



Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel

Hüseyin Gürbüz^{1*}, Ulvi Şeker², Fırat Kafkas²

¹Department of Mechanical Engineering, Batman University, Batman, 72100, Turkey

²Department of Manufacturing Engineering, Gazi University, Ankara, 06500, Turkey

Highlights:

- It was found that cutting parameters have a significant effect on surface integrity.
- Surface integrity results obtained with cutting tools with MF turned out to be better than those obtained with cutting tools with MM.
- As the rake angle increased, the surface integrity improved as well.

Keywords:

- Surface integrity,
- AISI 316L,
- Cutting tool Forms,
- Residual stress,
- Microhardness
- Microstructure

Article Info:

Research Article
Received: 17.08.2018
Accepted: 25.06.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.454386

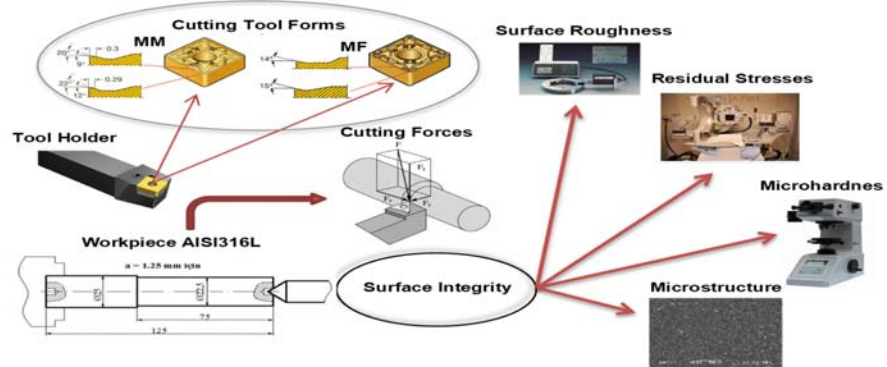
Acknowledgement:

The authors would like to thank to Gazi University for providing financial support for the project (Project Code: 07/2009-33); and also to Atılım University (Metal Forming Centre of Excellence) for their contributions to the measurements of Residual Stress Analysis by X-ray Diffraction.

Correspondence:

Author: Hüseyin Gürbüz
e-mail:
huseyin.gurbuz@batman.edu.tr
phone: +90 538 333 6692

Graphical/Tabular Abstract



Purpose: The aim of this conducted study, depending on the different cutting tool forms and the change in cutting parameters, can be summarized as measurement of the surface roughness on machined workpieces and the cutting forces formed during the cutting experiments, and determination of the residual stresses having occurred after machining, and establishing metallurgical structure of the surface layers (determination of microstructural changes and measurement of microhardness) and exhibiting the relation of all of them with each other, and improvement of surface integrity.

Theory and Methods:

TC-35 JOHNFORD brand CNC lathe was used in the experiments. The cutting forces were measured with a dynamometer of KISTLER 9275B type. The Mahr Perthometer M1 surface roughness meter was used to measure the surface roughness of the workpieces. The residual stresses were determined by X-ray diffraction technique using $\sin^2 \psi$ method. SHIMADZU HMV2 microhardness device was used to measure the hardness of the specimens occurring during chip removal processes. Microstructural characterization studies were performed with Jeol JSM 6060LV model Scanning Electron Microscope (SEM).

Results:

The findings obtained from this experimental study were evaluated and summarized as follows. In all cutting conditions, surface integrity was observed to get worsened when depth of cutting and feed value were increased, while it improved with the increase in cutting speed. When the cutting tool forms were compared, the best surface integrity results were obtained with MF-shaped cutting tools; however, the worst surface integrity results were obtained with MM-shaped cutting tools. As rake angle increased, surface integrity also improved. While the best surface integrity was obtained when the cutting speed was 200 m/min, the feed rate was 0.1 mm/rev and the depth of cut was 1.25 mm, the worst surface integrity was obtained when the cutting speed was 125 m/min, the feed rate was 0,3 mm/rev and the depth of cut was 2,5 mm.

Conclusion:

As a result of literature review, no work, where the effects of cutting tool forms and cutting parameters on surface integrity have been undertaken as a whole in machining of AISI 316L austenitic stainless steel, has been encountered. By doing so, it is a basic objective to determine the optimum shape of the cutting tool form affecting chip formation during the metal removal process, thereby minimize the variations in cutting forces, and ensure a good surface quality, and provide that the residual stresses on the machined surfaces are at minimum level. In this context, it will be another goal to keep the chip formation at optimum level, and reduce the negative effect of residual stresses on chip removal process, and increase the final product quality, and reduce the microstructure changes and microhardness values resulting from plastic deformation. For this reason, this study is going to fill a void by offering different characteristics from the literature.



AISI 316L çeliğinin tornalanmasında kesici takım formlarının yüzey bütünlüğü üzerine etkisi

Hüseyin Gürbüz^{1*}, Ulvi Şeker², Fırat Kafkas²

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman, 72100, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, 06500, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Kesme parametrelerin yüzey bütünlüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.
- MF formulu kesici takımlarla elde edilen yüzey bütünlüğü sonuçları MM formulu kesici takımlarla elde edilen yüzey bütünlüğü sonuçlarına göre daha iyi çıkmıştır.
- Talaş açısı arttıkça yüzey bütünlüğü iyileşmiştir

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.08.2018

Kabul: 25.06.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.454386

Anahtar Kelimeler:

Yüzey bütünlüğü,
AISI 316L,
kesici takım formu,
kalıntı gerilmeler,
mikrosertlik ve mikroyapı

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 316L çeliğin işlenmesinde kesici takım formlarının ve kesme parametrelerinin yüzey bütünlüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Kesme deneylerinde, PVD kaplı MM ve MF formulu sinterlenmiş karbür kesici takımlar ve PSBNR 2525M12 standardında takım tutucu kullanılmıştır. Kesme parametreleri dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve iki farklı kesme derinliği şeklinde belirlenmiştir. Yüzey bütünlüğü; yüzey pürüzlülüğü, kalıntı gerilmeler, mikrosertlik ve mikroyapı analizleri açısından değerlendirilmiştir. Bütün kesme şartlarında, kesme derinliği ve ilerleme miktarı arttığında yüzey bütünlüğünün kötüleştiği, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte yüzey bütünlüğünün iyileştiği görülmüştür. Kesici takım formları karşılaştırıldığında en iyi yüzey bütünlüğü sonuçları MF formulu kesici takımlarla, en kötü yüzey bütünlüğü sonuçları ise MM formulu kesici takımlarla elde edilmiştir. Talaş açısı arttıkça yüzey bütünlüğü iyileşmiştir. En kötü yüzey bütünlüğü kesme hızı 200 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda, en iyi yüzey bütünlüğü ise kesme hızı 125 m/dak, ilerleme miktarı 0,3 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edilmiştir.

Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel

H I G H L I G H T S

- It was found that cutting parameters have a significant effect on surface integrity
- Surface integrity results obtained with cutting tools with MF turned out to be better than those obtained with cutting tools with MM
- As the rake angle increased, the surface integrity improved as well

Article Info

Research Article

Received: 17.08.2018

Accepted: 25.06.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.454386

Keywords:

Surface integrity,
AISI 316L,
cutting tool form,
residual stress,
microhardness and
microstructure

ABSTRACT

In this study, the effects of the cutting tool forms and cutting parameters on the surface integrity were experimentally investigated in machining of AISI 316L steel. In cutting tests, PVD coated MM and MF formed cutting tools and tool holder suitable for these cutting tools were used. Cutting parameters were determined by using three different feed rate, four different cutting speeds and two different depths of cut. The surface integrity was evaluated in terms of surface roughness, residual stress, microhardness and microstructure analysis. In all cutting conditions, it was observed that the surface integrity worsened when the depth of cut and feed rate increased, whereas the surface integrity improved when the cutting speed increased. When the cutting tool forms were compared, the best surface integrity results were obtained with the cutting tools which had MF form, while the worst surface integrity results were obtained by the cutting tools which had MM form. As rake angle increased, surface integrity improved. The worst surface integrity was obtained with the cutting speed 125 m/min, feed rate 0.3 mm/rev and depth of cut 2.5 mm, while the best surface integrity was obtained with the cutting speed 200 m/min, feed rate 0.1 mm/rev and depth of cut 1.25 mm.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: huseyin.gurbuz@batman.edu.tr, fkafkas@gazi.edu.tr, useker@gazi.edu.tr / Tel: +90 538 333 6692
226

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İmalat süreçlerinden kaynaklı oluşan yüzeyin yapısı, ürün performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu uzun zamandan beri kabul edilmektedir [1]. “Yüzey bütünlüğü” terimi Field ve Kahles tarafından 1964 yılında kullanılmaya başlanmış [1-3] ve bir işleme sonucu ya da diğer yüzey işleme operasyonlarıyla üretilen bir yüzeyin yapısında bulunabilir ya da geliştirilmiş durum olarak tanımlamışlardır [1-2]. Yüzey bütünlüğü, 1964 yılından beri tüm dünyada üretim çevrelerinde artan bir ilgi görmektedir [1-3]. İşlenmiş yüzeylerin yüzey bütünlüğünü geniş bir alanda 1970’li yılların başında “Metcut” araştırma topluluğu tarafından yapılmıştır. Özellikle, yüksek mukavemetli çelikler için yüzey altındaki kalıntı gerilmeler ile yorulma ömrü arasındaki yüksek bir ilişkinin olduğunu göstermişlerdir [4-5]. Daha sonra 1971 yılında Field ve Kahles yüzey bütünlüğünü, yüzey geometrik değerleri ve fiziksel özellikleri (kalıntı gerilmeler, sertlik ve yüzey katmanların mikroyapısı v.b.) arasındaki ilişki olarak tanımlamışlardır [4, 6].

