MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNE VE YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

AKİF FURKAN YARATAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNE VE YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

AKİF FURKAN YARATAN

(523219001)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2021

ÖNSÖZ

Mesleki ve akademik gelişimim için tecrübelerinden yararlanma imkânı sunan, tez konusunun belirlenmesinde ve tez yazım aşamasında desteğini esirgemeyerek bana öncülük eden tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Yusuf KAYNAK'a çok teşekkür ediyorum.

Eğitim ve iş hayatım boyunca benimle strestimi ve heyecanımı paylaşan, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, annem ile babama en içten dileklerimle teşekkür ediyorum.

Tez çalışmam sırasında, deney süreçlerinde desteklerini esirgemeyen iş arkadaşım Serkan KAYA'ya, sonuçların incelenmesi konusunda yardımcı olan diğer iş arkadaşlarım, Ali Özkan KESKİN, Emre TAŞCIOĞLU, Ferhat ÇELİK ve Gökhan ATAY' a teşekkürlerimi iletiyorum.

Bu çalışma kapsamında malzeme ve deney imkânı sağlayan Torun Bakır Alaşımları Metal San. Ve Tic. A.Ş. 'a değerli katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Mart, 2021 **Akif Furkan YARATAN**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ….i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET …… 4
ABSTRACT 5
SEMBOLLER 6
KISALTMALAR 7
ŞEKİL LİSTESİ 8
1. GİRİŞ … 12
2. materyal ve yöntem 16
2.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan İş Malzemesi 16
2.2 CNC Dikey İşleme Merkezi, Takım Tutucular ve Kesici Takım 17
2.3 Soğutucu 20
2.4 Kesme Parametleri 20
2.5 Kesici Takım Geometrisi 21
2.6 Kesme Kuvvetleri Ölçümü 22
2.7 Takım Aşınması Ölçümü ve Mikroyapı Analizi 22
2.8 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü 23
2.9 Yüzey Bütünlüğü Analiz Çalışmaları Kapsamında Kullanılan Ekipmanlar 24
2.10 Sertlik Ölçümü 25
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 26
3.1 Tez Çalışması: Birinci Aşama 26
3.1.1 Kesme Kuvvetleri 26
3.1.2 Kesici Takım Aşınma Mekanizmaları 28
3.1.3 Talaşlar 31
3.1.4 Topografi Bütünlüğü 34
3.1.5 Çapak Yüksekliği 36
3.2 Tez Çalışması: İkinci Aşama 37
3.2.1 Kesme Kuvvetleri 37
3.2.2 Kesici Takım Aşınmaları 42

3.2.3 Talaş Kırılabilirliği 56
3.2.4 Topografi Bütünlüğü 57
3.2.5 Yüzey Altı Sertlik 61
4. SONUÇLAR 65

ÖZET

KESİCİ TAKIM GEOMETRİSİNİN PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ VE YÜZEY BÜTÜNLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Östenit paslanmaz çeliklerden daha yüksek mukavemete, ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksek tokluğa ve gerilme korozyonu çatlamasına karşı daha yüksek dirence sahip olan dubleks paslanmaz çelikler, petrokimya ve nükleer endüstrisinde, klorür içeren sulu çözeltili uygulamalarda ve açık deniz teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık olarak eşit miktarda ferrit ve östenit içeren bu alaşımlar, aynı zamanda farklı kullanım alanlarında istenen çeşitli özellikler nedeniyle farklı alaşım elementleri de içerirler. Bu alaşım elementlerinin eklenmesiyle mekaniksel özelliklerin ve korozyon direncinin iyileştirilmesi hedeflenirken, kaçınılmaz bir dezavantajı beraberinde getirebilirler. Bu dezavantaj, alaşımların işlenebilirliğini azaltırken, işleme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklarla beraber malzemenin daha da sünekleşmesine ya da tokluk ve korozyon direnci kaybına yol açabilir. Östenit yapıcı yüksek nitrojen içeriği dubleks paslanmaz çelik alaşımlarının işlenebilirliğini zorlaştırmak eğilimindedir. Aynı zamanda ferrit faz yapısının varlığı, dubleks paslanmaz çeliklerin sünek bir kırılgan geçiş sıcaklığına sahip olmasına yol açar. Kesici takım, dubleks yapının östenit ve ferrit taneleri arasında değişeceğinden, işleme sırasında kesici takım üzerinde çatlak başlatma eğilimine neden olur. Bununla beraber yüksek işleme sertliğine sahip olan bu alaşımlar, kesici takımın hızla aşınmasına yol açar. Kesici takımda meydana gelen değişimler ise, iş parçasının geometrik toleranslarına, yüzey pürüzlülüğüne, üretim verimliliğine ve hurda oranına etki etmektedir. Bu nedenlerden dolayı, bu çalışmada X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşım malzemesinin delinmesi esnasında, kesme parametrelerinin ve kesici takım geometrisinin, kesme kuvvetlerine, takım aşınmasına, talaş kırılabilirliğine ve iş parçasının kalite bileşenlerine etkisinin incelenmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dubleks paslanmaz çelik, Talaşlı imalat, Kesici takım geometrisi, Kesme Parametreleri

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING TOOL GEOMETRY ON THE MACHINABILITY AND SURFACE INTEGRITY OF STAINLESS STEEL MATERIALS

Withal higher strength than austenitic stainless steel, higher toughness than ferritic stainless steel, and higher resistance to stress corrosion cracking, duplex stainless steel alloys are widely used in the petrochemical and nuclear industry, in an application which aqueous solution containing chloride, and in offshore technologies. Duplex stainless steel alloys contain different alloying elements due to the various properties desired under different working conditions, which combine approximately equal amounts of ferrite and austenite. It is aimed to improve the mechanical properties and corrosion resistance with the addition of these alloying elements, but they may bring an inevitable disadvantage. While reducing the machinability of the alloys, at the same time this disadvantage can lead to further ductility of the material or loss of toughness and corrosion resistance with the high temperatures that occur during machining. The austenitic high nitrogen content tends to complicate the machinability of duplex stainless steel alloys. And, the presence of ferrite phase structure causes duplex stainless steels to have a ductile-brittle transition temperature. The cutting tool tends to initiate cracks on the cutting tool during machining as the duplex structure will vary between austenite and ferrite grains. However, these alloys with high machining hardness cause rapid wear of the cutting tool. Changes in the cutting tool affect the workpiece's geometric tolerances, surface roughness, production efficiency, and scrap rate. For these reasons, this study is aimed to examine the effects of cutting parameters and cutting tool geometry on cutting forces, tool wear, chip breakability, and quality components of the workpiece during the drilling of X2CrNiMoN22-5-3 duplex stainless steel alloy material.

Keywords: Duplex stainless steel, Machining, Cutting tool geometry, Cutting Parameters

SEMBOLLER

Cr : Krom
Mo : Molibden
W : Tungsten
Nb : Niyobyum
Si : Silisyum
Ti : Titanyum
V : Vanadyum
Ni : Nikel
Mn : Manganez
C : Karbon
N : Azot
Co : Cobalt
Cu : Bakır
P : Fosfor
S : Kükürt
Si : Silisyum
Ni : Nikel
Kw : Kilowatt
Ra : Aritmetik Ortalama Pürüzlülük
Rz : Maksimum Pürüzlülük Derinliği
Ff : İlerleme Kuvveti
α : Boşluk Açısı
ß : Radyal Talaş Açısı
y˚ : Eksenel Talaş Açısı
Ø : Çap

KISALTMALAR

HV : Vickers Sertliği

BUE : Talaş Yığılması

ISO : Uluslararası Standartlar Teşkilatı

CNC : Bilgisayarlı Sayısal Kontrol

PVD : Fiziksel Buhar Biriktirme

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Schaeffer diagramı: Farklı kompozisyonlardaki paslanmaz çelik alaşımlarının 30 dakika için 1050°C ye ısıtılması ve sonrasında su verilmesi ile oda sıcaklığındaki kararlı fazlarının gösterilmesi. [43] 12

Şekil 2.1 X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşım malzemesi: a) işleme öncesi, b) işleme sonrası. 16

Şekil 2.2 X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşım malzemesinin mikroyapı görüntüsü ve faz oranları. 17

Şekil 2.3 Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi 17

Şekil 2.4. PDJNL 2525M 11HP tip jet katerin 3-D gösterimi..... 19

Şekil 2.5. Hidroluk tutucu, yekpare karbür matkap ve karbür mikroyapısının SEM görüntüsü. 19

Şekil 2.6 Kuvvet ölçüm metodunun görüntülenmesi 22

Şekil 2.7 Mikroyapı ve takım aşınması görüntülerinin alındığı dijital optik mikroskop 23

Şekil 2.8 Yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı 24

Şekil 2.9. (a) Numune Kesme Cihazı, (b) Bakalite Alma Cihazı, (c) Zımparalama ve Partlama Cihazı 25

Şekil 2.10. Sertlik Ölçüm Cihazı..... 26

Şekil 3.1 Kesme hızına ve ilerlemeye bağlı ilerleme kuvveti değişimi 27

Şekil 3.2 Kesme hızına ve ilerlemeye bağlı ağızlama sırasında oluşan ilerleme kuvveti 28

Şekil 3.3 Kesici takımda meydana gelen aşınma mekanizmalarının detaylı gösterimi a) çisel aşınması b) serbest yüzey aşınması..... 29

Şekil 3.4 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı çisel aşınması..... 30

Şekil 3.5 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı serbest yüzey aşınması 31

Şekil 3.6 Talaş formlarının sınıflandırılması..... 32

Şekil 3.7 Kesme hızının ve ilerlemenin talaş formu üzerindeki etkisi 33

Şekil 3.8 Kesme hızına ve ilerlemeye bağlı yüzey pürüzülülük değişimleri: a) Ra, b) Rz 34

Şekil 3.9 Kesme hızına ve ilerleme bağlı yüzey topografisinin değişim görüntüleri..... 36

Şekil 3.10 Çıkış çapağının keyence dijital optik mikroskop yardımıyla alınmış görüntüsü 36

Şekil 3.11 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı çıkış çapağı yüksekliği 37

Şekil 3.12 Kesici takım aşınması etkisi altında kesici takım geometrisine bağlı ilerleme kuvvetinin değişimi 38

Şekil 3.13 Boşluk açısının aşamalı takım aşınmasıyla kesme kuvveti üzerindeki etkisi 39

Şekil 3.15 Eksenel talaş açısının aşamalı takım aşınmasıyla kesme kuvveti üzerindeki etkisi 40

Şekil 3.14 Eksenel talaş açısının aşamalı takım aşınmasıyla kesme kuvveti üzerindeki etkisi 42

Şekil 3.16 Kesici takım aşınmaları mekanizaması: a) uç (chisel) aşınması, b) serbest yüzey aşınması, c) krater aşınması, d) talaş yığılması formasyonu 43

Şekil 3.17 1250 mm işleme yapan kesici takımların tepe görüntüsü: α: boşluk açısı, γ: radyal talaş açısı, ß: eksenel talaş açısı..... 44

Şekil 3.18 1250 mm işleme yapan kesici takımların yan görüntüsü: α: boşluk açısı, γ: radyal talaş açısı, ß: eksenel talaş açısı..... 45

Şekil 3.19 1250 mm işlemeden sonra kesici takım geometrisine bağlı serbest yüzey aşınma değişimi 46

Şekil 3.20 1250 mm işlemeden sonra takım geometrisine bağlı serbest yüzey aşınması görüntüleri 47

Şekil 3.21 1250 mm işlemeden sonra takım geometrisine bağlı çisel aşınma görüntüleri 48

Şekil 3.24 Boşluk açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması görüntüleri 49

Şekil 3.25 Boşluk açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması değerleri 50

Şekil 3.32 Eksenel talaş açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması görüntüleri 51

Şekil 3.33 Eksenel talaş açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması değerleri..... 52

Şekil 3.28 Radyal talaş açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması görüntüleri 53

Şekil 3.29 Radyal talaş açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması değerleri..... 54

Şekil 3.34 Kesici takım ve talaş kırılma mekanizması..... 55

Şekil 3.35 İşleme sırasında takıma yapışan talaşın 2D ve 3D görüntüleri..... 56

Şekil 3.36 Kesici takım geometrisine bağlı talaş formları 57

Şekil 3.37 Takım aşınması etkisi altında boşluk açısına bağlı yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi 58

Şekil 3.38 Takım aşınması etkisi altında boşluk açısna bağlı yüzey topografisi değişimi 58

Şekil 3.39 Takım aşınması etkisi altında radyal talaş açısına bağlı yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi 59

Şekil 3.40 Takım aşınması etkisi altında radyal talaş açısına bağlı yüzey topografisi değişimi 60

Şekil 3.41 Takım aşınması etkisi altında eksenel talaş açısına bağlı yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi 60

Şekil 3.42 Takım aşınması etkisi altında eksenel talaş açısına bağlı yüzey topografisi değişimi 61

Şekil 3.43 Kesici takım aşınmasının etkisi altında kesici takım geometrisine bağlı yüzeyin 15 mikron altında meydana gelen sertlik değişimi..... 62

Şekil 3.44 1250 mm işlemede sonra boşluk açısına bağlı yüzey altı sertlik değişimi ... 63

Şekil 3.45 1250 mm işlemede radyal talaş açısına bağlı yüzey altı sertlik değişimi 64

Şekil 3.46 1250 mm işlemede eksenel talaş açısına bağlı yüzey altı sertlik değişimi ... 64

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşımının kimyasal bileşimi 16

Tablo 2.2 Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi mekanik özellikleri 18

Tablo 2.3. Karbür hammaddesine ait teknik veriler 20

Tablo 2.4. Talaşlı imalat testleri için belirlenen kesme koşulu ve parametreleri. 20

Tablo 2.5 Talaşlı imalat deneyleri için belirlenen kesici takım geometrileri 21

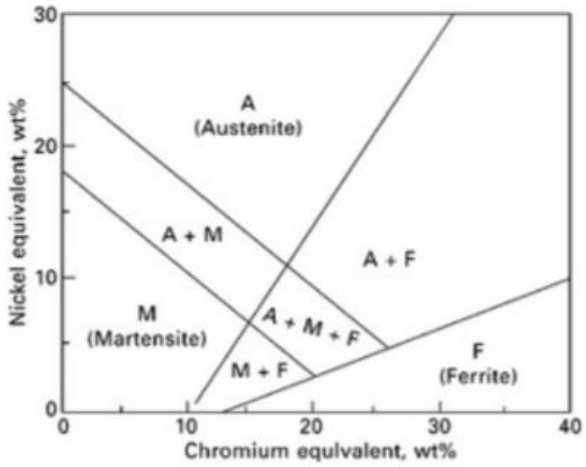
Tablo 2.6 KEYENCE VHX-6000 digital mikroskobun teknik özellikleri 23

Tablo 2.7 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm ayrıntısı 24

1. GİRİŞ

Yarım yüzyıldan fazla bir süredir birçok endüstriyel, mimari, kimyasal ve tüketici uygulamasında kullanılan paslanmaz çelik; kendiliğinden aktifleşen ve korozyon direnci sağlayan bir yüzey tabakası (pasif tabaka) oluşumunu temin etmek üzere gereken miktarda %10,5' den fazla krom ve maksimum %1,2 karbon içeren demir alaşımıdır [1-2]. Bu alaşımları arzu edilebilir kılan ve bu alaşımlara "paslanmaz" adını veren özelliği, atmosfer koşullarında çok yavaş gerçekleşen korozyon hızıdır. Oda sıcaklığında, çok hızlı bir oksidasyonu takiben, bu alaşımlar sıfıra yakın bir oksidasyon oranına sahiptir. [3]

Paslanmaz çelikler ailesinde, östenit ve ferrit paslanmaz çelik alaşımları arasında dubleks faz yapısına sahip paslanmaz çelik alaşımları da bulunmaktadır. Çoğu paslanmaz çelik alaşımında termodinamik olarak anlamlı miktarlarda manganez, silikon, karbon ve nikel ile yüksek konsantrasyonlarda nikel ve / veya molibden bulunur. Dubleks paslanmaz çeliklerin, özellikle yüksek seviyede krom (bazıları için molibden) ve düşük seviyede kükürt içerdiği için lokal korozyona karşı iyi bir dirence sahip olduğu bilinmektedir. [4-5]. Ayrıca, düşük sülfür seviyesi, bu sınıflar için iyi bir tokluk ve iyi bir sıcak çalışabilirlik sağlar [4].



Şekil 1.1 Schaeffer diagramı: Farklı kompozisyonlardaki paslanmaz çelik alaşımlarının 30 dakika için 1050°C ye ısıtılması ve sonrasında su verilmesi ile oda sıcaklığındaki kararlı fazlarının gösterilmesi. [6]

Denge koşulları altında, ferriti teşvik eden elementler (Cr, Mo, W, Nb, Si, Ti ve V) ferritik yapıya difüzyonla konsantre edilir. Aynı zamanda, östenit teşvik edici elementler (Ni, Mn, C, N, Co ve Cu), ostenitik yapıya difüzyonla konsantre edilir. [7] Malzemenin çatlak korozyonu ve paslanma sonrası çürüme direnci özelliklerinden sorumlu olan a-ferrit fazı, hacim merkezli bir kübik kristal yapı içerir ve yüzey merkezli bir kübik yapıya sahip c-ostenit fazı daha yüksek mukavemet ve östenitik paslanmaz çeliğe kıyasla iki kat akma dayanımı sağlar [8-9].

Fakat dubleks paslanmaz çelik kalitelerinin daha yüksek östenit ve nitrojen içerikleri nedeniyle işlenebilirliği zor alaşımlar eğilimindedir ve artan alaşım içeriği ile işlenebilirlik hızla azalır [10]. Düşük işlenebilirliğe sahip malzemeleri işlerken, takımların yüzey özelliklerinde modifikasyonun temel gereksinim olduğu kanıtlanmıştır. Daha yüksek kesme hızlarına sahip dubleks paslanmaz çelik işleme sırasında, kaplama kopması ve karbür kopmaları nedeniyle, proses takımın plastik deformasyonu ile sonuçlanır. Daha düşük kesme hızlarında işlenirse, dubleks paslanmaz çelik temel bir talaş yığılması sorunu vardır [11]. Talaşlı imalatta istenmeyen bir etki olan talaş yığılması, kesme malzemesinin kesici takıma yapışması ve takım aşınmasının hızlanmasında önemli bir etkiye sahip olması durumunda ortaya çıkar. Dahası, bu aşınma karakterizasyonu, zayıf yüzey kalitesi ve istenmeyen boyut toleransı ile sonuçlanır [12]. Krolczyk ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada dubleks paslanmaz çeliklerin kuru tornalanması sırasında düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerlerinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. [13]

Aynı zamanda ferritin varlığı, dubleks paslanmaz çeliklerin sünek bir kırılgan geçiş sıcaklığına sahip olduğu anlamına gelir. Talaşlı imalat sırasında kesici takımlarda kenar biriktirme eğiliminin yüksek olduğu bilinen DSS, takım dubleks yapının östenit ve ferrit taneleri arasında değişeceğinden, işleme sırasında kesici takım üzerinde çatlak başlatma eğilimine neden olur [14]. Olivera ve arkadaşlarını yaptığı bir çalışmada, dubleks paslanmaz çeliklerin tornalanması sırasında, kesici takım üzerindeki kaplama katmanının koptuğu gözlemlenmiştir. Karbür ve malzemenin temas ettiği bölgelerde yüksek sürtünme kat sayısının talaş ve malzeme yığılmasını kolaylaştırdığı görülmektedir. [15]

Dubleks paslanmaz çelik alaşımların düşük olan işlenebilirliğini arttırmak amacıyla yapılan çalışmalar literatürde yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda, kesici takım aşınması [16], kesme kuvvetleri [17], gerilme korozyonu çatlaması [18], yüzey bütünlüğü [14], talaş

kırılabiliriği [19] vb. konulara üzerine araştırmalar yapılmış ve birbirleriyle ilişkileri incelenmiştir. Bu araştırmalar, kesme parametrelerinin optimizasyonu [20] ve modellenmesi [21], kesme yağ [22] ve kriyojenik soğutma koşullarının etkisinin incelenmesi [23], kesici takım geometrisinin [24] ve kaplamaların [25] karşılaştırılması gibi konularda yaygınlaştırılmıştır. Dubleks paslanmaz çelik ürünleri kullanım alanlarının yaygın olması gereği çeşitli geometrilere sahiptirler. Bu geometri çeşitliliği, ürünlerin istenen şekile getirilmesi için birden fazla üretim yöntemi kullanılmasına neden olabilmektedir. Talaşlı imalat süreçleri ürünün nihai şekline ulaşması için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Tornalama [26], frezeleme [27] ve delik delme [28] gibi talaşlı imalatın ana operasyonlarını içeren bir çok çalışma mevcuttur.

Delik delme operasyonları, talaşlı imalatta çok önemli bir rol oynar, çünkü geleneksel işleme süreçleri arasında en yaygın olarak yürütülen işleme işlemlerinden biri olması nedeniyle talaş kaldırma işlemlerinin % 40'ından fazlası bu tür bir işlemle ilişkilidir [29-30]. Kesici takım geometrisi, matkap ve iş parçası malzemeleri, ilerleme hızı ve iş mili hızı gibi kesme parametreleri, delik doğruluğu, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve çapak yüksekliğiyle ilişkilendirilen delik delme operasyon performansını doğrudan etkiler [31]. Yapılan çalışmalarda paslanmaz çelik alaşımlarının delik delme operasyonları sırasında, matkapların yüksek kesme kuvvetlerine, yüksek kesme sıcaklıklarına ve yüksek sürtünme kuvvetlerine maruz kaldığı gösterilmiştir [28-32-33]. Bu sebeple, matkapların yüksek dayanıma, yüksek kızıl sertliğe ve düşük sürtünme katsayısına sahip olması beklenmektedir. Karbür matkaplar için; sürtünme kat sayısı ve kesme sıcaklıkları kesici takım geometrisiyle birlikte aşınma öncesi kaplama ve aşınma sonrası karbür yapısıyla ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte delik delme esnasında oluşan kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişim de benzeri bir ilişkinin içerisinde yer almakla beraber, kaplamadan ve karbür yapısından doğrudan etkilenmemekte, kaplamanın ve karbür yapısının sürtünme kat sayısında meydana getirdiği etkinin devamı olarak gözlemlenmektedir. Bu durumla birlikte kesici takım geometrisinde meydana gelen değişimlerin, iş parçasının malzemesine bağlı olarak büyük değişkenlik gösterdiği ve önem arz ettiği görülmektedir.

Literatür çalışmalarına bakıldığında, matkap uç geometrisinin döküm demir [34], çelik [35], sertleştirilmiş çelik [36], paslanmaz çelik [37] ve titanyum [38] alaşımları için etkisi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar özellikle uç açısı, helis açısı ve boşluk açısı üzerine yoğunlaşmıştır. Çağdaş ve arkadaşları, yaptığı çalışmada 304 paslanmaz çelik

malzemenin delik delme sırasında farklı karbür matkapların performansını ölçmüşlerdir [39]. Bu çalışmada, kesme parametreleri, matkap uç açısı ve helis açısı göz önüne alınmıştır. Bir başka çalışma da, Günay ve Meral, ferritik paslanmaz çeliklerin delik delmesinde gerçek kuvvetin, yüzey pürüzlülüğünün ve çapak yüksekliliğinin en aza indirgenmesi için optimizasyon yapmıştır. Bu çalışmaya göre, ilerleme hızının artmasıyla ilerleme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliğinin arttığı tespit edilmiştir. Öte yandan kesme hızının artmasıyla çapak yüksekliğinin arttığı, ilerleme ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı sonucu elde edilmiştir. Çapak oluşumundaki bu eğilim, ilerleme ve kesme hızındaki artışla artan sıcaklık nedeniyle kritik kırılma gerilimindeki artışla ilişkilendirilmiştir [40]. Ahmed ve arkadaşları ise, farklı kesme hızı, ilerleme ve PVD kaplama kalitelerine göre 304 östenitik paslanmaz çelik ve 2205 dubleks paslanmaz çelik malzemelerin delik delme operasyonlarında optimizasyon çalışmaları yapmışlardır [41]. Fang ve arkadaşları ise, paslanmaz çeliklerin kesme kuvveti üzerinde deneysel bir araştırma yapmıştır. Bu araştırmada, eksenel kuvvetin tüm proses boyunca sürdüğünü göstermişlerdir. Elde edilen kuvvetlerin zaman zaman dalgalandığı ve bu dalgalanmaların başlıca nedeninin ise, kesici takım üzerinde meydana gelen aşınmalardan kaynaklı talaş temas alanının sürekli değişmesi olduğunu öne sürmüşlerdir [42].

Günümüzde ise matkaplar, çok yönlü (multifaced) olarak üretilmekte ve talaş kırma açılarının da proses açısından önem arz ettiği bilinmektedir. Wu, çok yönlü matkapların geometrilerine dair bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kesici takım üzerinde bulunan açıların konumları ve değerlerini paylaşmıştır [43]. Gao ve arkadaşları, spiral matkapların geometrik parametrelerinin paslanmaz çeliğin delme performansı üzerindeki etkileri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada çisel kenar uzunlukları kıyaslanmıştır ve S formuna sahip helisel matkap ucunun eksenel kuvvetleri ve torkları düşürdüğü belirtilmiştir [44].

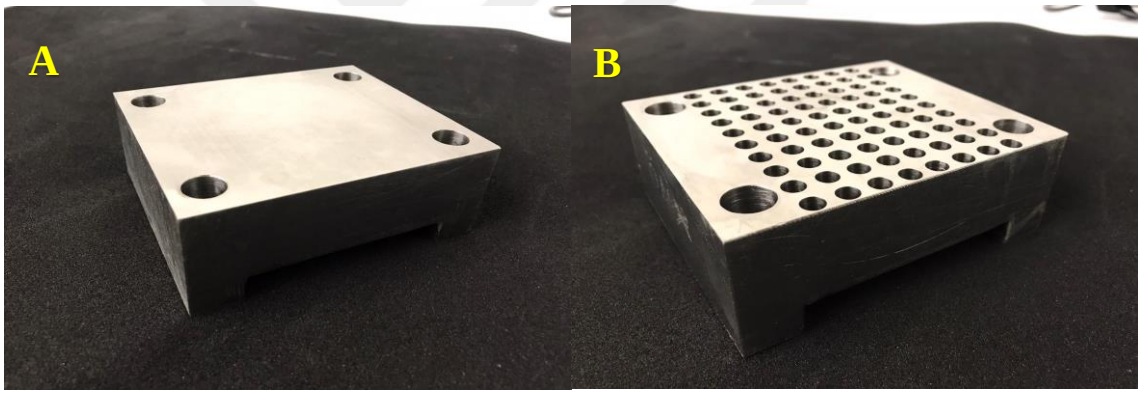
Özellikle östenit ve dubleks paslanmaz çelik alaşımları gibi sünek ve talaş kırılabilirliği düşük olan ve yüksek kesme kuvvetleri gerektiren malzeme gruplarında, talaş kırılabilirliğini iyileştirmek ve kesme kuvvetlerini azaltmak amacıyla takım geometrileri üzerine akademik ve endüstriyel çalışmalar devam etmektedir. Fakat literatür araştırmasında da görüldüğü üzere, kesici takım geometrisinin 2205 dubleks paslanmaz çelik malzemelerin delik delme esnasında, kesme kuvvetlerine, takım aşınmasına, yüzey pürüzlülüğüne ve yüzey bütünlüğüne etkisini araştıran bir çalışma olmadığı görülmüştür.

