



Investigation of the effect of cutting parameters on cutting force, surface roughness and chip shape in turning of Sleipner cold work tool steel

Bariş Özlü*^{ID}

Department of Machine and Metal Technologies, Aksaray University, Aksaray, 68100, Turkey

Highlights:

- Processing with turning method of sleipner cold work tool steel
- Investigation of the effects of cutting parameters on cutting force components
- Determination of optimal cutting parameters for minimum cutting force and surface roughness and examination of formed chip shapes

Keywords:

- Sleipner cold work tool steel
- Cutting force components
- Main cutting force
- Surface roughness
- Chip shapes

Graphical/Tabular Abstract

Sleipner cold work tool steel has high abrasion and compression strength, high toughness, high dimensional stability during heat treatment, weldability and easy machinability. Sleipner steel is widely used in plastic injection and sheet metal molds, in manufacturing of plastic and punching blades. In addition, the fact that it is suitable for surface coating techniques such as TiN, CrN by PVD method has led to its widespread use in industrial applications. Due to the high surface quality and dimensional stability required in the mold industry, critical machining operations are preferred. The demand for high surface quality and dimensional stability after machining it is important to predetermine cutting parameters. Since high surface quality and dimensional stability are desired after machining, it is necessary to determine the cutting parameters in advance. It is therefore important to determine machining parameters such as appropriate cutting speed, feed rate and cutting tool geometry.

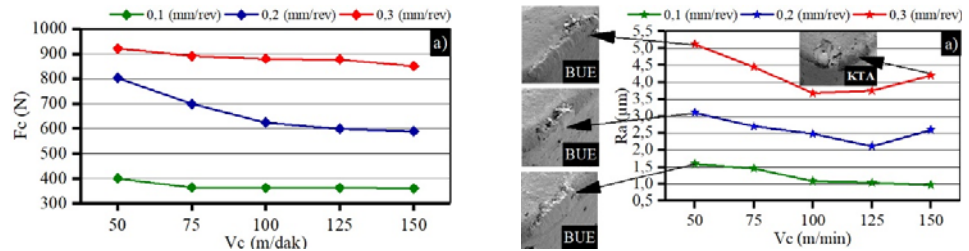


Figure A. Variation of main cutting force and surface roughness depending on cutting speed and feed rate

Article Info:

Research Article
Received: 31.12.2019
Accepted: 10.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.668169

Correspondence:

Author: Barış Özlü
e-mail: barisozlu@aksaray.edu.tr
phone: +90 382 288 20 00-2017

Purpose: In this study, Sleipner cold work tool steel was turned using different cutting parameters. The effects of cutting parameters on cutting force components and main cutting force, chip shapes and surface roughness were investigated experimentally.

Theory and Methods:

A KISTLER 9257B type piezoelectric dynamometer, which can measure the cutting force components at the same time, was used for the measurement of the cutting forces in the turning experiments. Signals from the dynamometer were transmitted with the KISTLER 5070A multichannel amplifier. Measured cutting force components were converted to numerical values with DynoWare software. At the end of the turning tests, the roughness values of the machined surfaces were measured with Mahr Perthometer M1. The abrasion of the cutting tool was examined by scanning electron microscope (SEM). The insize ISM-PM200SB digital microscope was used for the examination of chip shapes.

Results:

Cutting force components increased with increasing amount of feed rate and cutting force components decreased with increasing cutting speed. The lowest cutting force was obtained at 359,6 N in 100 m/min cutting speed and 0,1 mm/rev feed rate. The highest cutting force was measured at 921,3 N in 50 m/min cutting speed and 0,3 mm/rev feed rate. Among the machined surfaces the lowest surface roughness was obtained as 0.97 µm at 150 m/min cutting speed and 0.1 feed rate. The highest surface roughness was found to be 5.12 µm at 50 m/min cutting speed and 0.3 mm/rev feed rate. In the parameters in which the lowest cutting force and surface roughness were measured, chip shapes were similar to spiral type chip shape.

Conclusion:

In literature research, no study was found to examine the effects of the cutting parameters of Sleipner cold work tool steel on cutting force components, main cutting force, surface roughness and chip shapes. In this context, optimum cutting conditions will be determined by turning tests and negative effects of cutting parameters will be minimized. Therefore, this study is thought to fill the gap in the literature by machining Sleipner cold work tool steel.



Sleipner soğuk iş takım çeliğinin tormalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş şekli üzerine etkisinin incelenmesi

Barış Özlü*^{ID}

Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Ve Metal Teknolojileri Programı, 68100, Aksaray, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Manşon soğuk iş takım çeliğinin tormalama yöntemi ile işleme
- Kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenleri üzerindeki etkilerinin araştırılması
- Minimum kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesi ve oluşan talaş şekillerinin incelenmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 31.12.2019
Kabul: 10.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.668169

Anahtar Kelimeler:

Sleipner soğuk iş takım çeliği,
kesme kuvveti bileşenleri,
esas kesme kuvveti,
yüzey pürüzlülüğü,
talaş şekli

ÖZ

Yapılan çalışmada, Sleipner soğuk iş takım çeliğinin tormalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenlerine, yüzey pürüzlülüğüne ve talaş oluşumuna etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Tormalama deneylerinde CVD yöntemi ile kaplanmış sementit karbür kesici takım kullanılmıştır. Deneyler beş farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Kesici takım aşınmaları tarama elektron mikroskobu ile (TEM) incelenmiştir. Sonuç olarak, kesme kuvveti bileşenlerinde esas kesme kuvveti, pasif kuvvet ve ilerleme kuvvetinden daha fazla kesme parametrelerinden etkilenmiştir. En düşük kesme kuvveti 100 m/dak kesme hızında ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 359,6 N elde edilmiştir. En yüksek kesme kuvveti 50 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 921,3 N ölçülmüştür. İşlenmiş yüzeyler arasında en düşük yüzey pürüzlülüğü 150 m/dak kesme hızında ve 0,1 ilerleme miktarında 0,97 µm elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü ise 50 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 5,12 µm olmuştur. Düşük kesme hızlarında kullanılan kesici takımlara talaş yapışmasının olduğu görülmüştür. Ayrıca, yüksek kesme hızlarında ve ilerleme miktarlarında kullanılan kesici takımlarda aşınmalar olmuştur. En düşük kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü parametrelerde birleşik ve spirall talaş tiplerine benzer talaş şekilleri görülmüştür.

Investigation of the effect of cutting parameters on cutting force, surface roughness and chip shape in turning of Sleipner cold work tool steel

H I G H L I G H T S

- Processing with turning method of sleipner cold work tool steel
- Investigation of the effects of cutting parameters on cutting force components
- Determination of optimal cutting parameters for minimum cutting force and surface roughness and examination of formed chip shapes

Article Info

Research Article
Received: 31.12.2019
Accepted: 10.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.668169

Keywords:

Sleipner cold work tool steel,
cutting force components,
main cutting force,
surface roughness,
chip shape

