



**AISI 52100 ÇELİĞİNİN TALAŞLI  
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Osman KUNCAN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ  
OCAK-2017**

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

**AISI 52100 ÇELİĞİNİN TALAŞLI İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Osman KUNCAN**

**(112119104)**

**Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ**

**Anabilim Dalı: Makine Eğitimi  
Programı: Talaşlı İmalat**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Aralık 2016**

**OCAK-2017**

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AISI 52100 ÇELİĞİNİN TALAŞLI İŞLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
OSMAN KUNCAN  
112119104

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26.12.2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.01.2017

Tez Danışman:

Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ (F.Ü)



Diğer Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Engin ÜNAL (F.Ü)



Yrd. Doç. Dr. Zülküf DEMİR (B.Ü.)



OCAK-2017

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve uygulanmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışman hocam Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım, ayrıca çalışmamıza maddi destek sunan FÜBAP' a da teşekkür ederim.

**Osman KUNCAN**  
**ELAZIĞ-2016**



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR.....	XI
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. AISI 52100 ÇELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI.....	16
4. TALAŞLI İMALAT.....	18
4.1. Tornalama.....	18
4.2. Frezeleme.....	19
4.3. Delik delme ve Delik işleme.....	20
4.4. Taşlama.....	21
4.5. Honlama.....	21
4.6. Lepleme.....	21
4.7. Broşlama.....	22
4.8. Vargelde işleme.....	23
4.9. Kesme sıvıları.....	24
4.9.1. Minimum miktarda yağlama.....	24
4.9.2. Minimum miktarda yağlama yöntemiyle ilgili çalışmalar.....	26
4.10. Takım Aşınması.....	27
4.11. Yüzey Pürüzlülüğü.....	32
5. MATERYAL METOD.....	34
6. DENEYSEL SONUÇLAR.....	38
7. GENEL SONUÇLAR.....	54

8. ÖNERİLER.....	55
9.KAYNAKÇA.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	60



## ÖZET

Bu çalışmada, AISI 52100 rulman çeliği ısıl işlemsiz ve küreselleştirme ısıl işlemi uygulanarak kuru ve minimum miktarda yağlama (MMY) ortamlarında tornalanmıştır. Deneyle sonrasında numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değeri ( $Ra$ ), kesici takımlarda meydana gelen yanak aşınma değeri ( $V_B$ ) ve kesici takımındaki sıcaklık değeri ( $T$ ) ölçülmüştür. Çalışmada DNMG 150408 – TF ve DNGA 150408TIN 23 ISO standart numaralı karbür ve seramik takımlar kullanılmıştır. Deneylede talaş derinliği ( $a$ ) ve ilerleme miktarı ( $f$ ) sabit tutulurken, kesme hızı ( $V$ ), iş parçası, kesici takım malzemeleri ve işleme ortamı gibi parametreler, belirli sınırlar içerisinde değiştirilmiştir. Bu faktörlerin işlenebilirlik üzerindeki izafi etkileri deneyle olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak AISI 52100 malzemesinin ekonomik işlenebilirliği için en uygun şartlar araştırılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AISI 52100 çeliği, küreselleştirme ısıl işlemi, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, minimum miktarda yağlama.

## SUMMARY

### Investigating the Machinability of AISI 52100 Steel

In this study, the non – heat – treated and spheroidized AISI 52100 bearing steel was machined in dry and minimum quantity of lubrication (MQL) conditions. After experiments, the average surface roughness ( $R_a$ ) of samples, tool flank wears ( $V_B$ ) and tool – chip interface temperature ( $T$ ) values were measured. The ISO DNMG 150408 – TF and DNGA 150408T IN 23 carbide and ceramic cutting tool materials were used. In the experiments, the depth of cut ( $a$ ) and tool feed rate ( $f$ ) factors were fixed, while the cutting speed ( $V$ ), cutting tool and work piece materials and machining conditions factors were changed in certain intervals to experimentally explore their relatively effects on the machining responses. Consequently, optimum parameter conditions were determined and evaluated for the economic machining of AISI 52100 bearing steel.

**Key words:** AISI 52100 steel, spheroidization heat treatment, tool life, surface roughness, MQL.



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 3.1. AISI 52100 Çeliğinin Farklı Sıcaklık değerlerindeki sertliğinin zamana karşı değişimi.....	16
Şekil 4.1. Tornalama işlemi... ..	19
Şekil 4.2. Frezeleme İşlemi.....	20
Şekil 4.3. Delik delme işlemi .....	20
Şekil 4.4. Düzlem taşlama ve silindirik taşlama işlemi.....	21
Şekil 4.5. Broşlama işlemi.....	23
Şekil 4.6. Vargelde işleme.....	23
Şekil 4.7. Minimum Miktarda Yağlamada Dıştan Ve İçten Püskürtme.....	25
Şekil 4.8. Takımda oluşan aşınma ve hasar mekanizmaları.....	29
Şekil 4.8. Takımda oluşan aşınma ve hasar mekanizmaları ( <i>Devamı</i> ).....	30
Şekil 4.9. Serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişim grafiği.....	31
Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi.....	33
Şekil 4.11. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler.....	33
Şekil 5.1. Numunelere ait mikro yapı fotoğrafları.....	34
Şekil 5.2. AISI 52100 çeliğine uygulanan küreselleştirme ısıl işleminin şematik diyagramı .....	35
Şekil 5.3. MMY ve sıcaklık ölçüm uygulaması.....	37
Şekil 6.1. İşleme parametrelerinin ölçülen değerler üzerindeki etki grafikleri.....	39
Şekil 6.2. Yanak aşınmasının zamanla gelişimi.....	40
Şekil 6.3. Kuru işleme koşullarında yanak aşınmasının zamanla gelişimi.....	41
Şekil 6.4. MMY koşullarında işleme parametrelerinin ölçülen değerler üzerindeki etki grafikleri.....	43
Şekil 6.5. Yanak aşınmasının zamanla gelişimi.....	43
Şekil 6.6. MMY ve kuru işleme koşullarında yanak aşınmasının zamanla gelişimi.....	44
Şekil 6.7. Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği.....	46
Şekil 6.8. MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği.....	46
Şekil 6.9. Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği.....	47

Şekil 6.10. MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği.....	47
Şekil 6.11. Kuru işleme şartlarında ısı işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	48
Şekil 6.12. MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	48
Şekil 6.13. Kuru işleme şartlarında ısı işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği.....	49
Şekil 6.14. MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği.....	49
Şekil 6.15. Kuru işleme şartlarında ısı işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	50
Şekil 6.16. MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	50
Şekil 6.17. Kuru işleme şartlarında ısı işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	51
Şekil 6.18. MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	51
Şekil 6.19. Kuru işleme şartlarında ısı işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	52
Şekil 6.20. MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	52
Şekil 6.21. Kuru işleme şartlarında ısı işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	53
Şekil 6.22. MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği .....	53

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa No

Tablo 3.1. AISI 52100 Çeliğinin Farklı Sıcaklık değerlerindeki sertlik ve renk değişimi...17	
Tablo 5.1. AISI 52100 çeliğinin kimyasal bileşimi.....34	
Tablo 5.2. Deneylerde kullanılan karbür ve seramik uçlara ait geometrik ölçüler.....35	
Tablo 5.3. İşleme parametreleri ve seviyeleri.....36	
Tablo 6.1. Deney koşulları ve ölçüm sonuçları.....38	
Tablo 6.2. İşleme parametreleri ve seviyeleri .....42	
Tablo 6.3. MMY yönteminin yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne katkı oranları.....45	



## KISALTMALAR

<b>MMY</b>	: Minimum Miktarda Yağlama
<b>HRC</b>	: Rockwell Sertlik Değeri
<b>HV</b>	: Vickers Sertlik Değeri
<b>RSM - YYM</b>	: Yüzey Yanıt Metodolojisi
<b>PCA -TBA</b>	: Temel Bileşen Analizi
<b>XRD</b>	: X Işınları Difraksiyonu Tekniğı
<b>ANOVA</b>	: Varyans Analizi Yöntemi
<b>CBN</b>	: Kübik Bor Nitür
<b>ABMA</b>	: American Bearing Manufacturers Association
<b>TEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>GEM</b>	: Geçirimli Elektron Mikroskobu

## SEMBOLLER LİSTESİ

**Ra** : Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değeri

**V<sub>B</sub>** : Yanak Aşınması

**T** : Sıcaklık

**a** : Talaş derinliği

**f** : İlerleme miktarı

**V** : Kesme hızı



## 1. GİRİŞ

Tasarlanan ve modellenen, imalat aşamaları tespit edilen, mekanik ekipmanların, imalat işlemlerine uygun tezgahlarda, kesici takımlar yardımıyla makina parçalarının şekillendirilmesini içeren sürece talaşlı imalat denir. Bu imalat işlemi, iş parçasının istenilen ölçü ve geometride imal edilebilmesi, iş parçası üzerinden tornalama, frezeleme, planyalama, vargelleme, taşlama gibi tezgahlar ile gerçekleştirilir. Kesici takım uçların talaş kaldırması ile istenilen ölçü standardı ve yüzey hassasiyeti sağlanır. İş parçasında istenilen yüzey kalitesinin elde edilebilmesi, kesme parametreleri ile doğrudan ilişkilidir.

Talaşlı imalat yöntemlerinde, kesici takımın ömrünü ve iş parçasının yüzey kalitesini etkileyen bir çok parametre bulunmaktadır. İmalat süreci, tasarlanan geometriye bağlı olarak belirlenen işlem parametrelerinin (ilerleme miktarı, talaş derinliğinin, soğutma sisteminin, kesici takım talaş açısının ve kesici takımın cinsinin) değiştirilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu parametrelerin uygun değerlerde seçilmesi, seri üretimdeki verimliliği, iş parçasının yüzey kalitesini, kesici takımın ve tezgahın ömrünü olumlu yönde etkiler ve üretimde verimliliği artırır.

Döküm, dövme ve haddeme işlemleriyle üretilen mühendislik malzemeleri talaşlı imalat yöntemiyle üretilmektedir. Üretimi yapılan önemli malzemelerden biri de otomotiv, dişli, rulman, takım ve kalıp endüstrisinde kullanılan ve ısıl işlemle sertleştirilmiş çeliklerdir. Bu geniş kullanım alanına sahip çelikler arasında önemli bir sektörel paya sahip olan da AISI 52100 rulman çeliğidir. AISI 52100 (DIN 100Cr6) çelikleri, % 1,3 – 1,6 krom içerikli, yüksek karbonlu (% 0,98 – 1,10) ve düşük alaşımlı ötektoid üstü bir malzemedir. Bu malzeme, ısıl işlem yoluyla derinlemesine sertleştirilebilmektedir. Farklı ısıl işlemler neticesinde mikro yapıları değiştirilerek sertlik kazandırılan bu çelikler, genellikle talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilir. Ancak, tavllanmış ötektoid üstü çeliklerin, içyapılarında bulunan sert ve gevrek sementit taneleri nedeniyle talaşlı imalata müsait değildir. Ayrıca, talaş kaldırma esnasında kesici takım ile iş parçası ara yüzeyinde meydana gelen sürtünme ve iş parçası malzemesinin plastik deformasyonu sonucu oldukça yüksek bir ısı açığa çıkmaktadır. Oluşan yüksek ısı, kesme bölgesinde sıcaklık artışına yol açarak kesici takım malzemesinin sertliğinin azalmasına ve hızla aşınmasına sebep olmaktadır. Takımın aşınmasıyla, takım ömrü ve işlenen yüzeyin kalitesi azalır. Kesme bölgesinde ortaya çıkan ısıyı ve kesici takım - talaş temas ara yüzeyindeki sürtünmeyi azaltmak (yağlama yaparak) amacıyla endüstride malzeme cinsine bağlı olarak genellikle hava, yağlar ve farklı emülsiyonlar gibi geleneksel soğutucular kullanılmaktadır.

Çeliklere uygulanan ısıt işlemlerden bir tanesi de küreselleştirme. Küreselleştirme ısıt işlemleri, çelik malzemeleri  $A_{c1}$  sıcaklık çizgisi civarında uzun süre tuttukten ve bu bölgedeki salınımlı olarak tavlama işleminden sonra, yavaş soğutma ile karbürlerin küresel bir şekilde dönüştürülmesini sağlayan işlemlerdir. Bu işlem sonrasında malzemenin iç yapısında oluşan iri taneli sementit ve ferrit nedeniyle talaşlı işlenebilirliği, sıcak ve soğuk şekillendirilebilirliği artar. Ayrıca işlenmiş yüzeyin kalitesi de iyileşir.

Bu tez çalışmasının temel amacı, küreselleştirme ısıt işlemlerine tabi tutulan AISI 52100 çeliğinin talaşlı işlenebilirliğe etkilerini araştırmaktır. Ayrıca çalışmada, minimum miktarda yağlama (MMY) sağlanarak soğutma tekniğinin AISI 52100 çeliğinin tornalanması işlemi üzerindeki etkilerini deneysel olarak gözlemlemektir. Yapılan bu iki tornalama işlemi karşılaştırılarak, işleme şartlarındaki numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ), kesici takımlarda meydana gelen yanak aşınması ( $V_B$ ) ve kesici takımındaki sıcaklık ( $T$ ) değerlerini karşılaştırmaktır. Çalışmada farklı özelliklere sahip kesici takımlar kullanılarak, kesme hızı ( $V$ ), ilerleme miktarı ( $f$ ) ve talaş derinliği ( $a$ ) parametreleri, belirli sınırlar içerisinde AISI 52100 çeliğinin talaşlı işlenebilirliğine etkileri deneysel olarak tespit etmektir. Sonuç olarak AISI 52100 çeliğinin talaşlı işlenebilirliğinin verimliliğini arttırmak için en uygun deney şartlarını tespit etmek ve deneysel çalışma ile elde edilen sonuçları değerlendirmektir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dünyada talaşlı imalat ile ilgili araştırmalar maddi olarak desteklenmektedir. Özellikle Almanya başta olmak üzere Avrupadaki bir çok ülkede talaşlı imalat konusunda önemli çalışmalar yapılmakta ve Ar-Ge sonuçları uygulama alanı bulmaktadır. Talaşlı imalat sürecinde; takım ömrü, yüzey kalitesi, sürdürülebilirlik ve maliyet gibi birçok nitelik ve üstünlükler araştırılmaktadır. İhtiyaç duyulan üretim şartları ve bu şartları karşılayabilecek özelliklere sahip yöntemler talaşlı imalat piyasasına yön vermektedir.

Bu bölümde, tez konusuyla ilgili kapsamlı bir şekilde literatür taraması yapılmıştır. Detaylı literature taraması sonucunda tez konusuna benzer bazı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Poulachon ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada CBN (kübik bor nitür) kesici takımları kullanarak AISI D2 soğuk iş takım çeliği, AISI H11 sıcak iş takım çeliği ve AISI 52100 rulman çeliği olmak üzere üç farklı sertleştirilmiş (54 HRC) çelik malzemeyi ince tornalama yöntemi ile talaşlı işlemişlerdir. Çalışmada talaş derinliği 0,2 mm olarak sabit tutulmuş ilerleme miktarı ise 0,08 ve 0,12 mm/dev ve kesme hızı 180 – 230 m/dak aralıklarında seçmişlerdir. TNGA164081020A 7019 standart numaralı takımları kullanmışlar. Çalışmada takımlarda oluşan yanak ve krater aşınma değerleri ölçerek yorumlamışlar. Sonuç olarak takım aşınması üzerindeki en önemli faktörün iş parçası malzemelerinde yer alan karbür yoğunluğunun olduğu tespit etmişler [1].

A. Kuş, çalışmasında ısıtılma işlemi tabii tutulmamış AISI 52100 rulman çeliğinin tornalanmasında karbür ve sermet kesici takımların performanslarını araştırmıştır. Karbür takımlar için 150 – 300 m/dak , sermet takımlar için 200 – 350 m/dak kesme hızları kullanılmıştır. İlerleme hızı ve talaş derinliği ise sırasıyla 0,1 mm/dev ve 0,5 mm seçmiştir. Kesici takımlardaki aşınma miktarları ve talaşlı işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak sermet takımlarda yoğun miktarda çentik aşınması ve kesici uçta ani kırılmalar şeklinde hasarların meydana geldiğini tespit etmiştir [2].

A. R. Motorcu, çalışmasında ısıtılma işlemi yapılmamış ve küreselleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin, iş parçasının ve kesici takım malzemesinin sertliğinin takım ömrü ve takım aşınmasına etkilerini araştırmıştır. Çalışmada kaplamasız karma alümina seramik (%70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %30 TiC), PVD yöntemiyle TiN kaplanmış seramik



(%70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %30 TiC) ve CVD yöntemiyle Ti (C, N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ Ti (C, N) + TiN kaplı karbür takımlar olmak üzere üç farklı kesici takım kullanılmıştır. Deneylede soğutma sıvısı kullanmamıştır. Sonuç olarak ısı işlem uygulanmamış numunelerde kaplamalı seramik takımlarda en iyi takım ömrü tespit edilmiştir. Sırasıyla kaplamasız seramik ve kaplamalı karbür takımların ömürlerini tespit etmiştir. Küreselleştirilmiş numunelerde ise kaplamalı karbür takımlar en iyi takım ömrü performansı sergilemiştir [3].

Galoppi ve diğerleri, 62 HRC sertliğindeki DIN 100Cr6 çeliğini, kaplamasız TiAlN, kaplamalı TiN ve silici uç geometrili olmak üzere yedi farklı CBN uç kullanarak talaşlı işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı 91 – 183 m/dak ve ilerleme miktarı 0,08 – 0,15 mm/dev değiştirilirken talaş derinliği sabit (0,2 mm) tutulmuştur. Kesici takımlarda oluşan yanak aşınması değerleri, işlenen yüzeyin ortalama pürüzlülük değerini, talaş kaldırma oranını ve takımların ömrünü ölçülmüşlerdir [4].

J. Guddet ve diğerleri, 58 – 62 HRC sertliğindeki AISI 52100 çeliğini silici uç geometrisine sahip PCBN uçlar kullanarak talaşlı işlemişlerdir. Talaşlı işlenmiş yüzeylerin pürüzlülük değerleri ve kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Deneylelerden elde ettikleri verileri kullanarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin edebilecek matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Sonuç olarak silici uç geometrisine sahip uçların geleneksel geometrili uçlara nazaran yüzey kalitesi ve artık gerilme bakımından daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişler [5].

M. A. Yallese ve diğerleri, çalışmalarında temperlenmiş 100Cr6 çeliğinin CBN takımlarla işlenebilirlik davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Öncelikle kesme hızının takım aşınması biçimi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla bir çok ön deneysel çalışma yapmışlardır. Daha sonra planlı bir deneysel çalışma ile yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, talaş ve iş parçasındaki sıcaklık değişimlerini araştırmışlardır. Sonuç olarak 60 HRC ye kadar sertlik değerine sahip 100Cr6 çeliğinin işlenmesinde CBN takımların oldukça iyi bir aşınma direnci gösterdiğini belirtmişlerdir. İşleme esnasında meydana gelen ısının önemli bir bölümünün talaşlar ile birlikte transfer edildiği görmüşler. 280 m/dak' nın üzerindeki kesme hızlarında sadece bir kaç dakika içerisinde işlenebilirliğinin doğrusallığın bozulduğunu, titreşimler ve kıvılcımların meydana geldiğini saptanmışlardır. En uygun işlenebilirlik, 120 m/dak kesme hızı değerinde ve 0,4 mm nin altında kabul edilebilir bir yanak aşınması değerinde elde edilmiştir. Kesme hızının 120 m/dak' yı geçtiği durumlarda kesme kuvvetlerindeki azalmaya bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde bir iyileşme meydana gelmiştir.

CBN takım ile elde edilen yüzeyler taşlanmış yüzeyler ile karşılaştırılmış ve 2,5 kat daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Seçilen parametreleri kullanarak yapılan deneysel çalışmada elde ettikleri sonuçları kullanarak ortalama yanak aşınması ve pürüzlülük değerleri arasında bir ilişki kurmuşlardır [6].

Raghavan ve arkadaşları, 63 HRC sertliğinde AISI 52100 çeliğini CBN ve seramik takımlarla geleneksel ve lazer destekli sıcak işleme yöntemleri olmak üzere iki farklı şekilde tormalamışlardır. Çalışmada lazer destekli sıcak işleme yönteminde iş parçasının akma mukavemetinin azaldığını ve buna bağlı olarak talaş kaldırma oranının arttığını tespit etmişler. Kesici takımlardaki aşınma, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi kriterlerine göre işleme yöntemleri karşılaştırılmış ve sıcak işlemenin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [7].

D. Umbrello ve arkadaşları, AISI 52100 çeliğini PCBN takımlarla tormalamışlardır. Çalışmada iş parçasının sertliği, kesici takım kenarındaki pah, ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme kenarı pah eğim açısı gibi faktörlerin, talaşlı işlenen yüzeydeki artık gerilme ve en uygun işlenebilirlik sonuçlarına etkileri araştırılmışlardır. Sonuçları tahmin edebilmek amacıyla sonlu elemanlar ve yapay sinir ağları yöntemlerinin birlikte kullanıldığı karma bir tahmin modelini geliştirmişler. Sonuç olarak modelleme yöntemiyle % 4 – 16 gibi oldukça düşük bir hata aralığında tahminler yapmışlar ve deney sonuçlarıyla modelleme sonuçlarının uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [8].

P. Paiva ve arkadaşları, sertleştirilmiş (53 – 55 HRC) ve temperlenmiş AISI 52100 çeliğini TiN kaplanmış karma alümina seramik ( $Al_2O_3 + TiC$ ) takımlarla işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı (187 – 250 m/dak), ilerleme miktarı (0,03 – 0,11 mm/dev) ve talaş derinliği (0,15 – 0,34 mm) faktörlerinin takım ömrü, işleme maliyeti, işleme zamanı, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlar. Deneysel sonuçlar yüzey yanıt metodolojisi ve temel bileşen analizi yöntemleri ile optimize edilmiştir. Sonuç olarak 238 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,32 mm talaş derinliği şartlarında en ideal sonuçlara ulaşıldığını tespit etmişlerdir [9].

S. B. Hosseini ve arkadaşları, çalışmalarında 60 HRC ye sertleştirilmiş martenzitik ve beynitik AISI 52100 rulman çeliğinin işlenmesinde yüzeydeki beyaz tabakaya bağlı olarak sıcaklık değişimlerini incelemişlerdir. Sıcaklık ölçümleri kesme kenarına bağlanan optik fiberli yüksek hızlı bir pirometre ile yapılmıştır. İşleme şartlarına bağlı olarak östenitik faz

dönüşüm sıcaklığının üzerindeki ve altındaki değerlerde beyaz tabakanın meydana geldiği tespit edilmiştir.  $Ac_1$  sıcaklığının üzerinde meydana gelen faz dönüşümü beyaz tabaka üzerinde termal bir etkiye yol açarken  $Ac_1$  sıcaklığının altındaki aşırı plastik deformasyonlar ise mekanik olarak etkili olmuştur. Sonuç olarak işlem sonrası yüzeyde oluşan beyaz tabakanın esas malzemeye nazaran yüksek miktarda kalıntı ostenit içerdiği ve daha yüksek artık gerilme değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir [10].

S. Caruso ve arkadaşları çalışmalarında kesici takım kenar geometrisi, iş parçası sertliği, kesme hızı ve yüzeyde meydana gelen mikro yapısal değişimlerin AISI 52100 çeliğinin kuru işleme şartlarında yüzeyinde meydana gelen artık gerilmeler üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada PCBN (% 50 CBN + TiC bağlayıcı) takımlar kullanmışlardır. Kesme hızı 75 – 350 m/dak aralığında seçmişlerdir. İlerleme miktarı 0,125 mm/dev olarak sabit tutmuşlar. Hem aksenel hem çevresel doğrultularda meydana gelen artık gerilmeler XRD (X ışınları difraksiyonu tekniği) ile belirlemişlerdir. Sonuç olarak takım geometrisi, iş parçası sertliği ve kesme parametrelerinin yüzey artık gerilmeleri ve yüzey altında meydana gelen maksimum basma gerilmeleri üzerinde önemli etkilerinin olduğunu tespit etmişler. Çalışmada ayrıca termal faz dönüşümlerinin yüzey altındaki basma gerilmelerinin büyüklüğü üzerinde ayrı bir önemin olduğu vurgulanmıştır [11].

A. Ramesh ve arkadaşları, 62 HRC ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini farklı kesme hızlarında tormalayarak yüzeyde oluşan beyaz tabakanın yapısını ve özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada kesme hızı 90 – 275 m/dak aralığında değiştirilirken ilerleme miktarı ve talaş derinlikleri sırasıyla 0,127 mm/dev ve 0,254 mm olarak sabit tutulmuştur. Kesici takım olarak KD050 CBN seçilmiştir. Yüzeyde oluşan beyaz tabakanın yapısı GEM (Geçirimli Elektron Mikroskobu), XRD ve Nano tanımlama yöntemleriyle incelenmiştir. TEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) sonuçlarına göre düşük kesme hızlarında aşırı plastik deformasyon yüksek kesme hızlarında ise termal faz dönüşümleri beyaz tabaka oluşumunda etkili olmuştur [12].

