



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

**İŞLENMESİ ZOR MALZEMENİN TORNALANMASININ YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEM İLE  
İNCELENMESİ**

**YASİN KAVAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DR. ÖĞR. ÜYESİ ŞENOL MERT**

**DÜZCE, 2019**

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

**İŞLENMESİ ZOR MALZEMENİN TORNALANMASININ YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEM İLE  
İNCELENMESİ**

Yasin KAVAK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Dr. Öğr. Üyesi Şenol MERT  
Düzce Üniversitesi

\_\_\_\_\_

**Jüri Üyeleri**

Dr. Öğr. Üyesi Şenol MERT  
Düzce Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. Turgay KIVAK  
Düzce Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. Arif ÖZKAN  
Kocaeli Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Tez Savunma Tarihi: 24/04/2019

## **BEYAN**

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

24 Nisan 2019

Yasin KAVAK

## TEŐEKKÖR

Hazırladığım tez çalışmamı belirlememde ve çalışmalarım süresince desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve problem çözümünde bana destek olan, çalışmalarımı gerçekleştirmemde maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, değerli görüşleri ile bana yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. şenol MERT'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince manevi desteğini hiçbir zaman üzerimden esirgemeyen başarılarımda, bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan anneme babama ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez alışması, Düzce Üniversitesi BAP-2013.07.04.205 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

24 Nisan 2019

Yasin KAVAK

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

|                                                                       |      |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                    | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                  | xii  |
| KISALTMALAR.....                                                      | XIV  |
| SİMGELER .....                                                        | XV   |
| ÖZET .....                                                            | XVI  |
| ABSTRACT .....                                                        | XVII |
| 1. GİRİŞ .....                                                        | 1    |
| 2. LİTERATÜR.....                                                     | 3    |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                           | 9    |
| 3.1. TİTANYUM VE ALAŞIMLARI.....                                      | 9    |
| 3.1.1. Tanımı.....                                                    | 9    |
| 3.1.2. Titanyumun Fiziksel Metalurjisi.....                           | 9    |
| 3.1.3. Titanyumun Alaşımlarının Sınıflandırılması .....               | 10   |
| 3.1.3.1. Saf Titanyum .....                                           | 11   |
| 3.1.3.2. $\alpha$ -Ti Alaşımları.....                                 | 11   |
| 3.1.3.3. $\alpha+\beta$ -Ti Alaşımları.....                           | 12   |
| 3.1.3.4. $\beta$ -Ti Alaşımları.....                                  | 13   |
| 3.2. ÇELİKLER .....                                                   | 14   |
| 3.2.1. Çeliklerin Kullanım Yerlerine Göre Sınıflandırılması .....     | 15   |
| 3.2.1.1. Otomat Çelikleri.....                                        | 15   |
| 3.2.1.2. Yay Çelikleri.....                                           | 15   |
| 3.2.1.3. İmalat çelikleri.....                                        | 15   |
| 3.2.1.4. Sementasyon Çelikleri .....                                  | 15   |
| 3.2.1.5. Paslanmaz Çelikler .....                                     | 16   |
| 3.2.1.6. Islah Çelikleri .....                                        | 16   |
| 3.2.1.6.1. Düşük Alaşımlı Krom-Nikel-Molibdenli (4340) Çelikler ..... | 17   |
| 3.2.1.7. Takım Çelikleri .....                                        | 19   |
| 3.3. İŞ PARÇASINI ISITMA METOTLARI.....                               | 21   |
| 3.3.1. Sürekli Isıtma Metotları.....                                  | 22   |
| 3.3.1.1. Fırında Isıtma.....                                          | 22   |
| 3.3.1.2. Elektrik Direnciyle Isıtma .....                             | 22   |
| 3.3.2. Bölgesel Isıtma Metotları.....                                 | 23   |
| 3.3.2.1. Endüksiyonla Isıtma.....                                     | 23   |
| 3.3.2.2. Elektrik Arkı İle Isıtma .....                               | 23   |
| 3.3.2.3. Gaz Yakıcılarla Isıtma .....                                 | 23   |
| 3.3.2.4. Elektrik Temas Direnciyle Isıtma .....                       | 24   |
| 3.3.2.5. Sürtünme İle Isıtma .....                                    | 24   |

|             |                                                                        |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.2.6.    | <i>Radyasyonla Isıtma .....</i>                                        | 24 |
| 3.3.2.7.    | <i>Plazma Arkıyla Isıtma .....</i>                                     | 25 |
| <b>3.4.</b> | <b>TALAŞ KALDIRMA SIRASINDA OLUŞAN AŞINMA MEKANİZMALARI .....</b>      | 25 |
| 3.4.1.      | <b>Serbest Yüzey Aşınması .....</b>                                    | 26 |
| 3.4.2.      | <b>Krater Aşınması.....</b>                                            | 27 |
| 3.4.3.      | <b>Çentik Aşınması.....</b>                                            | 27 |
| 3.4.4.      | <b>Burun Yarıçapı Aşınması .....</b>                                   | 28 |
| 3.4.5.      | <b>Isıl ve Mekanik Çatlaklar (Tarak Şeklinde Çatlaklar).....</b>       | 28 |
| 3.4.6.      | <b>Ağız Birikimi Oluşumu (BUE) .....</b>                               | 28 |
| 3.4.7.      | <b>Plastik Deformasyon .....</b>                                       | 29 |
| 3.4.8.      | <b>Kenar Çentikleme.....</b>                                           | 29 |
| 3.4.9.      | <b>Talaş Vurması.....</b>                                              | 29 |
| 3.4.10.     | <b>Takım Kırılması.....</b>                                            | 29 |
| <b>3.5.</b> | <b>ISIL İŞLEM .....</b>                                                | 30 |
| 3.5.1.      | <b>Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler .....</b>                            | 30 |
| 3.5.1.1.    | <i>Su Verme Tavi (Sertleştirme) .....</i>                              | 31 |
| 3.5.1.2.    | <i>Gerilim Giderme Tavi .....</i>                                      | 33 |
| 3.5.1.3.    | <i>Normalleştirme Tavi .....</i>                                       | 34 |
| 3.5.1.4.    | <i>Yumuşatma Tavi.....</i>                                             | 36 |
| 3.5.2.      | <b>Kriyojenik İşlem .....</b>                                          | 39 |
| 3.5.2.1.    | <i>Kriyojenik İşlemin Etkileri .....</i>                               | 40 |
| 3.5.2.2.    | <i>Kriyojenik İşlemin Kullanım Alanları.....</i>                       | 40 |
| <b>3.6.</b> | <b>TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK.....</b>                           | 40 |
| 3.6.1.      | <b>Tornalama .....</b>                                                 | 42 |
| 3.6.2.      | <b>İşlenecek Malzeme Cinsine ve İşlemlere Göre Kesici Seçimi .....</b> | 42 |
| 3.6.3.      | <b>İş Parçası Malzeme Tanımlamaları .....</b>                          | 44 |
| 3.6.4.      | <b>Talaş Mekanîği ve Talaş Oluşumu.....</b>                            | 44 |
| 3.6.5.      | <b>Yüzey Pürüzlülüğü .....</b>                                         | 46 |
| 3.6.5.1.    | <i>Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar .....</i>               | 46 |
| 3.6.5.2.    | <i>Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler .....</i>                   | 47 |
| 3.6.5.3.    | <i>Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşması .....</i>                             | 47 |
| 3.6.5.4.    | <i>Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri .....</i>                        | 48 |
| 3.6.5.5.    | <i>Yüzey Pürüzlülük Parametreleri .....</i>                            | 49 |
| <b>3.7.</b> | <b>KESİCİ TAKIMLAR .....</b>                                           | 51 |
| 3.7.1.      | <b>Yüksek Hız Çelikleri .....</b>                                      | 51 |
| 3.7.2.      | <b>Sert Metaller .....</b>                                             | 51 |
| 3.7.3.      | <b>Sertmetler .....</b>                                                | 52 |
| 3.7.4.      | <b>Seramik Kesiciler.....</b>                                          | 52 |
| 3.7.5.      | <b>Kübik Bor Nitrür.....</b>                                           | 53 |
| 3.7.6.      | <b>Çok Kristalli Elmas (PCD) .....</b>                                 | 53 |
| 3.7.7.      | <b>Kesici Takımlara Uygulanan Kaplamalar .....</b>                     | 54 |
| 3.7.8.      | <b>Kesici Takımlara Uygulanan Kaplamalar .....</b>                     | 54 |
| <b>4.</b>   | <b>MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>                                        | 56 |
| 4.1.        | <b>MATERYAL .....</b>                                                  | 56 |
| 4.1.1.      | <b>Çalışmada Kullanılan Takım Tezgâhı.....</b>                         | 56 |
| 4.1.2.      | <b>İş Parçaları .....</b>                                              | 56 |
| 4.1.2.1.    | <i>Ti6Al4V Titanyum Alaşımı .....</i>                                  | 56 |
| 4.1.2.2.    | <i>AISI 4340 Alaşımli Çelik.....</i>                                   | 57 |
| 4.1.3.      | <b>Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı .....</b>                             | 57 |
| 4.1.4.      | <b>Kesici Uçlar .....</b>                                              | 58 |

|          |                                                                                        |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.5.   | Takım Tutucu .....                                                                     | 59  |
| 4.1.6.   | Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....                                                | 59  |
| 4.1.7.   | Dijital Mikroskoplar .....                                                             | 60  |
| 4.1.7.1. | Dino-Lite Pro Dijital Mikroskop .....                                                  | 60  |
| 4.1.7.2. | Falcon Video Ölçüm Cihazı.....                                                         | 61  |
| 4.1.8.   | Sıcaklık Ölçme Aleti .....                                                             | 61  |
| 4.1.9.   | Yakıcı Gaz .....                                                                       | 62  |
| 4.1.10.  | Hamlaç.....                                                                            | 62  |
| 4.1.11.  | Gaz Debi Ölçer.....                                                                    | 62  |
| 4.2.     | YÖNTEM .....                                                                           | 63  |
| 5.       | BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                                              | 65  |
| 5.1      | YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DENEYLERİ.....                                                       | 65  |
| 5.1.1.   | Ti6Al4V Titanyum Alaşımın Deneylerinin İncelenmesi .....                               | 65  |
| 5.1.1.1. | Kesici Takım Türünün Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi .....                                  | 65  |
| 5.1.1.2. | Sıcaklığın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....                                             | 78  |
| 5.1.1.3. | Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi .....                                         | 90  |
| 5.1.2.   | AISI 4340 Alaşımli Çeliğin Deneylerinin İncelenmesi .....                              | 99  |
| 5.1.2.1. | Kesici Takım Türünün Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi .....                                  | 99  |
| 5.1.2.2. | Sıcaklığın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi.....                                             | 112 |
| 5.1.2.3. | Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi .....                                         | 124 |
| 5.2.     | TAKIM AŞINMALARININ İNCELENMESİ .....                                                  | 133 |
| 5.2.1.   | Ti6Al4V Titanyum Alaşımın Tornalanmasında Kesici Takım Aşınmalarının İncelenmesi.....  | 133 |
| 5.2.2.   | AISI 4340 Alaşımli Çeliğin Tornalanmasında Kesici Takım Aşınmalarının İncelenmesi..... | 156 |
| 5.3.     | REGRESYON ANALİZİ .....                                                                | 166 |
| 5.3.1.   | Doğrusal Regresyon Analizi .....                                                       | 167 |
| 5.3.2.   | Matematiksel Modelin Çıkartılması .....                                                | 169 |
| 5.3.2.1. | Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Matematiksel Modelinin Çıkartılması .....                  | 171 |
| 5.3.2.2. | AISI 4340 Alaşımli Çeliğin Matematiksel Modelinin Çıkartılması .....                   | 175 |
| 6.       | SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                                                              | 179 |
| 7.       | KAYNAKLAR .....                                                                        | 182 |
|          | ÖZGEÇMİŞ.....                                                                          | 188 |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1. Titanyumun mikroyapısı üzerine alaşım elementlerinin etkisi a) Alfa kararlı, b) Beta kararlı c) Beta kararlı + $(\alpha+\beta)$ takviyeli [33]. | 10 |
| Şekil 3.2. İş parçasını ısıtma metodlarının sınıflandırılması [56]                                                                                         | 22 |
| Şekil 3.3. Takım aşınma türleri.                                                                                                                           | 26 |
| Şekil 3.4. Serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişimi [57].                                                                                            | 27 |
| Şekil 3.5. Genel ısıtma işlem süreci [58].                                                                                                                 | 30 |
| Şekil 3.6. Çeliklere uygulanan ısıtma işlem sıcaklık aralıkları [58].                                                                                      | 31 |
| Şekil 3.7. Çeliklerde su verme sonucunda oluşan martenzitik yapı [60].                                                                                     | 32 |
| Şekil 3.8. Sıcaklık ve tavlama süresi grafiği [60].                                                                                                        | 33 |
| Şekil 3.9. Çeliklerde tavlama işlemleri (sıcaklık-karbon miktarı) [60].                                                                                    | 35 |
| Şekil 3.10. Karbon miktarı %0,6-1,35 olan alaşımsız çeliklerde yumuşatma tavlama sıcaklıkları [60].                                                        | 36 |
| Şekil 3.11. AISI 4140 çeliğinin sertlik ve çentik darbe tokluğunun menevişleme sıcaklığına göre değişimi (menevişleme süresi: 1saat) [61].                 | 37 |
| Şekil 3.12. Yağda su verilen AISI 4340 çeliğinin akma ve çekme dayanımları ile kopma büzülmesinin menevişleme sıcaklığına göre değişimi [61].              | 38 |
| Şekil 3.13. Değişik sıcaklıklardaki menevişleme süresinin su verilen ötektoid çeliğin sertliğe etkisi [61].                                                | 38 |
| Şekil 3.14. Tornalama işleminin şematik gösterimi [77].                                                                                                    | 42 |
| Şekil 3.15. Farklı profillerdeki kalem ve kullanım yerleri [78].                                                                                           | 43 |
| Şekil 3.16. İş parçası malzeme gösterimi [76].                                                                                                             | 44 |
| Şekil 3.17. Dik kesme modeli [73] - [75].                                                                                                                  | 45 |
| Şekil 3.18. Gerçek talaş oluşumu [73].                                                                                                                     | 46 |
| Şekil 3.19. İlerleme ve takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [81].                                                                              | 47 |
| Şekil 3.20. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [82].                                                                                          | 49 |
| Şekil 3.21. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi [82].                                                                                          | 50 |
| Şekil 3.22. Profil ve genlik dağılım eğrisi [84].                                                                                                          | 51 |
| Şekil 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan iş parçasının şematik gösterimi.                                                                                  | 56 |
| Şekil 4.2. Yüzey pürüzlülük Ölçüm cihazı, (Taylor Hobson).                                                                                                 | 57 |
| Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan kesici uç tür ve geometrileri.                                                                                            | 58 |
| Şekil 4.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).                                                                                                             | 60 |
| Şekil 4.5. Dino-Lite Pro dijital mikroskop.                                                                                                                | 60 |
| Şekil 4.6. Falcon Vision Engineering video ölçüm cihazı.                                                                                                   | 61 |
| Şekil 4.7. FLUKE marka 572-2 infrared termometre.                                                                                                          | 62 |
| Şekil 4.8. EVREN marka hamlaç.                                                                                                                             | 62 |
| Şekil 4.9. Ön ısıtma deney düzeneğinin gösterimi.                                                                                                          | 63 |
| Şekil 4.10. Deney düzeneğinin görünüşü.                                                                                                                    | 64 |
| Şekil 4.11. Hamlacın iş parçası üzerindeki konumu.                                                                                                         | 64 |
| Şekil 5.1. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 20 °C, $F_r$ : 0,098 mm/dev).    | 68 |
| Şekil 5.2. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 20 °C, $F_r$ : 0,196 mm/dev).    | 68 |

|                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.3. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 250 °C, $F_r$ : 0,098 mm/dev). .... | 71  |
| Şekil 5.4. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 250 °C, $F_r$ : 0,196 mm/dev). .... | 71  |
| Şekil 5.5. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 450 °C, $F_r$ : 0,098 mm/dev). .... | 74  |
| Şekil 5.6. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 450 °C, $F_r$ : 0,196 mm/dev). .... | 74  |
| Şekil 5.7. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 650 °C, $F_r$ : 0,098 mm/dev). .... | 77  |
| Şekil 5.8. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 650 °C, $F_r$ : 0,196 mm/dev). .... | 77  |
| Şekil 5.9. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KİG, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                         | 81  |
| Şekil 5.10. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KİG, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                        | 81  |
| Şekil 5.11. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KSZ, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                        | 85  |
| Şekil 5.12. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KSZ, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                        | 85  |
| Şekil 5.13. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KPL, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                        | 89  |
| Şekil 5.14. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KPL, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                        | 89  |
| Şekil 5.15. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KİG, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                      | 92  |
| Şekil 5.16. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KİG, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                      | 92  |
| Şekil 5.17. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KSZ, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                      | 95  |
| Şekil 5.18. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KSZ, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                      | 95  |
| Şekil 5.19. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KPL, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                      | 98  |
| Şekil 5.20. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KPL, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                      | 98  |
| Şekil 5.21. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 20 °C, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....  | 102 |
| Şekil 5.22. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 20 °C, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....  | 102 |
| Şekil 5.23. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 250 °C, $F_r$ : 0,098 mm/dev). .... | 105 |
| Şekil 5.24. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 250 °C, $F_r$ : 0,196 mm/dev). .... | 105 |
| Şekil 5.25. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 450 °C, $F_r$ : 0,098 mm/dev). .... | 108 |
| Şekil 5.26. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 450 °C, $F_r$ : 0,196 mm/dev). .... | 108 |
| Şekil 5.27. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T$ : 650 °C, $F$ : 0,098 mm/dev). ....     | 111 |

|                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.28. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 650 °C, $F_r$ : 0,196 mm/dev). .... | 111 |
| Şekil 5.29. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KPL, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                         | 115 |
| Şekil 5.30. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KPL, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                         | 115 |
| Şekil 5.31. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KİG, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                         | 119 |
| Şekil 5.32. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KİG, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                         | 119 |
| Şekil 5.33. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KSZ, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                         | 123 |
| Şekil 5.34. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KSZ, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                         | 123 |
| Şekil 5.35. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KPL, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                       | 126 |
| Şekil 5.36. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KPL, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                       | 126 |
| Şekil 5.37. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KİG, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                       | 129 |
| Şekil 5.38. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KİG, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                       | 129 |
| Şekil 5.39. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KSZ, $F_r$ : 0,098 mm/dev). ....                       | 132 |
| Şekil 5.40. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KSZ, $F_r$ : 0,196 mm/dev). ....                       | 132 |
| Şekil 5.41. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KİG takımın incelenmesi .....                                                                                    | 133 |
| Şekil 5.42. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KSZ takımın incelenmesi.....                                                                                     | 134 |
| Şekil 5.43. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KPL takımın incelenmesi.....                                                                                     | 134 |
| Şekil 5.44. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KİG takımın incelenmesi .....                                                                                    | 135 |
| Şekil 5.45. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KSZ takımın incelenmesi.....                                                                                     | 135 |
| Şekil 5.46. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KPL takımın incelenmesi.....                                                                                     | 136 |
| Şekil 5.47. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KİG takımın SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x$ =450 °C, $V_r$ =92,67 m/dak, $F_r$ =0,098 mm/dev). ....           | 137 |
| Şekil 5.48. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KİG takımın SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x$ =450 °C, $V_r$ =92,67 m/dak, $F_r$ =0,098 mm/dev). ....           | 137 |
| Şekil 5.49. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KİG takımın EDX analizi .....                                                                                    | 138 |
| Şekil 5.50. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KSZ takımın SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x$ =450 °C, $V_r$ =92,67 m/dak, $F_r$ =0,098 mm/dev). ....           | 139 |
| Şekil 5.51. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KSZ takımın SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x$ =450 °C, $V_r$ =92,67 m/dak, $F_r$ =0,098 mm/dev). ....           | 139 |
| Şekil 5.52. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KSZ takımın EDX analizi.....                                                                                     | 140 |
| Şekil 5.53. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KPL takımın SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x$ =450 °C, $V_r$ =92,67 m/dak, $F_r$ =0,098 mm/dev). ....           | 141 |
| Şekil 5.54. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KPL takımın SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x$ =450 °C, $V_r$ =92,67 m/dak, $F_r$ =0,098 mm/dev). ....           | 141 |
| Şekil 5.55. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KPL takımın EDX analizi.....                                                                                     | 142 |
| Şekil 5.56. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KİG takımın SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x$ =450 °C, $V_r$ =92,67 m/dak, $F_r$ =0,196 mm/dev). ....           | 143 |

|                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.57. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=92,67\text{ m/dak}$ , $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ). .....  | 143 |
| Şekil 5.58. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KİG takımının EDX analizi .....                                                                                                               | 144 |
| Şekil 5.59. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=92,67\text{ m/dak}$ , $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ). .....  | 145 |
| Şekil 5.60. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=92,67\text{ m/dak}$ , $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ). .....  | 145 |
| Şekil 5.61. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının EDX analizi.....                                                                                                                | 146 |
| Şekil 5.62. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=92,67\text{ m/dak}$ , $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ). .....  | 147 |
| Şekil 5.63. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=92,67\text{ m/dak}$ , $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ). .....  | 147 |
| Şekil 5.64. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının EDX analizi.....                                                                                                                | 148 |
| Şekil 5.65. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=185,35\text{ m/dak}$ , $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ). ..... | 149 |
| Şekil 5.66. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=185,35\text{ m/dak}$ , $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ). ..... | 149 |
| Şekil 5.67. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KİG takımının EDX analizi .....                                                                                                               | 150 |
| Şekil 5.68. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=185,35\text{ m/dak}$ , $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ). ..... | 151 |
| Şekil 5.69. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=185,35\text{ m/dak}$ , $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ). ..... | 151 |
| Şekil 5.70. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının EDX analizi.....                                                                                                                | 152 |
| Şekil 5.71. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=185,35\text{ m/dak}$ , $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ). ..... | 153 |
| Şekil 5.72. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_r=185,35\text{ m/dak}$ , $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ). ..... | 153 |
| Şekil 5.73. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının EDX analizi.....                                                                                                                | 154 |
| Şekil 5.74. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KİG takımının incelenmesi .....                                                                                                               | 155 |
| Şekil 5.75. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi.....                                                                                                                | 155 |
| Şekil 5.76. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının ile incelenmesi.....                                                                                                            | 156 |
| Şekil 5.77. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 157 |
| Şekil 5.78. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi... ..                                                                                                          | 157 |
| Şekil 5.79. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 158 |
| Şekil 5.80. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 158 |
| Şekil 5.81. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi... ..                                                                                                          | 159 |
| Şekil 5.82. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 159 |
| Şekil 5.83. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 160 |
| Şekil 5.84. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi... ..                                                                                                          | 160 |
| Şekil 5.85. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 161 |
| Şekil 5.86. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 162 |
| Şekil 5.87. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi... ..                                                                                                          | 162 |
| Şekil 5.88. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 163 |
| Şekil 5.89. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 164 |
| Şekil 5.90. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi... ..                                                                                                          | 164 |
| Şekil 5.91. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi ..                                                                                                             | 165 |
| Şekil 5.92. Ti6Al4V titanyum alaşım yüzey pürüzlülüğü- regresyon tahmin değeri dağılım grafiği. ....                                                                                            | 171 |
| Şekil 5.93. AISI 4340 alaşımlı çeliğin yüzey pürüzlülüğü- regresyon tahmin değeri dağılım grafiği. ....                                                                                         | 175 |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1. Alaşımsız titanyumun farklı arayer oranlarına sahip tipleri ve mekanik özellikleri [34].                                               | 11 |
| Çizelge 3.2. $\alpha$ -Ti alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [34].                                                           | 12 |
| Çizelge 3.3. $\alpha+\beta$ Ti alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [34].                                                      | 13 |
| Çizelge 3.4. $\beta$ Ti alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [34].                                                             | 14 |
| Çizelge 3.5. AISI 4340 çeliğinin değişik standartlardaki gösterimi [51].                                                                            | 17 |
| Çizelge 3.6. Düşük alaşımlı Ni-Cr-Mo'li çeliklerin kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları [51].                                                  | 17 |
| Çizelge 3.7. Su verilen ve temperlenen Cr-Ni-Mo'li alaşımlı çeliklerin özellikleri [51].                                                            | 18 |
| Çizelge 3.8. Tavlanan ve Normalize edilen Cr-Ni-Mo'li alaşımlı çeliklerin özellikleri [51].                                                         | 19 |
| Çizelge 3.9. Çeliklerin DIN ve AISI standardındaki karşılıkları [44].                                                                               | 20 |
| Çizelge 4.1. Ti6Al4V titanyum alaşımının kimyasal kompozisyonu (%).                                                                                 | 57 |
| Çizelge 4.2. AISI 4340 alaşımlı çeliğin kimyasal kompozisyonu (%).                                                                                  | 57 |
| Çizelge 4.3. Takım tutucu ölçüsel özellikleri.                                                                                                      | 59 |
| Çizelge 5.1. Ti6Al4V titanyum alaşımının 20 °C'de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.                        | 67 |
| Çizelge 5.2. Ti6Al4V titanyum alaşımının 250 °C'de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.                       | 70 |
| Çizelge 5.3. Ti6Al4V titanyum alaşımının 450 °C'de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.                       | 73 |
| Çizelge 5.4. Ti6Al4V titanyum alaşımının 650 °C'de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.                       | 76 |
| Çizelge 5.5. Ti6Al4V titanyum alaşımının KİG kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.       | 80 |
| Çizelge 5.6. Ti6Al4V titanyum alaşımının KSZ kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.       | 84 |
| Çizelge 5.7. Ti6Al4V titanyum alaşımının KPL kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.       | 88 |
| Çizelge 5.8. Ti6Al4V titanyum alaşımının KİG kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.  | 91 |
| Çizelge 5.9. Ti6Al4V titanyum alaşımının KSZ kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.  | 94 |
| Çizelge 5.10. Ti6Al4V titanyum alaşımının KPL kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. | 97 |

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Çizelge 5.11. AISI 4340 alaşımlı çeliğin 20 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....                       | 101 |
| Çizelge 5.12. AISI 4340 alaşımlı çeliğin 250 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....                      | 104 |
| Çizelge 5.13. AISI 4340 alaşımlı çeliğin 450 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....                      | 107 |
| Çizelge 5.14. AISI 4340 alaşımlı çeliğin 650 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....                      | 110 |
| Çizelge 5.15. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KPL kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....      | 114 |
| Çizelge 5.16. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KİG kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....      | 118 |
| Çizelge 5.17. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KSZ kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....      | 122 |
| Çizelge 5.18. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KPL kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. .... | 125 |
| Çizelge 5.19. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KİG kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. .... | 128 |
| Çizelge 5.20. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KSZ kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. .... | 131 |
| Çizelge 5.21. Pearson korelasyon katsayına göre değişkenler arasındaki ilişkinin yorumlanması [92]. ....                                                | 169 |
| Çizelge 5.22. Ti6Al4V titanyum alaşımın tornalanmasında elde edilen verilerin model özeti. ....                                                         | 171 |
| Çizelge 5.23. Ti6Al4V titanyum alaşımın tornalanmasında elde edilen verilerin ANOVA (Varyanslar Korelasyonu) Çizelgesi. ....                            | 172 |
| Çizelge 5.24. Ti6Al4V titanyum alaşımın tornalanmasında elde edilen verilerin katsayılar çizelgesi. ....                                                | 172 |
| Çizelge 5.25. Ti6Al4V titanyum alaşımın ön ısıtılmalı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....                                            | 173 |
| Çizelge 5.26. Ti6Al4V titanyum alaşımın ön ısıtılmalı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (devamı). ....                                   | 174 |
| Çizelge 5.27. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında elde edilen verilerin model özeti. ....                                                        | 175 |
| Çizelge 5.28. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında elde edilen verilerin ANOVA (Varyanslar Korelasyonu) Çizelgesi. ....                           | 176 |
| Çizelge 5.29. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında elde edilen verilerin katsayılar çizelgesi. ....                                               | 176 |
| Çizelge 5.30. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ön ısıtılmalı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri. ....                                           | 177 |
| Çizelge 5.31. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ön ısıtılmalı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (devamı). ....                                  | 178 |

## KISALTMALAR

|      |                                                                         |
|------|-------------------------------------------------------------------------|
| AISI | American Iron And Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)   |
| Al   | Alüminyum                                                               |
| Cr   | Krom                                                                    |
| CVD  | Kimyasal Buhar Biriktirme                                               |
| DIN  | German Institute For Standardization (Alman Standartlaştırma Enstitüsü) |
| DVD  | Directed Vapor Deposition (Doğrudan Buhar Biriktirme)                   |
| EDX  | Energy Dispersive X-Ray Analysis (Enerji Dağılımlı X-Ray Analizi)       |
| Fe   | Demir                                                                   |
| HRC  | Hardness Rockwell C (Rockwell C Serlik Birimi)                          |
| HSP  | Hegzagonal Sıkı Paket                                                   |
| HSS  | High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)                                    |
| KHM  | Kübik Hacim Merkezli                                                    |
| LPG  | Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)                   |
| Mpa  | Megapaskal                                                              |
| N    | Azot                                                                    |
| Ni   | Nikel                                                                   |
| PCD  | Polycrystalline Diamond (Çok Kristalli Elmas)                           |
| Pd   | Paladyum                                                                |
| PVD  | Fiziksel Buhar Biriktirme                                               |
| Ra   | Aritmetik Ortalama Sapma                                                |
| SEM  | Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)             |
| Ti   | Titanyum                                                                |
| V    | Vanadyum                                                                |
| YMK  | Yüzey Merkezli Kübük                                                    |

## SİMGELER

|               |              |
|---------------|--------------|
| $\mu\text{m}$ | Mikron Metre |
| $\varnothing$ | Çap          |
| $\alpha$      | Alfa         |
| $\gamma$      | Gama         |
| $\beta$       | Beta         |



## ÖZET

### İŞLENMESİ ZOR MALZEMENİN TORNALANMASININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEM İLE İNCELENMESİ

Yasin KAVAK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Şenol MERT

Nisan 2019, 187 sayfa

Sıcak işleme, işlenmesi zor mühendislik malzemelerinin işlenebilirliğini kolaylaştırmak için uygulanır. Amaç, talaş kaldırmadan önce bir ısıtıcı tarafından iş parçasının ısıtılması, böylece mukavemetinin düşürülmesi ve ilk haline göre daha kolay işlenebilir hale getirilmesidir. Kriyojenik işlem, malzemenin içyapısında meydana gelen değişimler aracılığıyla servis ömrünü artırmak için uygulanır. Bu işlem oda sıcaklığının çok altındaki sıcaklıklarda bir malzemeyi soğutma yöntemidir. Bu çalışmada, kriyojenik işlem uygulanmış kesici takımlarla farklı kesme hızı ve ilerleme hızı kombinasyonlarında deneyler yapılmıştır. Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) 4340 alaşımlı çelik ve Ti6Al4V titanyum alaşım işlenecek malzemeler olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, işlenmesi zor mühendislik malzemelerinin sıcak tornalanmasının, yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınma türleri üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca, kriyojenik işlemin ve sıcak tornalama işleminin, işlenebilirlik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesme hızının artması ve ilerleme miktarının azalması yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Buna ek olarak ön ısıtma uygulanması 650 °C'ye kadar yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Ti6Al4V titanyum alaşımın tornalanmasında kesme hızı ve ilerlemenin azalması yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. Buna ek olarak ön ısıtma uygulanması 450 °C'ye kadar yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır. 650 °C de yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** AISI 4340, Kriyojenik işlem, Ön ısıtma, PVD Kaplama, Ti6Al4V

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT ON SURFACE ROUGHNESS OF THE TURNING OF PROCESSING HARD MATERIAL BY STATISTICAL METHOD**

Yasin KAVAK

Duzce University

Graduate School of Science Engineering and Technology, Department of  
Manufacturing Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Senol MERT

April 2019, 187 pages

Hot machining is applied in order to facilitate the machinability of the hard machining engineering materials. The aim is to heat the workpiece by a heater before removing the chip, thus it is easier to be machined and reduced strength. Cryogenic process is applied to increase the service life through the occurring changes at the inner structure of the material. This process is a method of material cooling under a degree of room temperature. In this study, the experiments were carried out with the cryogenic process applying cutting tools in the combinations of different cutting speed and feed rate. American Iron And Steel Institute (AISI) 4340 alloy steel and Ti6Al4V titanium alloy were determined as materials to be machined. In this study, it is aimed to investigate the effects of the hot turning of the hard machining engineering materials on the surface roughness and cutting tools mechanism. In addition, the effects of the cryogenic and the hot turning processes on the machinability were investigated. It was found that, during the turning of AISI 4340 alloy steel, the surface roughness decreases with increasing spindle speed and decreasing feed rate of cutting tool. Additionally, the surface roughness decreases with increasing pre-heat temperature until the degree of 650 °C. In the process of turning of Ti6Al4V titanium alloy the surface roughness decreases with decreasing spindle speed and increasing feed rate of cutting tool. Moreover, the surface roughness decreases with increasing pre-heat temperature until 450 °C. The surface roughness was increased at 650 °C.

**Keywords:** AISI 4340, Cryogenic treated, Pre-heat, PVD coated, Ti6Al4V

## 1. GİRİŞ

Çalışmada iş parçası olarak seçilen Ti6Al4V titanyum alaşımı ile AISI 4340 alaşımlı çeliğin, son yıllarda, kullanım alanlarında artışlar görülmektedir. Ti6Al4V titanyum alaşım için özellikle medikal sektöründe, havacılık ve uzay sanayisinde kullanımı önem kazanmıştır. Birçok implant, uçak motorlarının bazı kritik parçaları vb. bu malzemeden imal edilmektedir. AISI 4340 alaşımlı çeliği ise özellikle otomotiv sanayisinde kullanılan dişli ve krank mili gibi önemli parçaların imalatında, birbirini üzerinde hareket eden aşınma direnci gerektiren yerlerde sıklıkla tercih edilmektedir.

Titanyum ve çelik parçaların imalatında, talaşlı imalat, en çok tercih edilen imalat yöntemidir. Fakat titanyum ve özellikle sertleştirme işlemine tabi tutulmuş çelik malzemelerin üzerinden talaş kaldırma işlemi sırasında bazı sıkıntılı durumlar görülmektedir. Titanyum malzemeler işlenirken yüksek derecede kimyasal tepkime vermektedir. Bu nedenle oluşan talaşın, kesici takıma kaynama eğilimi fazla olmaktadır. Sert yapıda bulunan alaşımlı çelik ise işleme sırasında sertliği nedeniyle işlemeye karşı direnç göstermektedir. Bundan dolayı kesici takımda yüksek aşınmalara neden olmaktadır.

Kesme sıcaklığı 500 °C aşıldığında neredeyse tüm takım malzemeleri titanyum alaşımları ile kimyasal olarak reaksiyona girmektedir. Reaksiyon neticesinde oluşan talaşların takımlara sıvanması ile kesici takımda adhezyon, difüzyon vb. aşınmalar meydana gelmektedir. Titanyum alaşımlar düşük termal iletkenlik nedeniyle (çeliklerin 1/6'sı kadar) işleme sırasında oluşan ısı kesici takıma yakın bölgede birirmektedir. Bu nedenle oluşan ısının yaklaşık %80'i kesici takıma ulaşmaktadır. Isının kesme bölgesinde birikmesinden dolayı talaş ve takımda yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Bu istenmeyen durumu bertaraf etmek için işleme anında soğutma sıvısı kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Alaşımlı çeliklerin serleştirilme işlemine tabi tutulduktan sonra oluşan işlenme direnci yüksek kesme hızlarında kesici takımları yüksek derecede aşındırmaktadır. Bu aşınma genellikle krater aşınması veya serbest yüzey aşınması şeklinde oluşmaktadır.

Son yıllarda, işleme sırasında oluşan olumsuz etkileri ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu çalışmalara örnek olarak, iş parçasının talaşlı imalat öncesi ön ısıtılma işlemi uygulanmasıdır. Ön ısıtma yönteminin haricinde, titanyum veya serleştirilmiş alaşımlı çelik malzemelerin işlenmesinde kimyasal tepkimeyi ve aşınmaları azaltabilmek adına işleme sırasında sıvı azotla soğutma yapılmaktadır (kriyojenik işleme).

Bu çalışmada, tornalamada Ti6Al4V titanyum alaşımının ve AISI 4340 alaşımlı çeliğin işlenmesi neticesinde ortaya çıkan iş parçası yüzey pürüzlülük değerleri ve kesici takım aşınmaları belirlenmeye çalışılmıştır. Alevle ön ısıtma yöntemi uygulanmış, ön ısıtmalı kesme ve ön ısıtmasız kesme işlemleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Deneylerde Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) kaplamalı karbür, kaplamasız karbür ve kriyojenik işlem görmüş kaplamasız karbür kesici uçlar kullanılmıştır. Tezin ikinci bölümünde konu ile ilgili olarak yayımlanmış literatürden elde edilen makalelerin özetleri mevcuttur. Üçüncü bölümünde, tornalama, işlenebilirlik, kesici takım aşınma türleri, malzemelere uygulanan ısıl işlemler, malzemeleri ısıtma yöntemleri ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Materyal ve yöntem dördüncü bölümünde anlatılmıştır. Söz konusu bölümde materyal olarak deneylerde kullanılan iş parçası malzemeleri, kesici takımlar, takım tutucu, ısıtma tertibatı, ısıölçer termometre, yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop hakkında bilgi verilmiştir. Tezin beşinci bölümü, deneylerden elde edilen verilerin değerlendirildiği araştırma bulgularına ayrılmıştır. Kesme işlemi neticesinde iş parçası yüzeyinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü olarak hangi deney parametresinde, en kaba ve en hassas pürüzlülük değerlerinin elde edildiği tartışılmıştır. Ardından takım aşınmaları irdelenmiştir. Son olarak deneylerden elde edilen veriler ışığında evrimsel programlama kullanılarak yüzey pürüzlülüğü-sıcaklık ilişkisi modeli oluşturulmuştur, yüzey pürüzlülüğü tahmini yaptırılmıştır. Tüm elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Tezin son bölümü olan sonuçlar kısmında ise araştırma bulgularından elde edilen takım aşınması, yüzey pürüzlülük değerleri değerlendirilmiş, evrimsel programlama ile oluşturulan modellerden türetilen matematiksel ifadeler kullanılarak tahmin edilen yüzey pürüzlülük değerleri ile deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri kıyaslanmıştır.

## 2. LİTERATÜR

İşlemesi zor iş parçalarının, işlenebilirliğini kolaylaştırmak için, iş parçası kesilmeden önce bir ısıtıcı tarafından ısıtılarak mukavemeti düşürülür ve ilk haline göre daha kolay işlenebilir. Bu işleme yöntemine “sıcak işleme” adı verilir. Böylelikle iş parçası işlenirken, oluşan kesme kuvvetleri ve kesici takımların aşınma miktarları düşme eğilimi gösterir. Malzemelerin işlenebilirlik özelliklerini kolaylaştırmak için iş parçasını ısıtma yöntemi, 1941 yılında Almanya’daki Krupp çelik fabrikalarında, sıcak çelik kütüklerin ısıtılarak kesilmesine dayandırılabilir. Bu yöntemin daha sonra patent (U.S. Patent No: 2412797) de alınmıştır. Sıcak işlemede, elektrik akımı, indüksiyon arkı, plazma arkı ve oksî-asetilen alevi gibi birden fazla ısıtma yöntemi kullanılabilmektedir. Bu yöntemlerin birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır [2].

Sıcak işleme çalışmalarında ilk dönem olarak kabul edebileceğimiz 1990’lı yıllara kadar yapılan çalışmalarda; östenitik manganlı çeliklerin kesme kuvveti ve takım ömürlerini, tungsten karbür takımlarla, oksî-asetilen alevli sıcak işleme yaparak incelenmiştir. İş parçasının ısıtılması takım ömrünü arttırmıştır [3]. Cr-Ni çeliğini oksî-asetilen aleviyle ısıtarak işlenmiş ve değişik kesme şartlarında takım ömrü ve yüzey pürüzlülük değerleri araştırılmıştır. Ayrıca regresyon analizi yardımıyla takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü denklemi elde edilmiştir [4]. Soğutulmuş sermet takımlar ve oksî-asetilen alevi kullanılarak yapılan sıcak işleme ile karbon çeliklerinin işlenebilirliğini incelemeleri sonucu soğutulmuş takımların, sıcak işlemede takım aşınmasına olumlu katkı yaptığı saptanmıştır [5]. %2,25 Cr’lu kokil döküm ve %18 Mn’lı aşınma direnci yüksek malzemeleri, plazma arkı kullanarak sıcak işlemeye tabi tutulmuş ve argon gazı kullanılarak, takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü araştırılmıştır [6].

Plazma arkı ile ısıtma yöntemi kullanılarak K10 tipi karbür kesici takım ile alüminyum oksit, pirex, mulite, zirkon ve silikon nitrat gibi mühendislik seramikleri ve ateşe dayanıklı cam malzemeleri işlenerek, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir [7].

Yüksek manganlı çelik (DIN1.3401), K10 tipi karbür kesici takım kullanılarak, değişik kesme şartlarında, elektrik direnci ile sıcak işlemeye tabi tutulmuştur. Negatif ve pozitif kesici takımların, yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini araştırılmıştır [8].

Östenitik manganlı çeliğin M20 takımlar ile sıcak işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü incelenmiştir. Östenitik manganlı çeliğin torna tezgahında sıcak talaşlı işlenmesinde, Likit Petrol Gazı (LPG) alevi ile ısıtma yöntemi kullanılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve ısıtma sıcaklığı (200-400-600 °C) parametreleri ile aşınma-zaman deneyleri yapılmış ve her deney sonrası iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçülerek, yüzey pürüzlülüğü ile kesme şartları arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Daha sonra regresyon analizi yönteminden yararlanılarak deneysel planlama ve yüzey pürüzlülüğü denklemi elde edilmiştir. Deneyler sonucunda; östenitik manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri geleneksel talaşlı imalata göre azalmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, önce kesme hızı arttıkça belli bir hıza kadar azalmış, daha sonra kesme hızı arttıkça artmıştır. Isıtma sıcaklığı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri azalmıştır. İlerleme miktarı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri artmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde en fazla etkiyi ilerleme miktarı yapmıştır. Kesme derinliği arttıkça, ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri azalmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde en düşük etkiyi kesme derinliği oluşturmuştur. Bu etkinin, ilerleme miktarı, kesme hızı ve ısıtma sıcaklığının yanında ihmal edilebilecek seviyede olduğu söylenebilmiştir [9].

Östenitik manganlı çeliklerin sıcak işlenmesinde, takım ömrünün teorik ve deneysel olarak belirlenmesi için araştırma yapılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve ısıtma sıcaklığı (200-400-600 °C) parametrelerini incelenmiştir. 243 HB sertlikteki iş parçasını, 20 mm uzaktan tutulan torçtan akan, LPG ve oksijen gazı karışımı ile ısıtmışlardır. LPG 110 ml/dakika, oksijen ise 30 ml/dakika oranlarında karıştırılmıştır. Kesme hızı arttıkça, takım ömrünün azaldığını belirlenmiş ve sonuçlar matematiksel model ile sunulmuştur [10].

Sıcak işlemede takım ömrü, yapay sinir ağları (YSA) ve regresyon analizi yapılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve ısıtma sıcaklığı (200-400-600 °C) parametrelerini incelenmiştir. Deneylerinde M20 sinterlenmiş karbür takım kullanılmıştır, ısıtıcı olarak LPG alevi (%70 propan ve %30 bütan) kullanılmış manganlı çelik ısıtılmıştır. Deney sonuçları, takım ömrünün oda

sıcaklığında işlemeye göre sıcak işlemede arttığını göstermiştir. En uzun takım ömrüne 600 °C’ de ulaşılmıştır. 400 °C’deki takım ömrü de 600 °C’deki takım ömrüne yakın bir değer olduğu için, iş malzemesi ve maliyet bakımından, en uygun sıcak işleme sıcaklığını 400 °C olarak önerilmiştir. Kesme hızının artması ile takım ömrünün azaldığını rapor edilmiştir [11].

İş malzemesinin kalitesi ve kesici takımın performansında önemli bir etkiye sabit olan kesici takımdaki ısı oluşumu incelenmiştir. İşlemedeki performansı arttırabilmek için ısı oluşumu üzerinde çalışılmıştır. Yaptıkları çalışmada termokupullar yardımı ile kesici takımdaki ısı oluşumunu ölçülmüştür. Bu işlemde bilgisayar yardımıyla ölçüm kontrol edilmiştir [12].

Takım ömrü ve yüzey pürüzlüğüne sıcak işlemin etkisini incelenmiştir. M20 sinterlenmiş karbür takımla, sıcak işleme sırasında yüksek manganlı çeliklerin takım ömrü ve yüzey kalitesi Taguchi yöntemini kullanılarak araştırılmıştır. Isıtma yöntemi olarak LPG kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri 200, 400, 600 °C olarak belirlenmiştir. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünün bu yöntemle (sıcak işleme) büyük miktarda geliştirildiği sonucuna ulaşılmıştır [13].

Yüksek manganlı çeliklerin, Karbür SNMG takımlar kullanılarak, sıcak işlenmesinde Taguchi yönteminin kullanılmasını incelenmiştir. Sıcak işleme ile güç gereksiniminin azaldığı ve takım ömrünün %14,8 oranında arttığı ileri sürülmüştür. Sıcak işlemin avantajları ve dezavantajlarını şöyle sıralamıştır: Sıcak işlemin avantajları: Pek çok tipte işleme yöntemine uygulanabilmektedir. Delme ve frezeleme gibi işlemlerde bütün kesme derinlikleri için ısı sağlamaktadır. Basit ve göreceli olarak ucuzdur. Sıcak işlemin dezavantajları: Termal kayıplar diğer yöntemlere nazaran yüksektir. Termal genleşmeden dolayı, ölçmenin doğruluğu düşük olabilmektedir. Düzensiz soğumadan dolayı parçada çarpılma olabilmektedir. Parça yüzeyinde fazla oksidasyon oluşmaktadır. Uzun mesafeli işlemler için uygun olmayabilir. İş güvenliği zorlukları meydana gelmektedir. İş parçası işlendikten sonra yüzeyi yanık ve kirli kalabilmektedir [14].

Çalışmada yüksek manganlı bir çelik karbür uçlar ile sıcak işleme yöntemiyle işlenmiştir. İş parçasının ısıtılması LPG ve oksijeni yakarak gerçekleşmiştir. Takım ömrünü ifade etmek için kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve sıcaklık birer

parametre olarak regresyon analizine tabi tutulmuştur. Oluşturulan matematik model denenmiştir. Takım ömrüne etkiyen kesme şartları incelenmiştir. Sonuç olarak takım ömrü üzerine sırasıyla iş parçası sıcaklığı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametreleri etkili olduğu saptanmıştır. En etken parametrenin ise iş parçası sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında iş parçasının yeniden kristalleşme sıcaklığı maksimum sıcaklık olacak şekilde sınırlandırılmıştır [15].

Çalışmada sıcak işleme yöntemi iki durumda ele alınmıştır. Birinci durumda 300 °C iş parçası iç sıcaklığında ve sabit kesme parametrelerinde yüzey pürüzlülüğü kalitesi, ikinci durumda 75,5 ve 51 m/dak kesme hızlarındaki takım sıcaklık değişimi göz önünde bulundurulmuştur. 45 HRC sertliğindeki AISI 1060 çeliği kaplamasız TNNM 120408-SP10 kesici takımı ile işlenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Gaz ile yanan alevle ısıtma kaynağı kullanılarak iş parçasına 300 °C üzerinde ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Bunun nedenini akma gerilmesinin %15 oranında azaltılması olarak gösterilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler ışığında kullanılan yöntemin büyük ölçüde iş parçası yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği belirlenmiştir. Sert malzemeleri kaplamasız sert takımlarla işleyerek biçim vermek sadece takım ömrünü kısaltmakla kalmayıp, yüzey pürüzlülüğünü de bozduğu sonucuna ulaşılmıştır [16].

TiAlN kaplamalı karbür kesici takımlarla, AISI D2 sertleştirilmiş çeliklerin (56-62 HRC), sıcak işlenmesi incelenmiştir. Isıtma sıcaklığı olarak 30-450 °C' yi kullanmışlardır. Frezede 5 mm kesme derinliğinde işlem yapılmıştır. Sıcak işleme ile takım aşınmasının azaldığı rapor edilmiştir [17].

Ti-5553 (Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr) malzemenin, sıcak işlenebilirliği araştırılmıştır. Kesici takım olarak sandvick CNMG 16 06 12 takım kullanılmıştır. İşleme sıcaklığı 750 °C'ye kadar çıkartılmıştır. Termal kamera ve termokupullar vasıtası ile kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmaları incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, farklı sıcaklıklarda dalgalı bir seyir izlemiştir. Yüzey pürüzlülüğü için optimum sıcaklığı 300 °C olarak belirlenmiştir. 500 °C'den sonra yüzey pürüzlülüğü kötüleşmeye başlamıştır. Sıcaklığın yükselmesi ile bazı 200 °C seviyesinde Built-Up-Edge (BUE) de görülebilmektedir [18].

Kesme işleminden önce iş parçası lokal olarak ısıtılarak malzemenin işlenebilirliği için lazer destekli işleme makinesi geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, çeşitli malzemeler

için kesme kuvvetinin %40 kadar azaldığı göstermiştir. Ortogonal kesmede kullanılan 42CrMo4 çelik malzemesinin deneysel testleri, Abaqus sonlu elemanlar programında analiz edilmiştir [19].

Paslanmaz çeliğin (tip 316) ısıtma ile (LPG ısıtıcı, 200-400-600 °C) işleme parametreleri çoklu tepki optimizasyonu Taguchi metodu ile gerçekleştirilmiştir. Tungsten karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve talaş kaldırma oranı optimize edilmiştir. Doğrulama testi ANOVA da yapılmıştır. İşlenebilirliğe en büyük etken parametre %46,2 oranında ilerleme miktarı olmuştur. Sonra sırasıyla işlenebilirliği etkileyen parametreler %22,7 ile kesme hızı ve %14,6 ile ısıtma miktarı olmuştur [20].

Sıcak işlemede, sıcaklık ölçümü deney düzeneklerini incelenmiştir. Bunun için EN19, EN31, orta karbonlu çelik, SS 304 ve SAE 8620 gibi iş parçaları ve kaplamasız tungsten kesici takımlar kullanılmıştır. Sonuçlar regresyon analizi ile tahmin edilmeye çalışılmıştır [21].

Sıcak işleme (indüksiyon ısıtma) için kaplamalı karbür takım (parmak frezele) kullanılarak kalıp malzemesinin yüzey bütünlüğünün (AISI D2 sertleştirilmiş çelik) deneysel sonuçları sunulmuştur. Yüzey bütünlüğüne etki eden kesme hızı, ilerleme ve ısıtma sıcaklığının etkisi araştırılmıştır [22].

Ti-6Al-4V (323 Hv) iş malzemesi termal destekli işlenilerek takım aşınması incelenmiştir. Seco WNMG060408-MF1 890 ve Sandvik CNMX1204A2-SMH13A kesici takımları kullanılmıştır. 350 °C’de kesme kuvvetlerinde %30 azalma sağlanmıştır [23].

AISI 4340 alaşımlı çelik malzemenin ısıtılarak işlenmesi çalışmalarında, mikro frezede, AISI 4340 iş parçasını oda sıcaklığından 400 °C’ ye kadar lazer destekli olarak ısıtarak, karbür kesici takımlar ile işlenmiştir. 79,8-119,7- 169,65 m/dak kesme hızlarında, 1,27-2,54-5,08 ilerleme miktarlarında ve 0,127 mm kesme derinliğinde, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması incelenmiştir [24].

Ti-6Al-4V malzemenin ısıtılarak işlenmesi çalışmalarında, frezede, Ti-6Al-4V iş parçası oda sıcaklığında, 315, 450 ve 650 °C’de indüksiyon fırınında ısıtarak, Çok Kristalli Elmas (PCD) kesici takımlar ile işlenmiştir. 127 m/dak kesme hızında, 0,088

ilerleme miktarlarında ve 1 mm kesme derinliğinde, takım ömrü incelenmiştir [25]. Frezede, Ti-6Al-4V iş parçası oda sıcaklığında, 315, 450 ve 650 °C’de indüksiyon fırınında ısıtarak, karbür kesici takımlar ile işlenmiştir. 70 m/dak kesme hızında, 0,088 ilerleme miktarında ve 1 mm kesme derinliğinde, takım ömrü, kesme hızı ve tırlamay araştırılmıştır [26].

İnconel 718 malzemenin ısıtılarak işlenmesi çalışmalarında, tornada, İnconel 718 iş parçasını 600-922 W arasında lazer destekli ısıtarak, seramik takımlarla işlemiştir. 1-2,2-3,4 m/dak kesme hızlarında, 0,025-0,05- 0,075- 0,1-0,15 ilerleme miktarlarında ve 0,5-0,76-1 mm kesme derinliğinde, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması ve ekonomik analizi incelenmiştir [27]. Frezede, İnconel 718 iş parçasını oda sıcaklığı, 400, 520 ve 1200 °C ’nin üstünde lazer destekli ısıtarak, alüminyum oksit kesici takımlarla işlenmiştir. 6,76 m/sn kesme hızında, 0,0125 mm/dak ilerleme miktarlarında ve 0,22-0,28-0,38 mm kesme derinliğinde, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması incelenmiştir [28].

Yapılan literatür araştırmaları incelendiğinde endüstride çok fazla kullanım alanına sahip olan AISI 4340 alaşımlı çelik ve Ti-6Al-4V malzemelerin tornalanarak sıcak işlenmesi ile ilgili yeterli çalışma olmadığı görülmektedir. Özellikle uzay, havacılık ve savunma sanayinde kullanılan Ti-6Al-4V ile otomotiv sanayisinde kullanılan malzemelerin sıcak işleme ile daha efektif işlenebilmesi bu malzemelerle üretilcek parçaların imalatını kolaylaştıracaktır. Bu alanla ilgili literatürdeki eksikliklerin giderilmesi ve kesici takım ömürleri üzerinde artışlar sağlanarak imalat sektöründeki işletmelere teknolojik veri sağlaması açısından yapılacak çalışmanın önemli bir yer tutacağına inanılmaktadır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. TİTANYUM VE ALAŞIMLARI

##### 3.1.1. Tanımı

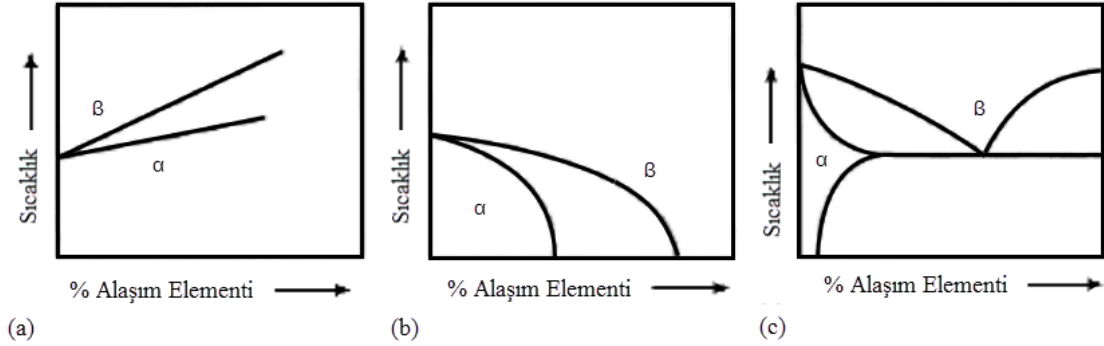
Titanyum, düşük yoğunluklu ( $4,54 \text{ gr/cm}^3$ ) (çeliğin yoğunluğunun yaklaşık %60) olup yüksek derecede şekillendirilebilirlik özelliğine sahip bir elementtir. Manyetik bir element olmayan titanyum, iyi ısı iletkenliğine sahiptir. Çeliklerden bir miktar düşük olan ısı iletim katsayısı, alüminyumun ısı iletim katsayısının ise yarısından daha azdır. Ti ve alaşımlarının ergime sıcaklığı çeliklerin ergime sıcaklıklarından daha yüksektir. Fakat genellikle maksimum  $425\text{--}540 \text{ }^\circ\text{C}$ 'leri arasındaki uygulamalarda kullanılabilirler. IMI 834 veya Ti-1100 gibi en son geliştirilen alaşımlar yaklaşık  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklık limitine sahiptir. Titanyum, birçok mineral asitleri ve klorür iyonlarına karşı yüksek bir dayanıma sahiptir. Ti ve alaşımlarının göstermiş olduğu yüksek dayanım, iyi tokluk, düşük yoğunluk ve iyi korozyon dayanımı gibi özelliklerin kombinasyonu, uzay araçları ve diğer yüksek performansın gerekli olduğu uygulamalarda büyük öneme sahiptir. Titanyum, bunların yanı sıra insan dokusu ve kemiği ile de biyolojik uyumluluk gösterir [29], [30]. Bununla birlikte aşınma davranışı göstermesi bakımından zayıftır. Bu yüzden aşınma davranışının gerekli olduğu uygulamalarda yüzey modifikasyonu uygulanabilir [31]. Son zamanlarda geliştirilen yüksek Nb içeriğine sahip Ti alaşımları özellikle yüksek sıcaklıklarda ( $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) mükemmel akma dayanımı ( $350 \text{ MPa}$ ) sergilerler [32].

Ti ve alaşımları içerisinde, Ti6Al4V alaşımı endüstriyel uygulamanın yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Ti6Al4V alaşımı, şekillendirilebilirlik, iyi kaynak edilebilirlik ve üretim kolaylığı gibi özelliklerin tümüne sahip tek alaşımdır [29].

##### 3.1.2. Titanyumun Fiziksel Metalurjisi

Titanyum, yaklaşık  $885 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de Hegzagonal Sıkı-Paket (hsp) bir kristal yapıdan ( $\alpha$  fazı) kübik hacim merkezli (khm) ( $\beta$  fazı) bir kristal yapıya dönüşür. Dönüşüm sıcaklığı ( $\beta$ -geçiş), O, N ve C gibi dönüşüm sıcaklığını artıran ( $\alpha$  kararlı) arayer elementlerinden, dönüşüm sıcaklığını düşüren ( $\beta$  kararlı) H ile ve dönüşüm sıcaklığını hem artırabilen

hem de azaltabilen metalik kalıntı (empürite) veya alaşım elementlerinden aşırı derecede etkilenir [33]. Ti' un mikroyapısı üzerine alaşım elementlerinin etkisi Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Titanyumun mikroyapısı üzerine alaşım elementlerinin etkisi a) Alfa kararlı, b) Beta kararlı c) Beta kararlı + ( $\alpha+\beta$ ) takviyeli [33].

Ta, V, Nb ve Mo kübik hacim merkezli Ti ile beta izomorftur. Ti, beta izomorf elementlerle intermetalik bileşik oluşturmaz. Ötektoid sistemler; Cr, Fe, Cu, Ni, Pd, Co, Mn ve diğer geçiş metalleriyle oluşurlar. Bu elementler,  $\alpha$ -Ti'da düşük çözünürlüğe sahiptirler ve dönüşüm sıcaklığını azaltırlar. Bunlar, genellikle  $\beta$ -fazı kararlılığı için beta izomorf elementlerin biri veya birkaçıyla birlikte alaşımlara katılırlar ve yüksek sıcaklıklarda kullanım esnasında meydana gelebilecek intermetalik bileşiklerin oluşumunu minimuma indirirler [29].

Zirkonyum ve hafniyum, hem  $\alpha$  hem de  $\beta$  fazlarıyla izomorfturlar. Kalay ve alüminyum, hem  $\alpha$  hem de  $\beta$  fazlarında önemli ölçüde çözünürlüğe sahiptirler. Alüminyum dönüşüm sıcaklığını önemli ölçüde artırırken, kalay hafif derecede düşürür [33].

Ti alaşımlarının yüksek sıcaklıklardaki mikroyapısal değişiminin temelinde soğuma sırasında oluşan  $\alpha$ - $\beta$  dönüşümü yatar. Bu dönüşüm alaşımın bileşimi ve soğuma hızına bağlı martenzitik olarak meydana gelebilir. Bu martenzitik ürün genellikle hegzagonal sıkı paket (hsp) kafes yapısına sahiptir ve  $\alpha'$  olarak tanımlanır [33].

### 3.1.3. Titanyumun Alaşımlarının Sınıflandırılması

Titanyum alaşımlar mikroyapılarına göre sınıflandırdığında; alaşımsız  $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$  ve metastabil  $\beta$  alaşımları olarak ayrılır. Bu tanımlar işlem sonrası genel mikro yapıyı ifade etmektedir. Bir  $\alpha$  alaşımı, çok düşük miktarda  $\beta$ -fazı içerebilir. Bir  $\alpha+\beta$  alaşımı  $\alpha$

ve dönüşmüş  $\beta$ 'dan oluşur. Metastabil bir  $\beta$  alaşımı ise oda sıcaklığına soğutulduğunda kalıntı  $\beta$  fazı oluşumuna uygun hale gelecek, fakat ısıtma işlemiyle ince  $\alpha$  fazında çökeltme gerçekleşecektir [29].

#### 3.1.3.1. Saf Titanyum

Yüksek dayanım gerekemediği durumlarda, korozyona karşı gösterdikleri direnç nedeniyle tercih edilen, yaklaşık % 98-99,5 oranında Ti içeren alaşımsız ürünlerlerdir. Bu malzemelerin kullanılma nedeni, şekil alma özelliklerinin yüksek olması ve kaynak edilmeye elverişli olmalarıdır. Saf titanyum alaşımlarının akma dayanımları arayer ve empürite atomlarının oranına bağlı olarak 170-480 MPa arasında farklılaşma gösterir. Çizelge 3.1'de alaşımsız Ti'un farklı arayer oranlarına sahip tipleri ve mekanik özellikleri görülmektedir [34].

Çizelge 3.1. Alaşımsız titanyumun farklı arayer oranlarına sahip tipleri ve mekanik özellikleri [34].

| Alaşım Tipi | % Bileşim |    |    |     |      |     |       |     |      | Çekme Day. (Mpa) | Akma Day. (Mpa) |
|-------------|-----------|----|----|-----|------|-----|-------|-----|------|------------------|-----------------|
|             | Al        | Sn | Zr | Mo  | N    | C   | H     | Fe  | O    |                  |                 |
| Tip 1       | -         | -  | -  | -   | 0,03 | 0,1 | 0,015 | 0,2 | 0,18 | 240              | 170             |
| Tip 2       | -         | -  | -  | -   | 0,03 | 0,1 | 0,015 | 0,3 | 0,25 | 340              | 280             |
| Tip 3       | -         | -  | -  | -   | 0,05 | 0,1 | 0,015 | 0,3 | 0,35 | 450              | 380             |
| Tip 4       | -         | -  | -  | -   | 0,05 | 0,1 | 0,015 | 0,5 | 0,40 | 580              | 480             |
| Tip 7       | -         | -  | -  | -   | 0,03 | 0,1 | 0,015 | 0,3 | 0,25 | 340              | 280             |
| Tip 11      | -         | -  | -  | -   | 0,03 | 0,1 | 0,015 | 0,2 | 0,18 | 240              | 170             |
| Tip 12      | -         | -  | -  | 0,3 | 0,03 | 0,1 | 0,015 | 0,3 | 0,25 | 480              | 380             |

#### 3.1.3.2. $\alpha$ -Ti Alaşımları

Al, Sn ve Zr içeren  $\alpha$ -Ti alaşımları, düşük (sıfırın altı) ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaya elverişlidir. Sürünme dayanımı özellikle yüksek sıcaklıklarda  $\beta$ -Ti alaşımlarından iyidir.  $\alpha$ -Ti alaşımlarının yapısındaki düşük arayer elementi içeriği kriyojenik (sıfırın altı) sıcaklıklarda süneklik ve tokluğu korur [29].

$\alpha$  alaşımları, göstermiş oldukları yüksek dayanım, tokluk ve kaynak edilebilirlik özelliği ile tanınırlar. Fakat işlenirlik açısından  $\beta$  alaşımlarından daha kötüdürler.  $\alpha$  alaşımları ısıtma işlemiyle sertleştirilemezler. Bunun yerine sertleştirme için temel mikro yapısal değişimi tane boyutunun değiştirilmesiyle gerçekleşir. Al elementi  $\alpha$

alaşımlarının temel alaşım elementidir. Fakat Ti8AlMo1V veya Ti6Al2Nb1Ta0.8Mo gibi) az miktarda  $\beta$  kararlı alaşım elementi içeren  $\alpha$  alaşımları da  $\alpha$  yakın alaşımları olarak kategorize edilmektedir. Çizelge 3.2’de  $\alpha$ -Ti alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri görülmektedir [35].

Çizelge 3.2.  $\alpha$ -Ti alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [34].

| Alaşım Tipi            | % Bileşim |     |    |     |          | Çekme Day. (Mpa) | Akma Day. (Mpa) |
|------------------------|-----------|-----|----|-----|----------|------------------|-----------------|
|                        | Al        | Sn  | Zr | Mo  | Diğer    |                  |                 |
| Ti-0.3Mo-0.8 Ni        | -         | -   | -  | 0,3 | 0,8Ni    | 480              | 380             |
| Ti-5Al-2.5Sn           | 5         | 2,5 | -  | -   | -        | 790              | 760             |
| Ti-5Al-2.5Sn-EU        | 5         | 2,5 | -  | -   | -        | 690              | 620             |
| Ti-8Al-1Mo-1V          | 8         | -   | -  | 1   | 1V       | 900              | 830             |
| Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo     | 6         | 2   | 4  | 2   | -        | 900              | 830             |
| Ti-6Al-2Nb-1Ta-0.8Mo   | 6         | -   | -  | 1   | 2Nb, 1Ta | 790              | 690             |
| Ti-2.25Al-11Sn-5Zr-1Mo | 2,25      | 11  | 5  | 1   | 0,2Si    | 1000             | 900             |
| Ti-5Al-5Sn-2Zr-2Mo     | 5         | 5   | 2  | 2   | 0,25Si   | 900              | 830             |

### 3.1.3.3. $\alpha+\beta$ -Ti Alaşımları

$\alpha+\beta$  alaşımları  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarının karışımıyla meydana gelir. Bu alaşımlar oda sıcaklığında %10-50 arasında  $\beta$ -fazı içerirler [35].

$\alpha+\beta$  alaşımlarının sertleştirilebilmesi için ısıtılma işlemi ve yaşlandırma gerekir. Isıtılma işlemi, genellikle çift fazlı  $\alpha+\beta$  bölgesinde yüksek bir sıcaklıktan su, yağ veya uygun bir soğutma ortamında soğutmayla yapılır. İşlem sıcaklığından hızlı soğutmayla  $\beta$  fazı yapıda dönüşmeden kalabilir veya kısmen martenzite dönüşebilir. Isıtılma işlemi,  $\alpha$  fazını çöktürmek ve korunmuş veya kısmen dönüşmüş  $\beta$  fazında ince bir  $\alpha$  mikro yapısı oluşturmak için 480-600 °C’ler arasında yaşlandırma işlemi takip eder. Isıtılma işlemi ve yaşlandırma işlemi sonucunda  $\alpha+\beta$  alaşımlarının dayanımı %30-50 arasında artabilir. Isıtılma işlemi ve yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş alaşımların parça kalınlığı uygulanan ısıtılma işlemi ve yaşlandırmaya verdiği tepki süresinde önemli etkiye sahiptir. 25 mm’den daha kalın olan Ti6Al4V alaşımı için su ortamına yeterli değildir.  $\alpha+\beta$  alaşımlarda sertleşebilme özelliğini belirleyici olan  $\beta$  fazıdır.  $\beta$  fazı oranı arttıkça sertleşebilirlik

de artar. Çizelge 3.3'te  $\alpha+\beta$  alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri görülmektedir [29].

