

Ti6Al4V Alaşımının Buzul İşlem Uygulanmış WC-Co Karbür Takımlar ile Talaşlı
İmalatının İyileştirilmesi

Abdullah Sert

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2017

Improving Machinability of Ti6Al4V Alloy with Cryogenic Process Applied WC-Co
Cemented Carbide Tool

Abdullah Sert

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mechanical Engineering

May 2017

Ti6Al4V Alaşımının Buzul İşlem Uygulanmış WC-Co Karbür Takımlar ile Talaşlı
İmalatının İyileştirilmesi

Abdullah Sert

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon - İmalat Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Osman Nuri Çelik

Bu Tez Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından 2015/15001 no'lu proje çerçevesinde desteklenmiştir.

Mayıs 2017

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Abdullah Sert'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Ti6Al4V Alaşımının Buzul İşlem Uygulanmış WC-Co Karbür Takımlar ile Talaşlı İmalatının İyileştirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Osman Nuri elik

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Osman Nuri elik

Üye : Prof. Dr. Nejat Kıracı

Üye : Prof. Dr. Vural Ceyhun

Üye : Prof. Dr. Alpagut Kara

Üye : Prof. Dr. Mustafa Anık

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŐAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Osman Nuri Çelik danışmanlığında hazırlamış olduğum “Ti6Al4V Alaşımının Buzul İşlem Uygulanmış WC-Co Karbür Takımlar ile Talaşlı İmalatının İyileştirilmesi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 22/05/2017

Abdullah Sert

İmza

ÖZET

Titanyum alaşımları sahip oldukları yüksek dayanım/ağırlık oranını yüksek sıcaklıklarda koruyabilen ve yüksek korozyon direnci yönleriyle havacılık ve medikal sektörlerinde geniş kullanım alanına sahip malzemelerdir. Titanyum alaşımlarının düşük elastisite modülü ve kimyasal yatkınlık özelliklerinden dolayı talaşlı imalatı oldukça zorlaşmaktadır. Ayrıca düşük ısıl iletkenlik özelliği ile talaşlı imalatları esnasında kesme bölgesinde oluşan yüksek ısı, kesici takımların kesme ömrünün hızlı şekilde azalmasına neden olmaktadır. Kesici takım ömrünün azalmasına bağlı takım sarfiyatı ve üretim maliyeti artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı titanyum esaslı alaşımların işlenmesinde kesici takımların performanslarının iyileştirilmesi; üretim maliyetlerinin ve zamanının azaltılması gibi önemli konularda etkili bir faktördür.

Bu doktora tezi çalışmasında birçok aşınma uygulamasında kullanılan WC-Co esaslı kesici takımlara buzul ısıl işlemi uygulanarak Ti6Al4V titanyum alaşımının frezeleme sürecindeki performanslarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Kesici takım olarak ağırlıkça %6, %10 ve %12 Co içerikli kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı tungsten karbür takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlara 12, 24 ve 36 saat olmak üzere üç farklı sürede -196 °C sıcaklıkta buzul işlem uygulanmış ve en uygun ısıl işlem süresinin 36 saat olduğu tayin edilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri için belirlenen 36 saatlik sürede -110 °C ve -196 °C sıcaklıklarda kesici takımlara buzul ısıl işlem uygulanmıştır. Performans testleri kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiş ve işlenebilirlik parametrelerinden kesme kuvvetleri, takım aşınması, kesme sıcaklığı, talaş morfolojisi ve yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Bu kapsamda kesici takımların Co oranı, kaplama türü ve uygulanan ısıl işlemlerin performans üzerindeki ilişkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda buzul ısıl işlem uygulanmış malzemelerde martenzitik dönüşümün gerçekleştiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, performans testleri sonrasında buzul işlemin kesici takımlar üzerinde genel bir iyileşme sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ti6Al4V, WC-Co, Buzul Isıl İşlem, Aşınma, Mikroyapı

SUMMARY

Titanium alloys are widely used in the aviation and medical industries owing to their high strength/weight ratio maintained at high temperatures and high corrosion resistance. Titanium alloys are difficult to machine because of the low modulus of elasticity and chemical susceptibility properties. In addition, due to the low thermal conductivity feature, the high heat generated in the cutting zone during machining leads to a rapid reduction in the cutting life. Tool consumption and production costs are increasing due to decreasing cutting tool life. For these reasons, improving the performance of cutting tools in processing titanium-based alloys is an effective factor such as reducing production costs and time.

In this study, it was aimed to improve the machining performance of Ti6Al4V titanium alloy in the milling process by applying cryogenic heat treatment to WC-Co based cutting tools used in many cutting applications. Cutting tools with three different Co content and coating type were used. The cutting tools were subjected to deep cryogenic treatment at -196 °C for three different holding times, and the optimum heat treatment time was determined. The cutter tools were heat treated at -110 °C and -196 °C for the 36 hours for machinability tests. The performance tests were carried out under dry cutting conditions and machinability parameters such as cutting forces, tool wear, cutting temperature, chip morphology and surface roughness values were investigated. As a result, it has been determined that the cutting performance of cutting tools increases with the application of cryogenic heat treatment.

Keywords: Ti6Al4V, WC-Co, Cryogenic Heat Treatment, Wear, Microstructure

TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesiyle her zaman desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK'e bu tez çalışması esnasında yapmış olduğu bilimsel katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, tez izleme jürisindeki hocalarım Prof. Dr. Mustafa ANIK ve Prof. Dr. Alpagut KARA'ya teşekkürlerimi sunarım. Karakterizasyon ve Rietveld analizleri konularında yönlendirmeleri ile katkısı olan, Doç. Dr. Hakan GAŞAN'a teşekkür ederim.

Ön inceleme deneylerinde kesici takımları ücretsiz olarak bizlere temin eden ve çalışmalarımızı destekleyen Sandvik Coromat firmasına ve Satış Mühendisi Çağatay Uçar'a teşekkür ederim. Yine ücretsiz malzeme temin eden Artı Kesici Takım ve Mak. San. Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımnda her türlü teknik desteği sağlayan Yüksek Mühendis Akın ÖZCAN ve Tekniker Akif TUTGUN'a teşekkür ederim.

2015/15001 numaralı proje ile yapılan tezi maddi olarak destekleyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

1649B031402353 başvuru numarasıyla 2211-D Sanayiye Yönelik Yurt İçi Doktora Burs Programı'ndan yararlandığım için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Her türlü üzüntü ve sevincimi paylaştığım, her konuda desteğini hissettiğim, hayat arkadaşım ve meslektaşım Dr. Zerrin SERT'e tüm çalışmalarımnda bana göstermiş olduğu sonsuz sabır ve desteği için yürekten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım boyunca yoğunluğumdan dolayı yeterince ilgilenemediğim kızım Feray'a da teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. TİTANYUM VE ALAŞIMLARI	25
3.1. Saf Titanyum	29
3.2. Alfa ve Yakın Alfa Alaşimleri	29
3.3. Alfa-Beta Alaşimleri	29
3.4. Beta Alaşimleri	30
4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK	31
4.1. Titanyum Alaşımının İşlenebilirliği	32
4.1.1. Talaş mekaniği ve talaş oluşumu	34
4.1.2. Talaşlı imalat esnasındaki kesme kuvvetleri	35
4.1.3. Yüzey pürüzlülüğü	37
4.1.4. Takım aşınması	38
4.2. Sinter Karbürler	40
5. BUZUL ISIL İŞLEM	43
6. MATERYAL VE YÖNTEM	46
6.1. İş Parçası	46
6.2. Kesici Takımlar	48
6.3. Kesme Parametreleri	48
6.4. Takım Tezgâhı	49
6.5. Buzul İşlemin Uygulanması	50
6.6. Karakterizasyon Yöntemleri	52

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.6.1. Sertlik	52
6.6.2. Kırılma tokluğu	53
6.6.3. Triboloji testleri.....	54
6.6.4. Dinamometre ile kesme kuvveti ölçümleri	55
6.6.5. Kesme sıcaklığı ölçümleri.....	56
6.6.6. Profilometre ile yüzey kalitesi ölçümleri	57
6.6.7. Stereo mikroskop ile görüntü analizleri	58
6.6.8. Optik mikroskop ile görüntü analizleri	58
6.6.9. Taramalı elektron mikroskobu ile görüntü analizleri.....	58
6.6.10. Geçirimli elektron mikroskobu ile görüntü analizleri	59
6.6.11. X-ışınları kırınım analizleri.....	60
6.6.12. Rietveld analizleri	61
6.6.13. Diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri	61
6.6.14. Isıl ağırlık analizleri	62
7. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	63
7.1. Mikro Yapı, Kimyasal ve Isıl Analizler.....	63
7.1.1. Optik mikroskop incelemeleri	63
7.1.2. Taramalı elektron mikroskobu incelemeleri.....	64
7.1.3. Geçirimli elektron mikroskobu incelemeleri.....	67
7.1.4. X-ışınları kırınım deseni ve rietveld incelemeleri	72
7.1.5. Diferansiyel taramalı kalorimetri ve ısıl ağırlık incelemeleri.....	84
7.2. Mikro Sertlik ve Kırılma Tokluğu Analizleri	86
7.3. Triboloji Test Sonuçlarının İncelenmesi.....	89
7.4. Takım Aşınması ve Takım Ömrünün Değerlendirilmesi.....	90
7.4.1. Kesme kuvvetlerinin incelenmesi.....	90
7.4.2. Kesme sıcaklıklarının incelenmesi	102
7.4.3. Frezeleme deneyleri sonrasında işlenen malzemenin yüzey profil özelliklerinin incelenmesi	108
7.4.4. Talaş özelliklerinin incelenmesi	113

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
7.4.5. Kesici takım aşınma profillerinin incelenmesi	118
7.4.6. Performans test sonuçlarının incelenmesi	153
SONUÇ VE ÖNERİLER	160
KAYNAKLAR DİZİNİ	165
ÖZGEÇMİŞ	174

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Sinter karbür malzemeye ait X-ışınları kırınım deseni (Yong ve Ding, 2011).	14
2.2. Buzul ısıtma işlem öncesi ve sonrası X-ışınları kırınım deseni analizleri (Gill vd., 2012).....	17
2.3. %10 Co içeren sinter karbür malzemeler için denge diyagramı (Zhang vd., 2007).....	18
2.4. WC-Co sinter karbür malzemesinin (a) ısıtma işlemsiz (b) yağda su verilmiş (c) buzul işlem uygulanmış durumlarının X-ışını kırınım desenleri (Gu vd., 2015).....	19
2.5. WC-Co takımların X-ışınları kırınım desenleri (Özbek vd., 2014).....	20
2.6. Buzul ısıtma işlemli ve işlemsiz takımlarda eta karbür miktarı (Özbek vd., 2014).	20
2.7. Sıcaklığa bağlı iç sürtünme grafiği, 1000 °C ‘de östenitlenmiş ve buzul ısıtma işlem uygulanmış (Li vd., 2013).....	21
2.8. Sıcaklığa bağlı iç sürtünme grafiği, buzul ısıtma işlem görmüş/su verilmiş ve 2 saat tavllanmış (Li vd., 2013).	22
3.1. Seçilmiş metallere ait yoğunluk değerleri (Peters vd., 2005 a).	25
3.2. Sıcaklığa bağlı özgül dayanım değerleri (Peters vd., 2005 a).	26
3.3. Modern ticari hava araç gövde ve motorlarında %ağırlıkça kullanılan malzemeler (Peters vd., 2005 b).	27
3.4. Saf titanyuma ait kristal kafes yapıları (Campbell, 2006).....	28
3.5. Titanyum alaşımlarının sınıflandırılması (Peters vd., 2005 a).	28
4.1. Standart bir parmak frezenin ucunun geometrik detayları (Anonim, 2017 b).....	32
4.2. Titanyum ve alaşımlarından yapılmış uçak parçalarının talaşlı imalatında kullanılan yöntemler (Anonim, 2015 a).	33
4.3. Kesme işleminin şematik gösterimi (Groover, 2016).	34
4.4. Ortogonal kesme geometrisinin, (a) üç boyutlu, (b) iki boyutlu şematik gösterimi (Groover, 2016).	35
4.5. Ortogonal kesimde talaşa etkiyen kuvvetler.	36
4.6. Parmak freze üzerindeki kesme kuvvetleri ((Norberto López de Lacalle vd., 2011).....	36
4.7. Talaşlı imalat ile işlenen parçanın yüzeyinin şematik görünümü (Grezesik, 2008).....	37
4.8. Parmak freze üzerinde oluşabilecek aşınma türleri (ISO, 1989).....	39
4.9. Sinter karbür malzemelerin kullanım alanları (Anonim, 2015 b).	41
4.10. WC ve Co oranlarının sinter karbür malzemelerdeki mekanik özelliklere etkisi (Grezesik, 2008).	42
4.11. Talaşlı imalatta kullanılan mühendislik malzemeleri (Anonim, 2015 b).....	42
6.1. Ti6Al4V numunesinin dinamometre üzerine tutturulması.....	46
6.2. Deneysel olarak kullanılan tungsten karbür parmak frezelere ait boyutlar (Anonim, 2017 a).....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.3. Farklı durumlarda Ti6Al4V alaşımı üzerinden talaş kaldırma geometrileri.	49
6.4. Frezeleme prosesinde kullanılan takım tezgâhı.....	50
6.5. Buzul işlem eğrisi.....	51
6.6. Buzul işlem ekipmanları.....	51
6.7. Sertlik ve kırılma tokluğu ölçüm cihazı.	53
6.8. Kırılma tokluğu ölçümü için kullanılan batıcı uç izi ve çatlak boyutları.	53
6.9. (a) Triboloji test geometrisi, (b) cihazı.....	54
6.10. Dinamometrenin CNC dik işlem merkezine yerleştirilmesi.	55
6.11. Kesme kuvveti bileşenlerinin frezeleme esnasında elde edilen görüntüsü.....	56
6.12. Frezeleme işleminde kullanılan termal kamera ve görüntü analiz sistemi.....	57
6.13. Yüzey pürüzlülük cihazı.....	57
6.14. Stereo mikroskop görüntü analiz sistemi.	58
6.15. (a) Geçirimli elektron mikroskobu, (b) odaklanmış iyon demeti cihazı.	59
6.16. X-ışınları kırınım cihazı.	60
6.17. Maud yazılımı ile yapılan rietveld analizine ait bir ara yüz.	61
6.18. (a) Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı, (b) ısı ağırlık cihazı.	62
7.1. Frezeleme deneylerinde kullanılan Ti6Al4V titanyum alaşımı.....	63
7.2. Farklı kobalt oranına sahip (a) %6, (b) %10 ve (c) %12 kesici takımların mikro yapı görüntüleri.	65
7.3. %10 Co oranına sahip kesici takımların SEM görüntüleri, (a) 10DBİ00, (b) 10DBİ12, (c) 10DBİ24 ve (d) 10DBİ36.....	66
7.4. %10 Co oranına sahip kesici takımın SEM görüntüsü ve EDS analizi.	66
7.5. Kaplamalı kesici takımların SEM ve EDS analizleri, (a) AlCrN, (b) AlTiN kaplama.	67
7.6. 10DBİ00 takıma ait, (a) TEM analizi için numune inceltilmesi, (b) geniş açılı delikli karanlık alan görüntüsü, (c) aydınlık alan görüntüsü, (d) aydınlık alan görüntüsü.....	68
7.7. 10DBİ36 takıma ait, (a) TEM analizi için numune inceltilmesi, (b) geniş açılı delikli karanlık alan görüntüsü, (c) aydınlık alan görüntüsü, (d) karanlık alan görüntüsü.....	69
7.8. 10DBİ00 numunesine ait TEM görüntüleri, (a) aydınlık alan görüntüsü, (b) a'da verilen görüntünün yüksek çözünürlüklü görüntüsü, (c) Co bileşenine ait yüksek çözünürlüklü görüntü. .	70
7.9. 10DBİ36 numunesine ait TEM görüntüleri, (a) aydınlık alan görüntüsü, (b) a'da verilen görüntünün yüksek çözünürlüklü görüntüsü, (c) Co bileşenine ait yüksek çözünürlüklü görüntü. .	71
7.10. Seçilmiş alan kırınım desenleri, (a) 10DBİ00 ve (b) 10DBİ36 durumlarına ait numuneler. .	72

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.11. Farklı sürelerde buzul işlem uygulanmış kesici takımlarına ait XRD, (a) %6 Co, (b) %10 Co ve (c) %12 Co.....	73
7.12. (a) Elektroliz uygulanmamış malzemeye ait XRD, (b) elektroliz uygulanmış malzemeye ait XRD.	74
7.13. Farklı sürelerde buzul işlem uygulanmış ve elektroliz yapılmış kesici takımların kırınım desenleri, (a) %6 Co, (b) %10 Co ve (c) %12 Co.	76
7.14. Kobaltın faz dönüşüm prosesinin şematik gösterimi.	81
7.15. Farklı sıcaklıklarda buzul işlem uygulanmış ve elektroliz yapılmış kesici takımlarına ait XRD (a) %6 Co, (b) %10 Co ve (c) %12 Co.....	82
7.16. (a) Buzul işlem uygulanmamış, (b) SBİ uygulanmış ve (c) DBİ uygulanmış kesici takımların DSC analizleri.	85
7.17. %10 Co içerikli kesici takımın TGA analizi.	86
7.18. Farklı buzul işlem sürelerinde kesici takımların sertlik ve kırılma tokluğu değerleri.....	88
7.19. Farklı ısı işlem türlerinde kesici takımların sertlik ve kırılma tokluğu değerleri.	88
7.20. Farklı buzul işlem süresine bağlı %10 Co'lı kesici takımın triboloji testleri.	90
7.21. Ön deneme deneylerinde kullanılan %6 Co'lı kesici takımların kesme kuvvetleri.	91
7.22. Ön deneme deneylerinde kullanılan %10 Co'lı kesici takımların kesme kuvvetleri.	93
7.23. Ön deneme deneylerinde kullanılan %12 Co'lı kesici takımların kesme kuvvetleri.	93
7.24. Performans testlerinde %6 Co içerikli kesici takımların kesme kuvvetleri, (a) 6DBİ00-Kaplamasız, (b) 6DBİ00-ALCrN, (c) 6DBİ00-AlTiN, (d) 6SBİ36-Kaplamasız, (e) 6SBİ36-ALCrN, (f) 6SBİ36-AlTiN, (g) 6DBİ36-Kaplamasız, (h) 6DBİ36-ALCrN, (i) 6DBİ36-AlTiN.	96
7.25. Performans testlerinde %10 Co oranına sahip kesici takımların kesme kuvvetleri, (a) 10DBİ00-Kaplamasız, (b) 10DBİ00-ALCrN, (c) 10DBİ00-AlTiN, (d) 10SBİ36-Kaplamasız, (e) 10SBİ36-ALCrN, (f) 10SBİ36-AlTiN, (g) 10DBİ36-Kaplamasız, (h) 10DBİ36-ALCrN, (i) 10DBİ36-AlTiN.	100
7.26. Performans testlerinde %12 Co oranına sahip kesici takımların kesme kuvvetleri, (a) 12DBİ00-Kaplamasız, (b) 12DBİ00-ALCrN, (c) 12DBİ00-AlTiN, (d) 12SBİ36-Kaplamasız, (e) 12SBİ36-ALCrN, (f) 12SBİ36-AlTiN, (g) 12DBİ36-Kaplamasız, (h) 12DBİ36-ALCrN, (i) 12DBİ36-AlTiN.	101
7.27. Performans testleri esnasında termal kamera ile kesme sıcaklıklarının belirlenmesi, (a) termal kameranın kapsadığı bölge, (b) 10DBİ00-ALCrN kesici takıma ait görüntü, (c) 10DBİ36-kaplamasız kesici takıma ait görüntü ve (d) 12DBİ36 –AlTiN kesici takıma ait görüntü.	102
7.28. Performans testlerinde %6 Co içerikli kesici takımların kesme sıcaklıkları (a) 6DBİ00, (b) 6SBİ36 ve (c) 6DBİ36.....	103
7.29. Performans testlerinde %10 Co içerikli kesici takımların kesme sıcaklıkları (a) 10DBİ00, (b) 10SBİ36 ve (c) 10DBİ36.....	105

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.30. Performans testlerinde %12 Co içerikli kesici takımların kesme sıcaklıkları (a) 10DBİ00, (b) 10SBİ36 ve (c) 10DBİ36.....	106
7.31. Kesici takımlara ait 10 kademe sonrası yüzey görüntüleri (a) 10SBİ36-AITiN, (b) 10DBİ36-kaplamasız.....	109
7.32. Kesici takımlara ait yüzey görüntüleri (a) 10SBİ36-AITiN 60 kademe sonrası, (b) 10DBİ36-kaplamasız 80 kademe sonrası.....	109
7.33. Farklı Co oranlarında farklı ısıl işlemler uygulanmış kesici takımlar ile işlenen malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri (a) %6 Co, (b) %10 Co ve (c) %12 Co içeren kesici takımlar.....	112
7.34. Performans testlerinden elde edilen ilk talaşlar (a) 6DBİ00-kaplamasız, (b) 6DBİ00-AICrN, (c) 6DBİ00-AITiN, (d) 6SBİ36-kaplamasız, (e) 6SBİ36-AICrN, (f) 6SBİ36-AITiN, (g) 6DBİ36-kaplamasız, (h) 6DBİ36-AICrN, (i) 6DBİ36-AITiN.....	113
7.35. Performans testlerinden elde edilen ilk talaşlar (a) 10DBİ00-kaplamasız, (b) 10DBİ00-AICrN, (c) 10DBİ00-AITiN, (d) 10SBİ36-kaplamasız, (e) 10SBİ36-AICrN, (f) 10SBİ36-AITiN, (g) 10DBİ36-kaplamasız, (h) 10DBİ36-AICrN, (i) 10DBİ36-AITiN.....	114
7.36. Performans testlerinden elde edilen ilk talaşlar (a) 12DBİ00-kaplamasız, (b) 12DBİ00-AICrN, (c) 12DBİ00-AITiN, (d) 12SBİ36-kaplamasız, (e) 12SBİ36-AICrN, (f) 12SBİ36-AITiN, (g) 12DBİ36-kaplamasız, (h) 12DBİ36-AICrN, (i) 12DBİ36-AITiN.....	115
7.37. 10DBİ36-kaplamasız takıma ait 3. pasodan sonra alınan talaş görüntüsü.....	115
7.38. Performans testlerinden elde edilen son talaşlar (a) 6DBİ00-kaplamasız, (b) 6DBİ00-AICrN, (c) 6DBİ00-AITiN, (d) 6SBİ36-kaplamasız, (e) 6SBİ36-AICrN, (f) 6SBİ36-AITiN, (g) 6DBİ36-kaplamasız, (h) 6DBİ36-AICrN, (i) 6DBİ36-AITiN.....	116
7.39. Performans testlerinden elde edilen son talaşlar (a) 10DBİ00-kaplamasız, (b) 10DBİ00-AICrN, (c) 10DBİ00-AITiN, (d) 10SBİ36-kaplamasız, (e) 10SBİ36-AICrN, (f) 10SBİ36-AITiN, (g) 10DBİ36-kaplamasız, (h) 10DBİ36-AICrN, (i) 10DBİ36-AITiN.....	117
7.40. Performans testlerinden elde edilen son talaşlar (a) 12DBİ00-kaplamasız, (b) 12DBİ00-AICrN, (c) 12DBİ00-AITiN, (d) 12SBİ36-kaplamasız, (e) 12SBİ36-AICrN, (f) 12SBİ36-AITiN, (g) 12DBİ36-kaplamasız, (h) 12DBİ36-AICrN, (i) 12DBİ36-AITiN.....	118
7.41. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (6DBİ00).....	119
7.42. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (6SBİ36).....	120
7.43. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (6DBİ36).....	121
7.44. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (10DBİ00).....	122
7.45. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (10SBİ36).....	123

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.46. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (10DBİ36).....	124
7.47. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (12DBİ00).....	125
7.48. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (12SBİ36).....	126
7.49. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (12DBİ36).....	127
7.50. (a) Kaplamasız, (b) AlCrN kaplamalı ve (c) AlTiN kaplamalı takımlar.....	128
7.51. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBİ00-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	129
7.52. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBİ00-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	130
7.53. Performans testleri sonrasında aşınan 6SBİ36-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	132
7.54. Performans testleri sonrasında aşınan 6SBİ36-AlCrN kaplamalı kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	133
7.55. Performans testleri sonrasında aşınan 6SBİ36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	134
7.56. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBİ36-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	135
7.57. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	136
7.58. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBİ36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	136
7.59. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBİ00-kaplamasız kesici takımına ait SEM analizleri.....	137
7.60. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBİ00-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	138
7.61. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBİ00-AlTiN kesici takımına ait SEM analizleri.....	138
7.62. Performans testleri sonrasında aşınan 10SBİ36-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	139
7.63. Performans testleri sonrasında aşınan 10SBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	140
7.64. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBİ36-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	141

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.65. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM analizleri.	142
7.66. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBİ36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	143
7.67. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ00-kaplamasız kesici takımına ait SEM analizleri.....	144
7.68. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ00-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	145
7.69. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ00-AlTiN kesici takımına ait SEM analizleri.	146
7.70. Performans testleri sonrasında aşınan 12SBİ36-kaplamasız takıma ait SEM analizleri.	146
7.71. Performans testleri sonrasında aşınan 12SBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM analizleri.	147
7.72. Performans testleri sonrasında aşınan 12SBİ36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	147
7.73. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ36-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	149
7.74. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	150
7.75. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.....	151
7.76. Kesici takımların Ti6Al4V alaşımını frezelemesi esnasında kesici takımlarda meydana gelen kusurların şematik gösterilmesi.....	151
7.77. (a) Kesici takımında frezeleme esnasında gerilme oluşması, (b) kesme derinliğinde oluşan talaş yığılması.....	152
7.78. Talaş ile kesici takıma arasında sıcaklık farkından meydana gelen mikro çatlaklar.....	153
7.79. Performans testleri sonrasında %6 Co içeren kesici takımların aşınma miktarları (a) ısı işlemsiz, (b) SBİ ve (c) DBİ.....	154
7.80. Performans testleri sonrasında %10 Co içeren kesici takımların aşınma miktarları (a) ısı işlemsiz, (b) SBİ ve (c) DBİ.....	156
7.81. Performans testleri sonrasında %12 Co içeren kesici takımların aşınma miktarları (a) ısı işlemsiz, (b) SBİ ve (c) DBİ.....	157

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Takım türü ve ısıt işleme bağı takım ömürleri (dk) (Gill vd., 2011).....	5
2.2. Talaşlı imalat ve işlenebilirlik konularındaki literatür incelemelerinin detaylandırılması.....	10
2.3. Farklı ısıt işlemler sonucu faz bileşimi ve tane boyutu (Gu vd., 2015).....	15
2.4. Farklı buzul işlemlere bağı kalıntı gerilme değerleri (Yong ve Ding, 2011).	22
6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan proses ve teknikler.....	47
6.2. Ti6Al4V titanyum alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlıkça).	48
6.3. Ti6Al4V titanyum alaşımının mekanik özellikleri.....	48
6.4. Frezeleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri.	49
6.5. Deneylerde kullanılan takım tezgâhının teknik özellikleri.....	50
6.6. Triboloji deneylerinde kullanılan malzemelere ait özellikler.....	55
6.7. Triboloji deneylerinde kullanılan parametreler.	55
7.1. Farklı Co ve ısıt işlem türlerine göre rietveld analizi sonuçları.	83

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
l	Çatlak uzunluğu (μm)
d	Düzlemler arası mesafe (nm)
F_a	Eksenel kuvvet (N)
f	İlerleme miktarı (mm)
t_o	İlk talaş kalınlığı (mm)
l_s	Kesme düzlem uzunluğu (mm)
F_s	Kesme kuvveti (N)
F_n	Kesme kuvvetinin normali (N)
R'	Kesme kuvveti ve normalinin bileşkesi (N)
K_{IC}	Kırılma tokluğu ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)
R_p	Maksimum çıkıntı yüksekliği (μm)
R_t	Maksimum yüzey pürüzlülüğü (μm)
F_T	Ortalama kesme kuvveti (N)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
w	Ortogonal kesme genişliği (mm)
F_r	Radyal kuvvet (N)
t_c	Son talaş kalınlığı (mm)
β	Sürtünme açısı ($^\circ$)
F	Sürtünme kuvveti (N)
N	Sürtünme kuvvetinin normali (N)
R	Sürtünme kuvveti ve normalinin bileşkesi (N)
θ	Tarama açısı ($^\circ$)
F_t	Teğetsel kuvvet (N)
P	Yük (N)
R_z	Yüzeyde 5 çıkıntı ve girintinin ortalaması (μm)

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Kısaltmalar****Açıklamalar**

CNC	Bilgisayar Nümerik Kontrollü
DBİ	Derin Buzul İşlem
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
EDS	Enerji Dağılımlı Spektroskopi
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu
TGA	Isıl Ağırlık Analizi
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
CIF	Kristalografik Bilgi Dosyaları
Ms	Martenzit Başlangıç
SBI	Sığ Buzul İşlem
SPH	Sıkı Paket Hegzagonal
SKK	Snoek-Kê-Köster
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
UNAM	Ulusal Nano Araştırma Merkezi
ICDD	Uluslararası Kırınım Verileri Merkezi
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
HV	Vickers Sertlik
XRD	X-Işınları Kırınım Deseni
% ağı.	Yüzde Ağırlıkça
YMK	Yüzey Merkezli Kübik

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Çağımız havacılık endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasında yer alan titanyum alaşımları, 400 °C sıcaklığa kadar yüksek dayanım/ağırlık oranını koruyabilmesi, yüksek korozyon ve kırılma direncine sahip olması nedeniyle otomotiv, kimya ve medikal sektörlerinde de geniş kullanım alanına sahiptir (Arrazola vd., 2009). Titanyum alaşımları içerisinde ise en yüksek kullanım oranı yaklaşık % 60 değerle Ti6Al4V alaşımına aittir (Amin vd., 2007). Ti6Al4V titanyum alaşımı en yaygın kullanılan alfa –beta titanyum alaşımıdır. Ancak sahip oldukları yüksek dayanım, düşük ısı iletkenlik ve düşük elastisite modülü değerleri ile bu malzemelerin işlenebilirlikleri zorlaşmaktadır (Rahman vd., 2003; Armendia vd., 2010). Titanyum alaşımları, talaşlı imalatları esnasında kesici takıma yapışarak sıvanma eğilimi göstermeleri nedeni ile kesici takımların kısa sürede kırılmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple, titanyum alaşımları günümüzde işlenebilirliği zor malzemeler gurubunda yer almaktadır ve imalat sürecindeki bu zorluklar nedeniyle titanyum alaşımlarının kullanım maliyetleri de artmaktadır.

İlerleyen ve yenilikçi teknoloji ile endüstride yeni malzemelerin kullanılması ve talaşlı imalat tezgâhlarının gelişmesi kesici takımların da beraberinde gelişmesine olanak sağlamaktadır. Günümüzde kesici takımların gelişmesi tasarım, malzeme ve kaplama teknolojileri alanında olmaktadır. Özellikle kesici takımlara uygulanan pahalı kaplamalar, zorlu işleme şartlarında takım ömrü üzerinde fayda sağlamaktadır. Kısa sürede yüksek miktarda talaş kaldırmak ve işleme maliyetlerini düşürmek uygulamalardaki gelişmelerin temel amaçlarıdır. Titanyum gibi işlenebilirlik özellikleri zor olan malzemelerin talaşlı imalatı esnasında kısa sürede kesici takımların aşınması ve aşınan takımların yenileri ile değiştirilmesi esnasındaki işleme zamanının artması gibi işleme maliyetini arttırıcı durumlar ortaya çıkmaktadır. Kesici takımların performanslarının arttırılması amacıyla kaplamaların dışında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biride ısıl işlemlerdir.