D. Ulutan ve arkadaşları, AISI 52100 çeliğinin 120 m/dak kesme hızı 0,1 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,2 mm talaş derinliğinde CBN takımlarla kuru işleme şartlarında tormalayan Liu ve arkadaşlarının deneysel çalışma sonuçlarından yararlanarak artık gerilmeyi tahmin etmek amacıyla iş parçasındaki termal alan ve mekanik kesme kuvvetlerine bağlı bir termo-mekanik analitik model geliştirmişlerdir. Modelde 1. deformasyon bölgesindeki kayma enerjisi kesici takım-talaş temas bölgesindeki sürtünme enerjisi ve takım-talaş ve iş parçası

arasındaki ısı dağılımını termodinamiğin 1. kanununa göre model içerisinde kullanmışlardır. İş parçası, takım ve talaştaki sıcaklık dağılımlarını sonlu farklar metoduyla çözmüşlerdir. Hesaplanan iş parçası sıcaklık alanı değerleri termal yüklerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Termal ve mekanik yüklerden kaynaklanan gerilmeler bir analitik elasto-plastik model yardımıyla hesaplanmıştır. Geliştirilen modelin artık gerilmeyi gerçeğe yakın bir şekilde tahmin ettiği belirtilmiştir [13].

Jouini ve arkadaşları, 62 HRC' ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini kuru işleme şartlarında CBN takımlarla işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı 210 – 260 m/dak ilerleme miktarı 0,05 – 0,1 mm/dev , talaş derinliği 0,05 – 0,1 mm aralığında değiştirilmiştir. İşlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri, artık gerilme değerleri ve mikro yapıda meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Yüzey kalitesinin yorulma ömrüne etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak kuru tornalanmış numune yüzeylerinin yorulma ömürlerinin yüzey pürüzlülük değerindeki azalmaya bağlı olarak arttığını tespit etmişlerdir [14].

Bartarya ve Choudlury çalışmalarında,  $60 \pm 2$  HRC sertliğindeki AISI 52100 çeliğini kesme kenarı honlanmış ve kaplanmış CBN kesicilerle işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı 167 – 261 m/dak, ilerleme miktarı 0,075 – 0,15 mm/dev talaş derinliği 0,1 – 0,2 mm aralığında seçmişlerdir. Çalışmada, yüzey pürüzlülüğünü, eksenel ve radyal kuvvet, kesme kuvvetlerini tahmin etmek amacıyla regrasyon modelleri geliştirilmiştir. Deneylerde tam faktöriyel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Ölçülen kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü tahmin eden modellerin sonuçları ile gerçek deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve modellerin iyi tahminler verdiği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca ANOVA (varyans analizi yöntemi) kullanılarak modellerin istatistiksel açıdan etkileri belirlenmiştir. Sonuç olarak kesme kuvvetleri üzerinde en önemli parametrenin talaş derinliği olduğu, bunu önem sırasına göre ilerleme miktarının ve kesme hızının takip ettiği belirlenmiştir [15].

Chou ve arkadaşları, 61 – 63 HRC ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini BZN6000 (% 92 CBN + Kobalt) ve BZN8100 (% 72 CBN+TiN) olmak üzere yüksek ve düşük yoğunluklu iki farklı CBN takım ile işlemişlerdir. Kesme hızı 60 – 240 m/dak, talaş derinliği 10 – 250 $\mu$ m aralığında değiştirilirken ilerleme miktarı 0,125 mm/dev olarak sabit tutulmuştur. Deney sonrasında CBN takımlardaki yanak aşınması değerleri TEM' de ölçülmüştür. Sonuç olarak yanak aşınmasının kesme hızındaki artışla orantılı bir şekilde arttığı ve yüksek CBN içerikli takımlardaki aşınmaların, yüksek sıcaklıklar nedeniyle daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Talaş derinliğinin azaltılmasıyla her iki tip CBN takımlardaki aşınma miktarının yakın olmalarına rağmen düşük dereceli takımın daha iyi yüzey kalitesi verdiği belirtilmiştir [16].

Dessoly ve arkadaşları titanyum nitrür kaplanmış karbür dönel kesici takımlarla 58 HRC ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini tornalamışlardır. Kesici takımındaki sıcaklık dağılımı ve ısı transferini sonlu elemanlar yöntemi ile modellemişlerdir. Takımın kesme kenarı sürekli hareket halinde olduğundan sonlu elemanlar modellerinde değişken ısı kaynağı teorisi esas alınmıştır. Çalışmada, kesme hızı 10 – 25 m/dak aralığında değiştirilirken ilerleme miktarı ve talaş derinliği sırasıyla 0,1 mm/dev ve 0,05 mm olarak sabit tutulmuştur. Çalışmada soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Dolayısıyla kesme şartlarına bağlı olarak takımındaki sıcaklık dağılımları kızıl ötesi kamera yardımıyla görüntülenmiştir. Sonuç olarak hem sabit hemde dönel takımlar ile yapılan işlemler sonucu takımlardaki sıcaklıklar karşılaştırılmıştır ve dönel takımların ortalama 50 °C daha az ısındığı tespit edilmiştir [17].

Boucha ve arkadaşları 7020 TiN seramik takviyeli düşük CBN içerikli bir takımla 40 – 64 HRC' ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini tornalamışlardır. Çalışmada kesme hızı 125 – 246 m/dakaralığında ilerleme miktarı 0,08 – 0,16 mm/dev ve talaş derinliği 0,15 – 0,45 mm aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada öncelikle kesme hızı ve iş parçası sertliğine bağlı olarak takım aşınması ve kesme sıvısının kesme kuvvetine etkisi değerlendirilmiştir. Daha sonra seçilen parametreler ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme parametreleri arasındaki ilişki RSM (yüzey yanıt metodolojisi) yöntemi kullanılarak modellenmiş ve optimize edilmiştir. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğü üzerinde, ilerleme miktarı ve kesme hızının talaş derinliğine göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Kesme kuvvetleri açısından iş parçasının sertliği negatif talaş açısı ve takım aşınmasına bağlı olarak en büyük kuvvet bileşeninin ilerleme kuvveti olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetleri bakımından ise talaş derinliğinin daha önemli olduğu belirtilmiştir [18].

A. Kurt ve U. Şeker, 60 HRC' ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin tornalanmasında kesici takım kesme kenarı pah açısının, kesme kuvvetleri ve takım yüzeylerindeki gerilmeler üzerindeki etkilerini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmışlardır. Çalışmada çok kristalli CBN takım kullanılmıştır. Kesme hızının, ilerleme miktarının ve talaş derinliğinin değerleri sırasıyla, 150 m/dak, 0,03 mm/dev ve 0,05 mm olarak sabit tutulurken takımın pah açısı 0°–20° aralığında seçmişlerdir. Ölçülen kesme kuvvetleri ve sonlu elemanlar analiz sonuçları takım pah açısı, kesme kuvvetleri ve takım gerilmeleri üzerinde önemli bir etkiye

sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak çalışmada en uygun pah açısının 20° olduğu belirtilmiştir [19].

Attanasio ve arkadaşları çalışmalarında, CBN 100 çok kristalli elmas takımla 63 – 65 HRC ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini tornalamışlardır. Çalışmada kesme hızı, ilerleme miktarı ve takım aşınmasına malzemedeki beyaz ve siyah tabaka formu üzerindeki etkileri deneysel ve sonlu elemanlar yöntemleriyle araştırılmıştır. Çalışmada beyaz ve siyah tabaka kalınlıklarının artan yanak aşınması ile birlikte arttığı belirtilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının krater aşınmasına önemli derecede etki ettiğini görmüşlerdir. Sonuç olarak geliştirilen sonlu elemanlar modeliyle elde ettikleri değerler ile deneysel sonuçların uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir [20].

Benga ve Abrao çalışmalarında 62 – 64 HRC' ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini CC650 karma alüminyum seramik, CC670 takviyeli alüminyum seramik ve CB7020 çok kristalli CBN takımlar kullanarak kuru işleme şartlarında işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı 70 – 210 m/dak ilerleme miktarı 0,08 – 0,28 mm/dev aralığından değiştirilmiştir. Çalışmada 3<sup>2</sup> tam faktöriyel tasarım kullanılarak takım ömrü ve yüzey kalitesi araştırılmıştır. Takım ömrü bakımından en iyi performansı çok kristalli CBN gösterirken bunları CC650 ve CC670 izlemiştir. Sonuç olarak uygulanan deneysel şartlarda Ra = 0,25 µm değerinde hassas yüzeylerin elde edilebileceği belirtilmiştir [21].

Aslantaş ve arkadaşları çalışmalarında 63 HRC' ye sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini, CBN' den daha ekonomik olan kaplamalı ve kaplamasız Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiCN ( % 77 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + % 21 TiCN + % 2 Diğer malzemeler) karma seramik takımlarla işlemişlerdir. Çalışmada iş parçasının yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve kesici takım ömrü değerleri araştırılmıştır. Sonuç olarak kaplamasız takımlarda genellikle kırılma ve talaşlanma şeklinde aşınma biçimleri görülürken TiN kaplamalı takımlarda krater aşınması biçiminin daha etkili olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın en önemli sonucu olarak TiN kaplama malzemesi ve krater aşınmasının talaş akma yönünü etkilediği vurgulanmıştır. Kaplamasız seramik takımlarda oluşan krater formunun talaş kıvrılma yarıçapını azalttığı ve takım talaş ara yüzeyindeki sıcaklığı arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durumun talaşın üst ve alt bölgelerinde termal farklılıklara yol açarak kıvrılma yarıçapının azalttığı belirtilmiştir. Kesme süresine bağlı olarak çıkan talaşların takım ucunda biriktiği ve iş parçasına yapışarak yüzey kalitesini bozduğu tespit edilmiştir. TiN kaplama malzemesinin hem yüzey kalitesi hem de takımın tokluğunu arttırdığını belirtilmiştir [22].

A. G Momalı ve arkadaşları 60 HRC' ye sertleştirilmiş AISI 52100 rulman çeliğini C01, C10 Kompozit ve CBN takımlar ile işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı 10 – 400 m/dak talaş derinliği 0,05 – 0,4 mm ve ilerleme miktarı 0,025 – 0,4 mm/dev aralığında değiştirilmiştir. Tornalanmış yüzeyler, taşlanmış yüzeylerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tornalanmış yüzeylerin yüzey pürüzlük değerlerinin taşlama ile aynı olduğu ve kuru tornalama yönteminin taşlamaya alternatif olarak daha ekonomik bir yöntem olacağı belirtilmiştir [23].

Son yıllarda, kesme sıvılarının özellikleri iyileştirilerek, takım ömrünün ve işlenen parçalardaki yüzey hassasiyetinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen bir çok çalışma da mevcuttur.

Taşdelen ve arkadaşları, çalışmalarında kaplamasız ve TiN kaplamalı takımlarla AISI 52100 çeliğini MMY, basınçlı hava ve emülsiyon olmak üzere 3 farklı soğutma tekniğinin kesici takım talaş temas uzunluğu üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. MMY uygulaması 24 ml/saat yağ ve 125 lt/dak hava karışımından oluşturulmuştur. Uygulamada hava, harici bir kompresörden alınmış ve MMY ünitesine bir nozul yardımıyla bağlanmıştır. İş parçası üzerine belirli aralıklarla kanallar açılmak suretiyle kesintili talaş kaldırma deneyleri yapılmıştır. Takım talaş temas uzunluğu ve talaş morfolojisi bakımından sonuçlar kuru işleme şartlarıyla karşılaştırılmıştır. Takım talaş temas alanı TEM, optik ve ışık mikroskoplarında incelenmiştir. Sonuç olarak MMY ve basınçlı havanın kuru işleme şartlarına nazaran daha düşük temas uzunluğu sağladığı tespit etmişlerdir [24].

Dhar ve arkadaşları, AISI 1040 çeliğini 72 – 164 m/dak kesme hızı, 0,1 – 0,2mm/dev ilerleme miktarı ve 1,5 mm talaş derinliği şartlarında kuru ve MMY yöntemleri ile işlemişlerdir. MMY, 8 bar hava ve 200 ml/saat yağ karışımı kesintili bir şekilde ara bölgeye uygulanmıştır. Mobil Cut-102 tip yağ kullanılmıştır. Çalışmada, kesme sıcaklığı, talaş büzülme katsayısı, kesme kuvvetleri, takım aşınmaları, yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal hassasiyet gibi değerler ölçülmüştür. Sonuç olarak MMY yönteminin kuru işlemeye nazaran daha düşük sıcaklık, kesme kuvveti, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü sağladığı tespit edilmiştir [25].

Obikawi ve arkadaşları, inconel 718 alaşımını TiCN / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / TiN kaplanmış karbür takımlarla 1,3 m / sn kesme hızı, 0,10 mm / dev ilerleme ve 0,1 mm talaş derinliği şartlarında MMY tekniği kullanarak işlemişlerdir. MMY uygulaması 0,20 – 15 ml / saat yağ tüketimi ve 0,40 MPa hava basıncı şartlarında yapılmıştır. Yağ / hava karışımı uygulamasını, hava

bölgeye normal ve eğimli olmak üzere iki farklı şekilde gönderilmiştir. Nozul uç kısmı ve takım arasındaki mesafenin azalmasıyla çalışmada düzenli tip nozul, takım ucuna yakın normal püskürtmeli nozul ve kesme kenarına 45° açıyla yerleştirilmiş nozul olmak üzere 3 farklı uygulama yönü ve tipi seçilmiştir. Sonuç olarak açılı püskürtme tekniğinde karşımın akma oranı en büyük değere ulaşmıştır [26].

Lappert, PVD yöntemiyle yüzeyi TiN kaplanmış karbür takımlarla AISI 1045 çeliğini kuru, geleneksel soğutma tekniği ve MMY yöntemiyle farklı işleme koşullarında tormalamıştır. Çalışmada kesme hızı 76 – 237 m/dak ilerleme oranı 0,08 – 0,27 mm/dev ve talaş derinliği 1 mm olarak seçilmiştir. MMY yöntemindeki yağ miktarı 50 ml/saat olarak ayarlanmıştır, ve ara bölgeye 37 mm<sup>2</sup>/sn debiyle gönderilmiştir. LB8000 bitkisel esaslı yağ kullanılmıştır. Çalışmada işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü, topoğrafyası ve dalgalılıkları incelenmiştir. Çalışmada ayrıca kesme kuvvetleri de ölçülmüş ve her üç soğutma tekniğinde elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak MMY ve kuru işleme şartlarının yüzey kalitesi bakımından geleneksel soğutmaya nazaran daha iyi sonuçlar verdiği ve MMY sisteminde insan sağlığı ve çevre bakımından daha avantajlı olduğu belirtilmiştir [27].

Dhar ve arkadaşları çalışmalarında, kaplamasız ISO P30 takımlarla AISI 4340 çeliğini, kuru, geleneksel soğutmalı ve MMY yöntemleriyle işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı 110 m/dak ilerleme miktarı 0,16 mm/dev talaş derinliği 1,5 mm olarak seçilmiştir. MMY uygulaması 60 ml/saat yağ ve 7 bar hava karışımından oluşturulmuş ve ara bölgeye sabit basınçla gönderilmiştir. Çalışmada kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Sonuç olarak MMY yöntemiyle yapılan deneylerde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün diğer yöntemlere göre oldukça düşük olduğundan ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın azaldığı belirlenmiştir [28].

Khan ve arkadaşları ISOP 30 kaplamasız karbür takımlarla düşük alaşımlı AISI 9310 çeliğini, kuru, geleneksel, MMY yöntemleriyle işlemişlerdir. Çalışmada kesme hızı 223 – 483 m/dak ilerleme hızı 0,1 – 0,18 mm/dev aralığında değişirken talaş derinliği 1 mm olarak sabit tutulmuştur. MMY uygulaması 100 ml/saat yağ ve 6 bar hava karışımının harici nozul yardımıyla ara bölgeye gönderilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kesme sıvısı olarak 84 cP viskoziteli bitkisel esaslı yağlar kullanılmıştır. Çalışmada takım – talaş ara yüzeyinin sıcaklığı, talaş formu, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Yöntemler karşılaştırıldığında MMY yönteminin diğerlerine göre takım aşınması ve yüzey kalitesi



bakımından ayrıca operatör sağlığı çevre hasarları bakımından da işlenebilirlik üzerinde, daha olumlu etkileri olduğu vurgulanmıştır [29].

F. Klocke ve arkadaşları, ısıya dayanıklı  $\mu$ -TiAl intermetalik alaşımını geleneksel soğutma, kriyojenik soğutma (sıvı nitrojenli) ve MMY yöntemleri ile tornalamışlardır. Çalışmada ISO K10 sementit karbür takımlar kullanılmıştır. Kesme hızı 80 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve talaş derinliği 0,25 mm olarak sabit tutulmuştur. Çalışmada takım aşınması, kesme kuvveti, talaş morfolojisi ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Yüzeyde oluşan hasarlar ve yüzey altında meydana gelen metalurjik değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak kriyojenik soğutma yönteminde diğer yöntemlere göre kesme kenarına daha etkin bir soğutmanın yapıldığı ve yüzey kalitesi bakımından daha avantajlı olduğu belirtilmiştir [30].

P. S. Srejjith çalışmasında 6061 alüminyum alaşımını elmas kaplı karbür takımlarla tornalamıştır. Çalışmada kuru, MMY ve geleneksel soğutma tekniklerinin, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada talaş derinliği ve ilerleme miktarı sırasıyla 1 mm ve 0,15 mm/dev olarak sabit tutulurken kesme hızı 50 – 400 m/dak aralığında değiştirilmiştir. BP Microtrend 231L ticari olarak temin edilen yağ, soğutma sıvısı olarak kullanılmıştır. MMY 50 ml/saat ve 100 ml/saat olmak üzere iki farklı debide uygulanmıştır. Sonuç olarak MMY sisteminde diğer soğutma tekniklerine göre çok daha avantajlı olduğu belirlenmiştir [31].

Toshiyut ve arkadaşları, çalışmalarında inconel 718 nikel alaşımını geleneksel, MMY ve mikro MMY olmak üzere iki farklı soğutma tekniği kullanarak tornalamışlardır. Çalışmada soğutma sıvısı olarak QECD301B ester yağı kullanılmış, farklı açđ ve mesafelerde MMY uygulamaları yapılmıştır. Mikro MMY uygulaması 0,2 – 3 ml/saat olacak şekilde oldukça düşük bir debiyle uygulanmıştır. Sonuç olarak, özel olarak geliştirilmiş bir nozul kullanmak suretiyle sprey formundaki soğutma sıvısının çok düşük debilerde bile ara bölgeye daha yoğun ve etkin bir şekilde gönderilmesi sağlanmış ve geleneksel MMY ye göre daha etkin sonuçlar elde edilmiştir [32].

Hadad ve Sadghi, çalışmalarında AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı ve MMY nozul pozisyonunun; kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmada ayrıca ortalama sıcaklık değerı, kesici takım, iş parçası ve talaşa transfer olan ısı miktarı hesaplanmıştır. MMY sonuçları, kuru ve geleneksel soğutma teknikleri ile karşılaştırılmıştır.

Mevcut literatürden farklı olarak takım talaş ve serbest yüzeyine iki farklı noktadan MMY uygulanmış ve ara bölgedeki sıcaklığın kuru işleme şartlarına göre 350 °C daha düşük olduğu, geleneksel MMY' nin sadece talaş yüzeyine uygulanmasıyla sıcaklık azalma miktarı kuru işlemeye göre 200 °C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışmada kesme hızı 50 – 141,4 m/dak ilerleme miktarı 0,09 – 0,22 mm/dev talaş derinliği 0,5 – 1,5 mm aralığında değiştirilmiştir. MMY uygulaması 30 ml/saat debi ve 3 bar basınçla uygulanmıştır [33].

Sayuti ve arkadaşları, çalışmalarında 52 HRC sertliğinde AISI 4140 çeliğini kaplamalı karbür takımlarla tornalamışlardır. Çalışmada kesme hızı 120 m/dak ilerleme miktarı 0,15 mm / dev ve talaş derinliği 0,5 mm olarak seçilmiştir. MMY uygulaması 0,75 lt / saat sabit debiyle 1 – 4 bar basınç aralığında 15°– 60° açılarında uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması ölçülmüştür. Çalışmada L16 Taguchi ortogonal dizin kullanılmıştır. İşleme parametrelerinin istatistiksel etkileri bulanık mantık yöntemiyle belirlenmiştir. Sonuç olarak minimum takım aşınması 2 bar basınç ve 60° nozul açısında elde edilirken en uygun yüzey pürüzlülüğü 30° nozul açısında belirlenmiştir [34].

Settineri ve arkadaşları, 50 HRC sertliğindeki inconel 718 nikel esaslı alaşım, kuru, MMY ve geleneksel soğutma teknikleri kullanarak tornalamışlardır. Çalışmada kesme hızı 35 – 140 mm / dak aralığında değiştirilirken, ilerleme miktarı ve talaş derinliği 0,25 mm / dev ve 0,5 mm olarak sabit tutulmuştur. Çalışmada wolfram karbür takımlara TiN+AlTiN, TiN+AlTiN+MoS<sub>2</sub> ve CrN+CrN:C+C olmak üzere üç farklı kaplama maddesi PVD yöntemiyle kaplanmıştır. Sonuç olarak MMY yöntemini ve TiN+AlTiN+MoS<sub>2</sub> takım performansının, sürtünme bakımından en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir [35].

Shophersen ve arkadaşları, inconel 750 alaşımının geleneksel soğutma ve CO<sub>2</sub> esaslı MMY yöntemleri ile tornalamışlardır. Çalışmada bitkisel esaslı yağlar ve kaplanmış karbür takımlar kullanılmıştır. Geleneksel soğutma tekniği uygulamasında çentik aşınması, krater aşınması ve talaş yapışması gözlenirken, MMY yönteminde bu problemler önemli derecede azaltıldığı ve işleme süresinin takriben 10 dakika azaldığı vurgulanmıştır [36].

Gaitonde ve arkadaşları, CuZn 39 Pb3 pirinç malzemeyi ISO K10 sementit karbür takımlarla tornalamışlardır. Çalışmada talaş derinliği 2 mm olarak sabit alınırken kesme hızı 100 – 400 m/dak ilerleme miktarı 0,05 – 0,15 mm/dev aralığında değiştirilmiştir. Soğutma tekniği olarak MMY yöntemi kullanılmış ve 50 – 200 ml/saat debi aralığında uygulanmıştır. Çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve özgül kesme kuvveti değerleri ölçülmüştür. Taguchi

deneysel tasarım yöntemi, Sinyal / Gürültü (S/N) oranı ve varyans analizleri yardımı ile optimizasyon yapılmıştır. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde; 200 ml / saat MMY basınç, 100 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme şartlarının en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir [37].

Yazid ve arkadaşları, TiAlN kaplanmış karbür kesici takımlarla inconel 718 nikel esaslı alaşımı tornalamışlardır. Çalışmada kesme hızı 90 – 150 m/dak ilerleme oranı 0,10 – 0,15 mm/dev ve talaş derinliği 0,3 – 0,5 mm aralığında seçilmiştir. Deneyler kuru ve MMY soğutmalı şartlarda yapılmıştır. MMY, 50 – 100 ml/saat debi aralığında uygulanmıştır. Çalışma sonrasında numunelerin yüzeylerinde oluşan deformasyon ve mikro yapısal değişimler enine kesit boyunca TEM’ de incelenmiştir. Numunelerin ayrıca mikro sertlik ölçümleri alınmıştır. Sonuç olarak MMY yönteminin diğer yöntemlere göre özellikle düşük kesme hızlarında daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri verdiği ve kuru işleme şartlarına nazaran yüzeyde meydana gelen sertlik artış oranının daha az olduğu tespit edilmiştir [38].

Sarıkaya ve Güllü AISI 1050 çeliğini TiAlN kaplı K12 karbür takımlarla tornalamışlardır. Çalışmada kesme hızı 80 – 200 m/dak ilerleme miktarı 0,07 – 0,18 mm/dev talaş derinliği 1,2 – 1,8 mm aralığında seçilmiştir. Soğutma tekniği olarak MMY yöntemi kullanılmış ve 60 –120 ml/saat debiyle uygulanmıştır. Çalışmada ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri Ra ve pürüz yükseklik değeri Rz olmak üzere farklı yüzey pürüzlülük parametreleri ölçülmüştür. MMY sonuçları kuru ve geleneksel soğutma teknikleriyle karşılaştırılmıştır. Deneyler taguchi L16 ortagonal dizin kullanılarak yapılmıştır. Optimum işleme parametreleri belirlenmiş ve ölçülen değerler için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir. MMY yönteminin ise diğer yöntemlere nazaran çok daha etkin sonuçlar verdiği vurgulanmıştır [39].