Çizelge 3.3.  $\alpha+\beta$  Ti alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [34].

| Alaşım Tipi            | % Bileşim |    |    |     |             | Çekme Day. (Mpa) | Akma Day. (Mpa) |
|------------------------|-----------|----|----|-----|-------------|------------------|-----------------|
|                        | Al        | Sn | Zr | Mo  | Diğer       |                  |                 |
| Ti-6Al-4V              | 6         | -  | -  | -   | 4V          | 900              | 830             |
| Ti-6Al-6V-2Sn          | 6         | 2  | -  | -   | 0.75Cu, 6V  | 1030             | 970             |
| Ti-8Mn                 | -         | -  | -  | -   | 8Mn         | 860              | 760             |
| Ti-7Al-4Mo             | 7         | -  | -  | 4   | -           | 1030             | 970             |
| Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo     | 6         | 2  | 4  | 6   | -           | 1170             | 1100            |
| Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr | 5         | 2  | 2  | 4   | 4Cr         | 1125             | 1055            |
| Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-2Cr | 5.7       | 2  | 2  | 2   | 2Cr, 0.25Si | 1030             | 970             |
| Ti-3Al-2.5V            | 3         | -  | -  | -   | 2.5V        | 620              | 520             |
| Ti 1100                | 6         | 4  | 4  | 0.4 | 0.4Si       | 1000             | 900             |
| Ti-5Al-5Mo-1.5Cr       | 4.5       | -  | -  | 5   | 1.5Cr       | 900              | 830             |

Isıl işlem sırasında oluşan difüzyonlu ve difüzyonsuz dönüşümler, çift fazlı Ti alaşımların fonksiyonel karakteristiğini belirlemede yüksek öneme sahiptir. Uzay ve endüstriyel uygulamalarda tercih edilen titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri, büyük önem taşır. Alaşımın mikro yapısı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı ve kırılma tokluğunu kontrol etmede önemli bir faktördür. Ti alaşımlarının özellikleri ısıtılma işlem veya termomekanik işlemle geniş bir şekilde değişebilir. Örneğin tamamen lamelli bir yapı, yorulma çatlak direnci ve yüksek kırılma tokluğuyla tanımlanır [36].

#### 3.1.3.4. $\beta$ -Ti Alaşımları

$\beta$  alaşımları, uygun bir soğuma hızıyla  $\beta$  fazının tamamen korunduğu ve  $\beta$  kararlı elementler açısından yeterli derecede zengin alaşımlardır. Bu alaşımlar metastabildir ve metastabil  $\beta$ 'da  $\alpha$ 'nın çökmesi alaşımın mukavemetini artırmak için kullanılan bir yöntemdir [29].

$\beta$  alaşımlarının önemli bir özelliği olan kırılma tokluğu karakteristiği, son yıllarda, uzay araçlarında kullanılması açısından önemini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca Mo içeriğine sahip bazı  $\beta$  alaşımları iyi korozyon karakteristiğine de sahiptir [35].

Metastabil  $\beta$  alaşımları aynı zamanda:

- $\alpha+\beta$  alaşımlarından daha iyi oda sıcaklığında şekillendirilebilirlik karakteristiği,
- Akma dayanımının kıstas olarak alındığı sıcaklıklarda  $\alpha+\beta$  alaşımlarından daha yüksek dayanım,
- Kalın kesitli parçalarda ısıtılma işlemi  $\alpha+\beta$  alaşımlarından daha iyi cevap vermesi, gibi özelliklere sahiptir. Çizelge 3.4'te  $\beta$  alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri görülmektedir [33].

Çizelge 3.4.  $\beta$  Ti alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [34].

| Alaşım Tipi             | % Bileşim |     |    |      |               | Çekme Day. (Mpa) | Akma Day. (Mpa) |
|-------------------------|-----------|-----|----|------|---------------|------------------|-----------------|
|                         | Al        | Sn  | Zr | Mo   | Diğer         |                  |                 |
| Ti-10V-2Fe-3Al          | 3         | -   | -  | -    | 10V           | 1170             | 1100            |
| Ti-13V-11Cr-3Al         | 3         | -   | -  | -    | 11Cr, 13V     | 1170             | 1100            |
| Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al       | 3         | -   | -  | 8    | 8V            | 1170             | 1100            |
| Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr   | 3         | -   | 4  | 4    | 6Cr, 8V       | 900              | 830             |
| Ti-11Mo-6Zr-4.5Sn       | -         | 4,5 | 6  | 11,5 | -             | 690              | 620             |
| Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr      | 3         | 3   | -  | -    | 15V, 3Cr      | 790              | 775             |
| Ti-15Mo-2.7Nb-3Al-0.2Cr | 3         | -   | -  | 15   | 2,7Nb, 0,2Si4 | 1100             | 1030            |

### 3.2. ÇELİKLER

Demir esaslı alaşımlar ana bileşenin demir olduğu alaşımlardır. İş parçası olarak en çok kullanılan çelik, yapısında %0,05-2 karbon içerir. Karbon yüzdesinin %2 ve daha çok olduğunda dökme demir, %0,05'in altında olduğu durumlarda ise dövme demir meydana gelir. Karbon çeliği (alaşımsız çelik) yapısında sadece demir ve karbon içerir, alaşımlı çeliklerde ise bunlara ek olarak alaşım elementleri bulunur. Karbon yüzdesinin, alaşım elementlerinin ve ısıtılma işlemlerin değişimi ile çok farklı özelliklere sahip çok çeşitli çelikler elde edilebilir [37].

### 3.2.1. Çeliklerin Kullanım Yerlerine Göre Sınıflandırılması

Çelikler tanımlamada ve kullanımda kolaylık oluşması açısından; üretim metotlarına göre, kimyasal bileşimlerine göre ve kullanım yerlerine göre farklı şekillerde sınıflandırılmışlardır. Kullanım yerlerine göre çelikler; otomat çelikleri, yay çelikleri, imalat çelikleri, sementasyon çelikleri, paslanmaz çelikler, ıslah çelikleri ve takım çelikleri gibi çeşitli şekillerde gruplandırılabilir [38].

#### 3.2.1.1. Otomat Çelikleri

Otomat imalatında genellikle küçük parçalar üretildiğinden dolayı karbon miktarı yaklaşık %0,10-0,60 arasında olan alaşımsız sementasyon ve ıslah çelikleri kullanılır. Talaşlı imalatı için normal çeliklerle karşılaştırıldığında yapısına daha fazla kükürt ve mangan katılır. Bunlar otomat çeliği olarak tanımlanırlar. Kükürt ve mangan birlikte mangan sülfürü oluşturur ve metalik yapıda kırılmalık sağlayarak, kısa kırılmalık talaş meydana getirir [39].

#### 3.2.1.2. Yay Çelikleri

Yayların büyük çoğunluğunun imalatı için yay çelikleri kullanılmaktadır. Yay çelikleri, daha çok çelik çubuk, tel ya da bant olarak temin edilebilir ve yay formu ve ölçülerine göre sıcak ya da soğuk olarak yaya şekil verilir [39]. Yay çelikleri elastiki, sürekli titreşime dayanıklı ve yüksek dayanıma sahiptirler. Genel olarak makinelerde ve taşıt yapımında kullanılırlar [40].

#### 3.2.1.3. İmalat çelikleri

Yapısında %1,7'ye kadar karbon bulunan çeliklerdir. Karbonlu çelikler olarak da tanımlanmaktadır. Çeliğin özelliklerinin değişimi, karbon oranındaki değişim ile doğrudan bağlantılıdır [38]. Orta karbonlu çelikler, talaş kaldırma işlemi gerektiren iş parçaları için kullanılabilirler. Kabuk sertleştirme, toklaştırma veya temperleme ile sertleştirme işlemleri bu çeliklere uygulanabilmektedir. Sertleştirilebilen takım çelikleri, yüksek karbonlu çeliklerdir [37].

#### 3.2.1.4. Sementasyon Çelikleri

Sementasyon çelikleri piyasaya sıcakta haddelenmiş veya dövülmüş olarak kütük, yuvarlak, dört köşe, altı köşe, lama şeklinde çubuk, sıcak çekilmiş sac, bant ve geniş lama, dikişsiz boru, elde veya kalıpta dövülmüş parçalar halinde bulunur. Sıcakta şekillenebilmektedir. Bunun yanısıra yumuşatma tavı görmüş; belirli bir dayanım

verecek biçimde su verilmiş veya belirli ferritik perlitik yapı elde edecek biçimde tavlanmış olarak şekillendirilebilirler. Sementasyon çelikleri dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklavaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, kılavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler, bir kısım ölçü ve kontrol aletleri, orta zorlamalı veya zorlamalı parçalar, soğuk şişirilerek veya fışkırtılarak (ekstrüzyon) şekillendirilen parçalar, kesici takımlar gibi parçaların imalinde kullanılır [41].

#### 3.2.1.5. Paslanmaz Çelikler

Korozyona karşı olan dirençleri ile bilinen paslanmaz çelikler, kendi başına bir malzeme grubunu oluşturur. Yapısında bulunan %12'nin üzerinde bir yüzdeye sahip kromdur (Cr) en belli başlı elementtir. Paslanmaz çeliklerin en önemli özelliği korozyonu karşı göstermiş olduğu dirençtir [37]. Paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu durumun oluşmasının temel nedeni ise korozyon ortamlarında, mekanik özelliklerini yitirmeden korozyon direnci göstermesidir [42]. Paslanmaz çeliklerin korozyon dirençlerinin yüksek olması, bu malzemenin yüzeyinde oluşan ince ve kararlı olan Krom (III) Oksit ( $Cr_2O_3$ ) veya nikel oksit filmlerinin oluşması ile gerçekleşir [43].

Yüksek oranda C içeren paslanmaz çelikler üçlü Fe-Cr-C alaşım sisteminde yer alır. Paslanmaz çeliklerin ısıtılma özellikleri kimyasal bileşimlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Genelde paslanmaz çelikler üç ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar [43]:

- Östenitik paslanmaz çelikler,
- Ferritik paslanmaz çelikler,
- Martenzitik paslanmaz çelikler.

#### 3.2.1.6. Islah Çelikleri

Islah çeliklerinden sertleşebilme özelliğinin yanı sıra yüksek dayanım ve süneklikte istenir. Diğer çelikler ile karşılaştırıldıklarında nispeten yüksek karbon oranlarına sahiptirler. Kükürt miktarı belirli sınırlar arasında değişen, alaşımsız ve alaşımlı ıslah çelikleri de geliştirilmiştir. Kalın kesitlerde, yeterli sertleştirme derinliği ancak alaşımlı ıslah çelikleri de geliştirilmiştir [44].

### 3.2.1.6.1. Düşük Alaşımli Krom-Nikel-Molibdenli (4340) Çelikler

Üçlü alaşım olan Cr-Ni-Mo'li çelikler (43XX ve 47XX) HTLA ısıtma işlemi uygulanabilen düşük alaşımli çeliklerdendir. AISI 4340 serili çelik, yüksek değerlerde sertlik elde edebilmek için ısıtma işlemi uygulanan düşük alaşımli martenzitik çelik olarak [45], [46], tok, sünek ve mukavemetli olmasından dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir [47]. Genellikle uçak krank milleri [48], aks milleri, somun ve saplamalar, dişliler, pervane yatağı, bağlama pimleri ve sıcak iş kalıpları gibi parçaların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır [49], [50]. Çizelge 3.5'te 4340 serili çeliğin değişik standartlardaki gösterimi ve Çizelge 3.6'da ise Ni-Cr-Mo çeliklerinin bazılarının kimyasal bileşimleri ile tipik uygulama alanları verilmiştir.

Çizelge 3.5. AISI 4340 çeliğinin değişik standartlardaki gösterimi [51].

|                 | MKE Normu | DIN/TS    |         | Malzeme UNS |         | SAE/AISI |       |
|-----------------|-----------|-----------|---------|-------------|---------|----------|-------|
|                 | AISI 4340 | 42CrNiMo6 |         | G43400      |         | 4340     |       |
|                 |           |           |         |             |         |          |       |
| Alaşım Elementi | C         | Cr        | Mo      | Ni          | Mn      | Si       | Fe    |
| % Ağırlık       | 0,38-0,43 | 0,7-0,9   | 0,2-0,3 | 1,65-2      | 0,6-0,8 | 0,15-0,3 | Kalan |

Çizelge 3.6. Düşük alaşımli Ni-Cr-Mo'li çeliklerin kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları [51].

| AISI ve/veya SAE No | Kimyasal Bileşim % Ağırlık |      |      |      |      | Tipik Uygulama Alanları                           |
|---------------------|----------------------------|------|------|------|------|---------------------------------------------------|
|                     | C                          | Mn   | Ni   | Cr   | Mo   |                                                   |
| 4320                | 0,20                       | 0,55 | 1,83 | 0,50 | 0,25 | Karbürlenebilen malzeme, Ağır iş parçaları, Dişli |
| 4340                | 0,40                       | 0,60 | 1,83 | 0,80 | 0,25 |                                                   |
| 8620                | 0,20                       | 0,80 | 0,55 | 0,50 | 0,20 | Karbürlenebilen malzeme, Aks, Şaft malzemesi      |
| 8640                | 0,40                       | 0,88 | 0,55 | 0,50 | 0,20 |                                                   |
| 8660                | 0,60                       | 0,88 | 0,55 | 0,50 | 0,20 |                                                   |

Orta karbonlu çeliklerde sertleşme işlemi sonucunda malzemenin yüzeyinden merkeze doğru sertlik dağılımında homojenlik yoktur. Yüzey kısımları sertken merkeze doğru sertlik değerinde azalmalar görülür [50], [51]. Buna karşın, AISI 4340 çeliğinde sertleştirme işlemi sonucunda, yüzeyin sertliği ile merkezin sertliği arasındaki önemli bir fark oluşmaz. Sertleştirilebilirlik özelliği için, su verilen AISI 4340 serili çeliğin

izotermal dönüşüm ve sertleşebilirlik diyagramından yararlanılır. Çizelge 3.7’de su verilen ve temperlenen Cr-Ni-Mo’li alaşımların özellikleri verilmiştir. Çizelge 3.8’de ise tavlanan ve normalize edilen Cr-Ni-Mo’li alaşımlı çeliklerin özellikleri yer almaktadır [51].

Temperleme; karbürlerin çökmesi, kalıntı östenitin ayrışması, martenzitik yapının rekristalizasyonu gibi basit yöntemlerle malzemeyi daha sünek yapmak için, martenziti yüksek sıcaklıklarda ısıtma yöntemidir [50], [52]. Temperleme işleminde malzeme  $Ac_1$ ’in altındaki bir sıcaklıkta yeniden ısıtılır ve uygun ortamda soğutulur. Temperleme sıcaklığı alanında, sıcaklık yükselirken genel olarak temperlenme durumuna tokluğun azaldığı görülür [53].

Bununla beraber, çeliğe karbür yapıcı Cr, Mo, V, T, veya W ilave edilirse 500-600 °C sıcaklıklarında ikincil sertleşme meydana gelir. Bunun sonucu olarak, sertlik su verilen alaşımın sertliğine yakın olabilir, fakat tokluğu gelişir. Bu gerilme  $W_2C$ ,  $Mo_2C$  ve  $V_4C_3$  gibi karbür çöktürleri ve  $Fe_3C$ ’nin yeniden çözünmesi sonucu oluşur [51].

Çizelge 3.7. Su verilen ve temperlenen Cr-Ni-Mo’li alaşımlı çeliklerin özellikleri [51].

| AISI No | Sıcaklık (°C) | Çekme Ger. N/mm <sup>2</sup> | Akma Ger. N/mm <sup>2</sup> | % Uzama (A) | % Kesit Daralması (Z) | Sertlik (HB <sub>30</sub> ) |
|---------|---------------|------------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|
| 4340    | 200           | 1900                         | 1700                        | 10          | 38                    | 520                         |
|         | 425           | 1490                         | 1385                        | 10          | 51                    | 360                         |
|         | 650           | 980                          | 870                         | 19          | 60                    | 280                         |
| 8630    | 200           | 1670                         | 1525                        | 9           | 38                    | 465                         |
|         | 425           | 1295                         | 1190                        | 13          | 47                    | 375                         |
|         | 650           | 785                          | 700                         | 23          | 63                    | 240                         |
| 8640    | 200           | 1890                         | 1695                        | 10          | 41                    | 460                         |
|         | 425           | 1400                         | 1315                        | 12          | 45                    | 400                         |
|         | 650           | 810                          | 810                         | 20          | 62                    | 280                         |
| 8650    | 200           | 1970                         | 1700                        | 10          | 38                    | 525                         |
|         | 425           | 1470                         | 1345                        | 12          | 45                    | 420                         |
|         | 650           | 980                          | 840                         | 20          | 58                    | 240                         |
| 8740    | 200           | 2030                         | 1680                        | 10          | 41                    | 578                         |
|         | 425           | 1455                         | 1380                        | 13          | 50                    | 415                         |
|         | 650           | 1000                         | 920                         | 20          | 60                    | 302                         |

Çizelge 3.8. Tavlanan ve Normalize edilen Cr-Ni-Mo'li alaşımlı çeliklerin özellikleri [51].

| AISI No | İşlem                      | Akma Ger. N/mm <sup>2</sup> | Çekme Ger. N/mm <sup>2</sup> | % Uzama (A) | % Kesit Daralması (Z) | Sertlik (HB <sub>30</sub> ) |
|---------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------------|
| 4340    | Normalize edilmiş (870 °C) | 875                         | 1300                         | 12,2        | 36,3                  | 363                         |
|         | Tavlanmış (810 °C)         | 480                         | 755                          | 22,0        | 49,9                  | 217                         |
| 8620    | Normalize edilmiş (910 °C) | 360                         | 645                          | 26,3        | 59,7                  | 183                         |
|         | Tavlanmış (870 °C)         | 390                         | 545                          | 31,3        | 62,1                  | 149                         |
| 8630    | Normalize edilmiş (870 °C) | 435                         | 660                          | 23,3        | 53,5                  | 187                         |
|         | Tavlanmış (840 °C)         | 380                         | 575                          | 29,0        | 58,9                  | 156                         |
| 8650    | Normalize edilmiş (870 °C) | 700                         | 1040                         | 14,0        | 40,4                  | 302                         |
|         | Tavlanmış (795 °C)         | 395                         | 725                          | 22,5        | 46,4                  | 212                         |
| 8740    | Normalize edilmiş (870 °C) | 615                         | 945                          | 16,0        | 47,9                  | 269                         |
|         | Tavlanmış (815 °C)         | 420                         | 705                          | 22,2        | 46,4                  | 201                         |

### 3.2.1.7. Takım Çelikleri

Tornalama, frezeleme ve eğeleme gibi talaşlı imalat yöntemlerinde ya da dövme, haddeleme, ekstrüzyon, çekme, basınçlı döküm gibi plastik şekil verme işlemlerinden yararlanılan kalıp ve takımların imalatında kullanılan çeliklerdir [43].

Takım çeliklerinin belirli özelliklere sahip olmaları gerekir. Bu nedenle bu çelikler genellikle dikkatli metalürjik kalite kontrol yöntemleriyle elektrik fırınlarında ergitilir. Gözeneklilik, segragesyon, impuriter ve metal olmayan kalıntıları mümkün olduğu kadar düşük seviyede tutmak için büyük emek harcanır. Takım çeliklerinin tanımlamalara uygunluğundan emin olmak için takım çelikleri dikkatli makroskopik ve mikroskobik incelemelerden geçirilir [54].

Çizelge 3.9. Çeliklerin DIN ve AISI standardındaki karşılıkları [44].

|                       | Malzeme Numarası | DIN         | SAE AISI | Kullanıldığı Yerler                                                                                      |
|-----------------------|------------------|-------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İmalat Çelikleri      | 1.0401           | C 15        | 1010     | Cıvata, somun, delme ve frezeleme aparatları gövde ve şablonları                                         |
|                       | 1.0402           | C 22        | 1020     |                                                                                                          |
|                       | 1.0532           | St 50-02    | 1030     |                                                                                                          |
|                       | 1.0570           | St 52-3     | –        | Dişli çarklar, kazmalar, cer kancaları v.s.                                                              |
|                       | 0.0577           | St 52       | –        |                                                                                                          |
|                       | 1.0501           | C 35        | 1040     |                                                                                                          |
|                       | 1.0503           | C 45        | 1045     |                                                                                                          |
|                       | 1.1191           | Ck 45       | 1043     |                                                                                                          |
|                       | 1.1210           | C 53        | 1050     | Dişli çarklar, çok fazla gerilmeli torna parçaları yağda sertleşebilir. Oto dişlileri krank milleri v.s. |
|                       | 1.0601           | C 60        | 1060     |                                                                                                          |
|                       | 1.0603           | C 67        | 1070     |                                                                                                          |
|                       | 1.0605           | C75         | 1080     |                                                                                                          |
| İslah Çelikleri       | 1.7033           | 34 Cr 4     | 5130     | Yüksek direnç gösteren makine parçaları keskil, bıçaklar, v.s.                                           |
|                       | 1.7035           | 41 Cr 4     | 5140     |                                                                                                          |
|                       | 1.7218           | 25 CrMo 4   | 4130     |                                                                                                          |
|                       | 1.7225           | 42 CrMo 4   | 4140     |                                                                                                          |
|                       | 1.7228           | 50 CrMo 4   | 4150     |                                                                                                          |
|                       | 1.6546           | 40 NiCrMo 2 | 8640     |                                                                                                          |
|                       | 1.6582           | 34 CrNiMo 6 | 4340     | Üst yüzey sertleşmesi gereken parçalar, akslar giyotin bıçakları                                         |
|                       | 1.8159           | 50 CrV 4    | 6150     |                                                                                                          |
|                       | 1.5755           | 31 NiCr 14  | 3330     |                                                                                                          |
|                       | 1.5752           | 14 NiCr 4   | 3315     | Küçük boyutlu pinyon dişliler Büyük boyutlu pinyon dişliler                                              |
| Sementasyon Çelikleri | 1.5919           | 15 CrNi 6   | 3115     |                                                                                                          |
|                       | 1.5920           | 18 CrNi 8   | –        |                                                                                                          |
|                       | 1.7131           | 16 MnCr 5   | 5115     |                                                                                                          |
|                       | 1.7147           | 20 MnCr 5   | 5120     |                                                                                                          |
|                       | 16.523           | 21 NiCrMo 2 | 8620     |                                                                                                          |
|                       | 1.0904           | 55 Si 7     | 9255     | Basma yayları, çekme yayları, yaylı rondelalar çanak yaylar                                              |
| Yay Çelikleri         | 1.0906           | 65 Si 7     | –        |                                                                                                          |
|                       | 1.0908           | 6 Si 7      | 9260     |                                                                                                          |
| Otomat Çelikleri      | 1.0711           | 9 S 20      | 1117     | Hızlı otomatlar, yumuşak çelik, dinlendirilmeden döküm ıslah çelikleri                                   |
|                       | 1.0715           | 9 SMn 36    | –        |                                                                                                          |
|                       | 1.0726           | 35 S 20     | 1137     |                                                                                                          |

Takım çelikleri dört gruba ayrılır. Bunlar; soğuk iş takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri, yüksek hız takım çelikleri ve plastik kalıp çelikleridir. Soğuk iş takım çelikleri aşınma direnci ve tokluğun önemli olduğu kalıp uygulamaları için yaygın olarak kullanılır. Soğuk iş takım çelikleri, yağda sertleştirilme, havada sertleştirilme ve yüksek karbon yüksek krom tipleri olarak üçe ayrılır. Soğuk iş takım çelikleri, oda sıcaklığında çalışan kalıp ve takımlarda, yüksek sıcaklıklara dayanım gerekemediğinden, çok iyi aşınma dayanımı ve tokluğu sağlayacak şekilde alaşımlandırılır. Piyasadaki kesme-bükme kalıpları, bıçaklar, baskı makaraları, zimbalar, pres takımları, soğuk ekstrüzyon takımları vb, soğuk iş takımları çeliklerinden imal edilir [54].

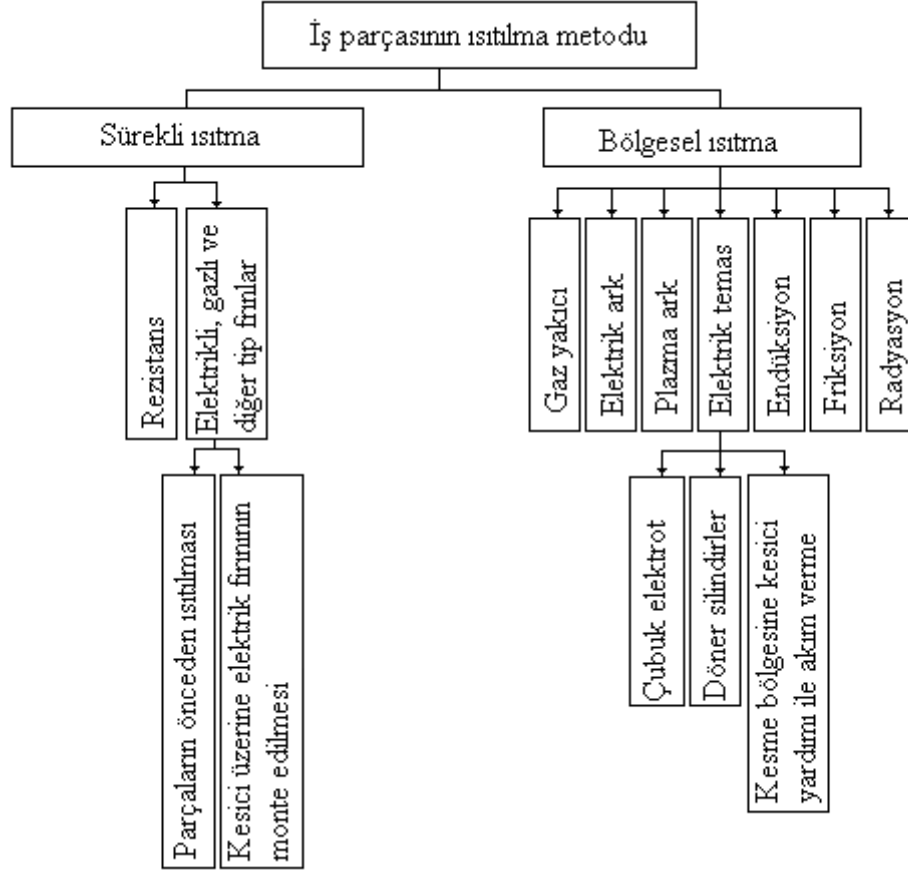
Sıcak iş takım çelikleri, oda sıcaklığında şekillendirilmeyen demir, çelik ve diğer metallerin ısıtılarak şekillendirilmesi için kullanılır. Sıcak iş takım çeliklerinde; yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini koruyabilmesi, yüksek sıcaklıkta aşınma dayanımlarının yüksek olması ve ısı iletkenliklerinin yüksek olması gibi özellikler aranır. Enjeksiyon döküm kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, dövme kalıpları, kalıp ve boru presleri ile aksamaları, delici zımbalar ve kalıpları vb. sıcak iş takım çeliklerinden yapılır. Yüksek hız takım çelikleri, iyi sertleşebilirliğe sahip oldukları için, bunlardan yapılan takımlar tuz banyosunda veya havada bile sertleşebilirler. Yüksek hız çeliklerinin en genel uygulama alanı talaş kaldırma takımlarıdır. Yüksek sıcaklıklarda göstermiş oldukları yüksek mukavemetlerinden dolayı, yüksek hız çelikleri, sıcak iş takım çelikleri olarak da kullanılırlar [55].

Takım çeliklerinin pek çoğu su verme ve temperleme ısıtma işlemi ile yüksek sertlik elde edilebilen yüksek karbonlu çeliklerdir. Kullanım alanları, talaş kaldırma işlemleri için kesme takımlarını, döküm kalıplarını, şekillendirme kalıplarını ve yüksek dayanım, sertlik, tokluk veya yüksek sıcaklık direnci gibi özellik kombinasyonları gerektiren diğer uygulamaları içerir. Çizelge 3.9’da çeliklerin malzeme numaraları, DIN ve AISI standartlarındaki karşılıkları ile bazı kullanım alanları verilmiştir [44].

### **3.3. İŞ PARÇASINI ISITMA METOTLARI**

Yüksek mukavemete sahip ve aşınmaya direnci yüksek olan malzemeleri kolay ve verimli bir şekilde işlemek için bir yöntemi kullanmadan önce, ihtiyaçların iyi bir şekilde belirlenmesi önemlidir [56]. Metallerin ısıtılmasında dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden birisi ısıtılan iş parçasının yapısında değişikliklerin oluşmasını önlemektir. Isı kaynağı iş parçası işleme yüzeyinde ısıtmayı hızlı şekilde sağlamalı ve iş parçasını ısıtabilecek kadar yüksek ısıtma kapasitesinde olmalıdır. Bu durum iş parçasının ısıtılma kolaylığı açısından önemlidir, işleme zamanını kısaltmaktadır.

İş parçası ısıtmak için uygulanan sıcaklığın kontrolü ve ayarı oldukça önemlidir. En iyi tesir, en yüksek işlem verimliliği ve kesicinin ömrünü maksimum yapan bir optimum sıcaklıkta gerçekleştirilmelidir. Kullanılacak ısıtma düzeneğinin montajı kolay olmalı ve operatöre güvenliğine dikkat edilmelidir. Talaşlı imalatla malzemelerin ısıtılmasında kullanılan metotların detaylı sınıflandırılması Şekil 3.2’de verilmiştir [56].



Şekil 3.2. İş parçasını ısıtma metodlarının sınıflandırılması [56]

### 3.3.1. Sürekli Isıtma Metotları

#### 3.3.1.1. Fırında Isıtma

Bu metot ile ısıtılacak malzeme makine atölyesinde bulunan ya da tezgâh üzerine monte edilen gaz veya elektrik fırınları yardımıyla ısıtılır. Fırında ısıtma işlemi basit ve kolay bir işlem olmasının yanı sıra, fırında ısıtılan malzemelerin işlenmesi esnasında sıcaklıkta meydana gelen hızlı düşüş talaşlı imalatı zorlaştırır. Ayrıca ısıtılan parçaların tezgâha taşınması sorun oluşturur. Bu metodun avantajı basit ve ucuz olmasıdır. Malzemeye termal zarar verme nedeniyle endüstriyel uygulamalarda kullanımı dikkatli olunmalıdır [56].

#### 3.3.1.2. Elektrik Direnciyle Isıtma

Elektrik direnciyle ısıtma, sıcak talaşlı imalat uygulamaları içerisinde sürekli ısıtma metodları başlığı altında sınıflandırılır. Bu metotta elektrik akımı bir teçhizat içerisine 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 [56].

### **3.3.2. Bölgesel Isıtma Metotları**

İş parçasını en verimli ısıtma metodu bölgesel ısıtma metodudur. Bu metotlarla ısıtmada, sıcaklık iş parçasının işlenen kısmında sınırlandırıldığından dolayı enerji kaybı daha az olur [56].

#### **3.3.2.1. 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 metot da iş parçasının yüzey sıcaklığı 800-900 °C arasında olduğu zaman malzemenin yüzeyinden 20 mm derinlikteki sıcaklık 240-400 °C arasında olur. Bu metotla 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 sarfıyatı gerekir. Ayrıca faturalı çapların tornalanması mümkün değildir ve delme ve frezeleme gibi işlemlerde kullanmak zordur [56].

#### **3.3.2.2. Elektrik Arkı İle Isıtma**

Karbon ya da erimez elektrotlarla iş parçasının hemen önünde bir ark meydana getirilerek ısıtma işlemi yapılır. Bu metotla ısıtmada hem alanda ve hem de derinlikte iyi ısı konsantrasyonu sağlanır. Endüksiyonla ısıtma metoduna göre donanım maliyeti daha azdır. Düşük magnetik özelliğe sahip metallerin ısıtılması verimli bir şekilde yapılabilir. Bu metotla ısıtmada temas sıcaklığının korunması zahmetlidir. Ayrıca aşırı ısınmadan dolayı yüzeyin hasara uğrama tehlikesi vardır. Metot olarak işletimini zorlaştıran ve donanım maliyetini artıran özel düzenekler (magnetik stabilazör vs.) gereklidir. Güçlü ark tutuşması dolayısıyla özel korunmaya ihtiyaç vardır [56].

#### **3.3.2.3. Gaz Yakıcılarla Isıtma**

Bu metotla ısıtmada iş parçası üstünde ve kesicinin hemen önünde hareket eden gaz yakıcılar kullanılır. Bu ısıtma işlemine en basit olarak oksiasetilen alevi örnek verilebilir. Düzenegi basit ve kolaydır. Fazla yatırım masrafı gerektirmemesi bu metodu elverişli kılar. Bu metotla 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 [56].

#### 3.3.2.4. Elektrik Temas Direnciyle Isıtma

İş parçasının temas bölgesine elektrik akımı verilmek suretiyle bir ısı girişi sağlanır. Bu metotta 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 imkânsızdır. 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 metotla ısıtmada yüksek enerji sarfıyatı olur ve faturalı çapların tornalanması zordur [56].

#### 3.3.2.5. 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 [56].

#### 3.3.2.6. Radyasyonla Isıtma

Reflektör ve mercek kullanmak suretiyle iş parçası yüzeyinde ışık enerjisi yoğunlaştırmak suretiyle yapılan bir ısıtma metodudur. Bu metotta 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 [56].

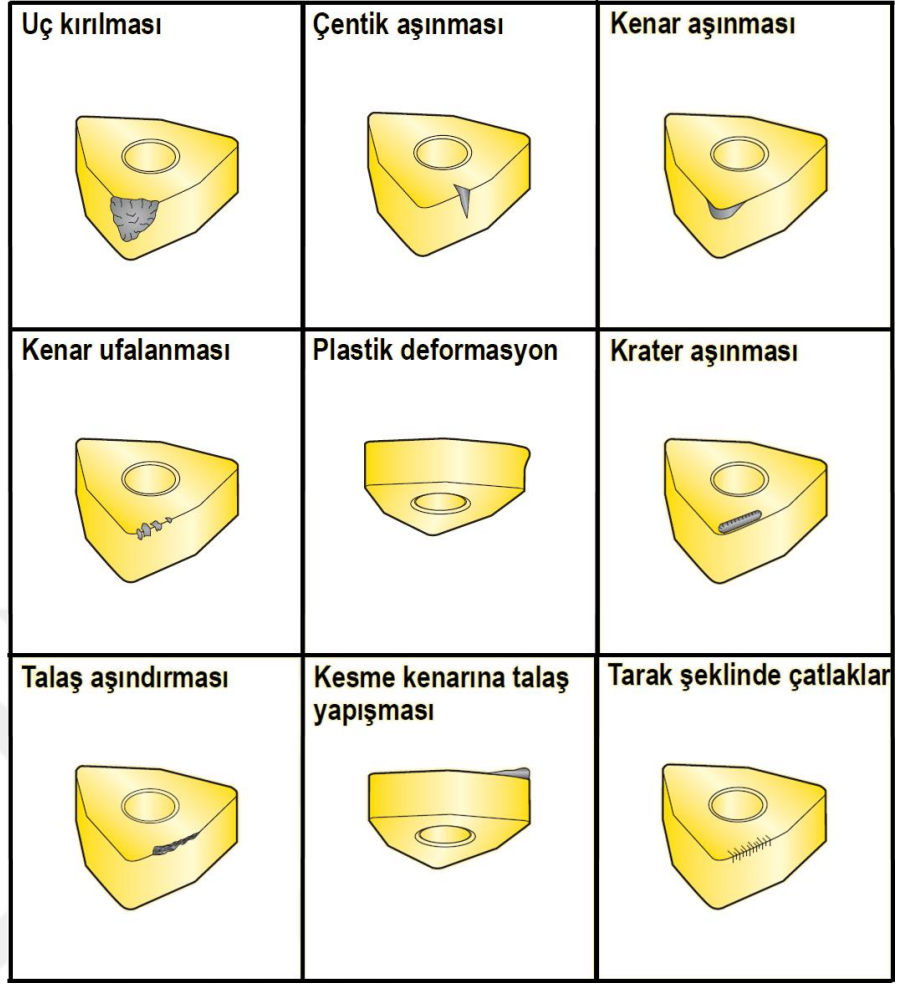
### 3.3.2.7. Plazma Arkıyla Isıtma

Plazma ile ısıtma, elektrot ve iş parçası arasında gaz üflelerinden kısa bir ark geçirmek suretiyle yapılan ısıtma işlemidir. Magnetik olmayan malzemelerin ısıtılmasında verimli bir şekilde kullanılabilir. Bu metotta ısıtma sıcaklığı hemen hemen 22,000 °C'dir. Donanım maliyeti pahalı fakat işletim maliyeti düşüktür. Köreltici ışığı ve gürültüsü dezavantajlarındandır [56].

## 3.4. TALAŞ KALDIRMA SIRASINDA OLUŞAN AŞINMA MEKANİZMALARI

Kesici takımın zayıflama sebeplerini bilmek, kesici takım ömrü hakkında fikir sahibi olmayı kolaylaştırmaktadır. Takım hasarının oluşmasında aşınma, plastik deformasyon ve kırılma etkili olmaktadır. Takım aşınması, takımın etkilendiği bölge veya aşınmayı meydana getiren fiziksel mekanizmaya göre sınıflandırılır. Ana aşınma mekanizması da büyük ölçüde takım malzemesine göre değişmektedir. Takımlar; talaş oluşumu sırasında meydana gelen yükleri karşılayamadıklarında, plastik deformasyona uğrarlar veya kırılırlar. Talaş kaldırmayla ilgili çalışmalarda temel amaç, incelemeye alınan takım hasar mekanizmasından takım ömrünü tespit edecek yöntemler türetmektir. Ne yazık ki, herhangi bir durum için takım ömrünü tam doğrulukla tespit etmek oldukça güçtür. Çünkü takım ömrü; kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, takım ve iş parçası malzemesi, talaş kaldırma yöntemi gibi çok çeşitli kesme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Pratikte, takımlar kesme ömrünü tamamlamadan servisten alınır. Bu, uygun bir oyuk veya diğer takım hasar durumu oluştuğunda veya kesme kuvvetleri ya da gücün artırılmasıyla oluşan belli bir hasar oluştuğunda gerçekleştirilir. Farklı talaş kaldırma yöntemlerinde aynı şartlar altında kullanılan takımlar, kritik tolerans veya diğer gereksinimlere göre oldukça az farklılık gösterirler. Bu nedenle, takım ömrünü tespit etme yöntemi göreceli karşılaştırmalar için faydalıdır. Örneğin; farklı iş parçası, takım malzemesi veya işleme koşulları için takımdan beklenen en yüksek takım ömrü; verilen bir uygulamada, benzer parçalar için elde edilen veriler olmadıkça takım ömrünün doğru değerlendirilmesi pek mümkün olamaz [57].

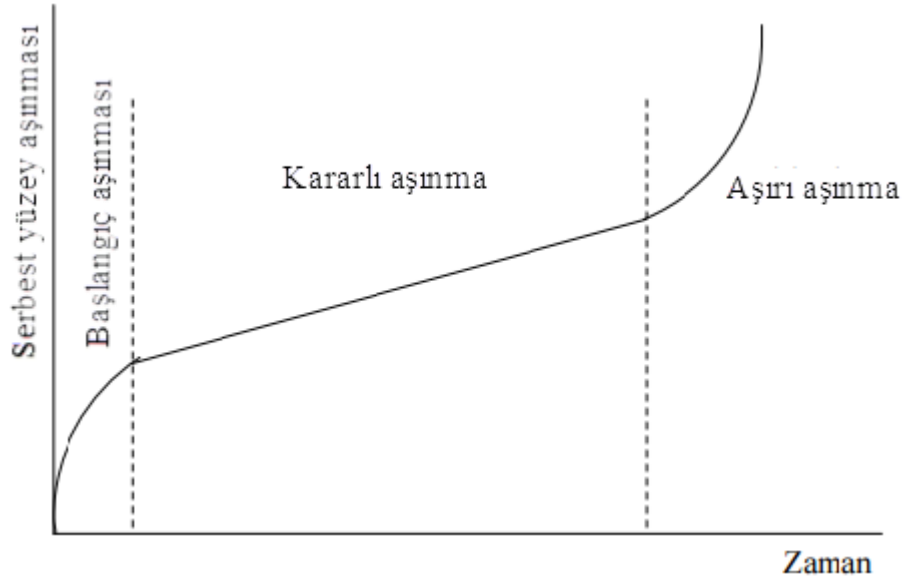
Şekil 3.3'te takımda meydana gelen ana aşınma ve hasar mekanizmalarına ait şekil verilmiş olup, bunlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:



Şekil 3.3. Takım aşınma türleri.

#### 3.4.1. Serbest Yüzey Aşınması

Takımın serbest yüzeyinde yani işlenen iş parçasıyla temas halinde olan kısımda meydana gelen aşınmaya serbest yüzey aşınması denilmektedir. Bu aşınma neticesinde kesici takımda bir aşınma bölgesi meydana gelir. Bu aşınma bölgesinin ile işlenmiş yüzey arasındaki sürtünme, talaş kaldırılan parçanın yüzeyinde hasar meydana getirir ve böylelikle oluşan yüksek serbest yüzey kuvvetleri nedeniyle iş parçasının boyutsal doğruluğunda azalma ve sapmalar oluşur. Serbest yüzey aşınması genellikle kesme kenarlarının abrazyonu ile meydana gelir. Serbest yüzey aşınmasının büyüklüğü, ortalama serbest yüzey aşınması veya takım ucuna olan maksimum mesafesi ile açıklanır. Kenara yakın bölgede oluşan serbest yüzey aşınma bölgesi genellikle üniform genişliktedir. Şekil 3.4'te serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişimi verilmiştir. Serbest yüzey aşınmasının tamamen engellenmesi mümkün değildir fakat azaltılabilmesi için tedbirler alınabilir [57].



Şekil 3.4. Serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişimi [57].

### 3.4.2. Krater Aşınması

Kesici takımın talaş yüzeyinde oluşan krater şeklindeki aşınma krater aşınması olarak adlandırılır. Takımın talaş yüzeyi, iş parçasından kaldırılan talaşın takım üzerinde kaydığı yüzeydir. Genellikle ılımlı bir krater aşınması takım ömrünü sınırlamaz. Gerçekten de krater oluşumu takım talaş açısının etkinliğini artırır ve böylece kesme kuvvetleri azalır. Fakat aşırı krater aşınması kesme kenarlarını zayıflatır ve bu durum takımın deformasyonuna veya kırılmasına yol açar. Buradan da anlaşılacağı gibi takım ömrünü kısalttığı ve takımın yeniden bilenmesini zorlaştırdığı için aşırı krater aşınmasından kaçınılmalıdır. Şekil 3.4'te gösterilen krater aşınmasının zamana göre değişimi, serbest yüzey aşınmasının zaman göre değişimi gibidir. Aşırı krater aşınması, difüzyon veya kimyasal aşınma mekanizmalarıyla meydana gelir. Krater aşınması, takım malzemelerinin kimyasal kararlılığının artırılması veya takımın talaş içinde çözünürlüğünün azaltılmasıyla minimize edilebilir [57].

### 3.4.3. Çentik Aşınması

Kaba yüzeylerin tornalanmasında kullanılan takımlarda, takım ile işlenmemiş yüzey veya talaş kenarı arasındaki temas noktasında takım yüzeyinde çentik (notch) aşınması meydana gelir. Çentiğin derinliği genellikle abrazyonun ve özellikle işlenen parçaların sert bir yüzey tabakasına sahip olması veya işlenen parçanın kendi sertliğinden dolayı oluşan abraziv talaşın (örneğin paslanmaz çelik ve nikel bazlı süper alaşımlar) bir sonucudur. Kullanılan bir soğutucunun neden olduğu veya takım ile atmosfer

arasındaki kimyasal reaksiyon veya korozyon nedeniyle oluşan oksidasyon da çentik aşınmasına neden olur. Aşırı çentik aşınması takımın yeniden bilenmesini zorlaştırır ve özellikle seramik parçalarda kırılmaya neden olur. Çentik aşınması, takım ile iş parçası yüzeyi arasındaki temas alanının arttıran dalma açısının arttırılmasıyla, çok pasolu talaş kaldırmada kesme derinliğinin değiştirilmesiyle ve takım malzemesinin ısıl sertlik ve deformasyon direncini arttırarak azaltılabilir [57].

#### **3.4.4. Burun Yarıçapı Aşınması**

Bu aşınma takım burun yarıçapında, serbest yüzeyinin sonuna yakın bölgede iz kenarı üzerinde meydana gelir. Bu aşınma serbest yüzey ile çentik aşınmasının kombinasyonuna benzer ve öncelikle abrazyon ile korozyon ya da oksidasyon nedeniyle oluşur. Aşırı burun aşınması işlenmiş yüzeyin kalitesini azaltır [57].

#### **3.4.5. Isıl ve Mekanik Çatlaklar (Tarak Şeklinde Çatlaklar)**

Bu çatlaklar, kesintili talaş kaldırmada takımın değişken yüklerle yüklenmesi veya talaş kaldırma sırasında yüksek takım-talaş sıcaklıkları nedeniyle oluşur. İki tip çatlak oluşur; özellikle bir soğutucu kullanıldığında değişken ısıl yükler altında kesme kenarlarına dik olarak oluşan çatlaklar ve değişken mekanik yükler nedeniyle kesme kenarlarına paralel olarak oluşan çatlaklar. Çatlak oluşumu takımın hızlı bir şekilde hasara uğramasına neden olur [57].

#### **3.4.6. Ağız Birikimi Oluşumu (BUE)**

Genellikle, yumuşak malzemelerin (örneğin Al) düşük hızlarda işlenmesi durumunda oluşur. Ağız birikimi; işlenen malzemenin kesme kenarlarına çok güçlü yapışmasıyla, bunların birikmesi ve çıkıntı oluşturmalarıyla meydana gelir. Özellikle delmede ağız birikimi önemli bir problemdir. Ağız birikimi oluşumu, etkili kesme derinliğini (veya delik çapını) değiştirdiği, böylelikle kesme derinliğinin kararsız olmasına ve dolayısıyla kalitesiz bir işlenmiş yüzeyin meydana gelmesine neden olduğu için istenilmez. Ağız birikimi oluşumu, pozitif talaş açılı takımlar kullanılarak, yüzey pürüzlülüğü çok az takımlar kullanılarak yağlayıcılık özelliği arttırılmış soğutucular kullanılarak, yüksek basınçlı soğutucuyu direk talaş yüzeyine sevk ederek ve yüksek kesme hızları kullanılarak minimize edilebilir [57].

### **3.4.7. Plastik Deformasyon**

Takım ile talaş arasındaki temas alanı üzerinde kesme basınçları takım tarafından desteklenemediğinde, kesme kenarlarında plastik deformasyon oluşur. Kesme kenarlarının deformasyonu genellikle yüksek kesme kenar kuvvetlerinin olduğu yüksek ilerleme hızlarında veya takım sertliğinin artan kesme hızı ve sıcaklıkla birlikte azaldığı yüksek kesme hızlarında oluşur. Kesme kenarındaki aşırı deformasyon boyutsal doğruluğun azalmasına, kötü bir yüzey kalitesine ve aşırı serbest yüzey aşınmasına veya takımın kırılmasına neden olur [57].

### **3.4.8. Kenar Çentiklemesi**

Kenar parçalanması seramik gibi gevrek takımlarla yapılan talaş kaldırmada veya sert ya da abraziv parçacıklar içeren metal matrisli kompozitler gibi malzemelerin işlenmesi durumunda oluşur. Aşırı kesme kuvvetleri veya düşük sistem rijitliği nedeniyle meydana gelen titreşim de kenar çentiklemesine neden olur. Kenar çentiklemesi nedeniyle işlenen yüzeyin kalitesi düşer, serbest yüzey aşınması artar ve sonuçta takım kırılabilir. Bu mekanizma; takım kenarlarının değiştirilmesiyle veya takımların kırılma dayanımlarının arttırılmasıyla kontrol edilebilir [57].

### **3.4.9. Talaş Vurması**

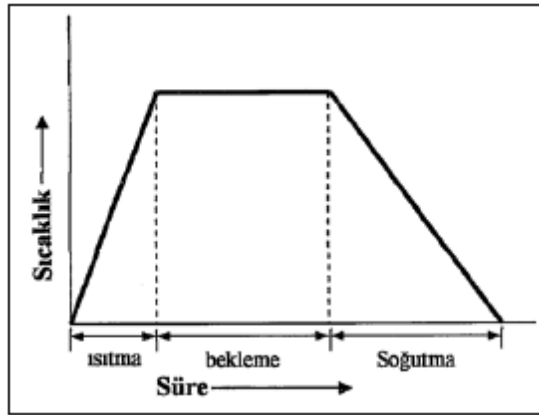
Bu durum tok veya abraziv talaş meydana getiren malzemelerin (örneğin paslanmaz çelik) seramik takımlarla işlenmesi durumunda meydana gelir. Talaş vurması, talaş geriye doğru kıvrıldığında ve kesme kenarından uzakta takım yüzeyine çarptığında oluşur. Böylece takım yüzeyinde çukurcuklar oluşur ve bu durumun devam etmesi halinde takım hasara uğrar. Talaş vurması yanlış talaş kontrolü nedeniyle oluşur. Talaş akış yönünü değiştirmek için dalma açısı, kesme derinliği, ilerleme hızı veya takım burun yarıçapı değiştirilerek talaş vurması önlenabilir [57].

### **3.4.10. Takım Kırılması**

Takım kırılması, takımın önemli bir parçasının veya kesme kenarlarının parçalanması anlamına gelmektedir. Bu tip hasarı önlemek için genel stratejiler; kesme kuvvetlerinin azaltılması, sağlam ve daha rijit takım tertibatlarının kullanılması ve kırılma tokluğu arttırılmış takımlar kullanılması şeklindedir [57].

### 3.5. ISIL İŞLEM

Genel anlamda ısıtma işlemi; metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Başka bir ifade ile ısıtma işlemi; metal malzemelerde katı halde sıcaklık değişimleri ile bir ya da birbirine bağlı birkaç işlemle, amaca uygun özellik değişimleri şeklinde ifade edilebilir [58]. İlerleyen zaman içinde ısıtma işlemin keşfedildiği zaman, kesin olarak bilinmemektedir. Fakat eski çağlarda, demirin sertleştirilmesi için kor haline gelene kadar ısıtılıp su veya hayvansal yağa daldırıldığı bilinmektedir. Metallerin katı halde iken, belirli sıcaklık aralıklarında tavlanarak bu sıcaklıklarda soğutulmalarıyla kararlı veya kararsız fazlar oluşturarak istenilen özelliklerin geliştirilmesine ısıtma işlemi denilmektedir [59]. Isıtma işleminde bu tanıma uygun olarak, parçaların belirli bir sıcaklığa ısıtılması “ısıtma” bu sıcaklıkta uygun süre tutma “bekleme” ve belirli bir programa uygun olarak sıcaklığın oda sıcaklığına düşürülmesi “soğutma” ile üç kademede özellik değişimleri sağlanır. Derin soğutmalı ısıtma işlemi türü dışında, her tür ısıtma işlemi için geçerli olan süreç Şekil 3.5’te gösterilmiştir [58].



Şekil 3.5. Genel ısıtma işlem süreci [58].

#### 3.5.1. Çeliğe Uygulanan Isıtma İşlemleri

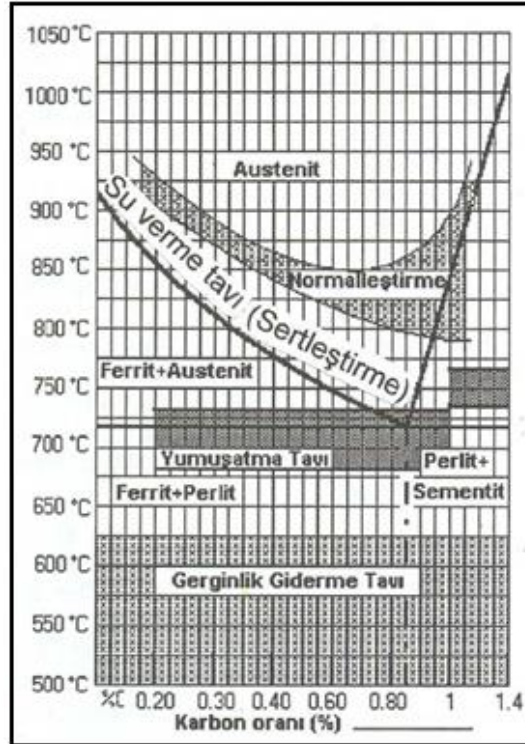
TS 1112’de ısıtma işleminin tanımı şöyle yapılmaktadır; katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikleri kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, duruma göre birbiri ardına zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri ısıtma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Çeliklere uygulanan ısıtma işlemi çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [60]:

- Su verme tavlı (sertleştirme),
- Gerilim giderme tavlı,
- Normalleştirme tavlı,
- Yumuşatma tavlı,
- Temperleme (Menevişleme).

#### 3.5.1.1. Su Verme Tavlı (Sertleştirme)

Şekil 3.6’da gösterildiği gibi sertleştirme işlemi çeliğin östenit bölgesine kadar ısıtılması ve bütün yapının östenit fazına dönüşene kadar beklenilmesi sonrasında hızlı bir şekilde soğutulması ile gerçekleştirilir. Bu dönüşüm sonucunda Şekil 3.7’deki gösterilen martenzit adı verilen yüksek sertliğe sahip yapı oluşur. Sertleştirmede önemli noktalar:

- Martenzitik dönüşüm hızlı gerçekleştiği için difüzyona zaman yoktur. Östenit fazı kayma mekanizmasıyla aniden kafes yapısını değiştirir,
- Martenzitik dönüşüm soğuma hızına bağlıdır. Hızlı soğuma engellenirse dönüşüm gerçekleşmez,
- Martenzitin sertlik değeri içerisinde bulunan karbon miktarına bağlıdır [60].



Şekil 3.6. Çeliklere uygulanan ısıtım sıcaklık aralıkları [58].



Şekil 3.7. Çeliklerde su verme sonucunda oluşan martenzitik yapı [60].

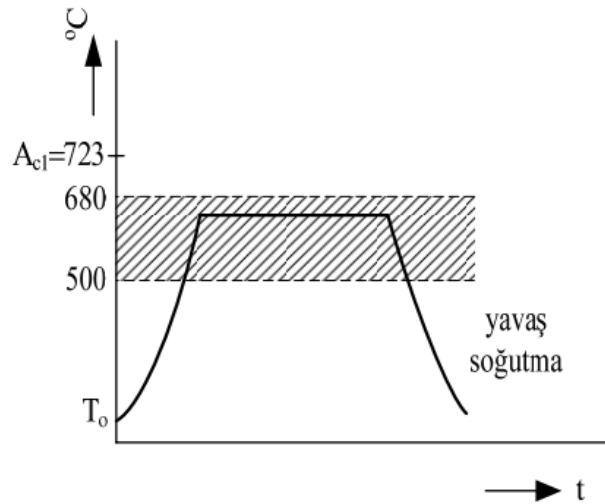
Çelik karbon oranına göre östenit sıcaklığına gelinceye kadar ısıtılır. Bu işlem yapılırken ilk önce oda sıcaklığındaki fırına konulur ve sonra ısıtılır. Östenitleme sıcaklığında çelikler bir süre bekletilir. Bekletme ya da ısı emdirme diye adlandırılan bu işlemin süresi dönüşüm tamamen sağlanana kadardır. Çoğunlukla bu süre sade karbonlu çeliklerde 1 cm kalınlık için 2 dakikadır. Yüksek karbonlu ya da alaşımlı çeliklerde bu süre daha fazladır. Bu tip çeliklerde karbürlerin ve katkı elemanlarının erimesi için 20-30 dakika beklenilmelidir. Sertleştirme sıvıları, musluk suyu, erimiş ya da sıvı tuz, yağ, yağ ve su karışımı, %10 NaCl içeren tuzlu su ve havadır [60].

Sertleştirmede dikkat edilecek hususlar:

- İlk önce çelik malzeme oda sıcaklığındaki fırına konulmalı ve ısıtma yapılmalıdır,
- Yapının tek fazlı östenite dönüştüğünden emin olunmalıdır,
- Tavlama ortamında bulunan oksijen ya da nem demir oksit oluşturur ve oluşan bu yalıtkan tabaka martenzit dönüşümünü engeller,
- İnce parçalar veya tellerde yüzey alanının kütleye oranı büyük olduğu için su verme esnasında bu malzemelerin soğuma hızı yüksek olacaktır,
- Isıl işlem esnasında kullanılması zorunlu olan eldiven, kısıkaç, tulum ve gerekli bütün takımlar kullanılmalıdır,
- İş disiplini ve meslekî kurallara uyulmalı ve kazalara karşı dikkat edilmelidir.

### 3.5.1.2. Gerilim Giderme Tavlama

Çelik işlenirken ya da plastik deformasyona maruz kaldığında, soğuk işlenmiş yüzeylerde oluşan gerilmelerin yok edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu parçalara gerilme gidermesi uygulanmalıdır. Üniform olmayan ısıtma-soğutma işlemleri (döküm, kaynak, sertleştirme) üniform olmayan şekil değişimi (eğme, soğuk şekillendirme) talaşlı işleme (frezeleme, planyalama, tornalama vb.) ve dönüşüm olayları sırasında parça içinde oluşan gerilmelerin giderilmesi amacıyla uygulanır. Ayrıca şiddetli yük altında düzeltme yapılacak parçalarda, dövme ile şekillendirilmiş parçalarda, alaşımlı çelikten dökülmüş ve kaynak yapılmış parçalarda uygulanır. Bu işlem çelik türüne göre 500-680 °C arasında genellikle 2 saat süre ile uygulanır. Malzemede faz dönüşümü gerçekleşmez. İşlemin başarılı sonuç verebilmesi için, soğuma işleminin yavaş yapılması gerekir. Aksi takdirde soğuma farkı nedeniyle, malzeme içinde tekrar iç gerilmeler oluşabilir [60]. Şekil 3.8’de gerilim giderme ısıtma işleminin işlem grafiği verilmiştir. Malzemeler belirlenen sıcaklığa yavaş bir şekilde ısıtılmalı ve burada yaklaşık olarak 25 mm kalınlık için 1 saat bekletilmelidir. Soğutma işlemi çok yavaş bir şekilde yapılmalıdır.



Şekil 3.8. Sıcaklık ve tavlama süresi grafiği [60].

Çeliklerde gerilim giderme tavlaması iki yöntem ile yapılmaktadır. Bu yöntemler:

- Menevişleme,
- Islah.

Temperleme olarak da adlandırılan bu işlem sertleştirilmiş malzemelerin gerginliğini ve kırılganlığını azaltmaktadır. Menevişlemenin anlamı, sertleştirdikten sonra tekrar ısıtmaktır. Meneviş sonucunda sertleştirilmiş yapıdaki martenzit doku azaltılır. Menevişleme işlemi bir difüzyon işlemi olduğu için sıcaklık süresi menevişlemeyi etkiler. Çeliklerin alaşım oranına göre meneviş sıcaklıkları farklılık gösterir. Sıcaklık ve bekleme süresi menevişlemeye etki ettiğinden, yüksek sıcaklıklarda daha kısa süre tutulurken, düşük sıcaklıklarda daha uzun süre tutularak menevişleme uygulanır ve çeliğin içyapısı sünekleşir [60].

#### 3.5.1.3. Normalleştirme Tavı

Bu işlem genel olarak tane küçültmek, homojen içyapı elde etmek ve dolayısıyla mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri (Ac3) ve ötektoid üstü çelikleri (Ac1) dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık olarak 30-50 °C üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtıp, tavladıktan sonra fırın dışındaki sakin havada soğutma işlemidir (Şekil 3.9). Bu tav ile amaçlanan özellikler genel olarak şu şekilde sıralanabilir [60]:

- Tane inceltmek,
- Homojen bir yapı elde etmek,
- Ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan sementitin ağlarını dağıtarak kırılganlığı azaltmak,
- Mekanik özellikleri iyileştirmektir.

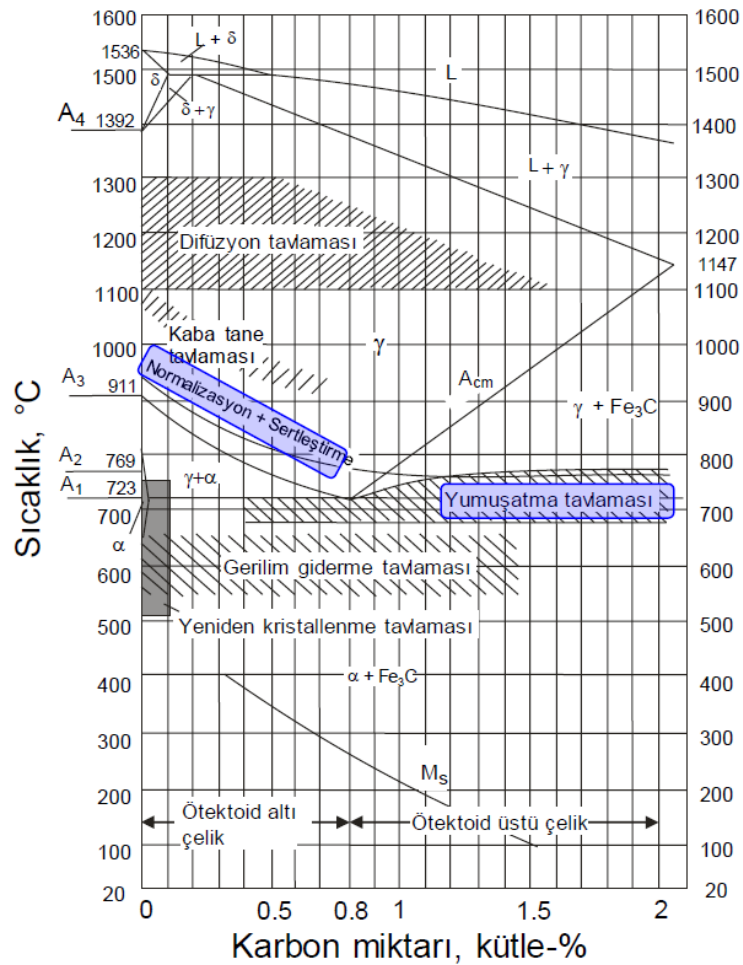
Ötektoid altı çeliklerde  $\gamma$  sahasında bulunan bir çelik yapısı dengeli soğutulursa ve sıcaklık Ac3 değerine düştüğünde östenit kristalleri içinde bulunan  $\gamma$  kafeslerinden bazıları hacim merkezlerindeki karbon atomunu dışarı atıp buraya bir Fe atomu alıp HMK'lı  $\alpha$  kafesine dönüşür. Dışarı çıkan C dengeli (yavaş) soğuma nedeniyle bir başka kafese yayınacak zaman bulup henüz  $\alpha$ 'ya dönüşmemiş bir  $\gamma$  kafesinin % olarak C miktarını artırır. Her sıcaklık kademesi düşüşünde bu mekanizma ile ele alınan kristaldeki bütün  $\gamma$  kafesleri  $\alpha$  kafeslerine dönüşüp, dışarı çıkan karbon atomları da komşu  $\gamma$  kristaline yayınırlar. Böylece ötektoid sıcaklığa ulaşıldığında (723 °C) oluşan yapı  $\alpha$  ve  $\gamma$  kristallerinden oluşur [60].

723 °C'de % 0,8 C içeren bütün  $\gamma$  kristalleri ötektoid parçalanma ürünü olarak bir tarafta ferritleri, diğer tarafta ise sementiti oluşturur (perlitik yapı). Oda sıcaklığına

kadar dengeli soğuyan  $\alpha$ 'lar fazla karbonu dışarı atıp 3. sementiti oluşturur ve ferritik-perlitik son yapı elde edilir [60].

Ferit kristalleri yumuşak, perlit kristalleri ise serttir. Bu nedenle malzeme şekillendirilirken perlitler yüksek direnç gösterip, kırılma eğilimine yol açar. Bu davranış özelliğini gidermek için malzeme normalizasyon tavlama ile östenitleştirilmesi sonrasında havada soğutulmuş olarak yukarıda anlatılan yayılım olaylarına engel olunup  $\gamma$  kristalleri içinde hem ferrit hem de perlit kristallerini oluşturmak gerekir [60].

$\gamma$  sahasında göreceli olarak hızlı soğutma yapılırsa, bir  $\gamma$  kristali içerisinde var olan tüm  $\gamma$  kafesleri içerdikleri karbonları dışarı atacak zaman bulamazlar ve bunun sonucunda bir  $\gamma$  kristali içinde  $\alpha$  ve  $\gamma$  kafeslerinden oluşan yeni kristaller ortaya çıkar. Ötektoid sıcaklık hattına inildiğinde bu kristallerden bütün  $\gamma$ 'lar perlitte dönüşüp küçük taneli yapı elde edilir [60].

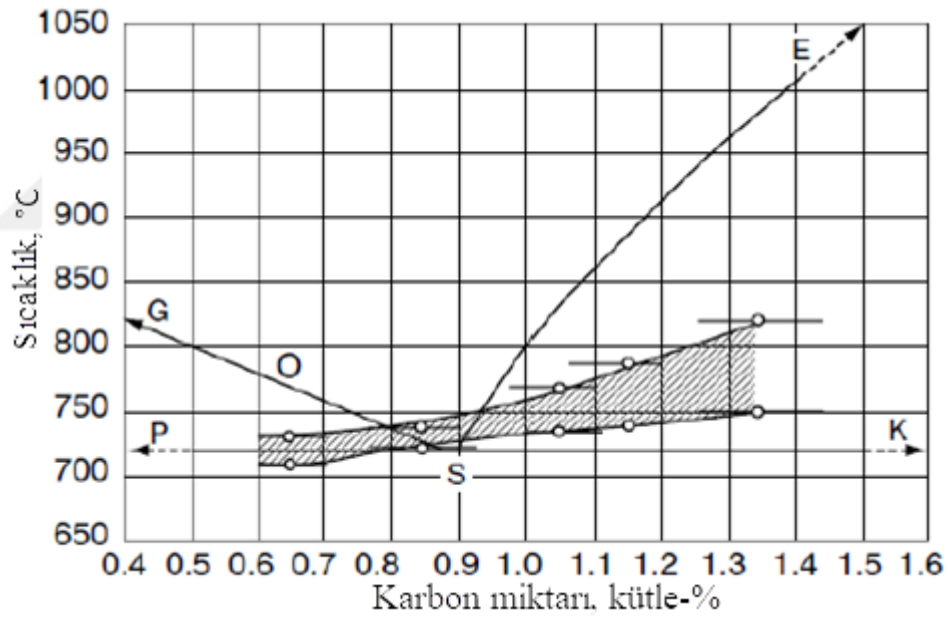


Şekil 3.9. Çeliklerde tavlama işlemleri (sıcaklık-karbon miktarı) [60].

#### 3.5.1.4. Yumuşatma Tavlama

Ac1 sıcaklığının üstünde ve altında ısıtma çevrimi yapılan bir ısıtma işlemidir. Öncelikle, çeliğin sertliğini belirli bir değere düşürmek amacıyla yapılır. En tipik olarak, su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerde soğuk şekillendirilebilirlik iyileştirilebilir ya da talaşlı işlenebilirliği arttırmak içinde uygulanır [60].

Düşük karbonlu çelikler ve nikel alaşımlı çelikler Ac1'in hemen altında tavlanylabilir ve çarpılmaları önlemek için 500 °C'ye kadar yavaş soğutulurlar. Yüksek karbonlular Ac1'in üzerine ısıtılırlar ve küçük boyutlu karbürlerin bu sıcaklıkta çözünmesi sağlanır. Yaklaşık 10 °C/saat hızla 600 °C'ye soğuma yapılırken, çözünen karbon çözünmemiş olan karbürlerin üzerinde karbür oluşturarak kabalaşmaya neden olur. Isıl işlem tekrar edilebilir [60]. Şekil 3.10'da karbon miktarına göre tavlama sıcaklıkları verilmiştir.

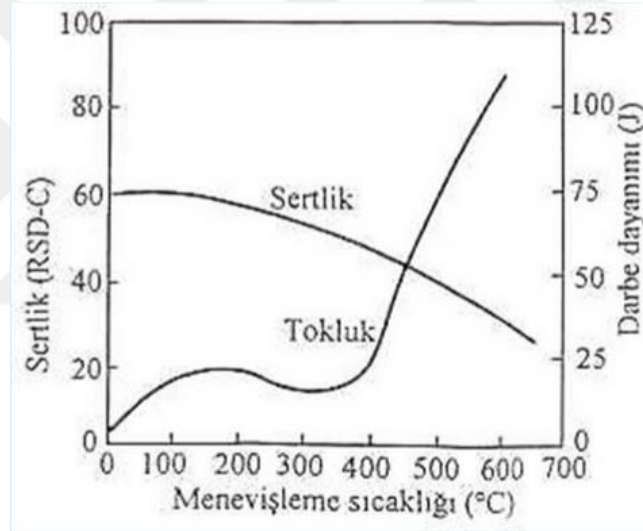


Şekil 3.10. Karbon miktarı %0,6-1,35 olan alaşımsız çeliklerde yumuşatma tavlama sıcaklıkları [60].

