MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TALAŞLI İMALAT SÜRECİNDE KESİCİ TAKIM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK YENİ STRATEJİLERİN ARAŞTIRILMASI

COŞKUN ANIL BOZKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Ana Bilim Dalı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2018

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TALAŞLI İMALAT SÜRECİNDE KESİCİ TAKIM PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK YENİ STRATEJİLERİN ARAŞTIRILMASI

COŞKUN ANIL BOZKURT

523214012

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Ana Bilim Dalı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yusuf KAYNAK

İSTANBUL, 2018

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Coşkun Anıl BOZKURT'un "Talaşlı İmalat Sürecinde Kesici Takım Performansının İyileştirilmesine Yönelik Yeni Stratejilerin Araştırılması" başlıklı tez çalışması, …….tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Yusuf KAYNAK (Danışman)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Prof.Dr. Erhan ALTAN (Üye)
Yıldız Teknik Üniversitesi ..... (İMZA).....

Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU (Üye)
İstanbul Üniversitesi ..... (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……. tarih ve ……. sayılı kararı ile Coşkun Anıl BOZKURT'un Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince ve öncesinde, engin tecrübeleri ile yol gösteren ve imkân sağlayan saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. Yusuf KAYNAK hocama çok teşekkür ederim.

FEN-C-YLP-090217-0063 numaralı BAP desteği ile bu çalışmanın gerçekleşmesinde büyük pay sahibi olan Marmara Üniversitesi'ne çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca çok önemli destekleri için; Armin GHARİBİ, Emre TAŞÇIOĞLU, Ali Osman KABİL, Ebru KIRMACIOĞLU, Özhan KITAY, Melih ÖZKÜTÜK, Erkin DUMAN ve Ümit YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Her türlü desteklerini esirgemeyen, tüm Sandvik Coromant Türkiye çalışanlarına teşekkür ederim.

Kesintisiz destekleri ve fedakârlıkları sayesinde bugünlere gelmemi sağlayan annem Hanife BOZKURT ve ablam S.Bahar AKKÖK'e çok teşekkür ederim.

NİSAN 2018 Coşkun Anıl BOZKURT

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET iv
ABSTRACT v
SEMBOLLER vi
KISALTMALAR vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ x
1. GİRİŞ 1
1.1 Seramik Kesici Uç Malzemesi 3
1.1.1 Alümina seramik kesici uçlar 5
1.1.2 İpliksi takviyeli seramik kesici uçlar 5
1.1.3 Silisyum nitrür esaslı seramik kesici uçlar ile Sialon seramik kesici uçlar 6
1.2 Kesici Takım Aşınmaları ve Takım Ömrü 7
1.2.1 Serbest yüzey aşınması 11
1.2.2 Çentik aşınması 11
1.2.3 Burun aşınması 12
2. DENEY DÜZENEĞİ VE EKİPMANLAR 13
2.1 İş parçası 13
2.2 Takım Tezgahı 14
2.3 Kesici Uç ve Torna Kateri 14
2.4 Kesme Koşulları 16
2.4.1 Kriyojenik Soğutma Sistemleri (Karbondioksit ve Sıvı Azot) 16
2.4.2 Basınçla Soğutma Aparatı 17
2.4.3 Zımparalama ve Parlatma Cihazı 17
2.4.4 Hassas Numune Kesme Cihazı 18
2.5 Ölçümler 19
2.5.1 Kesme Sıcaklığının Ölçümü 19
2.5.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü 20
2.5.3 Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü 21
2.5.4 Kesici Uçlarda Oluşan Aşınmanın Ölçümü 22
2.5.5 Sertlik Ölçüm Cihazı 22
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 24

3.1 Sıcaklık Bulguları 24
3.2 Aşınma Bulguları 28
3.2.1 Serbest yüzey aşınması bulguları 29
3.2.2 Burun aşınması bulguları 35
3.2.3 Çentik aşınması bulguları 39
3.3 SEM-Görüntüleri ve EDS Analizleri 43
3.4 Kesme Kuvvetleri Bulguları 49
3.5 Talaş Kırılabilirliği 54
3.6 Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları 57
3.7 Mikrosertlik Ölçümü ve XRD Analizi 58
4. SONUÇLAR 62
KAYNAKLAR 64
ÖZGEÇMİŞ 67

ÖZET

Talaşlı İmalat Sürecinde Kesici Takım Performansının İyileştirilmesine Yönelik Yeni Stratejilerin Araştırılması

Bu tez çalışmasında, Isıl dirençli süper alaşımlardan, nikel esaslı alaşım olan yaşlandırılmış Inconel 718'in işlenmesinde kullanılan ipliksi takviyeli seramik (SiC_w) kesici ucun takım ömrü performansında soğutucuların etkisi araştırılmış ve kuru kesme ile kıyaslanmıştır. Bu soğutucular; Vimaxx soğutma hava aparatı ile soğutma ve kriyojenik (karbondioksit ve sıvı azot) soğutuculardır. Deneylerde ilerleme ve kesme derinliği literatür incelemesine göre uygun görülen sabit değerlerde tutulmuş olup, 3 farklı kesme hızı kullanılmıştır. Talaş kaldırma işlemlerinden sonra kesici uçta oluşan aşınma değerleri ölçülmüş ve dijital mikroskop görüntüleri alınmıştır. Yine talaş kaldırma işlemi sırasında dinamometre ile kuvvet ölçümleri, termal kamera ile de kesme bölgesindeki sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerdeki her koşulun ilk ve son pasosundan sonra talaş kırılabilirliğini göstermek amaçlı, oluşan talaşlar toplanıp görüntüleri alınmıştır. Deneylerden sonra da iş parçalarında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülüp, uygun numuneler hazırlanarak X-Işını Kırınımı analizleri ile faz değişimi ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Kesici uçlarda, aşınma bölgesinde, taramalı elektron mikroskobu görüntüleri alınıp, enerji saçınım spektrometresi analizleri gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik açısından diğer koşullarla karşılaştırıldığında en iyi sonuçlara kuru kesme koşulunda ulaşılırken, sıvı azot kullanıldığında seramik kesici uç performansının hızla azalması sonucu işlenebilirliği düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Inconel 718, Seramik uç, Kriyojenik, Talaşlı imalat

ABSTRACT

Investigation of New Strategies to Improve the Performance of Cutting Tools in Machining Processes

In this study, different coolants' effect on nickel based, heat resistant super alloy called aged Inconel 718's machining with whisker-reinforced ceramic (SiC_w) insert's tool life performance investigated and obtained results were compared with dry machining. These coolants are Vimaxx cold - hot air cooler and cryogenic collant which are carbondioxide and liquid nitrogen. In experiment, feed rates and depth of cut kept constant with review the literature and used 3 different cutting speeds. Wear rates measured and taken photos with digital microscope during the machining tests. Along the same tests, cutting forces and cutting temperatures were measured with dynamometer and infrared camera in the cutting zone respectively. Chips were collected for showing chip breakability in every cutting condition's first and last pass. After machining test, surface roughnesses measured and samples preparated for X-ray diffraction analyzes and hardness measurements. Meanwhile; scanning electron microscope images taken and energy dispersive X-ray spectroscopy analyzes made on cutting tools wear zones. When compared machinability with other conditions, the best results presented in dry cutting condition and in liquid nitrogen used cooling condition, ceramic inserts performance rapidly decreased that reduced machinability.

Key Words: Inconel 718, Ceramic Insert, Cryogenic, Machining

SEMBOLLER

mm : milimetre

dk : dakika

m : metre

N : Newton

$\mathbf{a_p}$: kesme derinliği

$\mathbf{f_n}$: ilerleme

$\mathbf{V_c}$: kesme hızı

µ : mikron

Ø : çap

°C : Santigrat derece

%wt : yüzdece ağırlık oranı

kg : kilogram

kW : kilo Watt

kHz : kilo Hertz

T : sıcaklık

VB : Ortalama serbest yüzey aşınması

VC : Burun aşınması

VN : Çentik aşınması

Ft : Radyal Kuvvet

Fc : Kesme Kuvveti

KISALTMALAR

CO_2 **:** Sıvı Karbondioksit

LN_2 **:** Sıvı Azot

HRSA **:** Isıl Dirençli Süper Alaşım

DOC **:** Kesme Derinliği

Al_2O_3 **:** Alüminyum Oksit

TiC **:** Titanyum Karbür

TiN **:** Titanyım Nitrit

ZrO_2 **:** Zirkonyum Dioksit

Y_2O_3 **:** İtriyum Oksit

SiC_w **:** Silisyum Karbür İpliksi Kristal

SEM **:** Taramalı Elektron Mikroskobu

EDS **:** Enerji Saçınım Spektrometresi

XRD **:** X-Işını Kırınımı

ISO **:** Uluslararası Standartlık Örgütü

CNC **:** Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol

IC **:** İç Teğet Daire Çapı

LE **:** Etkin Kesme Kenar Uzunluğu

RE **:** Köşe Radyusu

S **:** Kesici Uç Kalınlığı

GB **:** Yüzey Bölgesi Açısı

BN **:** Yüzey Bölgesi Genişliği

HB **:** Brinell Sertliği

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Boing 777'de kullanılan Trent 800 jet motorunun şematik gösterimi 2
Şekil 1.2 Isıl dirençli süper alaşım Inconel 718'in karşılaştırmalı işlenebilirliği 3
Şekil 1.3 Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) CC670 seramiğinin mikro yapısı ... 6
Şekil 1.4 Si_3N_4 seramiğinin SEM' deki mikro yapısı 6
Şekil 1.5 Sialon seramiğinin SEM 'deki mikro yapısı 7
Şekil 1.6 Katı sürtünme aşamasındaki üç durum 8
Şekil 1.7 Kesici takım ile talaş arasındaki tribolojik ilişki 8
Şekil 1.8 Kesici takım talaş yüzeyinde gerilme dağılımı 9
Şekil 1.9 Takım ömrü ile kesme derinliği ilişkisi 9
Şekil 1.10 Takım ömrü ilerlemenin ilişkisi 10
Şekil 1.11 Takım ömrü ile kesme hızı ilişkisi 10
Şekil 1.12 Kesici uçlarda oluşan aşınma çeşitleri 11
Şekil 1.1.13 Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın şematik ve grafiksel gösterimi 11
Şekil 1.14 Çentik aşınması örneği 12
Şekil 1.15 Burun aşınması örneği 12
Şekil 2.1 Inconel 718 iş parçası 13
Şekil 2.2 Doosan Puma GT2100 CNC Torna Tezgahı 14
Şekil 2.3 CNGN120708T01020 670 Kesici uç geometrisi 15
Şekil 2.4 Özel torna katerinin teknik çizimi ile aslı 16
Şekil 2.5 CO_2 ve LN_2 tüpü bağlantı ekipmanları 17
Şekil 2.6 Vimaxx R30 Basıçla soğutma aparatı 17
Şekil 2.7 Multipol Advanced Plus zımparalama ve parlatma cihazı 18
Şekil 2.8 Mikrotest Hassas Numune Kesme Cihazı 19
Şekil 2.9 OPTRIS PI 400 kızılötesi kamera. 19
Şekil 2.10 Mitutoyo SJ-210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı 20
Şekil 2.11 Kistler 9129AA dinamometre 21
Şekil 2.12 Dino-Lite dijital mikroskop 22
Şekil 2.13 Sertlik ölçümlerinin yapıldığı Mikrosertlik ölçüm cihazı 23
Şekil 3.1 180 m/dk kesme hızında kuru kesme koşulundaki sıcaklık görüntüsü 24
Şekil 3.2 Kesme hızlarına göre ilk pasolardaki sıcaklık grafiği 25
Şekil 3.3 Kesme hızlarına göre son pasolardaki sıcaklık grafiği 26
Şekil 3.4 V_c = 180 m/dk kesme hızında ölçülen maksimum sıcaklık grafiği 26
Şekil 3.5 V_c = 240 m/dk kesme hızında ölçülen maksimum sıcaklık grafiği 27
Şekil 3.6 V_c = 300 m/dk kesme hızında ölçülen maksimum sıcaklık grafiği 28
Şekil 3.7 Serbest yüzeyden aşınmaların şematik gösterimi 28
Şekil 3.8 Serbest yüzey ile çentik aşınması görüntüleri (V_c=180 m/dk) 30
Şekil 3.9 Serbest yüzey aşınması grafiği (V_c=180 m/dk) 30
Şekil 3.10 Serbest yüzey ile çentik aşınması görüntüleri (V_c =240 m/dk) 31
Şekil 3.11 Serbest yüzey aşınması grafiği (V_c= 240 m/dk) 32
Şekil 3.12 Serbest yüzey ile çentik aşınması görüntüleri (V_c =300 m/dk) 33
Şekil 3.13 Serbest yüzey aşınmaları grafiği (V_c= 300 m/dk) 33
Şekil 3.14 Farklı kesme hızlarında ve koşullarında 100 mm işleme sonrasında oluşan serbest yüzey aşınması eğilimleri 34
Şekil 3.15 Burun aşınmaları dijital mikroskop görüntüleri (V_c =180 m/dk) 36

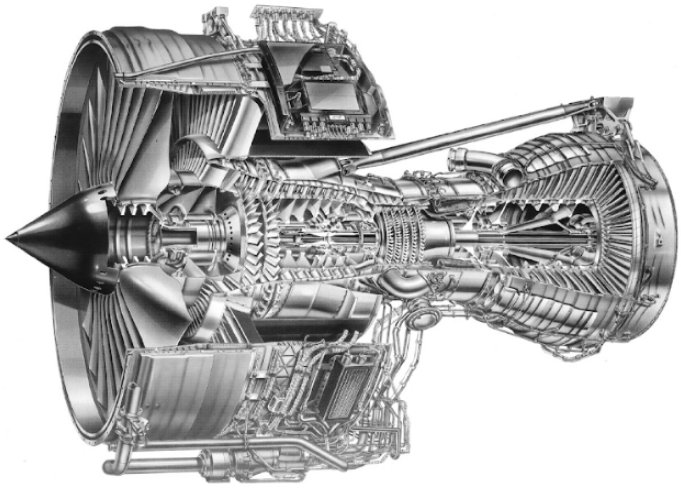
Şekil 3.16 Burun aşınmaları grafiği (V_c= 180 m/dk) 36
Şekil 3.17 Burun aşınması görüntüsü (V_c =240 m/dk) 37
Şekil 3.18 Burun aşınmaları grafiği (V_c = 240 m/dk) 38
Şekil 3.19 Burun aşınması görüntüsü (V_c =300 m/dk) 38
Şekil 3.20 Burun aşınmaları grafiği (V_c= 300 m/dk) 39
Şekil 3.21 Çentik aşınmaları grafiği (V_c= 180 m/dk) 40
Şekil 3.22 Çentik aşınmaları grafiği (V_c= 240 m/dk) 41
Şekil 3.23 Çentik aşınmaları grafiği (V_c= 300 m/dk) 41
Şekil 3.24 Farklı kesme hızlarında ve koşullarında 200 mm işleme sonrasında oluşan çentik aşınması eğilimleri 42
Şekil 3.25 300 m/dk kesme hızında farklı koşullardaki kesici takım çentik aşınması görüntüleri 43
Şekil 3.26 180 m/dk kesme hızındaki kesici takım serbest yüzey aşınmaları SEM görüntüleri 44
Şekil 3.27 240 m/dk kesme hızındaki kesici takım serbest yüzey aşınmaları SEM görüntüleri 45
Şekil 3.28 300 m/dk kesme hızındaki kesici takım serbest yüzey aşınmaları SEM görüntüleri 46
Şekil 3.29 240 m/dk kesme hızında kuru kesme koşulundaki EDS grafiği 47
Şekil 3.30 240 m/dk kesme hızında karbondioksit (CO_2) yardımlı soğutma koşulundaki EDS grafiği 47
Şekil 3.31 240 m/dk kesme hızında soğuk hava(Vimaxx) ile soğutma koşulundaki EDS grafiği 48
Şekil 3.32 240 m/dk kesme hızında sıvı azot (LN_2) yardımlı soğutma koşulundaki EDS grafiği 48
Şekil 3.33 180 m/dk'da ölçülen Radyal Kuvvetler 49
Şekil 3.34 240 m/dk'da ölçülen Radyal Kuvvetler 50
Şekil 3.35 300 m/dk'da ölçülen Radyal Kuvvetler 51
Şekil 3.36 180 m/dk'da ölçülen Kesme Kuvvetler 52
Şekil 3.37 240 m/dk'da ölçülen Kesme Kuvvetler 52
Şekil 3.38 300 m/dk'da ölçülen Kesme Kuvvetler 53
Şekil 3.39 V_c = 180 m/dk kesme hızında ilk ve son pasolarda oluşan talaşlar 54
Şekil 3.40 V_c = 240 m/dk kesme hızında ilk ve son pasolarda oluşan talaşlar 55
Şekil 3.41 V_c= 300 m/dk kesme hızında ilk ve son pasolarda oluşan talaşlar 56
Şekil 3.42 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm grafiği 57
Şekil 3.43. 300 m/dk kesme hızında farklı koşullarda oluşan yüzey topografi görünleri 58
Şekil 3.44 180 m/dk kesme hızında farklı koşullardaki yüzey altı mikrosertlik değerleri 59
Şekil 3.45 300 m/dk kesme hızında farklı koşullardaki yüzey altı mikrosertlik değerleri 59
Şekil 3.46 180 m/dk kesme hızı ve farklı kesme koşullarında talaş kaldırılan Inconel 718 malzemesinin XRD faz dönüşüm analizi 60
Şekil 3.47 300 m/dk kesme hızı ve farklı kesme koşullarında talaş kaldırılan Inconel 718 malzemesinin XRD faz dönüşüm analizi 61

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Inconel 718 mekanik özellikleri 13
Tablo 2.2 Doosan Puma GT2100 CNC torna tezgahı teknik özellikleri. 14
Tablo 2.3 Kesici uç özellikleri 15
Tablo 2.4 Multipol Advanced Plus Zımparalama ve parlatma cihazı teknik özellikleri 18
Tablo 2.5 Mikrotest Hassas Numune Kesme Cihazı Teknik Özellikleri..... 19
Tablo 2.6 OPTRIS PI 400 kızılötesi kamera teknik özellikleri. 20
Tablo 2.7 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri..... 21
Tablo 2.8 Kistler 9129AA dinamometre ve kuvvet ölçüm cihazının teknik özellikleri 21
Tablo 2.9 Dino-Lite dijital mikroskop teknik özellikleri..... 22
Tablo 2.10 Mikrosertlik ölçme cihazı teknik özellikleri..... 23
Tablo 3.1 İş parçası ve kesici ucun kimyasal bileşenleri..... 13

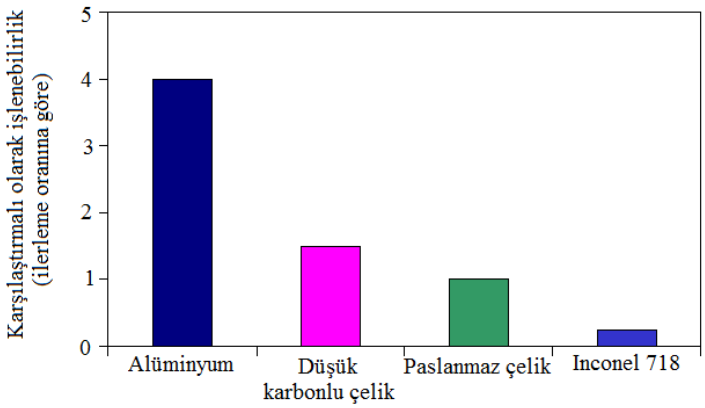
1. GİRİŞ

Talaşlı imalat geleneksel bir üretim yöntemi olmasına rağmen, geçerliliğini günümüze kadar korumuştur. Buradaki temel faktör; alternatif üretim yöntemlerinin birçok malzemenin şekillendirilmesini başarı ile yapabilmelerine rağmen, özellikle yüksek mukavemetli malzemelerin şekillendirilmesinde yetersiz kalmalarıdır.[1, 2] Talaşlı imalat yöntemi ile çok yüksek mukavemetteki malzemeler dahi, uygun kesme şartlarının sağlanması ve uygun kesici uçların seçimi ile mümkün olmaktadır. Bununla birlikte, talaşlı imalat yöntemleri ile sadece iş parçası istenilen geometrik boyutlara getirilmeyip, ilaveten iş parçasının yüzey kalitesi de hayli iyileştirilmektedir. Böylece iş parçasının ağır çalışma koşullarında, yüzeyinde oluşabilecek aşınma veya herhangi bir gerilme yığılmasının yüzey hatalarında yoğunlaşmasının önüne geçilmiş olmaktadır. Bunlar talaşlı imalatın çok bilinen avantajlarıdır. Gelişen teknolojik imkanlar ve talaşlı imalatın uçakların fonksiyonel parçalarının yapımında yoğun şekilde kullanılması, talaşlı imalatın sadece proses olarak daha ekonomik hale getirilmesi ve kolaylaştırılmasının yeterli olmadığı ortaya çıkardı. Bu prosesin üretilen iş parçasına etkilerinin de araştırılmasının gerekliliği zamanla ortaya çıktı. Dolayısı ile son yıllarda, araştırmacıların bu alana yönelişlerinin temel sebebi yukarıda ifade edilen ihtiyacın hâsıl olmasındandır. Üretimde hızı arttırarak ve maliyeti düşürerek başarı sağlanması birçok iş parçasının imalatında önemli iken, bazı iş parçalarının imalatında hem iş parçasının kendi mekanik yapısı ve özellikleri hem de iş parçasının performansının iyileştirilmesi ihtiyacından dolayı, alternatif arayışlara girilmiştir. Talaşlı imalatta kesme sıvıları yoğun şekilde kullanılırken, bazı durumlar için alternatif sıvıların/soğutucuların farklı şekillerde prosese katkı sağladığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Talaşlı üretimin sık kullanıldığı alanların başında havacılık ve otomotiv sanayi gelmektedir. Bunun temel sebebi ise bahsi geçen alanlardaki yapısal parçaların şekillendirilmesinde diğer üretim yöntemlerinin yetersiz kalmasıdır.



Şekil 1.1 Boing 777'de kullanılan Trent 800 jet motorunun şematik gösterimi [3]

Isıl Dirençli Süper Alaşımların; (Heat Resistant Super Alloys - HRSA) dayanım/ağırlık oranlarının yüksek olması, yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilmeleri, kimyasal bozunma dirençleri, yüksek aşınma dirençleri öne çıkan özellikleridir [4]. Bu malzemeler çoğunlukla; uçak motorlarında [5], sabit gaz türbinlerinde, petrol ve gaz endüstrisi ile medikal sektöründe kullanılmaktadır. HRSA malzemeleri 4 ana kategoriye ayrılmışlardır. Bunlar; nikel esaslı süper alaşımlar, demir esaslı süper alaşımlar, kobalt esaslı süper alaşımlar ve titanyum ile titanyum alaşımları şeklindedir [6]. En yaygın olarak nikel esaslı süper alaşımları kullanılmakta olup, uçak motorlarının ağırlık olarak yaklaşık %50'sini oluşturmakta [5], nükleer reaktörlerde, denizaltılarda, petrokimya tesislerinde, gıda işleme ekipmanlarında da yoğun olarak kullanılmaktadırlar [7] . Her ne kadar bu endüstrilerde yaygın olarak kullanılsa da nikel esaslı süper alaşımların en karakteristik özelliklerinin başında zayıf işlenebilirlikleri gelmektedir[8, 9]. Tornalama operasyonunda malzemenin işlenebilirliğine direkt etki eden dış etkenler; kesme derinliği, kesme hızı ve ilerlemedir. Talaş kaldırılırken veya talaş kaldırıldıktan sonra da; kesici takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, talaş kaldırma oranı, tezgahın güç tüketimi ve yüzey bütünlüğü gibi ölçümler ile veriler elde edilir. Benzer girdi ve çıktılar üzerinden; çelik, paslanmaz çelik, dökme demir ve demir içermeyen malzemelerle karşılaştırıldığında, Şekil 1.2'de de görüldüğü gibi ısıl dirençli süper alaşımların işlenebilirliğinin oldukça zor olduğu söylenebilir. [6]



Şekil 1.2 Isıl dirençli süper alaşım Inconel 718'in karşılaştırmalı işlenebilirliği [6]

İş parçasın özellikleri, kesici takımın geometrisi ile özellikleri, kesme koşulları ve kesici takımın rijitliği de işlenebilirliğe doğrudan etki eden diğer etkenlerdir. İşleme verimliliği, tüm bu değişkenlerin en iyi kombinasyonda kullanılmasına bağlıdır.

1.1 Seramik Kesici Uç Malzemesi

Bir metal ya da yarı metalini bir ve ya daha fazla metal olmayan elementle/elementlerle oluşturduğu inorganik bileşiğe seramik denir. Yüksek sertlikleri, ısıl ve iyi elektriksel yalıtım özelikleri kimyasal olarak kararlılıkları ile yüksek ergime sıcaklıkları seramiklerin mühendislik ürünü olarak kullanılmalarına olanak sağlamaktadır. Metalik bağdan daha kuvvetli olan kovalent ve iyonik bağa sahiptirler. Metalik bağ, yüksek gerilme altındayken plastik deformeye imkan tanıyan kaymaya imkan tanırken, seramiklerdeki bağların rijit olması nedeniyle gerilme altında kayma izin vermez. Bu nedenle de, seramikler gerilmeye maruz kaldığında metallere göre daha kolay gevrek kırılırlar.[10]

Üç temel gruba ayrılırlar: geleneksel seramikler, yeni seramikler ve camlardır. Genel seramikler; mineral silikatlar, silika ve mineral oksitlerden meydana gelmişlerdir. En yaygın ürünler ise; pişirilmiş kil, çimento ve alüminyum oksit gibi taşlama ile zımparalamada kullanılan aşındırıcılardır. Sentetik olarak elde edilen yeni seramikler ise; kimyasal bileşiklerine göre; oksitler, karbürler ve nitrürler olarak ifade edilebilirler.[10]

Alüminyum oksit en yaygın olarak kullanılan oksit yeni seramiktir. Geleneksel seramikler grubunda da yer alsa da günümüzde elektrikli fırınla boksitten sentetik olarak üretilmektedir. İşleme yöntemindeki teknolojik gelişmeler, parçacık boyutu ve yabancı maddelerin kontrolü ile başka seramiklerle az miktarda karıştırılabilmesi sayesinde doğal

alüminyum oksite göre dayanım ve tokluğu önemli ölçüde geliştirilmiştir. Yüksek korozyon direnci, düşük ısıl iletkenlik ve iyi sıcak sertliğe sahip olması sayesinde, taşlama disklerinde, biyoseramik olarak yapay kemiklerde, elektrik izolatörleri ile çeşitli elektronik bileşenlerde ve kesici takımlarda kesici uç olarak kullanılmaktadır. [10]

Karbür seramikleri ise en yaygın olarak; silisyum karbür (SiC), tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantal karbür (TaC) olarak ifade edilebilir. Uzun yıllardır kullanılıyor olması ve bu süreçte geliştirilmiştir olması silisyum karbürü geleneksel seramikler grubuna da dahil etmiştir. Rezistans ısıtma elemanları ile çelik yapımında katkı maddesi olarak da kullanılmaktadırlar. WC, TiC ve TaC sertlikleri ve aşınma dayanımları sayesinde kesici takımlarla benzer özellikler gerektiren uygulamalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunlar içinde en yaygın olarak kullanılanı tungsten karbür olup, ilk geliştirilen ve en yaygın kullanılanıdır. Volframit ($FeMnWO_4$) ve şelit ($CaWO_4$) gibi tunsgten içeren cevherlerden elde edilen tungsten tozlarının karbürlenmesi ile elde edilir. Titanyum karbür ise, rutil (TiO_2) veya ilmenit ($FeTiO_3$) minerallerinin karbürlenmesi ile elde edilir. Tantal karbür üretilmesinde ise saf tantal tozu ya da tantal pentoksitin karbürlenmesi yöntemi kullanılır. SiC dışındaki karbürlerin nihai ürün olabilmesi için nikel ve kobalt gibi metal bağlayıcıya ihtiyaç duyarlar. Metal çerçeve içinde bağlanmış karbür tozları sinterlenmiş karbür olarak da bilinen kompozit bir malzeme olan sermet malzemesini oluşturur.[10]

En önemli nitrür seramikler olarak; silisyum nitrür (Si3N4), bor nitrür (BN) ve titanyum nitrür (TiN) sayılabilir. Genel olarak sert ve gevrek oldukları söylenebilir. Silisyum nitrür ele alındığında; yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılıklarını korumaları, gaz türbinlerinde, roket motorlarında ve ergitme potalarında kullanılmalarına imkan sağlamıştır. Bor nitrür ise, hekzagonal ve kübik yapıda olabilir. Hekzagonal yapıdaki bor nitrürün yüksek basınçta ısıtılmasıyla kübik yapıdaki cBN yani kübik bor nitrür elde edilir. Oldukça yüksek sertliğe sahip olması nedeniyle en yaygın olarak kesici takımlarda ve taşlama disklerinde kullanılmaktadır. Titanyum nitrür ise bahsedilen diğer nitrür çeşitleri gibi yüksek sertlik, iyi aşınma direncine sahip olmasına rağmen elektriksel iletkenliği yüksektir. Bu durum da kesici takımlarda kaplama olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Nitrür seramik ve oksit seramik birlikte yeni bir seramik malzeme olan SiAlON adındaki oksinitrür malzemesini oluşturur.[10]

Talaşlı imalatta yüksek kesme hızlarında, karbür kesici uçlara nazaran daha uzun takım ömrü gereksinimi seramik kesici uçların kullanımını yaygınlaştıran en önemli etkendir. Özellikle, otomotiv ve uçak gibi seri üretimin yapıldığı sanayi kollarında yaygın olarak kullanılan dökme demir ile nikel esaslı alaşım malzemelerinin, karbür kesici uçlarla işlenmesinin zor ve kesici uç ömrünün düşük kalması sebep olmaktadır.[11]

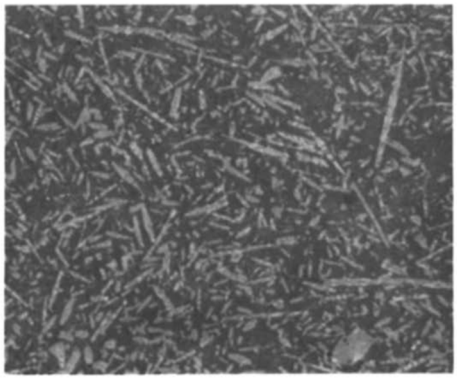
Bu durum da tezgâh kullanım verimliliğinin azalmasına ve küresel rekabette dezavantaja neden olmaktadır. Bu noktada da seramik kesici uçların, yüksek kesme hızlarında oluşan yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruyabilmesiyle ön plana çıkmaktadır.

