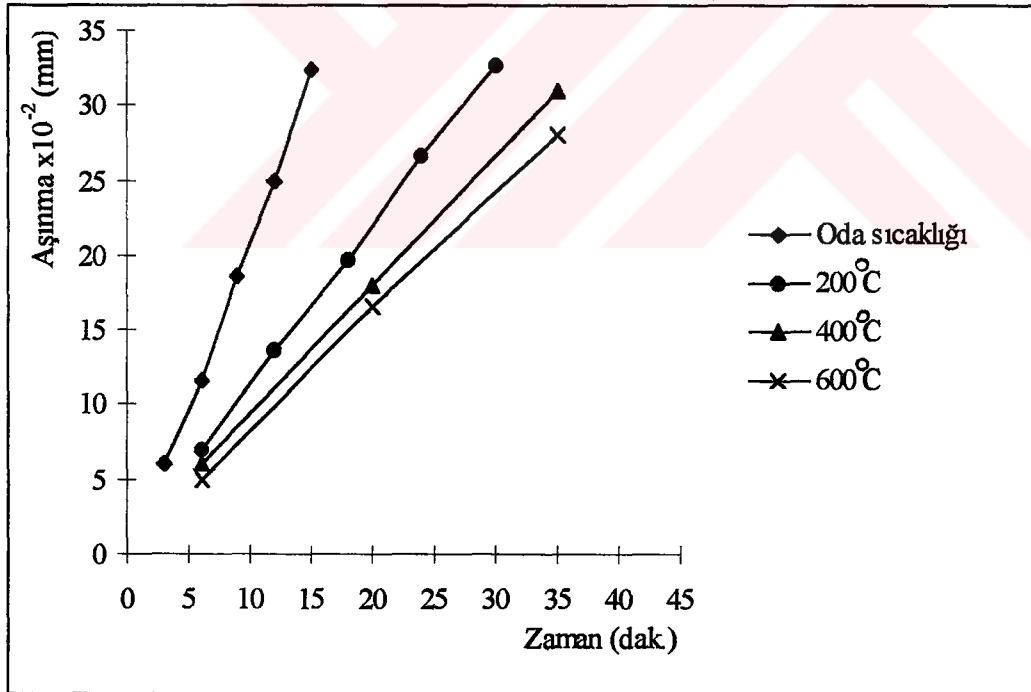
Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) Oda sıcaklığı	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 400 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 600 °C
5	7,6	6	6,3	6	5	6	4
10	16,5	14	11,6	20	13,6	20	11,6
15	27	24	19,3	35	22,3	40	23,6
20	37	30	24,3	50	32	55	32
		40	32				

**Şekil 5.8.** V=33 m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi

(t=1.5 mm, S= 0.1 mm/dev)

Tablo 5.7. $V=46$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)

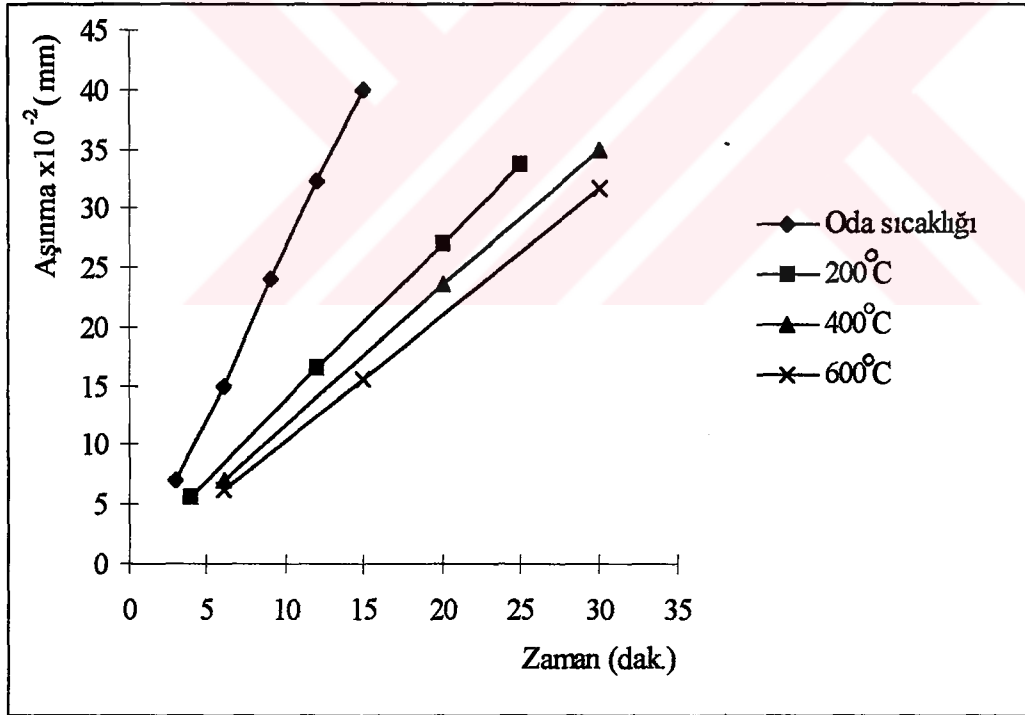
Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) Oda sıcaklığı	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 400 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 600 °C
3	6	6	7	6	6	6	5
6	11,6	12	13,6	20	18	20	16,6
9	18,6	18	19,6	35	31	35	28
12	25	24	26,6				
15	32,3	30	32,6				

Şekil 5.9. $V=46$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)

Tablo 5. 8. V=62 m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi

(t=1.5 mm, S= 0.1 mm/dev)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) Oda sıcaklığı	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 400 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 600 °C
3	7	4	5,6	6	7	6	6,3
6	15	12	16,6	20	23,6	15	15,6
9	24	20	27	30	35	30	31,6
12	32,3	25	33,6				
15	40						

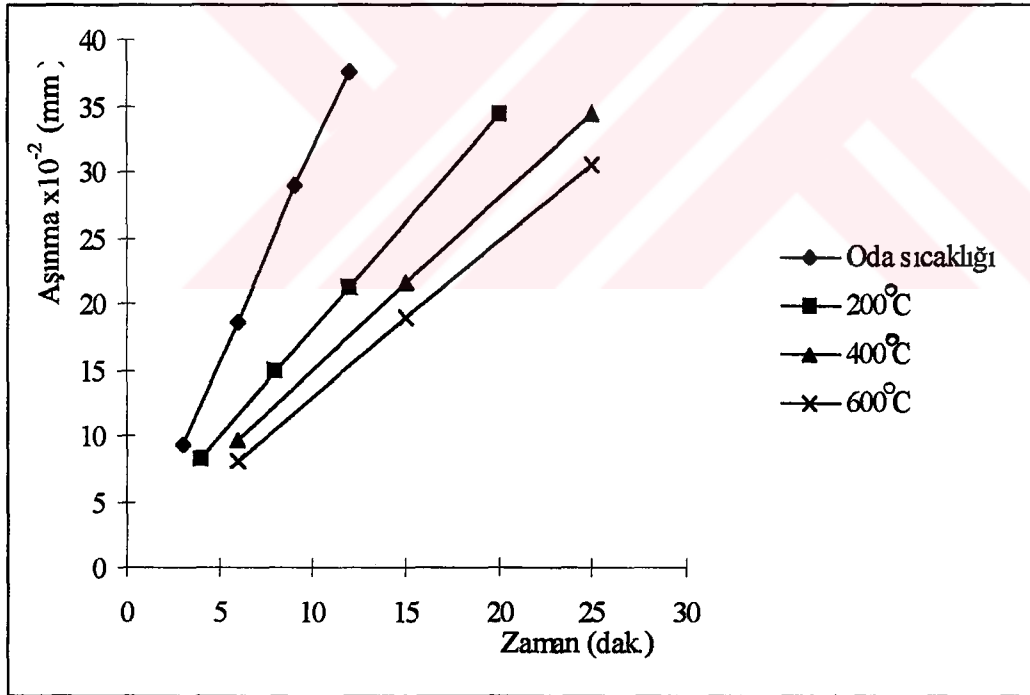
**Şekil 5.10.** V=62 m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi

(t=1.5 mm, S= 0.1 mm/dev)

Tablo 5.9. $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi

($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) Oda sıcaklığı	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 400 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) 600 °C
3	9,3	4	8,3	6	9,6	6	8
6	18,6	8	15	15	21,6	15	19
9	29	12	21,3	25	34,3	25	30,6
12	37,6	20	34,3				

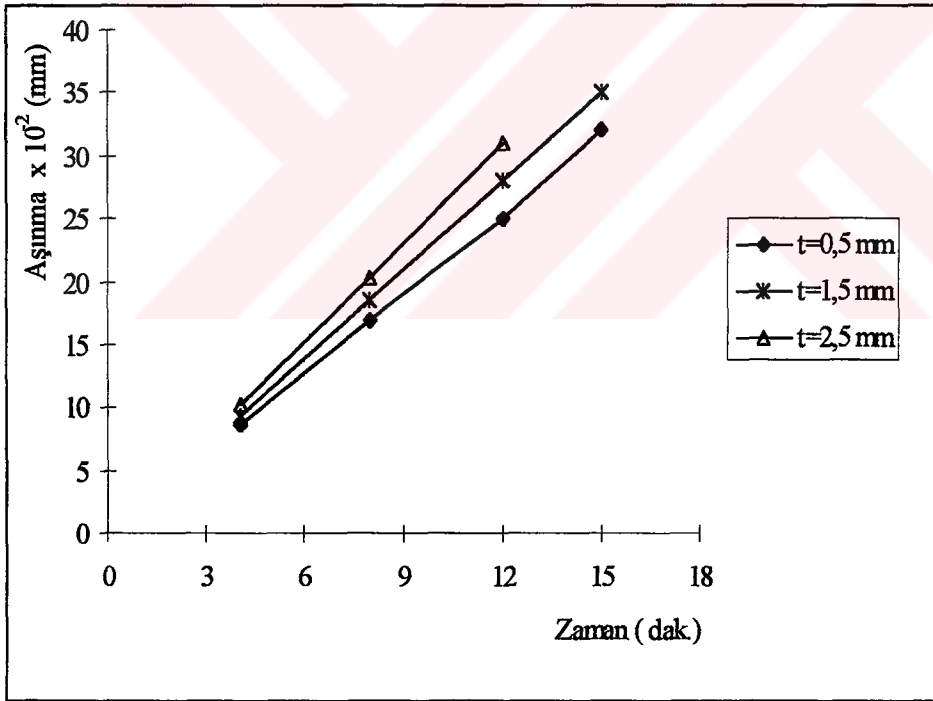


Şekil 5.11. $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma- zaman ilişkisi

($t=1.5$ mm, $S= 0.1$ mm/dev)

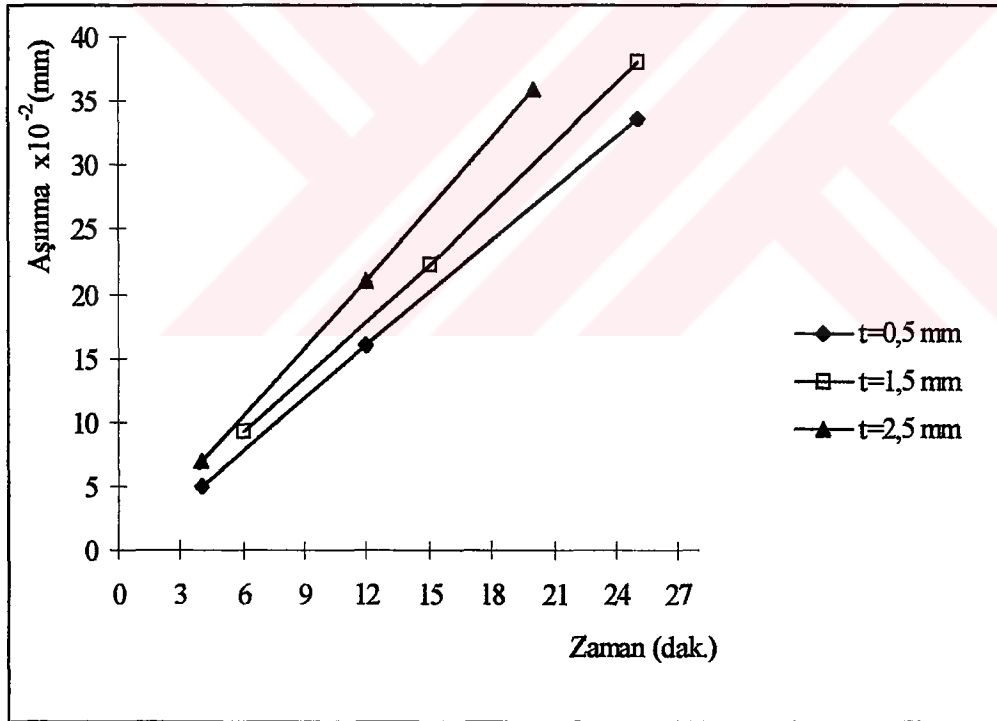
Tablo 5.10. $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma zaman ilişkisi $(\theta=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $S=0.2$ mm/dev)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=0,5$ mm	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=1,5$ mm	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=2,5$ mm
4	8,6	4	9,3	4	10,3
8	17	8	18,5	8	20,3
12	25	12	28	12	31
15	32	15	35		

**Şekil 5.12.** $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma zaman ilişkisi $(\theta=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $S=0.2$ mm/dev)

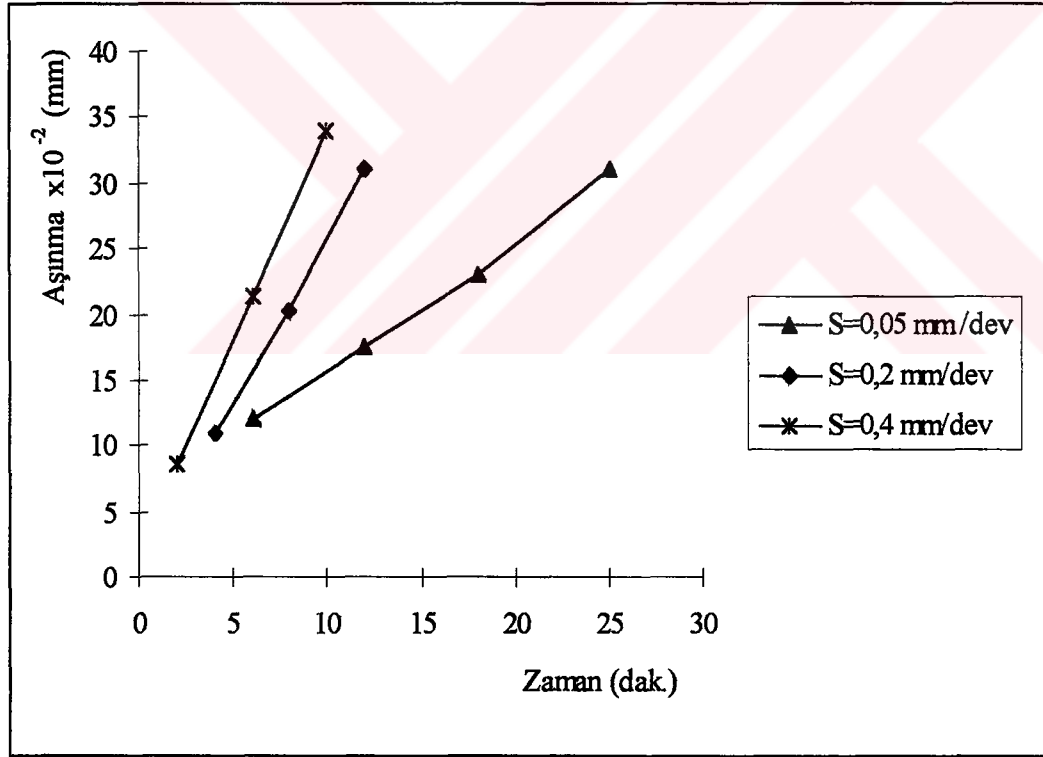
Tablo 5.11. $V=75$ m/dak kesme hızında işleme için aşınma zaman ilişkisi $(\theta=600^\circ\text{C}$ ve $S=0.2$ mm/dev)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=0,5$ mm	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=1,5$ mm	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=2,5$ mm
4	5	6	9,3	4	7
12	16	15	22,3	12	21
25	33,6	25	38	20	36

**Şekil 5.13.** $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi $(\theta=600^\circ\text{C}$ ve $S=0.2$ mm/dev)

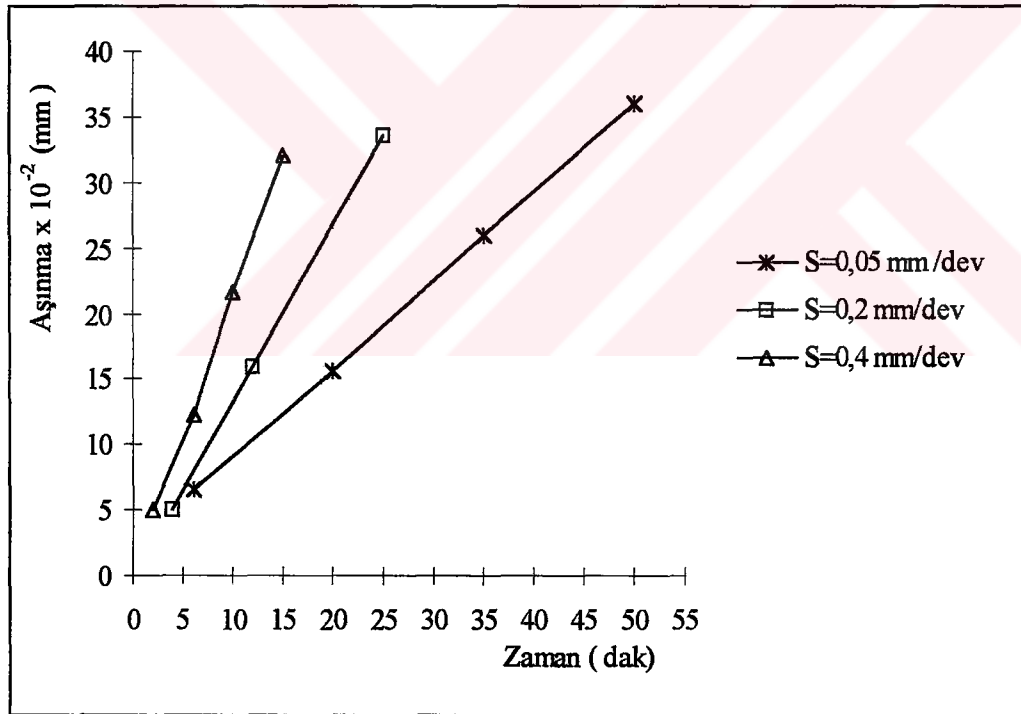
Tablo 5.12. $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi $(\theta=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $t=2.5$ mm)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $S=0,05$ mm/dev	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $S=0,2$ mm/dev	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $S=0,4$ mm/dev
6	12	4	11	2	8,6
12	17,6	8	20,3	6	21,3
18	23	12	31	10	34
25	31				