Alexander vd., AISI 304 paslanmaz çeliğinin tormalamasıyla oluşan yüzey bütünlüğü üzerinde kesme parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, yüzey pürüzlülüğünü en çok ilerleme miktarının etkilediğini ve işlenmiş yüzeylerin altında yaklaşık 60-70 μm ’luk bir çalışma sertleşmesi katmanı oluştuğunu bulmuşlardır [6]. Smith vd., AISI 52100 çeliğinin sert tormalamasında yorulma performansı üzerinde yüzey bütünlüğünün etkisini araştırmışlardır. Bütün yüzey bütünlüğünü deneyleri incelendiğinde yorulma ömrü üzerinde en büyük etkiye basma kalıntı gerilmelerin sebep olduğunu vurgulamışlardır [7]. Shi ve Liu ise AISI 52100 çeliği üzerinden kaba ve ince talaş kaldırarak yorulma ömrü ve yüzey bütünlüğünü geliştirmeye çalışmışlardır. Yazarlar, özellikle mikro sertlik ve kalıntı gerilmeleri açısından ince talaş kaldırmanın yüzey bütünlüğünü önemli derecede iyileştirdiğini bulmuşlardır [8]. Choi, ilerleme miktarının işlenmiş yüzeylerin yorulma ömrü ve yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yaptığı deneysel çalışmayla yüksek ilerleme miktarının çevresel ve eksenel yönde daha fazla basma gerilme oluşmasına ve işlenmiş yüzey altında katman yumuşamasına sebep olduğunu ortaya koymuştur [9]. Cordin vd. CoCrMo alaşımının kuru tormalanmasında kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey bütünlüğü üzerinde etkisini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada ilerleme miktarı ve kesme hızının yüzey bütünlüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır [10]. Chaudhari vd. sert tormalama ile oluşan yüzey bütünlüğü için süreç kontrolleri yapmışlardır. Bu çalışmada, finiş sert tormalamada yüzey bütünlüğünü kontrol etmek için yeni bir takım ömrü kriteri önermişlerdir [11]. Abboud vd. finiş tormalama sırasında oluşan Ti alaşımlarının kalıntı gerilmelerini ve yüzey bütünlüğünü incelemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takım burun radyüsünün kalıntı gerilmeler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Yazarlar, araştırılan finiş işleme aralığının

işlenmiş yüzey altında önemli bir metalürjik değişikliklere neden olmadığını ortaya koymuşlardır [12]. Sharman vd. Inconel 718’in tormalanmasında kalıntı gerilmeler ve yüzey bütünlüğü üzerinde kesici takım burun yarıçapının etkisini incelemişlerdir. Elde etmiş oldukları sonuçlar, kesici takım burun yarıçapı arttığında, kesme kuvvetlerinin, mikroyapı deformasyon derinliğinin arttığı ve işlenmiş yüzeye yakın yerde çekme kalıntı gerilmeler elde etmelerini göstermiştir [13]. Marques vd. Inconel 718’in MQL soğutma yöntemiyle tormalaması sonucu oluşan yüzey bütünlüğünü incelemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda takım ömrünün arttığını kalıntı gerilmelerin basma şeklinde ortaya çıktığını bulmuşlardır [14]. Iturbe vd. Inconel 718’in geleneksel kriyojenik soğutma yöntemlerle işlenmesi sırasında yüzey bütünlüğü analizini yapmışlardır. Yüzey bütünlüğünü, yüzey pürüzlülüğü, mikro yapısal değişiklik ve mikro sertlik açısından incelemişlerdir. Yazarlar, geleneksel soğutmanın hem işlenebilirlik hem de yüzey bütünlüğünde en iyi seçenek olduğunu göstermiştir [15]. Devillez vd. kesme hızının değişimine bağlı olarak Inconel 718’in kuru ve soğutma sıvısı kullanılarak işlenmesiyle iş parçasının yüzey bütünlüğü üzerinde etkisi araştırmışlardır. Elde etmiş oldukları sonuçlar ışığında, kesme hızının değişimine bağlı olarak soğutma sıvısı kullanıldığında, kalıntı gerilmelerin, mikrosertlik değerlerinin düştüğünü ve aynı zamanda deformasyondan etkilenmiş bölgenin daha az olduğunu ortaya koymuşlardır [16]. YAO vd. PVD kaplı kesici takımlarla TiAl alaşımlarının tormalanması sonucu oluşan yüzey bütünlüğü araştırmışlardır. PVD kaplı kesici takımlar birbirleriyle karşılaştırdıklarında SM formlu kesici takımlarla elde edilen yüzey bütünlüğü sonuçlarının daha iyi olduğunu ortaya koymuşlardır [17]. Liu vd. 17-4PH paslanmaz çeliğin yüzey bütünlüğünü ve yorulma ömrünü incelemişlerdir. Kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) işlenmiş iş parçalarının yüzey bütünlüğü ve yorulma ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır [18]. Bordina vd. yaptıkları deneysel çalışmada CoCrMo alaşımının kuru tonlanmasında yüzey bütünlüğü üzerinde kesme hızı ve ilerleme miktarının etkisine bakmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey bütünlüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır [19]. Pretorius vd. polikristalin elmas (PCD) kesici takımlarla Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo malzemesinin tormalaması sırasında oluşan iş parçasının yüzey bütünlüğünü ve kesici takımdaki aşınmaları incelemişlerdir. Yeni ve aşınmış kesici takımlar kullanıldığında oluşan mikrosertliklerde kayda değer bir farklılık olmadığını kalıntı gerilmelerin hem kesme hemde ilerleme yönünde basma kalıntı gerilme şeklinde oluştuğunu bulmuşlardır [20].

Gerçekleştirilen çalışmanın amacı; farklı kesici takım formlarına ve kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak kesme deneyleri sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ve işlenmiş parçalar üzerindeki yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi, işleme sonucu oluşmuş kalıntı gerilmelerinin belirlenmesi, yüzey katmanlarının metalürjik yapısı (mikroyapısal değişikliklerin belirlenmesi ve

mikrosertliklerin ölçülmesi) ve tüm bunların birbiriyle olan ilişkilerinin ortaya konulmasıyla, yüzey bütünlüğünün iyileştirilmesi olarak özetlenebilir [21, 22]. Bu deneysel çalışma, talaş kaldırma sürecinde talaş oluşumunu etkileyen kesici takım geometrisinin optimum biçimini tespit etmek ve buna bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişimi en aza indirmek, iyi bir yüzey kalitesi elde etmek ve işlenmiş yüzeylerde meydana gelen kalıntı gerilmelerin minimum seviyede kalmasını sağlamak ve plastik deformasyon sonucu oluşan mikroyapı değişimlerini ve mikrosertlik değerlerini düşürerek literatürde bir boşluğu doldurarak katkı sağlayacaktır.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. İş Parçası Malzemesi (Workpiece Material)

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak Ø 25x125 mm boyutlarında düşük ısı iletkenlikleri, yüksek çekme mukavemeti, yüksek süneklik ve yüksek çalışma sertleşmesi nedeniyle işlenmesi zor malzemeler olarak kabul edilen AISI 316L östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu orijinal sertifikasından belirlenmiş olup Tablo 1’de verilmiştir.

2.2. Kesici Takımlar, Kesme Parametreleri ve Deneylerin Yapılışı

(Cutting Tools, Cutting Parameters and Performing Experiments)

ISO 3685’te [23] belirtilen deney şartlarına uygun olarak SNMG formunda sinterlenmiş karbür kesici takımlar ile bu kesici takımlara uygun 75° yanaşma açısına sahip PSBNR 2525M12 standardında takım tutucu kullanılmıştır [24]. İş parçası malzemesine uygun ISO M15 kalitelere karşılık gelen SANDVIK takım firmasının PVD kaplı GC1025 kalitesi seçilmiştir. Kesme deneyleri için üretici takım firmasının SNMG 120408 MM (Medium-orta işleme) ve MF (Finish-bitirme) formlu kesici takımlar belirlenmiştir. Burada kesici takım formlarını ifade eden kodlamanın ilk

harfi olan “M” paslanmaz çeliği ifade etmektedir. Kesme parametreleri, takım üretici firma verileri ve ISO 3685’teki öneriler dikkate alınarak seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve kesici takım özellikleri Tablo 2’de verilmiştir [25, 26].

Tablo 1. AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi (% ağırlık)
(Chemical composition of AISI 316L austenitic stainless steel (weight %))

%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Ni
0,023	1,27	0,44	0,021	0,034	10,10
%Cr	%Mo	%Cu	%N	%Co	
16,17	2,13	0,45	0,043	0,16	

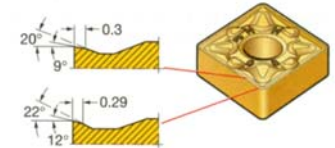
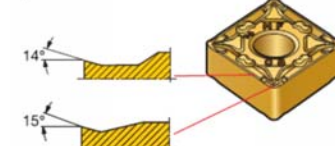
Deneylerde, iş parçalarından 75 mm boyunca talaş kaldırılarak ölçüm yapılmıştır. Tornalama işlemlerinde aynı şartlarda iş parçalarını işlemek için her bir kesme deneyinde yeni bir kesici takım kullanılmıştır. Her bir tornalama işlemi sonrası tezgâh durdurularak kesme parametreleri değiştirilmiş ve her bir kesici takım formu için 24 adet deney yapılarak toplam 48 adet deney gerçekleştirilmiştir.

2.3. Takım Tezgâhi ve Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçülmesi

(Machine Tool, Cutting Forces, and Surface Roughness Measuring)

Deneylerde TC-35 JOHNFORD marka CNC torna tezgâhi kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri, *KİSTLER 9275B* tipi dinamometre ile ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri için kesme süresince elde edilen kuvvet değerlerinin ortalamaları alınmıştır. İşlenen parçaların yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi için 9633 seri numaralı Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. İşlenmiş yüzey üzerinden iş parçasının giriş, orta ve son kısmından olmak üzere çevresel olarak seçilmiş 9 ölçüm noktasından 5,6 mm ölçme boyunda ölçüm yapılarak bunların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kesici takımlar ve kesme parametreleri
(Cutting tools and cutting parameters used in experiments)

Kesici takımlar	Kaplama özellikleri	Kesme Parametreleri		
		Kesme hızı V (m/dak)	İlerleme f (mm/dev)	Kesme derinliği a (mm)
 MM	Bileşim İki katlı TiN- TiAlN Kalınlık 4 µm	125	0,1	1,25
		150		
		175		
		200		
 MF	PVD TiN TiAlN	175	0,3	2,5
		200		

2.4. Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi ve Tespiti (Detection and Measurement of Residual Stresses)

Kalıntı gerilmelerin belirlenmesinde $\sin^2 \psi$ metodu kullanılarak, X-Işını kırınımı tekniği tarafından ölçülmüştür. İşlenen parçalarda oluşmuş kalıntı gerilmelerinin ölçülmesi için X-Işını kırınım ölçüm cihazı (SEIFERT XRD 3003 PTS) kullanılmıştır. İşlenmiş her bir yüzey üzerinde özellikle de kesici takımın en fazla aşınma sürecine girdiği düşünülen iş parçasından ayrıldığı noktaya en yakın bölgeden üç ölçüm alınarak kalıntı gerilmeler ölçülmüştür. İş parçasında ölçülen kalıntı gerilme değerlerinin (hem çevresel hem de eksenel yönde) ortalamaları alınarak grafikler elde edilmiştir. İşleme sonucu oluşmuş kalıntı gerilme profillerinin derinliği, her bir iş parçasının yüzeyi üzerinden 5 μm ölçme boyunda alınmıştır. AISI 316L iş parçası malzemesi için X-ışın analizinde kullanılan parametreler Tablo 3'te verilmiştir.