ABSTRACT

In this study, the effects of cutting parameters on cutting force components, surface roughness and chip formation in turning Sleipner cold work tool steel has been examine experimentally. In turning experiments were used cemented carbide cutting tools coated with CVD method. Experiments were carried out at five different cutting speeds, three different feed rates and constant depth of cut. Cutting tool wears was examined by scanning electron microscopy (SEM). As a result, the main cutting force in cutting force components was affected more by the cutting parameters than the passive force and the feed force. The lowest cutting force was obtained at 359,6 N in 100 m/min cutting speed and 0,1 mm/rev feed rate. The highest cutting force was measured at 921,3 N in 50 m/min cutting speed and 0,3 mm/rev feed rate. Among the machined surfaces the lowest surface roughness was obtained as 0,97 µm at 150 m/min cutting speed and 0,1 feed rate. The highest surface roughness was found to be 5,12 µm at 50 m/min cutting speed and 0,3 mm/rev feed rate. It has been observed that there is chip adhesion to cutting tools used at low cutting speeds. Furthermore, there was wear on the cutting tools used at high cutting speeds and feed rates. Chip shapes similar to compound and spiral chip types were observed in the parameters where the lowest cutting force and surface roughness were measured.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Soğuk iş takım çelikleri, çeşitli kalıp bileşenlerinin ve takımların imalatında kullanılan özel bir malzeme sınıfını oluşturmaktadır. Bu malzemeler, özel alaşımlarıyla istenen yüksek mukavemet, darbelere karşı dayanıklılık, iyi sertleşebilme ve yüksek aşınma direnci özellikleri sergilemektedirler [1]. Çalışmada kullanılan Sleipner soğuk iş takım çeliği, yüksek aşınma dayanımı, yüksek tokluk, yüksek basma dayanımı, ısıl işlemede yüksek boyutsal kararlılık, kaynak edilebilirlik, kolay işlenebilirlik özellikleri ile genel kullanım amaçlı üretilmiştir. Sleipner çeliği plastik enjeksiyon kalıplarında, sac metal kalıplarında, plastik ve dilme bıçaklarının imalatında kullanılması ile birlikte, PVD yöntemi ile TiN ve CrN gibi yüzey kaplama teknikleri ile kaplanmaya da uygun olduğu bilinmektedir.

Talaşlı imalat, temel olarak iş parçası üzerinde bulunan fazla malzemenin, kesici takımlar yardımıyla uzaklaştırıldığı bir talaş oluşturma işlemidir [2]. Tek noktadan kesme yapabilen kesici takımlar ile tornalama işlemi en eski ve en popüler talaşlı imalat yöntemlerinden biri olmuştur. Yüzey kalitesini etkilemeden, düşük işleme süresine sahip çeşitli uygulamalarda bile taşlamanın yerini almıştır. Özellikle talaşlı imalat operasyonlarında uygun kesme parametrelerinin ve kesici takımın seçilmesi verimli operasyonlar elde etmek için çok önemlidir. Talaşlı imalat operasyonları için doğru seçilmiş kesme parametreleri ve kesici takım yüksek verimlilik, istenen yüzey pürüzlülüğü ve düşük maliyet gibi önemli avantajlar sağlamaktadır [3]. Bu bağlamda tornalama operasyonlarında kesme kuvveti ve iş parçasının yüzey pürüzlülüğü yaygın olarak incelenen iki temel kriterdir [4]. Tornalama operasyonlarında yüzey tamlığı, kesici takım aşınması, kesici takım kırılması, kesme sıcaklığı ve titreşim gibi birçok faktörden etkilenen kesme kuvvetlerinin incelenmesinin önemine dikkat çekmiştir [5].

Tornalama operasyonlarındaki en önemli araştırmalardan biride kesme kuvvetinin analizidir. İşleme sırasında minimum güç tüketimi elde etmek, kesici takımın ve iş parçasının zorlanması sonucu oluşan olumsuzluklar her zaman araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Kesme kuvveti bileşenleri (esas kesme kuvveti “Fc”, ilerleme kuvveti “Ff” ve Radial (Pasif) kuvveti “Fp”) arasında birinci güç tüketimini esas kesme kuvveti “Fc” belirgin şekilde etkiler ve esas kesme kuvvetinin “Fc” tahmini için yaygın olarak kullanılan denklem Eş. 1’de verilmiştir [6].

$$F_c = k_c * a_p * f \quad (1)$$

Eş 1’e göre kesme derinliği (ap), ilerleme miktarı (f) ve özgül kesme direncinin (kc) esas kesme kuvvetini etkilediği görülmüştür. Bu etkiyi incelemek ve işleme sırasındaki güç tüketimini optimize etmek için farklı takım ve iş malzemeleri kullanarak farklı modeller ile çok sayıda çalışmalar devam etmektedir [6]. İşleme deneylerinde araştırmacıların ilgisini çeken bir başka önemli çıktıda, işlenen parçaların yüzey pürüzlülüğüdür. Çünkü yüzey pürüzlülüğü birlikte çalışan

parçaların performanslarını ve üretim maliyetini etkilemektedir [7]. Yüzey pürüzlülük değerleri, işlenmiş parçanın yüzeyindeki tepe ve vadilerin ölçüm sonuçlarının ortalamaları hesaplanarak belirlenmektedir.

Yüzey pürüzlülük değerlerinin teorik tahmininde Eş. 2’de verilen denklem yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu eşitliğe göre temel olarak iş parçasının yüzey kalitesi ilerleme miktarından ve kesici takım uç yarıçapından etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülük değeri ilerleme miktarı ile uç yarıçapının bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir. Eş. 2’den teorik ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değeri ilerleme miktarının (f) karesi ile doğru orantılı olup, uç yarıçapı (rc) ile ters orantılı olduğu görülmektedir [8, 9].

$$Ra = f^2 / (32 * rc) \quad (2)$$

Eş. 2 incelendiğinde, işlenmiş parçanın yüzey kalitesini artırmak için ilerleme miktarının azaltılması veya kesici takım uç yarıçapının artırılmasının gerektiği görülmektedir. Ancak Eş. 2 ile ilgili yapılan uygulamalı çalışmalarda bazı sorunlarla karşılaşılabilir. İşleme sırasında yüzey pürüzlülüğünü, kesme parametreleri, titreşim, talaş oluşumu, iş parçası ve kesici takım malzemesi gibi faktörlerin de etkileyebileceği bilinmektedir [10, 11].

Literatürde çeliklerin işlenmesi sırasında kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında, ısıl işlem ile 60 HRC sertliğe ulaştırılan AISI D3 soğuk iş takım çeliği seramik kesici takım kullanılarak sert tornalama deneylerine tabi tutmuşlar. Sert tornalama deneylerinde kullanılan kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve güç tüketimi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre, yüksek sertliğe sahip iş parçalarının işlenmesinde daha yüksek kesme kuvvetlerinin olduğu görülürken, kesme kuvvetlerinin çoğunlukla ilerleme miktarından ve kesme derinliğinden etkilendiğini ortaya konulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde en etkin parametrenin ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir [12]. Başka bir çalışmada, iki farklı dubleks paslanmaz çeliğin soğutma sıvısı kullanılmadan tornalamasında, kesme parametrelerini Taguchi yöntemi kullanılarak optimizasyonu yapılmıştır. Tornalama deneyleri TiC ve TiCN kaplı karbür kesici takımlarla sabit kesme derinliğinde üç farklı kesme hızı ve ilerleme miktarında gerçekleştirilmiştir. Kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve takım aşınması üzerine etkilerinin analizi yapılmıştır. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetini etkileyen önemli parametreler olduğu ortaya konmuştur. Kesme hızının, takım aşınmasını etkileyen en önemli parametre olduğu ifade edilmiştir. Doğrulama deneyleri yapılarak tahmin edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında %8’lik bir sapmanın olduğu belirlenmiştir [13]. Diğer bir çalışmada, Ti6Al4V alaşımının kuru tornalanmasında kesme parametrelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri

araştırılmıştır. CVD ve PVD kaplı karbür kesici takımlar kullanılarak farklı kesme parametreleri ve kesme boyu gibi değişkenlerle tormalama deneyleri yapılmıştır. Kesme parametrelerinin ve kesme uzunluğunun artırılması ile CVD ve PVD kaplı kesici takımlarda aşınmanın arttığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, kesme hızının artmasıyla takım aşınması artmış ve yüzey pürüzlülüğünün optimum seviyeye ulaştığı belirtilmiştir. İlerleme miktarının, kesme uzunluğunun ve kesme derinliğinin artmasının yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artmasının neden olduğu ve PVD kaplı kesici takımların aşınma değerleri CVD kaplı kesici takımlara göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, PVD kaplamalı kesici takımlar ile işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin, CVD kaplamalı kesici takımlarla elde edilenlere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür [14]. Farklı bir çalışmada, sertleştirilmiş AISI D2 çeliği sert tormalanmasında geleneksel seramik takım ve silici seramik takımlar kullanılarak işlenebilirlik parametrelerinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Genel olarak, silici seramik takımlarla işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin, geleneksel seramik takımlara göre daha iyi olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra kesme süresinin ve kesme hızının seramik kesici takımlarda yanak aşınmasını etkileyen ana parametrelerin olduğunu ortaya konmuştur. Geleneksel seramik takım ve silici seramik takımlarla yapılan deneylerde kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ilerleme miktarından güçlü bir şekilde etkilendiği belirtilmiştir [15]. Diğer bir çalışmada, derin kriyojenik ve temperlemeye tabi tutulan AISI D2 çeliği sert tormalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması araştırılmıştır. Deney numunelerine uygulanan derin kriyojenik işlemlerin mekanik özellikler ve mikroyapı üzerine etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda kaplamalı seramik takımla işlenen numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri, kaplamasız seramik takımlarla işlenen numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kaplamalı seramik takımın performansı, tüm takım aşınma deneylerinde daha iyi sonuçlar göstermiştir [16]. Farklı bir çalışmada, sertleştirilmiş AISI D3 çeliği seramik kesici takımla sert tormalama işlemine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda yanak aşınmasının tahmini için Yanıt Yüzey Metodolojisi kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Yamak aşınması üzerine kesme hızının, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin birleşik etkilerini kontur ve yüzey grafikleri kullanılarak incelenmiştir. Takım yanak aşınmasında en etkin parametrenin kesme derinliği olduğunu belirlenirken, kesme hızının ve ilerleme miktarının çok az etkiye sahip olduğunu ortaya konmuştur [17].

Literatür araştırmaları sonucunda ticari SleiPner olarak adlandırılan soğuk iş takım çeliğinin mekanik özellikleri, mikroyapısı ve şekillendirilebilirliği üzerine çalışmaların olduğu görülmüştür. Ancak, SleiPner çeliğinin tormalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenlerine, yüzey pürüzlülüğüne ve talaş oluşumuna etkisi üzerine çok az veya hiç araştırma yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, belirlenen kesme parametreleriyle

SleiPner soğuk iş takım çeliğinin tormalanmasında meydana gelen kesme kuvveti bileşenleri, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş şekline etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. İş Parçası Malzemesi (Workpiece Material)

Yapılan çalışmada kullanılan, soğuk iş takım çeliği üretici firma tarafından ticari 'SLEIPNER' olarak adlandırılmıştır. Tormalama deneylerinde kullanılan iş parçası 35 mm çapında ve 300 mm boyunda temin edilmiştir. 235 HB sertliğe sahip SleiPner soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

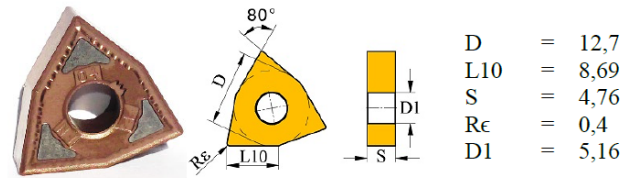
Tablo 1. Deneysel çalışmada kullanılan SleiPner soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% Ağırlık).

(Chemical composition of SleiPner cold work tool steel used in experimental study (weight %))

Malzeme	Elementler					
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
SleiPner	0,89	0,91	0,48	7,82	2,52	0,47

2.2. Takım Tezgâhı ve Kesici Takım (Machine Tool and Cutting Tool)

Deneyler kuru işleme şartlarında FANUC kontrol ünitesine sahip Johnford TC35 CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın gücü 10 KW olup, tezgâh değişken kademesiz hıza sahip iş mili 3500 dev/dak hızı çıkabilmektedir. Tormalama deneyleri Kennametal tarafından üretilen WNMG080404FN geometrisinde sementit karbür kesici takımlar ile gerçekleştirilmiştir. Kesici takımlar CVD yöntemi ile TiCN-Al₂O₃-TiOCN kaplanmış ve KCP25B kalite gurubunda üretilmiş olup hassas son işlemlerde kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiştir. Kesici takımlar DWLNR 2525 M08 KC04 kodlu bir takım tutucuya bağlanmıştır. Tormalama deneylerinde kullanılan kesici takım Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan kesici takımın geometrisi (The geometry of the cutting tool used in the study.) [17].

2.3. Kesme Parametreleri (Cutting Parameters)

Tormalama deneyleri, kesici takım üretici firması kataloğunda belirtilen değerler dikkate alınarak beş farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve sabit kesme derinliğinde yapılmıştır. Tormalama deneyleri için belirlenen kesme parametreleri ve seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Tornalama deney parametreleri ve seviyeleri
(Turning experimental parameters and levels)

Kesme Parametreleri	Seviyeler				
	1	2	3	4	5
Kesme Hızı, Vc (m/dak)	50	75	100	125	150
İlerleme Miktarı, f (mm/dev)	0,1	0,2	0,3		
Kesme Derinliği, ap (mm)	1				

2.4. Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü (Cutting Force and Surface Roughness Measurement)

Tornalama deneyleri sırasında oluşan kesme kuvveti bileşenlerini aynı anda ölçebilen A KISTLER 9257B tipi piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreden gelen sinyallerin veri okuma kartına aktarılmasında KISTLER 5070A çok kanallı amplifikatör kullanılırken, ölçülen kesme kuvveti bileşenleri DynoWare yazılımı ile sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Her bir tornalama deneyi sonrası tornalanan yüzeylerin kalitesini etkileyen parametrelerin belirlenmesi için işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Mahr-Perthometer M1 yüzey pürüzlülük cihazıyla işlenen yüzeylerin üzerinde pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri iş parçası eksenine paralel olacak şekilde iş parçası 90° döndürülerek dört farklı ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sonucunda bulunan yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinin

aritmetik ortalaması hesaplanarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir.