1.1.1 Alümina seramik kesici uçlar

Sadece Alüminyum Oksit (Al_2O_3) yani alümina içeren seramiklerin, yüksek tokluk, yüksek sertlik ve ısıl şoklara karşı mukavemet gerektiren operasyonlarda yetersiz kalması nedeniyle TiC (Titanyum Karbür) ve TiN (Titanyum Nitrit) takviyeli karma yapıdaki sermet olarak da adlandırılan seramik kesici uçlar üretilmiştir. Bu kesici uçlarda hacimce yüzde 25 ile 40 aralığında TiC ve/veya TiN bulunur. TiN bu bileşene yüksek sertlik kazandırırken, TiC'in termal iletkenliğe etkisi yüksektir. ZrO_2 (Zirkonyum Dioksit) içereği ise seramik kesici uca tokluk kazandırır.

1.1.2 İpliksi takviyeli seramik kesici uçlar

Silisyum karbür ipliksi kristal (SiC_w) takviyeli seramik kesici uçlar üretiminde; alümina matrise sıcak presleme ile silisyum karbür ipliksi kristaller eklenmektedir. Şekil 1.3'de ise SiC_w takviyeli alümina seramiğinin mikro yapısı görülmektedir. Bu kesici uçlarda, hacimce yaklaşık yüzde 25 ile 40 arasında SiC_w görülür. Şekil 1.3.'de mikro yapısı görülen ticari CC670 seramiğinde ise ağırlık olarak yüzde 25 oranında SiC_w takviyesi bulunmaktadır.[12]

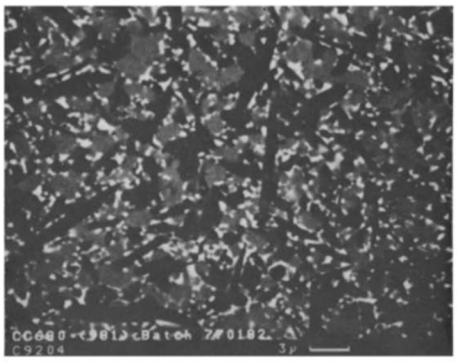


Şekil 1.3 Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) CC670 seramiğinin mikro yapısı[12]

SiC_w takviyesi tokluk sağlamakta ve bu sayede termal şoklara karşı direnç arttırmaktadır. Aşınma direncini de yüksek olması sayesinde Inconel 718'in yüksek kesme hızına hızlarında işlenmesine olanak sağlamıştır. Hacimsel olarak SiC_w yüzdesi arttıkça seramiğin yoğunluğu azaltmakta ancak sertliği ve kırılma tokluğu artmaktadır.

1.1.3 Silisyum nitrür esaslı seramik kesici uçlar ile Sialon seramik kesici uçlar

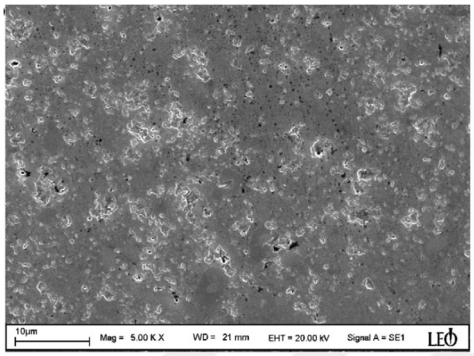
Silisyum nitrürün yanı sıra içeriğinde Al_2O_3 ve itriyum oksit (Y_2O_3) de bulunmaktadır. Silisyum nitrür (Si_3N_4) esaslı seramikler bilinen en tok seramiklerdendir.[13] Aynı zamanda yüksek dayanım ve sertliğe, aşınma, korozyon ve termal şok direncine sahip olması ile kimyasal kararlılığı karma alümina seramiklerine karşı ön plana çıkmalarını sağlamaktadır. [13, 14] Şekil 1.4'te SEM'deki mikro yapısı görülebilmektedir.



Şekil 1.4 Si_3N_4 seramiğinin SEM' deki mikro yapısı[12]

Sialon; silisyum(Si), alüminyum(Al), oksijen(O) ve azot(N) elementlerinden oluşan Si_3N_4'ün imal edilme zorluğu nedeniyle üretilmiş bir seramik alaşımıdır. Yüksek

sıcaklıklarda sertliklerini koruyabilmektedirler.[15] Değişken yüklere maruz kaldıklarında, karma seramiklere göre daha mukavemetlidirler ve ısıl şoklara karşı daha dayanıklı olmaları kesme sıvısı kullanımına olanak sağlamaktadır. [16] Şekil 1.5'de Sialon seramiğinin SEM'deki mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 1.5 Sialon seramiğinin SEM 'deki mikro yapısı [17]

1.2 Kesici Takım Aşınmaları ve Takım Ömrü

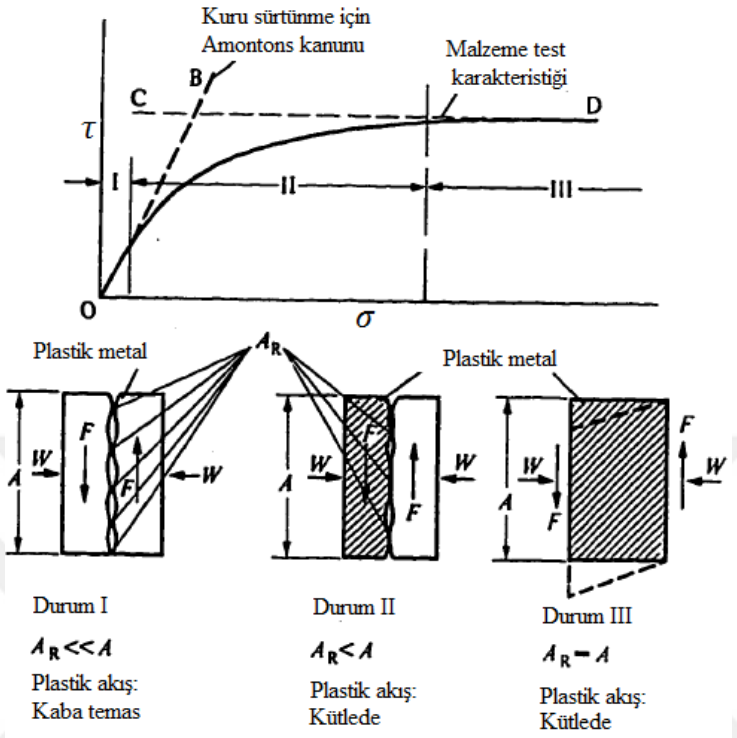
Aşınmayı oluşturan en temel etken sürtünmedir. Metal kesmede sürtünme şartlarını incelemeden önce, herhangi bir yağlamanın veya akışkanın kullanılmadığı bir ortamda iki yüzey arasındaki sürtünmeyi irdelemek gerekmektedir.[10, 18]

Amontons'ın [19] sürtünme kanununa göre sürtünme gözlenen temas alanından bağımsız ve iki temas yüzeyi arasındaki normal yük ile orantılıdır. Coulomb [20] kanununda ise bu kabul doğrulanmakta ve ilaveten sürtünme katsayısının kayma hızından tamamen bağımsız olduğu vurgulanmaktadır. [18]

Yapılan mikroskobik incelemeler göstermiştir ki, çok dikkatli bir şekilde düzleştirilen metal yüzeylerde dahi çok fazla sayıda tepecik ve çukurlar oluşmaktadır. Eğer normal kuvvet uygulanırsa, temas alanı uygulanan kuvveti karşılayacak noktaya gelinceye kadar artar. Mühendislik uygulamalarında sürtünme yüzeyindeki gerçek temas alanı, Ar, görünen temas alanının (Au) küçük bir miktarıdır.[18]

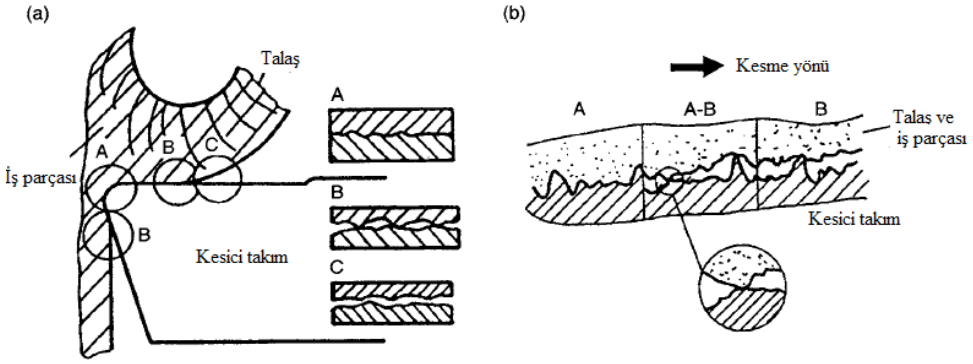
Shaw ve arkadaşları sürtünme katsayısının normal gerilmeye bağlı değişimini çalışmalarında göstermişlerdir. Şekil 1.6'da çalışmalarında sürtünme için tanımladıkları üç durum görülmektedir. Birinci durum Amontons kanununu yansıtmakta, üçüncü durum mikro kırılmalar oluşmayan malzemenin iç kayma yüzeyini yansıtmakta ve ikinci durum birinci durum ile üçüncü durum arasındaki geçişi yansıtmaktadır. İkinci durumda, yükün

artması ile sürtünme katsayısı ($\mu = {}^{\tau}/_{\sigma}$) azalmaktadır. İkinci durum kesici takım yüzeyini yansıtmaktadır. Yüzeydeki kayma, yüzeyin altında plastik akış ile gerçekleşmektedir.[21]



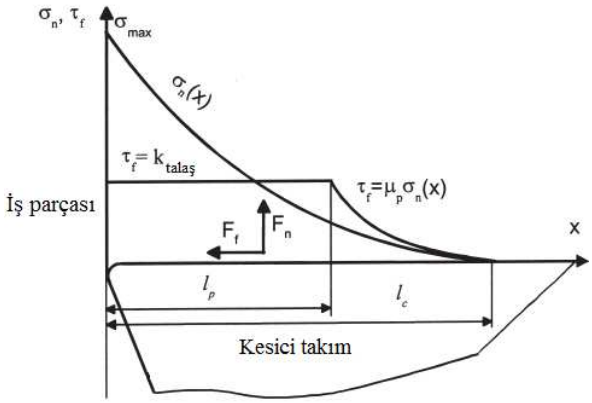
Şekil 1.6 Katı sürtünme aşamasındaki üç durum [21]

Kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünme temas şekli, yukarıda bahsi geçen üç bölge prensibine göre aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 1.7 Kesici takım ile talaş arasındaki tribolojik ilişki [22]

Zorev [23] yaptığı çalışmada kesici takım talaş yüzeyinin maruz kaldığı gerilme dağılımı Şekil 1.8'de görülmektedir. Bu gerilmeler; σ_n, normal gerilme ve τ_f, kayma sürtünme gerilmesi şeklindedir. [24]

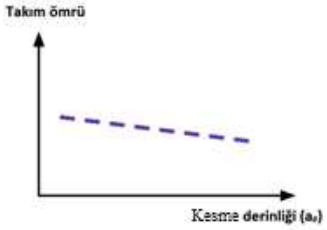


Şekil 1.8 Kesici takım talaş yüzeyinde gerilme dağılımı

Zorev, lp uzunluğunu tutulma uzunluğu (sticking length) ve lc yi ise kayma uzunluğu (sliding length) olarak isimlendirmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi ve Zorev'in çalışmasında bahsettiği gibi tutulma uzunluğu diye adlandırılan bölgede σ_n hayli yüksek ve ikincil bölgede ise kayma gerilmesi daha etkin olduğu için kayma nazara alınmıştır. Ayrıca kuru kesme şartlarında, kesici takım talaş yüzeyinde her iki bölgenin de oluştuğu varsayılmıştır.[23]

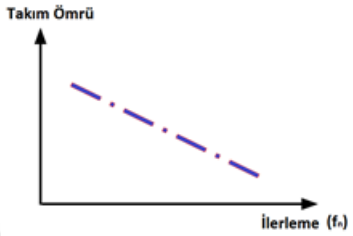
Aşınma genellikle istenilmez ve azaltılması arzulanır. Bu durum kesici takımların aşınması için de geçerlidir çünkü işlenen yüzey kütle kaybettiğinde, yüzey istenilen geometrik özelliğini kaybeder. Bu sebepten dolayı takım aşınması arzu edilmeyen bir durumdur.[25]

Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği kesici takım ömrüne direkt etki eden en önemli kesme parametreleridir. Kesme derinliğinin çok küçük olması; talaş kontrolünün zorlaşmasına, titreşim oluşumuna, yüksek kesme bölgesi sıcaklığına neden olabilir ve talaş kaldırma oranının küçük olması nedeniyle ekonomik değildir. Benzer şekilde kesme derinliğinin çok yüksek olması durumda ise; tezgâhın yüksek güç tüketimine, kesici ucun kırılmasına ve kesme kuvvetlerinin oldukça artmasına neden olabilmektedir.



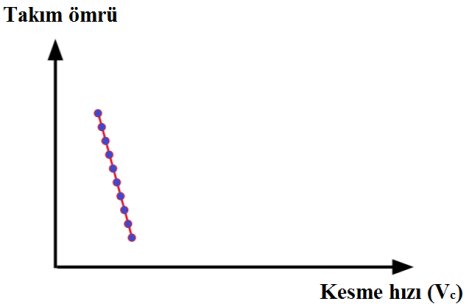
Şekil 1.9 Takım ömrü ile kesme derinliği ilişkisi [26]

İlerlemenin etkisi incelenirse eğer? İlerlemenin çok düşük olması, talaş kalıntılarının parça üzerinde yapışma eğilimi göstermesi, kesici uç serbest yüzeyindeki aşınmanın hızlıca artmasına, kesme bölgesinde elde edilen talaşın bu bölgeden uzaklaşamadan kesici uç üzerinde yığılmasına neden olur ve kesici takımın iş parçası üzerinde geçirdiği sürenin artması nedeniyle ekonomik değildir. İlerlemenin çok yüksek olması ise; talaş kontrolünün kaybına, yüzey kalitesinin düşmesine, kesici uçta krater aşınması ile plastik deformasyon oluşmasına, tezgahın yüksek güç tüketimine ve talaş kesici uç üzerinden tanecik kopmasına neden olabilir.



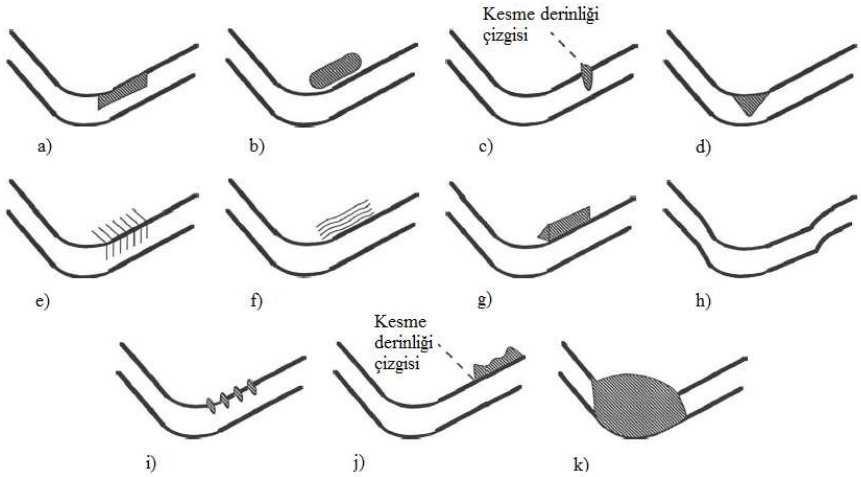
Şekil 1.10 Takım ömrü ilerlemenin ilişkisi [26]

Kesme hızının etkisi incelendiğinde ise; kesme hızının çok düşük olması, talaş yığılmasına, iş parçası yüzey kalitesinin kötü olmasına ve kesme süresinin artması nedeniyle iş parçası üretim maliyetinin armasına neden olur. Kesme hızı çok yüksek olursa; serbest yüzey aşınmasının hızlı bir şekilde artmasına, kötü iş parçası yüzey kalitesi oluşumuna, kesici uçta hızlı krater aşınması ve plastik deformasyon oluşmasına neden olur.



Şekil 1.11 Takım ömrü ile kesme hızı ilişkisi [26]

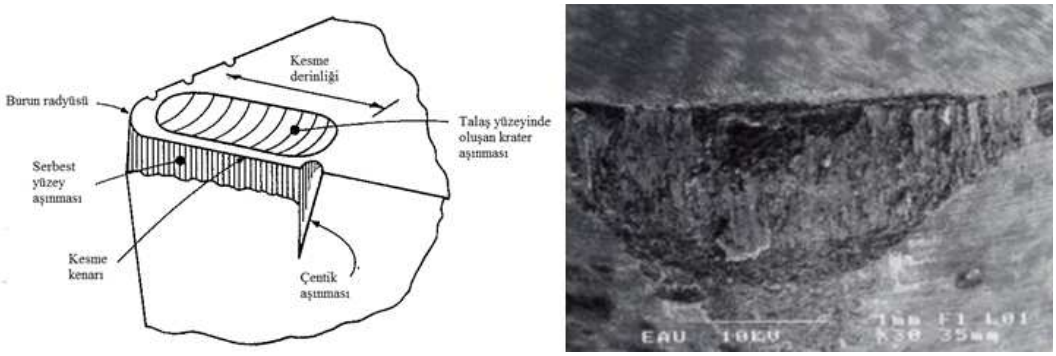
Kesici takımlarda oluşabilecek aşınma çeşitleri aşağıdaki Şekil 1.12'de gösterilmiştir.



Şekil 1.12 Kesici uçlarda oluşan aşınma çeşitleri: a) serbest yüzey aşınması, b) krater aşınması, c) çentik aşınması d) burun aşınması, e) termal çatlaklar, f) mekanik çatlaklar, g) talaş yığılması, h) plastik deformasyon, i) kenarda kopmalar, j) talaş vurması, k) takım kırılması[27]

1.2.1 Serbest yüzey aşınması

Yeni işlenmiş iş parçası yüzeyi ile kesici ucun serbest yüzeyi arasından sürtünme nedeniyle serbest yüzey aşınması oluşur. Yüksek kesme hızı veya kullanılan ucun iş parçası için yetersiz aşınma direncine sahip olması da aşınmada etkilidir. Aşınmanın genişliği ölçülerek serbest yüzey aşınması belirlenir. [28]

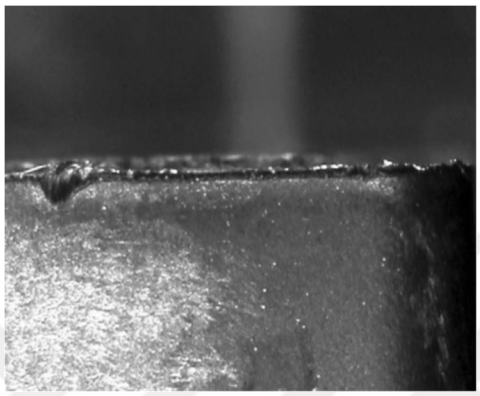


Şekil 1.13 Serbest yüzeyde oluşan aşınmanın şematik ve grafiksel gösterimi [29, 30]

1.2.2 Çentik aşınması

Kesme derinliğinin sonunda, (Depth of Cut-DOC) kesici uç ile iş parçasının ayrım yerinde oluşur.[31] Yüksek serbest yüzey aşınmasına ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur. Kesme koşullarındaki kararsızlık, kesici uç geometrisinin mevcut operasyon için zayıf

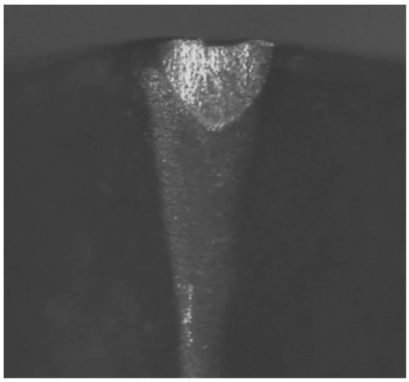
kalması, kullanılan kesici ucun ticari kalite tokluğunun yetersiz kalması, soğutucu kullanılıyorsa ve akış sürekliliği sağlanamaması çentik aşınması oluşumuna neden olabilir. Isıl dirençli malzemelerde; yuvarlak formlu kesici uç kullanılması ya da düşük giriş açısı kullanılması, parça giriş ve çıkışta yuvarlama yapma (rolling cut) ve değişken kesme derinliği ile işleme yaparak kesici ucun verimliliği arttırılabilir. Örnek çentik aşınması Şekil 1.13'de gösterilmektedir.



Şekil 1.14 Çentik aşınması örneği[32]

1.2.3 Burun aşınması

Burun aşınması; kesici ucun burun yarıçapı ile serbest yüzeyin bitimine doğru oluşur. [29] Serbest yüzey aşınması ile çentik aşınmasının birleşimine benzer ve oksidasyon ya da korozyon ile abrazyon nedeniyle oluşur. Burun aşınmasının artması yüzey pürüzlülüğünün yükselmesine neden olur. Örnek burun aşınması Şekil 1.14'de görülmektedir.

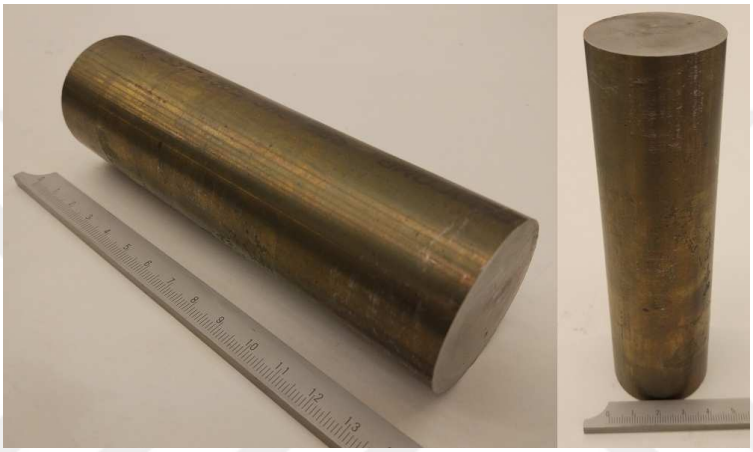


Şekil 1.15 Burun aşınması örneği [32]

2. DENEY DÜZENEĞİ VE EKİPMANLAR

2.1 İş parçası

Bu çalışmada yaşlandırılmış Inconel 718 malzemesi kullanılmıştır ve sertliği 420 HB (Brinell Sertliği)'dir. [33] İş parçaları; 40 mm çaplarında ve 130 mm uzunluklarında olup silindirik bir geometriye sahiptirler. İş parçası Şekil 2.1'de, iş parçasına ait mekanik özellikler ise Tablo 2.1'de gösterilmiştir. İş parçasının kimyasal bileşenleri ise Tablo 2.2'de sunulmuştur.



Şekil 2.1 Inconel 718 iş parçası

Tablo 2.1 Inconel 718 malzemesinin mekanik özellikleri[34, 35]

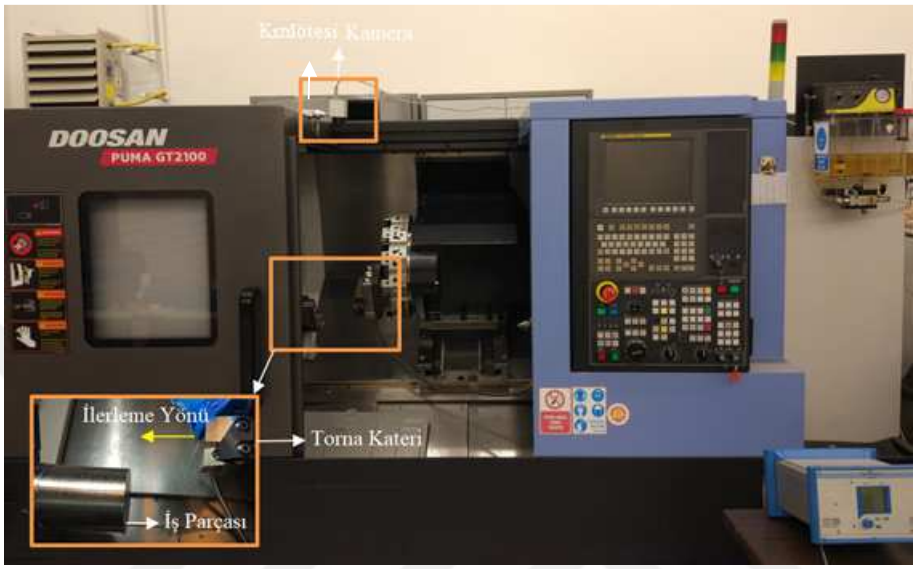
Sıcaklık [°C]	Maksimum Çekme Dayanımı [MPa]	Young Modülü [GPa]	Yoğunluk [kg/m3]	Ergime Noktası [°C]	Isı İletim Katsayısı [W/mK]
Oda sıc.	1594	200	8190	1300	11.2
650	1366	163.4			

Tablo 2.2 İş parçasının kimyasal bileşenleri [36]

İş parçası – Aged Inconel 718								
wt %	Ni	Fe	Cr	Nb+Ta	Mo	Ti	Al	Co
	52.94	19.22	17.94	15.11	2.95	0.93	0.53	0.14
	Mn	Cu	Ca	Mg	Pb	C	B	S
	0.04	<0.10	<0.002	<0.003	<0.001	0.034	<0.005	<0.002

2.2 Takım Tezgahı

Deneylerde, talaşlı imalat operasyonları için Doosan PUMA GT21000 CNC (Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol) Torna Tezgahı kullanılmıştır. Tezgaha ait teknik özellikler Tablo 2.3'de belirtilmiştir.



Şekil 2.2 Doosan Puma GT2100 CNC Torna Tezgahı

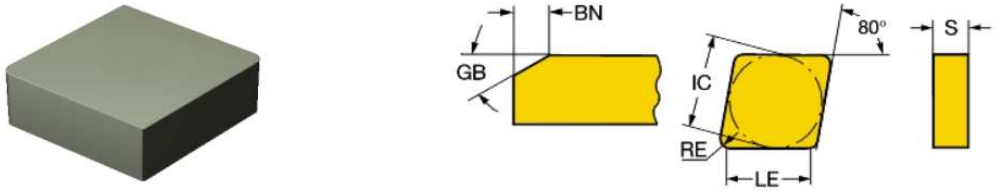
Tablo 2.3 Doosan Puma GT2100 CNC torna tezgahı teknik özellikleri.