2.5. Mikrosertlik Ölçümleri ve Mikroyapı İncelemeleri (Microhardness Measurements and Microstructure Analyses)

Mikrosertlik ve mikroyapı deneylerinin yapılacağı numuneler, iş parçası üzerinde kalıntı gerilmelerin ölçüldüğü yere en yakın bölgeden 15 mm kalınlığında olacak şekilde tel erozyonda kesilip hazırlanmıştır. Numunelerin

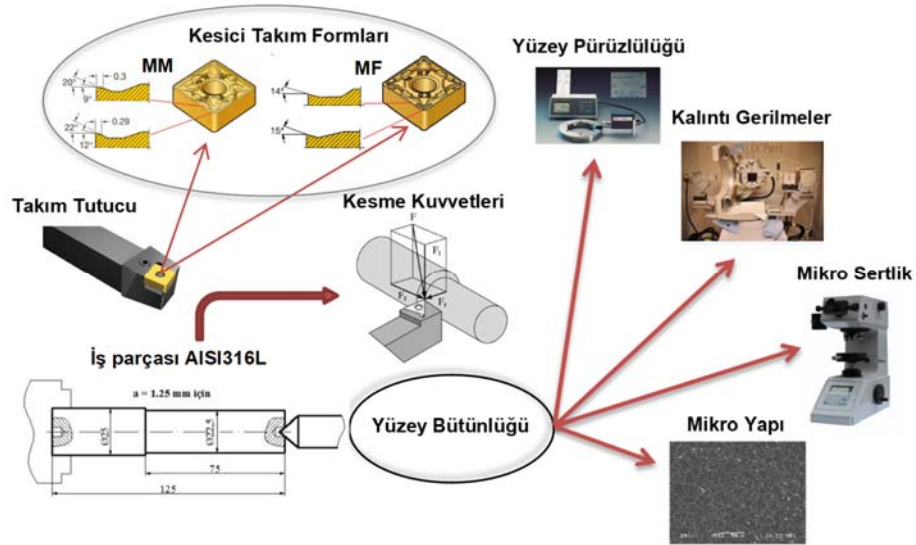
metalografik çalışmaları 3 aşamada (zımparalama, parlatma ve dağlama) gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemi ile numunelerde oluşmuş sertliklerinin ölçülmesi için vickers sertlik testlerinin yapılabildiği SHIMADZU HMV2 model mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Mikrosertlik deneyleri vickers sertlik ölçme yöntemiyle 0,5 kgf (4,903N) yük altında 5 saniye bekletilerek yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, her bir iş parçasının kalıntı gerilmelerin ölçüldüğü yere en yakın bölgeden 15 mm kalınlığında olacak şekilde tel erozyonda kesilip hazırlanmıştır. Hazırlanmış numuneler üzerinden işlenmiş yüzeyin kenarından ham malzemeye (iş parçası merkezine) doğru 0,1 artışlarla, 1,4 mm derinliğe kadar, çevresel olarak 120° olacak şekilde, 3 farklı noktadan ölçüm yapılarak aritmetik ortalamaları alınmıştır. İşleme sonucu oluşmuş mikroyapı karakterizasyon çalışmaları Jeol JSM 6060LV model Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. Kesme deneyleri ve ölçümlerinin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

CNC torna tezgâhında kesici takım formları ile kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak kesme deneyleri yapılmıştır. İşleme sırasında oluşmuş kesme kuvvetleri,

Tablo 3. X-ışın analizinde kullanılan parametreler [27-31] (Parameters used in X-ray analyses)

Test Material (Test malzemesi)	Fe γ	[27-29]
Spot area (mm ²) yer alanı	1	[29]
1/2S ₂ (MPa ⁻¹)	6,531 x 10 ⁻⁶	[29]
-S ₁ (MPa ⁻¹)	1,429 x 10 ⁻⁶	[29]
Wavelength (dalga boyu)	Mn	[27-30]
Radiation (radyasyon)	K α	[27-30]
Filter (Filtre)	Cr	[27-29]
Bragg angle 2 θ (°) bragg açısı	128,70°	[31]
Lattice planes (Kafes düzlemi)	(hkl)=(220)	[31]
Young modul (Elastikiyet modülü) Gpa	196	[30]
Poisson's ratio	0,28	[30]



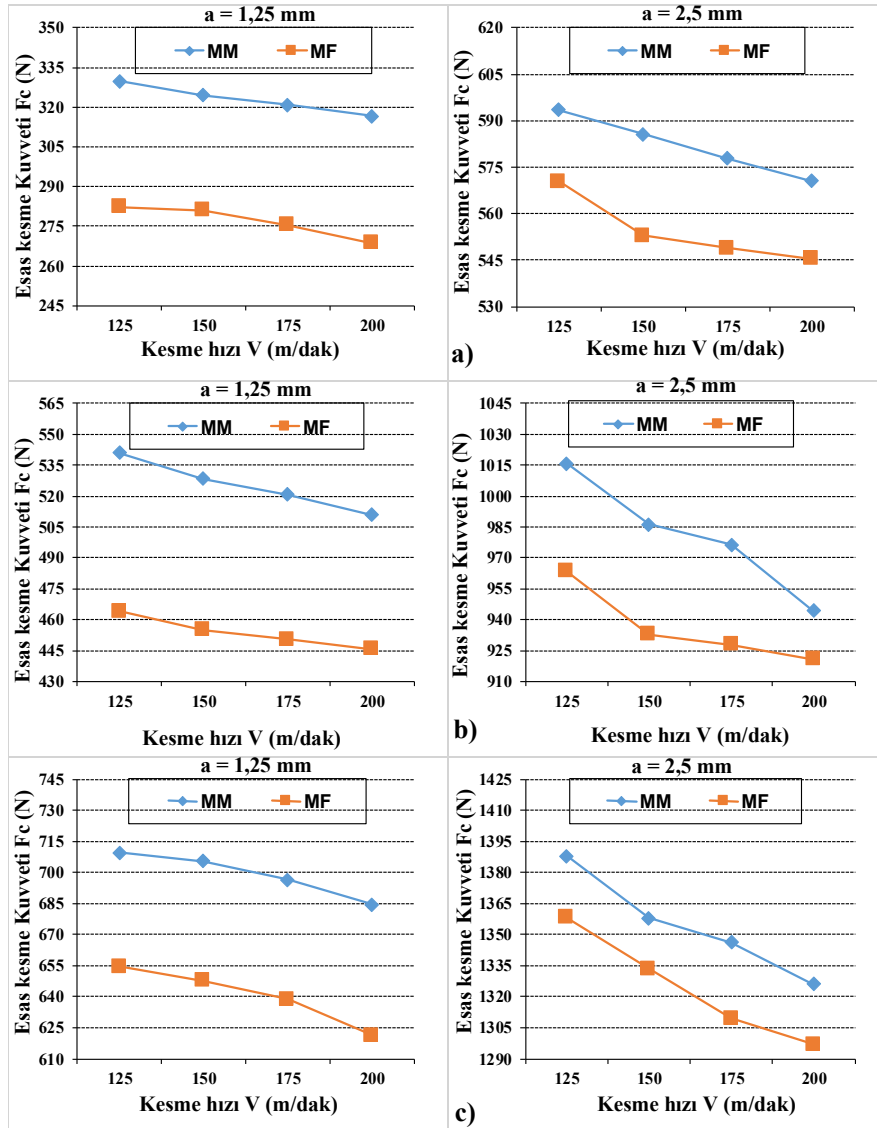
Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Schematic representation of the experimental setup)

işlenmiş parçalar üzerindeki yüzey pürüzlülük değerleri, işlenen parçalarda oluşmuş kalıntı gerilmeler ve işleme sonucu oluşmuş yüzey katmanlarının metalurjik yapısı; mikroyapısal değişiklikler belirlenerek ve mikrosertlikler ölçülerek bu değerler üzerine etkili parametrelerin ve bu parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri yorumlanmıştır.

3.1. Esas Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Main Cutting Force)

Kesici takım formu, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğine göre esas kesme kuvvetindeki değişimler Şekil 2'de grafik olarak gösterilmiştir. GC1025 (PVD) kalitesinde MM/MF formlu kesici takımlarda kesici kenar düzlüğü ve

talaş açısının $[MM (0,30/9^\circ)^1 - MF (0/14^\circ)^1]$ kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 2'deki grafiğe bakıldığında, genel olarak kesme derinliği ve ilerleme miktarı arttığında esas kesme kuvvetinin arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte esas kesme kuvvetinin azaldığı söylenebilir. Ortaya çıkan bu durum her iki kesici takım formu içinde aynıdır. Bu durum literatürle paralellik arz etmektedir [32-35]. Artan kesme hızı ile esas kesme kuvvetindeki düşüş sıcaklık artışı nedeniyle kesici takım talaş yüzeyindeki temas alanının azalması ve kısmen de akma bölgesinde (ikinci deformasyon bölgesi) kayma dayanımının azalması ile açıklanmıştır [33, 36]. Öte yandan kesme hızı arttığında, kesici takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklık artacağından dolayı kesici takım/talaş ara yüzeyinde



Şekil 2. İki farklı kesici takım formu için kesme hızına bağlı olarak esas kesme kuvveti F_c (N) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev (Change in the main cutting force F_c (N) depending on cutting speed for two different cutting tool forms a) $f=0.1$ mm/rev b) $f=0.2$ mm/rev c) $f=0.3$ mm/rev)

¹ Bu ifadelerde ilk terim kesici kenar düzlüğünün ölçüsünü, ikinci terim talaş açısını ifade etmektedir.

sürtünme katsayısı azalır bu da esas kesme kuvvetinin azalması ile sonuçlanır [35].

İlerleme miktarı ve kesme derinliğinin artması ile esas kesme kuvvetinin artması beklenen bir durumdur [34]. Ortaya çıkan bu durumu Kienzle'nin aşağıdaki eşitliğinden (Eş.1) açıklamak mümkündür. Kienzle'nin eşitliğinde;

$$F_c = A x k_s \quad (1)$$

Esas kesme kuvveti (F_c), talaş kesit alanı (A), özgül kesme direnci (k_s) talaş kesiti "ilerleme miktarı \times kesme derinliği" olarak ifade edildiğine göre ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artmasına bağlı olarak, talaş kesit alanı (A) artacağından esas kesme kuvvetinin de artması beklenen bir sonuçtur. Şekil 2'deki grafikler incelendiğinde; tüm işleme deneyleri için, en yüksek esas kesme kuvvetinin MM formulu kesici takımlarla, en düşük esas kesme kuvvetinin ise MF formulu kesici takımlarla elde edilmiştir. Bu durum en yüksek talaş açısına MF (14°), en düşük talaş açısına MM (9°) (Tablo 2) sahip olmasıyla açıklanmıştır. Talaş açısı arttıkça kayma açısı da artar [37-40]. Bundan dolayı küçük talaş açısı kayma düzlemi açısını azalttırarak esas kesme kuvvetlerini artırırken, büyük talaş açısı ise kayma düzlemi açısını artırarak esas kesme kuvvetlerini azaltmaktadır. Aynı zamanda, talaş açısının artmasına bağlı olarak takım/talaş temas uzunluğu ve sürtünme kuvveti azalacağından ve buna bağlı olarak da talaş akışını kolaylaştıracağından esas kesme kuvvetleri de azalacaktır [40-43]. Ayrıca, Tablo 2'deki MM - MF formulu kesici takımların kesici kenar formlarına bakıldığında, MM formulu kesici takımın 0,30 mm kesici kenar düzlüğüne MF formulu kesici takımın ise keskin kesici kenar formuna sahip olduğu görülmektedir. Daha büyük kesici kenar düzlüğü talaş/takım temas alanını artırırken keskin kesici kenar ise talaş/takım temas alanını azaltmakta ve talaş akışını kolaylaştırmasına yardım etmektedir. Sonuç olarak MF formulu kesici takımın keskin kenar sayesinde, azalan talaş/takım temas uzunluğu ve talaş akışının kolaylaştırmasına yardım ederek esas kesme kuvvetleri ve ısı oluşumunun azalmasına yardımcı olur. İki farklı kesici takım formu içinde en düşük esas kesme kuvvetleri; kesme hızı 200 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda, en yüksek esas kesme kuvvetleri ise; kesme hızı 125 m/dak, ilerleme miktarı 0,3 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edilmiştir.