Dhar ve arkadaşları, AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında MMY yönteminin sıcaklık, talaş formu ve yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini, deneysel olarak araştırmış ve sonuçları, kuru ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Çalışmada ISO P30 kaplamasız karbür kesici takım kullanılmıştır. Kesme hızı 64 – 130 m/dak ilerleme miktarı, 0,1 – 0,2 mm/dev aralığında değiştirilirken talaş derinliği 1mm olarak sabit tutulmuştur. MMY, 7 bar basınç ve 60 ml/saat debi ile harici nozul yardımıyla ara bölgeye uygulanmıştır. Sonuç olarak MMY yönteminin uygun kesme hızı ve ilerleme değerlerinde ara bölgedeki sıcaklığı önemli derecede azalttığı ve daha uygun talaş formları verdiği tespit edilmiştir [40].

Kaynak ve arkadaşları, çalışmalarında NiTi şekil hafızalı alaşımı TiB<sub>2</sub> kaplamalı KC5410 kesici takımlar ile tornalamışlardır. Çalışmada ilerleme miktarı 0,05 mm/dev ve talaş derinliği 0,5 mm olarak sabit tutulurken kesme hızı 12,5 – 100 m/dak aralığında değiştirilmiştir. Deneyler kuru, kriyojenik ve MMY şartlarında yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kesici takımlarda meydana gelen aşınma tipleri ve bölgeleri, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi değerleri ölçülmüştür. MMY uygulaması, 60 ml/saat ve 0,4 MPa basınç ile talaş yüzeyine uygulanmıştır. Sonuç olarak kriyojenik soğutma yönteminin takım aşınmasını önemli derecede azalttığı ve diğer yöntemlere nazaran daha etkili olduğu belirlenmiştir [41].

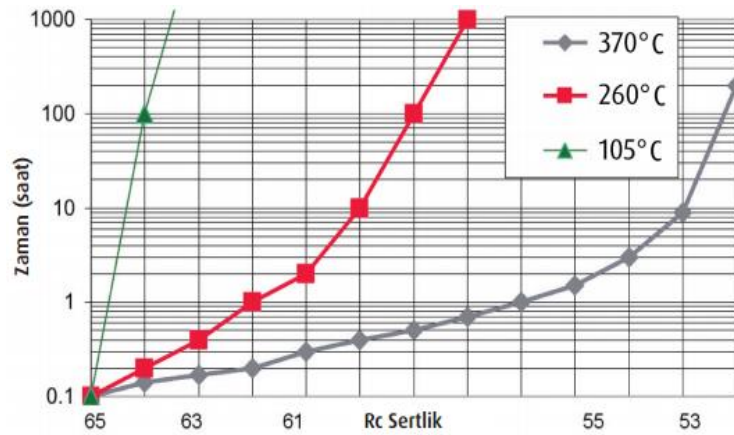
Liu ve arkadaşları, çalışmalarında kaplamasız, AlTiN (Kaplama kalınlığı: 1 – 4 µm) ve AlCrN (kaplama kalınlığı: 1 – 7 µm) kaplamalı olmak üzere 3 farklı kesici takım kullanarak Ti6-Al-4V alaşımını tornalamışlardır. Çalışmada kesme hızı 120 m / dak ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve talaş derinliği 1,2 mm olarak sabit tutulmuştur. MMY uygulaması 125 lt / dak debi, 0,7 MPa basınç, 20 mm nozul mesafesinde serbest yüzeye uygulanmıştır. Takımlardaki aşınma miktarları ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak MMY yönteminin kuru işleme şartlarına göre daha yüksek takım ömrü verdiği belirlenmiştir. AlTiN kaplı takımın AlCrN kaplı takıma göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Temel aşınma tipinin adhezif aşınma olduğu ayrıca difüzyon ve oksidasyon aşınmalarında işleme şartlarına bağlı olarak görüldüğü sonucuna varılmıştır [42].

Yapılan literatür çalışmalarının sonucunda AISI 52100 çeliğinin talaşlı işleme şartları; ilerleme miktarı, talaş derinliği, kesme hızı, farklı ısıtma işlem uygulama yöntemleri ve farklı kesici takımlarla talaşlı işlenmeleri incelenmiştir. Ayrıca MMY yönteminin AISI 52100 ve farklı malzemelerde çalışmalarının sonuçları detaylı olarak araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, AISI 52100 çeliğinin küreselleştirme ısıtma işlemine tabi tutularak talaşlı işlenebilirlik ile ilgili çalışmaların az olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, ısıtma işlemine tabi tutulmamış ve ısıtma işlemine tabi tutulmuş AISI 52100 çeliğinin MMY ve kuru işleme şartlarında, farklı kesme hızı ve farklı kesici takımlarla talaşlı işlenmesi incelenmiştir.

### 3. AISI 52100 ÇELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Rulmanların üretiminde genellikle AISI 52100 çeliği kullanılmaktadır. AISI 52100 rulman çeliği yaygın olarak, yüksek yorulma ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. AISI 52100 çeliği, kollu kılavuzlarda, freze çakılarına, millerde, hassas enstrüman parçalarında, burçlarda, yataklarda, rulman bileziği ve bilyelerde, damgalama araçlarında, dişli takımlarda, kalıplarda, ölçü aletlerinde, pimlerde, sıkma bileziklerinde, vidalarda, tezgah motor ve pompa parçalarında, makaralarda, silindir gömleklerinde ve hidrolik ekipman parçalarında kullanım alanı geniş olan bir malzemedir [43].

AISI 52100 (DIN 100Cr6) çeliği, % 1,3 – 1,6 Cr, (% 0,98 – 1,10) C içeren düşük alaşımlı ötektoid üstü bir çeliktir. Bu çelikler, ısıtma işlemi yoluyla derinlemesine sertleştirilebilirler. Farklı ısıtma işlemleri ile mikroyapıları değiştirilerek sertlik kazandırılabilen bu çelikler; otomotiv sanayinde, dişli imalatında, rulman üretiminde, kalıp ve takım endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle rulman sektörünün vazgeçilmezi olan bu çelik, yüksek sıcaklık şartlarında çalışmaktadır. Çalışma koşulları dikkate alındığında AISI 52100 çeliğinin ısıya karşı gösterdiği direnç oldukça önemlidir. Bu çelikler en az RC 60 derecesindeki statüde işlem görürler. ABMA (American Bearing Manufacturers Association) olarak ifade ettiği, sertleştirilmiş çeliklerin minimum çalışma sıcaklıkları AISI 52100 çeliği için 160 °C, 440C çeliği için 180 °C ve M50 çeliği için 320 °C'dir. Sıcaklık değerleri 200 °C'yi geçtiğinde çeliğin sertliğinin düşmesi genel bir kanı olup, bu durum tüm çelikleri kapsamaktadır. Çalışma sıcaklığı 200°C'yi geçtiğinde, rulmanın çalışma ömrü azalmaya başlar. AISI 52100 tipi çeliğin çeşitli çalışma sıcaklıklarındaki özellikleri Şekil 3.1' de detaylı olarak görülmektedir.



**Şekil 3.1.** AISI 52100 Çeliğinin Farklı Sıcaklık Değerlerindeki Sertliğinin Zamana Karşı Değişimi [44].

Şekil 3.1.' deki AISI 52100 çeliğinin farklı sıcaklık değerlerindeki sertliğinin zamana karşı değişimi 100 saatlik bir çalışma için incelemek gerekirse; 105 °C sıcaklık değerinde 64 RC' lik sertliğe, 260 °C sıcaklıkta 59 RC' lik sertliğe ve 370 °C sıcaklık değerinde de 52 RC' lik bir sertlik değerine düştüğü görülmektedir. Çalışma sıcaklığının sertlik üzerine olan etkisi çok net bir şekilde görülmektedir.

Ayrıca sıcaklığın artmasıyla çeliğin rengi ve yapısının etkilendiği bilinmektedir. Bu değişimi ifade eden analiz Tablo 3.1. 'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1.** AISI 52100 Çeliğinin Farklı Sıcaklık değerlerindeki sertlik ve renk değişimi [44].

Çelik Rengi	Sıcaklık (°C)	RC Sertlik Değeri
Parlak	< 120	> 60
Parlak	150	> 60
Parlak/Sarı	160	> 60
Sarı	200	59
Mavi	300	58
Koyu Mavi	400	53
Siyah	540	Tereyağı gibi
Kırmızı	>815	Akıcı

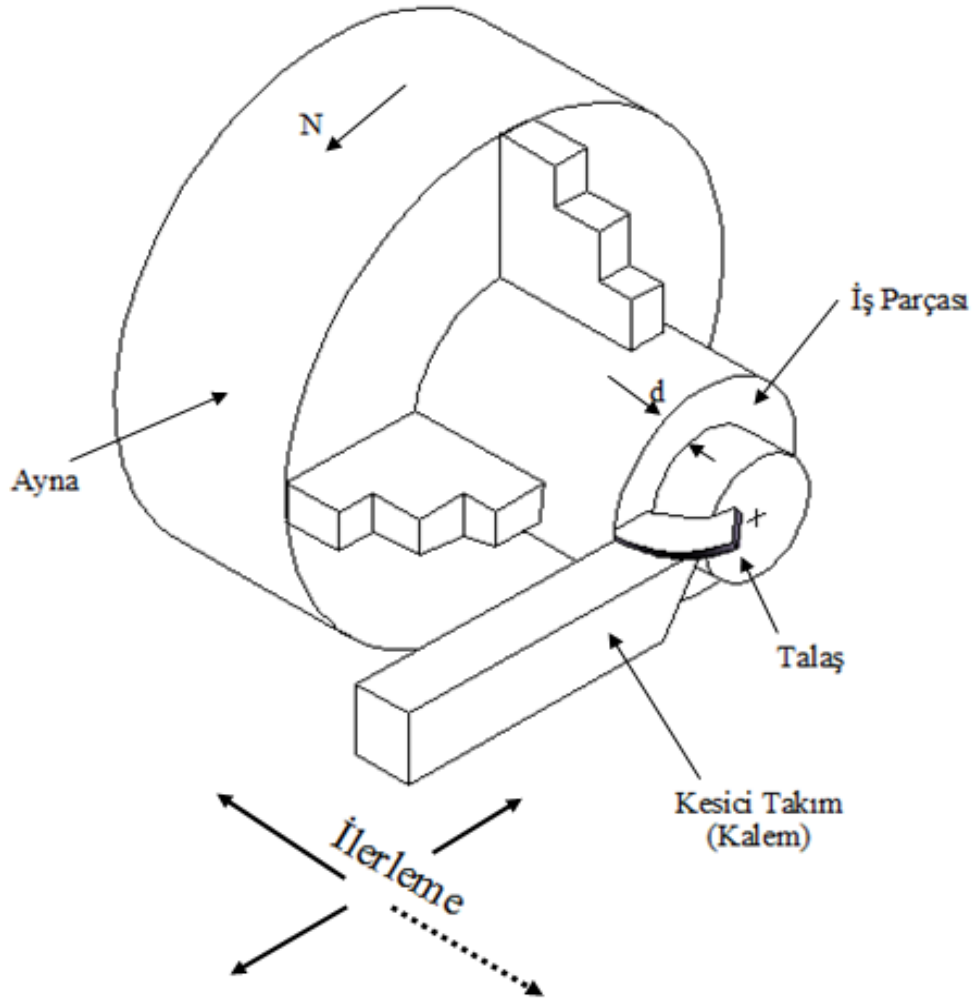
Şekil 3.2. incelendiğinde çelikteki çalışma sıcaklığının artmasıyla malzeme renginin koyu bir hale döndüğü görülmektedir. Ayrıca sertlik derecesi 400 °C den daha yüksek sıcaklıklarda malzemenin hal değiştirdiği görülmektedir [44].

## **4. TALAŞLI İMALAT**

En önemli imalat yöntemi, talaşlı imalattır. Talaşlı imalatta, iş parçasını uygun ölçü ve geometriye getirmek için standart dışı kısımlar ilgili takım tezgahı (torna, freze, matkap) ve kesici takımlar yardımıyla talaş olarak uzaklaştırılıp, istenilen boyut ve yüzey hassasiyeti temin edilir. Döküm, dövme, haddeleme vb. yöntemler kullanılarak imal edilen mühendislik malzemeleri kullanımına uygun hale getirilmesi için genellikle talaşlı bir imalat gerekmektedir. Başta uzay, havacılık ve otomotiv sektörleri olmak üzere bir çok endüstriyel alanda kullanılan bir çok malzemeye talaşlı imalat yöntemleriyle şekil verilir. Tornalama, frezeleme, planyalama ve delme talaşlı imalat yöntemlerine örnek olarak verilebilir [43].

### **4.1. Tornalama**

Tornalama yöntemiyle, dairesel kesitli makina elemanlarının imalatı için doğrusal yönde hareket eden kesici takım ile dairesel hareket eden iş parçasından talaş kaldırma işlemi olarak ifade edilir. Tornalama işleminde iş parçasına, standart ölçü, geometrik şekil ve yüzey hassasiyeti kazandırılır. Bununla beraber torna tezgahlarında çok değişik işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler, kılavuz çekme, alın tornalama, kanal açma, silindirik tornalama, konik tornalama, profil tornalama, pah kırma, havşa açma, kesme, delik delme, vida çekme, pafta çekme, rayba çekme, delik genişletme, tırtıl çekme, yay sarma, parlatma, sıvama gibi işlemlerdir [61].

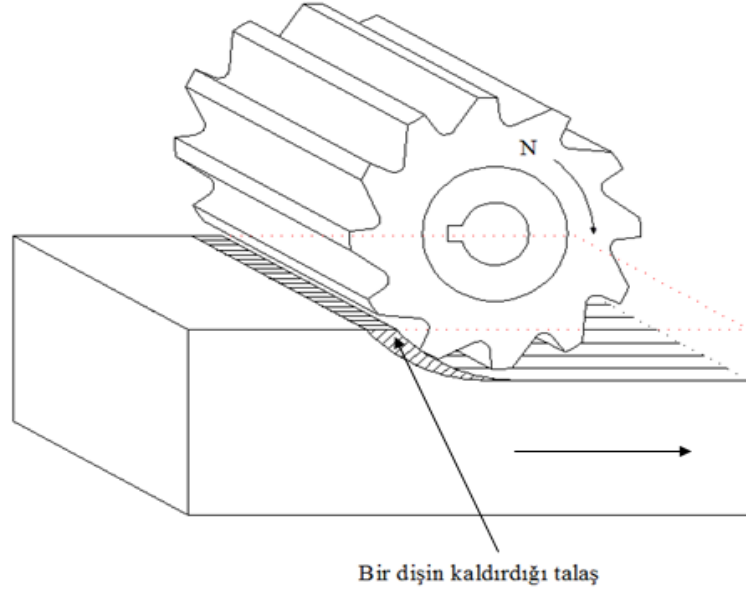


Şekil 4.1.Tornalama İşlemi

## 4.2. Frezeleme

Frezeleme; çevresinde birden fazla kesici uç olan, dairesel hareket edebilen bir kesici takımla talaş kaldırılarak iş parçasına şekil verme işlemidir. Genel anlamda, bu işlemde freze denen kesici takım dairesel hareket, iş parçası ise tezgah tablası ile beraber X, Y ve Z eksenleri doğrultusunda doğrusal bir hareket yapar. Tornalama işleminde olduğu gibi, kütleli olarak büyük iş parçaları dönüş hareketi yapmadığından freze tezgahları torna tezgahlarına göre daha emniyetlidir.

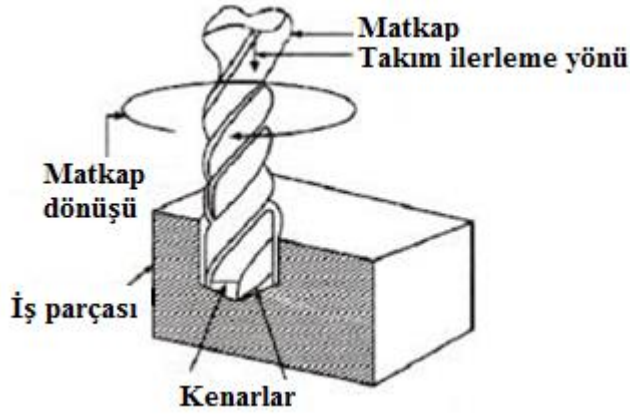




Şekil 4.2. Frezeleme İşlemi

### 4.3. Delik Delme ve Delik İşleme

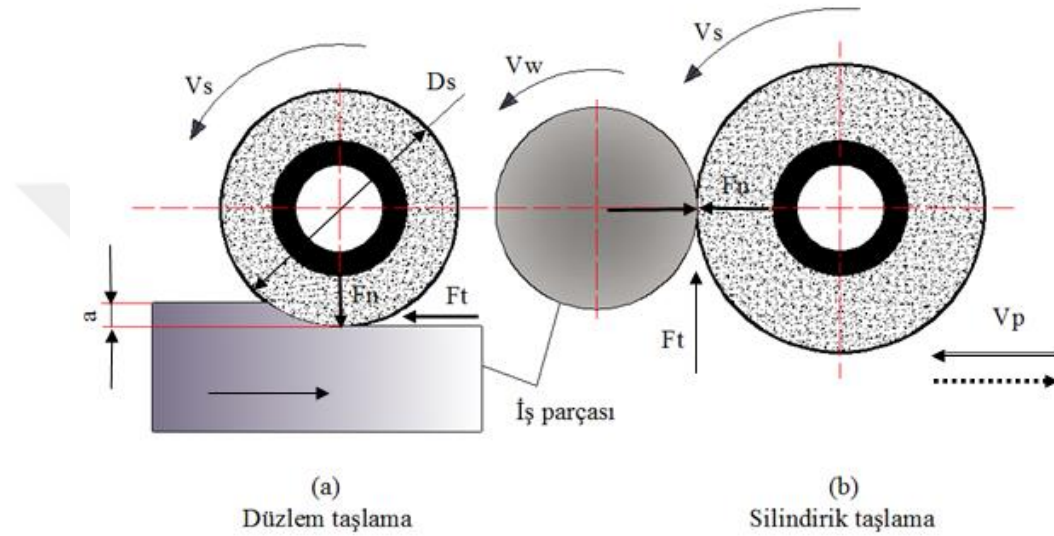
İş parçalarında deliklerin delinmesinde çeşitli matkaplar kullanılır. Değişik işlemlerle ve takımlarla delikler genişletilebilir. Bu sebeple delme ve delik işleme işlemleri imalatta önemli bir yer tutar. Delik delme işlemi genel olarak takım çeliğinden yapılmış iki ağızlı helisel matkaplarla yapılır. Ancak son yıllarda takım malzemeleri konusundaki gelişmeler matkapları da etkilendiğinden Şekil ve malzeme açısından çok değişik matkaplar geliştirilmiştir.



Şekil 4.3. Delik delme işlemi

#### 4.4. Taşlama

Taşlama, taşın yüzeyinde değişik kesme geometrilerine sahip aşındırıcı küçük tanelerin iş parçasına temas noktasında yatay konumda bir baskı uygulayıp küçük talaşlar kaldırarak iş parçasını istenen hassas ölçüye getirilmesi işlemidir. Bu işlem, alüminyum oksit veya silikon karbür gibi konvansiyonel aşındırıcı taşlar, kübik bor nitrür ve elmas gibi süper aşındırıcı taşlar ile yapılır. Malzeme üzerinden ne kadar talaş kaldırılacağını, taş yüzeyinin keskinliği, normal kuvvetin büyüklüğü ve taşın sağlamlığı gibi faktörler belirler.



Şekil 4.4. Düzlem taşlama ve silindirik taşlama işlemi

#### 4.5. Honlama

Honlama, delik ve benzeri iç yüzeylerden çok ince talaş kaldırma işlemidir. Bunun için çok ince toz şeklindeki suni aşındırıcı tanelerden oluşan belirli bir şekil verilmiş ve bir başlığa bağlanmış honlama taşları kullanılır. Taşlamaya göre kesme hızı çok düşüktür. Bu işlem deliklerin istenen yüzey kalitesi ile beraber son ölçüsüne getirilmesinde, delme işlemi esnasında oluşan koniklik, dalgalılık ve kesici takım izlerinin giderilmesinde veya taşlama izlerinin kaldırılmasında kullanılır. Bu işlemde kaldırılan tabaka kalınlığı 0,125 mm veya daha azdır.

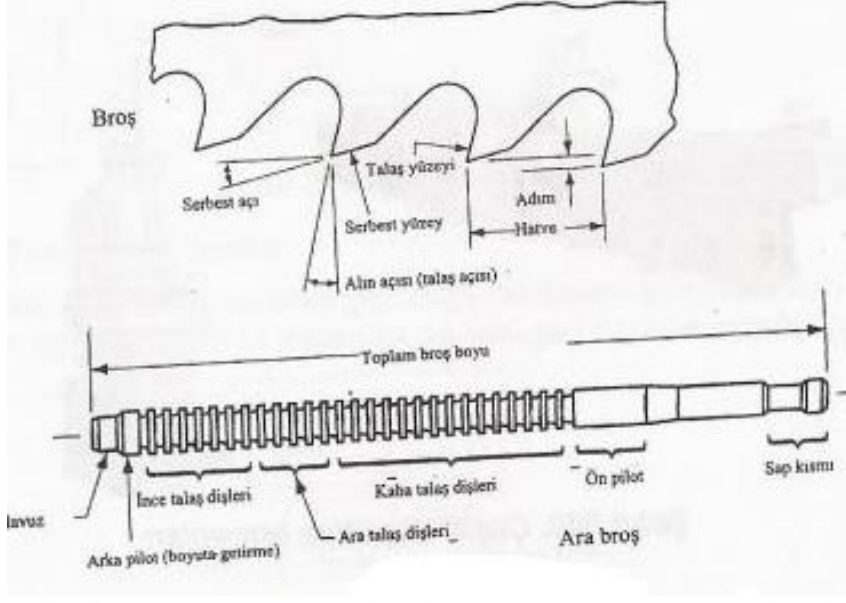
#### 4.6. Lepleme

Lepleme, aşındırma yöntemiyle çok ince yüzey işleme metodu olarak düz ve silindirik yüzeylere uygulanabilir. Çok ince aşındırıcı taneler, kumaş, dökme demir, bakır ve değişik malzemelere emdirilir veya içine gömülür. Aşındırıcı taneler hariç olmak üzere bu tanelere

yataklık eden lepleme diskleri her zaman için leplenen malzemelerden daha yumuŖaktır. Bu iŖlem metal ve metal olmayan malzemelere uygulanabilir. İŖlem esnasında lepleme diskinin yzeyinde bulunan aŖındırıcı taneler srttndüğü sert yzey üzerinden (leplenen malzemedен) küçük talaŖlar kaldırır. AŖındırıcı taneler lepleme diskinе gömülü olduğundan hareket etmek yerine talaŖ kaldırma iŖlemini yapar, lepleme diskinin kendisi aŖınmaz. Leplemede, lepleme diski ve iŖ parçası arasındaki aŖındırıcı taneler gres yağı, diğer yağlar veya su tarafından taŖınır. AŖındırıcı tanelerin tane büyüklükleri 120 gritten baŖlayıp en ince tane yapısına kadar devam eder. Sonuçta 0,025 mm den daha az kalınlıkta bir talaŖ tabakası kaldırılmıŖ olur. Lepleme iŖlemi yavaŖ talaŖ kaldırma iŖlemi olduğundan sadece taŖlama ve honlama esnasında oluŖan izlerin giderilmesinde, ölçü masterlarının çok düzgün ve pürüzsüz yzeylerinin elde edilmesinde, yüksek sıvı basıncına maruz kalan contaların / bileziklerin yzeylerinin iŖlenmesinde ve beraber çalıŖacak yzeylerin alıŖtırılmasında kullanılır.

#### **4.7. BroŖlama**

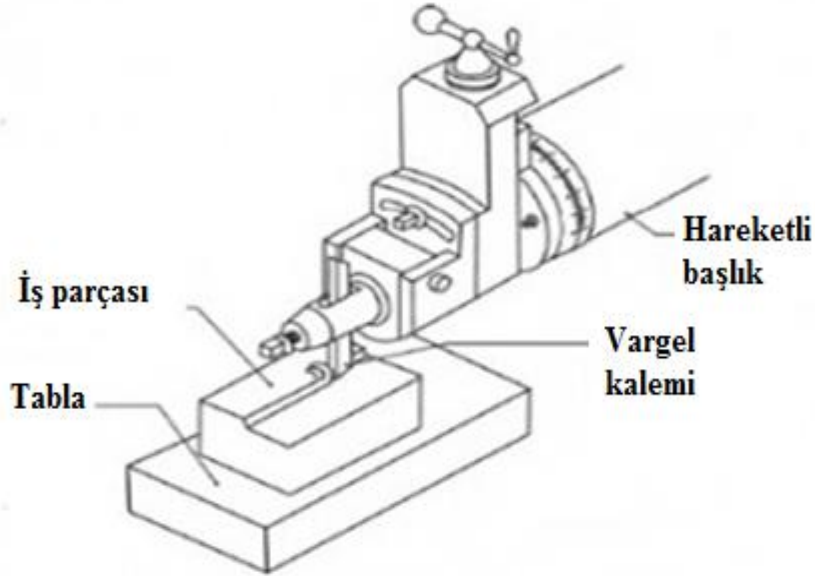
BroŖlama (tığ çekme), doğrusal kesme yapan çok ağızlı çubuk Ŗeklinde ve deđiŖik profillerde olabilen kesici bir takımla iç ve dış yzeylerden bir defada talaŖ kaldırma iŖlemidir. Çok sayıda ardıŖık kesici ağızlardan meydana gelen bu kesici takıma broŖ veya tığ denir. BroŖun bir geçiŖinde kaba ve ince talaŖ alma ve ölçüye getirme iŖlemleri bir defada yapılır ve parça hassas olarak iŖlenebilir. Kesme hızı 3 – 9 m/dak arasındadır. Bu hız tornalama ve frezeleme iŖlemlerinde kullanılan kesme hızlarından 10 – 15 kat daha azdır. Ancak bu hız, ısıya dayanaklı, sert alaŖımlı olan ve yüksek kesme hızına sahip kesicilerle 60 m/dak' ya kadar çıkabilir. BroŖlamada 0,05 – 0,025 mm tolerans ve 1,55 – 0,8 µm aralığında yzey pürüzlülüğü elde edilebilir. Üretim oranı yüksektir. BaŖka imalat yöntemleriyle uzun sürede yapılan iŖler broŖlama ile daha kısa sürede yapılır. Ancak bu iŖlem seri üretime yöneliktir.