Son yıllarda malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan bilimsel çalışmalarda, geleneksel ısıl işlemlerden farklı olarak, malzemelerin kontrollü bir biçimde oldukça düşük sıcaklıklara soğutulduğu uygulamalara artan bir ilgi görülmektedir görülmektedir (Huang vd., 2003). Sıfır altı ısıl işlemlere ilk girişimler 20. yy başlarında

gerçekleşirken, temel olarak buzul işlem yüzyılın son yıllarında araştırılmaya başlanmıştır (Baldissera ve Delprete, 2008). Malzemelerin $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den daha düşük sıcaklıklara soğutulduğu "soğuk işlem", $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasına soğutulduğu "sığ buzul işlem" (SBI) ve $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında soğutulduğu "derin buzul işlem" (DBI) olarak sınıflandırılan düşük sıcaklık işlemleri ile malzemelerin aşınma direnci, sertlik, yorulma direnci, tokluk vb., özelliklerinde ciddi iyileştirmelerin yanında yüksek boyutsal kararlılık da sağlanabilmektedir (Das vd., 2009 a). Buzul işlem, takım çelikleri, maraging çelikleri, dökme demirler, karbürize edilmiş çelikler, tungsten karbürler, polimerler ve kompozitler gibi geniş yelpazedeki malzemelere uygulanabilmekte (Akhbarizadeh vd., 2009), ucuz olması ve kaplamaların tersine parçanın tümüne etki etmesi gibi önemli avantajlar taşımaktadır (Wang vd., 2009). Birçok malzeme grubunda buzul işlem konusu araştırılmaya devam edilirken sinterlenmiş karbür malzemeler hakkında çok az bilgi vardır ve bunlarında çoğu torna takımları üzerindedir (Yong ve Ding, 2011). Bunun yanında, buzul işlemin mekanizması, hangi tür malzemelere uygulanabileceği ve uygulama koşulları gibi birçok konu aydınlatılmaya ihtiyaç duymaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında, Ti6Al4V titanyum alaşımının frezelemede kullanılan kesici takımlara, sığ ve derin buzul işlem uygulanmış ve yapılan deneylerle mekanik ve kesme performans özellikleri belirlenmiştir. Kesici takımlar, iki farklı kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere üç grupta incelenmiştir. Kesici takımlar kendi aralarında da üç farklı Co oranına (%6, %10 ve %12) sahiptir. Farklı sıcaklık ve sürelerdeki buzul işlemlerin farklı kaplamalı ve Co oranlı kesici takımların işlenebilirlik üzerindeki etkileri kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, takım aşınması ve detaylı karakterizasyon yöntemleri ile incelenmiş ve performansları uygulamalı olarak ortaya konulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür incelemelerinde titanyum alaşımlarının talaşlı imalatı üzerine birçok yayının olduğu ve bunların büyük bir kısmının ise tornalama işlemine ait olduğu görülmüştür. Frezeleme işlemi üzerinde yapılan çalışmalar çok daha az sayıdadır. Yapılan çalışmalarda ise takım malzemesi, takım proses parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı, takım yanaşma açısı vs.), takım kaplaması, proses esnasındaki soğutma sıvısı/ortamı incelemesi üzerinde durulmuştur. Buzul işlem üzerine yapılan araştırmalar çeşitli malzeme gruplarını kapsamaktadır. Bu çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçlar malzemenin türüne, yapılan buzul işlem süresi ve sıcaklığına bağlı değişkenlikler göstermektedir.

Jawaid vd. (2000) yaptıkları çalışma, Ti6Al4V alaşımının farklı kaplamalara sahip sinter karbür uçlar ile yüzeyinin frezelenmesi konusunu içermektedir. Takımlar fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ile TiN ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi ile TiCN+Al₂O₃ kaplanmıştır. Farklı proses parametreleri kullanılarak takım ömrü, takımlarda oluşan hata türleri ve aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Çalışmalarında kesme hızını 55-65-80-100m/dk ve ilerleme miktarı ise 0,1-0,15 mm/diş değerlerini kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda ise takım kesme hızı ve ilerleme miktarının artması ile takım ömrünün buna bağlı azaldığını tespit etmişlerdir. Frezeleme işleminde en düşük kesme hızı ve ilerleme miktarında en fazla hacimde talaşın kaldırıldığını tespit etmişler ve takım ömrünün en fazla görüldüğü kaplamanın CVD yöntemiyle kaplanmış TiCN+Al₂O₃ kaplamalı takımlarda olduğunu belirtmişlerdir. Serbest yüzey aşınması incelemelerinde tüm frezeleme işlemlerinde homojen olmayan aşınma belirlemişlerdir. Ayrıca aşınan bölgelerde çatlak ve plastik deformasyonlarda tespit etmişlerdir. Enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) analizlerinde Ti6Al4V malzemesi incelemelerinde W ve Co elementlerinin varlığı tespit edilmiş ve buna bağlı talaşlı imalat esnasında sıcaklığın 800 °C mertebelerine kadar çıktığı ve bu sıcaklıklarda difüzyonun gerçekleşebildiği ve bu sayede de takımdan iş parçasına difüzyon yolu ile element geçişinin olduğunu yorumlamışlardır. CVD kaplamalı takımların PVD kaplamalı takımlara göre aşınma miktarının az olmasından dolayı CVD kaplanmış takımların aşınma direncinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Aşınma deneylerinden serbest yüzey aşınmasını referans alarak yaptıkları takım ömrü belirlenmesinde ise en düşük kesme hızında en yüksek takım ömrü 30 dk, en yüksek kesme hızında ise 5 dk ölçülmüştür.

SreeramaReddy vd. (2008, 2009) buzul işlem uygulanmış P30 takımları ile C45 çeliğinin işlenebilirliğini incelemişlerdir. CVD yöntemi ile çoklu kaplama özelliğine sahip (1.katman: TiN – 1,5 µm, 2.katman: TiCN – 12,5 µm, 3.katman: Al₂O₃ – 6 µm, 4.katman: TiN – 5 µm) takımları -110 ve -176 °C’de buzul işlem uygulamışlardır. Talaşlı imalat türü tornalama olup kesme hızları 200-250-300-350 m/dk ve ilerleme miktarları 0,1-0,15 mm/diş başına ve 0,22 mm/devir’dir. Deneyler sonrasında serbest yüzey aşınması incelenmiş ve bu aşınma meydana gelirken yüzeylerin mekanik etkileşiminden dolayı abrasif, difüzyon ve adhezif aşınma mekanizmalarının bir sonucu olduğunu belirtmişlerdir. Buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış takım uçları ile yapılan tornalama işleminde takım ömürleri ölçülmüş ve en düşük kesme hızındaki işlemlerde iyileştirme yapılan takımlarda en uzun takım ömrünün olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan buzul ısıtma işlem sıcaklığına bağlı 200mm/dk kesme hızındaki takım ömürleri ise, -110 °C’de 57,49 dk ve -176 °C’de 59,62 dk olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada ayrıca buzul işlemsiz ve işlemlili takım uçlarının elektriksel iletkenliklerini tespit edip buradan yola çıkarak termal iletkenlikleri hakkında yorum yapmışlardır. -110 °C’de buzul işlem uygulanmış malzemenin elektriksel iletkenliği $529,3 \text{ (ohm.m)}^{-1}$, -176 °C’de $571,62 \text{ (ohm.m)}^{-1}$ ve ısıtma işlemsiz durumda ise $499,676 \text{ (ohm.m)}^{-1}$ olduğunu belirtmişlerdir. Buradan da yapılan buzul ısıtma işlemin etkisi ile yapıda ki termal özellikleri iyileştirdiğini yorumlamışlardır. Bu sayede takım uçlarının ısı iletiminin iyileştirildiği ve yüksek sıcaklıktaki sertlik değerlerinin de iyileştiğini belirtmişlerdir. Tornalama esnasında kullandıkları dinamometre sayesinde ise farklı kesme hızlarındaki ısıtma işlemlili ve işlemsiz takımların kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Kesme hızının artması ve yapılan buzul işlemin etkisi ile kesme kuvvetlerinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Talaşlı imalat sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğünün, dinamik yüklere maruz kalan malzemenin üzerindeki kalıntı gerilmelerin ve yüzey ya da yüzey altındaki mikro çatlakların işlenebilirlik derecesindeki önemini vurgulamışlardır. Düşük kesme kuvvetlerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün de daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Kesme hızının artması ve yapılan ısıtma işlemine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü daha düşük çıktığını bulmuşlardır.

Gill vd. (2011 a) yaptıkları çalışmada, tungsten karbür takım uçlarına uyguladıkları buzul işlem ile kesme ömürlerini uzatmayı hedeflemişlerdir. Isıtma işlemin TiAlN kaplanmış tungsten karbür takımlarındaki kaplamaya iz bırakma testi uygulanması ile adhezif dayanımına etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla kaplamalı takımları derin (-196°C) ve sığ

(-10 °C) buzul işlem süreçlerinden geçirmişlerdir. C65 malzemesinin tornalama işlemi sonrasında takımların serbest yüzey aşınmalarını incelemek için ISO 3685-1993 standardına göre aşınma miktarını 0,6 mm olarak ele almışlardır. Tornalama işleminde kullandıkları parametreler ise, kesme hızları 110-130-150-180 m/dk ve ilerleme miktarı 0,1 mm'dir. Yapılan deneyler sonucunda takım ömürlerini, takım türü ve kesme hızına bağlı olarak hesaplamışlardır (Çizelge 2.1). Takım ömür değerleri incelendiğinde sığ buzul iyileştirme işleminin en uygun koşul olduğunu tespit etmişlerdir. Takım kesme hızının artışında ise takım ömürlerinin tümünde düşüş gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.1. Takım türü ve ısıtma işlemine bağlı takım ömürleri (dk) (Gill vd., 2011).

Takım türü	Kesme hızı (m/dk)			
	110	130	150	180
Isıl işlemsiz	49,47	43,88	38,74	34,94
Sığ buzul iyileştirme	66,43	57,86	48,11	41,36
Derin buzul iyileştirme	47,56	48,18	44,37	42,42

Ayrıca iz bırakma deneyleri için Rockwell C deney setinde 1500 N yük kullanarak malzeme ile kaplama arasındaki adhezyonu karakterize etmişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucunda, ısıtma işlemsiz numunelerde herhangi bir mikro çatlak ya da delaminasyon görülmemiş, sığ buzul iyileştirilmiş numunede az miktarda mikro çatlak haricinde delaminasyon görülmemiş ve bununda standartlar dâhilinde malzemenin kullanıma uygun olduğunu belirtmişlerdir. Derin buzul işlemlerinde ise hem mikro çatlaklara hem de delaminasyonlara rastlamışlar ve bu malzemenin standartlara göre kullanılamaz olduğunu belirtmişlerdir.

Inconel 718 ve Ti6Al4V malzemelerinin işlenebilirlik özelliklerine soğutucu ortamın etkilerini incelemek için Courban vd. (2013), bu malzemelerin işlenmesinde ayrı ayrı kuru ortam ile sıvı ve gaz fazındaki azot ortamını kullanmışlardır. Yapılan işlemler tornalama şeklinde olup, kullandıkları takım ucu ise küresel geometride PVD yöntemiyle TiN kaplanmış ve kaplamasız pimlerdir. Kullanılan pim, kesme kuvvetlerini ve ısı transferini tespit eden bir sistem üzerine yerleştirilmiştir. Sıvı azot ortamı -196 °C'de ve gaz azot ortamı ise -70 °C'dedir. Tornalama şeklinde yapılan işlemlerde kullanılan pime bağlı olarak talaş kaldırılmadan kayma hareketi gerçekleştirilmiştir. Bu kayma hareketi farklı hızlarda uygulanarak, farklı soğutma ortamlarındaki sürtünme kuvveti, ısı transferi ve malzeme

transferi incelemelerini yapmışlardır. Ti6Al4V malzemesi üzerinde kaplamasız pim kullanılarak yapılan deneyler sonrasında, kayma mesafesinin artması ile sürtünme katsayısında bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Fakat kuru ortamda ve sıvı ile gaz azot ortamlarındaki sürtünme katsayısı arasında belirgin bir farklılığın olmadığını belirtmişlerdir. Sıvı ve gaz azot kullanılması ile Ti6Al4V malzemesinin kaplamasız pim arasındaki temas sonrasında malzeme transferi üzerinde bir iyileştirme gerçekleştirmezken, Inconel malzemesinin TiN kaplamalı pim arasındaki temas sonrası hem sürtünme katsayısına hem de malzeme transferi üzerine belirgin bir iyileştirme olduğunu belirtmişlerdir.

Rao vd. (2011), Ti6Al4V malzemesinin yüzey frezeleme prosesini hem deneysel hem de sayısal olarak incelemiştir. İncelemelerinde kaplamasız karbür uç ve soğutucu sıvı kullanarak, frezeleme işlemine bağlı kesme enerjisini, malzemenin işlem sonrası yüzey özelliklerini ve takım performansını değerlendirmişlerdir. Kesme hızına bağlı, kesme enerjisinin değişiminde belirgin değişimler görülmemiştir ve bundan dolayı da kesme kuvveti ve sürtünme katsayılarında da çok fazla bir farklılık ortaya çıkmamıştır. Yaptıkları deneysel ve sayısal analizler birbiri ile uyum içerisindedir. Kesme hızının değişimi ile kalıntı gerilme değerlerinde bir farklılık görülmezken, ilerleme miktarının artması ile kalıntı gerilme miktarında artışa neden olmuştur. Bu durumu da takım ilerlemesinin artması ile malzeme ile takım arasındaki basınç artışına bağlamaktadırlar. Farklı ilerleme miktarları ve kesme hızlarına bağlı yüzey pürüzlülük değerleri $0.4 \mu\text{m}$ 'nin altında çıktığını belirtmişlerdir.

Soğutma sıvısı ile işlenebilirliği araştıran çalışmalardan biriside Bermingham vd. (2011) Ti6Al4V malzemesine uyguladıkları tornalama işlemidir. Bu çalışmada sabit kesme hızında (125 m/dk), farklı ilerleme oranlarında (0,36-0,2-0,15 mm/devir) ve farklı paso miktarlarında (1,1-2-2,7 mm) titanyum alaşımının işlenebilirliğini sıvı azot kullanarak incelemiştir. Soğutucunun kullanılması ile kesme kuvvetinin ve talaşlı imalat esnasında meydana gelen sıcaklığın düşmesi ve sıcaklığın düşmesi sonucunda da takım ömrünün uzadığını belirtmişlerdir. Ayrıca soğutucunun etkisi ile takım-talaş arasındaki temas uzunluğunun azaldığı ve böylelikle de sürtünmeden meydana gelen sıcaklık artışlarının da düştüğünü belirtmişlerdir.

Yong ve Ding (2011), WC-Co sinter karbür takımlarının mekanik özellikleri üzerine buzul ısıtma işlemin etkilerini incelemiştir. Farklı sürelerde $-196 \text{ }^\circ\text{C}$ buzul işlem

uygulamışlar ve sertlik, basma dayanımı, aşınma direnci ve yorulma özelliklerinin iyileştiğini fakat eğilme dayanımı ile tokluk özelliklerinde net bir değişimin olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca buzul ısıtma işlem süresine bağlı özelliklerin değiştiğini de belirtmişlerdir. Buzul işlem sonrasında metalik malzemelerin büzülmesi nedeniyle yapı içerisinde baskı gerilmesinin ve martenzitik dönüşümün (α -Co (yüzey merkezli kübik-YMK) \rightarrow ϵ -Co (sıkı paket hegzagonal-SPH)) meydana gelmesi ile malzeme üzerinde iyileşmelerin meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Gill vd. (2012), buzul işlem ile iyileştirilmiş WC-Co takım uçlarının mekanik ve metalürjik karakteristiklerini incelemişlerdir. Derin ve sığ buzul işlem uygulanmış malzemelerde sertlik ve aşınma dirençleri ısıtma işlemi yapılmamış numunelere oranla daha yüksek çıkmıştır. Derin ve sığ buzul işlem arasında ise derin buzul ısıtma işleminin sertlik ve aşınma direnci bakımından daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Buzul ısıtma işlem neticesinde ise yapıda bulunan fazların dağılımının ve yapısal dayanımının iyileştiği, ayrıca yapı içerisinde çökelmiş η fazlarının sertlik ve aşınma direncini artırıcı özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir.

Antoniali vd. (2010) yaptıkları çalışma titanyum alaşımının frezeleme işlemindeki vibrasyon sorununa yöneliktir. Titanyum alaşımlarının düşük elastisite modülüne ve düşük ısı iletim katsayısına sahip olması nedeni ile frezeleme esnasında talaşların testere dişi formunda oluştuğunu ve kesme kuvvetinde dalgalanmaların arttığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında 2 farklı takım geometrisi ile çalışmışlardır. Bunlar; 2 adet kare ve 3 adet dairesel uç takılı 10° - 18° 'lik giriş açısına sahip takım kullanmışlardır. Sonuç olarak, dairesel uç kullanımına bağlı takım ömrünün azaldığını belirtmişlerdir.

Çalışkan ve Küçükköse (2015) yaptıkları çalışmada, Ti6Al4V titanyum alaşımının aCN/TiAlN ve TiAlN kaplı karbür kesici takımlar ile işlenebilirliğini test etmişlerdir. Testler sonucunda takım aşınması üzerinde abrazyon ve adhezif aşınmanın etkin olduğunu ve aCN/TiAlN kaplı kesici takımın yaklaşık %15 oranında daha fazla takım ömrüne sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kaplamanın talaş oluşumunda ve yüzey kalitesindeki etkin rol oynadığını da vurgulamışlardır.

An vd. (2014) yaptıkları çalışma kapsamında fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile AlTiN kaplanmış sinter karbür takımlar ile 30Cr3 yüksek dayanımlı çeliğinin

işlenebilirliğini değerlendirmişlerdir. Kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin azaldığını ve yüzey kalitesinin arttığını belirtmişlerdir. Kesme hızının artması ile oluşan sıcaklık ve sıcaklıkla yüzeyde oluşan oksidasyon sonucu talaşın renginde değişiklik gözlemişlerdir. Takımda kesici uç kısmında küçük parçaların kopması ve kaplamanın deformasyona uğraması başlıca aşınma nedenleri olduğunu vurgulamışlardır.

Liew (2010) yaptığı bir çalışmada, TiAlN ve TiAlN/AlCrN kaplamalı karbür kesici takımlar ile paslanmaz çeliğin farklı yağlayıcı ortamlarında işlenebilirliğini araştırmıştır. TiAlN/AlCrN kaplamanın TiAlN kaplamaya göre abrazif aşınmaya direncinin daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Yaptığı testler sırasında kullandığı az miktardaki mineral yağ ile abrazif aşınmanın azaldığını ve kesici takım üzerinde meydana gelen çatlak ve kırılmaların oluşmasının erkenden olmasını engellediğini belirtmiştir.

Birmingham vd. (2015) Ti6Al4V titanyum alaşımını lazer destekli bir sistem ile talaşlı imalatını gerçekleştirmişlerdir. Bu esnada farklı soğutucu ortamlar deneyerek kesici takımın ömrünü ve aşınma türünü belirlemeye çalışmışlardır. Geleneksel soğutucu sıvılar ile standart kesme hızlarında beklenen takım ömrünün elde edilebildiğini fakat yüksek kesme hızlarında kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklık ve soğutma sıvısı arasında termal gerilmeden dolayı kırılma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Lazer destekli talaşlı imalat ve minimum oranda soğutucu kullanarak yüksek hızlarda dahi termal gerilmelerden kaynaklı kırılmalar olmadan talaşlı imalatın yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Özbek vd. (2016) kuru kesme şartları altında östenitik paslanmaz çeliği karbür takımlar ile tornalama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımları kıyaslamışlardır. Buzul işlem uygulanmış kesici takımların uygulanmamışlara göre oldukça yüksek aşınma direnci gösterdiğini belirtmişlerdir. Düşük ve orta kesme hızlarında çentik aşınma türünün görüldüğü ve yüksek kesme hızlarında ise serbest yüzey ve krater aşınma türlerinin oluştuğunu belirtmişlerdir.

Thakur vd. (2008) farklı ısı işlemler uyguladıkları tungsten karbür malzemelerin özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları incelemelerde üç farklı ısı işlem uygulanmış ve bir adet ısı işlem uygulanmamış tungsten karbür malzeme kullanmışlardır. Yapılan ısı işlemler ise -196 °C de 24 saat buzul işlem, 750 °C'ye ısıtılan tungsten karbürün yağda ve havada

soğutulduğu durumlardır. Bu dört farklı ısıl işlem durumu incelendiğinde ise, en düşük sertlik değerine sahip malzeme ısıl işlemsiz malzemedir. Buzul işlem uygulanmış malzeme ise ısıl işlemsiz malzeme ile hemen hemen aynı sertlik değerine sahiptir. En yüksek sertlik değeri ise yağda su verme durumunda elde etmişlerdir. Yüksek sıcaklığa ısıtılıp yağda ve suda soğutulması ile tungsten karbürlerin yapısında eta karbürlerin oluştuğu, ısıl işlemsiz ve buzul işlem uygulanmış malzemede ise bu eta karbürlerin olmadığını belirtmişlerdir.

Andriya vd. (2012), Ti6Al4V titanyum alaşımını TiAlN kaplamalı kesici takımlar ile kuru kesme şartları altında incelemişlerdir. Tornalama deneylerinde beş farklı ilerleme ve paso değerini ele almışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, ilerleme miktarının artması ile elde edilen yüzey kalitesi düşmekte ve kesme kuvveti değerleri artmaktadır. Paso derinliği arttıkça kesme kuvveti değerinin de arttığını belirlemişlerdir.

Literatür incelemelerinden seçilmiş birkaç yayının ayrıntılı incelemesi Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Talaşlı imalat ve işlenebilirlik konularındaki literatür incelemelerinin detaylandırılması.

*	İş Parçası	Takım Kompozisyonu %	Takım Proses Parametreleri	Takım Kaplaması	Takım Isıl İşlem	Kesme Sıvısı	Dinamo- metre	Takım Ömrü	Detay	Referans
F	Ti6Al4V	WC(%86)+ Co(%11,5)+Ta- NbC(%2,5) ISO Kalite: P,M,K	Kesme Hızı: 55,65,80,100 m/dk Kesme çapı: 58 mm Kesme derinliği: 2 mm İlerleme: 0,1-0,15 diş başına	a) TiN /PVD b)TiCN+Al ₂ O ₃ /CVD	Yok	Var	Yok	55/22dk 65/12dk 80/7dk 100/5dk	Serbest Yüzey Aşınması	Jawaid vd. (2000)
T	C45 Çelik	WC(%81,35)+ Co(%17,23)+Ta- TiC(%1,42) ISO Kalite: P30	Kesme Hızı: 200-250- 300-350 m/dk Kesme derinliği: 2 mm İlerleme: 0,1-0,15 diş başına	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ - TiN	-110 °C	Yok	Var	200/57,49dk 250/26,71dk 300/18,99dk 350/7,92dk	Serbest Yüzey Aşınması Elektrik İletkenliği Yüksek sıcaklık sertliği %21,2 aşınma direnci %11,1 takım ömrü	Sreerama Reddy vd. (2008)
T	C45 Çelik	WC(%81,35)+ Co(%17,23)+Ta- TiC(%1,42) ISO Kalite: P30	Kesme Hızı: 200-250- 300-350 m/dk Kesme derinliği: 1 mm İlerleme: 0,22 mm/devir	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃ - TiN	-176 °C	Yok	Var	200/59,62dk 250/29,2dk 300/20,81dk 350/8,82dk	Serbest Yüzey Aşınması Elektrik İletkenliği	Sreerama Reddy vd. (2009)
T	C65 Çelik	WC ISO Kalite: P25	Kesme Hızı:110-130- 150-180 m/dk Kesme derinliği: 1 mm İlerleme:0,1 mm/devir	TiAlN	-110 °C -196 °C	Yok	Yok	110/66dk 130/58dk 150/48dk 180/41dk	Serbest Yüzey Aşınması %25,53 takım ömrü Çizik testi	Gill vd. (2011 a)
T	Ti6Al4V	WC(%90)+ Co(%10) ISO Kalite: P20/K20 Yuvarlak başlı pim	Kayma Hızı: 10-20-40- 60-80-100 m/dk	TiN/PVD Kaplama-sız	Yok	Yok + Sıvı Azot	Var		Sürtünme Katsayısı Isı Transferi	Courban vd. (2013)
F	Ti6Al4V	Bağlayıcısız kübik bor nitrür	Kesme Hızı: 350 m/dk Kesme çapı: 20 mm Kesme derinliği: 0,05- 0,075-0,1 mm İlerleme: 0,05-0,075-0,1 mm/devir	Yok	Yok	Var	Kistler 9265B	f:0,1/5dk f:0,075/10dk f:0,05/20dk	Serbest Yüzey Aşınması Sürtünme Katsayısı Isı Transferi	Wang vd. (2005)

*T: Tornalama, F: Frezeleme, A: Araştırma

Çizelge 2.2. Talaşlı imalat ve işlenebilirlik konularındaki literatür incelemelerinin detaylandırılması (devamı).

	İş Parçası	Takım Kompozisyonu %	Takım Proses Parametreleri	Takım Kaplaması	Takım Isıl İşlem	Kesme Sıvısı	Dinamometre	Takım Ömrü	Detay	Referans
F	ASSAB 760 orta karbonlu çelik	Tungsten karbür	Kesme Hızı: 294,5-343,6-392,7-409,9-540,0-589 m/dk Kesme çapı: <50mm Kesme derinliği: 0,05-0,075-0,1 mm İlerleme: 0,05-0,075-0,1 mm/devir		-184,5 °C	Yok + Sıvı Azot	Yok	294,5/19,57-20,54dk 343,6/11,71-13,20dk 392,7/9,02-11,63 490,9/3,85-4,43 540/2,79-3,06 589/2,13-2,33	Serbest yüzey aşınması	Yong vd. (2006)
F	Ti6Al4V	Tungsten karbür	Kesme Hızı: 24,4-36,6-48,77-60,96 m/dk Kesme çapı: <50mm Kesme derinliği: 0,05-0,075-0,1 mm İlerleme: 0,05-0,075-0,1 mm/devir	Yok	Yok	Var	Kistler 9257B		Serbest yüzey aşınması, gerilim, aşınma oranı, kesme enerjisi, kesme esnasındaki sıcaklık	Rao vd. (2011)
T	Ti6Al4V	Tungsten karbür	Kesme Hızı: 125 m/dk Kesme derinliği: 1,1-2-2,7 mm İlerleme: 0,36-0,2-0,15 mm/devir		Yok	Sıvı Azot	Kistler 9257A	f=0,36/12-19sn f=0,2/51-73sn f=0,15/75-108sn	Serbest yüzey aşınması, Kesme kuvveti, Kesme esnasındaki sıcaklık, Talaş geometrisi	Berming ham vd. (2011)
T	Ti6Al4V	Tungsten karbür	Kesme Hızı:60-80-100-120-140 m/dk Kesme derinliği: 0,5-0,8-1,1-1,4-1,7 mm İlerleme: 0,04-0,08-0,12-0,16-0,2 mm/devir	TiAlN	Yok	Yok	Kistler 9257B		Kesme kuvvetleri, Yüzey pürüzlülüğü	Andriya vd. (2012)
F	Ti6Al4V	Tungsten karbür	Kesme Hızı:40-50-90 m/dk Kesme derinliği: 1-0,3 mm İlerleme: 0,19 mm dış başına	TiN+TiAlN PVD	Yok	Var	Kistler 9257BA	40/100dk 50/85dk	Kesme kuvvetleri, Kesme hacmine, hızına ve kesici ucuna göre takım ömrü	Antoniali vd. (2010)

*T: Tornalama, F: Frezeleme, A: Araştırma

Çizelge 2.2. Talaşlı imalat ve işlenebilirlik konularındaki literatür incelemelerinin detaylandırılması (devamı).

	İş Parçası	Takım Kompozisyonu %	Takım Proses Parametreleri	Takım Kaplaması	Takım Isıl İşlem	Kesme Sıvısı	Dinamo- metre	Takım Ömrü	Detay	Referans
A	En 32 Çelik	WC-Co ISO P25 kalite		Yok	-110 °C -196 °C		Yok		Pin on disk aşınma, Aşınma oranı	Gill vd. (2012)
T	Ti6Al4V	WC-Co ISO K20 kalite	Kesme Hızı:70-80-100 m/dk Kesme derinliği: 2 mm İlerleme: 0,2 mm/devir	Yok		Yok + Sıvı Azot	Yok		Serbest Yüzey Aşınması	Venugopal vd. (2007)
A	Elmas	WC(%92)+ Co(%8)			-196 °C farklı sürelerde		Yok		Pin on disk aşınma, kalıntı gerilme, yorulma, faz değişimi (Co)	Yong ve Ding (2011)
T	AISI 1040	WC	Kesme Hızı:28-49-63 m/dk Kesme derinliği: 0,5-1- 1,5 mm İlerleme: 0,05-0,063- 0,075 mm/devir	TiN/AlCrN PVD	-196 °C		Var		Serbest yüzey aşınması, Kesme kuvvetleri	Singh vd. (2012)
F	γ-TiAl	WC (%6/10 Co) ISO K10-20 Kalite	Kesme Hızı: 20-50-80- 100-300-400 m/dk Kesme çapı: 30mm /38mm Kesme derinliği: 1 mm İlerleme: 0,5-0,1 mm dış başına	Yok	Yok	Var	Kistler 9255B		Serbest yüzey aşınması, Talaş geometrisi	Perez (2005)
F	Ti-6242S	WC(%69,8)+ Co(%9,5)+Ta-Nb- TiC(%20,7)	Kesme Hızı: 100-125 m/dk Kesme çapı: 16 mm Kesme derinliği: 2-2,5 mm İlerleme: 0,15-0,2 mm dış başına	TiN/TiC/TiCN	Yok	Yok	Yok		Serbest yüzey aşınması, Kesme sıcaklığı	Nouari ve Ginting (2006)

*T: Tornalama, F: Frezeleme, A: Araştırma

Çizelge 2.2. Talaşlı imalat ve işlenebilirlik konularındaki literatür incelemelerinin detaylandırılması (devamı).

	İş Parçası	Takım Kompozisyonu %	Takım Proses Parametreleri	Takım Kaplaması	Takım Isıl İşlem	Kesme Sıvısı	Dinamo- metre	Takım Ömrü	Detay	Referans
F	Ti6Al4V ASTM- B265	Karbür (parmak freze)	Kesme Hızı: 50-65-80-95-110 m/dk Kesme çapı: 2-3-4-5-6 mm (ae) Kesme derinliği: 1,5 mm İlerleme: 0,06-0,08-0,1-0,12-0,14 mm dış başına	TiAlN	Yok	Var	Yok		Yüzey pürüzlülüğü, Kalıntı gerilme	Sun ve Guo (2009)
F	Ti6Al4V	WC-Co	Kesme Hızı: 35-70 m/dk Kesme çapı: 28mm (Dc) Kesme derinliği: 2 mm İlerleme: 0,05-0,1 mm dış başına	(Al-Ti)N PVD	Yok	Yok	Kistler 9255 B		Kesme sıcaklığı, Bilgisayar destekli analiz	Pittala ve Monno (2011)
F	NiCrMoV	WKP 35/45 kalite	Kesme Hızı: 75-90 m/dk Kesme çapı: 3 mm Kesme derinliği: 3 mm İlerleme: 200 mm/dk	TiCN-Al ₂ O ₃ -TiN CVD, TiAlN-Al ₂ O ₃ -ZrN PVD	Yok	Var	Kistler		Serbest yüzey aşınması, Talaş kırma açısı	Oomen-Hurst vd. (2012)
F	Ti6Al4V	Karbür	Kesme Hızı: 62,8 m/dk Kesme çapı: 8 mm Kesme derinliği: 1 mm İlerleme: 0,075 mm dış başına	Yok	Yok	Kuru, Yağ, Soğuk hava	Kistler 9257B	Soğutucu ortama bağlı 8-22 dk	Kesme kuvveti, Takım aşınması, Yüzey pürüzlülüğü, Talaş incelemesi	Yuan vd. (2011)

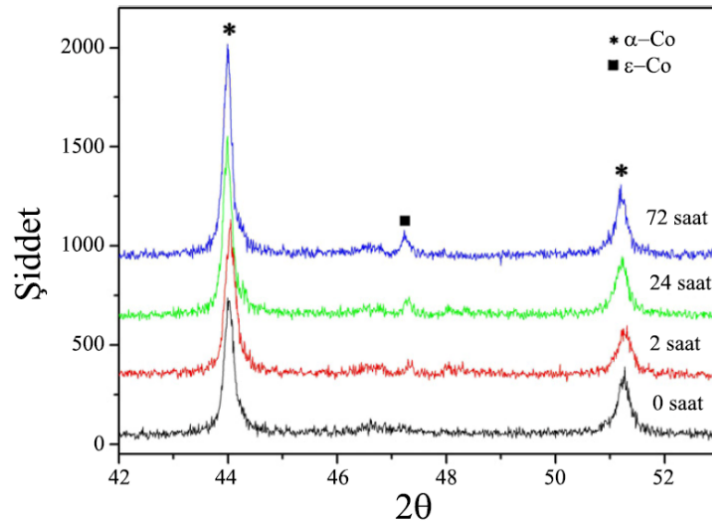
*T: Tornalama, F: Frezeleme, A: Araştırma

Buzul işlem malzemelerin sertlik, aşınma direnci, tokluk ve yorulma direnci gibi mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu özelliklerin iyileştirilmesine neden olan literatürde belirtilmiş muhtemel sebepler aşağıda verilmiştir:

- Teori 1: Sinter karbür çeliklerde α -Co (YMK) \rightarrow ε -Co (SPH) martenzitik dönüşümü meydana gelmesi.
- Teori 2: İşlem sonrası yapıda çökelmiş yeni küçük karbürler oluşması.
- Teori 3: Kalıntı gerilme değerlerinin değişimi.