3.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi (Evaluation of Surface Roughness)

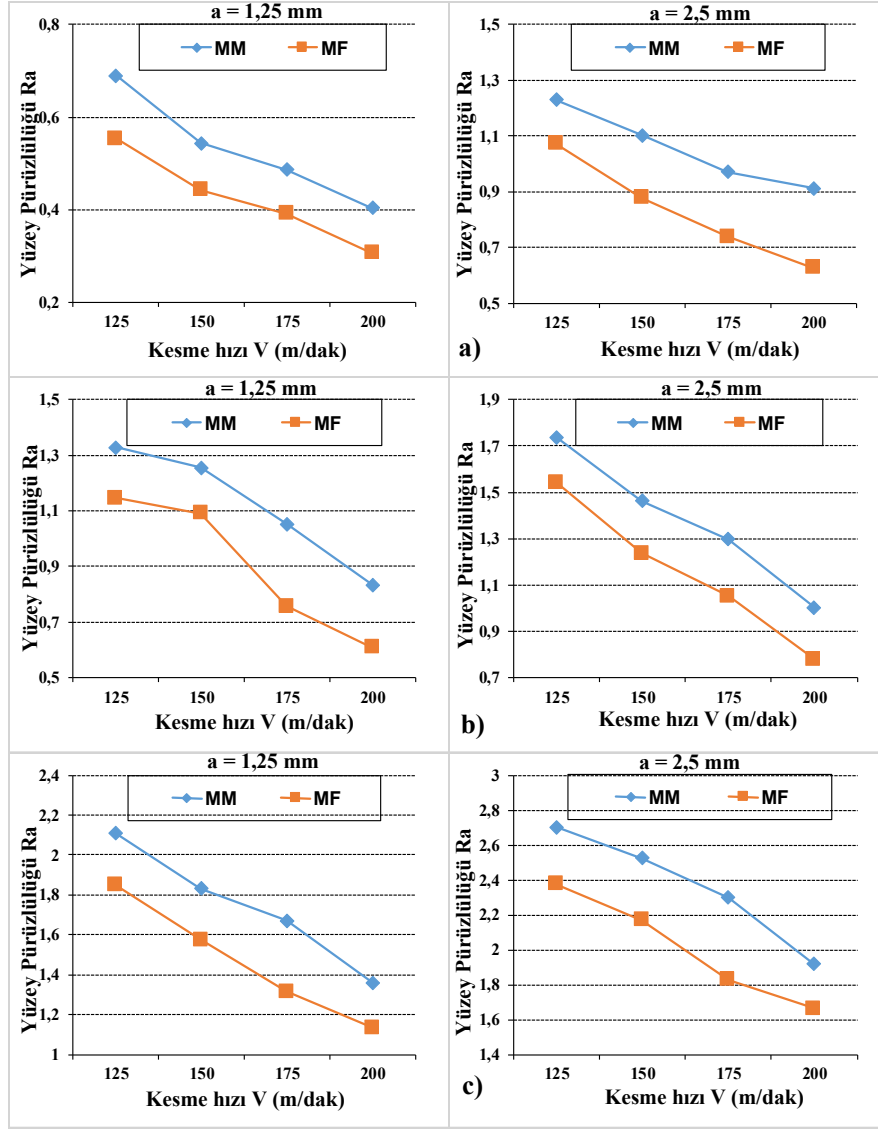
Kesme parametreleri ve kesici takım formlarına [MM ($0,30/9^\circ$) - MF ($0/14^\circ$)] göre elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerindeki (Ra) değişimler Şekil 3'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 3'teki grafiklere bakıldığında kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu eğilim 2 farklı kesici takım formu içinde aynıdır. Bu düşme eğilimi beklenen bir eğilimdir. Yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için kesme hızının artırılması, literatürdeki en yaygın yöntemdir [44-48]. Kesme hızının artmasıyla yüzey

pürüzlülüğünün iyileşmesi, kesme bölgesinde yüksek kesme hızlarının sebep olduğu artan sıcaklıklardan dolayı iş parçası malzemesinin, burun yarıçapı ve kesici kenar çevresinde rahat bir şekilde deforme edilmesi, deformasyon işleminin kolaylaşması ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda oluşan akma bölgesine bağlı olarak izah edilebilir. Bununla birlikte kolay deforme edilen iş parçası malzemesinde işleme esnasında yırtılma olmadan şekillendirilebilme ve bu yüzden iş parçası yüzey kalitesinde bir iyileşme gözlenmektedir [49]. Bazı araştırmacılar, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün düşmesini, kesme hızını artması ile yığıntı talaş (BUE) oluşum eğiliminin azalmasına bağlı olarak açıklamışlardır [36, 50, 51]. Yapılan deneylerde kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir (Şekil 3). Kesme derinliğindeki artışa bağlı olarak, yüzey pürüzlülüğünün artması ise artan talaş kesit alanına atfedilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme miktarının etkisini değerlendirmek için Şekil 3'teki grafikler yorumlandığında, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü kötüleşmiştir. Bu durumu; ideal yüzey pürüzlülüğünün tahmininde kullanılan Eş. 2'den faydalanarak açıklamak mümkündür [52].

$$R_a = \frac{0,0321 \times f^2}{r_s} \quad (2)$$

(burada eşitlikte R_a : yüzey pürüzlülüğü, f : ilerleme miktarı (mm/dev), r_s ise kesici takım burun yarıçapını (mm)) ifade etmektedir. Eş. 2'den ilerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğünün birbiriyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının değişimi yüzey pürüzlülük sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Sonuç olarak ilerleme miktarının artmasıyla, yüzey pürüzlülük değerleride artacak ve bu sebepten dolayı yüzey kalitesi de kötüleşecektir. Şekil 3'teki grafiklere bakıldığında en iyi yüzey kalitesi MF formulu kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerde, en kötü yüzey kalitesi ise MM formulu kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerde görülmüştür. Söz konusu bu durum, MF formulu kesici takımın (14°) talaş açısına ve MM formulu kesici takım ise (9°) talaş açısına sahip olmasıyla (Tablo 2) ilişkilendirilmiştir. Talaş açısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğü ve talaş açısı azaldıkça ise yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı bilinmektedir. Talaş açısının artması ile yığıntı talaş (BUE) oluşum eğilimi azalacağından ve bunu sonucu olarak kesici takım talaş yüzeyinde sürtünme katsayısı küçüleceğinden yüzey pürüzlülük değerleri azalır [33]. Talaş açısının küçülmesiyle artan temas alanı yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasına sebep olur [53]. Ayrıca MF formulu kesici takımın MM formulu kesici takıma göre keskin kesici kenar formuna sahip olmasına ve MM formulu kesici takımın 0,30 mm kesici kenar düzlüğüne sahip olmasına (Tablo 2) atfedilmiştir. Bu kesici kenar düzlüğü talaşın takımla sürtünme alanı artmasına katkıda bulunarak MM formulu kesici takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin artmasına sebep olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda üretici kesici takım firması tarafından iyi yüzey kalitesi elde etmek için MF formulu



Şekil 3. İki farklı kesici takım formu için kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü Ra değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev

(Change in surface roughness Ra depending on cutting speed for two different cutting tool forms a) $f=0.1$ mm/rev b) $f=0.2$ mm/rev c) $f=0.3$ mm/rev)

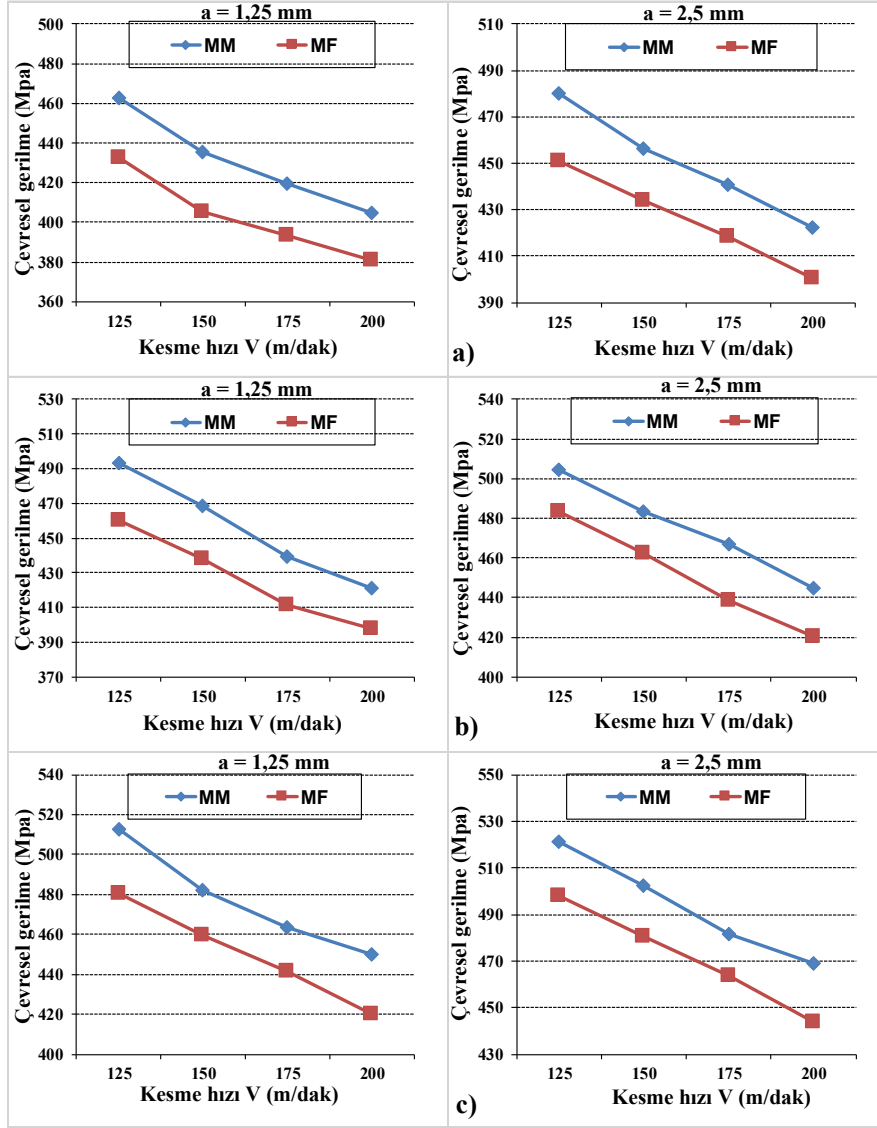
kesici takımı önermiş olması böyle bir kesici takımdan iyi bir yüzey kalitesi beklenir [25]. Deneysel olarak en düşük yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızı 200 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda MF formulu kesici takımlarla, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise kesme hızı 125 m/dak, ilerleme miktarı 0,3 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda MM formulu kesici takımlarla elde edilmiştir.