Azami Tornalama Çapı	390 mm
Azami Tornalama Boyu	562 mm
Azami Çubuk Sürme Çapı	65 mm
Ayna Ölçüsü	8 inç
İş mili Motor Gücü	18,5 kW
Azami İş mili Devri	4500 dev/dk
İş mili Torku	183.1 Nm
Güç Aktarma Metodu	Kayışlı Tip
Boştaki Eksen Hızları	X=24 m/dk, Z=30 m/dk
Takım Adedi	12
Dış Çap Takım Tutucusu	25×25 mm
Dış Çap Takım Tutucusu	40 mm
Boyutlar	2940-1628-1700 mm

2.3 Kesici Uç ve Torna Kateri

Deneylerde; ISO standartlarına göre CNGN120708T01020 670 kodunda kaplamasız seramik kesici uç kullanılmıştır. 80° uç şekil açısına sahiptir ve kesici uçta boşluk açısı 0° olduğu için negatif bir kesici uçtur, bu sayede 4 kenarı kullanılabilmektedir. Negatif olması

daha iyi kesme kenarı mukavemeti de sağlamaktadır. Yaklaşık 12 mm kesme kenarı uzunluğuna, 7 mm kesici uç kalınlığına ve 0,8 mm köşe radyusuna sahip bu uçta 0,1 mm x 20° boyutlarında pah bulunmaktadır. Kesici uç; Sandvik Coromant markasının ticari CC670 kalite olarak belirttiği silisyum karbür ipliksi kristal (SiC_w) takviyeli alümina (Al_2O_3) seramiğidir ve ağırlıkça yüzde olarak (wt %) 25'i SiC_w'ye sahiptir.[12] Kullanılan uçta silici kenar özelliği (WIPER) ve vida yuvası bulunmamaktadır.



Şekil 2.3 CNGN120708T01020 670 Kesici uç geometrisi

Kesici uca ait, Sandvik Coromant firması tarafından paylaşılan detaylar Tablo 2.4'de ve kimyasal bileşenler Tablo 2.5'de paylaşılmıştır.

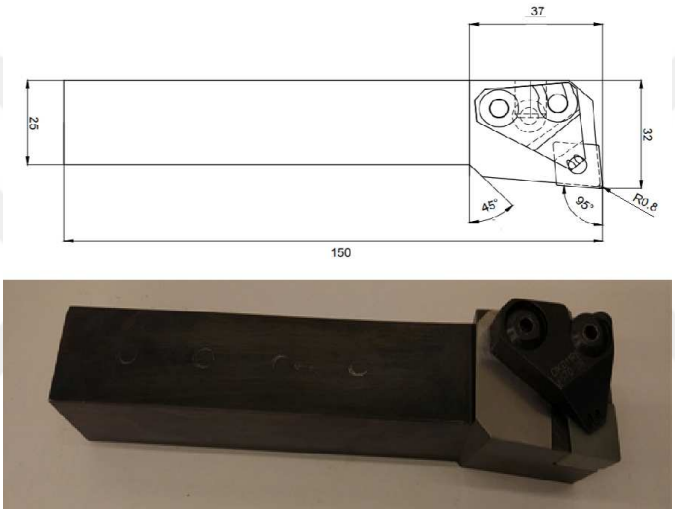
Tablo 2.4 Kesici uç özellikleri

Ürün ISO Tanımı	CNGN120708T01020 670
Ürün ANSI Tanımı	CNG452T0320 670
Kalite	CC670
Kalite Tipi	Kaplamasız
Uç Şekil Açısı	80.0°
Boşluk Açısı	0.0°
İç Teğet Daire Çapı (IC)	12.7 mm
Etkin kesme kenar uzunluğu (LE)	12,096 mm
Köşe radyüsü (RE)	0,794 mm
Kesici uç kalınlığı (S)	7,938 mm
Yüzey bölgesi açısı (GB)	20°
Yüzey bölgesi genişliği (BN)	0,1 mm
Uç Şekli	C
Toplam Kesme Kenarı Sayısı	4

Tablo 2.5 Kesici ucun kimyasal bileşenleri[12]

Kesici Uç - CC670		
wt%	Al_2O_3	SiC_w
	bal	25

Kesici uçlar, torna katerleri üzerine rijit bağlama, levye ile bağlama ya da vidalı olarak bağlanabilmektedir. Deneyde kullanılan kesici uç deliksiz olduğu için levye ve vidalı bağlama için uygun değildir, bu nedenle rijit bağlama gerekmektedir. Ayriyeten soğutucuların bağlanabilmesi için torna katerinde içten su verme seçeneğinin olması gerekmektedir. Kullanılacak torna tezgâhının da bağlantı özellikleri de dikkate alındığında piyasada satılan uygun ürün bulunmadığı için, torna kateri özel yaptırılmıştır ve teknik çizimi ile aslı Şekil 2.4'de görülmektedir. Kullanılacak dinamometreye uygun olması gerektiği için 25 mm x 25 mm kare şaft tercih edilmiş olup, içten su verme tasarımı baskı ünitesine uygun üretilmiştir.



Şekil 2.4 Özel torna katerinin teknik çizimi ile aslı

2.4 Kesme Koşulları

2.4.1 Kriyojenik Soğutma Sistemleri (Karbondioksit ve Sıvı Azot)

Kriyojenik soğutma ekipmanları ile özel torna katerini birbirine bağlayarak kriyojenik sistemler aktif olarak kullanılmıştır. 50 bar çalışma basıncına sahip Karbondioksit (CO_2) ve 150 bar çalışma basıncına sahip sıvı azot (LN_2) tankı Şekil 2.5'te bağlantı ekipmanları ile birlikte görülmektedir.

Kriyojenik soğutucular (CO_2 ve LN_2) sistemlerin yapısı gereği belli bir basınç aralığı dışında kullanıldığında verimlilikleri azalmaktadır. Bu nedenle mevcut sistem için en uygun aralıkta çalışılmıştır. Bu değerler: CO_2 için 50-54 bar, LN_2 için ise 15-16 bar aralığıdır.



Şekil 2.5 CO_2 ve LN_2 tüpü bağlantı ekipmanları

2.4.2 Basınçla Soğutma Aparatı

Vimaxx R30 Model bu aparat ile başka enerjiye ihtiyaç duymadan, sadece basınçlı hava ile, ani soğuk hava elde edilebilmektedir ancak en az 6 Bar basınçla çalışabilmektedir. Basınçlı havanın giriş ve çıkış sıcaklığı arasında 50° fark olabilmektedir. Aparattan elde edilebilecek çıkış sıcaklığı -40° ile +110° arasındadır ve 300 Bar basınca kadar çalışabilmektedir. Vimaxx R30 şekil 2.6'da sunulmuştur.



Şekil 2.6 Vimaxx R30 Basıçla soğutma aparatı

2.4.3 Zımparalama ve Parlatma Cihazı

Talaş kaldırılmış iş parçasından, önce hassas kesme cihazında uygun boyutta parça kesilmekte ve sonrasında ise bakalite alınan parçalar Şekil 2.7'de gösterilen Multipol Advanced Plus cihazında zımparalanmakta ve parlatılmaktadır.



Şekil 2.7 Multipol Advanced Plus zımparalama ve parlatma cihazı

Sertlik ölçümleri için gereken uygun bakalitin hazırlanması için kullanılan Multipol Advanced plus zımparalama ve parlatma cihazına ait teknik özellikler Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6 Multipol Advanced Plus Zımparalama ve Parlatma Cihazı teknik özellikleri.

Çalışma Diski	Mümkün çaplar; Ø200mm, Ø250mm, Ø300mm Devir hızı; ayarlanabilir, 50-620rpm Dönüş yönü; her iki tarafa (CW,CCW)
Otomatik Kafa	Baskı modu; tek numuneye tek tutucu Baskı ayarı; numune başına 5-50N ve numune tutucu üzerine 30-300N Devir hızı; ayarlanabilir, 40-150rpm Dönüş yönü; tek yön, CCW
Kontrol Sistemi	7 inç renkli LCD dokunmatik ekran ve döner kodlayıcı kontrol düğmesi
Program Hafızası	Her biri 10 salt kademeli 10 program
Bağlantılar	220-240V, 50-60Hz Güç kaynağı 6-10bar Hava bağlantısı

2.4.4 Hassas Numune Kesme Cihazı

İşlenmiş iş parçalarının bakalite alınıp sertlik ölçümlerinin yapılabilmesi amacıyla uygun boyutlarda kesilebilmesi için Şekil 2.8'de gösterilen Mikrotest hassas numune kesme cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.8 Mikrotest Hassas Numune Kesme Cihazı

Tablo 2.7 Mikrotest Hassas Numune Kesme Cihazı Teknik Özellikleri

Kesme Kapasitesi	Max. Æ110 mm
Motor Gücü	3,7 kW, 2800 rpm
Kesme Diskleri	∅300 μμ × ∅32 μμ ∅250 μμ × ∅32 μμ
Güç Kaynağı	400V / 50 Hz
Boyutlar	670 mm×670 mm×605 mm

2.5 Ölçümler

2.5.1 Kesme Sıcaklığının Ölçümü

Talaşlı imalat süreçlerinde sıcaklığın ölçümü ve kontrolü deneysel çalışmalarında önem arz etmektedir. Kesme deneyleri sırasında oluşan sıcaklık değerleri ölçümleri Optris PI 400 kızılötesi kamera ile yapılmıştır. Kızılötesi kamera Şekil 2.9'da, teknik özellikleri ise Tablo 2.8'de belirtilmektedir. Sıcaklık ölçümlerinde yayınırlık katsayısı literatürde yer alan 0,3 olarak alınmıştır. [37]



Şekil 2.9 OPTRIS PI 400 kızılötesi kamera.

Kızılötesi kamera ile yapılan sıcaklık ölçümleri, 150°-900° ölçüm aralığı seçilerek gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.8 OPTRIS PI 400 kızılötesi kamera teknik özellikleri.

Sıcaklık Ölçüm Aralıkları	-20°C…100°C 0°C…250°C 150°C…900°C 200°C…1500°C
Spektral Aralığı	7.5-13 µm
Saniyede Kare Sayısı	80 Hz
Çevre Sıcaklığı	0°C…50°C
Sıcaklık Depolama	-40°C…70°C
Bağıl Nem	%20-80, yoğuşmasız
Hassasiyet	±2°C veya %±2
Optik Çözünürlük	382×288 piksel

2.5.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Mitutoyo SJ-210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Her bir numunenin yüzey pürüzlülüğü en az beş kez ölçülerek, bu ölçümlerin ortalama değerleri kaydedilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Mitutoyo SJ-210 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Tablo 2.9 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri

Standartlar	JIS/DIN/ISO, CNOMO seçilebilir şartlar
Ölçüm Kuvveti	4 mN
Ölçüm Uzunluğu	0.08 / 0.25 / 0.8 / 2.5 mm
Tarama Boyu	1,75 / 5,6 / 17,5 mm
Ölçüm Standartları	ANSI- ISO 1997- JIS B0601
Ölçüm Metodu	İğne Uç ile
Sürücü Ünite Hızı	0,25 – 0,5 - 0,75 mm/s

2.5.3 Kesme Kuvvetlerinin Ölçümü

Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçümü için piezo-elektrik dinamometre kullanılmıştır. Şekil 2.11'de gösterilen dinamometrenin markası Kistler, modeli 9129AA'dır. Dinamometrenin içinde, iki metal plaka arasına piezo-elektrik kuvvet sensörleri bulunmaktadır. Bu sensörler ile X,Y,Z eksenlerinde oluşan kuvvetler analog verileri sayısallaştıran cihaz üzerinden bilgisayara iletilir ve bilgisayardaki yazılım üzerinden veriler elde edilir.[38] Teknik özellikleri Tablo 2.10'da sunulmuştur.



Şekil 2.11 Kistler 9129AA dinamometre

3 eksenli ölçüm yapabilen Kistler 9129AA dinamometreye ait teknik özellikler Tablo 2.10'da gösterilmiştir.

Tablo 2.10 Kistler 9129AA dinamometre ve kuvvet ölçüm cihazının teknik özellikleri

Çalışma Aralığı	-10 / +10 kN
Kuvvet Bileşenleri	Fx, Fy, Fz
Doğal Frekans	3,5 kHz
Ölçüm Sıcaklık Aralığı	0-70 ^{0}C
Ağırlık	3,2 kg
Boyut	150x107 mm

2.5.4 Kesici Uçlarda Oluşan Aşınmanın Ölçümü

Kesici uçlardaki aşınma ölçümleri Dino-Lite dijital mikroskop ile Dino Capture 2.0 bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Dijital mikroskop Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Dino-Lite dijital mikroskop

Dino-Lite dijital mikroskobuna ait teknik özellikler Tablo 2.11'de belirtilmiştir.

Tablo 2.11 Dino-Lite dijital mikroskop teknik özellikleri

Çözünürlük	5 megapiksel (2592x1944)
Büyütme	20x~200x
Video Kare Hızı	Saniyede 30 kareye kadar, 1.3M'de 15fps
LED Sayısı	8
Malzeme	Alüminyum alaşım gövde
Çıktı	Fotoğraf, video ve hızlandırılmış video
Ölçüm	Hat, radyus, halka, 3 nokta halka, vb.

2.5.5 Sertlik Ölçüm Cihazı

Tez çalışmasında, talaş kaldırma işlemleri sonrasında hassas kesme cihazı ile elde edilen iş parçalarının bakalite alınması işleminin ardından Şekil 2.13'de görülen Future-Tech FM-310e mikro sertlik ölçüm cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 2.13 Sertlik ölçümlerinin yapıldığı Mikrosertlik ölçüm cihazı

Future-Tech FM-310e mikro sertlik cihazına ait teknik özellikler Tablo 2.10'da gösterilmiştir.

Tablo 2.12 Mikrosertlik ölçme cihazı teknik özellikleri

Test Yükleme	mN:245,2 gf:25
Yük Uygulama Hızı	60µm/s
Bekleme Süresi	5-999 s
Mercek	10x
Ölçme Mikroskobu	Elektronik
Sertlik Ölçüm Skalası	HV,HK
Maksimum Ölçme Uzunluğu	100x-850µm
Ağırlık	40kg
Güç Kaynağı	100V 50/60Hz

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

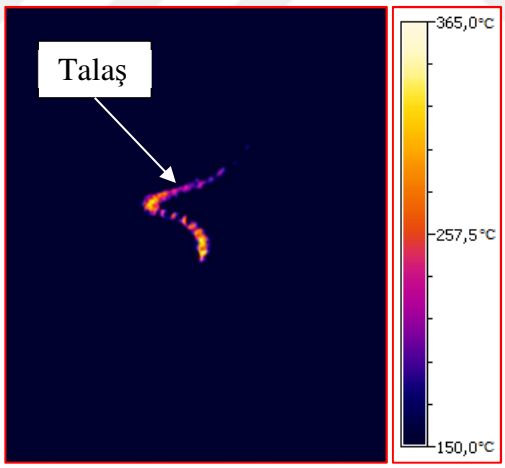
Tüm deneylerde eğik kesme yapılmış olup, talaş kaldırmada ilerleme ve kesme derinliği sabit tutulurken literatür incelemesi sonucunda 3 farklı kesme hızı belirlenmiştir. Bu hızlar; 180 m/dk, 240 m/dk ve 300 m/dk'dır. İlerleme f= 0,1 mm/devir, kesme derinliği ise: a_p=0,5 mm'dir. Aşınma ölçümleri her 100 mm işleme uzunluğunda gerçekleştirilmiştir.

Soğutma koşulları ise; kuru kesme, CO_2 yardımlı soğutma, LN_2 yardımlı soğutma ve Vimaxx ile soğutmadır.

Gerçekleştirilen deneylerde: kesme kuvvetleri, işlemeye bağlı aşınmalar, işleme sırasında oluşan sıcaklar, işleme sonrasında iş parçası yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, SEM görüntüleri ile EDS analizleri, oluşan talaşların talaş kırılabilirliğini göstermek amacıyla fotoğraflanması, mikro sertlik ölçümü ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir.

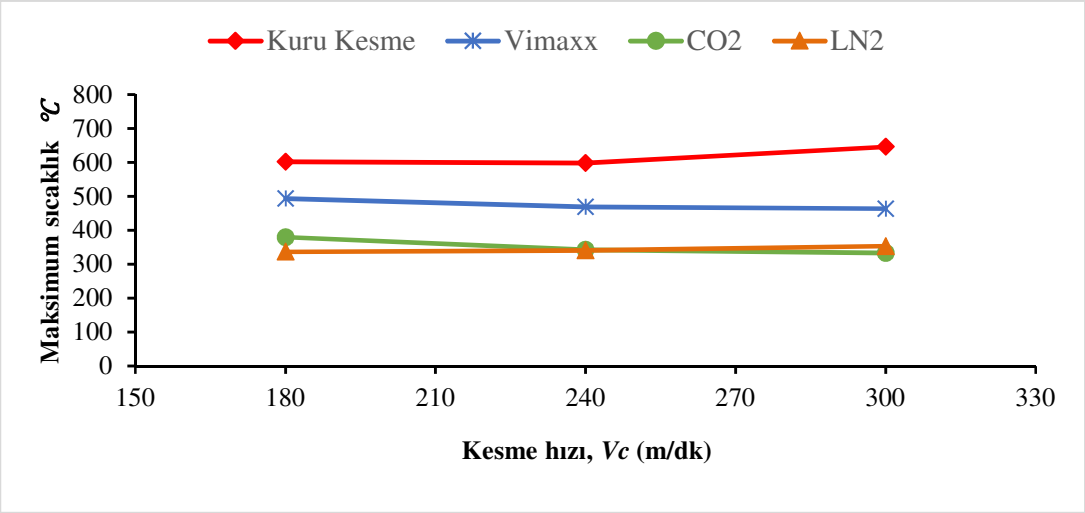
3.1 Sıcaklık Bulguları

Deneyler esnasında sıcaklık ölçümleri termal kamera ile yapılmıştır. Kesme esnasında kamera yazılımından alınan sıcaklık görüntüsü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 180 m/dk kesme hızında kuru kesme koşulundaki sıcaklık görüntüsü

Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan sıcaklık değerlerinin ölçümü, özellikle talaşlı imalat performansının anlaşılması ve analizi için önemlidir. Sıcaklık ölçümlerinde yayılım katsayısı literatür dikkate alınarak 0,3 olarak alınmıştır. [37]. Yapılan testlerde kesme hızına bağlı olarak ilk pasolarda ölçülen maksimum sıcaklık değerleri Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

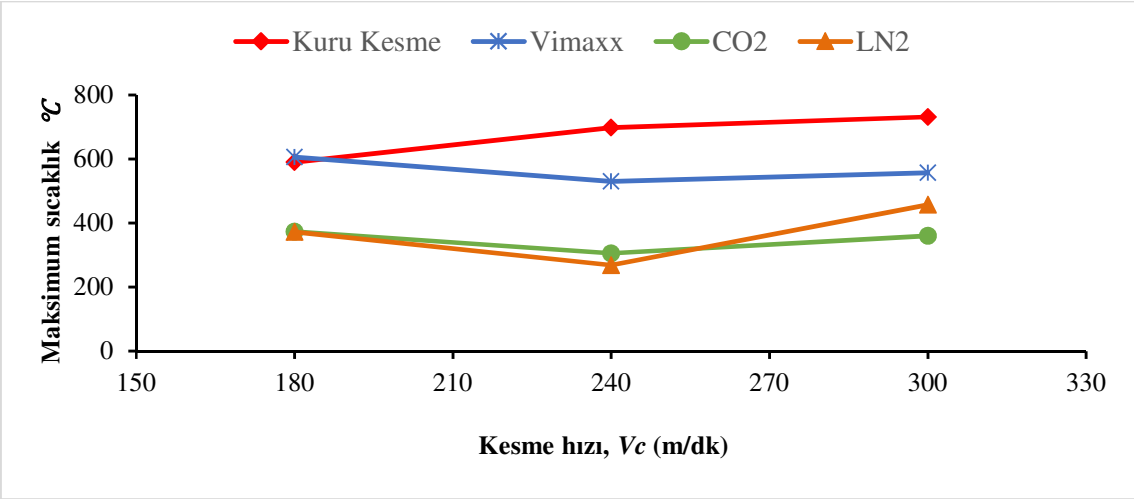


Şekil 3.2 Kesme hızlarına göre ilk pasolardaki sıcaklık grafiği

Deneylerde işlenen ilk pasolarda, kesme hızına bağlı ölçülen maksimum sıcaklık değerlerinde belirgin artış gözlenmemiştir. Tüm kesme hızlarında ölçülen en yüksek maksimum sıcaklık değerleri herhangi bir soğutma koşulu uygulanmayan kuru kesme koşulunda görülmüştür. Kuru kesme koşulunda 180 m/dk kesme hızında ölçülen maksimum sıcaklık değeri 602 ℃ iken, 300 m/dk kesme hızında maksimum sıcaklık değeri 645,8 ℃'dir. Kuru kesme koşulunda, 300 m/dk kesme sıcaklığında maksimum kesme sıcaklığı, 180m/dk kesme hızındaki maksimum kesme sıcaklığına oranla %7,3 artış gözlenmiştir. Vimaxx soğutma koşullarında kuru kesmeye göre daha düşük maksimum sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Vimaxx soğutma koşulunda kesme hızı arttıkça maksimum kesme sıcaklığı değerlerinde %6 azalma gözlemlenmiştir. Kriyojenik soğutma uygulanması diğer koşullara nazaran daha düşük sıcaklıkların oluşmasına neden olmuştur. En düşük maksimum sıcaklık değerleri kriyojenik soğutmanın uygulandığı CO_2 ile ve LN_2 ile soğutma koşullarında gözlemlenmiştir. Sıvı azotun uygulandığı kriyojenik soğutma koşulunda kesme hızı arttıkça maksimum sıcaklık değerlerini %5 artmış, karbondioksitin uygulandığı kriyojenik soğutma koşulunda ise %12 azalmıştır.

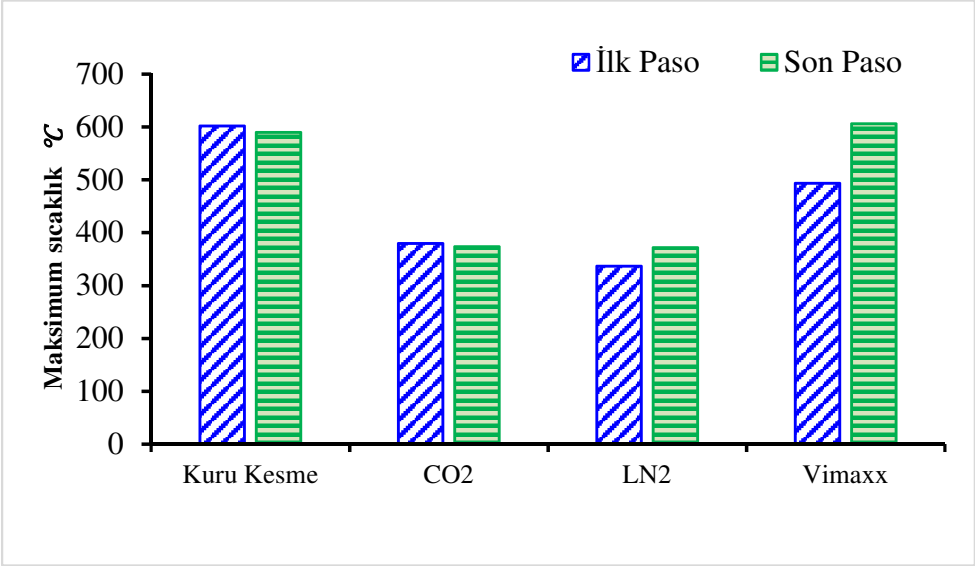
Son pasolarda ölçülen maksimum sıcaklık değerleri Şekil 3.3 de sunulmuştur. Grafikte de görüldüğü gibi elde edilen maksimum sıcaklık değerleri soğutma koşullarına göre benzer dağılım göstermiştir. 180 m/dk kesme hızında Vimaxx kesme koşulunda ölçülen maksimum sıcaklık değeri, kuru kesme koşuluna göre %3 fazla ölçülmüş olsa da diğer tüm kesme hızlarındaki maksimum sıcaklık değerleri kuru kesme koşulunda görülmüştür. 180 m/dk kesme hızı hariç Vimaxx kesme koşulunda kuru kesme koşuluna göre düşük

sıcaklık değerleri elde edilirken, en düşük maksimum sıcaklık değerleri ise kriyojenik (CO_2 ve LN_2) kesme koşullarında ölçülmüştür.



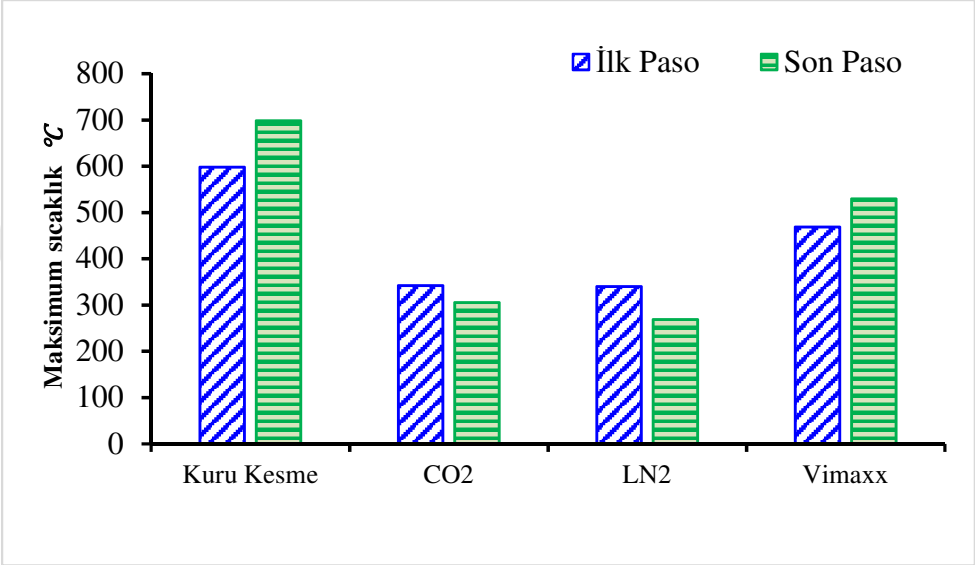
Şekil 3.3 Kesme hızlarına göre son pasolardaki sıcaklık grafiği

Şekil 3.4'de 180 m/dk kesme hızına bağlı olarak yapılan deneyler esnasında oluşan maksimum sıcaklık değerleri ilk paso ve son paso olarak grafikte sunulmuştur. Farklı kesme koşullarının kıyaslandığı grafikte ilk pasolar dikkate alındığında en düşük kesme sıcaklığı sıvı azot yardımlı kesme koşulunda oluşmuştur. En yüksek kesme sıcaklığı ise kuru kesme ile yapılan deneyden %3 daha fazla olan Vimaxx kesme koşulunda meydana gelmiştir. En düşük kesme sıcaklığı olan sıvı azot yardımlı kesme koşulu kuru kesme koşuluna kıyasla %44 da az olmuştur.