Çeliklerde, su verme işlemi ile elde edilen martenzitik yapı gevrek olduğundan pek çok uygulama için elverişli değildir. Ayrıca martenzit oluşumu çelik içerisinde iç gerilmelerin meydana gelmesine neden olur. Bu nedenden dolayı su verilen çelikler, hemen hemen Ac1 çizgisinin altındaki sıcaklıklarda uygulanan tavlama işlemine menevişleme denir. Menevişlemenin amacı; su verilen çelikteki kalıntı gerilmeleri

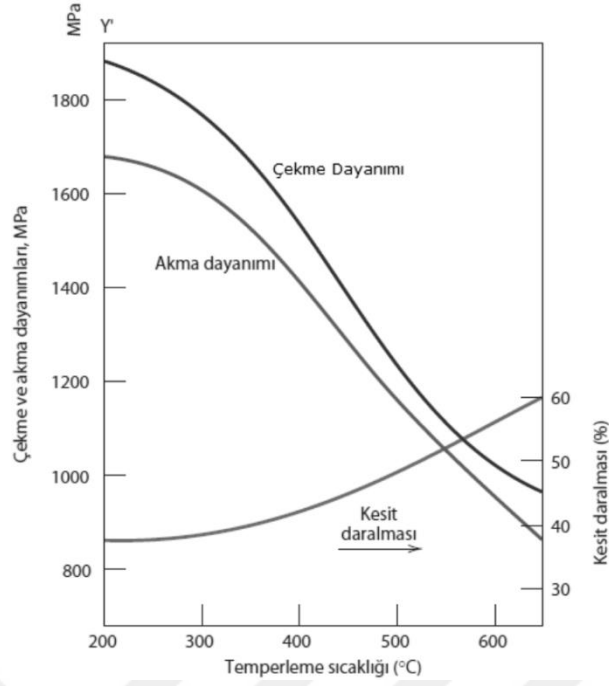
gidermek ve çeliğin süneklik tokluğunu arttırmaktır. Su verilen çelikler menevişlendiklerinde süneklikleri artar, buna karşılık sertlik ve mukavemetleri azalır [61].

Genel olarak, menevişleme sıcaklığı (200 °C ile 425 °C) arttıkça sertlik düşer, tokluk artar. Şekil 3.11’de az alaşımlı gruba giren AISI 4140 çeliğinin sertlik ve çentik darbe tokluğunun menevişleme sıcaklığına göre değişimi görülmektedir. AISI 4340 çeliğinin akma ve çekme dayanımları kopma büzülmesi değerlerinin menevişleme sıcaklığına göre değişimlerini gösteren eğriler de Şekil 3.12’de görülmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi; menevişleme sıcaklığı arttıkça su verilen çeliklerin sertlik ve mukavemet değerleri azalmakta, buna karşılık süneklik ve tokluk değerleri artmaktadır [61].



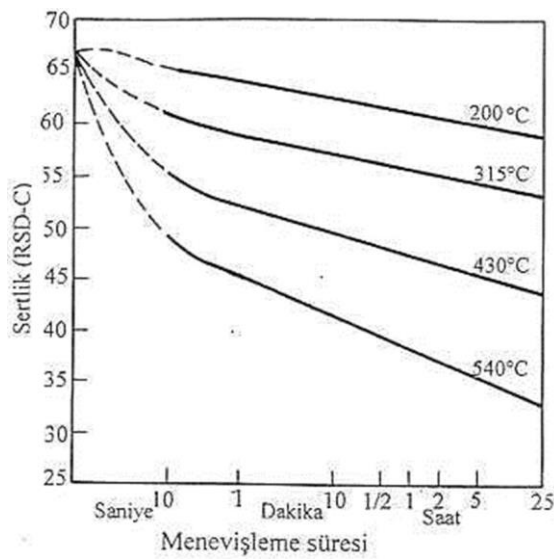
Şekil 3.11. AISI 4140 çeliğinin sertlik ve çentik darbe tokluğunun menevişleme sıcaklığına göre değişimi (menevişleme süresi: 1 saat) [61].

Yüksek sertlik ve yüksek aşınma direncine neden olan çentik yoksa, süneklik değişimi tokluk için iyi bir ölçü olarak alınabilir ve bu durumda 205 °C ile 425 °C sıcaklıkları arasında yapılan menevişleme işlemi sakıncalı olmayabilir (Şekil 3.12). Menevişleme sıcaklığı 205 °C değerine ulaşıncaya, kalıntı gerilmeler büyük ölçüde giderilebilir. 480 °C sıcaklıkta ise kalıntı gerilmeler tamamen ortadan kalkar [61].



Şekil 3.12. Yağda su verilen AISI 4340 çeliğinin akma ve çekme dayanımları ile kopma büzülmesinin menevişleme sıcaklığına göre değişimi [61].

Menevişleme enerjiyi ilgilendiren bir işlem olduğundan hem sıcaklık, hemde süre menevişleme işlemini etkileyen önemli parametrelerdir. Yüksek sıcaklıkta kısa süre içerisinde veya düşük sıcaklıkta uzun süre içerisinde aynı menevişleme etkileri elde edilebilir. Şekil 3.13'te, menevişleme süresinin değişik sıcaklıklarda menevişlenen ötektoid bileşimindeki çeliğin sertliğine etkisi görülmektedir [61].



Şekil 3.13. Değişik sıcaklıklardaki menevişleme süresinin su verilen ötektoid çeliğin sertliğe etkisi [61].

### 3.5.2. Kriyojenik İşlem

Kriyojenik işlem, bir soğutma işlemi olup yüksek aşınmaya maruz kalan takımlarda aşınma direncini artırma amacıyla uygulanmaktadır. Takım çeliklerine uygulanan geleneksel sertleştirme yöntemlerinde çelik östenitleme işleminin ardından çelik cinsine bağlı olarak çeşitli soğutma ortamlarında oda sıcaklığına kadar soğutulur ve martenzitik yapı elde edilir. Oda sıcaklığına kadar yapılan konvansiyonel soğutmayla bu tür çeliklerin bünyesinde yüksek oranda kalıntı östenit olarak adlandırılan metastabil faz bulunur. Takımın aşınma direncini kötü etkileyen kalıntı östenit fazını gidermenin en etkili yolu konvansiyonel soğutma işlemi ardından kriyojenik işlemin yapılmasıdır [62]. Kriyojenik işlem  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-320\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) sıcaklıklara inerek ısııl işlemi daha etkin ve sorunsuz hale getirmektedir. Bu sayede çatlama ihtimali olmayan kalıplara uygulanabilen bu işlem ile kalıp ömrü 4 kat arttırılıp; yüksek aşınma direnci; yüksek tokluk, yüzeyde düşük sürtünme imkânı sağlamıştır. Sıfır altı işlem olarak da adlandırılan kriyojenik işlem ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ile kesme parametrelerinde önemli derecede iyileşmeler meydana getirmekte ve kesme şartları daha optimum düzeye çıkarmaktadır [63].

Kriyojenik işlem hem iş parçası malzemelerine hemde kesici takımlara uygulanabilmektedir. Derin ve sığ kriyojenik olarak uygulanabilen bu işlemde kesici takımlar veya malzemeler sıfırın altında farklı sıcaklıklara tabi tutulmaktadır. Bu işlemin malzemenin mikro yapısını değiştirdiği düşünülürse sıfırın altında farklı sıcaklıklarda bekletmenin işlenebilirlik üzerinde de farklı etkilere sahip olacağı çok nettir [63].

Kriyojenik işlemin demir alaşımlarında sağladığı iyileşmelerin arkasındaki oluşum tam olarak açıklanmamasına rağmen mikro yapı gözlemleri ile bağlantılı olarak farklı hipotezler ortaya atılmıştır [63].

Bu hipotezler;

- Kalıntı östenitin martensite tamamen dönüşmesi,
- İyi dağılmış karbür çökeltisi,
- Kalıntı gerilme durumunun değişmesi şeklinde sıralanmıştır [63] - [68].

#### 3.5.2.1. Kriyojenik İşlemin Etkileri

İş parçalarına uygulanan kriyojenik işlem çok sayıda malzeme için olumlu sonuçlara neden olmaktadır. Uygulanan malzemeye göre farklı sonuçlar vermesinin yanı sıra genellikle iyileşmeler meydana gelmektedir [69].

Bunlar;

- Aşınma direncinin artması,
- Yorulma ömrünün artması,
- Gerilim giderme ve boyutsal kararlılığın artması,
- İletkenlik özelliğinin artması,
- İşlenebilirlik özelliğinin artması,
- Malzeme sertliğinde bir miktar artma,
- Korozyon direncinde meydana gelen artış olarak maddelenebilirler.

#### 3.5.2.2. Kriyojenik İşlemin Kullanım Alanları

Kriyojenik işlemin; talaşlı imalat, döküm, enjeksiyon kalıplama, demir dövme, kaynak, otomotiv, uzay, elektronik, çelik, kereste, madencilik, tarım gibi daha birçok endüstriyel sektörde uygulanabilmektedir [69]. Kriyojenik işlem çeşitli parçaların performansını artırmak için uzay ve imalat sanayi, spor ve müzik aletleri, ateşli silahlar gibi alanlarda kullanılmaya devam etmektedir. Son on yıl içerisinde kriyojenik işlem ile takım-sac kalıbı çeliklerinin tribolojik özelliklerini iyileştirmek için çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Sac kalıpları, zimbalar, matkap uçları, parmak freze çakıları, rulmanlar, kamalar, krank milleri, pistonlar vb. için servis ömürlerinde önemli artışlar gözlenmiştir [70] - [72].

Bunlara ek olarak son yıllarda kriyojenik işlem metal ve alaşımlarının haricinde plastikler ve kompozitlere uygulanarak plastiklerin dayanım ve kompozitlerin ise sertlik, dayanım ve aşınma direncinde önemli iyileşmeler kaydedilmiştir [69].

### 3.6. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

En önemli şekillendirme yöntemlerinden birisi olan talaşlı imalat işlemi; iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıkları uygun takım tezgahı (torna, freze, matkap) ve uygun kesici

takım kullanılarak parça gövdesinden uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesine ulaştırma işlemidir. Bu işlem iş parçasının metal olma durumuna göre metal kesme olarak da adlandırılabilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir [73].

Aşağıdaki sebepler dikkate alındığında talaşlı imalat işleminin en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılır:

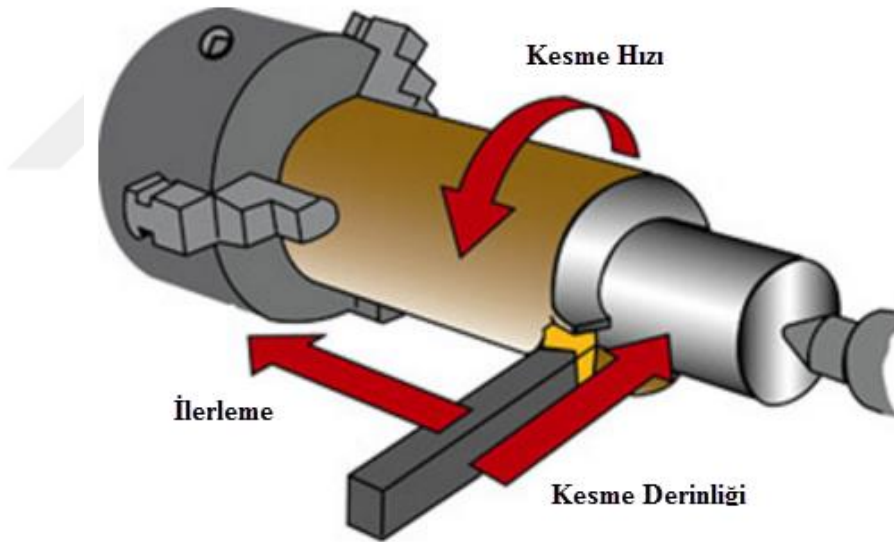
- Talaşlı imalatın uygulanabileceği malzeme yelpazesi çok geniştir. Bütün katı malzemeler işlenebilir özelliktedir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir,
- Düz ve dairesel yüzeylerin kolaylıkla elde edilebileceği talaşlı imalat işleminde karışık geometrili parçalarda birkaç talaşlı imalat kombinasyonu ile elde edilebilir,
- Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok düşük toleranslarda ve istenilen yüzey kalitesiyle elde edilebilir [73], [74].

İş parçalarını istenilen geometrik şekillere sokabilmek ve imalat işlemini en uygun şartlarda gerçekleştirebilmek için çeşitli takım tezgahları geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemler içinde en çok tercih edilen işlemlerden biri tornalama işlemi ile talaş kaldırmadır. Önemli bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde tercih edilmektedir. İşlenecek olan iş parçası düzgün dairesel şekilde dönmesi için bir donanımına bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası ekseninde ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur [63].

Kesme hızı, ( $V$ ) kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/dak olarak ifade edilir. İlerleme hızı ( $f$ ), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafedir ve mm/dev olarak ifade edilir. Talaş kalınlığı ( $A$ ), iş parçası malzemesinden kaldırılan malzemenin derinliğidir ve iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin birim düzenlemeleri yapılarak çarpımı ekseriyetle metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranını vermektedir [75].

### 3.6.1. Tornalama

Şekil 3.14'te görülen tornalama işlemi temel olarak tek nokta temaslı kesici takım ile iş parçasında silindirik şekiller oluşturmaya yarar. Tornalama işleminde genellikle iş parçası dönerken kesici takım sabit olmaktadır. Bu nedenden dolayı tornalama işlemi; iş parçasının ve takımın birbirine göre durumu yani genel olarak işlenebilirliğe etki eden faktörlerin son derece detaylı irdelenmesi ve değerlendirilmesini gerektiren bir işlemdir. Tornalama; iş parçasına istenilen şekil verilirken bunun yanında da oluşan talaşın ortadan kaldırılmaya çalışmakla kalmamış operasyonu oluşturan parametreler, parça kalitesi ve özellikle günümüzde maliyet unsurları da kontrol edilme zorunluluğunu içeren ve bunları optimize etmeye çalışan bir bilim dalı olmuştur. Yani tornalama işlemi sadece kesme kenarı işlemi gibi görülmesine karşın iş parçasının ve kesici takım malzemesinin şeklinin, işleme tiplerinin, ortamın ve daha birçok faktörün etkisinin olduğu bir işlemdir. Bu faktörlerde genel olarak işlenebilirliği etkilemektedir [76].



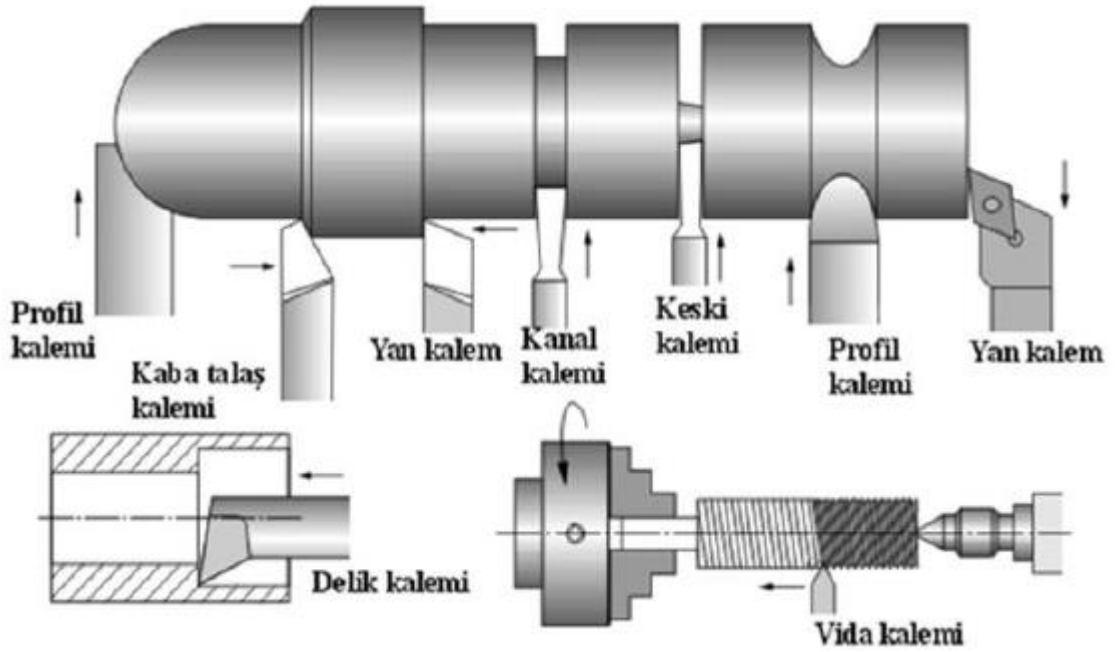
Şekil 3.14. Tornalama işleminin şematik gösterimi [77].

### 3.6.2. İşlenecek Malzeme Cinsine ve İşlemlere Göre Kesici Seçimi

Tornalama işleminin en uygun şekilde yapılabilmesi için torna tezgâhında yapılacak işe her yönüyle uygun bir kesici seçilmesi gerekir. Uygun olmayan bir kesici takım seçildiğinde ise hem işin doğru işlenmesini hem de işin yapım süresini uzatır ve işleme maliyetini arttırır. Bu yüzden bir işle ilgili uygun kesici takımı belirlerken [63]:

- Kesici takımın seçimi, kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme, devir sayısına göre) uygun olarak yapılmalıdır,
- Kesici takımının işlenecek malzemenin cinsine uygun seçilmesi gerekir. Örneğin, Ç1070 gibi yüksek karbonlu bir malzeme HSS kesici ile düşük devirde işlenebilir. Bu işlem fazla miktarda yapılması söz konusu ise bu kesici yapılması uzun zaman alabilir. Çok parça işlenecekse kesicinin ömrü kısalar, maliyet artar. Bunun yerine sert metal kesici takımlar ile daha yüksek devirde daha kısa zamanda işlenebilir,
- İşlenmesi zor ve sertliği yüksek olan malzemelerde uygun kesici takım seçilerek sert maden uçlarla daha yüksek kesme hızlarında işleme sağlanabilir.

Tornalama işlemlerinde bir kaba talaş kalemi, bir yan kalem gibi; bir ince talaş kalemi de bir kaba talaş kalemi gibi kullanılamaz. Her kesici takımın kesme şekli kullanım amacına göre değişir. Bir iş basit bir tornalama işlemi ile bitirilebilirken, bir başka işin üzerinde birkaç çeşit kalemle işlenecek çeşitli işlemler olabilir. Bu yüzden iş üzerindeki işlemlere uygun kalem seçilmesi gerekir. Şekil 3.15'teki profildeki kalemlerin kullanım yerleri gösterilmiştir [78].



Şekil 3.15. Farklı profillerdeki kalemler ve kullanım yerleri [78].

### 3.6.3. İş Parçası Malzeme Tanımlamaları

İş parçası malzemeleri ISO standartlarına göre üç ana grupta sınıflandırılır. Bu gruplarda çelikler (P) mavi, paslanmaz çelik (M) sarı, dökme demir (K) kırmızı. Ancak günümüzde artık iş parçası malzemeleri için üç yeni grup daha eklenmiştir. Bunlar; alüminyum (N) yeşil, ısıl direnci yüksek süper alaşımlar (S) kehribar, sertleştirilmiş çelikler (H) gri, renkle gösterilir. Şekil 3.16'da iş parçası malzemesi gösterimi genel olarak görülmektedir [76].

|          |                          |
|----------|--------------------------|
| <b>P</b> | Çelik                    |
| <b>M</b> | Paslanmaz Çelik          |
| <b>K</b> | Dökme Demir              |
| <b>N</b> | Alüminyum                |
| <b>S</b> | Süper Alaşımlar          |
| <b>H</b> | Sertleştirilmiş Çelikler |

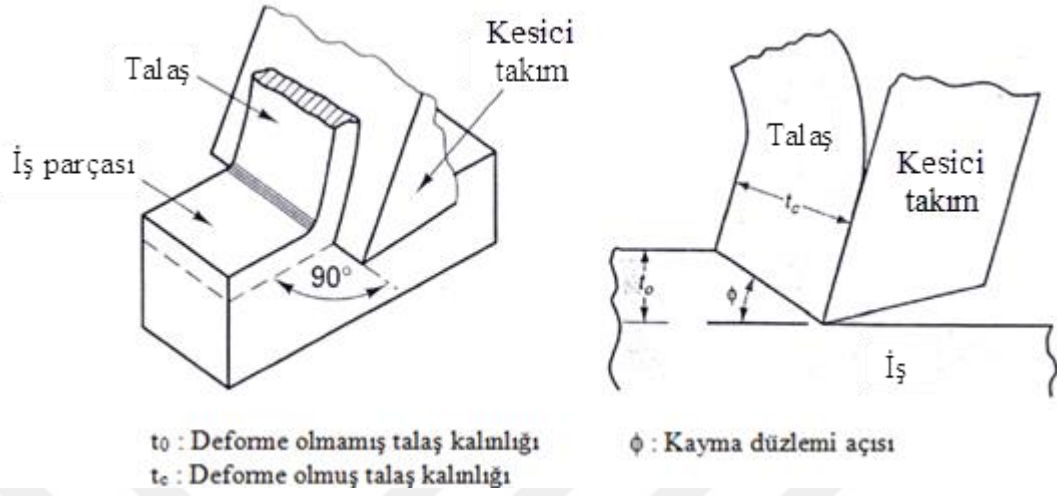
Şekil 3.16. İş parçası malzeme gösterimi [76].

İşlenebilirlik açısından iş parçası malzemelerinde yapılan bu sınıflandırmanın yanında; iş parçası sertliği, mikro yapısı, mukavemeti, dövme veya döküm olması, önceden işlenmiş olup olmaması kuru veya ıslak işleme koşullarının da göz önünde tutulması önemlidir [63].

### 3.6.4. Talaş Mekanîği ve Talaş Oluşumu

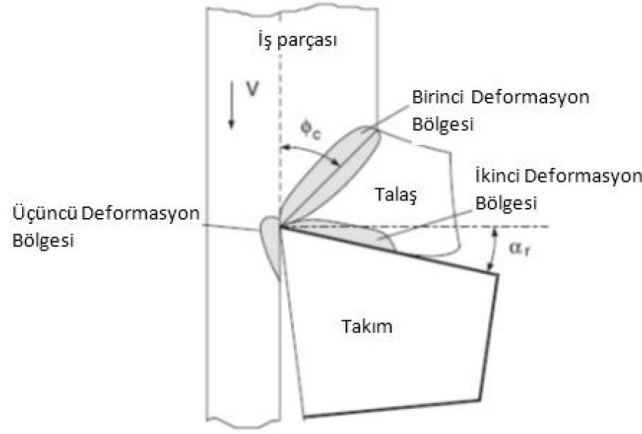
Belirli bir boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip iş parçası meydana getirmek için, iş parçası üzerine kesici takım vasıtasıyla kuvvet uygulayarak iş parçası üzerinden katman koparma işlemine talaş kaldırma işlemi denir. Bu işlem sırasında iş parçası üzerinden kesilerek ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Talaş kaldırma işleminin temelini dik (ortogonal) kesme mekanîği ve eğik (oblik) kesme mekanîği oluşturmaktadır. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaşlı imalat işleminin mekanîğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli kullanılır. Şekil 3.17'de dik kesme modeli şematik olarak gösterilmektedir. Bu yaklaşım basit olmakla birlikte talaşlı imalat mekanîğini tanımlamak için yeterlidir. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat işleminin analizinde önemli bir yer tutar. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı

zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir [73] [74].



Şekil 3.17. Dik kesme modeli [73] - [75].

Şekil 3.18’de ortogonal kesmenin kesit görünüşünden de anlaşılacağı üzere kesme işleminde üç adet şekil değiştirme (deformasyon) bölgesi vardır. Takım kenarı iş parçasına dalarken takımın malzeme içerisinde hareketiyle bir talaş formu oluşmaya başlar ve ilk kayma bölgesi oluşur. Malzemenin kesilmesiyle talaş kısmen şekil değiştirir ve takımın talaş yüzeyi boyunca hareketiyle ikinci deformasyon bölgesi oluşur. Takımın yan yüzeyindeki sürtünme bölgesinde ise üçüncü bölge meydana gelir. Talaş başlangıçta takımın talaş yüzeyine yapışır ve burada yapışma bölgesi oluşur. Kayma alanındaki (talaşın takım talaş yüzeyinde ilerlediği) sürtünme gerilmesi yaklaşık olarak malzemenin kayma gerilmesine eşittir. Talaş yapışma olayı biter ve sürekli kayma sürtünmesiyle talaş yüzeyinde talaş akması başlar. Talaş takımdan ayrılır, takımın talaş yüzeyi ile temas kaybolur. Temas uzunluğu kesme hızı, takım geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlıdır [73].



$\alpha$  : Kesici takım talaş açısı

$\phi$  : Kayma düzlemi açısı

Şekil 3.18. Gerçek talaş oluşumu [73].

### 3.6.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ), yaklaşık olarak  $1,6 \mu\text{m}$ 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten ziyade görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü ölçümü kalite kontrolü sürecine dâhil olur. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayınla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir [79], [80].

#### 3.6.5.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok nokta açısından önemli bir parametre kabul edilmiştir [79].

Bunların bazıları:

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb.dır.

### 3.6.5.2. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

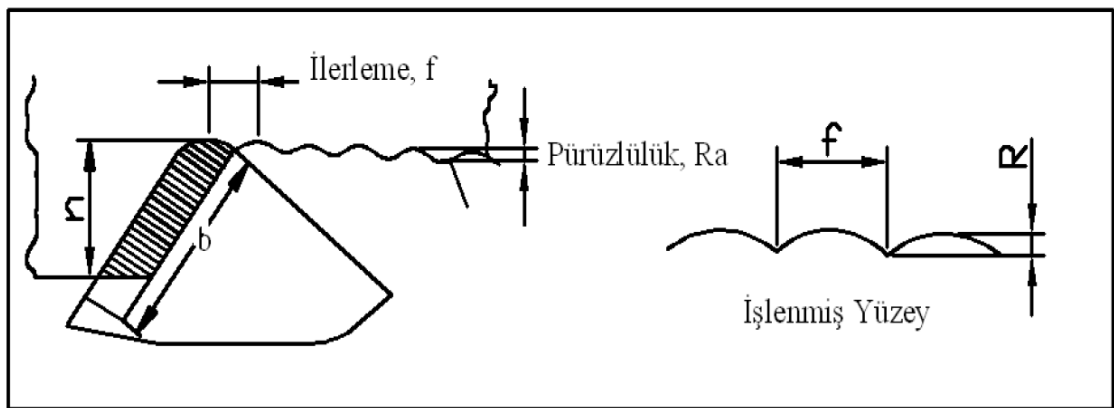
Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır [79]:

- Takım tezgâhının rijitlik durumu,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
- Takım tutucu rijitlik durumu,
- Takım aşınmasının etkileri,
- Takım geometrisi,
- Kesme parametreleri,
- Malzemenin mekanik özellikleri,
- Soğutma sıvısının etkileridir.

### 3.6.5.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşması

İdeal yüzey pürüzlülüğünün oluşumu Şekil 3.19’da şematize edilmiştir. Uygulamada, genellikle ideal pürüzlülük şartlarına ulaşmak mümkün değildir. Normalde gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri yığma talaş (BUE) oluşumudur. Teorik yüzey pürüzlülüğü yapılan geometrik hesaplamalar neticesinde Denklem (3.1)’deki formülde verilen ampirik ilişki ile elde edilmiştir [81].

$$R_a = 0,064 \frac{f^2}{8r} \quad (3.1)$$



Şekil 3.19. İlerleme ve takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi [81].

Yığma talaş devamlı olarak birikir, dağılır ve dağılan sert parçalar iş parçasına sürtünür. Talaş takım sürtünmesini azaltan ve yığma uç oluşumunu azaltan takım geometrisi ve kesme parametreleri daha düzgün yüzey oluşmasını sağlar. Genelde yüzey pürüzlülüğü değerleri olarak taşlama işlemi için 0,05-1,6  $\mu\text{m}$ , son paso tornalama için 0,1 den 1,0 mikrometre, frezeleme ve kaba tornalama için ise 1,6 mikrometreden daha yüksek olan Ra değerleri kabul edilebilir [81].

#### 3.6.5.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

*Optik metot:* Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir [63].

*Temas metodu:* Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır [63].

*Mekanik metot:* Çelik bilye kullanılarak en az 500 gram ağırlığın yüzeyde; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğünün ölçme tekniğidir [63].

*Hidrolik metot:* Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır [63].

*Yüzey dinamometresi metodu:* İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir [63].

*X ışını metodu:* Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508  $\mu\text{m}$  arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir [63].

*Elektron mikroskobu metodu:* Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar bu metodu sınırlamaktadır [63].

*Replika metodu:* Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz - asetat filmi, asetonla yumuşatılarak

sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında %80 oranında bilgi verir [63].

*İzleyici uçlu cihazlar ölçme metodu:* Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden 0,00004 mm çapında iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir [80].

*Elektro fiber optik metot:* Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek malzeme X,Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur [79].

#### 3.6.5.5. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

##### Örnekleme uzunluğu ve örnekleme sayısı

Şekil 3.20’de  $l$  ile ifade edilen örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile  $ln$  ile ifade edilen değerlendirme uzunluğu oluşur.  $ln$  uzunluğu  $n \geq 5$  olmak üzere, örnekleme uzunluğu ( $l$ ) ile  $n$  çarpılarak elde edilir ( $ln = l \times n$ ).



Şekil 3.20. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu [82].

### Ortalama çizgisi

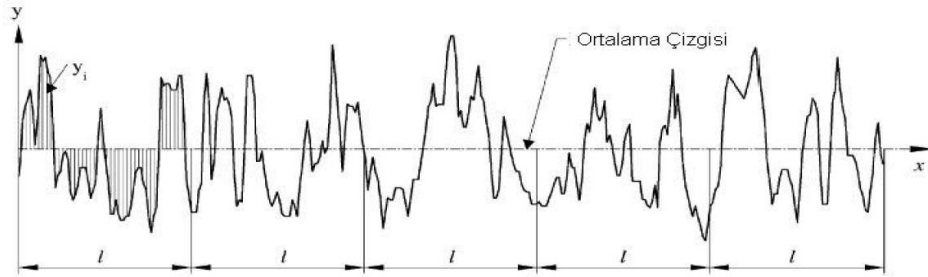
Ölçme boyu, içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur. Şekil 3.20’de tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.

### Ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ )

Şekil 3.21’de gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlanması ve ölçülmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profiledeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması Denklem (3.2) ve Denklem (3.3)’teki şekilde ifade edilebilir [83].

$$R_a = \frac{1}{t} \int_0^1 |y(x)| dx \quad (3.2)$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (3.3)$$



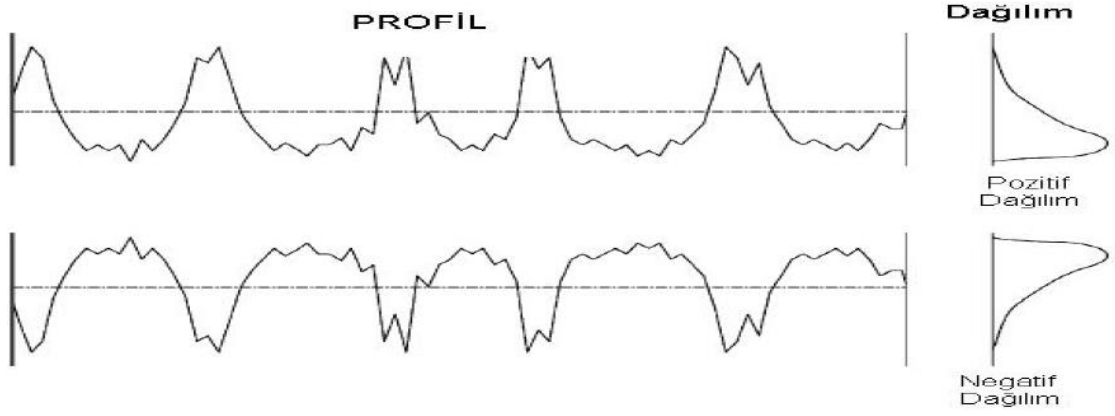
Şekil 3.21. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi [82].

### Genlik dağılım eğrisi

Şekil 3.22’de gösterildiği gibi bu parametre profil genlik yoğunluğun ortalama çizgiye göre simetrisini belirten dağılım eğrisidir. Aynı  $R_a$  ve  $R_q$  değerine sahip profilleri ayırt etmeye yarayan bir değişkendir. Matematiksel ifadesi Denklem (3.4) ve Denklem (3.5)’teki gibidir [82].

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y) dy \quad (3.4)$$

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} (\sum_{i=1}^N Y_i^3) \quad (3.5)$$



Şekil 3.22. Profil ve genlik dağılım eğrisi [84].

### 3.7. KESİCİ TAKIMLAR

Uygun kesici takımın seçimi işlenecek malzemenin özelliği ve talaş kaldırma yöntemine göre belirlenir. Toz metalürjisi ve kaplama konusunda yapılan çalışmalar neticesinde, her geçen gün daha kaliteli takımlar üretilmektedir. Hassas ve seri bir üretim için uygun kesici takımın seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Makine imalat sektöründe çok sık kullanılan kesici takım malzemeleri aşağıda sıralanmıştır.

#### 3.7.1. Yüksek Hız Çelikleri

Piyasada en çok bilineni yüksek hız çelikleridir (HSS). Yüksek hız çelikleri, orta sertlikteki çelik, döküm ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri, 650 °C'ye kadar olan işlem sıcaklıklarında kullanılabilmekte ve takımlar tekrar tekrar bilenebilmektedir. Talaşlı işlemlerde eğilimin yüksek hızlara kayması nedeniyle yüksek hız çeliklerinin önemi giderek azalmaktadır. Bu takımlar metal kesme endüstrisinde matkap, kılavuz, pafta, azdırma, tığ (broş) vb. gibi önemli kesme alanlarına sahiptirler [85].

#### 3.7.2. Sert Metaller

Piyasada en çok kullanılan kesici takım malzemesidir. Piyasada elmas uç olarak bilinirler. Takımlara sökülüp takılabilir bir şekilde imal edilmişlerdir. Bu özellikleri sayesinde kesici takım maliyetlerini çok aşağıya çekmişlerdir. Şekil 3.15'te de belirtildiği gibi farklı malzemelerin işlenmesi için farklı kalitelere imal edilmiştir. Bu kaliteler de harf ve renklerle standardize edilmiştir. Sert metallerin yüksek dayanım özelliklerinin yanında, kesileni aşındırma ve onlarla kimyasal reaksiyona girme

özellikleri de hayli yüksektir Bu malzemelerin işlenmesinde karşılaşılabilecek güçlüklerin yenilebilmesi için, kaplanmış kesiciler geliştirilmiştir [85].

Kaplama malzemesi olarak genellikle, titanyum nitrid, titanyum karbür ve seramikler kullanılır. Kesicinin uç noktasındaki dayanımın artırılması ve kırılmasının önlenmesi için uca parlatma işlemi tatbik edilir. Kaplama ile kesici aletlerin kazanmış oldukları özellikler şöyle sıralanabilir:

- Yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruma,
- Kimyasal kararlılık,
- Düşük ısı iletkenliği,
- Gözeneksiz veya çok az gözenekli yapı [85].

Kaplama elemanı olarak kullanılan Titanyum Nitrid (TiN), düşük sürtünme kat sayısı, yüksek sertlik, yüksek sıcaklıklara dayanımı ve alt tabakaya iyi nüfuz etme özelliklerine sahiptir. Bunun yanında, matkaplara, karbür kesicilere ve yüksek hız çeliklerine kaplandığında ömürlerinin artmasında rol oynamaktadır. Altın renkli olan titanyum nitrid kaplı kesiciler daha büyük kesme hızı ve ilerlemelerde kullanılabilirler. Bu kesicilerdeki aşınma, kaplanmamış olan kesicilere göre daha azdır. Burada dikkat edilmesi gereken, TiN kaplanmış kesicilerin düşük kesme hızlarında kullanılmamasıdır. Düşük hızlarda kesici uçtaki talaş birikimi kaplamanın yanmasına neden olduğundan mutlaka uygun kesme sıvısının kullanılması gerekir [85].

### **3.7.3. Sertmetler**

Metalik fazla bağlanmış seramiklerdir. Yüksek krater ve oksidasyon direnci, düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Kesici takım olarak sertmetler %20'den daha az bağlayıcı içerir. Çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yükler altında yüksek hızlarda yüzey operasyonlarında kullanılır. Kaba ve darbeli işlemlerde, boşluklu ve pürüzlü yüzeylerde, demir dışı malzemelerde, nikelli malzemelerde iyi sonuç vermemektedir [85].

### **3.7.4. Seramik Kesiciler**

Seramik kesiciler yüksek aşınma dayanımına ve yüksek sıcaklıklara dayanım özelliklerine sahiptir. Seramik uçlar, yüksek kesme hızlarında, kesintisiz talaş kaldırma işlemlerinde kullanılırken ısı şoktan etkilenmemesi için ya kuru olarak ya da

kesme hızının işleme bölgesine fazla verildiği şartlarda kullanılmalıdır. Sıcak presleme ile üretilen bu kesici takımlar, üstün özellikleri nedeniyle sertleştirilmiş çelik, nikel esaslı alaşımlar ve dökme demirin kesikli talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilmektedir [85].

### **3.7.5. Kübik Bor Nitrür**

Şu anda, sertlik olarak elmasa en yakın yapay malzeme Kübik Boron Nitrürdür (CBN). 1962 yılında geliştirilen CBN, karbür gövdeye 0,5–1 mm kalınlığında polikristal kübik boron nitrürün basınç altında sinterlenmesi ile elde edilir. Kübik boron nitrür (CBN), elmastan sonra ikinci en yüksek sertlik değerine sahiptir. Küçük miktarlardaki seramik veya metal bağlayıcı ile bor nitrür karıştırılır [85].

Özellikle, elmasın kullanımını engelleyen hızlı aşınma olmaksızın yüksek hızlarda sert dökme demir ve sertleştirilmiş çeliğin kesimi için kullanılmaktadır. Ayrıca, süper alaşımlar (nikel ve kobalt esaslı), kübik bor nitrür kompozit kesici takımlarla, sementit karbürlerden çok daha yüksek hızlarda işlenebilmektedir [85].

### **3.7.6. Çok Kristalli Elmas (PCD)**

Doğada bulunan aşınmaya karşı en dayanıklı malzemedir. PCD'nin çok kırılgan yapısından dolayı PCD ile yapılan işlemler çok kararlı koşullar, rijit tezgah ve takımların yanı sıra çok yüksek kesme hızları gerektirir. Genellikle demir dışı metallerin kesiminde uygundur. Demir dışı metaller yapışma olasılığı yüksek olduklarından dolayı PCD elmasların yüzeyleri ekstra parlatma işlemine tabi tutulur.

Yukarıda verilen kesici takım malzemeleri piyasada en çok kullanılan ve bilinen kesici takım malzemeleridir. Bunların dışında kesici takım malzemeleri de bulunmaktadır.

Verilen bilgiler ışığında bütün malzemeleri kesebilen bütün talaşlı imalat şartlarında ekonomik olarak kullanılabilen kesici takım malzemesi yoktur. Kesici takım malzemelerinde aşınmaya karşı direnç (sertlik) ile darbeye karşı direnç (tokluk) arasında ters bir ilişki vardır. Özetle; kesici takımlarda aşınmaya karşı direnç arttıkça tokluk azalır, tokluk arttıkça aşınmaya karşı direnç azalır [85].

### 3.7.7. Kesici Takımlara Uygulanan Kaplamalar

Kesici takımlara uygulanan kaplamalar yüksek hız çelikleri, sermet ve tungsten karbür gibi sert bir ana malzeme üzerine PVD, CVD ve DVD gibi yöntemlerle genelde 3-12 mikron kalınlığında ince sert bir tabaka oluşturulması esasına dayanır. Bu kaplamalar TiN, TiAlN, TiC, TiCN, AlO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> gibi ince sert tabakaların tek kat veya çok katlı olarak sermet, sement karbür veya HSS gibi klasik olarak kullanılan sert kesici takım malzemeleri üzerine biriktirilmesiyle elde edilir. Yüksek sıcaklık direnci ve sertliklerinden dolayı yapılan bu ince sert kaplamalarla takım ömrü, aşınmanın azalmasına bağlı olarak, kesme parametreleri ve malzeme durumlarına göre kat kat artmaktadır. Dolayısı ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri ve talaş kaldırma operasyonları esnasında ölçüsel toleranslardaki sapma değerleri de aşınmanın yavaş yavaş oluşması nedeniyle ani değişiklikler göstermemekte dolayısıyla büyük verim artışı sağlamaktadır. Aşınmanın çok hızlı geliştiği makine parçalarında, kalıp elemanlarında veya estetik görünümünün ön plana çıktığı durumlarda yapılan bu ince sert kaplamalar yüzey mühendisliğinin çok önemli bir dalı haline gelmiştir [86], [87].

### 3.7.8. Kesici Takımlara Uygulanan Kaplamalar

Takım kaplamalarında kaplama malzemesi çok sert ve yüksek sıcaklık sertliğine sahip olduğu için klasik kaplama metotlarıyla kaplanamazlar. Bu tür kaplamalar için özel kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları Fiziksel Buharlaştırma ile Biriktirme (PVD) ve Kimyasal Buharlaştırma ile Biriktirme (CVD) teknikleridir [86].

Fiziksel Buharlaştırma ile Biriktirme işlemleri (PVD): Bu işlemler buharlaştırma, lazerle sönüp çıkarma, sıçratma vb. metotlardan biriyle, malzeme buharı elde edilerek daha sonra buharın ana malzeme üzerine yoğunlaştırılarak ince bir film tabakası elde edilmesiyle gerçekleştirilir [87].

Kimyasal Buharlaştırma ile Birleştirme işlemleri (CVD): Kaplama malzemesinin buhar fazının çok sayıda kimyasal işlemlerden geçirilerek ön ısıtılmalı malzeme üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanır. Buhar biriktirme işlemi basamakları aşağıda sunulmuştur [88].

Birinci Aşama: Buhar fazının oluşturulması. (malzemesinin, buharlaşması) Lazer yoluyla, elektrolit metotla, plazma püskürtmesiyle, D-tabancası veya gaz metoduyla sağlanabilir [88].

İkinci Aşama: Buharın kaynaktan plakaya taşınması. Buhar kaynaktan, plakaya atomların ve moleküllerin birbiriyle çarpışmasıyla veya çarpışma olmadan taşınır. Taşınma sırasında bunların bir kısmı iyonlaşabilir [88].

Üçüncü Aşama: Plaka üzerinde ince bir tabakanın oluşması. Bu işlem buhar fazının plaka üzerine yoğunlaşmasını ve filizlenme ile büyüme yoluyla ince bir tabaka oluşumu gerektirir. Filizlenme ve büyüme işlemi kalınlaşan tabakanın iyonik parçacıklarla bombardımanından şiddetli bir şekilde etkilenir. Bu da mikro yapının değişmesine, kompozisyonun değişmesine safsızlıklarla ve kalıcı gerilimlere sebep olur. Bu üç basamağın, birbirinden bağımsız olarak kontrol dereceleri, biriktirme işlemini çok yönlülüğünü ve esnekliğini belirtir. Örneğin PVD işleminde bu üç basamak birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Sonuçta yapı, özellikler ve biriktirme hızı daha büyük oranda kontrol edilebilir. Fakat CVD işleminde bu üç basamak aynı anda gerçekleşir [87].

## 4. MATERİYAL VE YÖNTEM

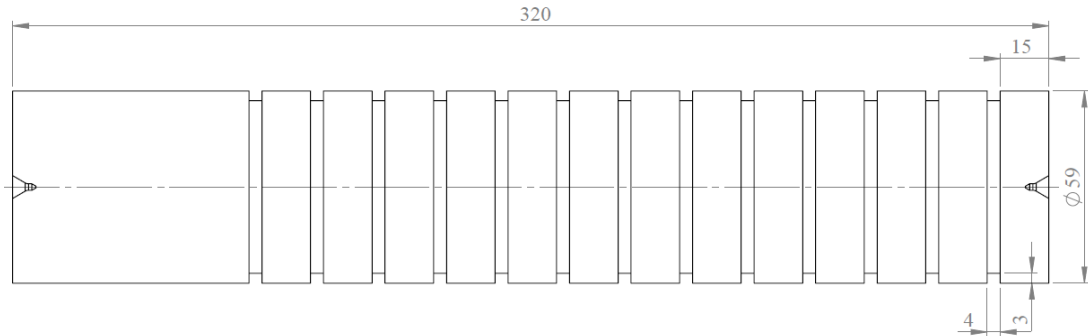
### 4.1. MATERİYAL

#### 4.1.1. Çalışmada Kullanılan Takım Tezgâhı

Kesme deneyleri, Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü envanterinde yer alan torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar 20-2000 dev/dk hız aralığında çalışabilen 7,5 kW motor gücüne sahip ZMM Bulgaria CU500 torna tezgahında kuru işleme koşulları altında yapılmıştır.

#### 4.1.2. İş Parçaları

İşleme testleri için 59 mm çapında ve 320 mm uzunluğunda 13 dilime ayrılmış iş parçası kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan iş parçasının şematik gösterimi.

##### 4.1.2.1. Ti6Al4V Titanyum Alaşımı

Deneysel çalışmada, Ti6Al4V titanyum alaşımı iş parçası olarak kullanılmıştır. Bu malzemenin seçilme nedeni sıcaklık direnci ve paslanmazlık nedeniyle kullanımının yaygın olması ve çeşitli sektörlerle hitap etmesidir. Kimya endüstrisi ve denizcilik sektöründe yüksek korozyon direnci istenen yerlerde; uçak gövdesinde kolay şekillendirilebilen ve mukavemet istenen yerlerde kullanılır. Ti6Al4V titanyum alaşımlı iş parçasının kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1.Ti6Al4V titanyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu (%).

| Element | Ti     | Al   | V    | Fe   | O    | C    | N    | H    |
|---------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| %       | 89,464 | 6,08 | 4,02 | 0,22 | 0,18 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |

#### 4.1.2.2. AISI 4340 Alaşımlı Çelik

Deneyisel çalışmada, AISI 4340 alaşımlı çeliği iş parçası olarak kullanılmıştır. Bu malzemenin seçilme nedeni imalat sanayisinde sıklıkla kullanılmasıdır. Kaplin, dişli, krank mili, şaft, rot kolu, yatak gibi makine ve otomobil parçalarında kullanılmaktadır. Kullanılan iş parçası önce yağda su verme işlemine tabi tutulmuş setlik kazanması sağlanmıştır. Bu işlem sonrasında iş parçasında oluşan gevrekliği azaltmak için 600 °C’de 2 saat boyunca temperleme (menevişleme) işlemi sonucunda 50-52 HRC sertlik değerine ulaştırılmıştır. AISI 4340 alaşımlı çeliğin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. AISI 4340 alaşımlı çeliğin kimyasal kompozisyonu (%).

| Element | Fe     | Ni   | Cr   | Mn   | C     | Mo   | Si    | S    | P     |
|---------|--------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|
| %       | 95,195 | 1,80 | 0,80 | 0,70 | 0,400 | 0,25 | 0,225 | 0,04 | 0,035 |

#### 4.1.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) Taylor Hobson (Surtronic 25, UK) yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 4.2). Kesme uzunluğu ve değerlendirme uzunluğu sırasıyla 0,8 ve 4 mm olarak belirlemiştir. Ölçüm aleti çalışma öncesinde kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiştir. Ölçüm yapılan parçanın her bir bölmesi eşit aralıklar bırakılarak (120°) üçer kere ölçülmüş ve bu değerlerin ortalaması genel yüzey pürüzlülük değeri olarak rapor edilmiştir.



Şekil 4.2.Yüzey pürüzlülük Ölçüm cihazı, (Taylor Hobson).

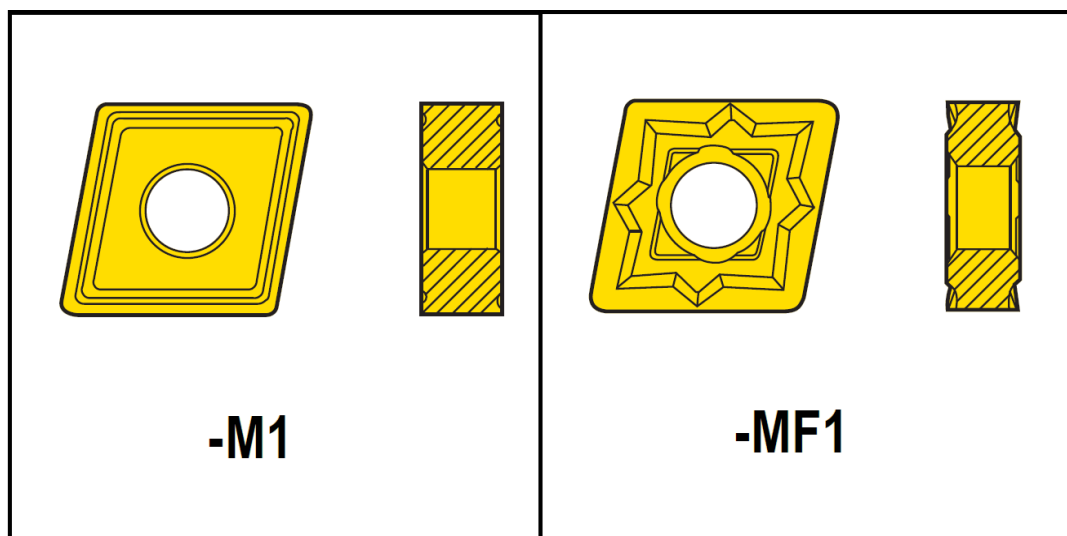
#### 4.1.4. Kesici Uçlar

Deneyisel çalışmada SECO tarafından üretilen ticari kullanıma uygun CNMG 120404 ISO standardına sahip uçlar kullanılmıştır. Bu uçlar kaplamasız karbür, PVD kaplamalı karbür ve kriyojenik uygulanmış kaplamasız karbür olarak üç farklı çeşitte belirlenmiştir. Kaplamasız karbür ve kriyojenik uygulanmış kaplamasız karbür uçlar 890 kalite, PVD kaplamalı karbür uçlar ise TS2000 kalite olarak deneyisel malzemenin sertliğine göre belirlenmiştir. Kaplamasız karbür kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlem sıvı nitrojen ile  $-145^{\circ}\text{C}$ 'de ve 24 saat boyunca aralıksız olarak uygulanmıştır. PVD kaplamalı ucun kaplama malzemesi  $(\text{Ti,Al})\text{N}+\text{TiN}$  bileşimidir.

Kesici uç şekli;  $80^{\circ}$  elmas, yaklaşma açısı;  $95^{\circ}$ , delik şekli; silindirik, talaş kırıcısı; çift taraflı; kesme kenar uzunluğu; 12 mm, kalınlığı; 4 mm ve burun radüsü; 0.4 mm'dir.

Kaplamasız kesici takımlar MF1 türünde seçilmiştir. MF1 tür uçlar paslanmaz çelikler ve süper alaşımları işlemek için tasarlanan bir talaş kırıcısıdır. Yarı finiş işleme ve finiş işleme ucu olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Takım geometrisi Şekil 4.3'te verilmiştir.

PVD kaplamalı kesici takımlar ise M1 türünde seçilmiştir. M1 tür uçlar süper alaşımlar için tasarlanmış bir talaş kırıcısıdır. Kenar mukavemetini arttırmak için hafifçe honlanmış pozitif bir kesme boşluğu açısına sahiptir. Hafif kaba işleme ve yarı finiş işleme uygulamaları için üretilmiştir.

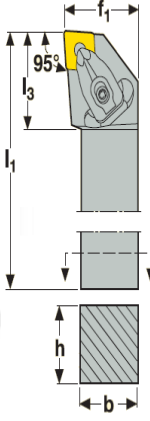


Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan kesici uç tür ve geometrileri.

#### 4.1.5. Takım Tutucu

Deneyisel çalışmalarda kesici takımlara uygun olarak SECO marka ve DCLNR 2020 K 12M kodlu takım tutucu kullanılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Takım tutucu ölçüsel özellikleri.



| Parça No.       | Boyutlar/mm |    |       |       |       | $\gamma_0^\circ$ | $\lambda_s^\circ$ | KG  |  |
|-----------------|-------------|----|-------|-------|-------|------------------|-------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | h           | b  | $l_1$ | $f_1$ | $l_3$ |                  |                   |     |                                                                                     |
| DCLNR 2020K12-M | 20          | 20 | 125   | 25    | 32    | -6               | -6                | 0,4 | CN..1204..                                                                          |
| 2525M12-M       | 25          | 25 | 150   | 32    | 32    | -6               | -6                | 0,7 | CN..1204..                                                                          |
| 3225P12-M       | 32          | 25 | 170   | 32    | 32    | -6               | -6                | 1,0 | CN..1204..                                                                          |
| 3232P12-M       | 32          | 32 | 170   | 40    | 32    | -6               | -6                | 1,3 | CN..1204..                                                                          |
| DCLNL 2020K12-M | 20          | 20 | 125   | 25    | 32    | -6               | -6                | 0,4 | CN..1204..                                                                          |
| 2525M12-M       | 25          | 25 | 150   | 32    | 32    | -6               | -6                | 0,7 | CN..1204..                                                                          |
| 3225P12-M       | 32          | 25 | 170   | 32    | 32    | -6               | -6                | 1,0 | CN..1204..                                                                          |
| 3232P12-M       | 32          | 32 | 170   | 40    | 32    | -6               | -6                | 1,3 | CN..1204..                                                                          |

#### 4.1.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Yapılan çalışmalar sonucundaki takım aşınmalarını daha net incelemek ve EDX analizi yapabilmek için FEI marka Quanta FEG 250 modeli SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.4). Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), odaklanmış elektron hüzmesiyle numuneyi tarayarak numuneden görüntü meydana getiren bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronların örnekteki elektronlarla etkileşimi detekte edilebilen çok çeşitli sinyaller üretir. Bu sinyaller örneğin yüzey topografisi ve kompozisyonu hakkında bilgi içerir. Elektron hüzmesi genellikle tarama örüntüsü biçiminde taranır. Görüntü oluşturmak için hüzmelerin pozisyonu detekte edilen sinyalle birleştirilir. SEM’de 1 nm’den daha iyi bir çözünürlük başarılabılır. Örnekler yüksek vakumda, düşük vakumda incelenebilir.



Şekil 4.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

#### 4.1.7. Dijital Mikroskoplar

##### 4.1.7.1. Dino-Lite Pro Dijital Mikroskop

Yapılan çalışmalar sonucundaki takım aşınmalarını incelemek için Dino-Lite Pro dijital mikroskobun AM4113TL modeli kullanılmıştır (Şekil 4.5). Uzun çalışma mesafelerinde kullanım kolaylığı sağlayan mikroskop 15 cm'ye kadar uzun çalışma mesafelerinde 20x zum, 4 cm'ye kadar kısa çalışma mesafelerinde 90x zuma kadar imkan sağlamaktadır. Beyaz LED ışıklı yapısı ve 1,3 megapiksel (1280x1024) görüntü alıcısı sayesinde net görüntü alınmasını sağlamaktadır. USB bağlantısı sayesinde veriler kolayca aktarılabilir.



Şekil 4.5. Dino-Lite Pro dijital mikroskop.

#### 4.1.7.2. Falcon Video Ölçüm Cihazı

Yapılan çalışmalar sonucundaki takım aşınmalarını incelemek için ikinci olarak Falcon Vision Engineering marka 3 eksenli hassas video ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.6). Falcon video ölçüm cihazı, iris açıklık kontrolü ve beş pozisyonda sabitlenebilen 1,3 megapiksel renkli CMOS cameraya sahiptir. X ve Y eksenlerinde 150 mm x 100 mm mesafelerinde ölçüm yapabilmektedir. Z ekseninde 10 µm hassasiyetle görüntüleme olanağı sağlamaktadır. 10-50x ve 20-100x zoom aralıklarında ölçüm yapmaya olanak tanımaktadır.



Şekil 4.6. Falcon Vision Engineering video ölçüm cihazı.

#### 4.1.8. Sıcaklık Ölçme Aleti

Isıtılan iş parçaların sıcaklık kontrolleri için FLUKE marka 572-2 modelli infrared termometre kullanılmıştır (Şekil 4.7). -30 °C ile 900 °C arasında sıcaklık ölçümü yapılabilmektedir. İş parçası üzerine yansıtılan ikili lazer ışığı ile hassas sıcaklık ölçümü yapılabilmektedir. Yine bu lazer ışığı sayesinde iş parçası üzerinden anlık sıcaklık değeri alınabilmektedir.



Şekil 4.7. FLUKE marka 572-2 infrared termometre.

#### 4.1.9. Yakıcı Gaz

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

#### 4.1.10. Hamlaç

İş parçalarını ısıtmak için EVREN marka hamlaç ve ısıtma işlemine uygun tavlama lülesi seçilmiştir (Şekil 4.8).



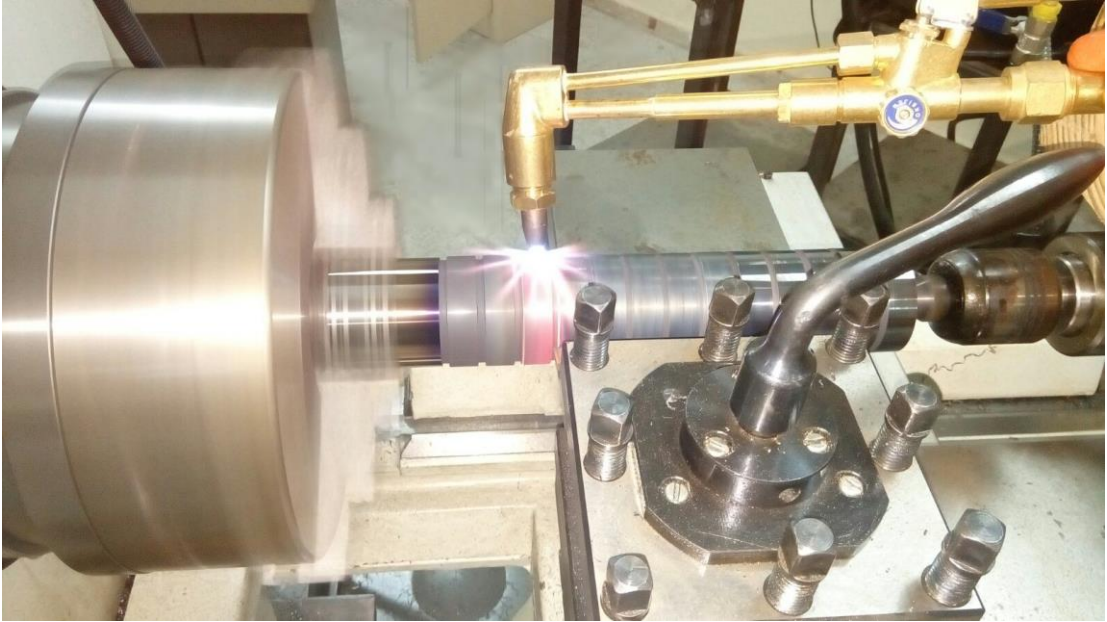
Şekil 4.8. EVREN marka hamlaç.

#### 4.1.11. Gaz Debi Ölçer

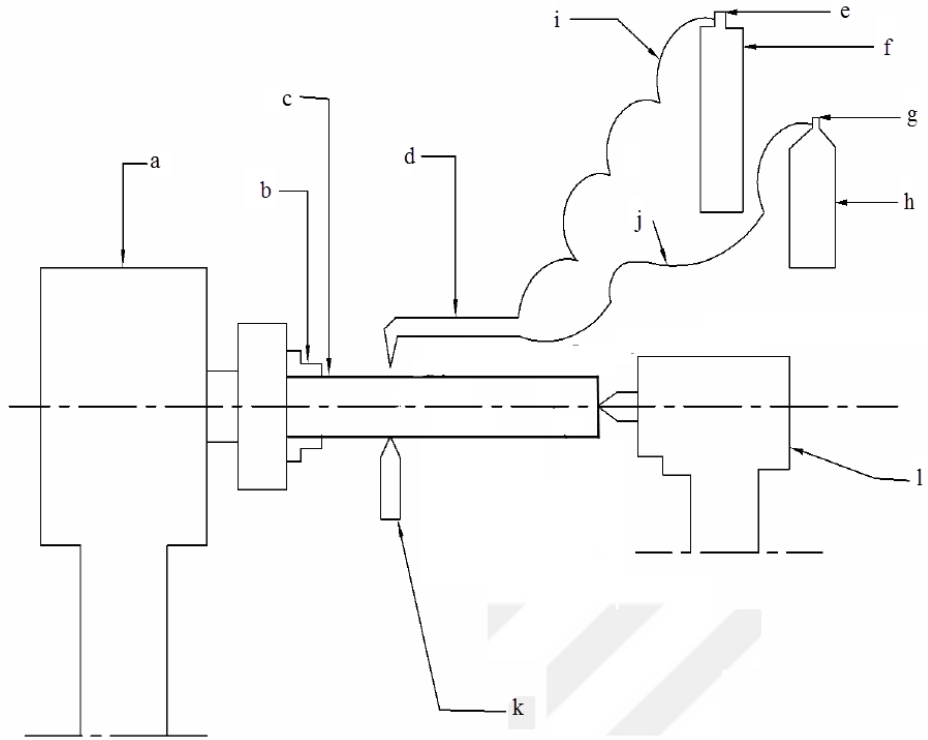
Cole-Parmer marka H-03217-32 modelindeki gaz debi ölçer maksimum 27 ml/dak. O<sub>2</sub> gazı ölçebilme kapasitesine sahip olup, 70 °C ortam sıcaklığı ve maksimum 200 psi basınca dayanıklıdır.

## 4.2. YÖNTEM

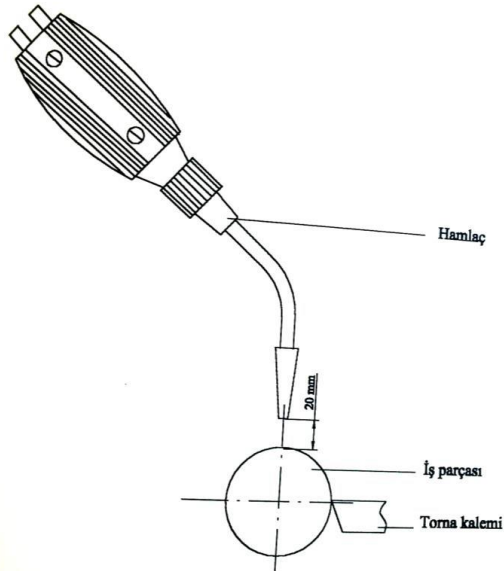
Deneyisel çalışmada kullanılacak Ti6Al4V titanyum alaşımlara ve AISI 4340 alaşımlı çeliklere punta delikleri açılarak ayna ile punta arasına bağlandı (Şekil 4.9). İş parçasını ısıtma metodu olarak alevle ısıtma metodu ve alevi meydana getirmek için de hamlaç kullanıldı (Şekil 4.10). Bütün deneylerde hamlaç, torna kaleminin karşı tarafında ve iş parçası üzerine 20 mm mesafede tutuldu (Şekil 4.11). Deneyisel 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 likid petrol gazı (LPG) ve oksijen gazı karışımı kullanıldı. 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 dolayısıyla iş parçası sıcaklığının düşük olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca belirtilen gaz miktarlarının artması tekrar ateşleme sırasında hamlaç ucunda patlamalar meydana getirmektedir. İş parçası sıcaklığını kontrol altına alabilmek infareded termometre kullanılmış, iş parçası yeterli sıcaklığa ulaştığında işlemeye geçilmiştir.



Şekil 4.9. Ön ısıtma deney düzeneğinin gösterimi.



- |                      |                |                       |               |
|----------------------|----------------|-----------------------|---------------|
| a.Torna tezgahı      | b.Çene         | c.İş parçası          | d.Hamlaç      |
| e.Oksijen akış valfi | f.Oksijen tüpü | g.LPG akış valfi      | h.LPG tüpü    |
| i.Oksijen borusu     | j.LPGborusu    | k.Kesici takım tutucu | l.Gezer punta |
- Şekil 4.10. Deney düzeneğinin görünüşü.



Şekil 4.11. Hamlacın iş parçası üzerindeki konumu.

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneylerde, Ti6Al4V titanyum alaşımı ve AISI 4340 alaşımlı çeliklerin işlenmesinde etkili olan yüzey pürüzlülüğünün araştırılması ISO 3685-E de belirtilen norm değerler göz önüne alınarak yapıldı. Deneysel incelemeler, sıcak talaşlı işlemede etkili olan faktörlerin çokluğu ve bunların tümünün birden araştırılması zor olduğundan, bunların bir kısmı sabit tutularak diğerlerinin birbirine etkilerinin araştırmasının sağlıklı bir şekilde yapılmasına yardımcı olacağı düşünülerek gerçekleştirildi.

### 5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DENEYLERİ

Oda sıcaklığında ve sıcak talaşlı işleme sonrası malzemelerinin yüzey pürüzlülüklerinin araştırılmasında ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçüldü. Ölçme işlemi her deney sonrası malzemelerin üç farklı noktasından ve eksenleri boyunca yapıldı. İş parçası üzerinden yapılan her ölçüm cihazın ölçme uzunluğu olan 4 mm' ye karşılık gelmektedir. Ölçme işlemi için, deney malzemeleri özel destekleme ile sabitlendi 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 takım türü, sıcaklık ve kesme hızına göre değişimleri çizelgeler haline getirildi. Deney parametrelerinin ve işleme sonuçlarının yer aldığı çizelgeler kullanılarak deney sonuçları grafikler halinde sunuldu. Kesici takım türleri olan PVD kaplamalı karbür, kriyojenik işlem görmüş karbür ve kaplamasız karbür uçlar sırasıyla KPL, KİG ve KSZ olarak kodlanmıştır.

#### 5.1.1. Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Deneylerinin İncelenmesi

##### 5.1.1.1. Kesici Takım Türünün Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Çizelge 5.1-5.4'te, farklı kesici takımlar ile yapılan tornalama işleminde kullanılan deney kesme parametreleri ve bu deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ayrıca bu değerler Şekil 5.1-5.8'de grafiksel ifadeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 5.1’de konvansiyonel tornalama parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 5.1’e bakıldığında Ti6Al4V titanyum alaşımının konvansiyonel tornalama işleminde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı sırasıyla KSZ ve KPL kesici takımlar takip etmiştir. KİG kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızı 1,12  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 1,73  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KİG kesici takım KSZ kesici takımdan %12,5, KPL kesici takımdan ise %19,6 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

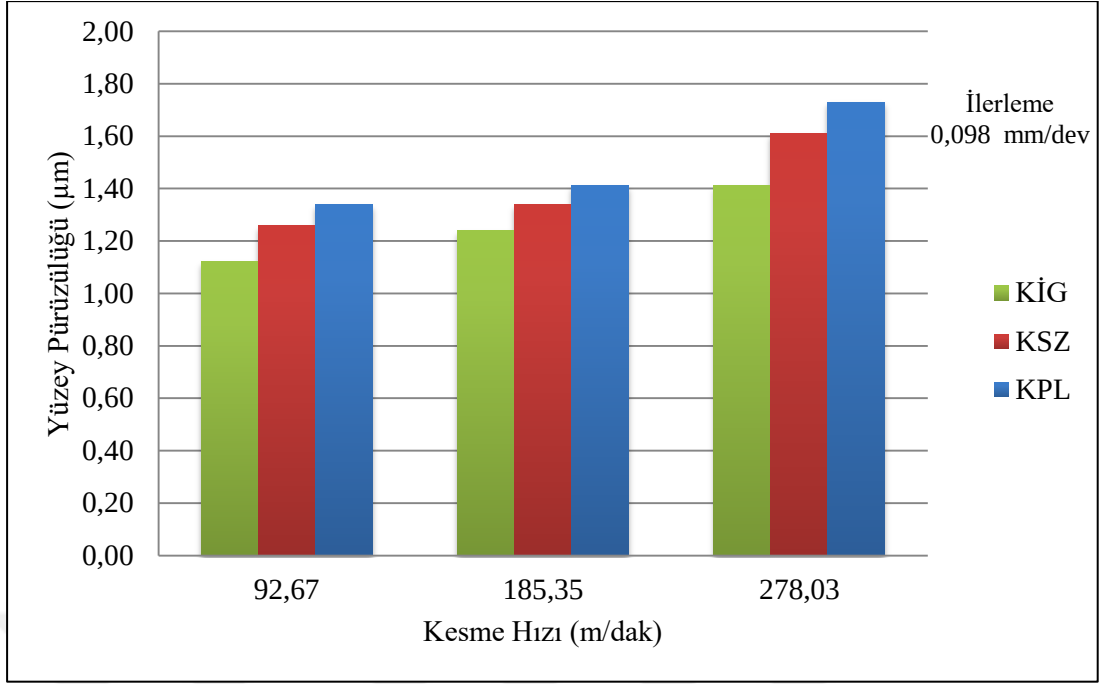
Şekil 5.2’ye bakıldığında ise ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ( $f_r=0,196$  mm/dev) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı sırasıyla KSZ ve KPL kesici takımlar takip etmiştir. KİG kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızı 2,25  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 3,62  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KİG kesici takım KSZ kesici takımdan %15,5, KPL kesici takımdan ise %24,8 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 ilerleme oranları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. 92,67 m/dak kesme hızında ilerleme miktarı 0,098 mm/dev’den 0,196 mm/dev’e çıkartıldığında KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %100,9, KSZ kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %108 ve KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %109,7 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarındaki artış önemli bir etkidir [89].