Dolayısıyla, bu çalışmanın, takım aşınmalarının etkisi altında kesici takım geometrisinin dubleks paslanmaz çeliklerin delik delme operasyonlarının performansına etkisinin araştırılmasının, literatüre katkı sunacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan İş Malzemesi

Yapılan çalışmalar sırasında işlenecek, 105 x 90 x 40 mm boyutlarında 10 adet X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşım malzemesi Kistler 9129AA tipi sabit dinamometreye bağlanabilmesi için ISO 2768-m standartlarına göre toleranslandırılan teknik resime göre üretilmiştir. Önceden işlenmiş yüzeyin yüzey kalitesi Ra 0.47 olarak ölçülmüş olup, iş parçasının deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 2.1'de sunulmuştur.



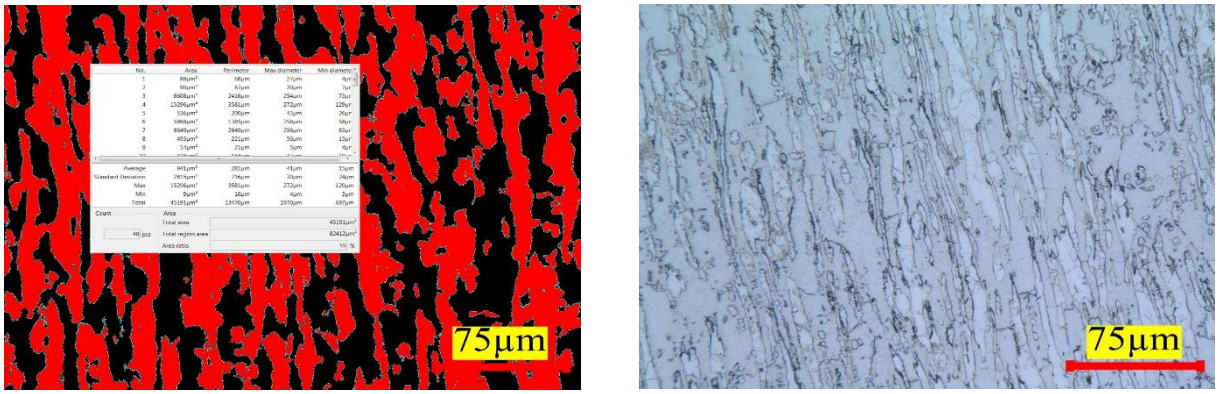
Şekil 2.1 X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşım malzemesi: a) işleme öncesi, b) işleme sonrası.

Çalışma kapsamında kullanılan X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşımının kimyasal bileşimi

Alaşım Elementi	C	P	S	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	N	Cu	Co
%	<0,03	<,035	<0,015	<1	<2	21-23	4,5-6,5	2,5-3,5	0,018	0,1-0,22	0,08	0,03

X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşımının mikroyapı görüntüsü dijital optik mikroskop kullanılarak görüntülenmiş olup Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Ferritik faz (siyah): % 45 Ferritik faz (gri)

Östenitik faz (kırmızı): % 55 Östenitik faz (beyaz)

Şekil 2.2 X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşım malzemesinin mikroyapı görüntüsü ve faz oranları.

2.2 CNC Dikey İşleme Merkezi, Takım Tutucular ve Kesici Takım

Tez çalışması boyunca gerçekleştirilen tüm talaşlı imalat deneylerinde Fanuc ROBODRILL Alpha-D21LiB5 CNC dikey işleme merkezi kullanılmıştır. İşleme merkezine ait mekanik özellikleri Tablo 2.2'te ve işleme merkezinin görüntüsü ise Şekil 2.3'te sunulmuştur.



Şekil 2.3 Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi

Tablo 2.2 Fanuc ROBODRILL alpha-21DLiB CNC dikey işleme merkezi mekanik özellikleri

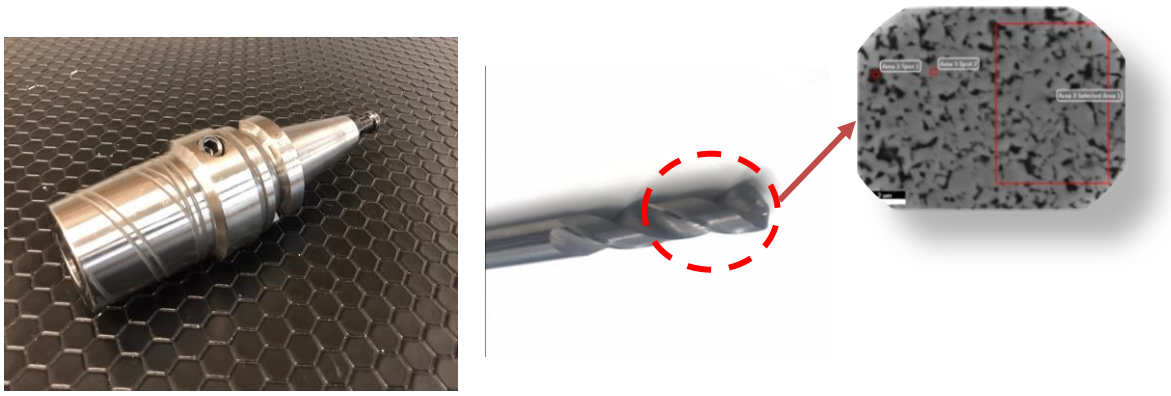
X/Y/Z	Mm	700 x 400 x 330
Maksimum takım boyu	Mm	250
Maksimum takım çapı	Mm	80
Tabla boyutu	Mm	850 x 410
Maksimum tabla yüklemesi	Kg	300
Maksimum takım ağırlığı	Kg	3
İş mili hızı	Devir	10000
İş mili torku	Nm- KW	80 – 14.2
Boştaki eksen hızları	m/ dak.	54
Takım adedi		21
Takım tutucu		BT30/ SK30 DIN 69871A
Programlanabilir ilerleme hızı	mm/dak.	30000
Boyutlar	m	2.165 x 2.65 x 2.85

X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşıma sahip iş parçasının talaşlı imalat deneyleri esnasında yekpare karbür matkap SK 30-20-90 BT tipi hidrolik tutucuya bağlanarak kullanılmıştır. Deneyler boyunca kullanılan karbür matkap Torun Bakır Alaşımları Metal San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde bulunan Torun Takımhane tarafından, ANCA FX7 Linear takım bileme tezgahında üretilmiştir. Kesici takımların tasarımı ANCA Toolroom programında yapılmıştır. Takım bileme tezgahının görüntüsü Şekil 2.4' te ve üretilen kesici takım ve kullanılan kesici takım tutucusunun fotoğrafı ise Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. ANCA FX7 Linear takım bileme CNC tezgahı

Tüm çalışma boyunca, kaplamasız yekpare karbür matkaplar kullanılmıştır. "Ultrafine" mikroyapıya sahip olan yekpare karbür matkaplara ait mikroyapı görüntüsü Şekil 2.5' de verilmiştir. Tüm deneyler aynı kalite karbür kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tane boyutları 0,5 ve 0,8 mikron değerleri aralığında olan karbürün detaylandırılmış bilgisine Tablo 2.3' de yer verilmiştir. Tablo 2.5' de belirtilen ikinci deney planında ise tez çalışmasının ikinci adımında gerçekleştirilen deneyler sırasında kullanılan kesici takımlara ait takım geometrilerine yer verilmiştir.



Şekil 2.5. Hidroluk tutucu, yekpare karbür matkap ve karbür mikroyapısının SEM görüntüsü.

Tablo 2.3. Karbür hammaddesine ait teknik veriler

Ürün Tanımı	Berlin Carbide DK500UF
Co %	8
WC %	92
Yoğunluk g/cm^3	14.55
Sertlik (HV30)	1690
Kırılma Tokluğu MPa.m$^{1/2}$	10.4
Ortalama tane boyutu	0.5
Sınıfı	K20-K30

2.3 Soğutucu

Tüm çalışmalar boyunca %7 derişimli bor yağı çözeltisi yağmurlama tipi soğutmayla kullanılmış olup, işleme esnasında kesici takımlar 15 bar içten su vermeli olarak çalıştırılmıştır. Bor yağının derişim çözeltisi taşınabilir refraktometre yardımıyla deneyler öncesinde ölçülmüştür.

2.4 Kesme Parametleri

X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşım malzemesinin delik delme testleri için 15, 30, 45 ve 69 m/ dak kesme hızları; 0.08, 0.1, 0.12 ve 0.14 mm/ dev ilerlemeleri seçilmiştir. Kesici takım olarak Ø6 yekpare karbür matkap kullanılmıştır ve çap değişkenliği yapılmamıştır. Tez çalışmasının ilk aşamasında gerçekleştirilen talaşlı imalat deneyleri için belirlenen kesme parametreleri ve kesme koşulları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Talaşlı imalat testleri için belirlenen kesme koşulu ve parametreleri.

Kesme Hızı (m/ dak)	İlerleme (mm/ dev)	Delik Çapı (Ø mm)	Kesme Koşulları
15	0.06	6 ± 0,05	%7 Bor Yağ
30	0.08		15 bar
45	0.1		
60	0.12		

2.5 Kesici Takım Geometrisi

X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşım malzemesinin ikinci aşama delik delme testleri için kesici takım geometrisinde: 6, 8, 10 ve 12 ° boşluk açısı; 3, 5, 7 ve 9 ° radyal talaş açısı ve 8, 10, 12 ve 14 ° eksenel talaş açısı seçilmiştir. Uç açısı 138 ° ve helis açısı 30 ° olarak belirlenmiştir. Kesici takımların yuvarlanma yarı çapı ise 5 mikron olarak ölçülmüştür. Tez çalışmasının ikinci aşamasında gerçekleştirilen talaşlı imalat deneyleri için belirlenen kesici takım geometrileri Tablo 2.5'te verilmiştir.

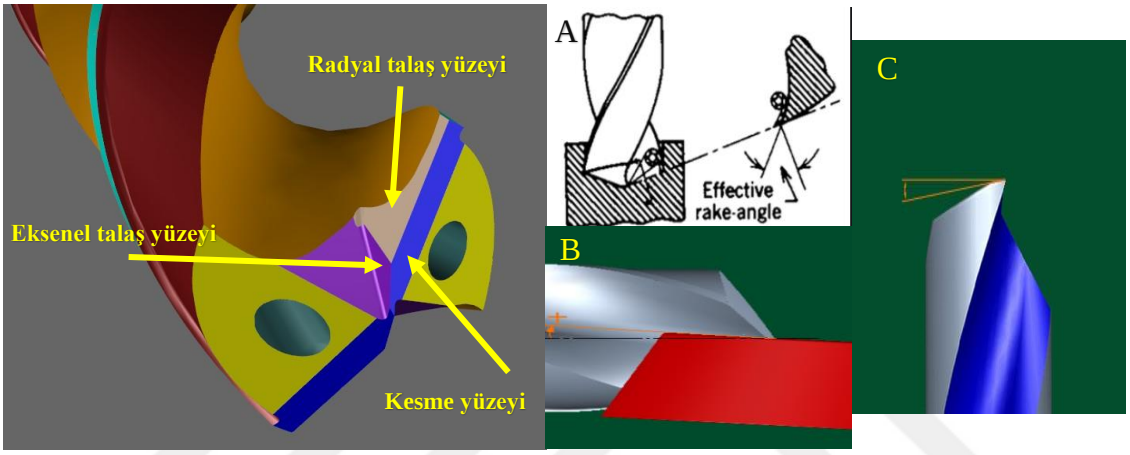


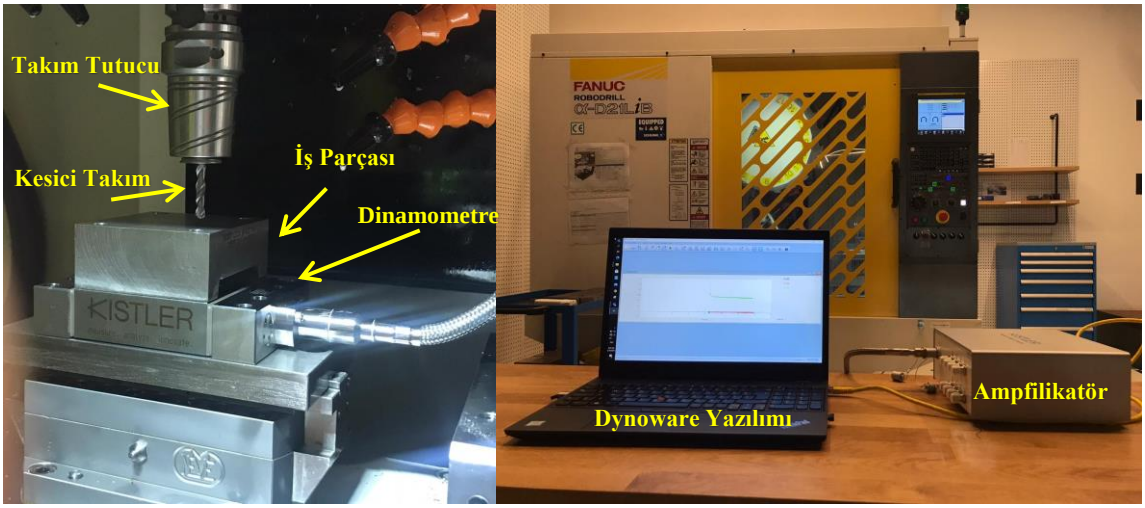
Figure 2.1 Karbür matkaba ait şematik gösterim

Tablo 2.5 Talaşlı imalat deneyleri için belirlenen kesici takım geometrileri

Boşluk Açısı (°)	Radyal Talaş Açısı (°)	Eksenel Talaş Açısı (°)	Uç açısı (°)	Helis Açısı (°)
6	3	8	138	30
8	5	10		
10	7	12		
12	9	14		

2.6 Kesme Kuvvetleri Ölçümü

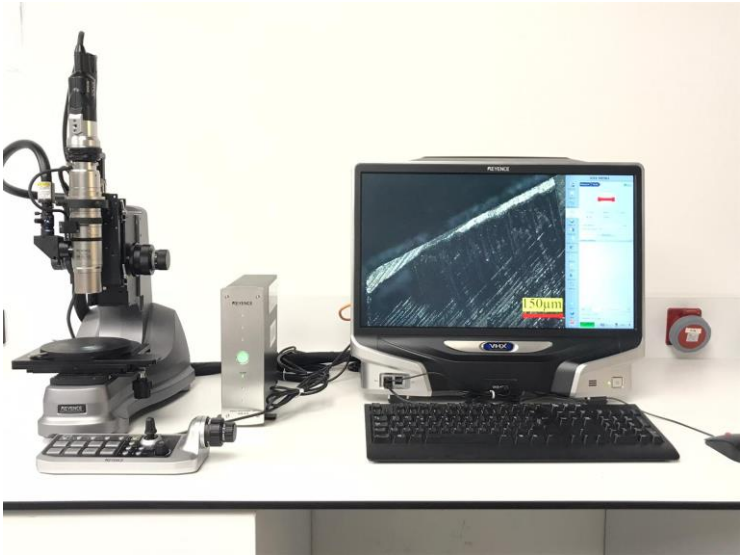
Delik delme işlemleri sırasında kesme kuvvetleri maksimum 10 kN ölçüm yapan , 0-70 °C sıcaklık aralığında ve su altında çalışabilen Kistler 9129AA tipi çok bileşenli dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen kuvvet verileri, LabAmp sistemi Tip 5167A amplifikatör kullanılarak bilgisayar aktarılmıştır. Veriler Dynoware yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Kistler 9129AA tipi dinamometre ve 5167A tipi ampfilikatör Şekil 2.9'da sunulmuştur. Delik delme işlemlemlerinde F_f kuvveti ilerleme kuvvetini ifade etmektedir ve ana kuvvet olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.6 Kuvvet ölçüm metodunun görüntülenmesi

2.7 Takım Aşınması Ölçümü ve Mikroyapı Analizi

Kesici takımlarda meydana gelen kesici takım aşınma mekaniklerinin görüntülenmesi ve aşınma miktarının ölçümlerinde, yüzey topografisi görüntüleme işlemlerinde ve mikroyapı analizlerinde Şekil 2.11'de gösterilen KEYENCE VHX-6000 digital optik mikroskop, VH-Z100R RZx100x1000 KEYENCE lens, VH-Z500R RZx500x5000 ve "KEYENCE software" yazılımı kullanılmıştır. Dijital optik mikroskoba ait teknik bilgiler Tablo 2.6'da sunulmuştur.



Şekil 2.7 Mikroyapı ve takım aşınması görüntülerinin alındığı dijital optik mikroskop

Tablo 2.6 KEYENCE VHX-6000 digital mikroskobun teknik özellikleri

Işık Kaynağı	LED
X, Y stage / Z stage	Manuel / Motorize
Yönler	(WxDxH) 550 x 200 x 470 cm
Kamera	18 MP
Lens	100x – 1000x / 500x – 5000x

2.8 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Tüm delik delme işlemlerinden sonra iç çap yüzeylerinin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek yüzey kaliteleri kıyaslanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Şekil 2.12' de görüntüsü sunulan Mitutoyo Surftest Extreme SV-3000 CNC yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Tablo x' de sunulmuştur. Numune yüzeylerinin "Aritmetik Ortalama Pürüzlülük", R_a, ve "Maksimum Pürüzlülük Derinliği", *Rz*, değerleri ölçülmüştür.



Şekil 2.8 Yüzey pürüzlülük ve form ölçüm cihazı

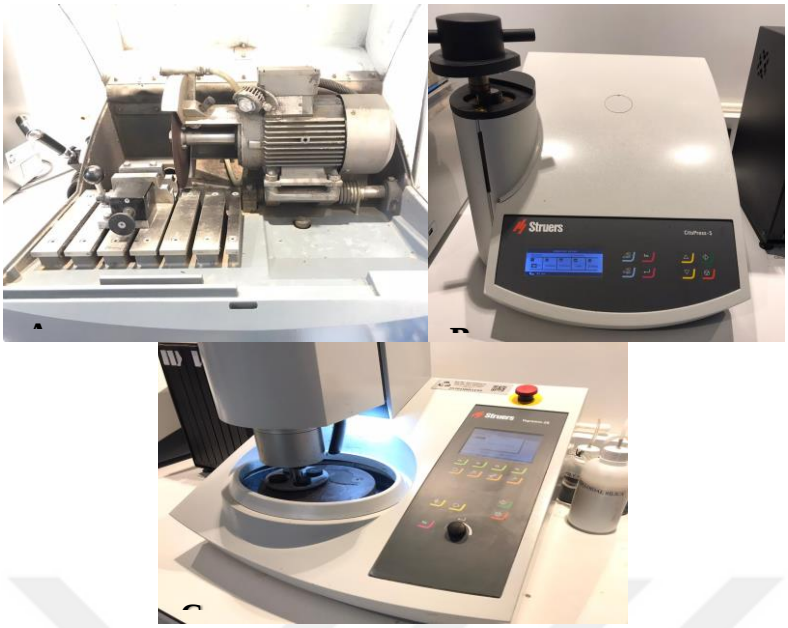
Tablo 2.7 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm ayrıntısı

Profil Türü	Roughness_ISO
Ölçüm Metodu	İğne Uç ile Ölçme
Lc	0.8 mm
Ls	0.0025 mm
Filtre Tipi	Gaussian
Örnekleme sayısı	5
Adım	0.0005 mm
Hız	1.0 mm/s

2.9 Yüzey Bütünlüğü Analiz Çalışmaları Kapsamında Kullanılan Ekipmanlar

Tüm deney çalışmalarından sonra işlenmiş numunelerin metalografik analizleri için Struers Labotom- 5 numune kesme cihazı yardımıyla numuneler kesilmiştir.

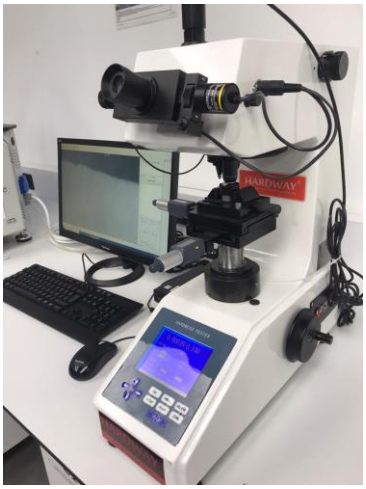
Numuneler belirlenen boyutlara göre kesildikten sonra bakalitlenmek üzere Struers CitoPress- 5 bakalit alma cihazına yerleştirilmiştir. Daha sonra bakalite alınan numuneler Struers Tegramin- 20 cihazında zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır. Kullanılan cihazların fotoğrafları Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.9. (a) Numune Kesme Cihazı, (b) Bakalite Alma Cihazı, (c) Zımparalama ve Partlama Cihazı

2.10 Sertlik Ölçümü

Zımparalama ve parlatma işlemleri tamamlanmış metalografik numunelerin yüzey ve yüzeyaltı sertliklerinin ölçülmesi için HARDWAY MHVD 1000IS model mikrosertlik cihazı (Şekil 2.14) kullanılmış ve görüntüler bilgisayar ortamına aktarılarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikrosertlik testleri ISO 6507-1 standartlarına uygun şekilde uygulanmış ve analiz edilmiştir. Vickers yöntemiyle yapılan ölçümlerde 50 g yük 15 saniye uygulama süresi tercih edilmiştir. Ölçümler, sadece tez çalışmasının ikinci aşamasındaki numuneler için gerçekleştirilmiştir ve numunelerin yüzey altından itibaren, 15, 30, 50, 150 ve 300 mikron derinliğinde 3 tekrarlı yapılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.10. Sertlik Ölçüm Cihazı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

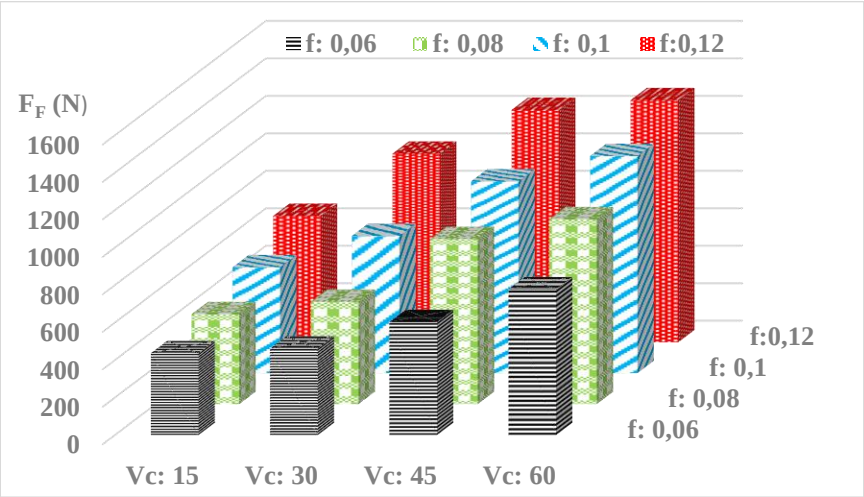
3.1 Tez Çalışması: Birinci Aşama

Tez çalışması kapsamında birinci aşama boyunca yapılan testlerde kesme hızının ve ilerlemenin kesme kuvvetine, kesici takım aşınma mekanizmalarına, talaş kırılabilirliğine, yüzey pürüzlülüğüne ve çapak yüksekliğine etkisi incelenmiştir.

3.1.1 Kesme Kuvvetleri

Delik delme operasyonları sırasında ilerleme kuvveti kesici takıma etki eden esas kesme kuvvettidir. Delik delme operasyonu sırasında meydana gelen kuvvetler, başlangıç (ağızlama) ve delik boyunca olarak ikiye ayrılmaktadır. Ağızlama boyunca meydana gelen kuvvetler, kesici takım tam çapta kavrama yaptıktan sonra oluşan kuvvetlerden daha fazla olarak ölçülmüştür. Tüm çalışmalar 8 tekrarlı olarak yapılmış ve elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır. Çalışmalar sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ortalaması farklı kesme hızları ve farklı ilerleme değerlerine göre Şekil 3.1'de görülmektedir. Şekil 3.2'de ise ağızlama sırasında oluşan kuvvet grafiğine yer verilmiştir. Grafiğe genel olarak bakıldığında hem kesme hızının hem de ilerlemenin, kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Kuvvet grafikleri kesme hızına bağlı olarak incelendiğinde, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, ilerleme açısından incelendiğinde de ilerleme arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Bu iki veri birbirlerine göre kıyaslandığında ise ilerlemenin kesme kuvvetlerinin etkisinin, kesme hızının kesme kuvvetlerine etkisinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

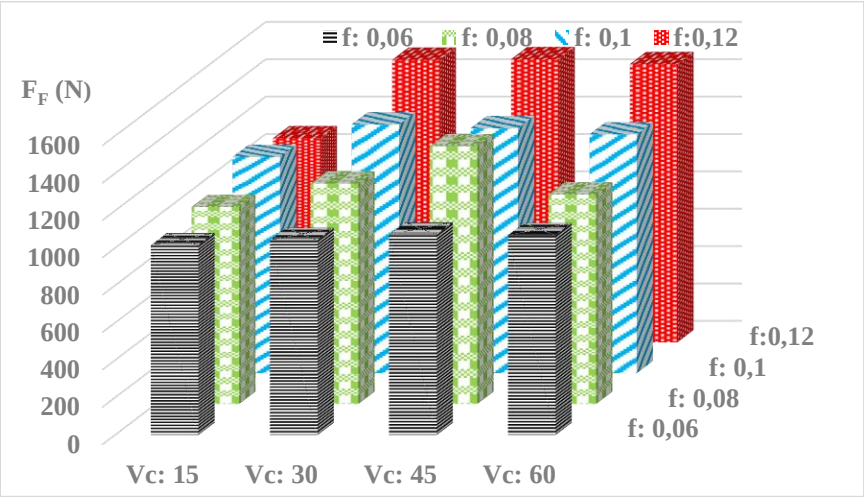


Şekil 3.1 Kesme hızına ve ilerlemeye bağlı ilerleme kuvveti değişimi

En düşük kesme kuvveti, en düşük kesme hızı ve en düşük ilerleme değerinde meydana gelmiştir. Aynı zamanda, en düşük ağızlama kuvveti de aynı kesme parametrelerinde meydana gelmiştir. En düşük kesme hızında, en düşük ilerleme değerinde (f= 0.06 mm/ dev) kesme kuvveti 436 N olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, aynı kesme hızında en yüksek ilerleme değerinde (f= 0,12 mm/ dev) 675 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme hızında kesme kuvvetlerinin, ilerlemenin artışına bağlı olarak %154 arttığı gözlemlenmiştir. 30 m/dk kesme hızında, en düşük ilerleme kuvveti, 0.06 mm/dev ilerlemede 461 N; en yüksek ilerleme kuvveti, 1006 N ve ilerlemenin artışına bağlı olarak ilerleme kuvvetinin artışı %218 olarak ölçülmüştür. 45 m/dak kesme hızında, en düşük ilerleme kuvveti, 0.06 mm/dev ilerlemede 602 N; en yüksek ilerleme kuvveti, 0.12 mm/dev ilerlemede 1040 N ve ilerlemenin artışına bağlı olarak ilerleme kuvvetinin artışı %172,75 olarak ölçülmüştür. En yüksek kesme hızlarında ise, en düşük ilerlemeden en yüksek kesme ilerlemeye kadar sırasıyla, 777, 984, 1141 ve 1292 N olarak ölçülmüştür. İlerleme bağlı kesme kuvvetlerindeki artışa bakıldığında %166 oranında bir artış gözlemlenmiştir ve en yüksek kesme hızlarında, en düşük kesme hızlarından daha büyük bir artış olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ilerleme kuvveti artışının ise 30 m/dak kesme hızında gerçekleştiği görülmektedir.