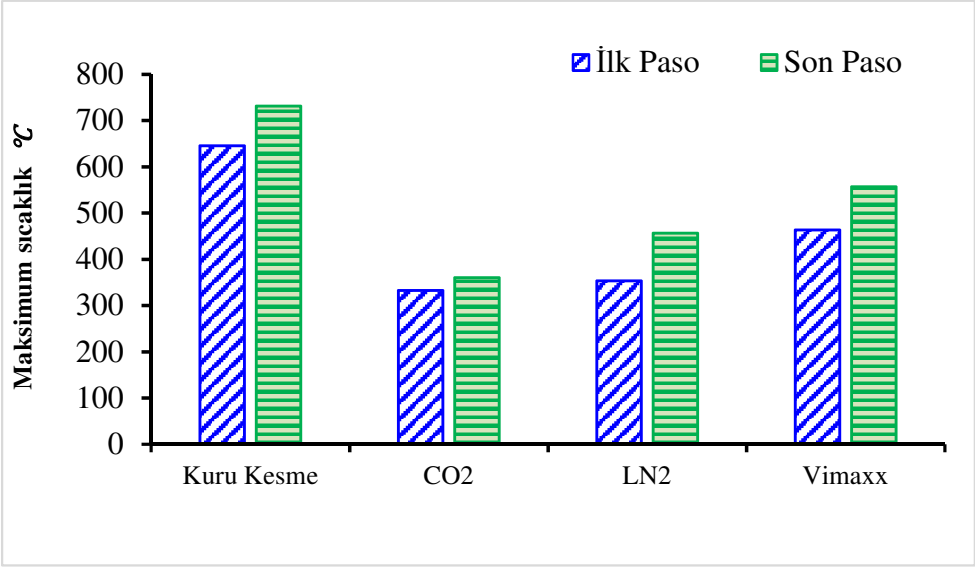
Şekil 3.4 V_c = 180 m/dk kesme hızında ölçülen maksimum sıcaklık grafiği

240 m/dk kesme hızında oluşan maksimum kesme sıcaklıkları Şekil 3.5'de kesme koşullarına bağlı olarak sunulmuştur. İlk paso ve son pasolardaki sıcaklık değerlerinin gösterildiği grafikte tüm kesme koşulları arasında en düşük kesme sıcaklığına sahip olan kesme koşulu sıvı azot yardımlı soğutma koşulunun son pasosunda 268 °C olarak ölçülmüştür. Kesme koşulları arasında en yüksek kesme koşulu kuru kesme ile yapılan deneylerin son pasosunda 698 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5 V_c = 240 m/dk kesme hızında ölçülen maksimum sıcaklık grafiği

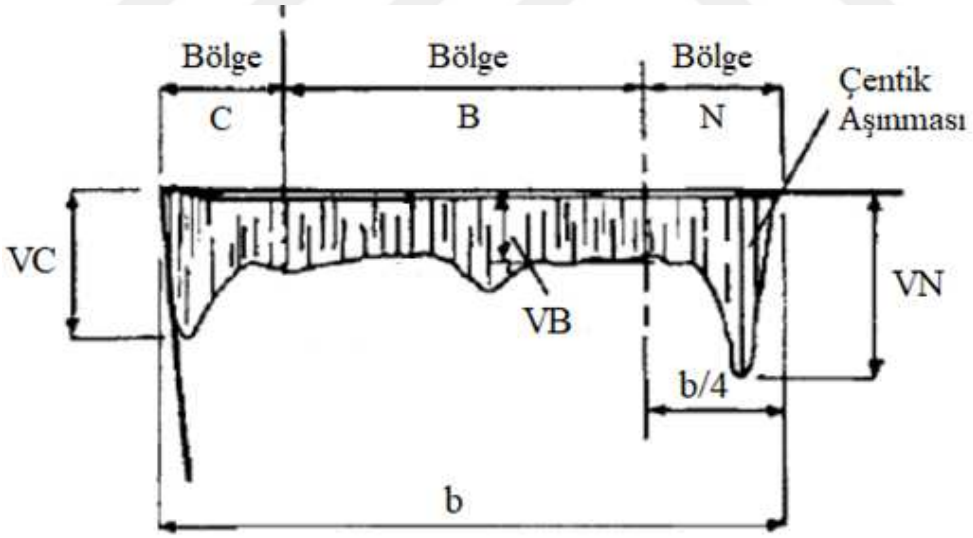
Şekil 3.6'da 300 m/dk kesme hızında yapılan deneylerin maksimum kesme sıcaklıkları kesme koşullarına bağlı olarak sunulmuştur. Grafikte en düşük kesme sıcaklığı karbondioksit yardımlı soğutma koşulunun ilk pasosunda oluşurken, en yüksek kesme sıcaklığı kuru kesme ile yapılan deneylerin son pasosunda meydana gelmiştir. Tüm kesme koşulları arasında en düşük kesme sıcaklığına sahip olan karbondioksit yardımlı kesme koşulu kuru kesme koşuluna kıyasla yaklaşık olarak %54 daha azdır.



Şekil 3.6 V_c = 300 m/dk kesme hızında ölçülen maksimum sıcaklık grafiği

3.2 Aşınma Bulguları

Aşınma bulguları incelenirken de soğutmaya bağlı aşınmada kesme hızlarının etkisi ölçülmüş ve bu şekilde grafikleştirilip, tablolaştırılmıştır.



Şekil 3.7 Serbest yüzeyden aşınmaların şematik gösterimi

Aşınmaların ölçümünde ISO 3685:1993 standardında belirtilen esaslardan, ortalama yüzey aşınması değeri dikkate alınmıştır.[39]

Bu esaslar;

A: Ortalama serbest yüzey aşınması (VB) için; 0,3 mm,

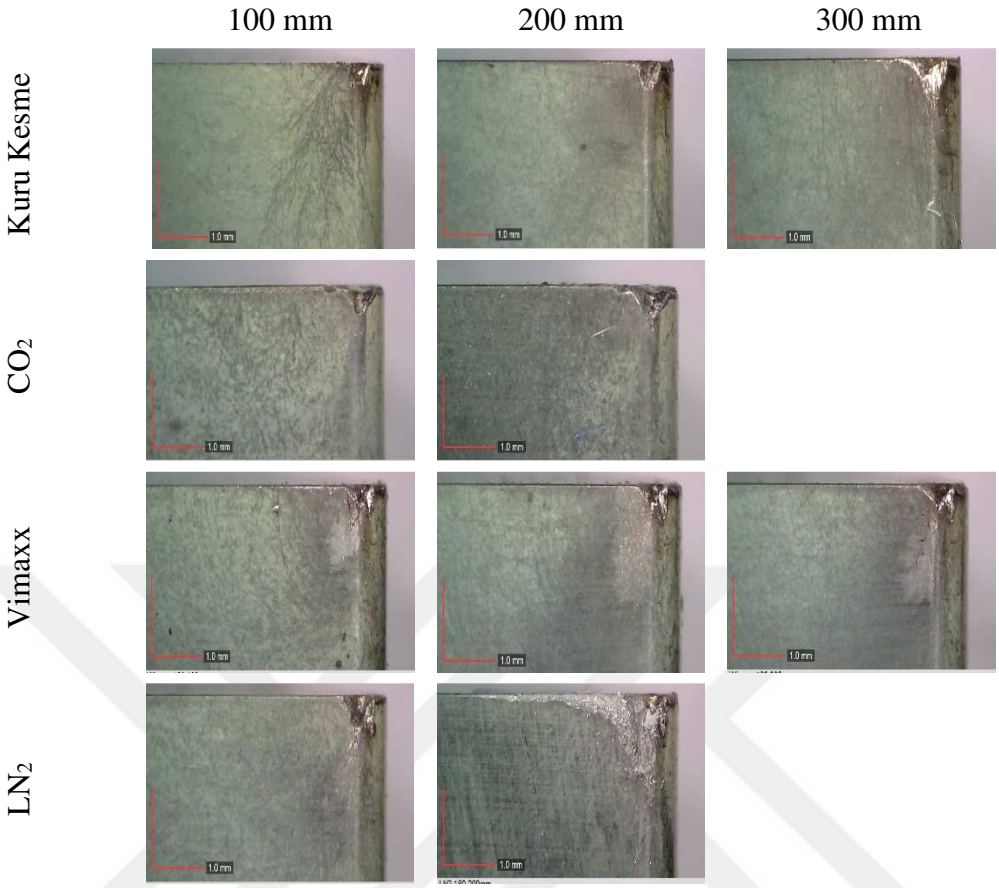
B: Çentik aşınması (VN) için; 0,6 mm,

C: Burun aşınması (VC) için; 0,5 mm'dir.

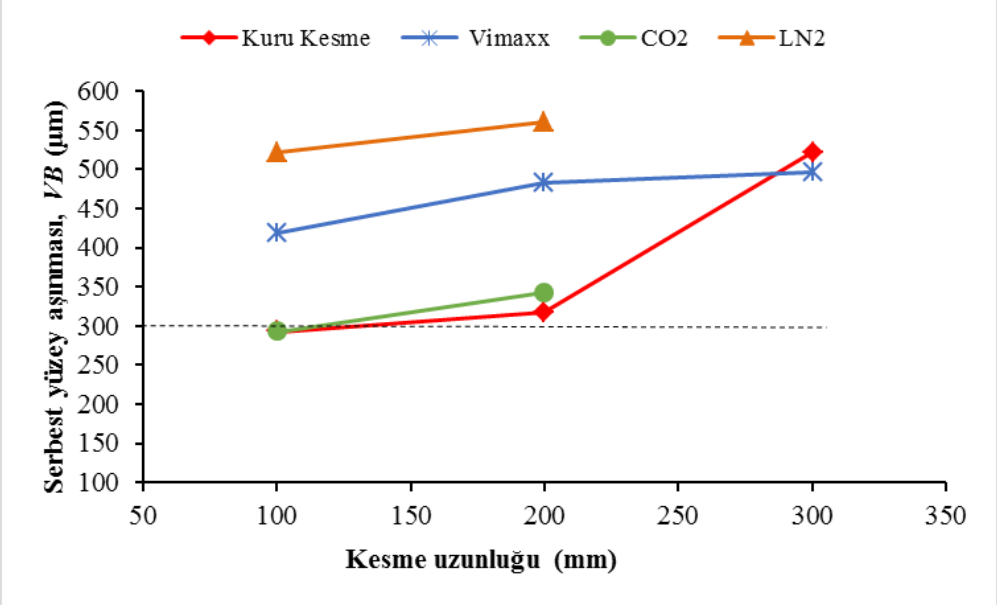
Bu ve bundan sonraki bölümlerde ise ortalama serbest yüzey aşınmaları ISO 3685:1993 ile belirtilen değere ulaştıysa kesici takım ömrü tamamlanmış olarak kabul edilmiştir. Ancak bazı deneylerde aşınma eğilimlerini görmek amaçlı ek deneyler yapılmıştır.

3.2.1 Serbest yüzey aşınması bulguları

Kuru kesme, Vimaxx soğuk hava aparatı, sıvı karbondioksit ve sıvı azot kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmada ilerleme ve kesme derinliği sabit tutulmuş olup, 180m/dk kesme hızında oluşan serbest yüzey aşınmaları Şekil 3.8'de belirtilmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil 3.9'da görülen,180m/dk kesme hızında yapılan ilk ölçümlerde en az serbest yüzey aşınmasının 292 µm ile kuru kesme ve CO_2'nun kullanıldığı koşullarda olduğu görülmektedir. İlk ölçümün yapıldığı 100 mm kesme uzunluğunda LN_2'nin ise 521 µm aşınma miktarı ile kuru kesmeden %78 daha fazla olduğu hesaplanmaktadır. Bir diğer kriyojenik kesme koşulu olan karbondioksit yardımlı soğutmada ise kesici uç, kuru kesme ile aynı ölçüde aşınmıştır. Bir sonraki kesme uzunluğunda ise kriyojenik kesme %10 artış olmuştur.



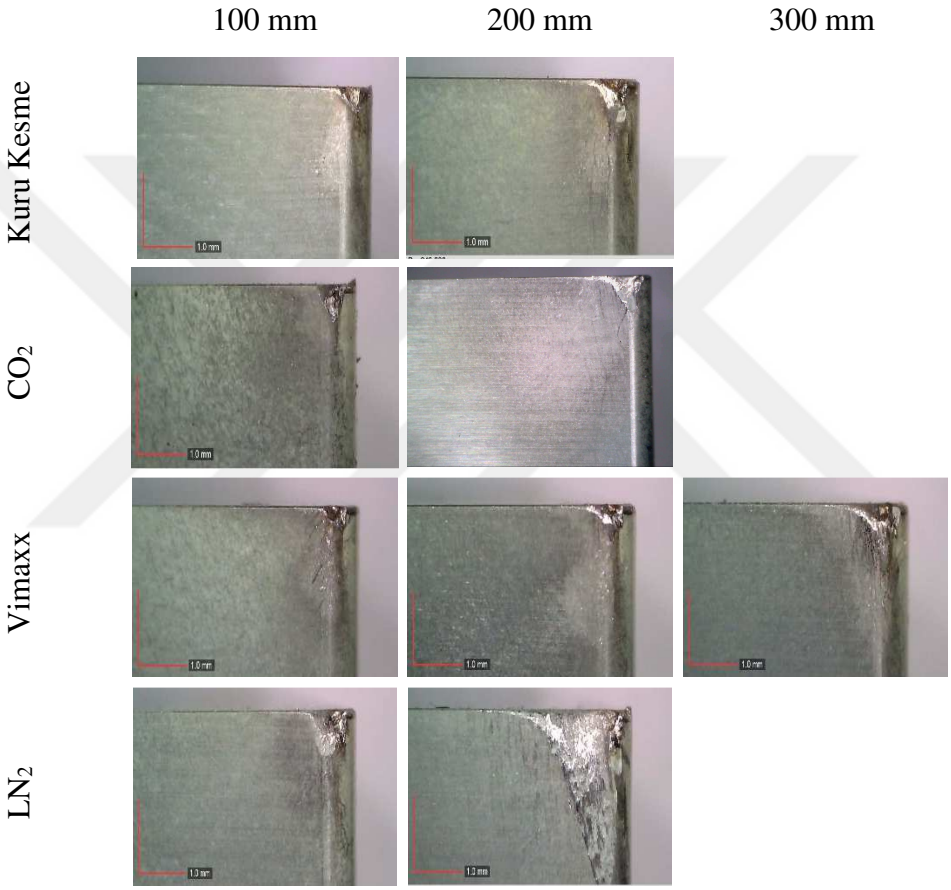
Şekil 3.8 Serbest yüzey ile çentik aşınması görüntüleri (V_c=180 m/dk)



Şekil 3.9 Serbest yüzey aşınması grafiği (V_c=180 m/dk)

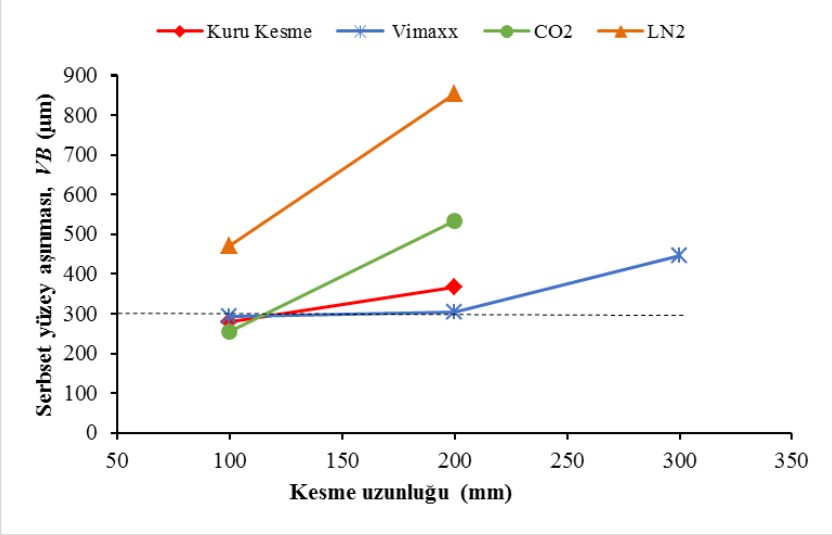
180 m/dk kesme hızında kuru kesme koşulu ve hava ile soğutma koşullarının serbest yüzey aşınması açısından değerlendirildiğinde en iyi sonuçları verdikleri görülmektedir. Kriyojenik soğutma koşulunda ise takım aşınması çok hızlı ilerlemiş olup takım ömrü çok kısa olmuştur.

Kesme hızı 180 m/dk'dan, 240 m/dk'ya arttırıldığında yapılan deneyler sonrasındaki serbest yüzey ve çentik aşınması ölçümlerine ait dijital mikroskop görüntüleri Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Serbest yüzey ile çentik aşınması görüntüleri (V_c =240 m/dk)

Şekil 3.11'de gösterilen 240 m/dk kesme hızında gerçekleştirilen deneyler sonrasındaki ölçümlere göre takım ömrünün tamamlandığındaki en yüksek serbest yüzey aşınması, bir önceki düşük kesme hızındakine benzer şekilde kriyojenik koşulda olmuştur. Kriyojenik koşulu takip eden koşul ise karbondioksit ile soğutma olmuştur. Hava ile soğutma yöntemi olan Vimaxx ise LN_2, CO_2, ve kuru kesme koşullarından, serbest yüzey aşınmaları açısından daha iyi bir kesici takım ömrü sağlamıştır.

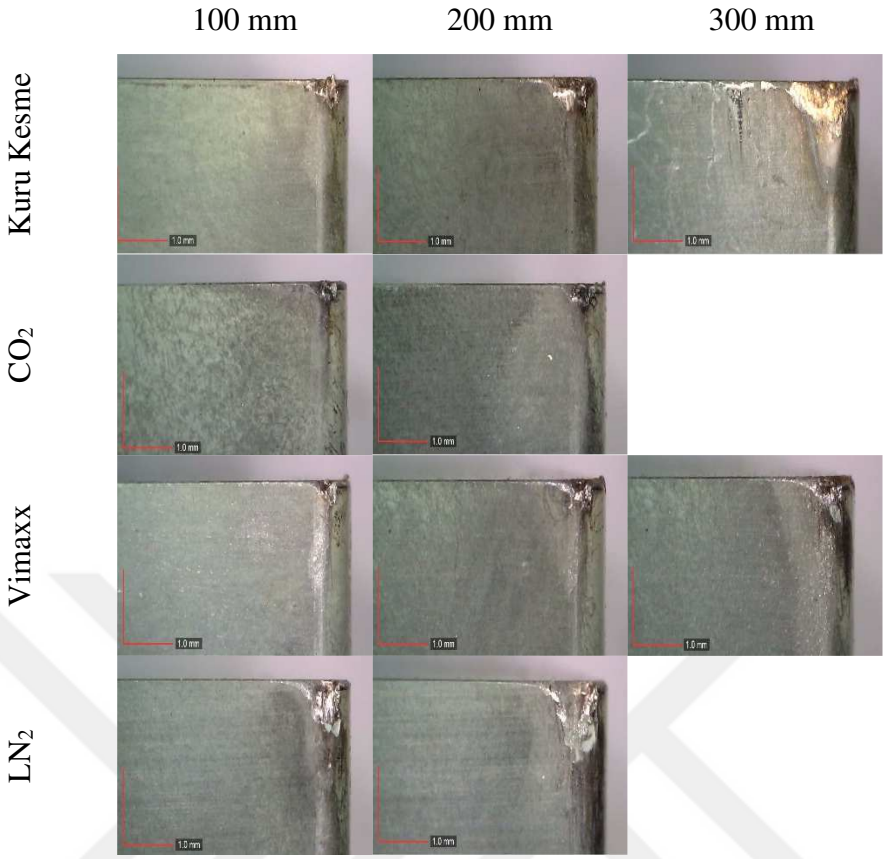


Şekil 3.11 Serbest yüzey aşınması grafiği (V_c= 240 m/dk)

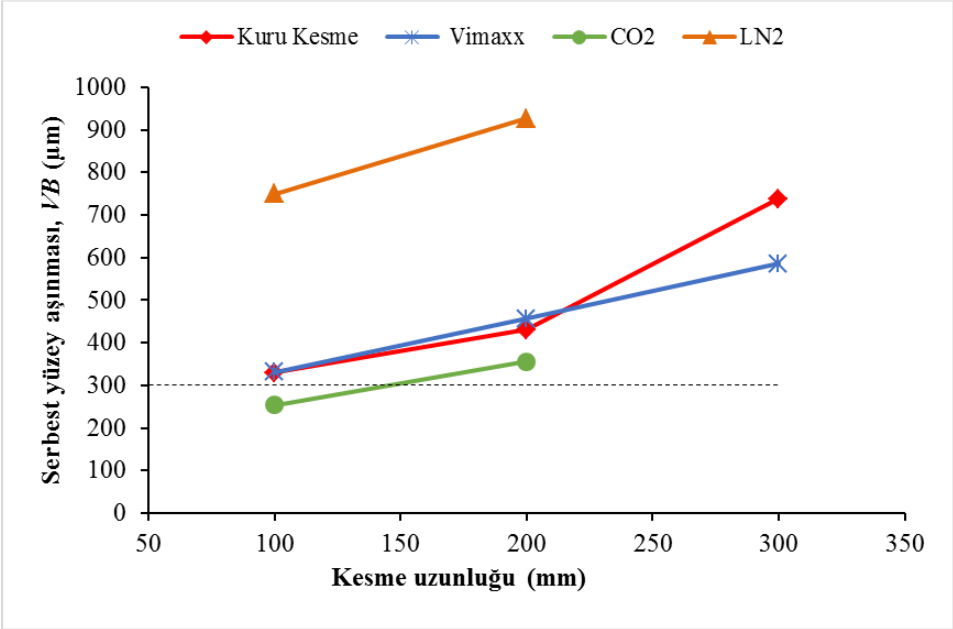
Kuru kesme koşulunda, 200 mm kesme uzunluğunda kesici takım ömrünü tamamlamış olsa da, CO_2'den %40, LN_2'den ise %130 daha az serbest yüzey aşınmasına sahip olduğu ölçülmüştür. Serbest yüzey aşınmaları, LN_2 ve CO_2 ikinci kesme uzunluğunda sırasıyla %80 ile %110 oranında ani artış gözlenmiştir.

Şekil 3.12'de 4 farklı kesme koşulu ve bu koşullarda gerçekleştirilen deneylerden sonra yapılan dijital mikroskop ölçümleri gösterilmektedir. Deney koşullarındaki en yüksek kesme hızı olan 300/dk'da gerçekleştirilen deneyler sonrasında yapılan aşınma ölçümleri Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Kriyojenik kesme koşulları olan sıvı azot ile kesme, bu kesme hızında en yüksek değerlerde aşınan koşul olmuştur. Vimaxx ise 300 mm kesme uzunluğunda 585 µm aşınma ile CO_2 ve LN_2'den daha iyi takım ömrüne sahip olduğu görülmektedir.

Serbest yüzey aşınmaları açısından genel bir değerlendirme yapıldığında ise net olarak görülen durum kriyojenik soğutma koşulları özellikle de sıvı azot ile soğutmayla yapılan testlerde takım ömrünün çok kısa sürede tamamlandığı ve aşınmanın çok hızlı bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan ise kuru kesme ve hava ile soğutma koşullarında kesici takımın performansının daha yüksek olduğu ve takım ömründeki artışa olumlu katkı sundukları görülmektedir.



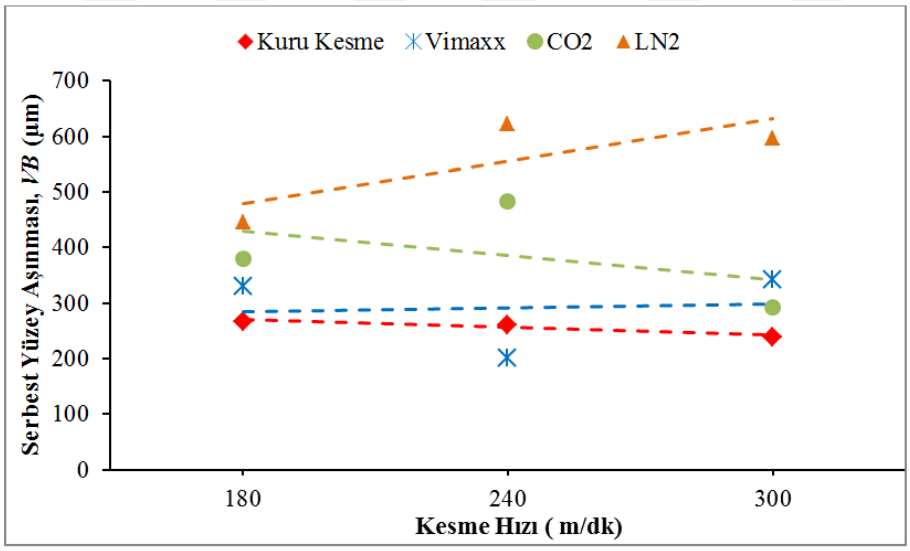
Şekil 3.12 Serbest yüzey ile çentik aşınması görüntüleri (V_c =300 m/dk)



Şekil 3.13 Serbest yüzey aşınmaları grafiği (V_c= 300 m/dk)

Şekil 3.14'de farklı işleme koşullarında 100 mm talaş kaldırma sonrasında kesici takımların aşınma davranışlarını farklı kesme hızlarına bağlı olarak gösteren sonuçlar sunulmuştur. Artan kesme hızına bağlı olarak özellikle kriyojenik koşullardan sıvı azot ile işleme de belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Diğer koşullarda ile kesme hızındaki değişim genel olarak serbest yüzey aşınmasında kısmi bir azalmaya neden olsa da kayda değer değişimler görülmemiştir.

Artan kesme hızı ile birlikte talaş kaldırma sıcaklıklarında artışların olduğu değerlendirilmektedir. Bu artışlar kesici takımın aşınma davranışlarını etkilemektedir. Özellikle kriyojenik kesme koşulunda artan kesme hızı ile birlikte kesme sıcaklıklarının kesme bölgesinde artması ancak eş zamanlı olarak uygulanan sıvı azotun kesme bölgesini soğutmaya çalışması ısıl farklılıkların oluşmasını ve termal gerilmelerin artışına neden olabilmektedir. İlaveten, kriyojenik soğutma ile zaten gevrek olan seramik kesici takım daha da gevrekleşerek kesme bölgelerinde kırılmalara neden olmakta ve bunun sonucunda aşınmalar hızlı şekilde artmaktadır.

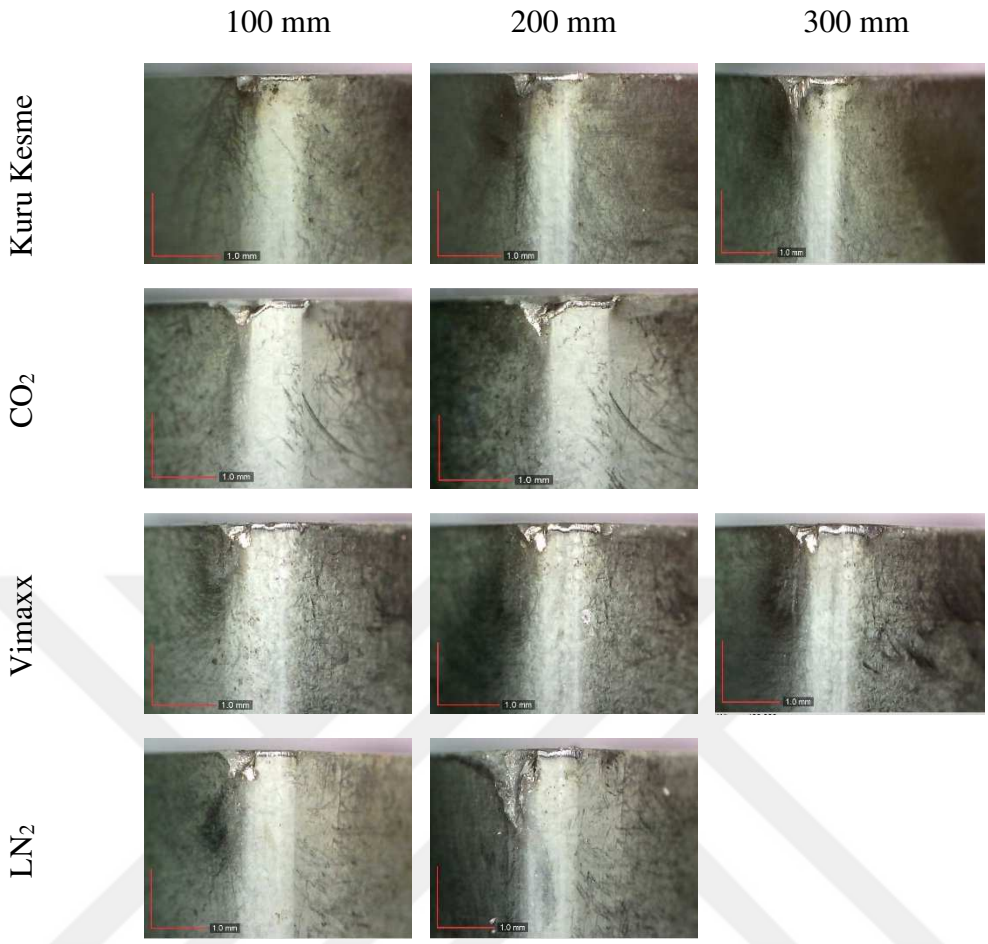


Şekil 3.14 Farklı kesme hızlarında ve koşullarında 100 mm işleme sonrasında oluşan serbest yüzey aşınması eğilimleri

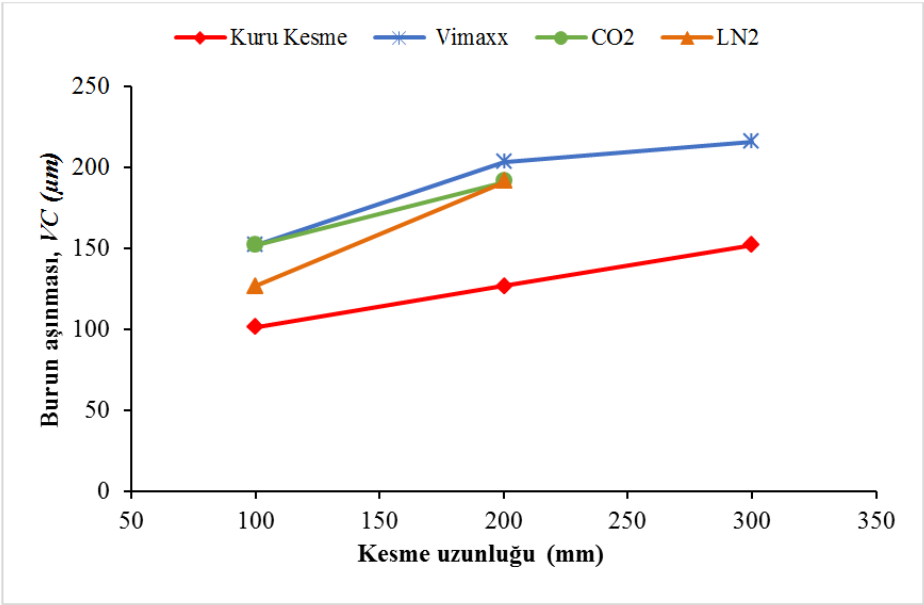
3.2.2 Burun aşınması bulguları

Takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve talaşlı imalat performansını etkileyen bir diğer aşınma türü ise burun aşınmasıdır. Farklı kesme koşullarında yapılan deneylerde V_c = 180 m/dk kesme hızında kesme uzunluğuna bağlı olarak elde edilen kesici takım burun aşınması optik mikroskop görüntüleri Şekil 3.15' de gösterilmektedir. Burun aşınması ölçümleri, serbest yüzey aşınmasıyla eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Kuru kesme, hava ile soğutma, karbondioksit ve sıvı azot ile 180 m/dk kesme hızında elde edilen burun aşınması değerleri Şekil 3.16'da sunulmuştur.