Şekil 4.5. Broşlama işlemi

#### 4.8. Vargelde İşleme

Vargel tezgahları, talaş kaldırmada kullanılan en basit tezgahlardır. Bu tezgahlarda tek noktalı kesici ile kesici takımın ilerleme doğrultusunda talaş kaldırılarak parçaya istenilen şekil verilir. Genel anlamda iş parçası sabit, kesici takım hareketlidir. İş parçası enine küçük ilerlemeler, kesici takım ise boyuna, ardışık ve büyük ilerlemeler yapar, bu arada kesici takım istenildiğinde dikey yönde hareket ettirilebilir. Kesici takım olarak yüksek hız çeliği veya karbür uçlu kesiciler kullanılır ve bunlar dövme çelikten yapılmış katerlere bağlanır [61].



Şekil 4.6. Vargelde işleme

## 4.9. Kesme Sıvıları

Kesme sıvıları, sahip oldukları yağlama ve soğutma özellikleriyle kesici takım-iş parçası kesişim ara yüzeyindeki sıcaklığı ve sürtünmeden kaynaklanan kuvvetleri düşürürler. Düşük hızda işlemlerde, kesme sıvısının yağlama özelliği önemlidir. Soğutma ana fonksiyon değildir. Çünkü oluşan ısının büyük bir kısmı talaşla uzaklaştırılır. Orta kesme hızlarında kesme sıvısının hem soğutma hem de yağlama özellikleri önemlidir. Yüksek hızda işlemlerde ise, soğutma kesme sıvısının ana fonksiyonudur. Çünkü talaş, ısıyı uzaklaştıracak kadar zaman bulamaz. Yüksek hızlı operasyonlarda kesme sıvısının yağlama etkisi de sınırlanır. Ayrıca yüksek hızlarda, sıcaklığın çok yükselmesi sebebiyle kesme sıvısı içindeki yağlayıcı maddeler bozulabilirler.

Kesme sıvılarının fonksiyonlarını özetlemek gerekirse, şu özelliklere sahip olmak zorundadırlar:

1. Yüksek basınç altında yağlayıcılık sağlamak (sınır yağlayıcılık)
2. Yüzey sürtünmesini azaltarak sıcaklık artışını önlemek (kimyasal soğutma)
3. Talaş kaldırmadan kaynaklanan ısıyı uzaklaştırmak (fiziksel soğutma)
4. Yüzeyler arasında yastıklama görevi görerek metal yapışmasını önlemek (fiziksel yüzey etkinliği)
5. İş parçası ile kesici takım ara yüzeyinde kimyasal etki göstererek iş parçası ve kesici takımın sürtünme yapışmasını ve takımın hızlı aşınmasını önlemek
6. Kesme bölgesindeki talaş ve kirlilikleri uzaklaştırmak
7. İş parçasının metalürjik özelliklerini korumak.

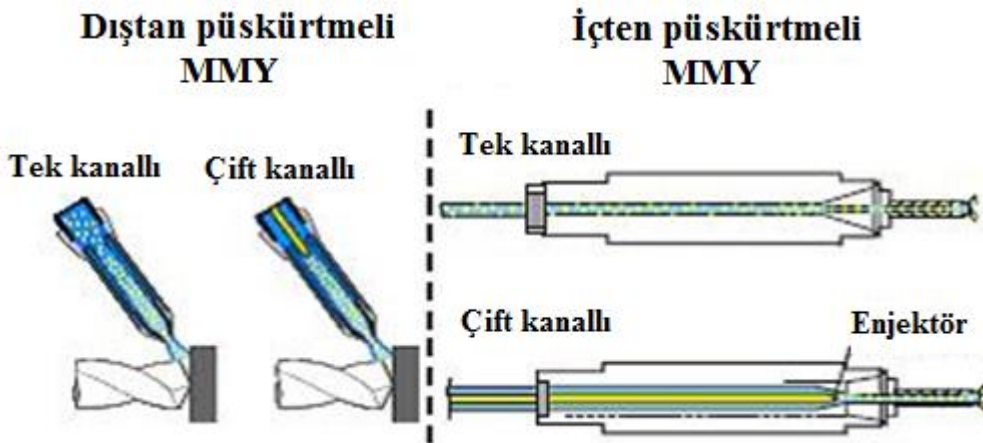
Genellikle bu özelliklerin hepsine sahip olan bir soğutma sıvısı bulmak mümkün olmamakla birlikte bir metal işleme operasyonu için, tatmin eder sonuçlar veren sıvılar bulmak mümkündür [45].

### 4.9.1. Minimum Miktarda Yağlama

Kuru kesmenin her uygulamada kullanımı mümkün olmadığından, en uygun çözüm, kesme sıvısının miktarını azaltmaktır. Kesme sıvısı miktarının daha az kullanıldığı yöntem olan MMY, bu amaçla geliştirilmiş bir uygulamadır. Bu yöntemde çok küçük yağ damlacıkları, basınçlı havayla birlikte kesme kenarına püskürtülerek iş parçası ve kesici takım arasında yağ filmi oluşturulur. Bir çok akademik araştırma göstermiştir ki; bu yöntemle, çok miktarda kesme sıvısının kesme bölgesine püskürtüldüğü sulu kesmeye göre takım ömründe önemli bir artış, daha iyi bir yüzey kalitesi ve kesme işlemi için gereken kuvvetin az olması

gibi avantajlar elde edilmiştir. Bu prensip doğrultusunda su bazlı kesme sıvıları ve minimum miktarda kullanılacak bitkisel yağ ile oluşturulmuş aerosol (sis) takım dışarıdan ya da içeriden uygulanır. Farklı bitkisel yağların kullanıldığı yöntem MMY olarak adlandırılırken, su bazlı kesme sıvılarının kullanıldığı yöntemlere ise minimum miktarda soğutma olarak ifade edilir [46,47]. Bu işlemlerde kullanılacak sıvının gereklilik miktarı, çalışmanın çeşidine ve sıvının kimyasal içeriğine göre farklılık göstermekle birlikte, genelde saatte 10 – 150 ml aralığındadır. Makina parçalarının işlenmesi esnasında yağın büyük bir kısmının tüketiliyor olması sebebiyle havaya sis karışmayacaktır. Ortaya çıkan talaş artıkları neredeyse kurudur ve geri dönüşüme uygundur [46,48].

Yağlamanın minimum şekilde uygulanması için iki farklı teknik uygulanabilir. Birinci yöntem de sabit bir nozuldan dışarıya püskürtme, diğesinde ise aerosol, takım içine delinmiş bir kanal yardımı ile püskürtmektir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Minimum Miktarda Yağlamada Dıştan ve İçten Püskürtme [46,49].

Yağlama sistemleri iki katagori de sınıflandırılabilir. Bu sistemler, tek kanallı ve çift kanallı olan sistemlerdir. Tek kanallı sistemde, yağ ve hava belli bir karışım oranı ile karıştırılarak püskürtülür, çift kanallı sistem de ise durum biraz farklıdır. Yağ ile hava farklı nozul (meme) içinden veya takım içinden gelir ve karışım takım içerisinde gerçekleşir.

Püskürtülme işleminin dıştan yapıldığı aerosol kesici uç dış kısımdan uygulanan bir veya iki farklı nozul sistemi ile iletilir. Nozul sayısının farklı kullanılmasının temel amacı, yöntem kalitesinin yön ve düzenle belirlenmesinin önemidir. Belirtilen bu teknikler, parmak frezeleme, tornalama ve kesme gibi işlemlerde kullanılabilir. Diş açma işlemi, delik delme ve

raybalama vb. talaşlı işlemlerde  $l/d < 3$  şartlarındaki çalışmalarda dıştan uygulanan püskürtme kullanılabilir. Belirtilen bu oran büyük olduğu durumlarda kesici takım üzerinde ilerleri şeklinde birkaç işlem yapılarak her seferinde ıslanma sağlanmalıdır. Fakat bu durum makinanın daha fazla çalışmasını gerektirecektir. Çap ve uzunluk değerlerinin değişken olduğu durumlarda ve bir çok takımın çalışması gerektiğinde bu sistem problemlere sebep olabilmektedir. Bu gibi çalışma koşullarında nozullar manuel olarak ayarlanabilir ayrıca tezgah üzerindeki kontrol ünitesine bağlanabilen konumlandırıcılar yardımı ile de radyal veya eksenel ayarlamalar yapılabilir. Eğer takımlar içerisine delinmiş soğutma kanalcıkları yok ise zorunlu olarak dıştan bir püskürtme şeklinde kullanılır [46,50]. Soğutma sıvılarının takım içerisine delinmiş bir delikten geçtiği, iç püskürtme sistemleri, boy ve çap oranının büyük olduğu çalışmalarda (delme, raybalama ve diş açma) kullanılmaktadır. Yöntem, takımların konumundan farklı olarak enjekte edilerek sıvının kesme kenar bölgesine ulaşması sağlanır. Standartlardan daha derin bir delik delinmesi gereken işlemlerde, çap ve boy oranı büyük olacağından içten püskürtülen yağlama daha etkili olacaktır. Belirtilen bu yöntemdeki avantajlar şöyle sıralanabilir; nozulun konumundan kaynaklı hatalar önlenir ve iç püskürme yapılması sebebiyle işleme bölgesinin yağ püskürtme boruları ile kapatılmamış olmasıdır [46,47].

#### **4.9.2. Minimum Miktarda Yağlama Yöntemiyle İlgili Çalışmalar**

Hemen hemen kuru işleme olarak tabir edilebilen minimum miktarda yağlama yönteminde çok az bir miktarda yağ kullanılır. Yağ, hava ile karıştırılmak suretiyle aerosol oluşturulur ve kesme yapılacak kenara gönderilir [46,51]. Yağlamanın minimum şekilde uygulanmasında, ısı transferi genellikle buharlaşma şeklinde sağlanır. Klasik sulu kesmeye kıyasla daha etkin bir yöntemdir [46,52]. Kullanılan bu yöntemlerle kesme sıvısı kesici takım ile talaş arasındaki bölgeye özel olarak dizayn edilmiş takımlar ile iletmeye yönelik yapılan araştırmalarda, bu yöntemin beş kata kadar daha uzun ömür, daha kaliteli bir yüzey, daha düşük kesme kuvvetleri ve daha yüksek talaşlı işlenebilirlik sağlar. Böylece, talaşlı imalat için gerekli alan azalır. Soğutma sıvısının enjekte edilmesi için harici bir pompaya ihtiyaç duyulmaz. Kesme sıvısının muayenesi, bakımı ve ortaya çıkan atıklar ortada olmaz ve operatör işlem sürecinde iş parçasını izleyebilir [46-56].

#### 4.10. Takım Aşınması

Kesici takım ömrü konusunda bilgi sahibi olabilmek için, kesici takımın kesme özelliklerini kaybetmesine sebep olan nedenleri bilmek lazımdır. Takım hasarı, aşınma, plastik deformasyon ve kırılma şeklinde oluşur. Takım aşınması, takımın etkilendiği alan ya da aşınmayı oluşturan fiziksel mekanizmalar esas alınarak sınıflandırılabilirler. Takımlar, talaş oluşumu sırasında meydana gelen yükleri karşılayamadıklarından, plastik deformasyona maruz kalırlar yada kırılırlar. Talaş kaldırmayla ilgili çalışmalarda başlıca amaç, göz önüne alınan takım hasar mekanizmasından takım ömrünü belirleyecek yöntemler geliştirmektir. Ancak, herhangi bir durum için takım ömrünü doğru bir şekilde belirlemek çok zordur. Çünkü takım ömrü, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, takım ve iş parçası malzemesi, talaş kaldırma yöntemi gibi birçok faktöre bağlıdır. Pratikte, takımlar kesme ömrünü tamamlamadan servisten alınır. Bu, uygun bir oyuk ya da belli bir hasar oluştuğunda sağlanır. Farklı talaş kaldırma yöntemlerinde aynı şartlar altında kullanılan takımlar, kritik tolerans ya da başka ihtiyaçlara göre çok az değişiklik gösterirler. Bu sebeple, takım ömrünü belirleme yöntemi izafi karşılaştırmalar için faydalı olmaktadır. Örneğin, farklı iş parçası, takım malzemesi ya da işleme koşulları için takımdan beklenen en yüksek takım ömrü; verilen bir uygulamada, benzer parçalar için elde edilen veriler olmadıkça takım ömrünün doğru değerlendirilmesinin olacağı beklenmemelidir. Şekil 4.8.' de takımda meydana gelen ana aşınma ve hasar mekanizmalarına ait şekil gösterilmiş ve aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- **Serbest Yüzey Aşınması:** Takımın serbest yüzeyinde (takımın, işlenen iş parçasıyla temas halinde olan yüzeyi serbest yüzey olarak adlandırılır) oluşan aşınma serbest yüzey aşınması olarak isimlendirilir ve bir aşınma bölgesi oluşur. Bu aşınma bölgesinin işlenmiş yüzeyle sürtünmesiyle, talaş kaldırılan parça yüzeyinde hasar meydana gelir ve böylece oluşan yüksek serbest yüzey kuvvetleri sebebiyle boyutsal doğrulukta azalma ve sapmalar meydana gelmektedir. Serbest yüzey aşınması çoğu zaman kesme kenarlarının abrazyonu ile meydana gelmektedir. Serbest yüzey aşınmasının büyüklüğü, ortalama serbest yüzey aşınması ya da takım ucuna olan maksimum mesafesi ile ifade edilir. Serbest yüzey aşınma bölgesi genellikle üniform genişlikte olup ve kenara yakın bölgede oluşur. Zamana göre serbest yüzey aşınmasının gelişmesi aşağıda gösterilmiştir. Serbest yüzey aşınmasının ortadan kaldırılması mümkün olmayıp, azaltılabildiği için gerekli önlemler alınabilir.

- **Krater Aşınması:** Kesici takımın talaş yüzeyinde krater aşınması adı verilen krater şeklinde bir aşınma meydana gelir. Takımın talaş yüzeyi, iş parçasından kaldırılan talaşın

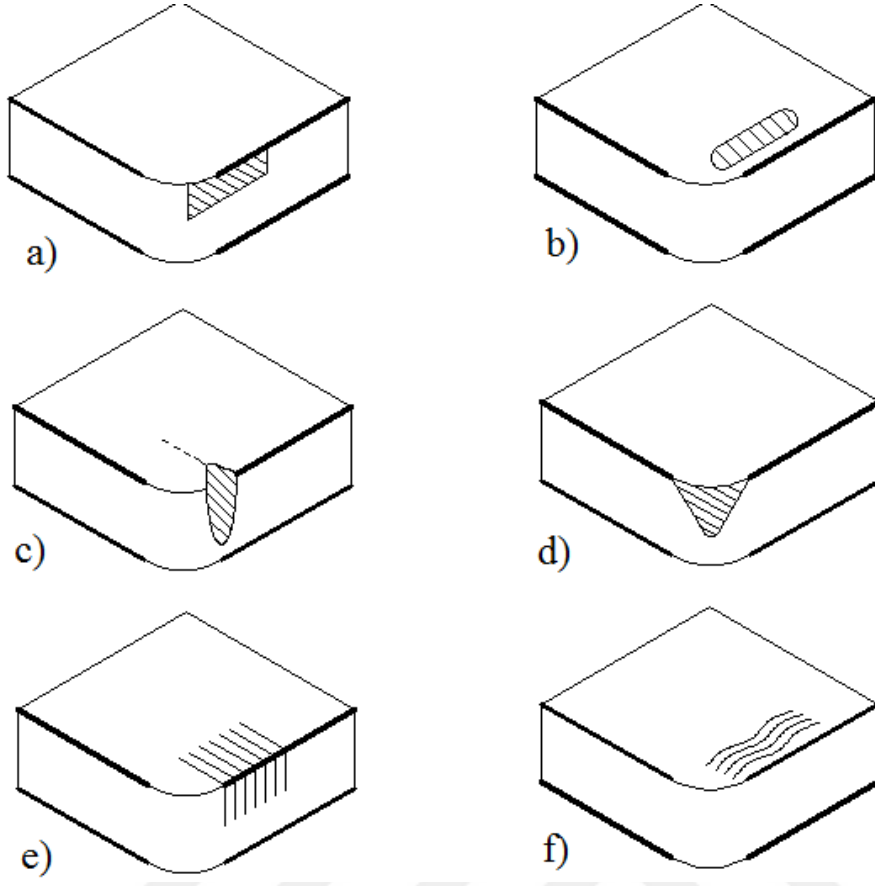


takım üzerinde kaydığı yüzeydir. Çoğu zaman ılımlı bir krater aşınması takım ömrünü sınırlamaz. Gerçekten de krater oluşumu takım talaş açısının etkinliğini artırır ve böylece kesme kuvvetleri azalır. Ancak, aşırı krater aşınması kesme kenarlarını zayıflatır ve bu durum takımın deformasyon olmasına ya da kırılmasına neden olur. Buradan da görüleceği gibi takım ömrünü azalttığı ve takımın tekrar bilenmesini zorlaştırdığı için aşırı krater aşınmasından kaçınılmalıdır. Krater aşınmasının zamana göre değişimi, serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişimi gibidir. Aşırı krater aşınması, difüzyon ya da kimyasal aşınma mekanizmalarıyla oluşur. Krater aşınması, takım malzemelerinin kimyasal kararlılığının artırılması ya da takımın talaş içinde çözünürlüğünün azaltılmasıyla minimize edilebilir.

- **Çentik Aşınması:** Kaba yüzeylerin tornalanmasında kullanılan takımlarda, takım ile işlenmemiş yüzey ya da talaş kenarı arasındaki temas noktasında takım yüzeyinde çentik (notch) aşınması oluşur. Çentiğin derinliği genellikle abrazyonun ve özellikle işlenen parçaların sert bir yüzey tabakasına sahip olması ya da işlenen parçanın kendi sertliğinden dolayı oluşan abraziv talaşın (örneğin paslanmaz çelik ve nikel bazlı süper alaşımlar) bir sonucudur. Kullanılan bir soğutucunun sebep olduğu ya da takım ile atmosfer arasındaki kimyasal reaksiyon ya da korozyon sebebiyle meydana gelen oksidasyon da çentik aşınmasına neden olur. Aşırı çentik aşınması takımın yeniden bilenmesini zorlaştırır ve özellikle seramik parçalarda kırılmaya sebep olur.

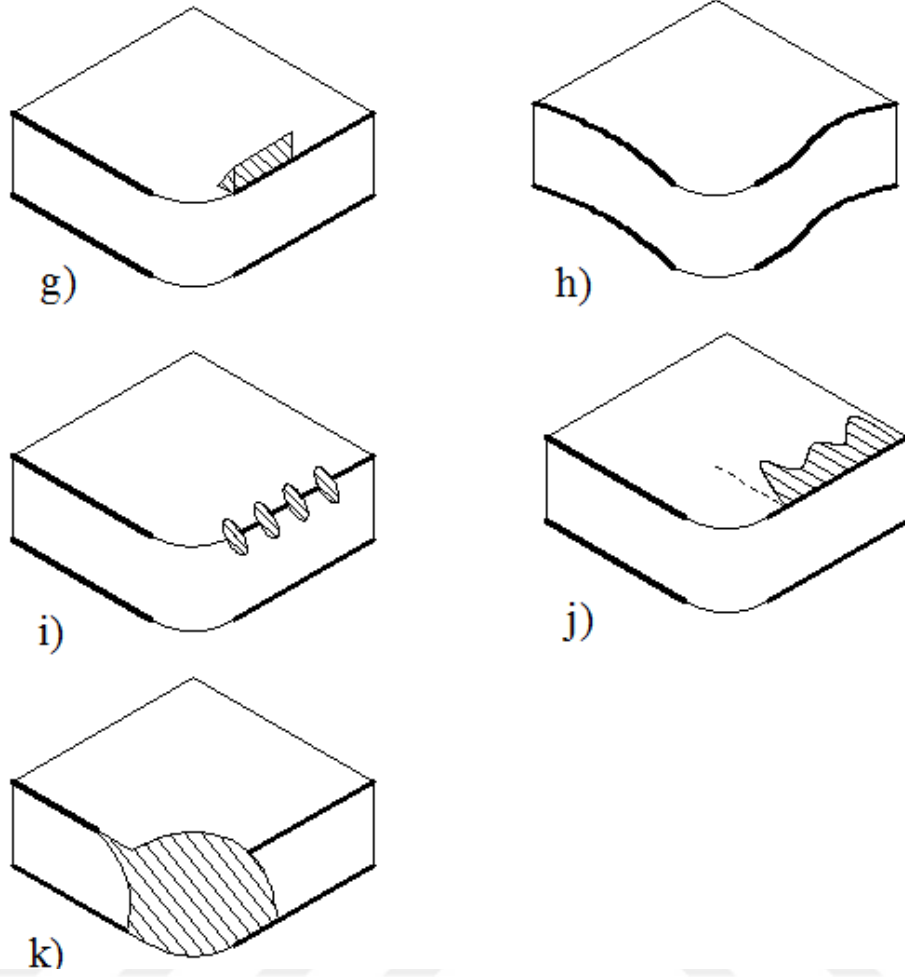
- **Burun Yarıçapı Aşınması:** Bu aşınma, takım burun yarıçapından, serbest yüzeyinin sonuna yakın alanda iz kenarı üzerinde oluşur. Bu aşınma, serbest yüzey ile çentik aşınmasının kombinasyonuna benzer, öncelikle abrazyon ile korozyon ya da oksidasyon sebebiyle meydana gelir. Aşırı burun aşınması işlenmiş yüzeyin kalitesini azaltır.

- **Isıl ve Mekanik Çatlaklar:** Bu çatlaklar, kesintili talaş kaldırmada takımın değişken yüklerle yüklenmesi ya da talaş kaldırma sırasında yüksek takım-talaş sıcaklıkları nedeniyle meydana gelir. İki tip çatlak oluşur, özellikle bir soğutucu kullanıldığında değişken ısıl yükler altında kesme kenarlarına dik olarak meydana gelen çatlaklar ve değişken mekanik yükler sebebiyle kesme kenarlarına paralel oluşan çatlaklardır. Çatlak oluşumu takımın hızlı bir şekilde hasara uğramasına sebep olur [57].