**Şekil 5.14.** $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi $(\theta=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $t=2.5$ mm)

Tablo 5.13. $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi $(\theta=600^\circ\text{C}$ ve $t=2.5$ mm)

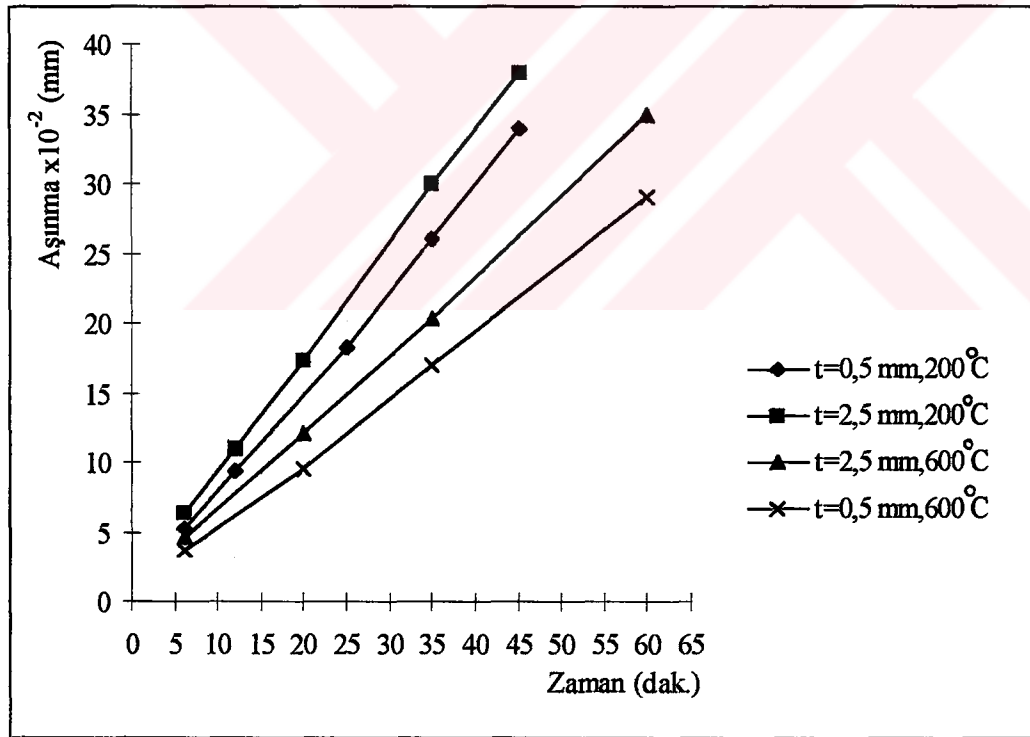
Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $S=0,05$ mm/dev	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $S=0,2$ mm/dev	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $S=0,4$ mm/dev
6	6,5	4	5	2	5
20	15,6	12	16	6	12,3
35	26	25	33,6	10	21,6
50	36			15	32

Şekil 5.15. $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi $(\theta=600^\circ\text{C}$ ve $t=2.5$ mm)

Tablo 5.14. $V=22$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi

(S=0.2 mm/dev)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=0,5$ mm, 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=2,5$ mm, 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=0,5$ mm, 600 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=2,5$ mm, 600 °C
6	5,3	6	6,3	6	3,6	6	4,6
12	9,3	12	11	20	9,6	20	12
25	18,3	20	17,3	35	17	35	20,3
35	26	35	30	60	29	60	35
45	34	45	38				

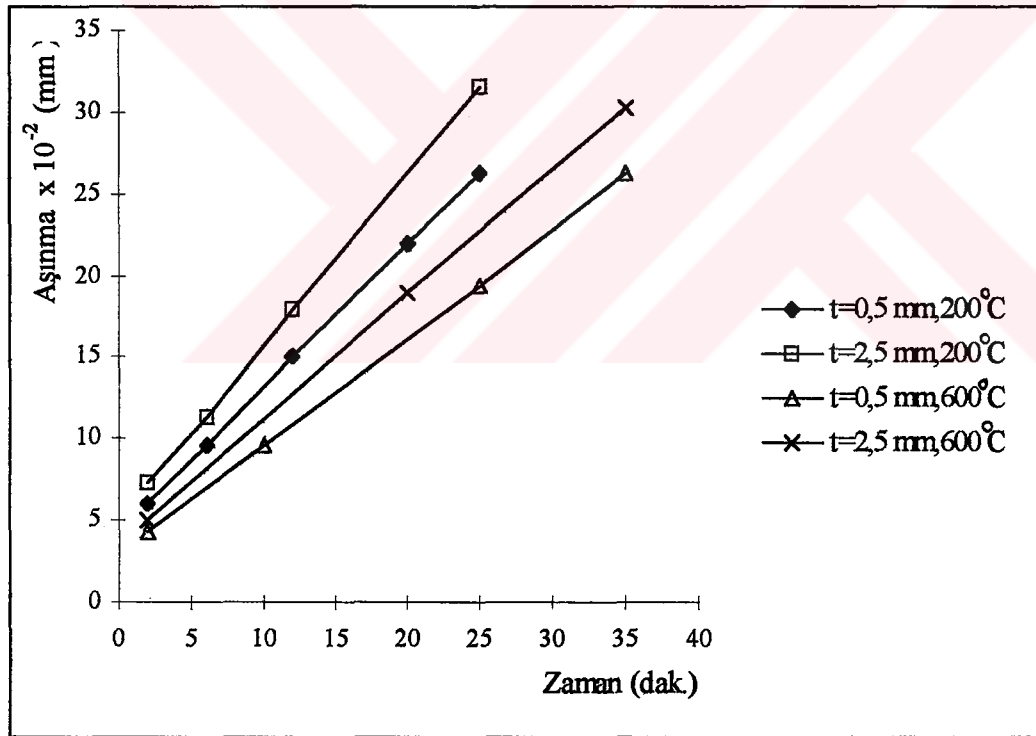
Şekil 5.16. $V=22$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi

(S=0.2 mm/dev)

Tablo 5.15. V=22 m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi

(S=0.4 mm/dev)

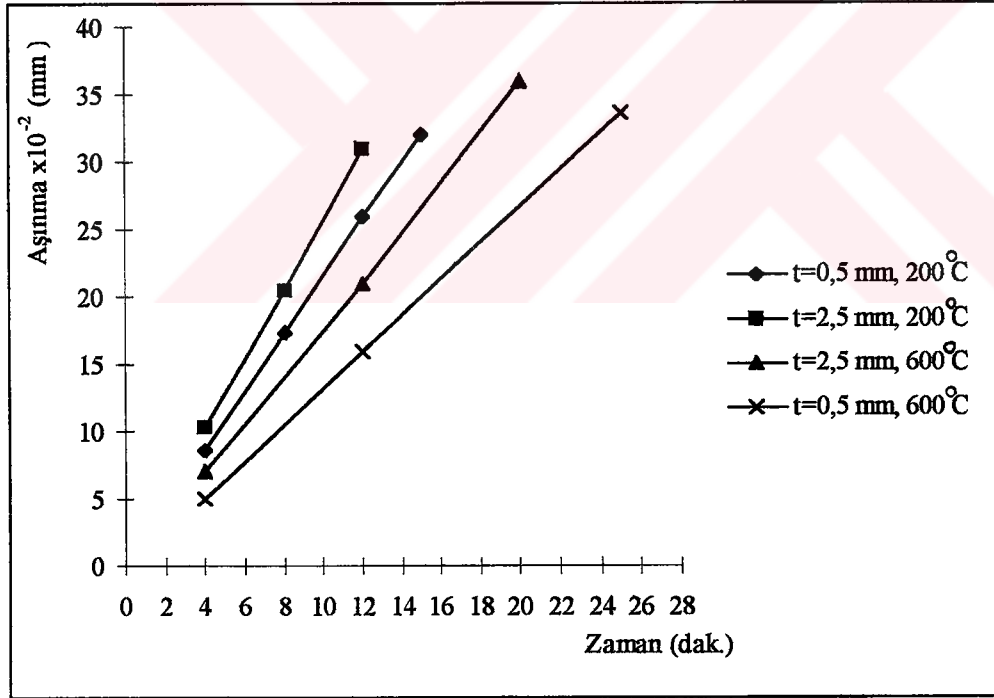
Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) t=0,5 mm, 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) t=2,5 mm, 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) t=0,5 mm, 600 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) t=2,5 mm, 600 °C
2	6	2	7,3	2	4,3	2	5
6	9,6	6	11,3	10	9,6	20	19
12	15	12	18	25	19,3	35	30,3
20	22	25	31,6	35	26,3		
25	26,3						

**Şekil 5.17.** V=22 m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi

(S=0.4 mm/dev)

Tablo 5.16. $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
($S=0.2$ mm/dev)

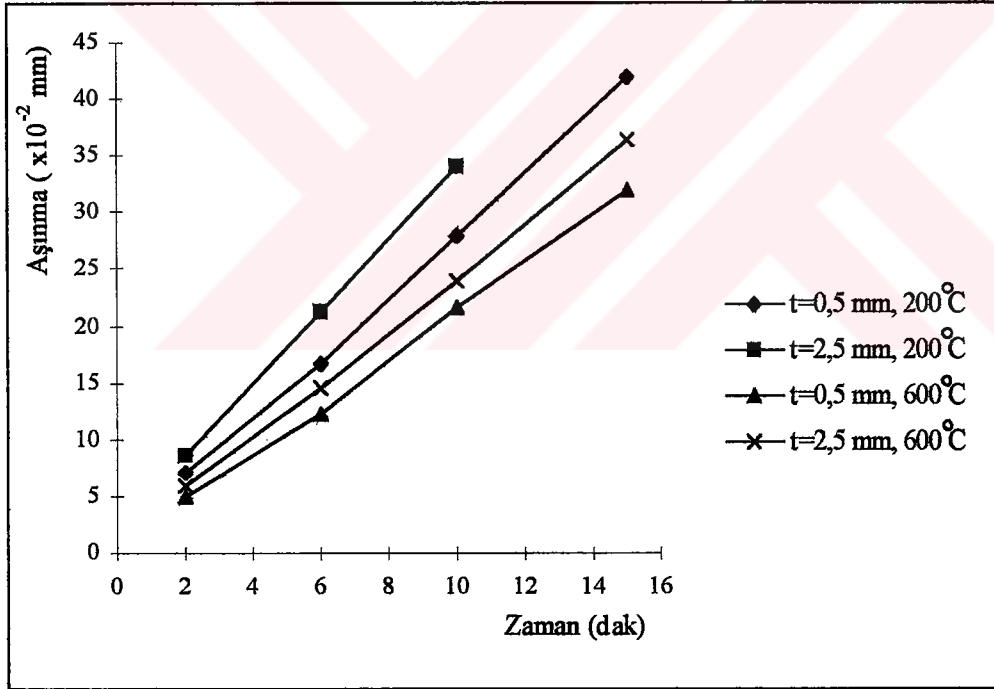
Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=0,5$ mm, 200°C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=2,5$ mm, 200°C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=0,5$ mm, 600°C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=2,5$ mm, 600°C
4	8,6	4	10,3	4	5	4	7
8	17,3	8	20,5	12	16	12	21
12	26	12	31	25	33,6	20	36
15	32						



Şekil 5.18. $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
($S=0.2$ mm/dev)

Tablo 5.17. $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
($S=0.4$ mm/dev)

Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=0,5$ mm, 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=2,5$ mm, 200 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=0,5$ mm, 600 °C	Zaman (dak)	Aşınma $\times 10^{-2}$ (mm) $t=2,5$ mm, 600 °C
2	7	2	8,6	2	5	2	6
6	16,6	6	21,3	6	12,3	6	14,6
10	28	10	34	10	21,6	10	24
15	42			15	32	15	36,3



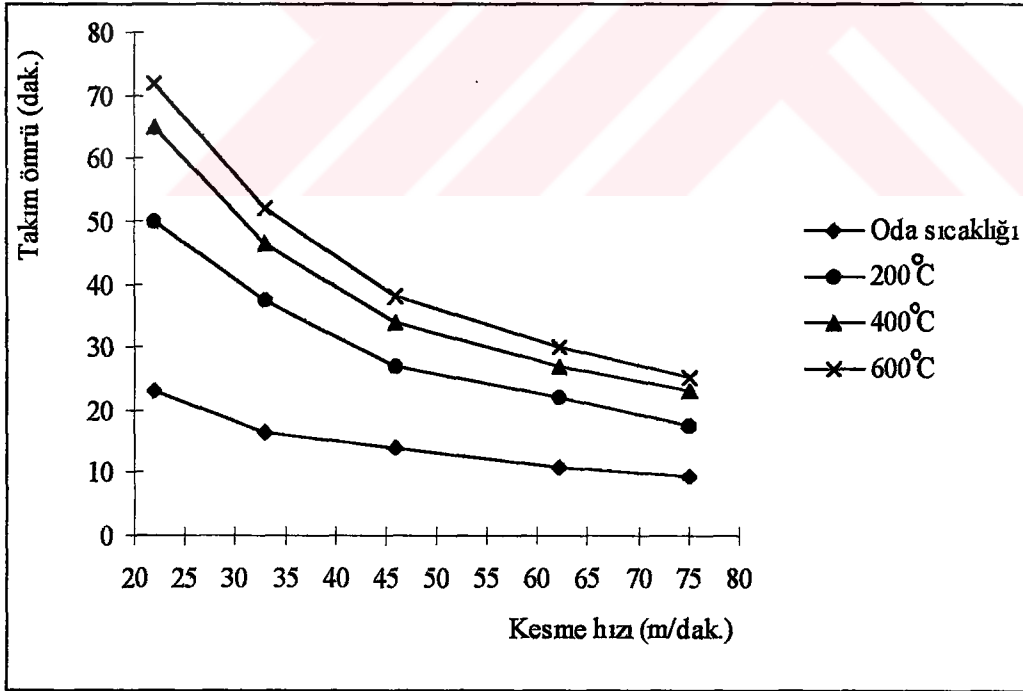
Şekil 5.19. $V=75$ m/dak kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
($S=0.4$ mm/dev)

5.2. Takım Ömrünün Belirlenmesi

Bölüm 5.1’ de çizilen aşınma zaman grafikleri esas alınarak, ISO 3685-E ‘de belirtilen $V_B=0.3$ mm aşınmaya uygun takım ömürlerinin tesbitinin yapılabilmesi için, çizilen Şekil 5.4-5.19 nolu grafiklerden yararlanarak aşınma ekseninden 0.3 mm’ye karşılık gelen takım ömürleri tesbit edildi. Bu tesbitler neticesinde gerekli tablolar hazırlanarak grafikleri çizildi.

Tablo 5.18. $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –kesme hızı ilişkisi
($S=0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Sıcaklık (°C)	Takım ömrü (dak) 22 m/dak	Takım ömrü (dak) 33 m/dak	Takım ömrü (dak) 46 m/dak	Takım ömrü (dak) 62 m/dak	Takım ömrü (dak) 75 m/dak
Oda sıcaklığı	23	16,5	14	11	9,5
200	50	37,5	27	22	17,5
400	65	46,5	34	27	22,5
600	72	52	38	30	25



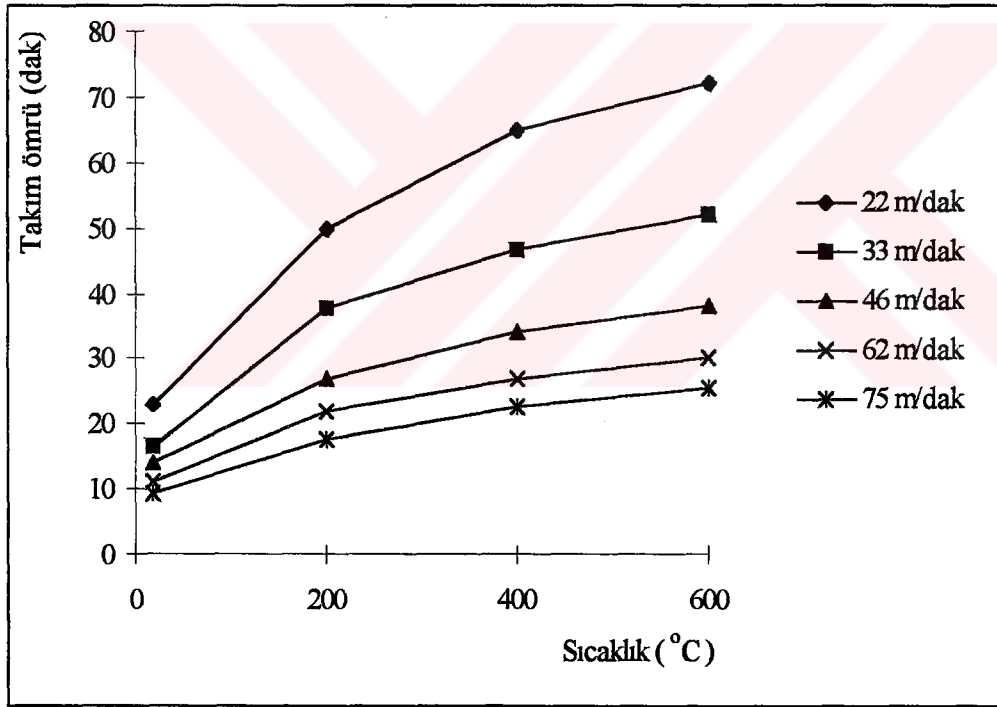
Şekil 5.20. $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –kesme hızı ilişkisi
($S=0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Şekil 5.20'den takım ömrü ile kesme hızı arasındaki değişim incelendiğinde , oda sıcaklığında işlemede 46m/dak 'ya kadar olan kesme hızında takım ömrü hızlı bir şekilde azalmakta, 46m/dak kesme hızlarından daha büyük hızlarda ise bu azalma daha az bir şekilde olmaktadır. Oda sıcaklığında 22 m/dak kesme hızı için takım ömrü 23 dakika iken, 46m/dak. kesme hızında takım ömrü 14 dakikaya düşerek %64 azaldığı görülmektedir. Fakat bu azalma 62 m/dak ile 75m/dak arasında %15 olmaktadır. Sıcak talaşlı işlemede ise oda sıcaklığına göre daha fazladır. 600°C de ısıtılarak işlemede 22m/dak kesme hızı için takım ömrü 72 dakika olurken , 46 m/dak kesme hızında 38 dakikaya düşmekte %90 azalmaktadır. Bu azalma oranı oda sıcaklığında işlemedeki azalma oranının 1.5 katıdır. Bununla beraber daha yüksek kesme hızlarında takım ömründe meydana gelen değişim oda sıcaklığının değişimi ile yaklaşık olarak aynıdır. 600°C ısıtılarak işlemede 62 m/dak kesme hızında elde edilen takım ömrü 30 dakika olurken 75 m/dak kesme hızında takım ömrü %15 azalma ile 25 dakikaya düşmektedir. Bunun yanında 600 °C de sıcak talaşlı işlemede 62m/dak ve 75m/dak kesme hızlarındaki takım ömürleri oda sıcaklığında işlemedeki takım ömürlerinden yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu görülmektedir(Şekil 5.20).