Şekil 3.15'de görüldüğü üzere, kesici takımlarda burun aşınması ilerleyişi serbest yüzey aşınmasına nazaran daha yavaş olmaktadır. İlaveten, tüm kesme koşullarında kesme uzunluğu arttıkça burun aşınma değerlerinde benzer artışlar gözlenmiştir. Kesme uzunluğunda 300 mm ulaşıldığında, Vimaxx ve kuru kesme koşullarında burun aşınması değerleri sırasıyla 216 µm ve 152 µm olarak ölçülmüştür. CO_2 ve LN_2 koşullarında ise deneyler 200 mm kesme uzunluğunda tamamlamış, burun aşınma değerleri 191 µm olarak elde edilmiştir. Burun aşınmasında kriyojenik soğutucuların kayda değer etkisi gözlenmemiştir, ancak Vimaxx hava soğutma koşuluna nazaran daha az aşınmaya neden olmuştur. Bütün soğutma koşulları içerisinde kesme uzunluğu 200 mm ulaştığında takımda en az aşınmanın meydana geldiği koşul ise kuru kesme koşulu olmuştur. Soğutma koşullarının genelinde burun aşınmasına ilaveten kesici takımın burun bölgesinde kırılmalar gözlenmiştir.



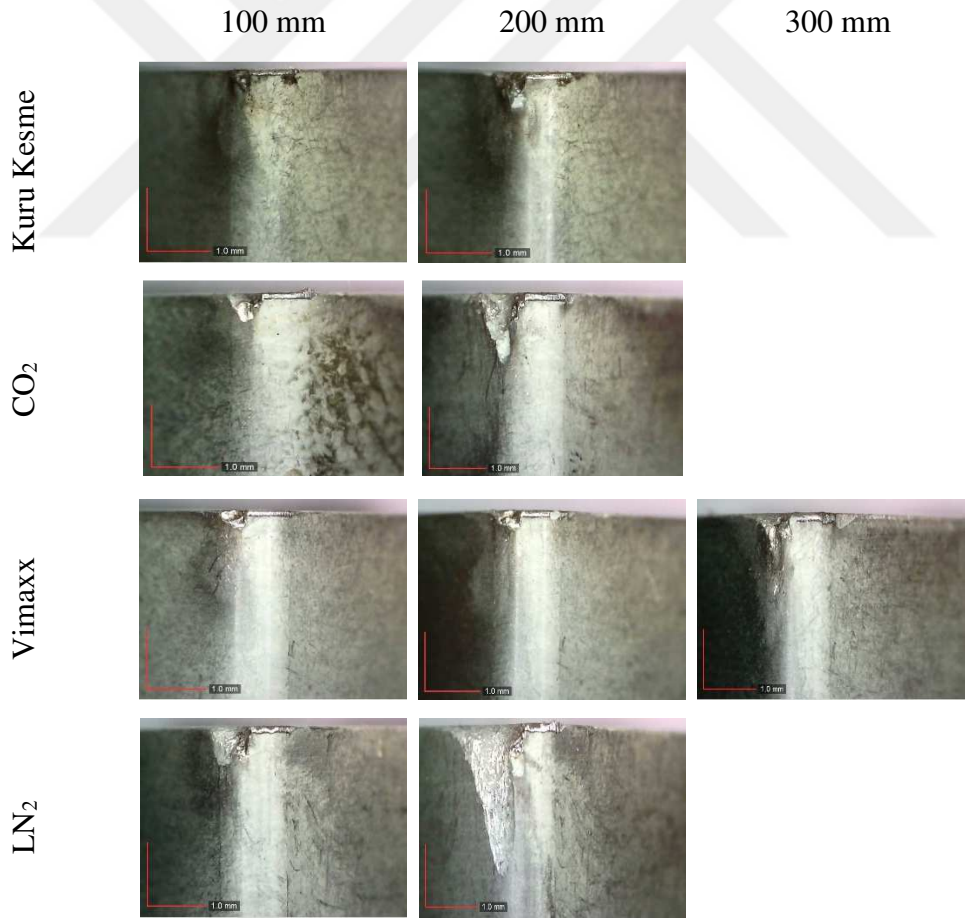
Şekil 3.15 Burun aşınmaları dijital mikroskop görüntüleri (V_c =180 m/dk)



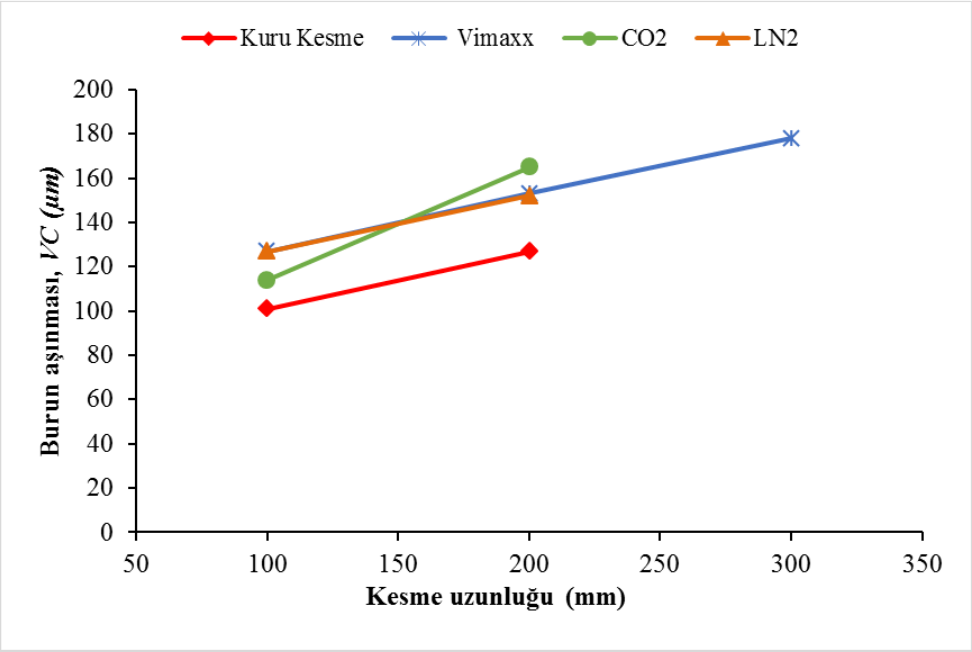
Şekil 3.16 Burun aşınmaları grafiği (V_c= 180 m/dk)

Farklı kesme koşullarında yapılan deneylerde V_c = 240 m/dk kesme hızında kesme uzunluğuna bağlı olarak elde edilen kesici takım burun aşınması görüntüleri Şekil 3.17' de gösterilmektedir. 240 m/dk kesme hızında elde edilen burun aşınması değerleri Şekil 3.18'de sunulmuştur. Vimaxx hava soğutma koşulunda kesme uzunluğu 300 mm'de burun aşınması 178 µm olarak ölçülmüştür. Kriyojenik kesme koşulları (LN_2, CO_2), ve kuru kesme koşullarında deneyler 200 mm kesme uzunluğunda tamamlanmış, burun aşınması değerleri ise sırasıyla 152 µm, 165 µm ve 127µm'dir.

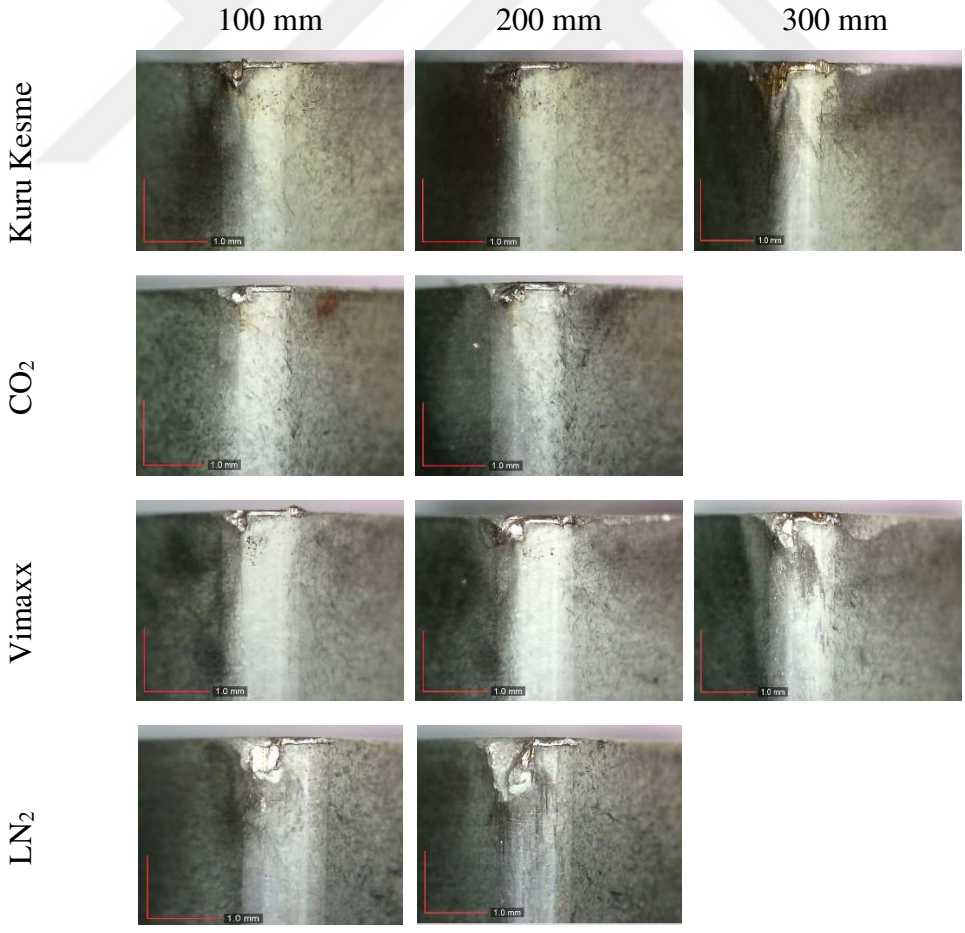
Talaş kaldırma işlemin de son olarak 300 m/dk kesme hızında deneyler yapılmıştır. Farklı kesme koşullarında yapılan deneylerde V_c = 300 m/dk kesme hızında kesme uzunluğuna bağlı olarak elde edilen kesici takım burun aşınması görüntüleri Şekil 3.19' da gösterilmektedir. Burun aşınması değerleri ise Şekil 3.20 'de sunulmuştur.



Şekil 3.17 Burun aşınması görüntüsü (V_c =240 m/dk)

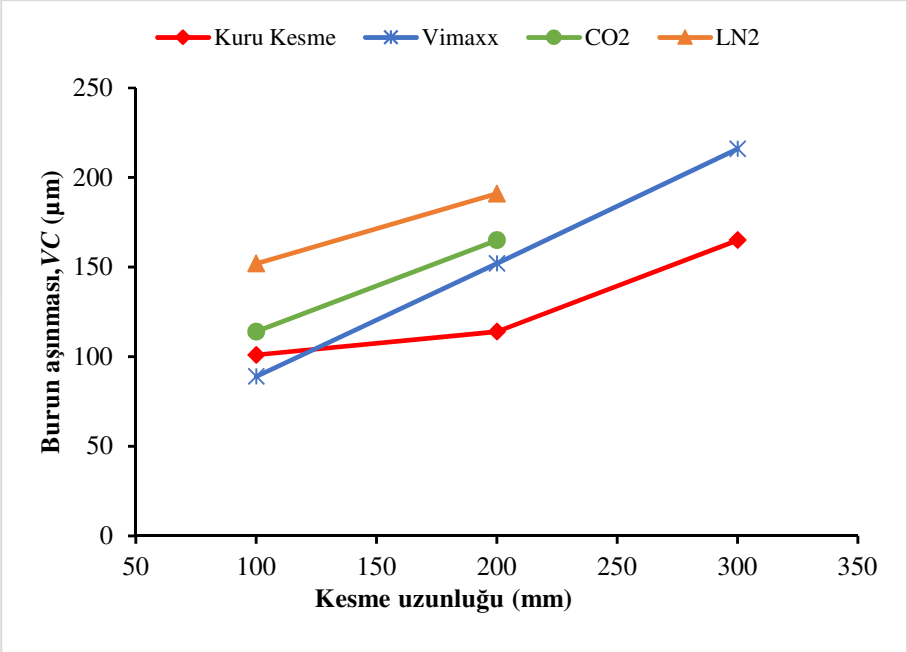


Şekil 3.18 Burun aşınmaları grafiği (V_c = 240 m/dk)



Şekil 3.19 Burun aşınması görüntüsü (V_c =300 m/dk)

Yüksek hızda yapılan bu deneylerde, kuru kesme koşulu diğer iki kesme hızında (180m/dk ve 240 m/dk) olduğu gibi en az aşınan koşul olmuş, kesme uzunluğu 300 mm'ye ulaştığında burun aşınması değeri 165 µm olarak ölçülmüştür. 200 mm kesme uzunluğunda gerçekleştirilen CO_2 ve LN_2 kesme koşullarında burun aşınmaları sırasıyla 165 µm ile 191 µm burun aşınması değerleri elde edilmiştir. Vimaxx kesme koşulunda ise, 300 mm kesme uzunluğunda tamamlanan deneylerde 216 µm burun aşınması ölçülmüştür.



Şekil 3.20 Burun aşınmaları grafiği (V_c= 300 m/dk)

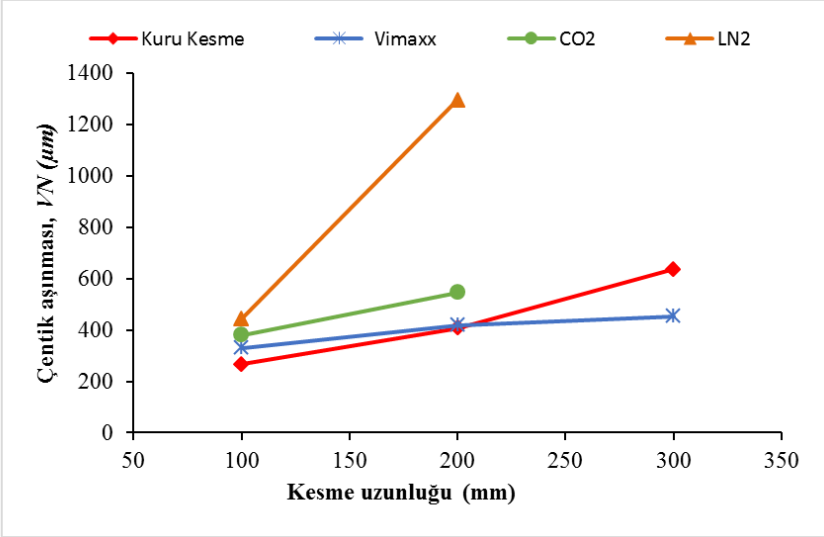
Burun aşınmaları bulguları değerlendirildiğinde kuru kesmede, kriyojenik koşullara nazaran daha az burun aşınma değerleri ölçülmüştür. Vimaxx kesme koşullunda, tamamlandığı deneylerde, diğer kesme koşullarının aşınma miktarına göre daha yüksek burun aşınması değeri elde edildiği gözlemlenmiştir.

Genel anlamda burun aşınma sonuçları değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçlar serbest yüzey aşınmasında elde edilen sonuçlarla benzerlikler göstermektedir. Kuru kesme koşulunda en az miktarda aşınmaların oluştuğu görülmektedir. Diğer taraftan en fazla burun aşınmalarının soğutma koşullarında özellikle de Vimaxx ile soğutma koşulunda meydana geldiği görülmektedir.

3.2.3 Çentik aşınması bulguları

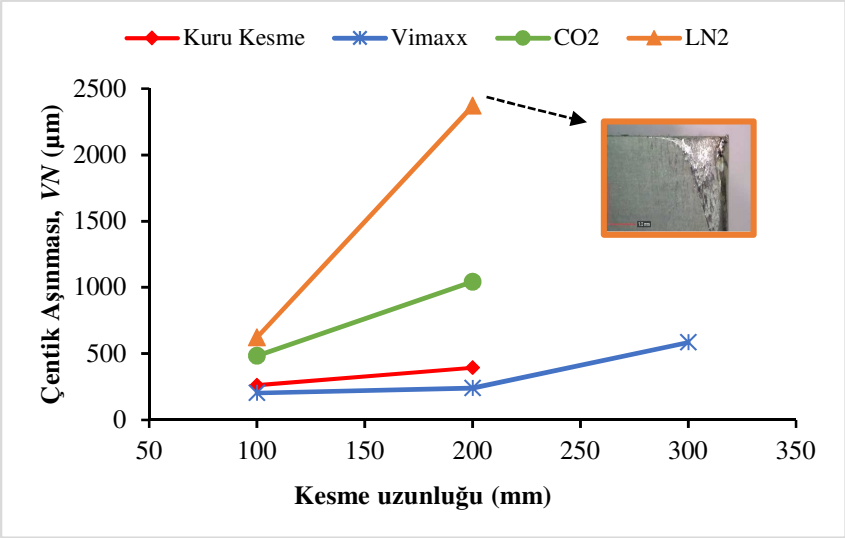
Farklı kesme koşulları altında 180 m/dk kesme hızında ölçülen çentik aşınması değerleri

Şekil 3.21'de sunulmuştur. Kesme uzunluğu 300 mm'de tamamlanan kuru kesme ve Vimaxx soğutma koşulundaki deneylerde, çentik aşınması değerleri sırasıyla 636 ve 454 µm elde edilmiştir. CO_2 ve LN_2 kesme koşullarında 200 mm kesme uzunluğuna ulaştığındaki 547 µm, 1297 µm çentik aşınması değerleri ölçülmüştür. Görüldüğü üzere 180 m/dk kesme hızında özellikle kriyojenik kesme koşulunda (LN_2) çentik aşınması diğer koşullarla kıyaslanmayacak kadar büyük olmuştur. Kesme uzunluğunun 200 mm'ye ulaştığında çentik aşınması açısından da kesici takım ömrünü tamamlamıştır.



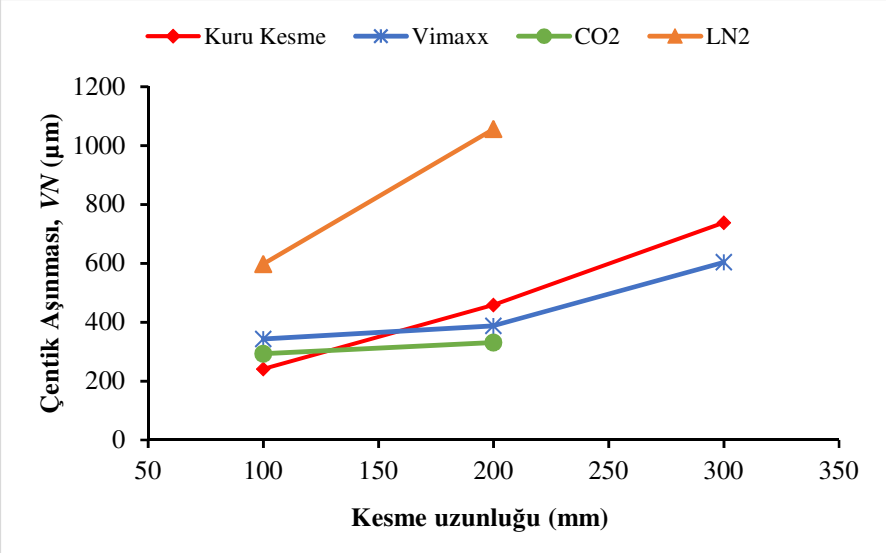
Şekil 3.21 Çentik aşınmaları grafiği (V_c= 180 m/dk)

240 m/dk kesme hızında farklı kesme koşulları altında yapılan talaş kaldırma operasyonu sonucunda elde edilen çentik aşınması değerleri Şekil 3.22'de ki grafikte sunulmuştur. Vimaxx hava soğutma koşulunda 300 mm kesme uzunluğunda 585 µm, kuru kesme koşulunda 200 mm kesme uzunluğunda 394 µm çentik aşınma değerleri elde edilmiştir. Kriyojenik koşullarından CO_2 kullanılan deneylerde kesme uzunluğu 200 mm iken takım ömrünü tamamlanmıştır. Takım serbest yüzeyde ISO standartlarındaki serbest yüzeyde aşınma değerine ulaşıp ömrünü tamamladığında çentik aşınması değeri CO_2 koşulunda 1043 µm olarak ölçülmüştür. LN_2 kesme koşulunda ise 200 mm kesme uzunluğunda serbest yüzey aşınmasından yaklaşık 2.5 kat fazla çentik aşınması (2370 µm) oluşmuştur. Kesme hızı 300 m/dk alınarak yapılan deneyler sonucunda kesme uzunluğuna bağlı elde edilen çentik aşınması değerleri Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.22 Çentik aşınmaları grafiği (V_c= 240 m/dk)

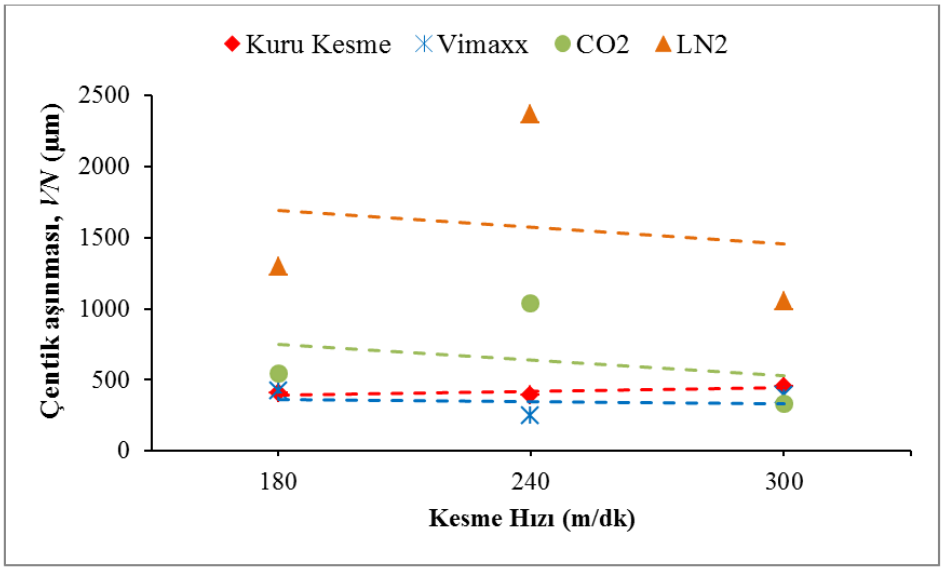
Kesme hızının artmasıyla takımdaki çentik aşınması değeri azalmış olduğu görülmektedir [40, 41]. Kesme uzunluğu 300 mm'de, kuru kesme koşulunda çentik aşınması 738 µm olmuştur. CO_2 kesme koşullarında takımlar ömrünü 200 mm kesme uzunluğunda tamamlamıştır ve 331 µm çentik aşınma değerleri ölçülmüştür. Vimaxx kesme koşulunda ise, 100 mm kesme uzunluğunda takım ömrünü tamamlamış olmasına karşın aşınma eğilimini görmek amaçlı yapılan ek deneyde 407 µm çentik aşınması değeri ölçülmüştür.



Şekil 3.23 Çentik aşınmaları grafiği (V_c= 300 m/dk)

LN_2 kesme koşulunda ise 100 mm kesme uzunluğunda ISO 3685:1993 standardında belirtilen çentik aşınması değerine çok yaklaştığı (598 µm) ancak ulaşmamış olup, yapılan

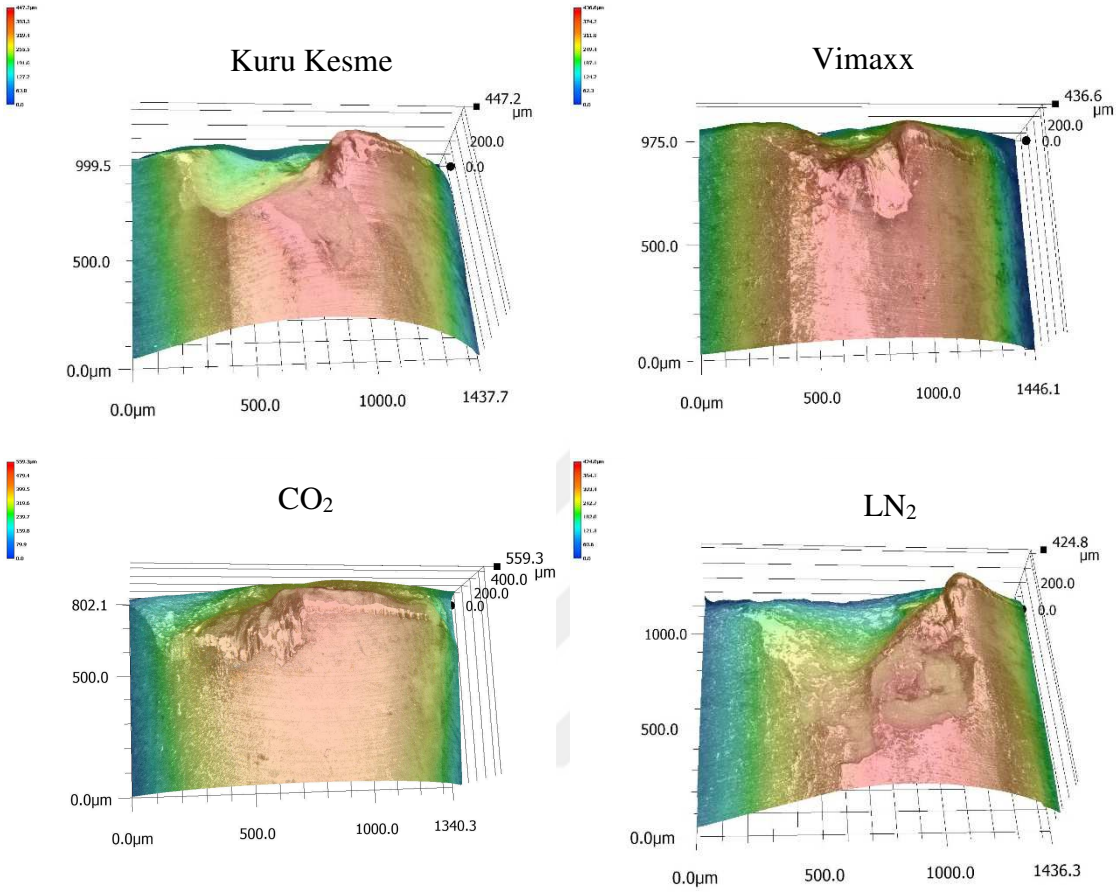
ek deneyle kesme işlemi 200 mm kesme uzunluğuna kadar devam ettirilmiş, çentik aşınması değeri 1056 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 3.24'de farklı kesme hızlarında 200 mm işleme sonrasında farklı koşullarda ölçülen çentik aşınmalarının kıyaslamaları sunulmuştur. Elde edilen bulgular önemli bir eğilimi ortaya koymaktadır. Dört farklı kesme koşulunda genel olarak iki eğilim görülmektedir. Kriyojenik koşullarda (LN_2 ve CO_2) 180 m/dk kesme hızından 240 m/dk'ya hız arttırıldığında çentik aşınmasında önemli bir artış görülmüş, ancak kesme hızı 300 m/dk'ya yükseltildiğinde ise her iki koşulda da çentik aşınmasında kayda değer bir azalma meydana gelmiştir. Diğer taraftan kuru kesme ve hava ile soğutma (Vimaxx) koşullarında ise kesme hızlarındaki değişimin çentik aşınmasına kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Kriyojenik koşullarda kaldırılan talaşta ve işlenen yüzey bölgesinde soğuk deformasyondan dolayı pekleşme davranışının olduğu ve bunun düşük kesme hızlarında çentik aşınmasını tetiklediği değerlendirilebilir. Oysa 300 m/dk kesme hızında artan kesme sıcaklığından dolayı kriyojenik soğutmanın kesme bölgesinde etkinliğinin azaldığı ve işlenen bölgede pekleşme davranışının azalmasının sonucunda çentik aşınmasında azalma olduğu değerlendirilmektedir. Bu davranışın sıcaklıktan önemli ölçüde etkilendiğinin delili ise sıvı azot ile karbondioksit koşullarda çentik aşınmasında oluşan farklılık olarak değerlendirilebilir.