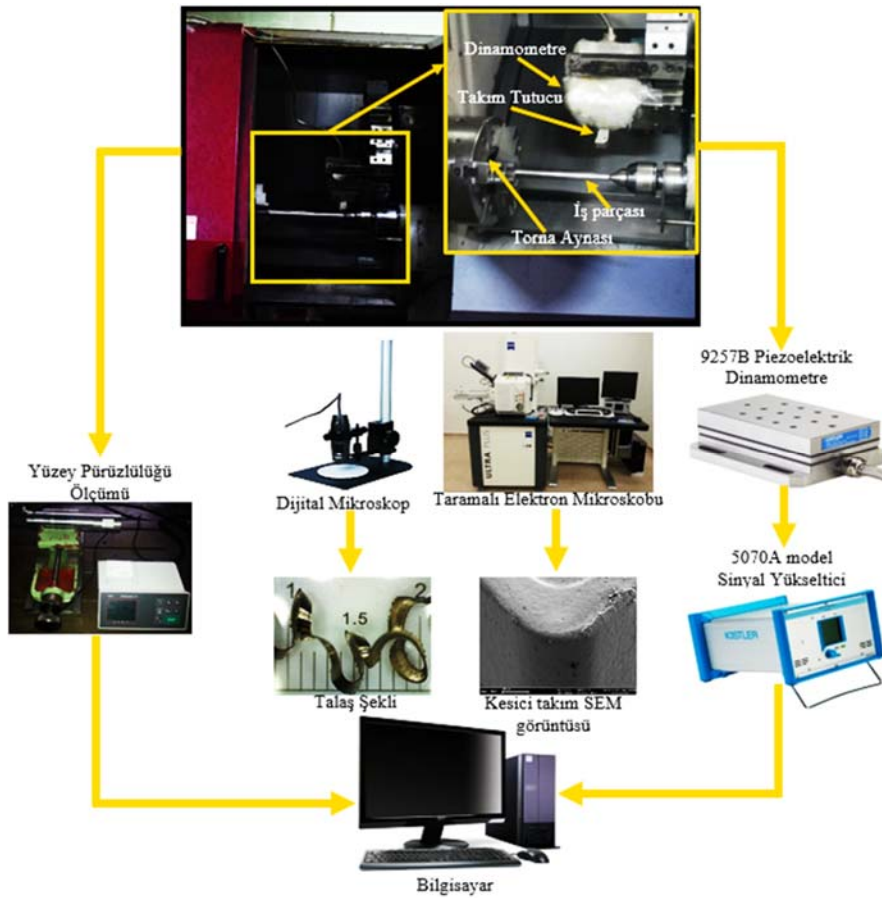
2.5. Kesici Takım Aşınması ve Talaş Şeklinin İncelenmesi (Cutting Tool Wear and Chip Shape Investigation)

Tornalama deneylerinde kullanılan kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca farklı kesme hızlarında, ilerleme miktarlarında ve sabit talaş kaldırma hacminde oluşan talaşlar Insize marka ISM-PM200SA model dijital mikroskopla incelenmiştir. Yapılan çalışmada tornalama deneyleri ve adımları şematik olarak Şekil 2’de verilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Cutting Force)

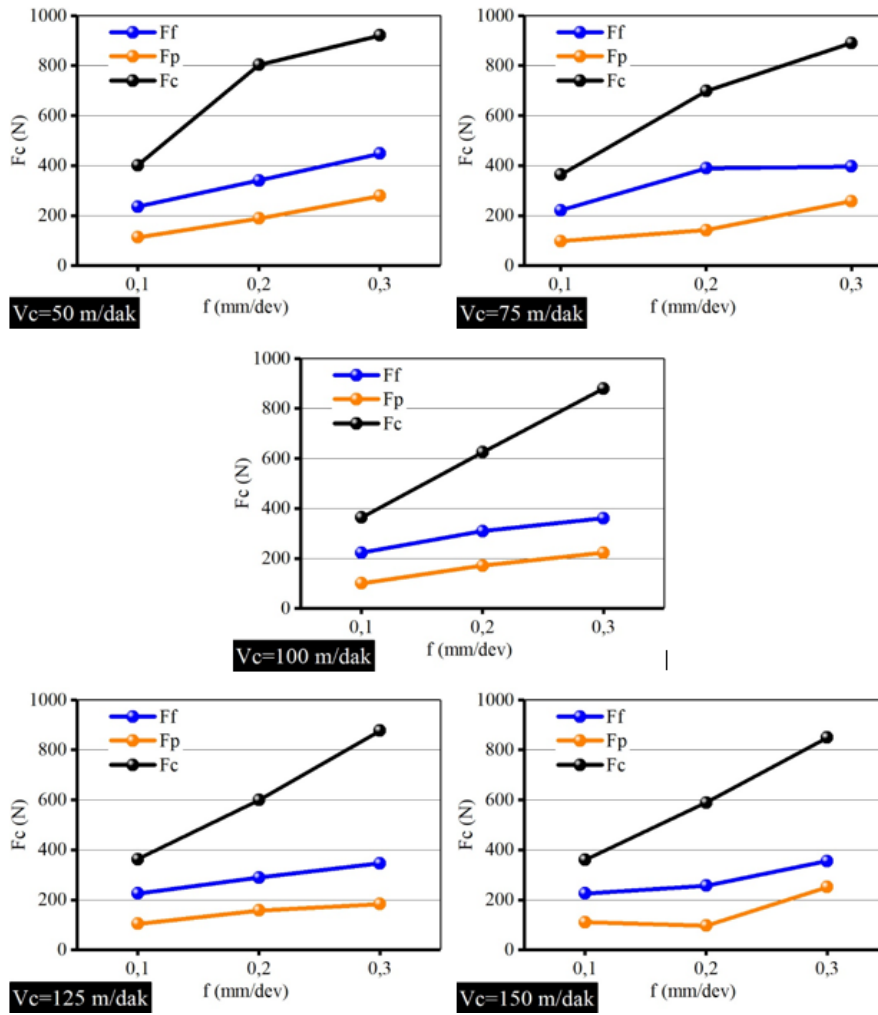
Sleipner soğuk iş takım çeliğinin 0,4 mm uç yarıçapına sahip CVD yöntemiyle kaplanmış sementit karbür kesici takımla beş farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve sabit kesme derinliğinde yapılan tornalama deneyleri sırasında ölçülen esas kesme kuvveti bileşenleri Şekil 3’de verilmiştir.



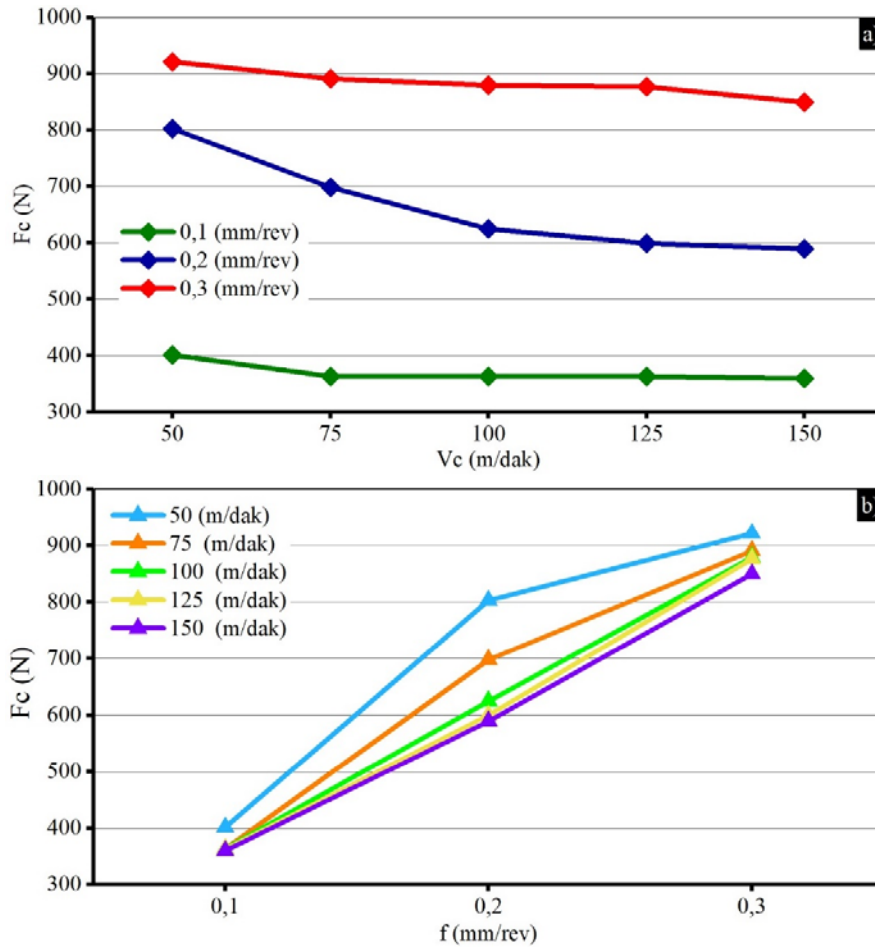
Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Schematic representation of the experimental setup)