Şekil 4.8. Takımda oluşan aşınma ve hasar mekanizmaları

- a) Serbest yüzey aşınması
- b) Krater aşınması
- c) Çentik (Notch) aşınması
- d) Burun aşınması
- e) Isıl çatlaklar
- f) Mekanik çatlaklar



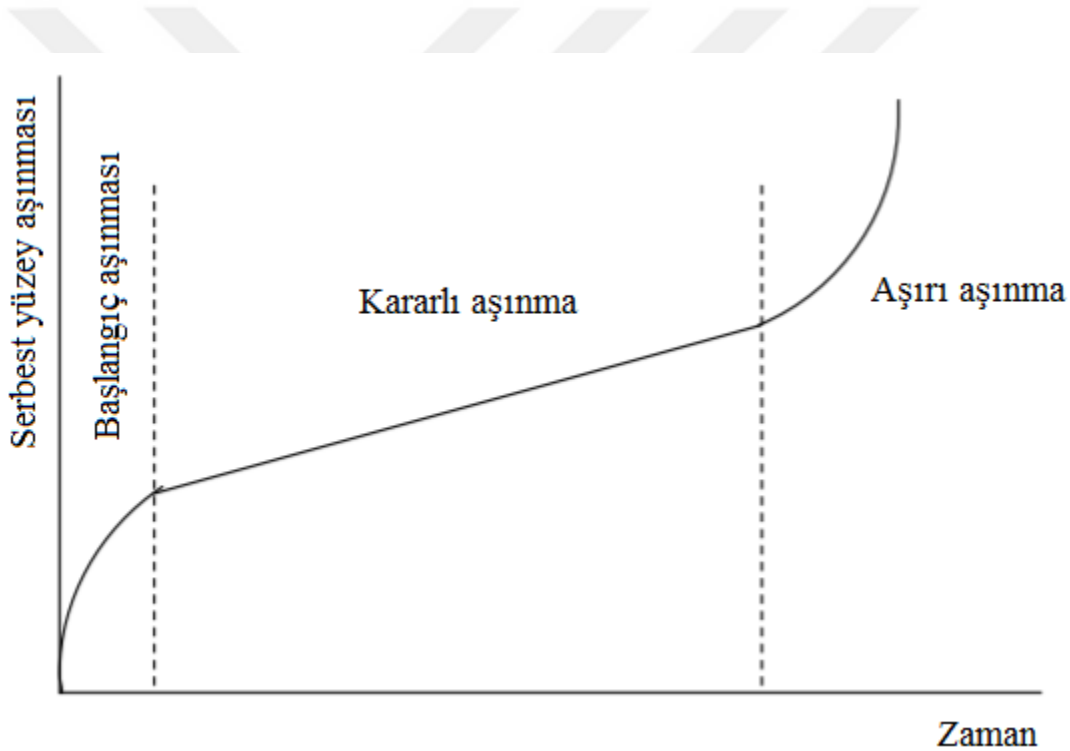
Şekil 4.8. (Devamı) Takımda oluşan aşınma ve hasar mekanizmaları

- g) Kenar birikimleri
- h) Plastik deformasyon
- i) Kenar çentiklemesi
- j) Talaş vurma
- k) Takımın Kırılması

• **Yığılma Ağız Oluşumu (BUE):** Genellikle, sünek malzemelerin (örneğin Al) düşük hızlarda işlenmesi durumunda meydana gelir. Yığılma ağız oluşumu, işlenen malzemenin kesme kenarlarına çok güçlü yapışmasında, malzemenin birikmesi ve çıkıntı oluşturmasıyla oluşur. Özellikle delme işleminde yığılma ağız oluşumu önemli bir sorundur. Yığılma ağız oluşumu, etkili kesme derinliğini (veya delik çapını) değiştirir ve böylece kesme derinliğinin kararsız olmasına ve dolayısıyla kalitesiz bir işlenmiş yüzeyin meydana gelmesine sebep olduğu için istenilmez. Yığılma ağız oluşumu, pozitif talaş açılı takımlar ve yüzey pürüzlülüğü çok az olan takımlar kullanılarak ( $< 5 - 10 \mu\text{m}$ ), yağlayıcılık özelliği artırılmış soğutucular

kullanılarak, yüksek basınçlı soğutucuyu direkt talaş yüzeyine püskürterek ve yüksek kesme hızları kullanılarak azaltılabilir ve hatta tamamen ortadan kaldırabilir.

- **Plastik Deformasyon:** Takım ile talaş arasındaki temas alanı üzerinde kesme basınçları takım tarafından desteklenemediğinde, kesme kenarlarında plastik deformasyon meydana gelir. Kesme kenarlarının deformasyonu genellikle yüksek kesme kenar kuvvetlerinin olduğu yüksek ilerleme hızlarında ya da takım sertliğinin artan kesme hızı ve sıcaklıkla birlikte azaldığı yüksek kesme hızlarında meydana gelir. Kesme kenarındaki aşırı deformasyon boyutsal doğruluğun azalmasına, kötü bir yüzey kalitesine ve aşırı serbest yüzey aşınmasına veya takımın kırılmasına sebep olur. Serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişim grafiği şekil 4.9. da verilmiştir.



Şekil 4.9. Serbest yüzey aşınmasının zamana göre değişim grafiği [57].

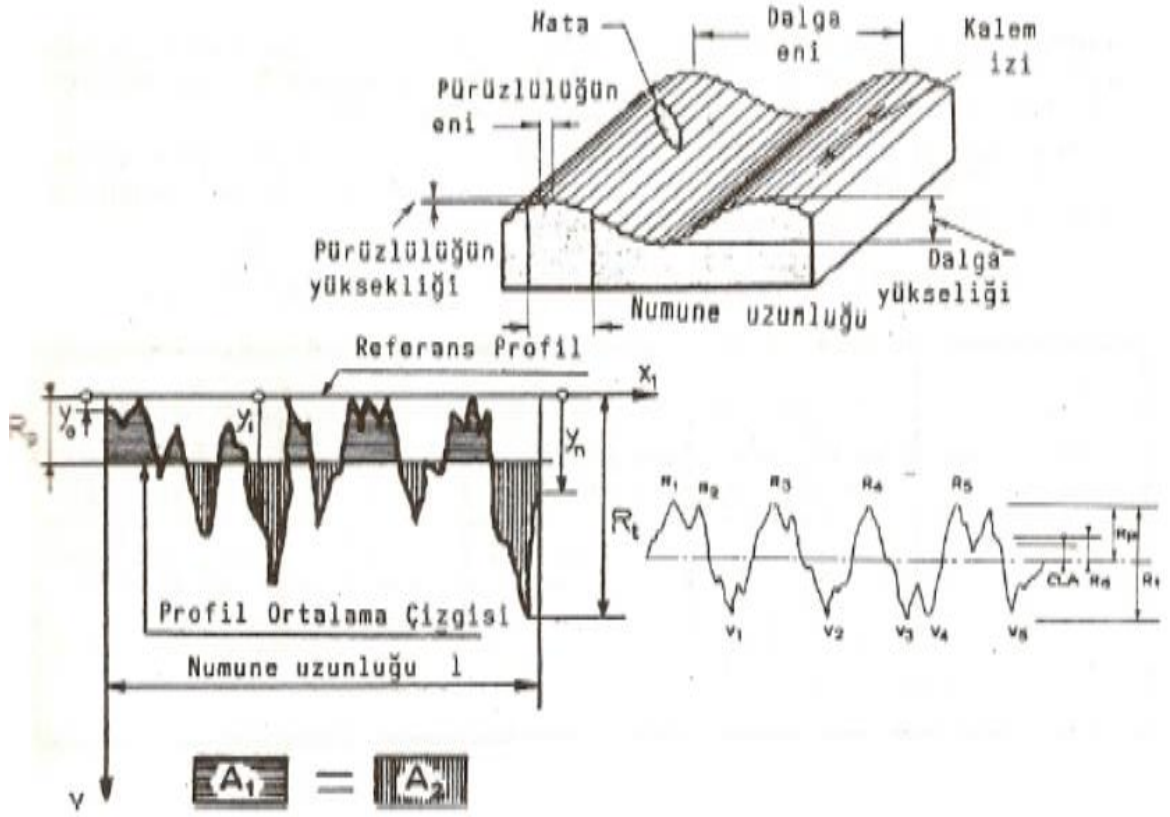
- **Kenar Çentiklemesi (Chipping veya Fritting):** Kenar parçalanması seramik gibi gevrek takımlarla yapılan talaş kaldırmada ya da sert veya abraziv parçacıklar içeren metal matrisli kompozitler gibi malzemelerin talaşlı işlenmesi durumunda meydana gelir. Aşırı kesme kuvvetleri ya da düşük sistem rijitliği sebebiyle oluşan titreşim de kenar çentiklemesine sebep olur. Kenar çentiklemesi sebebiyle işlenen yüzeyin kalitesi düşer, serbest yüzey aşınması artar ve sonuçta takım kırılabilir. Bu mekanizma, takım kenarlarının değiştirilmesiyle ya da takımların kırılma dayanımlarının artırılmasıyla kontrol edilebilir.

- **Talaş Vurması (Chip Hammering):** Bu durum tok veya abraziv talaş meydana getiren malzemelerin (örneğin paslanmaz çelik) seramik takımlarla işlenmesi durumunda oluşur. Talaş vurması, talaş geriye doğru kıvrıldığında ve kesme kenarından uzakta takım yüzeyine çarptığında meydana gelir. Böylece takım yüzeyinde çukurcuklar oluşur ve bu durumun devam etmesi halinde takım hasara uğrar. Talaş vurması yanlış talaş kontrolünden dolayı oluşur. Talaş akış yönünü değiştirmek için dalma açısı, kesme derinliği, ilerleme miktarı ya da takım burun yarıçapı değiştirilerek talaş vurması önlenir.

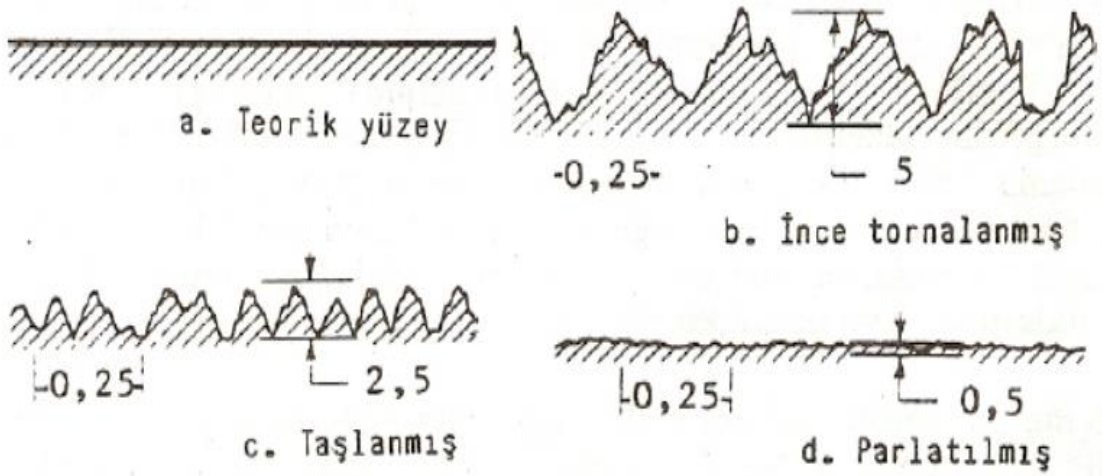
- **Takım Kırılması:** Takım kırılması, takımın önemli bir parçasının ya da kesme kenarlarının parçalanması anlamına gelmektedir. Bu tip hasarın önüne geçebilmek için genel stratejiler; kesme kuvvetlerinin azaltılması, sağlam ve daha rijit takım tertibatlarının kullanılması ve kırılma tokluğu artırılmış takımlar kullanılması olarak söylenebilir [57].

#### 4.11. Yüzey Pürüzlülüğü

1930 yıllarında metal yüzeylerinin pürüzlülüğü yüzeye bakarak ya da dokunarak değerlendirilirdi. Yüzeyde yüksek yansımaya mevcutsa yüzey pürüzsüz olarak düşünülürdü. Bu tip değerlendirmenin ömrü çok uzun olmadı. Metal yüzeyinin değerlendirilmesi şahsın dikkatinden bağımsız düşünölmeye başlandı. Böylece düşünceler bu parametreler üzerinde ağırlık kazandı. Pürüz yüksekliği için ortalama yükseklik, yüzey yapısında başrolü oynamaktadır. Ancak yüzey pürüzlülüğünü kontrol etmeye yetmez. Yüzey karakteristiklerinin ölçümü için, yüzey yapısı ve yüzey pürüzlülüğü terimleriyle ne kastedilmek istendiğini anlamak gereklidir [59]. Yeryüzünde neredeyse hiçbir cismin yüzeyi tam olarak pürüzsüz değildir. Şekil 4.10.' da teorik yüzey ile farklı yöntemlemlerle işlenmiş yüzeyler görölmektedir. Pürüzsüz olduğu düşünölen yüzeylerde daha ayrıntılı bir araştırma imkanı elde edilse farklı yüzey sapmaları görölebilir. İmalat sektörüne bakıldığında, örneğin bir motor krank mili yüzeyi son derece parlak ve pürüzsüz görönlüdüdür. Ancak bir pürüzlölük ölçme cihazıyla ayrıntılı olarak incelediğinde yüzey sapmaları büyütölerek görölür. Yüzey pürüzlölüğü değerlendirilmesindeki etkili olan faktörler şekil 4.11.' de gösterilmiştir. Bu sapmalar çalışan makine parçasının fonksiyonu üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. Bu sebeple birçok sistem için yüzey pürüzlölüğü önemi büyük olduğundan, hassas bir şekilde ölçölmesi gerekmektedir. Pürüzlölük ölçümünde yaygın olarak iğne uçlu indüktör pürüzlölük ölçüm cihazı kullanılmaktadır [60].



Şekil 4.10. Yüze pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi [45]



Şekil 4.11. Yüze pürüzlülüğü ile ilgili örnekler [45]

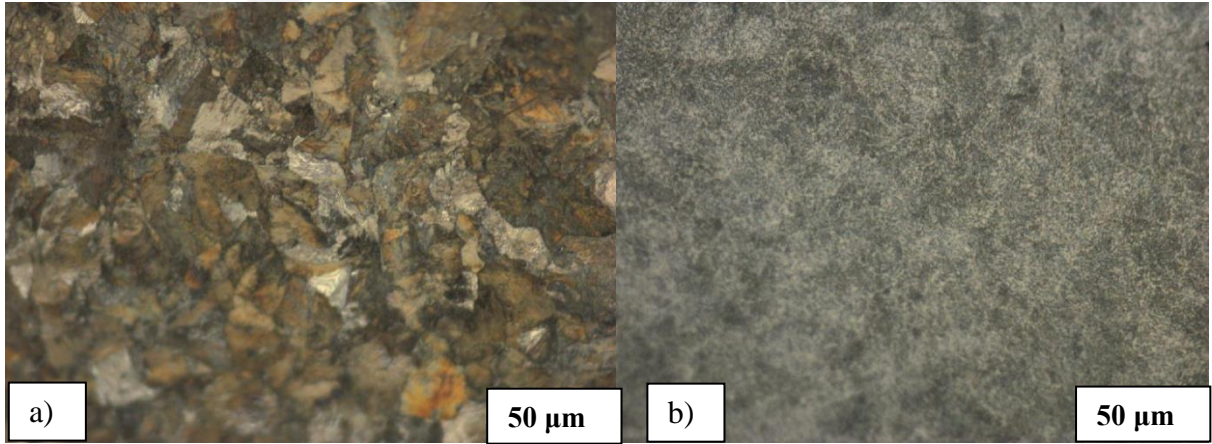
## 5. MATERYAL METOD

Deneylerde, 30 mm çapında ve 300 mm uzunluğunda AISI 52100 rulman çeliği kullanılmıştır. Bu çelik, sahip olduğu yüksek aşınma dayanımı nedeniyle çeşitli kalıplar, hadde merdaneleri, rulman kafesleri ve soğuk iş kalıp matrisleri gibi birçok imalat alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çeliğe ait kimyasal bileşim tedarikçi firma olan Ortadoğu Rulman Sanayi A.Ş. tarafından aşağıdaki Tablo 5.1.' de sunulmuştur.

**Tablo 5.1.** AISI 52100 çeliğinin kimyasal bileşimi

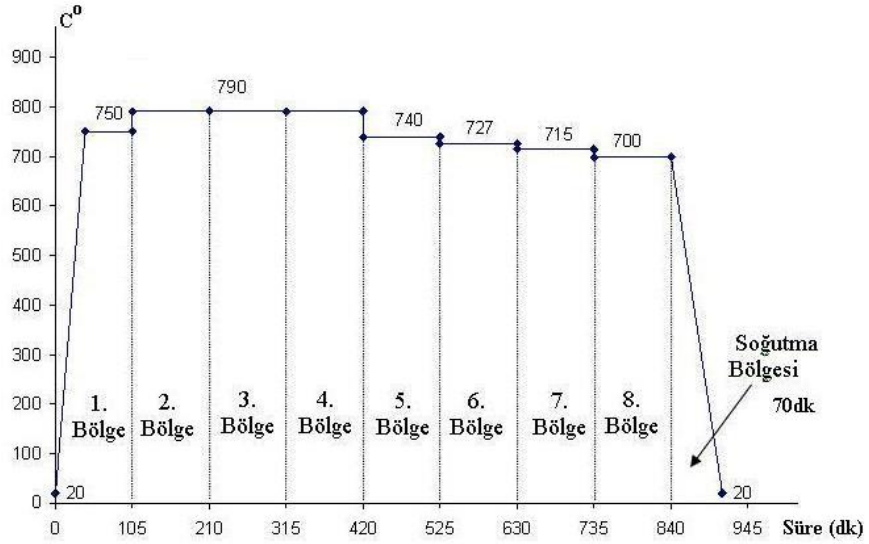
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Fe
0.99	0.24	0.37	0.008	0.005	1.41	0.07	0.02	0.016	Kalan

Numuneler Ortadoğu Rulman Sanayi A. Ş.' den ticari olarak temin edilmiştir. Küreselleştirme ısıl işlemine ait şematik diyagram firma tarafından görüntülenerek Şekil 5.1. ' de verilmiştir.



**Şekil 5.1.** Numunelere ait mikro yapı fotoğrafları (a: ısıl işlemsiz, b: küreselleştirilmiş)

Numunelerin ısıl işlem uygulanmamış ve küreselleştirme ısıl işlemi sonrasındaki sertlik değerleri sırasıyla 352 ve 190 HV olarak ölçülmüştür. İşlem uygulanmamış ve küreselleştirilmiş numunelere ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.1.' de görülmektedir. Şekil 5.1. a ve b' de görüldüğü gibi, işlem öncesi ferrit ve perlitten oluşan mikroyapı, ısıl işlem sonrasında ferrit ve yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılmış küresel sementitlerden meydana gelmektedir. Şekil 5.2.' de ise firma tarafından gerçekleştirilen küreselleştirme ısıl işleminin şematik diyagramı görülmektedir.



**Şekil 5.2.** AISI 52100 çeliğine uygulanan küreselleştirme ısıl işleminin şematik diyagramı.

Deneyler, 6 kW gücünde ve dakikadaki maksimum devir sayısı 3500 olan, Johnford TC35 torna tezgahında kuru ve MMY şartlarında uygulanmıştır. Kesici takım olarak Iscar takım imalatçı firması tarafından üretilen ve DNMG 432 – TF (IC907) ve DNGA 150408T IN 23 standart numaralı karbür ve seramik uçlar kullanılmıştır. Bu uçlara ait geometrik ölçüler Tablo 5.2.' de verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Deneylerde kullanılan karbür ve seramik uçlara ait geometrik ölçüler

		DNMG 432 – TF (IC907)	
		DNGA 150408T IN 23	
l	di	S	r
15.50	12.70	4.76	0.80



Deneylerde, kater takım tutucular kullanılmıştır. MMY uygulaması, UNIST GRAND RAPID M1 marka mikro sıvı uygulama sistemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. MMY uygulaması ile ilgili görüntüler Şekil 5.3.a - 5.3.b - 5.3.c ' de verilmiştir.

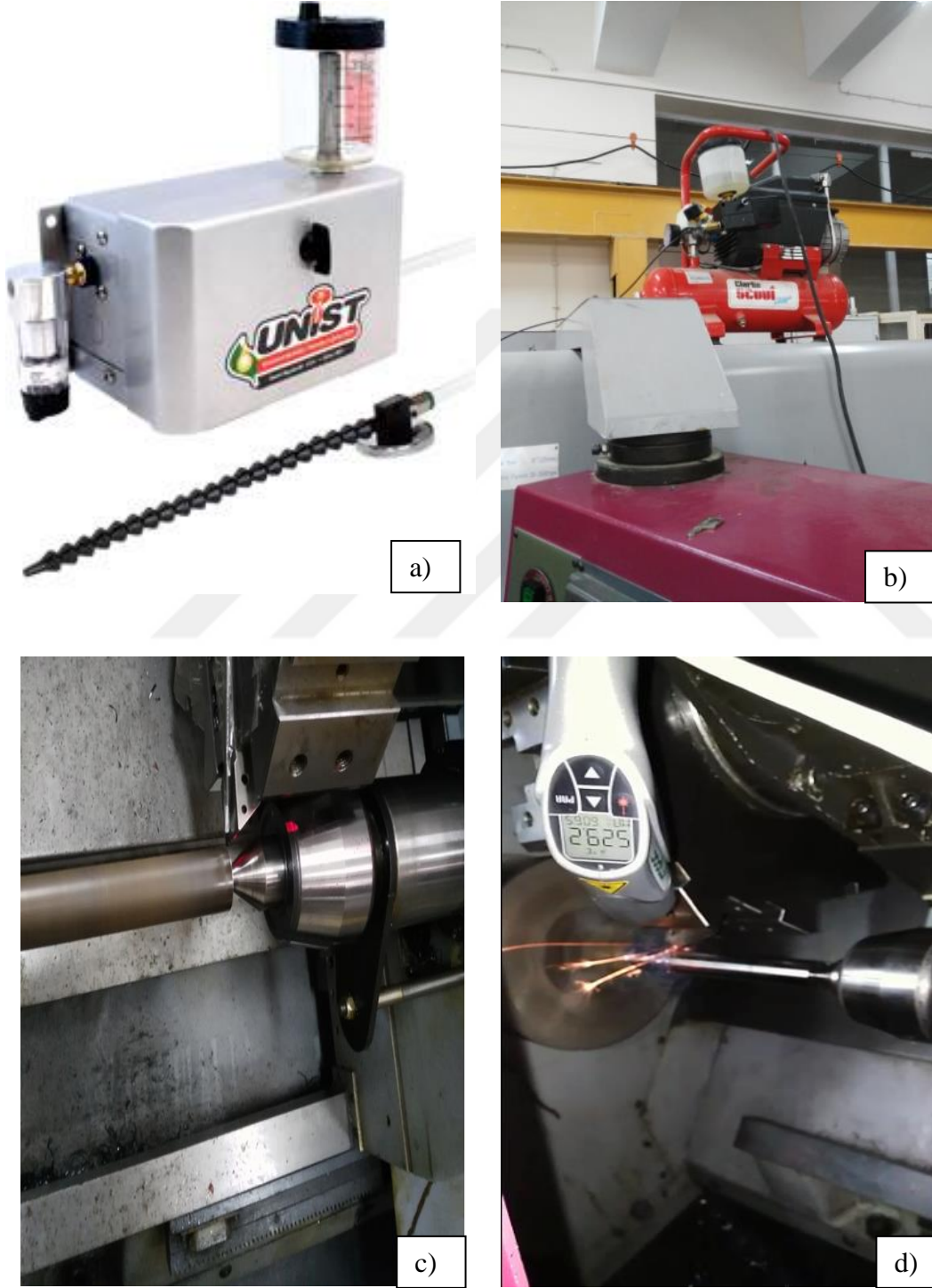
Uygulamada Acculube firması tarafından üretilmiş bitkisel esaslı LB-200 numaralı yağ kullanılmıştır. Bu kesme yağı, geri dönüşümü olan, toksin içermeyen, suyla inceltilebilen bir yapıda olup, oldukça yüksek bir korozyon dayanımına sahiptir. Kesme yağı / su oranı 1 / 5 olacak şekilde karışım hazırlanmış ve bu karışım kesme bölgesine tek bir nozul yardımıyla, 200 atım / dakika sıklığında, 0,8 MPa basınç değerinde ve uygun bir pozisyonda konumlandırılarak püskürtülmüştür. Nozul ile iş parçası arasındaki mesafe 30 mm olarak ayarlanmıştır. Deneylerde, talaş derinliği ve ilerleme miktarı sabit tutulurken, kesme hızı, kesici takım, malzeme cinsi ve işleme ortamı gibi faktörler değişken olarak alınmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve faktör seviyeleri Tablo 5.3.' de verilmiştir. Bu tablo da yer alan faktör ve seviyelerine bağlı olarak tam faktöriyel deneysel tasarım metodu kullanılmıştır.

**Tablo 5.3.** İşleme parametreleri ve seviyeleri

Parametre	Seviye1	Seviye 2
Kesme hızı (m/dak)	150	200
Kesici takım	Karbür	Seramik
Malzeme	Isıl işlemsiz	Küreselleştirilmiş
İşleme koşulu	Kuru işleme	MMY
Talaş derinliği (mm)	1 (sabit)	
İlerleme miktarı (mm / devir)	0,25 (sabit)	

Takımlarda oluşan serbest yüzey aşınma değerleri, Olympos optik mikroskop yardımıyla 5 dakikada aralıklarla ölçülmüş ve takım ömrü kriteri olan  $V_B = 0,3$  mm sınır değerine ulaşmaya kadar geçen süre takım ömrü olarak kaydedilmiştir. Numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ), farklı noktadan ölçülerek kaydedilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri, Mitutoyo SurfTest SJ-201 taşınabilir ölçüm cihazı yardımıyla 0,8 mm örnekleme uzunluğu aralığında ölçülmüştür. Her noktadan 5 farklı ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları ortalama yüzey pürüzlülüğü olarak kabul edilmiştir. Takım-talaş ara yüzey sıcaklık değerleri, 400 mm mesafeye konumlandırılmış ve sürekli olarak ara

yüze odaklanmış bir IMPAC Portawin 1.11 kızılötesi pirometre yardımıyla ölçülmüştür. Sıcaklık ölçüm ile ilgili görüntü Şekil 5.3.d' de verilmiştir. Bu cihazın ölçüm aralığı 250 – 1800°C' dir. Sıcaklık ölçümleri zamana bağlı olarak cihaza kaydedilmiş ve maksimum sıcaklık değeri esas alınmıştır.