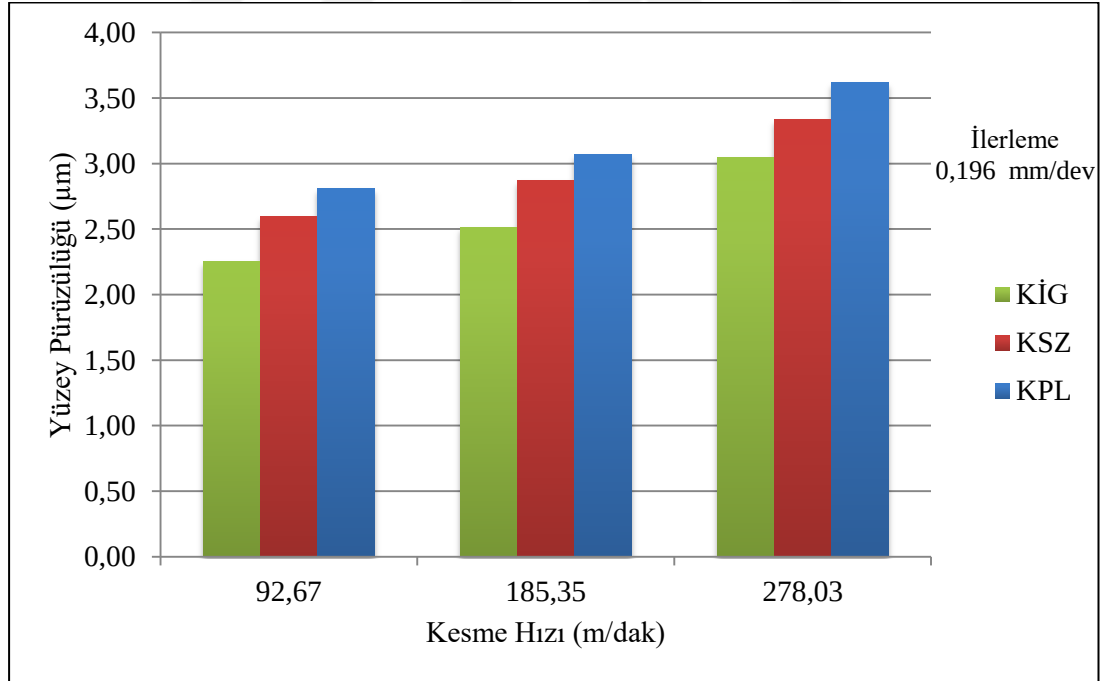
Konvansiyonel kesme işlemi için tüm durumlar incelendiğinde, kesme hızının ve ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır.

Çizelge 5.1. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının 20 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık<br>(°C) | Kesici Takım<br>Türü | Kesme Hızı<br>(m/dak) | İlerleme<br>Miktarı<br>(mm/dev) | Ortalama Yüzey<br>Pürüzlülüğü<br>(μm) |
|------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 20               | KPL                  | 92,67                 | 0,098                           | 1,34                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,25                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,12                                  |
|                  | KPL                  | 185,35                | 0,098                           | 1,41                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,34                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,24                                  |
|                  | KPL                  | 278,03                | 0,098                           | 1,73                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,61                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,41                                  |
|                  | KPL                  | 92,67                 | 0,196                           | 2,81                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 2,60                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 2,25                                  |
|                  | KPL                  | 185,35                | 0,196                           | 3,07                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 2,87                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 2,51                                  |
|                  | KPL                  | 278,03                | 0,196                           | 3,62                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 3,34                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 3,05                                  |



Şekil 5.1. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 20 °C,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.2. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 20 °C,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.2’de 250 °C sıcaklıkta tornalama parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 5.3’e bakıldığında Ti6Al4V titanyum alaşımının 250 °C sıcaklıkta tornalama işleminde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı sırasıyla KSZ ve KPL kesici takımlar takip etmiştir. KİG kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızı 1,03 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 1,59 µm olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KİG kesici takım KSZ kesici takımdan %8,7, KPL kesici takımdan ise %21,3 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

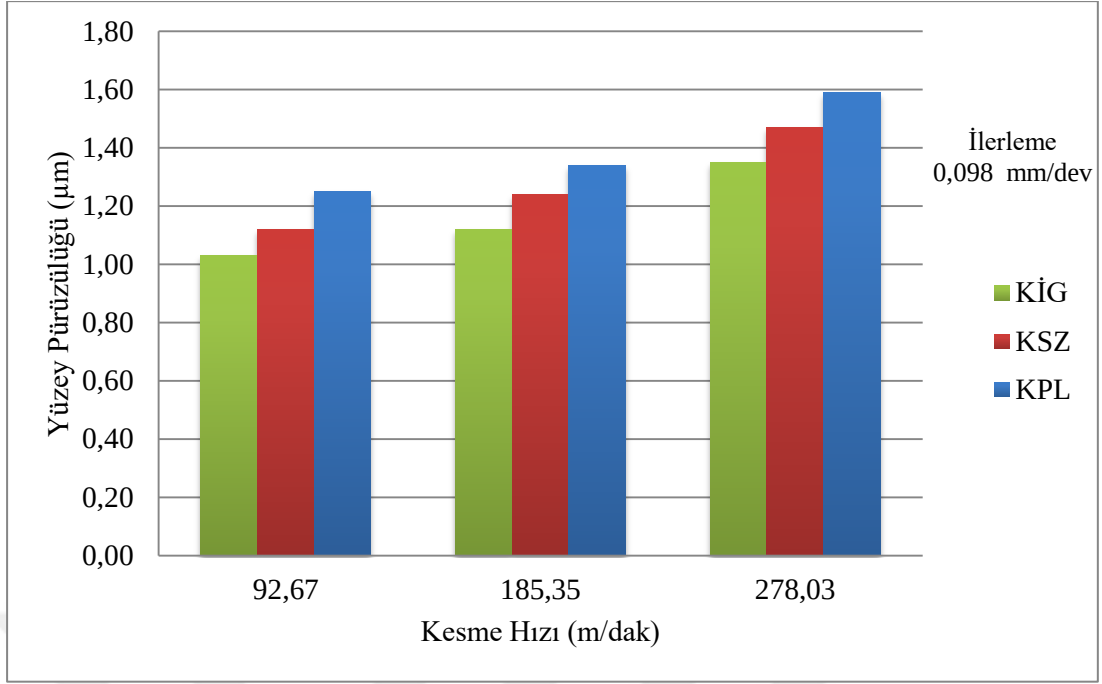
Şekil 5.4’e bakıldığında ise ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ( $f_r=0,196$  mm/dev) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı sırasıyla KSZ ve KPL kesici takımlar takip etmiştir. KİG kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızı 2,15 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 3,31 µm olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KİG kesici takım KSZ kesici takımdan %7,4 KPL kesici takımdan ise %17,6 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarı yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. 92,67 m/dak kesme hızında ilerleme miktarı 0,098 mm/dev’den 0,196 mm/dev’e çıkartıldığında KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %108,7, KSZ kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %106,2 ve KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %102,4 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarındaki artış önemli bir etkidir.

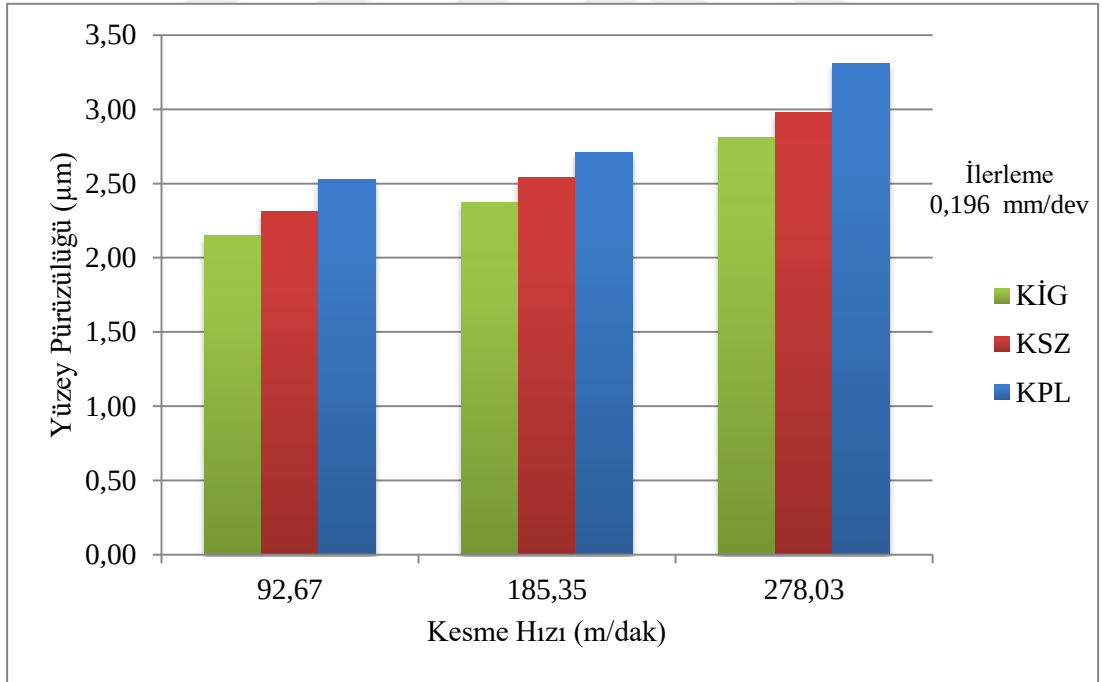
250 °C sıcaklıkta tornalama işlemi için tüm durumlar incelendiğinde, kesme hızının ve ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır.

Çizelge 5.2. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının 250 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık<br>(°C) | Kesici Takım<br>Türü | Kesme Hızı<br>(m/dak) | İlerleme<br>Miktarı<br>(mm/dev) | Ortalama Yüzey<br>Pürüzlülüğü<br>(μm) |
|------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 250              | KPL                  | 92,67                 | 0,098                           | 1,25                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,12                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,03                                  |
|                  | KPL                  | 185,35                | 0,098                           | 1,34                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,24                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,12                                  |
|                  | KPL                  | 278,03                | 0,098                           | 1,59                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,47                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,35                                  |
|                  | KPL                  | 92,67                 | 0,196                           | 2,53                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 2,31                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 2,15                                  |
|                  | KPL                  | 185,35                | 0,196                           | 2,71                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 2,54                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 2,37                                  |
|                  | KPL                  | 278,03                | 0,196                           | 3,31                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 2,98                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 2,81                                  |



Şekil 5.3. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 250 °C,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.4. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 250 °C,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.3'te 450 °C sıcaklıkta tornalama parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 5.5'e bakıldığında Ti6Al4V titanyum alaşımının 450 °C sıcaklıkta tornalama işleminde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı sırasıyla KSZ ve KPL kesici takımlar takip etmiştir. KİG kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızı 0,79 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 1,50 µm olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KİG kesici takım KSZ kesici takımdan % 20,2, KPL kesici takımdan ise %43 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

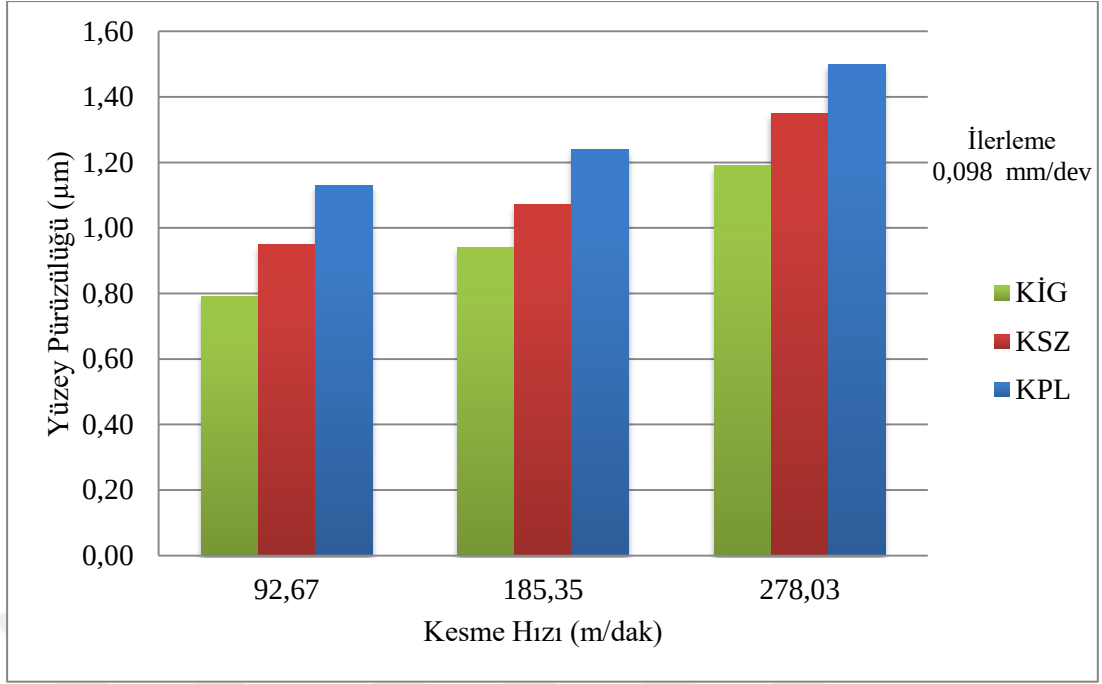
Şekil 5.6'ya bakıldığında ise ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ( $f_r=0,196$  mm/dev) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı sırasıyla KSZ ve KPL kesici takımlar takip etmiştir. KİG kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızı 1,65 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 2,25 µm olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KİG kesici takım KSZ kesici takımdan %16,9, KPL kesici takımdan ise %36,3 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. 92,67 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev'den 0,196 mm/dev'e çıkartıldığında KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %108,8, KSZ kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %103,1 ve KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %99,1 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarındaki artış önemli bir etkidir.

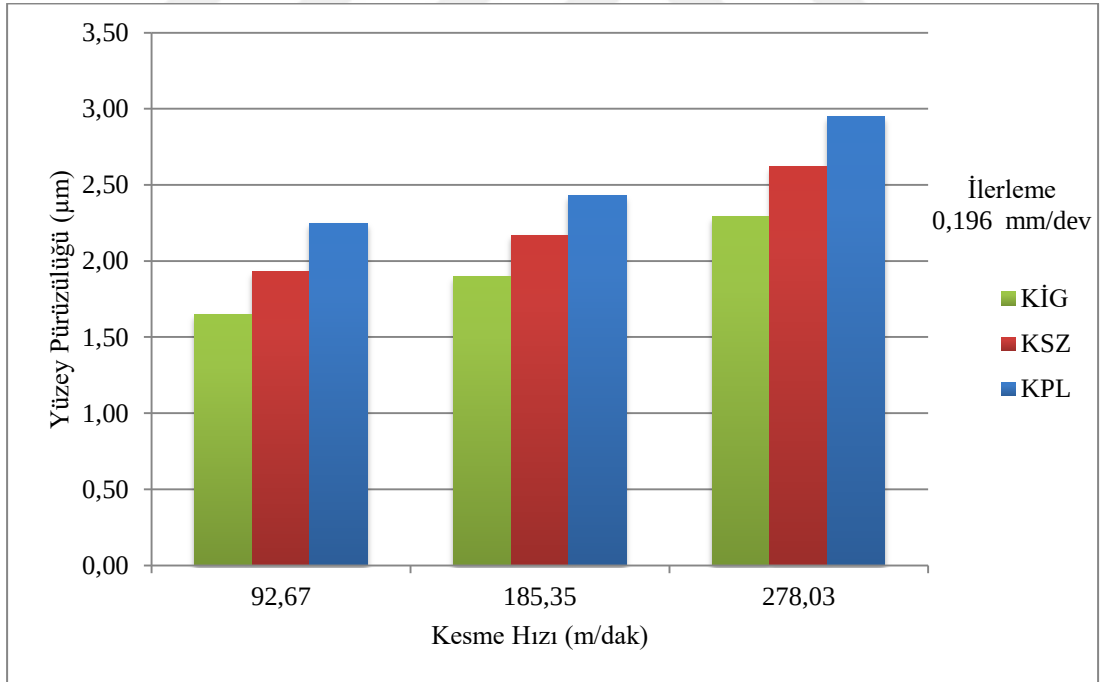
450 °C sıcaklıkta tornalama işlemi için tüm durumlar incelendiğinde, kesme hızının ve ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır.

Çizelge 5.3. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının 450 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık<br>(°C) | Kesici Takım<br>Türü | Kesme Hızı<br>(m/dak) | İlerleme<br>Miktarı<br>(mm/dev) | Ortalama Yüzey<br>Pürüzlülüğü<br>(μm) |
|------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 450              | KPL                  | 92,67                 | 0,098                           | 1,13                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 0,95                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 0,79                                  |
|                  | KPL                  | 185,35                | 0,098                           | 1,24                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,07                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 0,94                                  |
|                  | KPL                  | 278,03                | 0,098                           | 1,50                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,35                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,19                                  |
|                  | KPL                  | 92,67                 | 0,196                           | 2,25                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,93                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,65                                  |
|                  | KPL                  | 185,35                | 0,196                           | 2,43                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 2,17                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,90                                  |
|                  | KPL                  | 278,03                | 0,196                           | 2,95                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 2,62                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 2,29                                  |



Şekil 5.5. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 450 °C,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.6. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 450 °C,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.4'te 650 °C sıcaklıkta tornalama parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.7'ye bakıldığında Ti6Al4V titanyum alaşımının 650 °C sıcaklıkta tornalama işleminde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı sırasıyla KSZ ve KPL kesici takımlar takip etmiştir. KİG kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızı 1,35 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 2,15 µm olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KİG kesici takım KSZ kesici takımdan % 16,3, KPL kesici takımdan ise % 22,2 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

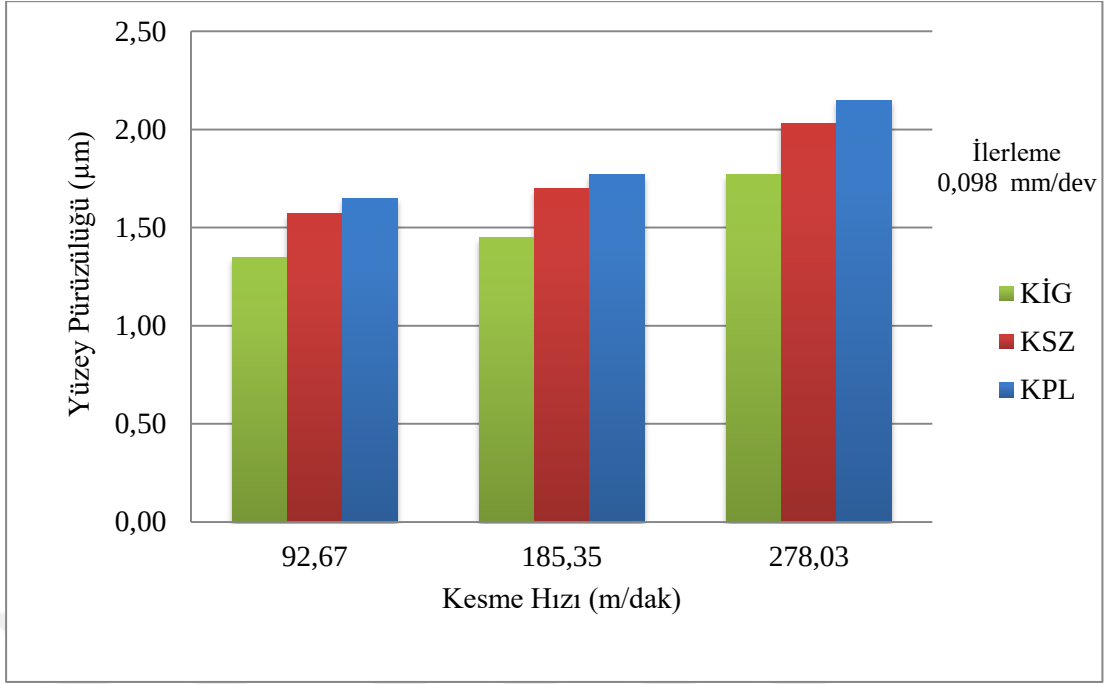
Şekil 5.8'e bakıldığında ise ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ( $f_r=0,196$  mm/dev) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı sırasıyla KSZ ve KPL kesici takımlar takip etmiştir. KİG kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızı 2,71 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 4,35 µm olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KİG kesici takım KSZ kesici takımdan %14,7, KPL kesici takımdan ise %27,6 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. 92,67 m/dak kesme hızında ilerleme miktarı 0,098 mm/dev'den 0,196 mm/dev'e çıkartıldığında KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %100,7, KSZ kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %98 ve KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %109,6 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarında artış önemli bir etkidir.

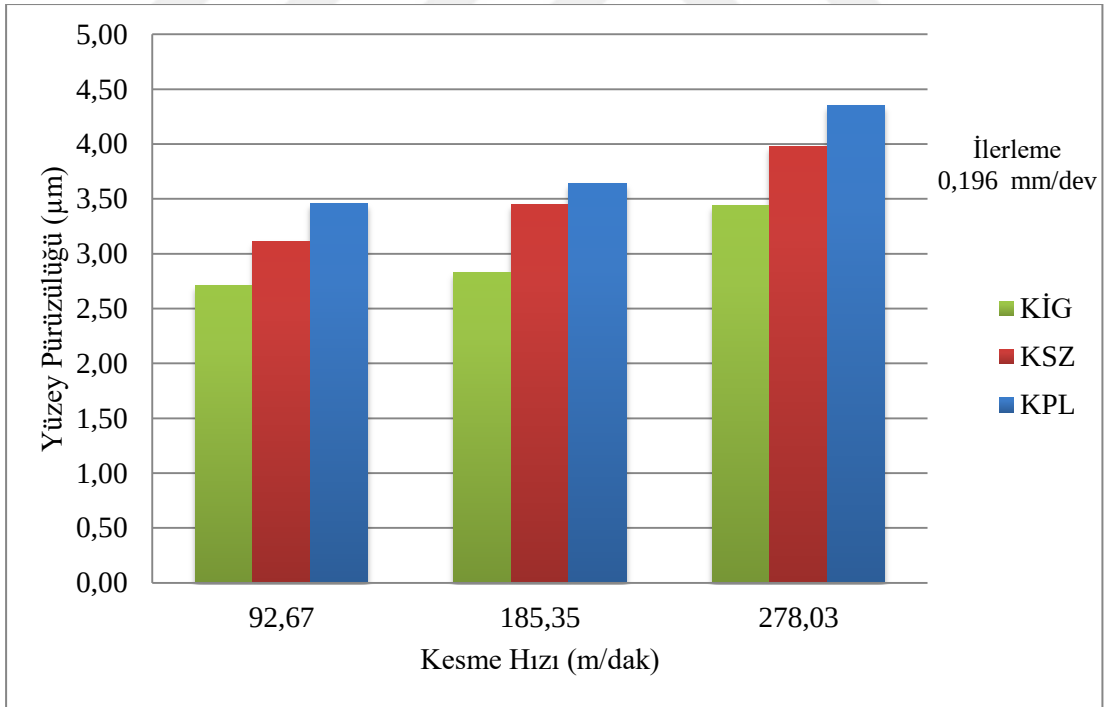
650 °C sıcaklıkta tornalama işlemi için tüm durumlar incelendiğinde, kesme hızının ve ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır.

Çizelge 5.4. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının 650 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık<br>(°C) | Kesici Takım<br>Türü | Kesme Hızı<br>(m/dak) | İlerleme<br>Miktarı<br>(mm/dev) | Ortalama Yüzey<br>Pürüzlülüğü<br>(µm) |
|------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 650              | KPL                  | 92,67                 | 0,098                           | 1,65                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,57                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,35                                  |
|                  | KPL                  | 185,35                | 0,098                           | 1,77                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 1,70                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,45                                  |
|                  | KPL                  | 278,03                | 0,098                           | 2,15                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 2,03                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 1,77                                  |
|                  | KPL                  | 92,67                 | 0,196                           | 3,46                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 3,11                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 2,71                                  |
|                  | KPL                  | 185,35                | 0,196                           | 3,64                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 3,45                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 2,83                                  |
|                  | KPL                  | 278,03                | 0,196                           | 4,35                                  |
|                  | KSZ                  |                       |                                 | 3,98                                  |
|                  | KİG                  |                       |                                 | 3,44                                  |



Şekil 5.7. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 650 °C,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.8. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 650 °C,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Kesici takım türleri üzerinde yapılan çalışma neticesinde en iyi yüze pürüzlülüğü KİG kesici takım ile elde edilmiştir. KİG kesici takımı takiben KSZ kesici takım ve KPL kesici takım gelmektedir. Yapılan literatür araştırmaları da bu sonucu doğrulamaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün en iyi KİG kesici takım ile elde edilme sebebi olarak sertleşen takım yapısındaki aşınma direnci olmaktadır. Ayrıca kriyojenik işlem sonrası kesici takım mikro yapısının küçük taneli olması bu direnci arttırmaktadır. Bu direnç sayesinde kesici takım geç aşınmakta ve aşınmayan takım daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmesini sağlamaktadır. KSZ kesici takım ise KİG kesici takım kadar sertliğe sahip olmadığı için ikinci derecede iyi sonuçlar vermektedir. KPL kesici takımın kaplama malzemesi (Ti, Al)N+TiN olması, Ti6Al4V titanyum alaşımlı malzeme ile yüksek sıcaklıklarda kimyasal bileşik oluşturmamasından ve aşırı ısınma neticesinde kaplamanın hızlı şekilde kopmasından kaynaklanmaktadır.

#### 5.1.1.2. Sıcaklığın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Çizelge 5.5-5.7’de, farklı kesici takımlar ile yapılan tornalama işleminde kullanılan deney kesme parametreleri ve bu deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ayrıca bu değerler Şekil 5.9-5.14’te grafiksel ifadeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 5.5’te KİG kesici takım ve işleme parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.9 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KİG kesici takım ile işlemede sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olurken, 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 92,67 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,12  $\mu\text{m}$ ’den 1,03  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 0,79  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. 650 °C’de ise 1,35  $\mu\text{m}$ ’ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %8, 450 °C’de ise %29,4 azalma görüşmüştür. 650 °C’de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %20,5 artış görüşmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 185,35 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,24  $\mu\text{m}$ ’den 1,12  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 0,94  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. 650 °C’de ise 1,45  $\mu\text{m}$ ’ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %9,6 450 °C’de ise %24,1 azalma görüşmüştür. 650 °C’de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %16,9 artış görüşmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 278,03 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,41 µm’den 1,35 µm’ye, 450 °C’de 1,19 µm’ye kadar düşmüştür. 650 °C’de ise 1,77 µm’ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %4, 450 °C’de ise %15,6 azalma görüşmüştür. 650 °C’de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %25,5 artış görüşmüştür.

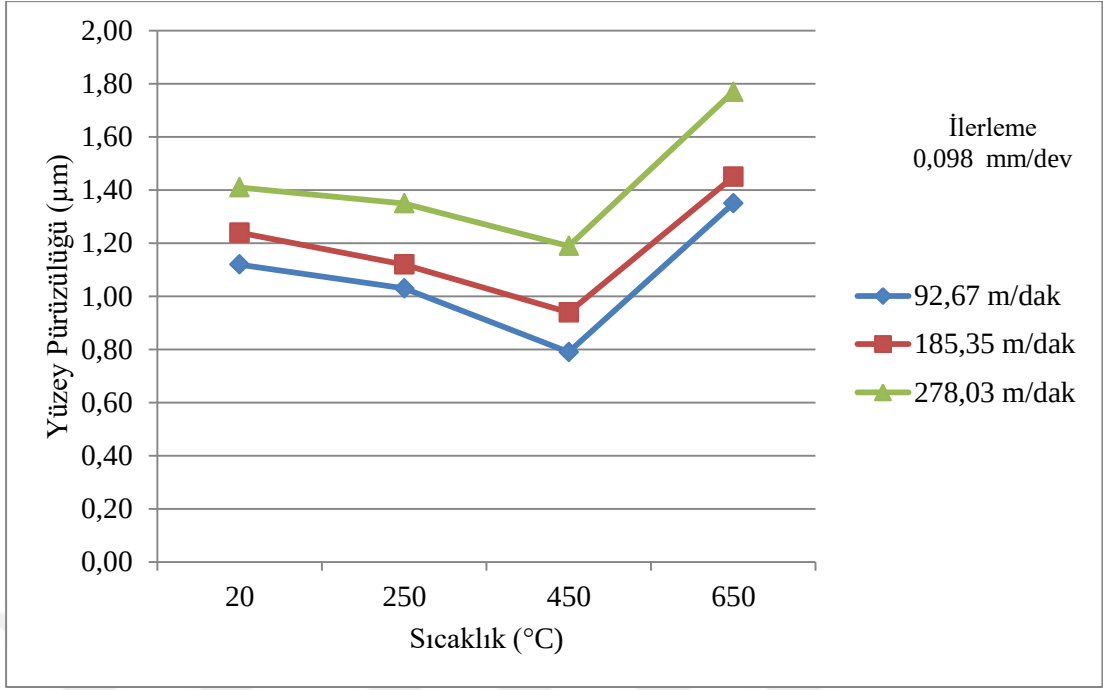
Veriler incelendiğinde düşük ilerleme oranında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KİG kesici takım için en optimum işleme şartlarının 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızı olarak elde edilmiştir. Bu işleme sonucunda yüzey pürüzlülüğü 0,79 µm olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü ise 650 °C sıcaklık ve 278,03 m/dak kesme hızı ile 1,77 µm olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.10 incelendiğinde yüksek ilerleme miktarında ( $f_q=0,196$  mm/dev) KİG kesici takım sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olurken 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülür. Yüksek ilerleme miktarında da düşük ilerleme miktarında olduğu gibi 450 °C yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi değerlerin elde edildiği sıcaklıktır. Kesme hızının 92,67 m/dak olması yüzey pürüzlülüğünün en iyi olduğu değer olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızında ve 1,65 µm olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü değeri ise 650 °C sıcaklık ve 278,03 m/dak kesme hızında 3,44 µm olarak bulunmuştur.

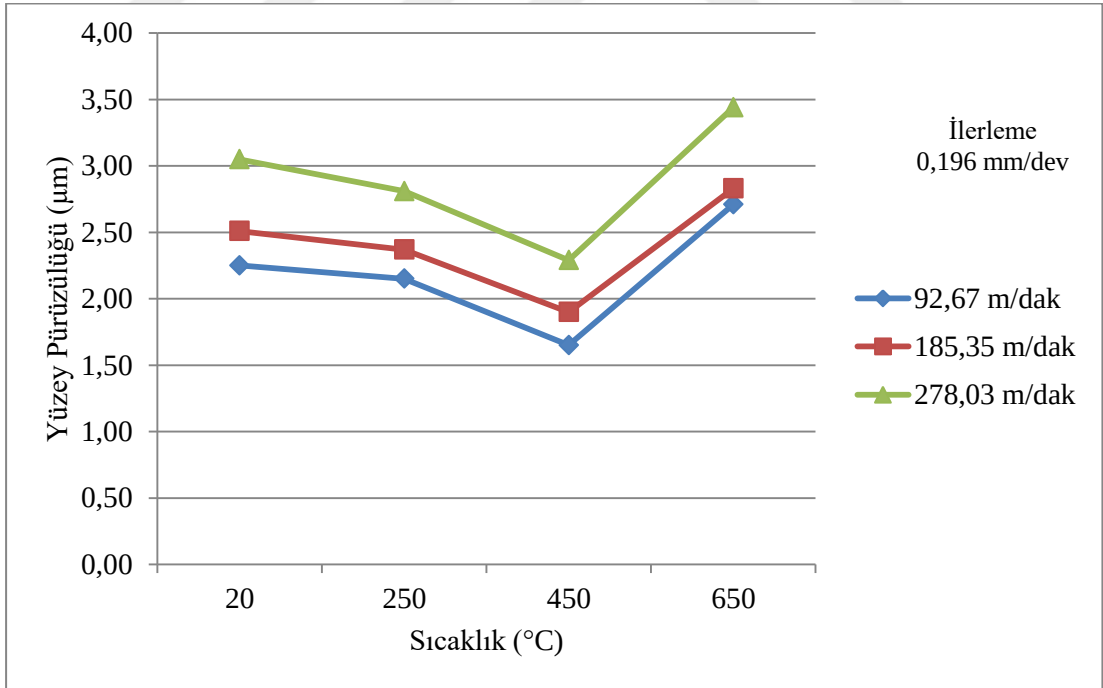
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev’den 0,196 mm/dev’e çıkartıldığında KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %108,8 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarındaki artış önemli bir etkindir.

Çizelge 5.5. Ti6Al4V titanyum alaşımının KİG kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü       | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 2 0           | Kriyojenik İşlem Görmüş | 92,67              | 0,098                     | 1,12                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,25                            |
|               |                         | 185,35             | 0,098                     | 1,24                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,51                            |
|               |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,41                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 3,05                            |
| 2 5 0         |                         | 92,67              | 0,098                     | 1,03                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,15                            |
|               |                         | 185,35             | 0,098                     | 1,12                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,37                            |
|               |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,35                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,81                            |
| 4 5 0         |                         | 92,67              | 0,098                     | 0,79                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 1,65                            |
|               |                         | 185,35             | 0,098                     | 0,94                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 1,90                            |
|               |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,19                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,29                            |
| 6 5 0         |                         | 92,67              | 0,098                     | 1,35                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,71                            |
|               |                         | 185,35             | 0,098                     | 1,45                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,83                            |
|               |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,77                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 3,44                            |



Şekil 5.9. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KİG,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.10. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KİG,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.6'da KSZ kesicici takım ve işleme parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.11 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KSZ kesici takım ile işlemede sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olurken 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 92,67 m/dak kesme hızında 250 °C'de yüzey pürüzlülüğü 1,26  $\mu\text{m}$ 'den 1,12  $\mu\text{m}$ 'ye, 450 °C'de 0,95  $\mu\text{m}$ 'ye kadar düşmüştür. 650 °C'de ise 1,57  $\mu\text{m}$ 'ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C'de %11,1, 450 °C'de ise %24,6 azalma görüşmüştür. 650 °C'de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %24,6 artış görüşmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 185,35 m/dak kesme hızında 250 °C'de yüzey pürüzlülüğü 1,34  $\mu\text{m}$ 'den 1,24  $\mu\text{m}$ 'ye, 450 °C'de 1,07  $\mu\text{m}$ 'ye kadar düşmüştür. 650 °C'de ise 1,70  $\mu\text{m}$ 'ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C'de %7,4 450 °C'de ise %20,1 azalma görüşmüştür. 650 °C'de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %26,8 artış görüşmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 278,03 m/dak kesme hızında 250 °C'de yüzey pürüzlülüğü 1,61  $\mu\text{m}$ 'den 1,47  $\mu\text{m}$ 'ye, 450 °C'de 1,35  $\mu\text{m}$ 'ye kadar düşmüştür. 650 °C'de ise 2,03  $\mu\text{m}$ 'ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C'de %8,6, 450 °C'de ise %16,1 azalma görüşmüştür. 650 °C'de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %26 artış görüşmüştür.

Veriler incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KSZ kesici takım için en optimum işleme şartlarının 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızı olarak elde edilmiştir. Bu işleme sonucunda yüzey pürüzlülüğü 0,95  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü ise 650 °C sıcaklık ve 278,03 m/dak kesme hızı ile 2,03  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.12 incelendiğinde yüksek ilerleme miktarında ( $f_q=0,196$  mm/dev) KSZ kesici takımında sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olurken 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülür. Yüksek ilerleme miktarında da düşük ilerleme miktarında olduğu gibi 450 °C yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi değerlerin elde edildiği sıcaklıktır. Kesme hızının 92,67 m/dak olması

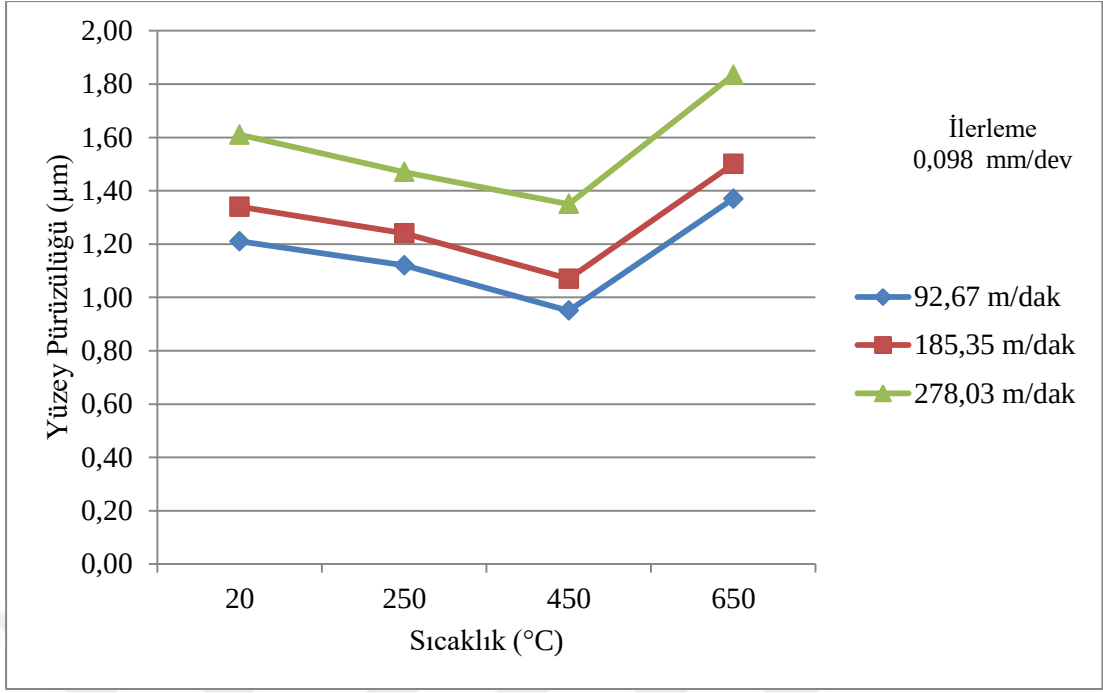
yüzey pürüzlülüğünün en iyi olduğu değer olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değeri ve 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızında 1,93 µm olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü değeri ise ve 650 °C sıcaklık ve 278,03 m/dak kesme hızında 3,98 µm olarak bulunmuştur.

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızında ilerleme miktarı 0,098 mm/dev'den 0,196 mm/dev'e çıkartıldığında KSZ kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %103,1 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarındaki artış önemli bir etkidir.

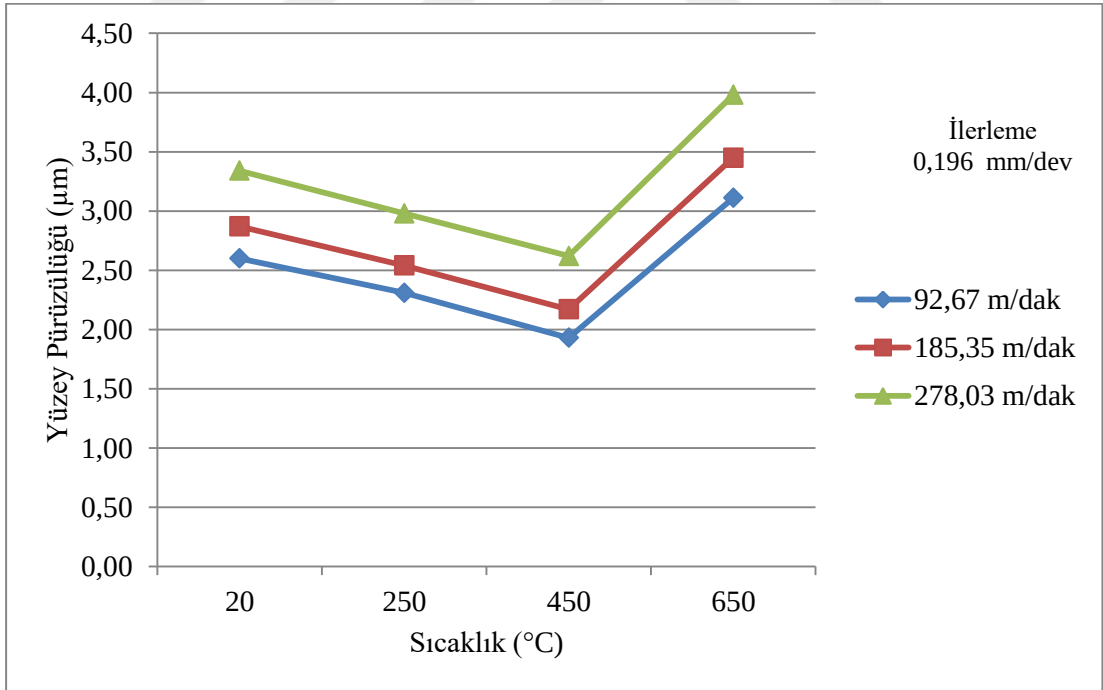


Çizelge 5.6. Ti6Al4V titanyum alaşımının KSZ kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 2 0           | Kaplamasız        | 92,67              | 0,098                     | 1,26                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,60                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,34                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,87                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,61                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,34                            |
| 2 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,12                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,31                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,24                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,54                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,47                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,98                            |
| 4 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 0,95                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 1,93                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,07                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,17                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,35                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,62                            |
| 6 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,57                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,11                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,70                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,45                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 2,03                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,98                            |



Şekil 5.11. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KSZ,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.12. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KSZ,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.7’de KPL kesicici takım ve işleme parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.13 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KPL kesici takım ile işlemede sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olurken 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 92,67 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,34  $\mu\text{m}$ ’den 1,25  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 1,13  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. 650 °C’de ise 1,65  $\mu\text{m}$ ’ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %6,7, 450 °C’de ise %15,6 azalma görüşmüştür. 650 °C’de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %23,1 artış görüşmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 185,35 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,41  $\mu\text{m}$ ’den 1,34  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 1,24  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. 650 °C’de ise 1,77  $\mu\text{m}$ ’ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %4,9, 450 °C’de ise %12 azalma görüşmüştür. 650 °C’de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %25,5 artış görüşmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 278,03 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,73  $\mu\text{m}$ ’den 1,59  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 1,50  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. 650 °C’de ise 2,15  $\mu\text{m}$ ’ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de % 8, 450 °C’de ise %13,2 azalma görüşmüştür. 650 °C’de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %24,7 artış görüşmüştür.

Veriler incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KPL kesici takım için en optimum işleme şartlarının 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızı olarak elde edilmiştir. Bu işleme sonucunda yüzey pürüzlülüğü 1,13  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü ise 650 °C sıcaklık ve 278,03 m/dak kesme hızı ile 2,15  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.14 incelendiğinde yüksek ilerleme oranında ( $f_q=0,196$  mm/dev) KPL kesici takımında sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olurken 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülür. Yüksek ilerleme miktarında da düşük ilerleme miktarında olduğu gibi 450 °C yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi değerlerin elde edildiği sıcaklıktır. Kesme hızının 92,67 m/dak olması

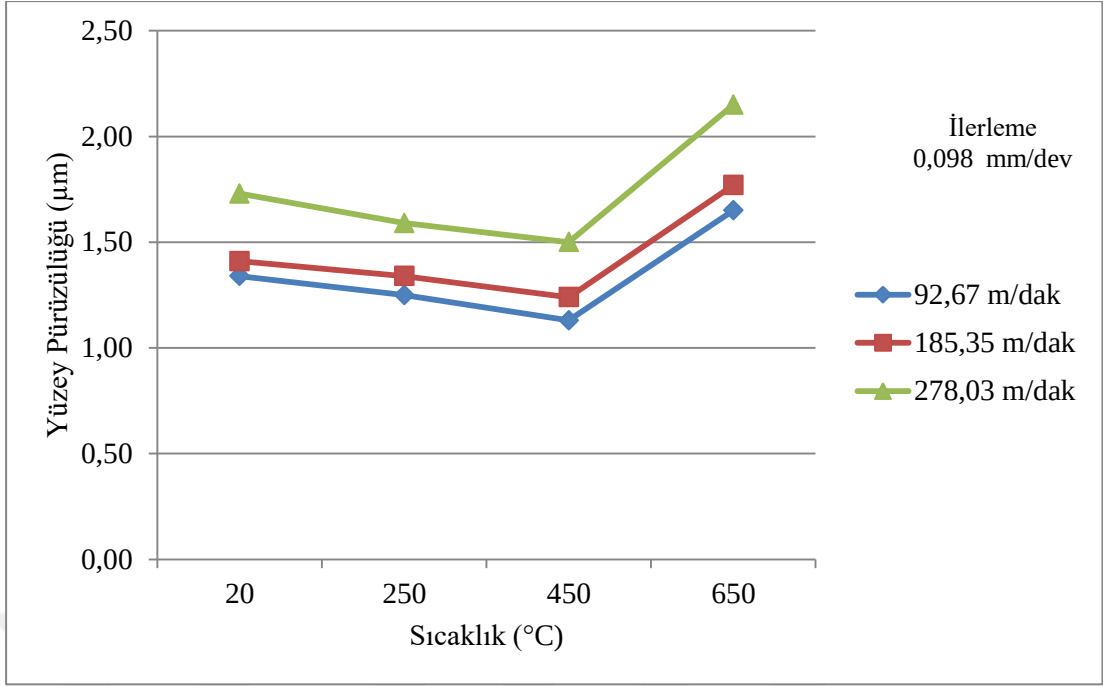
yüzey pürüzlülüğünün en iyi olduğu değer olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızında 2,25 µm olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü değeri ise 650 °C sıcaklık ve 278,03 m/dak kesme hızında 4,35 µm olarak bulunmuştur.

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği 450 °C sıcaklık ve 92,67 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev'den 0,196 mm/dev'e çıkartıldığında KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %99,1 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarında artış önemli bir etkidir.

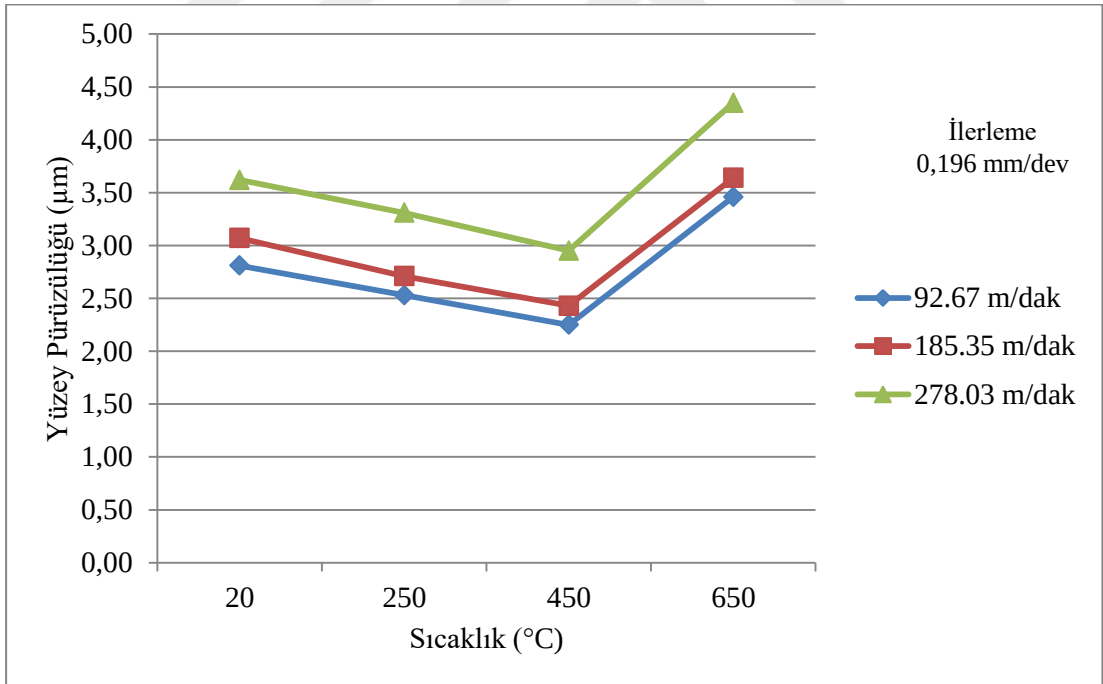
Tüm sıcaklık değerleri incelendiğinde, tüm takım türleri için sıcaklığın artması yüzey pürüzlülüğünün düşmesini sağlamıştır. Ancak 650 °C sıcaklığa çıkıldığında yüzey pürüzlülük değerinde artış gözlenmiştir. Yapılan literatür araştırması da bu sonucu doğrulamaktadır. Ti6Al4V titanyum alaşım malzemenin kesme işlemi için 250 °C, 20 °C'ye göre iyi yüzey pürüzlülüğü sonuçları vermektedir. En iyi işleme sıcaklığı ise 450 °C olarak bulunmuştur. 450 °C sıcaklıkta malzemenin sertlik direnci ortadan kaybolarak işlenmeyi kolay hale getirmiştir. 650 °C'ye çıkıldığında malzeme aşırı derecede sünek hale geldiği için kesme işleminde talaşın kesilip atılması ortadan kalkmış, bu durum yerine kesici takım iş parçası üzerinden talaş koparmıştır. Bu koparma neticesinde takım üzerine aşırı derecede talaş yapışması olmuş ve bu nedenle yüzey pürüzlülüğü yüksek değerde eldi edilmiştir.

Çizelge 5.7. Ti6Al4V titanyum alaşımının KPL kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 2 0           | Kaplamaalı        | 92,67              | 0,098                     | 1,34                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,81                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,41                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,07                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,73                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,62                            |
| 2 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,25                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,53                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,34                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,71                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,59                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,31                            |
| 4 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,13                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,25                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,24                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,43                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,50                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,95                            |
| 6 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,65                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,46                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,77                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,64                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 2,15                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 4,35                            |



Şekil 5.13. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KPL,  $F_f$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.14. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KPL,  $F_f$ : 0,196 mm/dev).

#### 5.1.1.3. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Çizelge 5.8-5.10'da, farklı kesici takımlar ile yapılan tornalama işleminde kullanılan deney kesme parametreleri ve bu deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ayrıca bu değerler Şekil 5.15-5.20'de grafiksel ifadeler halinde sunulmuştur.

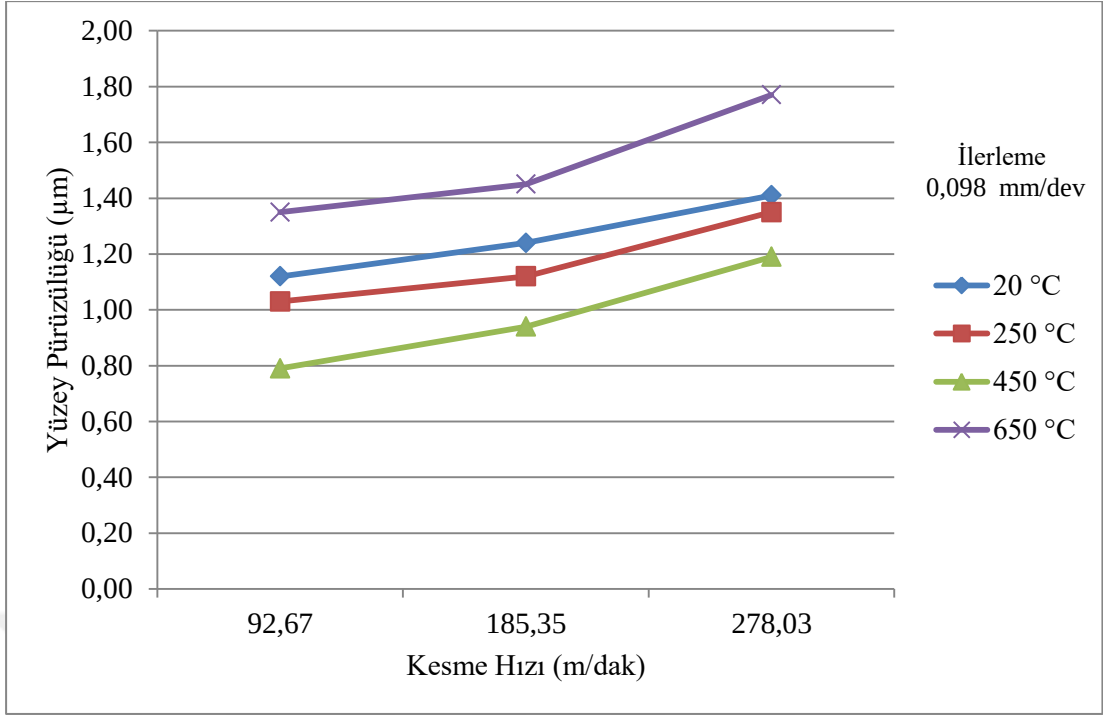
Çizelge 5.8'de KİG kesicici takım ve tornalamama parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.15 incelendiğinde KİG kesici takımında düşük ilerleme hızında ( $f_r=0,098$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de pürüzlülük değeri 92,67 m/dak kesme hızı ile  $0,79\text{ }\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 185,35 m/dak kesme hızında  $0,94\text{ }\mu\text{m}$  ve 278,03 m/dak kesme hızında ise  $1,19\text{ }\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak'dan 185,35 m/dak'ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %18,9 oranında artmıştır. 92,67 m/dak'dan 278,03 m/dak'ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %50,6 oranında artmıştır.

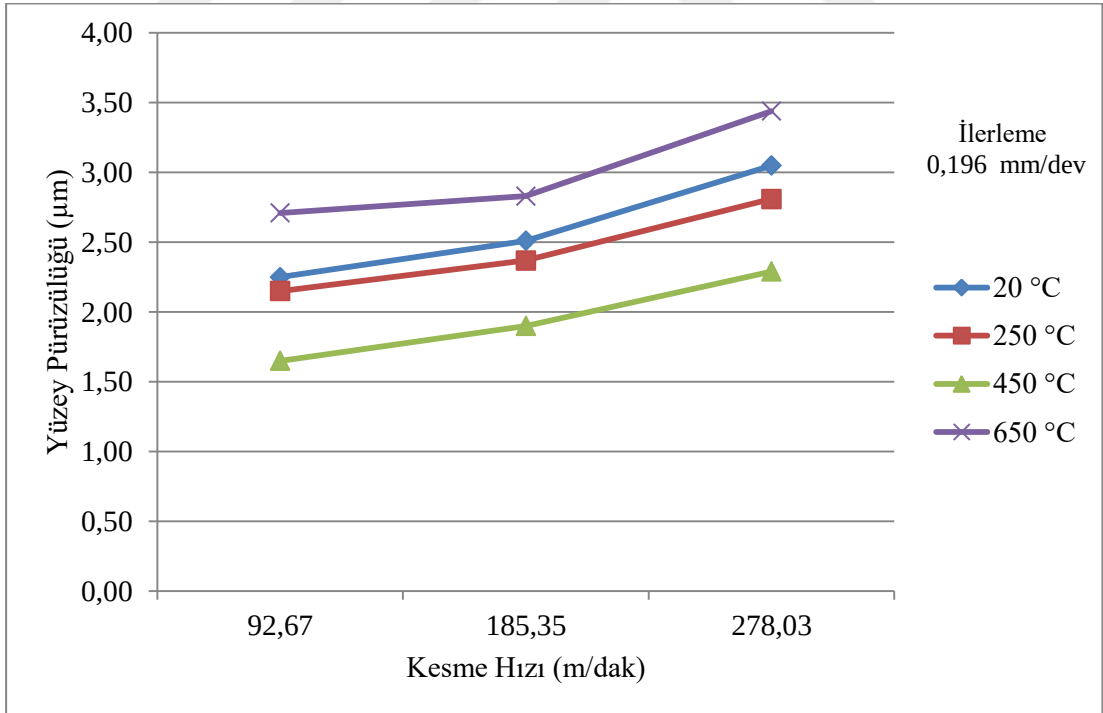
Şekil 5.16 incelendiğinde ise KİG kesici takımında yüksek ilerleme hızında ( $f_r=0,196$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün yine arttığı görülmektedir. . En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de pürüzlülük değeri 92,67 m/dak kesme hızı ile  $1,65\text{ }\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 185,35 m/dak kesme hızında  $1,90\text{ }\mu\text{m}$  ve 278,03 m/dak kesme hızında ise  $2,29\text{ }\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak'dan 185,35 m/dak'ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %15,1 oranında artmıştır. 92,67 m/dak'dan 278,03 m/dak'ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %38,7 oranında artmıştır.

Çizelge 5.8. Ti6Al4V titanyum alaşımının KİG kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü       | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm) |
|---------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20            | Kriyojenik İşlem Görmüş | 92,67              | 0,098                     | 1,12                            |
| 250           |                         |                    |                           | 1,03                            |
| 450           |                         |                    |                           | 0,79                            |
| 650           |                         |                    |                           | 1,35                            |
| 20            |                         |                    | 0,196                     | 2,25                            |
| 250           |                         |                    |                           | 2,15                            |
| 450           |                         |                    |                           | 1,65                            |
| 650           |                         |                    |                           | 2,71                            |
| 20            |                         | 185,35             | 0,098                     | 1,24                            |
| 250           |                         |                    |                           | 1,12                            |
| 450           |                         |                    |                           | 0,94                            |
| 650           |                         |                    |                           | 1,45                            |
| 20            |                         |                    | 0,196                     | 2,51                            |
| 250           |                         |                    |                           | 2,37                            |
| 450           |                         |                    |                           | 1,90                            |
| 650           |                         |                    |                           | 2,83                            |
| 20            |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,41                            |
| 250           |                         |                    |                           | 1,35                            |
| 450           |                         |                    |                           | 1,19                            |
| 650           |                         |                    |                           | 1,77                            |
| 20            |                         |                    | 0,196                     | 3,05                            |
| 250           |                         |                    |                           | 2,81                            |
| 450           |                         |                    |                           | 2,29                            |
| 650           |                         |                    |                           | 3,44                            |



Şekil 5.15. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KİG,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.16. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KİG,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

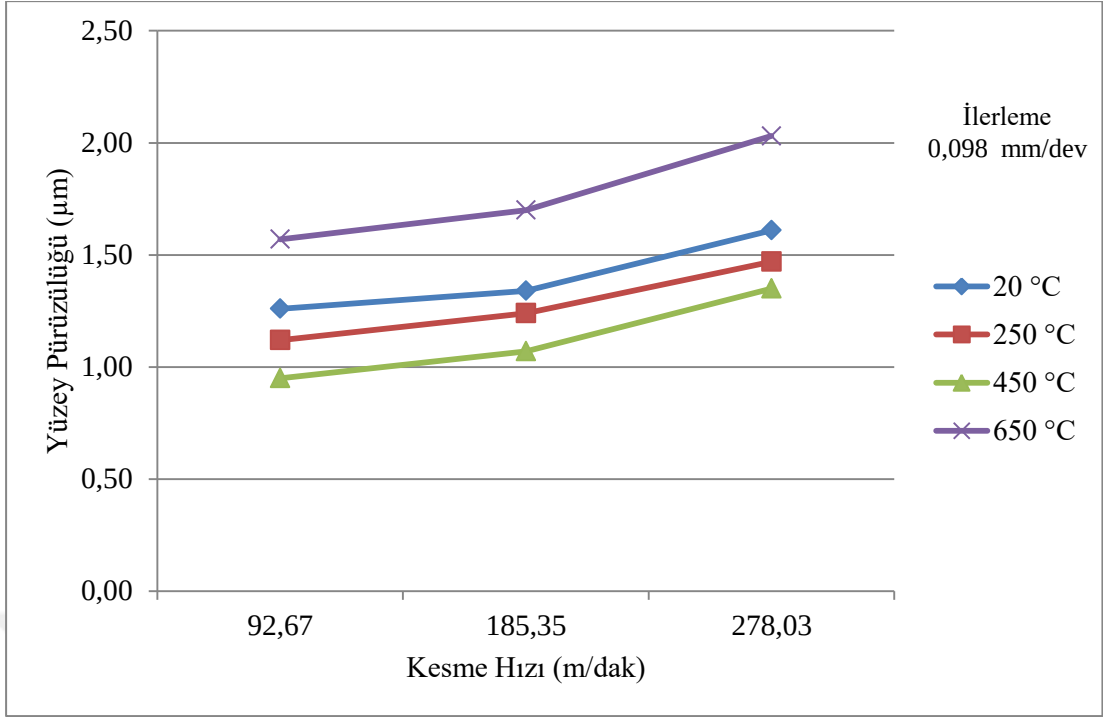
Çizelge 5.9’da KSZ kesicici takım ve tornalama parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 5.17 incelendiğinde KSZ kesici takımında düşük ilerleme hızında ( $f_r=0,098$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de pürüzlülük değeri 92,67 m/dak kesme hızı ile  $0,95\text{ }\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 185,35 m/dak kesme hızında  $1,07\text{ }\mu\text{m}$  ve 278,03 m/dak kesme hızında ise  $1,35\text{ }\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak’dan 185,35 m/dak’ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %12,6 oranında artmıştır. 92,67 m/dak’dan 278,03 m/dak’ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %42,1 oranında artmıştır.

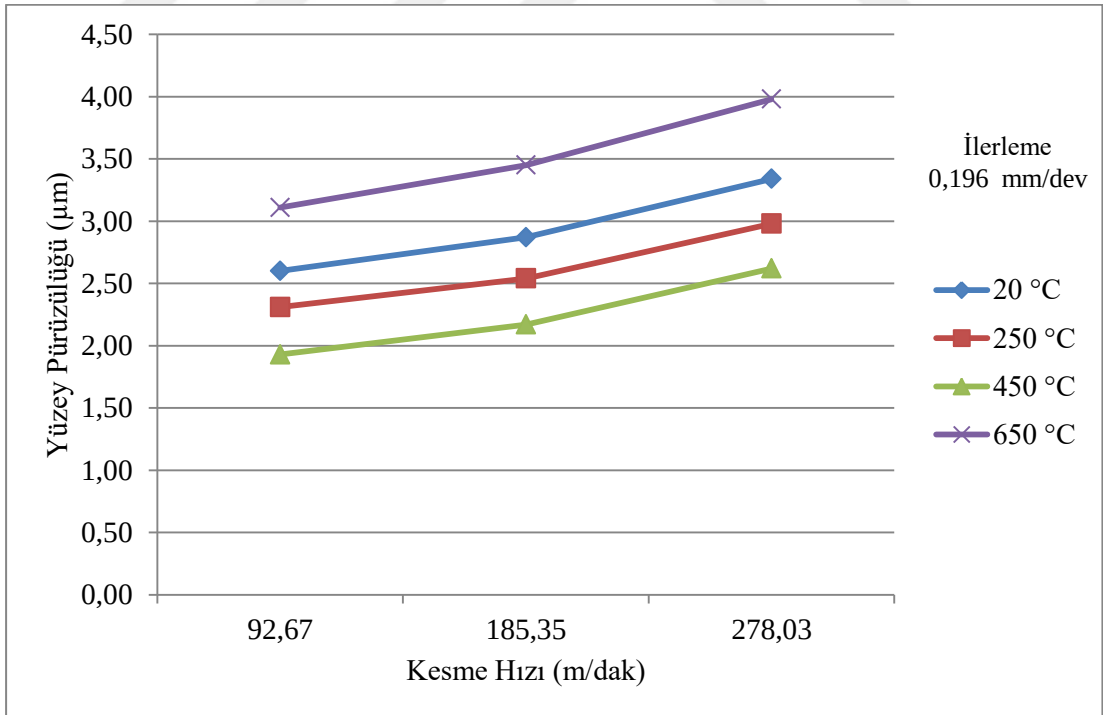
Şekil 5.18 incelendiğinde ise KSZ kesici takımında yüksek ilerleme hızında ( $f_r=0,196$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün yine arttığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de pürüzlülük değeri 92,67 m/dak kesme hızı ile  $1,93\text{ }\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 185,35 m/dak kesme hızında  $2,17\text{ }\mu\text{m}$  ve 278,03 m/dak kesme hızında ise  $2,62\text{ }\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak’dan 185,35 m/dak’ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %12,4 oranında artmıştır. 92,67 m/dak’dan 278,03 m/dak’ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %35,7 oranında artmıştır.

Çizelge 5.9. Ti6Al4V titanyum alaşıminın KSZ kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20            | Kaplamasız        | 92,67              | 0,098                     | 1,26                            |
| 250           |                   |                    |                           | 1,12                            |
| 450           |                   |                    |                           | 0,95                            |
| 650           |                   |                    |                           | 1,57                            |
| 20            |                   |                    | 0,196                     | 2,60                            |
| 250           |                   |                    |                           | 2,31                            |
| 450           |                   |                    |                           | 1,93                            |
| 650           |                   |                    |                           | 3,11                            |
| 20            |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,34                            |
| 250           |                   |                    |                           | 1,24                            |
| 450           |                   |                    |                           | 1,07                            |
| 650           |                   |                    |                           | 1,70                            |
| 20            |                   |                    | 0,196                     | 2,87                            |
| 250           |                   |                    |                           | 2,54                            |
| 450           |                   |                    |                           | 2,17                            |
| 650           |                   |                    |                           | 3,45                            |
| 20            |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,61                            |
| 250           |                   |                    |                           | 1,47                            |
| 450           |                   |                    |                           | 1,35                            |
| 650           |                   |                    |                           | 2,03                            |
| 20            |                   |                    | 0,196                     | 3,34                            |
| 250           |                   |                    |                           | 2,98                            |
| 450           |                   |                    |                           | 2,62                            |
| 650           |                   |                    |                           | 3,98                            |



Şekil 5.17. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KSZ,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.18. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KSZ,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

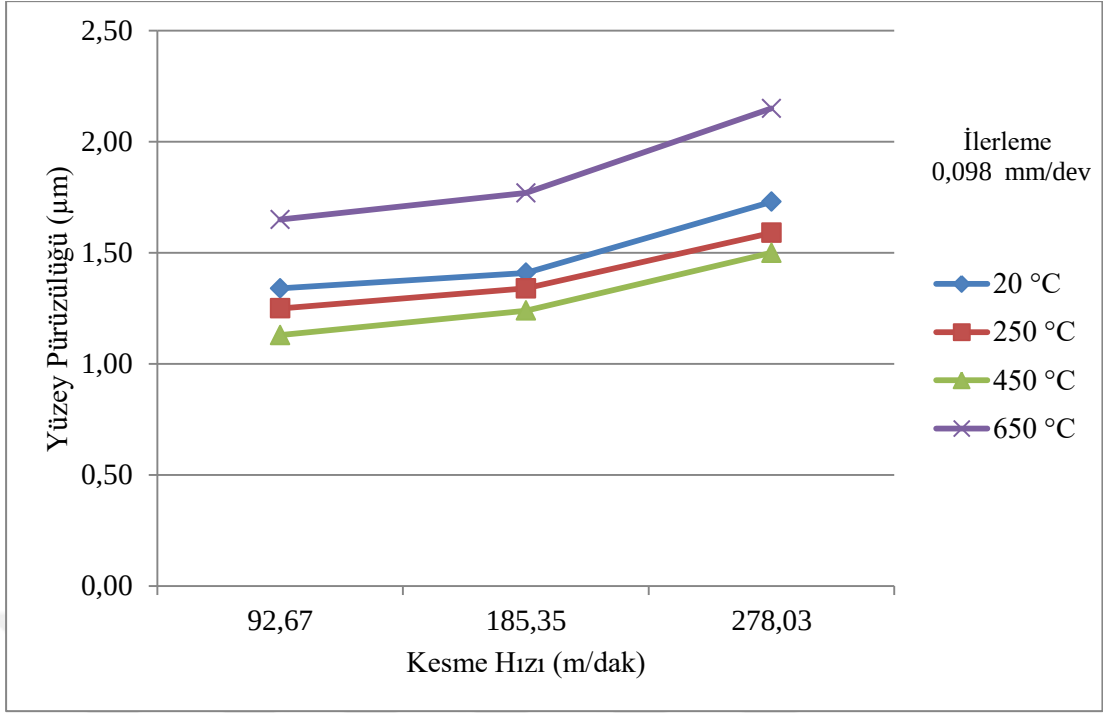
Çizelge 5.10'da KPL kesicici takım ve tornalama parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 5.19 incelendiğinde KPL kesici takımda düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de pürüzlülük değeri 92,67 m/dak kesme hızı ile  $1,13\text{ }\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 185,35 m/dak kesme hızında  $1,24\text{ }\mu\text{m}$  ve 278,03 m/dak kesme hızında ise  $1,50\text{ }\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak'dan 185,35 m/dak'ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %9,7 oranında artmıştır. 92,67 m/dak'dan 278,03 m/dak'ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %32,7 oranında artmıştır.