Kesme kuvveti bileşenleri arasında teorik olarak $F_c : F_f : F_p = 4 : 2 : 1$ şeklinde bir ilişki bulunmaktadır. Burada esas kesme kuvveti (F_c), pasif kuvvetin (F_p) dört katı ve ilerleme kuvvetinin (F_f) iki katı olduğu görülmektedir [19]. Şekil 3 incelendiğinde kesme kuvveti bileşenleri F_c , F_f ve F_p sırasıyla 362,7-921,3 N, 221,15-447,8 N ve 97-278,75 N aralıklarında ölçülmüştür. Ölçülen kesme kuvveti bileşenleri arasında da yaklaşık olarak $4 : 2 : 1$ ilişkisinin olduğu görülmektedir. Şekil 3'te ilerleme miktarının artması ile beş farklı kesme hızında kesme kuvveti bileşenlerinin'de (F_c , F_f ve F_p) genel bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artması, biçimlenmemiş talaş kesitini artırdığından talaşın deforme edilmesi için gerekli olan gücü artırmakta böylece artan ilerleme miktarı ile kesme kuvveti bileşenleri de artmaktadır [20, 21]. Kesme hızının artması ile kesme kuvveti bileşenlerinden, F_f ve F_p 'de önemli ölçüde değişimlerin olmadığı görülmektedir. Tornalama deneyleri sonucunda, kesme hızının 150 m/dak ve ilerleme miktarının 0,1 mm/dev parametrelerde yapılan deneylerde kesme kuvveti bileşenlerinden F_c için 359,6 N ile en düşük değer ölçülmüştür. Ayrıca 50 m/dak kesme hızında ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarında 921,3 N ile en yüksek F_c değeri

görülmüştür. Tornalama deneylerinde ölçülen kesme kuvvetleri bileşenlerinden, F_c 'nin kesme hızı ve ilerleme miktarı ile etkileşimi Şekil 4a'da verilmiştir. Bütün ilerleme miktarlarında en yüksek F_c değeri en düşük kesme hızlarında elde edilmiştir. Bunun nedeni, düşük kesme hızlarında kesme bölgesinin çevresinde daha az ısının oluşması dolayısı ile iş parçasının sertliğinin azalmaması kesme kuvvetlerinin yüksek çıkmasının bir nedeni olarak bildirilmiştir [22]. Bununla birlikte düşük kesme hızlarında daha büyük F_c değerlerinin oluşması, kesici takım ile iş parçası arasındaki daha yüksek sürtünme katsayısı ile ilişkilidir [23]. Kesme hızının 50 m/dak ve ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'de yapılan deneylerde F_c değeri 401,2 N olmuştur. Aynı kesme hızında ilerleme miktarının 0,2 mm/dev ve 0,3 mm/dev çıkarılması F_c değerlerinde sırası ile %100 ve %129,6 oranlarında artışların olduğu görülmüştür. Kesme hızının 50 m/dak'dan, 150 m/dak'ya kadar çıkarılması ile 0,1 mm/dev, 0,2 mm/dev ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarlarında F_c değerleri ortalama %10,3, %26,6 ve %7,8 oranlarında azalma olmuştur. Kesme kuvvetlerindeki bu azalmalar kısmen takım talaş ara yüzeyindeki temas alanının azalması ve kısmen de artan kesme hızıyla kesme bölgesindeki sıcaklığın



Şekil 3. Beş farklı kesme hızı için ilerleme miktarına göre kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi
(Change of cutting force components according to feed rate for five different cutting speeds)



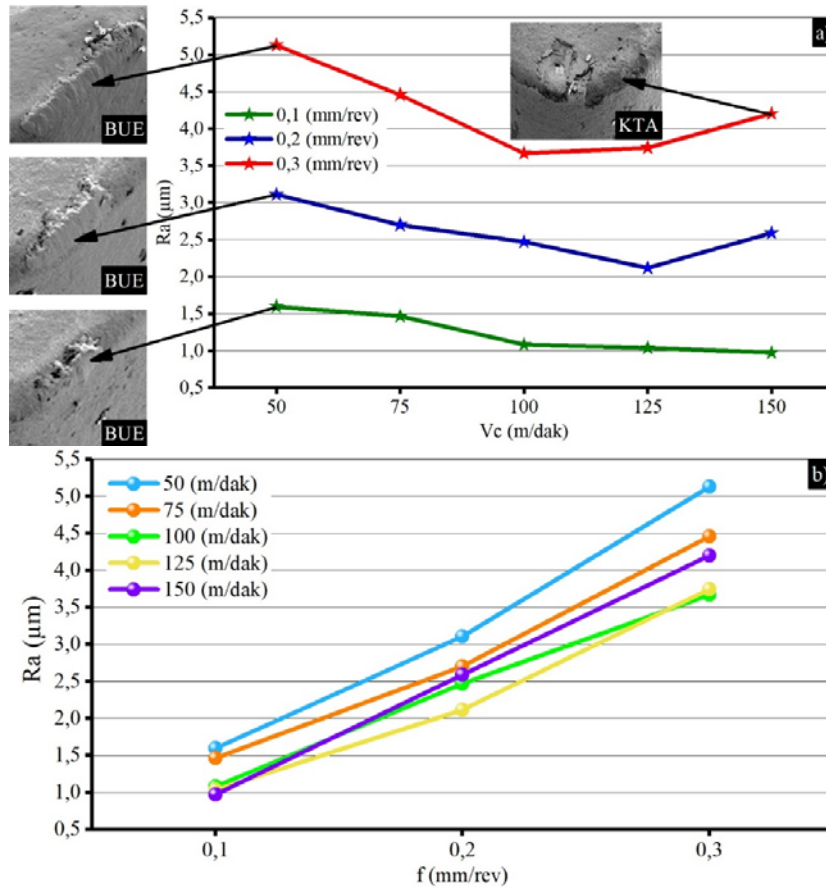
Şekil 4. Esas kesme kuvvetinin (Fc) a) Kesme hızına ve b) İlerleme miktarına bağlı olarak değişimi
(Change of main cutting force (Fc) depending on a) Cutting speed and b) Feed rate)