Geleneksel ve sıcak talaşlı olarak yüksek manganlı çeliğin işlenmesinde en uzun takım ömürleri 22 m/dak kesme hızlarında ve en kısa takım ömürleri de 75m/dak kesme hızlarında olduğu Şekil 5.20'den görülebilir. Düşük kesme hızlarında takım ömrünün yüksek çıkmasının sebebi, kalem talaş yüzeyi üzerindeki temas uzunluğunun küçülmesi nedeniyle takım-talaş temas direncinin de küçülmesi ve ısının büyük bir miktarının takım-talaş ara yüzeyine harcanması (Barrow,1966) ve bunun neticesinde iş parçası mukavemetinin azalması ile kesmenin kolaylaşmasıdır. Yine aynı grafik incelendiğinde 20 dakikalık bir takım ömrü için oda sıcaklığında işlemedeki kesme hızı 25 m/dak'ya karşılık gelirken, 600°C de işlemede ise $V=75$ m/dak olmaktadır. Çünkü artan sıcaklıkla birlikte kesme bölgesindeki kesme mukavemeti düşer. (Krabacher ve Marchant,1951) ve buna bağlı olarak da takım aşınma hızı azalır. Bu nedenle sıcak talaşlı işlemede kullanılan kesme hızları geleneksel talaşlı işlemeye göre artar.

Tablo 5.19. $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –Sıcaklık ilişkisi
($S=0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Kesme hızı (m/dak)	Takım ömrü (dak) Oda sıcaklığı	Takım ömrü (dak) 200 °C	Takım ömrü (dak) 400 °C	Takım ömrü (dak) 600 °C
22	23	50	65	72
33	16,5	37,5	46,5	52
46	14	27	34	38
62	11	22	27	30
75	9,5	17,5	23	25



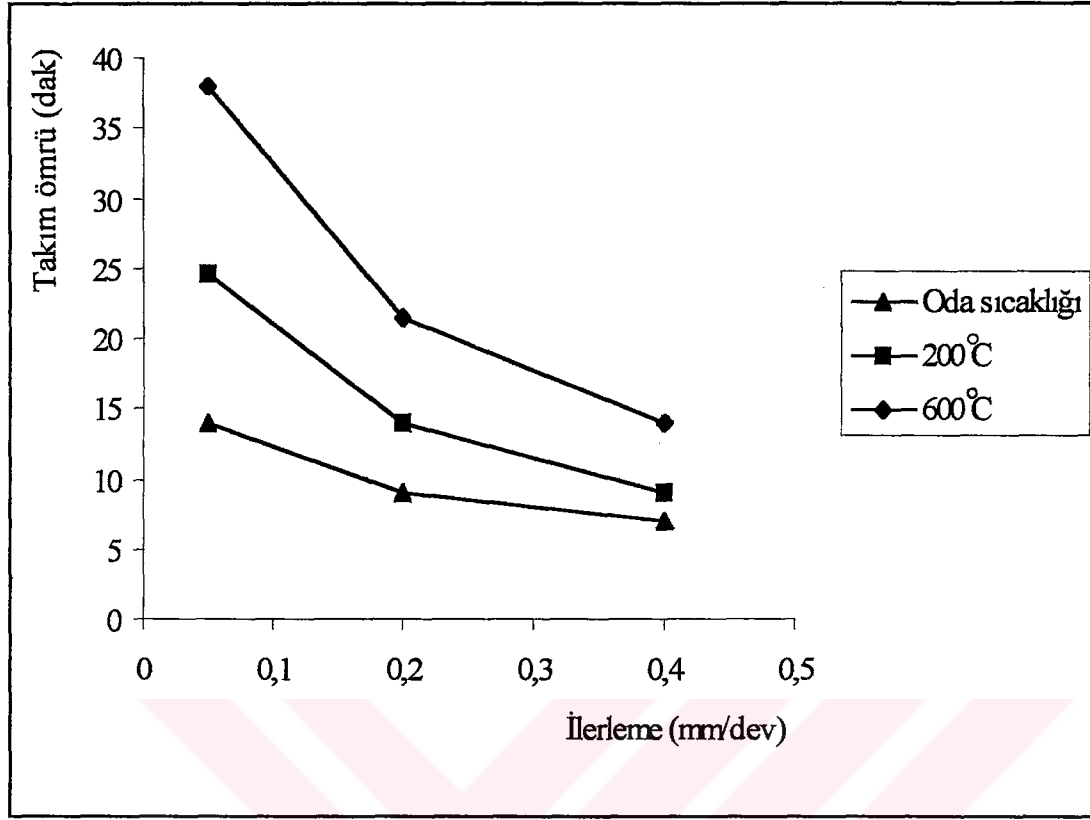
Şekil 5.21. $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –Sıcaklık ilişkisi
($S=0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Şekil 5.21' den görüleceği gibi takım ömrü ile sıcaklık ilişkisi incelendiğinde, ısıtma sıcaklığı arttığında takım ömrü artmaktadır. Bu artışın lineer bir şekilde olmadığı görülmektedir. 22 m/dak kesme hızında 200°C ısıtılarak sıcak talaşlı işlemede takım ömründeki artış oda sıcaklığına göre 2,3 kat olurken, 400°C de ısıtarak işlemede

elde edilen takım ömrü 200 °C de işlemeye göre 1,5 kat ve 600°C de ısıtılarak işlemede elde edilen takım ömrü 400 °C ye göre 1,1 kat artmaktadır. 75 m/dak kesme hızları incelendiğinde ise 200 °C de sıcak talaşlı işlemede elde edilen takım ömrü oda sıcaklığına göre 1.5 kat artmış ve bu artış 22 m/dak kesme hızı ile işlemeye göre daha az meydana gelmiştir. Fakat 600 °C de ısıtarak işlemede ise 400 °C ye göre bu artış 1,1 kat artmakta olup, 22 m/dak kesme hızında meydana gelen artışa eşdeğer olmuştur. Çünkü iş parçasının ısıtılması ile birlikte kesme mukavemeti azalmakta ve yüksek kesme hızlarında kalem aşınma hızı düşmektedir. Yine aynı grafik incelendiğinde 400 °C de ısıtarak talaşlı işleme ile 600 °C de ısıtarak talaşlı işlemede elde edilen takım ömürleri yaklaşık olarak birbirlerine yakın çıktığı görülmektedir. Halbuki oda sıcaklığında talaşlı işleme ile 200°C de sıcak talaşlı işlemede elde edilen takım ömürleri birbirlerinden çok farklı olmuş ve hızlı bir şekilde artmıştır. Bunun nedeni 200 °C sıcaklığında takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ile ısıtma sıcaklığı arasındaki fark çok olması ve bunun neticesinde 200 °C sıcaklığındaki takım-talaş ara yüzey sıcaklığı 400 °C deki takım-talaş ara yüzey sıcaklığına yaklaşmasıdır. Çünkü ısıtma sıcaklığı arttıkça takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ile ısıtma sıcaklığı arasındaki fark azalmaktadır(Larin,1970).

Tablo 5.20. $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –ilerleme ilişkisi
($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm)

İlerleme (mm/dev)	Takım ömrü (dak) Oda sıcaklığı	Takım ömrü (dak) 200 °C	Takım ömrü (dak) 600 °C
0,05	14	24,5	38
0,2	9	14	21,5
0,4	7	9	14

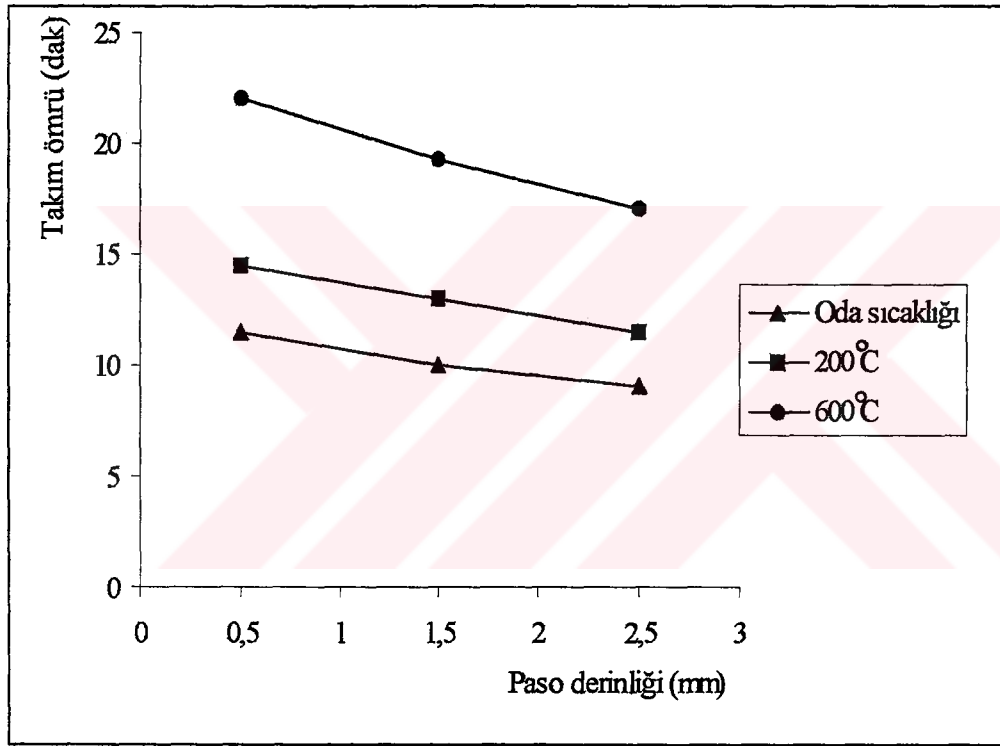


Şekil 5.22. $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –ilerleme ilişkisi
($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm)

Şekil 5.22.'den görüleceği gibi ilerleme arttıkça takım ömrü azalmaktadır. Oda sıcaklığında talaşlı işlemede 0.05 mm/dev ilerlemedeki takım ömrü 14 dakika olurken 0.4 mm/dev ilerlemede 7 dakikaya düşerek %100 azalmaktadır. 600 °C de sıcak talaşlı işlemede ise 0.05 mm/dev ilerleme ile işlemedeki takım ömrü 38 dakika olurken 0.4 mm/dev 14 dakikaya düşmekte ve 2.7 kat azalmaktadır. Bu ise sıcak talaşlı işlemede takım ömrünün ilerlemeye bağlı olarak daha fazla azaldığını göstermektedir. Bunun nedeni, ilerlemenin artması ile iş parçasının kesme bölgesine yeterli miktarda ısı verebilmek için zamanın yetersiz olmasıdır ve iş parçasının kesme mukavemetinin yeterince düşürülememesidir.

Tablo 5.21. $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –paso derinliği ilişkisi
($V=75$ m/dak, $S= 0.2$ mm/dev)

Paso derinliği (mm)	Takım ömrü (dak) Oda sıcaklığı	Takım ömrü (dak) 200 °C	Takım ömrü (dak) 600 °C
0,5	11,5	14,5	22
1,5	10	13	19,3
2,5	9	11,5	18



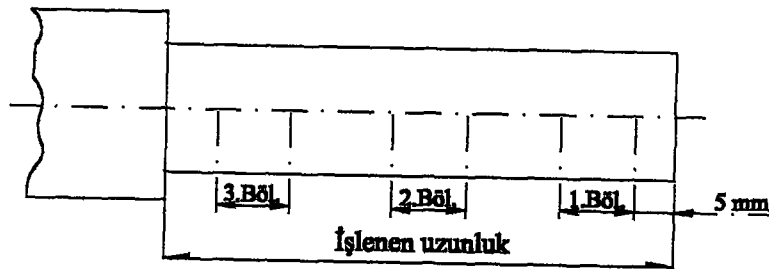
Şekil 5.23. $V_B=0.3$ mm aşınma için takım ömrü –paso derinliği ilişkisi
($V=75$ m/dak, $S= 0.2$ mm/dev)

Şekil 5.23' den görüleceği gibi takım ömrü üzerinde en az etkiyi paso derinliği göstermiştir. Paso derinliği arttıkça takım ömrü azalmıştır. Ancak bu değişim çok az miktarda meydana gelmiştir. Oda sıcaklığında 0.5 mm paso derinliğinde işlemede takım ömrü 11.5 dakika iken 2.5 mm paso derinliğinde 9 dakikaya düşerek %20 azalmaktadır. En fazla azalma, 600 °C de sıcak talaşlı işlemede 22 dakikadan 17

dakikaya düşerek olmuştur. Paso derinliğinin takım ömrü üzerindeki etkisi ısıtma sıcaklığı, kesme hızı ve ilerlemeye göre çok daha az olmaktadır. Ünüvar (1985), yaptığı çalışmada paso derinliğinin takım ömrü üzerindeki etkisi ihmal etmiştir.

5.3. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyleri

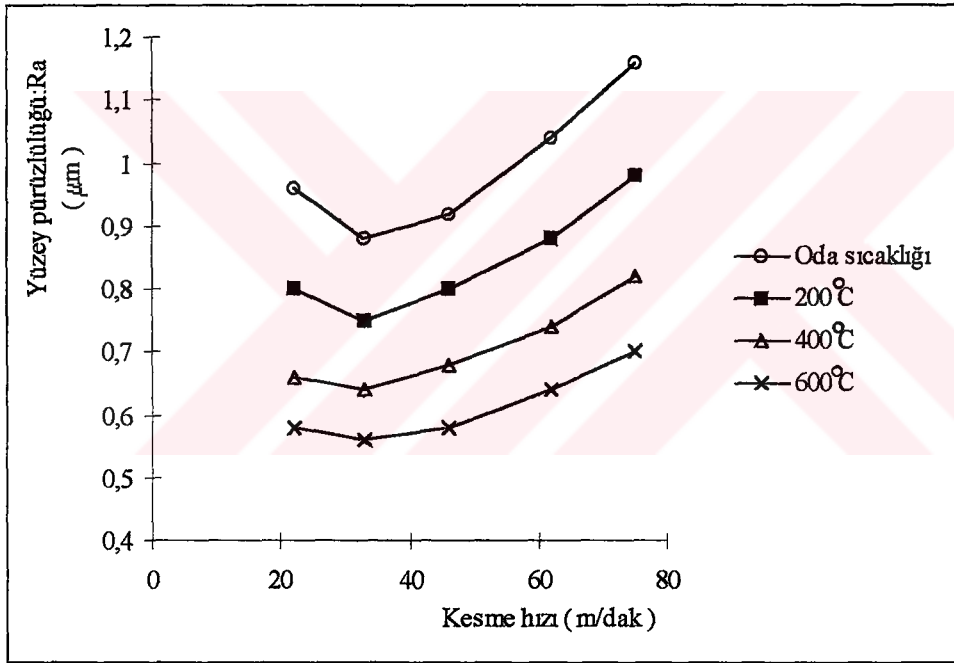
Oda sıcaklığında ve sıcak talaşlı işleme sonrası malzemelerinin yüzey pürüzlülüklerinin araştırılmasında ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ölçüldü. Ölçme işlemi her deney sonrası malzemelerin üç farklı noktasından ve eksenleri boyunca yapıldı (Şekil 5.24). Şekildeki her bölge cihazın ölçme uzunluğu olan 25 mm'ye karşılık gelmektedir. Ölçme işlemi için, deney malzemeleri özel destekleme aparatı üzerine konuldu ve daha sonra da ölçme işlemi yapıldı. Ölçme işlemi sonrası malzemesinin üç ayrı noktasından okunan pürüzlülük değerlerinin ortalaması alındı. Ölçüme başlamadan önce ise, yüzey pürüzlülük ölçü aleti standart kalibrasyon numunesi ile kalibre edildi. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına ve sıcaklığa etkisi tablo haline getirilerek (Tablo 5.22) grafikler haline sunuldu (Şekil 5.25-5.26). Ayrıca ilerlemenin ve paso derinliğinin de etkisi incelendi (Tablo 5.23-5.24) ve grafikler haline getirildi (Şekil 5.27-5.28).