Ağızlama kuvvetleri incelendiğinde ise, kuvvetlerin ilerleme kuvvetlerine oranla daha fazla olduğu fakat, kuvvet artışının daha kısıtlı olduğu gözlemlenmiştir. En düşük kesme

kuvveti, ilerleme kuvvetlerinde olduğu gibi en düşük kesme hızlarında ve en düşük ilerleme hızlarında meydana gelmiştir. En yüksek kesme kuvvetlerine bakıldığında ise, en yüksek ilerleme (f= 0.12 mm/ dev) değerinde ve 30, 45 ve 60 m/dak kesme hızlarında kesme kuvvetleri sırasıyla, 1512, 1515 ve 1499 N olarak ölçülmüştür. Bu değerlere bakıldığında ve sistemin rijitliği göz önünde tutulduğunda büyük kesme kuvveti farklılıkların olmadığı söylenebilir. Kesme kuvvetlerinde yaşanan bu dalgalanmaların talaş formunda meydana gelen düzensizliklerden yaşandığı söylenebilir.

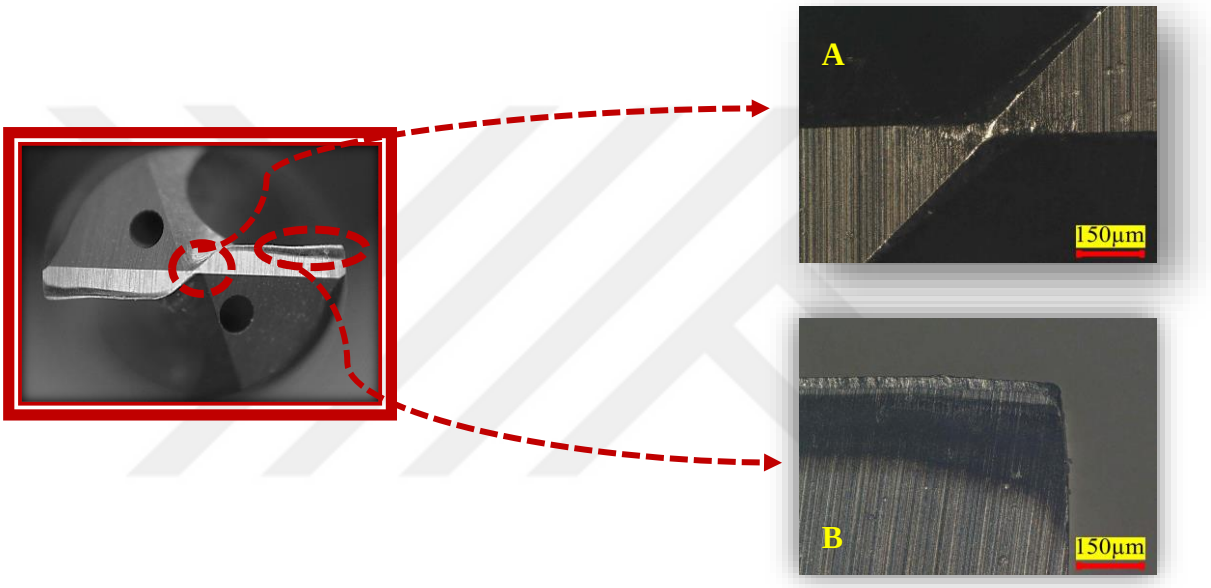


Şekil 3.2 Kesme hızına ve ilerlemeye bağlı ağızlama sırasında oluşan ilerleme kuvveti

3.1.2 Kesici Takım Aşınma Mekanizmaları

Takımın kesme yüzeyindeki temas olayları ilgi çekicidir çünkü bunların anlaşılması, takım serbest yüzey aşınmasının açıklanmasına ve iş parçalarında işlenmiş yüzeylerin yüzey bütünlüğünün anlaşılmasına izin vermektedir [45]. Takım ömrü, işleme performansının genel bir ölçüsü olmasına rağmen, kesme hızının bir fonksiyonu olarak takım aşınma oranı, takım aşınmasını yöneten anahtar işleme parametresidir. Sonuç olarak, aşınma mekanizmasının / mekanizmalarının anlaşılması ve takım aşınmasının kontrolünün nispeten kolay olduğu uygun koşullar oluşturulması için araştırılması gerekir [46]. İşlenebilirliğin göstergelerinden biri olan takım aşınmasını hızlandıran ve takım ömrünü azaltan bir diğer faktör ise iş malzemesinin sertliğinin yüksek olmasıdır [47]. İşlenebilirliği zor kabul edilen dubleks paslanmaz çelikler ise nitekim yumuşak malzeme olmasına rağmen, iş parçasının işlenmesi sırasında yüksek iş sertleşmesi meydana getirirler [9].

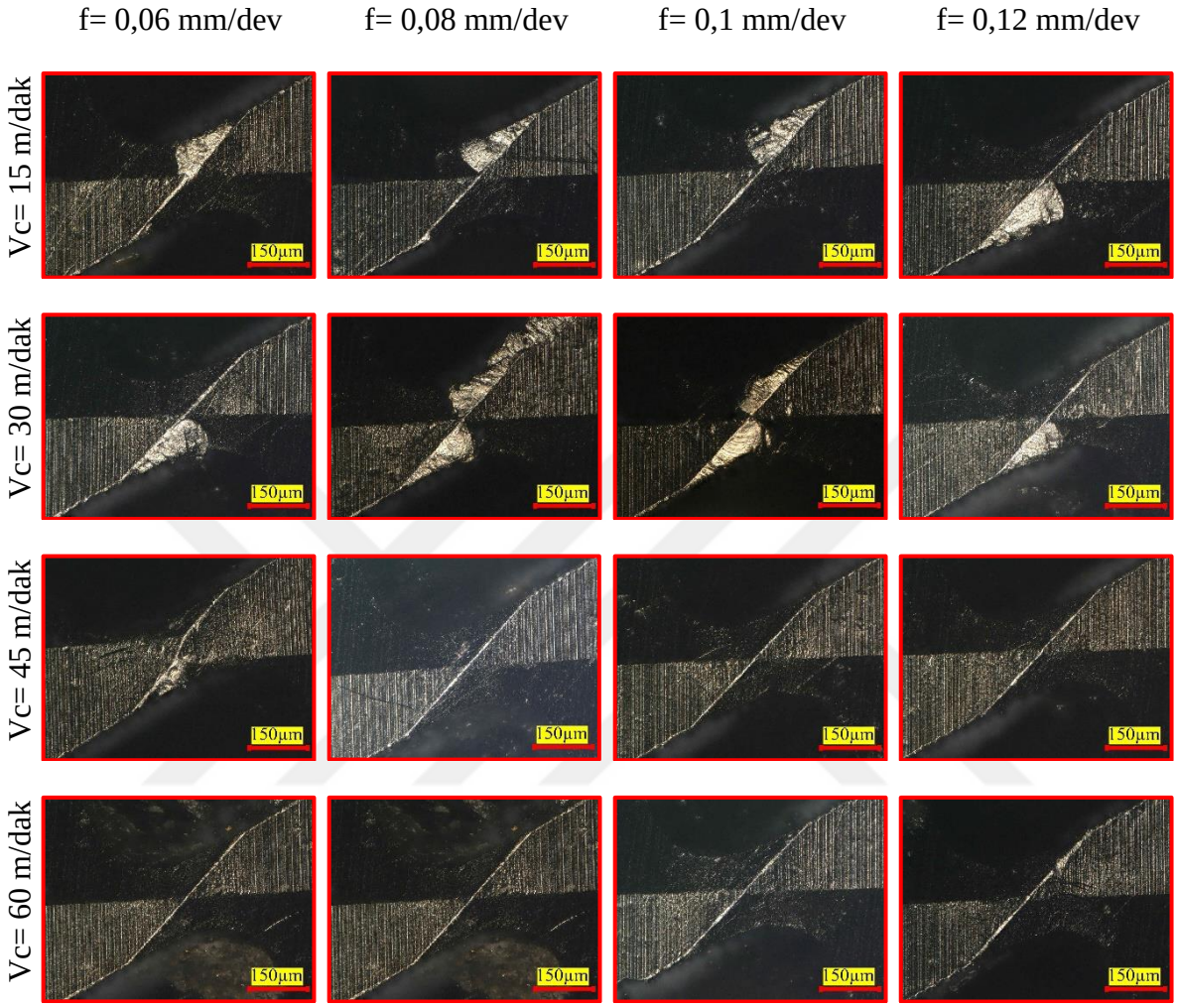
Takım aşınması, yüksek sürtünme kuvvetlerinin istenmeyen sonucudur [48]. Kesme hızının artmasıyla birlikte aşındırıcı aşınmayı artıran bir diğer faktör ise; sıcaklıkla kesici takım malzemesinin sertliği azaldığında, ısıl yumuşama etkisi kesici takımın plastik deformasyonuna neden olur. Kesici takımın plastisite azalmasının nedeni yüksek sıcaklıkta sürünmedir [49]. Şekil 3.3'te karbür matkaplarda meydana gelen ve kesme kenarı için önem arz eden kesici takım aşınmaları mekanizmaları sunulmuştur. Özellikle serbest yüzey aşınmasının kesici takım ömrünü belirleyen parametrelerden biri olduğu bilinmektedir.



Şekil 3.3 Kesici takımda meydana gelen aşınma mekanizmalarının detaylı gösterimi a) çisel aşınması b) serbest yüzey aşınması

Düşük kesme hızları nedeniyle, paslanmaz çeliğin delinmesindeki verimlilik, uygulanan ilerleme hızı değerine büyük ölçüde bağlıdır. Nispeten sert, güçlü bir şekilde yapışan ve kötü talaş oluşturan iş parçası malzemesi ile birleştirildiğinde, bu, takımdaki darbe gerilimlerinde bir artışa neden olur [50]. Literatürü destekler nitelikte düşük kesme hızlarında meydana gelen talaş yığılmaları Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 gösterilmiştir. Şekil 3.4'te çisel kenarında meydana gelen talaş yığılmaları 15 m/dak ve 30 m/dak kesme hızlarında tüm ilerleme değerlerinde gözükürken, 45 m/dak kesme hızında sadece en düşük ilerleme değeri olan 0.06 mm/dev ilerlemesinde görülmektedir. 45 m/dak kesme hızında ilerleme değerleri arttıkça talaş yığılması elimine edilmiştir. Talaşlı imalatta istenmeyen bir etki olan talaş yığılması takım aşınmasının hızlanmasında önemli bir etkiye sahiptir. Dahası,

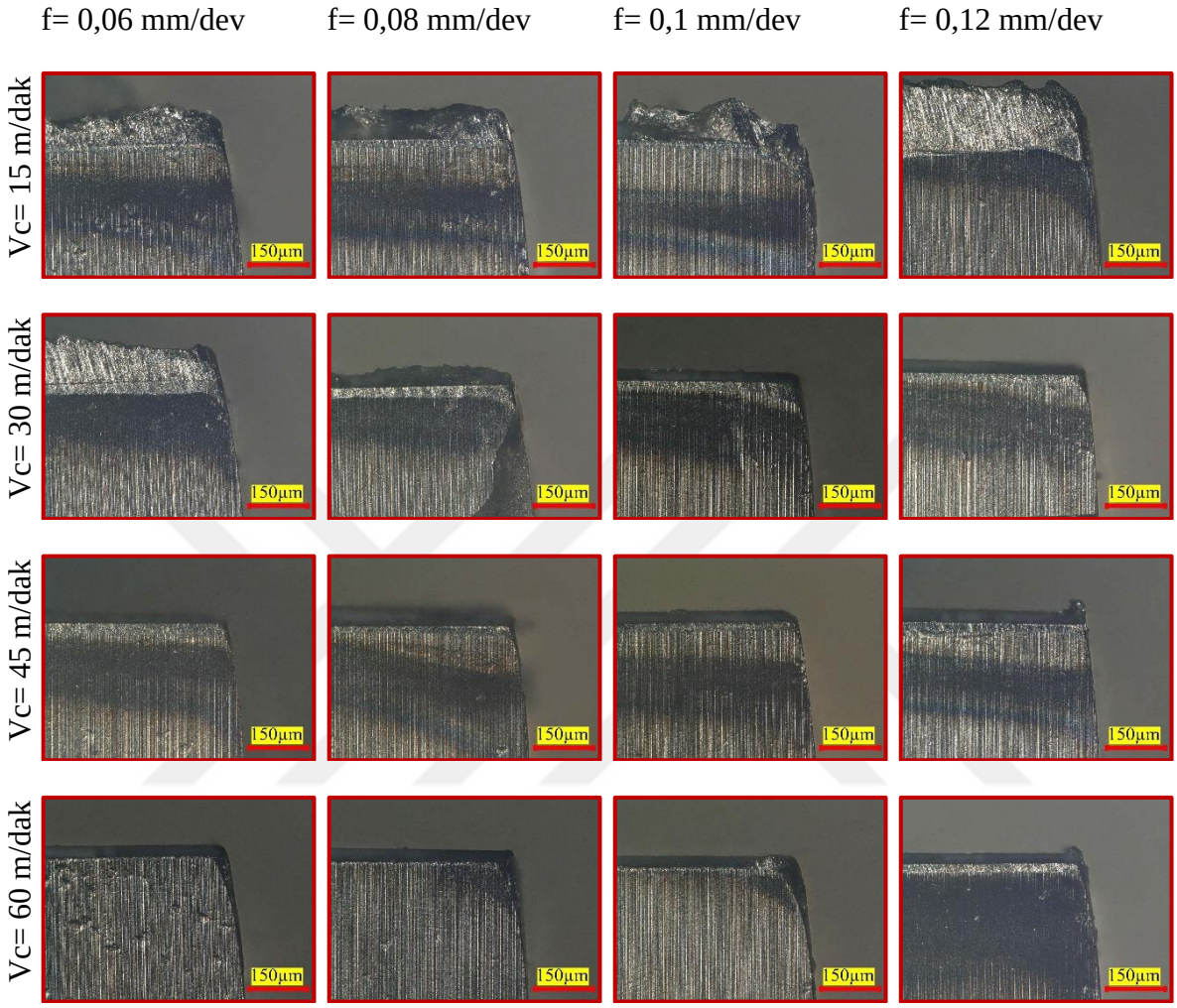
bu aşınma karakterizasyonu, düşük yüzey kalitesi ve istenmeyen boyut toleransı ile sonuçlanır [12].



Şekil 3.4 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı çisel aşınması

Serbest yüzey kenarına bakıldığında ise, 15 m/dak kesme hızında tüm ilerleme değerlerinde talaş yığılmasının gerçekleştiği görülmekteyken 30 m/dak kesme hızında sadece en düşük ilerleme değeri olan 0.06 mm/dev ilerlemesinde talaş yığılması görülmektedir. Her nasılsa, bu düşük kesme hızında ilerleme değeri arttıkça, talaş yığılmalarının arttığı fakat kesme kenarında meydana gelen deformasyonların azaldığı görülmüştür. Yüksek kesme hızlarında ise, serbest yüzey kesme kenarlarında nitekim üniform gerçekleşen serbest yüzey aşınması görülmektedir. Bununla birlikte 60 m/dak kesme hızında ve 0.06 ilerlemesinde kesici takımın birincil kesme yüzeyinde karbür kopmaları gözükmektedir. Yüksek kesme hızlarında meydana gelen yüksek ısının, düşük

ilerleme değerlerinde takım-talaş arayüzünden hızlıca uzaklaştırılamadığından dolayı birincil kesme yüzeyinde yüzeyinde deformasyonun meydana geldiği düşünülmektedir.



Şekil 3.5 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı serbest yüzey aşınması

3.1.3 Talaşlar

Bir delik delme operasyonunun performansı, öncelikli olarak uzun talaşlardan kaçınılmasına ve işleme sırasında oluşan talaşların delinmiş delikten kolayca uzaklaştırılması yeteneğine bağlıdır [51]. Delik delme operasyonunda üretilen talaş formlarının endüstriyel olarak sınıflandırılması Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Delik delme operasyonu sırasında oluşan aşırı sertleşmiş talaşlar, deliğin yüzey kalitesini ve deliğin doğruluğunu bozma eğiliminde olmakla beraber kesici takımın bütünlüğünü etkileyerek kesici takımın ömrünün kısalmasına neden olmaktadır [52-53]. Bununla birlikte dubleks paslanmaz çelik işlenirken talaşı şekillendirmek zordur çünkü dubleks paslanmaz çelikler

mümkün olduğunca düşük kükürt içeriği ile üretilir, talaş kırmaya yardımcı olacak çok az yapı vardır [54]. Yapılan bu araştırmalar sonucunda, dubleks paslanmaz çeliklerde talaş kırılabilirliğinin önemi ortaya konulmuştur. Bu çalışmada da farklı kesme hızlarına ve ilerleme değerlerine bağlı olarak oluşan talaş formları Şekil 3.7' de gösterilmiştir.

Yekpare karbür matkaplar: Merkezden kenarın çevresine doğru kıvrılan bir talaş oluşturur.



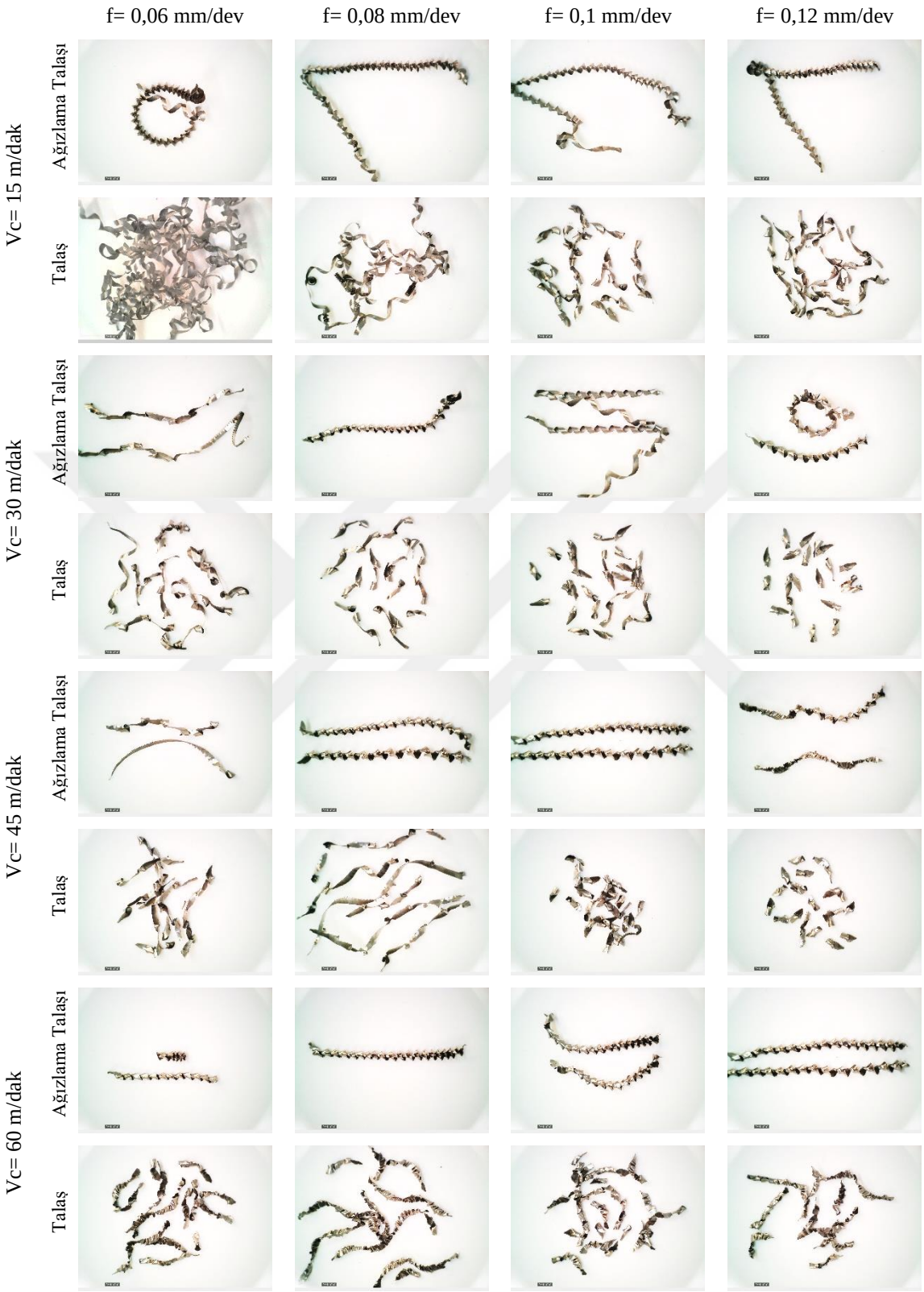
Ağızlama Talaşı	Mükemmel	Kabul edilebilir	Kabul Edilemez	Talaş Sıkışması

İş parçasına giriş esnasında oluşan ağızlama talaşı her zaman uzundur ve herhangi bir sorun yaratmaz. [55]

Şekil 3.6 Talaş formlarının sınıflandırılması

Testler esnasında her bir operasyondan sonra ağızlama talaşı ve takımın tam çap işlemeye başladıktan sonra oluşturduğu talaş örnekleri alınmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda beklenildiği gibi ağızlama sırasında oluşan talaş formlarında önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Düşük kesme hızlarında uzun talaş formlarının oluştuğu, kesme hızı arttıkça talaş kırılabilirliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, en yüksek kesme hızı değerinde (Vc: 60 m/dak), talaş formlarının kırılamadığı ve kırılmayan talaşların yüksek ilerleme değerlerinde talaş sıkışmasına yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu durumun asıl sebebi olarak, kesme hızları arttıkça operasyon sırasında artan kesme sıcaklıklarının talaşı sünek hale getirmesi söylenebilir. Chinchanikar ve Choudhury yaptıkları çalışmada, kesme hızı arttıkça talaşların nispeten sünek hale geldiklerini gözlemlemiştir [56]. Sünekleşen talaşların kırılabilirliğinin azalması sonucu oluşan talaş sıkışması ise yüksek kesme kuvvetlerine neden olmakla beraber, kesici takımın bütünlüğünü de riske etmektedir.

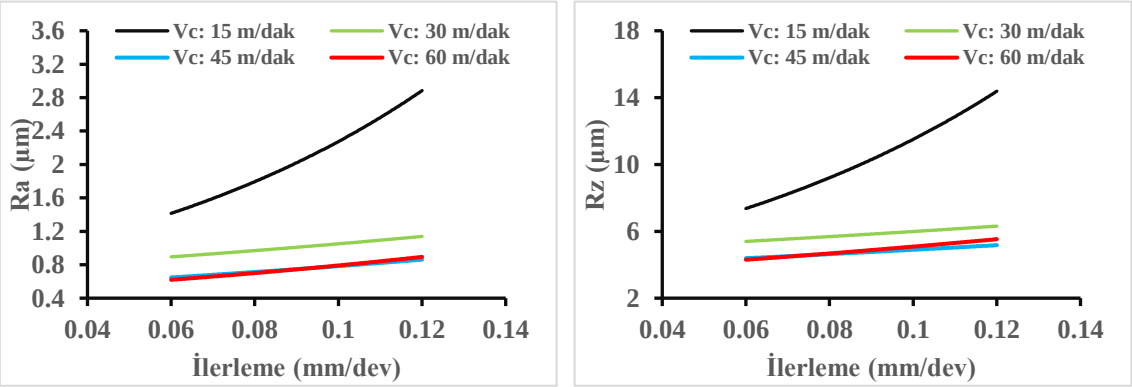
Mükemmele en yakın talaş formu ise, 30 ve 45 m/dak kesme hızlarında, 0.1 mm ve 0.12 mm/dev ilerleme değerlerinde oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma koşullarında kesme hızının en iyileştirilmesi ve ilerleme değerlerinin arttırılmasıyla talaş kırılabilirliğinin iyileştirildiği gözlemlenmiştir. Ek olarak düşük kesme hızlarında dahi, yüksek ilerleme de talaşların daha kabul edilebilir formlarda oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda ilerlemenin talaş kırılabilirliğine etkisinin, kesme hızının etkisine oranla daha önemli olduğu söylenebilir.



Şekil 3.7 Kesme hızının ve ilerlemenin talaş formu üzerindeki etkisi

3.1.4 Topografi Bütünlüğü

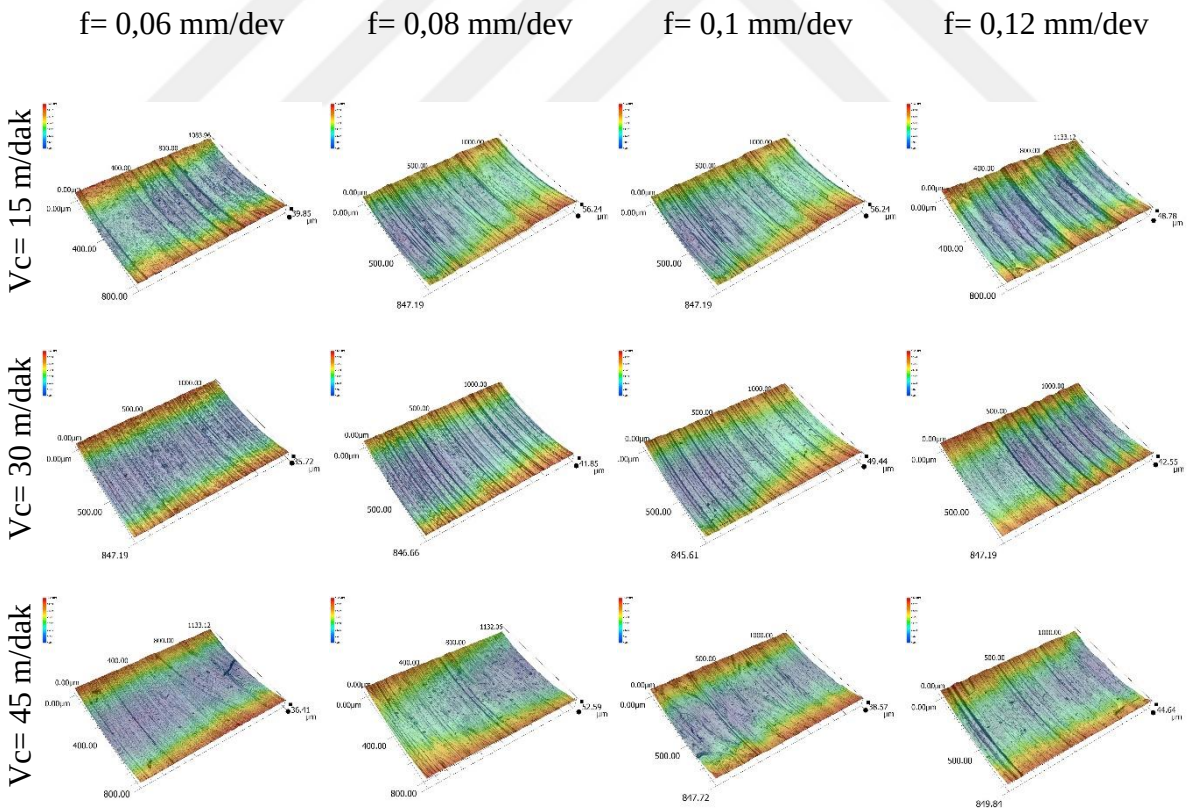
Talaşlı imalat süreçlerinin performansı hem üretilen yüzeylerin kalitesi hem de güvenilirliği, topografya açısından büyük ölçüde etkilenir [57]. Yüzey bütünlüğünün bir parçası olan, yüzey parametrelerinden biri olan Ra, aritmetik ortalama pürüzlülük: değerlendirme uzunluğu içindeki merkez çizgisi etrafındaki sapmalardan belirlenen filtrelenmiş pürüzlülük profilinin aritmetik ortalama değeri olarak tanımlanır. Rz ise, ortalama tepeden vadiye yükeklik olarak tanımlanmaktadır [58]. Yüzey kalitesini etkileyen bu parametreler, talaşlı imalat sonrası iş parçası için büyük önem taşımaktadır. Özellikle dinamik çalışan veya kaplama yapılmak üzere işlenen parçaların birçoğunda yüzey kalitesi önem teşkil etmektedir. Makinede işlenmiş bir ürünün yüzey pürüzlülüğü, yüzey sürtünmesine neden olan temas, aşınma, ışık yansıması, ısı iletimi, bir yağlayıcıyı dağıtma ve tutma yeteneği, kaplama ve yorgunluğa direnme gibi ürünün birkaç işlevsel özelliğini etkileyebilir [59]. Yüzey kalitesi teorik olarak ilerleme ve kesici takımın burun yarıçapı gibi parametrelerden etkilenmektedir [60]. Ancak, dubleks paslanmaz çelik gibi işlenebilirliği zor olan malzemelerde takım aşınması, talaş formları, meydana gelen titreşimler de yüzey kalitesini etkilemektedir. Şekil 3.8'de kesme hızına ve ilerleme bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri Ra ve Rz cinsinden verilmiştir.