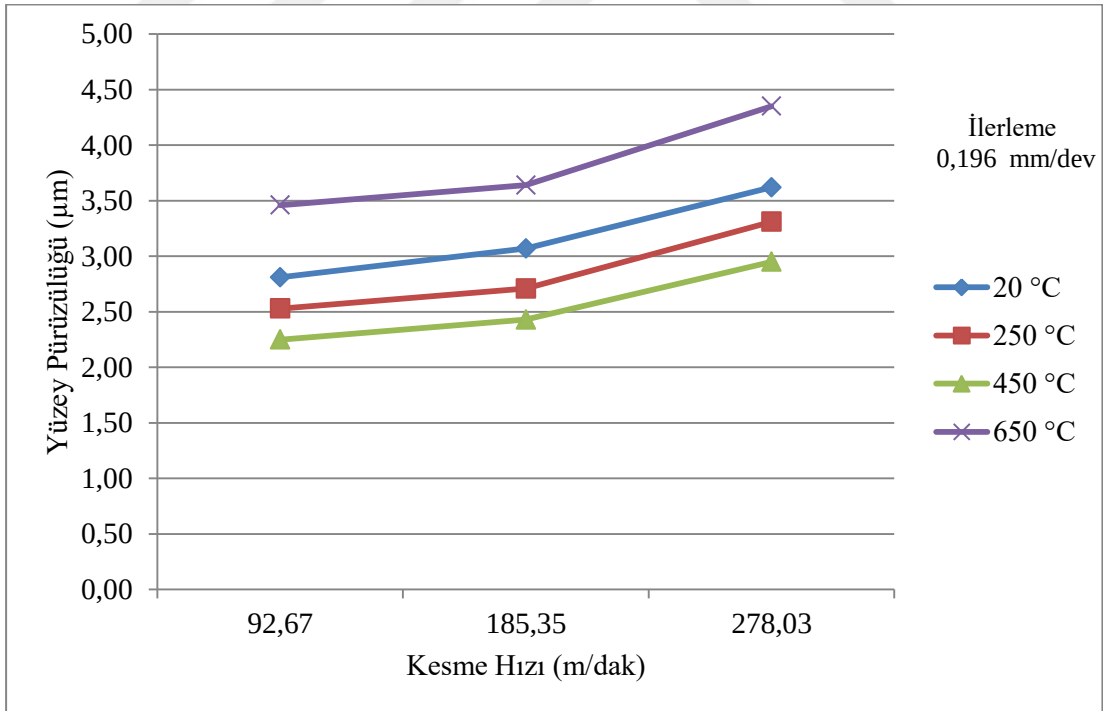
Şekil 5.20 incelendiğinde ise KPL kesici takımda yüksek ilerleme hızında ( $f_r=0,196$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün yine arttığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de pürüzlülük değeri 92,67 m/dak kesme hızı ile  $2,25\text{ }\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 185,35 m/dak kesme hızında  $2,43\text{ }\mu\text{m}$  ve 278,03 m/dak kesme hızında ise  $2,95\text{ }\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak'dan 185,35 m/dak'ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %7,4 oranında artmıştır. 92,67 m/dak'dan 278,03 m/dak'ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %31,1 oranında artmıştır.

Çizelge 5.10. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının KPL kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Takım   | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm) |
|---------------|---------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20            | Kaplama | 92,67              | 0,098                     | 1,34                            |
| 250           |         |                    |                           | 1,25                            |
| 450           |         |                    |                           | 1,13                            |
| 650           |         |                    |                           | 1,65                            |
| 20            |         |                    | 0,196                     | 2,81                            |
| 250           |         |                    |                           | 2,53                            |
| 450           |         |                    |                           | 2,25                            |
| 650           |         |                    |                           | 3,46                            |
| 20            |         | 185,35             | 0,098                     | 1,41                            |
| 250           |         |                    |                           | 1,34                            |
| 450           |         |                    |                           | 1,24                            |
| 650           |         |                    |                           | 1,77                            |
| 20            |         |                    | 0,196                     | 3,07                            |
| 250           |         |                    |                           | 2,71                            |
| 450           |         |                    |                           | 2,43                            |
| 650           |         |                    |                           | 3,64                            |
| 20            |         | 278,03             | 0,098                     | 1,73                            |
| 250           |         |                    |                           | 1,59                            |
| 450           |         |                    |                           | 1,5                             |
| 650           |         |                    |                           | 2,15                            |
| 20            |         |                    | 0,196                     | 3,62                            |
| 250           |         |                    |                           | 3,31                            |
| 450           |         |                    |                           | 2,95                            |
| 650           |         |                    |                           | 4,35                            |



Şekil 5.19. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KPL,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.20. Ti6Al4V titanyum alaşımının ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_t$ : KPL,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Kesme hızına göre yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde, tüm durumlarda düşük ve yüksek ilerleme miktarlarında kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünde

artma görülür. Literatüre bakıldığında özellikle metal malzemelerin tornalanmasında kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmektedir. Ancak Ti6Al4V titanyum alaşımının yüksek hızlarda tornalanması işleminde kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artma meydana gelmektedir [2], [6], [10] - [12]. Bunun nedeni olarak kesme hızının artması ile birlikte sıcaklığın artması, sürekli/testere dişli talaşın oluşması ve bu oluşumun sıcaklığı daha arttırırken takım tezgahında titretimeye de sebep olması, kesici takım mukavemetini yitirirken iş parçasının mukavemetini koruması, yüzey kalitesinin belirli hız değerinden sonra muhtemelen takımdaki aşınmaya bağlı olarak düşmesi ve ayrıca yüzeye yakın bölgelerde mikro yapının bozulması ve sertliğin artması problemlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca yüksek hızlı kesme işleminde malzeme ve kesici takım arasında olan ısı nedeniyle takım üzerinde BUE oluşumları meydana gelmiştir. Bu durum kesici takım ile iş parçası arasında kalan talaşların yüzey pürüzlülüğünün artmasında önemli derecede rol almıştır.

### **5.1.2. AISI 4340 Alaşımlı Çeliğin Deneylerinin İncelenmesi**

#### *5.1.2.1. Kesici Takım Türünün Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*

Çizelge 5.11-5.14'te, farklı kesici takımlar ile yapılan tornalama işleminde kullanılan deney kesme parametreleri ve bu deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ayrıca bu değerler Şekil 5.21-5.27'de grafiksel ifadeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 5.11'de konvansiyonel tornalama parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 5.21'e bakıldığında AISI 4340 alaşımlı çeliğin konvansiyonel tornalama işleminde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımı sırasıyla KİG ve KSZ kesici takımlar takip etmiştir. KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızı 1,25  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KSZ kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızında 2,03  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KPL kesici takım

KİG kesici takımdan %12, KSZ kesici takımdan ise %27,2 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

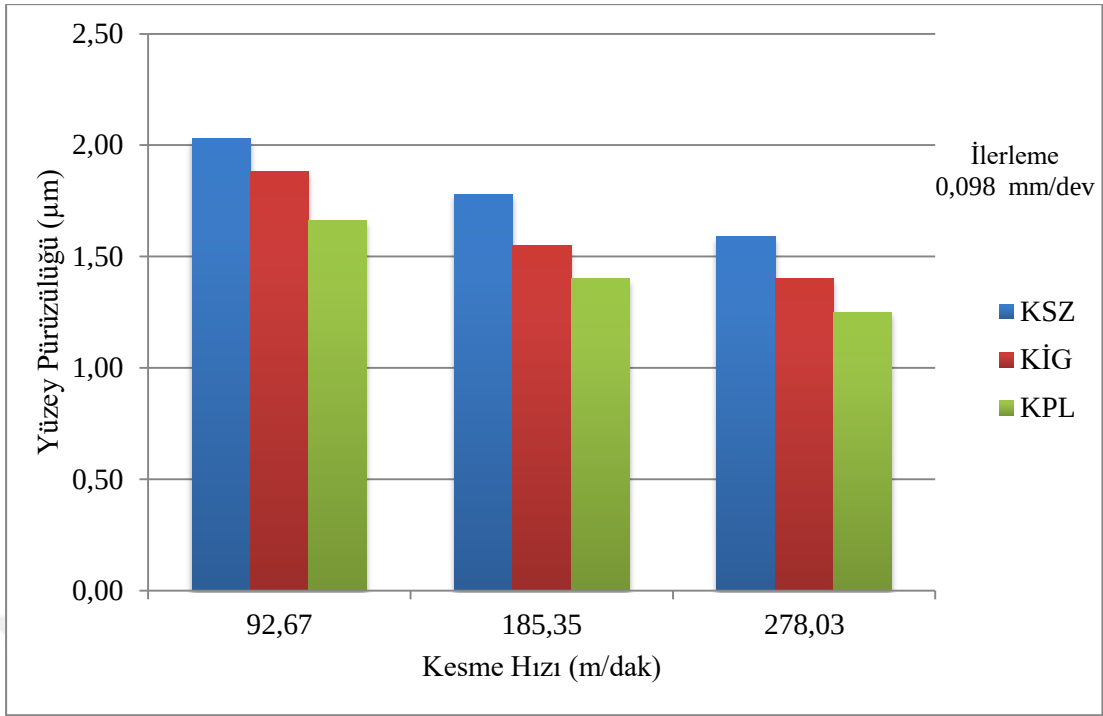
Şekil 5.22'ye bakıldığında ise ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ( $f_r=0,196$  mm/dev) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımı sırasıyla KİG ve KSZ takımlar takip etmiştir. KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızı 2,54  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KSZ kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızında 4,08  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KPL kesici takım KİG takımdan %12,2, KSZ kesici takımdan ise %42,1 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği 278,03 m/dak kesme hızında ilerleme miktarı 0,098 mm/dev'den 0,196 mm/dev'e çıkartıldığında KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %103,2, KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %103,5 ve KSZ takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %108,1 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarında artış önemli bir etkidir.

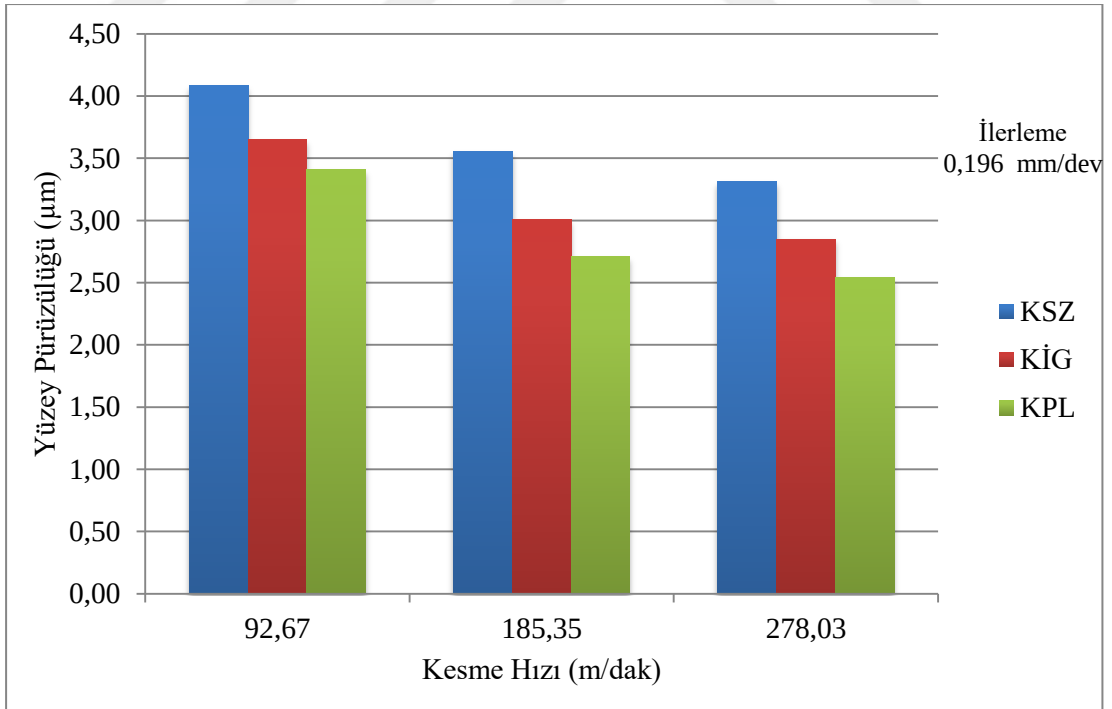
Konvansiyonel kesme işlemi için tüm durumlar incelendiğinde, kesme hızının ve ilerleme miktarının artması yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır.

Çizelge 5.11. AISI 4340 alaşımlı çeliğin 20 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20            | KPL               | 92,67              | 0,098                     | 1,66                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,88                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 2,03                            |
|               | KPL               | 185,35             | 0,098                     | 1,40                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,55                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,78                            |
|               | KPL               | 278,03             | 0,098                     | 1,25                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,40                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,59                            |
|               | KPL               | 92,67              | 0,196                     | 3,41                            |
|               | KİG               |                    |                           | 3,65                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 4,08                            |
|               | KPL               | 185,35             | 0,196                     | 2,71                            |
|               | KİG               |                    |                           | 3,01                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 3,55                            |
|               | KPL               | 278,03             | 0,196                     | 2,54                            |
|               | KİG               |                    |                           | 2,85                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 3,31                            |



Şekil 5.21. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 20 °C,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.22. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 20 °C,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.12’de 250 °C sıcaklıkta tornalama parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

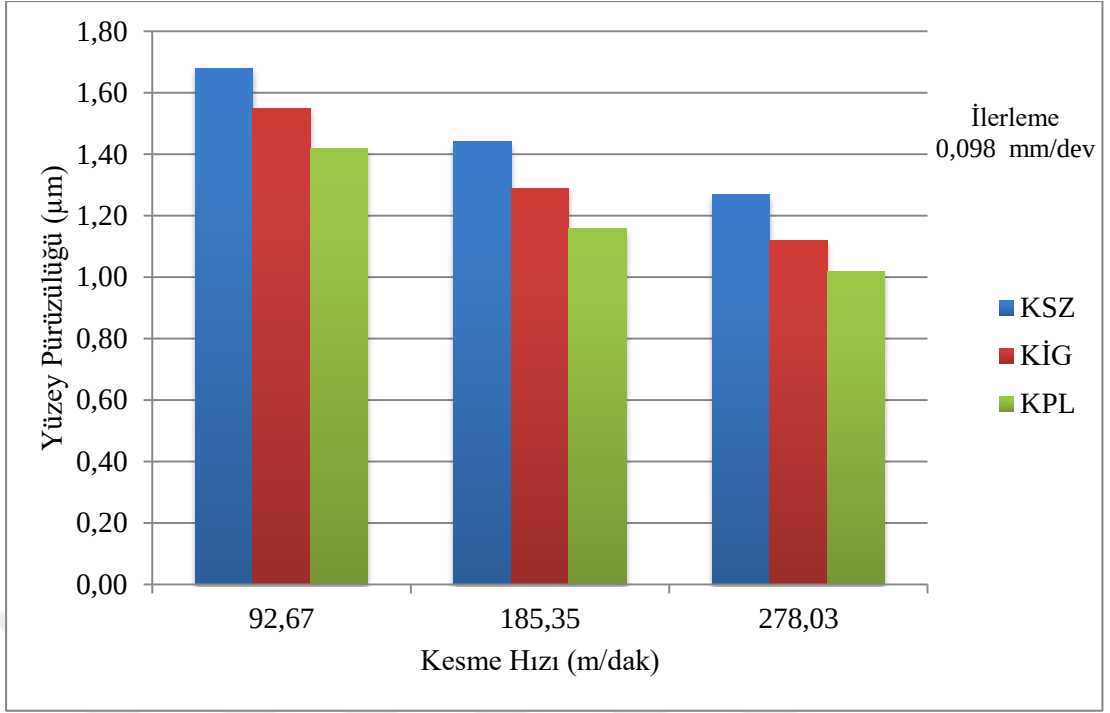
Şekil 5.23’e bakıldığında AISI 4340 alaşımlı çeliğin 250 °C sıcaklıkta tornalama işleminde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımını sırasıyla KİG ve KSZ kesici takımlar takip etmiştir. KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızı 1,02  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KSZ kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızında 1,68  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KPL kesici takım KİG kesici takımdan %9,8, KSZ kesici takımdan ise %24,5 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

Şekil 5.24’e bakıldığında ise ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ( $f_r=0,196$  mm/dev) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımını sırasıyla KİG ve KSZ takımlar takip etmiştir. KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızı 1,95  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KSZ kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızında 3,40  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KPL kesici takım KİG takımdan %14,3, KSZ kesici takımdan ise %32,8 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

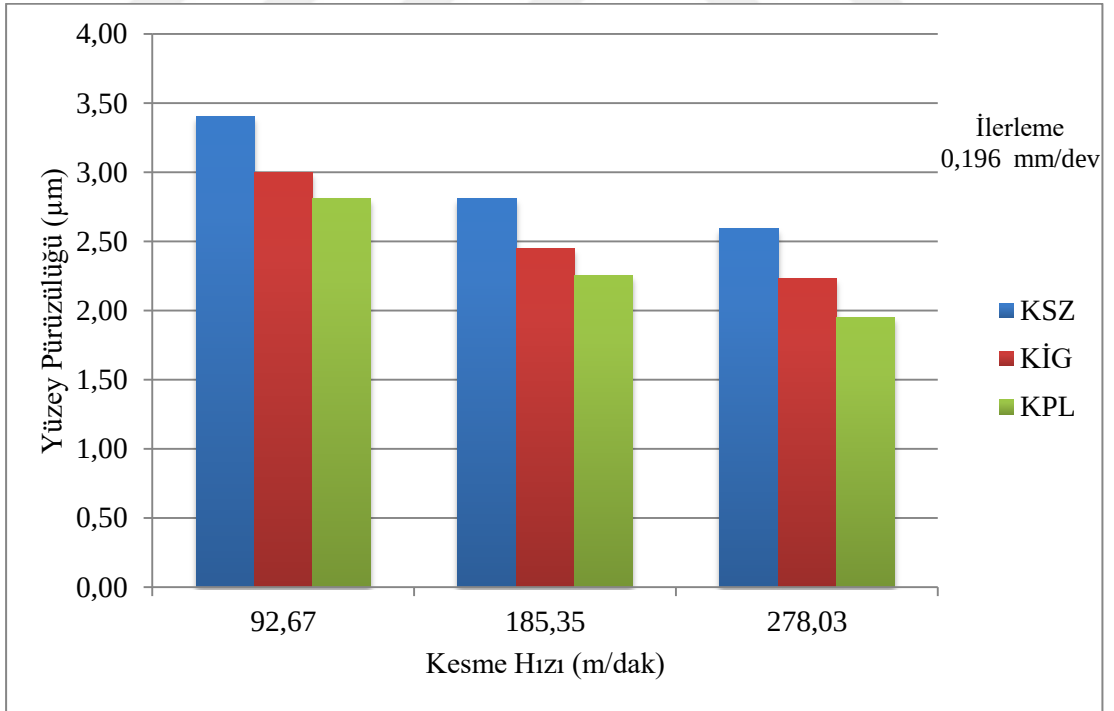
Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği 278,03 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev’den 0,196 mm/dev’e çıkartıldığında KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %91,1, KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %99,1 ve KSZ takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %103,9 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarında artış önemli bir etkidir.

Çizelge 5.12. AISI 4340 alaşımlı çeliğin 250 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 250           | KPL               | 92,67              | 0,098                     | 1,42                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,55                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 2,68                            |
|               | KPL               | 185,35             | 0,098                     | 1,16                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,29                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,44                            |
|               | KPL               | 278,03             | 0,098                     | 1,02                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,12                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,27                            |
|               | KPL               | 92,67              | 0,196                     | 2,81                            |
|               | KİG               |                    |                           | 3,00                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 3,40                            |
|               | KPL               | 185,35             | 0,196                     | 2,25                            |
|               | KİG               |                    |                           | 2,45                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 2,81                            |
|               | KPL               | 278,03             | 0,196                     | 1,95                            |
|               | KİG               |                    |                           | 2,23                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 2,59                            |



Şekil 5.23. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 250 °C,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.24. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 250 °C,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.13'te 450 °C sıcaklıkta tornalama parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

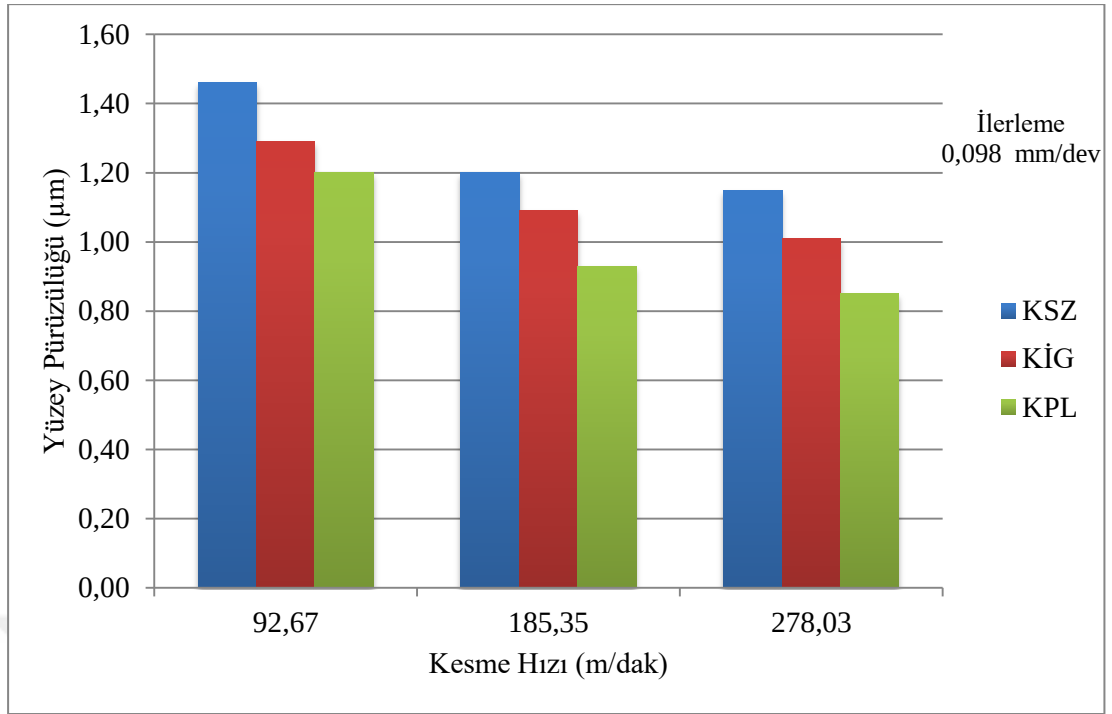
Şekil 5.25'e bakıldığında AISI 4340 alaşımlı çeliğin 450 °C sıcaklıkta kesme işleminde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımı sırasıyla KİG ve KSZ kesici takımlar takip etmiştir. KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızı 0,85  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KSZ kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızında 1,46  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KPL kesici takım KİG kesici takımdan %18,8, KSZ kesici takımdan ise %31,7 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

Şekil 5.26'ya bakıldığında ise ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ( $f_r=0,196$  mm/dev) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımı sırasıyla KİG ve KSZ takımlar takip etmiştir. KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızı 1,67  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KSZ kesici takım ile 92,67 m/dak kesme hızında 3,01  $\mu$ m olarak elde edilmiştir. Tüm kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu kesme hızında yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KPL kesici takım KİG takımdan %14,3, KSZ kesici takımdan ise %40,1 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

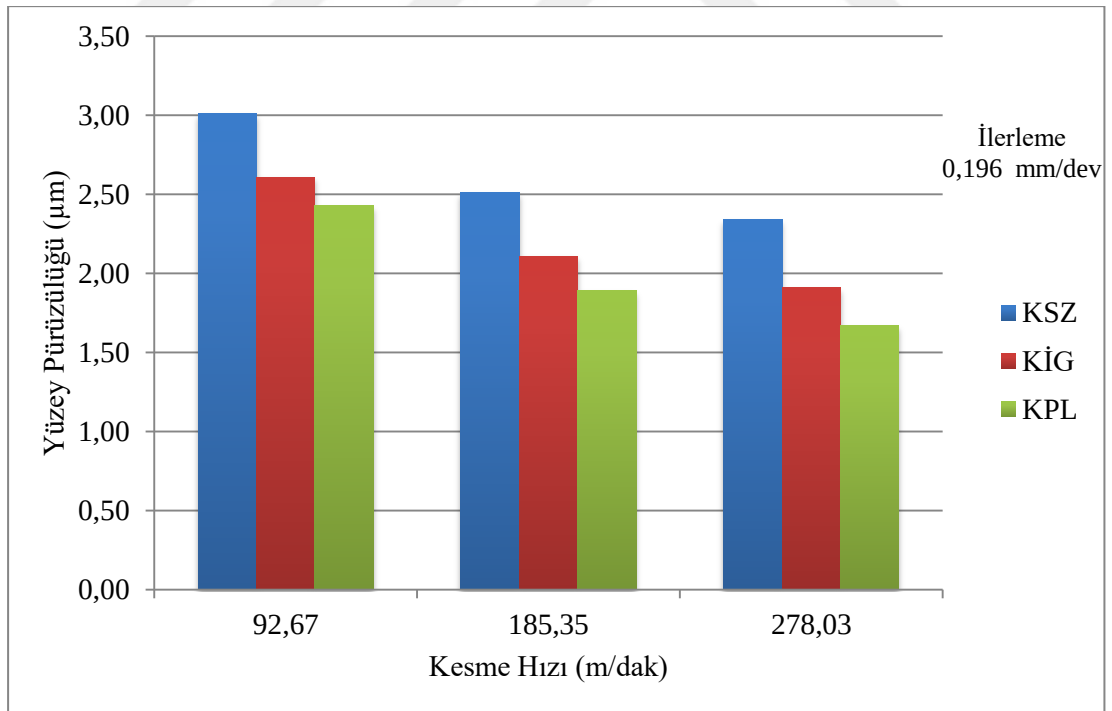
Şekil 5.25 ve Şekil 5.26 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği 278,03 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev'den 0,196 mm/dev'e çıkartıldığında KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %96,4, KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %89,1 ve KSZ takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %103,4 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarında artış önemli bir etkidir.

Çizelge 5.13. AISI 4340 alaşımlı çeliğin 450 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 450           | KPL               | 92,67              | 0,098                     | 1,20                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,29                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,46                            |
|               | KPL               | 185,35             | 0,098                     | 0,93                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,09                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,20                            |
|               | KPL               | 278,03             | 0,098                     | 0,85                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,01                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,12                            |
|               | KPL               | 92,67              | 0,196                     | 2,43                            |
|               | KİG               |                    |                           | 2,61                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 3,01                            |
|               | KPL               | 185,35             | 0,196                     | 1,89                            |
|               | KİG               |                    |                           | 2,11                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 2,51                            |
|               | KPL               | 278,03             | 0,196                     | 1,67                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,91                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 2,34                            |



Şekil 5.25. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 450 °C,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.26. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi ( $T_x$ : 450 °C,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.14'te 650 °C sıcaklıkta tornalama parametreleri ve elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

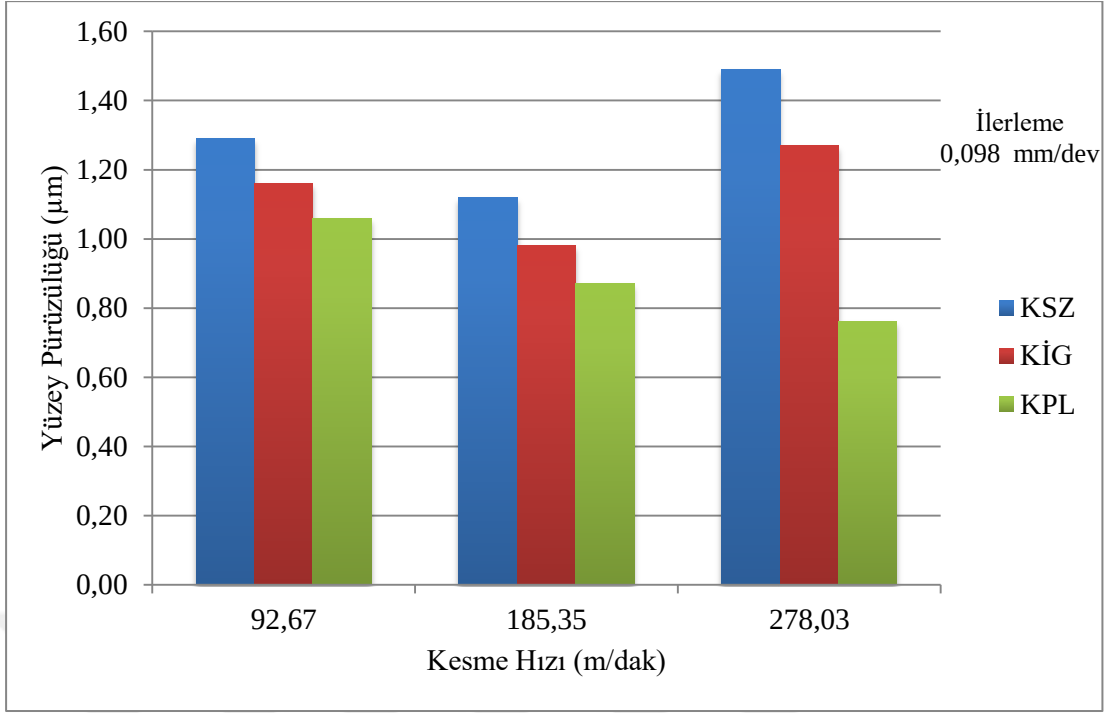
Şekil 5.27'ye bakıldığında AISI 4340 alaşımlı çeliğin 650 °C sıcaklıkta kesme işleminde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) en iyi yüzey pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımını sırasıyla KİG ve KSZ kesici takımlar takip etmiştir. KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızı 0,76 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KSZ kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 1,49 µm olarak elde edilmiştir. KPL kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmişken KİG ve KSZ kesici takımlar için 185,35 m/dak en iyi kesme hızı değeri olmuştur. Bu kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KPL kesici takım KİG kesici takımdan %12,6, KSZ kesici takımdan ise %35,8 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

Şekil 5.28'e bakıldığında ise ilerleme miktarının artmasıyla birlikte ( $f_r=0,196$  mm/dev) yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımını sırasıyla KİG ve KSZ kesici takımlar takip etmiştir. KPL kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızı 1,62 µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise KSZ kesici takım ile 278,03 m/dak kesme hızında 3,35 µm olarak elde edilmiştir. KPL kesici takımlar için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmişken KİG ve KSZ kesici takımlar için 185,35 m/dak en iyi kesme hızı değeri olmuştur. Bu kesme hızındaki yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakıldığında KPL kesici takım KİG kesici takımdan %16,4, KSZ kesici takımdan ise %39,2 daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır.

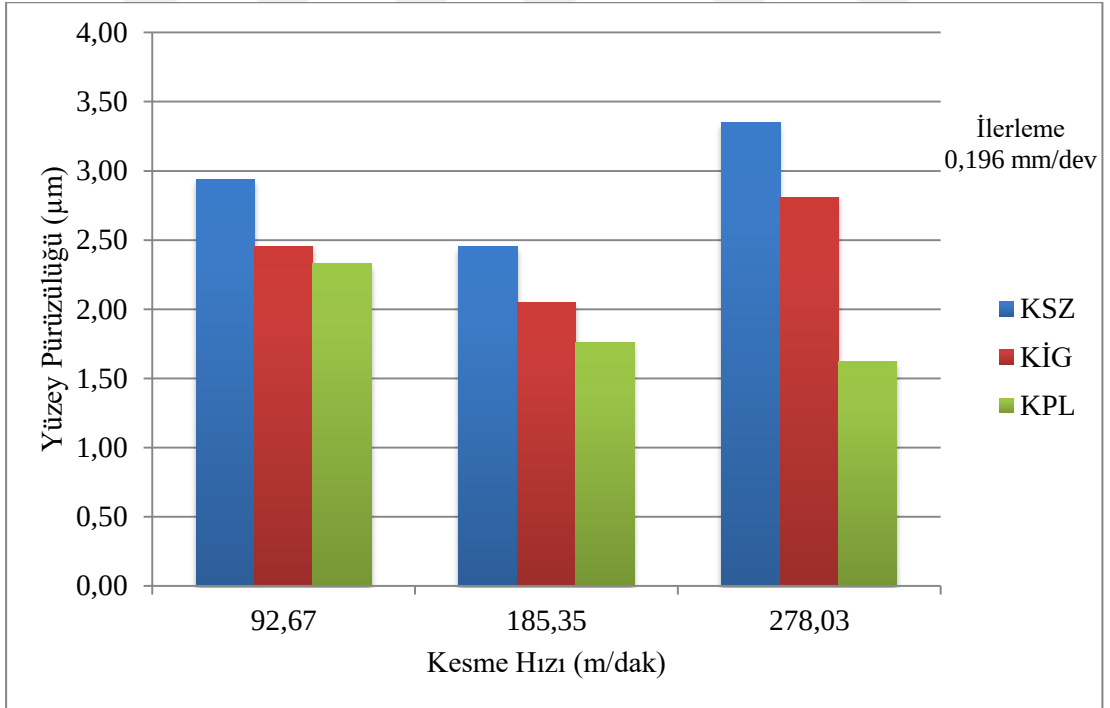
Şekil 5.27 ve Şekil 5.28 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. Üç kesici takımın ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği 185,35 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev'den 0,196 mm/dev'e çıkartıldığında KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %102,2, KİG kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %104,8 ve KSZ takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %113 oranında artmıştır.

Çizelge 5.14. AISI 4340 alaşımlı çeliğin 650 °C’de tornalanmasında kesici takımlara göre ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 650           | KPL               | 92,67              | 0,098                     | 1,06                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,16                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,29                            |
|               | KPL               | 185,35             | 0,098                     | 0,87                            |
|               | KİG               |                    |                           | 0,98                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,15                            |
|               | KPL               | 278,03             | 0,098                     | 0,76                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,27                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 1,49                            |
|               | KPL               | 92,67              | 0,196                     | 2,33                            |
|               | KİG               |                    |                           | 2,45                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 2,94                            |
|               | KPL               | 185,35             | 0,196                     | 1,76                            |
|               | KİG               |                    |                           | 2,05                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 2,45                            |
|               | KPL               | 278,03             | 0,196                     | 1,62                            |
|               | KİG               |                    |                           | 1,81                            |
|               | KSZ               |                    |                           | 3,35                            |



Şekil 5.27. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi (T: 650 °C, F: 0,098 mm/dev).



Şekil 5.28. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında kesici takım türünün ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi (T<sub>x</sub>: 650 °C, F<sub>r</sub>: 0,196 mm/dev).

Kesici takım türleri üzerinde yapılan çalışma neticesinde en iyi yüze pürüzlülüğü KPL kesici takım ile elde edilmiştir. KPL kesici takımı takiben kriyojenik uygulanmış ve KSZ kesici takım gelmektedir. Yapılan literatür araştırmaları da bu sonucu doğrulamaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün en iyi KPL kesici takım ile elde edilme sebebi olarak takım kaplamasının oluşturduğu aşınma direncidir. Bu direnç sayesinde kesici takım geç aşınmamakta ve aşınmayan takım daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmesini sağlamaktadır. Kriyojenik kesici takım incelendiğinde, uygulanan kriyojenik işlem neticesinde kesici takım sertleşmiş ve yüksek aşınma direnci kazanmıştır. Bu direnç yüzey pürüzlülüğünün kaliteli şekilde elde edilmesini sağlamıştır. KSZ kesici takım ise KİG kesici takım kadar sertliğe sahip olmadığı için kötü sonuçlar alınmasına neden olmuştur. Özellikle yüksek kesme hızlarında iş parçasının yüksek sıcaklıklara çıktığı işleme durumlarında KİG kesici takım ile KSZ kesici takım işleme sırasında difüzyon aşınmasına maruz kalmıştır. Bu durum sonucunda kesici takım ucunda kırılmalar ve burun aşınmaları meydana gelmiştir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğü kalitesi düşük olmuştur.

#### 5.1.2.2. Sıcaklığın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Çizelge 5.15-5.17’de, farklı kesici takımlar ile yapılan tornalama işleminde kullanılan deney kesme parametreleri ve bu deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ayrıca bu değerler Şekil 5.28-5.34’de grafiksel ifadeler halinde sunulmuştur.

Çizelge 5.15’te KPL kesici takım ve işleme parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.29 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KPL kesici takım ile işlemede sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olmuştur.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 92,67 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,66  $\mu\text{m}$ ’den 1,42  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 1,20  $\mu\text{m}$ ’ye, 650 °C’de ise 1,06  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %14,4, 450 °C’de ise %27,7, 650 °C’de ise %36,1 azalma görülmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 185,35 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,40 µm’den 1,16 µm’ye, 450 °C’de 0,93 µm’ye, 650 °C’de ise 0,87 µm’ye kadar düşmüştür. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %17,1, 450 °C’de ise %33,5, 650 °C’de ise %37,8 azalma görülmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 278,03 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,25 µm’den 1,02 µm’ye, 450 °C’de 0,85 µm’ye, 650 °C’de ise 0,76 µm’ye kadar düşmüştür. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %18,4, 450 °C’de ise %32, 650 °C’de ise %39,2 azalma görülmüştür.

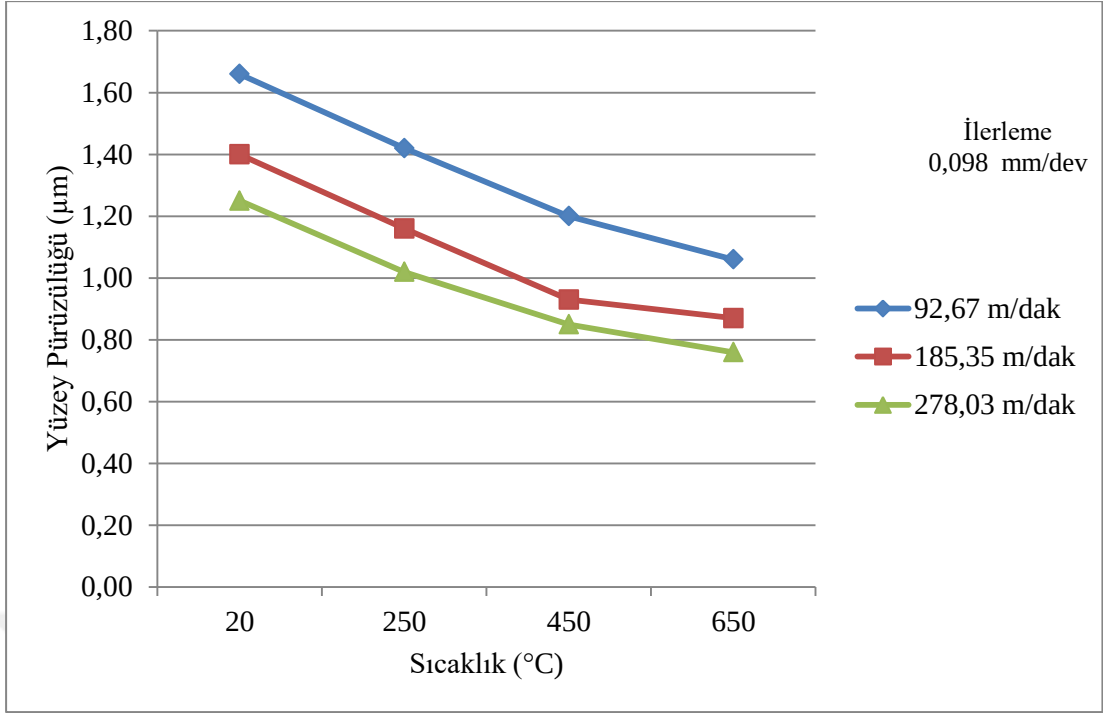
Veriler incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KPL kesici takım için en optimum işleme şartlarının 650 °C’de ve 278,03 m/dak kesme hızı olarak elde edilmiştir. Bu işleme sonucunda yüzey pürüzlülüğü 0,76 µm olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü ise 20 °C ve 92,67 m/dak kesme hızı ile 1,66 µm olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.30 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_q=0,196$  mm/dev) KPL kesici takım sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olmuştur. Yüksek ilerleme miktarında da düşük ilerleme miktarında olduğu gibi 650 °C yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi değerlerin elde edildiği sıcaklıktır. Kesme hızının 278,03 m/dak olması yüzey pürüzlülüğünün en iyi olduğu değer olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 278,03 m/dak kesme hızında ve 650 °C’de 1,62 µm olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü değeri ise 92,67 m/dak kesme hızında ve 20 °C’de 3,41 µm olarak bulunmuştur.

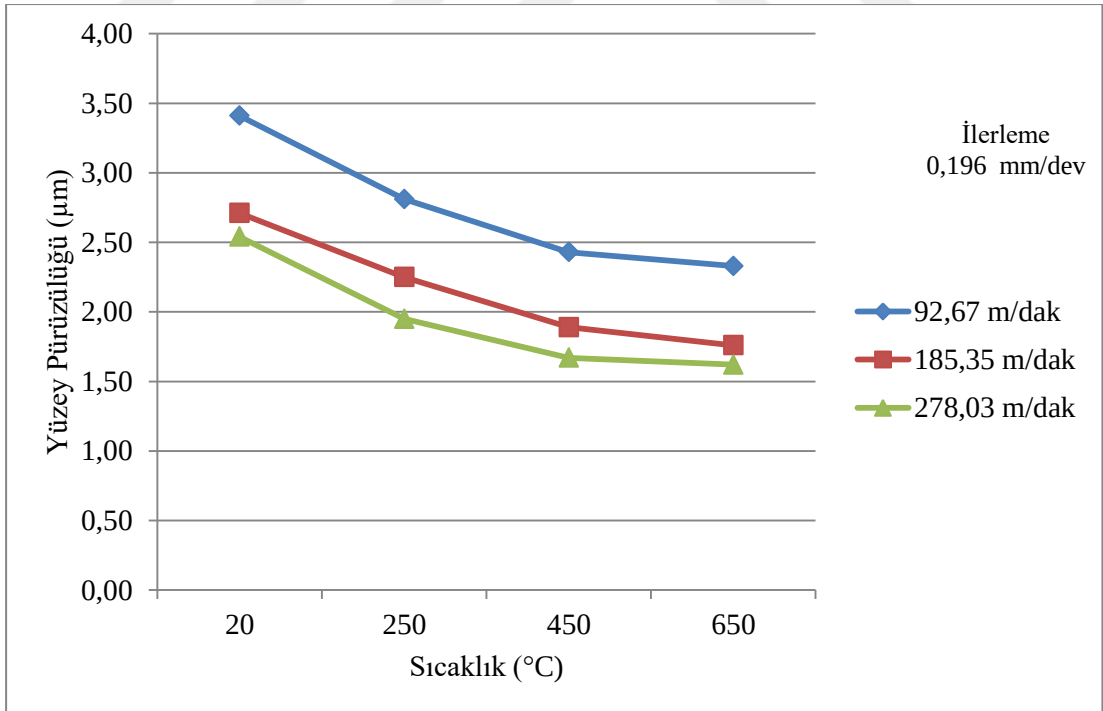
Şekil 5.29 ve Şekil 5.30 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği 650 °C ve 278,03 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev’den 0,196 mm/dev’e çıkartıldığında KPL kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %113,5 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarında artış önemli bir etkidir.

Çizelge 5.15. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KPL kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 2 0           | Kaplamaalı        | 92,67              | 0,098                     | 1,66                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,41                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,40                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,71                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,25                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,54                            |
| 2 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,42                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,81                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,16                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,25                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,02                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 1,95                            |
| 4 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,20                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,43                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 0,93                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 1,89                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 0,85                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 1,67                            |
| 6 5 0         |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,06                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,33                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 0,87                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 1,76                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 0,76                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 1,62                            |



Şekil 5.29. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KPL,  $F_t$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.30. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KPL,  $F_t$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.16'da KİG kesicici takım ve işleme parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.31 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KİG kesici takım ile işlemede sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olurken 278,03 m/dak kesme hızında 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 92,67 m/dak kesme hızında 250 °C'de yüzey pürüzlülüğü 1,88  $\mu\text{m}$ 'den 1,55  $\mu\text{m}$ 'ye, 450 °C'de 1,29  $\mu\text{m}$ 'ye, 650 °C'de ise 1,16  $\mu\text{m}$ 'ye kadar düşmüştür. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C'de %17,5, 450 °C'de %31,3, 650 °C'de ise %38,2 azalma görülmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 185,35 m/dak kesme hızında 250 °C'de yüzey pürüzlülüğü 1,55  $\mu\text{m}$ 'den 1,29  $\mu\text{m}$ 'ye, 450 °C'de 1,09  $\mu\text{m}$ 'ye, 650 °C'de ise 0,98  $\mu\text{m}$ 'ye kadar düşmüştür. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C'de %16,7, 450 °C'de %29,6, 650 °C'de ise %36,7 azalma görülmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 278,03 m/dak kesme hızında 250 °C'de yüzey pürüzlülüğü 1,40  $\mu\text{m}$ 'den 1,12  $\mu\text{m}$ 'ye, 450 °C'de 1,01  $\mu\text{m}$ 'ye kadar düşmüştür. 650 °C'de ise 1,27  $\mu\text{m}$ 'ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C'de %20, 450 °C'de ise %29,6 azalma görülmüştür. 650 °C'de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %9,2 azalma görülmüştür ancak 450 °C ile karşılaştırıldığında 650 °C'deki kesme işlemi için yüzey pürüzlülüğü %25,7 artmıştır.

Veriler incelendiğinde düşük ilerleme oranında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KİG kesici takım için en optimum işleme şartlarının 650 °C'de ve 185,35 m/dak kesme hızı olarak elde edilmiştir. Bu işleme sonucunda yüzey pürüzlülüğü 0,98  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü ise 20 °C ve 92,67 m/dak kesme hızı ile 1,88  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir.

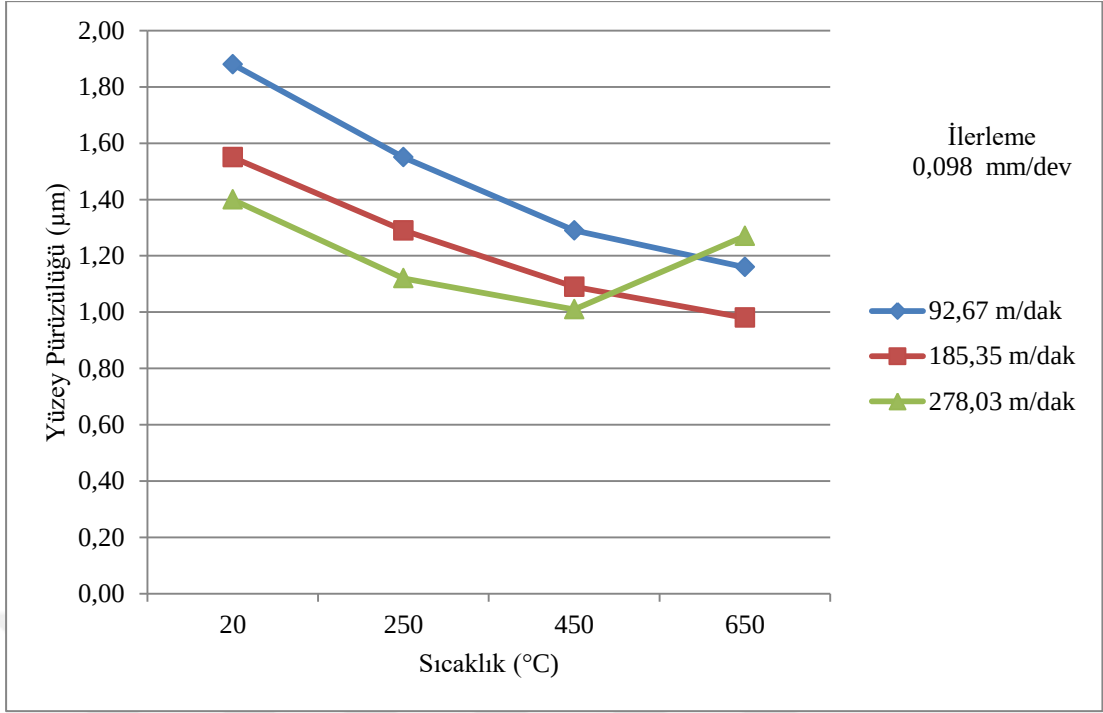
Şekil 5.32 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_q=0,196$  mm/dev) KİG kesici takım sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden

olurken 278,03 m/dak kesme hızında 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülür. Yüksek ilerleme miktarında 450 °C yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi değerlerin elde edildiği sıcaklıktır. Kesme hızının 278,03 m/dak olması yüzey pürüzlülüğünün en iyi olduğu değer olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 278,03 m/dak kesme hızında ve 450 °C’de 1,91 µm olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü değeri ise 92,67 m/dak kesme hızında ve 20 °C’de 3,65 µm olarak bulunmuştur.

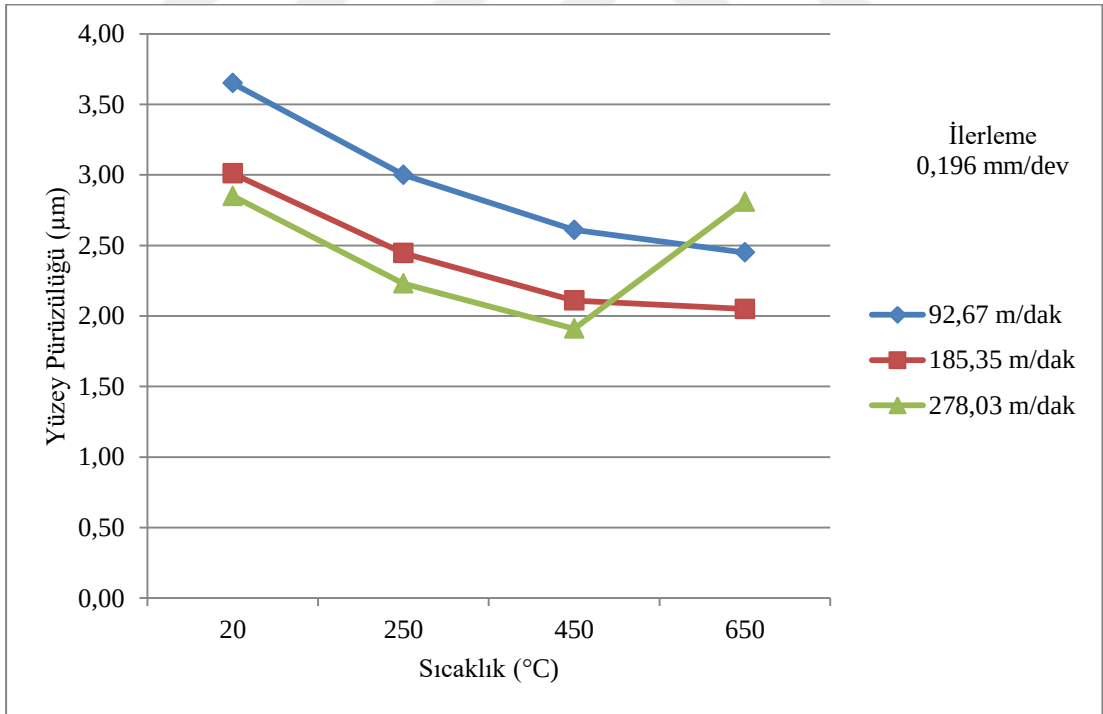
Şekil 5.31 ve Şekil 5.32 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği 650 °C ve 185,35 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev’den 0,196 mm/dev’e çıkartıldığında kriyojenik işlem görmüş kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %104,8 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarında artış önemli bir etkindir.

Çizelge 5.16. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KİG kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü       | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 2 0           | Kriyojenik İşlem Görmüş | 92,67              | 0,098                     | 1,88                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 3,65                            |
|               |                         | 185,35             | 0,098                     | 1,55                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 3,01                            |
|               |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,40                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,85                            |
| 2 5 0         |                         | 92,67              | 0,098                     | 1,55                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 3,00                            |
|               |                         | 185,35             | 0,098                     | 1,29                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,45                            |
|               |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,12                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,23                            |
| 4 5 0         |                         | 92,67              | 0,098                     | 1,29                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,61                            |
|               |                         | 185,35             | 0,098                     | 1,09                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,11                            |
|               |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,01                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 1,91                            |
| 6 5 0         |                         | 92,67              | 0,098                     | 1,16                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,61                            |
|               |                         | 185,35             | 0,098                     | 0,98                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,05                            |
|               |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,27                            |
|               |                         |                    | 0,196                     | 2,81                            |



Şekil 5.31. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KİG,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.32. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KİG,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Çizelge 5.17’de KSZ kesicici takım ve tornalama parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.33 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KSZ kesici takım ile işlemede sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olurken 278,03 m/dak kesme hızında 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 92,67 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 2,03  $\mu\text{m}$ ’den 1,68  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 1,46  $\mu\text{m}$ ’ye, 650 °C’de ise 1,29  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %17,2, 450 °C’de %28, 650 °C’de ise %36,4 azalma görülmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 185,35 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,78  $\mu\text{m}$ ’den 1,44  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 1,20  $\mu\text{m}$ ’ye, 650 °C’de ise 1,15  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %19,1, 450 °C’de %32,5, 650 °C’de ise %35,3 azalma görülmüştür.

20 °C ile karşılaştırılma yapıldığında 278,03 m/dak kesme hızında 250 °C’de yüzey pürüzlülüğü 1,59  $\mu\text{m}$ ’den 1,27  $\mu\text{m}$ ’ye, 450 °C’de 1,12  $\mu\text{m}$ ’ye kadar düşmüştür. 650 °C’de ise 1,49  $\mu\text{m}$ ’ye çıkmıştır. Oransal olarak bakıldığında, oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre 250 °C’de %20,1, 450 °C’de ise %29,5 azalma görülmüştür. 650 °C’de ise oda sıcaklığındaki pürüzlülük değerine göre %6,2 azalma görülmüştür ancak 450 °C ile karşılaştırıldığında 650 °C’deki kesme işlemi için yüzey pürüzlülüğü %29,5 artmıştır.

Veriler incelendiğinde düşük ilerleme oranında ( $f_r=0,098$  mm/dev) KSZ kesici takım için en optimum işleme şartlarının 650 °C’de ve 185,35 m/dak kesme hızı olarak elde edilmiştir. Bu işleme sonucunda yüzey pürüzlülüğü 1,15  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü ise 20 °C ve 92,67 m/dak kesme hızı ile 2,03  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.34 incelendiğinde düşük ilerleme miktarında ( $f_r=0,196$  mm/dev) KSZ kesici takım sıcaklıktaki artış tüm kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden

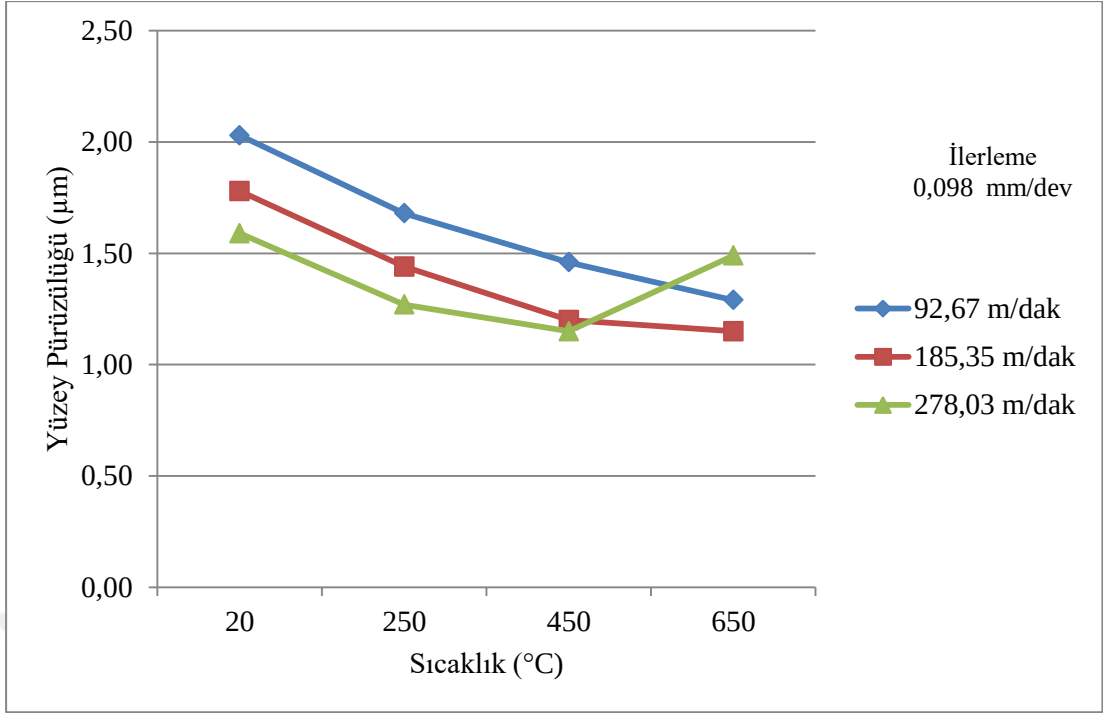
olurken 278,03 m/dak kesme hızında 650 °C sıcaklığa çıkıldığında pürüzlülüğün attığı görülür. Yüksek ilerleme miktarında 450 °C yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi değerlerin elde edildiği sıcaklıktır. Kesme hızının 278,03 m/dak olması yüzey pürüzlülüğünün en iyi olduğu değer olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 278,03 m/dak kesme hızında ve 450 °C’de 2,34 µm olarak elde edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü değeri ise 92,67 m/dak kesme hızında ve 20 °C’de 4,08 µm olarak bulunmuştur.

Şekil 5.31 ve Şekil 5.32 ilerleme miktarları açısından karşılaştırıldığında düşük ilerleme miktarlarında yüzey pürüzlülük değerlerinde büyük derecede azalma olmuştur. En iyi yüzey pürüzlülük değerinin elde edildiği 650 °C ve 185,35 m/dak kesme hızında ilerleme oranı 0,098 mm/dev’den 0,196 mm/dev’e çıkartıldığında KSZ kesici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değeri %113 oranında artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artmasında ilerleme miktarında artış önemli bir etkidir.

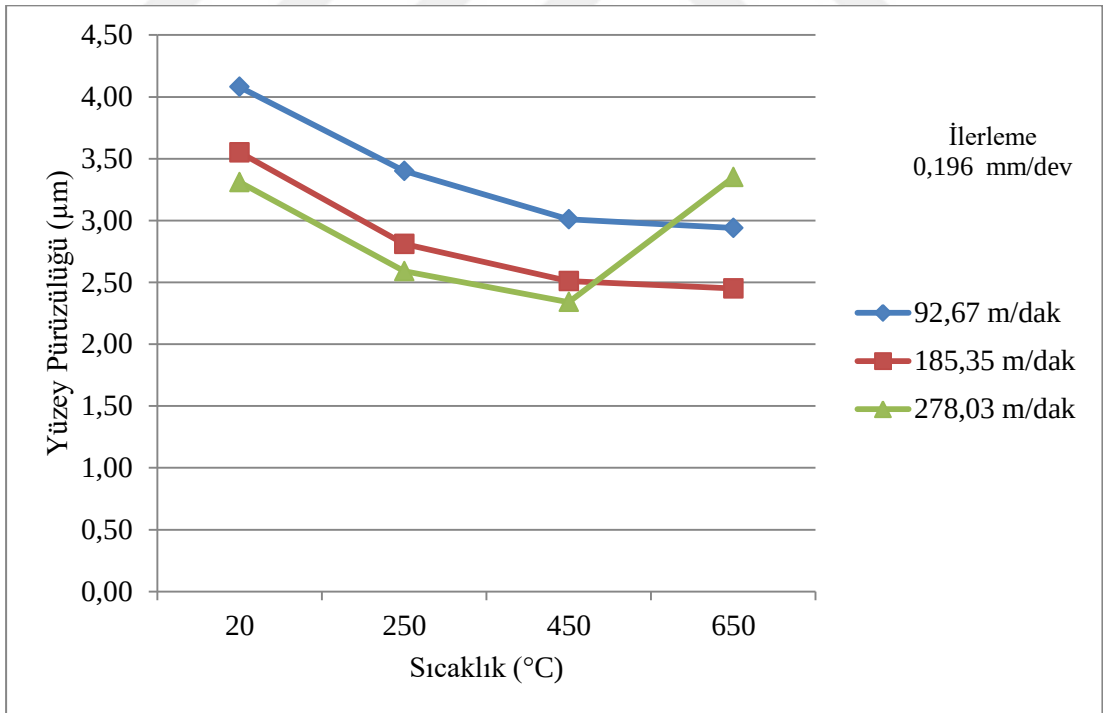
Tüm sıcaklık değerleri incelendiğinde, tüm takım türleri için sıcaklığın artması yüzey pürüzlülüğünün düşmesini sağlamıştır. Ancak 278,03 m/dak kesme hızında 650 °C sıcaklığa çıkıldığında KİG ve KSZ kesici takımlarda yüzey pürüzlülük değerinde artış gözlenmiştir. Yapılan literatür araştırması da bu sonucu doğrulamaktadır. AISI 4340 alaşımlı çeliğin kesme işlemi için en iyi işleme sıcaklığı ise 650 °C olarak bulunmuştur. Özellikle KPL kesici takım kullanımında 650 °C sıcaklıkta malzemenin sertlik direnci ortadan kaybolarak işlenmeyi kolay hale getirmiştir. KİG ile KSZ kesici takımlarda ise hem iş parçasının yüksek sıcaklığı hemde 278,03 m/dak gibi yüksek işlemeden kaynaklı sıcaklık difüzyon aşınmalarına dolayısıyla kesici takımın burun kısmında aşınmalara ve kırılmalara neden olmuştur. Bu durum ise yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur.

Çizelge 5.17. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KSZ kesici takım ile tornalanmasında değişen sıcaklık etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20            | Kaplamasız        | 92,67              | 0,098                     | 2,03                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 4,08                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,78                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,55                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,59                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,31                            |
| 250           |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,68                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,40                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,44                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,81                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,27                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,59                            |
| 450           |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,46                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,01                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,20                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,51                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,15                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,34                            |
| 650           |                   | 92,67              | 0,098                     | 1,29                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,94                            |
|               |                   | 185,35             | 0,098                     | 2,12                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 2,45                            |
|               |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,49                            |
|               |                   |                    | 0,196                     | 3,35                            |



Şekil 5.33. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KSZ,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.34. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün sıcaklık ile değişimi ( $C_t$ : KSZ,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

#### 5.1.2.3. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Çizelge 5.18-5.20’de, farklı kesici takımlar ile yapılan tornalama işleminde kullanılan deney kesme parametreleri ve bu deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Ayrıca bu değerler Şekil 5.35-5.40’ta grafiksel ifadeler halinde sunulmuştur.

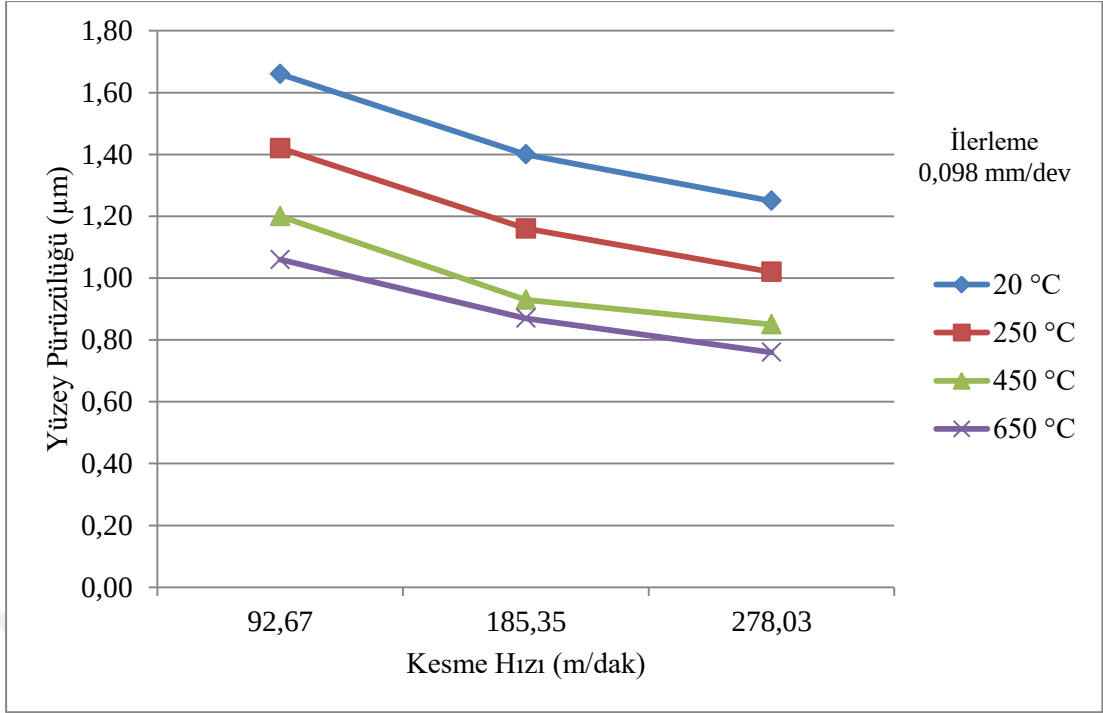
Çizelge 5.18 KPL kesicici takım ve tornalama parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Şekil 5.35 incelendiğinde KPL kesici takımında düşük ilerleme hızında ( $f_r=0,098$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de pürüzlülük değeri 278,03 m/dak kesme hızı ile  $0,76\text{ }\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 185,35 m/dak kesme hızında  $0,87\text{ }\mu\text{m}$  ve 92,67 m/dak kesme hızında ise  $1,06\text{ }\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak’dan 185,35 m/dak’ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %17,9 oranında artmıştır. 92,67 m/dak’dan 278,03 m/dak’ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %28,3 oranında azalmıştır.

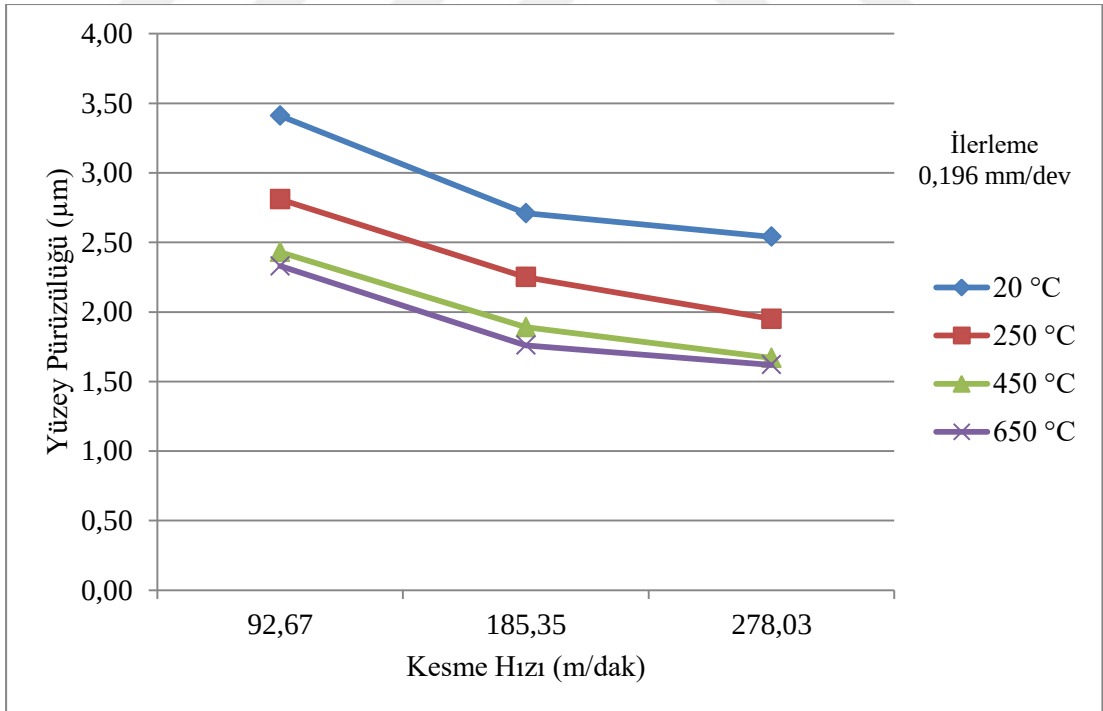
Şekil 5.36 incelendiğinde ise KPL kesici takımında yüksek ilerleme hızında ( $f_r=0,196$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün yine azaldığı görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de pürüzlülük değeri 278,03 m/dak kesme hızı ile  $1,62\text{ }\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 185,35 m/dak kesme hızında  $1,76\text{ }\mu\text{m}$  ve 92,67 m/dak kesme hızında ise  $2,33\text{ }\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak’dan 185,35 m/dak’ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %24,4 oranında artmıştır. 92,67 m/dak’dan 278,03 m/dak’ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %30,4 oranında artmıştır.