Şekil 5.24. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

Tablo 5.22. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi
($S=0.2\text{mm/devir}$ ve $t=0.1\text{ mm}$)

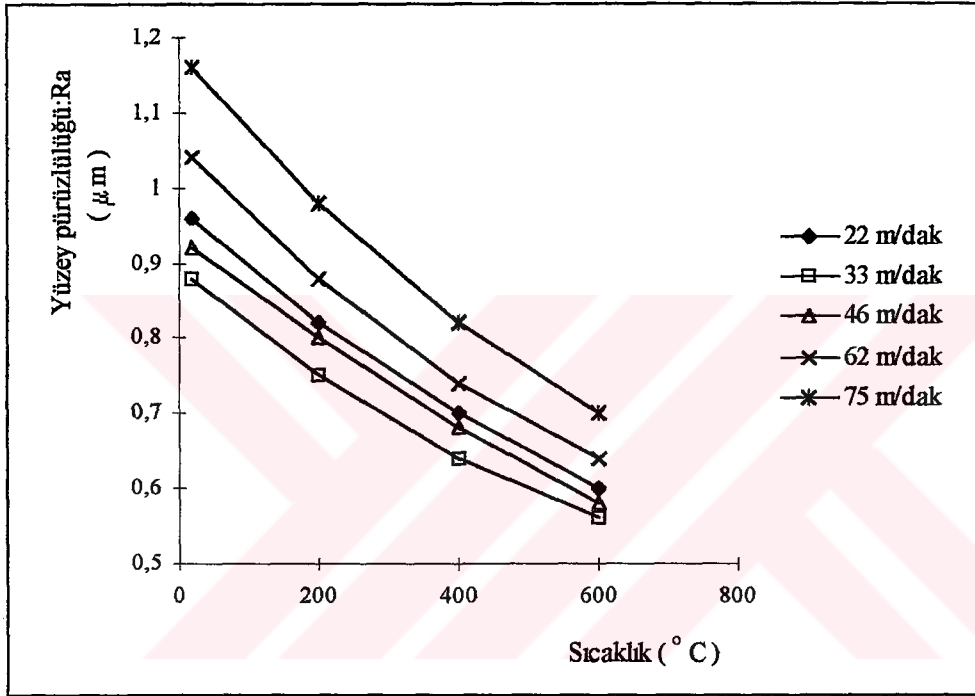
Kesme hızı (m/dak)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü: R_a (μm)			
	Oda sıcaklığı	200 °C	400 °C	600 °C
22	0,96	0,8	0,66	0,58
33	0,88	0,75	0,64	0,56
46	0,92	0,8	0,68	0,58
62	1,04	0,88	0,74	0,64
75	1,16	0,98	0,82	0,7



Şekil 5.25. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi
($S=0.1\text{ mm/dev}$, $t=1,5\text{ mm}$)

Şekil 5.25 incelendiğinde, kesme hızı arttıkça 33 m/dak kesme hızına kadar ortalama yüzey pürüzlülüğünün önce biraz azaldığı ve daha sonra arttığı görülebilir. Bu değişim en fazla oda sıcaklığında işlemede, en az ise 600 °C de meydana gelmektedir. 22 m/dak kesme hızında ortalama yüzey pürüzlülüğü 0.96 μm den 0.88 μm düşerek %10 azalmakta ve daha sonra 1.16 μm yükselerek yaklaşık % 30 artmaktadır. Sıcak talaşlı işlemede ise ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme hızına bağlı olarak çok az artmaktadır.

Bu artış 600 °C de 35 m/dak kesme hızı ile işlemede 0.56 μm olurken 75 m/dak kesme hızı ile işlemede 0.7 μm olmakta ve yaklaşık %20 artmaktadır. Bunun sebebi, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin ve takım titreşiminin artmasıdır. Araştırmada sıcak ve geleneksel talaşlı işleme için elde edilen optimum kesme hızı 30~40 m/dak kesme hızları arasındadır. Elde edilen bu sonuç Altan'ın(1990) yaptığı çalışmadaki optimum kesme hızı değerine (45 m/dak) çok yakın çıktığı görülmektedir.



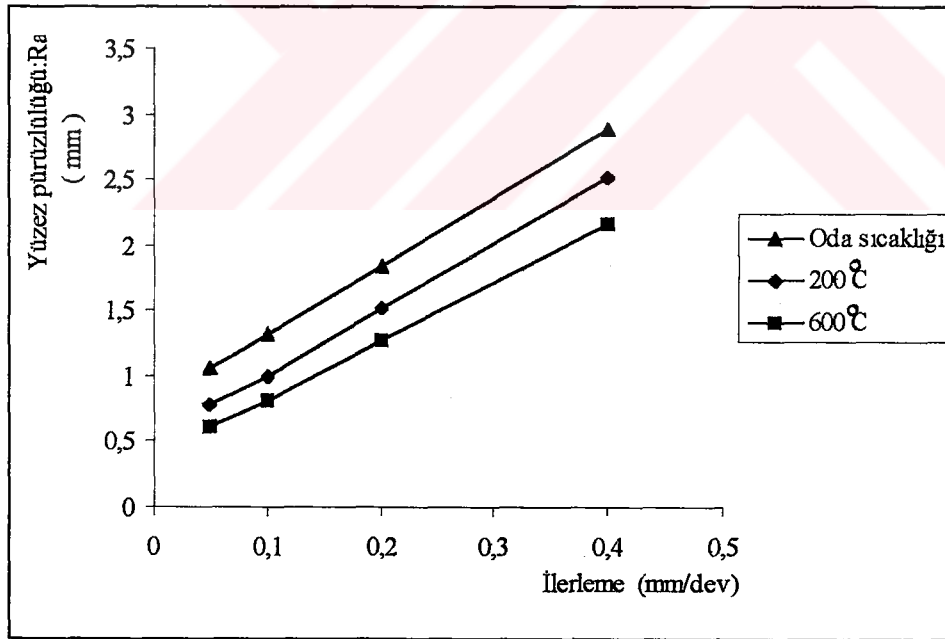
Şekil 5.26. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi
(S=0.1 mm/dev, t=1,5 mm)

Şekil 5.26 incelendiğinde, sıcaklık arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü 600 °C de sıcak talaşlı işlemede, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise oda sıcaklığında işlemede elde edilmiştir. Şekil 5.26 incelendiğinde oda sıcaklığında talaşlı işlemede 1,16 μm olan ortalama yüzey pürüzlülüğü 600 °C de işlemede 0.58 μm 'ye düşerek %100 azaldığı görülmüştür. 600 °C de 75 m/dak kesme hızında elde edilen yüzey pürüzlülüğü 0,7 μm dir. 33 m/dak kesme hızında oda sıcaklığında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü 0,88 μm olup, sıcak talaşlı işlemede 75 m/dak kesme hızında 600°C de sıcak talaşlı işlemede elde edilen

ortalama yüzey pürüzlülüğü oda sıcaklığında 33 m/dak kesme hızındaki yüzey pürüzlülüğünden daha düşüktür. Çünkü ısıtma sıcaklığının artması ile birlikte iş parçasının kesme mukavemeti azalarak kesme kolaylaşmıştır. Bunun neticesinde, kesme kuvvetleri ve takım titreşiminin azalmasından dolayı(Ünüvar,1985; Kitagawa,1988; Altan, 1990), artan sıcaklıkla yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.

Tablo 5.23. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile değişimi
($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm)

İlerleme (mm/dev)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü:Ra (μ m)		
	Oda sıcaklığı	200 °C	600 °C
0,05	1,06	0,78	0,62
0,1	1,32	1	0,82
0,2	1,84	1,52	1,28
0,4	2,88	2,52	2,16

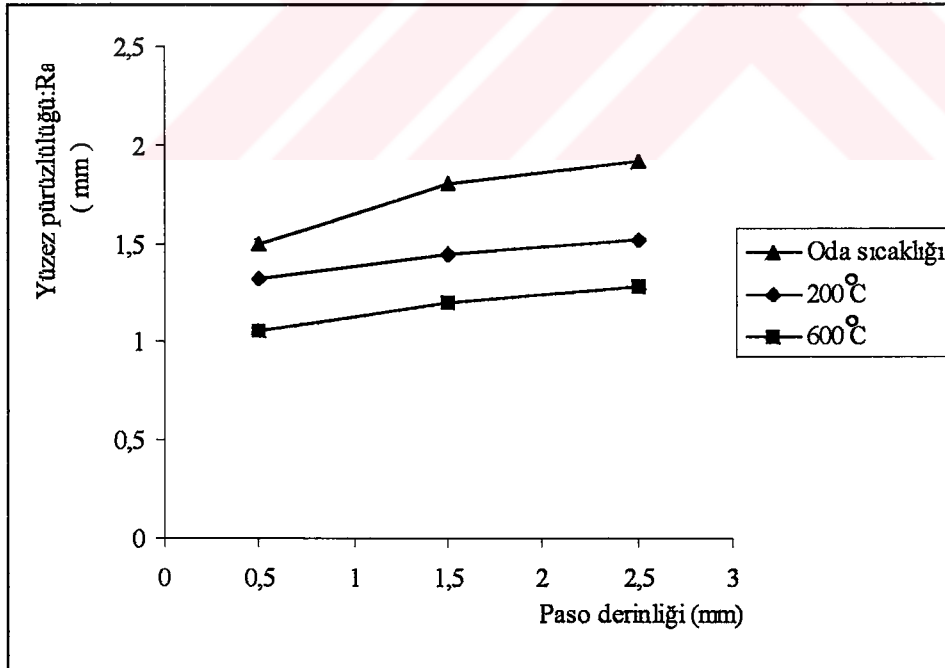


Şekil 5.27. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ile değişimi
($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm)

Şekil 5.27 de görüldüğü gibi ilerleme arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Oda sıcaklığında 0.05 mm/dev ilerleme ile işlemede 1,06 μm olan ortalama yüzey pürüzlülüğü, 0,4 mm/dev ilerlemede 2.88 μm ye yükselmiştir. Yine aynı grafik incelendiğinde 600°C de 0.05 mm/dev ilerlemede talaşlı işlemede 0,62 μm olan ortalama yüzey pürüzlülüğü 0,4 mm/dev ilerlemede 2,16 μm olmaktadır. Çünkü ilerlemenin artması ile birlikte kesme kuvvetleri ve takım titreşimi artmış ve buna bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü de yükselmiştir.

Tablo 5.24. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği ile değişimi
(V=75 m/dak, S=0.2 mm/dev)

Paso derinliği (mm)	Ortalama yüzey pürüzlülüğü:Ra (μm)		
	Oda sıcaklığı	200 °C	600 °C
0,5	1,5	1,32	1,06
1,5	1,8	1,44	1,2
2,5	1,92	1,52	1,28



Şekil 5.28. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği ile değişimi
(V=75 m/dak, S=0.2 mm/dev)

Şekil 5.28 de görüldüğü gibi paso derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü çok az değişmektedir. 600 °C ile 0,5 mm paso derinliğinde işlemede yüzey pürüzlülüğü 1,06 μm olurken 1,5 mm paso derinliğinde 1,2 μm ve 600 °C ile 2,5 mm paso derinliğinde işlemede 1,28 μm olmuştur. Halbuki aynı grafik incelendiğinde oda sıcaklığında işlemede 0,5 mm paso derinliğinde 1,5 μm , 1,5 mm paso derinliğinde 1,8 μm ve 2,5 mm paso derinliğinde ise ortalama yüzey pürüzlülüğünün 1,92 μm olmaktadır. Elde edilen bu değerlerden anlaşılabacağı gibi paso derinliğinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ısıtma sıcaklığından, kesme hızından ve ilerlemeden daha az olmaktadır.



6. MATEMATİKSEL MODELİN ÇIKARILMASI

Talaşlı imalatta üretim hızının ve üretim ekonomikliğinin artırılabilmesi için kesme şartlarının en iyi şekilde belirlenmesi gerekir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen çalışmalarla optimum kesme şartlarının tümünün birden belirlenmesi oldukça zordur. Bu nedenle takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünde etkili olan kesme şartlarının (paso derinliği, ilerleme, kesme hızı gibi) en iyi şekilde belirlenmesi ve yüzey pürüzlülüğü ile takım ömrü denklemlerinin bilinmesi gerekir. Taylor (1907), sabit kesme şartları altında yaptığı ardışık deneyler neticesinde kesme hızı ile takım ömrü arasında bir bağıntı ortaya koymuş ve bir model geliştirmiştir. En çok kullanılan $V.T^n=C$ şeklindeki bu modelde, kesici takım ile iş parçası çifti göz önüne alınarak kesme hızı ile takım ömrü arasında bir ilişki kurulmuştur. Kesme şartlarının değişmesi halinde Taylor modelinin kullanılması her zaman yeterli olmaz. Çünkü takım ömrü denkleminin elde edilmesi için değişik kesme şartları altında çok fazla sayıda deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu işlem ise çok sayıda zaman alacağı ve çok fazla miktarda iş parçası gerektirdiği için oldukça zordur. Gilbert (1950), tarafından geliştirilen ve bir anlamda Taylor modelinin tamamlayıcısı olan modelde paso derinliğinin ve ilerlemelerinde etkisi göz önüne alınmıştır. Bu modelde takım ömrü $T = C \cdot V^\alpha \cdot S^\beta \cdot t^\gamma$ şeklinde ifade edilmiştir. Sıcak talaşlı imalat da ise yeni bir parametre olan sıcaklık, kesme hızı, ilerleme ve paso derinliği gibi parametrelerin üzerinde çok fazla etkilidir. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü denklemlerinin tayininde sıcaklığın tesiri de göz önüne alınmalıdır.

Takım ömrü ve yüzey pürüzlülük denklemlerinde en fazla kullanılan teknik faktoriyel regresyon analiz metodudur. Bu metotlar bir çok araştırmacılar tarafından başarıyla kullanılmıştır. Konvensiyonal talaşlı imalat için takım ömrü denkleminde ilk defa bu metot kullanılmıştır (Wu,1964). Sıcak talaşlı imalat da ise takım ömrü denkleminin tayininde bu metot bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Hassan and Suliman 1974,vb). Ayrıca deneysel çalışmalar sonucu yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için de bu metot kullanılabilir. Lu ve Chen (1974), yaptıkları çalışmalarında regresyon metodunu kullanarak yüzey pürüzlülüğü denklemlerini tayin etmişlerdir.

6.1. Regresyon Analiz ve Regresyon Metotları

Regresyon analiz iki veya daha fazla değişken arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını, varsa bu ilişkinin derecesinin belirlenmesinde kullanılan metottur. Bir başka deyişle bir y değişkeninin diğer bir x değişkeni ile bağımlılığı inceleme konusu yapılarak bunlar arasındaki ilişkiler karşılıklı olarak incelenir. Matematikte bu ilişkiye fonksiyon adı verilir. Değişkenler bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenler olmak üzere ayırım yapılırlar. Doğrusal regresyonda bağımlı değişkenin bir tek bağımsız değişkene olan regresyonu inceleme konusu yapılırken, çoklu regresyonda birden fazla bağımsız değişkenin tek bir bağımlı değişkene olan etkileri inceleme konusu yapılır.

Regresyon analiz metodu deneysel araştırmayı, matematiksel metotları ve istatistik analizi içine alır. Bir araştırmacı amaç fonksiyonunu belirleme amacıyla ya bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırır yada optimum çözümü elde etmek için bağımsız değişkenlerin katsayılarını tespit etmek ister. Bu nedenle önceden belirlene modelin katsayıları deneysel dataların yardımıyla tahmin edilir(Yurtsever,1984).

Talaşlı imalat da optimum kesme koşullarının elde edilmesi için deneylerin ya çok geniş aralıkta seçilmesi gerekir ya da deneysel dizaynın iyi seçilmesi gerekir. Takım ömür ve yüzey pürüzlülük denkleminde en uygun dizaynın faktöriyel denemeler olduğu ifade edilmiştir ve kullanılmıştır (Hassan and Suliman,1990,vb). Faktöriyel denemeler çoğu kez değişik ve birbirleri ile ilişkili olmayan koşulların (faktörlerin) belli bir karaktere olan etkileri inceleme konusu yapılmaktadır. Bir başka anlatımla bir faktörün durumu diğer faktör ve faktörlerin değişik seviyelerinde ele alınmakta ve faktörler arasında karşılıklı etkileşim (iteraksiyon) olup olmadığı ortaya çıkarılmaktadır.

Regresyon fonksiyonu, bir tek bağımsız değişken durumunda iki boyutlu koordinat sisteminde bir eğriyi ifade eder. İki bağımsız değişken durumunda sabit regresyon kontürlerini meydana getirir. İki den fazla bağımsız değişken olması durumunda ise bunlar regresyon yüzeyleri ile temsil edilirler. Çoğu kez birden çok faktörün seviyelerinin ele alındığı faktöryel denemeler regresyon yüzeylerini hesaplamak amacıyla planlanmış denemeler olarak kabul edilir. Regresyon yüzeylerinin analizi, matematiksel metotlarla geliştirilmiş olan en küçük kareler metodunun kullanılması ile yapılır.

6.1.1. Basit Regresyon

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$ gibi bir takım ikili gözlemlerden meydana gelen düz bir doğru en küçük kareler yaklaşımının en basit örneğidir. Düz bir doğru için matematiksel ifade aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + e \quad 6.1$$

Burada a_0 ve a_1 eğimi temsil eden katsayılarıdır. e ise matematiksel model ve gözlemler arasındaki hatadır. 1 nolu denklem tekrar düzenlenirse;

$$e = Y_i - (a_0 + a_1 \cdot x_i)$$

Böylece hata, önceden lineer denklem yardımıyla elde edilen yaklaşık değer $(a_0 + a_1 \cdot x_i)$ ve Y_i 'nin gerçek değeri arasındaki fark olduğu görülür.