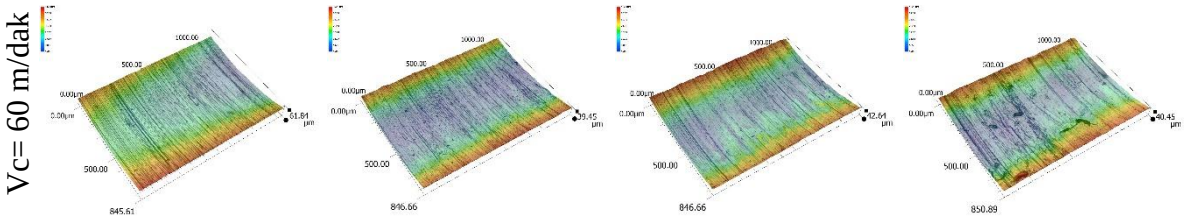


Şekil 3.8 Kesme hızına ve ilerlemeye bağlı yüzey pürüzülülük değişimleri: a) Ra, b) Rz

Yukarıdaki grafiklerde de görüldüğü üzere yüzey pürüzlülüğünün en büyük etkeni ilerleme değişimi olmuştur. İlerleme arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinin artması literatürle eşleşmektedir. Bunun yanı sıra kesme hızı arttıkça, yüzey kalitesinin az miktarda azaldığı gözlemlenmiştir. Bu ilişkiler, yüksek kesme hızında yüksek ısı üretiminin sonuçta malzemeyi yumuşattığını ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiğini göstermektedir [61]. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 60 m/dak kesme

hızında ve 0.06 ilerleme değerlerinde, Ra= 0.63 µm ve Rz= 4.35 µm olarak ölçülmüştür. Düşük kesme hızlarında kesme hızının etkisinin yüzey pürüzlülüğüne yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkmasına, Şekil 3.7' de görüldüğü üzere düşük kesme hızlarında oluşan karmaşık ve uzun yapılı talaş formlarının varlığı ve Şekil 3.5' de gösterilen düşük kesme hızlarında kesici takım üzerinde meydana gelen talaş yığılmasının neden olduğu söylenebilir. Yukarıda bahsedilenleri doğrular şekilde en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri en düşük kesme hızı olan 15 m/dak kesme hızı ile en yüksek ilerleme değeri olan 0.12 mm/dev ilerlemesinde Ra= 2.763 µm ve Rz= 13.42 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 3.9' da ise farklı kesme koşulları altında yüzey topoğrafyasının değişimine ait görüntülere yer verilmiştir. İlerleme izlerinin dışında hemen hemen her koşulda talaş izlerinin varlığından söz edilebilir. Bunun yanı sıra yüzey topoğrafi görüntüleri yüzey pürüzlülük değerlerini destekler nitelikte olup, düşük kesme hızlarında ve yüksek ilerleme değerlerinde iş parçasının yüzeyinde meydana gelen yüzey bozulmaları görülmektedir.

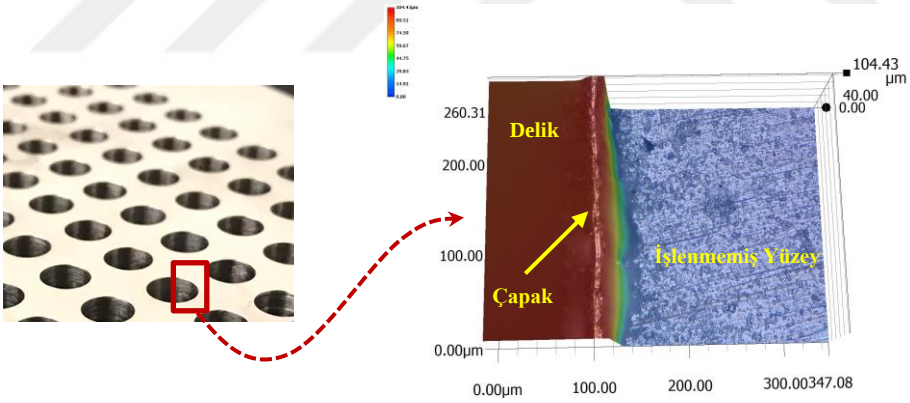




Şekil 3.9 Kesme hızına ve ilerleme bağlı yüzey topografisinin değişim görüntüleri

3.1.5 Çapak Yüksekliği

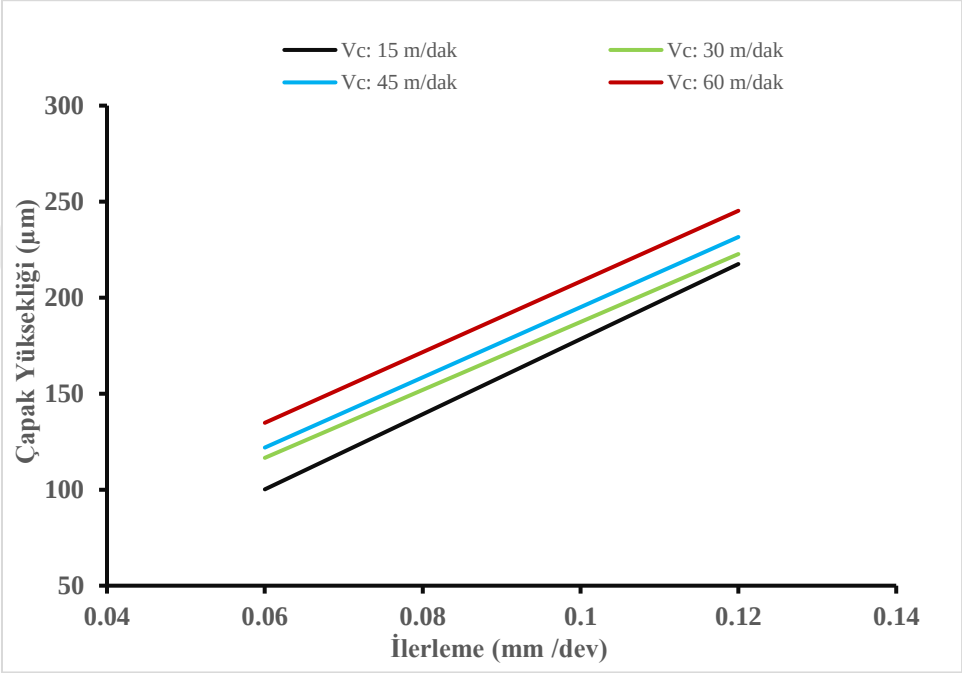
Delme işleminde çapak oluşumu, seri imalat verimliliğini ve otomasyon süreçlerinin önündeki en büyük sorunlardan biri olarak görülmekte ve dolayısıyla kaliteyi etkilemektedir [62]. İş parçasının oluşan çapaktan kurtulabilmesi mekanik, elektrokimyasal, aşındırıcı jet işleme, ultrasonik çapak alma, lazer çapak alma, mekanize kesme, nokta kaplama ve elle törpüleme gibi ikincil işlemlere gerek duyulmaktadır ve bu operasyon maliyetlerinden kurtulabilmek için, çıkışta oluşan çapağın elimine edilmesi gerekmektedir [63]. Şekil 3.11' de çalışma boyunca çapak ölçüm yöntemi gösterilmiş olup, ölçüm sırasında dijital optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 3.10 Çıkış çapağının keyence dijital optik mikroskop yardımıyla alınmış görüntüsü

Yapılan ölçüm sonuçlarına Şekil 3.10 'da yer verilmiş olup, kesme hızı ve ilerlemenin çapak yüksekliğine doğrudan etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak kesme esnasında oluşan ilerleme kuvvetinin çıkış esnasında ince malzemeyi koparamaması ve çapak oluşmasına neden olduğu söylenebilir. Şekil 3.10'a ve Şekil 3.1' de gösterilen kesme kuvvetlerine bakıldığında, kesme kuvveti arttıkça çapak yüksekliğinin arttığı söylenebilir. Kesme hızının artmasıyla malzemenin sünekleşmesi ve sünekleşen

malzemenin çapak yükseklikliğinin daha çok olduğu öngörülürken, ilerlemenin oluşturduğu kesme kuvvetinin, çapak yüksekliğine etkisinin daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek çapak yüksekliği olan 247 mikron, en yüksek kesme hızında (Vc: 60 m/dak) ve en yüksek ilerleme (f: 0.12 mm/dev) değerlerinde ölçülmüştür. En düşük kesme hızı olan 15 m/dak kesme hızında ve en düşük ilerleme değeri olan 0.06 mm/dev ilerlemesinde ise çapak yüksekliği 91 mikron olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.11 Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı çıkış çapağı yüksekliği

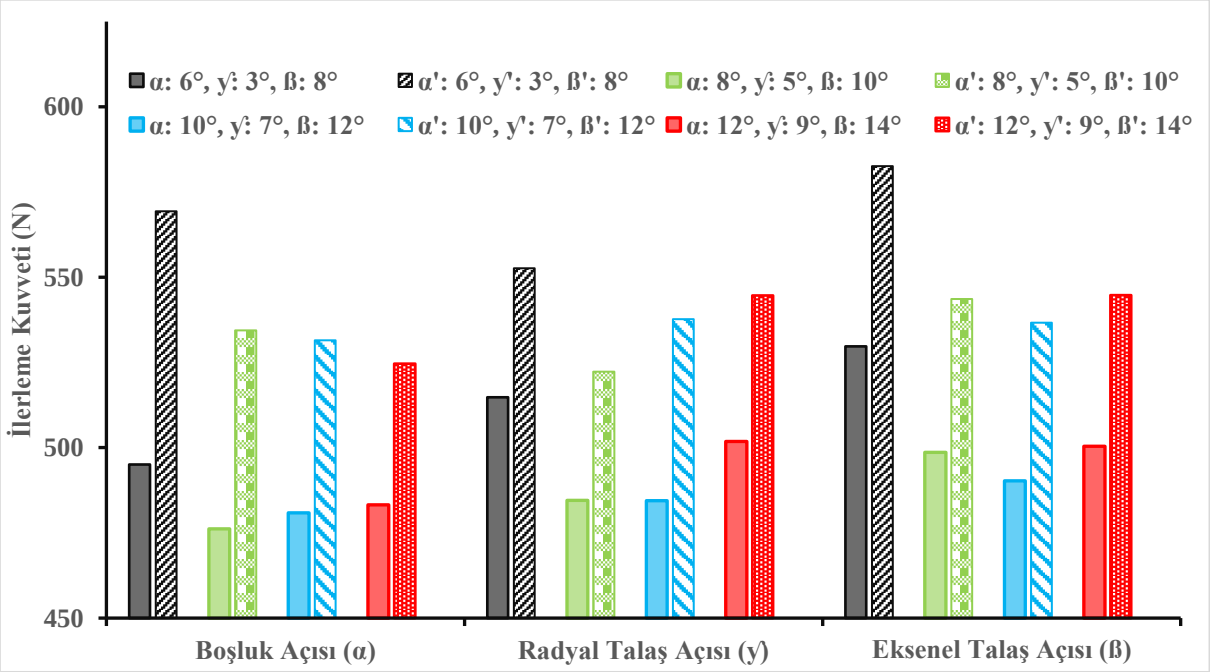
3.2 Tez Çalışması: İkinci Aşama

Tez çalışması kapsamında ikinci aşama boyunca yapılan testlerde kesici takım geometrisinin kesme kuvvetine, kesici takım aşınmasına, talaş kırılabilirliğine, yüzey pürüzlülüğüne ve yüzey altı sertlik değerlerine etkisi incelenmiştir. Kesici takım geometrisinde boşluk açısı, radyal talaş açısı ve eksenel talaş açısıları değiştirilmiştir.

3.2.1 Kesme Kuvvetleri

Endüstride önemli olan iş parçasının hızlı ve kaliteli bir şekilde üretilmesidir. Devir başına kesme ilerlemesi, üretkenliği artırmada ana kaynak olarak kabul edilebilir. Bu ilerleme, kesici takım geometrileri düzenlenerek önemli ölçüde artırılabilir [64]. Ayrıca, verimli

işleme hakkında önemli bir bilgiler yorumlanmasının ana parametrelerinden biri olan kesme kuvvetleri, takım geometrisi tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir [65]. Şekil 3.12' de kesici takım üzerinde yapılan açı değişikliklerinin aşınma öncesi ve aşınma sonrası elde edilen kuvvet verilerine etkisi incelenmiştir. İşlenecek parçanın paslanmaz çelik olmasından dolayı, seçilen açılar pozitif açılar seçilerek, kesme işleminin kolaylaştırılması ve malzemeden talaş koparılması için gerekli kuvvetlerin indirgenmesi hedeflenmiştir. Grafiğe genel olarak bakıldığında, pozitif açı değerleri büyüdüğünde elde edilen kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir. Nötr açıya daha yakın olun kesici takım geometrilerinde ise kesici takımın daha fazla kuvvete ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir. Bununla beraber nötr ya da negatif kesici takımların dayanımının daha yüksek olduğu bilinmektedir. Pozitif kesici takımların aşınmalarının daha hızlı gelişmesi ve daha düşük kesici takım ömürlerine sahip olması nedeniyle kesici takım aşınması mekanizmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde büyük değişiklikler gözlemlenmektedir.

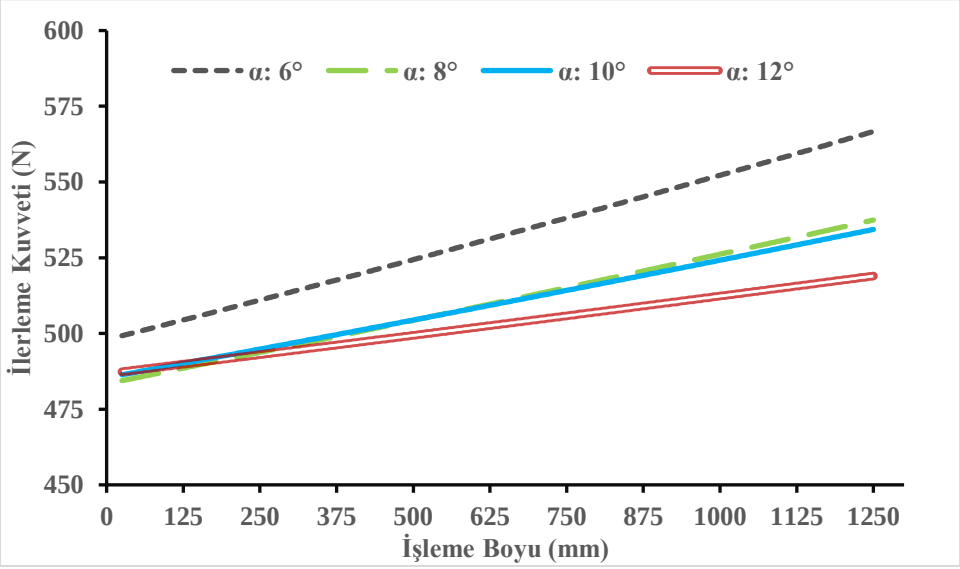


Şekil 3.12 Kesici takım aşınması etkisi altında kesici takım geometrisine bağlı ilerleme kuvvetinin değişimi

3.2.1.1 Boşluk Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Kesme kuvveti oranları, malzeme kaldırma işleminde meydana gelen plastik deformasyonların derecesi için de önemli bir gösterge sağlar. İyi kesme davranışına sahip

taneler, daha düşük normal kuvvetler nedeniyle daha yüksek kesme kuvveti oranlarına ulaşır ve böylece daha iyi talaş kaldırma verimliliği gösterir. Yapılan çalışmalarda pozitif boşluk açılarının, negatif boşluk açılarına oranla daha iyi bir kesme verimliliğine sahip olduğu gösterilmektedir [66]. Şekil 3.13' de görüleceği üzere yapılan çalışmada da literatüre destekler şekilde pozitif açı değeri büyük olan boşluk açılarında daha düşük kesme kuvvetlerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Başlangıçta boşluk açısına bağlı olarak en yüksek kesme kuvveti α= 6° değerinde, 495 N olarak ölçülmüştür. En düşük kesme kuvveti ise α= 8° değerinde, 476 N olarak ölçülmüştür. 1250 mm işleme yapan kesici takımlar aşınmaya maruz kaldıktan sonra ise kesme kuvvetlerinde artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. En yüksek kuvvet yine α= 6° değerinde 569 N olarak ölçülürken, en düşük kesme kuvveti ise α= 12° değerinde 525 N olarak ölçülmüştür. 1250 mm işleme sonunda ilerleme kuvvetleri kıyaslandığında en yüksek kesme kuvvetine sahip α= 6° değerine göre; α= 8° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %6,2, α= 10° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %6,6 ve α= 12° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %7,8 daha az çıkmıştır. Aşınmaya bağlı en yüksek kesme kuvveti artış oranı ise, %13 artış gösteren α= 6° değerinde ölçülmüştür.



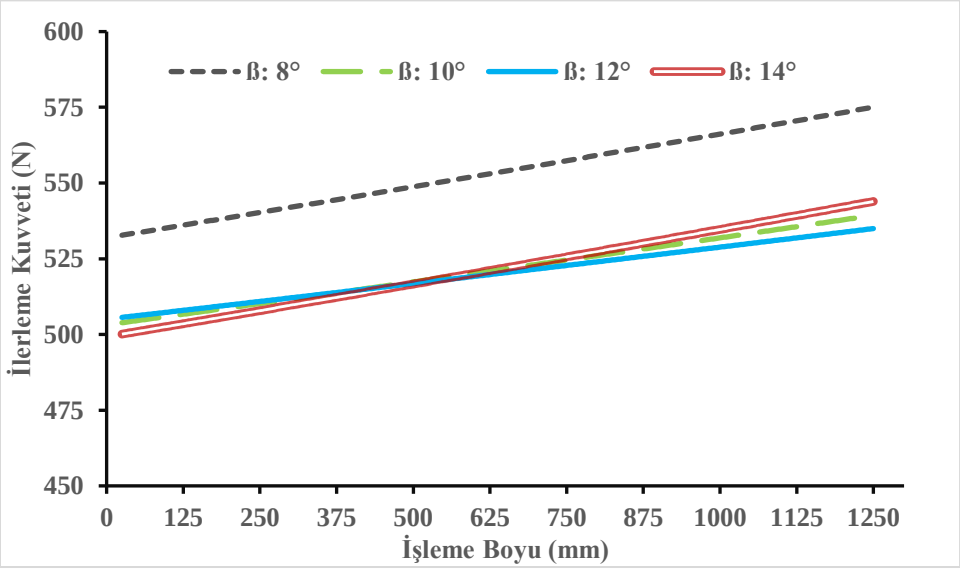
Şekil 3.13 Boşluk açısının aşamalı takım aşınmasıyla kesme kuvveti üzerindeki etkisi

Pozitif kesme açılarında meydana gelen aşınma değerlerinin fazla olması nedeniyle yuvarlanma yarıçaplarının büyüdüğü ve bu büyümenin kesme kuvvetlerini azalttığı söylenebilir. Bu tezi destekler şekilde kesme kuvveti artış oranlarına bakıldığında en büyük kesme kuvveti artışı α= 6° değerinde meydana gelmiştir. Bu duruma diğer bir örnek

olarak ise, Şekil 3.24' de gösterilen kesici takım aşınmalarında α= 12° açısına sahip kesici takımda kırılma meydana geldiği ve bu kırılmaya bağlı olarak kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte α= 12° değerinde kesici takım aşınma oranı arttıkça arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmektedir.

3.2.1.2 Eksenel Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Eksenel talaş açısı kıyaslaması içinde boşluk açısına benzer şeyler söylenebilir. Pozitif açı değeri büyüdükçe kesici takımın malzemeyi kaldırmak için ihtiyaç duyduğu kesme kuvvetlerinin azaldığı, kesici takım aşınmasına bağlı olarak kesme oranlarının arttığı ve kesici takım aşınmasının fazla olduğu pozitif kesici takımlarda kesme kuvveti artış oranının yuvarlanma yarıçap büyümesinin kesme kuvvetlerine negatif etkisi nedeniyle düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.32' de görüleceği üzere, ß= 8° 'ye sahip kesici takımın kesme kenarında meydana gelen deformasyonun yüksek kesme kuvvetlerine neden olduğu söylenebilir. Bununla beraber ß= 10,12 ve 14° değerlerinde kesici takımın birbirine çok yakın kuvvetler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ufak kuvvet farklılıkların ise, oluşan talaş formlarının kesici takım- talaş temas alanından düzensiz bir şekilde uzaklaşmasına kaynaklı olduğu söylenebilir.



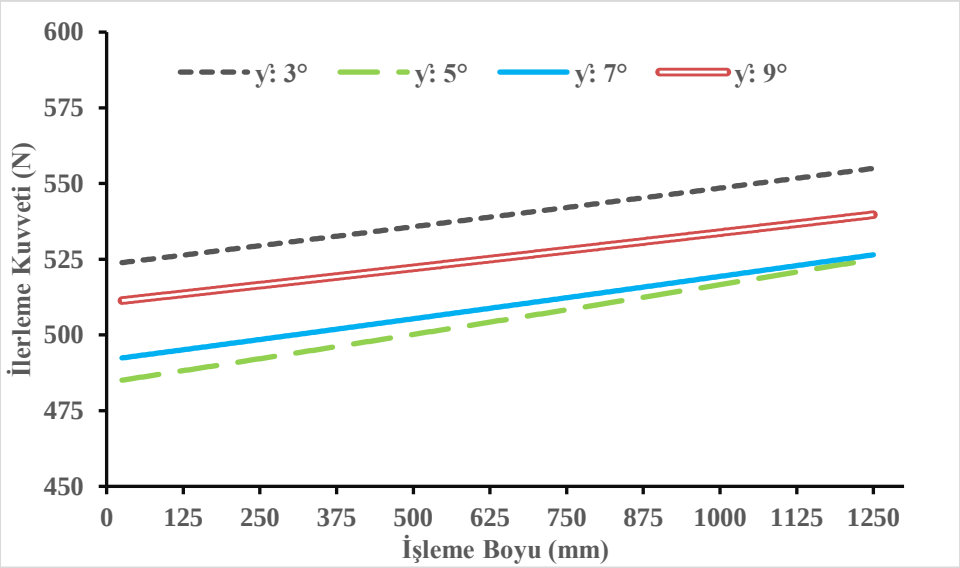
Şekil 3.14 Eksenel talaş açısının aşamalı takım aşınmasıyla kesme kuvveti üzerindeki etkisi

Aşınmamış takımlar için minimum kesme kuvveti değeri, 490 N olarak ß= 12° değerinde ölçülürken maksimum kesme kuvveti değeri, 530 N olarak ß= 8° değerinde ölçülmüştür.

Aşınmadan sonra ise maksimum kesme kuvveti ß= 8° değerinde 582 N, minimum kesme kuvveti ise ß= 12° değerinde 537 N olarak ölçülmüştür. Şekil 3.32' e bakıldığında 1000 mm'de meydana gelen karbür kopmasına bağlı olarak ß= 14° açısına sahip kesici takımın oluşturduğu kesme kuvvetlerinin ilerleyen değerlerde hızla artış göstermesi beklenmektedir. 1250 mm işleme sonunda ilerleme kuvvetleri kıyaslandığında en yüksek kesme kuvvetine sahip ß= 8° değerine göre; ß= 10° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %6,7, ß= 12° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %7,9 ve ß: 12° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %6,5 daha az çıkmıştır. Aşınmaya bağlı en yüksek kesme kuvveti artış oranı ise, %9,1 artış gösteren ß= 8° değerinde ölçülmüştür.

3.2.1.3 Radyal Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Şekil 3.15'e bakıldığında, radyal talaş açısının, eksenel talaş açısının tersine kesme kuvvetlerine direkt etkisi olmadığı gözlemlenmektedir. Talaş kırılabilirliğine bağlı olarak kesici takım oluşturduğu talaş formunun kötüleşmesi kesme kuvvetlerinde değişime neden olduğu söylenebilir. Bunlara rağmen şekil 3.28'de de görüleceği üzere y= 9° değerinde meydana gelen kırılma sonrası kesme kuvvetlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden başlangıç deliklerinde, minimum kesme kuvveti 484 N olarak y= 5° değerinde ölçülmüştür. Y= 3° değerinde ise maksimum kesme kuvveti 515 N olarak ölçülmüştür. Şekil 3.14'de gösterildiği üzere, 1250 mm işleme yapan takımlarda aşınma meydana geldikten sonra ise, minimum kesme kuvveti 522 N olarak yine y= 5° değerinde ve maksimum kesme kuvveti 553 N olarak y= 3° değerinde ölçülmüştür. Kırılma sonrası en fazla aşınmaya maruz kalan kesici takım y= 9° geometrisine sahip takım olmasına rağmen, kesici takım üzerinde meydana gelen yeni kırılmaların kesme kuvvetini arttırmaya devam ettiği gözlemlenmiştir.