Şekil 5.3. MMY ve sıcaklık ölçüm uygulaması

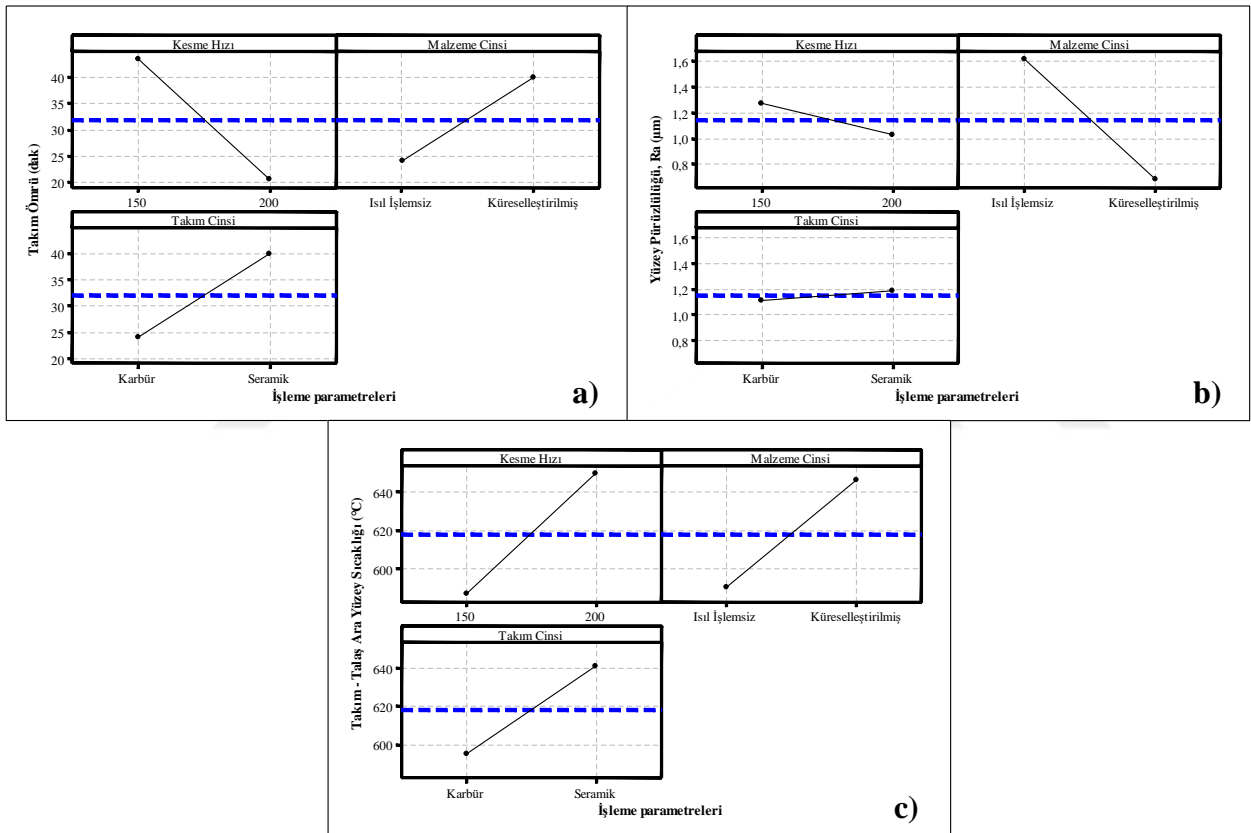
## 6. DENEYSEL SONUÇLAR

İşlenebilirlik deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ölçüm sonuçları Tablo 6.1.' de verilmiştir. Sıcaklık değerleri sadece kuru işleme koşullarında gerçekleştirilen deneylerden alınmıştır. Bu tabloda yer alan kuru işleme değerleri için etki grafikleri ise Şekil 6.1.' de görülmektedir. Şekil 6.1. (a) ' dan da görüldüğü gibi, küreselleştirme ısıl işleme görmüş numunelerin düşük kesme hızı değerlerinde (150 m/dak) seramik takımlarla işlenmeleri durumunda takım ömrü artmıştır.

**Tablo 6.1.** Deney koşulları ve ölçüm sonuçları

Deney No	Kesme hızı (m/dak)	Kesici takım	Malzeme	İşleme ortamı	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Maksimum sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Takım ömrü (dak)
1	200	Karbür	Isıl işlemsiz	Kuru işleme	0,564	657	10
2	150	Karbür	Isıl işlemsiz	Kuru işleme	0,656	671	22
3	200	Karbür	Küreselleştirilmiş	Kuru işleme	1,408	585	16
4	150	Karbür	Küreselleştirilmiş	Kuru işleme	1,807	530	48
5	200	Seramik	Küreselleştirilmiş	Kuru işleme	1,506	640	42
6	150	Seramik	Küreselleştirilmiş	Kuru işleme	1,757	605	80
7	200	Seramik	Isıl işlemsiz	Kuru işleme	0,624	626	24
8	150	Seramik	Isıl işlemsiz	Kuru işleme	0,865	694	40
9	200	Karbür	Isıl işlemsiz	MMY	0,461	-	24
10	150	Karbür	Isıl işlemsiz	MMY	0,545	-	108
11	200	Karbür	Küreselleştirilmiş	MMY	1,202	-	74
12	150	Karbür	Küreselleştirilmiş	MMY	1,508	-	126
13	200	Seramik	Küreselleştirilmiş	MMY	1,186	-	82
14	150	Seramik	Küreselleştirilmiş	MMY	1,319	-	172
15	200	Seramik	Isıl işlemsiz	MMY	0,598	-	81
16	150	Seramik	Isıl işlemsiz	MMY	0,743	-	142

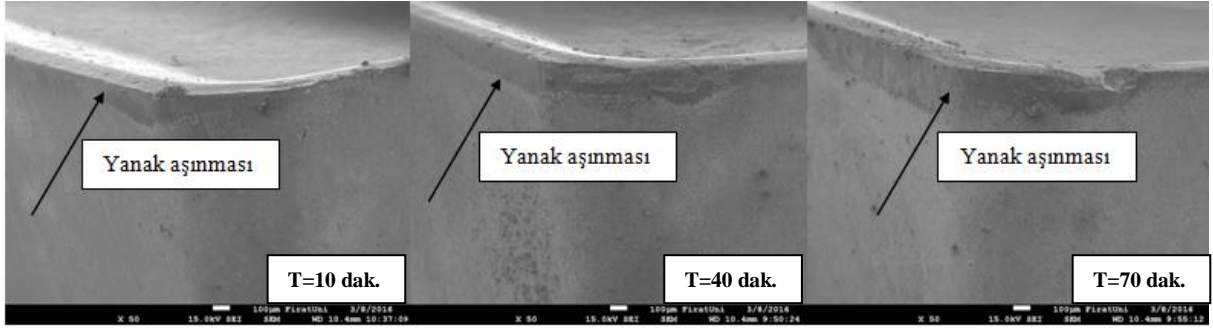
Küreselleştirme ısıt işlemleri sonrasında malzemenin sertlik değerinde yaklaşık olarak % 46 oranında bir azalma (352 HV' den 192 HV' ye) meydana gelmektedir. Dolayısıyla malzemenin akma mukavemeti ve çekme dayanımı değerleri, kopma uzaması işlenebilirlik ve kesici takım ömrü artmıştır [3]. Grafik yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirildiğinde, kesici takım malzemesinin çok önemli bir etkisinin olmadığı ancak karbür takımlarla yapılan işlemlerde daha kaliteli yüzeylerin elde edildiği görülmektedir (Şekil 6.1. (b) ). Ayrıca kesme hızının artmasıyla, ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Küreselleştirilmiş numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ise ısıt işlem uygulanmamış numunelere göre oldukça düşüktür.



**Şekil 6.1.** İşleme parametrelerinin ölçülen değerler üzerindeki etki grafikleri (a: takım ömrü, b: yüzey pürüzlülüğü, c: takım-talaş ara yüzey sıcaklığı).

Diğer yandan, Şekil 6.1. (c)' de işleme parametrelerinin takım – talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkileri görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla ara yüzey sıcaklığı da artma eğilimindedir. Yüksek kesme hızlarında, birim zamanda takım – talaş temas süresi artacağından, sürtünmelerin şiddeti ve dolayısıyla ara bölgedeki ısı ve sıcaklık değerlerinin artması beklenen bir sonuçtur. Ancak seramik takımların daha kaliteli yüzeyler vermesi ve

ömürlerinin daha yüksek olmalarına karşın daha yüksek sıcaklıklara neden oldukları görülmektedir. Bu durum, takım ömrünün yüksek olması nedeniyle, işleme süresinin artması ve kesici takım-iş parçası ve kesici takım-talaş arasındaki sürtünmelerin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Benzer etki, küreselleştirme ısıl işleminin sıcaklık üzerindeki etkisi için de düşünülebilir. Şekil 6.2.' de kesme hızı ve işleme koşullarına bağlı olarak, seramik takımlarda meydana gelen serbest yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi kuru işleme şartlarında, takımların işlemeye başlamasıyla, yanak aşınması zamanla düzenli bir şekilde artmış ancak işleme süresinin artmasıyla aşınma aralığı düzensiz olmuştur. Kesme hızının 200 m/dak değerine çıkmasıyla, aşınma oranı önemli derecede artmıştır.



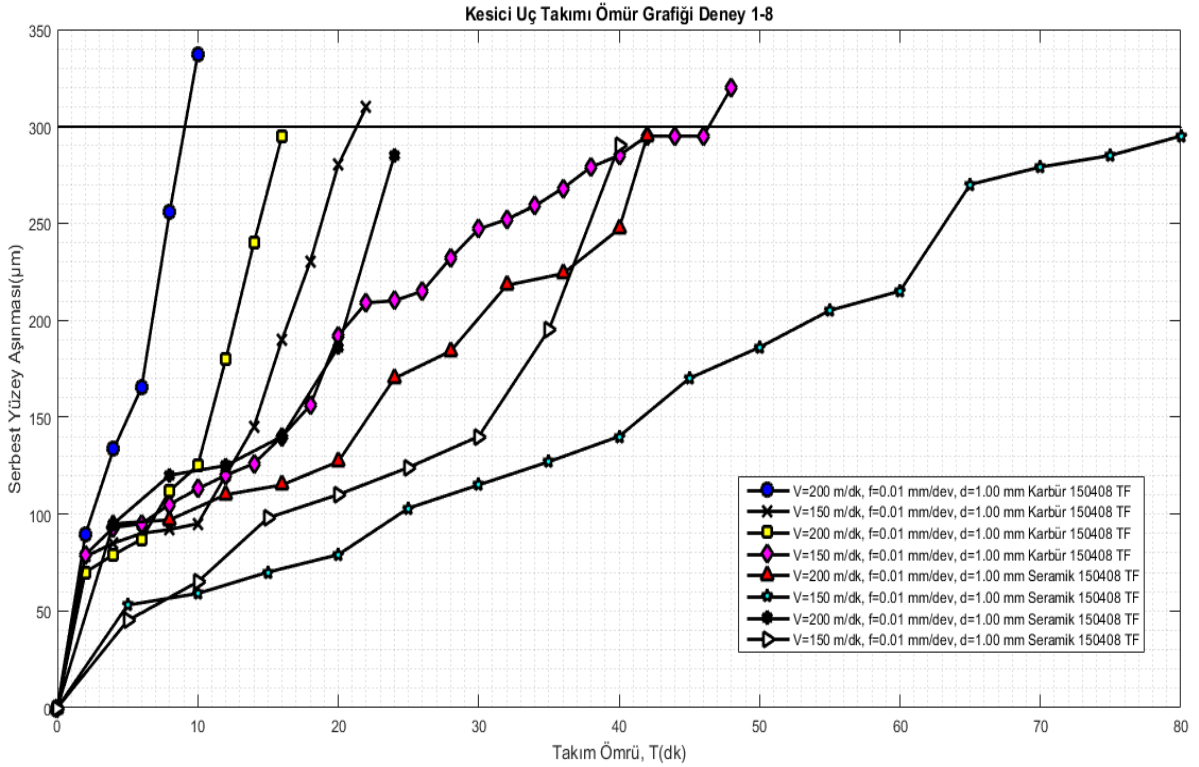
**Şekil 6.2.** Yanak aşınmasının zamanla gelişimi (  $V = 150$  m/dak, küreselleştirilmiş numune).

Takım ömrünü belirleyen kriter ( $V_B = 0,3$  mm) için aşınma ve işleme süresi arasındaki ilişki ise Şekil 6.3.' te verilmiştir. Tablo 6.1. incelendiğinde, karbür takımlarla ısıl işlem uygulanmamış numuneler kuru şartlarda talaşlı işlenmesinde takım ömrü  $T_{150} / T_{200}$  oranının 2,2 (22:10); kuru işleme şartlarında, küreselleştirilmiş numunelerde ise 3 (48:16) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, kesme hızıyla birlikte küreselleştirme ısıl işleminin takım ömrünü önemli derecede etkilediği söylenebilir. Bu değerler seramik takımlarla yapılan işlemlerde ısıl işlem uygulanmamış ve küreselleştirilmiş numuneler için sırasıyla 1,66 (40:24) ve 1,904 (80:42) olmaktadır. Kesici takım malzemeleri karşılaştırıldığında, seramik takımların daha uzun ömürlü olmalarına karşın, karbür takımlardaki ömür oranlarının daha yüksek oldukları görülmektedir. Küreselleştirme ısıl işlemi, takım ömrü kriterine göre karbür takımlar ile yapılan talaşlı işleme operasyonlarından daha etkili olmuştur. Her iki kesici takım malzemesi için kesme hızı ve takım ömrü arasındaki ilişki Taylor Takım Ömrü modeli yardımıyla hesaplanmıştır.

Bu model;

$$V \cdot T^n = C \quad (1)$$

şeklindedir. Burada  $V$  kesme hızını,  $T$  takım ömrünü,  $n$  ise ikisi arasındaki ilişkiyi gösteren logaritmik doğrunun eğimini vermektedir. Ömür deneylerinde, deneysel plandan farklı olarak 3. bir kesme hızı seviyesi ( $V = 250$  m/dak ) kullanılmıştır. Deneysel sonuçların onluk tabana göre logaritmaları alınmış ve  $\text{Log}V - \text{Log}T$  grafiği çizilerek takımlar için ömür denklemleri bulunmuştur. Takımlar için elde edilen ömür denklemleri Tablo 6.2. 'de verilmiştir.



Şekil 6.3. Kuru işleme koşullarında yanak aşınmasının zamanla gelişimi.

Tablo 6.2.' de yer alan herhangi 2 farklı  $\text{Log}V$  ve bu değerlere karşılık gelen  $\text{Log}T$  değerleri alınarak aşağıdaki denklemde yerlerine konulmuş ve ömür denklemindeki " $n$ " üstel değerleri hesaplanmıştır [62].

$$n = \frac{\log V_2 - \log V_1}{\log T_1 - \log T_2} \quad (2)$$

**Tablo 6.2.** İşleme parametreleri ve seviyeleri

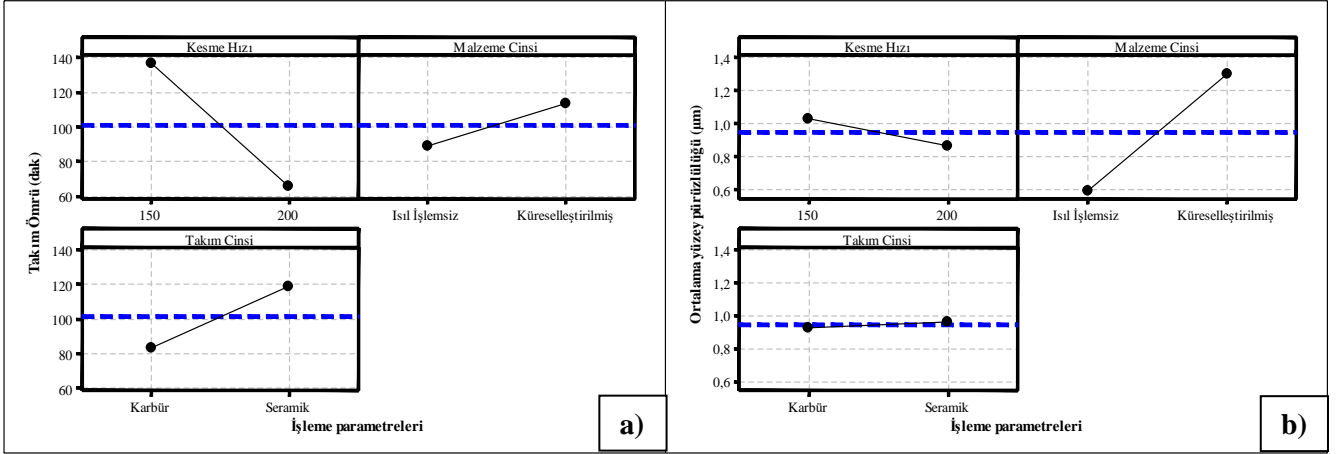
Takım malzemesi	İş parçası malzemesi	Kesme hızı (m/dak)	Takım ömrü (dak)	Log V	Log T	Denklem	R <sup>2</sup>
Karbür	Isıl işlemsiz	150	22	2,176	1,342		
Karbür	Isıl işlemsiz	200	10	2,301	1,000	$y = -9,5 \cdot x + 30,667$	0,9774
Karbür	Isıl işlemsiz	250	3	2,397	0,477		
Seramik	Küreselleştirilmiş	150	80	2,176	1,903		
Seramik	Küreselleştirilmiş	200	42	2,301	1,625	$y = -31 \cdot x + 108,67$	0,9833
Seramik	Küreselleştirilmiş	250	18	2,397	1,255		

Bu formül yardımıyla karbür ve seramik takımlar için n değerleri aşağıdaki şekildedir.

$$n_{karbür} = \frac{2,397-2,301}{1-0,477} = 0,183 \quad \text{ve} \quad n_{seramik} = \frac{2,397-2,301}{1,625-1,255} = 0,259$$

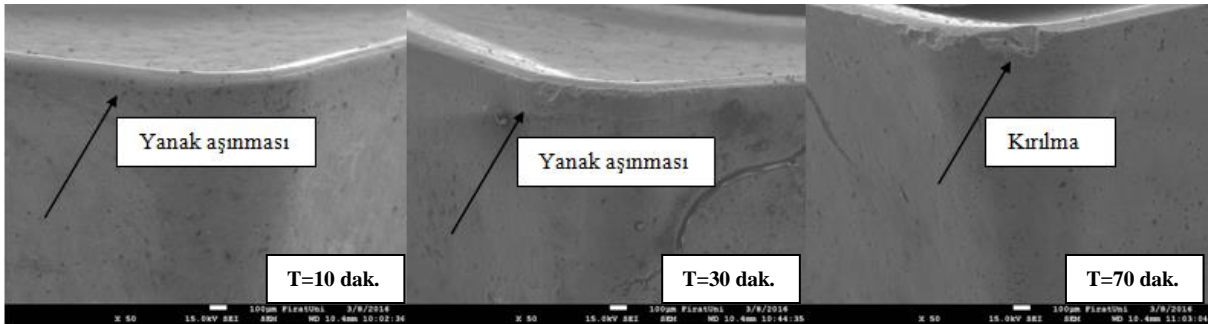
n değerleri karşılaştırıldığında, kuru işleme koşullarında seramik takımlar için n üstel değerinin karbür takımlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

MMY uygulamasıyla elde edilen sonuçlar için etki grafiği ise Şekil 6.4.' te verilmiştir. Şekil 6.4. ve Tablo 6.1. birlikte değerlendirildiğinde, MMY uygulamasıyla takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kuru işleme koşullarına göre daha iyi olduğu görülmektedir. İşleme parametrelerinin talaşlı işleme performansının üzerindeki etkileri, kuru işleme koşullarına benzer şekildedir. Ancak küreselleştirilmiş numunelerin yüzey pürüzlülükleri, kuru işleme koşullarındaki sonuçlardan farklı olarak artmıştır. Dolayısıyla MMY yönteminin uygulanmasının, takım ömrü ve yüzey kalitesi bakımından avantajlı olduğu, ancak küreselleştirme ısıl işlemi ile birlikte uygulanmasının yüzey kalitesine katkısının olmadığı görülmüştür.



**Şekil 6.4.** MMY koşullarında işleme parametrelerinin ölçülen değerler üzerindeki etki grafikleri (a: takım ömrü, b: yüzey pürüzlülüğü).

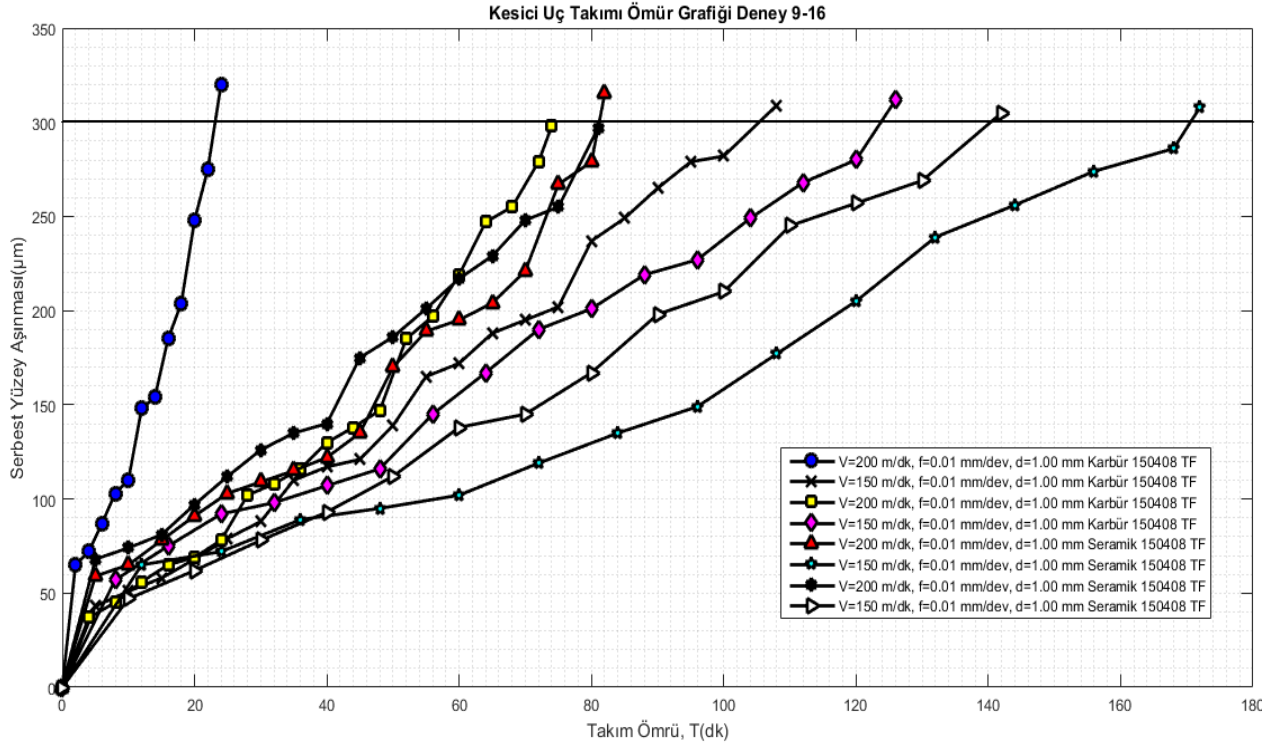
MMY koşullarına yapılan deneylere ait seramik takımlardan alınan TEM mikroskop fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 6.5.), serbest yüzey aşınmasının zamanla artmasının, kuru işleme koşullarına göre daha yavaş olduğu görülmektedir. 10. dakika itibarıyla takımların kesme kenarı hattında herhangi bir aşınma, bozulma veya kırılma gözlemlenmezken, 30 dakika işleme süresi sonrasında yanak aşınmasının başladığı ve ilerleyen kesme süresiyle birlikte aşınmanın şiddetlenerek takımın burun kısmında küçük çaplı kenar kopmalarına dönüştüğü görülmektedir.



**Şekil 6.5.** Yanak aşınmasının zamanla gelişimi (V=150 m/dak, küreselleştirilmiş numune).

MMY şartlarında, serbest yüzey aşınmasının zamana bağlı değişimi Şekil 6.6.' da verilmiştir.





Şekil 6.6. MMY koşullarında yanak aşınmasının zamanla gelişimi.