Teori 1: Kobalt elementi allotropik dönüşüm göstermektedir. 400 °C ve altında SPH (ε -Co), bu sıcaklığın üzerinde ise YMK (α -Co) formda kararlı durumdadır. Allotropik dönüşüm sıcaklığı malzemenin saflığına ve sıcaklığına değişim oranına bağlıdır. Dönüşümdeki serbest enerji miktarları; $\varepsilon \rightarrow \alpha$ için 500 J/mol ve $\alpha \rightarrow \varepsilon$ için 360 J/mol'dür (Upadhyaya, 1998).

WC-Co (%8 Co) sinter karbür malzemelerinin faz dönüşümünü belirlemek amacıyla X-ışınları kırınım desenini kullanan çalışmalar mevcuttur (Yong ve Ding, 2011). Buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, Co'nun buzul işlem uygulanmış (2, 24 ve 72 saat) durumlarında allotropik dönüşüme uğradığı görülmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Sinter karbür malzemeye ait X-ışınları kırınım deseni (Yong ve Ding, 2011).

Gu vd. (2015) uyguladıkları farklı ısıl işlemler sonrası WC-Co (%11 Co) sinter karbür malzemedeki Co bağlayıcısının martenzitik dönüşüm miktarları rietveld analizleri ile kıyaslanmıştır (Çizelge 2.3). Tablo incelendiğinde ısıl işlemsiz numunedeki α -Co fazı %50,21 oranındayken yağ içerisinde su verilmiş numunede ise %87,19 oranına çıktığı görülmektedir. Sıvı faz sinterleme esnasında, WC taneleri Co bileşeni içerisinde çözünmeye başlar. Fakat hızlı soğuma evresinde, W atomları aşırı doymuş bağlayıcı bileşenden Co bileşeninin dislokasyonlarının bulunduğu kısımda çöker. Bu durumda istif hatası enerjisi yükselir. Bu sebeple Co bileşeninin martenzitik dönüşümü bastırılmıştır ve Co bileşeni içerisinde çözünen W oranı artmaktadır. Buna rağmen buzul ısıl işlem ile yağda su verme de ki α -Co oluşum eğilimi farklıdır. α -Co fazının oranı buzul işlem sonrasında martenzitik dönüşüme uğrayarak düşmüştür. Buzul işlem, martenzit başlangıç (M_s) sıcaklığının da altında yapılmaktadır ve Co yapısının dönüşümü de daha büyük serbest enerji farklılığına (faz dönüşümünde itici güç) bağlı meydana gelmektedir.

Çizelge 2.3. Farklı ısıl işlemler sonucu faz bileşimi ve tane boyutu (Gu vd., 2015).

Isıl işlem türü	Faz kompozisyonu	Kobalt bileşeni içindeki α -Co (% ağı.)	Kobalt bileşeni içinde çözünen W (% ağı.)	WC ortalama tane boyutu (μm)
Yok	WC+Co	50,21	5,02	2,40
Yağda su verme	WC+Co	87,19	7,66	2,38
Buzul işlem	WC+Co+ η	40,74	4,34	2,43

Zhang vd. (2015 b), WC-Co malzemesine farklı ısıl işlemler uygulayarak mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sinterlenmiş WC-Co, 1400 °C'ye ısıtılıp azot ortamında su verilmiş WC-Co, su verilmiş ve -190 °C'de 15 saat buzul işlem uygulanmış WC-Co ve buzul işlem sonrasında 350 °C'de 10 saat tavllanmış WC-Co malzemelerini incelemişlerdir. İncelemeler sonrasında sertlik ve elastisite modülü değerlerinin ısıl işlem sırasına göre sırasıyla arttığı belirtilmiştir. Ayrıca buzul işlem sonrasında tavlama işleminin uygulanması ile Co bileşeninde martenzitik dönüşümün meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Gao vd. (2016), sinter karbür malzemelerde metal bağlayıcı olarak genellikle kullanılan Co elementi yerine daha ucuz olan Fe-Ni elementlerini kullanmıştır. WC-Fe-Ni alaşımına farklı sürelerde buzul işlem uygulayarak mekanik özelliklerini incelemiştir. Buzul

işlem neticesinde yapısında bulunan γ -FeNi fazının α -FeNi fazına martenzitik olarak dönüştüğünü ve buzul işlem süresinin artmasıyla dönüşüm oranındaki miktarında arttığını belirlemişlerdir. Yapıdaki α -FeNi miktarının artışı ile sertlik değerinin arttığını ve bununla birlikte kırılma tokluğu değerlerinin de azaldığını bildirmişlerdir.

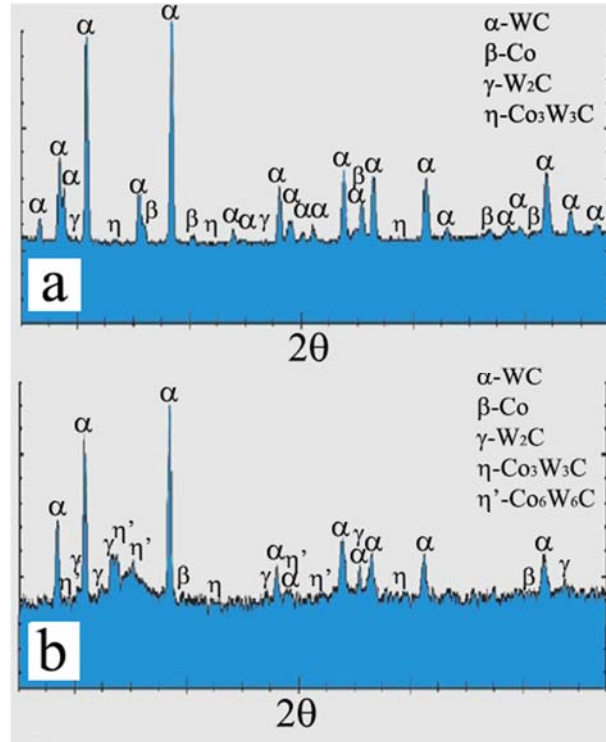
Zhang vd. (2014), %12 Co oranına sahip tungsten karbür malzemelerine derin buzul işlem uygulamışlar ve mikro yapı ile mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış numuneler üzerinde yaptıkları sertlik testlerinde, uygulanan buzul işlemin süresinin artması ile buzul işlem uygulanmamış numuneye göre sertliğinin giderek arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca sertlikteki bu artışın sebebini araştırmak amacıyla buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelere X-ışınları kırınım deseni analizlerini ve diferansiyel taramalı kalorimetri analizlerini yapmışlardır. Diferansiyel taramalı kalorimetri analizlerinde 1100 °C'ye kadar ısıtmışlar ve 700 °C civarında ısıtma eğrisinde bir dalgalanma belirlemişlerdir. Buradaki dalgalanmanın Co bileşenindeki oluşabilecek faz dönüşümü sonucunda meydana gelebileceğini bildirmişlerdir. X-ışınları kırınım deseni (XRD) analizlerinde ise buzul işlem uygulanmamış numunenin uygulanmış numuneye göre daha az şiddet değerinde ϵ -Co pikine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Buzul işlem uygulanmış numunede bu faza ait şiddet değerinin daha yüksek olduğu ve bu durumda buzul işlem sonrasında Co bileşeninde bir dönüşümün sonucu olduğu şeklinde değerlendirme yapmışlardır.

Zhang vd. (2015 a), %12-20-40-80 oranında Co içeren WC-Co malzemelerinin DBİ öncesi ve sonrasında yaptıkları incelemeler ile yapısında meydana gelen değişimleri belirlemişlerdir. Buzul işlem öncesinde ve sonrasında XRD analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu analizler sonucunda buzul işlem uygulanmış malzemelerde ϵ -Co oranının uygulanmamış malzemelere göre daha yüksek oranda çıktığını belirlemişlerdir. Ayrıca yapıdaki %Co oranının artması ile de yapı içerisindeki ϵ -Co oranında da bir artış olduğunu belirlemişlerdir.

Teori 2: Takım çeliklerinde eta karbürlerinin çökmesi sadece DBİ ardından yapılan tavlama esnasında meydana gelir. Karbürlerin oranı, tavlama süresi ve sıcaklığına bağlıdır. Bu karbürlerin oluşması esnasında martenzitteki kalıntı gerilme azalır ve böylece mikro çatlak oluşma eğilimi de azalmış olur (Yugandhar vd., 2002).

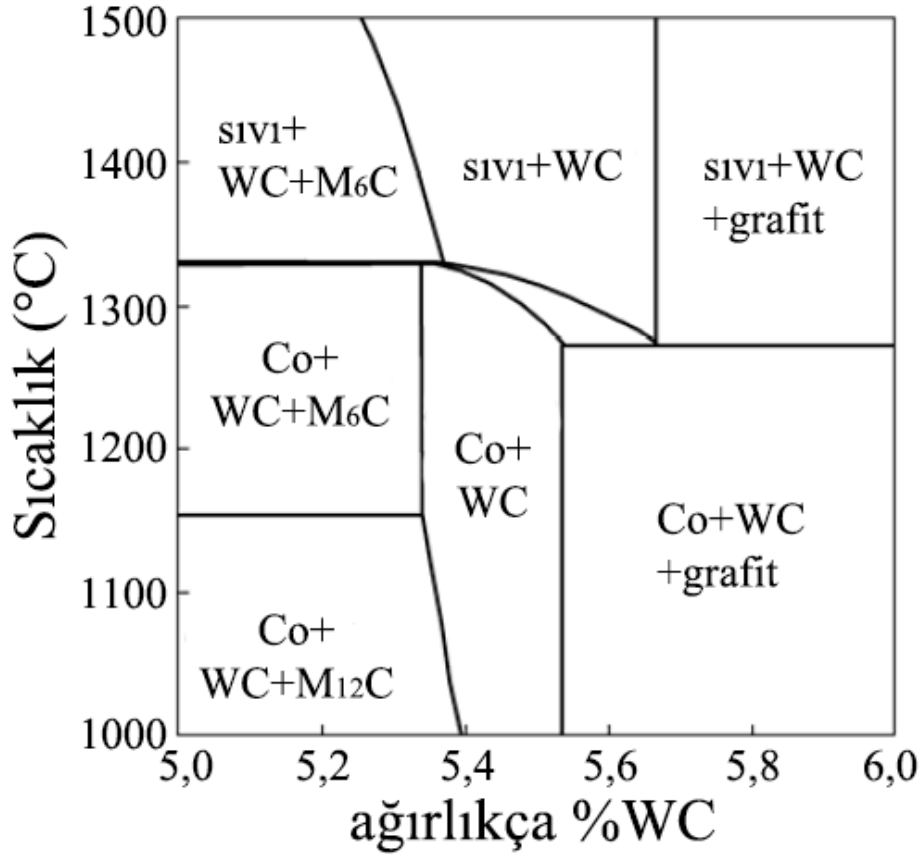
Sinter karbürlerde bağlayıcı olarak kullanılan Co, oda sıcaklığında hegzagonal kristal kafes yapısındadır. Sinterleme aşamasında ise YMK yapıya geçiş yapar ve bu durumda yapı içerisinde bulunan α ve β fazlarının farklı termal genleşmelerinden kaynaklanan iç gerilme miktarı artar. Buzul işlem esnasında bu gerilmelerin giderildiği düşünülmektedir. İç gerilmelerin giderilmesi ile de β fazı içerisindeki kristal yapı daha kararlı olduğu hegzagonal yapısına tekrar düzene girebilir. Buzul işlem sonrası yapılan X-ışınları kırınım deseni çalışmalarında, Co bileşeninin miktarının azaldığı ve yeni karbürlerin oluştuğu belirtilmektedir (Gill vd., 2012).

Sinter karbürler içerisinde bulunan elementlere bağlı η karbürleri iki çeşittir. Bunlar; $M_{12}C$ (Co_6W_6C) ve M_6C ($Co_{3.2}W_{2.8}C - Co_2W_4C$)'dir. M_6C tipi karbürler sinterleme prosesi esnasında çekirdeklenir ve büyür. Buzul işlem öncesi ve sonrası XRD analizleri sonucunda (Şekil 2.2), β fazının azaldığı ve $M_{12}C$ (Co_6W_6C) fazının ortaya çıktığı görülmektedir (Gill vd., 2012).



Şekil 2.2. Buzul ısıtım işlem öncesi ve sonrası X-ışınları kırınım deseni analizleri (Gill vd., 2012).

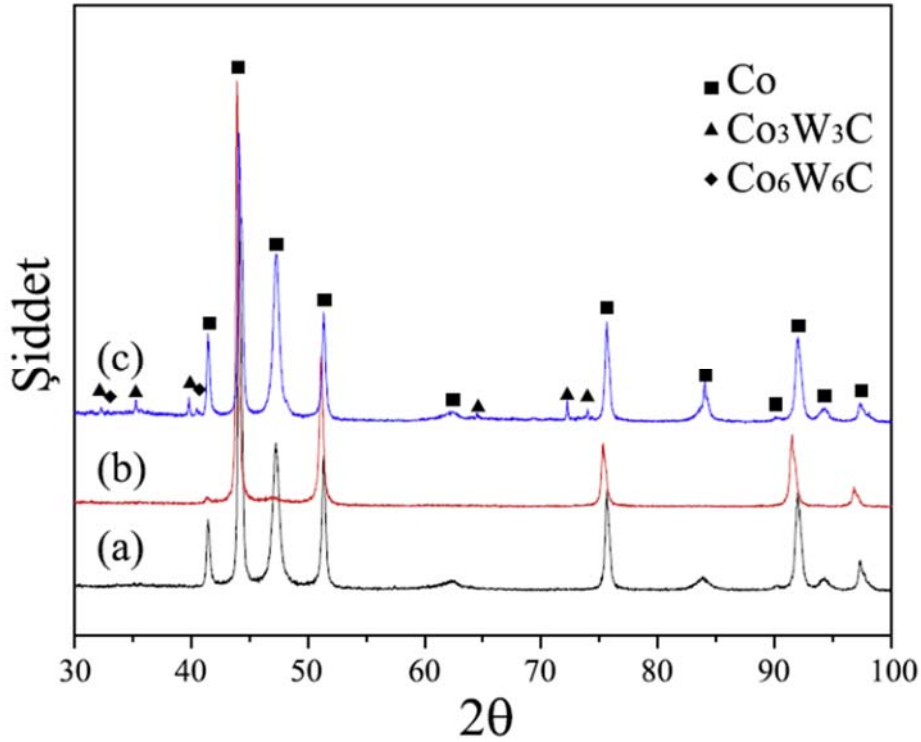
Sinter karbür malzemelerde η karbürleri M_6C ve $M_{12}C$ şeklinde iki tür olup sırasıyla gibbs serbest enerji miktarları $-77,2$ ve -130 kJ/mol'dür. Sinterleme de ki soğutma kademesinde, $M_{12}C$ oda sıcaklığında M_6C 'ye göre daha kararlı olmasına rağmen $M_6C \rightarrow M_{12}C$ dönüşümü bastırılmıştır. Kobalt içerisindeki yüksek çözünürlükteki tungstenin, kobaltı kararlı hale getirerek bu dönüşümü engellemiştir. Şekil 2.3'de %10 Co içeren sinter karbür malzemeler için denge diyagramı verilmiştir (Zhang vd., 2007).



Şekil 2.3. %10 Co içeren sinter karbür malzemeler için denge diyagramı (Zhang vd., 2007).

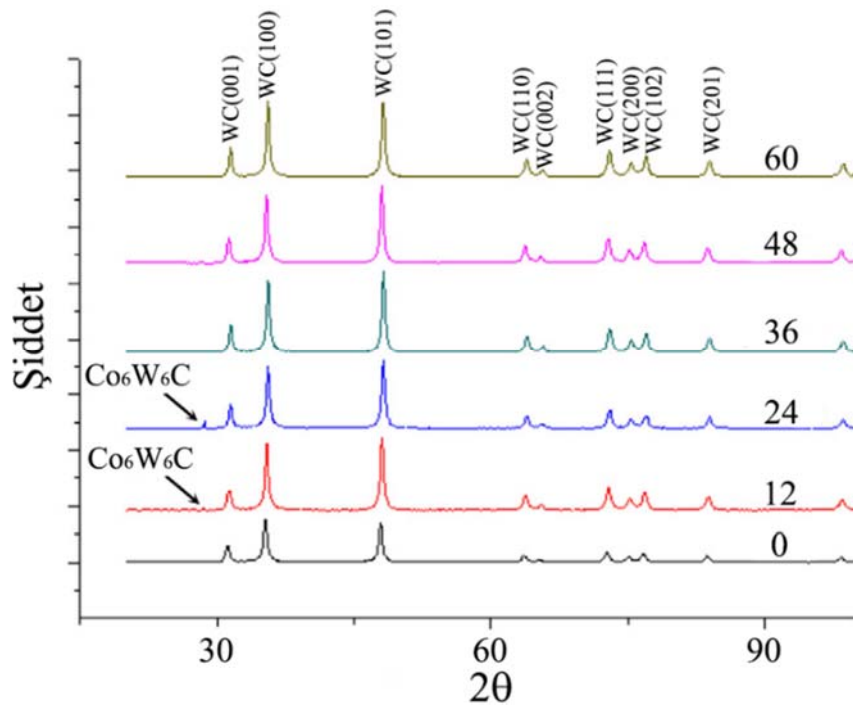
Gu vd. (2015) yaptıkları çalışmada, farklı ısıl işlemler sonucunda sinter karbür malzemede meydana gelen değişimleri XRD analizleri ile ele almışlardır. Çalışmada ısıl işlemsiz, yağda su verilmiş ve buzul ısıl işlem uygulanmış sinter karbürler yer almaktadır. Analizler sonucunda ısıl işlemsiz ve yağda su verilmiş numunelerin faz analizleri aynı çıkmıştır. Buzul ısıl işlem uygulanmış numunelerde ise η karbürleri gözükmemektedir (Şekil 2.4).

Şekil 2.4'te görüldüğü üzere, iki tip η karbür ($\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ (M_{12}C)- $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ (M_6C)) X-ışınları kırınım deseni analizleri sonucunda yapıda oluşmuştur. M_6C tipi karbür sıvı faz sinterleme esnasında meydana gelmektedir ve performansı kötü yönde etkilemektedir. M_{12}C tip karbür ise buzul işlem esnasında katı durumda çökeler ve bu ufak partiküller büyük partiküllerin arasında dolgu malzemesi gibi görev yaparak, yapının daha yoğun ve dayanımlı olmasını sağlar (Gu vd., 2015).



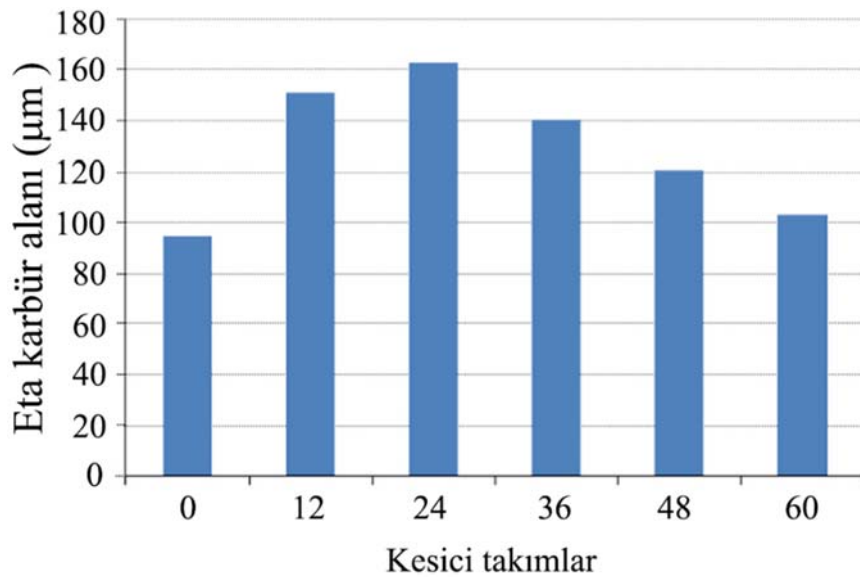
Şekil 2.4. WC-Co sinter karbür malzemesinin (a) ısılsı işlemsiz (b) yağda su verilmiş (c) buzul işlem uygulanmış durumlarının X-ışını kırınım desenleri (Gu vd., 2015).

Özbek vd. (2014) yaptıkları çalışmada, sinter karbür takımlara farklı sürelerde buzul ısılsı işlem uygulamışlardır. ısılsı işlem süresine bağlı olarak yapılan X-ışınları kırınım deseni analizleri sonucunda (Şekil 2.5), 12 ve 24 saatlik ısılsı işlemler sonrası yapıda $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ tipi η karbürlerin olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.5. WC-Co takımların X-ışınları kırınım desenleri (Özbek vd., 2014).

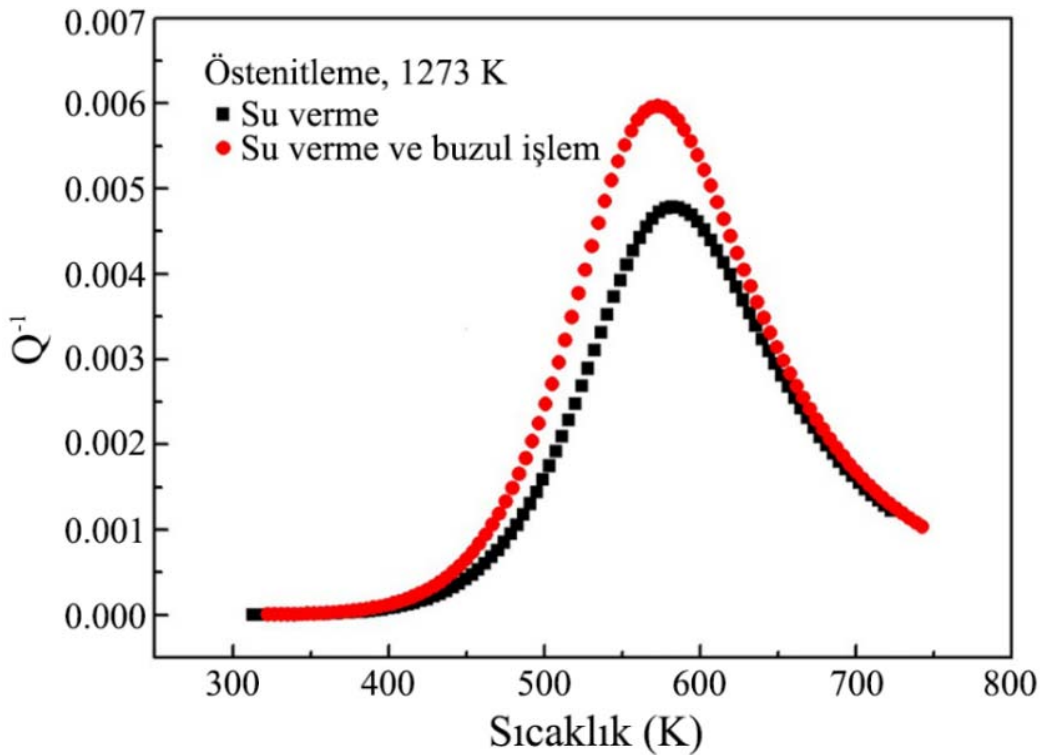
Yaptıkları taramalı elektron mikroskobu analizleri sonrasında, yapıda buzul ısıl işlem süresine bağlı meydana gelen η karbürleri ölçülmüştür. Isıl işleme bağlı olarak η karbür oranının arttığı Şekil 2.6'da görülmektedir (Özbek vd., 2014).



Şekil 2.6. Buzul ısıl işlemlenmiş ve işlemlenmemiş takımlarda η karbür miktarı (Özbek vd., 2014).

Li vd. (2013) yaptıkları çalışmada, takım çelikleri üzerinde buzul ısıl işlem etkilerini iç sürtünme yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucunda, arayer karbon atomlarının dislokasyonların etrafına ilerlediği ve biriktiği belirlenmiş ve bununda buzul ısıl işlem esnasındaki büzülme deformasyon enerjisi ile olduğunu belirtmişlerdir. Buzul ısıl işlem sonrası tavlanan numunelerde daha az arayer karbon atomunun bulunduğunu ve bu durumda daha fazla karbürün çökeldiğini belirtmişlerdir. Buzul ısıl işlem sonrası yapılan tavlama esnasında, biriken karbon atom kümelerinin karbür partiküllerinin çekirdeklenmesini ve büyümesini sağlayan ortamı meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

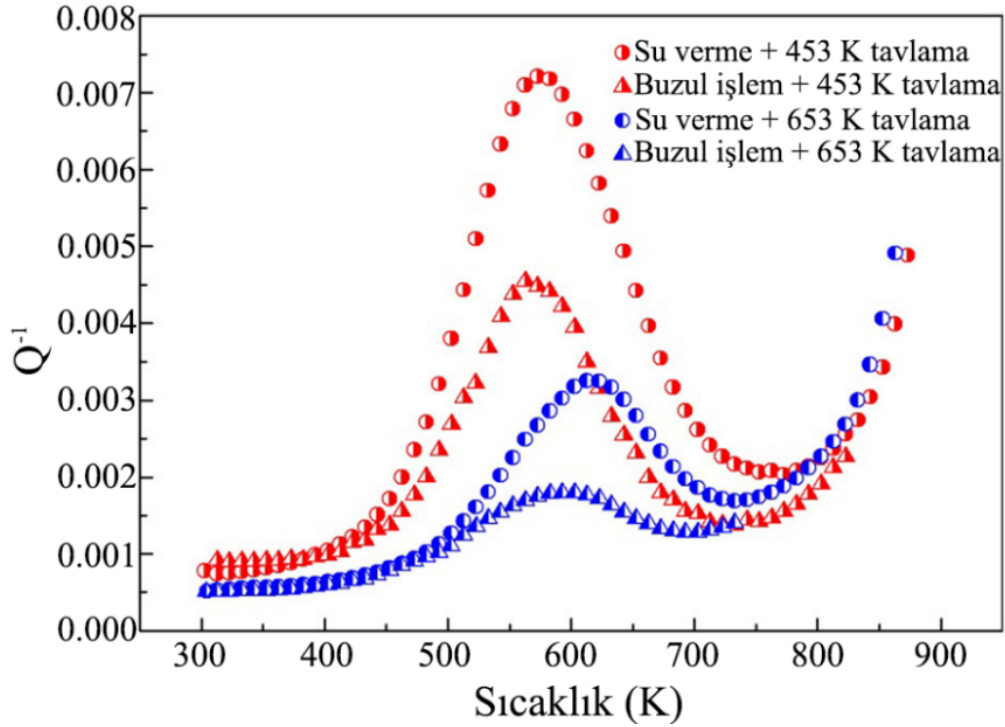
Şekil 2.7’de eğrilerin en tepede oldukları kısım yaklaşık olarak 307 °C civarındadır ve bu pik değerinin Snoek-Kê-Köster (SKK) gevşemesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu pik değerinin oluşması C, N, O gibi arayer atomlarının hareket etmesine bağlamaktadırlar. Bu atomların hareketlerinin ise hareket halindeki dislokasyonların Cottrell bulutunu sürüklemesi şeklinde açıklamada bulunmuşlardır (Li vd., 2013).



Şekil 2.7. Sıcaklığa bağlı iç sürtünme grafiği, 1000 °C ‘de östenitlenmiş ve buzul ısıl işlem uygulanmış (Li vd., 2013).

Şekil 2.8’te, farklı ısıl işlemler uygulanmış durumlara ait iç sürtünme eğrileri görülmektedir. SKK pik değeri, buzul ısıl işlem görmüş numunelerde su verilmiş

numunelerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, derin buzul işlem sonrası yapının daha düşük oranda karbon içermesidir. Başka bir deyişle, aynı ısıl işlemler sonrasında buzul işlem gören numunelerde daha fazla karbür çökmesidir.



Şekil 2.8. Sıcaklığa bağlı iç sürtünme grafiği, buzul ısıl işlem görmüş/su verilmiş ve 2 saat tavllanmış (Li vd., 2013).

Teori 3: Buzul işlem esnasında kristal kafesin latis düzeyinde ısıtma ve soğutma süreçlerinde genişleyip daraldığını ve buna bağlı kalıntı gerilme değerlerinin değiştiği belirtilmiştir. Çizelge 2.4'te farklı buzul işlem süreçlerinden sonra X-ışınları kırınım deseni ile ölçülen kalıntı gerilme değerleri verilmiştir. Buzul işlem uygulanmamış malzeme üzerinde bir miktar gerilme gözlenirken, bu değer buzul işlem sonrasında arttığı görülmektedir (Yong ve Ding, 2011).

Çizelge 2.4. Farklı buzul işlemlere bağlı kalıntı gerilme değerleri (Yong ve Ding, 2011).

Bekleme süresi	Kalıntı gerilme (MPa)
0 saat	-496
2 saat	-1459
24 saat	-1391

Literatürde titanyum alaşımları ile ilgili yapılan işlenebilirlik çalışmalarına bakıldığında, genellikle kaplamalı ve kaplamasız takımlarla, farklı ilerleme ve kesme hızlarında, takım aşınması, takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi gibi parametrelerin incelendiği görülmektedir. İşlenebilirliğin iyileştirilmesi amacıyla talaşlı imalat parametrelerinin optimizasyonunun yapıldığı ya da kesici takımlara uygulanan farklı özelliklerdeki kaplamalar karşımıza çıkmaktadır. Özellikle farklı kaplama türleri geliştirilmeye çalışılarak kesici takımların takım ömrü değerlerinde artış sağlanmasını amaçlamışlardır. Kesici takım üzerindeki kaplama, kesici takıma düşük sürtünme katsayısı, yüksek sıcaklığa dayanım, oksidasyon ve korozyon direnci ile yüksek sertlik özellikleri katmaktadır. Havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan titanyum ve alaşımlarının işlenmesinde ise kaplamalı takımlar tercih edilmemektedir. Kaplama, kesici takıma birçok avantaj sağlamanın yanında titanyum gibi işlenebilirliği oldukça zor malzemelerin talaşlı imalatı esnasında yüksek sıcaklıkların ortaya çıkması ve bunun sonucunda da kaplamanın içerisinde yer alan elementlerin difüzyon yolu ile işlenen parçanın yüzeyine geçişi söz konusudur. Havacılık sektöründe kullanılan titanyum alaşımlarının yüzey özellikleri sürünme ve yorulmaya maruz kalmasından dolayı önem arz etmektedir. Bu nedenlerden dolayı titanyum alaşımlarının talaşlı imalatı için kesici takımlara kaplama uygulamadan işlenebilirlik özelliklerini iyileştirici yöntemler araştırılmaktadır.

Literatürdeki çalışmalarda, farklı malzeme gruplarında mekanik ve mikro yapı açısından iyileştirme sağlamak amacıyla uygulanan farklı yöntemler mevcuttur. Son yıllarda özellikle kesici takımlar üzerindeki iyileştirme özelliklerinden dolayı buzul işlem yöntemi oldukça önemli bir yere sahip olmuştur. Demir esaslı malzemelere uygulanan buzul işlemin iyileştirme mekanizmaları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Kesici takımlardan sinter karbürler üzerine uygulanan buzul işlem çalışmaları ise son yıllarda artış göstermiştir. Bu çalışmalar kapsamında kesici takımların performanslarının arttığı belirtilmiş fakat buzul işlemin kesici takımın yapısında hangi mekanizma sonucunda iyileştirme sağladığı kesin ifadelerle belirtilmemiştir. Özellikle performans artışı amacıyla uygulanan buzul işlemler ise tornalama yönteminde kullanılan değiştirilebilir kesici uçlar üzerinedir. Parmak freze ile frezeleme konusunda buzul işlem uygulamasına pek rastlanılmamaktadır.

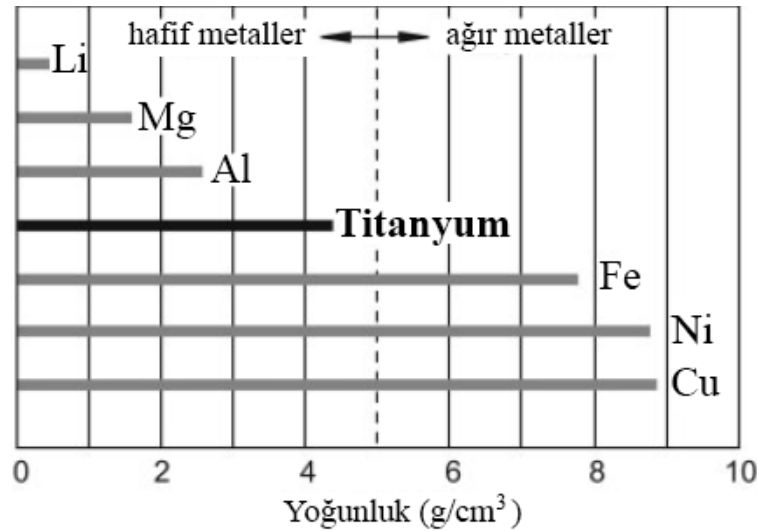
Literatürden farklı olarak bu çalışmada, tungsten karbürden yapılmış farklı kaplama özelliklerine sahip parmak freze kesici uçlar üzerine farklı sıcaklıklarda ve sürelerde buzul işlem uygulanıp, Ti6Al4V titanyum alaşımının kuru koşullarda frezeleme performansı test edilmiştir.