Çizelge 5.18. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KPL kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Kesici Takım Türü | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm) |
|---------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20            | Kaplama           | 92,67              | 0,098                     | 1,66                            |
| 250           |                   |                    |                           | 1,42                            |
| 450           |                   |                    |                           | 1,20                            |
| 650           |                   |                    |                           | 1,06                            |
| 20            |                   |                    | 0,196                     | 3,41                            |
| 250           |                   |                    |                           | 2,81                            |
| 450           |                   |                    |                           | 2,43                            |
| 650           |                   |                    |                           | 2,33                            |
| 20            |                   | 185,35             | 0,098                     | 1,40                            |
| 250           |                   |                    |                           | 1,16                            |
| 450           |                   |                    |                           | 0,93                            |
| 650           |                   |                    |                           | 0,87                            |
| 20            |                   |                    | 0,196                     | 2,71                            |
| 250           |                   |                    |                           | 2,25                            |
| 450           |                   |                    |                           | 1,89                            |
| 650           |                   |                    |                           | 1,76                            |
| 20            |                   | 278,03             | 0,098                     | 1,25                            |
| 250           |                   |                    |                           | 1,02                            |
| 450           |                   |                    |                           | 0,85                            |
| 650           |                   |                    |                           | 0,76                            |
| 20            |                   |                    | 0,196                     | 2,54                            |
| 250           |                   |                    |                           | 1,95                            |
| 450           |                   |                    |                           | 1,67                            |
| 650           |                   |                    |                           | 1,62                            |



Şekil 5.35. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_f$ : KPL,  $F_f$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.36. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_f$ : KPL,  $F_f$ : 0,196 mm/dev).

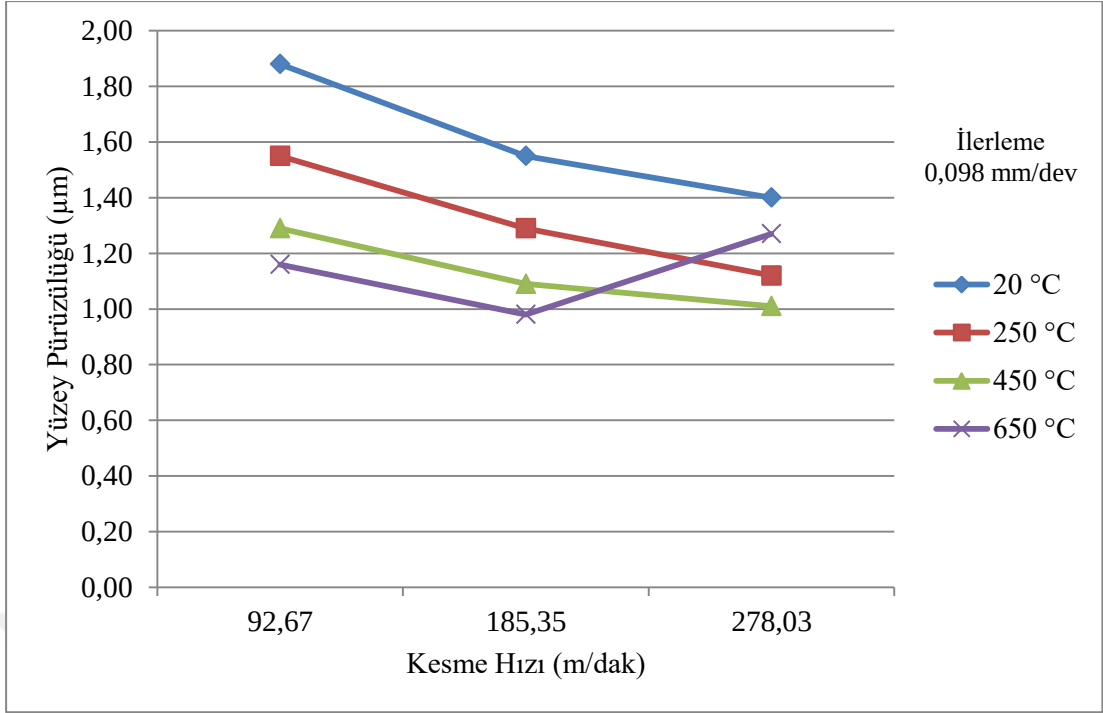
Çizelge 5.19 KİG kesicici takım ve tornalama parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.37 incelendiğinde KİG kesici takımında düşük ilerleme hızında ( $f_r=0,098$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. Yalnızca 650 °C sıcaklıkta 278,03 m/dak kesme hızında istisnai bir durum oluşturmuştur. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği 650 °C’de pürüzlülük değeri 185,35 m/dak kesme hızı ile 0,98 µm olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 92,67 m/dak kesme hızında 1,16 µm ve 278,03 m/dak kesme hızında ise 1,27 µm olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak’dan 185,35 m/dak’ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %15,5 oranında azalmıştır. 92,67 m/dak’dan 278,03 m/dak’ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %9,4 oranında artmıştır.

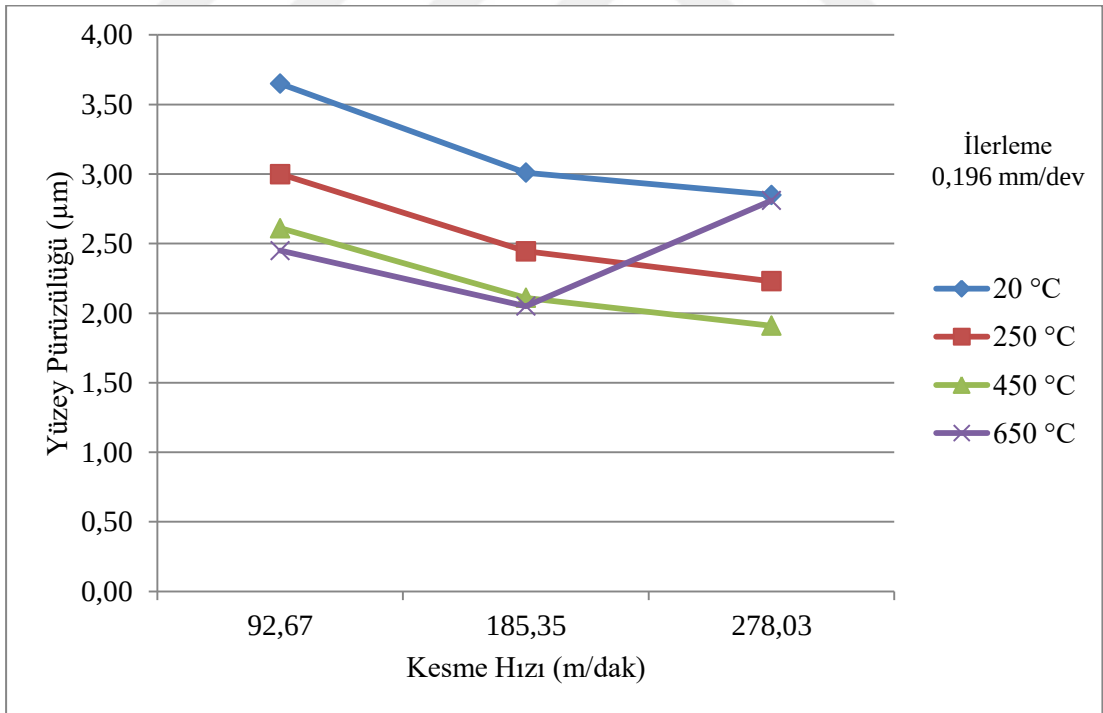
Şekil 5.38 incelendiğinde ise KİG kesici takımında yüksek ilerleme hızında ( $f_r=0,196$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün yine azaldığı görülmektedir. Yalnızca 650 °C sıcaklıkta 278,03 m/dak kesme hızında istisnai bir durum oluşturmuştur. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği 450 °C’de pürüzlülük değeri 278,03 m/dak kesme hızı ile 1,91 µm olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 650 °C sıcaklıkta 185,35 m/dak kesme hızında 2,05 µm ve 92,67 m/dak kesme hızında ise 2,45 µm olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak’dan 185,35 m/dak’ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %16,3 oranında azalmıştır. 92,67 m/dak’dan 278,03 m/dak’ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %22 oranında azalmıştır.

Çizelge 5.19. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KİG kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Takım                   | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm) |
|---------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20            | Kriyojenik İşlem Görmüş | 92,67              | 0,098                     | 1,88                            |
| 250           |                         |                    |                           | 1,55                            |
| 450           |                         |                    |                           | 1,29                            |
| 650           |                         |                    |                           | 1,16                            |
| 20            |                         |                    | 0,196                     | 3,65                            |
| 250           |                         |                    |                           | 3,00                            |
| 450           |                         |                    |                           | 2,61                            |
| 650           |                         |                    |                           | 2,45                            |
| 20            |                         | 185,35             | 0,098                     | 1,55                            |
| 250           |                         |                    |                           | 1,29                            |
| 450           |                         |                    |                           | 1,09                            |
| 650           |                         |                    |                           | 0,98                            |
| 20            |                         |                    | 0,196                     | 3,01                            |
| 250           |                         |                    |                           | 2,45                            |
| 450           |                         |                    |                           | 2,11                            |
| 650           |                         |                    |                           | 2,05                            |
| 20            |                         | 278,03             | 0,098                     | 1,40                            |
| 250           |                         |                    |                           | 1,12                            |
| 450           |                         |                    |                           | 1,01                            |
| 650           |                         |                    |                           | 1,27                            |
| 20            |                         |                    | 0,196                     | 2,85                            |
| 250           |                         |                    |                           | 2,23                            |
| 450           |                         |                    |                           | 1,91                            |
| 650           |                         |                    |                           | 2,81                            |



Şekil 5.37. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_f$ : KİG,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



Şekil 5.38. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_f$ : KİG,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

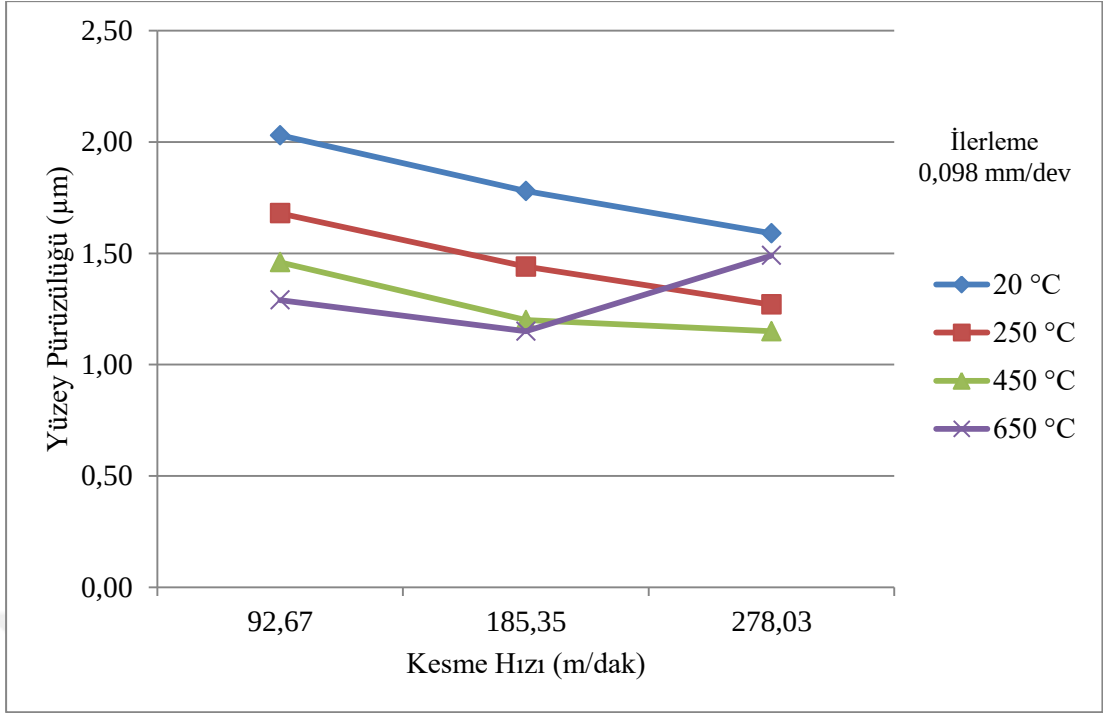
Çizelge 5.20 KSZ kesicici takım ve işleme parametreleri ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir.

Şekil 5.39 incelendiğinde KSZ kesici takımında düşük ilerleme hızında ( $f_r=0,098$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmektedir. Yalnızca 650 °C sıcaklıkta 278,03 m/dak kesme hızında istisnai bir durum oluşturmuştur. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği 450 °C’de pürüzlülük değeri 278,03 m/dak kesme hızı ile 1,12 µm olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 650 °C sıcaklıkta 185,35 m/dak kesme hızında 1,15 µm ve 92,67 m/dak kesme hızında ise 1,29 µm olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak’dan 185,35 m/dak’ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %10,8 oranında azalmıştır. 92,67 m/dak’dan 278,03 m/dak’ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %13,1 oranında artmıştır.

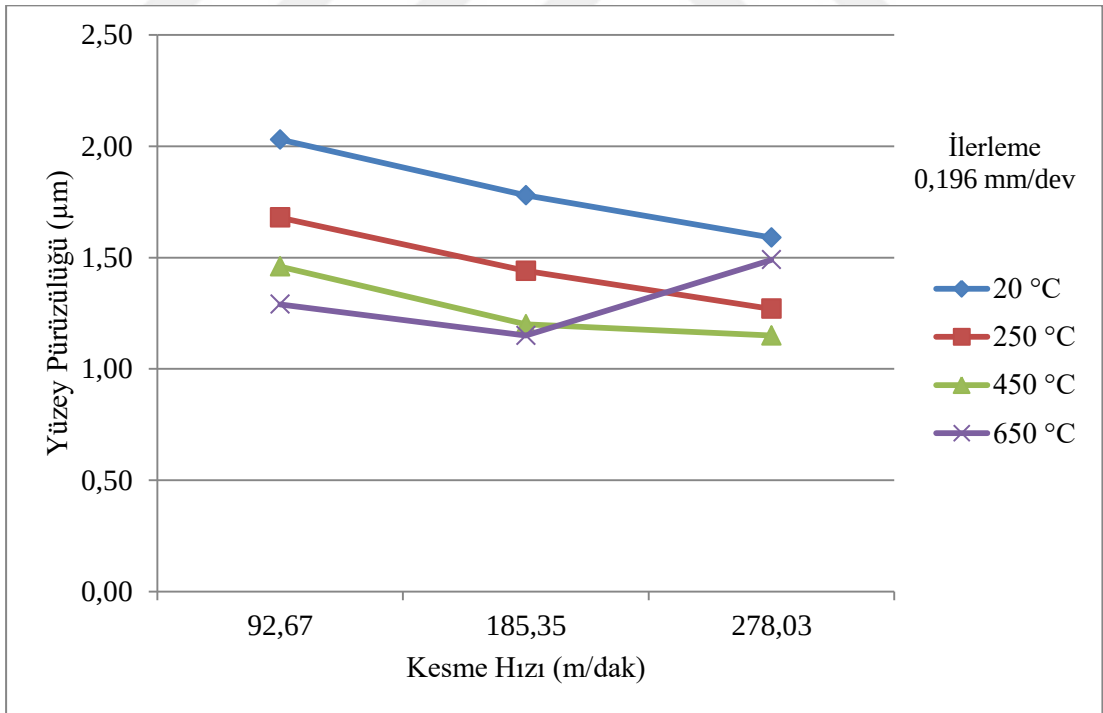
Şekil 5.40 incelendiğinde ise KSZ kesici takımında yüksek ilerleme hızında ( $f_r=0,196$  mm/dev) kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün yine azaldığı görülmektedir. Yalnızca 650 °C sıcaklıkta 278,03 m/dak kesme hızında istisnai bir durum oluşturmuştur. En iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği 450 °C’de pürüzlülük değeri 278,03 m/dak kesme hızı ile 2,34 µm olarak elde edilmiştir. Bu değeri takiben 650 °C sıcaklıkta 185,35 m/dak kesme hızında 2,45 µm ve 92,67 m/dak kesme hızında ise 2,94 µm olarak bulunmuştur. Kesme hızları ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine oransal olarak bakılacak olursa, kesme hızının 92,67 m/dak’dan 185,35 m/dak’ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğü %16,6 oranında azalmıştır. 92,67 m/dak’dan 278,03 m/dak’ya çıkıldığında ise yüzey pürüzlülüğü %20,4 oranında azalmıştır.

Çizelge 5.20. AISI 4340 alaşımlı çeliğin KSZ kesici takım ile tornalanmasında değişen kesme hızının etkisiyle ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Sıcaklık (°C) | Takım      | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme Miktarı (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|---------------|------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 20            | Kaplamasız | 92,67              | 0,098                     | 2,03                            |
| 250           |            |                    |                           | 1,68                            |
| 450           |            |                    |                           | 1,46                            |
| 650           |            |                    |                           | 1,29                            |
| 20            |            |                    | 0,196                     | 4,08                            |
| 250           |            |                    |                           | 3,40                            |
| 450           |            |                    |                           | 3,01                            |
| 650           |            |                    |                           | 2,94                            |
| 20            |            | 185,35             | 0,098                     | 1,78                            |
| 250           |            |                    |                           | 1,44                            |
| 450           |            |                    |                           | 1,20                            |
| 650           |            |                    |                           | 1,15                            |
| 20            |            |                    | 0,196                     | 3,55                            |
| 250           |            |                    |                           | 2,81                            |
| 450           |            |                    |                           | 2,51                            |
| 650           |            |                    |                           | 2,45                            |
| 20            |            | 278,03             | 0,098                     | 1,59                            |
| 250           |            |                    |                           | 1,27                            |
| 450           |            |                    |                           | 1,15                            |
| 650           |            |                    |                           | 1,49                            |
| 20            |            |                    | 0,196                     | 3,31                            |
| 250           |            |                    |                           | 2,59                            |
| 450           |            |                    |                           | 2,34                            |
| 650           |            |                    |                           | 3,35                            |



Şekil 5.39. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_f$ : KSZ,  $F_r$ : 0,098 mm/dev).



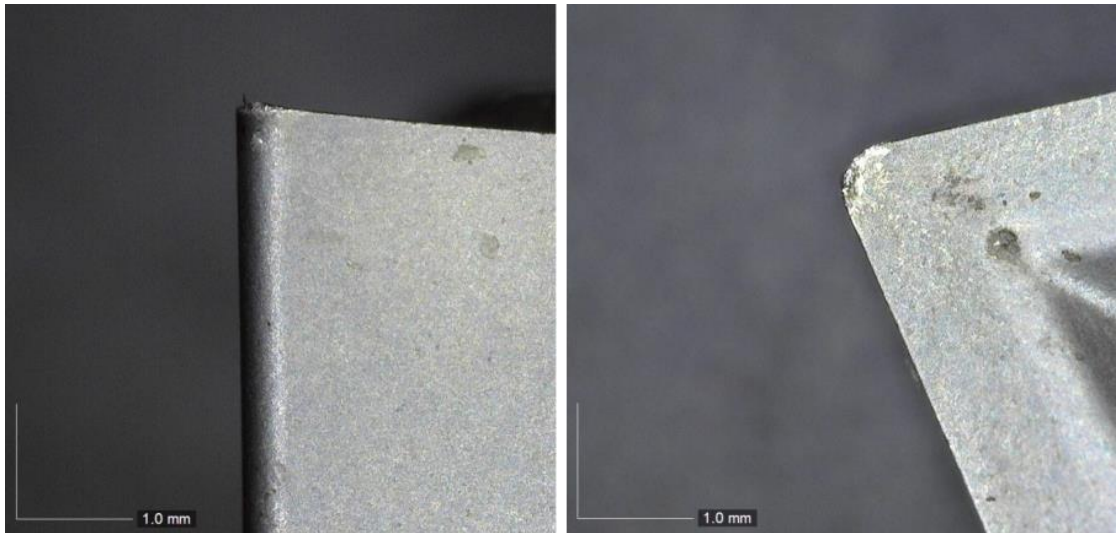
Şekil 5.40. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi ( $C_f$ : KSZ,  $F_r$ : 0,196 mm/dev).

Kesme hızına göre yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde, tüm durumlarda düşük ve yüksek ilerleme miktarlarında kesme hızı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmüştür. Literatüre bakıldığında özellikle metal malzemelerin tornalanmasında kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmektedir. Bazı kesme şartlarında istisnai durumlar oluşmuştur. Özellikle KİG ve KSZ kesici takımlarda 278,03 m/dak kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Bu durumun oluşma nedeni olarak yüksek iş parçası sıcaklığında ve yüksek kesme hızlarında kesici takım direncinin düşmesi olmuştur. Bu direnç düşüşü ile kesici takım difüzyon oluşumu gözlenmiş kesici takımda burun aşınması ve kırılması görülmektedir.

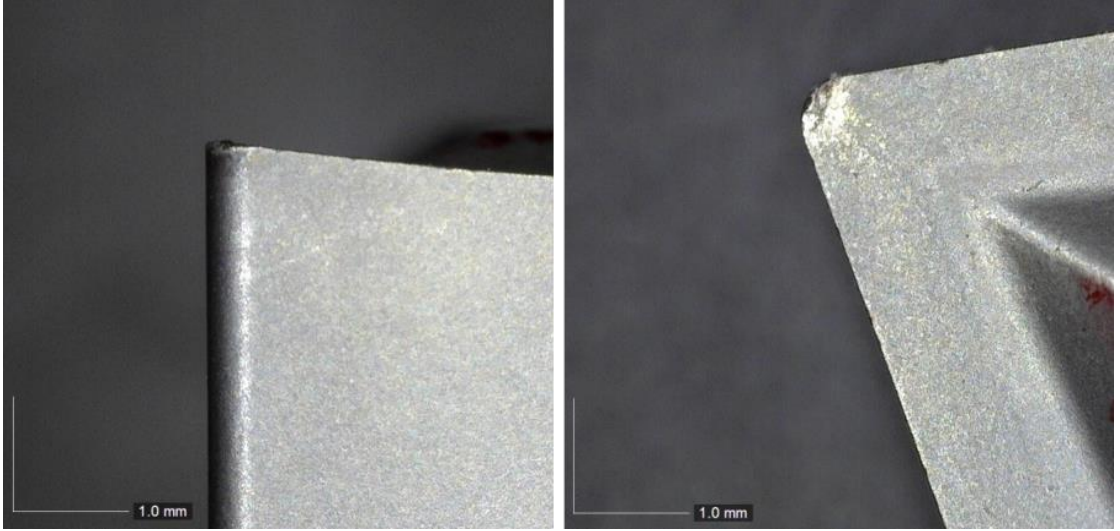
## 5.2. TAKIM AŞINMALARININ İNCELENMESİ

### 5.2.1. Ti6Al4V Titanyum Alaşımın Tornalanmasında Kesici Takım Aşınmalarının İncelenmesi

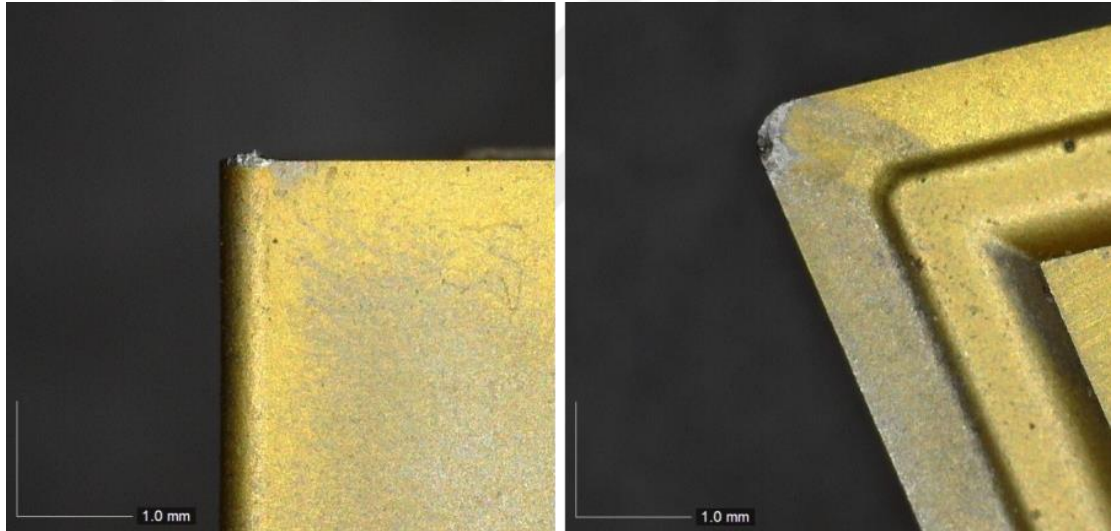
Ti6Al4V titanyum alaşımının ön ısıtılmış tornalanmasında kullanılmış olan üç farklı kesici takımın aşınma türleri incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. 450 °C’de yapılan tornalama işlemindeki kesici takımlar SEM cihazı ile incelenmiş, EDX analizi ile de desteklenmiştir.



Şekil 5.41. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KİG takımın incelenmesi  
( $T_x=20$  °C,  $V_f=92,67$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

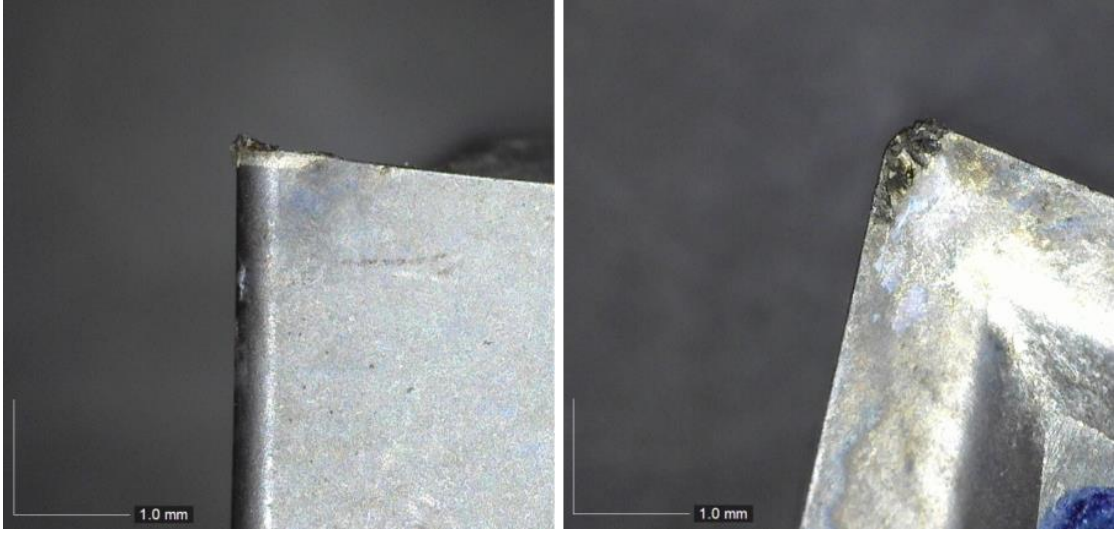


Şekil 5.42. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi  
( $T_x=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).

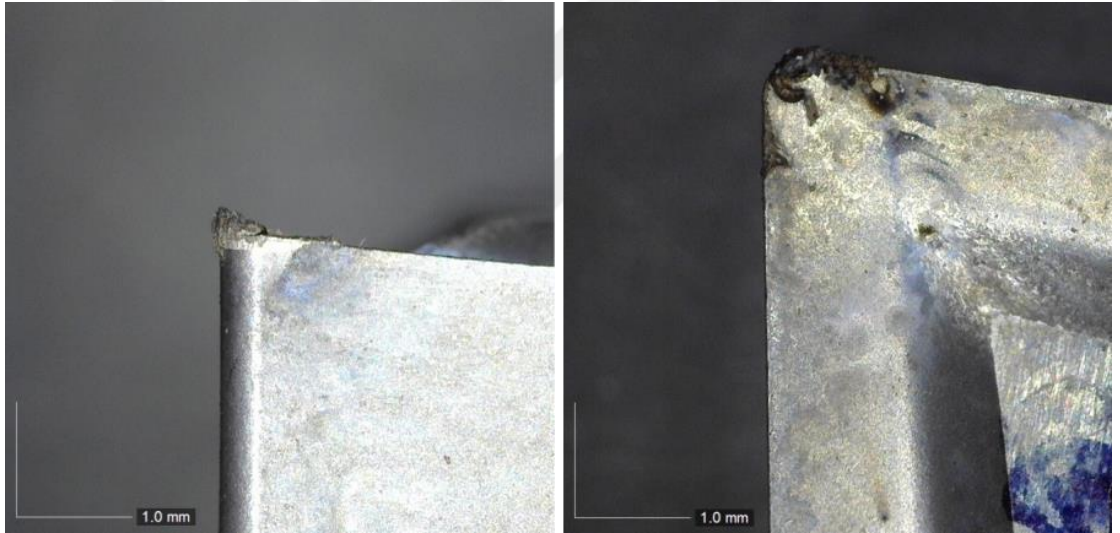


Şekil 5.43. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının incelenmesi  
( $T_x=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).

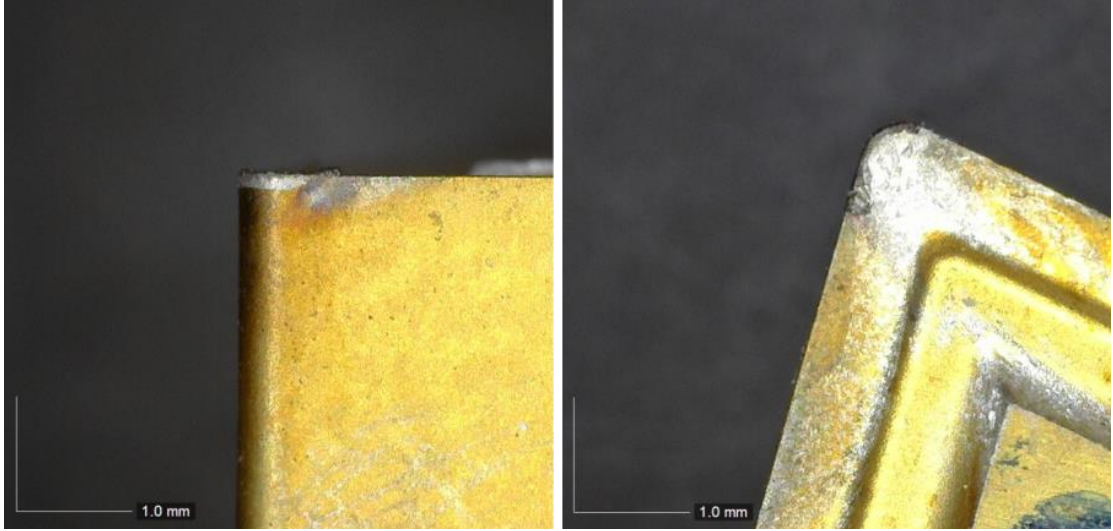
Şekil 5.41, Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'te Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında konvansiyonel kesme işleminde 92,67 m/dak kesme hızında 0,098 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımların durumları incelendiğinde KİG kesici takım ile KSZ kesici takımda hemen hemen benzer durumda burun aşınması ve bir miktar talaş yapışması meydana gelmiştir. KSZ kesici takımda burun aşınmasının bir miktar fazla olduğu anlaşılmaktadır. KPL kesici takım incelendiğinde ise takım kaplamasının düşük tornalama hızında olmasına rağmen koptuğu görülmektedir.



Şekil 5.44. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KİG takımının incelenmesi  
( $T_x=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=278,03\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).

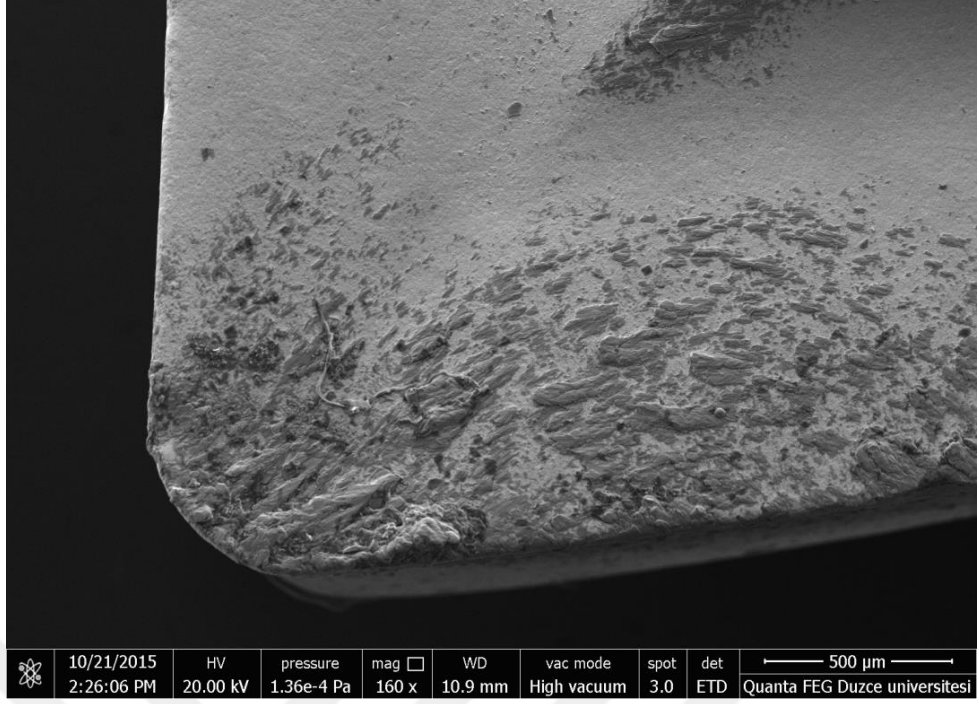


Şekil 5.45. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi  
( $T_x=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=278\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).

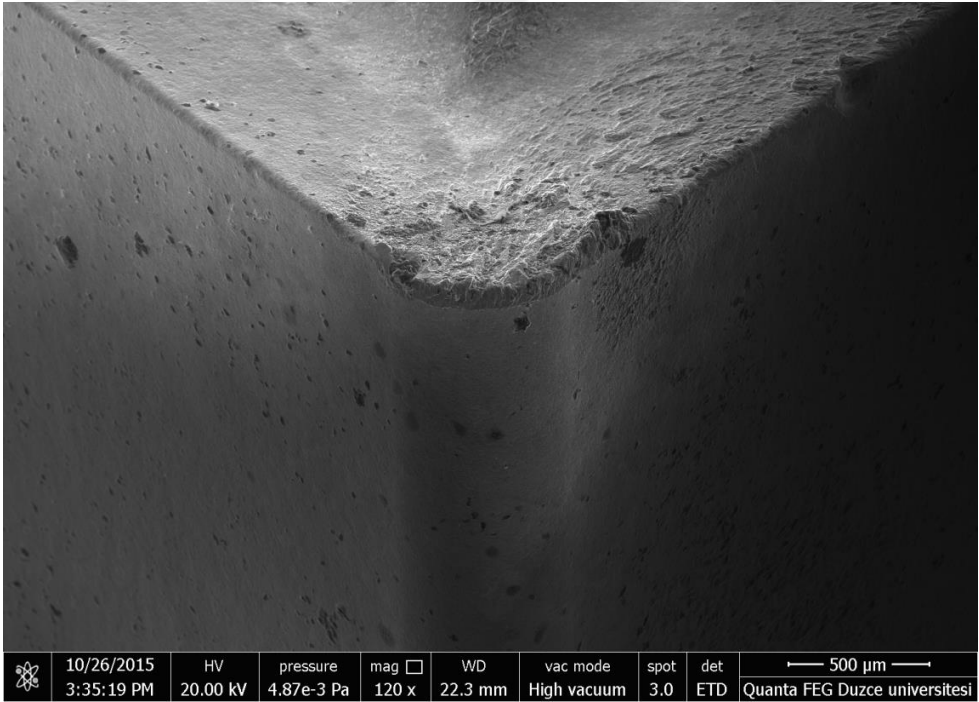


Şekil 5.46. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KPL takımın incelenmesi  
( $T_x=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=278\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).

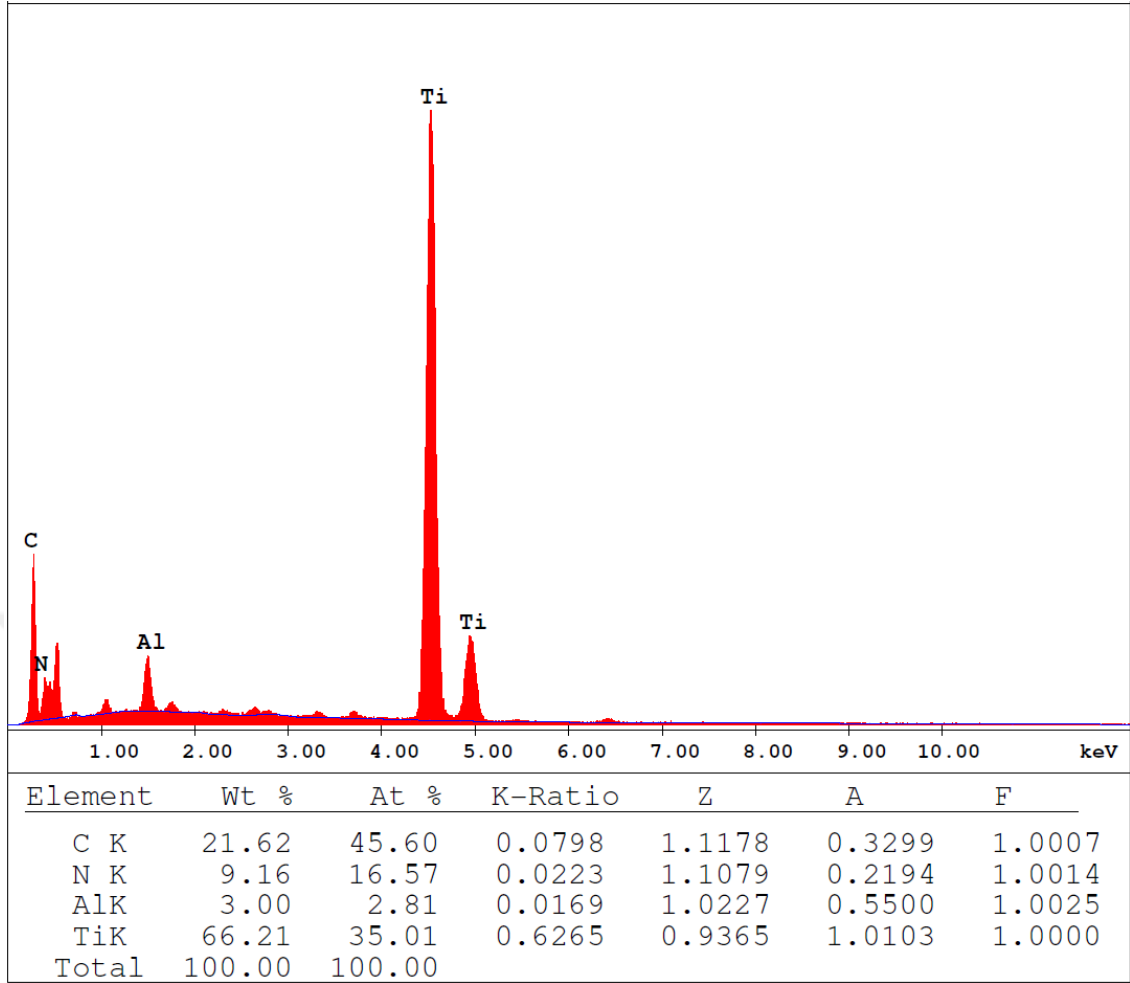
Şekil 5.44, Şekil 5.45 ve Şekil 5.46’da Ti6Al4V titanyum alaşımların tornalanmasında  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $278,03\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,098\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında kesici takımların durumları incelendiğinde her üç kesici takımında da talaş yapışmasının meydana geldiği görülmektedir. En iyi aşınma direncini KİG kesici takım göstermiştir. Kesici takımın burun kısmında talaş birikmesi oluşmuştur. KSZ kesici takımında talaş yığılmasının miktarının KİG takıma göre fazla olduğu görülmektedir. KPL kesici takım incelendiğinde ise takımın kesme kısmında oluşan kaplamanın koptuğu açıkça görülmektedir.



Şekil 5.47. Ti6Al4V alaşımlının tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

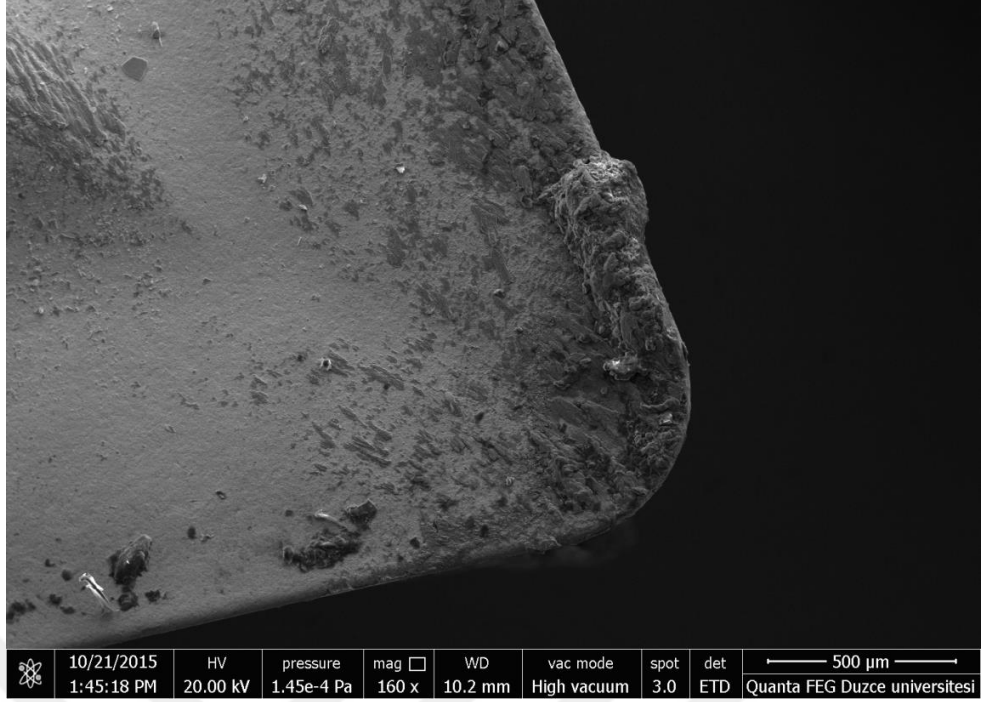


Şekil 5.48. Ti6Al4V alaşımlının tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

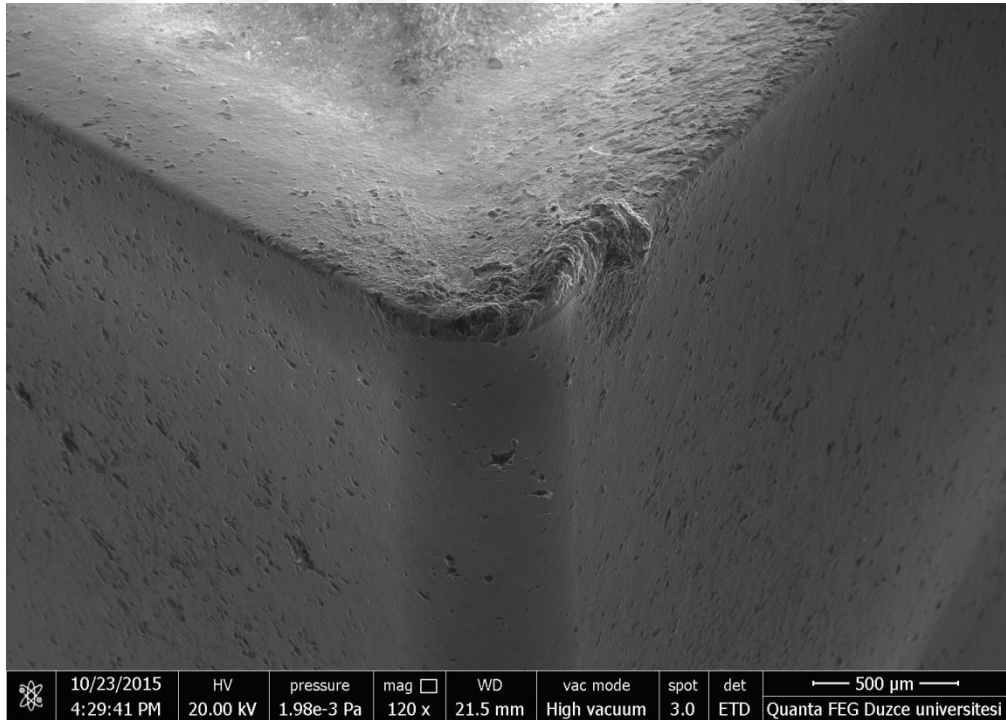


Şekil 5.49. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KİG takımın EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).

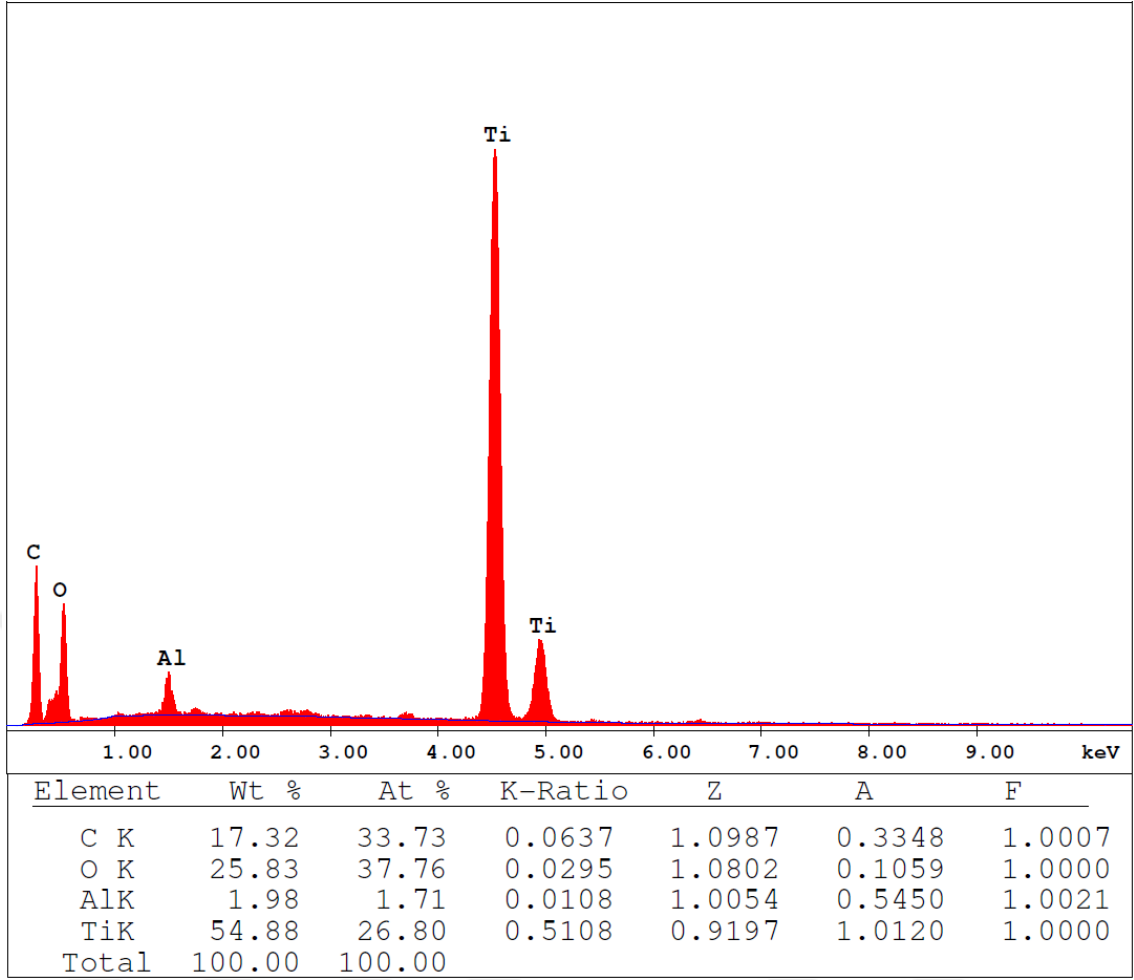
Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de Ti6Al4V titanyum alaşımların tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,098\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KİG kesici takımın ile tornalanmasında kesici takımın durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda kesici takımdaki aşınmasından ziyade talaş yapışmasının olduğu görülmektedir. Yine SEM cihazı ile yapılmış olan EDX analizi bu sonucu doğrulamaktadır. Şekil 5.49’da yapılan analiz sonucu kesici takım üzerinde %66,21 miktarında titanyum (Ti) elementinin olduğunu ortaya koymuştur. Kesici takıma uygulanmış olan kriyojenik işlem neticesinde kesici takım yapısında %9,16 oranında azot(N) elementine rastlanmıştır.



Şekil 5.50. Ti6Al4V alaşımanın tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

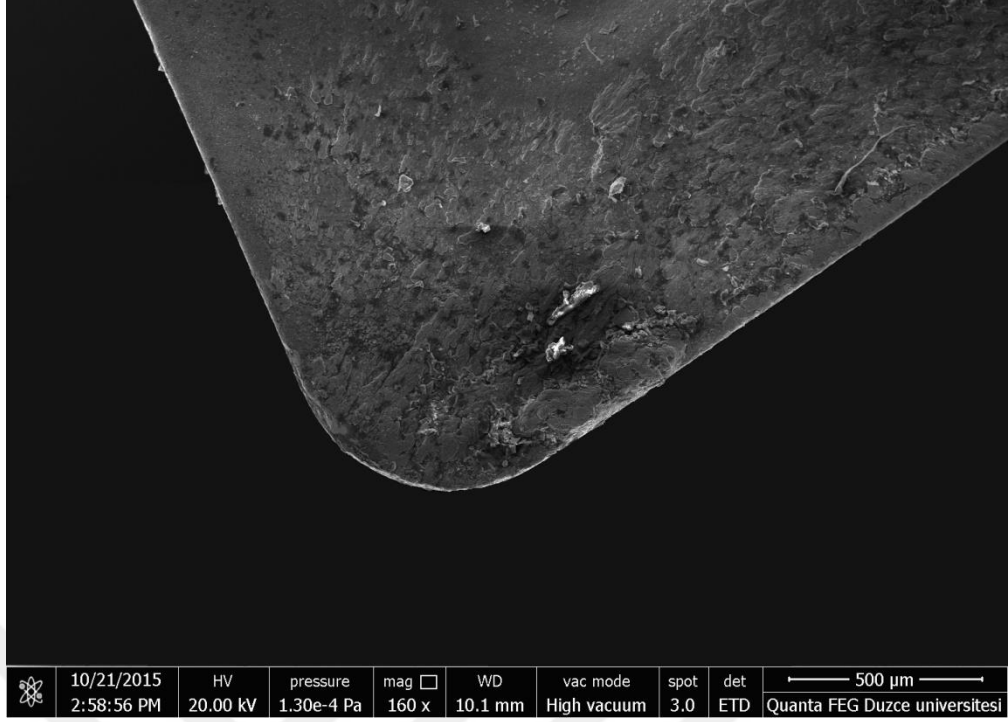


Şekil 5.51. Ti6Al4V alaşımanın tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

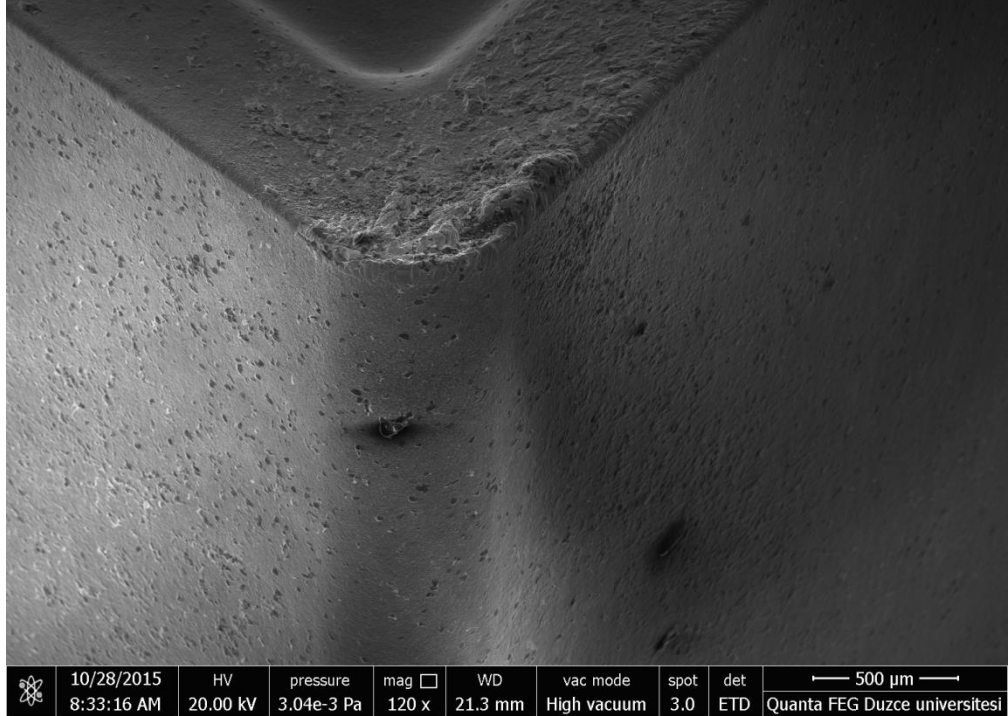


Şekil 5.52. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KSZ takımın EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).

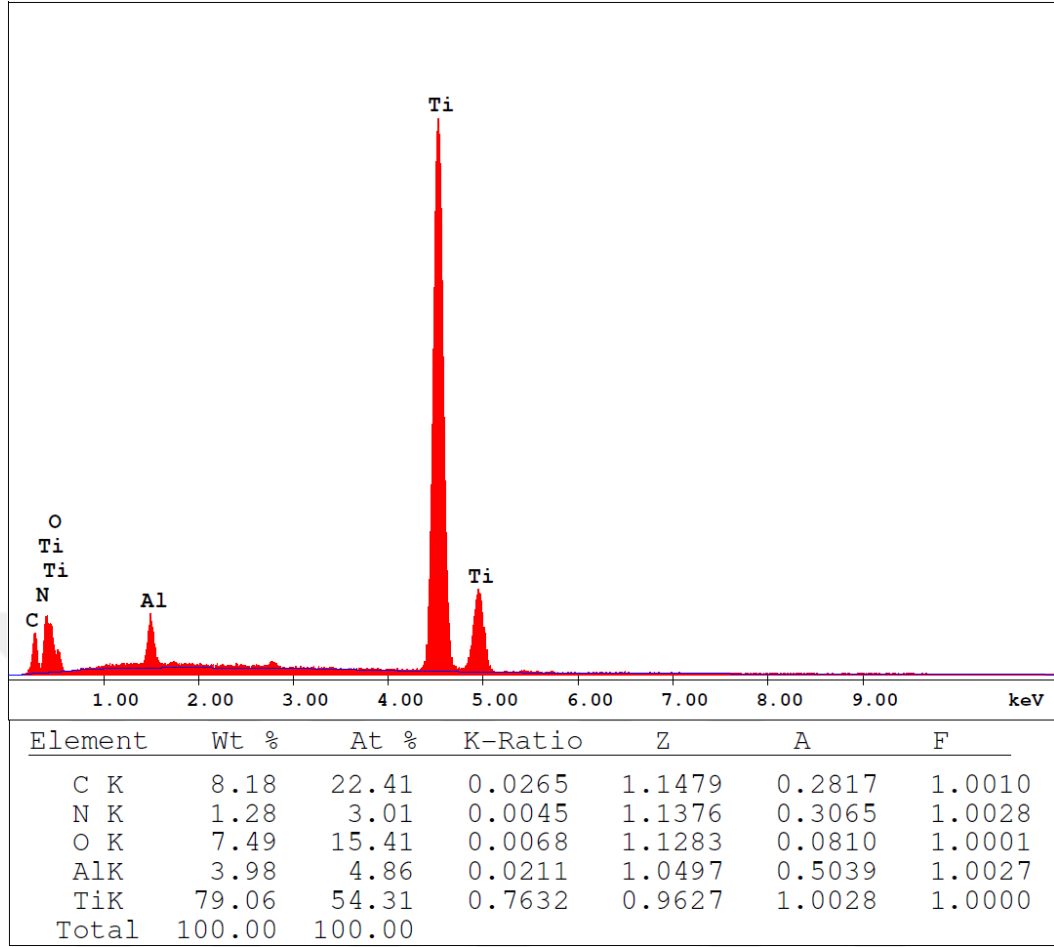
Şekil 5.50 ve Şekil 5.51’de Ti6Al4V titanyum alaşımın tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,098\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KSZ kesici takımın ile tornalanmasında kesici takımın durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda kesici takımdaki aşınmasından ziyade talaş yapışmasının olduğu görülmektedir. Yine SEM cihazı ile yapılmış olan EDX analizi bu sonucu doğrulamaktadır. Şekil 5.52’de yapılan analiz sonucu kesici takım üzerinde %54,88 miktarında Ti elementinin olduğunu ortaya koymuştur. KSZ kesici takım ile KİG kesici takım karşılaştırıldığında ise KSZ kesici takımda talaş yapışmasının daha fazla olduğu net olarak görülmektedir.



Şekil 5.53. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

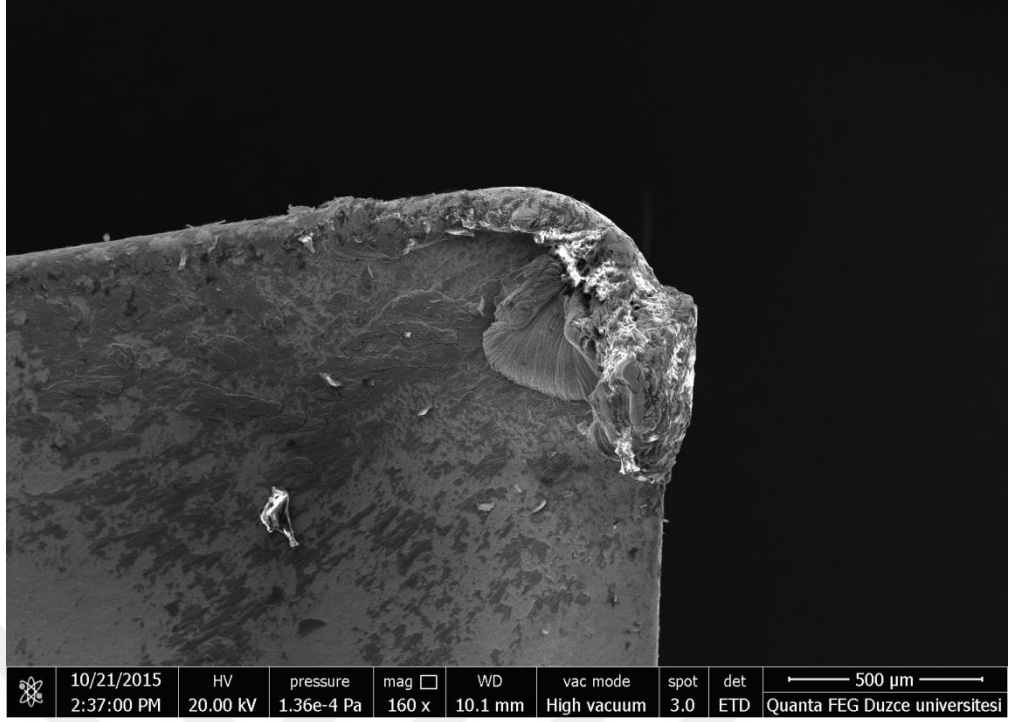


Şekil 5.54. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

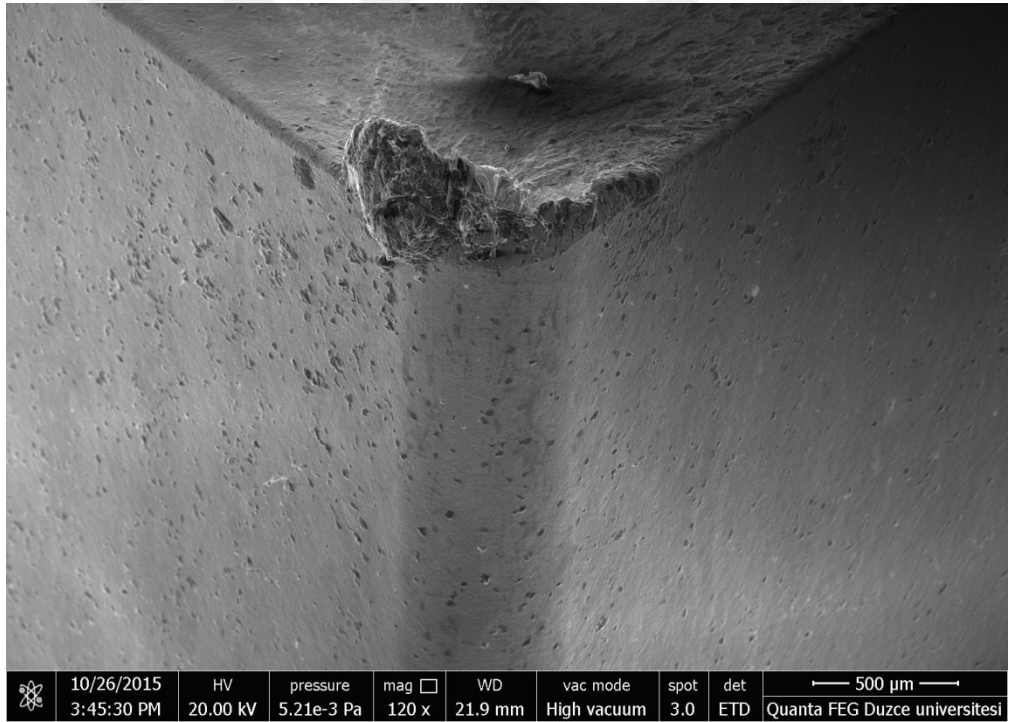


Şekil 5.55. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KPL takımın EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).

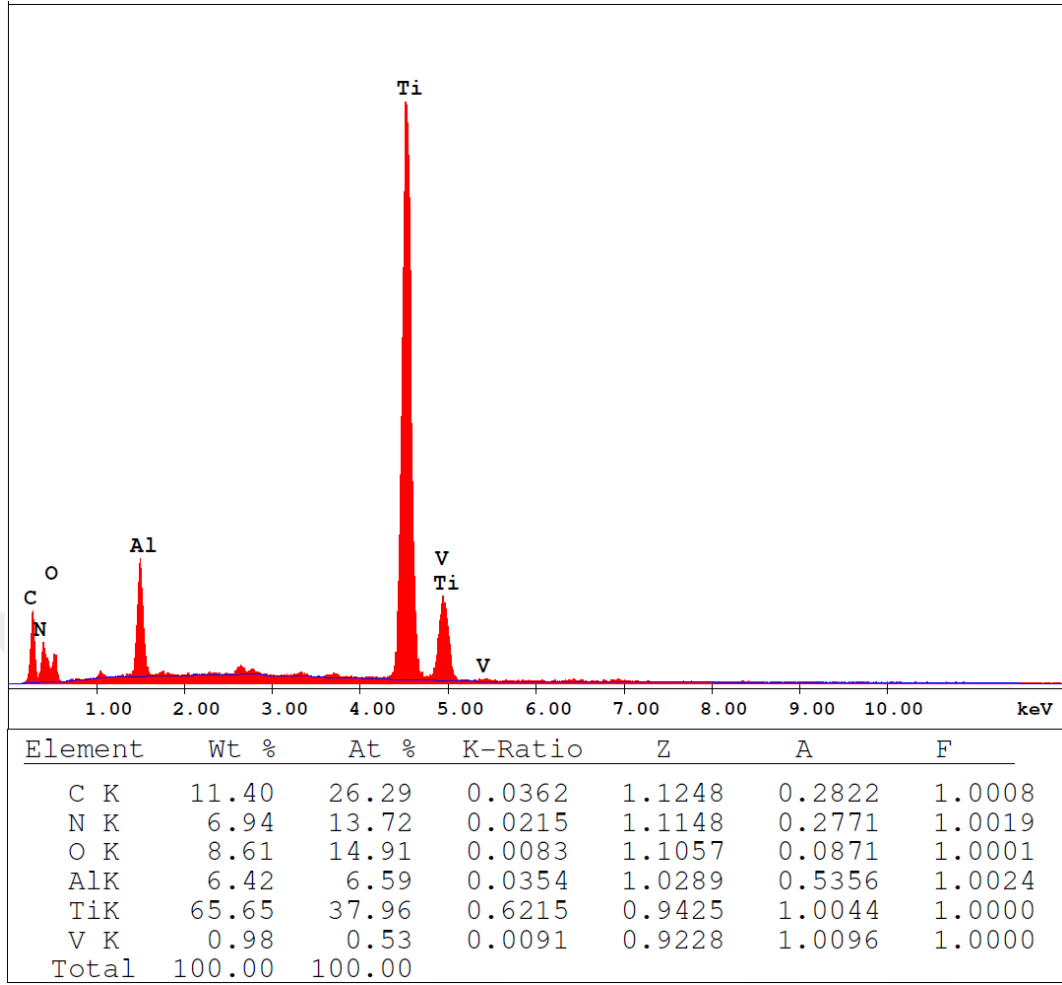
Şekil 5.53 ve Şekil 5.54’te Ti6Al4V titanyum alaşımın tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,098\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KPL kesici takımın ile tornalanmasında kesici takımın durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda kesici takımdaki aşınmasından ziyade talaş yapışmasının olduğu görülmektedir. Yine SEM cihazı ile yapılmış olan EDX analizi bu sonucu doğrulamaktadır. Şekil 5.55’te yapılan analiz sonucu kesici takım üzerinde %79,06 miktarında Ti elementinin olduğunu ortaya koymuştur. EDX analizi sonucunda aynı kesme şartlarında KPL kesici takımın yüzeyindeki titanyum(Ti) elementinin oranının daha diğer kesici takımlardaki orandan yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun oluşmasındaki neden KPL kesici takımın kaplamada kullanılan  $(\text{Ti,Al})\text{N}+\text{TiN}$  kaplayıcıdır. Kesici takım ile kaplama arasında difüzyon aşınması meydana gelmiştir. Kesici takımdaki Ti ile iş parçasındaki Ti arasında reaksiyon oluşmuştur.



Şekil 5.56. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ).

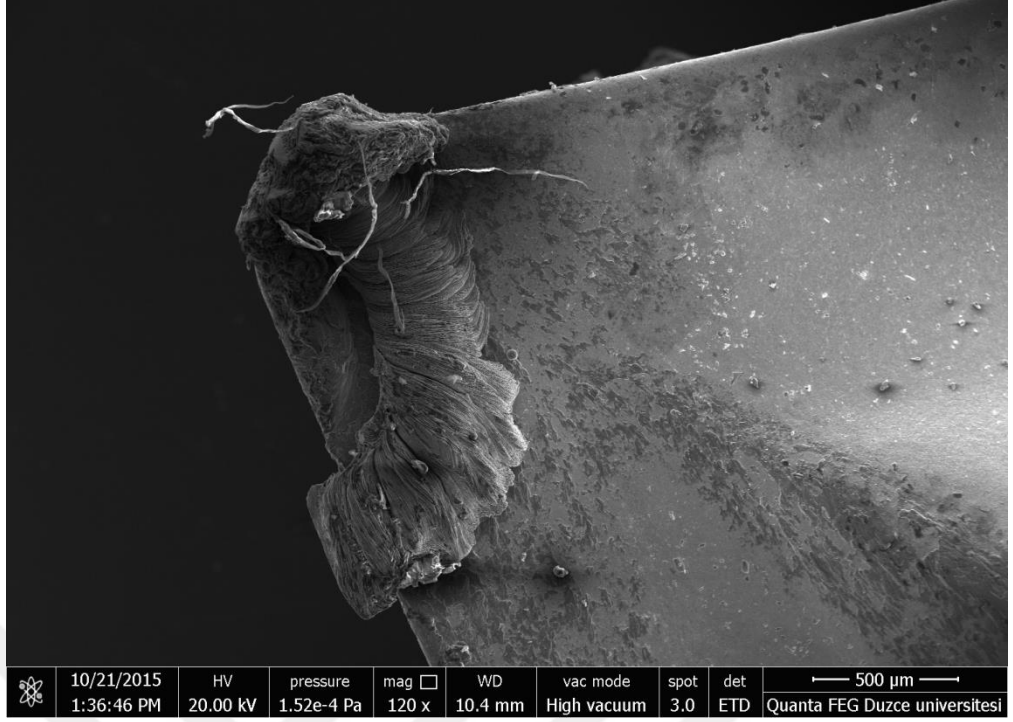


Şekil 5.57. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ).