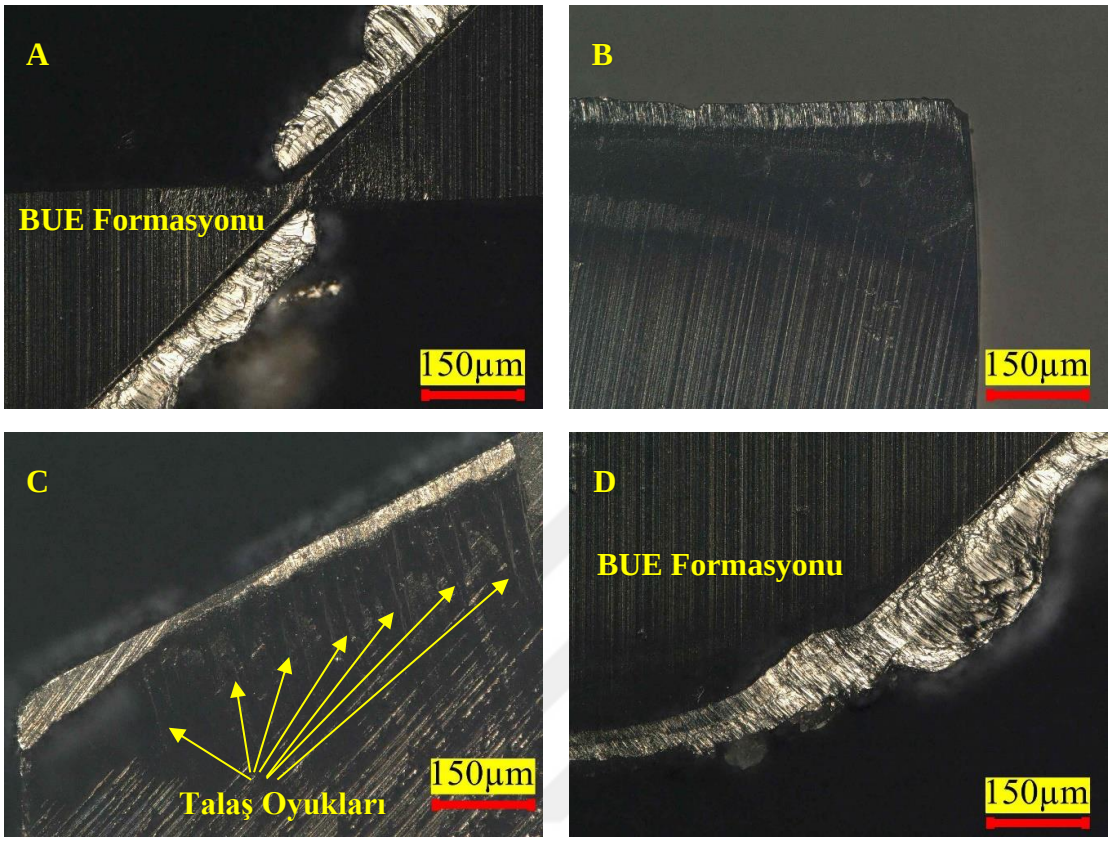
Şekil 3.15 Eksenel talaş açısının aşamalı takım aşınmasıyla kesme kuvveti üzerindeki etkisi

1250 mm işleme sonunda ilerleme kuvvetleri kıyaslandığında en yüksek kesme kuvvetine sahip γ= 3° değerine göre; γ= 5° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %5,5, γ= 7° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %2,7 ve γ= 9° değerinin oluşturduğu kesme kuvveti %1,5 daha az çıkmıştır. Aşınmaya bağlı en yüksek kesme kuvveti artış oranı ise, %9,9 artış gösteren γ= 7° değerinde ölçülmüştür.

3.2.2 Kesici Takım Aşınmaları

Bir üretimin verimliliğine bakıldığında en önemli etkenlerden biri de kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar ve kesici takım ömür adetleridir. Birçok çalışma, delik delme operasyonları için takım ömrünün ve kesme kuvvetlerinin iş parçasına, takım tezgahına ve kesici takım değişkenlerine bağlı olduğu göstermiştir [66]. Takım aşınması, çoğunlukla talaş oluşturma oluğu geometrisi dahil olmak üzere takım geometrisine bağlıdır [49]. Kesici takımın geometrisi, kesme kuvvetlerini, takım-talaş temas alanındaki kayma hızını ve işlemede açığa çıkan termal enerji dağılımına direkt olarak etki etmektedir [64]. Bu sebeplerden dolayı kesici takım geometrisinin, kesici takım aşınmasına önemli bir etkisi olduğu söylenebilir. Kesici takım aşınmasının da üretim verimliliğine önemli bir etkisi olduğu göz önünde bulundurulduğunda, kesici takım aşınmalarının incelenmesi bu çalışma için önem arz etmektedir. Tez çalışmasının bu alt başlığı kapsamında kesici takım

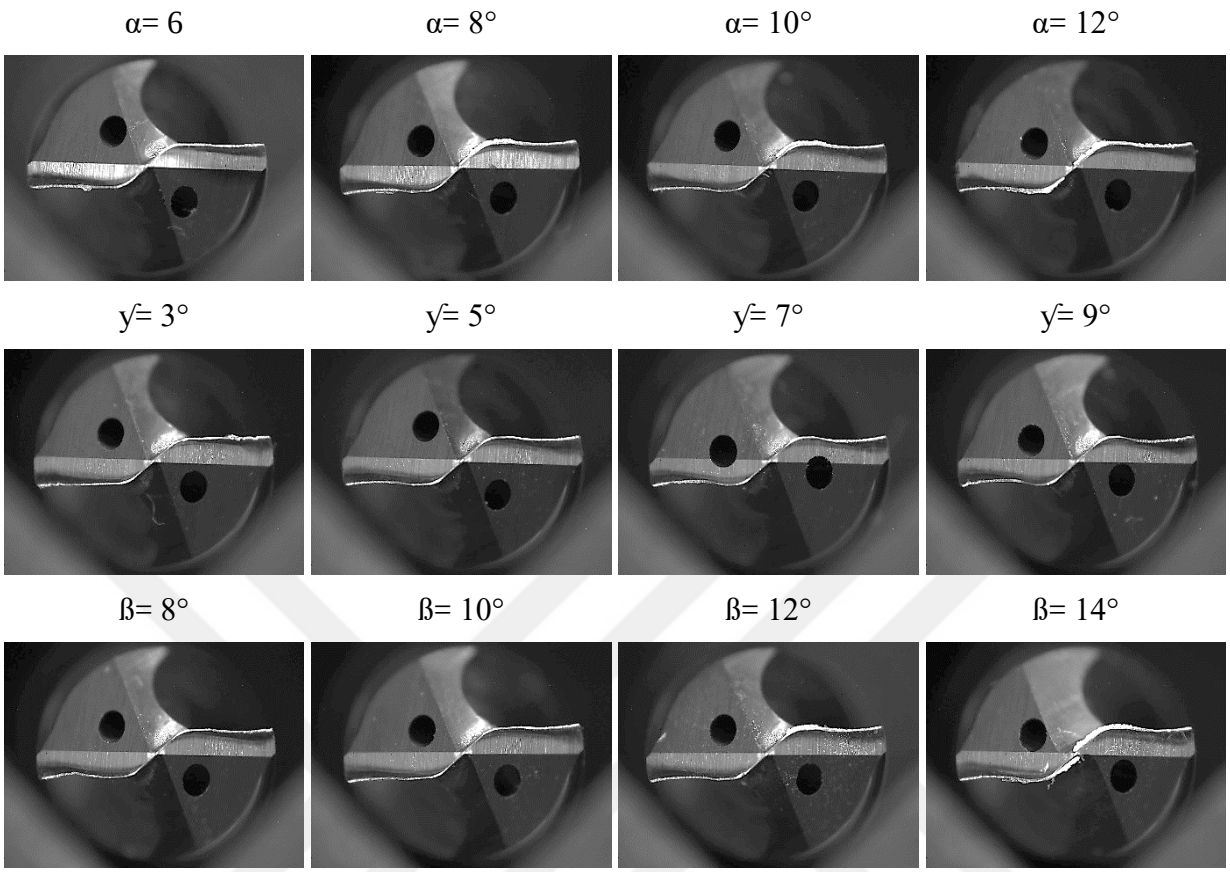
aşınma mekanizmaları ve geometriye bağlı olarak kesici takım aşınmalarının nasıl etkilendiği araştırılmıştır.



Şekil 3.16 Kesici takım aşınmaları mekanizaması: a) uç (chisel) aşınması, b) serbest yüzey aşınması, c) krater aşınması, d) talaş yığılması formasyonu

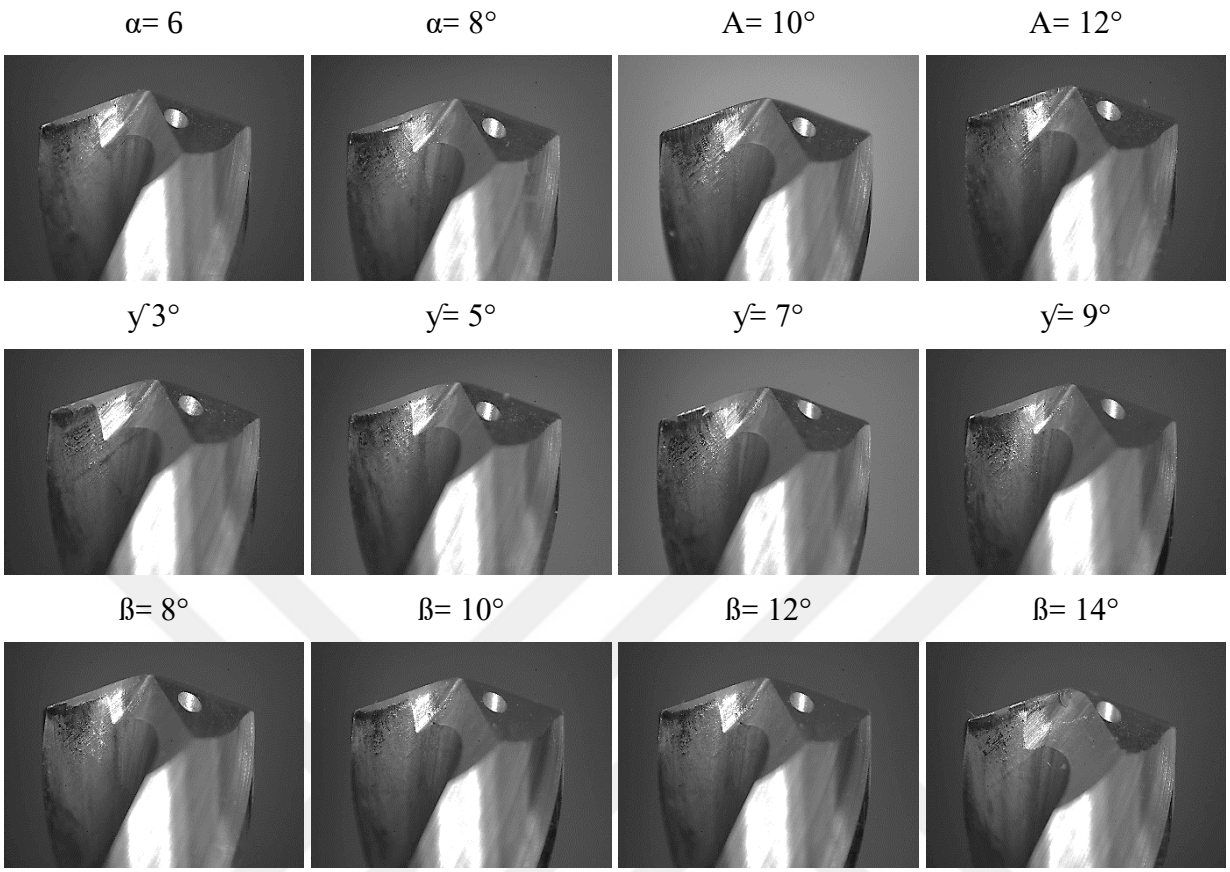
Kesici takım aşınmaları genel olarak 2'ye ayrılmaktadır, adhezif ve abrazif. Abrazif aşınma takım-talaş temas alanı koşullarında önemliyken, adhezif aşınma iş parçasından kopan malzemelerin, kesici takım üzerine yapıştıktan sonra kopma esnasında kesici takım malzemesini de mekanik olarak koparmasından kaynaklıdır [67]. Şekil 3.16'da çalışmalar esnasında karşılaşılan abrazif ve adhezif aşınmalar görülmektedir. Serbest yüzey aşınması bir abrazif aşınma olarak tanımlanırken, talaş yığılması (BUE) formasyonu adhezif aşınma olarak bilinmektedir.

Şekil 3.17 ve 3.18' de 1250 mm işleme yapan kesici takımların tepeden ve yandan alınmış görüntüleri bulunmaktadır. Kaplamasız olarak işleme yapan bu takımlarda, Şekil 3.17'e bakıldığında, kesme sıcaklıklarının etkisiyle yanmalar mevcuttur. Fakat bu sıcaklıklar, karbürün kimyasal yapısındaki bağları bozmak için yeterli kızıl sertlik değerlerine ulaşmadığı ve takımların rijitliğini korudukları gözükmektedir.



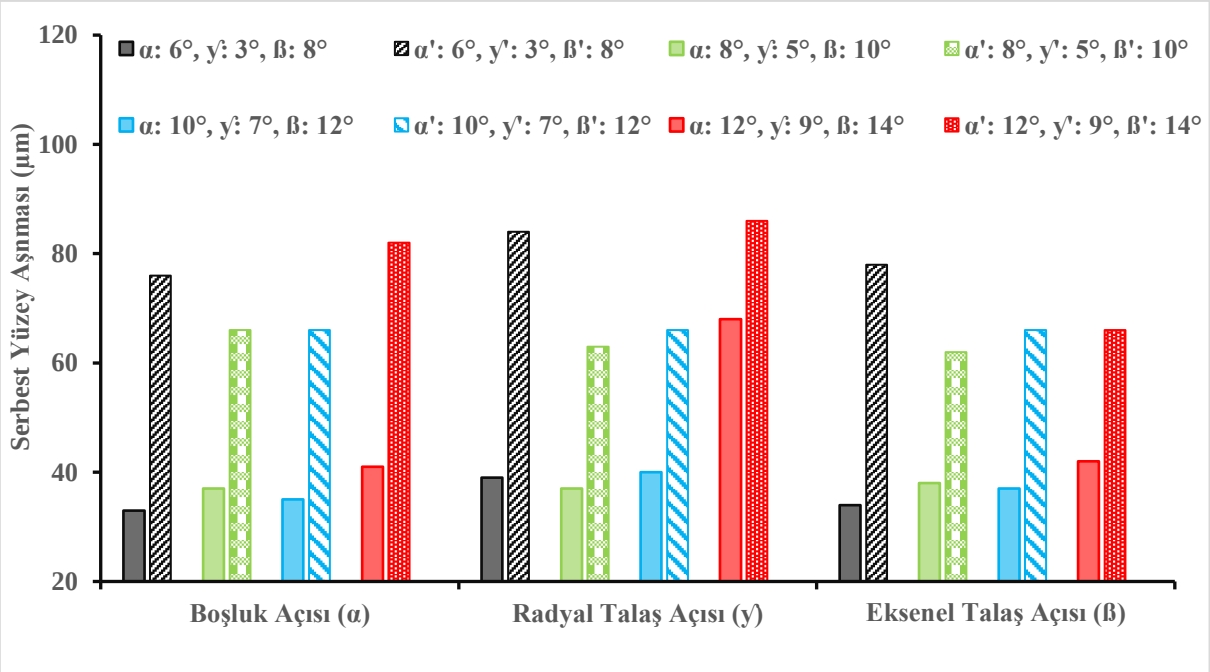
Şekil 3.17 1250 mm işleme yapan kesici takımların tepe görüntüsü: α= boşluk açısı, y= radyal talaş açısı, ß= eksenel talaş açısı

Şekil 3.18'e bakıldığında ise talaş kaldırma yüzeylerinde meydana gelen aşınmalar gözükmektedir. Aşınma formlarının birbirine çok yakın olduğu, kesme kenarında olduğu gibi talaş kaldırma yüzeylerinde de ısının etkisinin olduğu net bir şekilde gözükmektedir. Ek olarak Şekil 3.16'da c fotoğrafında görüleceği üzere talaşların talaş kaldırma yüzeyi üzerinden kayması sırasında oluşturduğu talaş oyukları görülmektedir. Bu durum zamanla talaş kırılabilirliğini azaltan ana faktör olmakla beraber, meydana gelecek düzensiz talaş formları istenen yüzey kalitesini ve delik doğruluğunu etkileyeceği söylenebilir. Çalışmanın ilk aşamasında da görüldüğü üzere delik delme işlemi esnasında oluşan talaş formlarının kesme kuvveti ve kesici takım aşınması üzerinde de etkisi olduğu unutulmamalıdır.



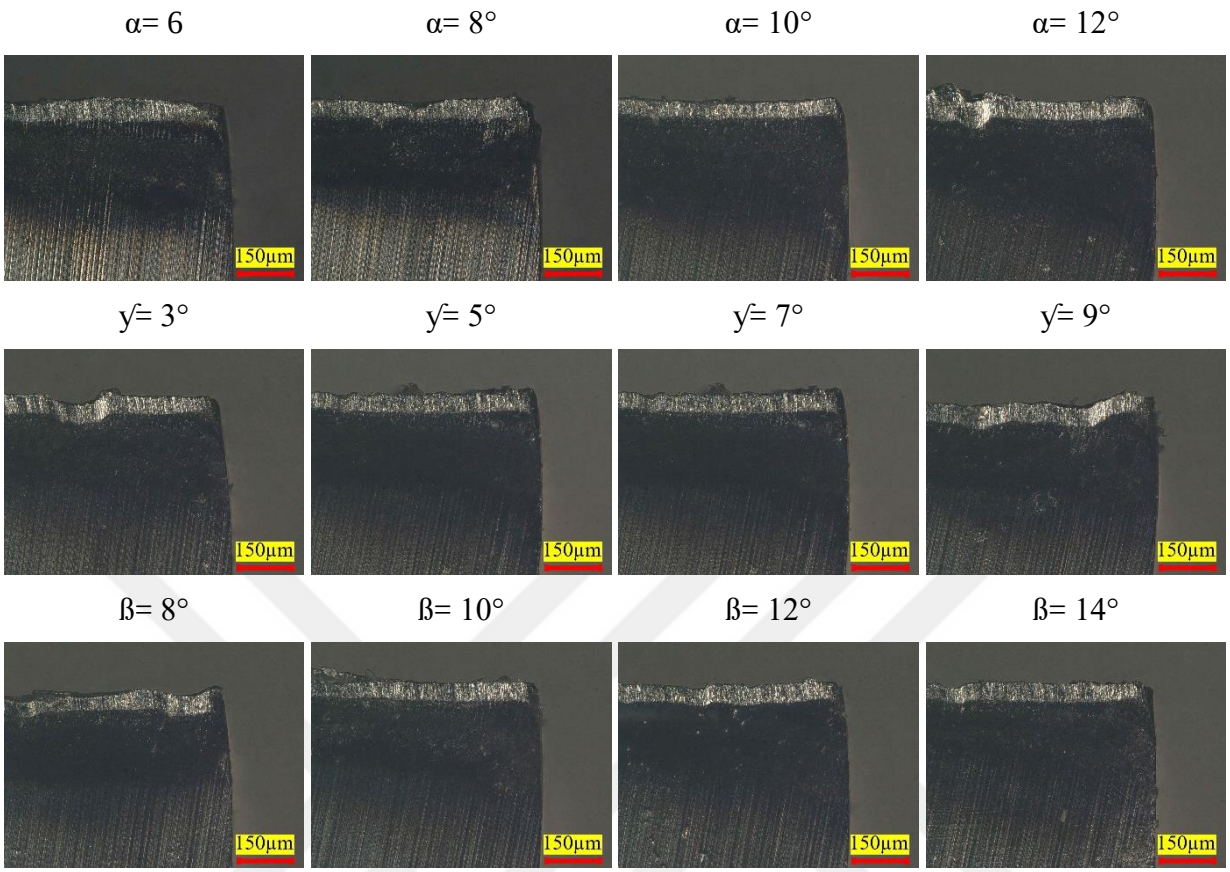
Şekil 3.18 1250 mm işleme yapan kesici takımların yan görüntüsü: α= boşluk açısı, y= radyal talaş açısı, ß= eksenel talaş açısı

İşlemenin çapsal doğruluğunu, stabilitesini ve güvenilirliğini belirleyen, serbest yüzey aşınması genellikle kesici takım ömür kriteri olarak seçilir ve aşınma alanı nispeten üniform olduğundan, aşınma uzunluğu açısından optik olarak kolayca ölçülebilir [68-69]. Bu çalışmada da serbest yüzey aşınması baz alınarak, boşluk açısı, eksenel talaş açısı ve radyal talaş açısına bağlı olarak kesici takım geometrisinin, takım aşınmasına etkisi incelenmiştir. Şekil 3.19' da gösterildiği üzere ve Tablo 2.2'de belirtildiği üzere pozitif kesme ve talaş kaldırma açısına sahip karbür matkaplar kullanılmıştır. Grafiğe genel olarak bakıldığında, başlangıç aşınmaları 33 ile 68 mikron aralığındayken, 1250 mm işleme yapan takımların aşınma değerleri 62 ile 86 mikron aralığında ölçülmüştür. Kesici takımlar için ISO 3685-2' e göre kararlı hal aşınması fazında oldukları söylenebilir [45].



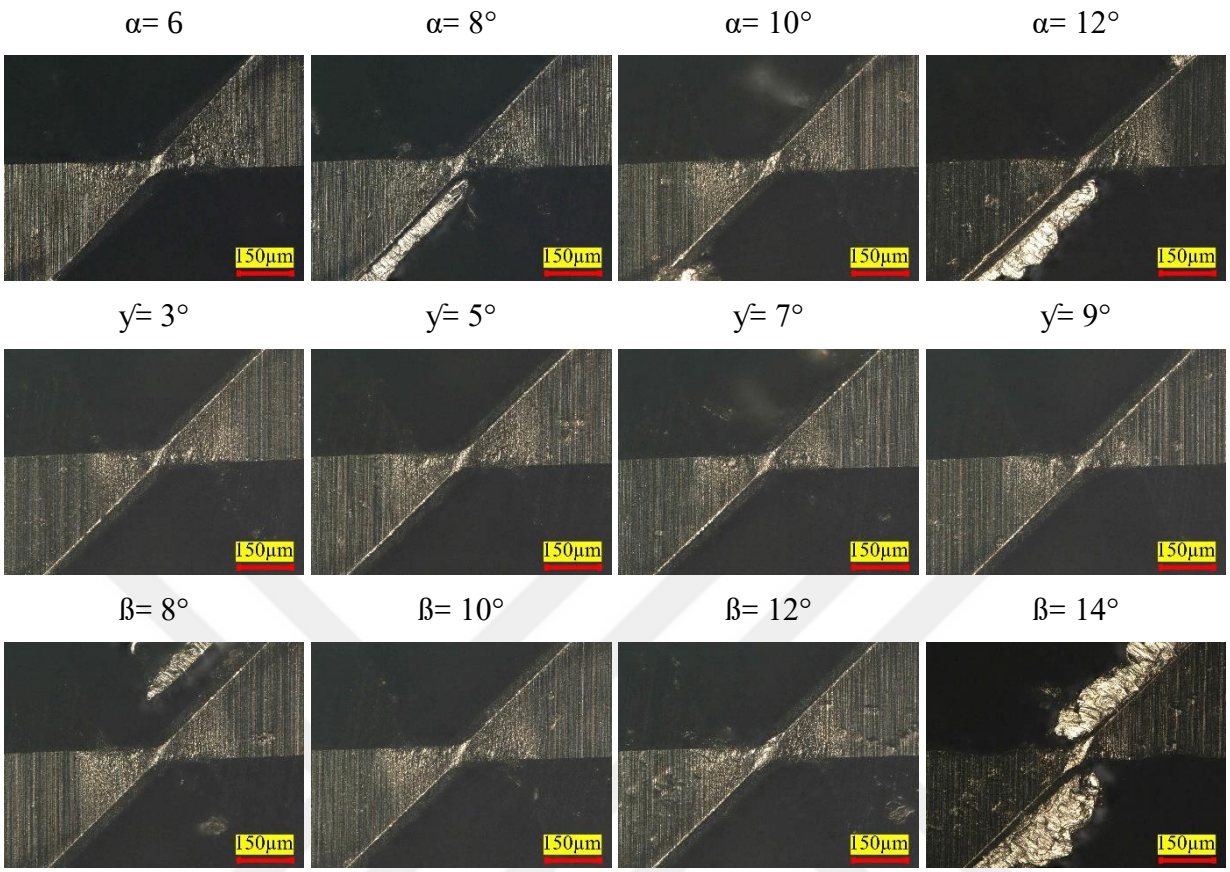
Şekil 3.19 1250 mm işlemeden sonra kesici takım geometrisine bağlı serbest yüzey aşınma değişimi

Nötr kesme açısına sahip kesici takımların, pozitif kesme açısına sahip kesici takımlara göre dayanımının daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu prensibe göre büyük pozitif kesme açısına sahip olan takımlar nötre yaklaşan pozitif kesme açısına sahip takımlardan daha hızlı aşınacağı söylenebilir. Şekil 3.19' incelendiğinde de buna benzer bir durumun varlığından genel olarak söz edilebilir. İşleme sırasında daha düşük pozitif kesme açısına sahip kesici takımların daha büyük kesme kuvvetleri oluşturduğu ise Şekil 3.12' de gösterilmişti. Bu kesme kuvvetlerinin etkisinde kırılma yaşayan kesici takımların başlangıç aşınmaları daha pozitif kesme açısına sahip takımlara oranla daha az olmasına rağmen, 1250 mm işlemenin sonunda kesici takım aşınmalarının daha pozitif kesme açısına sahip takımlara oranlar nispeten daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 3.20 ve Şekil 3.21' e bakıldığında kesici takım geometrilerine bağlı 1250 mm işlemeden kesici takımlarda meydana gelen serbest yüzey aşınmaları ve çisel aşınmaları görülmektedir. Özellikle büyük pozitif kesme açılarına sahip kesici takımların kesme kenarında kırılmalar ve kopmalar meydana geldiği ve bu hasarların kesici takım aşınma hızını arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.20 1250 mm işlemeden sonra takım geometrisine bağlı serbest yüzey aşınması görüntüleri

Şekil 3.20' de gösterilen kesici takım aşınmalarının nispeten üniform olduğu görülmektedir. Bu durumda sistemin neredeyse rijit çalıştığı, operasyonu riske edecek bir titreşime sahip olmadığı söylenebilir. Şekil 3.21' de ise, çisel kenarında meydana gelen aşınmalara bakıldığında daha çok adhezif aşınmaların oluştuğu gözlemlenmiştir. Hemen hemen her parametrede kesici takımın uç noktasında malzeme yığılmaları mevcuttur. Bu durum kesici takım kaplamasız ve işlenen iş parçasının yüksek sünekliğe sahip olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çisel kenarı boyunca zaman zaman malzeme yapışmalarının olduğu deney boyunca gözlemlenmiş, yapıştıktan sonra kopan malzemelerin kesici takım üzerinde operasyonu etkileyecek önemli bir deformasyonlara yol açtığı dair bir belirti saptanamamıştır. Büyük pozitif açılarda yığılmanın daha belirgin olduğu, bunun sebebinin ise pozitif kesici takımların daha düşük kesme sıcaklıklarında çalışmasından kaynaklı olduğu söylenebilir.