Performans testlerinde kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, yüzey pürüzlülüğü, talaş formu açısından da değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca uygulanan buzul işlem neticesinde mikro yapıda meydana gelen değişimlerin detaylı karakterizasyonları yapılarak, literatürde bahsi geçen teoriler bu tez kapsamında kullanılan malzemeler üzerinde açıklanmaya çalışılmıştır.

3. TİTANYUM VE ALAŞIMLARI

Titanyum yüksek dayanım, düşük yoğunluk ve mükemmel korozyon direnci nedeniyle cazip bir yapısal malzemedir (da Silva vd., 2016). Bununla birlikte, yerkabuğunda dördüncü en bol bulunan element olmasına rağmen yüksek ergime noktası ve aşırı reaktiflik özelliğine bağlı olarak, titanyumun maliyeti yüksektir (Ezugwu ve Wang, 1997). Üretimi esnasındaki yüksek maliyet, hem öğütme operasyonlarını (sünger üretimi, külçe ergitme) hem de kullanıcı tarafından gerçekleştirilen ikincil operasyonların çoğunu içerir (Campbell, 2006). Havacılık uygulamalarında titanyum alaşımlarının kullanıldığı başlıca nedenler şöyle sıralanabilir;

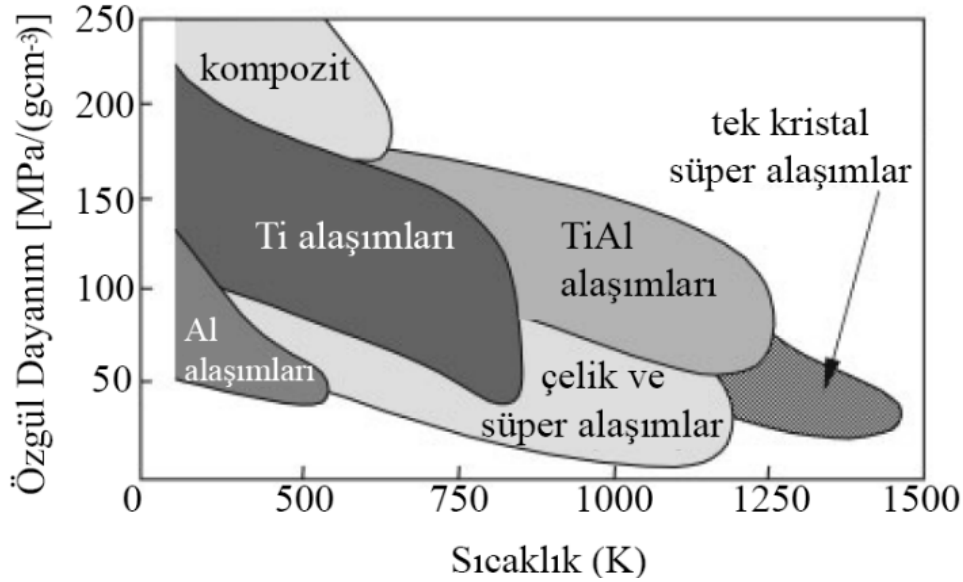
Ağırlık kazancı: Yüksek dayanım/ağırlık oranı ile titanyum alaşımları birçok dayanım ve kırılma tokluğu gerektiren uygulamada çeliklerin yerini almaya başlamıştır. Şekil 3.1’de seçilmiş birkaç malzemeye ait yoğunluk değerlerinin aldığı grafik verilmiştir. Titanyum hafif metaller grubu içerisinde yer almaktadır. Fe ve Ni metallerinin neredeyse yarısı kadar yoğunluk değerine sahiptir.



Şekil 3.1. Seçilmiş metallere ait yoğunluk değerleri (Peters vd., 2005 a).

Yorulma dayanımı: Titanyum alaşımları yorulma dayanımı açısından alüminyum alaşımlarından çok daha üstündür. Şekil 3.2’de belirli malzemelere ait sıcaklığa bağlı özgül dayanım değerleri verilmiştir. Oda sıcaklığında kompozit malzemelerin en yüksek özgül

dayanım değerine sahip olduğu görülmektedir. Kompozit malzemelerden sonra ise Ti alaşımları yer almaktadır. Fakat sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda Ti alaşımlarının dayanım değerlerinin diğer malzemelere göre yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. Sıcaklığa bağlı özgül dayanım değerleri (Peters vd., 2005 a).

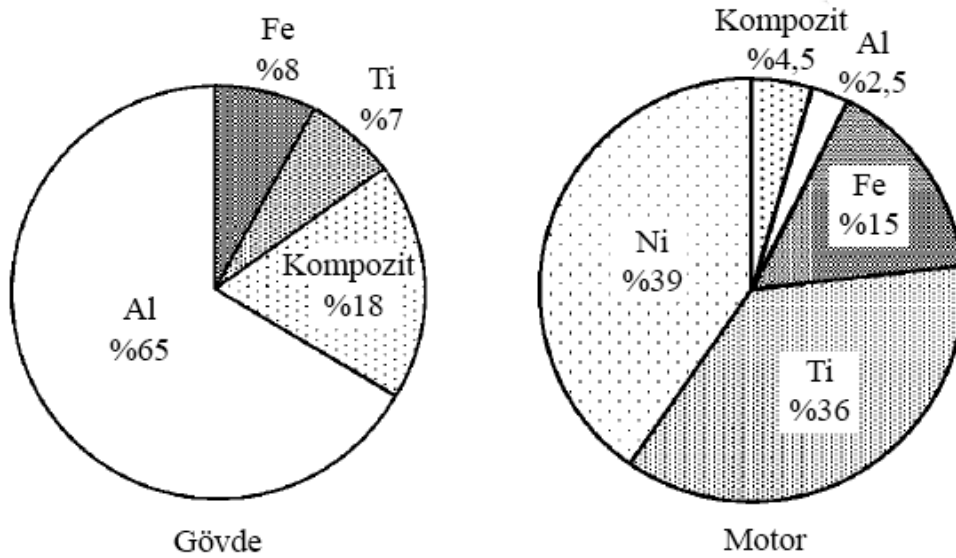
İşletme sıcaklığı özelliği: Özellikle 132 °C ve üzerinde işletme sıcaklığının olduğu durumlarda alüminyum ve alaşımları dayanımlarını büyük oranda kaybederler. Bu durumlarda titanyum ve alaşımları tercih edilmektedir.

Korozyon direnci: Titanyum alaşımlarının korozyon direnci alüminyum ve çelik malzemelerden çok daha üstündür.

Hacimden kazanım: İniş takım aparatları titanyum ve alaşımları tarafından yapılmaktadır. Bu aparatlar alüminyum malzemelerden yapılsa dahi gerekli dayanımı sağlayabilmesi için gerekli olan malzeme kesitinden dolayı, iniş takımı için ayrılan bölgeye alüminyumdan yapılmış aparatlar sığamaz.

Oldukça yüksek yorulma dayanımı, yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi ve korozyon direnci özellikleri ile F-22 savaş uçaklarının yapısal ağırlığının yaklaşık olarak %42'sini titanyum alaşımları oluşturmaktadır. Ticari yolcu uçaklarının motor, fan, düşük basınç kompresör ve yüksek basınç kompresörlerinin 2/3'ü titanyumdan yapılmaktadır (Campbell, 2006). Şekil 3.3'de ticari hava araçlarında kullanılan malzemelere ait % ağırlıkça kullanım

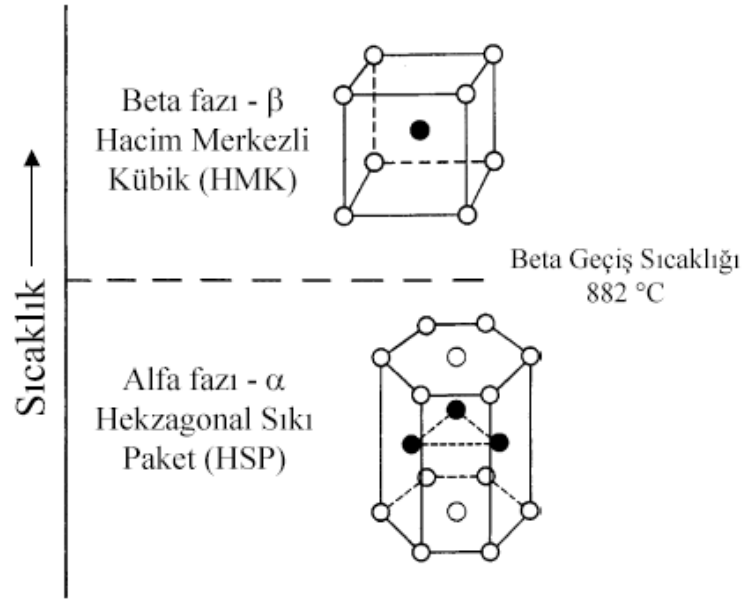
miktarları verilmiştir. Yapısal kısımda hafifliği sağlamak amacıyla alüminyum malzemesinin yüksek oranda kullanıldığı görülmektedir. Motor kısmında ise yüksek dayanım ve sıcaklıklara maruz kalan malzemeler yer aldığından, bu kısımda titanyum malzemesinin kullanım miktarının oldukça yüksek olduğu görülebilmektedir.



Şekil 3.3. Modern ticari hava araç gövde ve motorlarında %ağırlıkça kullanılan malzemeler (Peters vd., 2005 b).

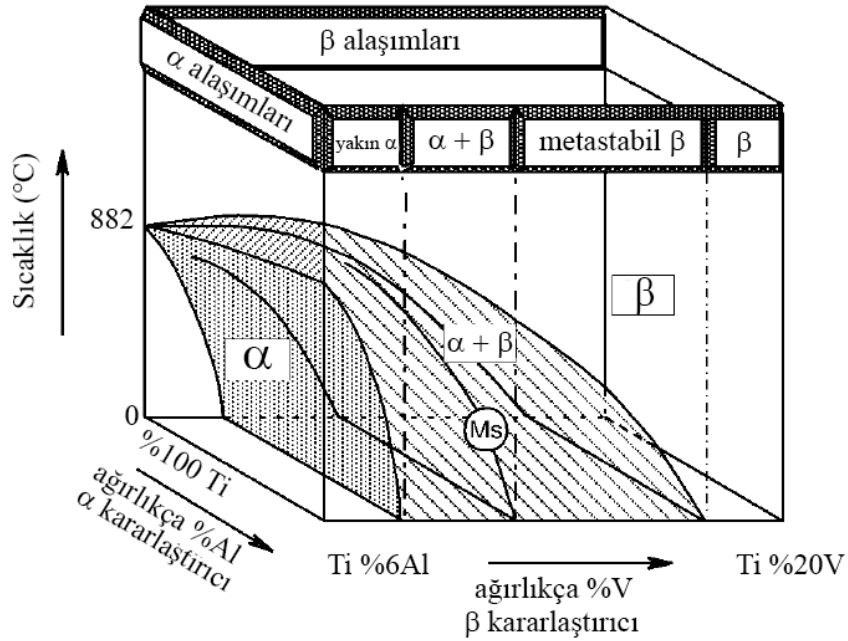
Titanyum iki farklı kristal kafes yapısına sahiptir. Oda sıcaklığında kararlı formda olan alfa (α) fazıdır. Bu fazın kristal kafes yapısı hegzagonal sıkı pakettir. Diğerisi ise yüksek sıcaklıklarda kararlı formda olan beta (β) fazıdır. Bu faz ise hacim merkezli kübik yapıdadır (Şekil 3.4).

Titanyum alaşımları dört ana grup altında sınıflandırılır. Bunlar; yüksek saflıkta titanyum ($Ti > \%99$), alfa alaşımları ($\%90-95 Ti$), alfa -beta alaşımları ($\%80-90 Ti$) ve beta alaşımları ($Ti > \%80$) şeklindedir. Ayrıca literatürde bu alaşımlara ilaveten yakın alfa ve meta stabil beta'dan da bahsedilmektedir. Titanyum alaşımına ait üç boyutlu faz diyagramı Şekil 3.5'te verilmiştir. Faz diyagramında belirtildiği üzere, α alaşımları yüksek saflıktaki titanyum ile α kararlılaştırıcı elementler ile alaşımlandırılmış durumları görülmektedir. $\alpha+\beta$ alaşımları geniş bir kullanım alanına sahip olup, bu gruptaki alaşımlar oda sıcaklığında $\%5-40$ aralığında β fazını içerirler.



Şekil 3.4. Saf titanyuma ait kristal kafes yapıları (Campbell, 2006).

α alaşımı diyagramdan da görülebileceği üzere oldukça az miktarda β fazını içerebilir. $\alpha + \beta$ alaşımı ise α ve dönüşmüş β fazlarından oluşmaktadır. Meta stabil β alaşımı ise oda sıcaklığına soğutulduğunda, yapısında kalıntı β olacaktır ve ısıtma işlem uygulandığında ise ince α fazı çökelecektir (Campbell, 2006).



Şekil 3.5. Titanyum alaşımlarının sınıflandırılması (Peters vd., 2005 a).

3.1. Saf Titanyum

Ticari saflıkta bulunan titanyum, 170 MPa ile 480 MPa akma mukavemeti değerine sahiptirler. Bu değer yapının oksijen ile alaşımlandırılması ile artmaktadır. Ticari saflıktaki titanyumun çok iyi şekillendirilebilme yeteneği yüksektir, kolayca kaynak yapılabilir ve mükemmel korozyon direncine sahiptir. Titanyum alaşımları oda sıcaklığında da şekillendirilebilirken, yüksek oranda şekillendirme işlemleri 148 °C - 482 °C aralığında yapılabilir. Ticari saflıktaki titanyumların en yüksek kullanım alanı ise korozyon direncine sahip borular, tanklar ve kimyasal proses endüstrisi ekipmanlarıdır (Ezugwu vd., 2003; Campbell, 2006).

3.2. Alfa ve Yakın Alfa Alaşımları

Alfa ve yakın alfa titanyum alaşımlarına ısı işlem uygulanamaz, orta seviyede şekillendirme yeteneğine, dayanıma sahiptirler, kaynak yapılabilirler, iyi seviyede kırılma tokluğu ve sürünme direncine sahiptirler. Alüminyum en önemli alaşım elementidir. Hem dayanımını arttırmakta hem de yoğunluk değerini azaltmaktadır. Bununla beraber, Ti_3Al kırılma fazının oluşma riskinden dolayı alüminyum oranı %6 ile sınırlandırılır. Ti-5Al-2,5Sn alaşımı sünekliği ve kırılma tokluğu değerlerinin düşük sıcaklıklarda dahi iyi olması nedeni ile kriyojenik uygulamalarda kullanılır. Yakın alfa alaşımlarının yapısında büyük oranda alfa fazı ve bu faz içerisinde ise az miktarda beta fazı bulunmaktadır. Bu gruptaki alaşımlar genellikle %5-8 oranında alüminyum ve bir miktar Zr, Sn ve beta kararlılaştırıcı elementler içerir. Yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımlarını koruyabildikleri için bu gruptaki malzemeler yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilir (Ezugwu vd., 2003; Campbell, 2006).

3.3. Alfa-Beta Alaşımları

Alfa-beta alaşımlarına ısı işlem uygulanabilir ve bu sayede orta seviyede dayanım özelliğine sahip olurlar. Kaynak edilebilirlik özellikleri yakın alfa alaşımları kadar iyi olmasa da, şekillendirme kabiliyetleri daha iyidir. Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2Sn ve Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo gibi alfa-beta alaşımları, yakın alfa alaşımlarından daha yüksek dayanım değerlerine sahiptir. Bu malzemeler, 400 °C sıcaklığa kadar geniş bir işlem sıcaklığı

aralığında iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Ti-6Al-4V alaşımı kaynak edilebilir özelliktedir. Alfa-beta alaşımlarında bulunan alüminyum elementi alfa fazının dayanımını artırırken, beta kararlılaştırıcı elementler ise katı çözelti sertleştirme yöntemi ile ısıl işlem yapılabilir özelliği arttırmaktadır. Beta kararlılaştırıcı elementin miktarının artması ile sertliğin artması ve kaynak yapılabilirliğin azalması şeklinde sonuçlanır. Ti-6Al-4V alaşımı havacılık sektöründe kullanılan titanyum alaşımları arasında yaklaşık olarak %60 oranında kullanılmaktadır. Bu oran uçak gövdesinde ise %80-90 mertebelerine yükselmektedir (Ezugwu vd., 2003; Campbell, 2006).

3.4. Beta Alaşımları

Beta alaşımları yüksek oranda hacim merkezli kübik beta fazı içermektedir. Beta fazı oranının artması sonucunda ısıl işlem uygulanabilirlik özellikleri artar, yüksek süneklik özelliğine sahip olur ve alfa alaşımlarına kıyasla şekil verilebilirlik özellikleri daha iyi olur. Genel olarak, çok iyi kaynak edilebilirler, yüksek kırılma tokluğu değerine sahiptirler. Fakat sürünmeden dolayı 370 °C işlem sıcaklığı ile uygulamaları sınırlıdır (Ezugwu vd., 2003; Campbell, 2006).

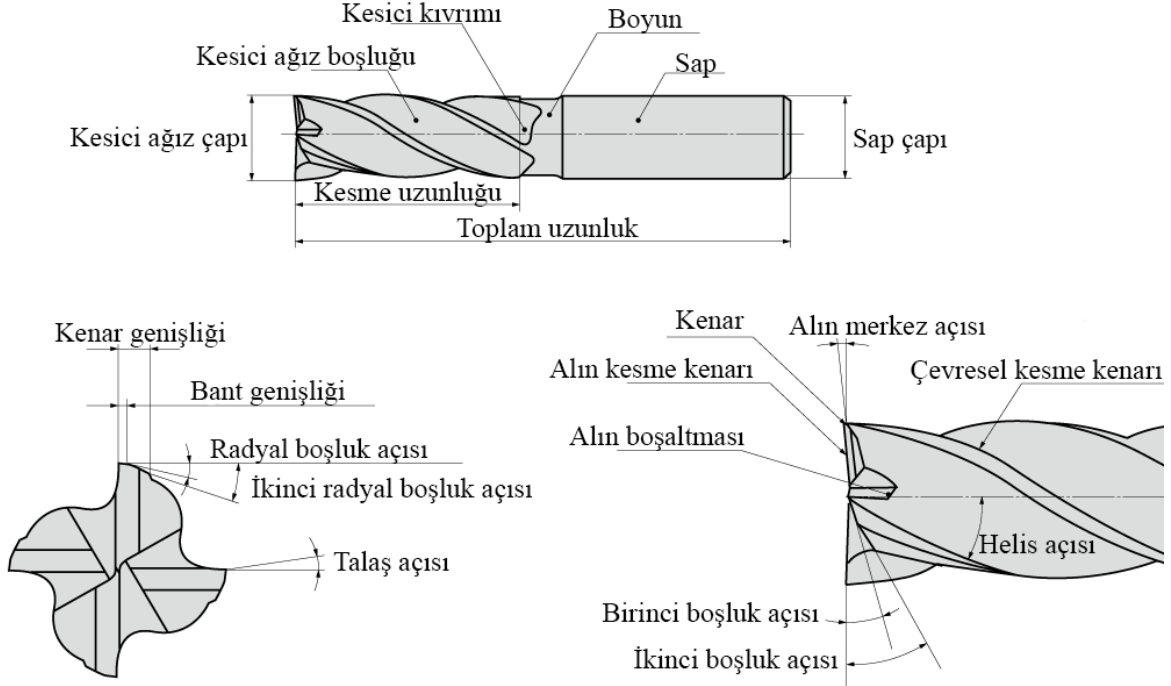
4. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

İmalat ekonomide toplumun maddi refahının oluşabilmesi için gerekli araçlardan biridir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, imalat sanayi gayri safi milli hasılanın (GSMH) yaklaşık %15'ine yakın bir değeri oluşturmaktadır. Bir ülkenin sahip olabileceği; maden yatakları, petrol rezervleri ve tarım arazileri de refah oluşturmakta birer kaynaktır. Amerika Birleşik Devletleri'nde; madencilik, tarım ve buna benzer diğer sektörler GSMH'nin yaklaşık olarak %5 gibi bir oranını oluşturur. Kamu ve inşaat sektörleri ise GSMH'nin yaklaşık %5'ine denk gelir. Geri kalan kısımda ise; ticaret, eğitim, iletişim, ulaşım gibi hizmet sektörleri yer almaktadır. Bu hizmet sektörleri ise Amerika Birleşik Devletleri'nin GSMH'sinin %75'inden fazlasını oluşturmaktadır. Günümüz küresel ekonomisinde, bir ülke halkının iyi bir yaşam seviyesi ve güçlü bir ekonomiye sahip olabilmesi için sağlam bir imalat alt yapısına (ya da önemli oranda yeraltı zenginliklerine) gereksinim duymaktadır (Groover, 2016).

Metal imalat prosesleri, metal ürünlerinin üretiminde kullanılan önemli bir teknolojik gruptur. Bu işlemler; tornalama, frezeleme, delik delme, broşlama ve raybalamadır. Bu proseslerin amacı, yüksek derecede üretim etkinliği ile bir ürünün istenilen zamanda, kalitede ve uygun maliyetle imalatını yapmaktır. Metal kesme teknolojileri; kalite artmasını, işlem süresinin ve işlem maliyetlerinin azalmasını sağlayarak, metal kesme işlemlerinin üretim verimliliğini ve performansını geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu yöndeki gelişmeler, malzeme teknolojileri gibi diğer alanlardaki gelişmelere dayanarak önemli ölçüde başarılmıştır. Aynı zamanda, bu alandaki temel zorluklar ve hedefler son yüzyıl boyunca radikal bir şekilde değişmemiştir (Ståhl ve De Vos, 2014).

Malzeme kaldırma yöntemleri, fazla malzemenin iş parçasından kaldırılarak amaçlanan son geometrinin elde edildiği şekil verme işlemleridir. Bu işlemlerden biri olan frezelemede ise, birden çok kesme kenarına sahip dönen kesme takımı iş parçası üzerinde düzlem veya düz bir yüzey elde etmek için ilerletilir. İlerleme hareketinin doğrultusu takımın dönme eksenine diktir. Şekil 4.1'de kesici ağız sayısı, helis açısı ve kesici ağız çapı gibi pek çok geometrik detaya sahip parmak freze ucu görülmektedir. Dört ağızlı freze ucu dört adet kesici kenara sahiptir. Her bir kesme kenarı tek bir kesici uç gibi hareket eder. Kesici uçların

yanındaki boşluklar ise frezeleme esnasında oluşan talaşın bu bölgeden uzaklaşmasını sağlar. Titanyum ve alaşımlarından yapılmış uçak parçalarının talaşlı imalatında kullanılan yöntemler ve bu yöntemler arasında kullanım miktarları Şekil 4.2’de verilmiştir.





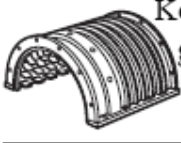




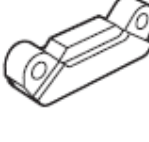
Şekil 4.1. Standart bir parmak frezenin ucunun geometrik detayları (Anonim, 2017 b).

4.1. Titanyum Alaşımlarının İşlenebilirliği

İşlenebilirlik tanımı standartlaştırılmış bir özellik değildir. Genellikle işlenebilme kabiliyeti, iş parçasının kesici takım ile ne kadar kolay ya da zor şekillendirilebildiğini gösterir. İşlenebilirliğin belirlenmesinde kullanılan çeşitli kriterler mevcuttur. Bu kriterlerden en önemlileri ise; takım ömrü, talaş oluşumu, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüdür (Çakır, 2006).

Ti6Al4V alaşımlarının kimyasal reaktifliğinin ve kesici takıma kaynak olma eğiliminin yüksek olması, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması, ısı iletkenliğinin ve elastisite modülünün düşük olmasından dolayı talaşlı işlenebilirliği zorlu malzemeler arasındadır. Hemen her malzeme 510 °C sıcaklığına ulaştığında kimyasal olarak titanyum ile reaksiyona girebilir. Isıl iletkenliğinin düşük olması (çeliklere oranla 1/6 kat daha düşük) sebebiyle takım ucunda sıcaklık yükselerek takımın hızla aşınmasına neden olur. Düşük

elastikiyet modülüne sahip olmasından dolayı titanyum alaşımlarının talaşlı imalatı esnasında titreşim meydana gelir ve bu durum yüzey kalitesini etkiler. Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması nedeniyle işlenmesi zordur (Campbell, 2006).

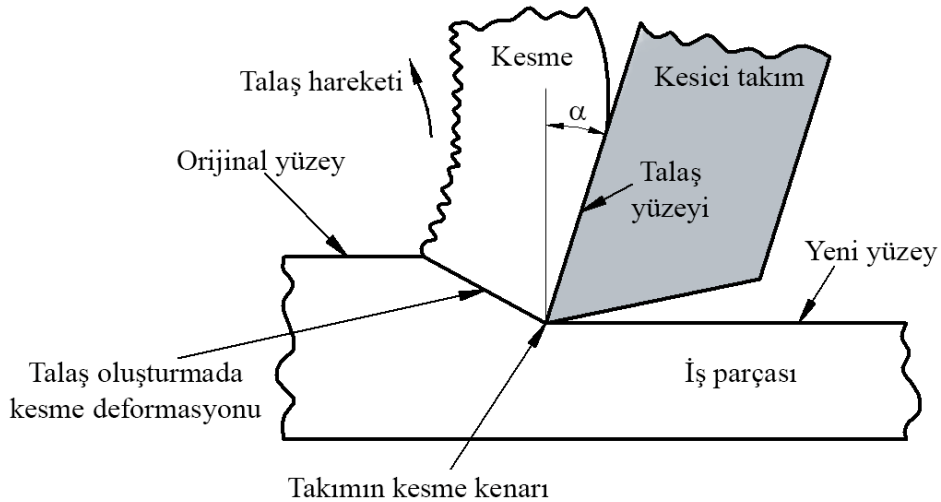
Uçak Parçası	Tornalama	Frezeleme		Delik Delme	Diğer
		Değişebilen	Yekpare		
 Disk	%75			%5	%20
 Kanatçıklı disk	%30	%20	%45	%5	
 Kompresör gövdesi	%20	%40	%20	%20	
 Gövde	%60	%20	%10	%10	
 Türbin kanadı		%60	%20	%20	
 Yüksek basınç kanadı		%10	%50		%40
 Valfler	%10	%10	%40		%40
 Motor sabitleme aparatı		%70	%20	%10	

Şekil 4.2. Titanyum ve alaşımlarından yapılmış uçak parçalarının talaşlı imalatında kullanılan yöntemler (Anonim, 2015 a).

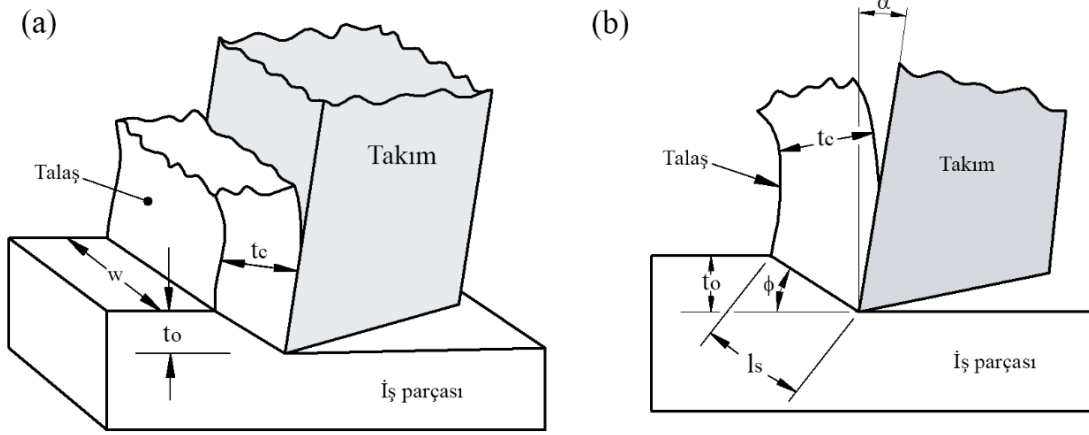
4.1.1. Talaş mekaniği ve talaş oluşumu

Talaşlı imalat yönteminde kesici takımlar kullanılarak iş parçasından talaş kaldırılması sonucunda hedeflenen parça şekli oluşturulur. Talaşlı imalatta, kesme eylemi esnasında, iş parçasının kayma deformasyonu ile talaş oluşturması ve talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılmasıyla yeni yüzeyler elde edilir. Talaş kaldırma işlemi metalik malzemelere çok sık uygulanan yöntemlerden birisidir. Şekil 4.3'te talaş kaldırma işlemi gösterilmiştir (Groover, 2016).

Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu geometride gerçekleşir ve oldukça karmaşıktır. Talaşlı imalat işleminin mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme yöntemi olan ortogonal model kullanılır. Şekil 4.4'te ortogonal kesme yöntemine ait şematik görünüm verilmiştir. Ortogonal kesme modeli tanımlanırken, kama biçimli kesici takımın kesme kenarı kesme hızının yönüne diktir. Kesici takım iş parçasına kuvvet uyguladığı için kesme düzlemi adı verilen ve iş parçasının yüzeyiyle ϕ açısı yapan düzlem boyunca kesme deformasyonu ile talaş şekillenecektir. İş parçasının talaşlı imalatı esnasında iş parçasından talaş kaldırmanın sonucu olarak sadece kesici takımın keskin kenarında bozulma olur. Kesme düzlemi boyunca iş parçası plastik deformasyona uğrar (Groover, 2016).



Şekil 4.3. Kesme işleminin şematik gösterimi (Groover, 2016).

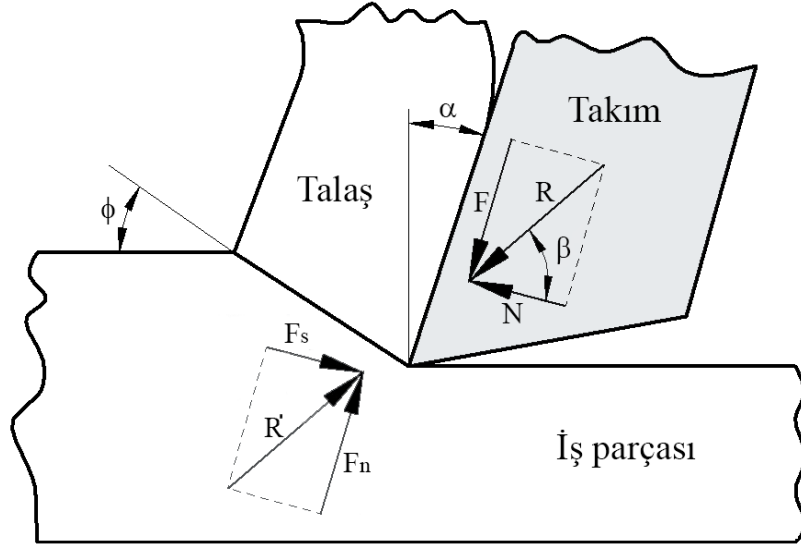


w: ortogonal kesme genişliği
to: ilk talaş kalınlığı
tc: son talaş kalınlığı
ls: kesme düzlem uzunluğu

Şekil 4.4. Ortogonal kesme geometrisinin, (a) üç boyutlu, (b) iki boyutlu şematik gösterimi (Groover, 2016).