Şekil 3.24 Farklı kesme hızlarında ve koşullarında 200 mm işleme sonrasında oluşan çentik aşınması eğilimleri

Şekil 3.25'de 300 m/dk kesme hızında ve farklı koşullarda oluşan kesici takım çentik aşınmalarının optik mikroskop yardımı ile üç boyutlu görüntüleri sunulmuştur. Şekilde de

görüldüğü üzere en az aşınma Vimaxx ile soğutma koşulunda oluşmuştur. Kriyojenik soğutma koşulları olan karbondioksit yardımlı soğutma koşulu ve sıvı azot yardımlı soğutma koşulu ile yapılan deneylerde kesici takımlarda kırılma meydana gelmiştir.



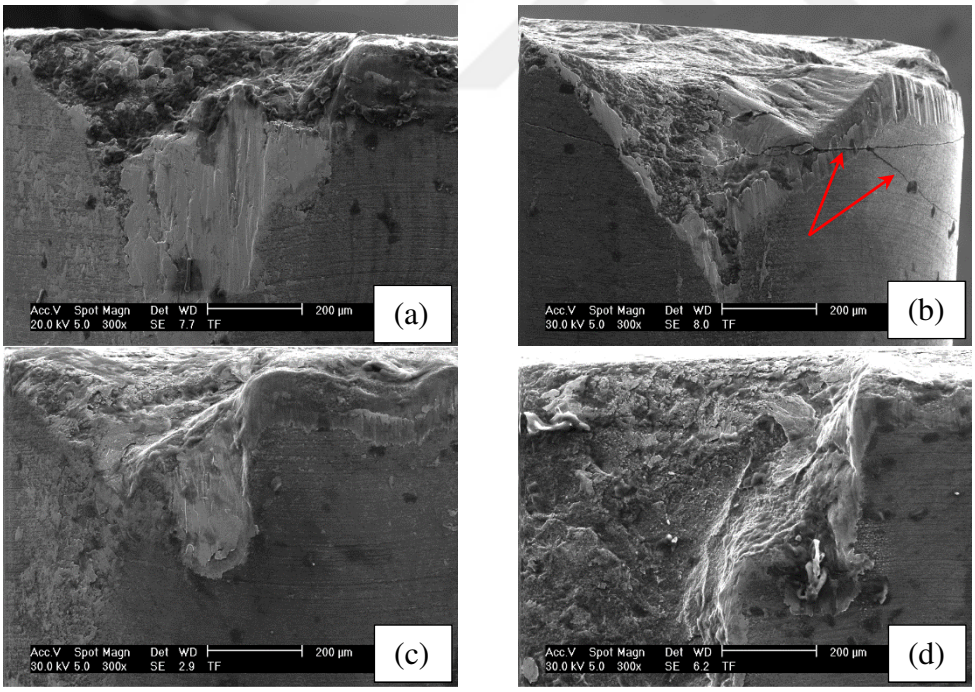
Şekil 3.25 300 m/dk kesme hızında farklı koşullardaki kesici takım çentik aşınması görüntüleri

3.3 SEM-Görüntüleri ve EDS Analizleri

Kesici takım üzerinde çentik aşınması, takımın serbest yüzeyinde takım ile işlenen malzemenin temasının kesildiği noktada oluşan bir aşınma türüdür. Çentik aşınmasını tetikleyecek ya da oluşmasına neden olacak ana mekanizmalardan başlıcaları adezyon, abrazyon ve difüzyon aşınma mekanizmalarıdır. İşlenen malzemelerin yüzey kalitesinin iyileştirilmesinin yanında, kesme operasyonlarında kullanılan soğutucu sıvıların bir diğer avantajlı yanı ise takım ömrüne olumlu etkilerinin olmasıdır. Ancak soğutucular bazen takım üzerinde olumsuz etkiler de oluşturabilmektedirler. Kesmede kullanılan soğutucu

takımı oluşturan herhangi bir element ile gireceği reaksiyon takıma olumsuz etki olarak yansıyabilmektedir.

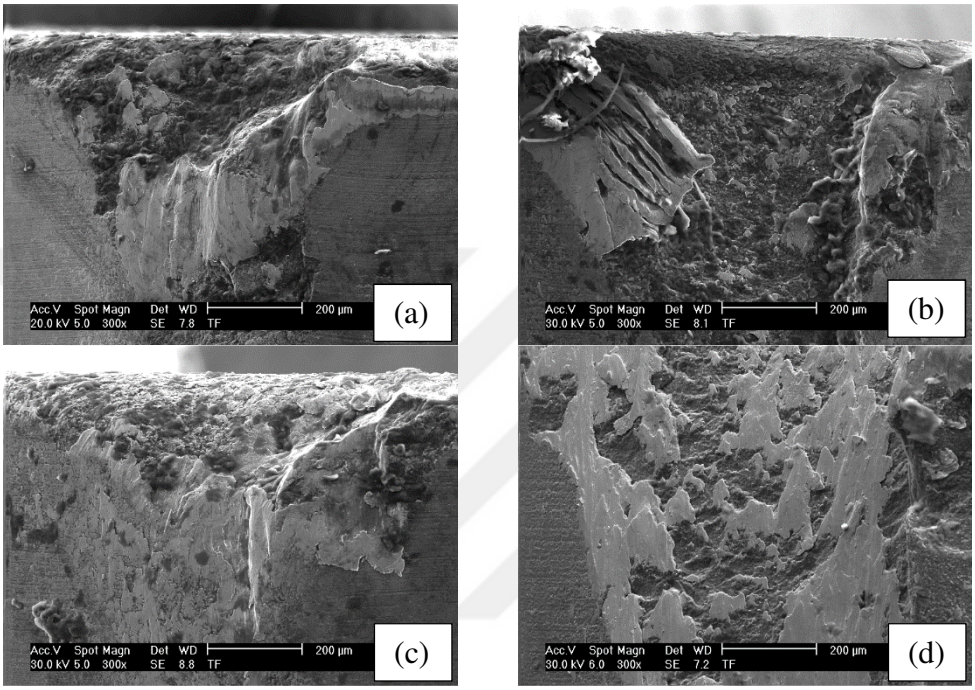
Şekil 3.26'da 180 m/dk kesme hızında farklı kesme koşullarında kesici takımda meydana gelen çentik aşınmalarının SEM görüntüleri sunulmuştur. Şekle genel olarak bakıldığında tüm kesme koşullarında çentik aşınmasının oluştuğu açık şekilde görülmektedir. Çentik aşınmaları kapladıkları alan bakımından incelendiğinde en az alana kuru kesme koşulunda yayılmıştır. Diğer koşullarda çentik aşınması bölgesinde etkilenen alanların daha fazla olduğu görülmektedir. ISO standartlarına göre çentik aşınmasının ölçümü göz önüne alındığında en çok çentik oluşumunun LN_2 koşulunda, en az Vimaxx koşulunda oluştuğu görülmektedir. Burada da görülmektedir ki kesme ortamının takım aşınması üzerinde etkisi dikkat çekicidir.CO_2 koşulunda ise kesici takım üzerinde oluşan mikro çatlaklar açıkça görülmektedir. Literatürde[42] de belirtildiği gibi kriyojenik soğutma, sıcaklığın etkisiyle yığın sertliği oluşturmakta ve ilerlemenin etkisiyle artan çekme gerilimi oluşan mikro çatlakların yayılmasına neden olmaktadır. Nihai sonuç ise kesici takımın kırılmasıdır.



Şekil 3.26 180 m/dk kesme hızındaki kesici takım serbest yüzey aşınmaları SEM görüntüleri a)Kuru kesme b)CO_2 c)Vimaxx d)LN_2

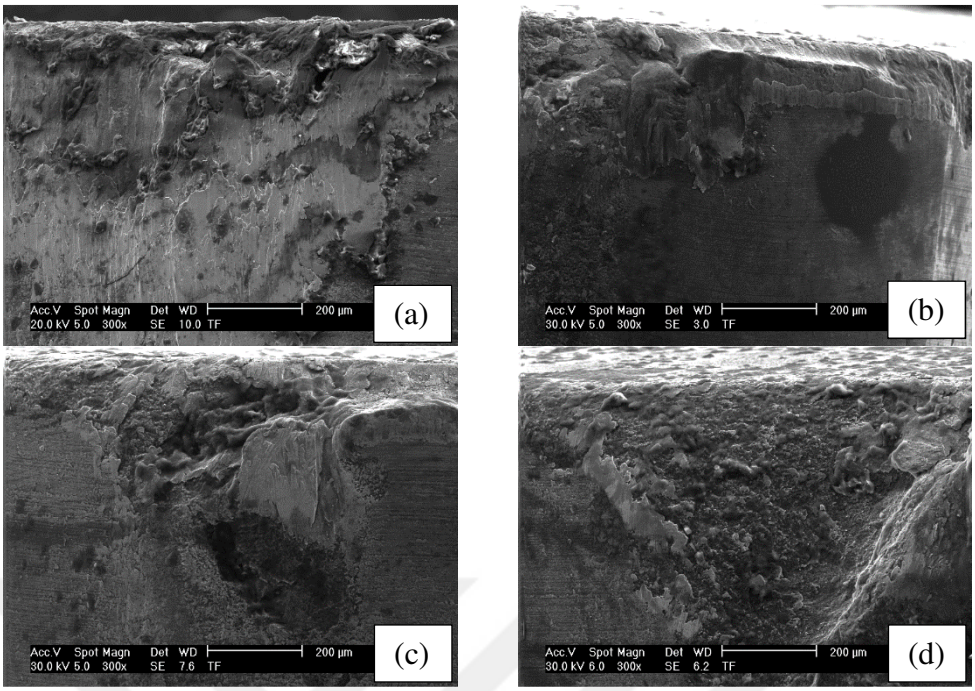
Şekil 3.27'de 240 m/dk kesme hızında farklı soğutma koşullarda kesici takımda meydana gelen çentik aşınmalarının SEM görüntüleri gösterilmiştir. Kesme hızının artmasıyla

takım çentik aşınması bölgelerinde farklı bir durum söz konusudur. Çentik bölgelerinde kesme işlemi sırasında kaldırılan talaşların yapışma hali görülmektedir. Bu durum çentik aşınması miktarının ölçülmesinde engel teşkil edebilen bir durumdur. Kuru kesme oluşan çentik aşınması değerlerini ölçmek nispeten kolay gözükse de, malzeme yapışmasının fazla olduğu Vimaxx ve LN_2 koşullarında ölçüm yapmak daha zordur.



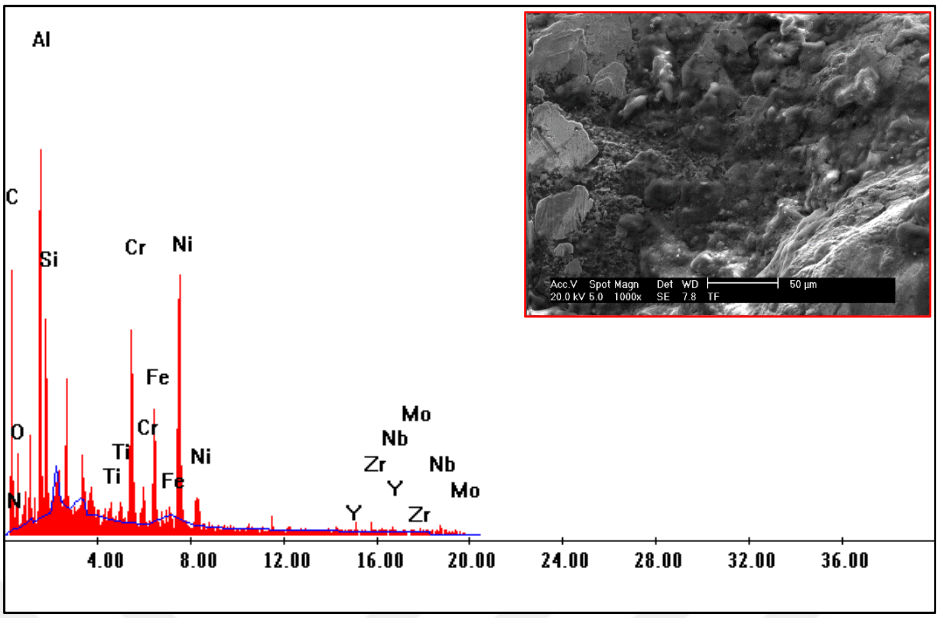
Şekil 3.27 240 m/dk kesme hızındaki kesici takım serbest yüzey aşınmaları SEM görüntüleri a)Kuru kesme b)CO_2 c)Vimaxx d)LN_2

Şekil 3.28'de 300 m/dk kesme hızında farklı kesme koşullarında, kesici takımda meydana gelen çentik aşınmalarının SEM görüntüleri sunulmuştur. Kesici takımda kopmaların meydana geldiği görülmektedir. Özellikle kuru kesme koşulundaki çentik bölgeleri incelendiğinde takımlardaki kopmalar net şekilde görülmektedir. Soğutucuların kullanıldığı diğer koşullar incelendiğinde ise kopmadan ziyade diğer daha düşük hızlardakine benzer çentik aşınmalarının oluştuğu görülmektedir. CO_2 koşulundaki çentik aşınmasının diğer koşullara kıyasla daha az olduğu görülmektedir.



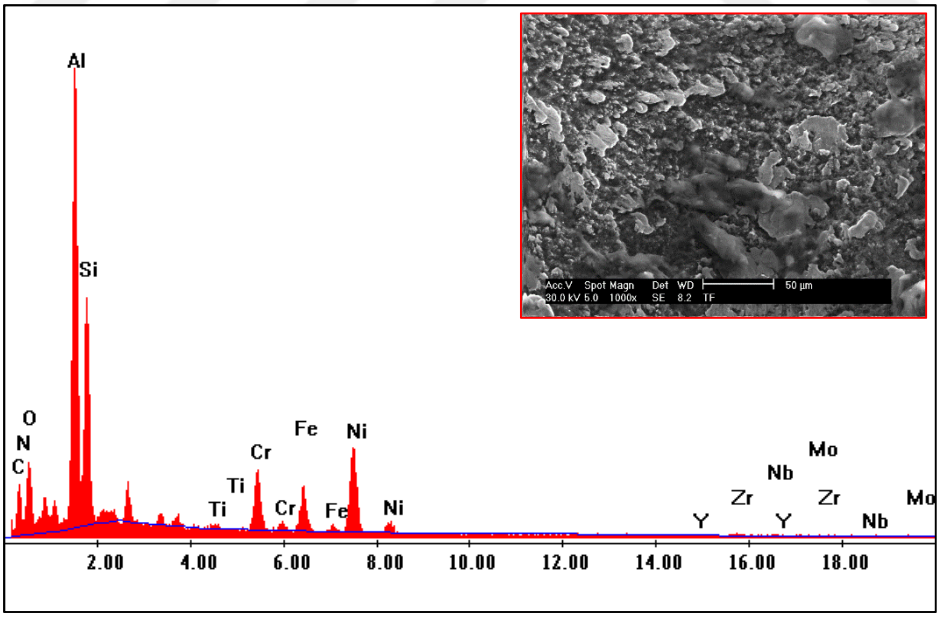
Şekil 3.28 300 m/dk kesme hızındaki kesici takım serbest yüzey aşınmaları SEM görüntüleri a)Kuru kesme b)CO_2 c)Vimaxx d)LN_2

İş parçasının ve kesici ucun yüzde ağırlıkça kimyasal bileşimleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.5'de gösterilmektedir. Kuru kesme deney koşulunda, 240 m/dk kesme hızında kullanılan kesici takımın yüzeyinde yapılan EDS analizi Şekil 3.29'da görülmektedir. Kesici takımın kimyasal bileşenlerinde Ni (Nikel) ve Cr (Krom) elementinin hiç bulunmadığı göz önüne alındığında oluşan yüksek sıcaklıkta iş parçasının difüzyon ile kesici takım üzerine sıvandığı görülmektedir.



Şekil 3.29 240 m/dk kesme hızında kuru kesme koşulundaki EDS grafiği

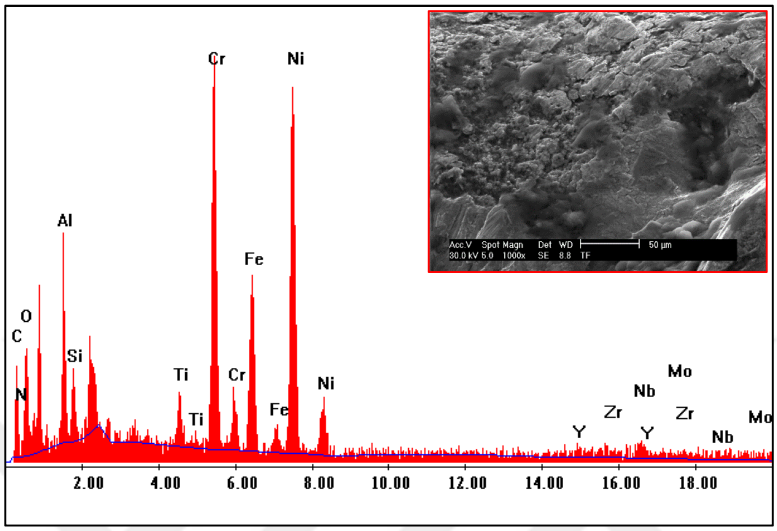
Şekil 3.30'da karbondioksit ile soğutma deney koşullarında kullanılan silisyum karbür ipliksi kristal takviyeli alümina seramik kesici uca ait SEM görüntüleri ile EDS analizleri yer almaktadır. Soğutma sayesinde iş parçasının kesici uçlar üzerine difüzyonu neredeyse görülmemektedir.



Şekil 3.30 240 m/dk kesme hızında karbondioksit (CO_2) yardımlı soğutma koşulundaki EDS grafiği

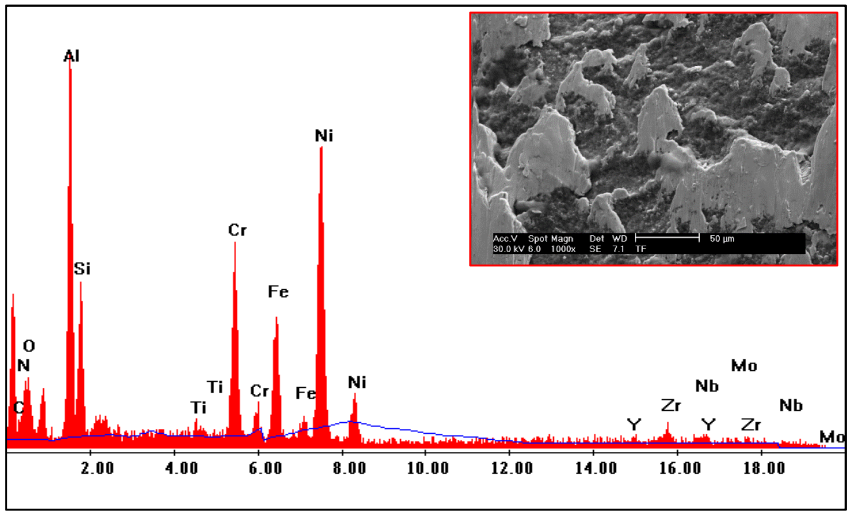
Şekil 3.31'de görülen Vimaxx basınçlı soğuk hava aparatının kullanıldığı deney koşullundaki talaş kaldırma işlemini gerçekleştiren kesici uca ait EDS analizi grafiğine

göre; kesici uçta bulunan en yoğun elementler krom ve nikel olduğu gözükmektedir. Ancak kesici ucun ana bileşenlerin olmayan bu iki element iş parçasında yoğun olarak bulunduğu göz önüne alındığında, iş parçasının yoğun bir şekilde kesici uca sıvandığı görülmektedir.



Şekil 3.31 240 m/dk kesme hızında soğuk hava(Vimaxx) ile soğutma koşulundaki EDS grafiği

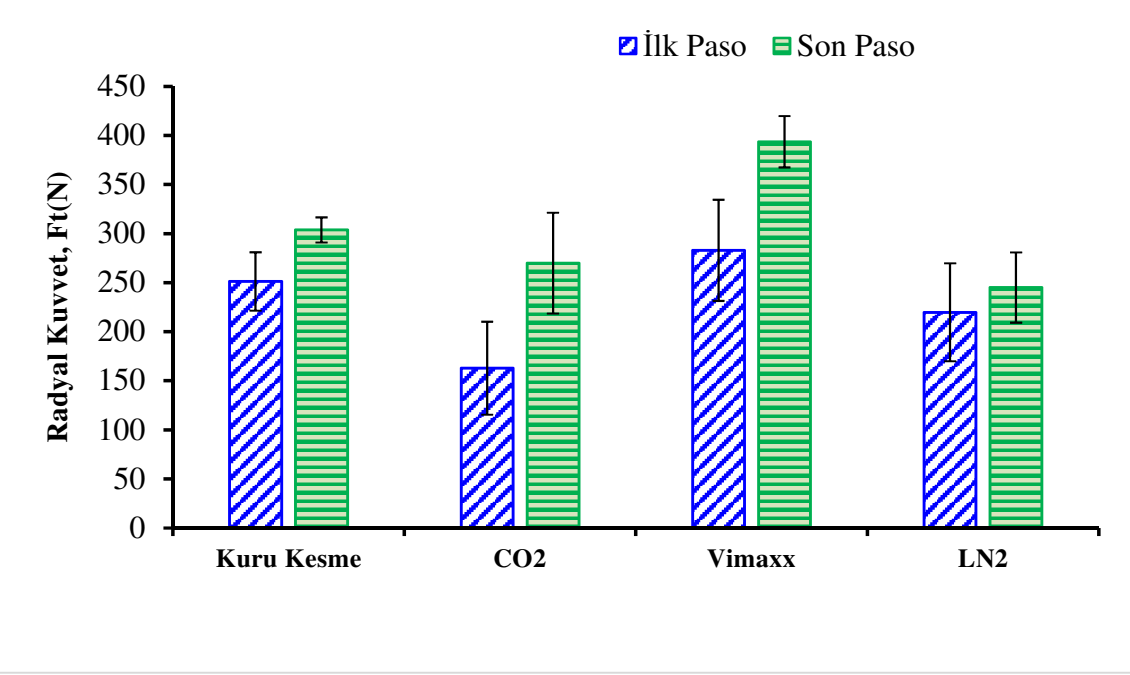
Şekil 3.32'de görülen kriyojenik kesme koşullarından sıvı azot yardımlı soğutma koşulunda kullanılmış olan kesici uca ait EDS analizine ait grafik görülmektedir. Grafik incelendiğinde, etkin soğutma sağlanması nedeniyle alümina kesici uçta en fazla alüminyum elementinin bulunduğu ancak yine de yapışma eğilimi yüksek olan iş parçasının kesici uca sıvandığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.32 240 m/dk kesme hızında sıvı azot (LN_2) yardımlı soğutma koşulundaki EDS grafiği

3.4 Kesme Kuvvetleri Bulguları

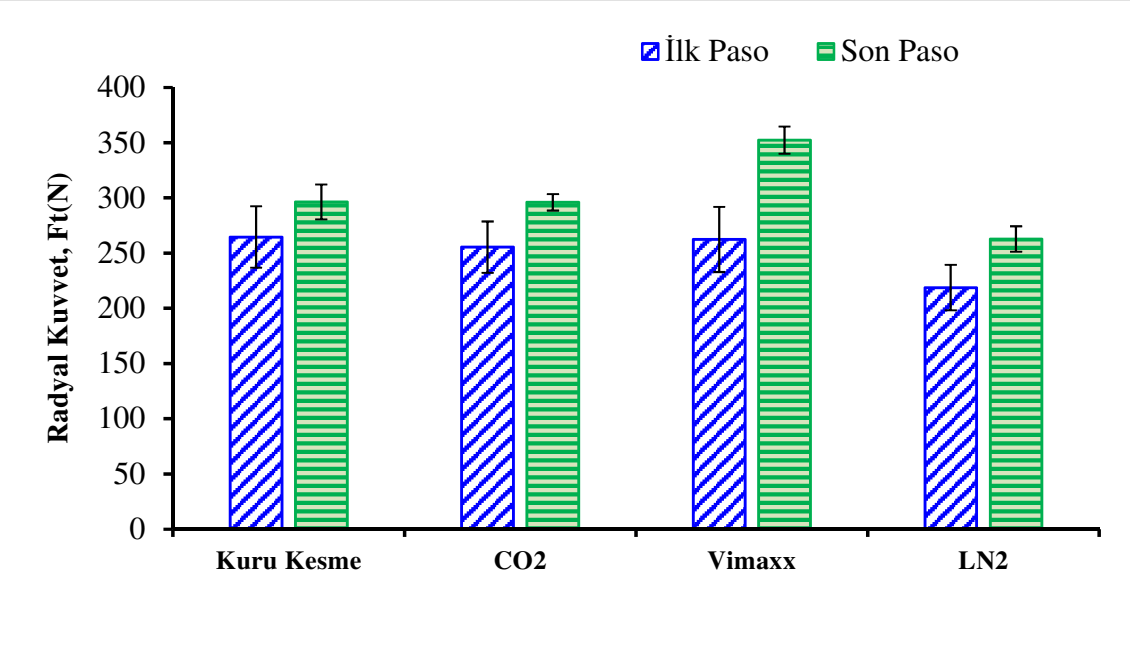
Bir önceki bölümde sunulan aşınma sonuçlarının elde edildiği deneysel çalışmalarda ölçülen Radyal ve Kesme kuvvetleri sonuçları bu bölümde sunulmuştur. Şekil 3.33'de farklı kesme koşullarında 180 m/dk kesme hızında ilk ve son paso testlerde ölçülen ortalama radyal kuvvet değerleri sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında en yüksek radyal kuvvetlerin hava ile soğutmada oluştuğu görülmektedir. Aynı şekilde ikinci paso da dikkate alındığında hava ile soğutmada ölçülen kuvvetler en fazladır. En düşük kesme kuvvetleri ise kriyojenik soğutmada elde edilmiştir. Kuru kesme kuvvetlerinde ise hava soğutmadan düşük ama kriyojenik koşullardan yüksek kuvvetler oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlardan görülen net bir diğer davranış ise ilk pasoda ölçülen kuvvetlerle ikinci pasoda ölçülen kuvvetler kıyaslandığında her zaman ikinci pasoda ölçülen kuvvetlerin daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum kesici takımda meydana gelen aşınma ile ifade edilebilir.