MMY yönteminin uygulanmasıyla takım ömründe ve yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen iyileşme oranları, her bir deney için aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6.3. ' te verilmiştir.

$$\%Ra = \frac{Ra_{kuru\ işleme} - Ra_{MMY}}{Ra_{kuru\ işleme}} \times 100 \quad (3)$$

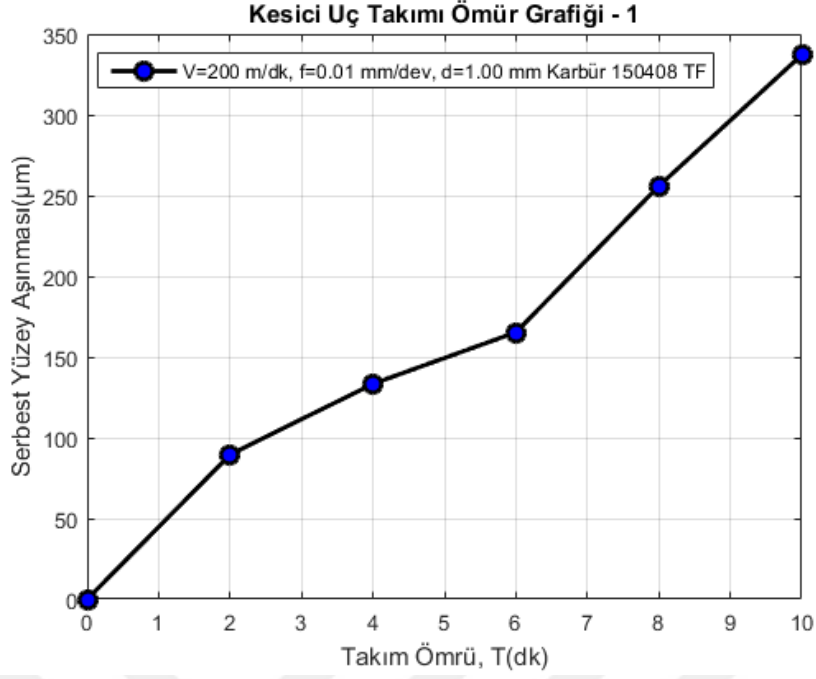
$$\%T = \frac{T_{MMY} - T_{kuru\ işleme}}{T_{MMY}} \times 100 \quad (4)$$

**Tablo 6.3.** MMY yönteminin yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne katkı oranları.

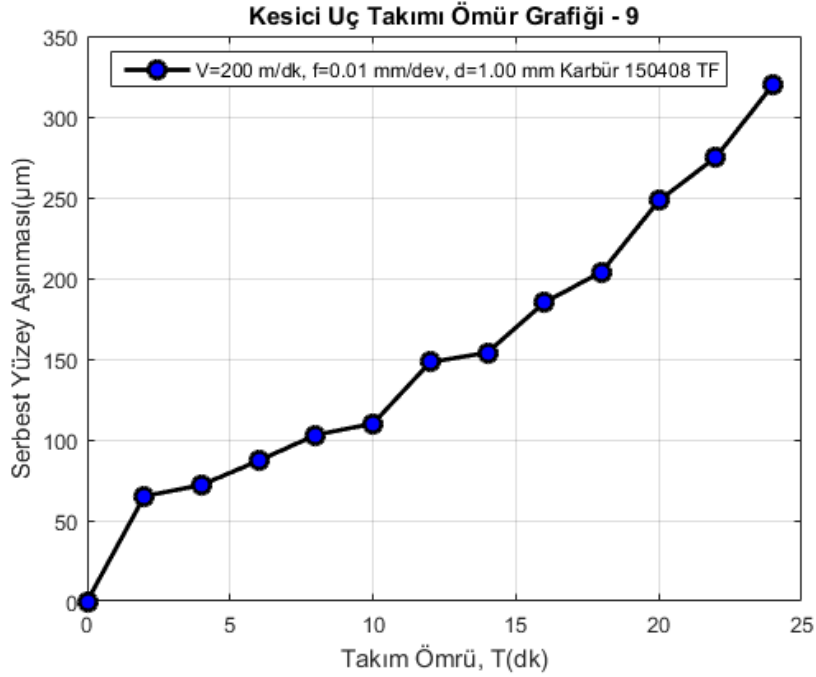
Sıralama	Kesme hızı	Kesici takım	Malzeme	%Ra	%T
1	200	Karbür	Isıl işlemsiz	18,26	58,33
2	150	Karbür	Isıl işlemsiz	16,92	79,62
3	200	Karbür	Küreselleştirilmiş	14,63	78,37
4	150	Karbür	Küreselleştirilmiş	16,54	61,90
5	200	Seramik	Küreselleştirilmiş	21,24	48,78
6	150	Seramik	Küreselleştirilmiş	24,92	53,48
7	200	Seramik	Isıl işlemsiz	4,16	70,37
8	150	Seramik	Isıl işlemsiz	14,10	71,83

Tablo 6.3. incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü bakımından, MMY yönteminin % 24,92 oranla 150 m/dak kesme hızı değerinde seramik takımlarla küreselleştirilmiş numunelerin işlenmesinde en etkili şartların olduğu görülmektedir. Diğer yandan, ısıl işlem uygulanmamış numunelerin 150 m/dak kesme hızı değerinde karbür takımlarla işlenmesinde takım ömrünün % 79,62 oranında arttığı belirlenmiştir.

Şekil 6.7. – Şekil 6.22. arasındaki grafiklerde AISI 52100 çeliğinin ısıl işlem uygulanmamış ve küreselleştirme ısıl işlemine tabi tutulduktan sonraki kuru işleme şartları ve MMY şartlarında elde edilen kesici takım ömür ve yüzey aşınma değerleri gösterilmiştir.

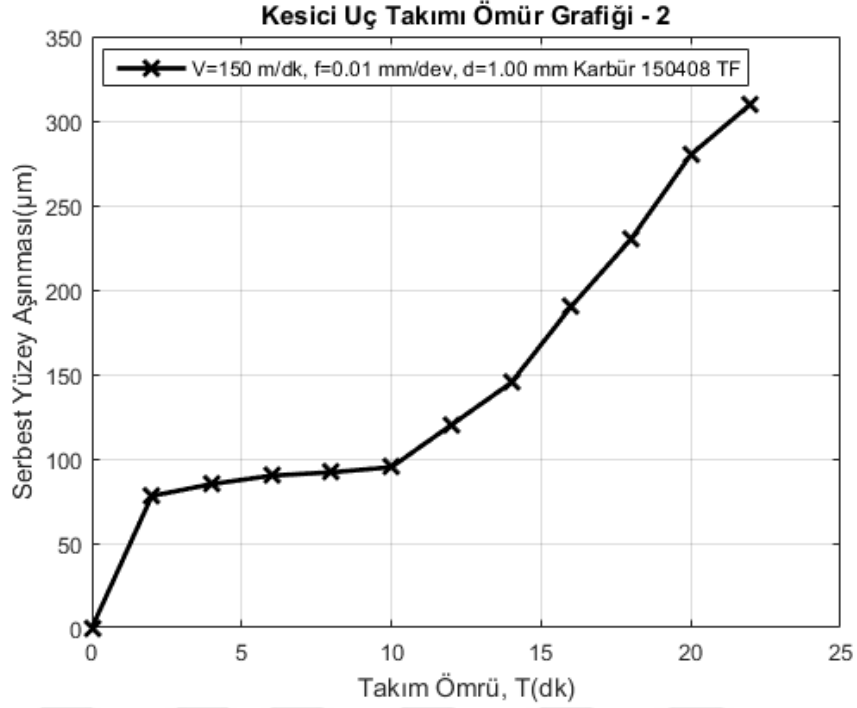


**Şekil 6.7.** Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

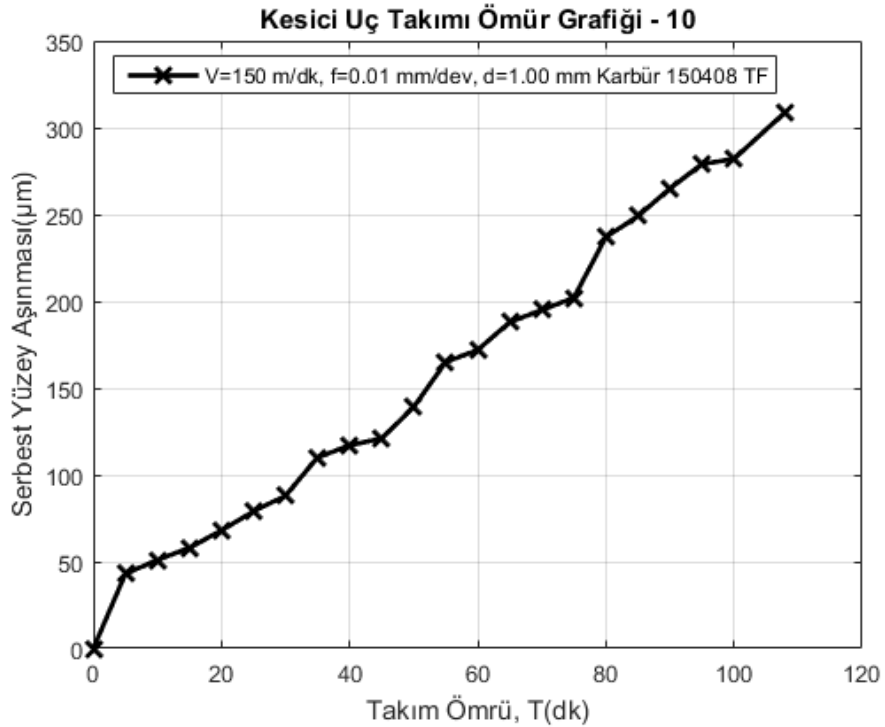


**Şekil 6.8.** MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

Şekil 6.7. ' deki grafikte görüldüğü gibi, kuru işleme şartlarında takım ömrü 10 dakikada son bulurken aynı şartlar altında Şekil 6.8. ' deki grafikte görüldüğü gibi MMY uygulamasında takım ömrü 24 dakikada sona erdiği görülmektedir.

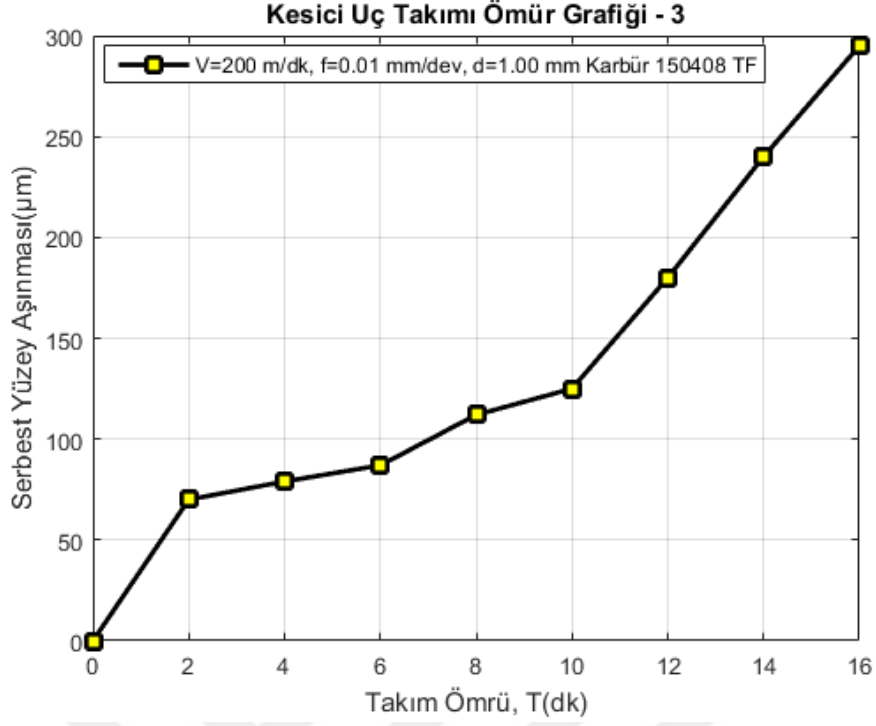


**Şekil 6.9.** Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

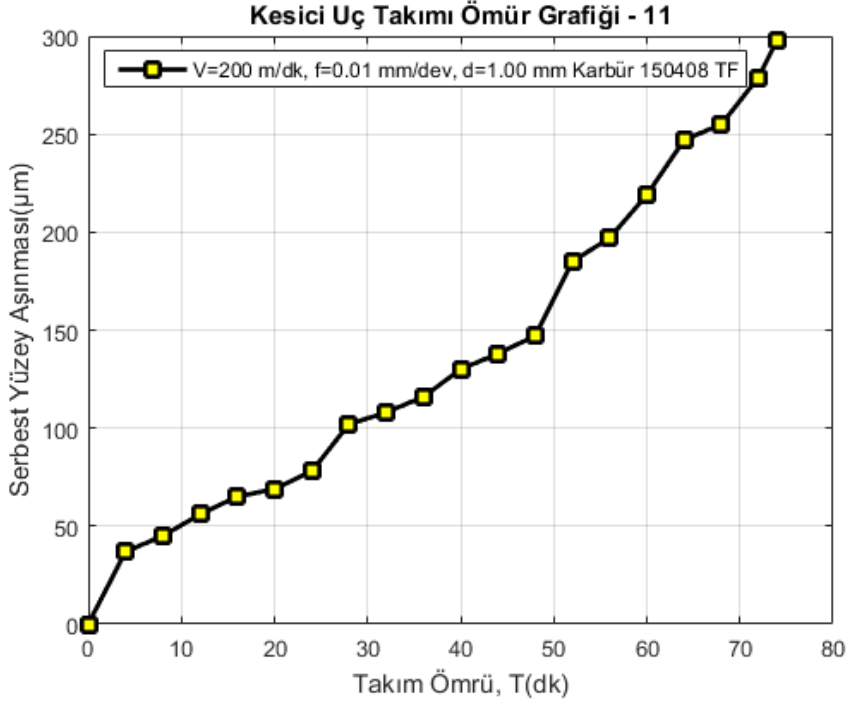


**Şekil 6.10.** MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

Şekil 6.9. 'daki grafikte görüldüğü gibi, kuru işleme şartlarında takım ömrü 22 dakikada son bulurken aynı şartlar altında Şekil 6.10. 'daki grafikte görüldüğü gibi MMY uygulamasında takım ömrü 108 dakikada sona erdiği görülmektedir.

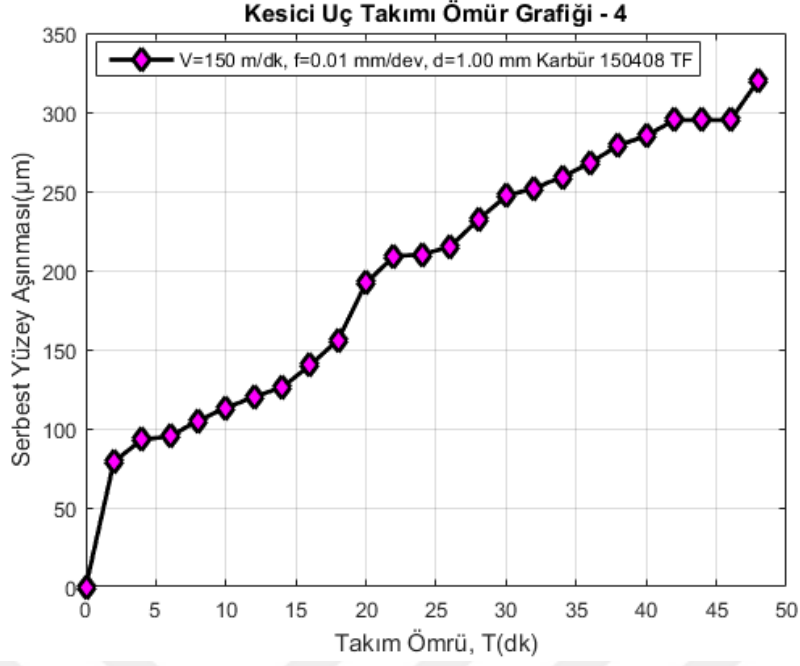


**Şekil 6.11.** Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

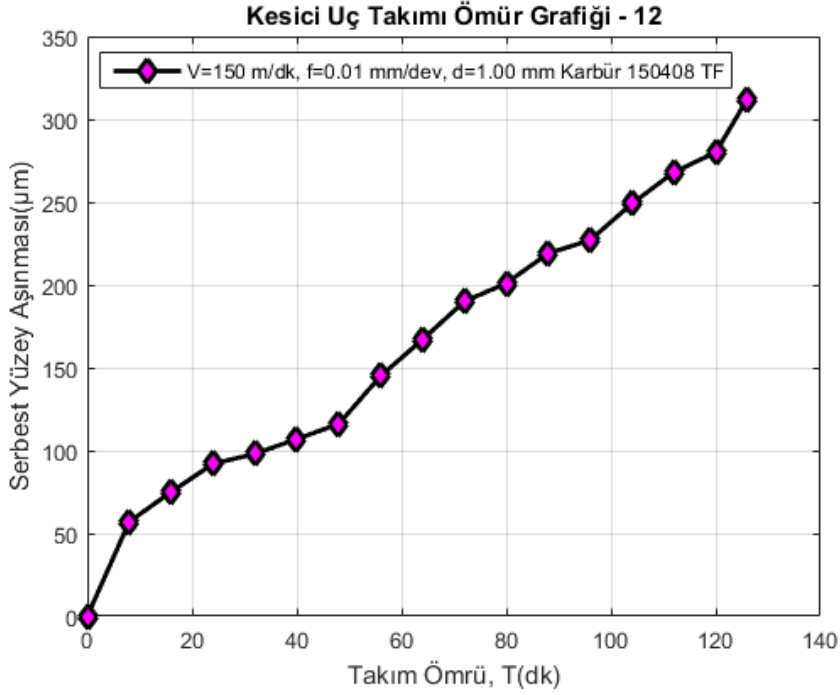


**Şekil 6.12.** MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

Şekil 6.11. ' deki grafikte görüldüğü gibi, kuru işleme şartlarında takım ömrü 16 dakikada son bulurken aynı şartlar altında Şekil 6.12. ' deki grafikte görüldüğü gibi MMY uygulamasında takım ömrü 74 dakikada sona erdiği görülmektedir.

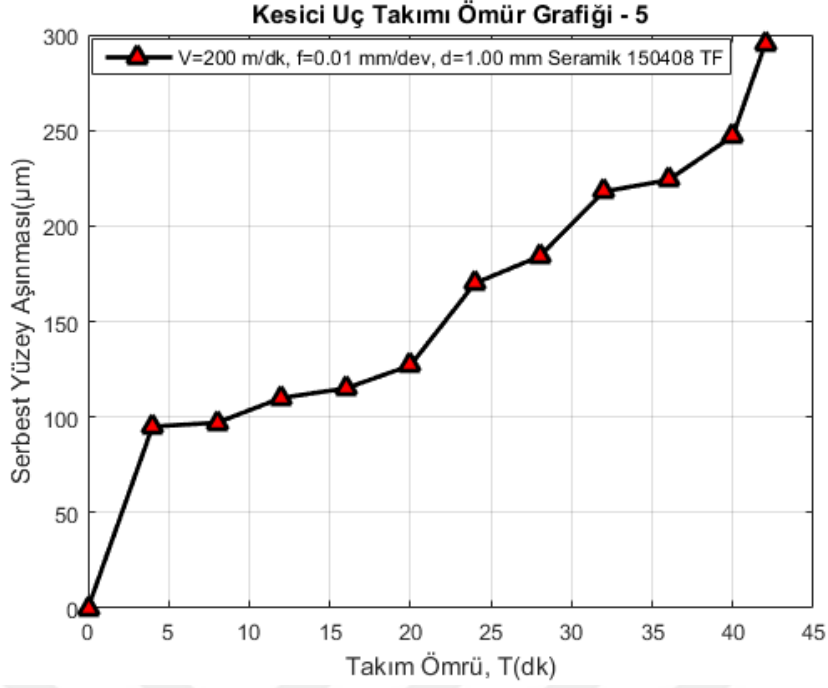


**Şekil 6.13.** Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

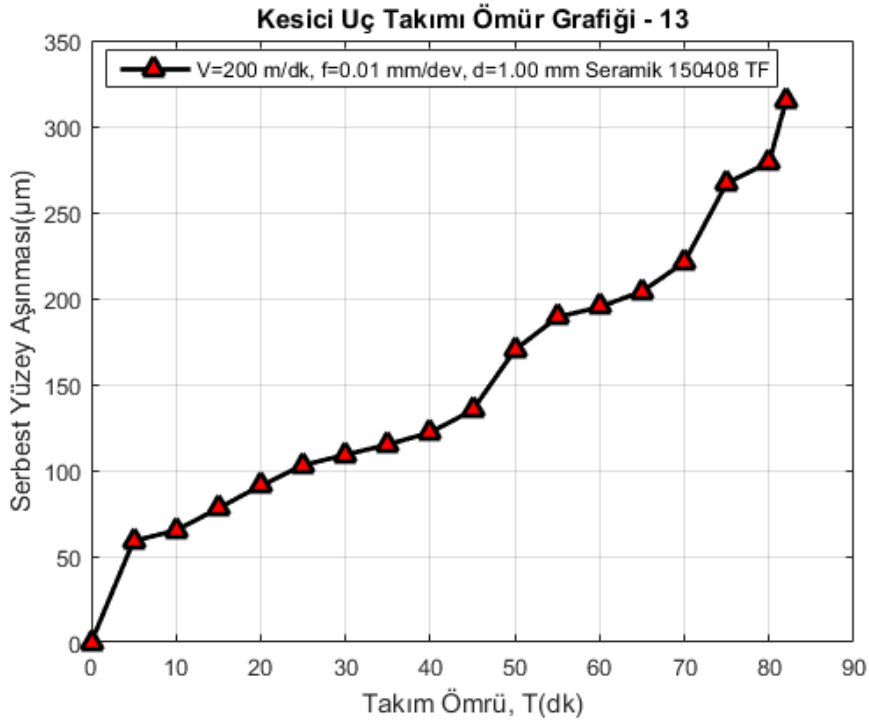


**Şekil 6.14.** MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

Şekil 6.13. ' deki grafikte görüldüğü gibi, kuru işleme şartlarında takım ömrü 48 dakikada son bulurken aynı şartlar altında Şekil 6.14. 'deki grafikte görüldüğü gibi MMY uygulamasında takım ömrü 126 dakikada sona erdiği görülmektedir.

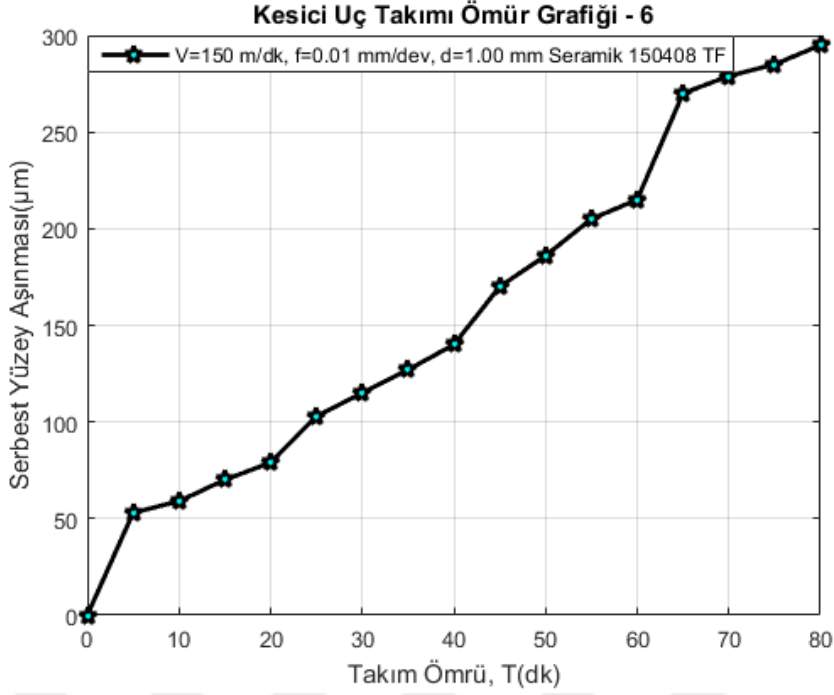


**Şekil 6.15.** Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

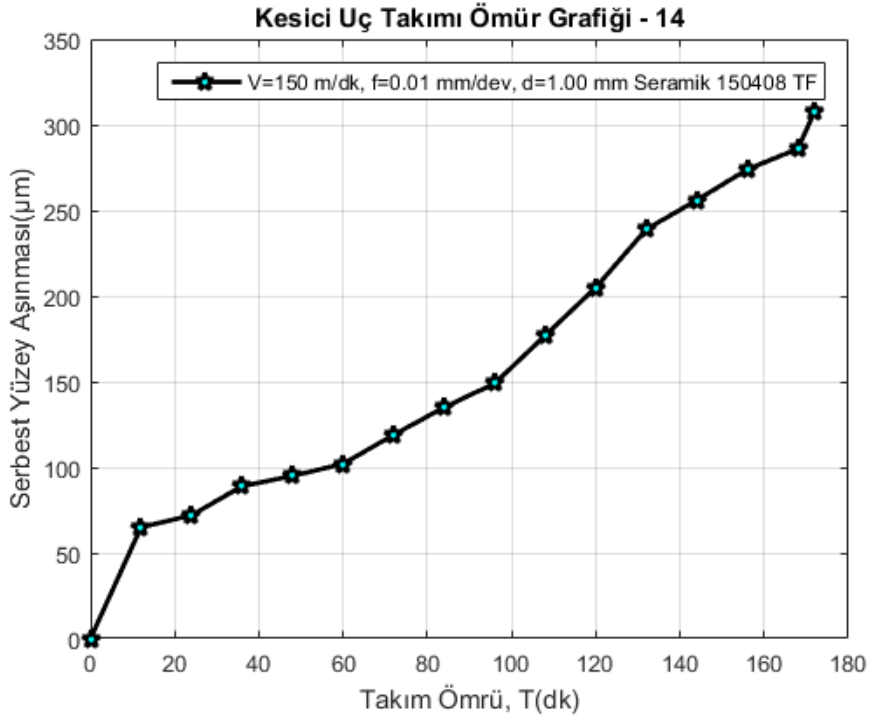


**Şekil 6.16.** MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

Şekil 6.15. ' deki grafikte görüldüğü gibi, kuru işleme şartlarında takım ömrü 42 dakikada son bulurken aynı şartlar altında Şekil 6.16. ' daki grafikte görüldüğü gibi MMY uygulamasında takım ömrü 82 dakikada sona erdiği görülmektedir.