3.3. Çevresel ve Eksenel Yönde Kalıntı Gerilmelerin Değerlendirilmesi

(Evaluation of Residual Stresses in Circumferential and Axial Directions)

Deneysel sonuçta, uygulanan kesme parametrelerine ve iki farklı kesici takım formuna bağlı olarak çevresel ve eksenel yönde ölçülen kalıntı gerilme değerleri Şekil 4, Şekil

5'te verilmiştir. Şekil 4, Şekil 5'teki değerler incelendiğinde; tüm işleme deneyleri için işlenmiş yüzey üzerinde elde edilen kalıntı gerilmelerin, çekme kalıntı gerilmeleri şeklinde ve en yüksek çekme kalıntı gerilmelerin çevresel yönde en düşük çekme kalıntı gerilmelerin ise eksenel yönde gerçekleştiği görülmektedir. Konuyla ilgili önceki çalışmalarda da aynı eğilim görülmüştür [27, 29]. Östenitik paslanmaz çelikler; düşük ısı iletkenlikleri, yüksek çekme mukavemeti, yüksek süneklik ve yüksek çalışma sertleşmesi nedeniyle işlenmesi zor malzemeler olarak kabul edilirler [28-30, 54-56]. Bu özellikler, yüksek kesme kuvvetleri, yüksek kesme sıcaklığı, hızlı takım aşınması, BUE oluşumu, kötü yüzey kalitesine ve talaş kırma zorluklarına neden olur [55]. Bu tür çeliklerde görülen çalışma sertleşmesi, mekanik değişimlere, işlenmiş yüzey üzerindeki çok yönlü davranışlara ve bu durum da düzensiz talaş tiplerine ve



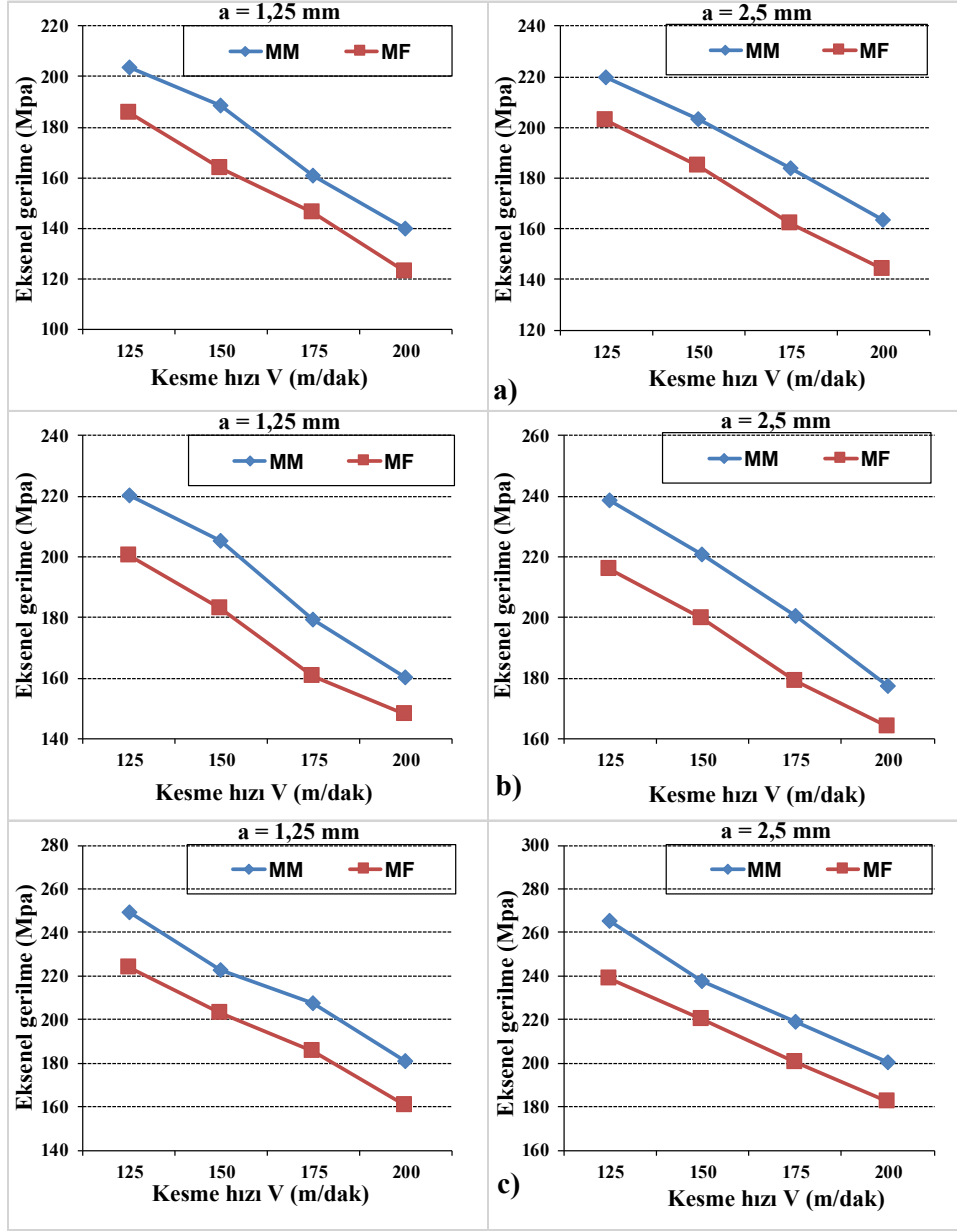
Şekil 4. İki farklı kesici takım formu için kesme hızına bağlı olarak Çevresel Gerilme (MPa) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev (Change in circumferential residual stresses (MPa) depending on cutting speed for two different cutting tool forms a) $f=0,1$ mm/rev b) $f=0,2$ mm/rev c) $f=0,3$ mm/rev)

titreşimlere neden olmaktadır [29, 55]. Östenitik paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletkenliklerinden dolayı kesme bölgesinde ısı yoğunlaşmasına bağlı olarak işlenmiş yüzey üzerinde ve kesici kenar etrafında daha yüksek bölgesel sıcaklıklar görülebilir [28-30, 54, 55]. Sonuç olarak, östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesi sırasında oluşan yüksek kesme kuvvetleri ile birlikte işlenmiş yüzey üzerinde ve kesici kenar etrafına yüksek bölgesel sıcaklıklar, iş parçalarının işlenmiş yüzeylerinde yüksek çekme kalıntı gerilmelerine (bazı zamanlar 1000 MPa değerine kadar) sebep olur [57].

3.3.1. Çekme kalıntı gerilmeler (Tensile residual stresses)

İki farklı kesici takım formuna ve kesme parametrelerine göre çekme kalıntı gerilmelerdeki (çevresel ve eksenel yönde) değişimler Şekil 4, Şekil 5'te grafik olarak

gösterilmiştir. Şekil 4, Şekil 5'teki grafikler incelendiğinde; tüm işleme deneyleri için, en yüksek çekme kalıntı gerilmelerinin çevresel yönde en düşük çekme kalıntı gerilmelerin ise eksenel yönde gerçekleştiği görülmektedir. Konuyla ilgili önceki çalışmalarda da aynı eğilim görülmüştür [29, 54]. Yapılan deneysel çalışmalarda, genel olarak kesme derinliği ve ilerleme miktarı arttığında çekme kalıntı gerilmelerinin; (çevresel ve eksenel yönde) arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte çekme kalıntı gerilmelerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4, Şekil 5). Ortaya çıkan bu durum iki farklı kesici takım formu için de aynıdır. Kesme hızı arttıkça çekme kalıntı gerilmeleri azalmıştır. Konuyla ilgili önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır [28, 58, 59]. Kesme hızının, kesme bölgesindeki sıcaklık üzerindeki etkisinden dolayı işleme sırasında kalıntı gerilmeler üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir [58]. Yüksek kesme hızlarında yüksek enerji



Şekil 5. İki farklı kesici takım formu için için kesme hızına bağlı olarak Eksenel Gerilme (MPa) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev (Change in axial residual stresses (MPa) depending on cutting speed for two different cutting tool forms a) $f=0.1$ mm/rev b) $f=0.2$ mm/rev c) $f=0.3$ mm/rev)

tüketimi sebebiyle daha yüksek ısı açığa çıkar. Kesme hızı artığında daha fazla ısı oluşmasına rağmen işlenmiş yüzeyde oluşan çekme kalıntı gerilmelerinin büyüklüğü azalmıştır. Benzer sonuçlar, Liu ve Barash tarafından düşük karbonlu çeliklerin işlenmesi sırasında düşük kesme hızlarında yüksek çekme kalıntı gerilmeleri elde ederek göstermişlerdir [59]. İşleme sırasında, oluşan ısının yaklaşık %10-15 kadarı iş parçasına transfer edilir [59, 60]. Yüksek kesme hızlarında işleme yapıldığında artan talaş hızına paralel olarak iş parçasına transfer olan ısı miktarı azalır [59]. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak çekme kalıntı gerilmelerindeki bu düşüş tamamen iş parçasına transfer olan ısının miktarına bağlı olarak termal yüklerin azalmasıyla alakalıdır. İlerleme

miktarı arttıkça çekme kalıntı gerilmeleri de artmıştır. Bu durum literatürle paralellik arz etmektedir [28, 61, 62]. İlerleme, kalıntı gerilme profilinin biçimi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. İlerleme miktarı arttıkça, artan talaş kesiti kesme kuvvetlerini de artırır. Daha yüksek ilerleme miktarının kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmasından dolayı gerekli enerji ihtiyacı da artar. Söz konusu bu durum, ilerleme miktarının artması plastik deformasyon için gerekli enerji miktarını artıracığından ve bu enerji ısı enerjisi olarak açığa çıkacağından artan ısı ve mekanik yüklerle birlikte yüzeyde çekme kalıntı gerilmelerinin artmasına sebep olmuştur (Şekil 4, Şekil 5). Şekil 4, Şekil 5'teki grafikler incelendiğinde kesme derinliği arttıkça çekme kalıntı

gerilmelerinin arttığı görülmektedir. Ama bu etki kesme hızı ve ilerleme miktarının etkisi kadar belirgin olmamıştır. Literatüre bakıldığında benzer sonuçlar görmek mümkündür [63-65]. Tüm işleme deneyleri için, en yüksek çekme kalıntı gerilmeleri MM formulu kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerden, en düşük çekme kalıntı gerilmeleri ise MF formulu kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerden elde edilmiştir. Bu kesici takımlara ait talaş açılarına bakıldığında en yüksek talaş açısına MF (14°), en düşük talaş açısına MM (9°) sahip olduğu görülmektedir (Tablo 2). Literatürde, talaş açısı arttıkça kayma açısında artacağı açıklanmıştır [37-40]. Kayma açısı arttığında metalin plastik deformasyonu daha kısa bir kayma düzlemi boyunca gerçekleşeceğinden kayma düzleminde oluşan ısı azalır. Aynı zamanda, talaş açısının artmasına bağlı olarak takım/talaş temas uzunluğu ve sürtünme kuvveti azalacağından buna bağlı olarak da talaş akışını kolaylaştıracağından kesme kuvvetleri de azalacaktır [40-43]. Azalan bu mekanik ve termal yükler iş parçasının yüzeyinde termal ve mekanik etkiyi azaltarak çekme kalıntı gerilmelerinin azalmasına sebep olacaktır. Ayrıca MM formulu kesici takımlarla elde edilen çekme kalıntı gerilmelerin MF formulu kesici takımlara göre yüksek çıkmasının sebebi MM formulu kesici takımın 0,30 mm kesici kenar düzlüğüne ve MF formulu kesici takımında keskin kesici kenar formuna sahip olmasına (Tablo 2) atfedilmiştir. Bu kesici kenar düzlüğü talaş/takım temas alanını artırırken keskin kesici kenar ise talaş/takım temas alanını azaltmakta ve talaş akışını kolaylaştırmasına yardım etmektedir. Böylelikle MF formulu kesici takımın keskin kenar sayesinde, azalan talaş/takım temas uzunluğu ve talaş akışının kolaylaştırmasına yardım ederek kesme kuvvetleri ve ısı oluşumunun azalmasına yardımcı olur. Sonuç olarak azalan termal ve mekanik yükler en düşük çekme kalıntı gerilmelerin MF formulu kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerde en yüksek çekme kalıntı gerilmelerin ise MM formulu kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerde oluşmasına sebep olacağı düşünülmektedir.