6.1.2. Regresyon Katsayılarının Elde Edilmesi

Deneyisel gözlemlerdeki amaç x ve y arasındaki ilişkiyi gösteren en iyi hattı bulmaktır. Bu hattı temsil eden denkleme regresyon denklemi denir. Gözlemlere en iyi uyan hat en küçük kareler metodu yardımıyla bulunması yani a_0 ve a_1 katsayılarının elde edilmesidir. Bu işlem ise hataların (artıkların) karelerinin toplamının minimize edilmesi ile olur. Yani tahmin edilen Y_i değerlerindeki hata değerinin en küçük olmasıdır. Hataların toplamı;

$$\sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i) \quad 6.2$$

şeklinde ifade edilir ve hataların karelerinin toplamı ise;

$$S_e = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)^2 \quad 6.3$$

şeklinde yazılabilir. x ve Y arasındaki ilişkiyi ifade eden a_0 ve a_1 katsayıları, hataların karelerinin toplamının her bir katsayıya göre kısmi türevlerinin alınarak sıfıra eşitlenmesi ile elde edilir. Kısmi Türevleri;

$$\frac{\partial Se}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i)$$

$$\frac{\partial Se}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_i) \cdot x_i$$

şeklinde elde edilir. Bu değerlerin sıfıra eşitlenmesi ile bir minimum S_r değeri elde edilir. Denklemden $\sum_{i=1}^n a_0$ yerine $n \cdot a_0$ yazılırsa iki bilinmeyenli iki lineer denklem takımı elde edilir. ve aşağıdaki gibi yazılır.

$$n \cdot a_0 + \sum_{i=1}^n x_i \cdot a_1 = \sum_{i=1}^n Y_i \quad 6.4$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot a_0 + \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot a_1 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot Y_i \quad 6.5$$

Bu denklemler normal denklemler olarak adlandırılırlar. Denklemler sayısal çözümlendiğinde ise a_1 katsayısı;

$$a_1 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad 6.6$$

şeklin de elde edilir. Elde edilen a_1 katsayısı Denklem 6.4 yerine konarak a_0 katsayısı elde edilir.

$$a_0 = \bar{Y} - a_1 \bar{x} \quad 6.7$$

Denklem 6.7 deki $\bar{Y}$ ve $\bar{x}$ değerleri sırasıyla her bir Y ve x değişkenlerinin aritmetik ortalamalarını ifade eder ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad \text{ve} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad 6.8$$

6.1.3. Çoklu Regresyon

Regresyon fonksiyonları inceleme konusu yapıldığında gözlem değeri üç yada daha fazla gruplandırmaya tabi tutulacaklarsa bunlar arasındaki ilişki artık eğrilerle temsil edilemezler. Çünkü üç yada daha fazla boyutlu olduklarından regresyon yüzeyleri söz konusu olur. Örneğin herhangi bir x_1 değişkeninin x_2 değişkeni ile birlikte bir ürüne yada sonuca etkisi varsa bu ilişkiyi bir eğri ile gösterme olanağımız yoktur. Bu ilişki ancak yüzeylerle temsil edilebilirler. x_1 , x_2 ve y arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösterebilmek için üç karşılıklı dikey eksene ihtiyaç olmaktadır. Bu eksenler arasında meydana gelen noktalar ise yüzeyleri meydana getirirler.

Çoklu regresyonda bir bağımsız değişken ile birden fazla bağımsız değişken inceleme konusu yapılarak cevap fonksiyonu araştırılır. Çoklu regresyon için lineer fonksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + \dots + a_m \cdot x_m \quad 6.9$$

Basit regresyonda olduğu gibi bilinmeyen katsayılar hataların karelerinin toplamının bilinmeyen her bir katsayıya göre ayrı ayrı kısmi türevleri alınarak sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir. Hataları karelerinin toplamı;

$$Se = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi})^2 \quad 6.10$$

şeklinde yazılır ve bilinmeyen katsayılara göre kısmi türevleri alınır ;

$$\frac{\partial Se}{\partial a_0} = -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi})$$

$$\frac{\partial Se}{\partial a_1} = -2 \sum x_{1i} \cdot (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi})$$

$$\begin{aligned} & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \end{aligned}$$

$$\frac{\partial Se}{\partial a_m} = -2 \sum x_{mi} \cdot (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi})$$

denklemleri elde edilirler. Denklemlerdeki toplam sembolleri aksini belirtmedikçe 1 den n'e kadar olan toplamlarını ifade eder. Hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi yani sıfıra eşitlenmesiyle;

$$n \cdot a_0 + \sum x_{1i} \cdot a_1 + \sum x_{2i} \cdot a_2 + \dots + \sum x_{mi} \cdot a_m = \sum Y_i$$

$$\sum x_{1i} \cdot a_0 + \sum x_{1i}^2 \cdot a_1 + \sum x_{1i} \cdot x_{2i} \cdot a_2 + \dots + \sum x_{1i} \cdot x_{mi} \cdot a_m = \sum x_{1i} \cdot Y_i$$

$$\begin{aligned} & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \end{aligned}$$

$$\sum x_{mi} \cdot a_0 + \sum x_{mi}^2 \cdot a_1 + \sum x_{mi} \cdot x_{2i} \cdot a_2 + \dots + \sum x_{1i} \cdot x_{mi}^2 \cdot a_m = \sum x_{mi} \cdot Y_i$$

normal denklem takımları elde edilir.

6.1.4. Lineer Olmayan Regresyon

lineer regresyon datalardan en iyi doğruyu elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Bununla beraber bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki lineer olduğu önceden kabul edilir. Bu her zaman geçerli değildir ve bir lineer model kullanmaksızın

herhangi bir regresyon modeli uygulanarak datalar gözle görülür bir şekilde de kontrol edilir. Diğer taraftan Dönüştürülebilir bir formdaki datalar lineer regresyonla da ifade edilebilir. Örnek olarak aşağıdaki gibi eksponansiyel formdaki bir denklem ele alınabilir.

$$Y = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot x}$$

Burada a_1 ve b_1 birer sabiti ifade etmekte ve Y ile x arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Bu tip deneysel çalışmalarda denklemdaki katsayılar lineer olmayan regresyon tekniği kullanılarak elde edilirler. Bununla beraber alternatif olarak lineer olmayan denklem matematiksel dönüşümler kullanılarak lineer forma dönüştürülür ve daha sonra basit yada çoklu lineer regresyondan datalara en uygun eğri elde edilir. Örnek olarak yukarıda verilen denklem ele alınırsa, lineer olmayan denklemin önce her iki tarafının doğal logaritması alınarak;

$$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \cdot x \cdot \ln e$$

şeklinde elde edilir ve $\ln e = 1$ yazılırsa;

$$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \cdot x$$

şeklinde lineer şekle dönüştürülür ve lineer regresyon kullanılmak suretiyle çözüm elde edilir.

6.1.5. Polinom Regresyonu

Deneysel datalar her zaman lineer veya logaritmik eğrilerle temsil edilemezler. Bu durumda bağımsız değişken x ile bağımsız değişken Y arasındaki ilişki genellikle ikinci yada üçüncü derece polinomlara uydurulabilirler. Bu tip eğrilerde en yüksek üslü bağımsız değişken sayısında bir eksik sayıda pik (en yüksek nokta) ve depresyon (en düşük nokta) vardır. İkinci derecede çoklu polinom regresyonda $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ve bağımlı değişken Y arasındaki ilişki genel formda;

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j \quad 6.11$$

şeklinde yazılır. Denklemdaki n bağımsız değişken sayısıdır. Bilinmeyen katsayılar çoklu lineer regresyonda olduğu gibi hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi ile elde edilir.

6.2. Regresyon Metodu İçin Matris Formülasyonu

Regresyon analiz basit lineer, çoklu lineer regresyon ve lineer olmayan regresyon olmak üzere üç tipi vardır. Her üç regresyon tipi için en küçük kareler metoduna göre genel denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = a_0 \cdot z_0 + a_1 \cdot z_1 + a_2 \cdot z_2 + \dots + a_m \cdot z_m \quad 6.12$$

Burada $z_0, z_1, \dots, z_m$ farklı $m+1$ fonksiyonlarıdır. Basit ve çoklu lineer regresyonda $z_0=1$, $z_1=x_1$, $z_2=x_2$, $\dots, z_m=x_m$ olduğu kolay bir şekilde görülür. Lineer olmayan regresyonda ise $z_0=x^0$, $z_1=x$, $z_2=x^2$, $z_3=x^3$, $\dots, z_m=x^m$ şeklindedir. Denklem 6.12 matris rotasyonda genel olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\{Y\} = [Z]\{a\} + \{E\} \quad 6.13$$

Burada $[Z]$, bağımsız değişkenler matrisidir ve bu matris aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[Z] = \begin{bmatrix} z_{01} & z_{11} & z_{21} & \dots & z_{m1} \\ z_{02} & z_{12} & z_{22} & \dots & z_{m2} \\ z_{03} & z_{13} & z_{23} & \dots & z_{m3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{0n} & z_{1n} & z_{2n} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad 6.14$$

Burada m değişkenlerin sayısı ve n data sayısıdır. $\{Y\}$ ise bir kolon vektörü olup bağımlı değişkenlerin gözlem değerini ifade eder ve aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{Y\}^T = [Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n] \quad 6.15$$

Denklem 6.13'deki $\{a\}$ bilinmeyen katsayılar ve $\{E\}$ ise hataların kolon vektörü olup aşağıdaki gibi yazılabilirler.

$$\{a\}^T = [a_0, a_1, a_2, \dots, a_m] \quad 6.16$$

$$\{E\}^T = [e_1, e_2, e_3, \dots, e_n]$$

Daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi hataların karelerinin toplamı bu model için aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$Se = \sum_{i=1}^n (Y_i - \sum_{j=1}^{m+1} a_j \cdot z_{ji})^2 \quad 6.17$$

Her bir katsayıya göre hataların karelerinin minimize edilmesi yani kısmi türevlerinin alınması ve sıfıra eşitlenmesi ile normal denklemler elde edilir. Bu denklemler matris notasyonda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[[z]^T [z]] \{a\} = [z]^T \cdot \{Y\} \quad 6.18$$

Denklemin çözümü matrisin inversinin alınması ile elde edilir ve $\{a\}$ vektörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\{a\} = [[z]^T [z]]^{-1} [z]^T \cdot \{Y\} \quad 6.19$$

6.2.1. Önemlilik Testi

Çok değişkenli regresyonlar da Y bağımlı değişken ile $z_1, z_2, z_3, \dots, z_m$ bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bağımlılığın bir ölçüsü;

$$R = \left(\frac{S_r}{S_r + S_e} \right)^{1/2} \quad 6.20$$

şeklinde tanımlanan korelasyon katsayısıdır. R' nin 1'e yaklaşması regresyon denkleminin ifade ettiği ilişkinin daha doğru bir şekilde olduğunu gösterir. Regresyon denklemindeki m bağımsız değişken sayısı arttıkça R'nin değeri de artar. Ancak bu durum regresyon denklemiyle yapılacak tahminlerdeki hata $n-(m+1)$ ' e eşit olan serbestlik derecesinin azalması yüzünden artabileceği için bağımsız değişken sayısının artması ile regresyon denkleminin daha az hatalı tahminler verebilmesi ancak R' nin m ile hızlı bir şekilde artması ile mümkün olur.

Kabul edilen regresyon denkleminin $E(y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_4 \cdot x_4$ şeklinde olması nedeniyle ; F_α testi , regresyon fonksiyonunun önemli olup olmadığını (yani y ile x_1, x_2, x_3 ve x_4 arasında arasındaki ilişki önemlidir yada önemli değildir şeklinde) belirlemek için kullanılır. Bu test H_0 : hipotezinin kabul edilmesi yani $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 = 0$ katsayılarının en az birisi sıfır yada birbirine eşit olması yada kabul edilmemesi (H_1 :hipotezinin kabul edilmesi) $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ve β_4 katsayılarının en az birisinin sıfıra yada birbirine eşit olmaması olarak değerlendirilir. Bunun için ;

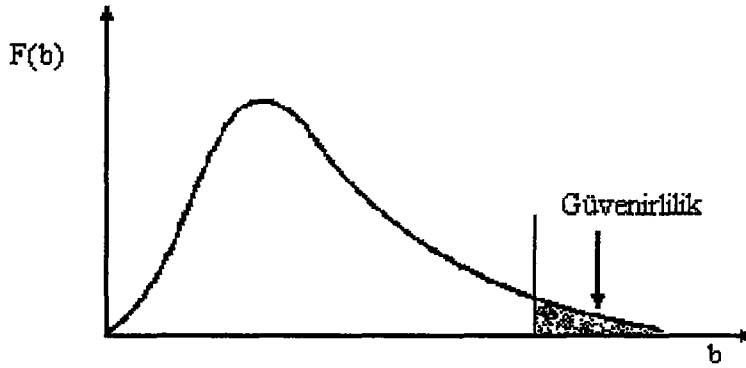
$$F = \frac{S_r/m}{S_e/(n - m - 1)} \quad 6.21$$

şeklinde tanımlanan F istatistiği kullanılır. Burada S_r regresyon kareler toplamı olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_r = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{m+1} a_j \cdot z_{ji} - \bar{Y} \right)^2 \quad 6.22$$

Denklem 6.21' de verilen istatistiğin dağılımı s.d.=m, n-m-1 olan F dağılımıdır. 6.21 denklemi ile hesaplanan F değeri F_α anlamlılık düzeyindeki α kritik değerinden büyükse H_0 : hipotezi reddedilir yani değişkenler arasında anlamlı bir bağımlılığın

bulunduğu kabul edilir. Uygulamalar da α için genellikle 0.05 kullanılır (Şekil 6.1.). Anlamlılık düzeyi için standart bir değerin seçilmesi ile bilgilerin iletişimde kolaylık sağlanmış olur. Seçilen F_α değeri küçüldükçe testin sonucu daha anlamlı bir hale gelir. Çünkü bu durumda H_0 : hipotezi reddedilmesiyle yanlış bir karar verilme olasılığı daha da azalır(Beyazıt ve Oğuz).



Şekil 6.1. F dağılım eğrisi

6.3. Faktöriyel Denemeler

Bir çok durumda birden çok faktörün değişik seviyelerinin ele alındığı faktöriyel denemeler regresyon yüzeylerini hesaplamak amacıyla planlanmış denemeler olarak kabul edilirler (Yurtsever,1984). Bu gibi yüzeyler sayesinde esas etki ve iteraksiyonlar karşılıklı açıklanabilmektedirler.

Araştırmalarda çoğu kez değişik ve birbirleri ile ilişkili olmayan konuların (faktörlerin) belli bir karaktere olan etkileri inceleme konusu yapılmaktadır. Fakat bazı araştırma problemlerinde, ilgilendiğimiz bir karakteri değişik faktörlerin etkiledikleri düşünülür ve her faktörün bağımsız etkisi kadar diğer faktöründe etkisini bilmek isteriz. Faktöriyel olarak düzenlenen denemelerde iteraksiyon olmasa dahi, faktörler değişik şartlarda düzenlendiklerinde, sonuçlar daha güvenilir ve daha geniş uygulama alanına sahip olmaktadır.

Faktöryel denemelerde, denemeye alınan değişik faktörlerin etkileri birbirinden bağımsız veya bağımlı olabilirler. Eğer faktörler arasında iteraksiyon yok ise bu faktörlerin etkileri bağımsızdır denir. Aksi halde etkilerin birbirlerine bağımlı oldukları yani birinin etkisi diğerine bağlı olarak değiştiği kabul edilir. Faktöryel denemeler

deneysel çalışmayı, matematiksel modeli ve istatistik analizi içine alan bir koleksiyondur.

Faktöriyel denemede deneysel planı oluştururken her faktör belirlenen seviyelerde alınırlar. Her faktörün iki seviyede deneysel dizaynına 2^n faktöriyel dizayn olarak adlandırılırlar. Birinci derece modellerde iki seviyeli faktöriyel dizayn kullanılabilir. Deneysel dizaynı oluşturan her faktör üç seviyede oluşturuluyorsa 3^n faktöriyel dizayn olarak ifade edilirler. Bu tip deneysel dizaynlar ikinci derece modellerde kullanılırlar (Ünür,1986).

6.3.1. 2^n Faktöriyel Denemeler

En kolay deneme şekli olan bu denemede n faktör 2'şer seviyede denenmektedir. 4 değişkenli deney durumunda $2^4=16$ deneme kombinasyonu gerekmektedir. Bu durumda deneysel dizayn matrisi ve cevap matrisi 2^4 faktöriyel deneme için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$D = \begin{bmatrix} x1_{alt} & x2_{alt} & x1_{üst} & x4_{alt} \\ x1_{alt} & x2_{alt} & x1_{üst} & x4_{üst} \\ x1_{alt} & x2_{üst} & x1_{üst} & x4_{alt} \\ x1_{alt} & x2_{üst} & x1_{üst} & x4_{üst} \\ x1_{alt} & x2_{alt} & x3_{alt} & x4_{alt} \\ x1_{alt} & x2_{alt} & x3_{alt} & x4_{üst} \\ x1_{alt} & x2_{üst} & x3_{alt} & x4_{alt} \\ x1_{alt} & x2_{üst} & x3_{alt} & x4_{üst} \\ x1_{üst} & x2_{alt} & x3_{üst} & x4_{alt} \\ x1_{üst} & x2_{alt} & x3_{üst} & x4_{üst} \\ x1_{üst} & x2_{üst} & x3_{üst} & x4_{alt} \\ x1_{üst} & x2_{üst} & x3_{üst} & x4_{üst} \\ x1_{üst} & x2_{alt} & x3_{alt} & x4_{alt} \\ x1_{üst} & x2_{alt} & x3_{alt} & x4_{üst} \\ x1_{üst} & x2_{üst} & x3_{alt} & x4_{alt} \\ x1_{üst} & x2_{üst} & x3_{alt} & x4_{üst} \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad Y = \begin{bmatrix} y1 \\ y2 \\ y3 \\ y4 \\ y5 \\ y6 \\ y7 \\ y8 \\ y9 \\ y10 \\ y11 \\ y12 \\ y13 \\ y14 \\ y15 \\ y16 \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir. Dizayn matrisindeki $x1_{alt}$, $x2_{alt}$, $x3_{alt}$ ve $x4_{alt}$ bağımsız değişkenlerin alt seviyelerini, $x1_{üst}$, $x2_{üst}$, $x3_{üst}$ ve $x4_{üst}$ ise bağımsız değişkenlerin üst seviyelerini gösterir. Bağımsız değişkenler matrisi X ;

$$\log T = a_0 + a_1 \cdot \log V + a_2 \cdot \log S + a_3 \cdot \log \theta + a_4 \cdot \log t \quad 6.25$$

şeklinde elde edilir. a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , ve a_4 katsayıları birer sabit olup deneysel çalışmalar sonucunda elde edilir.

Deneysel çalışma sonucu matematiksel denklemin elde edilmesinde en çok kullanılan ve araştırmacılar tarafından önerilen faktöriyel regresyon metodu kullanılarak 2^4 faktöriyel dizaynına uygun bir şekilde deneysel planlama yapıldı. Deneylerde kullanılan bağımsız değişkenler ikişer seviyeli olarak aşağıdaki gibi seçildi (Tablo 6.1).