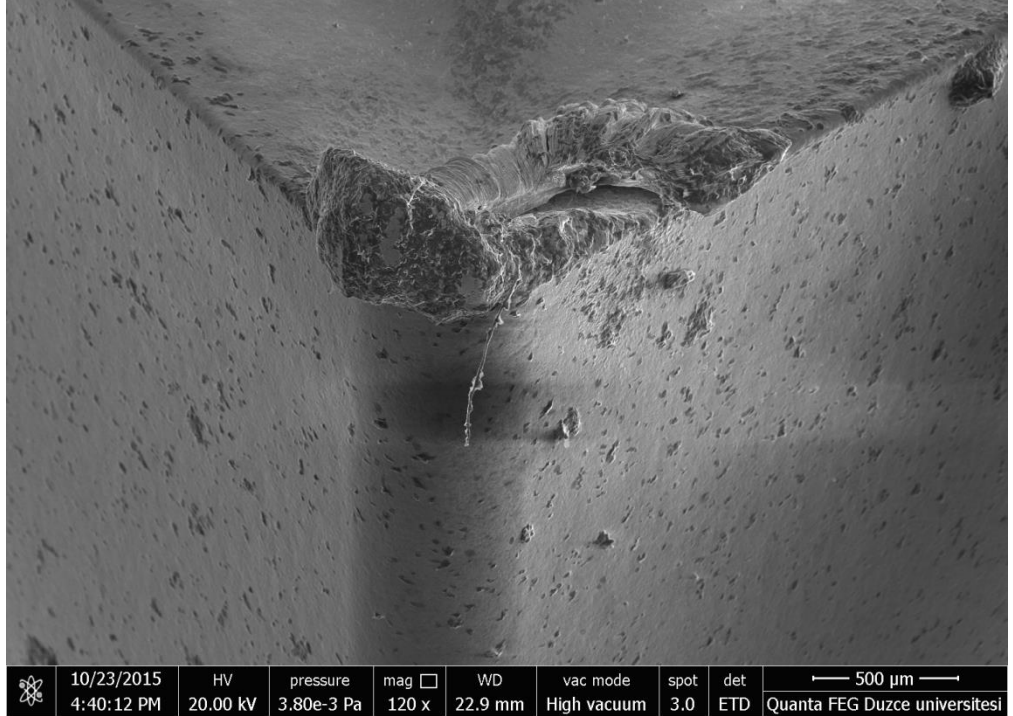


Şekil 5.58. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KİG takımın EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ).

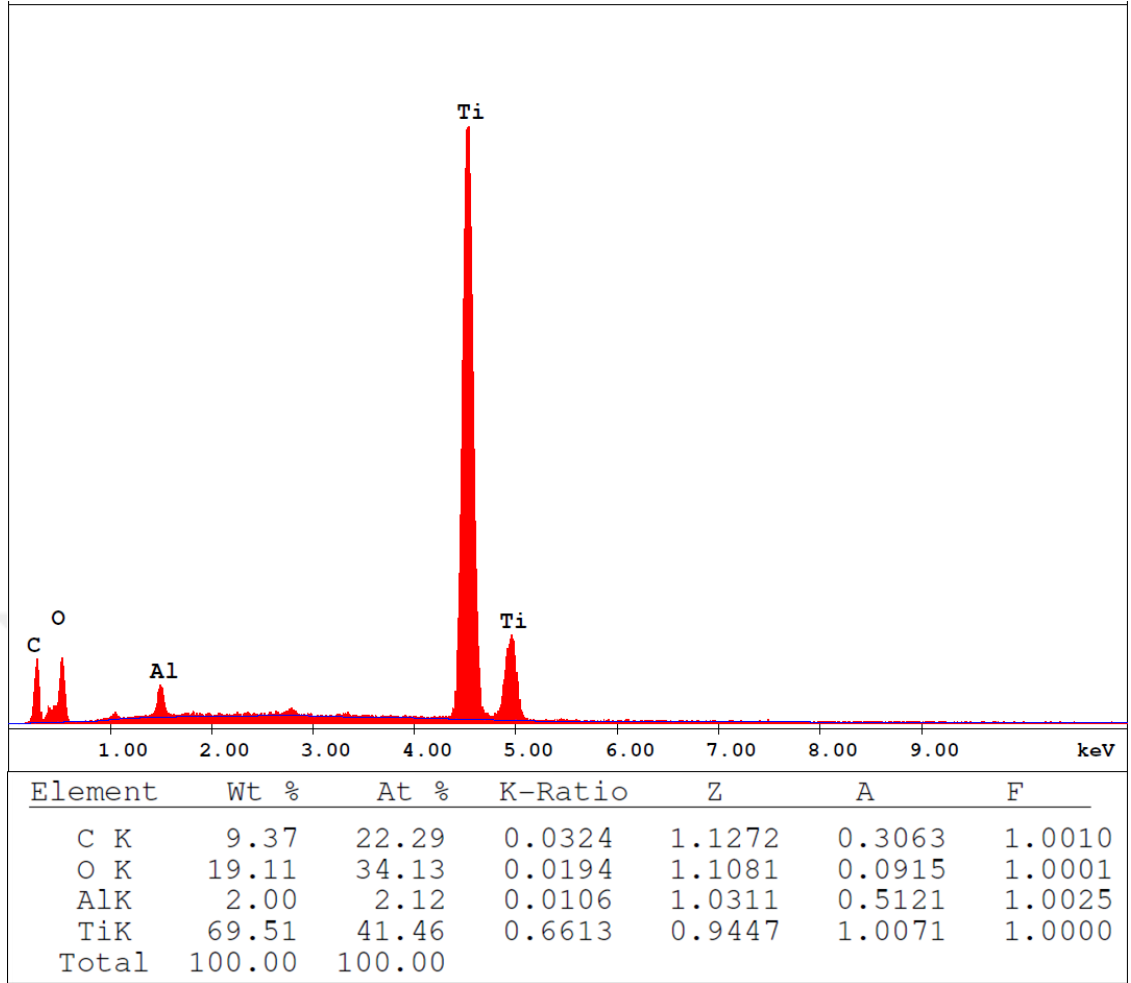
Şekil 5.56 ve Şekil 5.57’de Ti6Al4V titanyum alaşımların tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,196\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KİG kesici takımın ile tornalanmasında kesici takımın durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda kesici takımdaki aşınmasından ziyade talaş yapışmasının olduğu görülmektedir. Yine SEM cihazı ile yapılmış olan EDX analizi bu sonucu doğrulamaktadır. Şekil 5.58’de yapılan analiz sonucu kesici takım üzerinde %65,65 miktarında titanyum (Ti) elementinin olduğunu ortaya koymuştur. Kesici takıma uygulanmış olan kriyojenik işlem neticesinde kesici takım yapısında %6,94 oranında N elementine rastlanmıştır. KİG kesici takımlarla kesme işleminde ilerleme miktarının  $0,098\text{ mm/dev}$ ’den  $0,196\text{ mm/dev}$ ’e çıkmasıyla talaş yapışmasında gözle görünür bir artış olmuştur.



Şekil 5.59. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,196$  mm/dev).

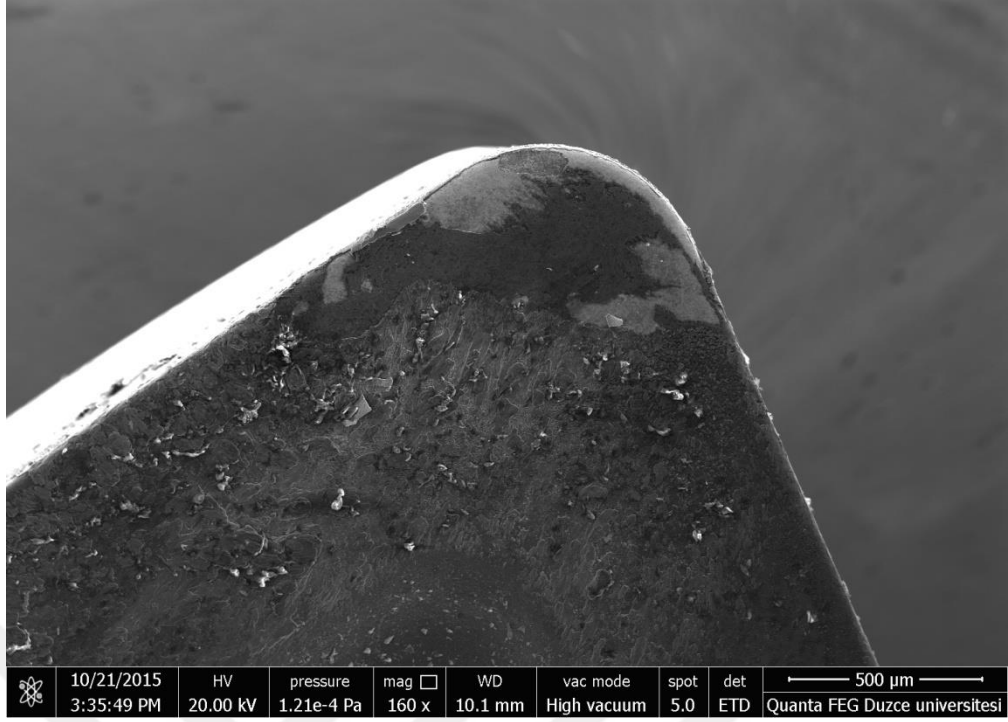


Şekil 5.60. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,196$  mm/dev).

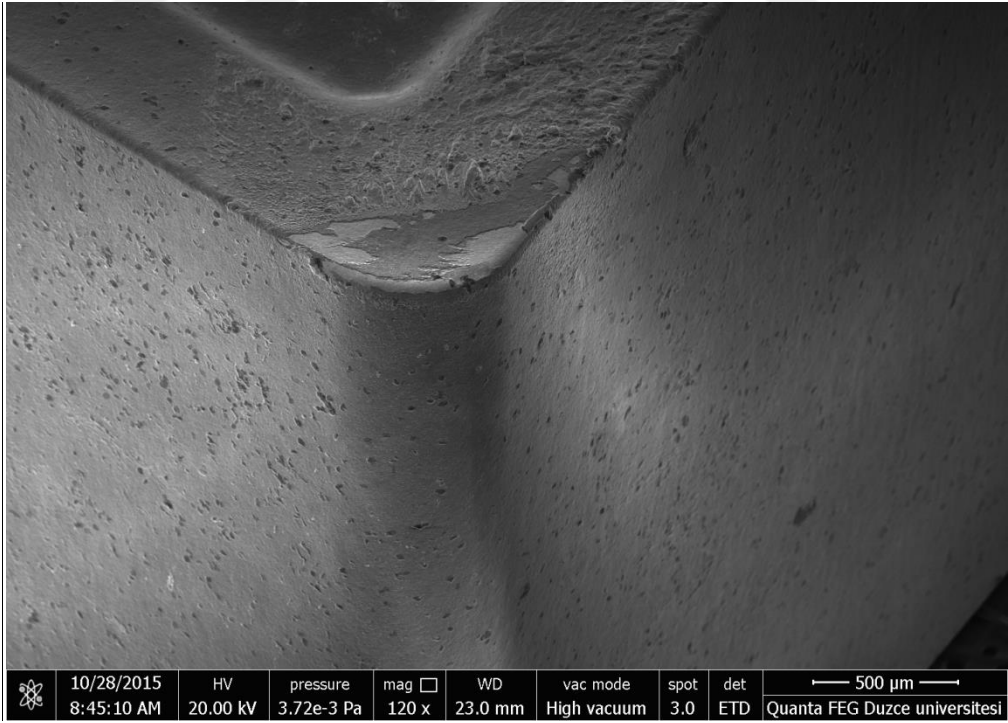


Şekil 5.61. Ti6Al4V alaşımanın tornalanmasında KSZ takımının EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ).

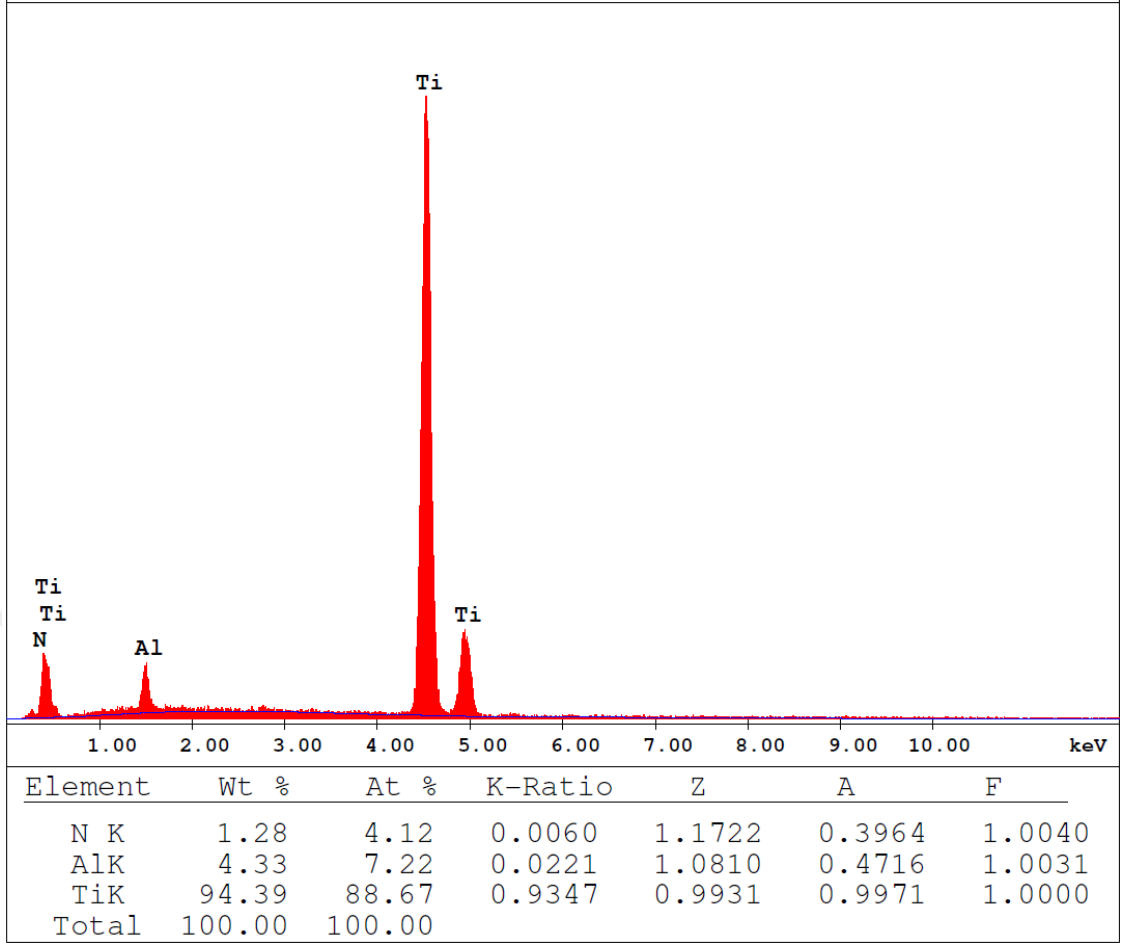
Şekil 5.59 ve Şekil 5.60'ta Ti6Al4V titanyum alaşımanın tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,196\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KSZ kesici takımının ile tornalanmasında kesici takımının durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda kesici takımdaki aşınmasından ziyade talaş yapışmasının olduğu görülmektedir. Yine SEM cihazı ile yapılmış olan EDX analizi bu sonucu doğrulamaktadır. Şekil 5.61'de yapılan analiz sonucu kesici takım üzerinde %69,51 miktarında Ti elementinin olduğunu ortaya koymuştur. KSZ kesici takımlarla kesme işleminde ilerleme miktarının  $0,098\text{ mm/dev}$ 'dan  $0,196\text{ mm/dev}$ 'a çıkmasıyla talaş yapışmasında artış net olarak bellidir.



Şekil 5.62. Ti6Al4V alaşımının tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,196$  mm/dev).

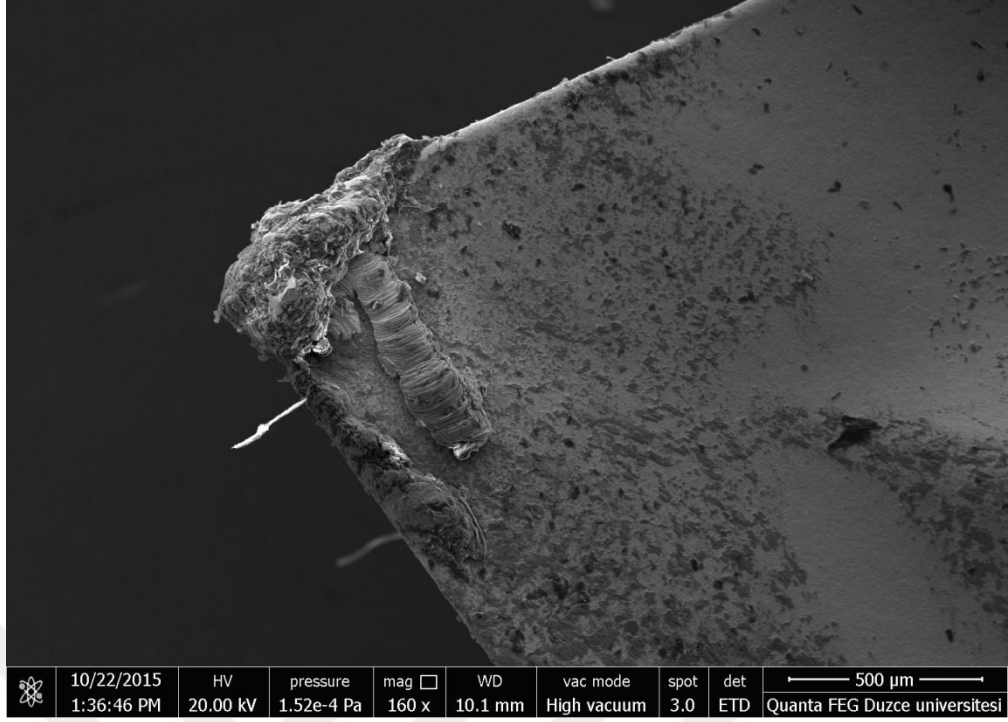


Şekil 5.63. Ti6Al4V alaşımının tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,196$  mm/dev).

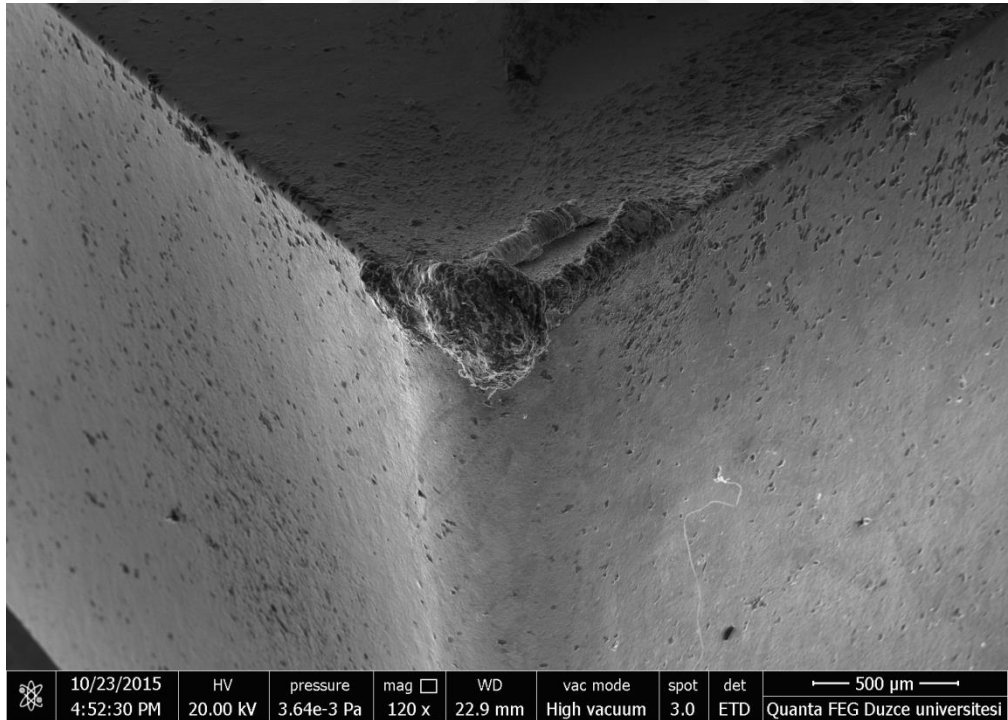


Şekil 5.64. Ti6Al4V alaşımlarının tornalanmasında KPL takımının EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,196\text{ mm/dev}$ ).

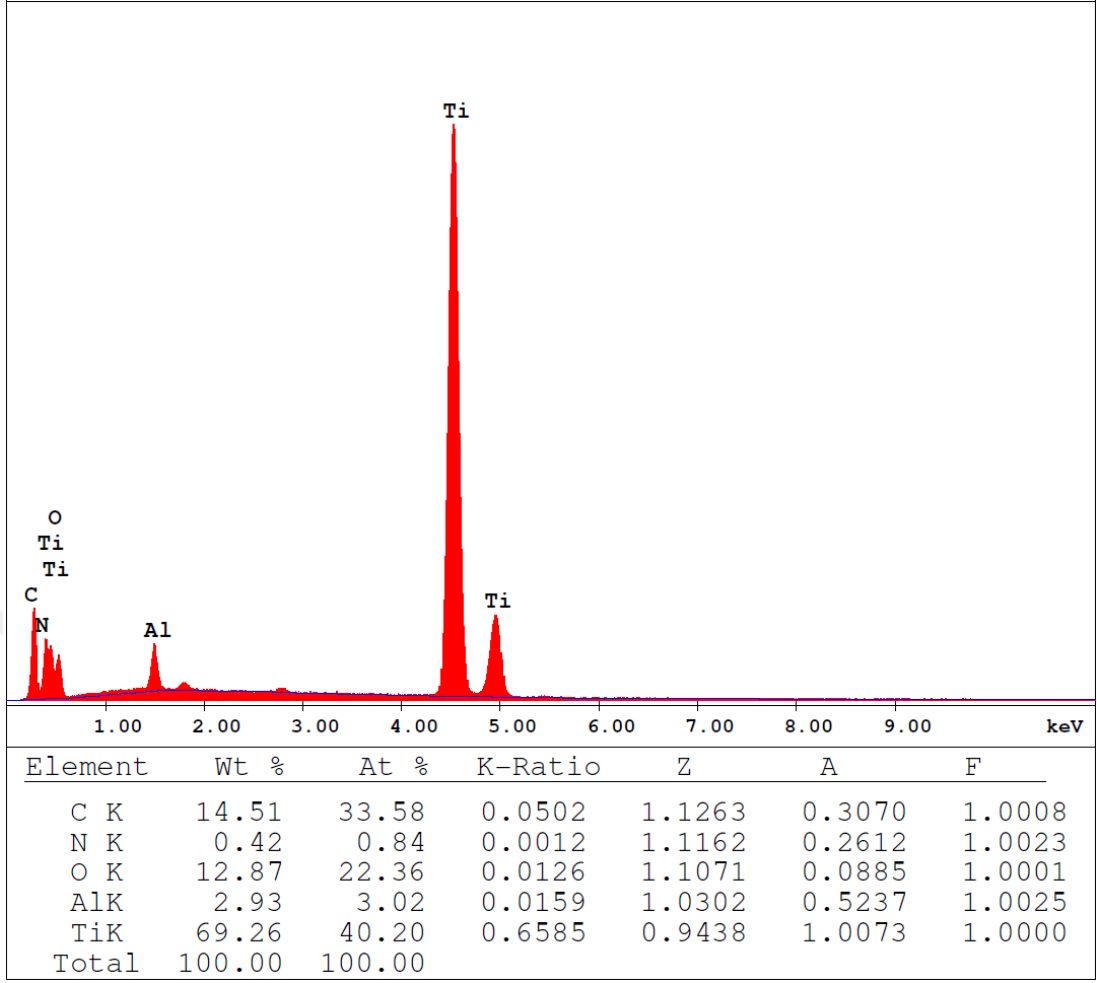
Şekil 5.62 ve Şekil 5.63'te Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,196\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KPL kesici takımının ile tornalanmasında kesici takımının durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. Yine SEM cihazı ile yapılmış olan EDX analizi bu sonucu doğrulamaktadır. Şekil 5.64'te yapılan analiz sonucu kesici takım üzerinde %94,39 miktarında Ti elementinin olduğunu ortaya koymuştur. EDX analizi sonucunda aynı kesme şartlarında KPL kesici takımının yüzeyindeki titanyum (Ti) elementinin oranının daha diğer kesici takımlardaki orandan yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun oluşmasındaki neden KPL kesici takımının kaplamada kullanılan (Ti,Al)N+TiN kaplayıcıdır. Kesme hızının  $0,098\text{ mm/dev}$ 'den  $0,196\text{ mm/dev}$ 'e çıkarılmasıyla kesici takım ile kaplama arasında difüzyon aşınması artmıştır. Kesici takımdaki Ti ile iş parçasındaki Ti arasında reaksiyon oluşmuştur. Bu reaksiyon neticesinde KPL kesici takımda kaplama kopması net olarak meydana gelmiştir.



Şekil 5.65. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=185,35$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

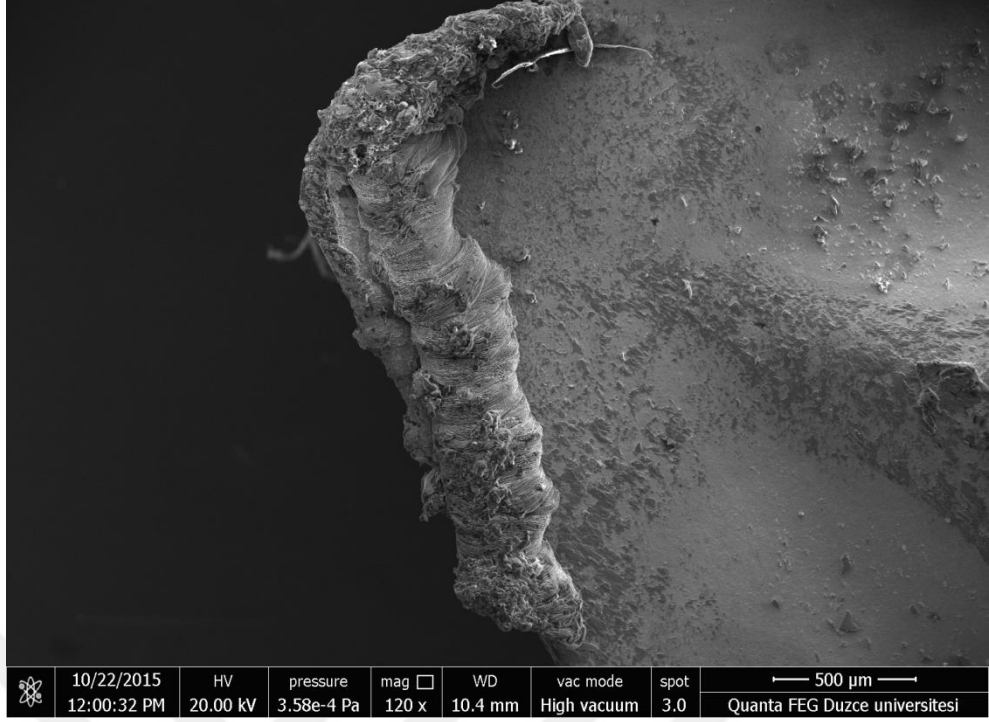


Şekil 5.66. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KİG takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=185,35$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

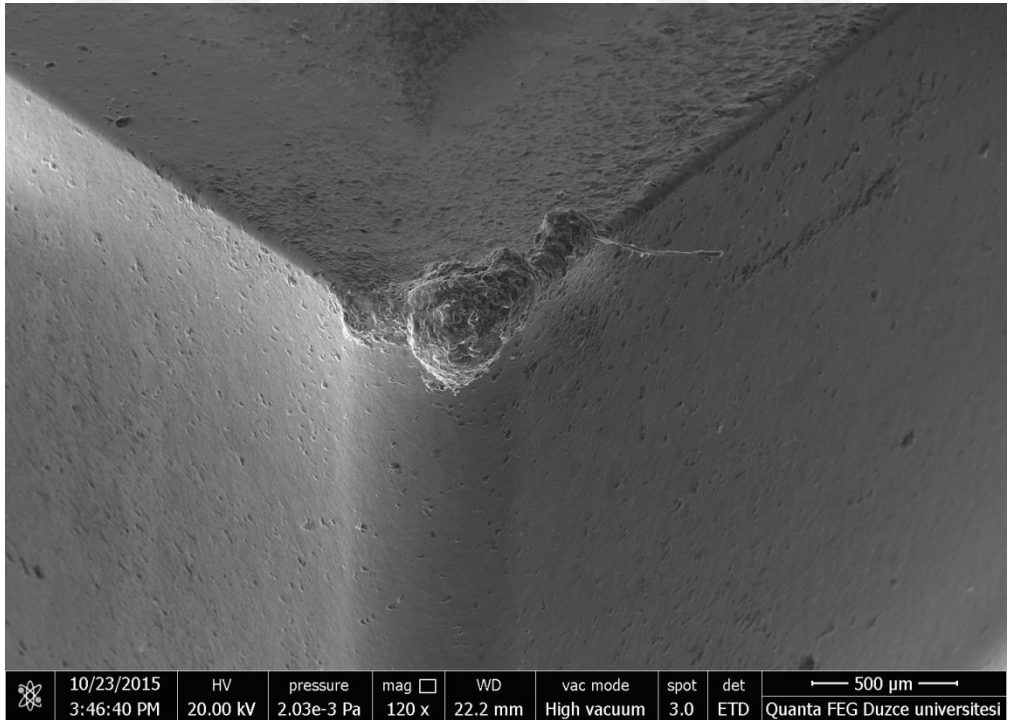


Şekil 5.67. Ti6Al4V alaşımın tornalanmasında KİG takımın EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=185,35\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).

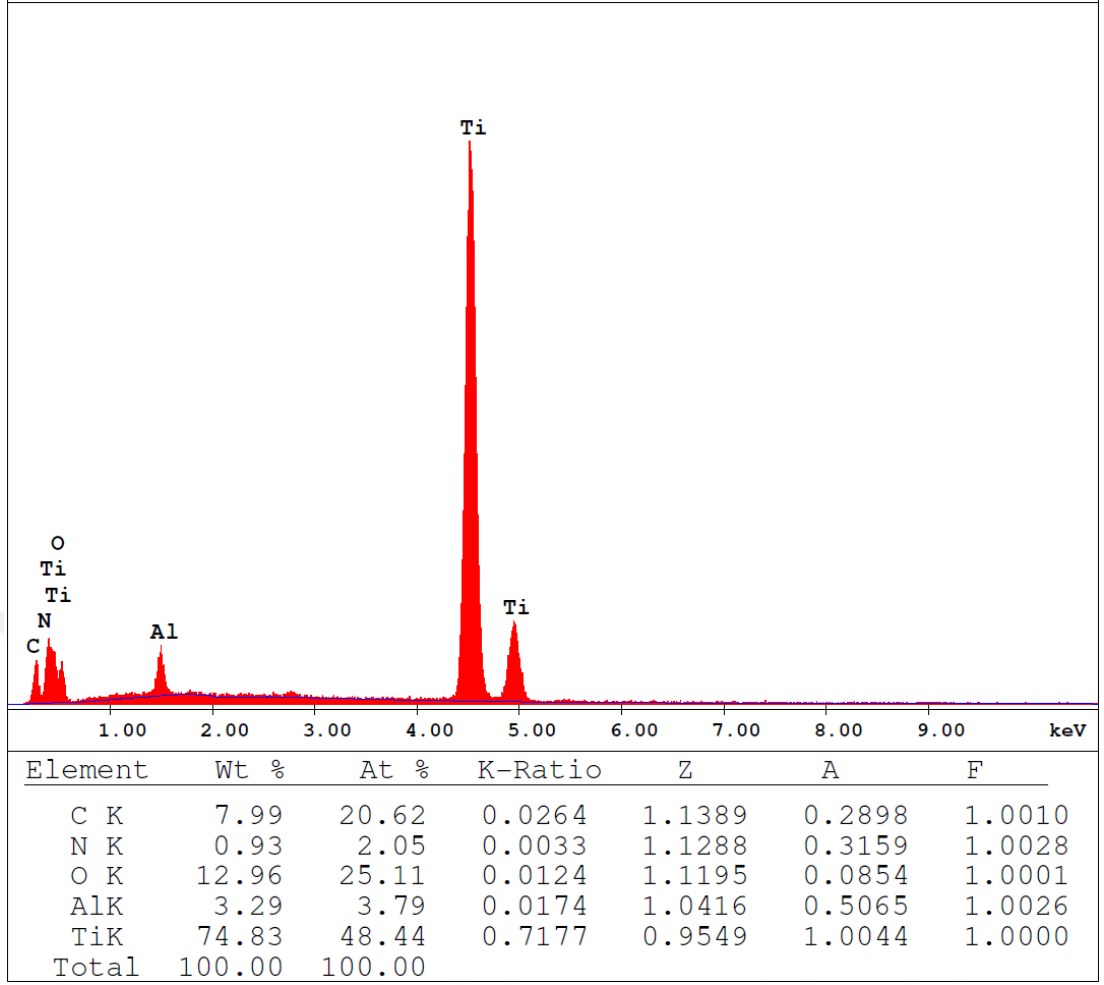
Şekil 5.65 ve Şekil 5.66’da Ti6Al4V titanyum alaşımın tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $185,35\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,098\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KİG kesici takımın ile tornalanmasında kesici takımın durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda yine talaş yapışması ön plandadır. Şekil 5.67’deki EDX inceleme sonuçlarına bakıldığında KİG kesici takım yapısında %69,26 oranında Ti elementi bulunmuştur.  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızındaki takım durumu ile  $185,35\text{ m/dak}$  kesme hızındaki kesici takım durumu karşılaştırıldığında aradaki büyük fark göze çarpmaktadır. Kesme hızının artmasıyla birlikte talaş yapışma miktarında büyük bir artış gözlenmiştir.



Şekil 5.68. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=185,35$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

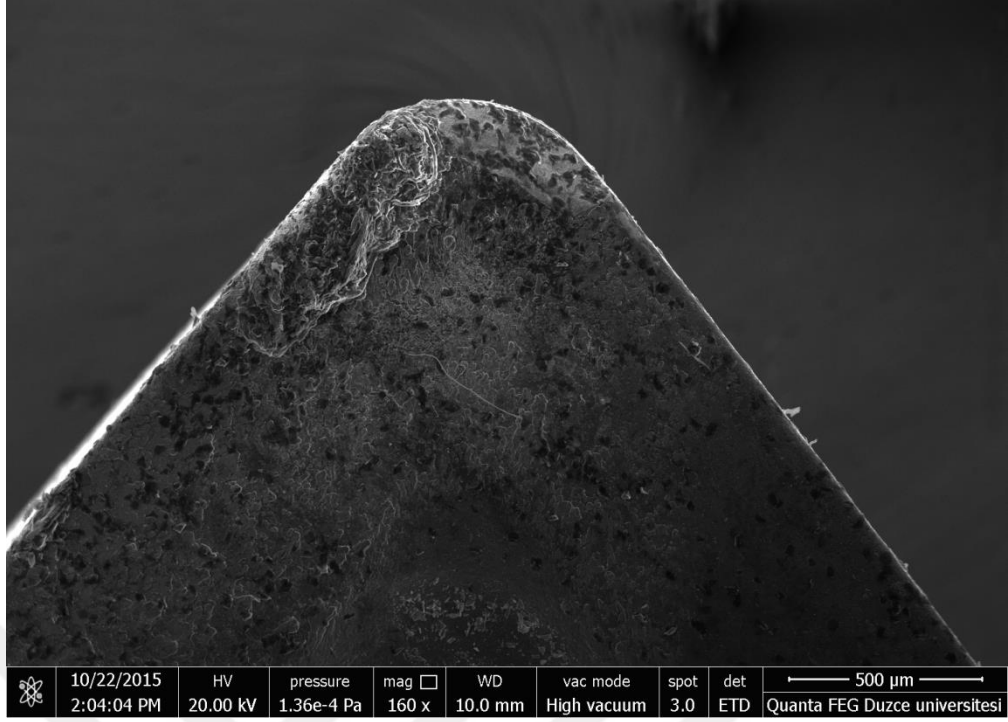


Şekil 5.69. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KSZ takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=185,35$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

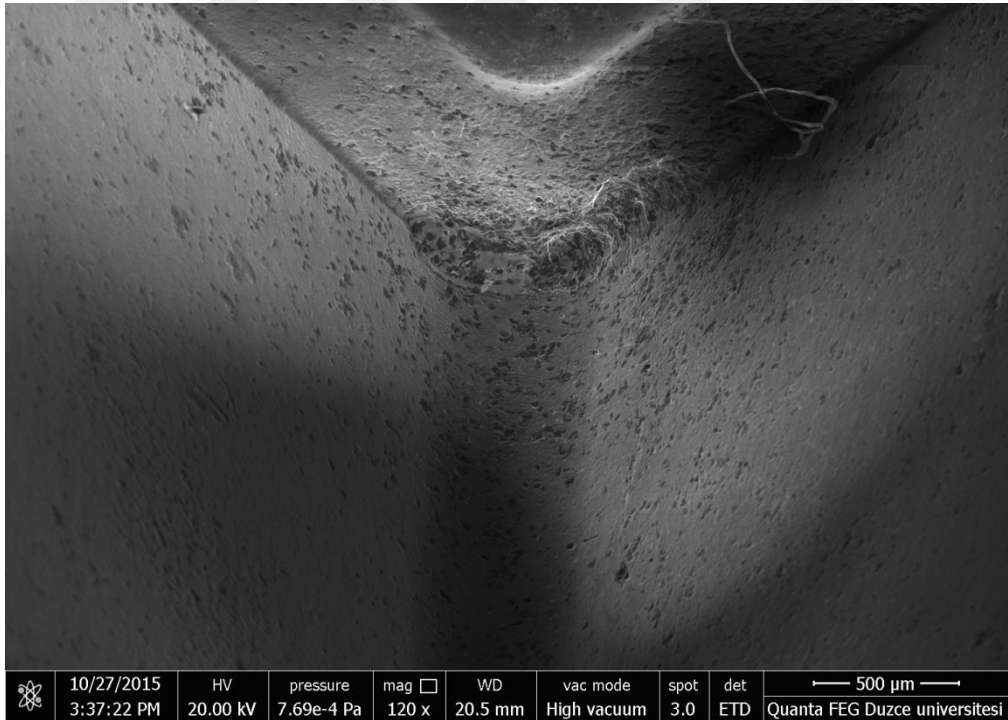


Şekil 5.70. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KSZ takımın EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=185,35\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).

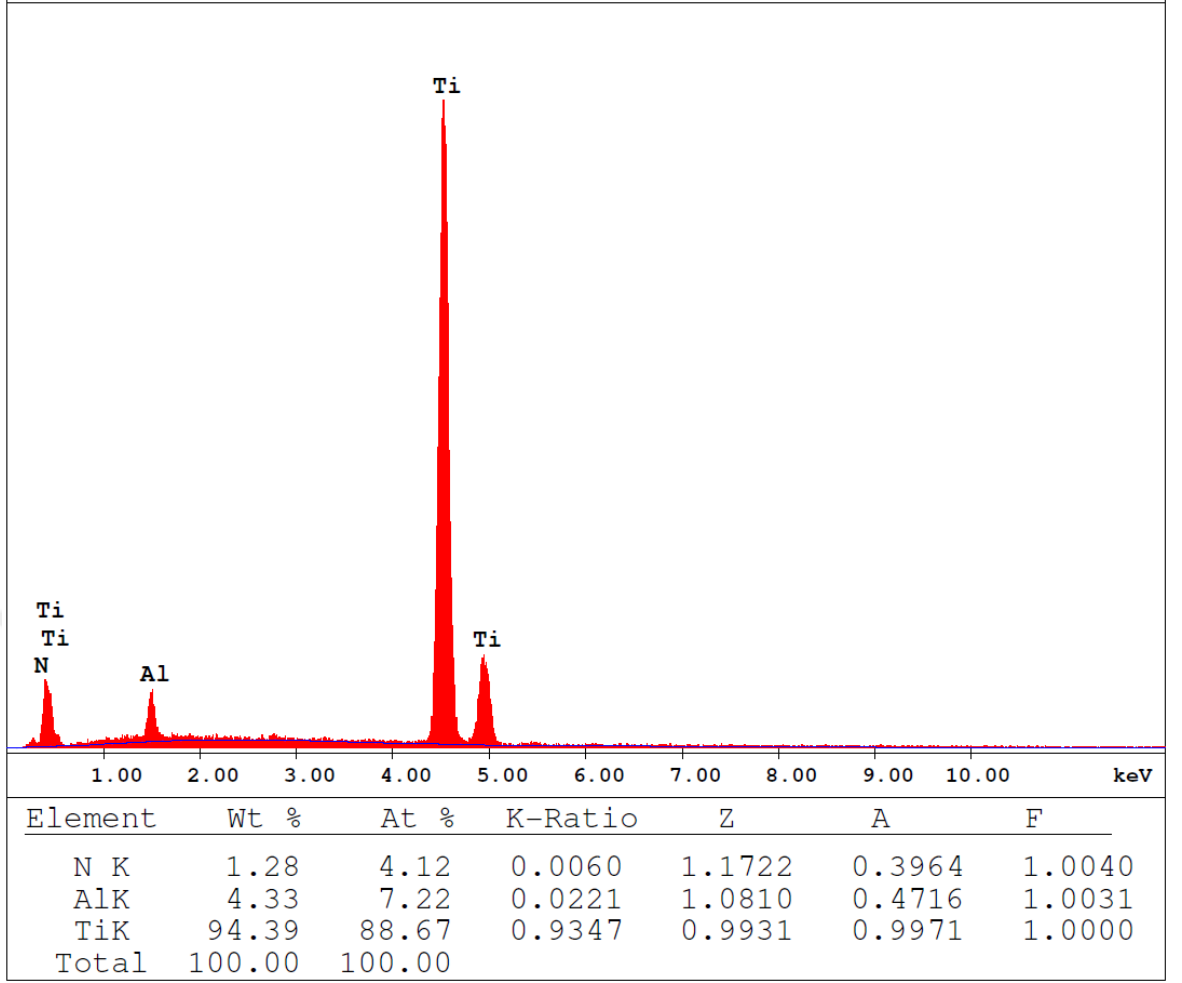
Şekil 5.68 ve Şekil 5.69’da Ti6Al4V titanyum alaşımların tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $185,35\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,098\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KSZ kesici takımın ile tornalanmasında kesici takımın durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda yine talaş yapışması ön plandadır. Şekil 5.70’deki EDX inceleme sonuçlarına bakıldığında KİG kesici takım yapısında %74,83 oranında Ti elementi bulunmuştur.  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızındaki takım durumu ile  $185,35\text{ m/dak}$  kesme hızındaki kesici takım durumu arasında büyük fark bulunmaktadır. Kesme hızının artması ile birlikte talaş yapışmasında büyük artış meydana gelmiştir. KİG kesici takım ile KSZ kesici takım karşılaştırıldığında ise KSZ kesici takımda talaş yapışma miktarının fazlalığı göze çarpmaktadır. Bu durum yüzey pürüzlülüğünün kalitesini de aynı oranda etkilemiştir.



Şekil 5.71. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=185,35$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

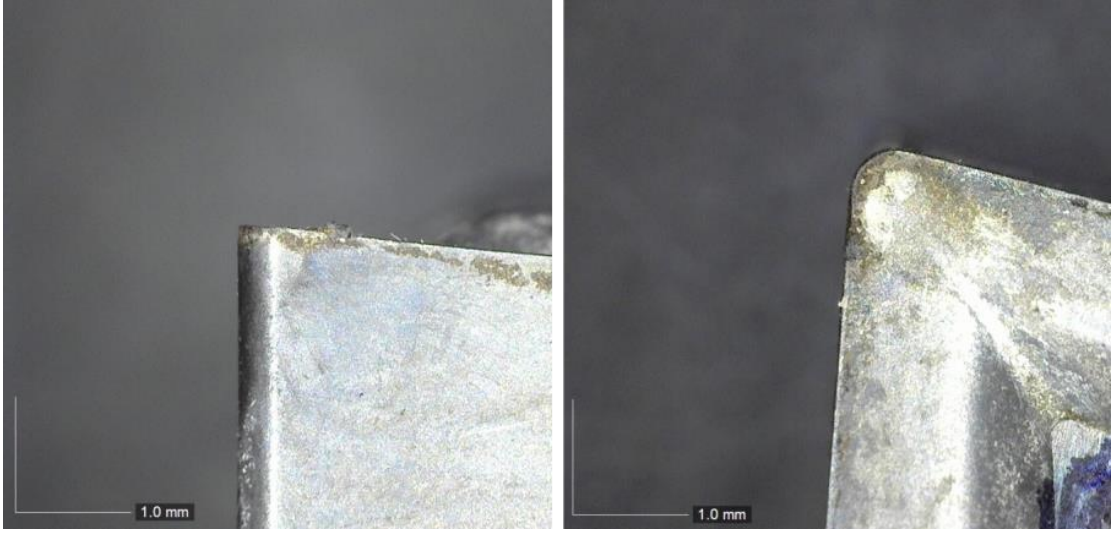


Şekil 5.72. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KPL takımının SEM cihazı ile incelenmesi ( $T_x=450$  °C,  $V_r=185,35$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

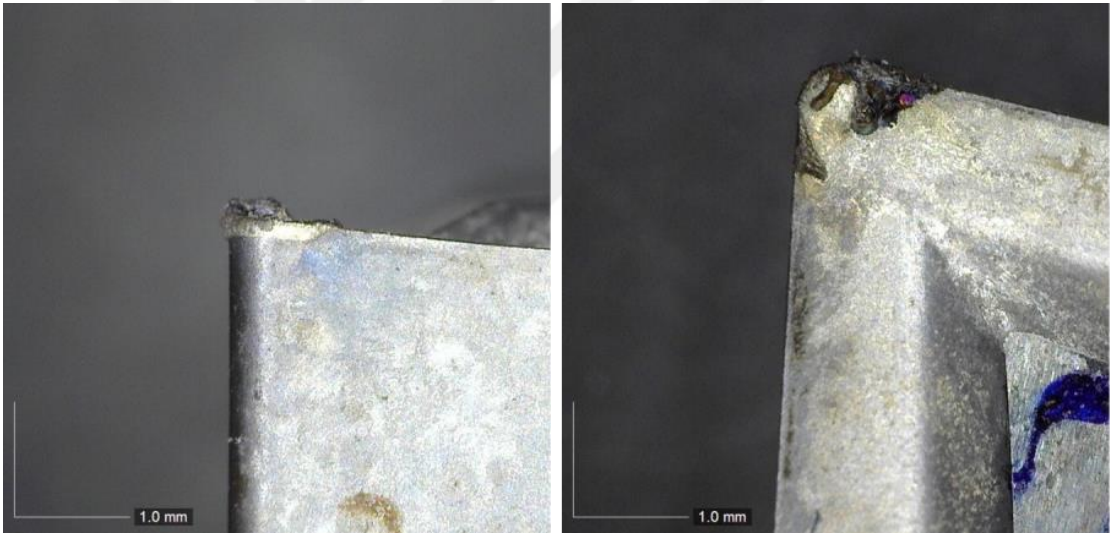


Şekil 5.73. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KPL takımın EDX analizi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=185,35\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).

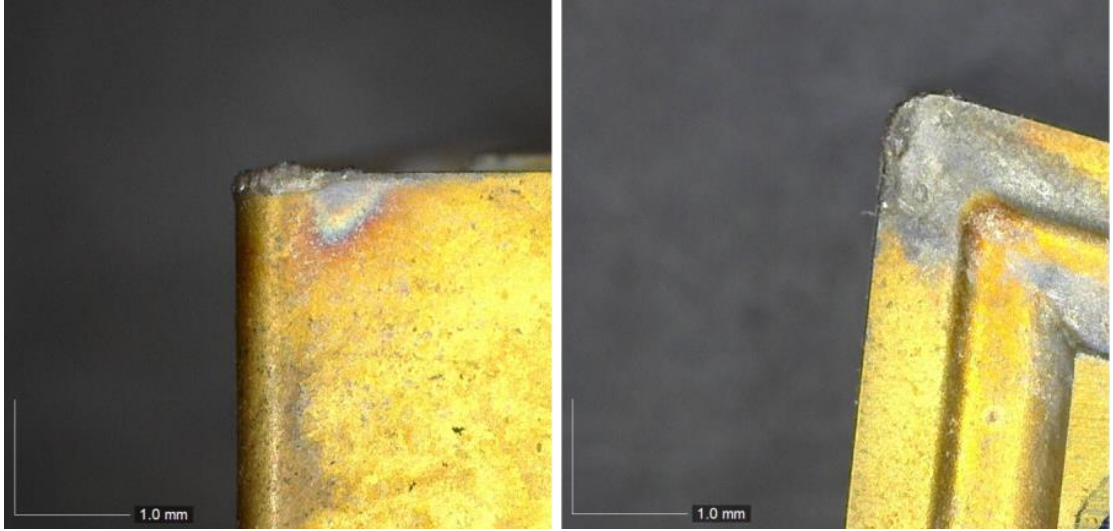
Şekil 5.71 ve Şekil 5.72’de Ti6Al4V titanyum alaşımların tornalanmasında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $185,35\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,098\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında KPL kesici takımın ile tornalanmasında kesici takımın durumu SEM cihazı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda yine talaş yapışması ön plandadır. Şekil 5.73’teki EDX inceleme sonuçlarına bakıldığında KİG kesici takım yapısında %94,39 oranında Ti elementi bulunmuştur.  $92,67\text{ m/dak}$  kesme hızındaki takım durumu ile  $185,35\text{ m/dak}$  kesme hızındaki kesici takım durumu karşılaştırıldığında diğer kesici takımlarda olduğu gibi talaş yapışmasındaki artış görülmektedir. KPL takımında özellikle kesici takımın kesme yüzeyinin kenarında oluşan talaş ön plana çıkmaktadır. Hem kaplamanın kopması hemde oluşan talaş yığılması neticesinde yüzey pürüzlülük kalitesinde ciddi düşüş gözlenmiştir.



Şekil 5.74. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KİG takımının incelenmesi  
( $T_x=650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=278,03\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).



Şekil 5.75. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi  
( $T_x=650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=278,03\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).

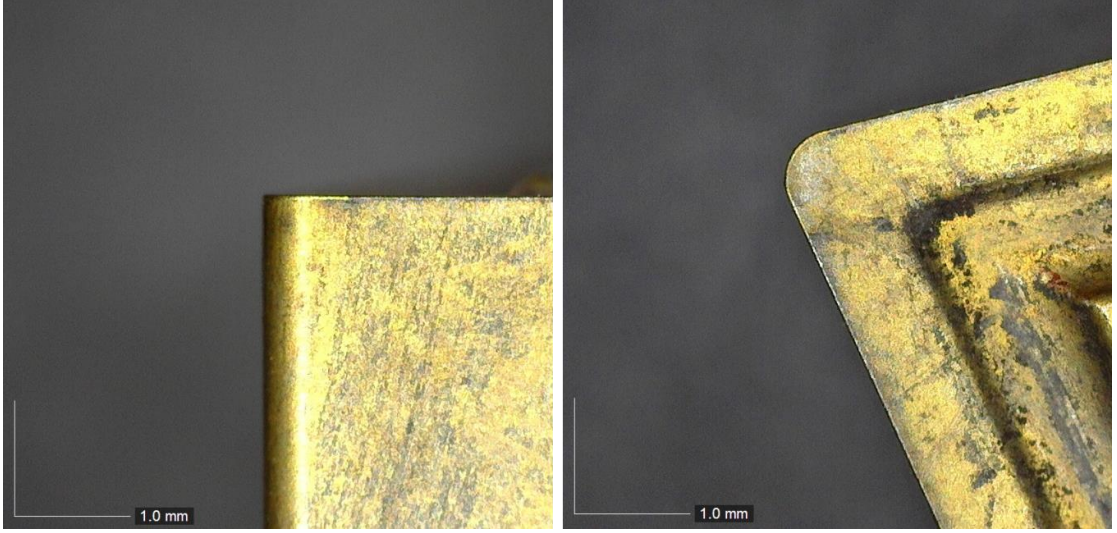


Şekil 5.76. Ti6Al4V alaşımların tornalanmasında KPL takımın ile incelenmesi  
( $T_x=650$  °C,  $V_f=278,03$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

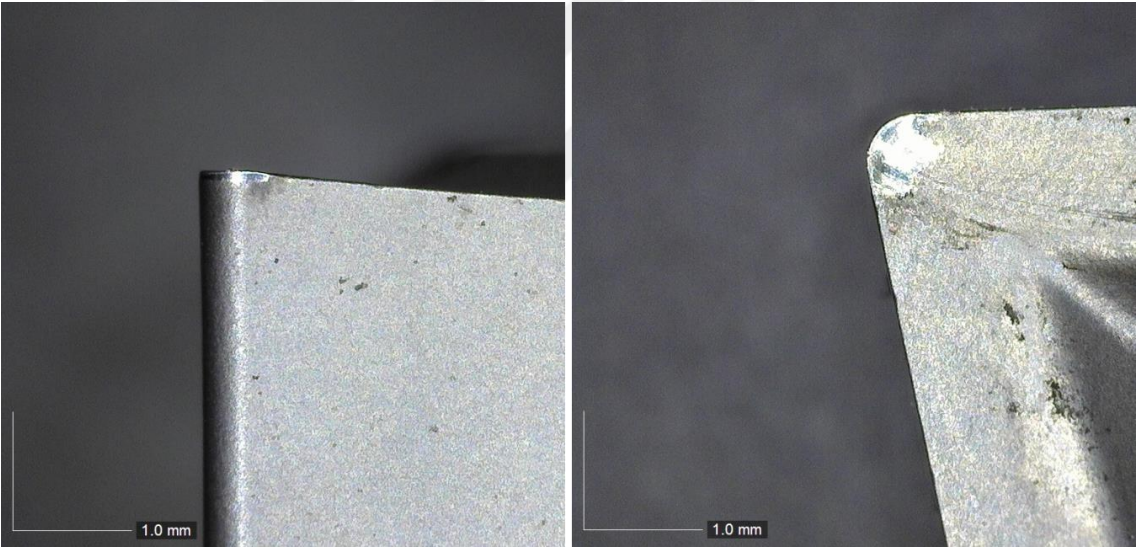
Şekil 5.74, Şekil 5.75 ve Şekil 5.76’da Ti6Al4V titanyum alaşımların tornalanmasında konvansiyonel kesme işleminde 92,67 m/dak kesme hızında 0,098 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımların durumları incelendiğinde KİG kesici takımında talaş yapışmasının kesme yüzeyine doğru olduğu görülmektedir. KSZ kesici takımında kesici takım burnunda meydana gelen talaş yığılması yüzey pürüzlülük kalitesinin düşmesinde önemli etken olmuştur. KPL kesici takım incelendiğinde ise kaplama çok büyük oranda kopmuştur. Kesici takım burnunda yüksek oranda talaş yığılması meydana gelmiştir. Sıcaklığın 650 °C’ye çıkması ile talaş yapışma miktarında artış olduğu gözlenmektedir. Bu durumun oluşması yüzey kalitesindeki düşüşün bir nedeni olarak gösterilebilir.

#### 5.2.2. AISI 4340 Alaşımlı Çeliğin Tornalanmasında Kesici Takım Aşınmalarının İncelenmesi

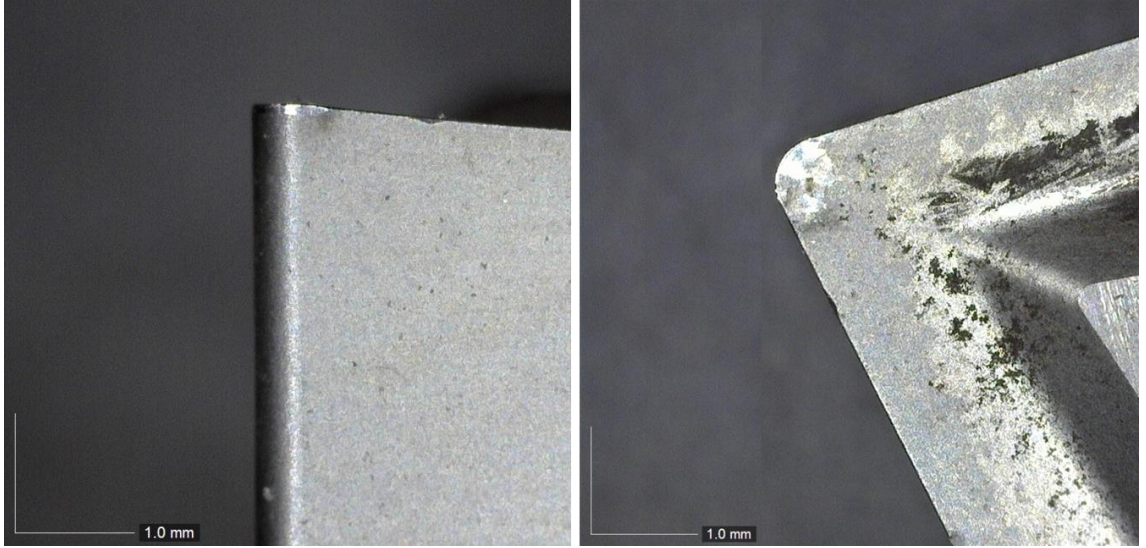
AISI 4340 alaşımlı çeliğin ön ısıtılmalı tornalanmasında kullanılmış olan üç farklı kesici takımın aşınma türleri incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sıcaklık artışının takım aşınmaları üzerinde gerekli değerlendirmelere yer verilmiştir.



Şekil 5.77. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi  
( $T_x=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).

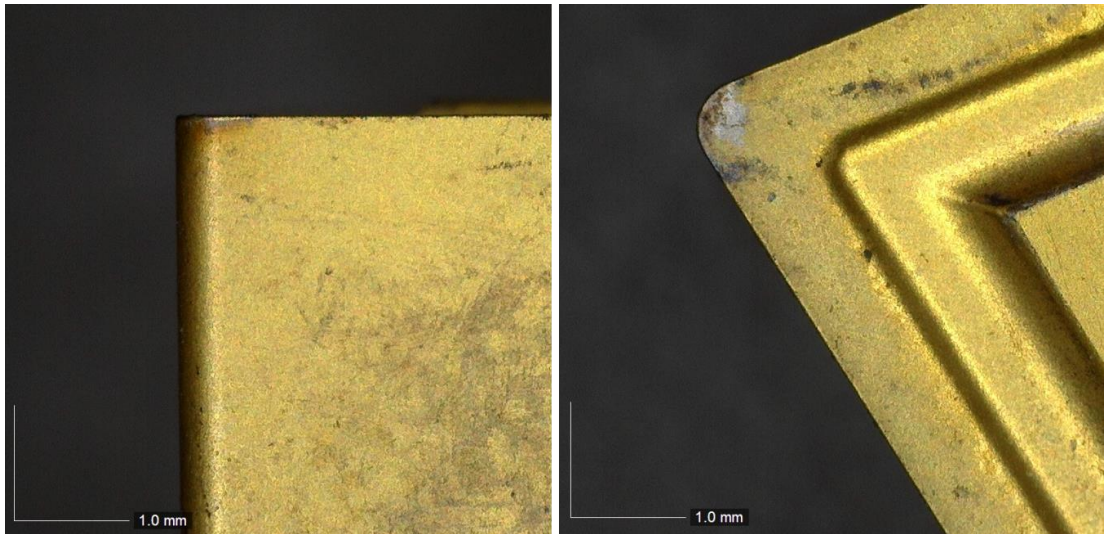


Şekil 5.78. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi  
( $T_x=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=92,67\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).



Şekil 5.79. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımın incelenmesi  
( $T_x=20$  °C,  $V_r=92,67$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

Şekil 5.77, Şekil 5.78 ve Şekil 5.79’da AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında konvansiyonel kesme işleminde 92,67 m/dak kesme hızında 0,098 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımların durumları incelendiğinde KİG kesici takım ile KSZ kesici takımda hemen hemen benzer şekilde serbest yüzey ve krater aşınması meydana gelmiştir. KSZ kesici takımda ayrıca çentik aşınması da görülmektedir. KPL kesici takım incelendiğinde ise kesicinin takımın kesme yüzeylerinin herhangi bir yerinde dikkate değer aşınma meydana gelmemiştir.



Şekil 5.80. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımın incelenmesi  
( $T_x=250$  °C,  $V_r=185,35$  m/dak,  $F_r=0,098$  mm/dev).

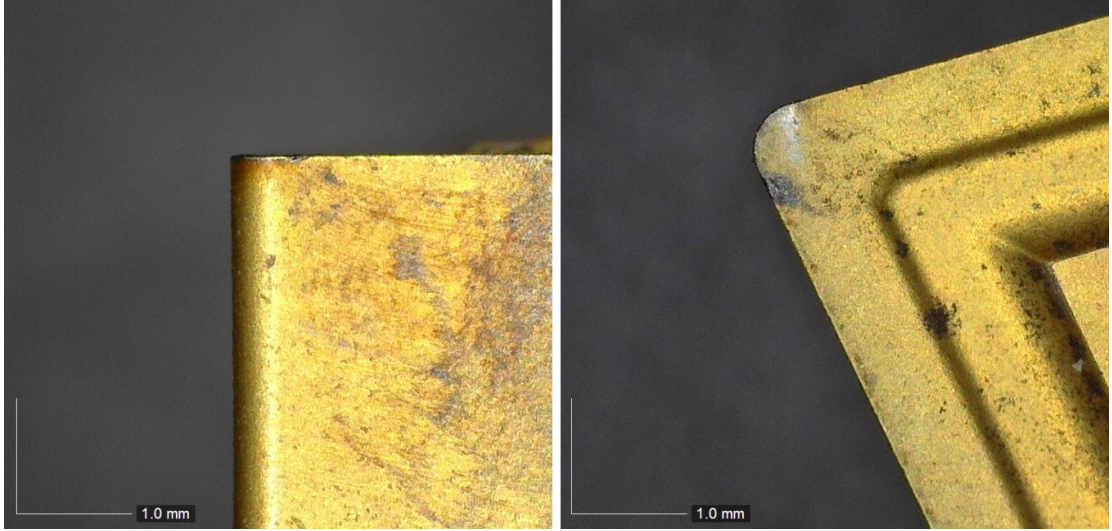


Şekil 5.81. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımın incelenmesi  
( $T_x=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=185,35\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).



Şekil 5.82. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımın incelenmesi  
( $T_x=250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r=185,35\text{ m/dak}$ ,  $F_r=0,098\text{ mm/dev}$ ).

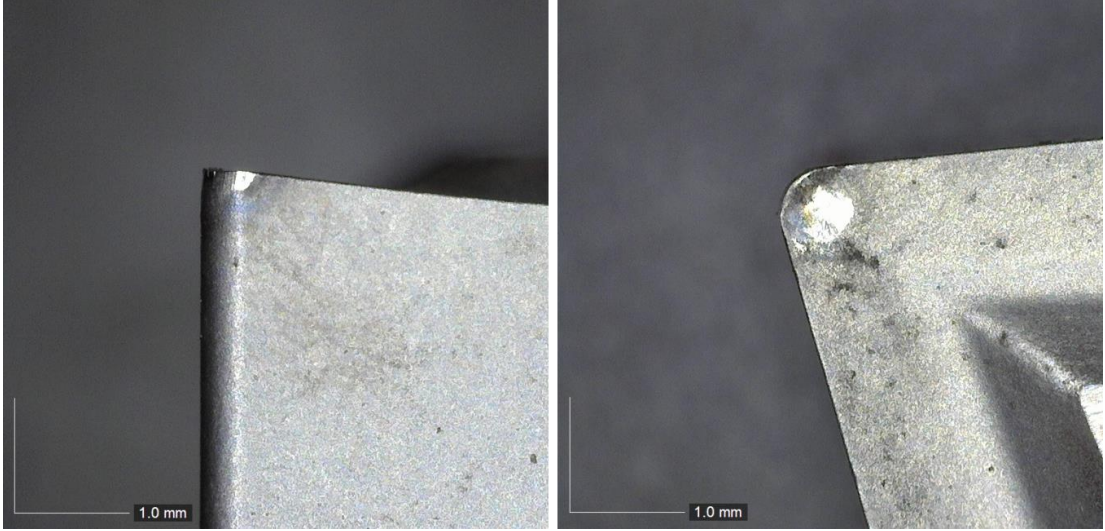
Şekil 5.80, Şekil 5.81 ve Şekil 5.82’de AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  kesme işleminde  $185,35\text{ m/dak}$  kesme hızında  $0,098\text{ mm/dev}$  ilerleme miktarında kesici takımların durumları incelendiğinde KİG kesici takım ile KSZ kesici takımda hemen hemen benzer şekilde serbest yüzey ve krater aşınması meydana gelmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte aşınmalarda artma gözlenmiştir. KPL kesici takım incelendiğinde ise kesicinin takımın kesme yüzeylerinin herhangi bir yerinde dikkate değer aşınma meydana gelmemiştir. Kesici takım üst yüzeyinde küçük bir miktar kaplama kopması gözlenmiştir.



Şekil 5.83. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=185,35\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).

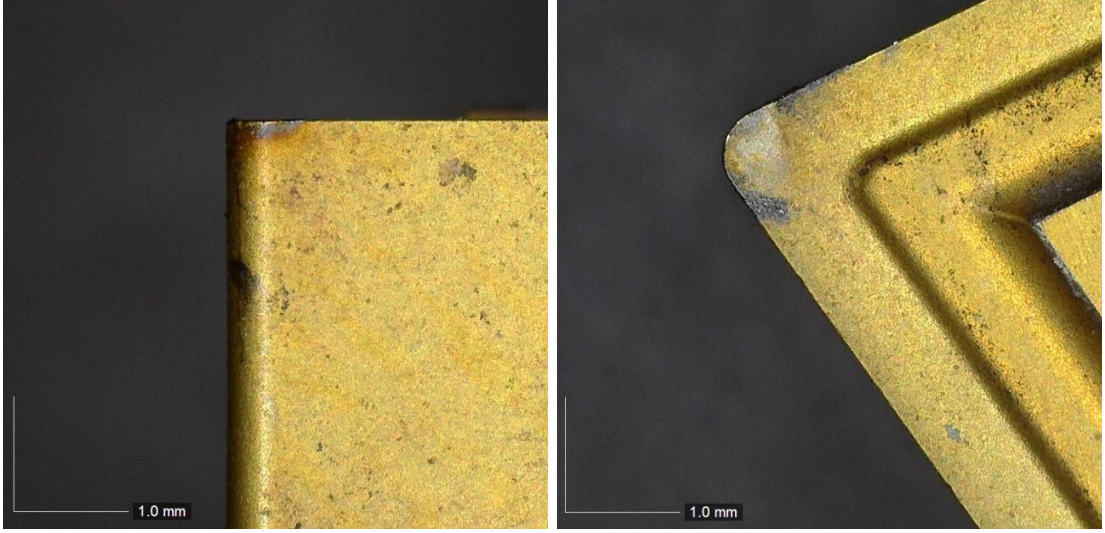


Şekil 5.84. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi  
( $T_x=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_f=185,35\text{ m/dak}$ ,  $F_f=0,098\text{ mm/dev}$ ).

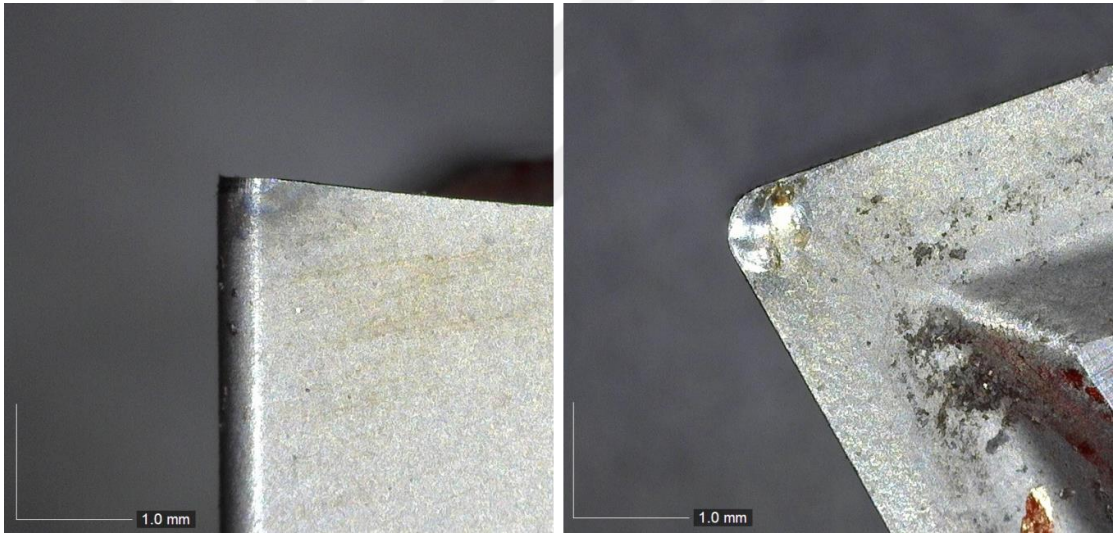


Şekil 5.85. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımın incelenmesi  
( $T_x=450$  °C,  $V_f=185,35$  m/dak,  $F_f=0,098$  mm/dev).