artması sonucu bu bölgedeki malzemenin kayma dayanımının düşmesiyle açıklanabilir [24]. İlerleme miktarına bağlı esas kesme kuvvetlerindeki (Fc) değişimler belirlenerek Şekil 4b'de gösterilmiştir. Grafikteki eğrilerin eğimlerinden de anlaşılacağı üzere bütün kesme hızları için ilerleme miktarının artışı ile birlikte Fc değerlerini önemli oranlarda etkilediği açıkça görülmektedir. İlerleme miktarının artışıyla talaş kesit alanı artar, talaş kesit alanının artması talaş kaldırma sürecinde daha fazla güce ihtiyaç duyulmasına neden olur. Bu sebepten dolayı ilerleme miktarının artması esas kesme kuvvetindeki artışın temel nedenidir [25]. 0,1mm/dev ilerleme miktarında en yüksek Fc değeri 50 m/dak kesme hızında 401,2 N iken, kesme hızının 150 m/dak kadar artırılması ile esas kesme kuvveti (Fc)'de %10,3 (359,6 N) oranında azalma olmuştur. İlerleme miktarının 0,1 mm/dev'den 0,3 mm/dev çıkmasıyla bütün kesme hızlarında yapılan deneylerde Fc değerlerinde ortalama %139 oranında bir artış olmuştur. Örneğin; 0,1 mm/dev ilerleme miktarında 100 m/dak kesme hızında Fc değeri 363,1 N ölçülmüştür. İlerleme miktarının 0,3 mm/dev kadar artırılması ile esas kesme kuvveti (Fc) ortalama %142,2 (879,4 N) oranında artış olmuştur. Ayrıca Eş. 1'de verilen ($F_c = k_c \cdot a_p \cdot f$) modelde özgül kesme direnci ve sabit kesme derinliğinde yapılan deneylerde ilerleme miktarının

artması ile esas kesme kuvvetlerinin (Fc) artması verilen modelle uyumluluk göstermiştir.

3.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi (Evaluation of Surface Roughness)

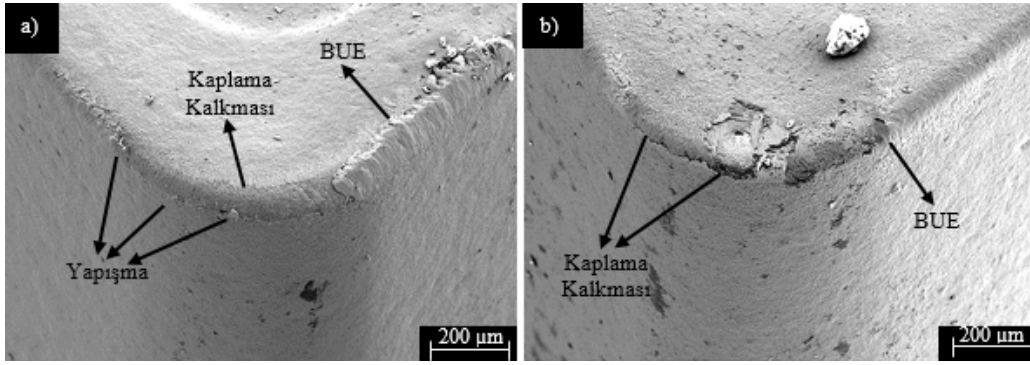
Tornalama deneylerinde işlenen yüzeylerde meydana gelen yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ve ilerleme miktarı ile nasıl ilişkili olduğunu anlamak için deney sonuçları Şekil 5'de gösterilmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalar, yüzey pürüzlülüğünün kesme hızından etkilendiğini göstermektedir [26-28]. Bu nedenle, kesme hızının etkisini ayrıntılı olarak incelemek için beş kesme hızı seviyesi göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 5a'da 50 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğü değeri 1,6 μm ölçülmüştür. Aynı kesme hızında ilerleme miktarının 0,2 ve 0,3 mm/dev değerlerine çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değerleri önemli bir artış sergileyerek sırası ile 3,1 μm ve 5,1 μm olmuştur. 0,1 mm/dev ilerleme miktarında yapılan deneylerde kesme hızının 150 m/dak'ya çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değeri 0,97 μm ile en düşük seviyesi ölçülmüştür. 0,2 mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının 90 m/dak'dan 125 m/dak'ya kadar artırılmasıyla işlenen yüzeyin pürüzlülük değerleri 2,47 μm olmuştur. 0,3



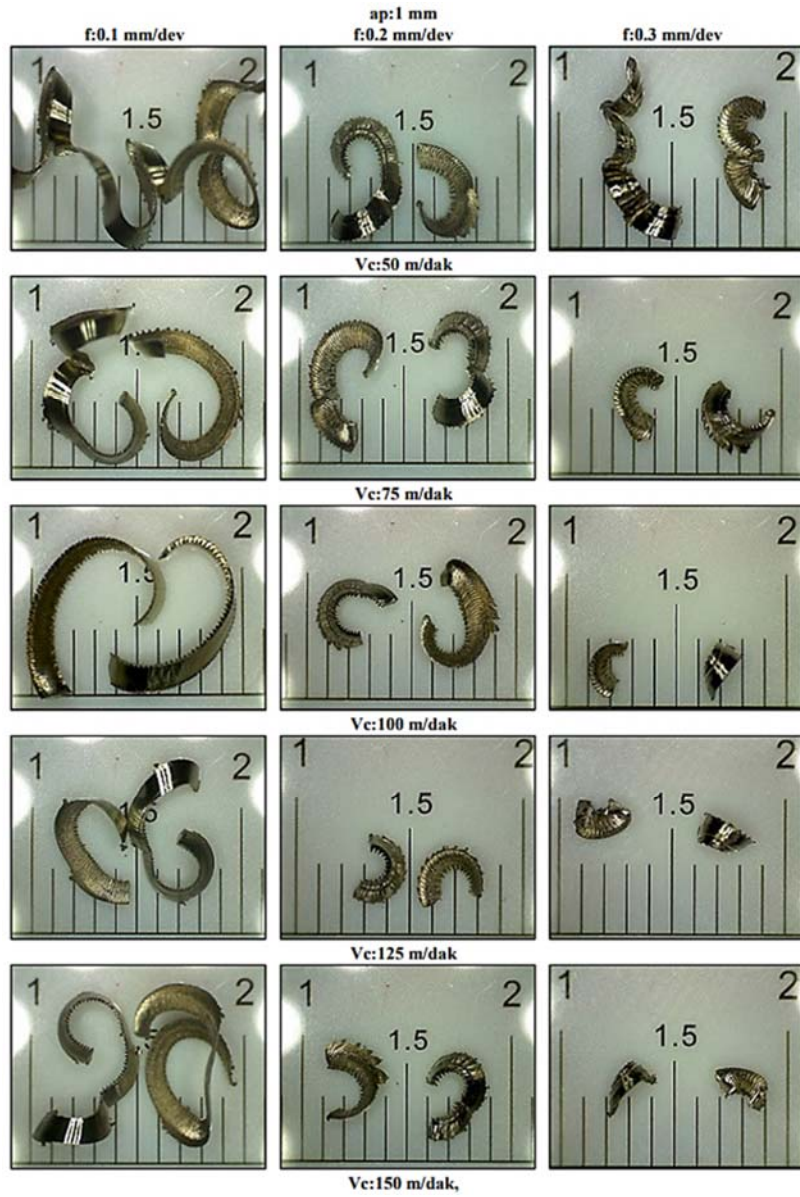
Şekil 5. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) a) Kesme hızına ve b) İlerleme miktarına bağlı olarak değişimi (change of average surface roughness depending on cutting speed and feed rate)