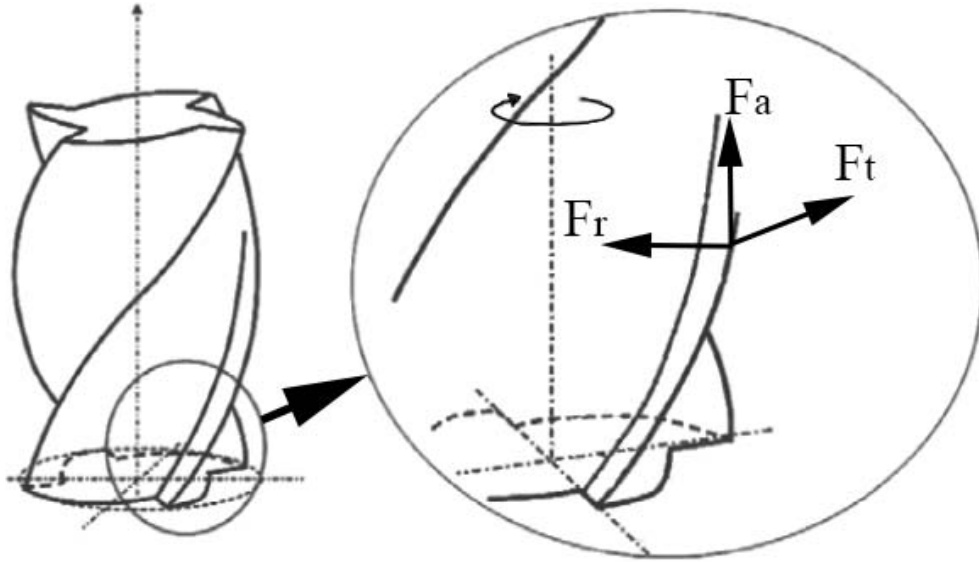
4.1.2. Talaşlı imalat esnasındaki kesme kuvvetleri

Ortogonal kesme işleminde, talaşa etki eden kuvvetler Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Kesici takım tarafından talaşa uygulanan kuvvetler, sürtünme kuvveti ve sürtünmeye dik (normal) kuvvet şeklinde ikiye ayrılır. Talaşın talaş yüzeyinde takımın hareketine karşı direnç göstermesi sürtünme kuvveti (F) şeklinde ifade edilir. N ise sürtünmeye dik kuvvettir. Sürtünme kuvveti ve onun dik normal kuvvetinin bileşke kuvveti R ile gösterilmiştir. R kuvveti β açısıyla etki eder ve β sürtünme açısıdır. Ayrıca talaşa etki eden takım kuvvetleri, kesme kuvveti (F_s) ve kesme kuvvetine dik olan normal kuvvet (F_n)'tir. F_s ve F_n kuvvetlerinin vektörel bileşke kuvveti R' olarak ifade edilir. R' kuvveti, R kuvvetine ters yönde, aynı doğrultuda ve eşit kuvvet değerindedir (Groover, 2016).



Şekil 4.5. Ortogonal kesimde talaşa etkiyen kuvvetler.

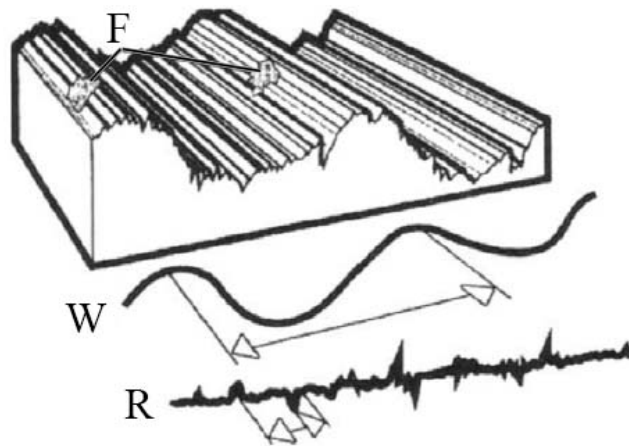
Şekil 4.6'da parmak freze üzerinde talaşlı imalat esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri gösterilmiştir. Aksenal kuvvet (F_a), teğetsel kuvvet (F_t) ve radyal kuvvet (F_r) olmak üzere üç tür kuvvet bileşeni bulunmaktadır (Norberto López de Lacalle vd., 2011).



Şekil 4.6. Parmak freze üzerindeki kesme kuvvetleri ((Norberto López de Lacalle vd., 2011).

4.1.3. Yüzey pürüzlülüğü

Talaşlı imalat ile genellikle iş parçasının son geometrisi ve ölçüleri belirlenmektedir. Aynı zamanda iş parçasının yüzey kalitesi de belirlenmektedir. Talaşlı imalat sonrasındaki yüzey kalitesi belirli faktörlere bağlıdır. Geometrik faktörler, iş parçası malzeme faktörleri ve titreşim/tezgâh faktörleri sıralanabilir. Geometrik faktörler iş parçasının yüzey geometrisini tanımlar. Geometrik faktörler ise talaşlı imalat türü, kesici takım geometrisi ve kesici takımın ilerleme miktarından etkilenmektedir. İş parçası malzeme faktörlerinde ise kesici takım ile işlenen parça arasındaki etkileşim söz konusudur. Talaş yapışması, talaşın iş parçasına zarar vermesi, sünek malzemelerin işlenmesi esnasında iş parçasının yüzeyinin yırtılması, kırılgen parçaların işlenmesi esnasında yüzeyde çatlakların oluşması ve kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünme bu faktörü etkilemektedir. Titreşim ve tezgah faktörleri ise kesici takım ile tezgahın talaşlı imalat esnasındaki konstrüksiyon açısından etkileşimleridir. Bu etkileşimler genellikle titreşimlerden oluşmaktadır. Kesici takımın ya da iş parçasının sabit bir şekilde tezgâha bağlanmaması da bu durumu etkiler (Grezesik, 2008).



Şekil 4.7. Talaşlı imalat ile işlenen parçanın yüzeyinin şematik görünümü (Grezesik, 2008).

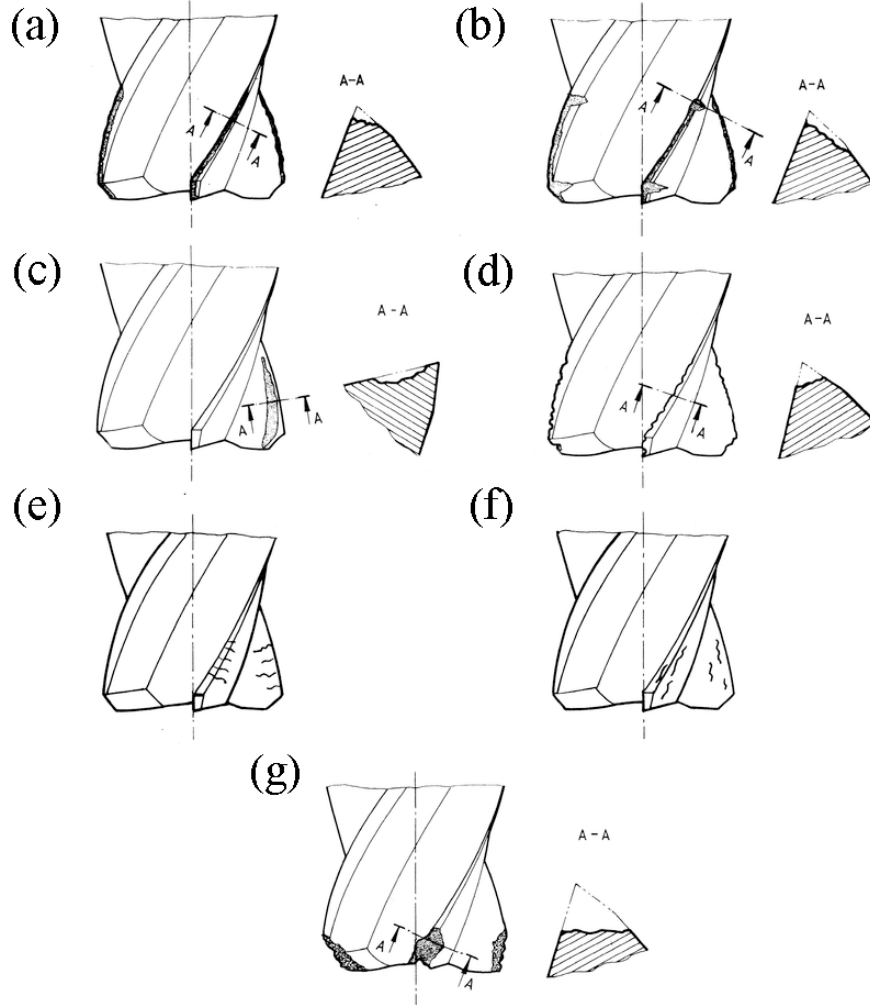
Şekil 4.7’de talaşlı imalat sonrasında bir iş parçasının yüzey topoğrafyasına ait şematik çizim verilmiştir. Bu çizimde yüzeydeki dalgalanma (W) ve pürüzlülük (R) görülmektedir. Dalga geometrik sapmalar grubundandır ve yüzey kalitesini etkileyen esas parametre yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü ise maksimum yüzey pürüzlülüğü (R_t), maksimum çıkıntı yüksekliği (R_p), 5 çıkıntı 5 girinti ortalaması (R_z) ve yüzey

pürüzlülüğünün aritmetik ortalama değeri (R_a) gibi kriterlere göre değerlendirilir. R_a değeri en yaygın kullanıma sahip parametredir (Grezesik, 2008).

4.1.4. Takım aşınması

Talaşlı imalat esnasında takım malzemesi yüksek gerilime, sürtünmeye ve ısıya maruz kalır. Bu durumda kesici takım zamanla aşınmaya başlar. Kesici takım, iş parçası ve talaşlı imalat parametreleri arasındaki etkileşim sonucu aşınma meydana gelir. Talaşlı imalat sonrasında iş parçasının yüzey kalitesi, boyutları ve talaşlı imalatın verimliliği kesici takımların aşınmasından doğrudan etkilenmektedir. Aşınmanın artması ile kesme kuvvetleri, talaş bölgesindeki sıcaklık ve titreşim artar. Kesme kuvvetlerinin artması sonucu kesme işlemi için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda, kesme kuvvetlerinin artması ile kesici takım ve iş parçası arasındaki gerilme değeri de giderek artar.

Şekil 4.8'de parmak freze ile talaşlı imalat esnasında oluşabilecek aşınma türleri verilmiştir (ISO, 1989). Şekil 4.8a'da serbest yüzey aşınması görülmektedir. Bu aşınma türü, kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir. Talaş oluşumu esnasında ve sonrasında ana kesici kenar ve yardımcı kesici kenar iş parçası ile temastadır. Bu aşınma türü en yaygın görülen normal aşınma türüdür ve genellikle emniyetli olarak sürekli artan bir yan yüzey aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilir. Bu aşınma türü meydana geldiğinde, işlenen parçanın yüzey kalitesi kötüleşir ve sürtünme artar. Şekil 4.8b'de çentik aşınması görülmektedir. Yüksek derecede sürtünme ve oksidasyon bu aşınmanın oluşmasını tetikler. Çentik kesici takım üzerinde kesme derinliğinin olduğu bölgede oluşur. Kesme işleminin sonunda, bu bölgenin hava ile teması söz konusu olduğundan, aşınma bölgeseldir. Çentik aşınma miktarının artması sonucunda ince işlemlerde yüzey kalitesi etkilenir ve kesici kenar zayıflar. Şekil 4.8c'de krater aşınması görülmektedir. Bu tür aşınma, kesici takım ile takım üzerine temas eden talaş arasında kimyasal ve mekanik bir etkileşim sonucu takım malzemesinden parçaların kopmasıyla oluşur. Yüksek sıcaklık sertliği ve malzemeler arasındaki kimyasal reaktifliğin azaltılması ile bu aşınma türünün eğilimi minimize edilir.



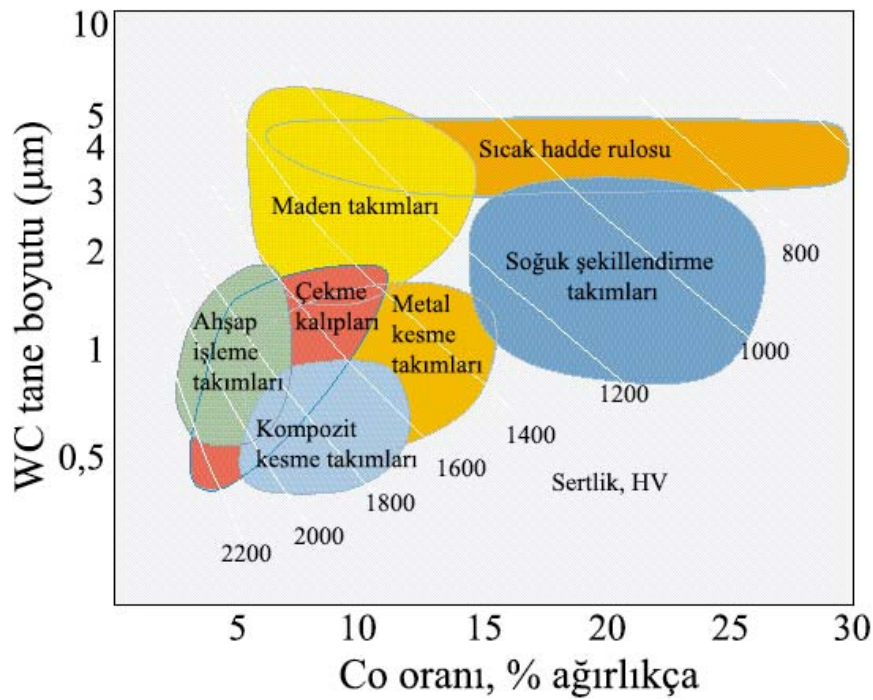
Şekil 4.8. Parmak freze üzerinde oluşabilecek aşınma türleri (ISO, 1989).

Şekil 4.8d’de çatlama türündeki aşınma görülmektedir. Bu aşınma türü kesici kenarın aşınmaktan çok kırılması nedeniyle oluşur. Bu aşınma tipinde genellikle takıma etkileyen yükün sürekli değişmesi nedeniyle bir yorulma oluşur ve bunun sonucunda takım yüzeyinden malzeme kopar. Darbeli kesme işlemi bu tip aşınmanın en sık görülen nedenlerinden biridir. Şekil 4.8e’de termal çatlaklar görülmektedir. Bu aşınma türü genellikle ısı dağılımının farklılık göstermesi nedeniyle ortaya çıkan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına neden olur. Bu aşınmada kesici kenara dik çatlaklar meydana gelir ve takım malzemesi kenardan dışa doğru zorlanır. Bu zorlanma sonucunda takım malzemesinde ani kırılma meydana gelebilir ve ucun kullanılamaz hale gelmesi söz konusudur. Şekil 4.8f’de mekanik yorulma çatlakları görülmektedir. Bu çatlaklar kesme kuvvetlerinin anlık değişimleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Mekanik yük kendi başına çatlak oluşturacak büyüklükte olmamasına rağmen mekanik yükteki sürekli değişim yorulma sonucunda çatlakla neden

olur. Bu aşınma tipi talaşlı imalatın başlangıcında gözlenir. Oluşan çatlaklar kesici kenara paralel görülür. Şekil 4.8g’de kesici takımın ucunun kırıldığı görülmektedir. Kesici takımın kesici ucunun kenarındaki büyük miktarlardaki kırılma mümkün olduğunca kaçınılması gereken, en tehlikeli aşınma türüdür. Kenarın kırılması kesici takımın artık kullanılamaz duruma gelmesi anlamına gelir. Kesici takımın zamanla aşınması, sıcaklıktaki ve kuvvetlerdeki artışlar kesici kenarın bu tip bir aşınmaya maruz kalmasına neden olur (Çakır, 2006).

4.2. Sinter Karbürler

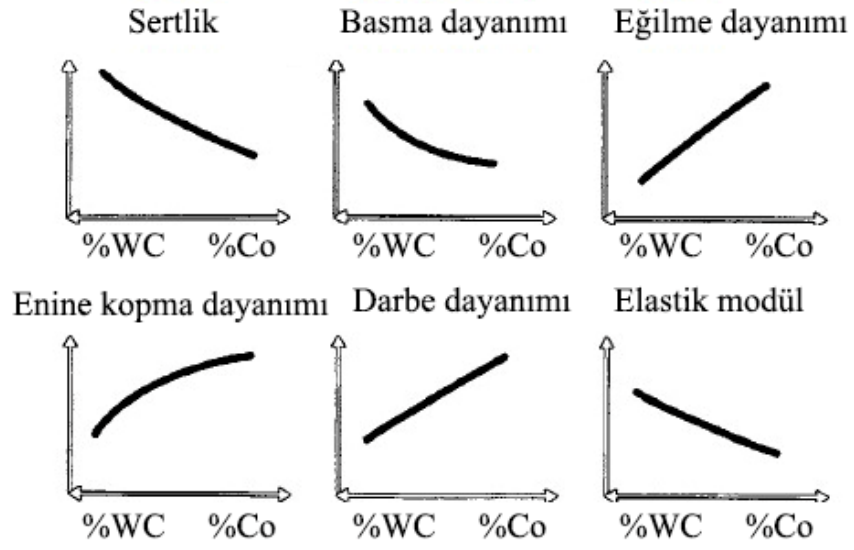
Sinter karbürler takım malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzemelerdir ve kesici takımların neredeyse yarısından fazlasını sinter karbürler oluşturur. Yüksek hız çelikleri yaklaşık %40 oranında yer alırken diğer malzeme grupları ise %10 oranında yer almaktadır. Sinter karbürler farklı karbürlerin ve bağlayıcı olarak metallerin toz metalürjisi ile üretilmesi sonucu elde edilirler (Grezesik, 2008). Sinter karbürlerin yapısında üç farklı faz olabilmektedir. Bunlar; tungsten karbür malzemelerde (a) alfa fazı (α) tungsten karbür – WC, (b) beta fazı (β) kobalt bağlayıcısı, (c) gama fazı (γ) karbürler –TaC, TiC gibi, (d) eta fazı (η) - çoklu tungsten karbürleri ve en az bir metal bağlayıcının bulunduğu fazlar mevcuttur. WC esas olarak kullanılan karbür malzemesidir. Bunun yanı sıra TiC, TaC ve NbC de kullanılan karbürler arasındadır. Bağlayıcı olarak en çok Co tercih edilir. Sinter karbür malzemelerin içindeki sert partiküllerin miktarı %70 ile %97 arasında ve boyutları ise 0,2 μ m ile 20 μ m arasında değişkenlik göstermektedir. Sinter karbür üretici firmaları, sert partiküllerin türü, boyutu ve miktarındaki ayarlamalar ile oldukça geniş kapsamlı bir uygulama alanına sahip malzeme grubu sunarlar. Şekil 4.9’da farklı Co oranı ve WC tane boyutuna sahip malzemelerin kullanım alanlarını gösteren bir grafik yer almaktadır. WC tane boyutunun ve Co oranının azalmasına bağlı sinter karbür malzemelerinin sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Farklı üretim teknikleri ve kompozisyonundaki iyileştirmeler sayesinde sinter karbürler farklı alanlarda kullanım alanına sahip olmaktadır. Sinter karbürlerin yaklaşık %67’si metal kesme takımlarında, %13’ü madencilikte, %11’i ahşap işlemeciliğinde ve %9’u ise yapısal endüstride kullanılmaktadır. Yüksek aşınma direnci, darbe dayanımı, basma dayanımı, ısıl şok dayanımı, yüksek elastik modül ve korozyon direnci özellikleriyle sinter karbürler yeni uygulama alanlarında tercih sebebi olmaktadır (Fernandes ve Senos, 2011).



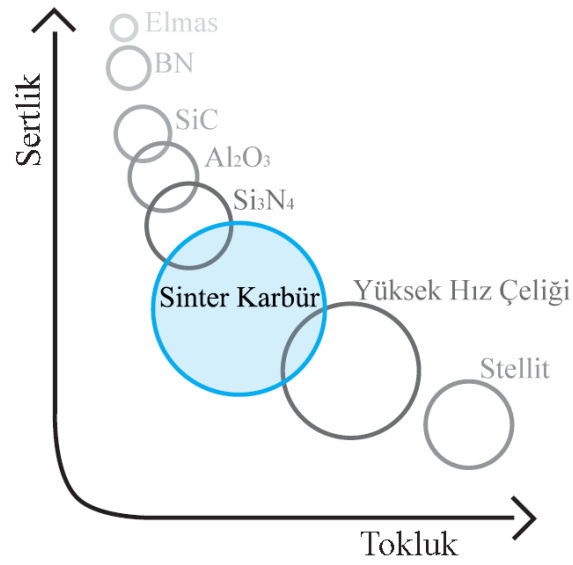
Şekil 4.9. Sinter karbür malzemelerin kullanım alanları (Anonim, 2015 b).

Sinter karbürün yapısındaki Co ile WC'ün miktarı ve WC tanelerinin boyutu malzeme özelliklerini belirleyen iki temel parametredir. Şekil 4.10'da bu iki parametreye bağlı değişimlerin sinter karbür malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Sert partiküllerin yapıdaki oranının artması ile sertlik ve basma dayanımının arttığı görülmektedir. Bununla beraber elastik modül değerinde de artış söz konusudur. Bunların aksine, bağlayıcı malzemenin (Co) yapıdaki katkı oranının artması ile sinter karbür malzemelerin eğilme dayanımı, enine kopma dayanımı ve darbe dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir (Grezesik, 2008).

Talaşlı imalatta kesici takım malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzemeler Şekil 4.11'de verilmiştir. Malzemelerin kullanım tercihlerini genellikle sertlik ve tokluk değerleri belirlemektedir. Sertlik değerinin en yüksek olduğu malzeme elmaştır. Sonrasında ise sırasıyla kübik bor nitrür ve seramik malzemeler gelmektedir. Oldukça yüksek sertlik değerine sahip malzemelerin ise düşük tokluk değerine sahip olması nedeniyle ani kırılmalara karşı direnci düşüktür. Sinter karbür malzemeler ise hem tokluk hem de sertlik değerleri açısından kesici takım malzemesi şeklinde kullanım için yeterli özellikler sağlamaktadır (Anonim, 2015 b).



Şekil 4.10. WC ve Co oranlarının sinter karbür malzemelerdeki mekanik özelliklere etkisi (Grezesik, 2008).



Şekil 4.11. Talaşlı imalatta kullanılan mühendislik malzemeleri (Anonim, 2015 b).

5. BUZUL ISIL İŞLEM

Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların kullanım ömrü, talaşlı imalatın verimliliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır ve sonuç olarak önemli bir ekonomik faktördür. Kesici takımların maliyeti ucuz olabilir ancak talaşlı imalat esnasında kesici takımın kısa sürede kullanım ömrünü tamamlaması sonucunda kesici takımın değiştirilmesi ile talaşlı imalat süresinin kesintiye uğraması söz konusudur. Neticede zaman kaybı ve dolayısı ile maliyet açısından da zarar oluşturacak bir durum meydana gelmektedir. Kesici takımların ömrünü uzatmak için şimdiye kadar kullanılan geleneksel yöntemler ise kesici takımlara uygulanan ısıtma işlemleri ve kaplama teknolojileridir. Buzul işlem ise son yıllarda önem kazanmış ve araştırılması devam eden bir yöntemdir.

Buzul işlem tanımı, tipik olarak -80 °C sıcaklıkta veya çok düşük sıcaklıklarda uygulanan bir ısıtma işlemi olarak kullanılır. Tıbbi cihazlar, elektrik-elektronik bileşenleri ve kuantum fiziği gibi alanlarda kullanılan süper iletkenlerde çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Özellikle makine mühendisliği ve triboloji üzerine yapılan araştırmalarda, buzul işlem uygulamaları son yıllarda yaygınlaşmakta olup, yapılan bu çalışmalar sonucunda düşük sıcaklıklarda uygulanan ısıtma işleminin malzemelerin mikro yapılarında değişimlere neden olması ile performanslarında iyileşme sağladığı belirlenmiştir.

Buzul işlem üzerine yapılan ilk örnekler, İsviçreli saat yapımcılarında görülmektedir. 19. yüzyılın ortalarında saat parçalarını kışın dağlardan bulunan mağaralarda karın altına gömerek bu parçaların daha dayanıklı hale getirilebileceğini fark etmişlerdir (Amini vd., 2010). Bu şekilde daha uzun ömürlü ve güvenilir saatlerin üretilmesi sağlanmıştır. 20 yüzyılın başlarında ise takım ve kalıp yapımcıları talaşlı imalatta kullandıkları takımları dondurmaya başlamışlardır. Böylelikle aynı kesici takım ile daha fazla parça işleyebilmişlerdir. Aynı yöntemle uçak motor parçalarına da iyileştirme işlemi uygulanmıştır.

İkinci Dünya Savaşı sırasında, makine ve araçlarda mekanik parçaların aşınma direncini arttırmak için buzul işlemi yaygın kullanılan bir yöntemdi ancak bu konu üzerindeki ciddi araştırmalar, 1960'larda NASA mühendisleri tarafından uzay araçlarının uzaya gidip geri dönmeleri sonrasında uzay aracı parçalarının farklı özellikler sergilemelerinin fark

edilmesine kadar yapılmamıştır. 1970 ve 1980'lerde Dr. Randall Barron (Barron, 1973) ile Charles Mulhern beraber (Barron ve Mulhern, 1981) derin buzul işlemin etkileri üzerine olan ilk ciddi araştırma projesini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda, demir esaslı malzemelerin tornalanması üzerine abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Barron bu çalışmalar neticesinde AISI D2 takım çeliğinde %718 oranında aşınma direncinde artış belirlemişken, AISI A2, A6 ve T2 çeliklerinde ise buzul işlemin bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Buzul işlem prosesinde malzemeler oda sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara üzerinde ısıl gerilme oluşmaması için oldukça düşük hızlarda soğutulur. Belirlenen sıcaklıkta belirlenen sürede bekletilen malzemeler yine oldukça düşük hızlarda yine oda sıcaklığına ısıtılırlar. Malzemelerin -80 °C'den daha yüksek sıcaklıklara soğutulduğu "soğuk işlem", -80 °C ile -160 °C sıcaklıkları arasında soğutulduğu "sığ buzul işlem" ve -160 °C ile -196 °C sıcaklıkları arasında soğutulduğu "derin buzul işlem" olarak sınıflandırılan düşük sıcaklık işlemleri ile malzemelerin aşınma direnci, sertlik, yorulma direnci, tokluk vb., özelliklerinde ciddi iyileştirmelerin yanında yüksek boyutsal kararlılık da sağlanabilmektedir (Das vd., 2009a). Ayrıca buzul işlem kaplamaların aksine malzemelerin bütününe etkileyen bir kereye mahsus yapılan ucuz ve kalıcı bir işlemdir. Buzul işlem, takım çelikleri, maraging çelikleri, dökme demirler, karbürize edilmiş çelikler, tungsten karbür, polimerler ve kompozitler gibi geniş yelpazede malzemelere uygulanabilmekte (Akhbarizadeh vd., 2009), ucuz olması ve kaplamaların tersine parçanın tümüne etki etmesi gibi önemli avantajlar taşımaktadır (Wang vd., 2009). Birçok malzeme gurubunda kriyojenik işlem konusu araştırılmaya devam edilirken sinterlenmiş karbür malzemeler hakkında çok az bilgi vardır ve bunlarında çoğu torna takımları üzerindedir (Yong ve Ding, 2011). Bunun yanında, kriyojenik işlemin mekanizması, hangi tür malzemelere uygulanabileceği ve uygulama koşulları gibi birçok konu aydınlatılmaya ihtiyaç duymaktadır.

Demir esaslı malzemelere uygulanan geleneksel ısıl işlemler sonrasında malzemelerin yapısında bir miktar kalıntı östenit fazı kalabilmektedir. Bu faz mekanik özellikleri kötü yönde etkilediği için yapıda istenmemektedir. Geleneksel ısıl işlem arkasından uygulanan buzul işlem ile yapıdaki kalıntı östenitin martenzit fazına dönüştüğü ve bunun yanında yapı içerisinde yeni küçük karbürlerin oluşumu ile sertlik ve aşınma

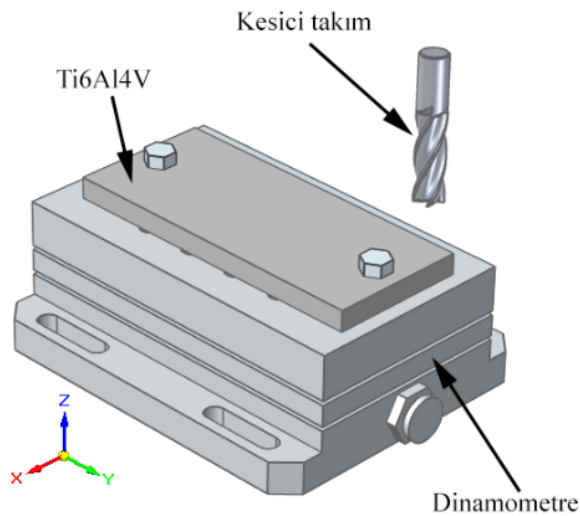
direnci gibi malzemelerin mekanik özelliklerinde iyileşme sağlandığı görülmektedir (Das vd., 2009; Amini vd., 2012). Sinter karbür malzemeler üzerinde uygulanan buzul işlemlerde ise üç farklı hipotez ortaya konulmaktadır. Bunlar; yapıda yeni eta karbürlerin oluşması, bağlayıcı bileşenin kristal kafes yapısının değişmesi ve malzeme üzerindeki kalıntı gerilmelerin ortadan giderilmesidir. Literatürde sinter karbür malzemeler üzerinde bu hipotezler üzerinde durulmaktadır. Yapılan bu çalışma kapsamında, kesici takımlara uygulanan buzul işlemin aşınma direnci üzerindeki faydasının oluşma mekanizması açıklanmaya çalışılmıştır.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Ti6Al4V titanyum alaşımının talaşlı işlenmesinde kesici takıma uygulanan buzul işlem bekletme sürelerinin ve sıcaklıklarının kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla kaplamasız ve iki farklı kaplamalı karbür takımlar üzerine farklı bekletme sürelerinde ve sıcaklıklarında buzul işlem uygulanmış ve kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Talaşlı imalat üzerindeki bu etkilerin nedenlerinin açıklanabilmesi amacıyla çeşitli karakterizasyon teknikleri de kullanılmıştır. Numuneler üzerinde kullanılan teknik ve proseslere ait özet bilgi Çizelge 6.1’de verilmiştir

6.1. İş Parçası

Deneylerde 150×65×10 mm ebatlarında ASTM B381 Grade 5 özelliklerine sahip Ti6Al4V titanyum alaşımı numuneler kullanılmıştır. Numunelerin ebatları frezeleme esnasında dinamometre üzerine bağlanacak olan bağlama kalıbının ölçüleri dikkate alınarak tespit edilmiştir. Ayrıca frezeleme deneyleri esnasında deney hassasiyetinin yüksek olması açısından numunelerin üzerinde ikişer adet delik delinerek dinamometreye montajı sağlanmıştır (Şekil 6.1). Deney numunelerinin kimyasal bileşimi Çizelge 6.2’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Ti6Al4V numunesinin dinamometre üzerine tutturulması.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan proses ve teknikler.

% Co Miktarı	Buzul İşlem Süresi (Saat)	Buzul İşlem Sıcaklığı	Tavlama (200 derece, 2 saat)	Numune Kodu	Derin Buzul İşlem	Sığ Buzul İşlem	Mikro Sertlik	Kırlıma Tokluğu	Triboloji Testi	Profilometre İle Ölçüm	Stereo Mikroskop	Optik Mikroskop	Taramalı Elektron Mikroskopu/EDS	Geçirimli Elektron Mikroskopu	X-Işınları Kırınım Analizleri	Rietveld Analizi	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri	Isıl Ağırlık Analizleri	Frezeleme	Dinamometre İle Kesme Kuvveti Ölçümü	Kesme Sıcaklığı Ölçümü
6	0	-		6DBİ00	x	x	x				x		x		x	x			x	x	x
6	12	-196		6DBİ12	x	x	x				x		x		x	x			x	x	x
6	24	-196		6DBİ24	x	x	x				x		x		x	x			x	x	x
6	36	-196		6DBİ36	x	x	x				x		x		x	x			x	x	x
6	36	-196	x	6DBİ36-T	x	x	x				x		x		x	x					
6	36	-110		6SBİ36		x	x	x			x		x		x	x			x	x	x
6	36	-100	x	6SBİ36-T		x	x	x			x		x		x	x					
10	0	-		10DBİ00	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
10	12	-196		10DBİ12	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x			x	x	x
10	24	-196		10DBİ24	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x			x	x	x
10	36	-196		10DBİ36	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x
10	36	-196	x	10DBİ36-T	x	x	x				x		x		x	x					
10	36	-110		10SBİ36		x	x	x			x		x		x	x	x		x	x	x
10	36	-100	x	10SBİ36-T		x	x	x			x		x		x	x					
12	0	-		12DBİ00	x	x	x				x		x		x	x			x	x	x
12	12	-196		12DBİ12	x	x	x				x		x		x	x			x	x	x
12	24	-196		12DBİ24	x	x	x				x		x		x	x			x	x	x
12	36	-196		12DBİ36	x	x	x				x		x		x	x			x	x	x
12	36	-196	x	12DBİ36-T	x	x	x				x		x		x	x					
12	36	-110		12SBİ36		x	x	x			x		x		x	x			x	x	x
12	36	-100	x	12SBİ36-T		x	x	x			x		x		x	x					
				Ti6Al4V			x			x		x									

*(Çizelge 6.1’de verilen numune kodundaki kısaltmaların açıklamaları; B-Buzul, D-Derin, İ-İşlem, S-Sığ, T-Tavlama).