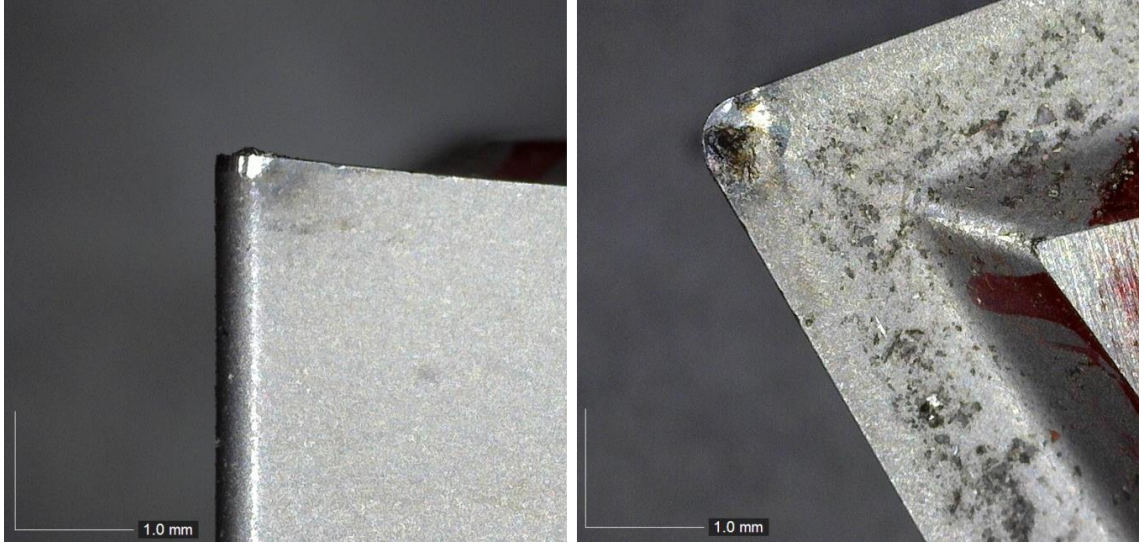
Şekil 5.83, Şekil 5.84 ve Şekil 5.85'te AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında 450 °C kesme işleminde 185,35 m/dak kesme hızında 0,098 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımların durumları incelendiğinde KİG kesici takım ile KSZ kesici takımda hemen hemen benzer şekilde serbest yüzey ve krater aşınması meydana gelmiştir ancak KİG kesici takımdaki aşınma miktarı KSZ kesici takımdan daha az olmuştur. KPL kesici takım incelendiğinde ise kesicinin takımın kesme yüzeylerinin herhangi bir yerinde dikkate değer aşınma meydana gelmemiştir. Kesici takım üst yüzeyinde küçük bir miktar kaplama kopması gözlenmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının aynı kaldığı, sıcaklığın ise 250 °C'den 450 °C'ye çıkartılması ile özellikle KİG kesici uçta aşınma miktarının azaldığı gözlenmiştir. KİG'de azalmayı takiben KSZ kesici takımında aşınmasında azalma gözlenmiştir. Sıcaklığın artması iş parçasının sünek hale gelmesine bu sayede kesici takımların aşınmasını azaltıcı yönde rol almasında etkili olmuştur. Yine bu sayede yüzey pürüzlülük değerlerinin sıcaklıklar artışıyla birlikte azalması gerçekleşmiştir.



Şekil 5.86. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi  
( $T_x=450$  °C,  $V_f=185,35$  m/dak,  $F_f=0,196$  mm/dev).

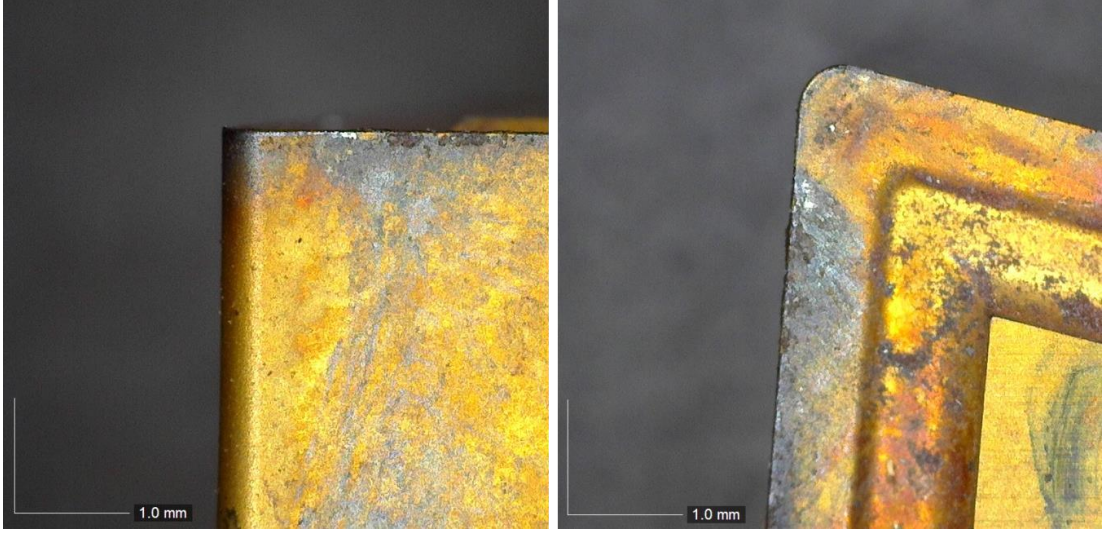


Şekil 5.87. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi  
( $T_x=450$  °C,  $V_f=185,35$  m/dak,  $F_f=0,196$  mm/dev).

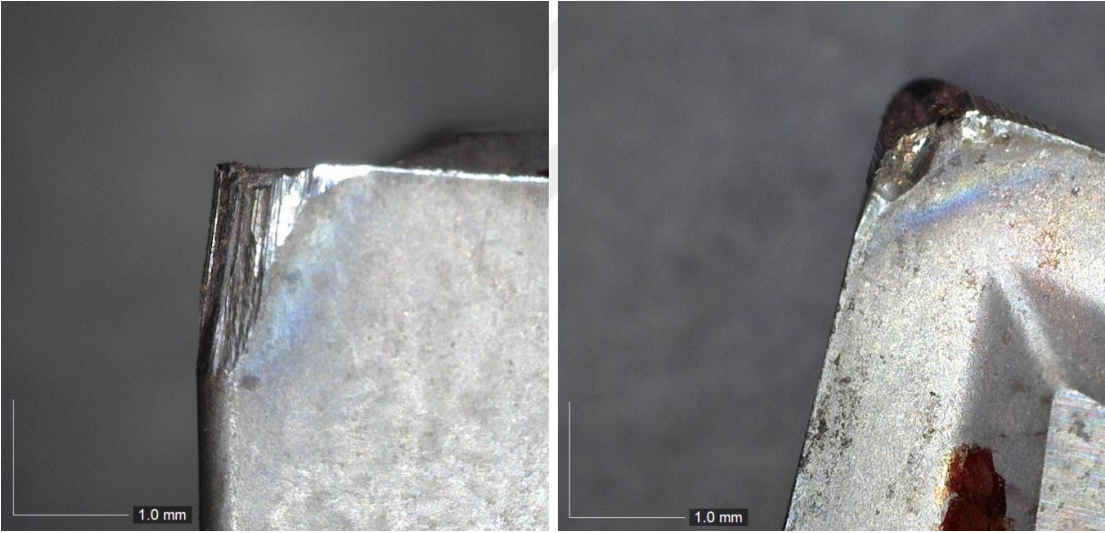


Şekil 5.88. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımın incelenmesi  
( $T_x=450$  °C,  $V_f=185,35$  m/dak,  $F_f=0,196$  mm/dev).

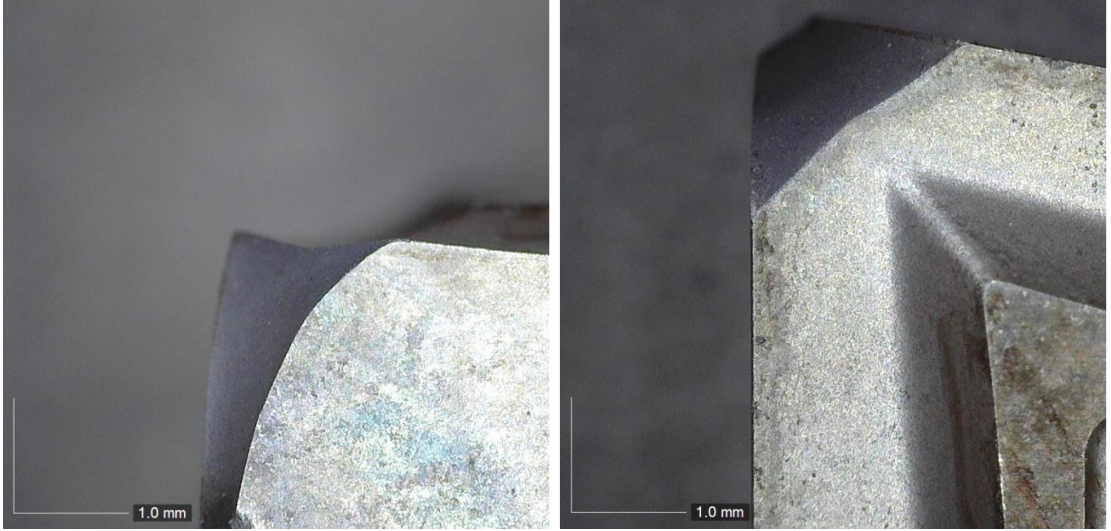
Şekil 5.86, Şekil 5.87 ve Şekil 5.88’de AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında 450 °C kesme işleminde 185,35 m/dak kesme hızında 0,196 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımların durumları incelendiğinde KİG kesici takım ile KSZ kesici takımda yine benzer şekilde serbest yüzey ve krater aşınması meydana gelmiştir ancak KİG kesici takımdaki aşınma miktarı KSZ kesici takımdan daha az olmuştur. KPL kesici takım incelendiğinde ise kesicinin takımın kesme yüzeylerinin herhangi bir yerinde dikkate değer aşınma meydana gelmemiştir. Kesici takım üst yüzeyinde küçük bir miktar kaplama kopması ve sıcak olarak kopan talaşların kesici takım üzerine yapıştığı gözlenmiştir. Sıcaklığın ve kesme hızı aynı kaldığı, ilerleme miktarının ise 0,098 mm/dev’den 0,196 mm/dev’ya çıkartılması ile aşınma miktarlarında pek bir değişiklik gözlenmemiştir. Yapılan literatür araştırmalarında da ilerleme miktarının takım aşınmasını üzerindeki etlisinin az olduğu görülmüştür.



Şekil 5.89. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KPL takımının incelenmesi  
( $T_x=650$  °C,  $V_f=278,03$  m/dak,  $F_f=0,196$  mm/dev).



Şekil 5.90. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KİG takımının incelenmesi  
( $T_x=650$  °C,  $V_f=278,03$  m/dak,  $F_f=0,196$  mm/dev).



Şekil 5.91. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında KSZ takımının incelenmesi  
( $T_x=650$  °C,  $V_f=278,03$  m/dak,  $F_t=0,196$  mm/dev).

Şekil 5.89, Şekil 5.90 ve Şekil 5.91’de AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında 650 °C kesme işleminde 278,03 m/dak kesme hızında 0,098 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımların durumları incelendiğinde KPL kesici takımında yüksek kesme hızından dolayı oluşan ısı ve dışarıdan iş parçasını ısıtmak için verilen sıcaklık nedeniyle özellikle kesici takımın serbest yüzeyinde ve üst kısmında kaplamanın kopması ile birlikte ısıl çatlaklar gözlenmiştir. Yine aşırı ısınmış talaş kaplama üzerine yapışma göstermiştir. KİG kesici takımında yüksek derecede burun aşınması gözlenmiştir. Aşınmasının yüksek olma nedeni, yüksek kesme hızı ile oluşan torna tezgahı titreşimi ve kesici takım-iş parçası temas yüzeyi sıcaklığı ile dışarıdan iş parçasını ısıtmak için verilen yüksek ısıdır. Bu durum yüzey kalitesine de yansımış, kötü sonuçların elde edilmesine neden olmuştur. KSZ kesici uç ise yüksek kesme hızından dolayı oluşan torna tezgahı titreşimi nedeniyle kırılmıştır.

### 5.3. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon, birbiriyle bağlantılı değişkenler üzerinde çalışılırken bağımlı değişkeni, bağımsız değişken veya değişkenlerin fonksiyonu olarak ifade etmektir. Türkçe olarak “bağlanım” sözcüğü önerilmişse de kabul görmemiştir [90].

“ $Y = f(X)$ ” şeklindeki bu fonksiyonel ilişki daha açık olarak Denklem (5.1) gibi de yazılabilir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad \text{veya} \quad Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad (5.1)$$

Bu fonksiyonel ilişkinin analizini yapan yöntemde regresyon analizidir. halde regresyon analizini şu şekilde ifade edebiliriz. Bir bağımlı değişken ile bir ya da birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi test eden bir analiz yöntemidir. Bu sayede değişkenler arasındaki bağlantının türü, gücü ve birbirlerini nasıl etkiledikleri görülebilir [90].

Bağımlı değişkenin ileride alabileceği değerleri tahmin etmenin mümkün olup olmadığına bakılır. Mümkün ise bu değer tahmin edilmeye çalışılır. Bazı durumlarda da belli şartların kontrol edilmesi durumunda araştırılan konunun nasıl etkileneceği araştırılır [90].

Regresyon alanındaki ilk çalışmalar Legendre (1805) ve Gauss (1809) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar, regresyon yöntemlerinden biri olan en küçük kareler yöntemini astronomi ile ilgili yaptıkları çalışmalarda kullanmışlardır. Herhangi bir sonuca ulaşamamışsa da 1748 yılında Euler de bu alanda çalışma yapmıştır. Günümüzde Gauss-Markov Teoremi olarak bilinen en küçük kareler yönteminin teorisini anlatan bir yayın 1821 yılında Gauss tarafından yayınlanmıştır [90].

Regresyon analizinin aşağıdaki amaçlar için yapıldığı söylenebilir [90]:

- Bağımlı değişken ve bağımsız değişken arasında ilişki kurmayı amaçlar,
- Bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkeni tahmin etmeyi amaçlar,
- Bağımlı değişkeni en çok etkileyen, en iyi biçimde açıklayan daha önemli olan bağımsız değişkenleri belirlemeyi amaçlar.

Aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilerek regresyon analizindeki bu amaçlara ulaşılır:

- Araştırma konusu veya problem tespit edilir,
- Aralarında ilişkili olma ihtimali bulunan değişkenler belirlenir,
- Anket, deney vs. ile veriler toplanır,
- Uygulanacak model belirlenir,
- En iyi tahmin metodu seçilir,
- Model tahmini yapılır,
- Model geçerliliği ve değişkenlerin anlamlılıkları test edilir. Sonuçlar değerlendirilerek yorumlanır,
- Kabul edilebilir anlamlı bir model ise problemin çözümünde kullanılır,
- Uygun değilse eksikliklerinin giderilmesi gerekir. Çünkü bir model ancak uygunluğu ve geçerliliği test edildikten sonra kullanılabilir.

Regresyon analizi, tek değişkenli ve çok değişkenli regresyon analizi olarak ikiye ayrılmaktadır. Tek değişkenli regresyon analizi ile bir bağımlı değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki ilişki araştırılırken çok değişkenli regresyon analizinde bir bağımlı değişken ile birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişki araştırılır.

Regresyon analizinde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki her zaman Denklem (5.1) gibi doğrusal olmayabilir. Denklem (5.2)'de örneği verilen üstel ilişki gibi farklı bağlantı da olabilir. O halde regresyon, doğrusal regresyon ve doğrusal olmayan regresyon olarak da ikiye ayrılmaktadır [90].

$$Y = AB^x, Y = AX^2 + BX + C, Y = \frac{1}{AX+B} \quad (5.2)$$

### 5.3.1. Doğrusal Regresyon Analizi

Regresyon analizlerinin temeli doğrusal regresyon analizidir. Basit doğrusal regresyonla bir bağımlı değişkenle bir bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişki araştırılırken çoklu doğrusal regresyonda birden fazla bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle arasındaki doğrusal ilişki araştırılır.

Basit doğrusal regresyon eşitliği Denklem (5.3)'teki gibidir [91].

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (5.3)$$

Y: bağımlı değişken,

X: bağımsız değişken,

$\beta_0$ : Bağımsız değişken sıfır olduğunda bağımlı değişkenin alacağı değerdir,

$\beta_1$ : Bağımsız değişkendeki bir birimlik değişimin, bağımlı değişkende oluşturacağı ortalama değişimi göstermektedir. Değişkenler birlikte artıyor ya da birlikte azalıyor ise  $\beta_1$  pozitif, değişkenlerden biri artarken diğeri azalıyor ise negatif değerlidir,

$\varepsilon$ : Rastgele hata terimidir. Her bir gözlem çiftindeki bağımlı değişkene ilişkin gerçek değer ile modelden tahmin edilen değer arasındaki farktır.

Ekonomi ve işletmecilik alanlarında herhangi bir ekonomik değişkeni tek bir bağımsız değişkenle açıklamak mümkün değildir. Birçok ekonomik değişken bir araya gelerek bir değişkeni etkileyebildikleri gibi, kendi aralarında da birbirlerini etkileyebilmektedir. k tane bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle olan çoklu doğrusal regresyon eşitliği, Denklem (5.4)'teki gibi ifade edilir.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \quad (5.4)$$

$Y_i$ : Bağımlı değişkenlerdir.

$X_{ik}$ : k bağımsız değişkeninin i. gözlemidir.

$\beta_0$ , bağımsız değişkenlerin sıfır olması durumunda bağımlı değişkenin alacağı değerdir.  $\beta_1$  ilk bağımsız değişken  $X_1$ 'in katsayısı,  $\beta_2$  ikinci bağımsız değişken  $X_2$ 'nin katsayısı,  $\beta_k$  k. gözlem  $X_k$ 'nin katsayısıdır.  $\varepsilon_i$  ise i'inci örnek için Y'nin tahmin edilen değeriyle gözlenen değeri arasındaki farktır. Doğrusal regresyon analizlerinde aşağıdaki varsayımların sağlanması gerekir:

- Hata terimi normal dağılıma sahiptir,
- Hata terimlerinin ardışık değerleri birbirlerinden bağımsızdır. Yani birbirini izleyen hata terimleri arasında otokorelasyon yoktur,
- Hata teriminin varyansı X değerlerine göre değişmez sabittir. Yani bütün X değerleri için  $\varepsilon$  hata terimleri kendi ortalamaları etrafında aynı değişkenliğe sahiptir. Hata teriminin varyansı bağımlı değişkenin varyansına da eşittir,
- Çoklu regresyon analizinde bu varsayımlara çoklu doğrusal bağlantı olmaması varsayımı da eklenir. Yani bağımsız değişkenler arasında basit doğrusal ilişkilerin olmaması gerekir.

Basit ve çoklu doğrusal regresyon yöntemlerinin kullanılacağı verilerin sürekli veya kesikli sayısal değer olması gerekir. Değişkenler normal dağılım göstermelidir. Bu gibi koşullar sağlanmadığında basit ya da çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılamaz [90].

### 5.3.2. Matematiksel Modelin Çıkartılması

Ti6Al4V titanyum alaşımı ile AISI 4340 alaşımlı çeliğin ön ısıtılmalı işlenmesi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla Çizelge 5.25 ve Çizelge 5.26 ile Çizelge 5.30 ve Çizelge 5.31’de verilmiştir. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri lineer regresyon modeli uygulanarak matematiksel modeller elde edilmiştir. Regresyon modellerinde bağımlı değişken yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) iken, bağımsız değişkenler, kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme hızı ( $F_r$ ), kesici takım türü ( $C_t$ ), ve sıcaklık ( $T_x$ )’dır. Lineer Regresyon modelinde elde edilecek denklem formları Denklem (5.5)’teki gibidir. Denklemler SPSS paket programı vasıtasıyla elde edilmiştir.

$$Ra = \beta_0 + \beta_1 V_c + \beta_2 F_r + \beta_3 C_t + \beta_4 T_x \quad (5.5)$$

Test sonucunca çıkan değerler yorumlanmıştır. Özellikle değişkenler arasındaki ilişki açısından önemli olan R (Pearson korelasyon katsayısı) değeri Çizelge 5.21’deki ilişki durumları referans alınarak incelenmiştir.

Çizelge 5.21. Pearson korelasyon katsayısına göre değişkenler arasındaki ilişkinin yorumlanması [92].

| $R^2$       | İlişki     |
|-------------|------------|
| 0.00 - 0.25 | Çok Zayıf  |
| 0.26 - 0.49 | Zayıf      |
| 0.50 - 0.69 | Orta       |
| 0.70 - 0.89 | Yüksek     |
| 0.90 - 1.00 | Çok Yüksek |

Pearson korelasyon katsayısı, iki sürekli değişkenin doğrusal ilişkisinin derecesinin ölçümünde kullanılan değerdir. Başka bir deyişle, iki değişken arasında anlamlı bir ilişki var mıdır sorunun cevabı alınır [92].

Pearson korelasyon katsayısı R ile gösterilir ve -1 ile +1 arasında değerler alır. Eğer;

- $R = -1$  ise (Tam negatif doğrusal ilişki vardır. Yani, bir değişken artarken diğeri azalır, tersine, bir değişken azalırken diğeri artar. Bu durumda çizilen grafiğin eğimi de negatif işaretli olur).
- $R = 1$  ise (Tam pozitif doğrusal ilişki vardır. Yani, bir değişken arttığında diğeri de artar, bir değişken azaldığında diğeri de azalır. Bu durumda çizilen grafiğin eğimi de pozitif işaretli olur).
- $R = 0$  ise (İki değişken arasında ilişki yoktur) [92].



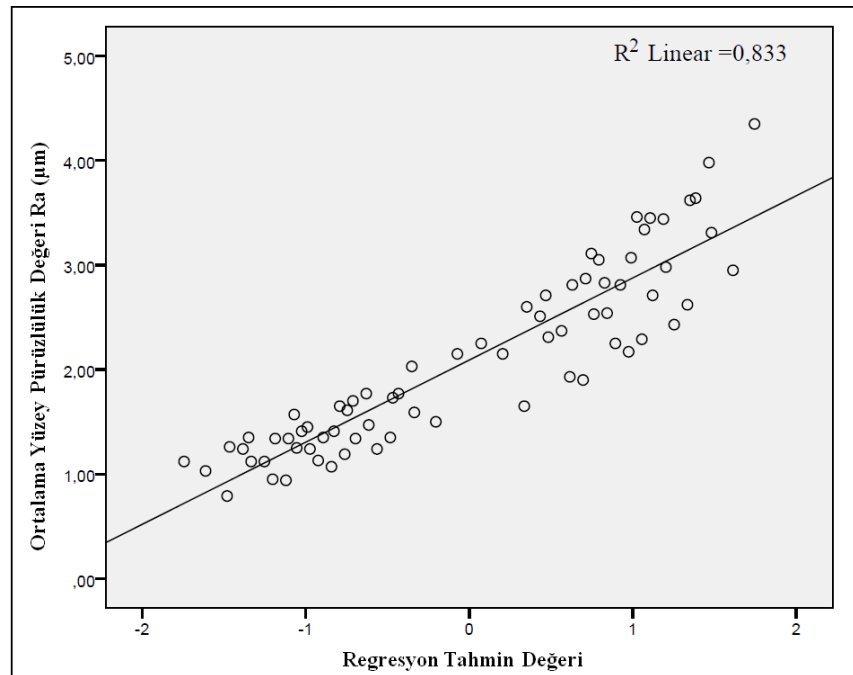
### 5.3.2.1. Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Matematiksel Modelinin Çıkartılması

Ti6Al4V titanyum alaşımının ön ısıtılmalı tornalama işleminde farklı kesme parametreleri kullanılarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 5.25 ve Çizelge 5.26’da verilmiştir. Çizelgede yer alan değişkenler ve bu değişkenlere bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri  $R_a$ ’nın matematiksel modeli elde edilmiştir.

Çizelge 5.22. Ti6Al4V titanyum alaşımının tornalanmasında elde edilen verilerin model özeti.

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Change Statistics |          |     | Change Statistics |               |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------|-----|-------------------|---------------|
|       |                   |          |                   |                            | R Square Change   | F Change | df1 | df2               | Sig. F Change |
| 1     | ,913 <sup>a</sup> | ,833     | ,824              | ,36150                     | ,833              | 83,836   | 4   | 67                | ,000          |

Çizelge 5.22 incelendiğinde, elde edilecek matematiksel modelin güvenilirlik değeri olan  $R^2$  değeri 0.833 olarak elde edilmiştir. Çizelge 5.21’deki Pearson korelasyon katsayılarına göre yorum yapılacak olursa, bağımlı değişken olan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile bağımsız değişkenler olan kesme hızı, ilerleme oranı, sıcaklık ve kesici takım türü arasında pozitif yönde yüksek bir ilişki olduğu söylenebilir. Şekil 5.92’deki dağılım grafiğine bakıldığında değişkenler arasındaki korelasyon durumu yani verilerin uyum içinde dağılımı daha net olarak görülmektedir.



Şekil 5.92. Ti6Al4V titanyum alaşım yüzey pürüzlülüğü- regresyon tahmin değeri dağılım grafiği.

Çizelge 5.23. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında elde edilen verilerin ANOVA (Varyanslar Korelasyonu) Çizelgesi.

| Model        | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
|--------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1 Regression | 43,823         | 4  | 10,956      | 83,836 | ,000 <sup>b</sup> |
| Residual     | 8,756          | 67 | ,131        |        |                   |
| Total        | 52,579         | 71 |             |        |                   |

Çizelge 5.23'teki matematiksel modelimizin bir bütün olarak anlamlı olup olmadığını test etmemize yaramaktadır. P (Sig.) değeri regresyon analizinin anlamlı olup olmadığını test etmektedir.  $P < 0,05$  olması regresyon denkleminde bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkisi olduğunu ifade etmektedir. F değeri 83,836 olması ve 0,0001 olan P değerinin 0,05'ten küçük olması matematiksel modelimizin bir bütün olarak her düzeyde anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.24. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının tornalanmasında elde edilen verilerin katsayılar çizelgesi.

| Model        | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|--------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
|              | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1 (Constant) | -1,313                      | ,221       |                           | -5,933 | ,000 |
| Vc           | ,283                        | ,052       | ,270                      | 5,418  | ,000 |
| Fr           | 1,428                       | ,085       | ,836                      | 16,763 | ,000 |
| Ct           | ,219                        | ,052       | ,209                      | 4,196  | ,000 |
| Tx           | ,103                        | ,038       | ,135                      | 2,715  | ,008 |

Çizelge 5.24'te matematiksel modelde kullanılacak olan katsayılar yer almaktadır. Bu katsayıları Denklem (5.5)'teki değişkenlere göre düzenlendiğinde:

$$\beta_0 = -1,313 \quad \beta_1 = 0,283 \quad \beta_2 = 1,428 \quad \beta_3 = 0,219 \quad \beta_4 = 0,103$$

Düzenlemiş olduğumuz katsayıları denkleminde yerine yerleştirildiğinde Ti6Al4V titanyum alaşımı ön ısıtılmalı tornalama deneylerinin denklemi olan Denklem (5.6) elde edilmiştir.

$$Ra = -1,313 + 0,283 V_c + 1,428 F_r + 0,219 C_t + 0,103 T_x \quad (\%83) \quad (5.6)$$

Çizelge 5.25. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ön ısıtılmalı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Deney No | Malzeme                           | Kesici Takım Türü | Kesme derinliği (a-mm) | Sıcaklık (°C) | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|----------|-----------------------------------|-------------------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|
| 1        | Ti6Al4V<br>Titanyum<br>Alaşımları | KSZ               | 1                      | 20            | 92,67              | 0,098             | 1,26                            |
| 2        |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 2,60                            |
| 3        |                                   |                   |                        |               | 185,35             | 0,098             | 1,34                            |
| 4        |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 2,87                            |
| 5        |                                   |                   |                        |               | 278,03             | 0,098             | 1,61                            |
| 6        |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 3,34                            |
| 7        |                                   | KİG               |                        |               | 92,67              | 0,098             | 1,12                            |
| 8        |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 2,25                            |
| 9        |                                   |                   |                        |               | 185,35             | 0,098             | 1,24                            |
| 10       |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 2,51                            |
| 11       |                                   |                   |                        |               | 278,03             | 0,098             | 1,41                            |
| 12       |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 3,05                            |
| 13       |                                   | KPL               |                        |               | 92,67              | 0,098             | 1,34                            |
| 14       |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 2,81                            |
| 15       |                                   |                   |                        |               | 185,35             | 0,098             | 1,41                            |
| 16       |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 3,07                            |
| 17       |                                   |                   |                        |               | 278,03             | 0,098             | 1,73                            |
| 18       |                                   |                   |                        |               |                    | 0,196             | 3,62                            |
| 19       |                                   | KSZ               |                        | 92,67         | 0,098              | 1,03              |                                 |
| 20       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 2,15              |                                 |
| 21       |                                   |                   |                        | 185,35        | 0,098              | 1,12              |                                 |
| 22       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 2,37              |                                 |
| 23       |                                   |                   |                        | 278,03        | 0,098              | 1,35              |                                 |
| 24       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 2,81              |                                 |
| 25       |                                   | KİG               |                        | 92,67         | 0,098              | 1,12              |                                 |
| 26       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 2,31              |                                 |
| 27       |                                   |                   |                        | 185,35        | 0,098              | 1,24              |                                 |
| 28       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 2,54              |                                 |
| 29       |                                   |                   |                        | 278,03        | 0,098              | 1,47              |                                 |
| 30       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 2,98              |                                 |
| 31       |                                   | KPL               |                        | 92,67         | 0,098              | 1,25              |                                 |
| 32       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 2,53              |                                 |
| 33       |                                   |                   |                        | 185,35        | 0,098              | 1,34              |                                 |
| 34       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 2,71              |                                 |
| 35       |                                   |                   |                        | 278,03        | 0,098              | 1,59              |                                 |
| 36       |                                   |                   |                        |               | 0,196              | 3,31              |                                 |

Çizelge 5.26. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının ön ısıtmalı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (devamı).

|    |                                   |     |   |        |        |       |      |
|----|-----------------------------------|-----|---|--------|--------|-------|------|
| 37 | Ti6Al4V<br>Titanyum<br>Alaşımları | KSZ | 1 | 450    | 92,67  | 0,098 | 0,95 |
| 38 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 1,93 |
| 39 |                                   |     |   |        | 185,35 | 0,098 | 1,07 |
| 40 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 2,17 |
| 41 |                                   |     |   |        | 278,03 | 0,098 | 1,35 |
| 42 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 2,62 |
| 43 |                                   | KİG |   |        | 92,67  | 0,098 | 0,79 |
| 44 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 1,65 |
| 45 |                                   |     |   |        | 185,35 | 0,098 | 0,94 |
| 46 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 1,90 |
| 47 |                                   |     |   |        | 278,03 | 0,098 | 1,19 |
| 48 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 2,29 |
| 49 |                                   | KPL |   |        | 92,67  | 0,098 | 1,13 |
| 50 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 2,25 |
| 51 |                                   |     |   |        | 185,35 | 0,098 | 1,24 |
| 52 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 2,43 |
| 53 |                                   |     |   |        | 278,03 | 0,098 | 1,50 |
| 54 |                                   |     |   |        |        | 0,196 | 2,95 |
| 55 |                                   | KSZ |   | 92,67  | 0,098  | 1,35  |      |
| 56 |                                   |     |   |        | 0,196  | 2,71  |      |
| 57 |                                   |     |   | 185,35 | 0,098  | 1,45  |      |
| 58 |                                   |     |   |        | 0,196  | 2,83  |      |
| 59 |                                   |     |   | 278,03 | 0,098  | 1,77  |      |
| 60 |                                   |     |   |        | 0,196  | 3,44  |      |
| 61 |                                   | KİG |   | 92,67  | 0,098  | 1,57  |      |
| 62 |                                   |     |   |        | 0,196  | 3,11  |      |
| 63 |                                   |     |   | 185,35 | 0,098  | 1,70  |      |
| 64 |                                   |     |   |        | 0,196  | 3,45  |      |
| 65 |                                   |     |   | 278,03 | 0,098  | 2,03  |      |
| 66 |                                   |     |   |        | 0,196  | 3,98  |      |
| 67 |                                   | KPL |   | 92,67  | 0,098  | 1,65  |      |
| 68 |                                   |     |   |        | 0,196  | 3,46  |      |
| 69 |                                   |     |   | 185,35 | 0,098  | 1,77  |      |
| 70 |                                   |     |   |        | 0,196  | 3,64  |      |
| 71 |                                   |     |   | 278,03 | 0,098  | 2,15  |      |
| 72 |                                   |     |   |        | 0,196  | 4,35  |      |

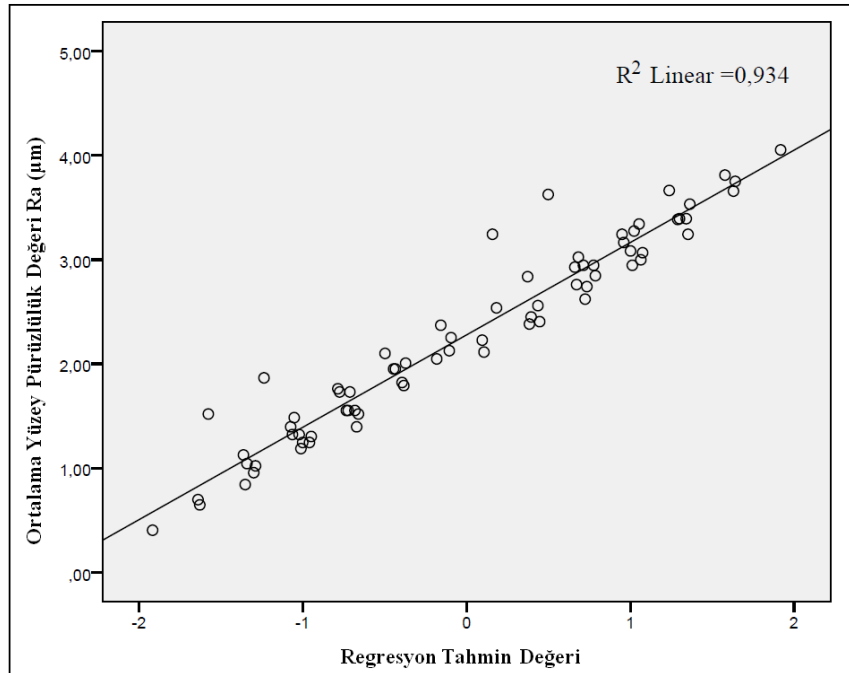
### 5.3.2.2. AISI 4340 Alaşımlı Çeliğin Matematiksel Modelinin Çıkartılması

AISI 4340 alaşımlı çeliğin ön ısıtmalı tornalama işleminde farklı kesme parametreleri kullanılarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 5.30 ve Çizelge 5.31’de verilmiştir. Çizelgede yer alan değişkenler ve bu değişkenlere bağlı olarak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri  $R_a$ ’nın matematiksel modeli elde edilmiştir.

Çizelge 5.27. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında elde edilen verilerin model özeti.

| Model | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Change Statistics |          |     | Change Statistics |               |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------|-----|-------------------|---------------|
|       |                   |          |                   |                            | R Square Change   | F Change | df1 | df2               | Sig. F Change |
| 1     | ,967 <sup>a</sup> | ,934     | ,930              | ,04843                     | ,934              | 237,596  | 4   | 67                | ,000          |

Çizelge 5.27 incelendiğinde, elde edilecek matematiksel modelin güvenilirlik değeri olan  $R^2$  değeri 0.934 olarak elde edilmiştir. Çizelge 5.21’deki Pearson korelasyon katsayılarına göre yorum yapılacak olursa, bağımlı değişken olan ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile bağımsız değişkenler olan kesme hızı, ilerleme oranı, sıcaklık ve kesici takım türü arasında pozitif yönde çok yüksek bir ilişki olduğu söylenebilir. Şekil 5.93’teki dağılım grafiğine bakıldığında değişkenler arasındaki korelasyon durumu yani verilerin uyum içinde dağılımı daha net olarak görülmektedir.



Şekil 5.93. AISI 4340 alaşımlı çeliğin yüzey pürüzlülüğü- regresyon tahmin değeri dağılım grafiği.

Çizelge 5.28. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında elde edilen verilerin ANOVA (Varyanslar Korelasyonu) Çizelgesi.

| Model |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F       | Sig.              |
|-------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| 1     | Regression | 2,229          | 4  | ,557        | 237,596 | ,000 <sup>b</sup> |
|       | Residual   | ,157           | 67 | ,002        |         |                   |
|       | Total      | 2,386          | 71 |             |         |                   |

Çizelge 5.28'deki matematiksel modelimizin bir bütün olarak anlamlı olup olmadığını test etmemize yaramaktadır. P (Sig.) değeri regresyon analizinin anlamlı olup olmadığını test etmektedir.  $P < 0,05$  olması regresyon denkleminde bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkisi olduğunu ifade etmektedir. F değeri 237,596 olması ve 0,0001 olan P değerinin 0,05'ten küçük olması matematiksel modelimizin bir bütün olarak her düzeyde anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.29. AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında elde edilen verilerin katsayılar çizelgesi.

| Model |            | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
|       |            | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |
| 1     | (Constant) | 1,491                       | ,168       |                           | 8,896  | ,000 |
|       | Vc         | -,002                       | ,000       | -,221                     | -5,563 | ,000 |
|       | Fr         | 13,625                      | ,658       | ,824                      | 20,696 | ,000 |
|       | Ct         | -,266                       | ,040       | -,268                     | -6,744 | ,000 |
|       | Tx         | -,223                       | ,029       | -,308                     | -7,731 | ,000 |

Çizelge 5.29'da matematiksel modelde kullanılacak olan katsayılar yer almaktadır. Bu katsayıları Denklem (5.5)'teki değişkenlere göre düzenlendiğinde:

$$\beta_0 = 1,491 \quad \beta_1 = -0,002 \quad \beta_2 = 13,625 \quad \beta_3 = -0,266 \quad \beta_4 = -0,223$$

Düzenlemiş olduğumuz katsayıları denklemden yerine yerleştirildiğinde AISI 4340 alaşımlı çeliğin ön ısıtılmalı tornalama deneylerinin denklemi olan Denklem (5.7) elde edilmiştir.

$$Ra = 1,491 - 0,002 V_c + 13,625 F_r - 0,266 C_t - 0,223 T_x \quad (\%93) \quad (5.7)$$

Çizelge 5.30. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ön ısıtılmalı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri.

| Deney No | Malzeme                  | Takım | Kesme derinliği (a-mm) | Sıcaklık (°C) | Kesme Hızı (m/dak) | İlerleme (mm/dev) | Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm) |
|----------|--------------------------|-------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|
| 1        | AISI 4340 Alaşımlı Çelik | KSZ   | 1                      | 20            | 92,67              | 0,098             | 2,03                            |
| 2        |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 4,08                            |
| 3        |                          |       |                        |               | 185,35             | 0,098             | 1,78                            |
| 4        |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 3,55                            |
| 5        |                          |       |                        |               | 278,03             | 0,098             | 1,59                            |
| 6        |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 3,31                            |
| 7        |                          | KİG   |                        |               | 92,67              | 0,098             | 1,88                            |
| 8        |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 3,65                            |
| 9        |                          |       |                        |               | 185,35             | 0,098             | 1,55                            |
| 10       |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 3,01                            |
| 11       |                          |       |                        |               | 278,03             | 0,098             | 1,40                            |
| 12       |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 2,85                            |
| 13       |                          | KPL   |                        |               | 92,67              | 0,098             | 1,66                            |
| 14       |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 3,41                            |
| 15       |                          |       |                        |               | 185,35             | 0,098             | 1,40                            |
| 16       |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 2,71                            |
| 17       |                          |       |                        |               | 278,03             | 0,098             | 1,25                            |
| 18       |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 2,54                            |
| 19       |                          | KSZ   |                        | 92,67         | 0,098              | 1,03              |                                 |
| 20       |                          |       |                        |               | 0,196              | 2,15              |                                 |
| 21       |                          |       |                        | 185,35        | 0,098              | 1,12              |                                 |
| 22       |                          |       |                        |               | 0,196              | 2,37              |                                 |
| 23       |                          |       |                        | 278,03        | 0,098              | 1,35              |                                 |
| 24       |                          |       |                        |               | 0,196              | 2,81              |                                 |
| 25       |                          |       |                        | KİG           | 92,67              | 0,098             | 1,12                            |
| 26       |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 2,31                            |
| 27       |                          |       |                        |               | 185,35             | 0,098             | 1,24                            |
| 28       |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 2,54                            |
| 29       |                          |       |                        |               | 278,03             | 0,098             | 1,47                            |
| 30       |                          |       |                        |               |                    | 0,196             | 2,98                            |
| 31       |                          | KPL   |                        | 92,67         | 0,098              | 1,25              |                                 |
| 32       |                          |       |                        |               | 0,196              | 2,53              |                                 |
| 33       |                          |       |                        | 185,35        | 0,098              | 1,34              |                                 |
| 34       |                          |       |                        |               | 0,196              | 2,71              |                                 |
| 35       |                          |       |                        | 278,03        | 0,098              | 1,59              |                                 |
| 36       |                          |       |                        |               | 0,196              | 3,31              |                                 |

Çizelge 5.31. AISI 4340 alaşımlı çeliğin ön ısıtmalı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (devamı).

|    |                                   |     |   |     |        |       |      |
|----|-----------------------------------|-----|---|-----|--------|-------|------|
| 37 | AISI<br>4340<br>Alaşımlı<br>Çelik | KSZ | 1 | 450 | 92,67  | 0,098 | 1,46 |
| 38 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 3,01 |
| 39 |                                   |     |   |     | 185,35 | 0,098 | 1,20 |
| 40 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,51 |
| 41 |                                   |     |   |     | 278,03 | 0,098 | 1,15 |
| 42 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,34 |
| 43 |                                   | KİG |   |     | 92,67  | 0,098 | 1,29 |
| 44 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,61 |
| 45 |                                   |     |   |     | 185,35 | 0,098 | 1,09 |
| 46 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,11 |
| 47 |                                   |     |   |     | 278,03 | 0,098 | 1,01 |
| 48 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 1,91 |
| 49 |                                   | KPL |   |     | 92,67  | 0,098 | 1,20 |
| 50 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,43 |
| 51 |                                   |     |   |     | 185,35 | 0,098 | 0,93 |
| 52 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 1,89 |
| 53 |                                   |     |   |     | 278,03 | 0,098 | 0,85 |
| 54 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 1,67 |
| 55 |                                   | 650 |   | KSZ | 92,67  | 0,098 | 1,29 |
| 56 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,94 |
| 57 |                                   |     |   |     | 185,35 | 0,098 | 1,12 |
| 58 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,45 |
| 59 |                                   |     |   |     | 278,03 | 0,098 | 1,49 |
| 60 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 3,35 |
| 61 |                                   |     |   | KİG | 92,67  | 0,098 | 1,16 |
| 62 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,45 |
| 63 |                                   |     |   |     | 185,35 | 0,098 | 0,98 |
| 64 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,05 |
| 65 |                                   |     |   |     | 278,03 | 0,098 | 1,27 |
| 66 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,81 |
| 67 |                                   |     |   | KPL | 92,67  | 0,098 | 1,06 |
| 68 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 2,33 |
| 69 |                                   |     |   |     | 185,35 | 0,098 | 0,87 |
| 70 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 1,76 |
| 71 |                                   |     |   |     | 278,03 | 0,098 | 0,76 |
| 72 |                                   |     |   |     |        | 0,196 | 1,62 |

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın sonunda, ön ısıtmanın Ti4Al6V titanyum alaşım ve AISI 4340 alaşımli çeliğin tornalanmasına etkisi ortaya konulmuştur. Ön ısıtmalıl işleme ile ön ısıtmasız işleme kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca PVD kaplamalı, kriyojenik işlem görmüş ve kaplamasız kesici takımlar arasında karşılaştırma sunulmuştur. Ti4Al6V titanyum alaşımının ve AISI 4340 alaşımli çeliğin ön ısıtma neticesinde işlenebilirliğindeki ve işlem sonrası iş parçası yüzey pürüzlülüğündeki değişimler değerlendirilmiştir. Gerçek deney sonuçları ile evrimsel programlama yöntemi kullanılarak model oluşturulmuş, yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahmini için matematiksel denklem geliştirilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Ti6Al4V titanyum alaşımını ile AISI 4340 alaşımli çeliğin ön ısıtmalıl tornalanması sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri konvansiyonel talaşlı imalata göre azalmaktadır. TiAl4V titanyum alaşımı ön ısıtmalıl tornalanması için ön ısıtma sıcaklığının 450 °C'ye kadar artması yüzey pürüzlülüğünü tüm kesme hızları ve ilerleme miktarları için azaltırken, sıcaklığın 650 °C'ye çıkması yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır. Literatür araştırmalarındaki bulgular da bu sonucu doğrulamaktadır. AISI 4340 alaşımli çeliğin tornalanmasında ise tüm sıcaklık değerleri için yüzey pürüzlülük değerlerinde azalma görülmektedir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri ise 650 °C'de elde edilmiştir.

Ti6Al4V titanyum alaşımının işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme hızı arttıkça artmıştır. Literatür de bu sonucu desteklemektedir. Ön ısıtmalıl tornalama ve geleneksel tornalama işlemleri için en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 92,67 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. AISI 4340 alaşımli çeliğin ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise kesme hızı arttıkça azalmıştır. Literatür de bu sonucu desteklemektedir. Ön ısıtmalıl tornalama ve geleneksel tornalama işlemleri için en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 278,03 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

Ti6Al4V titanyum alaşımını ile AISI 4340 alaşımli çeliğin hem geleneksel hemde ön ısıtmalıl tornalanmasında ilerleme miktarının artmasıyla birlikte her iki iş parçasının

işlenilmesinde de yüzey pürüzlülük değerinde artış gözlenmiştir. Daha önce yapılmış çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Ti6Al4V titanyum alaşımının hem konvansiyonel hemde ön ısıtılmalı tornalanmasında en uygun kesici takım kriyojenik işlem görmüş kesici takımdır. Kriyojenik işlem görmüş kesici takımını sırasıyla kaplamasız kesici takım ve PVD kaplamalı kesici takım takip etmiştir. Kriyojenik işlem görmüş kesici takımın görmüş olduğu işlem sayesinde yapısında sertleşme olmuş, bu sertleşme de kesici takımın aşınma direncini arttırmıştır. Aşınma direncinin artmasından dolayı yüzey pürüzlülük değerlerinin kalitesini arttırmıştır. PVD kaplamalı kesici takım ise hem konvansiyonel hemde ön ısıtılmalı tornalama işleminde en kötü sonuçları vermiştir. Tornalama işlemi sırasında PVD kaplamanın kopması kesici takımın aşınma direncini düşürmüştür. Ayrıca kesici takım üzerindeki PVD kaplamanın (Ti,Al)N + TiN olması iş parçası ile kesici takım arasında hem difüzyon aşınması hemde kimyasal reaksiyon gerçekleşmesine neden olmuştur. Bu durum ise yüzey pürüzlülük değerinin kötü olmasına neden olmuştur. Bulunan sonuçlar literatür araştırması ile uyumaktadır.

AISI 4340 alaşımlı çeliğin hem konvansiyonel hemde ön ısıtılmalı tornalanmasında en uygun kesici takım PVD kaplamalı kesici takımdır. PVD kaplamalı kesici takımını sırasıyla kriyojenik işlem görmüş kesici takım ve kaplamasız kesici takım takip etmiştir. PVD kaplamalı kesici takım özellikle çelik malzemelerin işlenmesi için çok uygundur. İşleme sırasında kaplama kopması veya aşınma durumlarına pek rastlanılmamıştır. Literatür de bu sonucu desteklemektedir. Kriyojenik işlem görmüş kesici takım aşınma direnci sayesinde iyi yüzey pürüzlülük değerlerinin alınmasını sağlamıştır. Literatür de bu sonucu desteklemektedir. Kriyojenik işlem görmüş kesici takım ve kaplamasız kesici takımda krater ve serbest yüzey aşınmaları sıklıkla görülmüştür. Özellikle yüksek kesme hızlarında torna tezgahında olan titreşimle birlikte kriyojenik işlem görmüş kesici takımlarda aşınmanın fazlaştığı görülmüştür. Kaplamasız kesici takımlarda ise kırılma gerçekleşmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü için matematiksel model çoklu doğrusal regresyon analiz metodu kullanılarak, istatistiksel olarak yeterliliği kontrol edilmiştir. Denklemlerle elde edilen teorik değerlerin, deneysel değerlere yakın olduğu görülmüştür. Elde edilen yüzey pürüzlülük denklemleri, kesme sınırlamaları içerisindeki değerlerde kullanılmaları halinde küçük sapmalı sonuçlar elde edilebilmektedir. Fakat elde edilen denklemlerin

kesme sınırlarının dışında kullanılması halinde ise yüzey pürüzlülüğü değerlerinde daha fazla hata meydana gelebilir. Yüzey pürüzlülüğü denkleminin bu metotla elde edilmesinin sakıncalı tarafı, sınırlı bir bölge içerisinde elde edilmeleridir. Literatür de bu sonucu desteklemektedir.

Ti6Al4V titanyum alaşımları yüksek ısı direnç özelliklerine sahip olmaları nedeniyle elektrik akımı yardımıyla ısıtmada bir takım ısıtma problemleri ortaya çıkmaktadır. Alevle ısıtma tekniğinin kullanılması ile bu problemler azaltılmıştır. Ti6Al4V titanyum alaşımlarının yüksek ısı direnci, 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 (650 °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 Ti6Al4V titanyum alaşımlarda ve AISI 4340 alaşımlı çeliklerde kullanılması, diğer metotlara nazaran bazı avantajlarının olmasının yanında, gaz karışımının yakılması esnasında bazı tehlikeli durumlar ortaya çıkarmaktadır. Bu tehlike, oksijen-asetilen karışımının kullanılmasına göre nispeten azdır. Ancak bu durum, karışımın hamlaç dışarısında ve hortum bağlantılarının gaz kaçağını önleyecek şekilde yapılması ile önlenabilir.

Ti6Al4V titanyum alaşım ve AISI 4340 alaşımlı çeliğin tornalanmasında likit petrol gazı ile oksijen gazının karışımı tek hamlaçla yakılmıştır. Bu ise iş parçasını 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 kaldırılabilir.

Bu çalışmada, likit petrol gazı kullanılarak Ti6Al4V titanyum alaşımların ve AISI 4340 alaşımlı çeliklerin ön ısıtmalı olarak tornalanmasında kesme kuvvetleri araştırılmamış ve kesme kuvvetlerinin optimizasyonu yapılmamıştır. Daha sonraki çalışmalarda kesme kuvvetleri araştırılarak kesme kuvvetlerinin optimizasyonu yapılabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] C. Ensarioğlu ve M. C. Çakır, "Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü," *Mühendis Ve Makine*, c. 46, ss. 36-46, 2005.
- [2] N. Larin and G. A. Martynow, "Methods of heating components during machining," *Russian Engineering Journal*, c. 16, ss. 74-77, 1966.
- [3] D. K. Pal and S. K. Basu, "Hot machining of austenitic manganese steel by shaping," *International Journal Of Machine Tool Design and Research*, c. 11, ss. 45-61, 1971.
- [4] P. N. Mukherjee and S. K. Basu, "Statistical evaluation of metal-cutting parameters in hot machining," *International Journal Of Production Research*, c.11, ss. 21-36, 1973.
- [5] T. Akasawa, H. Takeshita and K. Uehare, "Hot machining with cooled cutting tools," *Annals Of The C.I.R.P*, c. 36, ss. 37-40, 1987.
- [6] T. Kitagawa, K. Maekawa and A. Kubo, "Plasma hot machining for high hardness metals," *Bulletin Of The Japan Society Of Precision Engineering*, c. 22, ss. 145-151, 1988.
- [7] T. Kitagawa and K. Maekawa, "Plasma hot machining for new engineering materials," *Wear*, c.139, ss. 251-267, 1990.
- [8] E. Altan, "Yüksek manganlı çeliklerin sıcak talaşlı işlenmesinde takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi," *6.Mühendislik Haftası*, Isparta, Türkiye, 1990, ss. 181-187.
- [9] L. Özler, N. Tosun ve A. İnan, "Östenitik manganlı çeliğin sıcak talaşlı işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi," *Turk Journal Engineering Environment Science*, ss. 287-296, 2000.
- [10] L. Özler, A. İnan ve C. Özel, "Theoretical and experimental determination of tool life in hot machining of austenitic manganese steel," *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, c. 41, ss. 163-172, 2001.
- [11] N. Tosun ve L. Özler, "A study of tool life in hot machining using artificial neural networks and regression analysis method," *Journal Of Materials Processing Technology*, c. 124, ss. 99-104, 2002.
- [12] U. Şeker, İ. Korkut, Y. Turgut ve M. Boy, "The measurement of temperature during machining," *4th International Conference Of Power Transmission '03*, Varna, Bulgaristan, 2003, ss. 1-4.
- [13] N. Tosun ve L. Özler, "Optimisation for hot turning operations with multiple performance characteristics," *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, c. 23, ss. 777-782, 2004.
- [14] J. Goudhaman, "Experieantal investigation of hot machining process of high manganese steel using snmg carbide inserts by design of experiment using taguchi method," Bachelor thesis, Department Of Mechanical Engineering, National Institute Of Technology, Rourkela, India, 2007.

- [15] K. P. Maity and P. K. Swain, "An experimental investigation of hot-machining to predict tool life," *Journal Of Materials Processing Technology*, c. 198, ss. 344-349, 2008.
- [16] M. Davami and M. Zadshakoyan, "Investigation of tool temperature and surface quality in hot machining of hard-to-cut materials," *International Journal Of Materials And Metalurgical Engineering*, c. 2, 2008.
- [17] M. A. Lajis, A. K. M. N. Amin and A. N. M. Karim, "Hot machining of hardened steels with coated carbide inserts," *American Journal Of Engineering And Applied Sciences*, c. 2, ss. 421-427, 2009.
- [18] M. Bailli, V. Wagner, G. Dessein, J. Sallaberry and D. Lallement, "An experimental investigaion of hot machining with induction to improve ti-5553 machinability," *Applied Mechanics And Materials*, c.62, ss. 67-76, 2011.
- [19] G. Germain, P. Dal Santo and J. L. Lebrun, "Comprehension of chip formation in laser assisted machining," *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, c. 51, ss. 230-238, 2011.
- [20] S. Ranganathan and T. Senthilvelan, "Multi-response optimization of machining parameters in hot turning using grey analysis," *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, c. 56, ss. 455-462, 2011.
- [21] A. Amritkar, C. Prakash and A. P. Kulkarni, "Development of temperature measurement setup for machining," *Word Journal Science And Technology*, c. 2, ss. 15-19, 2012.
- [22] M. A. Lajis, A. K. M. N. Amin and A. N. M. Karim, "Surface integrity in hot machining of AISI D2 hardened steel," *Advanced Materials Research*, c. 500, ss. 44-50, 2012.
- [23] M. J. Bermingham, S. Palanisamy and M. S. Dargusch, "Understanding the tool wear mechanism during thermally assisted machining Ti-6Al-4V," *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, c. 62, ss. 76-87, 2012.
- [24] T. Özel ve F. Pfefferkorn, "Pulsed laser assisted micromilling for die/mold manufacturing," *2007 ASME International Conference On Manufacturing Science And Engineering*, Atlanta, United State Of America, 2007.
- [25] T. L. Ginta, A. K. M. N. Amin, M. A. Lajis, A. N. Karim and H. C. D. Radzi, "Improvement tool life in end milling Ti-6Al-4V through workpiece preheating," *European Journal of Scientific Research*, c. 27, ss. 384-391, 2009.
- [26] T. L. Ginta and A. K. M. N. Amin, "Machinability improvement in end milling titanium alloy Ti-6Al-4V," *SEGI Review*, c. 3 , ss. 25-33, 2010.
- [27] M. Anderson, R. Patwa and Y. C. Shin, "Laser-assisted machining of inconel 718 with an economic analysis," *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, c. 46, ss. 1879-1891, 2006.
- [28] Y. Tian, B. Wu, M. Anderson and Y. Shin, "Laser-assisted milling of silicon nitride ceramics and inconel 718," *Journal Of Manufacturing Science And Engineering*, c. 130, 2008.
- [29] W. A. Beaslack, J. R. Davis and C. E. Cross, "Selection and weldability of conventional titanium alloy," *ASM Metals Handbook*, 1993, ss. 507-523.
- [30] A. Majorell, S. Srivatsa and R. C. Picu, "Mechanical behavior of Ti-6Al-4V at high and moderate temperatures," *Materials Science And Engineering*, c. 326, 2, ss. 297-305, 2002.

- [31] S. G. Lakshmi, A. Dakshanamoorthy and B. Ganguli, "Surface modification and characterisation of Ti-Al-V alloys," *Materials Chemistry And Physics*, c. 72, ss. 187-190, 2002.
- [32] Z. Lian and L. Guozhen, "Research and development of titanium in China," *Materials Science And Engineering: A*, c. 243, ss. 294-298, 1998.
- [33] H. Dikbaş , "Ti6Al4V/Ti6Al4V malzeme çiftinin pta kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi," Doktora tezi, Malzeme Metalurji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2012.
- [34] B. Kurt, "Ti-6AL-4V alaşımı ile farklı tür paslanmaz çeliklerin difüzyon kaynağı," Doktora tezi, Malzeme Metalurji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2005.
- [35] S. L. Semiatin, V. Seetharaman and I. Weiss, "Hot workability of titanium and titanium aluminide alloys-an overview," *Materials Science And Engineering: A*, c. 243, ss. 1-24, 1998.
- [36] M. M. Yıldırım, A. Çakan, M. Pakdil ve Z. S. Doğan, *Mühendislik Malzemeleri III*, 3.baskı, Ankara, Türkiye: Kampüs Yayınları, 2011.
- [37] M. C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, 2. baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2007.
- [38] Y. S. Serfiçeli, *Malzeme Bilgisi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Milli Eğitim Basımevi, 2000.
- [39] M. A. Topbaş, *Çelik Ve Isıl İşlem El Kitabı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Prestij Yayıncılık, 1998.
- [40] U. Fischer, *Metal Meslek Bilgisi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 1995.
- [41] M. Tabur, "Farklı ısıtma işlemlerindeki 8620 sementasyon çeliğinin abrasiv aşınma davranışları," Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [42] E. Tuncer, "Aşınmaya dayanıklı çelikler ile genel yapı çeliğinin kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi," Yüksek Lisans tezi, Metal Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [43] T. Savaşkan, *Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Derya Kitabevi, 2000.
- [44] S. Demirok, "Çeliklerin farklı sertlik oranlarında işlenebilirliklerinin araştırılması," Yüksek Lisans tezi, Tasarım Ve İmalat Mühendisliği, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi, Gebze, Türkiye, 2008.
- [45] P. Prevey, "Problems with non-destructive surface x-ray diffraction residual stress measurement," *American Society For Metals*, ss. 47-54, 1991.
- [46] F. Oliveira, L. Hernandez, C. Villalobos and A. Pertuz, "Corrosion-fatigue properties of a 4340 steel coated with colmonoy 88 alloy," *Surface And Coating Technology*, c. 140, ss. 128-135, 2001.
- [47] H. Feng and M. N. Bassim, "Finite element modeling of the formation of adiabatic shear bands in AISI 4340 steel," *Materials Science And Engineering: A*, c. 266, ss. 255-260, 1999.

- [48] L. Hernandez, F. Olivera, J. A. Berrios-Ortiz and C. Villalobos, "Fatigue properties of a 4340 steel coated with a colmonoy 88 deposit applied by high-velocity oxygen fuel," *Surface And Coating Technology*, c. 133-134, ss. 68-77, 2000.
- [49] G. Krauss, "Martensite in steel: strength and structure," *Materials Science And Engineering: A*, c. 273-275, ss. 40-57, 1999.
- [50] Y. C. Lin, S. W. Wang and T. M. Chen, "A Study on the wear behavior of hardened medium carbon steel," *Journal Of Materials Processing Technology*, c.120, ss. 126-132, 2002.
- [51] S. Buytoz, "AISI 4340 çeliğın nitrürasyon ve gta kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışların araştırılması," Doktora tezi, Malzeme Metalurji Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2004.
- [52] J. A. Diaz, M. Passarelli, J. A. Berrios and E. S. Puchi-Cabrera, "Fatigue Behavior of a 4340 steel coated with an electroless Ni-P deposit," *Surface And Coating Technology*, c. 149, ss. 45-56, 2002.
- [53] S. H. Avner, *Introduction of physical metallurgy, alloy steel*, 2. baskı, Singapore, McGraw-Hill Book Company, 1974, ss. 351-357.
- [54] W. F. Smith, *Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri*, 2. baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 2000, ss. 265-274.
- [55] Ö. Özgün, "Toz metalurjisi ile üretilen alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri," Yüksek Lisans tezi, Metal Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.
- [56] L. Özler, "Östenitik manganlı çeliğın sıcak talaşlı işlenmesinde kalem ömrünün teorik ve deneysel olarak incelenmesi," Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 1998.
- [57] U. Özdemir ve M. Erten , "Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri," *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, c. 1, ss. 37-50, 2003.
- [58] B. Gökçe, "Çeliklere uygulanan ısıt işlemlerin otomasyonu için bir mekatronik sistem tasarımı," Yüksek Lisans tezi, Metal Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2004.
- [59] B. İnem, "Çeliklerin ısıt işlemleri ve çelik türleri ile ilgili bilgisayar programı yazılımı," Yüksek Lisans tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1988.
- [60] E. Bingül, "K390 soğuk iş takım çeliğının tornalanmasında temperleme sıcaklığının işlenebilirlik üzerine etkisinin incelenmesi," Yüksek Lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2014.
- [61] Z. Tayan ve M. C. Başkaya, Çeliklere uygulanan ısıt işlemler, *Ders Notları*, Kocaeli, 2001.
- [62] A Partical Handbook, *Modern Metal Cutting*, 1. edition, Sweden, Sandvik Coromat Co, 1996.
- [63] A. Mavi, "Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti6Al4V titanyum alaışının işlenmesinde kesici takım performansının etkisi," Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.

- [64] S. Zhirafar, A. Rezaeian and M. Pugh, "Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel," *Journal Of Materials Processing Technology*, c. 186, ss. 298-303, 2007.
- [65] P. Baldissera and C. Delprete, "Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel," *Materials & Design*, c. 30, ss. 1435-1440, 2009.
- [66] V. Leskovsek, M. Kalin and J. Vizintin, "Influence of deep-cryogenic treatment on wear resistance of vacuum heat-treated HSS," *Vacuum*, c. 80, ss. 507-518, 2006.
- [67] M. Karabatak, "Derin kriyojenik işlemin AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliğine etkisi," Yüksek Lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.
- [68] A. Takmaz, "Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirliğe etkisinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu," Yüksek Lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [69] L. A. Alava, "Multistage cryogenic treatment of materials: process fundamentals and examples of application," *Cryogenics 2008*, Prag, 2008.
- [70] D. Das, A. K. Dutta and K. K. Ray, "Optimization of the duration of cryogenic processing to maximize wear resistance of AISI D2 steel," *Cryogenics*, c. 49, ss. 176-184, 2009.
- [71] S. Hogarth, "Cryogenics: a technology seeks legitimacy," *Manufacturing Engineering*, c. 124, ss. 132-1456, 2000.
- [72] P. Baldissera and C. Delprete, "Deep cryogenic treatment: a bibliographic review," *The Open Mechanical Engineering Journal*, c. 2, ss. 1-11, 2008.
- [73] Y. Altıntaş, *Manufacturing Automation*, 1. edition, New York, United State Of America: Cambridge University Press, 2000.
- [74] M. P. Groover, *Fundamentals Of Modern Manufacturing*, 4. edition, United State Of America: John Wiley & Sons, 1996.
- [75] E. M. Trent ve P. K. Wright, *Metal Cutting*, 4. edition, United State Of America: Butterworth-Heinemann, 2000.
- [76] M. Apakhan, "Seramik takımlarla talaş kaldırmada talaş açısının işlenebilirliğe etkisi," Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2006.
- [77] YTM Tarım. (2019, Ekim 4). *İmalat Yöntemleri*. [Online]. Erişim: <http://ytmtarim.com/tr/imalat-yontemleri/tornalama-islemi.html>.
- [78] Akdoğan Mühendislik. (2019, 4 Şubat). *Tornalama Takımları*. [Online]. Erişim: <https://www.akdoganmuhendislik.com/sayfalar/tornalama-takimlari/82>.
- [79] B. Özses, "Bilgisayarlı sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi," Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [80] M. Bayrak, "Ç1020, Ç1040 Ve 9SMnPb28 çeliklerinin talaşlı işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün uzman sistemle hesaplanan değerlerin deneysel değerlerle karşılaştırılması," Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [81] M. C. Shaw, *Metal Cutting Principles*, 2. edition, New York, United State Of America: Oxford University Press, 2005.

- [82] E. S. Gadelmawla, M. M. Koura, T. M. A. Maksoud and I. M. Elewa, "Roughness parameters," *Journal Of Material Processing Technology*, c. 123, ss. 133-145, 2002.
- [83] Ş. Taktak, "Plazmada nitrülenmiş Ti-6Al-4V alaşımının difüzyon kinetiği ve aşınma davranışının incelenmesi," Doktora tezi, Metalurji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2002.
- [84] P. L. B. Oxley, *Mechanics of machining an analytical approach to assessing machinability*, 1. edition, New York, United State Of America: Halsted Press, 1989.
- [85] S. Aktaş, İmalat işlemleri II, *Ders Notları*, Kocaeli, 2014.
- [86] H. Sert, A. Can, K. Habalı ve F. Okay, "Wear behavior of PVD, TiAlN, CVD TiN coated and cermet cutting tools," *Tribology In Industry*, c. 27, 2005.
- [87] A. Tuğcu ve A. Kaçal, "Kesici takımların seramik kaplanması," *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, ss. 152-165, 2001.
- [88] A. Can, "AISI 5140 çeliğin sermet, PVD İle TiAlN-CVD ve TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi," Yüksek Lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [89] E. Ünal ve F. Karaca, "Ti6Al4V alaşımın dik işlem merkezli cnc tezgahında işlenebilirliğinin araştırılması," *Doğu Anadolu Bölge Araştırmaları*, ss. 135-139, 2007.
- [90] M. B. Baydemir, "Lojistik regresyon analizi üzerine bir inceleme," Yüksek Lisans tezi, Ekonometri, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2014.
- [91] J. H. Stock and M. W. Watson, *Ekonometriye Giriş*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Elif Yayınevi, 2011.
- [92] Ş. Kalaycı, *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri*, 7. baskı, Ankara, Türkiye: Asil Yayın Dağıtım, 2016.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Yasin KAVAK  
Doğum Tarihi ve Yeri: 18.03.1991 – Bakırköy/İstanbul  
Yabancı Dili: İngilizce  
E-posta: yasinkavak3@gmail.com

### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

| Derece    | Alan                | Okul/Üniversi                   | Mezuniyet Yılı |
|-----------|---------------------|---------------------------------|----------------|
| Y. Lisans | İmalat Mühendisliği | Düzce Üniversitesi              | 2019           |
| Lisans    | Makine Mühendisliği | Abant İzzet Baysal Üniversitesi | 2015           |
| Lisans    | Makine Öğretmenliği | Düzce Üniversitesi              | 2013           |
| Lise      | Sayısal             | Kadriyörüköğlu Lisesi           | 2009           |

### YAYINLAR

- Ş. Mert ve Y. Kavak, “Kuru Tornalamada Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi,” *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilim Dergisi*, 2016