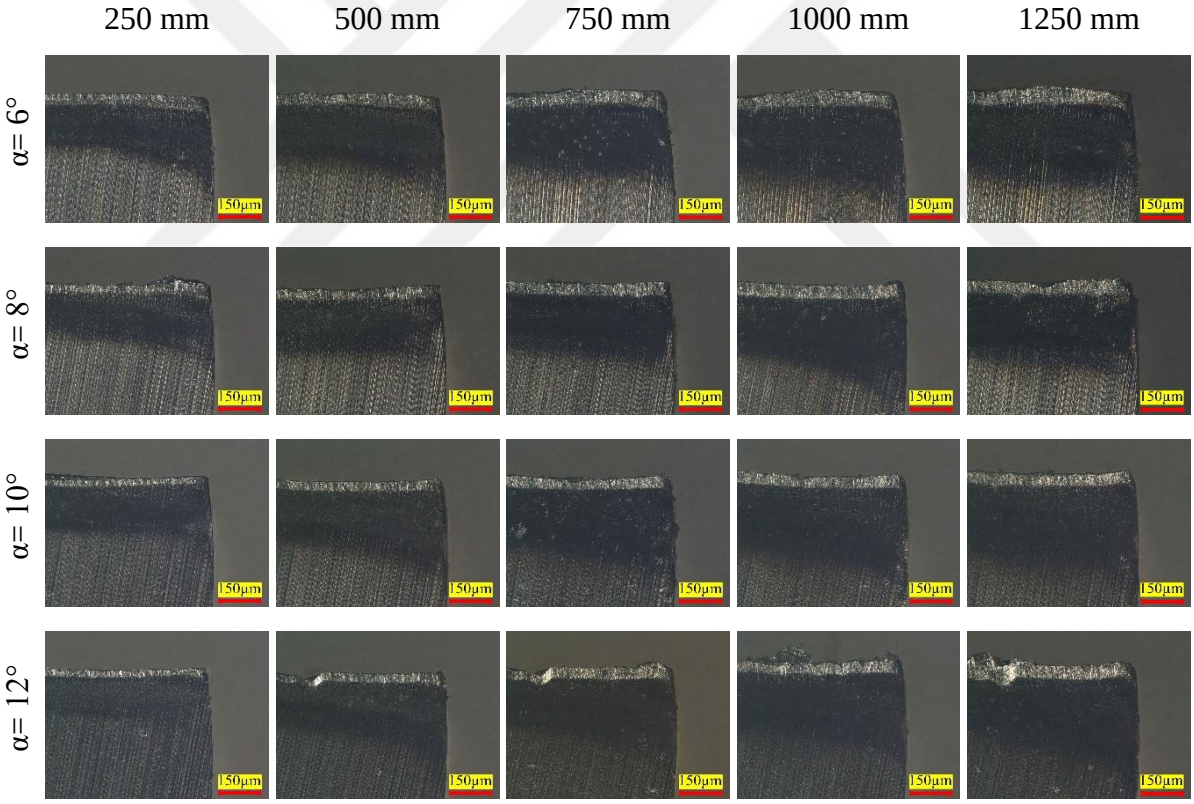


Şekil 3.21 1250 mm işlemeden sonra takım geometrisine bağlı çisel aşınma görüntüleri

3.2.2.1 Boşluk açısına bağlı aşamalı kesici takım aşınması

Kesici takım aşınmasını azaltmak için yapılan önceki çalışmalarda, takım kesme kenarındaki boşluk açısının önemli etkisi olduğu kanıtlanmıştır. Süreci tam olarak anlamak ve işleme sürecinin bilimsel ve anlaşılır bir analizini sağlamak için, bu açıların takım aşınması üzerindeki etkilerinin bilinmesi zorunludur [70]. Boşaltma açısı, yan yüzey ve işleme yüzeyi arasındaki temas alanı ile yakın bir ilişkiye sahip olduğundan, kesici takım ile iş parçası arasındaki temas alanı azaltılabilir ve boşaltma açısı artırılarak sürtünme azaltılabilir [71]. Şekil 3.13 ve 3.25' e bakıldığında ise literatür araştırmalarını destekler nitelikte, boşluk açısının arttırılması kesme kuvvetlerini azaldığı ve kesici takım aşınmalarının arttığına yönelik eğilimde olduğu gözlemlenmiştir. Fakat pozitif açı değerleri gereğinden fazla büyüdüğünde kesici takımın dayanımının azalmasından kaynaklı kesici takımda deformasyonlar meydana gelmiştir. Bu durum kesme kuvvetlerinin artmasına ve kesici takımın hızlı bir aşınma sürecine girmesine neden olmuştur. Şekil 3.24'te boşluk açısına bağlı meydana gelen kesici takım aşınmalarının

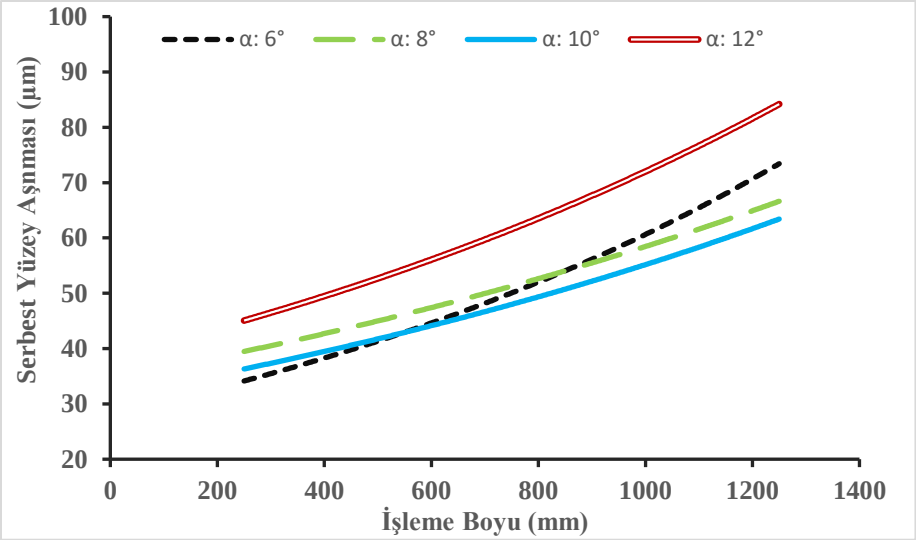
aşamalı görüntülerine yer verilmiştir. Boşluk açısı 12° olan kesici takımda meydana gelen kırılmalar ilk kez 500 mm işlemede gözlemlenmiştir. Kırılan bölgede sürtünmenin arttığı ve bu yüzden kesme ilerlemesinin daha hızlı olduğu öne sürülebilir. Bununla beraber kırılan yüzeyin deformasyonunun, meydana gelen kesme sıcaklıklarıyla birlikte kesici takım üzerinde malzeme yığılmasına neden olduğu görülmektedir. Şekil 3.25' te görüldüğü üzere, başlangıçta minimum serbest yüzey aşınması α= 6° değerinde 33 µm olarak ölçülmüştür. Maksimum serbest yüzey aşınması ise, 41 µm olarak α= 12° değerinde ölçülmüştür. 1250 mm işlemeden sonra aşınmaya bağlı olarak α= 6° ve α= 12° değerlerindeki takımların sırasıyla 76 µm ve 82 µm aşındıkları ölçülmüştür. Küçük pozitif açılarda meydana gelen kesme kuvvetlerinin yüksekliğinden kaynaklı olarak kesici takım üzerinde meydana gelen deformasyonların abrazif aşınma değerlerini arttırdığı söylenebilir.



Şekil 3.22 Boşluk açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması görüntüleri

1250 mm işleme sonunda kesici takım üzerinde meydana gelen serbest yüzey aşınma değerleri kıyaslandığında en yüksek serbest yüzey aşınma miktarına sahip α= 12° değerine göre; α= 6° kesme açısına sahip kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma

değerinin %7,3, α= 8° kesme açısına sahip kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma değerinin %19,5, α= 10° kesme açısına sahip kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma değerinin %19,5 azaldığı gözlemlenmiştir. İşleme sonrasında kesici takımda meydana gelen en büyük serbest yüzey artış oranı ise %56,6 artış gösteren α= 6° değerinde ölçülmüştür.

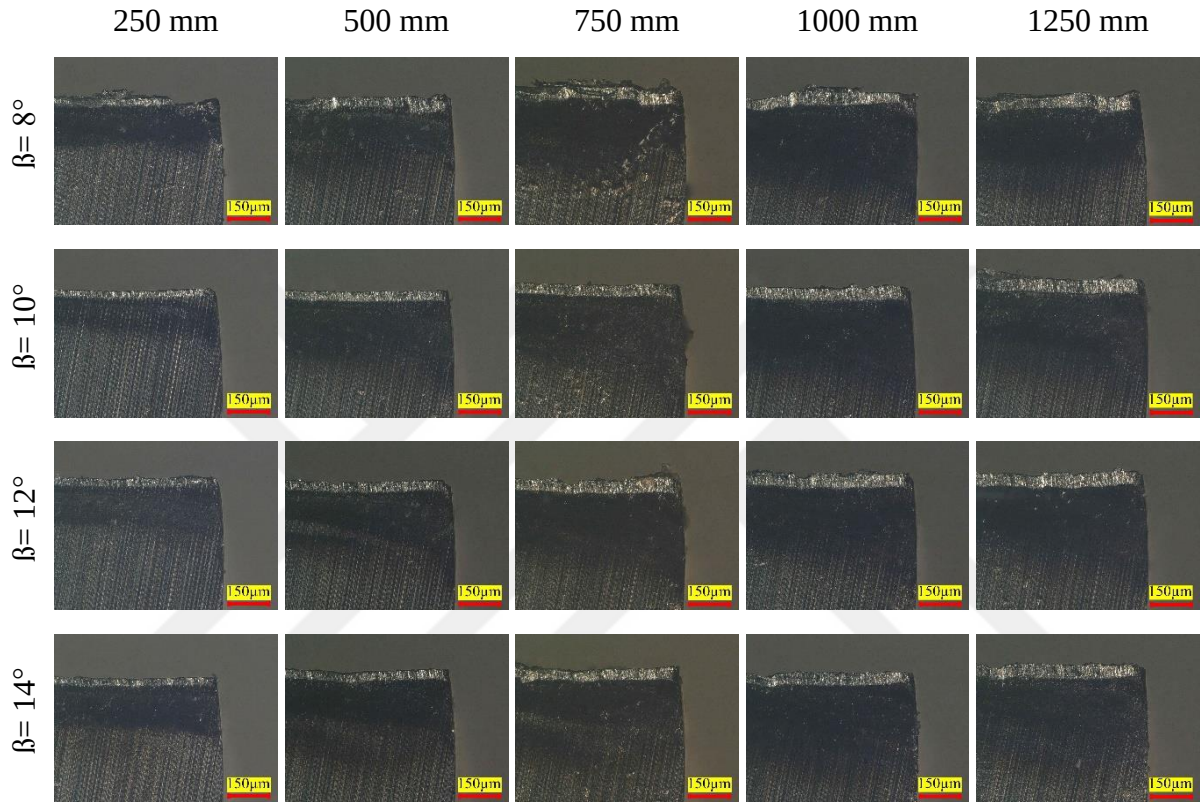


Şekil 3.23 Boşluk açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması değerleri

3.2.2.2 Eksenel talaş açısına bağlı aşamalı takım aşınması

Çisel kenarında bulunan eksenel talaş açının artması ile kesme kenarı boyunca talaş açısının artmasına bağlı olarak talaşların kıvrılma derecesi ve ilerleme kuvvetinin azaldığı bilinmektedir. Ancak talaş açısının daha pozitif olduğu durumlarda kesme kenarı daha keskin bir duruma gelmektedir ve kırılması kolaylaşmaktadır [72]. Şekil 3.32' ye bakıldığında 500 mm işleme boyunda ß= 14° eksenel talaş açısına sahip takımın kırılma aşınmasının başlangıcı görülmektedir. Bu kırılma aşınması işleme boyu arttıkça nitekim doğrusal bir şekilde büyümüştür. Her nasılsa, kırılma sonucu hızlı aşınmaya bağlı olarak kesme kuvvetlerinin artmadığı görülmüştür. Bu durum, kesici takımda meydana gelen yuvarlanma yarıçapı aşınmasının ilerleme kuvvetini azaltmasıyla açıklanabilir. Öte yandan daha az pozitif açı değerine sahip olmasına rağmen ß= 8° değerinde kesici takımın oluşturduğu talaş formları, yüksek ilerleme kuvvetlerini meydana getirmiş ve kesici takımın yüzey deformasyonuna uğramasına neden olmuştur. Şekil 3.36'da da görüleceği üzere talaş kırılabilirliği zayıflayan bu takımın, başlangıçta en düşük aşınma değerine, 34

µm’ a, sahip olmasına rağmen aşınma değerleri 1250 mm işlemeden sonra sonrasında en yüksek aşınma değerine, 78 µm’ a, ulaştığı gözlemlenmiştir. Başlagınçta 42 µm aşınan ß= 14° açısına sahip kesici takımın 1250 mm’de 76 µm aşınma değerine ulaştığı Şekil 3.33’ de gösterilmiştir. 1250 mm işlemeden sonra en düşük serbest yüzey aşınma değeri, 62 µm, ise ß= 10° talaş açısına sahip kesici takım geometrisinde meydana gelmiştir.

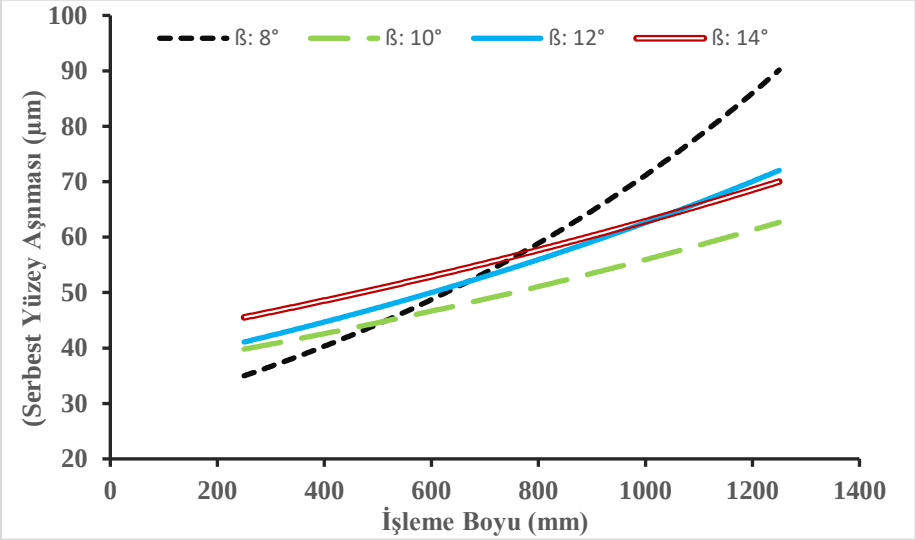


Şekil 3.24 Eksenel talaş açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması görüntüleri

Şekil 3.33’ ün genel grafik değerlerine bakılacak olursa, küçük dereceli pozitif açı değerlerinde kesici takımlarda kırılmalar sonucu oluşan maksimum serbest yüzey aşınmaları haricinde, pozitif açı büyüdükçe serbest yüzey aşınma miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, literatürde belirtilen talaş açılarının büyüdükçe kesici takım dayanımının azaldığını destekler niteliktedir.

1250 mm işleme sonunda kesici takım üzerinde meydana gelen serbest yüzey aşınma değerleri kıyaslandığında en yüksek serbest yüzey aşınma miktarına sahip ß= 8° değerine göre; ß= 10° kesme açısına sahip kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma değerinin %20,5, ß= 12° kesme açısına sahip kesici takımda meydana gelen serbest yüzey

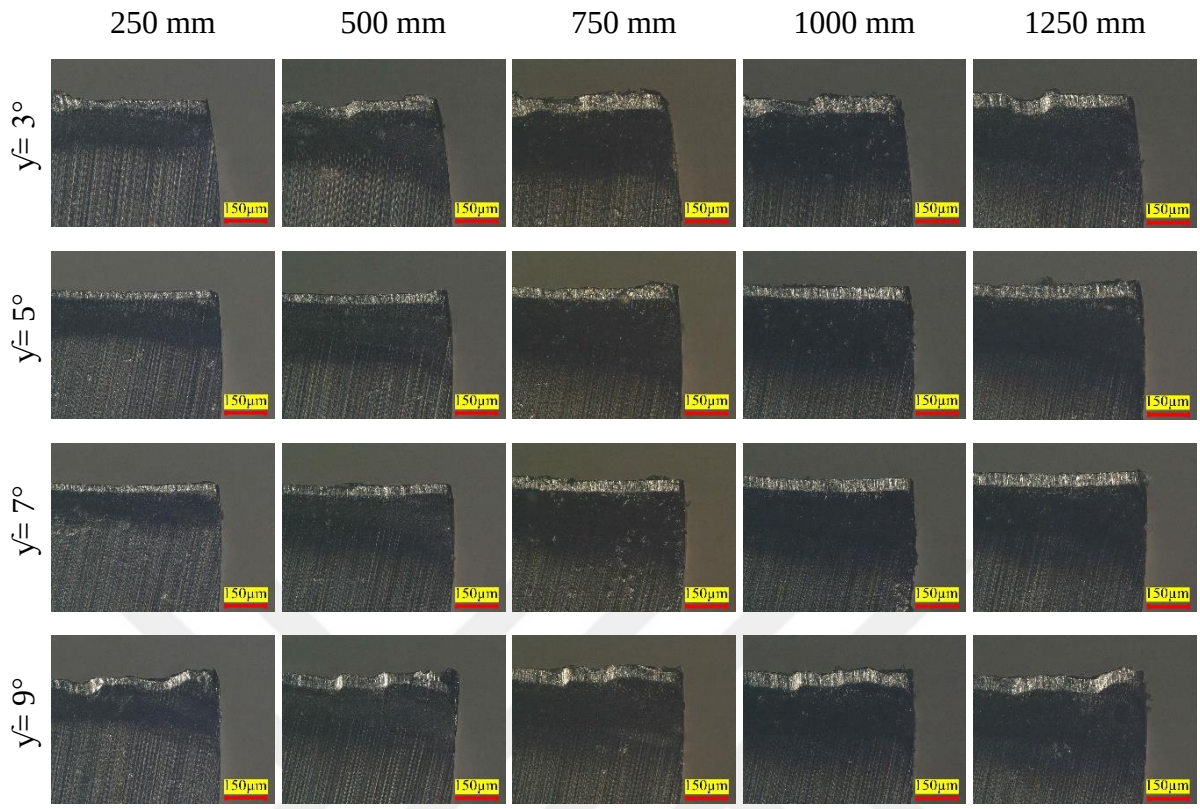
aşınma değerinin %15,4, ß= 14° kesme açısına sahip kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma değerinin %2,6 azaldığı gözlemlenmiştir. İşleme sonrasında kesici takımda meydana gelen en büyük serbest yüzey artış oranı ise %56,4 artış gösteren ß= 8° değerinde ölçülmüştür.



Şekil 3.25 Eksenel talaş açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması değerleri

3.2.2.3 Radyal talaş açısına bağlı aşamalı kesici takım aşınması

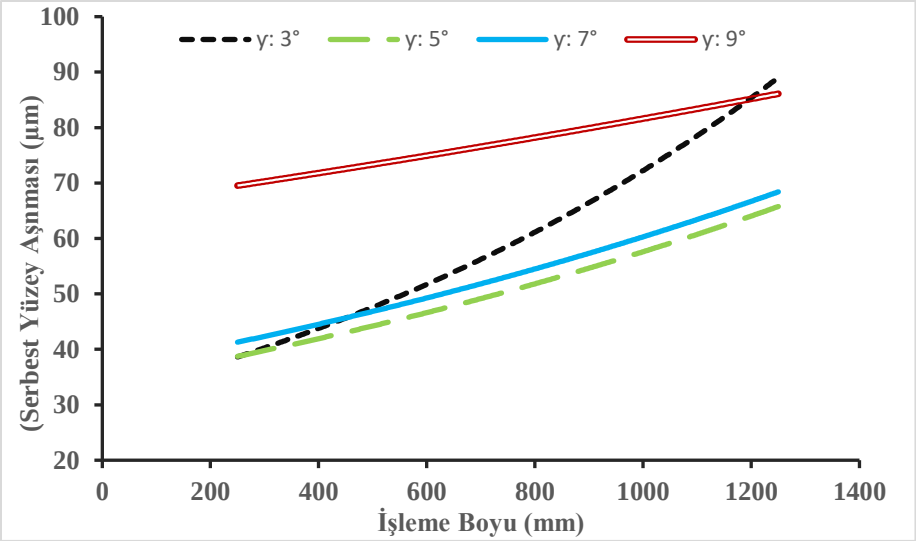
Helis üzerinde bulunan ve helisin başlangıcında yer alan bu kepçe açısı, radyal talaş açısı olarak tanımlanmıştır. Bu talaş açısının, talaş kırılabilirliğine ve talaş boşaltımına yardımcı olduğu bilinmektedir. Şekil 3.36' da görüleceği üzere, y= 5° ve y= 7° sahip olan kesici takımların talaş formlarının daha kısa ve daha düzenli olduğu görülmektedir. Bunu destekler nitelikte Şekil 3.28' e bakıldığı y= 3° ve y= 9° değerlerine sahip olan kesici takımların kesme kenarlarında kırılmalar meydana gelmiştir. Bu kırılmaların ana sebebinin, takım-talaş temas alanında meydana gelen değişimlerin etkisinde oluşan talaş formlarının, kesici takım-talaş temas alanından düzensiz bir şekilde uzaklaşması ve uzaklaşırken kesici takım üzerinde oluşturduğu talaş oyukları deformasyonu (Şekil 3.16) olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber kesme sırasında açı değerlerinin büyümesiyle kesme kenarının zayıflaması bir diğer neden olarak söylenebilir. Tam tersi durumda ise kesme kenarının dayanımı artmasına rağmen Şekil 3.14 grafiğinde görüleceği üzere oluşan kesme kuvvetlerinin daha büyük olması kesici takımda kopmalara ve kırılmalara sebep olmuştur.



Şekil 3.26 Radyal talaş açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması görüntüleri

Radyal talaş açısının, serbest yüzey aşınmasına etkisi Şekil 3.29' da açık bir şekilde gözükmektedir. Başlangıç deliklerinde, en düşük aşınma değeri γ= 3° değerine sahip kesici takım geometrisinde 39 µm olarak ölçülmüştür. En yüksek aşınma değeri ise, 68 µm, γ= 9° değerinde ölçülmüştür. Şekil 3.28' e bakıldığında ilk deliklerden itibaren kırılma yaşayan γ= 9° değerine sahip kesici takımın, 1250 mm işlemeden sonra serbest yüzey aşınma değeri 86 µm olarak tüm çalışmanın en yüksek aşınma değeri olarak ölçülmüştür. γ= 3° değerine sahip kesici takımın ise 500 mm ve 750 mm işlemeler arasında kopmalar ve kırılmalar sonucunda serbest yüzey aşınmasının hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Şekil 3.29' da sunulduğu üzere, 1250 mm işlemeden sonra minimum serbest yüzey aşınması nispeten üniform bir aşınma gösteren γ= 5° geometrili kesici takımda meydana gelmiş olup, 63 µm değerinde ölçülmüştür. γ= 5° değerine sahip kesici takımla birlikte, 1250 mm' de γ= 7° değerine sahip kesici takımda nispeten üniform serbest yüzey aşınmasına (66 µm) maruz kalmıştır. 1250 mm işleme sonunda kesici takım üzerinde meydana gelen serbest yüzey aşınma değerleri kıyaslandığında en yüksek serbest yüzey aşınma miktarına sahip γ= 9° değerine göre; γ= 3° kesme açısına sahip kesici

takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma değerinin %2,3, γ= 5° kesme açısına sahip kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma değerinin %26,7, γ= 7° kesme açısına sahip kesici takımda meydana gelen serbest yüzey aşınma değerinin %23,3 azaldığı gözlemlenmiştir. İşleme sonrasında kesici takımda meydana gelen en büyük serbest yüzey artış oranı ise %53,6 artış gösteren γ= 3° değerinde ölçülmüştür.

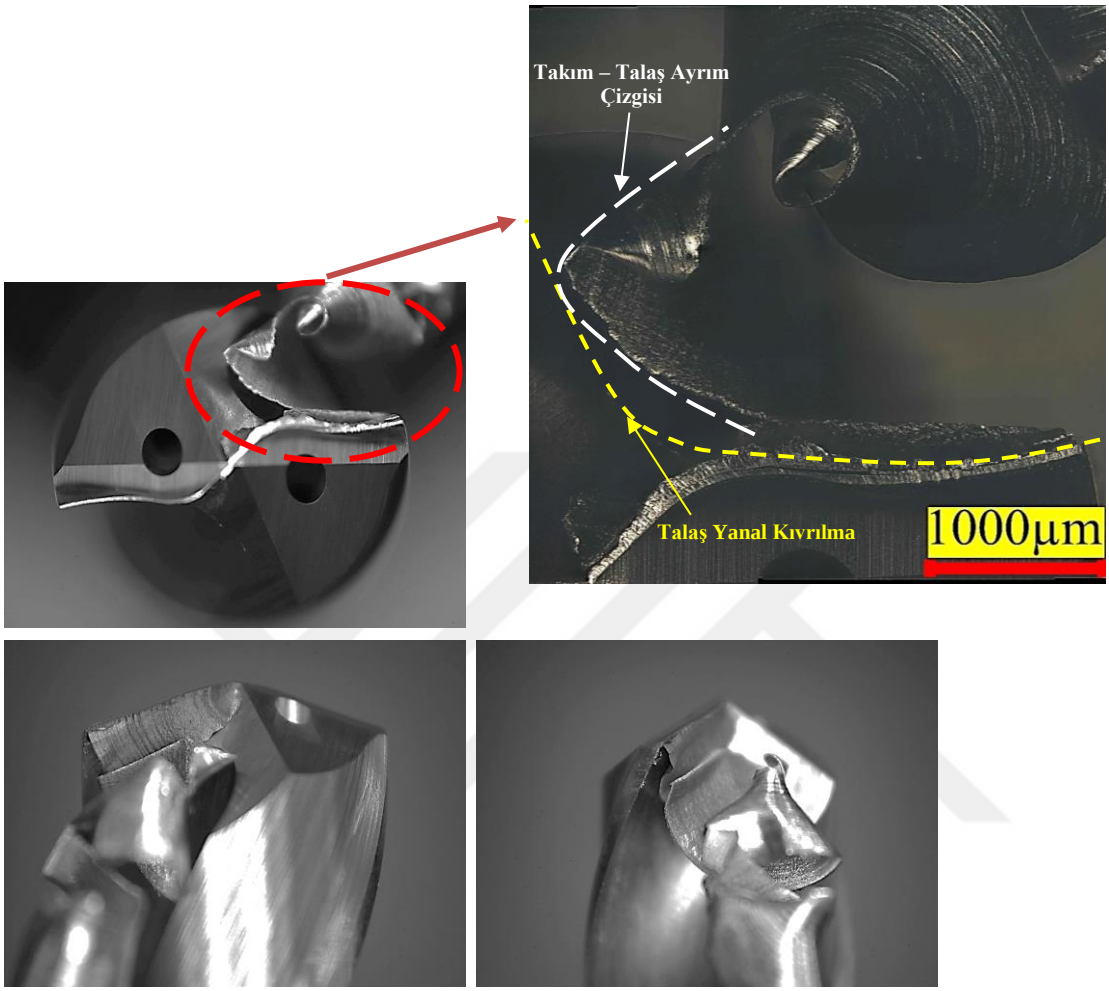


Şekil 3.27 Radyal talaş açısına bağlı meydana gelen aşamalı serbest yüzey aşınması değerleri

3.2.2.4 Kesici Takım – Talaş Temas Mekanizması

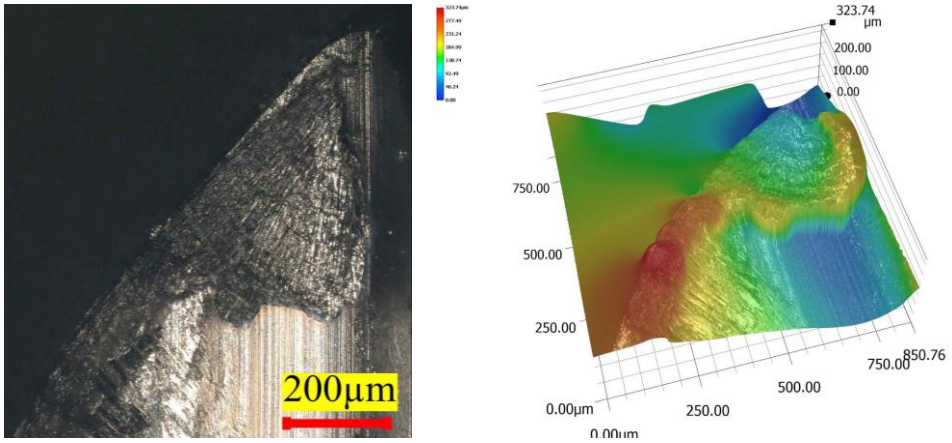
Delik delme operasyonunun bir termo-mekanik işlem olduğu bilinmektedir ve termo-mekanik işlemlerde, iş parçasındaki bölgesel ısınma ve sıcaklık artışları, iş parçasının hızlı plastik deformasyonundan ve matkap-çip arayüzü boyunca oluşan sürtünmeden kaynaklanmaktadır [73]. Delik delme sırasında, mühendislik malzemelerinin sünek plastik deformasyonundan kaynaklanan uzun karmaşık talaşlar, düşük üretim verimliliğine; dar sarmal yivlerde ciddi talaş tıkanmasına, kenar talaşlanmasına, erken kesici takım aşınmasına, takımın kırılmasına, düşük takım ömrüne, kötü yüzey kalitesine ve kötü çap doğruluğuna neden olmaktadır [74]. Bu yüzden delik delme operasyonlarında talaş kontrolü en önemli etkenlerden biri haline gelmektedir. Şekil 3.34' de üzere takım-talaş arayüzünde oluşan sıcaklık nedeniyle kesici takıma yapışan sünek bir talaş örneği sunulmuştur. Delik delme esnasında oluşan talaşın sünek hale gelmesi, talaşın kırılmasını

ve uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır, çünkü sünek malzemeler akma noktasının ötesinde plastik deformasyona uğramaktadırlar [75].