Çizelge 6.2. Ti6Al4V titanyum alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlıkça).

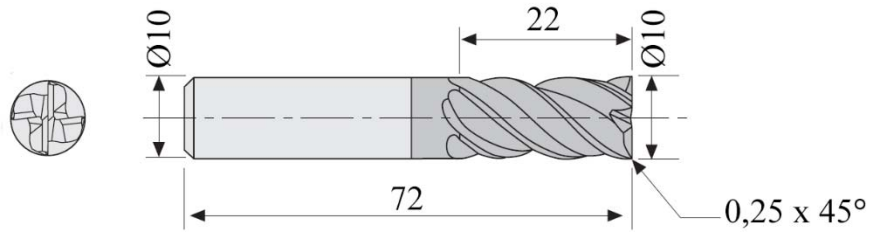
Al	V	Fe	C	N	H	O
6,09	3,9	0,13	0,02	0,01	0,001	0,09

Çizelge 6.3. Ti6Al4V titanyum alaşımının mekanik özellikleri.

Çekme Dayanımı	Akma Dayanımı	Sertlik	% Uzama
992 MPa	935 MPa	310 HV	21

6.2. Kesici Takımlar

Frezeleme deneylerinde, özellikle titanyum alaşımlarının talaşlı imalatı için tasarlanmış Artı Kesici Takım ve Mak. San. Tic. A.Ş.'nin Helix Tools markası altında PlusCut PC404-1000 serisine ait kaplamalı ve kaplamasız takımları kullanılmıştır. Kaplama türü olarak ALCRONA (AlCrN) ve X-CEED (AlTiN) kaplamalar tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan takımların ayrıca kimyasal bileşimlerinin ana malzemesi WC olup, %6-%10 ve %12 Co içeren üç farklı grupta ele alınmıştır. Kesici takımlara ait geometrik özellikler Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Deneylerde kullanılan tungsten karbür parmak frezelere ait boyutlar (Anonim, 2017 a).

6.3. Kesme Parametreleri

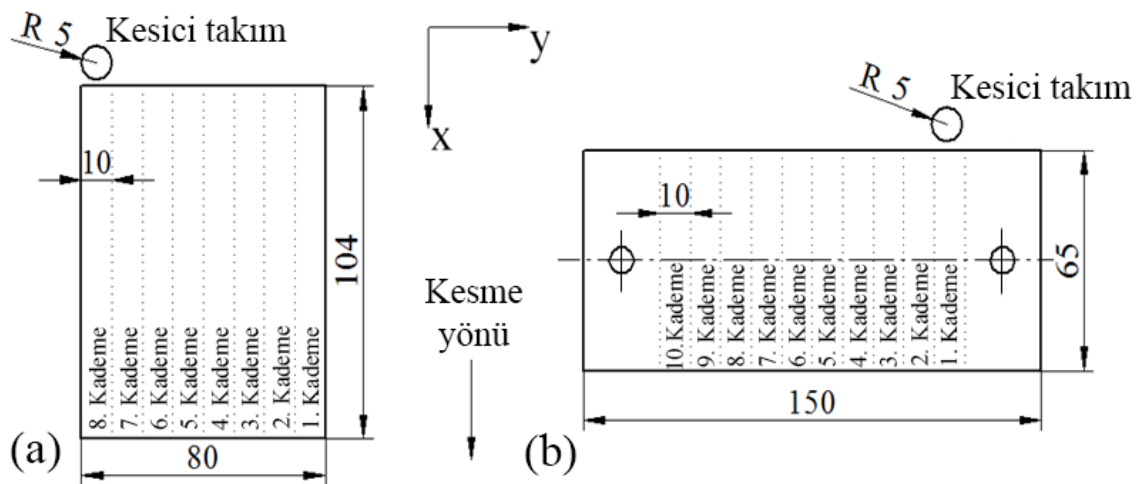
Frezeleme deneylerinde iki farklı kesme parametresi kullanılmıştır. İlk seçilen kesme parametresi ile kesici takımlara uygulanacak ısıl işlemin uygun süresinin işlenebilirlik açısından belirlenmesi amaçlanmıştır. Belirlenen kesme parametreleri literatüre ve üretici firma önerisine bağılı olarak belirlenmiştir. İkinci seçilen kesme parametresi ise esas kesme deneylerini oluşturan deney parametreleridir. Bu değerlerin belirlenmesinde ilk seçilen parametreler göz önüne alınmıştır. Kaplamalı, kaplamasız ve farklı Co içerikli tüm kesici

takımlarda aynı kesme parametresi değerleri kullanılmıştır. Kullanılan iki farklı kesme parametresi Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Frezeleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri.

	n (dv/dk)	Vf (mm)	fz (mm)	Vc (m/dk)	ap (mm)	ae (mm)	Talaş (cm ³)
1.Durum	2865	1305	0,114	90	1	10	13,05
2.Durum	2228	891,2	0,1	70	1	10	8,91

Ön deneme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri (1. Durum) ile her bir kesici takımla Şekil 6.3a’da gösterilen geometride Ti6Al4V titanyum alaşımı üzerinden 8 kademe talaş kaldırılmıştır. Esas kesme deneylerinde ise kullanılan parametreler (2. Durum) ile her bir kesici takımla Şekil 6.3b’de gösterilen geometride Ti6Al4V titanyum alaşımı üzerinden 100 kademe talaş kaldırılmıştır.



Şekil 6.3. Farklı durumlarda Ti6Al4V alaşımı üzerinden talaş kaldırma geometrileri.

6.4. Takım Tezgâhı

Kesme deneyleri, Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi’ndeki Yılmazlar Makine San. Tic. Ltd. Şti. firması bünyesinde yer alan DAH LIH MCV 1020BA bilgisayar nümerik kontrollü (CNC) dik işlem merkezinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.4). Tezgâhın teknik özellikleri Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Deneyleerde kullanılan takım tezgâhının teknik özellikleri.

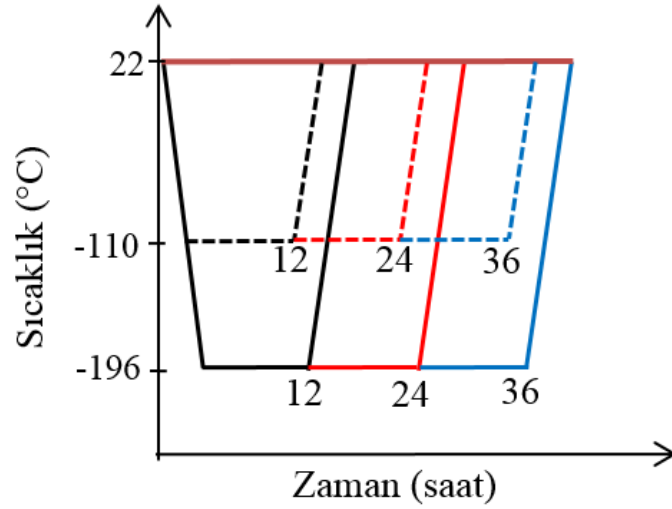
Tezgâh gücü	11 kW
Maksimum devir sayısı	8000 dev/dk
Sırasıyla x, y, z eksenleri	1020, 550, 560 mm
Ölçü hassasiyeti	0,001
İşletim Sistemi	Fanuc



Şekil 6.4. Frezeleme prosesinde kullanılan takım tezgâhı.

6.5. Buzul İşleminin Uygulanması

Ti6Al4V titanyum alaşımının talaşlı imalatının işlenebilirliğinin artırılması amacıyla kesici takımlara farklı süre ve sıcaklıklarda buzul işlemler uygulanmıştır. Kesici takımlara uygulanan buzul işlem süresinin en uygun olduğu durumun belirlenmesi amacıyla farklı kobalt ve kaplamalı takımlarda 12, 24 ve 36 saatlik sürelerde ön deneme deneyleri için derin buzul işlem uygulanmıştır. Buzul işlem sonrasında yapılan karakterizasyonlarda ve ön deneme frezeleme deneylerinden elde edilen veriler neticesinde 36 saatlik buzul işlemin kesici takımlar üzerinde en etkin süre olduğu belirlenmiştir. Esas frezeleme işlemleri için ise 36 saat süre ile derin ve sığ buzul işlemler tüm farklı kobalt içerikli, kaplamalı ve kaplamasız takımlara uygulanmıştır. Uygulanan buzul işlemlere ait ısıl işlem eğrisi Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.5. Buzul işlem eğrisi.

Buzul işlemler programlanabilir bilgisayar kontrollü soğutucu bir tank içerisine azot tankı vasıtasıyla sıvı azot ilave ederek $2^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'lık bir hız ile oda sıcaklığından inilecek sıcaklığa inilmekte ve belirlenen sürede inilen sıcaklıkta kesici takımlar bekletilmektedir. Belirlenen sürenin geçmesinin ardından yine $2^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'lık bir hız ile kontrollü bir şekilde tankın içindeki sıcaklık oda sıcaklığına getirilmektedir. Şekil 6.6'da MMD Makine ve Malzeme Teknolojileri firması bünyesinde yer alan buzul işlemin uygulandığı yalıtımlı tank, azot tankı ve bilgisayar destekli kontrol ünitesi görülmektedir.



Şekil 6.6. Buzul işlem ekipmanları.

6.6. Karakterizasyon Yöntemleri

Kesici takımlar üzerine farklı sürelerde ve sıcaklıklarda uygulanan buzul işlemlerin etkilerinin araştırılması amacıyla çeşitli karakterizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış numuneler ile Ti6Al4V alaşımı yapılacak karakterizasyonlar öncesinde boyutları ve yüzey özellikleri açısından ön hazırlık sürecinden geçirilmiştir. Sertlik, kırılma tokluğu, taramalı elektron mikroskobu, geçirimli elektron mikroskobu, optik mikroskop, X-ışınları kırınım deseni, triboloji testleri gibi karakterizasyon tekniklerinde numunelerin yüzeylerinin düzgün ve parlatılmış olması önemlidir. Bu nedenle numuneler metalografik hazırlık sürecinden geçirilmiştir. Numunelerin yüzeyleri sırasıyla 220, 500 ve 1200 meshlik zımparalar ile zımparalama işlemi yapıldıktan sonra yine sırasıyla 9 ve 3 µm'lik parlaticı solüsyonlar ile yüzeyleri parlatılmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri ve geçirimli elektron mikroskobu için ayrıca numune boyutları karakterizasyon cihazlarının numune tutucu aparatlarına bağlı olarak numunelerin boyutları titizlikle ayarlanmıştır. Ayrıca hazırlanan bu numunelerin aseton ve etil alkol ile ultrasonik cihazda temizlikleri de yapılmıştır.

6.6.1. Sertlik

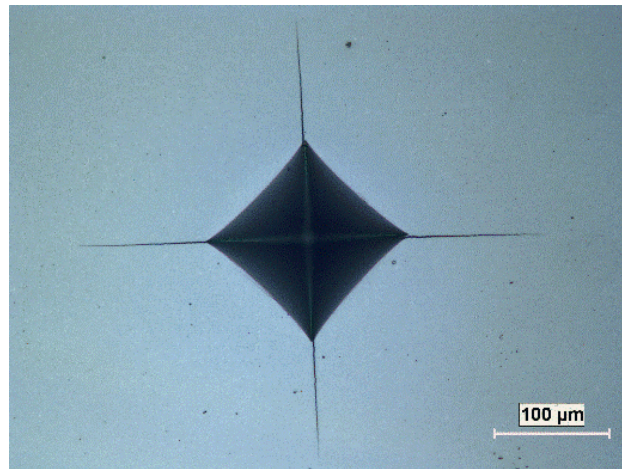
Kesici takımlara buzul işlem öncesi ve sonrasında yapılan sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Vickers sertlik değerleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yer alan FV-700 Future Tech marka cihaz ile 300 gr yük 15 sn batma süresi parametreleri eşliğinde gerçekleştirilmiştir. Sertlik değerlerinin belirlenmesi için en az 5 değer ölçülmüş olup bu değerlerin aritmetik ortalaması verilmiştir.



Şekil 6.7. Sertlik ve kırılma tokluğu ölçüm cihazı.

6.6.2. Kırılma tokluğu

Bu çalışmada kesici takımlara ait kırılma tokluğu hesaplamaları Palmqvist metodu kullanılarak yapılmıştır. Kırılma tokluğunun hesaplanması için 30 kg yük ve 15 sn batma süresi uygulanarak Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yer alan FV-800 Future Tech marka cihaz (Şekil 6.7) eşliğinde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yük neticesinde piramit uçlu batıcı ucun yüzeyde bıraktığı izin köşelerinde çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 6.8). Bu çatlak boyutlarına ve ölçülen sertliğe bağlı olarak palmqvist metodunda belirlenmiş denklem (Denklem 6.1) üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.



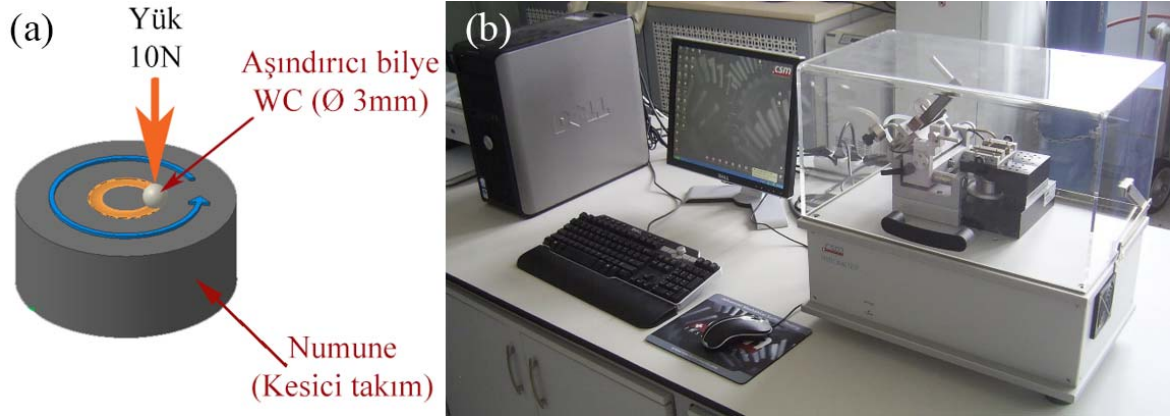
Şekil 6.8. Kırılma tokluğu ölçümü için kullanılan batıcı uç izi ve çatlak boyutları.

$$K_{IC} = 0,0028 \sqrt{HV \left(\frac{P}{\Sigma l} \right)} \quad [\text{MNm}^{-3/2}] \quad 6.1$$

Denklemden verilen K Palmqvist tokluk değeri, 0,0028 sabit değer, HV sertlik değeri, P uygulanan yük değeri ve l ise toplam çatlak uzunluğudur. Kırılma tokluğu hesaplamalarında güvenilir sonuç elde edebilmek için en az üç ölçüm yapılarak sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

6.6.3. Triboloji testleri

Buzul işlemin kesici takımlar üzerindeki sürtünme ve aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi amacıyla triboloji testleri yapılmıştır. Farklı sürelerde buzul işlem uygulanmış ve buzul işlem uygulanmamış numunelerin triboloji testleri ball-on-disc (disk üzerinde bilye) geometrisinde CSM Instruments markasına ait cihazda gerçekleştirilmiştir. Deney geometrisine ait şematik gösterim Şekil 6.9a'da ve deneylerde kullanılan triboloji cihazı Şekil 6.9b'de gösterilmiştir.



Şekil 6.9. (a) Triboloji test geometrisi, (b) cihazı.

Triboloji deneylerinde kullanılan malzemelere ait veriler Çizelge 6.6'da, deney parametreleri ise Çizelge 6.7'de verilmiştir. Deney sonrasında sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvveti değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 6.6. Triboloji deneylerinde kullanılan malzemelere ait özellikler.

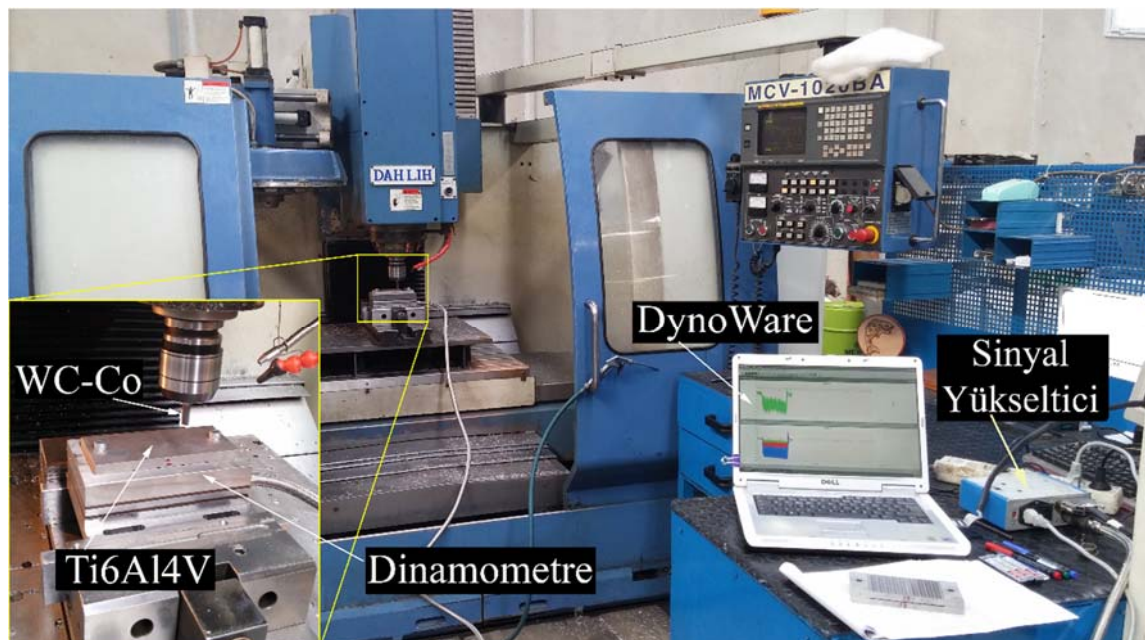
Malzemeler	Özellikler
Numune	Kesici takım malzemesi (10DBİ00, 10DBİ12, 10DBİ24, 10DBİ36) $R_a=0.02$, $\varnothing 12$ mm
Aşındırıcı bilye	WC-%6Co sinter karbür, sertlik: 91,6 HRC, E:690 GPa, $\varnothing 3$ mm

Çizelge 6.7. Triboloji deneylerinde kullanılan parametreler.

Parametreler	Değerler
Yük	10 N
Lineer hız (dönme hızı)	5 cm/sn
Aşınma iz çapı	5 cm
Aşınma mesafesi	1000 m
Sıcaklık/Nem/Atmosfer	$25^{\circ}\pm 2$ / $\%30\pm 2$ / Hava
Aşındırma ortamı	Kuru

6.6.4. Dinamometre ile kesme kuvveti ölçümleri

Frezeleme deneyleri esnasında, kesme kuvveti ölçümleri 3 kanallı (F_x , F_y ve F_z) Kistler marka 9257 BA model dinamometre kullanılarak alınmıştır. Dinamometre CNC dik işlem merkezinin tablasına mengene ile bağlanmıştır (Şekil 6.10).

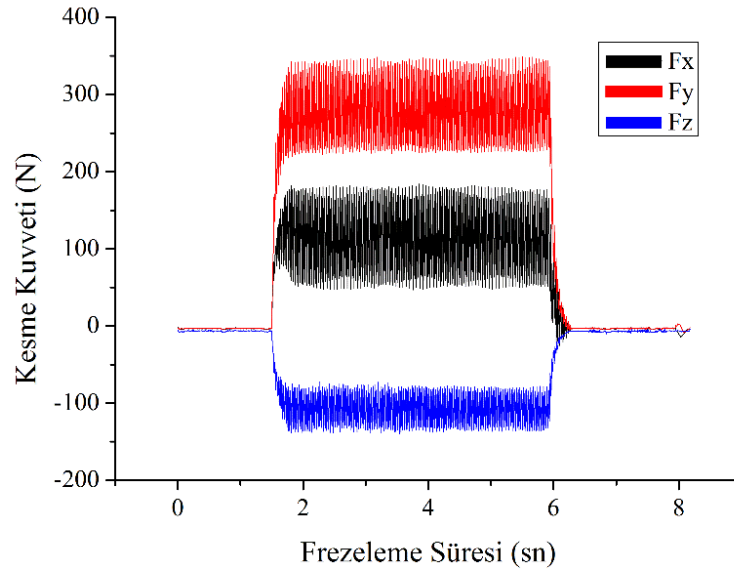


Şekil 6.10. Dinamometrenin CNC dik işlem merkezine yerleştirilmesi.

Frezeleme işlemi uygulanacak Ti6Al4V titanyum alaşımı malzemeler ise dinamometre üzerine bağlanmış ve deney esnasında DynoWare yazılımı ile üç kesme

kuvveti bileşeni sinyal yükseltici aracılığı ile kayıt edilmiştir. Frezeleme işlemi esnasında her bir kesici takım için ayrı Ti6Al4V altlık malzeme kullanılmıştır. Kesme kuvveti ölçümlerinde ise her bir paso değerinde malzeme yüzeyinden on kademe talaş kaldırılmış ve her kademedeki ayrı ayrı kesme kuvveti verileri kayıt altına alınmıştır. Deneyler sonrasında ölçülen kuvvet bileşenleri, Denklem 6.2’de belirtildiği üzere ortalama bir kesme kuvveti (F_T) ile ifade edilmiştir. Ölçülen üç kuvvet bileşenine ait görüntü Şekil 6.11’de verilmiştir.

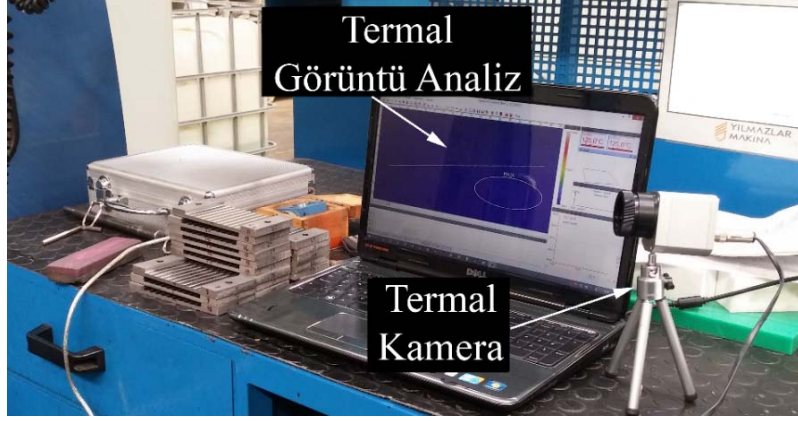
$$F_T = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad [N] \quad 6.2$$



Şekil 6.11. Kesme kuvveti bileşenlerinin frezeleme esnasında elde edilen görüntüsü.

6.6.5. Kesme sıcaklığı ölçümleri

Frezeleme deneyleri esnasında kesici takımlar ile Ti6Al4V numuneleri arasında meydana gelen kesme sıcaklıklarının ölçülebilmesi amacıyla Optris marka PI400 model termal kamera (Şekil 6.12) kullanılmıştır. Termal kamera 0-1500°C aralığında ölçüm yapabilmektedir. Elde edilen sıcaklık verileri frezeleme esnasındaki bölgenin genelini kapsamakta olup bu bölgelerden elde edilen maksimum sıcaklık değerleri görüntü analiz sistemi ile ele alınmıştır.



Şekil 6.12. Frezeleme işleminde kullanılan termal kamera ve görüntü analiz sistemi.

6.6.6. Profilometre ile yüzey kalitesi ölçümleri

Triboloji deneyleri öncesinde ve frezeleme deneyleri sonrasında deneylerde kullanılan numunelerin yüzey kalitelerinin belirlemesi amacıyla Mitutoyo marka SJ400 model yüzey pürüzlülük cihazı (Şekil 6.13) kullanılmıştır. Triboloji deney numunelerinde her ölçüm sonrasında numuneler 90° döndürülerek en az 3 farklı doğrultuda ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Frezeleme numunelerinde ise frezeleme doğrultusuna paralel olacak şekilde dört farklı kademeden en az üç ölçüm alınmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (R_a) elde edilmiştir.



Şekil 6.13. Yüzey pürüzlülük cihazı.

6.6.7. Stereo mikroskop ile görüntü analizleri

Farklı kobalt içerikli ve kaplamalı takımların farklı ısıl işlemler sonrasındaki performanslarının incelenmesi amacıyla frezeleme deneyleri uygulanmıştır. Frezeleme deneyleri sonrasında, her bir kesici takımın iş parçası üzerinden on kademe talaş kaldırmasının ardından stereo mikroskop aracılığı ile kesici takımlar üzerindeki aşınma miktarı ve türleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu işlemler için Leica marka S8 APO model stereo mikroskop kullanılmıştır (Şekil 6.14). Ayrıca takım aşınmalarının detaylı incelemeleri taramalı elektron mikroskobu ile yapılmıştır.



Şekil 6.14. Stereo mikroskop görüntü analiz sistemi.

6.6.8. Optik mikroskop ile görüntü analizleri

İş parçası amacıyla kullanılan Ti6Al4V titanyum alaşımlarının mikroyapı analizleri için Nikon marka Eclipse L150 model optik mikroskop kullanılmıştır. Mikroyapı özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için %3 HF ve %10 HNO₃ içeren solüsyon ile titanyum alaşımlarının yüzeyleri dağlanmıştır.

6.6.9. Taramalı elektron mikroskobu ile görüntü analizleri

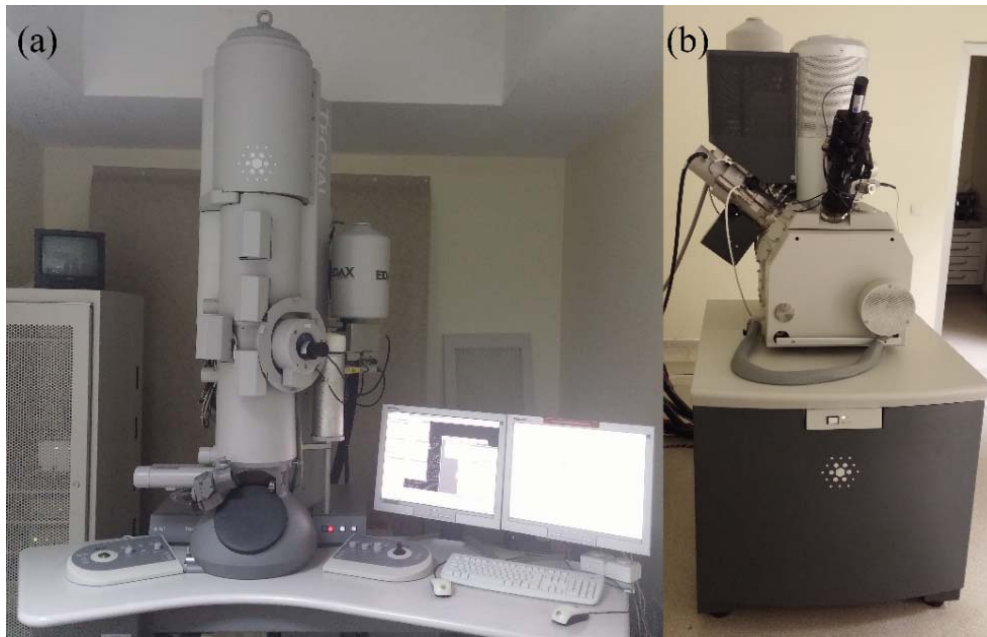
Frezeleme işlemleri için kullanılacak kesici takımların buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış mikroyapı ve kaplama özelliklerinin incelenmesi amacıyla Anadolu Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Zeiss marka Supra VP 50 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. İncelemelerden önce kesici takımlar

metalografik olarak hazırlanmış ve murakami çözeltisi ile yüzeyleri dağlanmış. Ayrıca frezeleme deneylerinden sonra aşınmış kesici takımların aşınma tiplerinin belirlenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılımlı spektroskopi kullanılmıştır.

6.6.10. Geçirimli elektron mikroskobu ile görüntü analizleri

Kesici takımların buzul işlem öncesinde ve sonrasında mikroyapılarında oluşabilecek değişimlerin incelenmesi amacıyla Bilkent Üniversitesi Ulusal Nano Teknoloji Merkezi (UNAM) bünyesinde yer alan FEI model Tecnai G2 F30 model geçirimli elektron mikroskobu (Şekil 6.15a) kullanılmıştır. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) incelemesi için numuneler 100 μm kalınlığına kadar inceltiştir. İnceltelen numuneler yine UNAM bünyesinde yer alan FEI marka Nova600i model cihazda odaklanmış iyon demeti (Şekil 6.15b) ile 5 nm boyutuna kadar inceltiştir ve sonrasında bakır ızgaralara yerleştirilerek mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir.

Geçirimli elektron mikroskobu ile 1 nm çözünürlük değerlerine kadar inilip, karanlık alan, aydınlık alan, geniş açılı delikli karanlık alan ve seçilmiş alan kırınım deseni teknikleri ile detaylı incelemeler yapılmıştır.



Şekil 6.15. (a) Geçirimli elektron mikroskobu, (b) odaklanmış iyon demeti cihazı.

6.6.11. X-ışınları kırınım analizleri

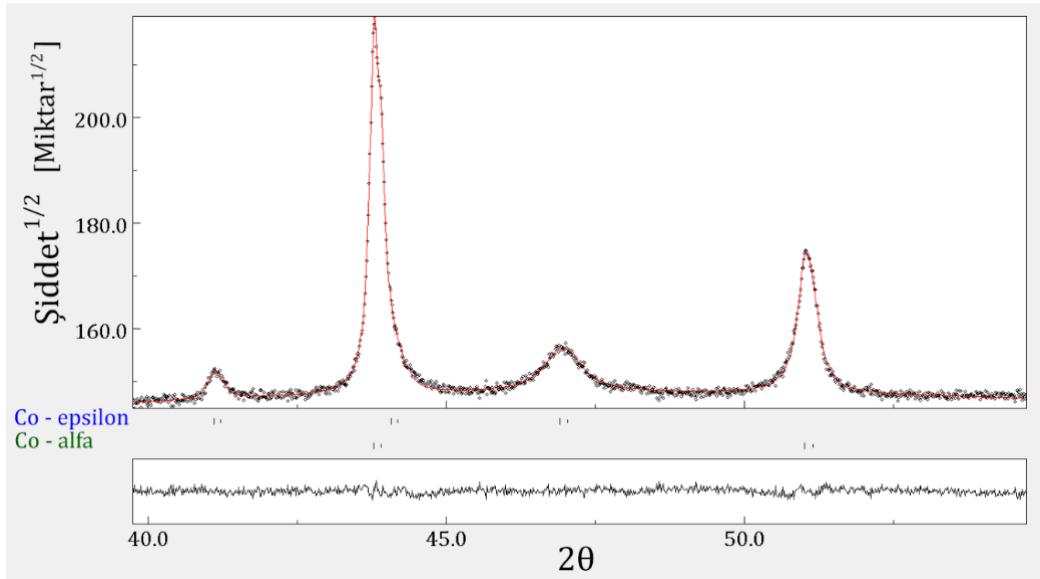
Kesici takımlara uygulanan buzul işlem ile kesici takımların kristal yapısında meydana gelebilecek değişimleri incelemek amacıyla Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde yer alan Panalytical marka Empyrean model X-ışınları kırınım cihazı (Şekil 6.16) kullanılmıştır. Yapılan analizler $25-100^\circ$ (2θ) aralığında 45 kV voltaj ve 40 mA akım değerinde Cu-K α ışınması kullanılarak yapılmıştır. X-ışını kırınım analizlerinde, kesici takımların içeriğinde yüksek oranda bulunan WC'e ait piklerin bir kısmı Co pikleri ile yakın açı değerlerinde olması ve WC piklerinin şiddet değerlerinin çok yüksek olması ile Co bileşenine ait pikler belirlenememektedir. Co bileşenine ait piklerin belirlenebilmesi için kesici takımlar, seçilmiş elektroliz yöntemi ile NaOH ve K₃Fe(CN)₆ içeren bir çözelti içerisinde 4 V voltaj verilerek 0°C'de elektroliz yapılmıştır. Bu sayede WC pikleri alkali çözelti içerisinde çözülmüş ve Co bileşenine ait pikler belirgin hale gelmiştir.