Tablo 6.1. 2^4 faktöriyel dizaynda kullanılan bağımsız değişken ve seviyeleri

	Kesme hızı (V)	Sıcaklık (θ)	İlerleme (S)	Paso derinliği(t)
Üst seviyeler	75 m/dak.	600 °C	0.2 mm/dev	0.5 mm
Alt seviyeler	22 m/dak.	200 °C	0.4 mm/dev.	2.5 mm

Matematiksel modelin bulunması için $2^4=16$ deneme kombinizasyonu ve deneylerde elde edilen takım ömürleri Tablo 6.2. de verilmiştir.

Bilinmeyen katsayılarının elde edilmesi için Tablo 6.2 deki kesme hızı, ilerleme, paso derinliği ve sıcaklığın logaritmaları Tablo 6.3.'de verilmiştir.

Regresyon katsayılarını elde etmek için 6.19 denklemi kullanılarak, Matlab da bir program hazırlandı. Bu bilgisayar program çalıştırıldığında aşağıdaki katsayılar elde edildi.

$$a = \begin{bmatrix} 3.5649 \\ -0.8536 \\ 0.3551 \\ -0.5165 \\ -0.1236 \end{bmatrix} \quad 6.26$$

Tablo 6.2. Matematiksel modelde kullanılan 16 deneme ve elde edilen takım ömürleri

Deney No:	Kesme Hızı V (m/dak)	Sıcaklık θ (° C)	İlerleme S (mm/dev)	Paso derinliği t (mm)	Takım ömrü (dak.)
1	22	200	0.2	0.5	42.0
2	22	200	0.2	2.5	35.0
3	22	200	0.4	0.5	29.0
4	22	200	0.4	2.5	23.0
5	22	600	0.2	0.5	64.0
6	22	600	0.2	2.5	53.0
7	22	600	0.4	0.5	40.0
8	22	600	0.4	2.5	35.5
9	75	200	0.2	0.5	16.0
10	75	200	0.2	2.5	12.0
11	75	200	0.4	0.5	10.5
12	75	200	0.4	2.5	8.0
13	75	600	0.2	0.5	23.0
14	75	600	0.2	2.5	17.0
15	75	600	0.4	0.5	15.5
16	75	600	0.4	2.5	13.5

Tablo 6.3. Kesme şartları ile takım ömürlerinin logaritmaları

Deney No:	log (V)	log (θ)	log (S)	log (t)	log (T)
1	3,0910	5,2983	-1,6094	-0,6931	3.7377
2	3,0910	5,2983	-0,9163	-0,6931	3.5553
3	3,0910	6,3969	-1,6094	-0,6931	3.3673
4	4,3175	5,2983	-1,6094	-0,6931	3.1355
5	3,0910	5,2983	-1,6094	0,9163	4.1589
6	3,0910	6,3969	-0,9163	-0,6931	3.9703
7	4,3175	5,2983	-0,9163	-0,6931	3.6889
8	3,0910	5,2983	-0,9163	0,9163	3.5695
9	4,3175	6,3969	-1,6094	-0,6931	2.7726
10	3,0910	6,3969	-1,6094	0,9163	2.4849
11	4,3175	5,2983	-1,6094	0,9163	2.3514
12	4,3175	6,3969	-0,9163	-0,6931	2.0794
13	3,0910	6,3969	-0,9163	0,9163	3.1355
14	4,3175	5,2983	-0,9163	0,9163	2.8332
15	4,3175	6,3969	-1,6094	0,9163	2.7408
16	4,3175	6,3969	-0,9163	0,9163	2.6027

elde edilir. Bu katsayılar denklem 6.25 de yerlerine konarak logaritmik skalada takım ömrü

$$\log T = 35.3359 - 0.8536 \cdot \log V + 0.3551 \cdot \log \theta - 0.5165 \cdot \log S - 0.1236 \cdot \log t \quad 6.27$$

şeklinde bulunur. Logaritmik takım ömrü tekrar düzenlenirse gerçek takım ömrü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T = \frac{35.3359 \cdot (\theta)^{0.3551}}{V^{0.8536} \cdot (S)^{0.5165} \cdot (t)^{0.1236}} \quad 6.28$$

6.5. Yüzey Pürüzlülük Denkleminin Bulunması

Takım-iş parçası çifti, ilerleme, paso derinliği, kesme hızı ve iş parçası sıcaklığına bağlı olarak ifade edilen ve genellikle araştırmacılar tarafından kullanılan yüzey pürüzlülük denklemi ;

$$R = K \cdot V^{a_1} \cdot S^{a_2} \cdot \theta^{a_3} \cdot t^{a_4} \quad 6.29$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemdaki a_1 , a_2 , a_3 ve a_4 katsayıları ile K sabiti çoklu lineer yada ikinci dereceden polinom regresyonun uygulanması ile elde edilir. Bu durumda eğer lineer regresyon kullanılır ve 6.29 denklemin logaritması alınır;

$$\log R = a_0 + a_1 \cdot \log V + a_2 \cdot \log S + a_3 \cdot \log \theta + a_4 \cdot \log t \quad 6.30$$

şeklinde elde edilir.

Matematiksel modelin elde edilmesinde de kullanılan metot faktoriyel regresyon metodudur. Takım aşınmasında kullanılan malzemelerin yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi sebebi ile deneylerde kullanılan bağımsız değişkenlerin seviyeleri Tablo 6.1'deki takım aşınması deney seviyeleri ile aynıdır.

Matematiksel modelin bulunması için $2^4=16$ deneme kombinizasyonu ve deneylerde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin logaritmaları Tablo 6.4' de verilmiştir.

Tablo 6.4. Kesme şartları ile yüzey pürüzlülüklerinin logaritmaları

Deney No:	log (V)	log (θ)	log (S)	log (t)	log (Ra)
1	3,0910	5,2983	-1,6094	-0,6931	0.0392
2	3,0910	5,2983	-0,9163	-0,6931	0.2469
3	3,0910	6,3969	-1,6094	-0,6931	0.6931
4	4,3175	5,2983	-1,6094	-0,6931	0.8329
5	3,0910	5,2983	-1,6094	0,9163	-0.2231
6	3,0910	6,3969	-0,9163	-0,6931	0.0583
7	4,3175	5,2983	-0,9163	-0,6931	0.3920
8	3,0910	5,2983	-0,9163	0,9163	0.6206
9	4,3175	6,3969	-1,6094	-0,6931	0.2776
10	3,0910	6,3969	-1,6094	0,9163	0.4187
11	4,3175	5,2983	-1,6094	0,9163	0.7885
12	4,3175	6,3969	-0,9163	-0,6931	0.9243
13	3,0910	6,3969	-0,9163	0,9163	0.0583
14	4,3175	5,2983	-0,9163	0,9163	0.2469
15	4,3175	6,3969	-1,6094	0,9163	0.6419
16	4,3175	6,3969	-0,9163	0,9163	0.7701

şeklinde elde edilir. Regresyon katsayılarını elde etmek için 6.19 denklemi kullanılarak Matlab 'da hazırlanan program çalıştırıldığında aşağıdaki katsayılar elde edildi.

$$a = \begin{bmatrix} 1.8600 \\ 0.2009 \\ -0.2141 \\ 0.7332 \\ 0.1062 \end{bmatrix} \quad 6.31$$

elde edilir. Bu katsayılar denklem 6.30 de yerlerine konarak logaritmik skalada yüzey pürüzlülüğü;

$$\log R = 1.8600 + 0.2009 \cdot \log V - 0.2141 \cdot \log \theta + 0.7332 \cdot \log S + 0.1062 \cdot \log t \quad 6.32$$

şeklinde bulunur. Logaritmik yüzey pürüzlülüğü tekrar düzenlenirse gerçek yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$Ra = \frac{6.4237 \cdot (V)^{0.2009} \cdot (S)^{0.7332} \cdot (t)^{0.1062}}{(\theta)^{0.2141}} \quad 6.33$$

İki seviyeli takım ömründeki değişkenlerin kabul edilmesi nedeniyle yüzey pürüzlülük denklemi ile elde edilen değerlerin 22 m/dak ve 33 m/dak kesme hızlarında az da olsa gerçek değerlere göre bir miktar sapmalarının olduğu görülmüştür. Bu nedenle Tablo 6.5 da verilen ek deneysel datalar kullanılarak polinom regresyonu ile yüzey pürüzlülüğü denklemi elde edilerek lineer denklemle karşılaştırılması düşünülmüştür.

Polinom regresyonu için 6.11 denklemi ile verilen genel form dikkate alınmış ve yüzey pürüzlülüğü denklemi için aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$R = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j \quad 6.34$$

Denklem 6.34'deki a_0 , a_i ve a_{ij} sabitler olup bağımsız değişken katsayılarıdır. Bu katsayılar çoklu lineer regresyon için verilen 6.19 denklemi kullanılmak suretiyle elde edilirler. Polinom regresyonun çözülebilmesi için bağımsız değişkenler aşağıdaki şekilde ifade edilerek hazırlanan bilgisayar programında çözüm yapılmıştır. Deneylerde kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenler ,

$$Y = \log Ra,$$

$$x_1 = \log V,$$

$$x_2 = \log \theta,$$

$$x_3 = \log S,$$

$$x_4 = \log t$$

ve regresyonunun bağımsız değişkenleri;

$$Z_0=1, Z_1=x_1, Z_2=x_2, Z_3=x_3, Z_4=x_4, Z_5=(x_1)^2, Z_6=(x_2)^2, Z_7=(x_3)^2, Z_8=(x_4)^2,$$

$$Z_9=x_1.x_2, Z_{10}=x_1.x_3, Z_{11}=x_1.x_4, Z_{12}=x_2.x_3, Z_{13}=x_2.x_4, Z_{14}=x_3.x_4$$

şeklinde dönüşüm yapılmıştır. İkinci dereceden polinom regresyonun üç yada daha fazla seviyeli deneysel dizayn gerektirmesinden dolayı faktöriyel dizayna ilave yeni deney dataları, denklem 6.19'daki $Z.Z'$ ifadesinin determinantını sıfır ettiği görülmüştür.

Adım adım regresyon uygulandığında Z_6 değişkenin tekil bir çözümünün olmaması nedeniyle ihmal edilmiş ve bağımsız değişkenlerin katsayıları hazırlanan Matlab programı çalıştırılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$a_0=4.8236$
 $a_1=-2.4871$
 $a_2=0.4210$
 $a_3=0.5873$
 $a_4=0.3751$
 $a_{11}=0.3502$
 $a_{33}=-0.0554$
 $a_{44}=-0.0062$
 $a_{12}=0.0120$
 $a_{13}=-0.0168$
 $a_{14}=-0.0739$
 $a_{23}=0.0360$
 $a_{24}=-0.0039$
 $a_{34}=-0.0229$

Bu katsayılar denklem 6.34 de yerlerine konarak logaritmik skalada ortalama yüzey pürüzlülüğü;

Tablo 6.5. Polinom regresyonunda kullanılan ortalama yüzey pürüzlülüğü ve bağımsız değişkenler

V	θ	S	t	Ra
22	200	0.2	0.5	1.04
22	200	0.2	2.5	1.28
22	200	0.4	0.5	2.00
22	200	0.4	2.5	2.30
22	600	0.2	0.5	0.80
22	600	0.2	2.5	1.06
22	600	0.4	0.5	1.48
22	600	0.4	2.5	1.86
75	200	0.2	0.5	1.32
75	200	0.2	2.5	1.52
75	200	0.4	0.5	2.20
75	200	0.4	2.5	2.52
75	600	0.2	0.5	1.06
75	600	0.2	2.5	1.28
75	600	0.4	0.5	1.90
75	600	0.4	2.5	2.16
22	18	0.1	1.5	0.96
22	200	0.1	1.5	0.80
22	400	0.1	1.5	0.66
22	600	0.1	1.5	0.58
33	18	0.1	1.5	0.88
33	200	0.1	1.5	0.75
33	400	0.1	1.5	0.64
33	600	0.1	1.5	0.56
46	18	0.1	1.5	0.92
46	200	0.1	1.5	0.80
46	400	0.1	1.5	0.68
46	600	0.1	1.5	0.58
62	18	0.1	1.5	1.04
62	200	0.1	1.5	0.88
62	400	0.1	1.5	0.74
62	600	0.1	1.5	0.64
75	18	0.1	1.5	1.16
75	200	0.1	1.5	0.98
75	400	0.1	1.5	0.82
75	600	0.1	1.5	0.70

$$\begin{aligned} \log R_a = & 4.8236 - 2.4871 \cdot \log V + 0.4210 \cdot \log \theta + 0.5873 \cdot \log S + 0.3751 \cdot \log t + \\ & 0.3503 \cdot \log V^2 - 0.0554 \cdot \log \theta^2 - 0.0062 \cdot \log t^2 + 0.0120 \cdot \log V \cdot \log \theta - 0.0168 \cdot \\ & \log V \cdot \log S - 0.0739 \cdot \log V \cdot \log t + 0.0360 \cdot \log \theta \cdot \log S - 0.0039 \cdot \log \theta \cdot \log t - 0.0229 \cdot \\ & \log S \cdot \log t \end{aligned}$$

Logaritmik yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki şekilde düzenlenerek;

$$\begin{aligned} \alpha &= -2.4871 + 0.3502 \cdot \log V + 0.0120 \log \theta - 0.0168 \cdot \log S, \\ \beta &= 0.4210 - 0.0554 \cdot \log \theta - 0.0039 \log t, \\ \gamma &= 0.5873 + 0.0360 \cdot \log \theta - 0.0229 \cdot \log t, \\ \lambda &= 0.3751 - 0.0062 \cdot \log t - 0.0739 \cdot \log V, \end{aligned}$$

ve denklem 6.29'da $a_1=\alpha$, $a_2=\beta$, $a_3=\gamma$ ve $a_4=\lambda$ yazılarak tekrar düzenlenirse;

$$R_a = \frac{124.41 \cdot V^{-2.4871+0.3502 \cdot \log V+0.0120 \cdot \log \theta-0.0168 \cdot \log S} \cdot \theta^{0.4210-0.0554 \cdot \log \theta-0.0039 \cdot \log t}}{S^{-0.5873-0.0360 \cdot \log \theta+0.0229 \cdot \log t} \cdot t^{-0.3751+0.0062 \log t+0.0739 \cdot \log V}}$$

elde edilir.

6.6. Elde Edilen Denklemlerin Önemlilik Testi (F_α testi)

6.6.1. Takım Ömrü Denklemin Önemlilik Testi

Faktöriyel regresyon sonucu elde edilen takım ömrü denklemini test etmek ve önemliliğini belirtmek gerekir. Bunun için elde edilen denklemin güvenilirliği F_α önemlilik testi ile kontrol edilebilir. Faktöriyel regresyon sonucu elde edilen takım ömürleri ile gerçek takım ömürleri arasındaki fark deneysel hata olarak ifade edilir. Bu hataların karelerinin toplamı 6.17 denklemi ve regresyon kareler toplamı ise 6.22 denklemi kullanılarak ;

$$Se=0,0301 \quad \text{ve} \quad Sr=5.663$$

değerleri elde edilmiştir. Faktöryel denemeye ait korelasyon katsayısı denklem 6.20 kullanılarak ; $R=0,997$ elde edilir. Elde edilen sonuçlar yardımı ile F istatistik değeri denklem 6.21 kullanılarak;

$$F=517.06$$

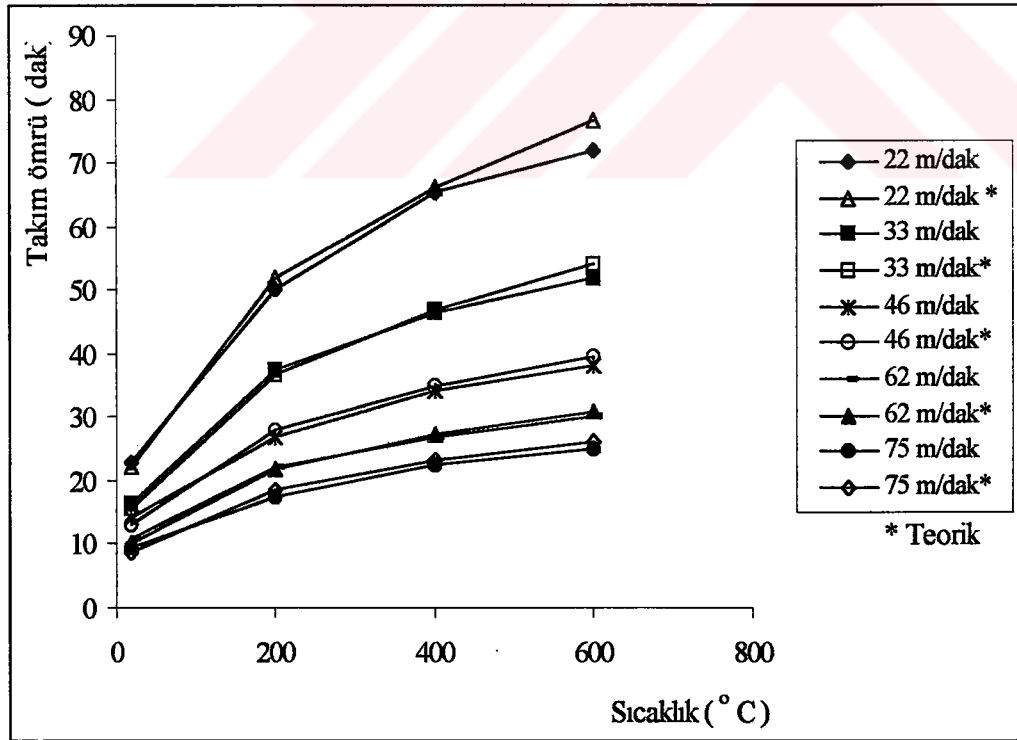
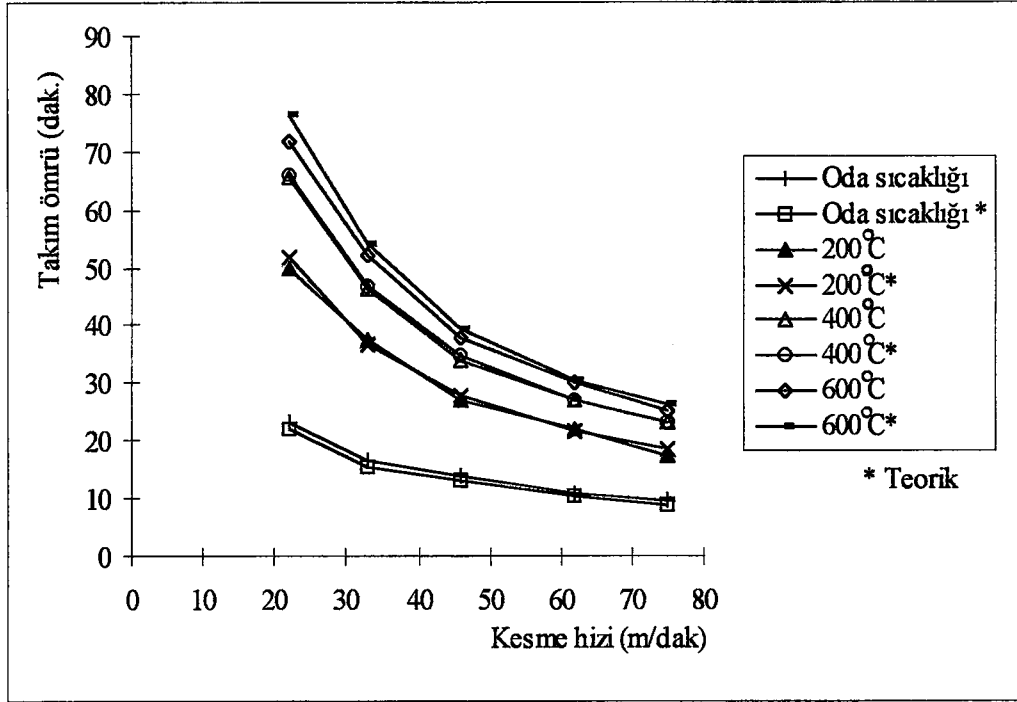
değeri elde edilir. $\alpha =0.01$ dağılımı için F_{α} değeri istatistik tablosundan payın serbestlik derecesi 4 ve paydanın serbestlik derecesi 11 için istatistik tablo değerinden bakıldığında $F_{\alpha}=5.67$ olduğu görülür.