mm/dev ilerleme miktarında kesme hızının 90 m/dak'dan 100 m/dak'ya kadar artırılmasıyla yüzey pürüzlülüğü değeri 3,6 μm olmuştur. Şekil 5a'da görüldüğü gibi düşük kesme hızlarında, kesici takım üzerinde yapışan iş parçası malzemesi yüzey pürüzlülüğünü artırdığı düşünülmektedir. Yapışan iş parçası malzemesi büyüdükçe kararsız hale gelir ve sonunda devam eden talaşlı imalat işlemi sonucu maruz kaldığı gerilmelere dayanamaz ve kırılarak kesici takımdan ayrılır. Talaşlı imalatta, kesme hızının artırılması ile yapışan iş parçası malzemesinin oluşum eğiliminin azalması yüzey pürüzlülüğünde bir azalmaya neden olmaktadır [29, 30]. 0,2 ve 0,3 mm/dev ilerleme miktarlarında yapılan deneylerde kesme hızlarının belli bir değere kadar artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Kesme hızının artması ile azalan yüzey pürüzlülük değerlerini, yüksek kesme hızlarında sıcaklığa bağlı takım talaş temas alanının ve takım talaş temas alanındaki sürtünmenin azalması ile açıklanmaktadır [31, 32]. 0,2 mm/dev ilerleme miktarında 125 m/dak kesme hızında yapılan deneyden sonra kesme hızının 150 m/dak'ya çıkarılması ile yapılan deneyde yüzey pürüzlülük değeri ortalama %22,4 oranında artmıştır. İlerleme miktarının 0,3 mm/dev kesme hızının 100 m/dak sonra kesme hızının 150 m/dak'ya artırılması ile yapılan deneyde yüzey pürüzlülük değeri ortalama %14,5 oranında artmıştır. Kesme hızının (150 m/dak) artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin artması kesme bölgesinde oluşan

sıcaklığın hızlı artması kesici takımın dayanımını azalmasına neden olacak, bu durum dayanımı azalan kesici takımın daha fazla aşınması ile açıklanabilir. Şekil 5b'de 0,1 mm/dev ilerleme miktarında yapılan tornalama deneylerinde 150 m/dak kesme hızında 0,97 μm ile en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği görülürken, 50 m/dak kesme hızında ise 1,6 μm ile en yüksek yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği görülmektedir. Yapılan literatür araştırmasında tornalama deneylerinde kesme hızının belli bir değere kadar artırılması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalabileceği belirtilmiştir [33, 39]. Bu durum yüzey pürüzlülüğü ile kesme hızı arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu göstermektedir. İlerleme miktarının 0,3 mm/dev'e çıkarılması ile bütün kesme hızlarında en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır. Yapılan tornalama deneylerinde ilerleme miktarının artırılmasıyla işlenmiş yüzeylerdeki derin ve yüksek noktalar arasındaki mesafe artacağından, ölçülen yüzey pürüzlülük (Ra) değeri de artmıştır (Şekil 6). Yüzey pürüzlülüğünün, ilerleme miktarı ile doğru orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir. Teorik olarak yüzey pürüzlülüğünün hesaplamak için genel kabul görmüş Eş. 1'de, sabit kesici uç yarıçapı ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü ilerleme miktarının karesiyle doğru orantılı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, ilerleme miktarının azaltılması ile yüzey pürüzlülük değerleri düşme eğilimine gösterir.



Şekil 6. Tornalama deneylerinde kullanılan kesici takımların SEM görüntüleri a) 50 m/dak kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı, b) 150 m/dak kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı (SEM images of cutting tools used in turning experiments a) 50 m/min cutting speed, 0,3 mm/rev feed rate, b) 150 m/min cutting speed, 0,3 mm/rev feed rate)



Şekil 7. Tornalama deneyleri sonucu elde edilen talaş şekilleri (Chip Shape obtained from turning experiments)

3.3. Talaş Şekli (Chip Shape)

Talaşlı imalat operasyonlarında oluşan talaşın incelenmesi, kesme parametrelerinin etkilerinin daha iyi anlaşılması için önemlidir. Talaş oluşumu kesici takımın talaş açısı, kesme parametreleri, kesici takım ve iş parçası malzemesi gibi birçok faktörden etkilenmektedir [34, 35]. Tornalama deneylerinde kesme derinliği ve ilerleme miktarı arttırıldıkça talaş tipi akma talaş tipinden kopuk talaş tipine doğru değişmektedir [36].

Farklı kesme parametreleri ile yapılan tornalama deneylerinde oluşan talaşların dijital mikroskop görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. Deneyler sonucunda TS-ISO 3685-2015'e göre dolaşık, bitişik, kopuk, kırık ve sızal talaş şekilleri görülmüştür. Şekil 7 incelendiğinde düşük kesme hızlarında elde edilen talaş oluşum eğrilik yarıçapının, yüksek kesme hızlarında elde edilen talaş oluşum eğrilik yarıçapına kıyasla küçük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni işleme sırasında kesme düzlemi arasında kalan malzemenin ataletindeki değişikliklerden kaynaklanabilir [34]. Ayrıca, artan kesme hızı talaşın plastik deformasyonunu artırmasıyla, testere dişli talaşların oluşmasına neden olmaktadır [37]. Şekil 7'de görüleceği üzere, kesme kuvveti bileşenleri, esas kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takıma yapışan talaş oluşma eğilimi bakımından en iyi kesme koşulu olarak dikkati çeken (150 m/dak ve 0,1 mm/dev) deneyde, sızal tipi talaş şekline benzemektedir. Kesme hızının 50 m/dak ve ilerleme miktarının 0,1 mm/dev'de yapılan deneylerde istenmeyen dolaşık tip talaşın oluştuğu görülmüştür. Ayrıca deneyleri genelinde kopuk ve kırık talaş tiplerine benzer talaşların oluştuğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu araştırmada, yüksek mekanik özelliklere sahip Sleipner soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti bileşenleri (Fc, Ff ve Fp), yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve talaş oluşumuna etkileri deneysel olarak araştırılmış ve çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Beş farklı kesme hızında ilerleme miktarının artması ile kesme kuvveti bileşenlerini (Fc, Ff ve Fp) artmıştır. Kesme hızının artması ile kesme kuvveti bileşenlerinden esas kesme kuvvetinin (Fc) azaldığı görülmüştür.
- Yapılan bütün tornalama deneylerinde esas kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvvetine (Ff) göre ortalama %55,58 oranında ve pasif kuvvete (Fp) göre ortalama %74,3 oranında yüksek olduğu görülmüştür.
- Kesme hızı 50 m/dak ve ilerleme miktarı 0,3 mm/dev'de esas kesme kuvveti (Fc) 921,3 N ile maksimum değere ulaşmıştır. Kesme hızının 150 m/dak çıkarılması ve ilerleme miktarının 0,1 mm/dev düşürülmesi ile esas kesme kuvveti (Fc) yaklaşık %61 (359,6 N) oranında bir azalma ile minimum değerde ölçülmüştür.
- Yapılan deneylerde, ilerleme miktarındaki artışla birlikte yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinde çarpıcı bir artış olmuştur. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü (Ra)

üzerindeki etkisi ilerleme miktarının etkisinden daha az olduğu görülmüştür.