Şekil 3.28 Kesici takım ve talaş kırılma mekanizması

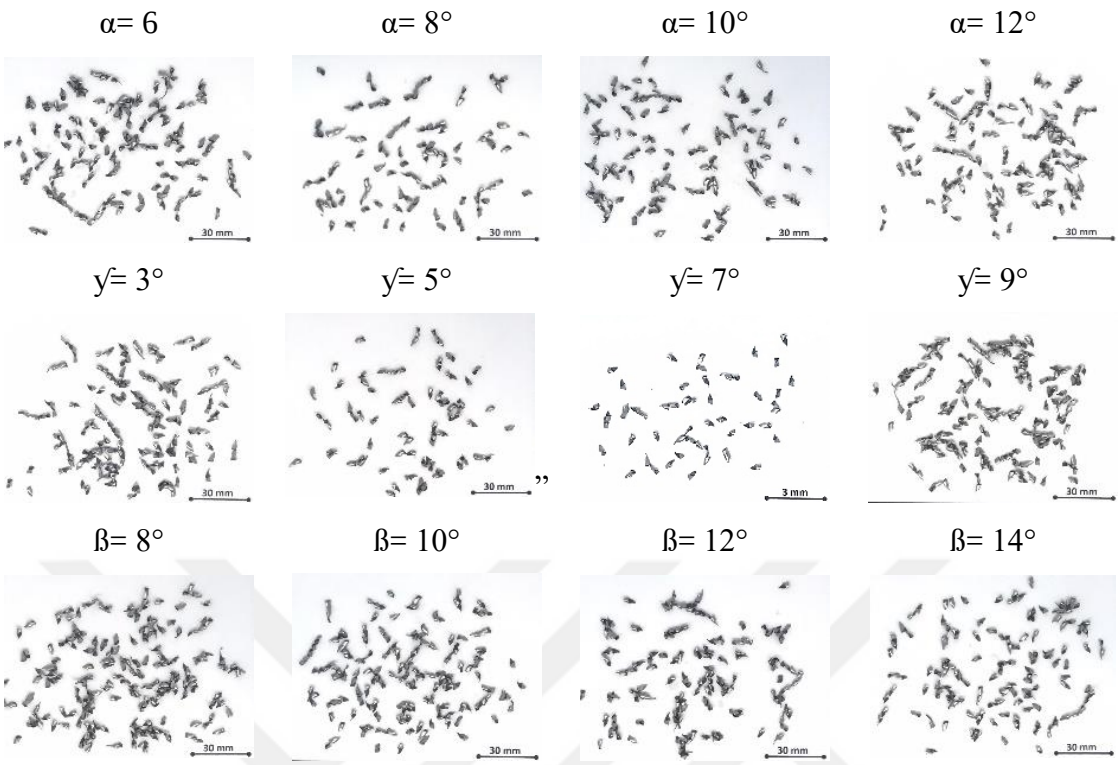
Şekil 3.35' de ise daha kısa bir talaş oluşumunun kesici takım üzerinde meydana getirdiği deformasyon gözükmektedir. Kesici takım yüzeyine yapışan bu talaş, delik delme operasyonunun performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere özellikle kötü talaş kırılabilirliğe sahip olan düşük pozitif açıya sahip kesici takımlarda meydana gelen bu deformasyonlar kesme kuvvetlerinin artmasına (Şekil 3.12) ve zorlaşan kesme operasyonu bağlı olarak kesici takım aşınmalarının aniden artmasına (Şekil 3.19) neden olup, operasyonun başarılı bir şekilde sonuçlanmasını riske etmektedir. ß= 14° kesme açısına sahip kesici takımın yüzeyinden yaklaşık 323 µm yüksekliğe ulaşan bu yapışkan talaşın Şekil 3.41'de yüzey pürüzlülüğüne etkisi sunulmuştur.



Şekil 3.29 İşleme sırasında takıma yapışan talaşın 2D ve 3D görüntüleri

3.2.3 Talaş Kırılabilirliği

Şekil 3.36'da farklı boşluk açısına, radyal talaş açısına ve eksenel talaş açısına sahip kesici takım geometrilerin kullanılarak delinen X2CrNiMoN22-5-3 dubleks paslanmaz çelik alaşımının oluşturduğu talaş formları gözükmektedir. Kesme parametrelerine kıyasla kesici takım geometrisinin talaş formu oluşuma az olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kesici takım aşınma miktarına bağlı olarak kesici talaş formlarının işleme boyunca değiştiği gözlemlenmiştir. Oluşan talaş formları kısa virgül talaş ve konik talaş formlarında gözlenirken, kesici takım aşınmasından sonra talaş kırılabilirliğin azalmasına bağlı olarak talaş formlarının uzadığı ve sıralı konik talaşlar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Talaş oluşumuna en büyük etkiyi radyal talaş açısının yaptığı ve mükemmele en yakın talaşın ß= 10° ve ß= 12° eksenel talaş açılarına sahip kesici takımların oluşturduğu Şekil 3.36' da görülmektedir. Eksenel talaş açısının talaş konikliğine etki ettiği ve talaş kırılabilirliği etkisinin büyük ölçüde olduğu görülmüştür. Yine Şekil 3.36'da görüldüğü üzere boşluk açısının etkisinin en az olmuştur. Oluşan tüm talaş formlarının hammadde rengine yakın olduğu görülmüş olup operasyonlar sırasında herhangi bir oksidasyon oluşmadığı söylenebilir.



Şekil 3.30 Kesici takım geometrisine bağlı talaş formları

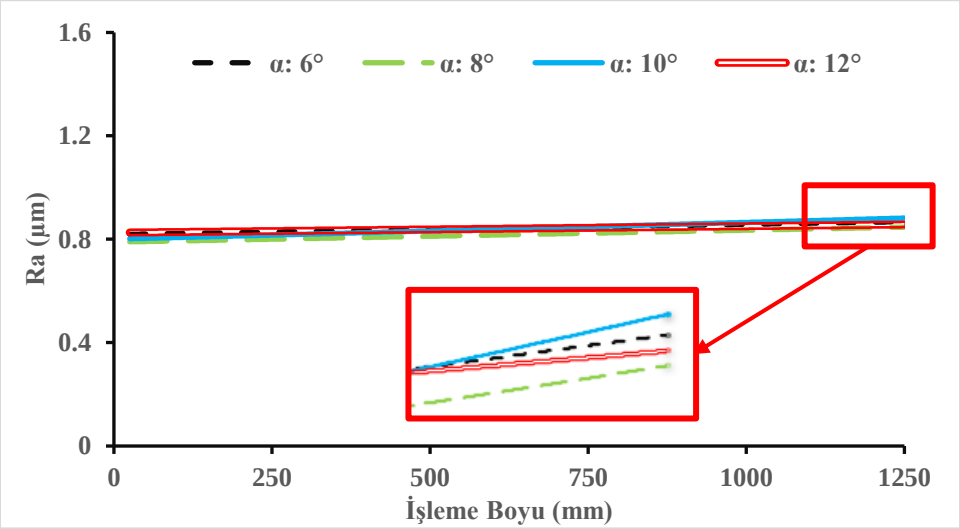
3.2.4 Topografi Bütünlüğü

Topografi bütünlüğüne ait genel bilgiler, çalışmanın 3.1.4. kısmında belirtilmiştir.

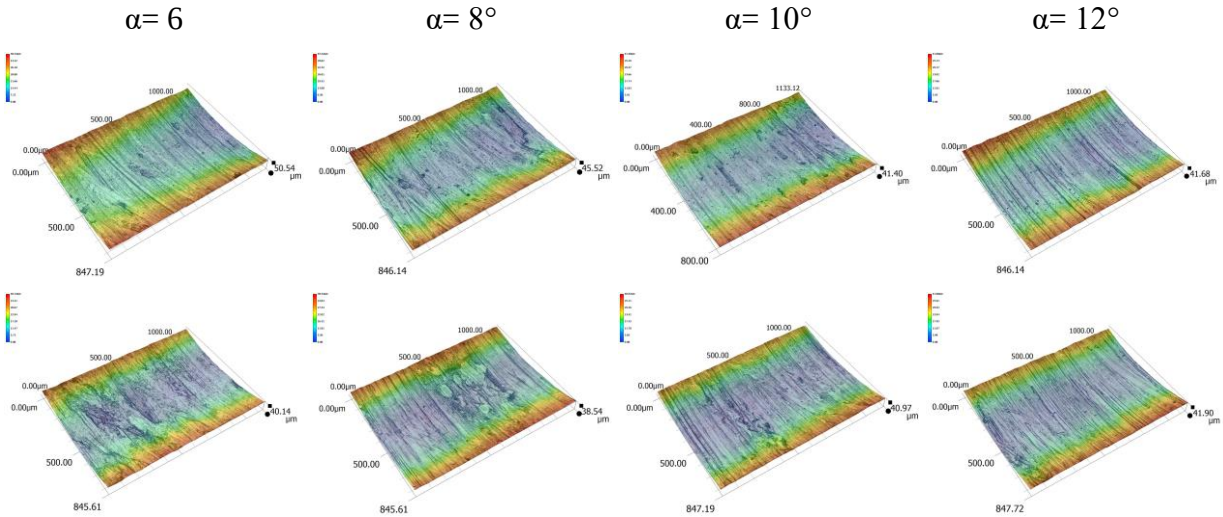
3.2.4.1 Boşluk açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Boşluk açısının ilerleme kuvvetine, takım aşınmasına ve talaş formuna etkisi göz önünde bulundurulduğunda yüzey pürüzlülüğüne etkisi olduğu söylenebilir. Bu durumla ilgili olarak Şekil 3.37' de ilk ve son deliklere ait yüzey pürüzlülüğü verilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri arasında önemli bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, yuvarlanma yarı çapında meydana gelen büyümelerin ve kesici takımın kesme kenarında gelen deformasyonların birbirini dengelemesi üzerine olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, talaş formunda çok büyük değişikliklerin meydana gelmemesi ve talaşın kolay boşaltıldığı çalışma boyunca, bu koşullar altında yüzeyde talaş izlerinin etkisinin önemli bir faktör olmadığı görülmüştür. Şekil 3.38'de yer verilen topografi görüntülerine bakıldığında ise kesici takımlarda zaman zaman meydana gelen talaş yığılmalarının etkisi

görülebilmektedir. Delik delme esnasında kesici yüzeye yapışan malzeme ve talaş yığıntılarının, sonraki delik delme operasyonlarında malzeme yüzeyinde kalıntılar bıraktığı gözlemlenmiştir. Başlangıçta en düşük yüzey pürüzlülüğü 0.79 µm olup α= 8° değerinde elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise 0.826 olarak α= 12° ölçülmüştür. 1250 mm işlemeden sonra kesici takım aşınmasına bağlı olarak, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 0.882 µm olarak α= 10° değerinde elde edilmiştir.



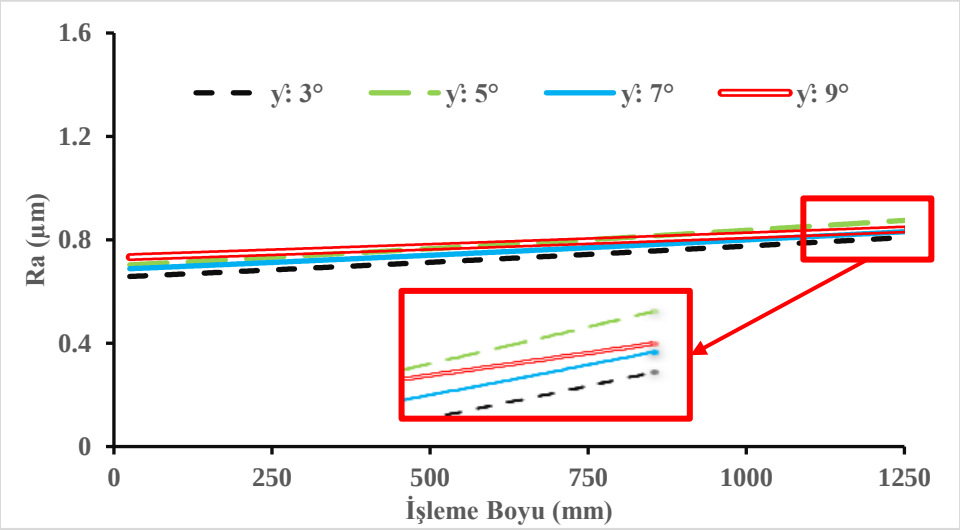
Şekil 3.31 Takım aşınması etkisi altında boşluk açısına bağlı yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi



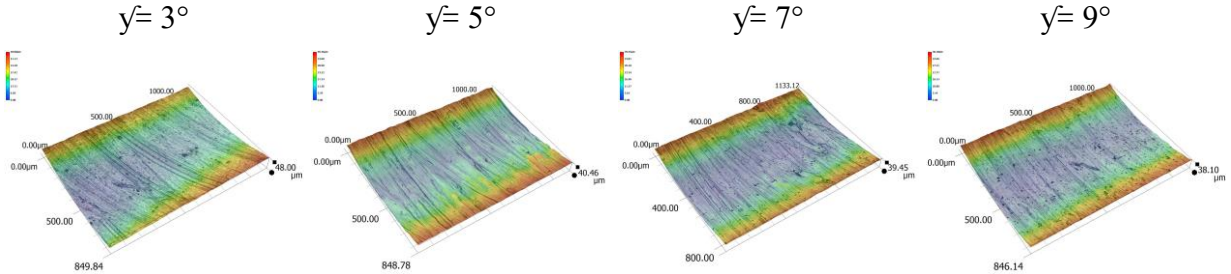
Şekil 3.32 Takım aşınması etkisi altında boşluk açısna bağlı yüzey topografisi değişimi

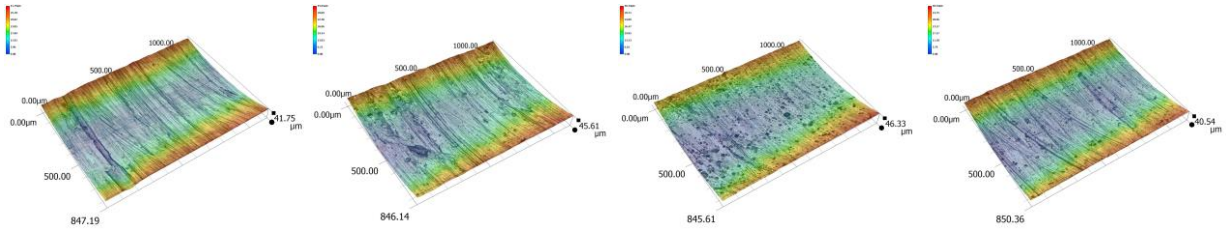
3.2.4.2 Radyal talaş açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Radyal talaş açısının incelendiği bu bölümde, Şekil 3.39' da görüldüğü üzere radyal talaş açı değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi kısıtlı olmuştur. Bu etki kesici takım aşınmasına artmasına bağlı olarak artan yüzey pürüzlülüğü olarak değerlendirilebilir. Şekil 3.40' da görülen topografi görüntüleri incelendiğinde ise, yüzeylerde malzeme kalıntıları kaldığı ve fakat bu bölgelerin yüzey pürüzlülüğüne önemli etkisi olmadığı görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında, ilk delik ölçümlerinde yüzey pürüzlülüğü γ= 3° değerinde 0.616 µm olarak ölçülmüş olup en düşük yüzey pürüzlülük değeridir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 0.733 µm olup γ= 9° değerinde elde edilmiştir. 1250 mm işleme yapan kesici takımlarda gerçekleşen kesici takım aşınmlarına bağlı olarak en yüksek yüzey pürüzlülüğü, 0.875 µm olarak γ= 5° değerinde ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına bakılarak, radyal talaş açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin değişken olduğu ve herhangi bir parametreyle bağdaştırılamadığı görülmüştür.



Şekil 3.33 Takım aşınması etkisi altında radyal talaş açısına bağlı yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi

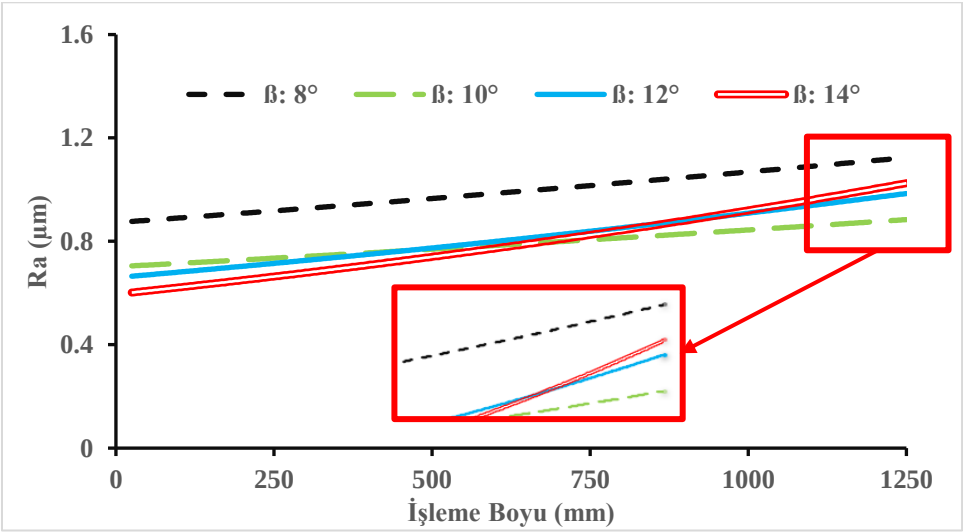




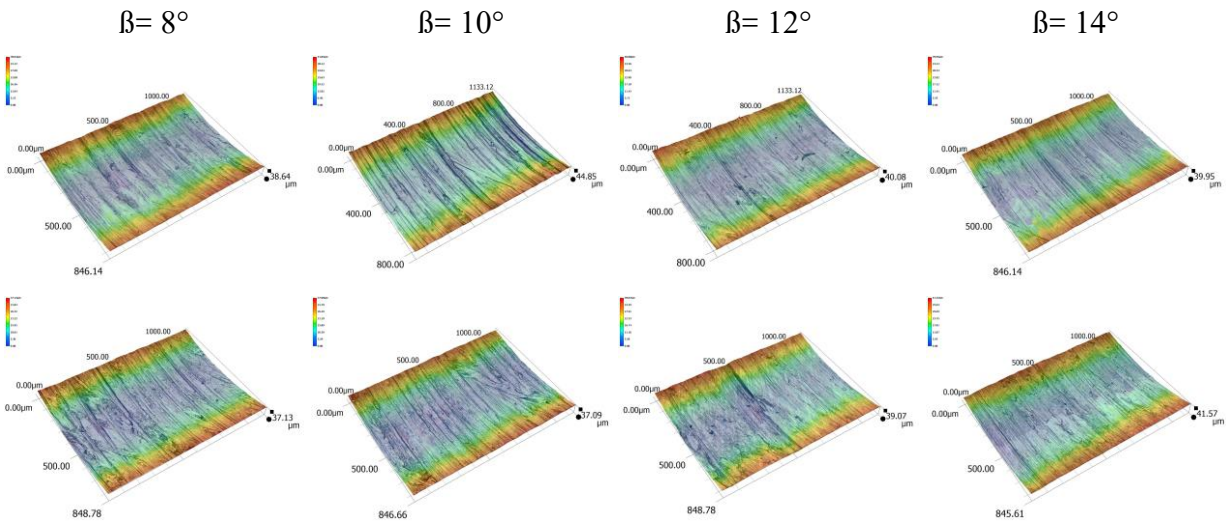
Şekil 3.34 Takım aşınması etkisi altında radyal talaş açısına bağlı yüzey topografisi değişimi

3.2.4.3 Eksenel talaş açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Eksenel talaş açısının ise, boşluk açısı ve radyal talaş açısına göre yüzey pürüzlülüğüne etkisinin daha büyük olduğu görülmektedir. Kesici takım aşınması altında eksenel talaş açısına bağlı yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 3.41' de verilmiştir. Eksenel talaş açısının büyüdükçe yüzey pürüzlülüğünün bir miktar azaldığı, fakat kesici takım aşınmasına bğalı olarak bu etkinin yitirildiği gözlemlenmiştir. Daha düşük radyal talaş açısına sahip kesici takımda ise, ilk delikten itibaren yüzey pürüzlülük değeri (Ra), 0.8 µm' un üzerinde olmuştur. 1250 mm işleme yapıldıktan sonra en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0.602 µm olarak ß= 14° değerinde oluştuğu gözlemlenmiş olup, en yüksek pürüzlülük değeri ise 1.124 µm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.35 Takım aşınması etkisi altında eksenel talaş açısına bağlı yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimi

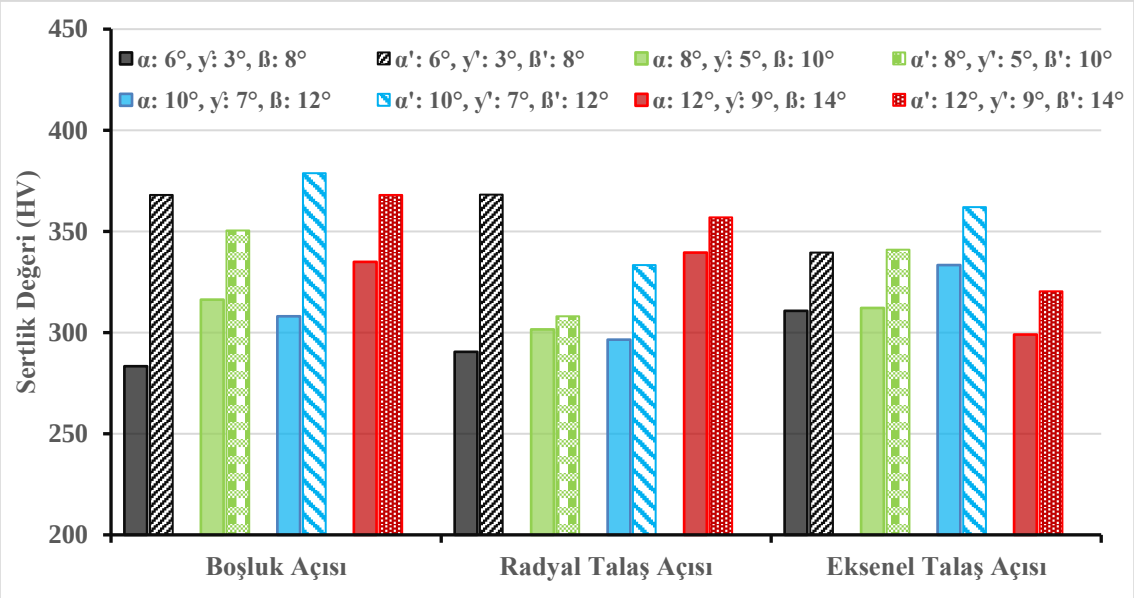


Şekil 3.36 Takım aşınması etkisi altında eksenel talaş açısına bağlı yüzey topografisi değişimi

3.2.5 Yüzey Altı Sertlik

İşleme sırasında, kesme bölgesindeki mekanik, termal ve metalurjik etkiler nedeniyle iş parçasının homojen olmayan plastik deformasyonu meydana gelir. Bu etkiler, takım geometrisi, işlem parametreleri ve işlenen malzeme gibi faktörlerden etkilenir [76]. Bu çalışma boyunca kesici takım geometrilerinin iş parçasının yüzey altında meydana getirdiği deformasyon mikrosertlik ölçümleriyle kontrol edilmiştir. Deforme olmuş katmandaki işleme sertleşmesinden dolayı, yüzeydeki sertlik ana metale göre çok daha yüksektir ve belirli bir derinlikte hammadde sertlik değerine ulaşıncaya kadar yüzeyden artan derinlikle katlanarak azaldığı Şekil 3.45, Şekil 3.45 ve Şekil 3.47' de gösterilmiştir [78].

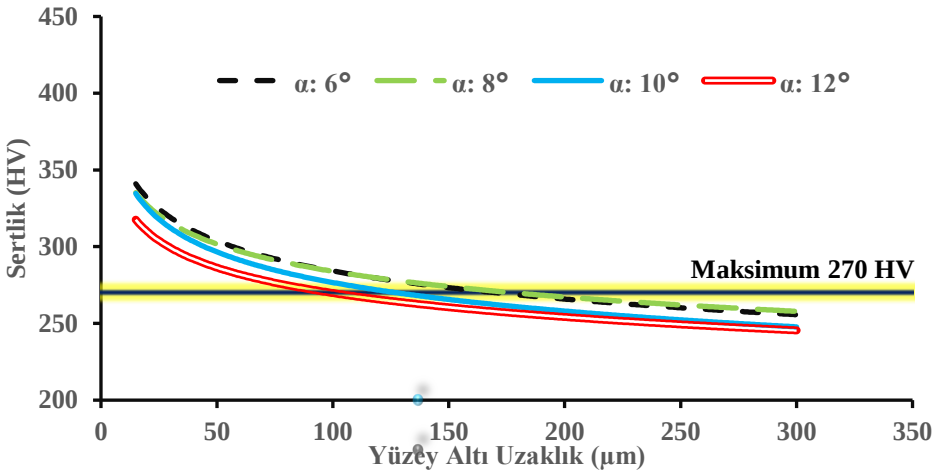
Şekil 3.43' e göre, işlenmemiş malzeme sertlik değeri 270 HV olan 2205 dubleks paslanmaz çelik alaşımının delik delme işlemi sonrası yüzey altı sertlik değerleri işleme sırasında oluşan termal ve mekanik etkilerden etkilenmiş olup, kesici takım geometrisi yüzey altı sertlik değerleri arasında büyük farklar oluşturmamıştır. Bunun sebebi kesici takım geometrisinde kullanılan değerlerin kabul edilebilir değerler olduğu ve kesici takımlarda meydana gelen aşınma değerlerinin, malzemenin mikroyapısını değiştirecek oranlarda olmadığı söylenebilir. Bu sebepten dolayı kesici takım geometrilerinin yüzey altı sertliğe etkisine dair daha net yorum yapılabilmesi için daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.