Şekil 6.16. X-ışınları kırınım cihazı.

6.6.12. Rietveld analizleri

X-ışınları kırınım desenlerinden Co bileşenine ait karakteristik pikler elde edilmiştir. Elde edilen desenlerde Co elementine ait α -Co ve ϵ -Co fazlarının pikleri görülmektedir. Bu piklerin şiddetleri ve pik genişlikleri uygulanan ısı işlem türü ve içerisindeki Co elementi miktarına göre değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliklerin nicel olarak hassas bir şekilde belirlenebilmesi için rietveld analizlerinin yapılması gerekmektedir. Rietveld analizlerinin yapılabilmesi için X-ışınları kırınım desenlerinde elde edilen piklerin hangi element ve hangi fazlara ait olduğuna dair lisanslı programlar ile belirlenmesi gerekmektedir. Bu analizler MAUD yazılımı ile gerçekleştirilmektedir. Analizlerin yapılabilmesi için analizlerin yapıldığı malzemelerin kimyasal kompozisyonlarına ait ICDD (uluslararası kırınım verileri merkezi) ve CIF (kristalografik bilgi dosyaları) dosyaları kullanılmıştır. Şekil 6.17’de Maud yazılımına ait bir ara yüz görülmektedir.

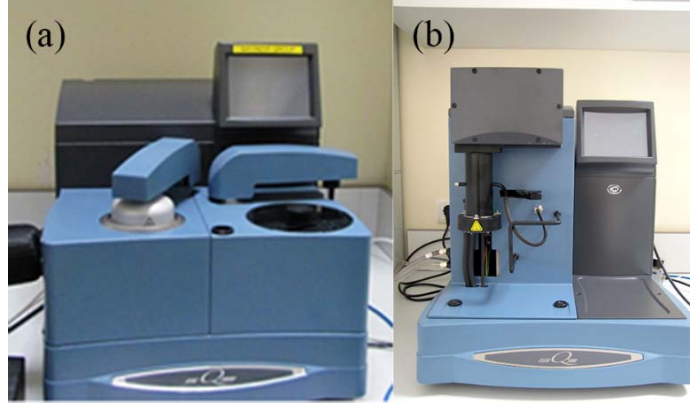


Şekil 6.17. Maud yazılımı ile yapılan rietveld analizine ait bir ara yüz.

6.6.13. Diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri

Kesici takımların ısıya bağlı kristal yapısındaki değişimlerin incelenebilmesi amacıyla Bilkent Üniversitesi – UNAM bünyesinde yer alan TA marka Q2000 model diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) cihazı (Şekil 6.18a) kullanılmıştır. Yapılan incelemeler oda sıcaklığından 500 °C’ye ve 500 °C’den oda sıcaklığına kadar 20 %/dk hızda

ısıtma ve soğutma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Analizler N₂ inert ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.18. (a) Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı, (b) ısıl ağırlık cihazı.

6.6.14. Isıl ağırlık analizleri

Kesici takımlarda sıcaklık değişiminin etkisi ile herhangi bir yapısal etkileşim olup olmadığının belirlenmesi amacı ile ısıl ağırlık analizleri (TGA) Bilkent Üniversitesi – UNAM bünyesinde yer alan TA marka Q500 model cihazda (Şekil 6.18b) yapılmıştır. Analizler N₂ inert ortamında ve oda sıcaklığından 600 °C'ye 40 °/dk hızla ısıtılarak gerçekleştirilmiştir.

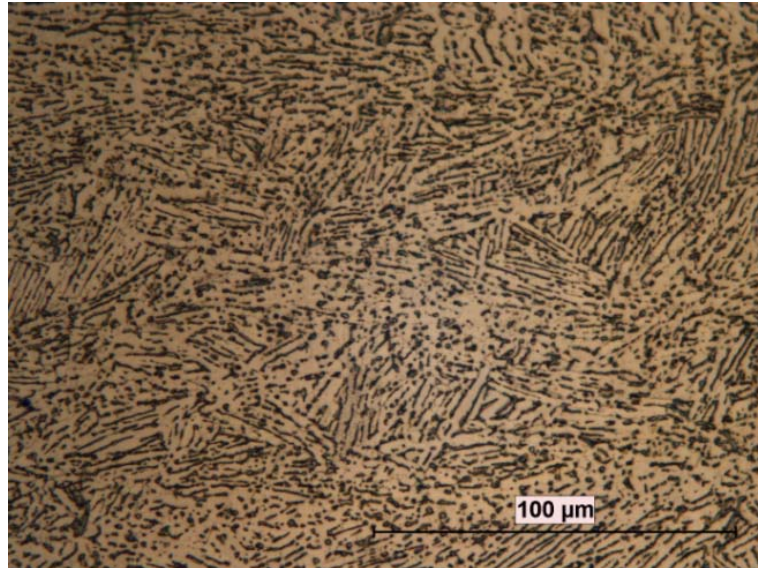
7. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

7.1. Mikro Yapı, Kimyasal ve Isıl Analizler

Performans testlerinde kullanılan Ti6Al4V titanyum alaşımının ve WC-Co kesici takımlarının mikro yapı analizleri yapılmıştır. Özellikle kesici takımlara uygulanan buzul işlemlerin mikro yapı üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için detaylı taramalı ve geçirimli elektron mikroskobu incelemeleri ile XRD, DSC ve TGA incelemeleri yapılmıştır.

7.1.1. Optik mikroskop incelemeleri

Frezeleme deneylerinde altlık malzeme olarak kullanılan Ti6Al4V titanyum alaşımının mikro yapısı Şekil 7.1'de verilmiştir. Mikro yapısı incelendiğinde, Ti6Al4V titanyum alaşımının ince taneli $\alpha+\beta$ fazlarını içerdiği görülmektedir. Bu tür mikro yapıya sahip alaşımlar widmanstatten yapıları malzemeler olarak adlandırılır. Titanyum alaşımının üretim sürecinde, soğutma hızının artması ile α tanelerinin ince bir yapıda olması sağlanmaktadır (Sieniawski vd., 2013).



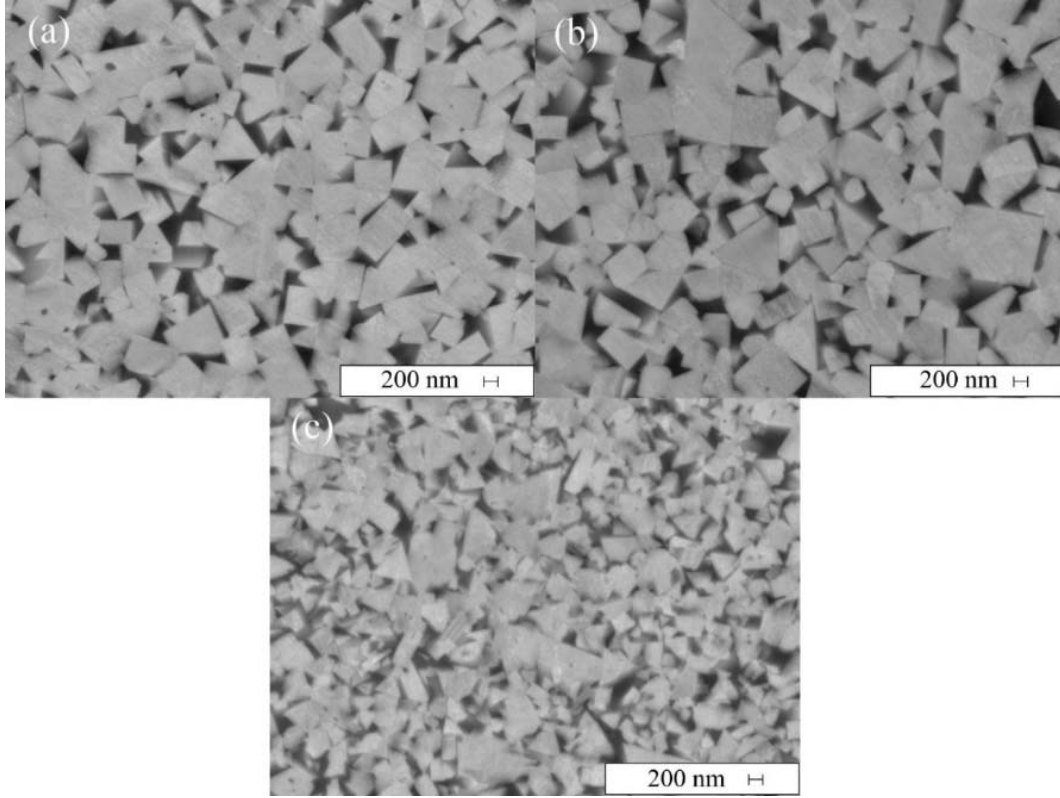
Şekil 7.1. Frezeleme deneylerinde kullanılan Ti6Al4V titanyum alaşımı.

7.1.2. Taramalı elektron mikroskobu incelemeleri

Malzemelerin mekanik özellikleri tane yapısı, tanelerin şekli, boyutu ve dağılımı gibi mikro yapı özellikleri tarafından belirlenmektedir. WC-Co malzemesinin mekanik özellikleri ve kesme performansı, yapısı içerisinde yer alan WC tanelerinin boyutu ve Co bileşeninin yapı içerisindeki miktarı ile ilişkilidir. WC tanelerinin boyutunun ve Co bileşeninin miktarının azalması ile WC-Co kesici takımlarının dayanımları artmaktadır (Saito vd., 2006).

Sinter karbürlerin mikro yapısında üç temel faz bulunur. Bunlar; α fazı (WC) , β fazı (bağlayıcı, Co) ve η fazı (en az bir metal bağlayıcı ve tungsten karbür içeren çoklu karbürlerdir)'dir. Üç farklı oranda (%6, %10 ve %12) kobalt içeren kesici takımlara ait SEM görüntüleri Şekil 7.2'de verilmiştir. Şekilde açık gri renkte, köşeli bir yapıya sahip ve taneleri mikron altı boyutta olan WC (α fazı) taneleri görülmektedir. WC tanelerinin boyutları %6, %10 ve %12 Co oranına sahip malzemelerin sırasıyla 600 nm, 600 nm ve 350 nm'dir. WC taneleri arasında daha koyu renkte yer alan ve WC tanelerini birbirine bağlayan Co metal bileşeni (β fazı) yer almaktadır. Mikro yapılar incelendiğinde η fazına ait bir detay görünmemektedir.

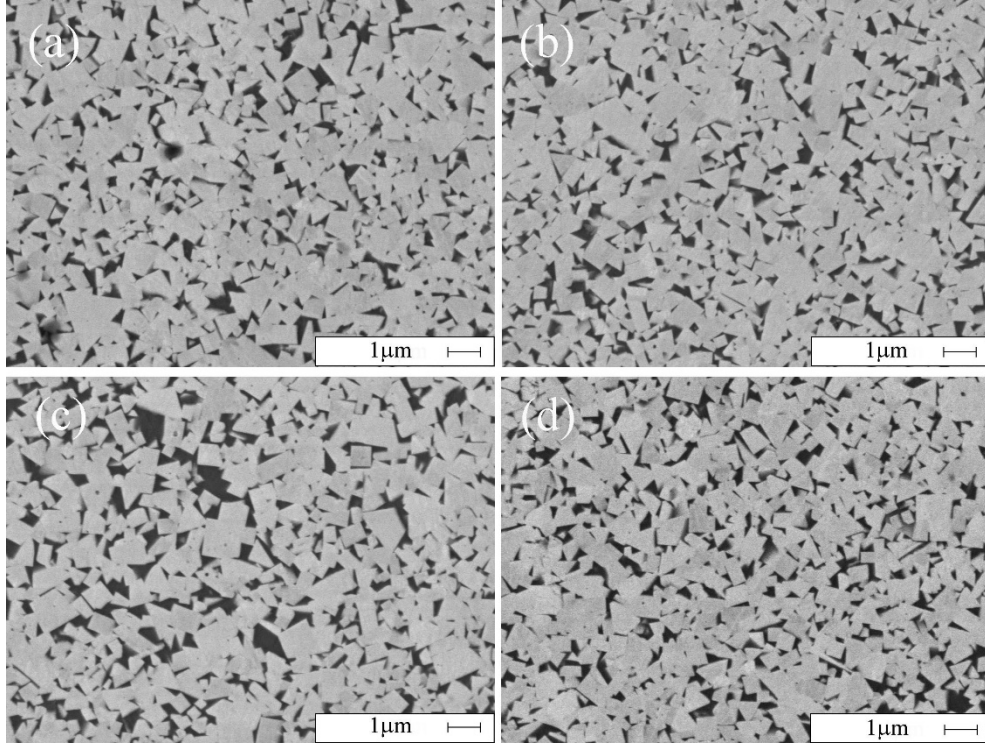
SeeramaReddy vd. (2009) ve Özbek vd. (2016) çalışmalarında tungsten karbür kesici takımlara buzul işlem uygulamışlar ve uygulanan buzul işlem neticesinde mikro yapıda η fazının oluştuğunu öne sürmüşlerdir. Bununla beraber, SeeramaReddy vd. (2009) yaptıkları çalışmada, yapıda oluşan η fazının çok kırılğan olduğunu ve bundan kaçınmak gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca mikro yapıda yer alan WC tanelerinin boyutlarının da değiştiğini belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada ise buzul işlem uygulanmış farklı Co oranlarındaki kesici takımların buzul işlem öncesinde ve sonrasında taramalı elektron mikroskobunda mikro yapıları incelenmiştir. İncelemeler sonucunda mikro yapıda η fazının yer almadığını ve tanelerin şekli ile boyutlarında da bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir (Zhang vd., 2015 a).



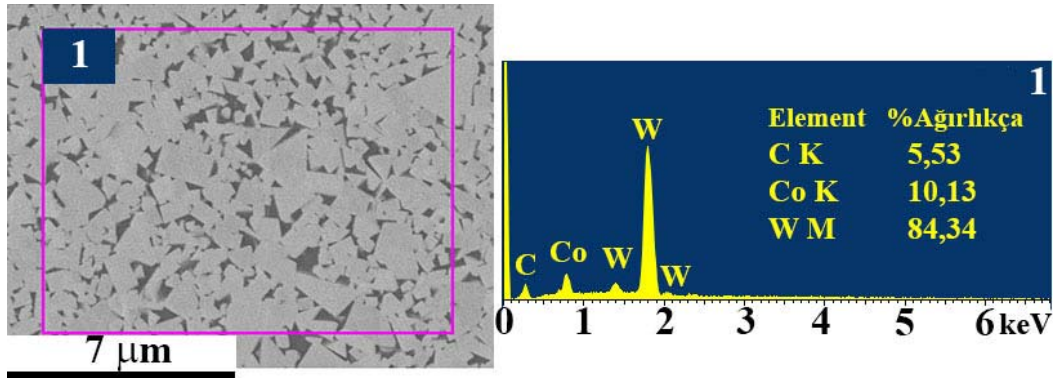
Şekil 7.2. Farklı kobalt oranına sahip (a) %6, (b) %10 ve (c) %12 kesici takımların mikro yapı görüntüleri.

Yapılan bu çalışmada buzul işlemin kesici takımların performansına yönelik iyileştirme sağlayıp sağlamadığının incelenmesi amacıyla kesici takımlar üzerinde farklı sıcaklıklarda ve sürelerde buzul işlemler uygulanmıştır. Performans testlerinde buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların kıyaslanması amacıyla optimum bir buzul işlem süresi belirlenmiştir. Optimum buzul işlem süresinin belirlenmesi için literatürde de verilen ve çok sık tercih edilen süreler olan 12, 24 ve 36 saatlik buzul işlem süreleri kullanılmıştır. Uygulanan buzul işlemin mikro yapı üzerinde bir etkisinin olup olmadığının incelenmesi amacıyla %10 Co oranına sahip kesici takımlara 12, 24 ve 36 saat derin buzul işlem uygulanmış ve SEM görüntüleri Şekil 7.3'te verilmiştir. Farklı sürelerde uygulanan buzul işlemin tane boyutu veya tane şeklinde değişime neden olmadığı görülmektedir.

Şekil 7.4'te %10 Co içeren kesici takıma ait taramalı elektron mikroskop görüntüsü ve bu görüntü üzerinden yapılan EDS analizi verilmiştir. EDS analizi incelendiğinde malzemenin içeriğinde %84,34 W, %10,13 Co ve %5,53 C elementlerinin yer aldığı görülmektedir.

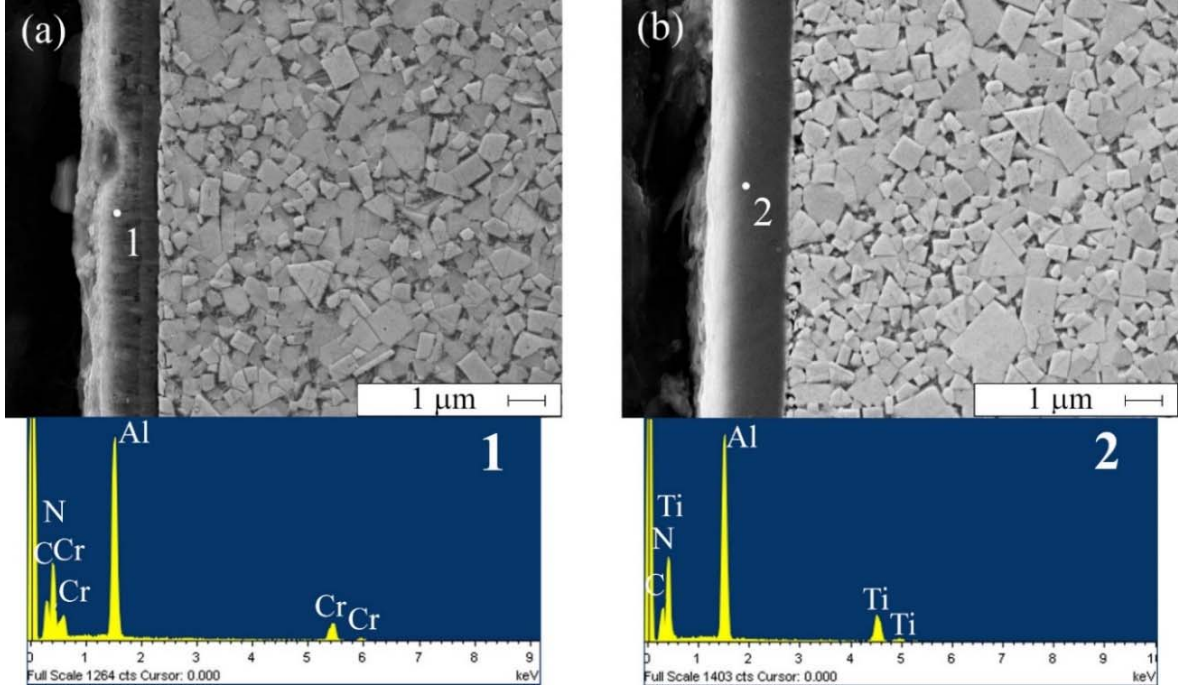


Şekil 7.3. %10 Co oranına sahip kesici takımların SEM görüntüleri, (a) 10DBİ00, (b) 10DBİ12, (c) 10DBİ24 ve (d) 10DBİ36.



Şekil 7.4. %10 Co oranına sahip kesici takımın SEM görüntüsü ve EDS analizi.

Performans deneylerinde kullanılan kesici takımlar kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı şeklindedir. Şekil 7.5'te kaplamalı takımlara ait taramalı elektron mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 7.5a'da AlCrN kaplamalı takıma ait görüntü verilmiştir. Şekil 7.5a üzerinde 1 numarası ile gösterilen noktadan alınan EDS analizi sonucunda Al, Cr, N elementlerine ait pikler elde edilmiştir. Şekil 7.5b'de ise 2 numaralı noktadan alınan EDS analizi sonucunda Al, Ti ve N elementlerine ait pikler elde edilmiştir. Kaplama kalınlığı incelendiğinde her iki kaplamanın da ortalama 2,2 µm kalınlığında olduğu belirlenmiştir.

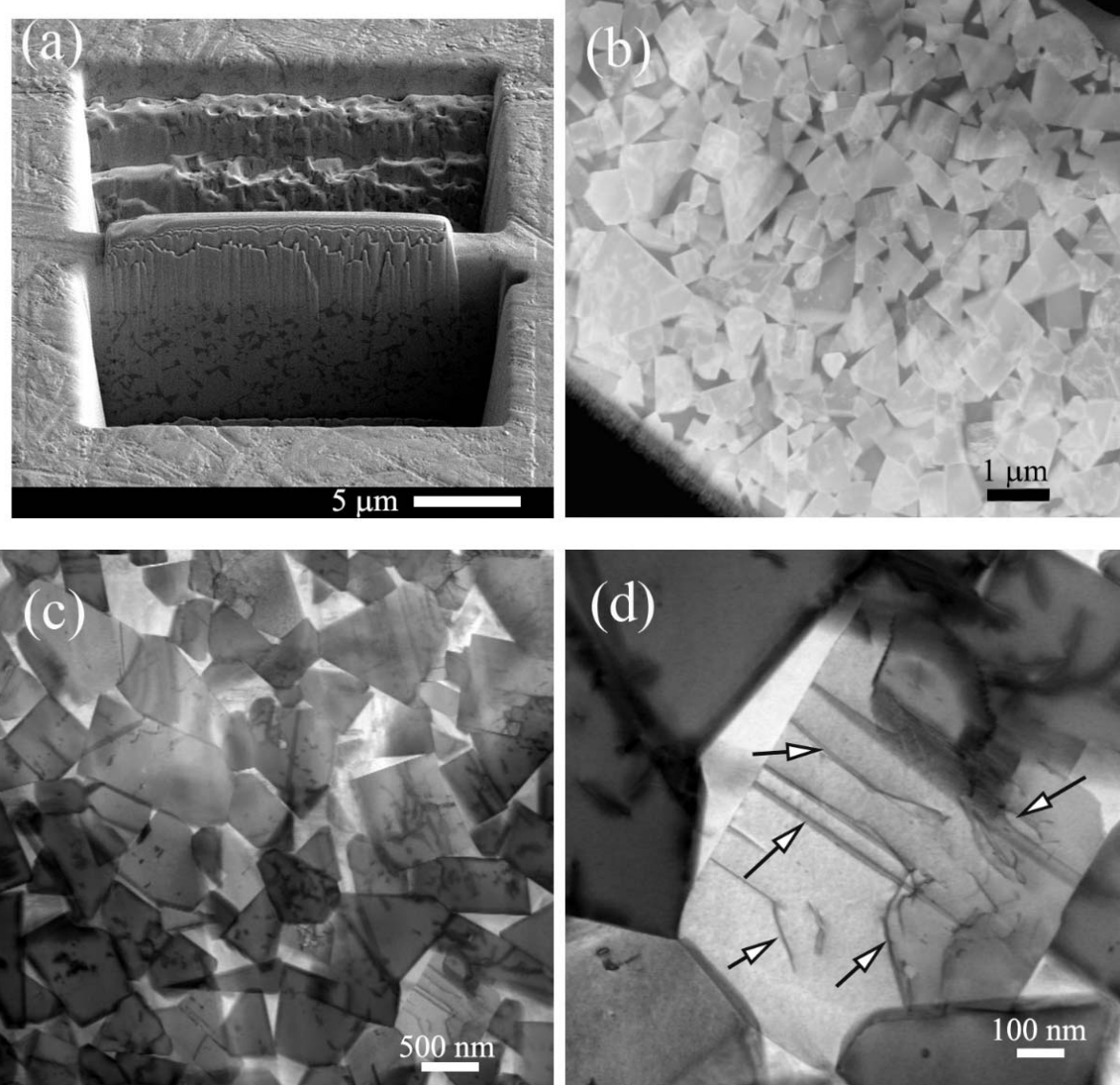


Şekil 7.5. Kaplamalı kesici takımların SEM ve EDS analizleri, (a) AlCrN, (b) AlTiN kaplama.

7.1.3. Geçirimli elektron mikroskobu incelemeleri

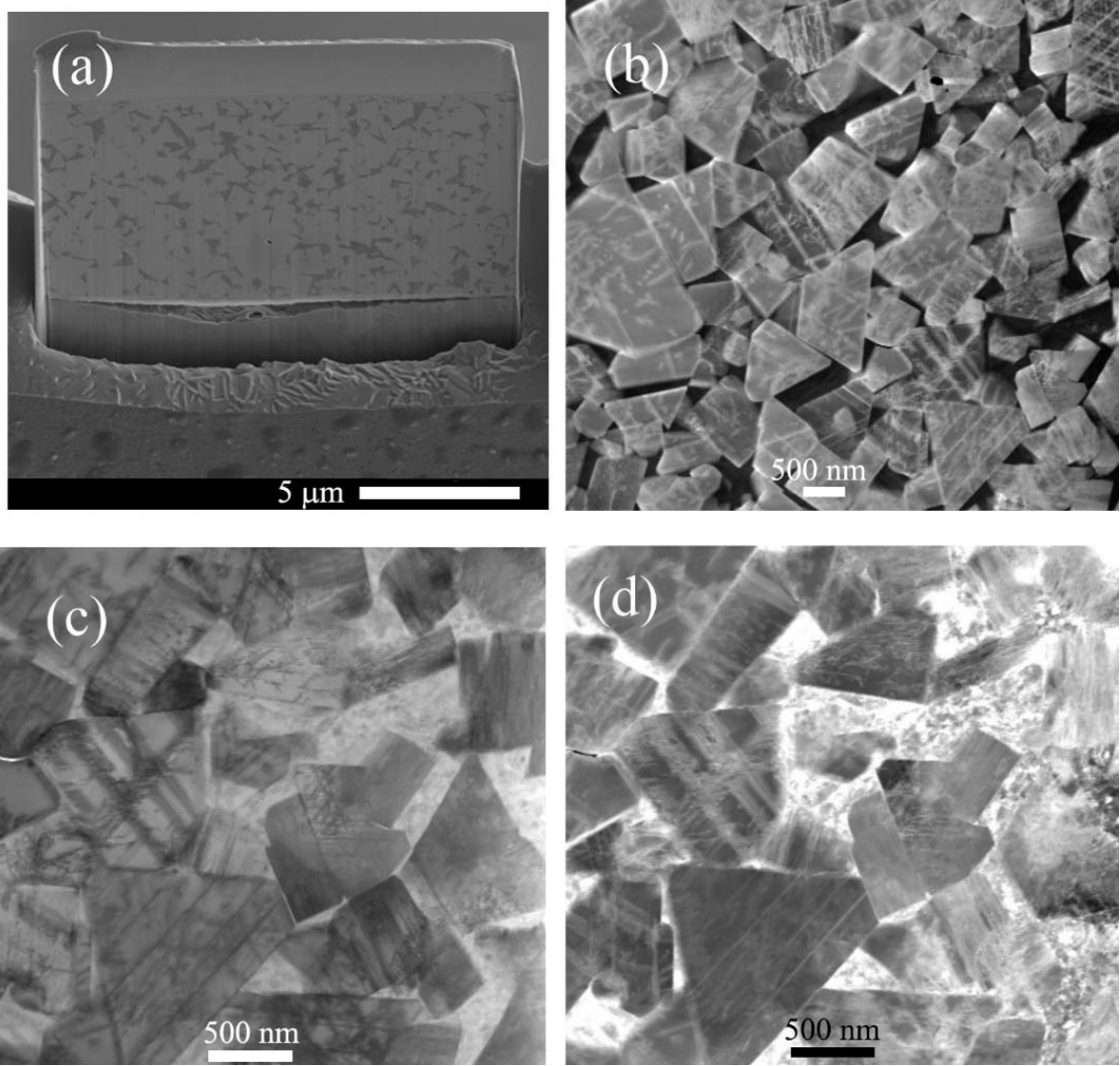
Geçirimli elektron mikroskobu analizleri kullanılarak, buzul işlem uygulanan kesici takımlarda oluşabilecek değişimlerin atomik seviyede belirlenmesi amaçlanmıştır. Buzul işlem uygulanması ile literatürde bahsi geçen karbürlerin oluşumu ya da Co bileşeninde allotropik dönüşümün varlığı araştırılmıştır. Karanlık alan, aydınlık alan, geniş açılı delikli karanlık alan ve seçilmiş alan kırınım deseni teknikleri ile detaylı incelemeler yapılmıştır.

Şekil 7.6'da buzul işlem uygulanmamış %10 Co oranına sahip kesici takıma ait TEM analizine ait görüntüler yer almaktadır. Şekil 7.6a'da odaklanmış iyon demeti ile inceltilmiş numune görülmektedir. Şekil 7.6b'de geniş açılı delikli karanlık alan görüntüsü ile inceltilmiş numunenin geneli görülmektedir. Şekil 7.6c'de aydınlık alan görüntüsü yer almaktadır. Koyu renkli taneler WC ve daha açık bölgeler ise Co bileşenine aittir. Şekil 7.6d'de ise bir WC tanesine ait detaylı bir aydınlık alan görüntüsü yer almaktadır. Tane üzerinde şekilde oklar ile gösterilen dislokasyonlar görülmektedir. Literatürde ele alınan sinterlenmiş birçok WC tanesinde dislokasyonların mevcut olduğu görülmektedir (Lay, 2013).



Şekil 7.6. 10DB100 takıma ait, (a) TEM analizi için numune inceltilmesi, (b) geniş açılı delikli karanlık alan görüntüsü, (c) aydınlık alan görüntüsü, (d) aydınlık alan görüntüsü.

Şekil 7.7'de derin buzul işlem uygulanmış %10 Co oranına sahip kesici takıma ait TEM analizine ait görüntüler yer almaktadır. Şekil 7.7a'da odaklanmış iyon demeti ile inceltilmiş numune görülmektedir. Şekil 7.7b'de geniş açılı delikli karanlık alan görüntüsü ile inceltilmiş numunenin geneli görülmektedir. Şekil 7.7c'de aydınlık alan görüntüsü yer almaktadır. Koyu renkli taneler WC ve daha açık bölgeler ise Co bileşenine aittir. Şekil 7.7d'de ise karanlık alan görüntüsü yer almaktadır. Co bileşeninin bulunduğu bölgeler (aydınlık bölgeler) daha belirgin görülebilmektedir. Bu görüntülerde de WC tanelerinin üzerlerinde dislokasyonların mevcut olduğu görülebilmektedir.

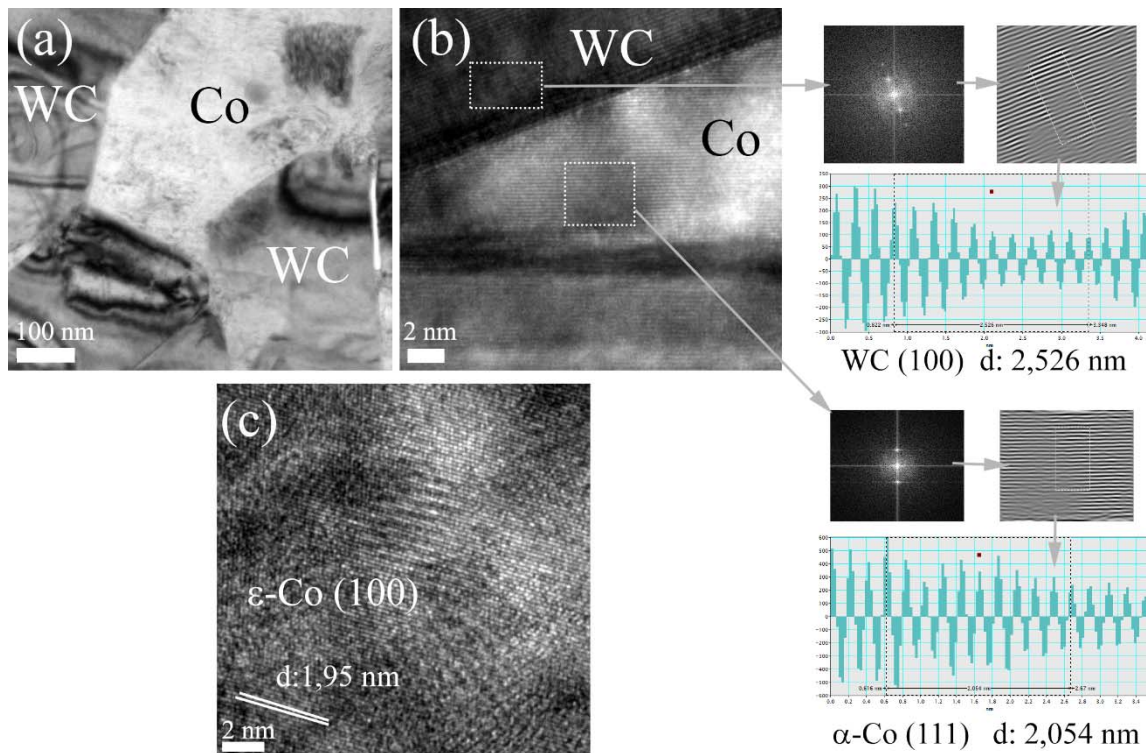


Şekil 7.7. 10DBI36 takıma ait, (a) TEM analizi için numune inceltilmesi, (b) geniş açılı delikli karanlık alan görüntüsü, (c) aydınlık alan görüntüsü, (d) karanlık alan görüntüsü.