En düşük çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel); kesme hızı 200 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda, en yüksek çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel) ise; kesme hızı 125 m/dak, ilerleme miktarı 0,3 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edilmiştir.

3.4. Mikroyapı İncelemelerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Microstructure Analysis)

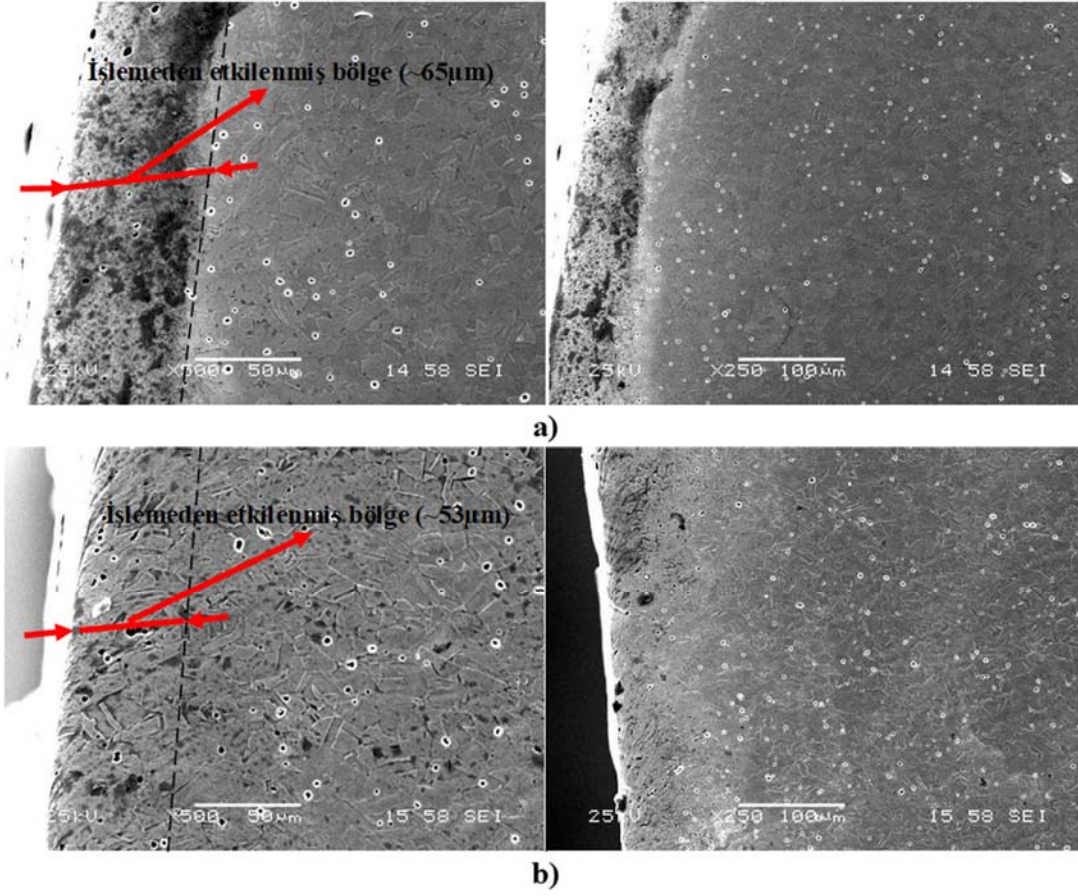
Yüzey bütünlüğünü oluşturan en önemli parametrelerden biri de mikroyapı değişikliğidir [16,66-68]. Genellikle, tormalama işlemi esnasındaki plastik deformasyon işlenmiş yüzey ve yüzey altı katmanında mikroyapı değişikliğine neden olur [68-70]. İşleme operasyonları sırasında iş parçası malzemeleri, termal ve mekanik yüklere ve kimyasal etkilere maruz kalmaktadır. Malzemenin mikroyapı değişiklikleri, faz dönüşümleri ve plastik deformasyonlarının ana nedenleri, termal ve mekanik etkilere [69, 71]. Bir işleme sürecinde kesme kuvvetlerinin neden olduğu mekanik yükler ve yüksek sıcaklıklar işlenmiş yüzey altında homojen olmayan plastik deforme edilmiş bir katman oluşturur [4, 72]

3.4.1. Mikroyapı Değişimleri (Microstructure changes)

İşlenmiş yüzey altında oluşan mikroyapı değişikliğini görmek için kesme kuvvetlerin ve kalıntı gerilmelerin en yüksek çıktığı ($V=125$ m/dak, $f=0,3$ mm/dev ve $a=2,5$ mm) kesme parametrelerinde işlenmiş iş parçaları seçilmiştir. İki farklı kesici takım formuna ve belirlenen kesme parametrelerine bağlı olarak işlenmiş yüzeylerin altında oluşmuş mikroyapı değişiklikleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Tormalama işlemi neticesinde oluşmuş yüzey altındaki mikroyapı değişimlerinin SEM görüntüleri (Şekil 6) incelendiğinde işlenmiş yüzey altında deformasyona uğramış bölgede bir mikroyapı değişikliği görülmektedir. Konuyla ilgili önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır [4, 16, 70, 73-75]. İşlenmiş yüzey altındaki mikroyapı değişimi görmek için, MM ve MF formlarına sahip kesici takımlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Şekil 6'ya bakıldığında en fazla deformasyondan etkilenmiş bölgenin MM($\sim 65\mu\text{m}$) formuna sahip kesici takımın oluşturduğu en az deformasyondan etkilenmiş bölgenin ise MF($\sim 53\mu\text{m}$) formulu kesici takımın oluşturduğu görülmektedir. Bu durum kesici takımların sahip olduğu talaş açılarıyla ilişkilendirilebilir (Tablo 2). Bu kesici takımlara ait talaş açılarına bakıldığında en yüksek talaş açısına MF (14°) formuna sahip kesici takımında, en düşük talaş açısının ise MM (9°) formuna sahip kesici takımında (Tablo 2) olduğu görülmektedir. Talaş açısının azalmasına bağlı kayma açısı azalacağından [37-40], takım/talaş temas uzunluğu ve sürtünme kuvveti artacağından [40, 43], iş parçasına iletilen ısı miktarı da artacaktır. Ayrıca, MM formulu kesici takımla elde edilmiş kesme kuvvetleri MF formulu kesici takımla elde edilmiş olan kesme kuvvetlerinden daha yüksek çıkmıştır (Şekil 2). MM formulu kesici takımla oluşan plastik deformasyonda hem mekanik yüklerin hem de termal yüklerin yüksek olması işlenmiş yüzey altında daha fazla bir deformasyon bölgesi oluşturmuştur. Tablo 2'ye bakıldığında MM formulu kesici takımın 0,30 mm kesici kenar düzlüğüne ve MF formulu kesici takımında keskin kesici kenar formuna sahip olduğu görülmektedir. Bu kesici kenar düzlüğü talaş/takım temas alanını artırırken keskin kesici kenar ise talaş/takım temas alanını azaltmakta ve talaş akışını kolaylaştırmasına yardım etmektedir. Böylelikle MF formulu kesici takımın keskin kenar sayesinde, azalan talaş/takım temas uzunluğu ve talaş akışının kolaylaştırmasına yardım ederek kesme kuvvetleri ve ısı oluşumunun azalmasına yardımcı olur. Sonuç olarak azalan termal ve mekanik yükler en az deformasyondan etkilenmiş bölgenin MF formulu kesici takımla işlenmiş yüzey altında en fazla deformasyondan etkilenmiş bölgenin ise MM formulu kesici takımla işlenmiş yüzey altında oluşmasına sebep olacağı düşünülmektedir.

3.5. Mikrosertlik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Microhardness Measurements)

Deneyler sonucunda, uygulanan kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği) ve iki farklı kesici takım formuna bağlı olarak ölçülen mikrosertlik değerleri ($HV_{0,5}$) Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde; tüm işleme deneyleri için, işlenmiş yüzeyin

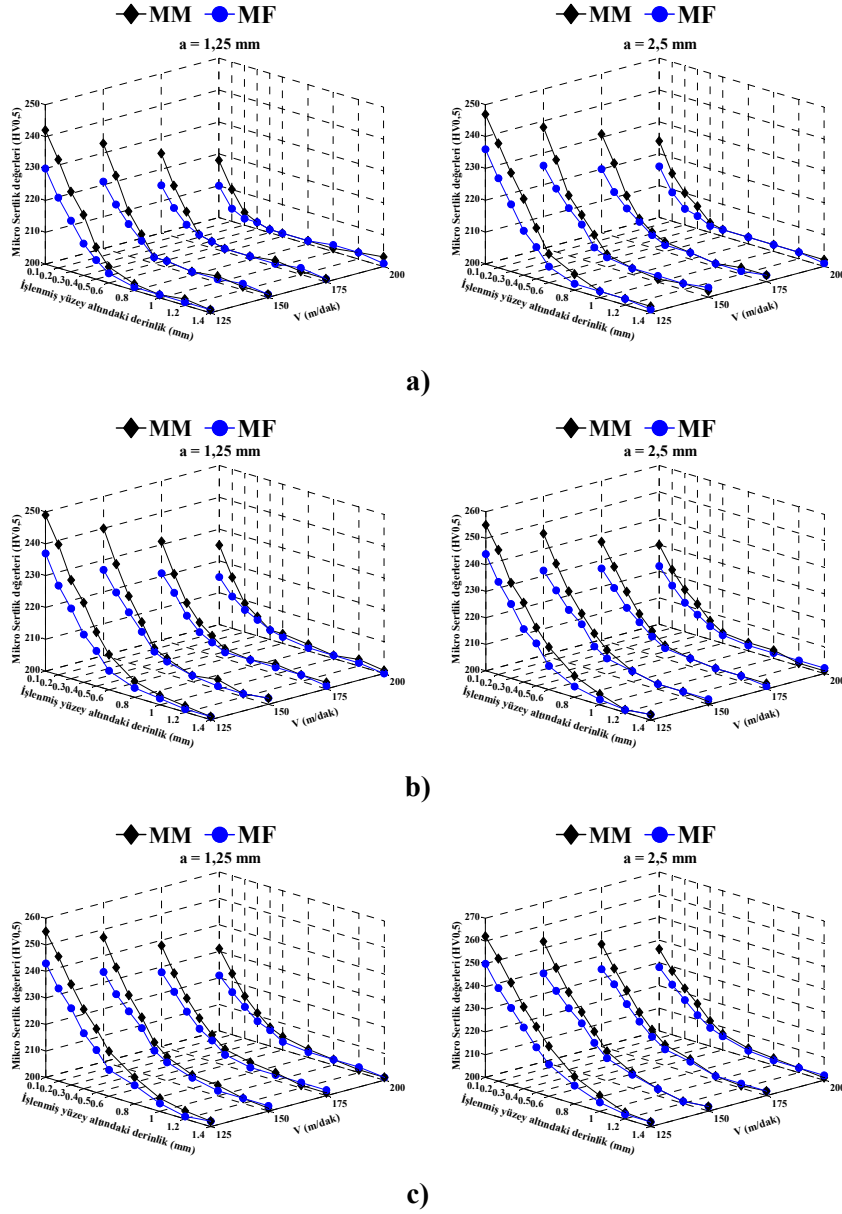


Şekil 6. $V=125$ m/dak, $f=0,3$ mm/dev ve $a=2,5$ mm kesme parametrelerinde iki farklı kesici takım formuna bağlı olarak işlenmiş yüzey altındaki mikroyapı değişimlerinin SEM görüntüleri a) MM Formu b) MF Formu
(SEM images of microstructural changes beneath machined surface depending on two different cutting tool forms in cutting parameters $V = 125$ m/min, $f = 0.3$ mm/rev, and $a = 2.5$ mm, a) MM form, b) MF form)