Şekil 3.37 Kesici takım aşınmasının etkisi altında kesici takım geometrisine bağlı yüzeyin 15 mikron altında meydana gelen sertlik değişimi

3.2.5.1 Boşluk açısının yüzey altı sertliğe etkisi

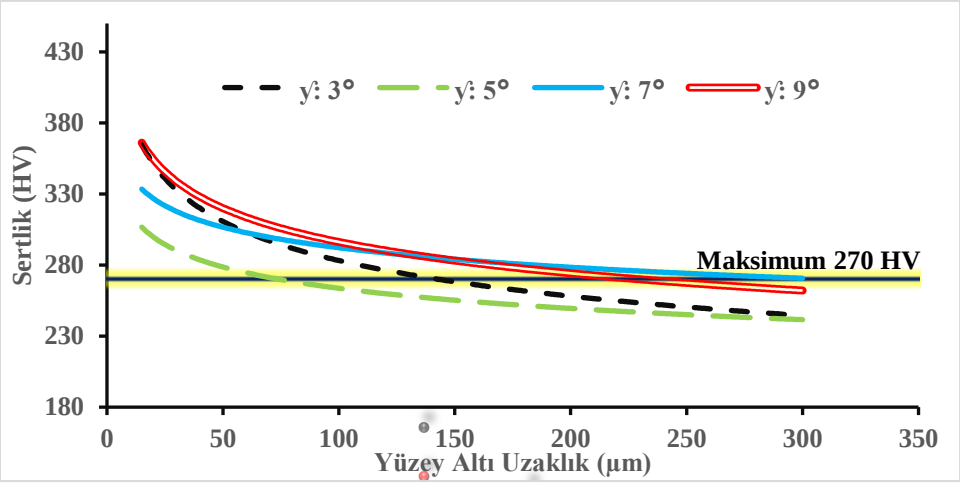
Şekil 3.44'te 1250 mm işleme yapan kesici takımdaki boşluk açısının yüzey altı sertliğe etkisi sunulmuştur. Şekil 3.44' e göre en yüksek sertlik değeri, α= 10° değerinde 379 HV olarak işleme yüzeyinin 15 µm altında ölçülmüştür. İşleme yüzeyinin 15 µm altındaki yüzey sertlik değerleri, α= 6° 368 HV, α= 10° 379 HV ve α= 12° 335 HV olarak ölçülmüştür. Yüzeyden uzaklaştıkça hammadde sertlik değerine yaklaşan yüzey altı sertlik değerleri hemen hemen tüm koşullar için 150 µm derinliğinde 270 HV değerine yaklaşmıştır. Delik delme işlemi sırasında gerçekleşen termal ve mekanik olayların etkisi 150 µm derinliğinde sona ermiştir.



Şekil 3.38 1250 mm işlemede sonra boşluk açısına bağlı yüzey altı sertlik değişimi

3.2.5.2 Radyal talaş açısının yüzey altı sertliğe etkisi

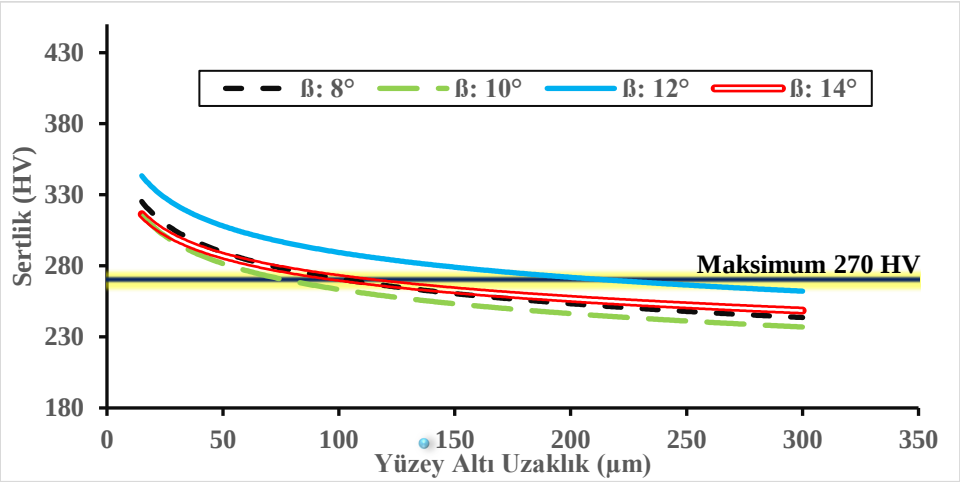
Şekil 3.45'te 1250 mm işleme yapan kesici takımdaki radyal talaş açısının yüzey altı sertliğe etkisi sunulmuştur. Şekil 3.45' e göre en yüksek sertlik değeri, γ= 3° değerinde 368 HV olarak işleme yüzeyinin 15 µm altında ölçülmüştür. İşleme yüzeyinin 15 µm altındaki yüzey sertlik değerleri, γ= 5° 328 HV, γ= 7° 334 HV ve γ= 9° 357 HV olarak ölçülmüştür. Yüzeyden uzaklaştıkça hammadde sertlik değerine yaklaşan yüzey altı sertlik değerleri hemen hemen tüm koşullar için 150 µm derinliğinde 270 HV değerine yaklaşmıştır. Delik delme işlemi sırasında gerçekleşen termal ve mekanik olayların etkisi 150 µm derinliğinde sona ermiştir.



Şekil 3.39 1250 mm işlemede radyal talaş açısına bağlı yüzey altı sertlik değişimi

3.2.5.3 Eksenel talaş açısının yüzey altı sertliğe etkisi

Şekil 3.46' da 1250 mm işleme yapan kesici takımdaki eksenel talaş açısının yüzey altı sertliğe etkisi sunulmuştur. Şekil 3.46' ya göre en yüksek sertlik değeri, ß= 12° değerinde 362 HV olarak işleme yüzeyinin 15 µm altında ölçülmüştür. İşleme yüzeyinin 15 µm altındaki yüzey sertlik değerleri, ß= 8° 339 HV, ß= 10° 341 HV ve ß= 14° 320 HV olarak ölçülmüştür. Yüzeyden uzaklaştıkça hammadde sertlik değerine yaklaşan yüzey altı sertlik değerleri hemen hemen tüm koşullar için 100 µm derinliğinde 270 HV değerine yaklaşmıştır. Delik delme işlemi sırasında gerçekleşen termal ve mekanik olayların etkisi 100 µm derinliğinde sona ermiştir.



Şekil 3.40 1250 mm işlemede eksenel talaş açısına bağlı yüzey altı sertlik değişimi

4. SONUÇLAR

Bu tezde, petrokimya ve nükleer endüstrisinde, klorür içeren sulu çözeltili uygulamalarda ve açık deniz teknolojilerinde sektöründe kullanılan dubleks paslanmaz çelik alaşım grubuna ait X2CrNiMoN22-5-3 malzemesinin delik delme işlemleri sırasında kesici takım geometrisinin ve kesme parametrelerinin talaşlı imalat performansına ve yüzey bütünlüğüne etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmanın ilk aşama deneylerinde farklı kesme parametrelerinin işleme performansını iyileştirme çalışmaları kapsamında 4 farklı kesme hızıve 4 farklı ilerleme kullanılmış olup elde edilen kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, talaş kırılabilirliği, çapak yüksekliği ve kesici takım aşınması verileri birbiri içerisinde kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmanın ikinci aşamasında ise farklı kesici takım geometrilerinin işleme performansını iyileştirmesi çalışmaları kapsamında 4 boşluk açısı, 4 radyal talaş açısı ve 4 eksenel talaş açısı kullanılmış olup, elde edilen kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, talaş kırılabilirliği, yüzey altı sertliği ve kesici takım aşınması verileri birbiri içerisinde kıyaslanmıştır.

Yapılan talaşlı imalat testlerinde kesme parametrelerinin talaşlı imalat performasına etkisi oldukça fazla olmuştur. Bununla birlikte, kesici takım geometrilerinin talaşlı imalat performansına etkisi, kesme parametrelerinin talaşlı imalat performansına etkisini tamamlayıcı ve iyileştirici niteliktedir.

Farklı kesme parametleri altında yapılan test sonuçları kesme kuvveti perspektifinden incelendiğinde, kesme hızının ve ilerlemenin ilerleme kuvveti üzerinde ciddi ordan etkili olduğu görülmüştür. Talaş kırılabilirliği ve yüzey pürüzlülük perspektifinden bakıldığında da özellikle ilerleme değerlerinin büyük etkisi görülmüştür. Kesme hızı ve ilerleme arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı fakat bununla beraber talaş kırılabilirliğinin de iyileştiği gözükmüştür. İlerleme arttıkça artan yüzey pürüzlülüğüne rağmen, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür.

Kesici takım aşınması açısından ise düşük kesme hızlarında talaş yığılmalarının meydana geldiği ve bu talaş yığılmalarının kesici takımdan karbür kopardığı ve kırılma başlangıçlarına yol açtığı kaydedilmiştir.

Farklı kesici takım geometrisi altında yapılan test sonuçları kesme kuvveti perspektifinden incelendiğinde, kesici takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerini etkilediği

görülmektedir. En iyilenmiş kesme parametrelerinde çalışan bu takımların, kesici takım aşınmalarının açı değerlerine göre değişkenlik gösterdiği ve genellikle daha büyük açı değerlerine sahip pozitif kesici takımlardaki aşınmaların daha büyük olduğu ve kesici takım dayanımının azalmasıyla kırılma başlangıçlarının olduğu görülmüştür. Ancak daha küçük açı değerlerine sahip pozitif kesici takımlarda yüksek kesme kuvvetlerinin oluştuğu ve yüksek kesme kuvvetleriyle beraber kırılma başlangıçlarının meydana geldiği görülmüştür. Boşluk açısının ve eksenel talaş açısındaki değişimlerim kesici takım aşınması üzerinde daha büyük etkisi olduğu görülürkeni radyal talaş açısının talaş kırılabilirliğine etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı kesici takım geometrileri, talaş kırılabilirliği açısından incelendiğinde ise daha büyük açı değerlerine sahip pozitif kesici takımların talaş kırılabilirliğinin daha iyi olduğu fakat meydana gelen aşınmanın daha hızlı olması nedeniyle talaş kırılabilirliğinde meydana gelen bu iyileşmenin etkisinin hızlıca kaybolduğu görülmüştür. Ayrıca kesici takımlarda meydana gelen aşınmaların yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür.

Testler sonucunda iş parçasından alınan numuneler bakalite alıp incelendiğinde, yüzey altı mikrosertlik değerlerinin malzemenin işlem görmemiş sertliğine oranla arttığı gözlemlenmiştir. Bu duruma kesme esnasında meydana gelen deformasyonlar neden olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Paslanmaz Çelik Nedir, Çeşitleri, Kaliteleri Nelerdir?, http://www.rpmendüstri.com.tr/.
2. Nickel Development Institute, American Iron and Steel Institute and Specialty Steel Institute of North America, (2020), Design Guidelines for the Selection and Use of Stainless Steeels (9014), https://nickelinstitute.org/ (01.03.2020).
3. Adams, R. O. (1983). A review of the stainless steel surface. Journal of Vacuum Science Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, 1(1), 12–18.
4. McGuire, M.F., (2008) Stainless Steels for Design Enginers, 1, ASM International Material Park, Ohio.
5. Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., Littlefair, G. (2013). Machinability study of first generation duplex (2205), second generation duplex (2507) and austenite stainless steel during drilling process. Wear, 304(1-2), 20–28.
6. Nayır, H., (2017). Paslanmaz Çeliklerde Bölgesel Korozyon. 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 19-22 Nisan, İzmir, Türkiye.
7. Vinoth Jebaraj, A., Ajaykumar, L., Deepak, C. R., Aditya, K. V. V. (2017). Weldability, machinability and surfacing of commercial duplex stainless steel AISI2205 for marine applications – A recent review. Journal of Advanced Research, 8(3), 183–199.
8. Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., Littlefair, G. (2017). Stagnation zone during the turning of Duplex SAF 2205 stainless steels alloy. Materials and Manufacturing Processes, 32(13), 1486–1489.
9. Saoubi, R.M., Outeiro, J.C., Changeux, B., Lebrun, J.L., Morao Dias, A., (1999) Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels, Journal of Materials Processing Technology, 96, 225-233.
10. Paro, J., Hänninen, H., Kauppinen, V. (2001). Tool wear and machinability of HIPed P/M and conventional cast duplex stainless steels. Wear, 249(3-4), 279–284.
11. Sonawane, G., Sargade, V. (2019). 'Studies on the Characterization and Machinability of Duplex Stainless Steel 2205 during Dry Turning'. World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 149, International Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 13(5), 349-353.
12. Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., Littlefair, G. (2016). Investigation on the Behavior of Austenite and Ferrite Phases at Stagnation Region in the Turning of Duplex Stainless-Steel Alloys. Metallurgical and Materials Transactions A, 47(6), 3165–3177./.
13. Krolczyk, G., Legutko, S. i Gajek, M. (2013). Predicting the surface roughness in the dry machining of duplex stainless steel (DSS). Metalurgija, 52 (2), 259-262.
14. Krolczyk, G., Nieslony, P., Legutko, S. (2013). Microhardness and Surface Integrity in Turning Process of Duplex Stainless Steel (DSS) for Different Cutting Conditions. Journal of Materials Engineering and Performance, 23(3), 859–866.

15. De Oliveira Junior, C. A., Diniz, A. E., Bertazzoli, R. (2013). Correlating tool wear, surface roughness and corrosion resistance in the turning process of super duplex stainless steel. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 36(4), 775–785.

16. Diniz, A. E., Machado, Á. R., Corrêa, J. G. (2016). Tool wear mechanisms in the machining of steels and stainless steels. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 87(9-12), 3157–3168.

17. Selvaraj, D. P. (2017). Optimization of cutting force of duplex stainless steel in dry milling operation. Materials Today: Proceedings, 4(10), 11141–11147.

18. J, R., J, A., N, A. (2019). A Comprehensive Investigation on the Effect of Flood and MQL Coolant on the Machinability and Stress Corrosion Cracking of Super Duplex Stainless Steel. Journal of Materials Processing Technology, 276.

19. Seid Ahmed, Y., Paiva, J. M., Veldhuis, S. C. (2019). Characterization and prediction of chip formation dynamics in machining austenitic stainless steel through supply of a high-pressure coolant. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.

20. Bagaber, S. A., Yusoff, A. R. (2017). Multi-objective optimization of cutting parameters to minimize power consumption in dry turning of stainless steel 316. Journal of Cleaner Production, 157, 30–46.

21. Koyee, R. D., Schmauder, S., Heisel, U., Eisseler, R. (2015). Numerical modeling and optimization of machining duplex stainless steels. Production & Manufacturing Research, 3(1), 36–83.

22. Ghatge, D. A., Ramanujam, R., Reddy, B. S., Vignesh, M. (2018). Improvement of Machinability Using Eco-Friendly Cutting Oil in Turning Duplex Stainless Steel. Materials Today: Proceedings, 5(5), 12303–12310.

23. Dhananchezian, M., priyan, M. R., Rajashekar, G., Narayanan, S. S. (2018). Study The Effect Of Cryogenic Cooling On Machinability Characteristics During Turning Duplex Stainless Steel 2205. Materials Today: Proceedings, 5(5), 12062–12070.

24. Witty, M., Bergs, T., Schäfer, A., Cabral, G. (2012). Cutting Tool Geometry for Plunge Milling–Process Optimization for a Stainless Steel. Procedia CIRP, 1, 506–511.

25. Ciftci, I. (2006). Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools. Tribology International, 39(6), 565–569.

26. Bagaber, S. A., Yusoff, A. R. (2018). Sustainable Optimization of Dry Turning of Stainless Steel based on Energy Consumption and Machining Cost. Procedia CIRP, 77, 397–400.

27. Liew, W. Y. H., Ding, X. (2008). Wear progression of carbide tool in low-speed end milling of stainless steel. Wear, 265(1-2), 155–166.

28. Lin, T.-R. (2002). Cutting behavior of a TiN-coated carbide drill with curved cutting edges during the high-speed machining of stainless steel. Journal of Materials Processing Technology, 127(1), 8–16.

29. Ku, W.-L., Hung, C.-L., Lee, S.-M., Chow, H.-M. (2010). Optimization in thermal friction drilling for SUS 304 stainless steel. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 53(9-12), 935–944.

30. Xia, T., Kaynak, Y., Arvin, C., Jawahir, I. S. (2015). Cryogenic cooling-induced process performance and surface integrity in drilling CFRP composite material. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 82(1-4), 605–616.

31. Kaneriya, N.G., Sharma, G.K., (2014). Experimental Evaluation and Optimization of Dry Drilling Parameters of AISI304 Austenitic Stainless Steel using Different Twist Drills, 5 th International & 26th All India Manufacturing Technology. Design and Research Conference (AIMTDR 2014) December 12th–14th, 2014, IIT Guwahati, Assam, India.

32. Arun, M., Arunkumar, N., Vijayaraj, R., Ramesh, B. (2018). Investigation on the performance of deep and shallow cryogenic treated tungsten carbide drills in austenitic stainless steel. Measurement, 125, 687–693.

33. Ulas, H. B., Ozkan, M. T., Malkoc, Y. (2018). Vibration prediction in drilling processes with HSS and carbide drill bit by means of artificial neural networks. Neural Computing and Applications.

34. Yavuz, M., Gökçe, H., Çiftçi, İ., Gökçe, H., Yavaş, Ç., Şeker, U. (2020). Investigation of the effects of drill geometry on drilling performance and hole quality. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.

35. Demir, Z. (2018). An experimental investigation of the effects of point angle on the high-speed steel drills performance in drilling. Measurement and Control,1-14.

36. Majeed, A., Iqbal, A., Lv, J. (2017). Enhancement of tool life in drilling of hardened AISI 4340 steel using 3D FEM modeling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 95(5-8), 1875–1889.

37. Guo, Y. B., Dornfeld, D. A. (2000). Finite Element Modeling of Burr Formation Process in Drilling 304 Stainless Steel. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 122(4), 612.

38. Dornfeld, D. A., Kim, J. S., Dechow, H., Hewson, J., Chen, L. J. (1999). Drilling Burr Formation in Titanium Alloy, Ti-6AI-4V. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 48(1), 73–76.

39. Çaydaş, U., Hasçalık, A., Buytoz, Ö., Meyveci, A. (2011). Performance Evaluation of Different Twist Drills in Dry Drilling of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. Materials and Manufacturing Processes, 26(8), 951–960.

40. Günay, M., Meral, T. (2020). Modelling and multiresponse optimization for minimizing burr height, thrust force and surface roughness in drilling of ferritic stainless steel. Indian Academy of Sciences, 45(273).

41. Ahmed, Y., Youssef, H., El-Hofy, H., Ahmed, M. (2018). Prediction and Optimization of Drilling Parameters in Drilling of AISI 304 and AISI 2205 Steels with PVD Monolayer and Multilayer Coated Drills. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 2(1), 16.

42. Fan, N., Pan, Y., Qiao, Y., Chen, H., Fu, Xiuli., (2020). Experimental Research on Drilling Force of Stainless Steel. 6th Annual International Workshop on Materials Science and Engineering, 17-18 July, Jinan, Shandong, China.

43. Wu S.M. (1985) Multifacet Drills. In: King R.I. (eds) Handbook of High-Speed Machining Technology. Chapman and Hall Advanced Industrial Technology Series./.

44. Gao, X. J., Zou, P., Liu, Q., Gao, H. H. (2011). Study on the Effects of the Geometrical Parameter of Twist Drill on the Drilling Performance of Stainless Steel. Advanced Materials Research, 189-193, 2251–2254.

45. Astakhov, V. P. (2004). The assessment of cutting tool wear. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44(6), 637–647.

46. Kaynak, Y., Karaca, H. E., Noebe, R. D., Jawahir, I. S. (2013). Analysis of Tool-wear and Cutting Force Components in Dry, Preheated, and Cryogenic Machining of NiTi Shape Memory Alloys. Procedia CIRP, 8, 498–503.

47. Hosseini, A., Kishawy, H. A. (2014). Cutting Tool Materials and Tool Wear. Machining of Titanium Alloys, 31–56..

48. Kaynak, Y., Robertson, S. W., Karaca, H. E., Jawahir, I. S. (2015). Progressive tool-wear in machining of room-temperature austenitic NiTi alloys: The influence of cooling/lubricating, melting, and heat treatment conditions. Journal of Materials Processing Technology, 215, 95–104

49. Maruda, R. W., Krolczyk, G. M., Nieslony, P., Wojciechowski, S., Michalski, M., Legutko, S. (2016). The influence of the cooling conditions on the cutting tool wear and the chip formation mechanism. Journal of Manufacturing Processes, 24, 107–115.

50. Routio, M., Säynätjoki, M. (1995). Tool wear and failure in the drilling of stainless steel. Journal of Materials Processing Technology, 52(1), 35–43.

51. Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., Littlefair, G. (2016). Investigation on the Behavior of Austenite and Ferrite Phases at Stagnation Region in the Turning of Duplex Stainless-Steel Alloys. Metallurgical and Materials Transactions A, 47(6), 3165–3177.

52. Ke, F., Ni, J., Stephenson, D. A. (2005). Continuous chip formation in drilling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 45(15), 1652–1658.

53. Ogawa, M., Nakayama, K. (1985). Effects of Chip Splitting Nicks in Drilling. CIRP Annals, 34(1), 101–104.

54. Deyuan, Z., Lijiang, W. (1998). Investigation of chip in vibration drilling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 38(3), 165–176.

55. Delik Delme İçin İpuçları,http://www.sandvik.coromant.com.

56. Sandvik Coromant, Drilling,Chip Control Tips, https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/drilling/pages/drilling-tips.aspx

57. Chinchanikar, S., Choudhury, S. K. (2014). Evaluation of Chip-tool Interface Temperature: Effect of Tool Coating and Cutting Parameters during Turning Hardened AISI 4340 Steel. Procedia Materials Science, 6, 996–1005.

58. Jawahir, I. S., Brinksmeier, E., M'Saoubi, R., Aspinwall, D. K., Outeiro, J. C., Meyer, D., Jayal, A. D. (2011). Surface integrity in material removal processes: Recent advances. CIRP Annals, 60(2), 603–626./.

59. Davim, J. P. (Ed.). (2010). Surface Integrity in Machining.

60. Kurt, M., Bagci, E., Kaynak, Y. (2008). Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40(5-6), 458–469.

61. Kaynak, Y., Karaca, H. E., Noebe, R. D., Jawahir, I. S. (2013). Tool-wear analysis in cryogenic machining of NiTi shape memory alloys: A comparison of tool-wear performance with dry and MQL machining. Wear, 306(1-2), 51–63.

62. Waqar, S., Asad, S., Ahmad, S., Abbas, C. A., Elahi, H. (2016). Effect of Drilling Parameters on Hole Quality of Ti-6Al-4V Titanium Alloy in Dry Drilling. Materials Science Forum, 880, 33–36.

63. Karnik, S. R., Gaitonde, V., Davim, J. P. (2007). Integrating Taguchi principle with genetic algorithm to minimize burr size in drilling of AISI 316L stainless steel using an artificial neural network model. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 221(12), 1695–1704.

64. Gaitonde, V. N., Karnik, S. R., Siddeswarappa, B., Achyutha, B. T. (2007). Integrating Box-Behnken design with genetic algorithm to determine the optimal parametric combination for minimizing burr size in drilling of AISI 316L stainless steel. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 37(3-4), 230–240.

65. Astakhov, V. P., Davim, J. P. (n.d.). Tools (Geometry and Material) and Tool Wear. Machining, 29–57.

66. Saglam, H., Yaldiz, S., Unsacar, F. (2007). The effect of tool geometry and cutting speed on main cutting force and tool tip temperature. Materials & Design, 28(1), 101–111.

67. Jalali, S. A., Kolarik, W. J. (1991). Tool life and machinability models for drilling steels. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 31(3), 273–282.

68. Nouari, M., List, G., Girot, F., Géhin, D. (2005). Effect of machining parameters and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminium alloys. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 45(12-13), 1436–1442.

69. Cook, N. H. (1973). Tool Wear and Tool Life. Journal of Engineering for Industry, 95(4), 931.

70. ISO 3685-2 STANDARDI

71. Kühn, F., Lopenhaus, C., Klocke, F. (2018). Analysis of the Influence of The Working Angles on the Tool Wear in Gear Hobbing, https://www.geartechnology.com/, Jan/Feb, 2018.

72. Ma, J-W., Jia, Z-Y., He, G-Z., Liu, Z., Zhao, X-X., Qin, F-Z. (2019). Influence of cutting tool geometrical parameters on tool wear in high-speed milling of Inconel 718 curved surface. Journal of Engineering Manufacture, 233(1), 18-30.

73. Liang, Z., Guo, H., Wang, X., Ma, Y., Zhou, T., Sun, X., Jiang, L. (2020). Influence of chisel edge axial rake angle on the drilling performance of helical point micro-drill. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology..

74. Bagci, E., Ozcelik, B. (2005). Finite element and experimental investigation of temperature changes on a twist drill in sequential dry drilling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28(7-8), 680–687.

75. Nath, C., Kurfess, T. (2016). Obstruction-type Chip Breakers for Controllable Chips and Improved Cooling/Lubrication During Drilling – A Feasibility Study. Procedia Manufacturing, 5, 375–385.

76. Wang, B., Liu, Z., Su, G., Song, Q., Ai, X. (2015). Investigations of critical cutting speed and ductile-to-brittle transition mechanism for workpiece material in ultra-high speed machining. International Journal of Mechanical Sciences, 104, 44–59

77. Rajaguru, J., Arunachalam, N. (2018). Investigation on machining induced surface and subsurface modifications on the stress corrosion crack growth behaviour of super duplex stainless steel. Corrosion Science, 141, 230–242.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı **:** Akif Furkan YARATAN

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans **:** Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü

Lisans **:** Marmara Üniversitesi, TeknolojiFakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

PROJELER

i. TUBITAK Proje No. ARDEP 2209/B (ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİ ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEK PROGRAMI)
Şubat 2019 – Temmuz 2019
Proje Başlığı: Vidalı Preste Pirinç Dövme İşlemlerini Geliştirmek için Ön Şekillendirme Yeteneğine Sahip Geliştirme Kalıplama Sistemi

ii. TUBITAK Proje No. 3190603
Eyl 2019 – Ağu 2020
Proje Başlığı: Kurşunsuz pirinç malzemelerin mikroyapısal ve mekanik karakteristiklerinin kontrolü ile yüksek performanslı talaşlı imalat sürecinin geliştirilmesi.

YAYINLAR

---

[i] Zoghipour, Nima & Yaratan, Akif & Kaynak, Yusuf. (2021). Multi objective optimization of rough pocket milling strategies during machining of lead-free brass alloys using Desirability function and Genetic algorithms-based analysis. Procedia CIRP. 2021. 145-150. 10.1016/j.procir.2021.03.022.