- Yapılan deneylerde, 0,1 mm/dev ilerleme miktarında ve 150 m/dak kesme hızında 0,97 μ m minimum yüzey pürüzlülüğü değeri ölçülmüştür. İlerleme miktarının 0,3 mm/dev çıkarılması ve kesme hızının 50 m/dak düşürülmesiyle yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri ortalama %426,3 (5,1 μ m) oranında artarak en yüksek yüzey pürüzlülük (Ra) değeri ölçülmüştür.
- Kesici takım geometrisini değiştiren kararsız yığıntı talaşın (BUE) ve takım aşınmasının olduğu deneylerde esas kesme kuvveti (Fc) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerinde artma olduğu gözlenmiştir.
- Kesme hızı 150 m/dak ve ilerleme miktarı 0,1 mm/dev'de yapılan tornalama deneylerinde elde edilen sonuçlarda iyi talaş sınıfına giren sızal tipi talaş şekli elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bushlya V.M., Gutnichenko O.A., Zhou J.M., Stahl J.E., Gunnarsson S., Tool wear and tool life of PCBN, binderless CBN and WBN-CBN tools in continuous finish hard turning of cold work tool steel, J. Superhard Mater., 36, 49-60, 2014.
2. Maity R.M., Chatterjee P., Chakraborty S., Cutting tool material selection using grey complex proportional assessment method, Mater. Des., 36, 372-378, 2012.
3. Rao C.J., Rao D.N., Srihari P., Influence of cutting parameters on cutting force and surface finish in turning operation, Procedia Eng., 64, 1405-1415, 2013.
4. Lalwani D.I., Mehta N.K., Jain P.K., Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hardturning of MDN250 steel, J. Mater. Process. Techno., 206, 167-179, 2008.
5. Shaw M.C., Metal Cutting Principles, Oxford University Press 2th end. New York, 2004.
6. Rodrigues L.L.R., Kantharaj A.N., Kantharaj B., Freitas W.R.C., Murthy B.R.N., Effect of cutting parameters on surface roughness and cutting force, Research Journal of Recent Sciences, 1, 19-26, 2012.
7. Bradley C., Automated surface roughness measurement, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 16, 668-674, 2000.
8. Nakamoto K., Katahira K., Ohmori H., Yamazaki K., Aoyama T., A study on the quality of micro-machined surfaces on tungsten carbide generated by PCD micro end-milling, CIRP Ann. Manuf. Techno., 61, 567-570, 2012.
9. Groover M.P., Principles of Modern Manufacturing, John Wiley & Sons, 4th Ed, 2011.
10. Özel T., Karpat Y., Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks, Int. J. Mach. Tools Manuf., 45, 467-479, 2005.
11. Benardos P.G., Vosniakos G.C., Predicting surface roughness in machining: a review, Int. J. Mach. Tools Manuf., 43, 833-844, 2003.
12. Aouici H., Bouchelaghem H., Yaltese M.A., Elbah M., Fnides B., Machinability investigation in hard turning of AISI D3 cold work steel with ceramic tool using

- response surface methodology, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 73, 1775-1788, 2014.
13. Selvaraj D.P., Chandramohan P., Mohanraj M., Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method, *Measurement*, 49, 205-215, 2014.
 14. Çelik Y.H., Kilickap E., Günay M., Investigation of cutting parameters affecting on tool wear and surface roughness in dry turning of Ti-6Al-4V using CVD and PVD coated tools, *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 39, 2085-2093, 2017.
 15. Davim J.P., Figueira L., Comparative evaluation of conventional and wiper ceramic tools on cutting forces, surface roughness, and tool wear in hard turning AISI D2 steel, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221, 625-633, 2007.
 16. Kara F., Karabatak M., Ayyıldız M., Nas E., Effect of machinability, microstructure and hardness of deep cryogenic treatment in hard turning of AISI D2 steel with ceramic cutting, *Journal of Materials Research and Technology*, 9, 969-983, 2020.
 17. Koshya P., Dewesa R.C., Aspinwalla D.K., High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~58 HRC), *J. Mater. Process. Technol.*, 127, 266-273, 2002.
 18. Kennametal, *Innovations master catalogue-cutting tools*, 2013.
 19. AB Sandvik Coromant, *Modern Metal Cutting*. Sandvik Coromant Technical Editorial Dept., Sweden, 1994.
 20. Tazehkandi A.H., Pilehvarian F., Davoodi B., Experimental investigation on removing cutting fluid from turning of Inconel 725 with coated carbide tools, *J. Cleaner Prod.*, 80, 271-281, 2014.
 21. Tazehkandi A.H., Shabgard M., Kiani G., Pilehvarian F., Investigation of the influences of polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) tool on the reduction of cutting fluid consumption and increase of machining parameters range in turning Inconel 783 using spray mode of cutting fluid with compressed air, *J. Cleaner Prod.*, 135, 1637-1649, 2016.
 22. Özlu B., Demir H., Türkmen M., The Effect of Mechanical Properties and the Cutting Parameters on Machinability of AISI 5140 Steel Cooled at High Cooling Rates After Hot Forging, *Journal of Polytechnic*, 22 (4), 879-887, 2019.
 23. Kalyan C., Samuel G.L., Cutting mode analysis in high speed finish turning of AlMgSi alloy using edge chamfered PCD tools, *J. Mater. Process. Technol.*, 216, 146-159, 2015.
 24. Çiftçi İ., Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools, *Tribology International*, 39 (6), 565-569, 2006.
 25. Çiftçi İ., Gökçe H., Optimisation of cutting tool and cutting parameters in machining of molybdenum alloys through the Taguchi Method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 34 (1), 201-213, 2019.
 26. Gharibi A., Kaynak Y., The influence of depth of cut on cryogenic machining performance of hardened steel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (2), 581-596, 2019.
 27. Joardar H., Das N.S., Sutradhar G., Singh S., Application of response surface methodology for determining cutting force model in turning of LM6/SiCP metal matrix composite, *Measurement*, 47, 452-464, 2014.
 28. Kumar R., Chauhan S., Study on surface roughness measurement for turning of Al 7075/10/SiCp and Al 7075 hybrid composites by using response surface methodology (RSM) and artificial neural networking (ANN), *Measurement*, 65, 166-180, 2015.
 29. Demir H., The effects of microalloyed steel pre-heat treatment on microstructure and machinability, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 35, 1041-1046, 2008.
 30. Akgün M., Demir H., Çiftçi İ., Optimization of surface roughness in turning Mg₂Si particle reinforced magnesium alloys, *Journal of Polytechnic*, 21 (3), 645-650, 2018.
 31. Ferreira R., Carou D., Lauro C.H., Davim J.P., Surface roughness investigation in the hard turning of steel using ceramic tools, *Mater. Manuf. Processes*, 31, 648-665, 2016.
 32. Demir H., Gündüz S., The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy, *Mater. Des.*, 30, 1480-1483, 2009.
 33. Bouacha K., Yallese M.A., Mabrouki T., Rigal J.F., Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using responsesurface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool, *Int. J. Refract. Met. Hard Mater*, 28, 349-361, 2010.
 34. Özlu B., Demir H., Türkmen M., Gündüz S., Investigation of machinability of cooled microalloy steel in oil after the hot forging with coated and uncoated CBN cutting tools, *Sigma J. Eng. Nat. Sci.*, 36 (4), 1165-1174, 2018.
 35. Shalaby M.A., ElHakim M.A., Abdelhameed M.M., Krzanowski J.E., Veldhuis S.C., Dosbaeva G.K., Wear mechanisms of several cutting tool materials in hard turning of high carbon-chromium tool steel, *Tribol. Int.*, 70, 148-154, 2014.
 36. AB. Sandvik Coromant, *Modern Metal Cutting-A-Practical Handbook* (first ed.), Sandvik Coromant, Technical Editorial Dept., Sweden, 1994.
 37. Thakur A., Gangopadhyay S., Mohanty A., Investigation on Some Machinability Aspects of Inconel 825 During Dry Turning, *Journal Materials and Manufacturing Processes*, 30 (8), 1026-1034, 2015.
 38. Gürbüz H., Şeker U., Kafkas F., Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (1), 225-240, 2020.
 39. Aslantaş K., Kaynar Y., Micro milling of NiTi shape memory alloy and determination of critical chip thickness, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (3), 1201-1211, 2019.