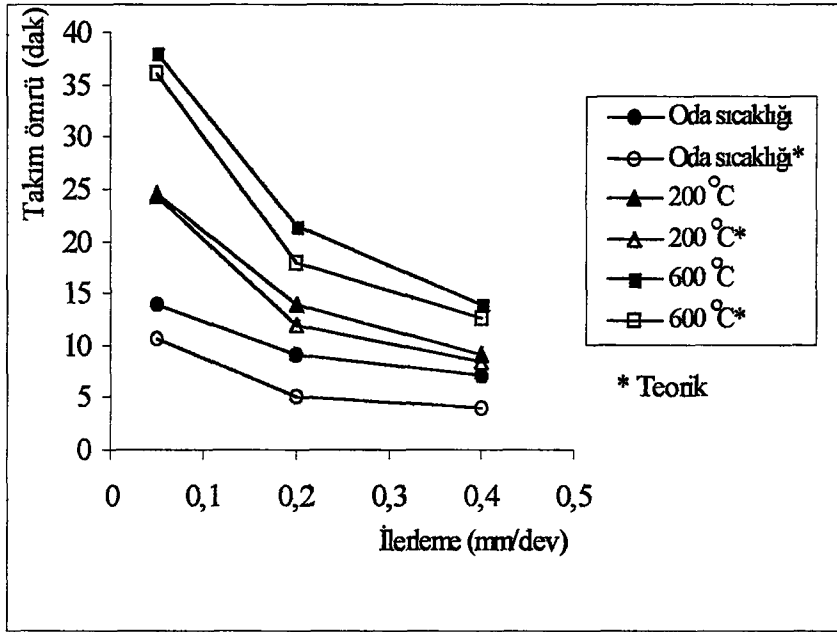
$F=517.06 \geq F_{\alpha}=5.67$ olduğundan H_0 : hipotezi reddedilir karşı hipotez kabul edilir. Yani elde edilen testin sonucunun anlamlı olduğu ve yanlış bir kararın verilmiş olma olasılığının azaldığı ifade edilebilir. R değerinin 1'e yaklaşması elde edilen denklemde hata yüzdesini azaltır. Sonuçta elde edilen denklem ve katsayıların yeterli olduğu kabul edilir.

Deneysel değerler ve tahmin edilen takım ömürleri Tablo 6.6' de verilmiştir. Deneysel takım ömrü ile teorik takım ömrü için kesme hızı ve sıcaklık grafikleri $S=0.1$ mm/dev ilerleme ve $t=1.5$ mm paso derinliği için deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır(Şekil 6.2-6.3). Ayrıca ilerleme takım ömrü ilişkisi ve paso derinliği takım ömrü ilişkisi teorik değerlerle karşılaştırılarak grafik halinde gösterilmiştir(Şekil 6.4-6.5).

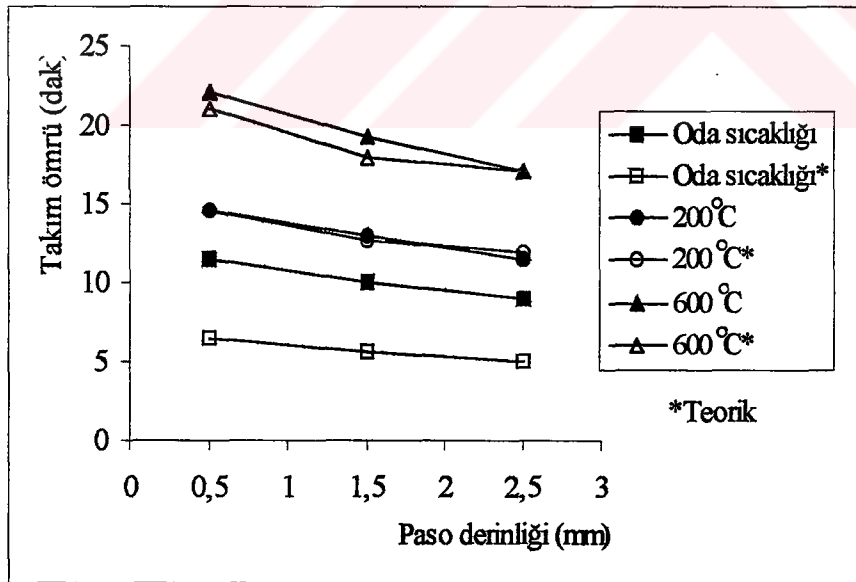
Tablo 6.6. Deneysel takım ömürleri ile teorik takım ömürlerinin karşılaştırılması

D. no:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tger.	42,0	35,0	29,0	23,0	63,0	51,0	40,0	35,5	14,0	11,0	10,5	9,0	23,0	17,0	14,5	12,5
Th.	41.4	33.9	28.8	23.8	61.2	50.1	42.8	35.0	14.6	11.9	10.1	8.3	21.4	17.6	15.0	12.3





Şekil 6.4. $V_B = 0.3$ mm için deneysel ve teorik takım ömrü-ilerleme ilişkisi
($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm/dev)



Şekil 6.5. $V_B = 0.3$ mm için deneysel ve teorik takım ömrü-paso derinliği ilişkisi
ilişkisi ($V=75$ m/dak, $S=0.2$ mm/dev)

6.6.2. Yüzey Pürüzlülük Denkleminin Önemlilik Testi

Polinom regresyonu ile bulunan teorik yüzey pürüzlülüğü ile gerçek yüzey pürüzlülük arasındaki fark hata olup, karelerinin toplamı 6.17 denklemi kullanılarak ve regresyon kareler toplamı ise 6.22 denklemi kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$Se = 0.0481; Sr = 10.9340$$

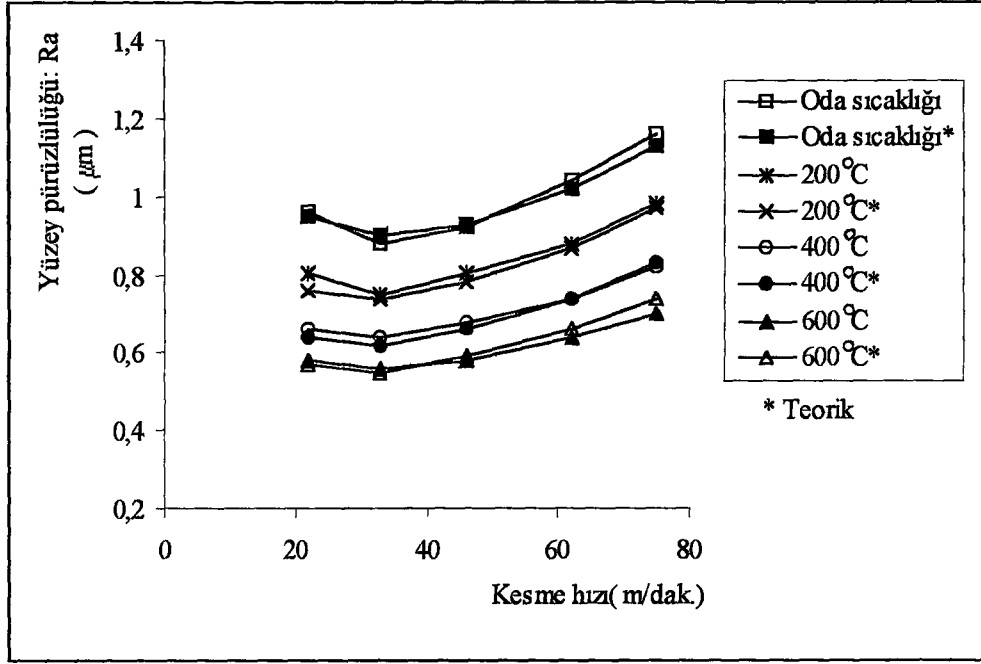
Polinom regresyonuna ait korelasyon katsayısı denklem 6.20 kullanılarak ; $R = 0.995$ elde edilir. Elde edilen sonuçlar yardımı ile F istatistik değeri denklem 6.21 kullanılarak;

$$F = 384.32$$

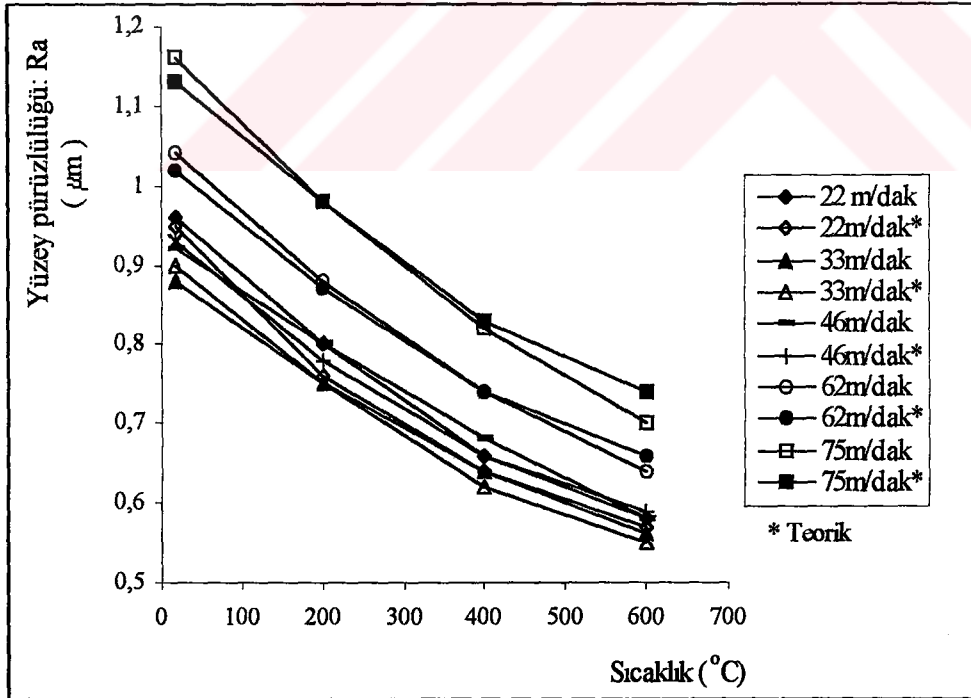
değeri elde edilir. $\alpha = 0.01$ dağılımı için F_{α} değeri istatistik tablosundan payın serbestlik derecesi 13 ve paydanın serbestlik derecesi 22 için istatistik α tablo değerinden bakıldığında $F_{\alpha} = 3.07$ olduğu görülür.

$F = 384.32 \geq F_{\alpha} = 3.07$ olduğundan H_0 : hipotezi reddedilir karşı hipotez kabul edilir. Yani elde edilen testin sonucunun anlamlı olduğu ve yanlış bir kararın verilmiş olma olasılığının azaldığı ifade edilebilir. R değerinin 1'e yaklaşması elde edilen denklemde hata yüzdesini azaltır Sonuçta elde edilen denklem ve katsayıların yeterli olduğu kabul edilir

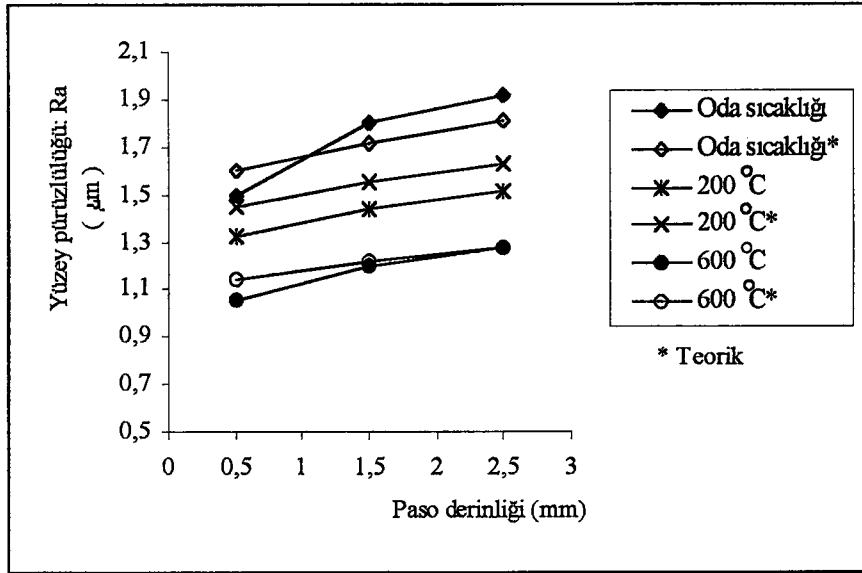
Polinom regresyonu sonucu hesaplanan teorik ortalama yüzey pürüzlülüğü ile deneysel ortalama yüzey pürüzlülüğü için kesme hızı ve sıcaklık grafikleri $S = 0.1$ mm/dev ilerleme ve $t = 1.5$ mm paso derinliği için deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 6.6-6.7). İlerleme ve paso derinliklerinin deneysel ve teorik ortalama yüzey pürüzlülüğü ile değişimleri Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 'de verilmiştir.



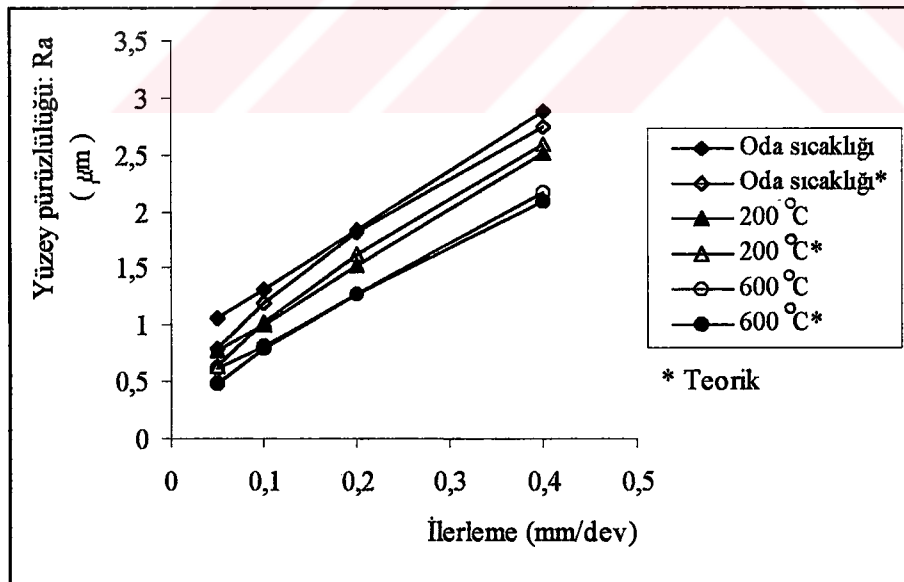
Şekil 6.6. DeneySEL ve teorik yüzey pürüzlülüğü ile kesme hızı ilişkisi
($t=1.5$ mm, $S=0.1$ mm/dev)



Şekil 6.7. DeneySEL ve teorik yüzey pürüzlülüğü ile sıcaklık ilişkisi
($t=1.5$ mm, $S=0.1$ mm/dev)



Şekil 6.8. Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü ile paso derinliği ilişkisi
($V=75$ m/dak, $S=0.2$ mm/dev)



Şekil 6.9. Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü ile ilerleme ilişkisi
($V=75$ m/dak, $t=2.5$ mm)

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, östenitik manganlı çeliğin sıcak talaşlı işlenmesinde takım ömrü ve yüzey pürüzlülükleri araştırılarak, geleneksel ve sıcak talaşlı işlemede sıcaklığın, kesme hızının, ilerlemenin ve paso derinliğinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir:

Östenitik manganlı çeliklerin sıvılaştırılmış petrol gazı kullanılarak sıcak talaşlı işlenmesinde elde edilen takım ömrü geleneksel talaşlı işlemeye çok daha uzun olmuştur.

Kesme hızı arttıkça takım ömrü azalır. Östenitik manganlı çeliklerin sıcak ve geleneksel talaşlı olarak işlenmesinde en uzun takım ömrü 22 m/dak kesme hızında, en kısa takım ömrü ise 75 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Araştırmada 25 dakika'lık bir takım ömrü için oda sıcaklığında işlemede kesme hızı 25 m/dak iken, 600 °C de işlemede $V=75$ m/dakika' ya yükselmektedir (Şekil 5.20). Bu ise, geleneksel talaşlı işlemeye göre sıcak talaşlı işlemede daha yüksek kesme hızlarını kullanabilme imkanı olduğunu göstermektedir.