Şekil 3.33 180 m/dk'da ölçülen Radyal Kuvvetler

Kesme hızı 180 m/dk'dan 240 m/dk'ya çıkarıldığında da benzer davranışlar gözlemlenmektedir (Şekil 3.34). En yüksek kesme hızları hava ile soğutmada meydana gelmiş olup, kriyojenik soğutma ile yapılan testlerde ise en düşük kuvvetler ölçülmüştür. İlaveten, tüm kesme koşullarında ikinci pasoda ölçülen kesme kuvvetleri ilk pasoda

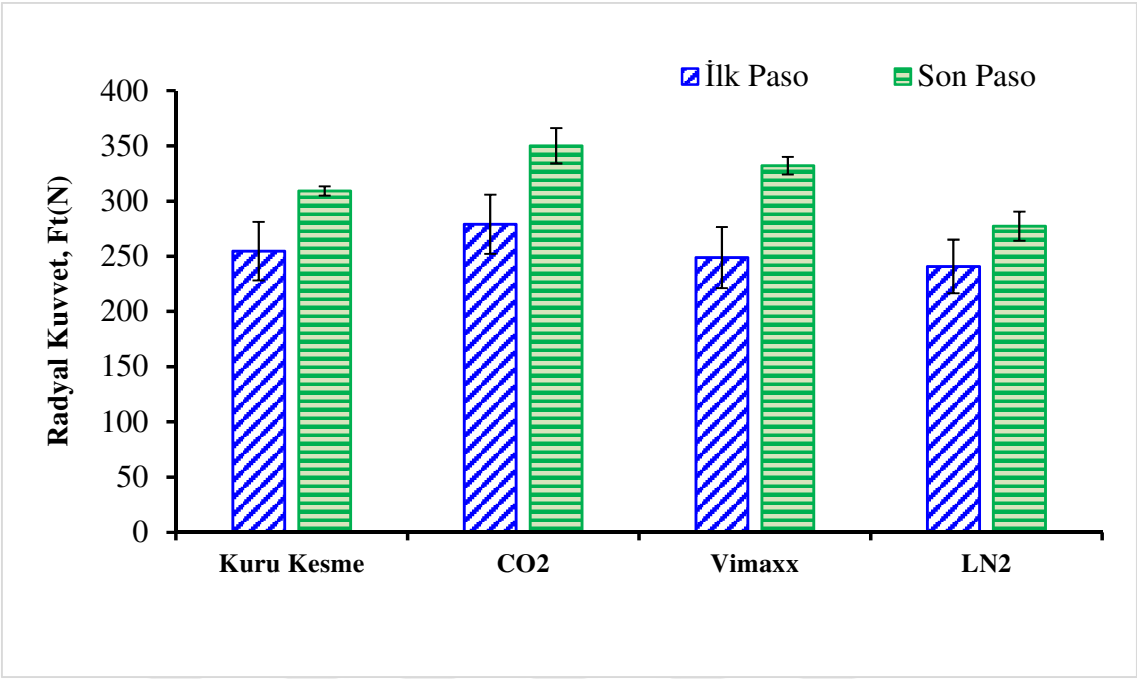
ölçülen kesme kuvvetlerine nazaran daha büyük olarak ölçülmüştür. Ancak burada vurgulanması gereken önemli bir husus ise, hemen hemen tüm kesme koşullarında, düşük kesme hızına nazaran, yüksek kesme hızında ilk paso ile son paso arasındaki kuvvet farklılıkları düşük kesme hızına göre nispeten daha küçük olmuştur.



Şekil 3.34 240 m/dk'da ölçülen Radyal Kuvvetler

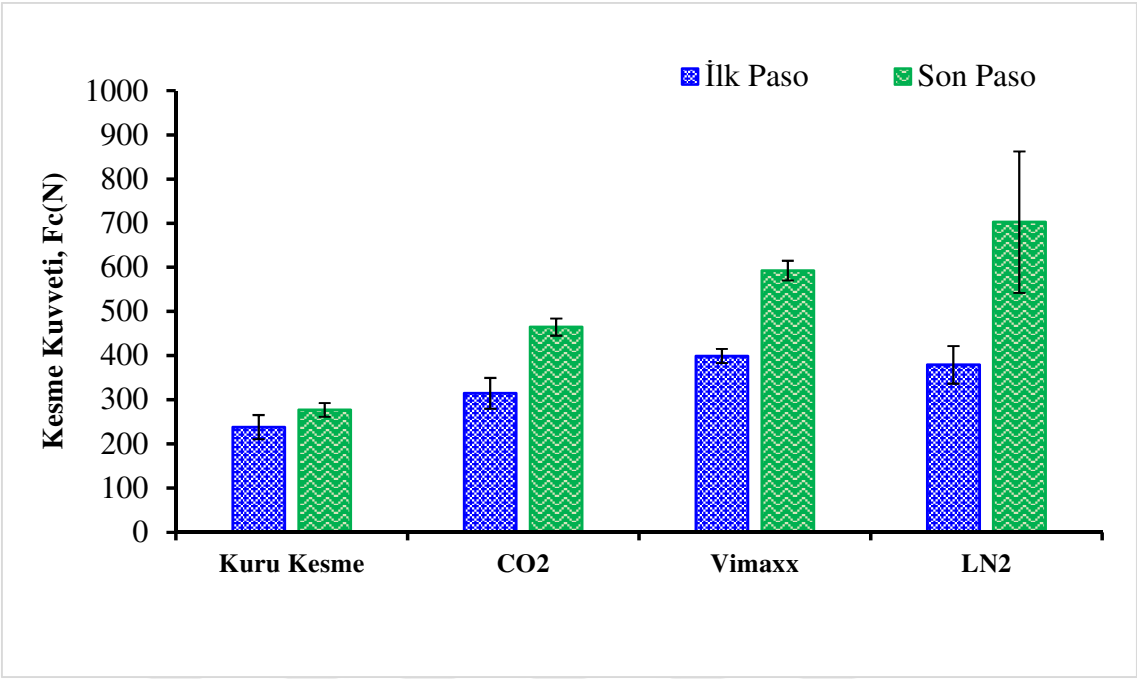
Radyal kuvvetlerin deneysel çalışmadaki en yüksek kesme hızı olan 300 m/dk kesme hızında farklı kesme koşullarındaki davranışları Şekil 3.35'de sunulmuştur. Genel eğilimin yüksek kesme hızında da değişmediği görülmektedir. En yüksek kuvvetlerin karbondioksit ve hava ile soğutmada ölçüldüğü en düşük kuvvetlerin ise sıvı azot ile talaş kaldırma operasyonunda elde edildiği görülmektedir.

Radyal kesme kuvvetleri kesici takım burun aşınması ile ilişkilendirilebilecek kuvvetlerdir. Ancak bir önceki bölümde sunulan burun aşınma değerlerindeki artış ile bu bölümde sunulan radyal kuvvetleri arasında doğrudan bir ilişki tespit edilememiştir. Kesici takım aşınma değerlerine göre en fazla aşınmalar kriyojenik koşullarda elde edilmiş olmasına rağmen en düşük radyal kesme kuvvetleri de yine sıvı azot koşulunda ölçülmüştür.



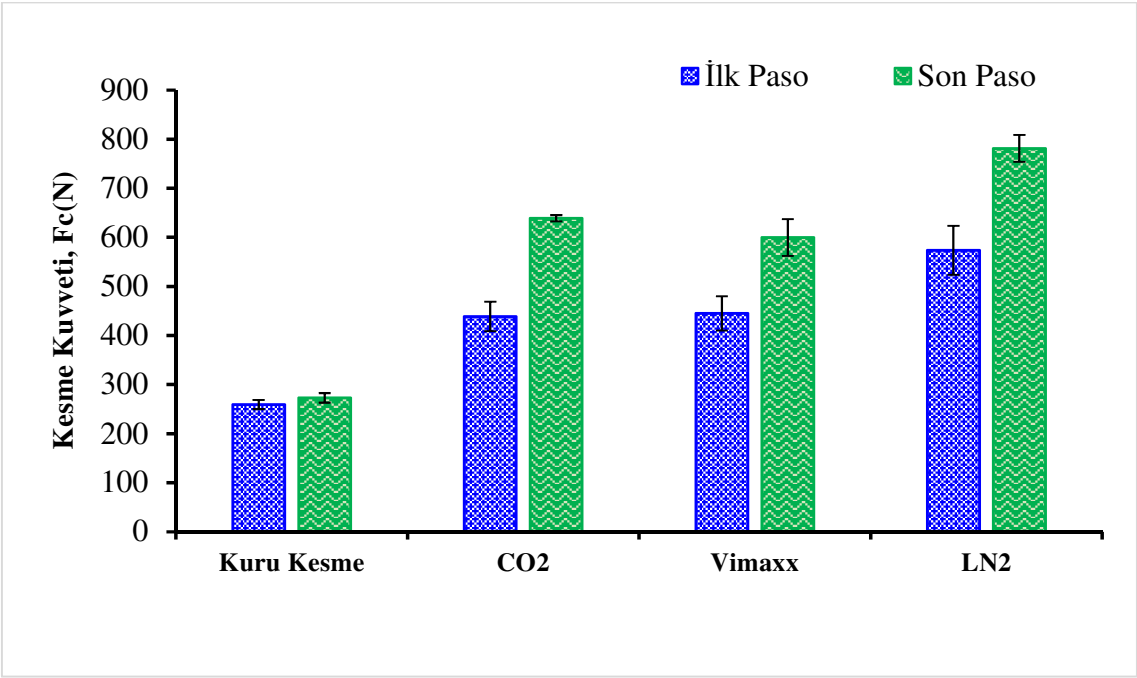
Şekil 3.35 300 m/dk'da ölçülen Radyal Kuvvetler

Farklı kesme hızlarında kuru kesme, karbondioksit ile kesme, sıvı azot ile kesme ve soğuk hava koşulunda kesmede takım ömrü süresince ölçülen ana kesme kuvvetlerinin ilk ve son pasolardaki değerleri Şekil 3.36 ile 3.38 arasında sunulmuştur. Şekil 3.36'da 180 m/dk kesme hızında ilk ve son pasolarda ölçülen ortalama kesme kuvvetleri görülmektedir. En düşük kesme kuvvetleri kuru kesmede ölçülmüş olup, bunu karbondioksit, hava ile soğutma ve sıvı azot takip etmiştir. Dolayısı ile en yüksek kesme kuvvetleri sıvı azot ile yapılan talaş kaldırma sürecinde ölçülmüştür. İlk pasolarda ölçülen kesme kuvvetleri ile son pasolarda ölçülen kesme kuvvetleri aynı grafikte karşılaştırıldığında ise net olarak elde edilen sonuç; son pasolarda ölçülen kesme kuvvetleri her zaman ilk pasoda ölçülen kesme kuvvetlerinden çok daha büyük olmuştur. Özellikle kuru kesme ile sıvı azot ile kesme kıyaslandığında son pasolarda oldukça önemli farklılıklar elde edilmiştir. Örneğin kuru kesmede son pasoda ölçülen ortalama kesme kuvveti 277 N olurken, sıvı azot ile talaş kaldırmada son pasoda ölçülen kesme kuvvetinin yaklaşık olarak 702 N olduğu görülmektedir ki bu değer yaklaşık olarak % 153 artışa tekabül etmektedir. Kuru kesme referans alındığında karbondioksitte artış % 68, hava ile soğutmada son pasodaki artış ise yaklaşık olarak %114'e yakın olmaktadır.



Şekil 3.36 180 m/dk'da ölçülen Kesme Kuvvetler

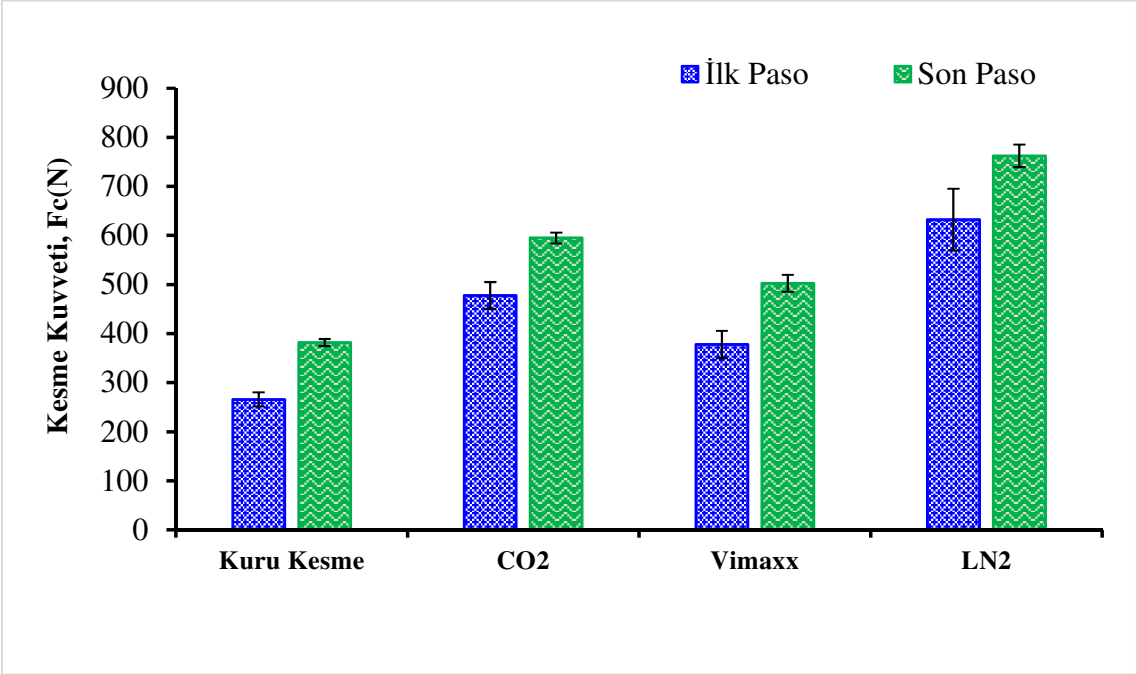
Şekil 3.37'de farklı kesme koşullarında 240 m/dk kesme hızında yapılan takım ömrü testlerinde ilk ve son pasoda ölçülen kesme kuvvetleri sunulmuştur. Bu sonuçlarda 180 m/dk kesme hızında elde edilen sonuçlarla benzer eğilimi göstermektedir.



Şekil 3.37 240 m/dk'da ölçülen Kesme Kuvvetler

Burada da en düşük kesme kuvvetleri kuru kesmede meydana gelirken en yüksek kesme

kuvvetleri ise sıvı azot ile yapılan talaş kaldırma testlerinde ölçülmüştür. Vurgulanması gereken diğer bir husus ise bu kesme hızında ilk paso ile son paso arasındaki farklılıklar bir önceki şekilde sunulan 180 m/dk kesme hızındaki farklılıklara nazaran daha azdır. En yüksek kesme hızı olan 300 m/dk kesme hızında ilk ve son pasolarda ölçülen kesme kuvvetleri değerleri Şekil 3.38'de sunulmuştur. Düşük kesme hızlarına nazaran bu kesme hızında kuru kesme koşulunda ilk ve son paso arasındaki kesme kuvveti farklılığının çok daha belirgin olduğu görülmektedir. Diğer taraftan hava ile soğutmada ölçülen kesme kuvvetlerinin karbondioksit ve sıvı azot ile ölçülen kesme kuvvetlerine nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak değişmeyen üç önemli sonuç ise en düşük kesme kuvvetleri kuru kesmede ölçülmesi, en yüksek kesme kuvvetlerinin sıvı azot ile talaş kaldırmada ölçülmesi ve son pasoda ölçülen kesme kuvvetlerinin ilk pasoda ölçülen kesme kuvvetlerine nazaran daha büyük olmasıdır.

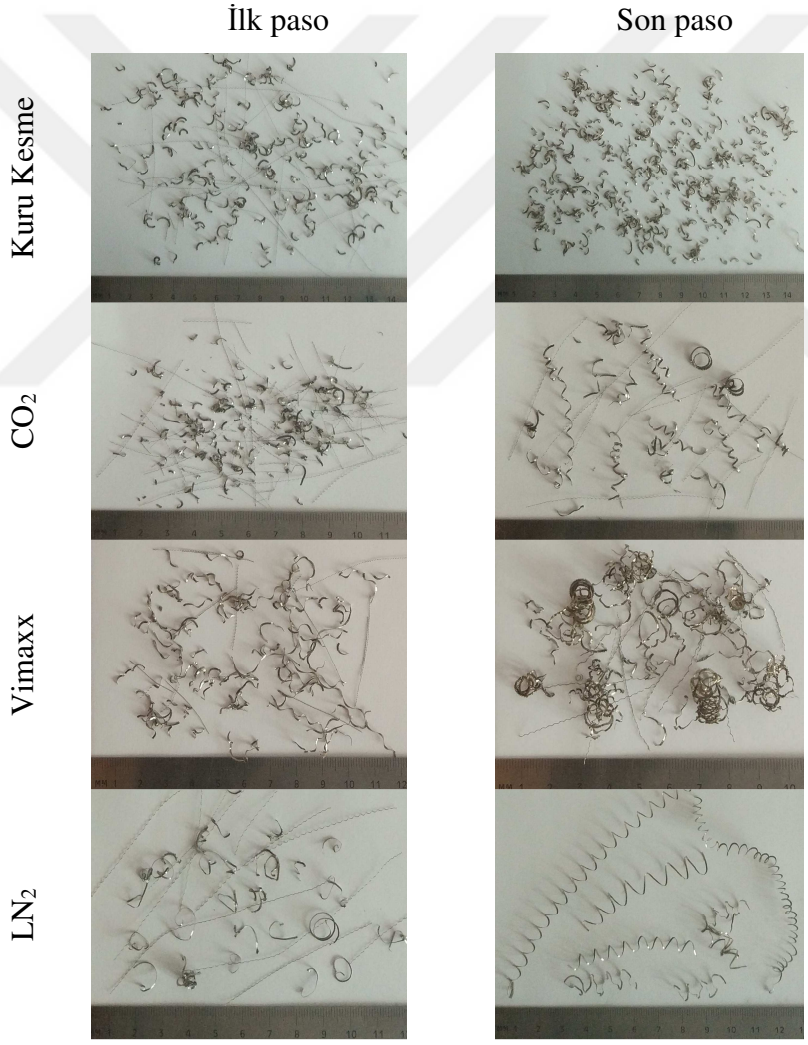


Şekil 3.38 300 m/dk'da ölçülen Kesme Kuvvetler

Sonuç olarak kesici takımlarda meydana gelen aşınma kesme kuvvetlerini kayda değer ölçüde etkilemiştir. Artan aşınma ile birlikte kesme kuvvetlerinde de artışlar meydana gelmiştir. Bu durum özellikle düşük kesme hızlarında daha belirgin olmuştur. Kuru kesme en düşük kesme kuvvetlerini oluştururken sıvı azot ile en büyük kesme kuvvetlerinin oluşumuna neden olmuştur ki bu durumda yine ölçülen aşınma miktarları ile orantılı ve uyumludur.

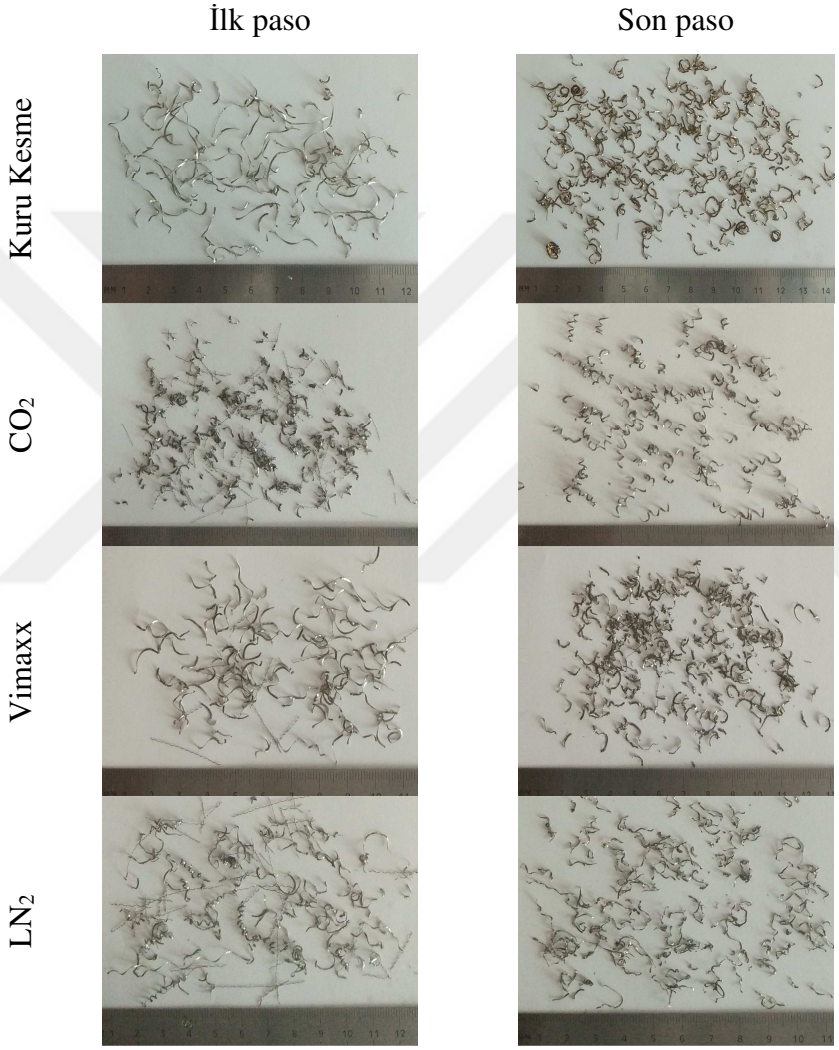
3.5 Talaş Kırılabilirliği

Kesme hızı 180 m/dk olduğu durumlarda yapılan deneylerin ilk ve son pasolarında elde edilen talaşların fotoğrafları Şekil 3.39'da verilmiştir. Talaşların kırılabilirliği değerlendirildiğinde özellikle kuru kesmede ve karbondioksit yardımıyla yapılan talaş kaldırma testlerinde talaşların kısa boyutlarda kırıldığı görülmektedir. Soğuk hava ve sıvı azot ile yapılan testlerde de özellikle ilk pasolarda talaşların nispeten kısa boylarda kırıldığı gözlemlenirken, özellikle bu koşullarda son pasolarda elde edilen talaşların uzun ve kıvrımlı oldukları görülmektedir. Bu koşullarda artan takım aşınması kararsız geometrili ve uzun talaşların oluşumuna neden olmuştur.



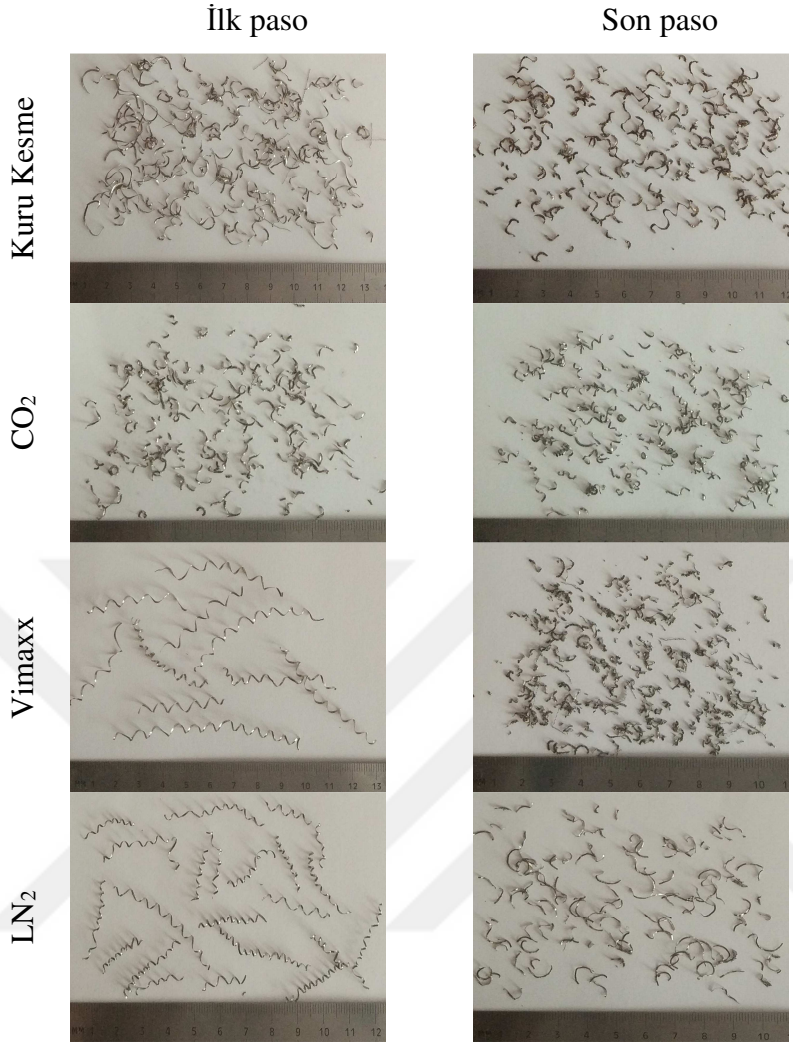
Şekil 3.39 V_c = 180 m/dk kesme hızında ilk ve son pasolarda oluşan talaşlar

Kesme hızı 240 m/dk olduğu durumlarda yapılan deneylerin ilk ve son pasolarında elde edilen talaşların fotoğrafları Şekil 3.40'da verilmiştir. Kuru kesme, CO_2, Vimaxx ve LN_2 ile yapılan deneylerde tüm pasolarda talaş kırılabilirliği makul düzeyde meydana gelmiştir. Özellikle bu hızda ilk ve son paso arasında talaş kırılabilirliği açısından bir önceki hıza nazaran önemli farklılıklar meydana gelmemiştir. Genel olarak kırılabilir ve makul boyutlarda talaşlar elde edilmiştir.



Şekil 3.40 V_c = 240 m/dk kesme hızında ilk ve son pasolarda oluşan talaşlar

Kesme hızı 300 m/dk olduğu durumlarda yapılan deneylerin ilk ve son pasolarında elde edilen talaşların fotoğrafları Şekil 3.41'de verilmiştir. Yapılan deneylerin ilk pasolarında LN_2 ve hava soğutma koşulunda, diğer koşullara nazaran talaşlar daha uzun boyutlardadır. Ancak son pasolarda tüm koşullarda talaşların küçük boyutlarda kırılabildiği görülmektedir.

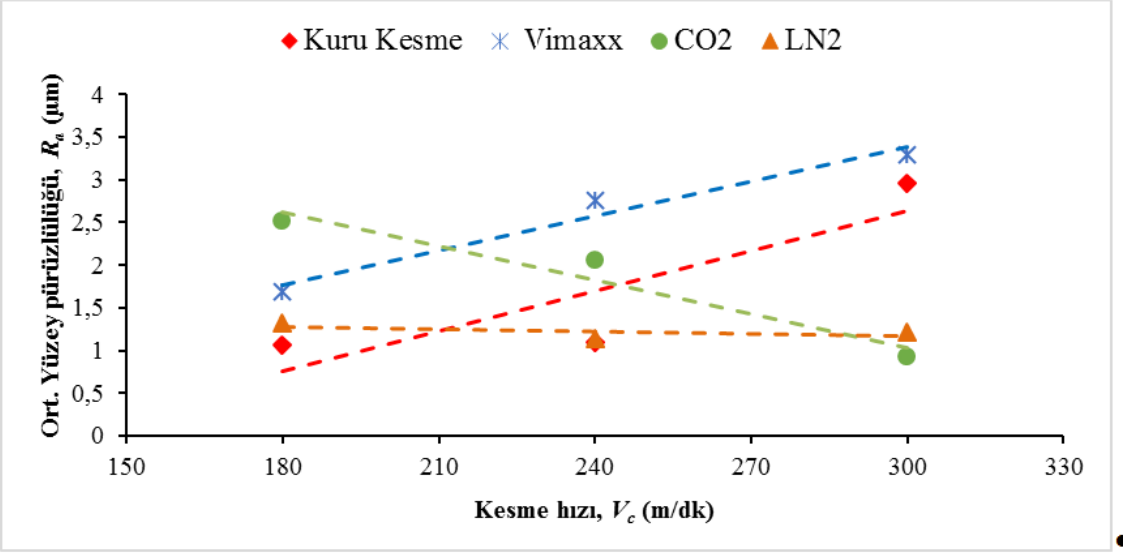


Şekil 3.41 V_c= 300 m/dk kesme hızında ilk ve son pasolarda oluşan talaşlar

Inconel 718 özellikle pekleşme kabiliyeti olan bir alaşım olup, endüstriyel uygulamalarda talaş kırılabilirliği sorun olarak değerlendirilebilmektedir. Yapılan bu çalışmada farklı kesme hızlarında ve kesme koşullarında talaşların genel olarak kırılabilir ve makul boyutlarda olduğu görülmüştür. Ancak altı çizilmesi gereken bir husus ise özellikle kuru kesme de ve karbondioksit ile işlemede talaşların boyutlarının hem ilk pasoda hem de son pasoda küçük olduğu bu durumda talaş kırılabilirliği açısından bu iki koşulun tercih edilebilir olduğu değerlendirilmektedir.

3.6 Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları

İş parçasının 3 farklı kesme hızı ve 4 farklı kesme koşulunda işlenmesi sonucunda işlenen yüzeyin aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri Şekil 3.42'de verilmiştir.180 m/dk'lık kesme hızında en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 2,5 µm ile CO_2 koşulunda ölçülmüştür. Aynı hızda Vimaxx ile soğutmada yüzey pürüzlülüğü değeri 1,6 µm ölçülürken LN_2 koşulunda 1,4 µm ölçülmüştür. Bahsi geçen kesme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 1µm ile kuru kesme koşulunda meydana gelmiştir. Kuru kesme ve LN_2 koşulundaki yüzey pürüzlülük değerleri 240 m/dk'lık kesme hızına kadar bir değişim göstermemiş ve kesme hızı 300 m/dk'ya geldiğinde sadece kuru kesmede yüzey pürüzlülük değeri %125 artış göstermiştir.