hemen altında deformasyona uğramış yerden deformasyona uğramamış malzemeye (bulk material) doğru gidildikçe mikrosertlik değerlerinin azalıp malzemenin ortalama sertlik değerine (202 ± 3) ulaştığı gözlenmiştir. Konuyla ilgili önceki çalışmalarda da aynı eğilim görülmüştür [16, 66, 69, 70, 73-77]. Araştırmacılar, işlemeden sonra işlenmiş yüzeye en yakın bölgede en yüksek sertlik değerini elde edilmesinin sebebi plastik deformasyona bağlı olarak bir çalışma sertleşmesinden (work-hardening) kaynaklandığını vurgulamıştır [69, 73-77].

Literatürde, işlenmiş yüzey altında deformasyonların sebep olduğu işlemeye karşılık olarak kolayca bir çalışma sertleşmesi katmanı şekillenebileceği ifade edilmiştir [69]. MM ve MF formlu kesici takımlar birbirleriyle karşılaştırıldığında (Şekil 7) en yüksek mikrosertlik değerleri MM formuna sahip kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerin altında en düşük mikrosertlik değerlerinin ise MM formuna sahip kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerin altında olduğu görülmektedir. Söz konusu bu durum, kesici takımların işlenmiş yüzeyin altında oluşturmuş oldukları deformasyon miktarının artış veya azalışına bağlı olarak ilişkilendirilmiştir. Yukarıda mikroyapı değişimleri bölümünde, işlenmiş yüzeyin altında en fazla

deformasyondan etkilenmiş bölgenin MM formuna sahip kesici takımlarla, en az deformasyondan etkilenmiş bölgenin ise MF formuna sahip kesici takımlarla oluşturduğu bahsedilmiştir. En düşük mikrosertlik değerleri işlenmiş yüzey altında en az deformasyon oluşturan MF ($\sim 53\mu\text{m}$) formlu kesici takımlarla en yüksek mikrosertlik değerleri ise en fazla deformasyon oluşturan MM ($\sim 65\mu\text{m}$) formuna sahip kesici takımlarla elde edilmiştir (Şekil 7). Literatürde yapılan çalışmalarda da en yüksek mikrosertlik değerini işlenmiş yüzey altında mikroyapının en fazla deformasyona uğradığı yerde en düşük mikrosertlik değerini ise en az deformasyona uğramış yerde elde ettiğini vurgulanmıştır [73, 74]. Yapılan deneysel çalışmalarda, genel olarak kesme derinliği ve ilerleme miktarı arttığında mikrosertlik değerlerinin arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte mikrosertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 7). Kesme hızı arttıkça mikrosertlik değerleri azalmıştır. Benzer sonuçlar Pawade ve Bosheh'in ayrı ayrı yapmış oldukları çalışmalarda Inconel 718 ve H13 takım çeliklerin işlenmesi sırasında düşük kesme hızlarında yüksek mikrosertlik değerleri elde ederek göstermiştir [66, 76]. Literatürde, kesme hızının işleme sırasında ısı oluşumu üzerinde de önemli bir etkiye sahip olduğu bahsedilmektedir [76]. Kesme hızının miktarı talaş kaldırmak için gerekli enerjiyi



Şekil 7. İki farklı kesici takım formu için kesme hızına bağlı olarak Mikrosertlik ($HV_{0.5}$) değişimi a) $f=0,1$ mm/dev b) $f=0,2$ mm/dev c) $f=0,3$ mm/dev
(Change in microhardness ($HV_{0.5}$) depending on cutting speed for two different cutting tool forms a) $f=0.1$ mm/rev b) $f=0.2$ mm/rev c) $f=0.3$ mm/rev)

tanımladığından kesme sırasında oluşan ısı miktarı ile de doğrudan ilişkilidir. İşleme sırasında, oluşan ısının yaklaşık %10-15 kadarı iş parçasına transfer edilir. Yüksek kesme hızlarında işleme yapıldığında iş parçasına transfer olan ısı miktarı azalır [60]. Bu yüzden kesme hızının artması iş parçasına transfer olan ısının miktarını azaltacağı için yüzey katmanında düşük mikrosertlik değerlerinin oluşmasına yol açabilir. Şekil 7'deki grafikler incelendiğinde kesme derinliği ve ilerleme miktarı arttıkça mikrosertlik değerleri artmıştır. Literatüre bakıldığında benzer sonuçlar görmek mümkündür [70, 78]. Ancak yapılan çalışmalarda ilerleme miktarı [70, 78] ya da kesme derinliği [70] arttığında mikrosertlik değerlerinin niçin arttığı hakkında hiç bilgi verilmemiştir. İlerleme miktarı ve kesme derinliği arttıkça,

artan talaş kesiti kesme kuvvetlerini de artırır. Daha yüksek ilerleme miktarı kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmasından dolayı plastik deformasyon için gerekli enerji miktarını artıracaktır. Artan bu enerji ısı enerjisi olarak açığa çıkacağından daha yüksek termal ve mekanik yüklerle birlikte işlenmiş yüzeyin hemen altında deformasyona uğramış bölgede daha yüksek mikrosertlik değerlerinin artmasına sebep olmuştur (Şekil 7).

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde kesici takım formu ve kesme parametrelerinin yüzey bütünlüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmış

ve yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular değerlendirilerek, aşağıda maddeler halinde özetlenen sonuçlar elde edilmiştir:

- Kesici takım formunun yüzey bütünlüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bütün kesme şartlarında, kesme derinliği ve ilerleme miktarı değeri arttığında yüzey bütünlüğünün kötüleştiği, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte yüzey bütünlüğünün iyileştiği görülmüştür.
- Kesici takım formları karşılaştırıldığında en iyi yüzey bütünlüğü sonuçları MF formulu kesici takımlarla, en kötü yüzey bütünlüğü sonuçları ise MM formulu kesici takımlarla elde edilmiştir. Talaş açısı arttıkça yüzey bütünlüğü iyileşmiştir.
- En iyi yüzey bütünlüğü kesme hızı 200 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda, en kötü yüzey bütünlüğü ise kesme hızı 125 m/dak, ilerleme miktarı 0,3 mm/dev ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edilmiştir.
- En iyi yüzey kalitesinin MF formuna sahip kesici takımlarla, en kötü yüzey kalitesinin ise MM formuna sahip kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerden elde edilmiştir. En yüksek çekme kalıntı gerilmeleri MM formuna sahip kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerde, en düşük çekme kalıntı gerilmeleri ise MF formuna sahip kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerde görülmüştür.
- İşlenmiş yüzey altındaki en fazla deformasyon MM(~65µm) formuna sahip kesici takımla, işlenmiş yüzey altındaki en az deformasyon ise MF(~53µm) formulu kesici takımla işlenmiş yüzey altında olduğu görülmüştür. En düşük mikrosertlik değeri işlenmiş yüzey altında en az deformasyon oluşturan MF formuna sahip kesici takımlarla, en yüksek mikrosertlik değerleri ise işlenmiş yüzey altında en fazla deformasyon oluşturan MM formuna sahip kesici takımlarla elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde finansman desteği sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma projelerine (Proje kodu: 07/2009-33) ve X-ışın kırınımı tarafından ölçülen kalıntı gerilme analiz ölçümleri için Atılım üniversitesi "Metal şekillendirme mükemmeliyet merkezine" teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Lucca, D.A., Brinksmeier, E., Goch, G., Progress in assessing surface and subsurface integrity, *Annals of the CIRP*, 47 (2), 669-693, 1998.
2. Field, M., Kahles, J.F., The surface integrity of machined and ground high strength steels, *DMIC Report*, 210, 54-77, 1964.
3. Saini, S., Ahuja, I.S., Sharma V.S., The effect of cutting parameters on surface integrity in hard turning, *Applied Mechanics and Materials*, 110(116), 751-757, 2012.
4. Field, M., Kahles, J. F., Review of Surface integrity of machined components, *Annals of the CIRP*, 20(2), 153-163, 1971.
5. Alexander, D., Bernardo, L., David, J., Escobar, Maria, D., Effect of the variation of cutting parameters in surface integrity in turning processing of an AISI 304 austenitic stainless steel, Technical contribution to the First International Brazilian Conference on Tribology, Copacabana, Brazil, 434-446, 24-25 November, 2010.
6. Javidi, A., Rieger U., Eichseder W., The effect of machining on the surface integrity and fatigue life (Technical note), *International Journal of Fatigue*, 30, 2050-2055, 2008.
7. Smith, S., Melkote, S.N., Lara-Curzio, E., Watkins T.R., Allard, L., Riestler, L., Effect of surface integrity of hard turned AISI 52100 steel on fatigue performance, *Materials Science and Engineering*, 459, 337-346, 2007.
8. Shi, J., Liu Richard, C., Two-step cutting for improving surface integrity and rolling contact fatigue performance of hard machined surfaces, *Materials and Manufacturing Processes*, 25, 495-502, 2010.
9. Choi, Y., Influence of feed rate on surface integrity and fatigue performance of machined surfaces", *International Journal of Fatigue*, 78, 46-52, 2015.
10. Bordin, A., Bruschi, S., Ghiotti, A., The effect of cutting speed and feed rate on the surface integrity in dry turning of CoCrMo alloy, 2nd CIRP Conference on Surface Integrity (CSI), *Procedia CIRP*, 13, 219-224, 2014.
11. Chaudhari R.G., Hashimoto F., Process controls for surface integrity generated by hard turning" 3rd CIRP Conference on Surface Integrity (CIRP CSI), *Procedia CIRP*, 45, 15-18, 2016.
12. Abboud E., Attia H. Shi, B., Damir, A., Thomson, V., Mebrahtu Y., Residual stresses and surface integrity of Ti-alloys during finish turning –guidelines for compressive residual stresses, 3rd CIRP Conference on Surface Integrity (CIRP CSI), *Procedia CIRP*, 45, 55-58, 2016.
13. Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K., The effect of tool nose radius on surface integrity and residual stresses when turning Inconel 718, *Journal of Materials Processing Technology*, 216, 123-132, 2015.
14. Marques, A., Guimarães, C., Batista da Silva, R., Fonseca, M. da P. C. Sales, W. F., Machado, A. R., Surface Integrity Analysis of Inconel 718 after Turning with Different Solid Lubricants Dispersed in Neat Oil Delivered by MQL, *Procedia Manufacturing*, 5, 609-620, 2016.
15. Iturbe, A., Hormaetxe, E. Garay, A., Arrazola, P.J., Surface integrity analysis when machining Inconel 718 with conventional and cryogenic cooling, 3rd CIRP Conference on Surface Integrity (CIRP CSI), *Procedia CIRP*, 45, 67-70, 2016.
16. Devillez, A., Coz, G.L., Dominiak, S., Dudzinski, D., Dry machining of Inconel 718, workpiece surface integrity, *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 1590-1598, 2011.
17. Yao, C., Lin, J., Wu, D., Ren, J., Surface integrity and fatigue behavior when turning γ -TiAl alloy with optimized PVD-coated carbide inserts, *Chinese Journal of Aeronautics*, 31(4), 826-836, 2018.
18. Liu, G., Huang, C., Zou B., Wang, X., Liu, Z., Surface integrity and fatigue performance of 17-4PH stainless