Isıtma sıcaklığı arttıkça takım ömrü artar. Araştırmada en yüksek takım ömrü 600°C ile sıcak talaşlı işlemede elde edilmiştir. Fakat takım ömründeki en hızlı artış ise 200 °C 'de ısıtarak sıcak talaşlı işlemede meydana gelmektedir. Sıcaklık arttıkça takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ile ısıtma sıcaklığı arasındaki farkın azalması nedeniyle (Larin,1970) , 600°C de elde edilen takım ömürleri 400°C de elde edilen takım ömürlerine yakın olmaktadır. Yüksek manganlı çeliklerin tekrar kristalleşme sıcaklığının 500°C~650°C arasında olduğu düşünülürse(Turhan, 1994), yüksek sıcaklıklar istenmeyen yapısal değişikliklere neden olabilir. Bu sebeple 600°C ve daha yüksek sıcaklıklarda ısıtarak talaşlı işlemede takım-talaş ara yüzey sıcaklığı da daha fazla olacağından, hem malzemede istenmeyen yapısal değişiklikler meydana gelecek ve hem de takım aşınması artacaktır. Bunun için manganlı çeliklerin 400°C ısıtılarak sıcak talaşlı işlenmesi hem maliyet ve hem de iş parçası açısından daha uygun olacaktır.

İlerleme arttıkça takım ömrü azalmaktadır. İlerlemenin takım ömrü üzerinde etkisi kesme hızının ve ısıtma sıcaklığının etkisinden daha azdır. Bu sonucu, Ünüvar'ın,(1985) yaptığı çalışma da desteklemektedir . Östenitik manganlı çeliğin

geleneksel olarak talaşlı işlenmesinde 14 dakikalık bir takım ömrüne 0.1 mm/dev ilerleme karşılık gelirken, 600 °C de işlenmesinde 0.4mm/dev ilerleme karşılık gelmektedir(Şekil 5.22). Bu sonuca göre, yüksek manganlı çeliğin sıcak talaşlı olarak işlenmesinde kullanılacak olan ilerleme, geleneksel talaşlı işlemeye göre artmaktadır.

Takım ömrünü kesme hızı, sıcaklık ve ilerlemeden sonra en az paso derinliği etkilemektedir. Paso derinliği arttıkça takım ömrü azalır. Fakat bu azalma ihmal edilecek kadar küçüktür.

Östenitik manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülükleri geleneksel talaşlı imalata göre azalmaktadır.

Ortalama yüzey pürüzlülüğü önce kesme hızı arttıkça belli bir hıza kadar azalır daha sonra kesme hızı arttıkça artar. Sıcak talaşlı ve geleneksel talaşlı işlemler için en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü 33 m/dak kesme hızı aralığında elde edilmiştir. Daha büyük kesme hızlarında ise ortalama yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.

Isıtma sıcaklığı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Bu azalma en fazla yüksek kesme hızlarında meydana gelmiş ve en düşük yüzey pürüzlülüğü 600°C sıcak talaşlı işlemede elde edilmiştir. Artan sıcaklıkla kesme kuvvetlerinin ve titreşimin azalması nedeniyle (Ünüvar,1985), sıcaklık arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalır.

İlerleme arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğünde en fazla etkiyi ilerleme göstermektedir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme ve takım burum yarıçapının en fazla etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir(Ünüvar,1985;Altan,1990).

Paso derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğünde en az paso derinliği etkili olmuştur. Bu etkinin ilerleme, kesme hızı ve ısıtma sıcaklığı yanında ihmal edilecek seviyede olduğu söylenebilir.

Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü için matematiksel model faktöriyel regresyon analiz metodu kullanılarak belirlenerek, istatistiksel olarak yeterliliği kontrol edilmiştir. Denklemlerle elde edilen teorik değerlerin, deneysel değerlere yakın olduğu görülmüştür(Şekil 6.2-6.9). Elde edilen takım ömrü ve yüzey pürüzlülük denklemleri kesme sınırlamaları içerisindeki değerlerde kullanılmaları halinde hatasız sonuçlar elde edilebilmektedir. Fakat elde edilen denklemlerin kesme sınırlamaların dışında kullanılması halinde ise, teorik takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde daha fazla hata meydana gelebilir. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü denkleminin bu metotla

elde edilmesinin sakıncalı tarafı, sınırlı bir bölge içerisinde elde edilmeleridir(Ünüvar,1985).

Yüksek manganlı çeliklerin düşük iletkenlik özelliklerine sahip olmaları nedeniyle elektrik akımı yardımıyla ısıtmada bir takım ısıtma problemleri ortaya çıkmaktadır(Larin,1966). Alevle ısıtma tekniğinin kullanılması ile bu problemler azaltılmıştır. Östenitik manganlı çeliklerin kötü iletkenlik özelliği, iş parçasının yüzeyinin iç kısımlarının aşırı ısınmasını önleyerek sıcaklığın iş parçası yüzeyinde artmasını sağlamakta ve dolayısıyla iş parçasının iç kısımlarında sıcaklığın etkisi olmamaktadır. Fakat çok yüksek sıcaklıklar (600 °C ve daha büyük) ile ısıtma işlemlerinde ısıtma süresinin fazla olması malzemenin iç kısımlarının da ısınmasına sebep olmakta ve iş parçasında salgı meydana getirmektedir. Çünkü iş parçasının bütün kesiti boyunca mukavemeti azalmaktadır.

Likit petrol gazı yardımıyla alevle ısıtma metodunun yüksek manganlı çeliklerde kullanılması, diğer metotlara nazaran bazı avantajlarının olmasının yanında, gaz karışımının yakılması esnasında bazı tehlikeli durumlar ortaya çıkarmaktadır. Bu tehlike oksi-asetilen karışımının kullanılmasına nispeten azdır. Ancak bu durum karışımın hamlaç dışarısında ve hortum bağlantılarının gaz kaçağını önleyecek şekilde yapılması ile önlenabilir.

Östenitik manganlı çeliğin işlenmesinde likit petrol gazı ile oksijen gazının karışımı tek hamlaçla yakılmıştır. Bu ise iş parçasının yüksek sıcaklıklarda ısıtarak işlenmesinde zaman kaybına neden olmaktadır. Bu olumsuzluk yan yana çift hamlaç ya da ısıtma kapasitesi daha yüksek olan başka bir hamlacın kullanılması ile ortadan kaldırılabılır.

Bu çalışmada, likit petrol gazı kullanılarak östenitik manganlı çeliklerin sıcak talaşlı olarak işlenmesinde kesme kuvvetleri araştırılmamış ve kesme şartlarının optimizasyonu yapılmamıştır. Daha sonraki çalışmalarda kesme kuvvetleri araştırılarak, kesme şartlarının optimizasyonu yapılabilir.

KAYNAKLAR

- ABUALNAGA, A.M., and EL-DARDIRNY, M. A., (1984). Optimization Methods for Metal Cutting **Int. J. Mach. Tool. Des. Res.**, Vol.24, No:1, pp11-18
- AKASAW, T., TAKESHITA, H., and UEHARE, H.,(1987). Hot Machining with Cooling Cutting Tools **Annals of the C.I.R.P.**, Vol .35, No.1, pp37-40
- AKKURT, M., (1985). **Takım Tezgahları** Birsen Yayınevi, İstanbul
- ALAWASA, T. TAKASHITA, H. and UEHERA, K. (1977), Hot Machining with Cooled Cutting Tools **Annals of the C.I.R.P.**, Vol.36/1, pp37-41.
- ALTAN, E., (1990). Yüksek Manganlı Çeliklerin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Takım Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi **6. Mühendislik Haftası, 28 Mayıs-2 Haziran, İsparta**, S.181-187
- ALTAN, E., ve ÇAKIR, O.,(1990). Yüksek Manganlı Çeliklerin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Takım Geometrisinin Takım Ömrüne Etkisi **4. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, 19-21 Eylül , ODTÜ, Ankara , S.333-339**
- BARROW, G.,(1966). Machining of High Strength Metals at Elevated Temperature Using Electric Current Heating **Annals of the C.I.R.P.**, Vol. XIV, pp 145-151
- BARROW, G.,(1973). A Review of Experimental and Theoretical Techniques for Assessing Cutting Temperatures **Annals of the C.I.R.P.**, Vol.22, pp203-211
- BHATTACHARYA, A., FARIA-GONZALEZ, R., and HAM, I., (1970). Regression Analysis for Predicting Surface Finish and its Application in the Determination of Machining Condition **Journal of Engineering Industry**, 92, pp 711-714
- CHEN, N. N. S., and LO, K. C., (1974). Factors Affections Tool Life in Hot Machining of Alloy Steels **Int. J. Mach. Tool. Des. Res.** ,Vol.14, pp 161-173
- CHEN, N.N.S., and HO, C.F., (1976). Measurements of Tool-Work Interface Temperature in Hot Machining **International Journal of Production Research**, Vol.14, No. 6, pp657-667
- COOK, N.H., (1973). Tool Wear and Tool life **Journal of Engineering Industry**, p.931.
- DAN, L., and MATHEW, J., (1990). Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning -A Review **Int. J. Mach. Tool. Manufact.** ,Vol.30, No.4, pp579-598
- EDWARD ,M., (1994). Hot Machining in Retrospect an Review **Society of Manufacturing Engineers.**, MR 94-142, p. 12

- ELLIS, J. and BARROW, G. (1971). Some Observations on the Contact Resistance Hot Machining **Annals of the C.I.R.P.**, Vol. XVIV, pp775-778
- ELLIS, J., and BARROW, G., (1969). Contact Resistance Methods of Hot Machining **Int.J. Mach. Tool. Res.**
- ELLIS, J., and BARROW, G.,(1969). Tool Wear in Metal Cutting and Its Relationship whit Thermo-Electric Circuit **Annals of the C.I.R.P.**, Vol.XVII, pp 39-50
- ERMER, D. S., and KROMODIHARDJO, S., (1981). Optimization of Multipass Turning with Constraints **Journal of Engineering Industry**, November, pp 262-268
- GRATION, J. F., FAN, L. J., COHEN, P., MORAT, G., and MOISON, A., (1993). Proposition of a Method to Optimize the Machining of XC42 steel with Laser Assistance **Annals of the C.I.R.P.**, Vol.42, No:1, pp 115-118.
- GROOVER, M. P., KARPOVICH, R. J., and LEVY, E. K.,(1977). A Study of the Relationship Between Remote Thermocouple Temperature and Tool Wear in Machining **International Journal of Production Research** ,Vol.25, pp 129-141
- HASSAN, G. A. and SULIMAN, M. A., (1990). Experimental Modelling and Optimization of Turning Medium Carbon Steel **International Journal of Production Research.**,Vol.28, N.6, pp1057-1065
- HINDS, B. K. And DE ALMEIDA, S. M., (1981). Plasma are Heating for Hot Machining **Int. J. Mach. Tool. Des. Res.**, Vol.21, pp143-152.
- HINDS, B. K., (1978). Hot Machining: An Old Concept Becomes a Practical Reality **The Production Engineers**, September, pp19-23.
- KAINT G.S., and CHATURVEDI, M. N., (1975). Theoretical Investigation of Temperature in hot Machining **Int. J. Tool. Des. Res.**, Vol.156, pp 241-256
- KITAGAWA, T., and MEAKAWA, K., (1990). Plasma Hot Machining for New Engineering Materials **Wear**, 139, pp 251-267
- KITAGAWA, T., MEAKAWA, K., and KUBO, A., (1988). Plasma Hot Machining for High Hardness Metals **Bull. J. Soc. of Prec. Eng.**, Vol. 22, No.2, pp145-151
- KOTENSTETTE, J. P., (1986). Measuring Tool-Chip Interface Temperature **Journal of Engineering Industry** , Vol.108, pp101-106
- KRABACHER, E. J., and MARCHANT, M. E., (1951). Basic Factors in Hot Machining of Metals **Trans. Am. Soc. Mech. Eng.**, Vol.73, pp 761-776

- KUBA, A., and KITAGAWA, T., (1988). Simulation Analysis of cutting Mechanism in Plasma Hot Machining of High Manganese Steel **Bull. J. Soc. Prec. Eng.**, Vol.27, No.3, pp193-199
- LARIN, N., and MARTYNOW, G. A., (1966). Methods of Heating Components During Machining **Russian Engineering Journal** ,Vol. XLVI, No.8 pp74 –77
- LARIN, N.N., (1970), Heat Generation When Cutting Hot Metal **Russian Engineering of Journal**, Vol. XLIX, No:8, pp67-70.
- LEE, S.H., and KWAK, B.M., (1981). Adaptive Optimization of Factory Cutting Conditions- a Heuristic Computer Simulation Applied to Single Point Turning **International Journal of Production Research** , Vol.19, pp 31-43
- LEVY, E. K., TSAI, C. L., and GROOVER, M. P., (1976) Analytical Investigation of the Effect of Tool Wear on the Temperature Various in Metal Cutting Tool **Journal of Engineering Industry** , February, pp251-257
- LO, K. C. And CHEN, N. N. S.,(1977), Prediction of Tool Life in Hot Machining of Alloy Steel **International Journal of Production Research**, Vol.15, No:1, pp47-63
- LO, K. C., and CHEN, N. S.,(1997). Prediction of Tool Life in Hot Machining of Alloy Steels **International Journal of Production Research** , Vol.15, No.1, pp 47-63
- MADHAVULU, G. And BASHEAR A.,(1994), Hot Machining Process for Improved Metal Removal in Turning Operations **Journal of Material Processing Technology** Vol.44, No:3-4, August, pp199-206.
- MALAKOOTI, B., (1991). An Interactive on-line Multi-Objective Optimization Approach with Application to Metal Cutting Turning Operation **International Journal of Production Research** , Vol. 29, No.3, pp575-598.
- MARTYNOW, G. A.,(1968) Turning with Electrical Contact heating in the Cutting Zone Machining and Tooling, Vol.XXXIX, No:12, pp21-23.
- MOLOTSTOW, N. S., (1968), Machining High- Manganese Steels **Machines and Tooling**, Vol. XXXIX, No:7, pp55-57.
- MOORE, A. I. W., (1977). Hot Machining for Single Point Turning a Breakthrough **Tooling and Production** , November, pp70-72.
- MOORE, A.I.W.(1979), PERA Turn to Plasma for Very Fast Cutting Metal Working Productions, January, pp78-85.
- MORE, A.I.W., (1979). PERA Turns to Plasma for Very Fast Cutting **Metalworking Production**, Jan. , pp 78-85.

- MUCHERJEE, P. N., and BASU, S. K., (1974). Statistical Evaluation of Metal-Cutting Parameters in Hot Machining **International Journal of Production Research** Vol. 11, No:1, pp 21-36.
- NAKAYAMA, K., ARAI, M., and KANDA, T., (1988). Machining Characteristics of Hard Metals **Annals of the C.I.R.P.** Vol.37, No.1, pp89-92.
- NORMAN, T. E., DOANE, D. V., and SOLOMAN, A.,(1960). Austenitic Manganese Steels Same Metallurgical Factors Influence **Climax Molybdenum Company**, 1272 Avenue of American, New York 20 N.Y. 10020.
- OXLEY, P.L.B., and HASTINGS, W. F., (1976). Predicting Tool Life from Fundamentals Work Material Properties and Cutting Conditions **Annals of the C.I.R.P.**, Vol.25, pp39-44.
- PAL, D. K., and BASU., S. K., (1971). Hot Machining of Austenitic Manganese Steel by Shaping **International Journal of Production Research** , Vol. 11, pp 45-61
- PENTLAND, W., WENNBEKG, J.L., and MEHL, C .L., (1962). Researches into Workpiece Heating for High Temperature Machining **International Journal of Production Research** , Vol.1, p45.
- PENTLAND, W., WENNBEKG, J.L., and MEHL, C. L., (1961). Researches in Elevated temperature Machining of High Strange Materials **A.S.T.M.E** , Paper No:307.
- PHILIPSON, R. H., and RAVINORAN, A., (1970). Application of Mathematical Programming to Metal Cutting **Mathematical Programming**, Vol.11, pp 116-134

- TS 10329 ,(1992), Torna Kalemli Ömür Deneyleri **Türk Standartları Enstitüsü.**
- TS 971, (1988), Yüzey Pürüzlülüğü- Parametreler ve Pürüzlülük Tesbit Kuralları **Türk Standartları Enstitüsü.**
- TURHAN, H., (1994). **Östenitik Manganlı Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması** Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- UEHARE K., SAKURAI, M., and TAKESHIKA, H., (1983). Cutting Performance of Coated Carbides in Electric Hot Machining of Low Machinability Metals **Annals of the C.I.R.P.**, Vol. 32, pp 97-100.
- UEHERA, K. and TAHASHITA, H.,(1986), Cutting Ceramics With a Technique of hot Machining **Annals of the C.I.R.P.**, Vol.35/1
- USUL, E., SHIRAKASH, T., and KITAGAWA, T.,(1984). Analytical Predicting of Cutting Tool Wear **Wear** , Vol. 100, pp129-151.
- ÜNÜVAR, A.,(1985). **Yüksek Manganlı Çeliklerin Sıcak Talaş İşlenmesi ve Kesme Koşullarının Optimizasyonu** Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , İzmir.
- WAGER, J.G., (1972). The Use of Statistical Transformations in Assessing the life of Cutting Tool **Annals of the C.I.R.P.**, 25, pp25-26.
- WAGER, J.G., (1976). The Use of Statistical Transformations in Assessing the Life of Cutting Tool **Annals of the C.I.R.P.**, Vol. 25, pp29-31,
- WU, S. M., (1964). Tool Life Testing by Response Metallurgy Part1-2 **Journal of Engineering Industry**, May, pp 105-116
- YELLOWLEY, I.,(1983). A Fundamentals Examination of the Economics of the Two-pass Turning Operation **International Journal of Production Research** , Vol.21, No.5, pp617-626
- YURTSEVER, N.,(1984). **Deneysel İstatistik Metotları** T.C. Tarım Orman ve Köyşleri Bakanlığı Yayınları, Ankara
- ZIMIN, Y. P., and MALEVANNYI, V. I., (1965). Turning Austenitic Steels with Diamond Ground Tools **Int. J. Mach. Tool. Des. Res.**, Vol.8