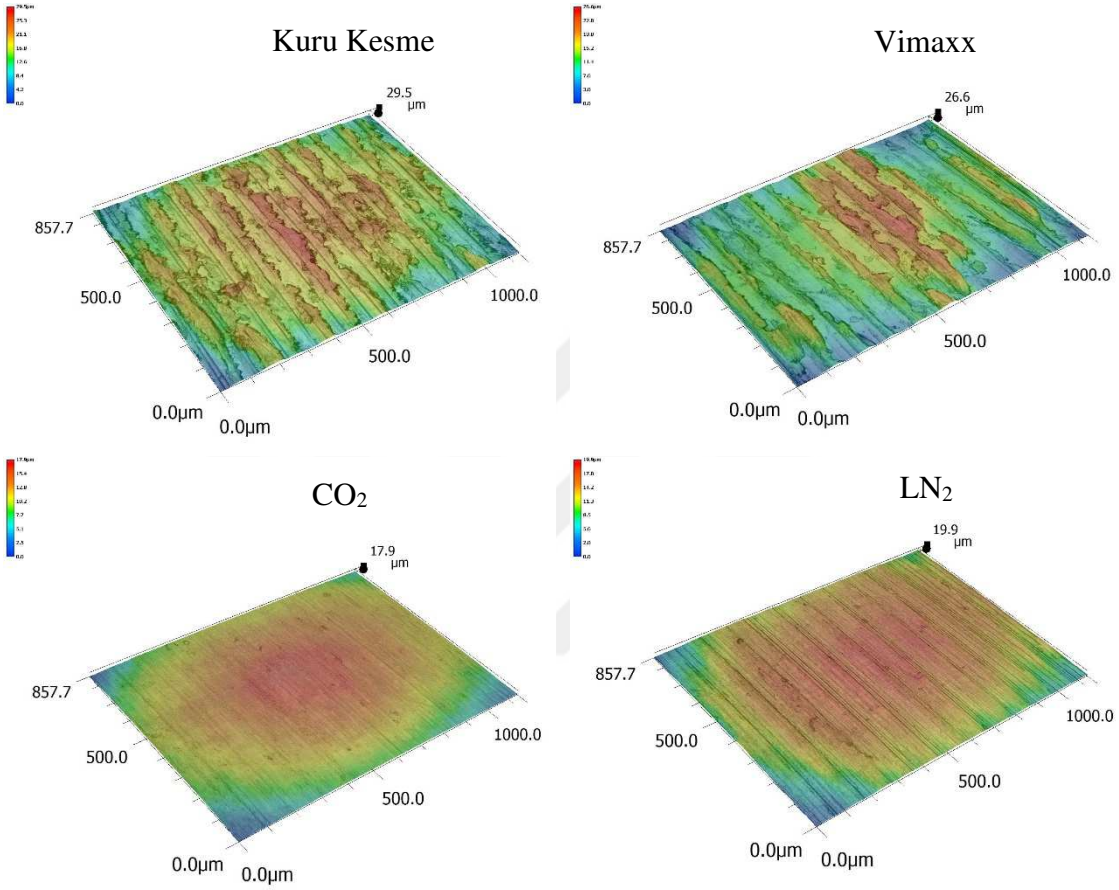
Şekil 3.42 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm grafiği

Hava ile soğutma yapılan durumda ise yüzey pürüzlülük değeri kesme hızı 240 m/dk olduğunda % 60, kesme hızı 300 m/dk olduğu durumda ise %20 artış göstermiştir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinde en büyük iyileşmenin görüldüğü CO_2 kullanılan durumda ise kesme hızı 240 m/dk olduğundan yüzey pürüzlülük değeri %25'lik bir düşüş göstermiştir ve kesme hızı 300m/dk olduğunda %100'lük bir azalış meydana getirerek bu hızdaki en düşük yüzey pürüzlülük değeri olmuştur.

Hava soğutma ve kuru kesmede yüzey pürüzlülük değerleri artan kesme hızıyla artış gösterme eğiliminde iken, CO_2 ve LN_2 ile soğutmada tam tersi bir eğilim görülmektedir.

Şekil 3.43'de 300 m/dk kesme hızında ve farklı kesme koşullarında oluşan yüzey topografi

görüntüleri sunulmuştur. Yüzey topografi görüntüleri pürüzlülük cihazı ile ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerini destekler şekilde olmuştur. Kuru kesme ve Vimaxx ile kesme koşullarında yüzeylerde malzeme yapışması meydana gelmiştir. Kriyojenik kesme koşulları olan karbondioksit yardımlı kesme koşulu ile sıvı azot yardımlı kesme koşullarında malzemenin yüzeye yapışması olayı gözlemlenmemiştir.

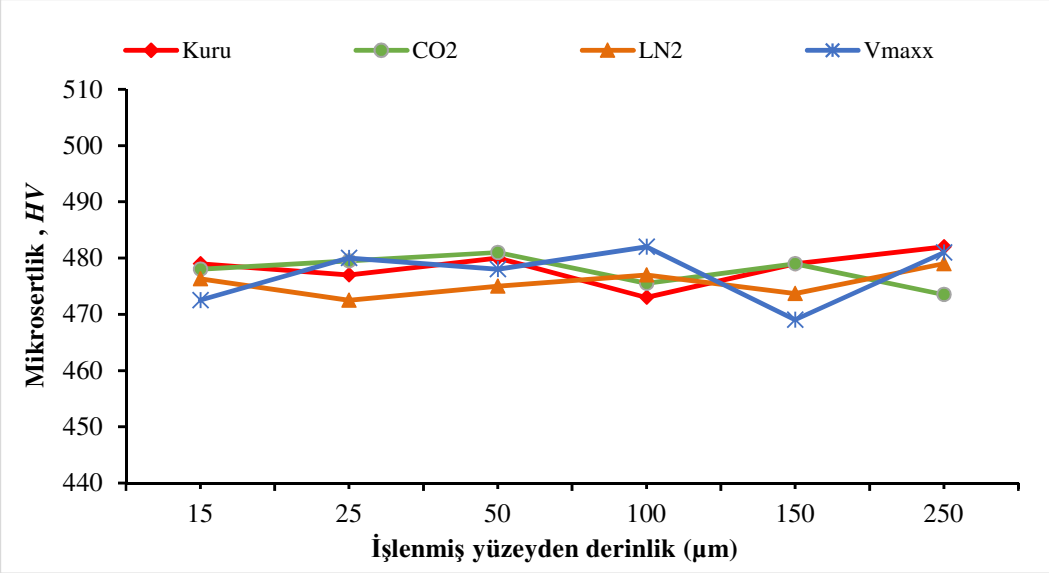


Şekil 3.43. 300 m/dk kesme hızında farklı koşullarda oluşan yüzey topografi görünleri

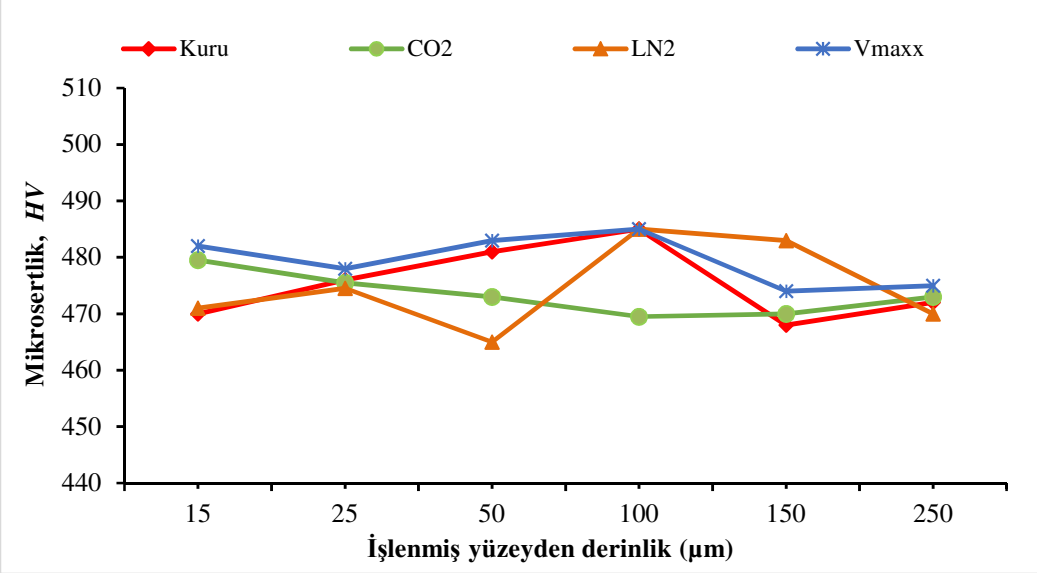
3.7 Mikrosertlik Ölçümü ve XRD Analizi

Şekil 3.44'de 180 m/dk kesme hızında yapılan talaş kaldırma operasyonları sonrasında işlenmiş yüzeyin altında kalan alandaki sertlik değerleri sunulmuştur. İşlenmiş yüzeyin hemen altından (15 µm) ölçülmeye başlanılan sertlik değerleri yüzeyden itibaren 250 µm derinliğe kadar ölçülmüştür. Sertlik izleri 50gr yük altında 15 saniye süre ile oluşturulmuştur. Grafiğe baktığımızda tüm kesme koşullarında yüzeyden itibaren sertlik değerleri malzemenin işlem görmemiş halindeki sertlik değerleri sınırları içerisinde çıkmıştır. Buradan talaşlı imalat testlerinin yüzey altı sertlik değerlerinde bir değişime

sebebiyet vermediği görülmektedir. Aynı durum Şekil 3.45'de gösterilen grafikte 300 m/dk kesme hızında yapılan talaşlı imalat testleri içinde geçerli olmuştur. Grafikte görüldüğü üzere kesme hızının artması yüzey altı sertlik değerlerinde kayda değer değişime sebep olmamıştır. Sertlik değerleri malzemenin işlem görmemiş halindeki sertlik değerleri arasında(470-480 *HV*) çıkmıştır. 180 m/dk ve 300 m/dk kesme hızlarında işlenmiş yüzeyin altında kalan alandaki sertlik değerlerinde bir değişim olmamıştır.



Şekil 3.44 180 m/dk kesme hızında farklı koşullardaki yüzey altı mikrosertlik değerleri

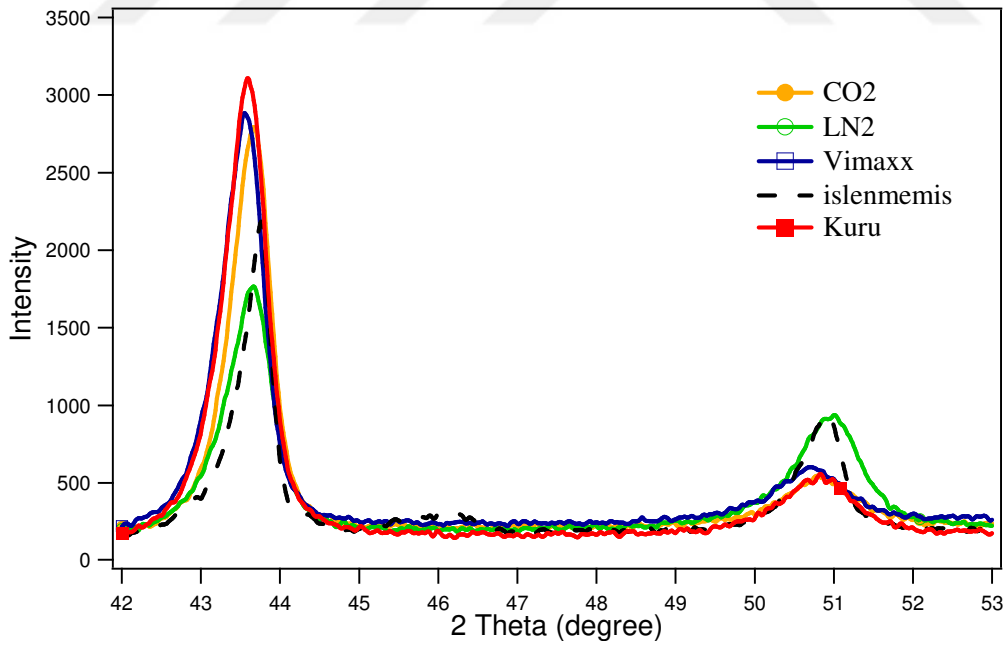


Şekil 3.45 300 m/dk kesme hızında farklı koşullardaki yüzey altı mikrosertlik değerleri

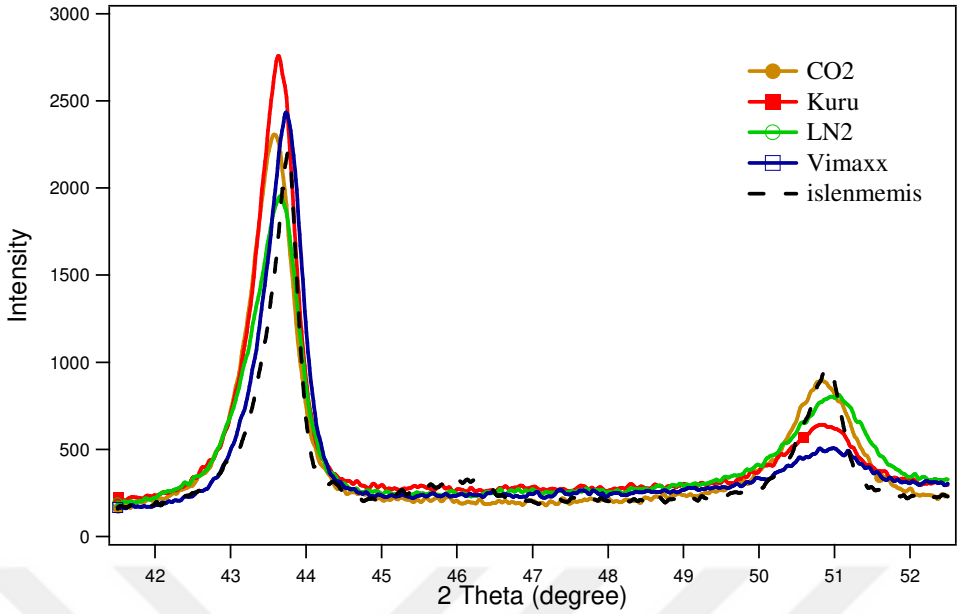
Talaşlı imalat sonrası talaş kaldırılan yüzeyde tane küçülmeleri, faz değişimleri, işlenmiş yüzeyden derinlere inildikçe malzemenin sertliğinde artış ya da azalış yüzey bütünlüğü

karakteristikleri açısından malzemelerde görülebilen değişimlerdir. Malzemenin işlenmiş yüzeyinde meydana gelen olası faz dönüşümleri ve sertliklerindeki artış/azalış gibi olayların yorumlanmasında XRD analizi kullanılan bir yöntemdir.

Şekil 3.46'da 180 m/dk kesme hızında farklı koşullarında talaş kaldırılan Inconel 718 malzemelerin faz dönüşüm analizleri sunulmuştur. Şekilde de görüleceği üzere işlenmemiş malzemenin pik şiddetiyle kıyaslandığında LN_2 kesme koşullarında şiddetlerde azalış meydana gelmişken, diğer koşullarda artış olmuştur. En çok pik şiddeti kuru kesme koşulunda meydana gelirken, en düşük pik LN_2 kesme koşulunda oluşmuştur. İşlenmemiş malzemedeki pik ile kıyaslandığında diğer koşullardaki piklerde genişlemelerin meydana geldiği açıktır. Bu durum işlenen yüzeyde ve yüzeyin hemen altındaki gerilmeler sonucunda mikro yapıda meydana gelen değişimler sonucunda oluşmuştur. Ancak talaşlı imalat sonrasında belirgin bir faz dönüşümü meydana gelmemiştir. Farklı kesme koşullarında 300 m/dk kesme hızında işlenen Inconel 718 malzemesinin XRD analizi Şekil 3.47' de gösterilmiştir. İşlenmemiş malzeme XRD analizi ile kıyaslandığında işlenmiş malzemelerde kısmi olarak pik şiddetlerinde artış görülmektedir.



Şekil 3.46 180 m/dk kesme hızı ve farklı kesme koşullarında talaş kaldırılan Inconel 718 malzemesinin XRD faz dönüşüm analizi



Şekil 3.47 300 m/dk kesme hızı ve farklı kesme koşullarında talaş kaldırılan Inconel 718 malzemesinin XRD faz dönüşüm analizi

Burada tek farklı davranış gösteren sıvı azot ile işlenen koşul olmuştur. Bu koşulda işlenmiş yüzeyin XRD analizinde ana faz pikinin şiddetinde işlenmemiş malzemenin pikine nazaran kısmi bir azalma söz konusudur. İşlenmiş yüzeylerle işlenmemiş malzemenin yüzeyi arasında bu kesme hızında da belirgin bir farklılık söz konusu olmamıştır. Yapılan XRD analizlerinde hem en düşük kesme hızı olan 180 m/dk hem de en yüksek kesme hızı olan 300 m/dk kesme hızlarında herhangi bir faz dönüşümü olmadığı ancak bunun yanında yüzeye çok yakın bölgede deformasyon sonucu malzemelerin mikroyapılarında dislokasyon yoğunluğundaki değişim sonucu pik şiddet ve genişliklerinde kısmi değişimler olduğu görülmektedir.

Inconel 718 malzemesinin farklı koşullar altında işlenmesiyle işlenen parçanın yüzey ve yüzeyaltında ölçülen yüzey bütünlüğü karakteristiklerinde kayda değer değişimlerin olmadığı dolayısı ile işlenen parçaların talaşlı imalat sürecinden kaynaklı mikroyapılarında değişim/dönüşümün olmadığı yapılan bu çalışma ile ortaya konmuştur.

4. SONUÇLAR

Talaşlı imalat sürecinde kesici takım performansının iyileştirilmesine yönelik yeni stratejilerin araştırılması başlıklı çalışma ile su sonuçlar elde edilmiştir;

Tüm kesme hızlarında ölçülen en düşük sıcaklıklar kriyojenik koşullarında görülürken, en yüksek sıcaklılarda ise genel eğilim olarak kuru kesme koşunda olmaktadır.

Ölçülen serbest yüzey aşınmalarında tüm kesme hızlarında en yüksek aşınma değerleri LN_2 yardımlı soğutma deneylerinde görülmüştür. Bunun nedeni ise; artan kesme hızının etkisinden dolayı kesme sıcaklıklarının kesme bölgesinde yükselmesiyle eş zamanlı olarak uygulanan sıvı azotun kesme bölgesini soğutmaya çalışması ısıl farklılıkların oluşmasını ve termal gerilmelerin artışına neden olmaktadır. En düşük serbest yüzey aşınmaları ise kuru kesme koşulunda görülmektedir.

Kesici takımdaki burun aşınmaları bulgularında ise; en az aşınma kuru kesme koşulunda ve en fazla aşınma kriyojenik kesme koşullarında görülmektedir.

Çentik aşınması eğilimleri incelendiğinde, tüm kesme hızlarında en yüksek aşınmanın LN_2 yardımlı soğutma ile kesme koşulunda olduğu görülürken, kuru kesmenin diğer kesme koşullarına göre daha az aşınma eğiliminde olduğu görülmektedir.

SEM görüntüleri ile de desteklenen EDS analizlerinde kuru kesme, Vimaxx ile soğutma ve LN_2 ile soğutma koşullarında iş parçasının SiC_W takviyeli alümina kesici uçağa yoğun olarak sıvandığı, CO_2 yardımlı soğutma koşulunda iş parçasının kesici uçta sıvanmanın kayda değer olmayacak seviyede kaldığı görülmektedir.

Ölçülen radyal kuvvet değerlerine tüm kesme hızlarındaki genel eğilime göre en yüksek radyal kuvvetlerin hava ile soğutmada görülürken en düşük radyal kuvvetler kriyojenik kesme koşullarında görülmüştür. Aşınma arttıkça da kuvvetlerde artış görülmektedir.

Kesme kuvveti incelendiğinde ise;en düşük kesme kuvvetlerinin kuru kesme koşulunda olduğu görülürken, en yüksek kesme kuvvetleri LN_2 kullandığında görülmüştür. Yine radyal kuvvetlerde olduğu gibi, aşınmanın artmasıyla kesme kuvvetlerinde artış görüşmüştür.

Talaş kırılabilirlikleri incelendiğinde, kuru kesme ve CO_2 koşulunda talaş kırılma problemi ile karşılaşılmamış olup, diğer koşularda ise kesme hızı arttıkça talaşların daha

iyi kırıldığı görülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğü bulguları incelendiğinde; hava ile soğutma ve kuru kesme koşulunda, artan kesme hızıyla birlikte pürüzlülük değerlerinin artış gösterdiği, CO_2 ve LN_2 ile soğutmada ise tam tersi bir eğilim görülmektedir.

İşlenmiş yüzeyin altında kalan alandaki mikro sertlik değerlerinde kayda değer bir değişim görülmemiştir.

Parçanın yüzey ve yüzey altında ölçülen yüzey bütünlüğü karakteristiklerinde kayda değer değişimlerin olmadığı dolayısı ile işlenen parçaların talaşlı imalat sürecinden kaynaklı mikro yapılarında dönüşümün olmadığı yapılan bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Deneyler sonucunda, işlenebilirlik açısından diğer koşullarla karşılaştırıldığında kuru kesme koşulunda en iyi sonuçlara ulaşılırken, sıvı azot kullanıldığında seramik kesici uç performansının hızla azalması sonucu işlenebilirliğin azaldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Handbook, A., *Volume 16: Machining*. ASM International Handbook Committee, ASM International, Electronic, 1989.
2. Smith, G.T., *Cutting tool technology: industrial handbook*. 2008: Springer Science & Business Media.
3. Reed, R.C., *The superalloys: fundamentals and applications*. 2008: Cambridge university press.
4. Ezugwu, E., Z. Wang, ve A. Machado, *The machinability of nickel-based alloys: a review*. Journal of Materials Processing Technology, 1999. **86**(1): p. 1-16.
5. Miller, S., *Advanced materials mean advanced engines*. Interdisciplinary Science Reviews, 1995. **20**(4): p. 117-129.
6. Ezugwu, E., *Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2005. **45**(12): p. 1353-1367.
7. Choudhury, I. ve M. El-Baradie, *Machinability of nickel-base super alloys: a general review*. Journal of Materials Processing Technology, 1998. **77**(1): p. 278-284.
8. Kaynak, Y., *Evaluation of machining performance in cryogenic machining of Inconel 718 and comparison with dry and MQL machining*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014. **72**(5-8): p. 919-933.
9. Kalpakjian, S. ve S.R. Schmid, *Manufacturing engineering and technology*. 2014: Pearson Upper Saddle River, NJ, USA.
10. Groover, M.P., *Principles of Modern Manufacturing: SI Version*. 2013: Wiley.
11. Zhu, D., X. Zhang, ve H. Ding, *Tool wear characteristics in machining of nickel-based superalloys*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2013. **64**: p. 60-77.
12. Brandt, G., A. Gerendas, ve M. Mikus, *Wear mechanisms of ceramic cutting tools when machining ferrous and non-ferrous alloys*. Journal of the European Ceramic Society, 1990. **6**(5): p. 273-290.
13. Richards, N. ve D. Aspinwall, *Use of ceramic tools for machining nickel based alloys*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1989. **29**(4): p. 575-588.
14. Bhattacharyya, S., ve ark. , *Wear mechanisms of Syalon ceramic tools when machining nickel-based materials*. Metals Technology, 1983. **10**(1): p. 482-489.
15. Jeitschko, W., ve ark. , *Handbook of ceramic hard materials*. 2000.
16. Zheng, G.M., ve ark. . *Ultra high speed turning of Inconel 718 with Sialon ceramic tools*. in *Advanced Materials Research*. 2010. Trans Tech Publ.
17. Sahin, O., ve ark. , *Dynamic hardness and elastic modulus calculation of porous SiAlON ceramics using depth-sensing indentation technique*. Journal of the European Ceramic Society, 2008. **28**(6): p. 1235-1242.
18. Li, P., *An experimental and analytical investigation of tool-wear/tool-life in machining with grooved tools*. 1998.
19. Sciences, A.d., *Histoire de l'Académie Royale des Sciences: avec les mémoires de mathématique et de physique pour la même année: tirés des registres de cette Académie*. 1757: DuPont.
20. Coulomb, C., *Mémoires de Mathématiques et de Physique, présentes à l'Acadàmie Royale des Sciences par divers Savants et lus dans ses Assemblées.*

1776.
21. Shaw, M.C., A. Ber, ve P.A. Mamin, *Friction characteristics of sliding surfaces undergoing subsurface plastic flow*. Journal of Basic Engineering, 1960. **82**(2): p. 342-345.
22. Grzesik, W., *Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications*. 2008: Elsevier.
23. Zorev, N., *Inter-relationship between shear processes occurring along tool face and shear plane in metal cutting*. International research in production engineering, 1963. **49**: p. 42-49.
24. Özel, T. ve T. Altan, *Determination of workpiece flow stress and friction at the chip–tool contact for high-speed cutting*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2000. **40**(1): p. 133-152.
25. Shaw, M.C. ve J. Cookson, *Metal cutting principles*. Vol. 2. 2005: Oxford university press New York.
26. Coromant, S., *Metalcutting technical guide*. Turning Tools, Sweden, 2005.
27. Bhattacharyya, A., *Metal cutting: theory and practice*. 1984: Jamini Kanta Sen of Central Book Publishers.
28. Boothroyd, G., *Fundamentals of metal machining and machine tools*. Vol. 28. 1988: Crc Press.
29. Cook, N.H., *Tool wear and tool life*. Journal of Engineering for Industry, 1973. **95**(4): p. 931-938.
30. Altin, A., M. Nalbant, ve A. Taskesen, *The effects of cutting speed on tool wear and tool life when machining Inconel 718 with ceramic tools*. Materials & design, 2007. **28**(9): p. 2518-2522.
31. Wayne, S. ve S.-T. Buljan, *Wear of ceramic cutting tools in Ni-based superalloy machining*. Tribology transactions, 1990. **33**(4): p. 618-626.
32. Stephenson, D.A. ve J.S. Agapiou, *Metal cutting theory and practice*. 2016: CRC press.
33. Narutaki, N., ve ark. , *High-speed machining of Inconel 718 with ceramic tools*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 1993. **42**(1): p. 103-106.
34. Pusavec, F., ve ark. , *Surface integrity in cryogenic machining of nickel based alloy—Inconel 718*. Journal of Materials Processing Technology, 2011. **211**(4): p. 773-783.
35. Metals, S., *Inconel alloy 718*. Publication Number SMC-045. Special Metals Corporation, 2007.
36. Slama, C. ve M. Abdellaoui, *Structural characterization of the aged Inconel 718*. Journal of alloys and compounds, 2000. **306**(1-2): p. 277-284.
37. Keller, B.P., ve ark. , *Total hemispherical emissivity of Inconel 718*. Nuclear Engineering and Design, 2015. **287**: p. 11-18.
38. Mamedov, A., *CNC ile talaşlı işlemede kuvvet ve titreşim ölçümü*.
39. Ezugwu, E., ve ark. , *Machining of nickel-base, Inconel 718, alloy with ceramic tools under finishing conditions with various coolant supply pressures*. Journal of Materials Processing Technology, 2005. **162**: p. 609-614.
40. Chow, C. *Investigation on the cutting performance of silicon nitride ceramic tools*. in *Preprints of Papers of Int. Conf. on Manufacturing Engineering, held in Melbourne, 1980*. 1980.
41. Baker, R.D. *High-velocity cutting tools: application guidelines*. in *National Machine Tool Builder's Assoc. Technical Conference*. 1982.

42. Ghosh, R., Z. Zurecki, ve J.H. Frey. *Cryogenic machining with brittle tools and effects on tool life*. in *ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 2003. American Society of Mechanical Engineers.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Coşkun Anıl BOZKURT

Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL / 22.07.1991

E-Posta: coskunanilbozkurt@gmail.com

Eğitim:

2005-2009 Lise

Özel Darüşşafaka Lisesi

2009-2014 Lisans

Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

2015-2016 Yüksek Lisans Erasmus Eğitim Hareketliliği

HAW Hamburg Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Uçak Müh. Bölümü

2014-…… Yüksek Lisans

Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Böl.

Yabancı Dil: İngilizce, Almanca

İş Tecrübesi:

11.2016-…. Sandvik COROMANT

Özel Takımlar Yardımcı Mühendis