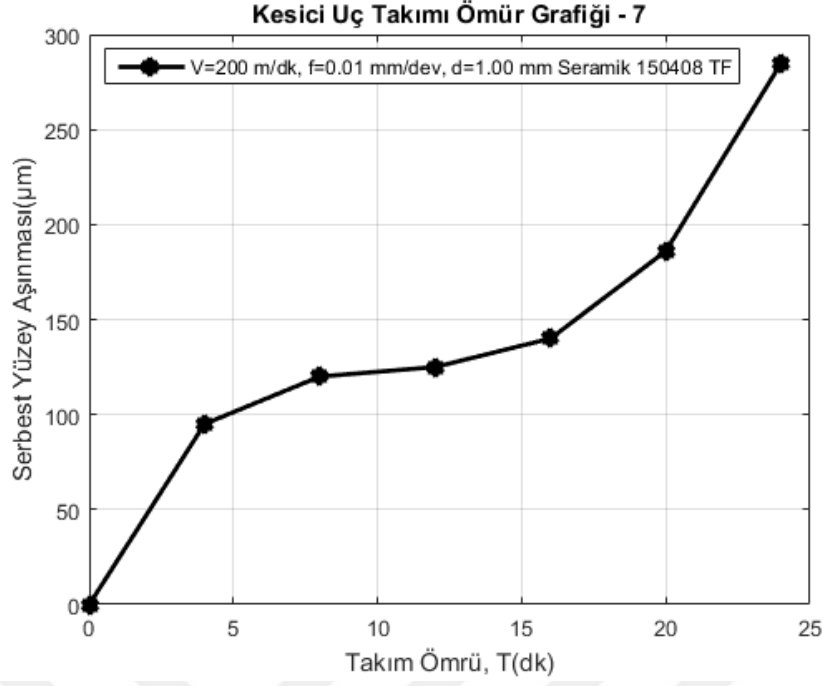
**Şekil 6.17.** Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği



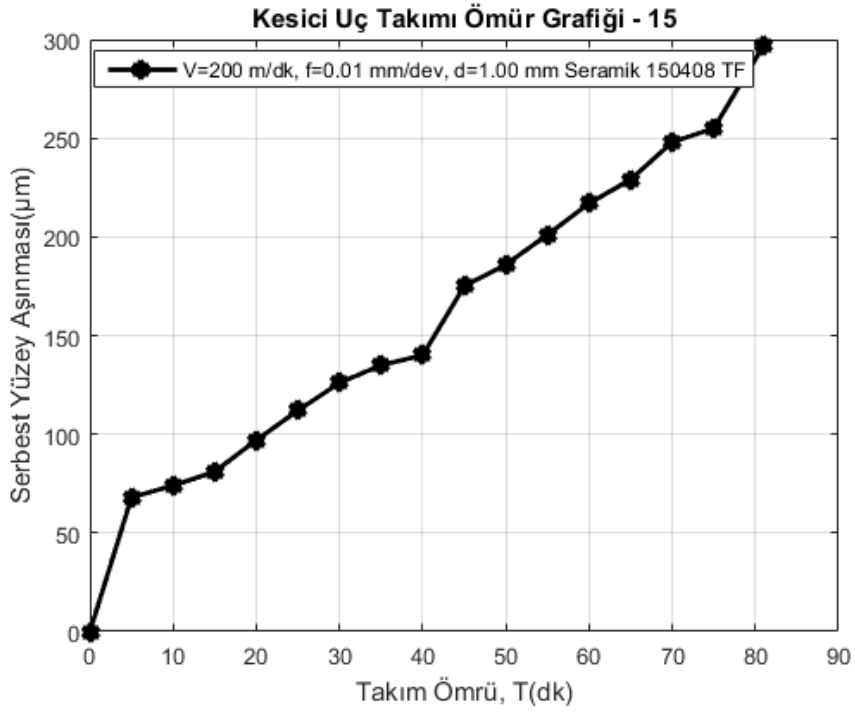
**Şekil 6.18.** MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

Şekil 6.17. ' deki grafikte görüldüğü gibi, kuru işleme şartlarında takım ömrü 80 dakikada son bulurken aynı şartlar altında Şekil 6.18. ' deki grafikte görüldüğü gibi MMY uygulamasında takım ömrü 172 dakikada sona erdiği görülmektedir.



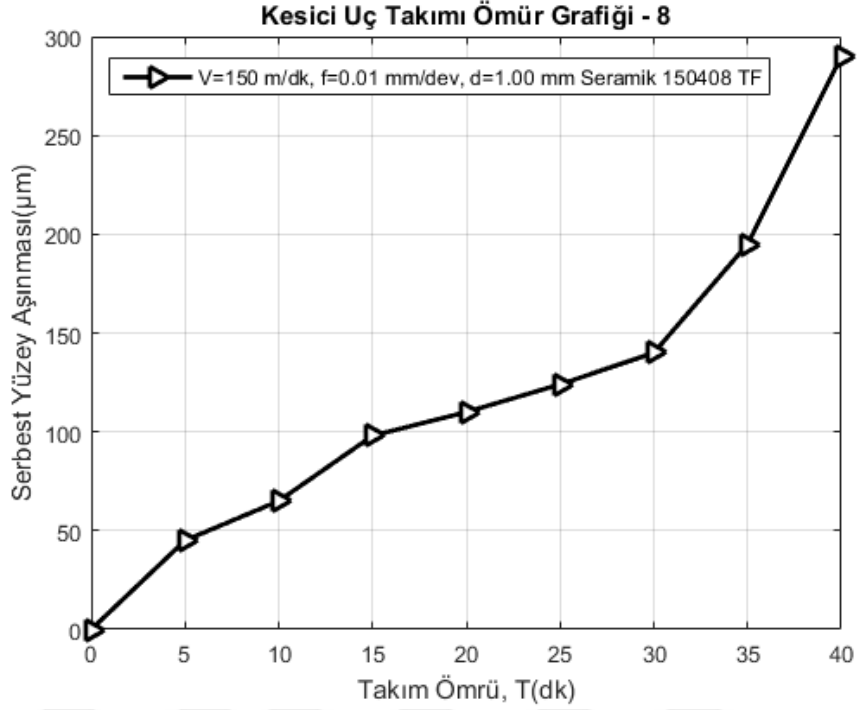


**Şekil 6.19.** Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

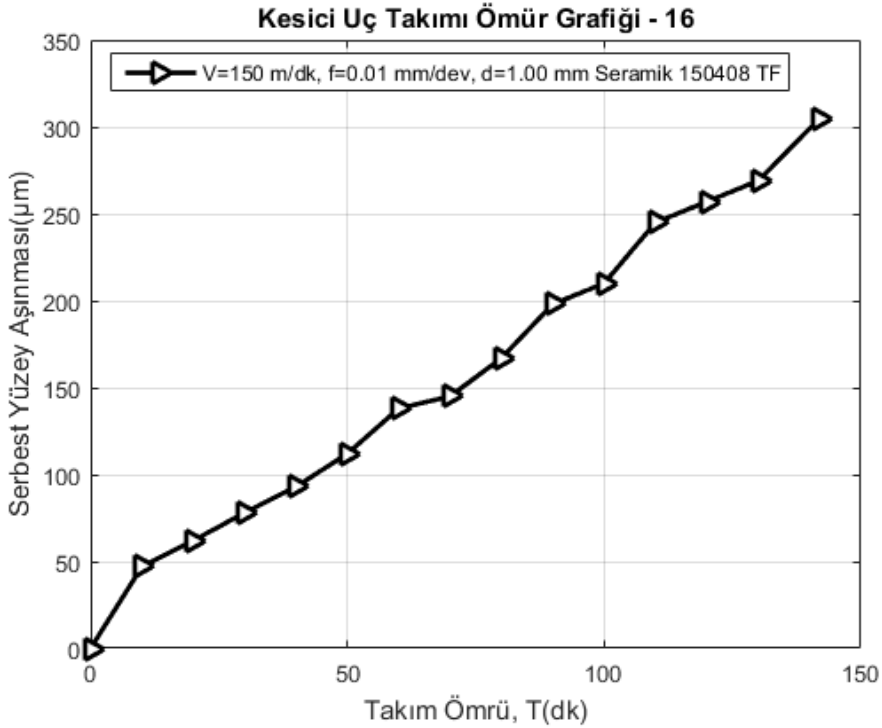


**Şekil 6.20.** MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

Şekil 6.19. 'daki grafikte görüldüğü gibi, kuru işleme şartlarında takım ömrü 24 dakikada son bulurken aynı şartlar altında Şekil 6.20. 'deki grafikte görüldüğü gibi MMY uygulamasında takım ömrü 81 dakikada sona erdiği görülmektedir.



**Şekil 6.21.** Kuru işleme şartlarında ısıl işlemsiz AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği



**Şekil 6.22.** MMY işleme şartlarında küreselleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin çalışılmasında kesici uç takım ömür grafiği

Şekil 6.21. ' deki grafikte görüldüğü gibi, kuru işleme şartlarında takım ömrü 40 dakikada son bulurken aynı şartlar altında Şekil 6.22.' deki grafikte görüldüğü gibi MMY uygulamasında takım ömrü 142 dakikada sona erdiği görülmektedir.

## 7. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, AISI 52100 rulman çeliği ısıtıl işlem uygulanmamış ve küreselleştirme ısıtıl işlemi sonrasında karbür ve seramik takımlarla farklı kesme hızlarında tornalanmıştır. Çalışma sonrasında elde edilen veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kuru işleme koşullarında, kesme hızının artmasıyla, her iki takım malzemesi için de takım ömrü azalmıştır. Küreselleştirme ısıtıl işlemi uygulanmış numunelerin seramik takımlarla daha uzun süre işlendikleri gözlenmiştir. En yüksek takım ömrü değeri, seramik takım için  $V=150$  m / dak kesme hızı değerinde küreselleştirilmiş numunenin işlenmesi durumunda 80 dakika olarak ölçülmüştür.
- Kuru işleme koşullarında, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmıştır. Küreselleştirilmiş numunelerde daha kaliteli yüzeyler elde edilirken, kesici takım cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Kuru işleme koşullarında, seramik takımlarla küreselleştirilmiş numunelerin işlenmesinde daha yüksek sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Kesme hızının artması, takım – talaş ara yüzey sıcaklığını arttırmıştır.
- Seramik takım malzemesi için LogV ve LogT ilişkisi yardımıyla belirlenen Taylor modelindeki n üstel değerinin karbür takımdan daha yüksek olduğu görülmüştür.
- MMY işleme koşullarında, kuru işleme şartlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu tekniğin uygulanmasıyla takım ömrünün ısıtıl işlemle birlikte % 79,62 oranında, yüzey kalitesinin ise % 24,92 oranında iyileştirilebileceği tespit edilmiştir.

## 8. ÖNERİLER

AISI 52100 rulman çeliği ısıl işlem uygulanmamış veya farklı ısıl işlem yöntemleri uygulanarak farklı talaşlı imalat yöntemleri ile bir çok çalışma yapılabilir.

Bu çalışmaların bazılarını şu şekilde belirtebiliriz.

- Farklı ısıl işlemlerin kullanılması,
- Farklı soğutma yöntemlerin kullanılması,
- Farklı kesici takımların kullanılması,
- Çalışma sırasında oluşacak titreşimler ve kesme kuvvetleri araştırılabilir.



## KAYNAKÇA

- [1] **Poulachon, G., Bandyopadhyay, B. P., Jawahir, I.S., Pheulpin, S. and Seguin, E.,** 2004. Wear behaviour of CBN tools while turning various hardened steels, *Wear*, **256**, 302-310.
- [2] **Kuş, A.,** 2013. AISI 52100 Rulman çeliğinin tornalanmasında uygun kesici takım ve kesme parametrelerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [3] **Motorcu, A.R.,** 2010. Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde takım ömrü ve aşınmasının incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt 25, No 1, 65-75.
- [4] **Galoppi, G. D.S., Filho, M. S. and Batalha, G. F.,** 2006. Hard turning of tempered DIN 100Cr6 steel with coated and no coated CBN inserts, *Journal of Materials Processing Technology*, **179**, 146-153.
- [5] **Guddat, J., Saoubi, R. M., Alm, P. and Meyer, D.,** 2011. Hard turning of AISI 52100 using PCBN wiper geometry inserts and the resulting surface integrity, *Procedia Engineering*, **19**, 118-124.
- [6] **Yallese, M. A., Chaoui, K., Zeghib, N., Boulanouar, L. and Rigal, J.F.,** 2009. Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool, *Journal of Materials Processing Technology*, **209**, 1092-1100.
- [7] **Raghavan, S., Melkote, S. and Hashimoto, F.,** 2013. Laser tempering based turning process for efficient machining of hardened AISI 52100 steel, *Journal of Manufacturing Processes*, **15**, 318-328.
- [8] **Umbrello, D., Ambrogio, G., Filice, L. and Shivpuri, R.,** 2008. A hybrid finite element method artificial neural network approach for predicting residual stresses and the optimal cutting conditions during hard turning of AISI 52100 bearing steel, *Materials and Design*, **29**, 873-883.
- [9] **Paiva, A. P., Ferreira, J. R. and Balestrassi, P. P.,** 2007. A multivariate hybrid approach applied to AISI 52100 hardened steel turning optimization, *Journal of Materials Processing Technology*, **189**, 26-35.
- [10] **Hosseini, S. B., Beno, T., Klement, U., Kaminski, J. and Rytberg, K.,** 2014. Cutting temperatures during hard turning - measurements and effects on white layer formation in AISI 52100, *Journal of Materials Processing Technology*, **214**, 1293-1300.
- [11] **Caruso, S., Umbrello, D., Outeiro, J. C., Filice, L. and Micari, F.,** 2011. An Experimental investigation of residual stresses in hard machining of AISI 52100 steel, *Procedia Engineering*, **19**, 67-72.
- [12] **Ramesh, A., Melkote, S.N., Allard, L.F., Riester, L. and Watkins, T.R.,** 2005. Analysis of white layers formed in hard turning of AISI 52100 steel, *Materials Science and Engineering A*, **390**, 88-97.
- [13] **Ulutan, D., Alaca, E.B. ve Lazoglu, I.,** 2007. Analytical modelling of residual stresses in machining, *Journal of Materials Processing Technology*, **183**, 77-87.
- [14] **Jouini, N., Revel, P., Thoquenne, G. and Lefebvre, F.,** 2013. Characterization of surfaces obtained by precision hard turning of AISI 52100 in relation to RCF life, *Procedia Engineering*, **66**, 793-802.
- [15] **Bartarya, G. and Choudhury, S.K.,** 2012. Effect of cutting parameters on cutting force and surface roughness during finish hard turning AISI52100 grade steel, *Procedia CIRP*, **1**, 651-656.

- [16] **Chou, Y.K., Evans, C. J. and Barash, M. M.**, 2003. Experimental investigation on cubic boron nitride turning of hardened AISI 52100 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **134**, 1-9.
- [17] **Dessoly, V., Melkote, S.N. and Lescalier, C.**, 2004. Modeling and verification of cutting tool temperatures in rotary tool turning of hardened steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **44**, 1463-1470.
- [18] **Bouacha, K., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J.F.**, 2010. Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Material*, **28**, 349-361.
- [19] **Kurt, A. ve Şeker, U.**, 2005. The effect of chamfer angle of polycrystalline cubic boron nitride cutting tool on the cutting forces and the tool stresses in finishing hard turning of AISI 52100 steel, *Materials and Design*, **26**, 351-356.
- [20] **Attanasio, A., Umbrello, D., Cappellini, C., Rotella, G. and Saoubi, R.M.**, 2012. Tool wear effects on white and dark layer formation in hard turning of AISI 52100 steel, *Wear*, **287**, 98-107.
- [21] **Benga, G. C. and Abrao, A. M.**, 2003. Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN cutting tools, *Journal of Materials Processing Technology*, **144**, 237-241.
- [22] **Aslantaş, K., Uçun, İ. ve Çiçek, A.**, 2012. Tool life and wear mechanism of coated and uncoated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / TiCN mixed ceramic tools in turning hardened alloy steel, *Wear*, **275**, 442-451.
- [23] **Memalis, A.G., Kundrak, J. and Gyani, K.**, 2002. On the Dry Machining of Steel Surfaces Using Süper hard Tools, *The International Journal Advanced Manufacturing Techonology*, **19**, 157-162.
- [24] **Tasdelen, B., Thordenberg, H. and Olofsson, D.**, 2008. An experimental investigation on contact length during minimum quantity lubrication (MQL) machining, *Journal of Materials Processing Technology*, **203**, 221-231.
- [25] **Dhar, N.R., Ahmed, M.T. and Islam, S.**, 2007. An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, **47**, 748-753.
- [26] **Obikawa, T., Asano, Y. and Kamata, Y.**, 2009. Computer fluid dynamics analysis for efficient spraying of oil mist in finish-turning of Inconel 718, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, **49**, 971-978.
- [27] **Leppert, T.**, 2011. Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, **51**, 120-126.
- [28] **Dhar, N.R., Kamruzzaman, M. and Ahmed, M.**, 2006. Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **172**, 299-304.
- [29] **Khan, M.M.A., Mithu, M.A.H. and Dhar, N.R.**, 2009. Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid, *Journal of Materials Processing Technology*, **209**, 5573-5583.
- [30] **Klocke, F., Settineri, L., Lung, D. and Priarone, P. C.**, 2013. High performance cutting of gamma titanium aluminides: Influence of lubricoolant strategy on tool wear and surface integrity, *Wear*, **302**, 1136-1144.
- [31] **Sreejith, P.S.**, 2008. Machining of 6061 aluminium alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions, *Meterials Letters*, **62**, 276-278.

- [32] **Obikawa, T., Kamata, Y., Asano, Y., Nakayama, K. and Otieno, A. W.,** 2008. Micro-liter lubrication machining of Inconel 718, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, **48**, 1605-1612.
- [33] **Hadad, M. J. and Sadeghi, B.,** 2013. Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy, *Journal of Cleaner Production*, **54**, 332-343.
- [34] **Sayuti, M., Sarhan, A. A. D. and Salem, F.,** 2014. Novel uses of SiO<sub>2</sub> nano-lubrication system in hard turning process of hardened steel AISI4140 for less tool wear, surface roughness and oil consumption, *Journal of Cleaner Production*, **67**, 265-276.
- [35] **Settineri, L., Faga, M. G. and Lerga, B.,** 2008. Properties and performances of innovative coated tools for turning inconel, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, **48**, 815-823.
- [36] **Stephenson, D.A., Skerlos, S.J., King, A.S. and Supekar, S.D.,** 2014. Rough turning Inconel 750 with supercritical CO<sub>2</sub>-based minimum quantity lubrication, *Journal of Materials Processing Technology*, **214**, 673-680.
- [37] **Gaitonde, V.N., Karnik, S.R. and Davim, J.P.,** 2008. Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass, *Journal of Materials Processing Technology* 204, 459-464.
- [38] **Yazid, M.Z.Z., CheHaron, C.H., Ghani, J.A., Ibrahim, G.A. and Said, A.Y.M.,** 2011. Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL, *Procedia Engineering*, **19**, 396-401.
- [39] **Sarıkaya, M. ve Güllü, A.,** 2014. Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL, **65**, 604-616.
- [40] **Dhar, N.R., Islam, M.W., Islam, S. and Mithu, M.A.H.,** 2006. The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **171**, 93-99.
- [41] **Kaynak, Y., Karaca, H.E., Noebe, R.D. and Jawahir, I.S.,** 2013. Tool-wear analysis in cryogenic machining of NiTi shape memory alloys: A comparison of tool-wear performance with dry and MQL machining, *Wear*, **306**, 51-63.
- [42] **Liu, Z., An, Q., Xu, J., Chen, M. and San, S.,** 2013. Wear performance of (ncAlTiN) / (a Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) coating and (ncAlCrN) / (a Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) coating in high speed machining of titanium alloys under dry and minimum quantity lubrication (MQL) conditions *Wear*, **305**, 249-259.
- [43] **Kuş, A.,** 2013. AISI 52100 Rulman Çeliğinin Tornalanmasında Uygun Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [44] [http://www.nskeurope.com.tr/cps/rde/dtr/eu\\_tr/literature\\_bearing/TR0006\\_NSK\\_Technical Insight\\_RollerBearingLife.pdf](http://www.nskeurope.com.tr/cps/rde/dtr/eu_tr/literature_bearing/TR0006_NSK_Technical Insight_RollerBearingLife.pdf). 15 Mayıs 2015
- [45] **Ballıkaya, H.,** 2011. 100Cr6 Çeliğinin Frezeleme Yöntemi ile İşlenmesinde Kesme parametrelerinin deneysel araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [46] **Akben,U.,** 2009. Minumum Miktarda Yağlama İle Kesmenin Takım Aşınması Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] **Weinert, K., Inasaki, I., Sutherlands J.W. and Wakabayashi, T.,** 2005. Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication, *Annals of CIRP*, **53**, 511-537.
- [48] **Stephenson, D.A. and Agapiou, J.S.,** 2006. Metal Cutting Theory and Practice, *Taylor & Francis, New York*, **2**, 767-783.

- [49] **Klocke, F. and Gerschwiler, K.**, 2003. Minimal mengenschmierung – Systeme, Medien, Einsatzbeispiele and ökonomische Aspekte der Trocken bearbeitung, Trocken bearbeitung von Metallen, *Proc. of the VDI-Seminar*.
- [50] **Suzuki, S.**, 2002. Developments in Oil Supplying Systems for MQL Cutting, *Journal of Japanese Society of Tribologists*, **47**, 538-543.
- [51] **Varadharajan, A.S., Philip, P.K. and Ramamoorthy, B.**, 1999. Investigations on hard turning with minimal pulsed jet of cutting fluid, *Proceedings of the International Seminar on Manufacturing Technology Beyond*, **19**, 173-179.
- [52] **Philip, P.K., Varadharajan, A.S. and Ramamoorthy, B.**, 2001. Influences of cutting fluid composition and delivery variables on performance in hard turning using minimal fluid in pulsed jet form, *Journal of the Institution of Engineers India*, **82**, 12-19.
- [53] **Wertheim, R., Ber, A. and Rotberg, J.**, 1992. Influence of high pressure flushing through the rake face of the cutting tool, *Annals of the CIRP*, **41**, 101–106.
- [54] **Chepe, M.A. and Philip, P.K.**, 1994. Cutting fluid injection at tool–chip interface to improve machining performance, *Journal of the Institution of Engineers India*, **75**, 25-30.
- [55] **Mazurkiewicz, M., Kubala, Z. and Chow, J.**, 1989. Metal machining with high pressure water jet cooling assistance-a new possibility, *Journal of Engineering for Industry*, **111**, 7-12.
- [56] **Sharma, V.S., Dogra, M. and Suri, N.M.**, 2009. Cooling techniques for improved productivity in turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **49**, 435-453.
- [57] **Özdemir, U. ve Erten, M.**, 2003. Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, **1**, 37-38.
- [58] **Trent, E.M. and Wright, P.K.**, 1999. *Metal Cutting*, Butterworth Heinemann, New Delhi.
- [59] **Ay, İ.**, 2010. Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, *Ders Notu*.
- [60] **Aksulu, M., Ganioglu, O. ve Yandayan, T.**, 2011. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri, *TMMOB 4.Ulusal Ölçüm bilim Kongresi*, Eskişehir.
- [61] **Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M. ve Altunpak, Y.**, 2012. Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri Ders Kitabı, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.
- [62] **Uluğ, D.**, 2012. Kaplamalı ve Kaplamasız Sementit Karbür Takımlar İçin Taylor Takım Ömrü Modeli'ndeki “n” Üstel Değerinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



## ÖZGEÇMİŞ

1981 Düzce doğumluyum. 1997 yılında Kahramanmaraş Lisesinde, 2006 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Talaşlı Üretim Öğretmenliği Lisans öğrenimimi tamamladım. 2006 - 2011 yılları arasında Kahramanmaraş ta özel bir şirkette makine bakım şefi olarak çalıştım. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladım. 2013 yılında Siirt Üniversitesi Siirt Meslek Yüksek Okulunda başladığım Öğretim Görevliliği görevime devam etmekteyim.