- steel after cutting operations, *Surface & Coatings Technology*, 307, 182-189, 2016.
19. Bordina, A., Bruschia, S., Ghiottia, A., The effect of cutting speed and feed rate on the surface integrity in dry turning of CoCrMo alloy, 2nd CIRP Conference on Surface Integrity (CSI), *Procedia CIRP*, 13, 219-224, 2014.
 20. Pretorius, C.J., Soo, S. L., Aspinwall, D. K., Harden, P. M. M'Saoubi, Rachid, Mantle, A. L., Tool wear behaviour and workpiece surface integrity when turning Ti- 6Al-2Sn-4Zr-6Mo with polycrystalline diamond tooling, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 64, 109-112, 2015.
 21. Gurbuz, H., AISI 316L Çeliğin İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi ve Kaplama Tiplerinin Yüzey Bütünlüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Türkiye, 1-179, 2012.
 22. Gürbüz H., Şeker, U., Kafkas F., Investigation of effects of cutting insert rake face forms on surface integrity, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90, (9-12), 3507-3522, 2017.
 23. ISO 3685, Tool-life testing with single-point turning tools, 1-12, 1993.
 24. Sandvik Coromant, Sipariş Katoloğu- Sandvik Coromanttan Kesici Takımlar 2009, C-2900:8 AB Sandvik Coromant, İsveç, A123, 2010.
 25. Sandvik Coromant, Teknik Kılavuz, C-2900:7 AB Sandvik Coromant, İsveç A101, 103-105, 2010.
 26. Sandvik Coromant El Kitabı, Talaşlı İmalat Teknolojisi Teknik Kılavuzu, C-2900:3 AB Sandvik Coromant, İsveç, A73, 2005.
 27. Outeiro, J.C., Dias A.M., Jawahir I.S., On the effects of residual stresses induced by coated and uncoated cutting tools with finite edge radii in turning operations, *Annals of the CIRP*, 55(1), 111-116, 2006.
 28. Outeiro, J.C., Dias, A.M., Lebrun, J.L., Astakhov, V.P., Machining residual stresses in AISI 316L steel and their correlation with the cutting parameters, *Machining Science and Technology*, 6(2), 251-270, 2002.
 29. M'Saoubi, R., Outeiro, J.C., Changeux, B., Lebrun, J.L., Morão Dias, A. "Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 96, 225-233, 1999.
 30. Outeiro, J.C., Pina, J.C., M'Saoubi, R., Pusavec, F., Jawahir, I.S., Analysis of residual stresses induced by dry turning of difficult-to-machine materials, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57, 77-80, 2008.
 31. Cullity, B.D., *Elements of X-ray diffraction 2nd ed.*, Addison-Wesley Series in Metallurgy and Materials, Canada, 86-87, 460-461, 1978.
 32. Chen, W., Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40, 455-466, 2000.
 33. Trent, E.M., *Metal cutting*, Butterworths Press, London, 1-171, 1989.
 34. Çiftçi, İ., Gökçe, H., Molibden alaşımlarının işlenmesinde kesici takım ve kesme parametrelerinin Taguchi Metodu ile optimizasyonu, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 201-214, 2019.
 35. Zhao, J., Ai, X., Li, Z., Finite element analysis of cutting forces in high speed machining, *Materials Science Forum*, 532-533, 753-756, 2006.
 36. Çiftçi, İ., Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools, *Tribology International*, 39, 565-569, 2006.
 37. Aslantaş, K., Uçun, İ., Uçun, İ., Ortogonal kesme işleminde kesici takım kaplama malzemesinin talaş kayma açısı üzerindeki etkisinin modellenmesi, 2. Ulusal Tasarım imalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 10-19, 2010.
 38. Shih, A.J., Finite element analysis of the rake angle effects in orthogonal cutting, *International Journal of Mechanical Sciences*, 38, (1), 1-17, 1996.
 39. Moufki, A., Molinari, A., Dudzinski, D., Modelling of orthogonal cutting with a temperature dependent friction law, *Journal of Mechanical Physics of Solids*, 46, 2103-2138, 1998.
 40. Sağlam, H., Unsacar, F., Yaldiz, S., Investigation of the effect of rake angle and approaching angle on main cutting force and tool tip temperature, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, 132-141, 2006.
 41. Günay, M., Şeker, U., Kesici takım talaş açısının ilerleme kuvveti üzerindeki etkisinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 8(4), 323-328, 2005.
 42. Günay, M., Korkut, İ., Aslan, E., Şeker, U., Experimental investigation of the effect of cutting tool rake angle on main cutting force, *Journal of Materials Processing Technology*, 166, 44-49, 2005.
 43. Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ., Şeker, U., Investigation of the effect of rake angle on main cutting force, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44, 953-959, 2004.
 44. Boothroyd, G., *Fundamentals of metal machining and machine tools*, Second edition, McGraw-Hill, New York, 166-172, 1989.
 45. Shaw, M. C., *Metal cutting principles*, Oxford University Press, Oxford, 1-9, 1989.
 46. De Garmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., *Materials and processes in manufacturing*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 214-652, 1997.
 47. Kaçal, A. Yıldırım F., PMD23 Çeliğinin tornalanmasında cbn kesici uçların kesme performansının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(1), 181-189, 2016.
 48. Baday, S., Başak, H., Güral, A., Analysis of spheroidized AISI 1050 steel in terms of cutting forces and surface quality, *Kovove Materialy*, 54, 315-320, 2016.
 49. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H. "PVD ve CVD Kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi", *Teknoloji Dergisi*, 7(3), 473-478, 2004.

50. Munoz-Escalona, P., Cassier, Z., Influence of the critical cutting speed on the surface finish of turned steel, *Wear*, 218, 103-109, 1998.
51. Thamizhmanii, S., Kamarudin, K.E., Rahim, A., Saporudin, A., Hassan, S., Tool wear and surface roughness in turning AISI 8620 using coated ceramic tool, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol II WCE, London, 1157-1161, 2007.
52. Hagiwara, M., Chen, S., Jawahir, I.S., Contour finish turning operations with coated grooved tools: Optimization of Machining Performance, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 332-342, 2009.
53. Günay, M. Investigation of the interaction between the surface quality and rake angle in machining of AISI 1040 steel, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26, 105-111, 2007.
54. Outeiro, J.C., Umbrello, D., M'Saoubi, R., Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L Steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46(14), 1786-1794, 2006.
55. Maranhão, C., Davim P.J., Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: Numerical simulation and experimental validation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18, 139-156, 2010.
56. Tunç, L., AISI 316L tipi paslanmaz çeliklerin frezelemesinde MQL şartlarının takım ömrüne etkisi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(4), 1665-1678, 2019.
57. Jacobus, J.K., Modelling of the in-plane biaxial residual stress from machining, PhD Thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, A.B.D., 1-23, 1999.
58. Kishawy, H.E.A., Chip formation and surface integrity in high speed machining of hardened steel, Doctor of Philosophy, Mc Master University, Canada, 87-89, 1998.
59. Liu, C.R., Barash, M.M., Variables governing patterns of mechanical residual stress in a machined surface, *Journal of Engineering for Industry, Transactions ASME*, 104(3), 257-264, 1982.
60. Sandvik Coromant, Modern metal cutting—A practical handbook, English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, I-III, 1994.
61. Matsumoto, Y., Hashimoto, F., Lahoti, G., Surface integrity generated by precision hard turning, *Annals of the CIRP*, 48(1), 59-62, 1999.
62. Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K., An analysis of the residual stresses generated in Inconel 718 when turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 173, 359-367, 2006.
63. Dahlman, P., Gunnberg, F., Jacobson, M., The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning, *Journal of Materials Processing Technology*, 147, 181-184, 2004.
64. Sasahara, H., Obikawa, T., Shirakashi, T., Prediction model of surface residual stress within a machined surface by combining two orthogonal plane models, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44, 815-822, 2004.
65. Gunnberg, F., Escursell M., Jacobson, M., The influence of cutting parameters on residual stresses and surface topography during hard turning of 18MnCr5 case carburised steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 174, 82-90, 2006.
66. Bosheh, S.S., Mativenga, P.T., White layer formation in hard turning of H13 tool steel at high cutting speeds using CBN tooling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46, 225-233, 2006.
67. Jawahir, I.S., Brinksmeier, E., Saoubi, R.M., Aspinwall, D.K., Outeiro, J.C., Meyer, D., Umbrello, D., Jayala, A.D., Surface integrity in material removal processes: Recent advances, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60, 603-626, 2011.
68. Barbacki, A., Kawalec, M., Hamrol, A., Turning and grinding as a source of microstructural changes in the surface layer of hardened steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 133, 21-25, 2003.
69. Ulutan, D., Ozel, T., Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51, 250-280, 2011.
70. Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., Okeke, C.I., Tool life and surface integrity when machining Inconel 718 with PVD and CVD coated tools, *Tribology Transactions*, 42(2), 353-360, 1999.
71. Yang, X., Liu, C.R., Machining titanium and its alloys, *Machining Science and Technology*, 3(1), 107-139, 1999.
72. Kishawy, H.A., Elbestawi, M.A., Tool wear and surface integrity during high-speed turning of hardened steel with polycrystalline cubic boron nitride tools, *Journal of Engineering Manufacture*, 215, 755-767, 2001.
73. Che-Haron, C.H. "Tool life and surface integrity in turning titanium alloy", *Journal of Materials Processing Technology*, 118, 231-237, 2001.
74. Che-Haron, C.H., Jawaid, A., The effect of machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6%Al-4%V", *Journal of Materials Processing Technology*, 166, 188-192, 2005.
75. Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K., Workpiece surface integrity and tool life issues when turning Inconel 718 nickel based superalloy, *Machining Science And Technology*, 8(3), 399-414, 2004.
76. Pawade, R.S., Joshi, S.S., Brahmankar P.K., Effect of machining parameters and cutting edge geometry on surface integrity of high-speed turned Inconel 718, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48, 15-28, 2008.
77. Coelho, R.T., Silva, L.R., Braghini Jr, A., Bezerra, A.A., Some effects of cutting edge preparation and geometric modifications when turning Inconel 718 at high cutting speeds, *Journal of Materials Processing Technology*, 148(1), 147-153, 2004.
78. Umbrello, D., Filice, L., Improving surface integrity in orthogonal machining of hardened AISI 52100 steel by modeling white and dark layers formation, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58, 73-76, 2009.