Farklı görüntü analiz teknikleri ile buzul işlemlili ve işlemsiz kesici takımların mikro yapısı incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, literatürde de bahsedildiği üzere (Lay vd., 2008) WC tanelerin prizmatik geometriye sahip olduğu görülebilmektedir. Co bileşeninin ise WC tanelerinin arasında kaldığı görülmektedir.

Buzul işlem uygulanmamış numuneye geçirimli elektron mikroskop görüntüleri Şekil 7.8'de verilmiştir. Şekil 7.8a'da aydınlık alan görüntüsü yer almaktadır. Bu görüntü üzerinde WC taneleri tarafından etrafi sarılmış Co bileşeni görülmektedir. Şekil 7.8b'de ise Şekil 7.8a'da verilen görüntüye ait yüksek çözünürlüklü görüntü yer almaktadır. Bu görüntü üzerinde koyu bölgede WC fazı, gri açık renkli bölgede ise Co bileşeni yer almaktadır. Bu görüntüde yer alan fazların Gatan DigitalMicrograph yazılımı ile hangi düzlemde dizildiği

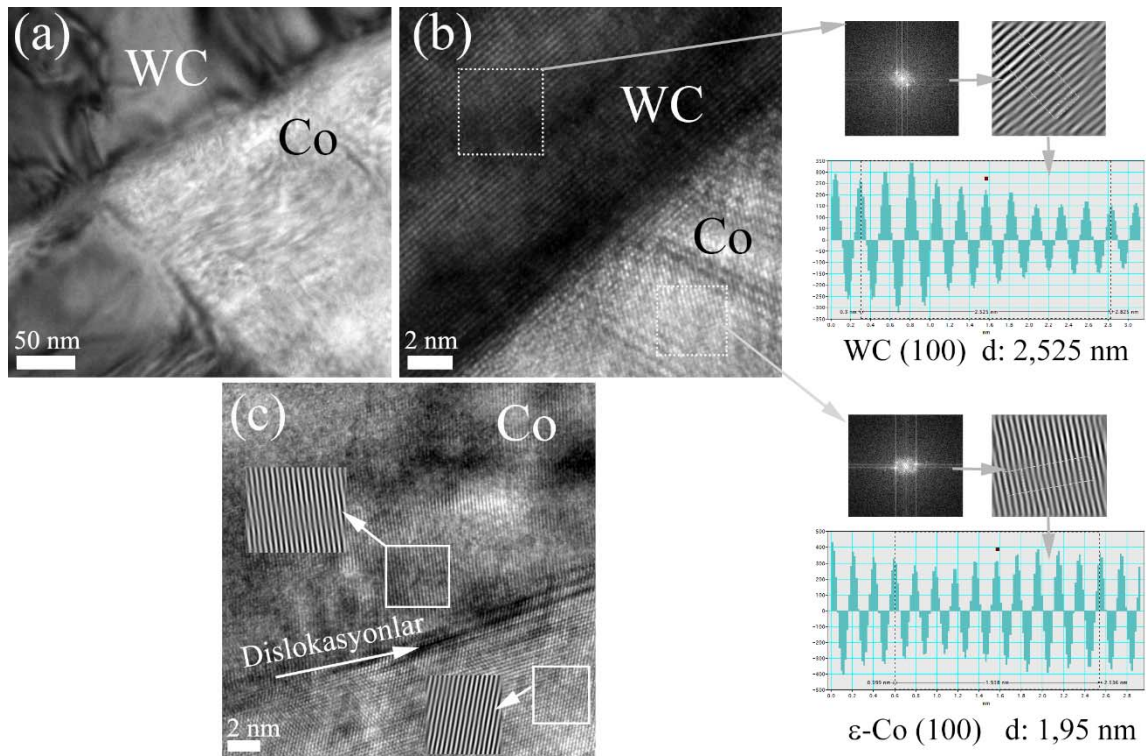
belirlenmiştir. WC (100) düzlemine ait dizilime sahiptir. Düzlemler arası mesafe (d) hesaplandığında 2,526 nm olduğu belirlenmiştir. Co bileşeninin ise α -Co'ya ait (111) düzleminde olduğu belirlenmiştir. Düzlemler arası mesafesi ise 2,054 nm olduğu ölçülmüştür. Şekil 7.8c'de ise Co bileşeninin bulunduğu bir bölgeye ait yüksek çözünürlüklü görüntü yer almaktadır. Bu bölgede ise ϵ -Co fazına ait (100) düzlemi yer almaktadır. Düzlemler arası mesafe ise 1,95 nm'dir. Şekil 7.8 incelendiğinde buzul işlem uygulanmamış numunede hem α -Co hem de ϵ -Co fazının oda sıcaklığında mevcut olduğu görülmektedir.



Şekil 7.8. 10DBI00 numunesine ait TEM görüntüleri, (a) aydınlık alan görüntüsü, (b) a'da verilen görüntünün yüksek çözünürlüklü görüntüsü, (c) Co bileşenine ait yüksek çözünürlüklü görüntü.

Buzul işlem uygulanmış numuneye geçirilmiş elektron mikroskop görüntüleri Şekil 7.9'da verilmiştir. Şekil 7.9a'da aydınlık alan görüntüsü yer almaktadır. Bu görüntü üzerinde WC taneleri tarafından etrafları sarılmış Co bileşeni görülmektedir. Şekil 7.9b'de ise Şekil 7.9a'da verilen görüntüye ait yüksek çözünürlüklü görüntü yer almaktadır. Bu görüntü üzerinde koyu bölgede WC fazı, gri açık renkli bölgede ise Co bileşeni yer almaktadır. Bu görüntüde yer alan fazların Gatan DigitalMicrograph yazılımı ile hangi düzlemde dizildiği belirlenmiştir. WC fazı (100) düzlemine ait dizilime sahiptir. Düzlemler arası mesafe (d) hesaplandığında 2,525 nm olduğu belirlenmiştir. Co bileşeninin ise ϵ -Co'ya ait (111)

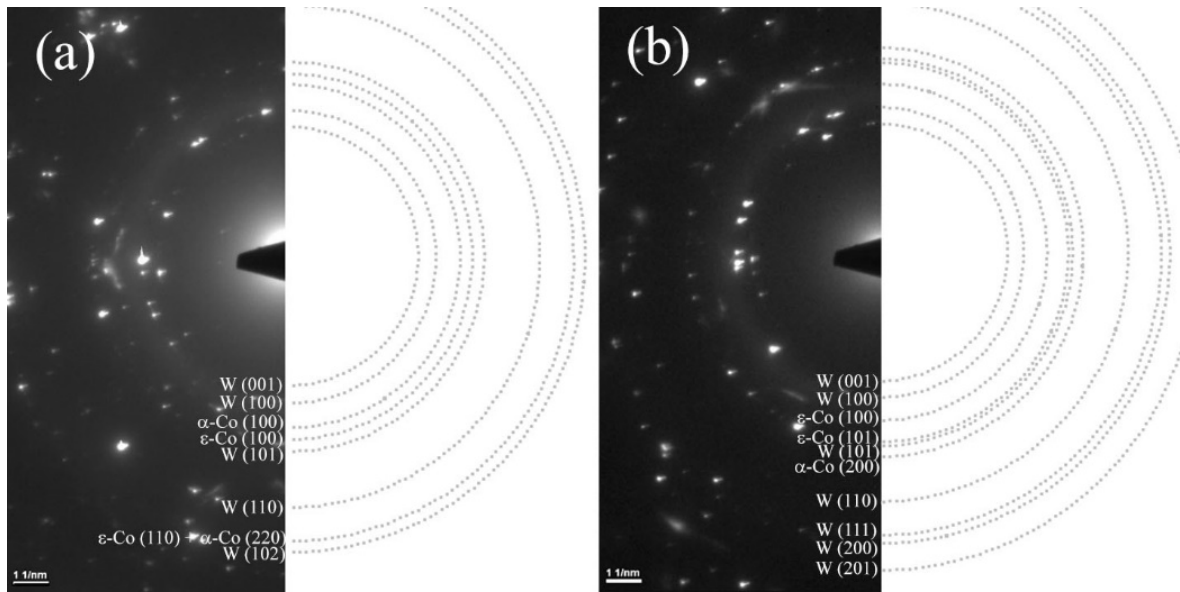
düzleminde olduğu belirlenmiştir. Düzlemler arası mesafesi ise 1,95 nm olduğu ölçülmüştür. Şekil 7.9c’de ise Co bileşeninin bulunduğu bir bölgeye ait yüksek çözünürlüklü görüntü yer almaktadır. Bu bölgede farklı doğrultularda yönelmiş düzlemler görülmektedir. Farklı doğrultudaki düzlemler arasında koyu çizgi şeklinde bir gölge görülmektedir. Bu bölgelerde Co atomlarının düzensiz diziliminden kaynaklı dislokasyon adı verilen kusurlar yer almaktadır.



Şekil 7.9. 10DBİ36 numunesine ait TEM görüntüleri, (a) aydınlık alan görüntüsü, (b) a’da verilen görüntünün yüksek çözünürlüklü görüntüsü, (c) Co bileşenine ait yüksek çözünürlüklü görüntü.

Şekil 7.10’da buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların geçirimli elektron mikroskobu incelemeleri esnasında analizi yapılan seçilmiş alan kırınım desenleri görülmektedir. Yapılan incelemeler Co bileşeninin yer aldığı bölgeden yapılmış olsa da, etrafında yer alan WC fazından da kırınım deseni elde edilmektedir. Bunun sebebi Co bileşeninin mikron altındaki çok küçük boyutlarda olması sebebiyle elektron etkileşimleri, etrafında bulunan fazlardan da etkilenmektedir. Şekil 7.10a’da buzul işlem uygulanmamış numuneye ait seçilmiş alan kırınım deseni yer almaktadır. Desen incelendiğinde WC, α -Co ve ϵ -Co fazlarına ait düzlemlerin kırınım desenleri belirlendiği görülmektedir. Aynı şekilde Şekil 7.10b’de de buzul işlem uygulanmış kesici takımın seçilmiş alan kırınım deseni

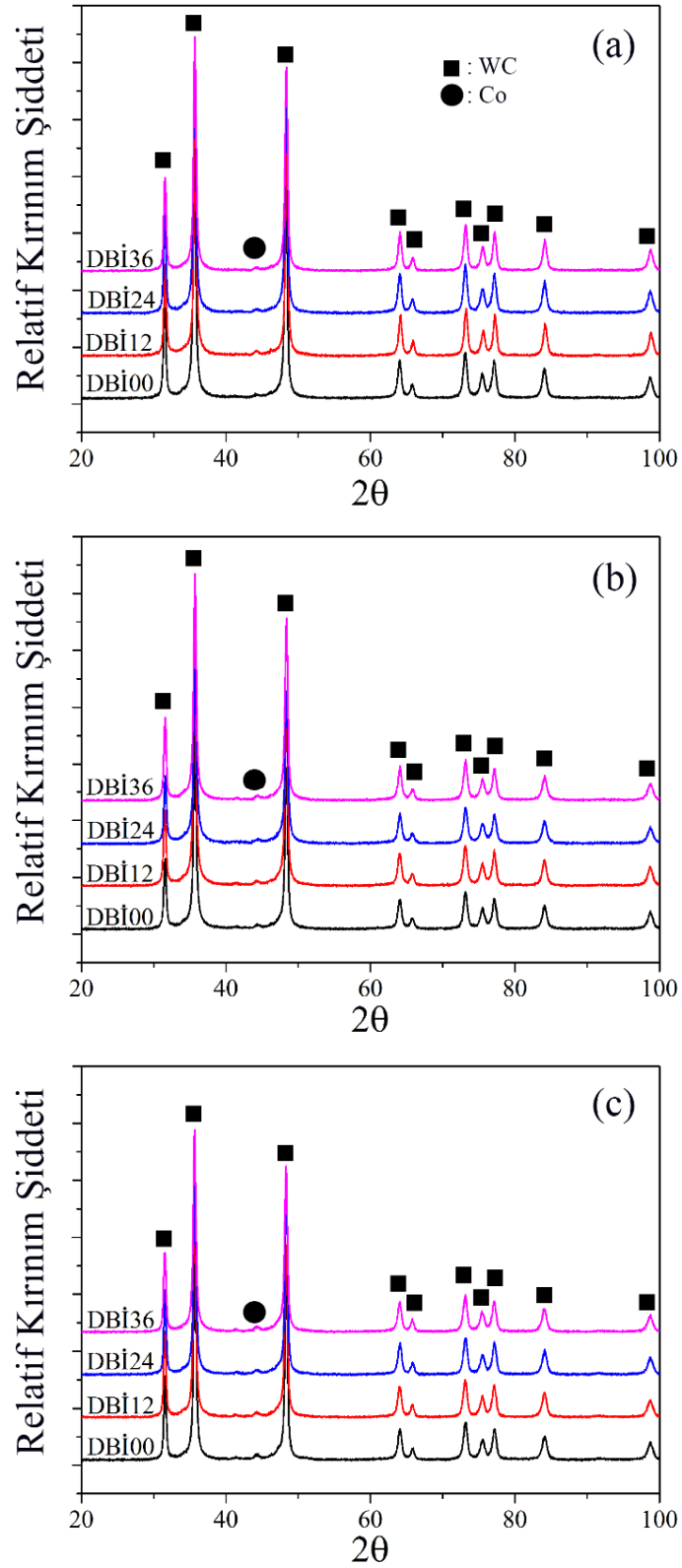
incelendiğinde, bu üç faza ait kırınım desenleri görülmektedir. Bu incelemeler oldukça küçük boyuttaki alanlardan alınan kırınım desenleri oldukları için, farklı bölgelerden farklı kırınım desenleri elde edilebilecektir. Her iki kırınım deseninde de hem α -Co hem de ε -Co fazlarının bulunduğu belirlenmiştir. Literatürde (Cardellini ve Mazzone, 1993; Sort vd., 2003), Co bileşenine ait yapılan seçilmiş alan kırınım deseni incelemelerinde de Co bileşenine ait hem α -Co hem de ε -Co fazlarının iki türünün de mevcut olduğu bildirilmiş ve yapılan bu çalışma ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 7.10. Seçilmiş alan kırınım desenleri, (a) 10DBİ00 ve (b) 10DBİ36 durumlarına ait numuneler.

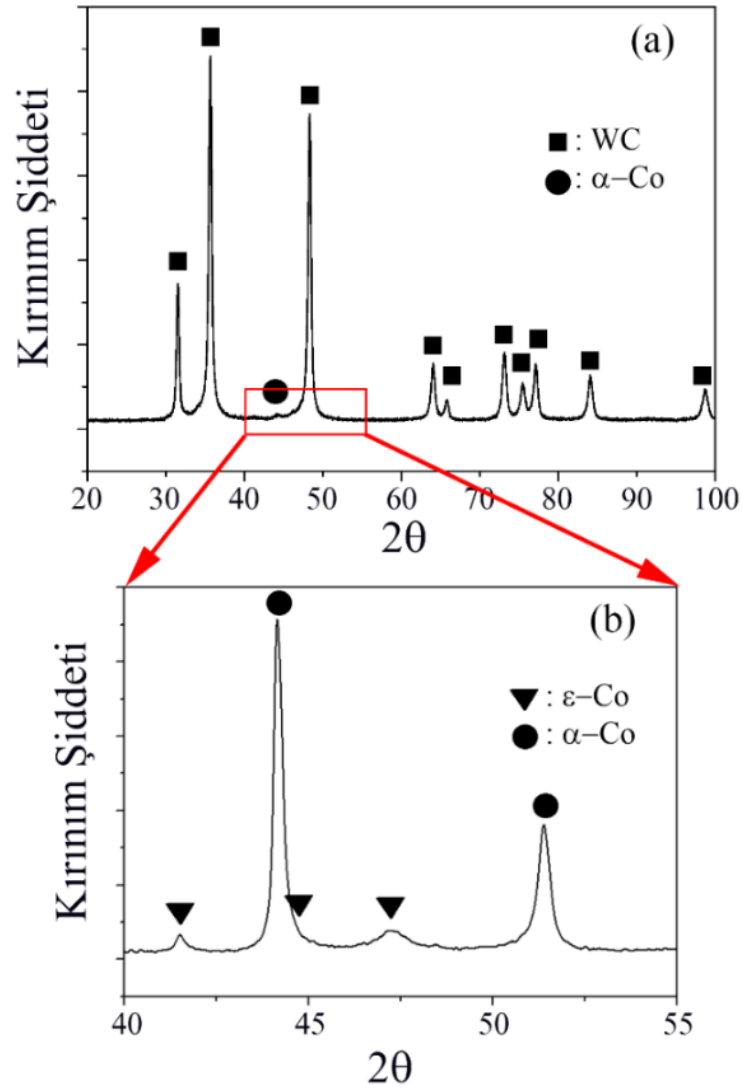
7.1.4. X-ışınları kırınım deseni ve rietveld incelemeleri

Farklı Co oranına sahip ve farklı sürelerde buzul işlem uygulanmış kesici takımların X-ışını kırınım desenleri Şekil 7.11’de verilmiştir. Yapılan kırınım deseni analizlerinde, WC fazına ait piklerin baskın olduğu görülmektedir ve ayrıca Co bileşenine ait pikler ile üst üste gelmesinden dolayı Co bileşeninin net bir şekilde belirlenememesine neden olmuştur. Özellikle buzul işlemin Co bileşeninin üzerinde değişimlere neden olduğu literatürde belirtilmiş ve bu bileşen üzerinde detaylı incelemeler yapılmak istenilmiştir. Şekil 7.11 üzerinde Co bileşenine ait α -Co fazı yaklaşık 45° tarama açısında düşük şiddetli bir pik şeklinde görülmektedir. Buzul işlem uygulanmamış ve 12, 24, 36 saat buzul işlem uygulanmış numunelere ait kırınım desenleri arasında belirgin bir farklılık görülmemektedir. Co oranı arttıkça WC pik şiddet değerinin ise azaldığı görülmektedir.



Şekil 7.11. Farklı sürelerde buzul işlem uygulanmış kesici takımlarına ait XRD, (a) %6 Co, (b) %10 Co ve (c) %12 Co.

Co bileşenine ait piklerin belirginleşmesi amacıyla kesici takımlar XRD çekilmeden önce elektroliz işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 7.12a’da kesici takıma elektroliz yapılmadan önceki kırınım deseni verilmiştir. Şekil 7.12b’de ise elektroliz uygulandıktan sonraki kırınım deseni görülmektedir. Elektroliz uygulanan kesici takımlarda WC fazı solüsyon içerisinde çözünerek yüzeyinde sadece Co bileşeni kalmaktadır. Bu sayede kırınım deseni analizlerinde Co bileşenine ait pikler belirgin bir hale gelmektedir.

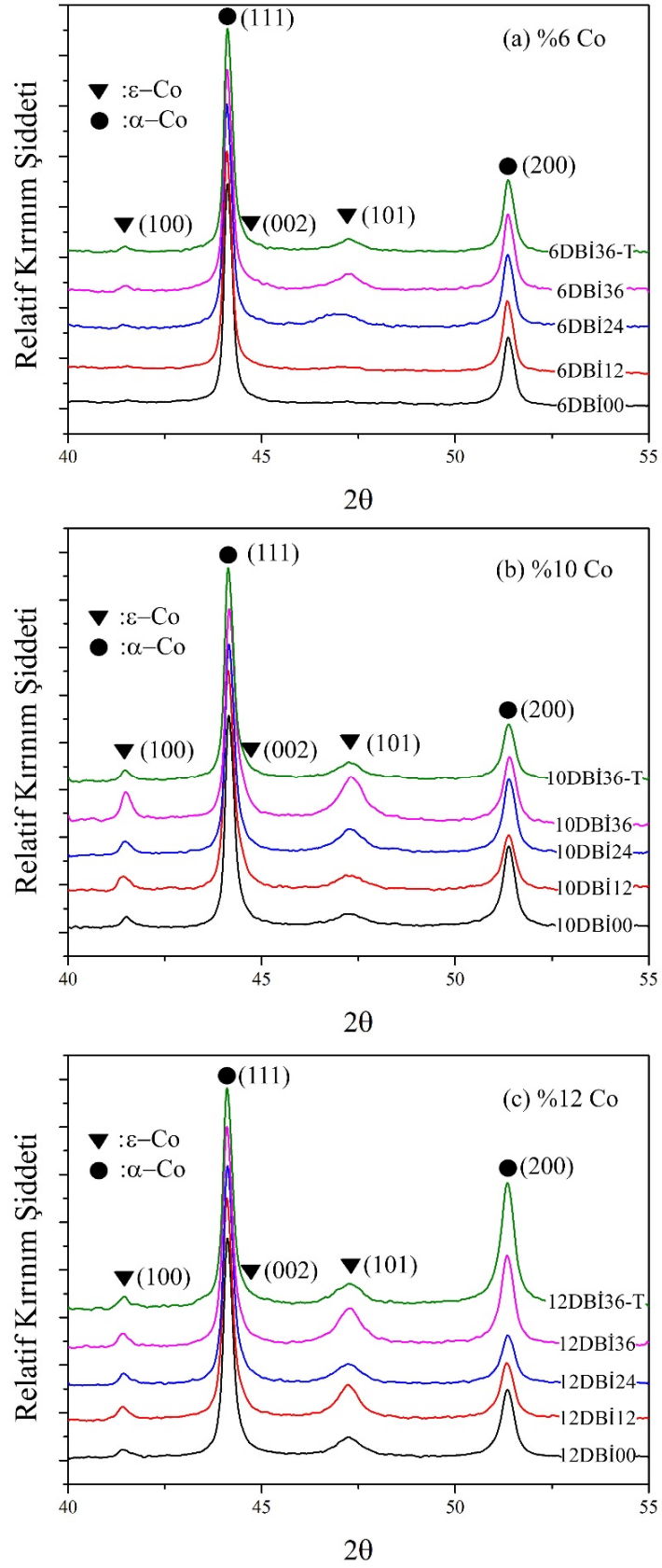


Şekil 7.12. (a) Elektroliz uygulanmamış malzemeye ait XRD, (b) elektroliz uygulanmış malzemeye ait XRD.

Co elementine ait iki adet kristal yapı mevcuttur. Bunlardan bir tanesi oda sıcaklığında kararlı durumda olan hsp (ϵ -Co) kristal yapısı, diğeri ise 417 °C üzerinde kararlı olan ymk (α -Co) kristal yapısıdır. Bu iki faz arasındaki allotropik dönüşüm mekanizması ise

martenzitik dönüşümdür. WC-Co malzemesinin yapısında oda sıcaklığında Co'a ait her iki kristal yapıda bulunmaktadır (Bauer vd., 2011). Şekil 7.12b'de $40^\circ - 55^\circ$ tarama açısı aralığında Co bileşenine ait ϵ -Co ve α -Co pikleri görülmektedir. ϵ -Co ve α -Co'a ait %25 şiddet değerinden daha büyük şiddetteki karakteristik pikler 40° - 55° tarama açısı aralığında yer almaktadır. ϵ -Co'a ait (101), (002) ve (100) düzlemleri ile α -Co'a ait (111) ve (200) düzlemleri bu aralıktadır.

Şekil 7.13'te elektroliz yapılmış ve farklı sürelerde buzul işlem uygulanmış WC-Co malzemelerine ait kırınım desenleri yer almaktadır. Şekil 7.11'de belirlenemeyen Co fazları elektroliz uygulandıktan sonra Şekil 7.13'te ki gibi belirlenebilmektedir. Şekil 7.13a incelendiğinde, buzul işlem uygulanmamış malzemenin ϵ -Co fazına ait piklerin kırınım şiddeti değeri neredeyse sıfıra yakındır. Fakat buzul işlem uygulanması ve uygulama süresinin artması ile ϵ -Co fazına ait piklerin belirginleştiği ve şiddetlerinde artışın olduğu görülebilmektedir. 36 saat buzul işlem uygulanmış malzemenin ϵ -Co fazına ait pik oldukça belirginleşmişken, 36 saat buzul işlemin ardından 2 saat süre ile 200°C 'de tavllanmış malzemenin (6DBİ36-T) ϵ -Co fazına ait pik şiddetinde bir miktar düşüş gözlenmektedir. Şekil 7.13b ve Şekil 7.13c'de buzul işlem uygulanmamış malzemelerde ϵ -Co fazına ait kırınım şiddeti değerleri Şekil 7.13a'ya göre daha yüksektir. Malzeme içerisindeki %Co oranı arttıkça, ϵ -Co oranında da artış görülmektedir. Benzer durumda, buzul işlem süresinin artması ile %10 ve %12 Co içeren malzemelerinde ϵ -Co fazına ait piklerin kırınım şiddetlerinde artış görülmektedir. 10DBİ36-T ve 12DBİ36-T kodlu numunelerde ise tavlamanın etkisi ile ϵ -Co fazında bir miktar düşüş olduğu görülmektedir.



Şekil 7.13. Farklı sürelerde buzul işlem uygulanmış ve elektroliz yapılmış kesici takımların kırınım desenleri, (a) %6 Co, (b) %10 Co ve (c) %12 Co.

Literatürde tungsten karbür malzemeler üzerinde malzeme özelliklerini iyileştirmek amacıyla buzul işlem uygulamaları mevcuttur. Buzul işlem uygulanan malzemelerde η fazının ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$, $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$) oluştuğunu belirten araştırmalar yer almaktadır. Bu araştırmalarda buzul işlem sonrasında yapıdaki η fazını kırınım deseni incelemeleri ile belirlemişlerdir. Kesici uçların mekanik özelliklerinin iyileşmesi ve performansının artmasını η fazının varlığı ile olduğunu vurgulamışlardır (SreemaReddy vd., 2009, Özbek vd., 2016). Gu vd. (2015) yaptıkları çalışmada, WC-Co malzemeye buzul işlem uygulamışlar ve kırınım desenini incelediklerinde, η fazının ve ayrıca α -Co'dan ϵ -Co'a martenzitik dönüşümün buzul işlem sonrasında yapıda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Martenzitik dönüşümün difüzyonsuz dönüşüm olduğunu ve bu dönüşümü tetikleyen mekanizmanın ise sıcaklık farklılığından ortaya çıkan büyük serbest enerji farklılığının faz dönüşümünde itici rol aldığını belirtmişlerdir. Zhang vd. (2015 a) farklı Co oranına sahip WC-Co malzemelere derin buzul işlem uygulamışlar ve işlem sonrasında malzemelerin yapısında α -Co'dan ϵ -Co'a dönüşümün olduğunu ve η fazına ait bir bulgunun olmadığını belirtmişlerdir. Zhang vd. (2015 b) ve Zhang vd. (2014) yaptıkları çalışmalarda buzul işlem uygulanmış WC-Co malzemesinde martenzitik dönüşümün meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca Zhang vd. (2014) buzul işlem neticesinde tungsten karbür malzemelerin yapısındaki Co bileşeninin martenzitik dönüşümü sonrasında malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında ϵ -Co fazının α -Co fazına göre daha düşük sürtünme katsayısına ve iyi yağlayıcı özelliğe sahip olduğunu, aşınmaya karşı direncinin yüksek olduğunu vurgulamışlardır.

α -Co fazından ϵ -Co fazına dönüşüm olduğunda malzemenin kristal kafes yapısı yüzey merkezli kübikten hegzagonal sıkı pakete dönüşmektedir. Buzul işlem prosesinin kesici takımlara uygulanıp kesici takımların ömürlerinin artması ve mekanik özelliklerinin iyileşmesi bu mekanizma ile açıklanabilir. Özellikle ϵ -Co fazının hegzagonal kristal kafes yapısında olması malzemeye birçok özellik kazandırmaktadır. Mezenes vd. (2013) yaptıkları açıklamada, hegzagonal kristal kafes yapılarına sahip malzemelerin yüzey merkezli kristal kafes yapısına sahip malzemelere göre daha az sayıda kayma düzlemlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Sürtünmenin, malzemelerin ne kadar kolay plastik deformasyona uğraması ile ilgili olduğunu vurgulamışlar ve hegzagonal kafes yapılarında az sayıda kayma düzlemi olması nedeniyle daha az plastik deformasyona uğraması ve dolayısıyla daha düşük sürtünme katsayısına sahip olmalarını açıklamışlardır.

Buzul ısıtıl işlem sonrasında WC-Co kesici takımlarında meydana gelen iyileşmelerin mekanizmalarını açıklamak için literatürde üç temel konu üzerinde durulmuştur;

- α -Co fazından ε -Co fazına dönüşüm,
- Yeni karbürlerin oluşması,
- Kalıntı gerilmeler.

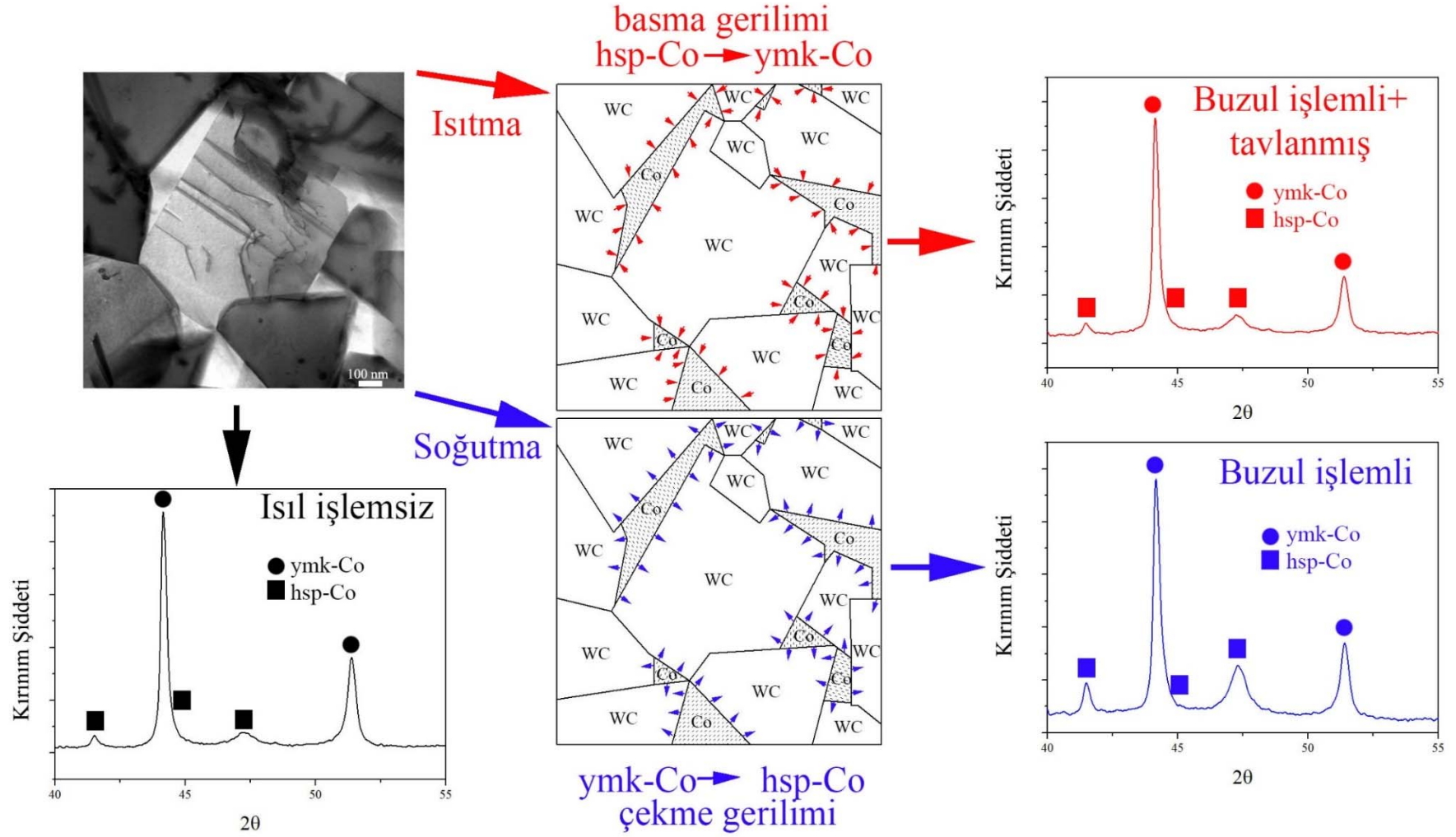
Çalışmamız kapsamında yukarıdaki mekanizmalardan, α -Co fazından ε -Co fazına dönüşüm olduğu yapılan kırınım deseni incelemeleri sonrasında belirlenmiştir. Dönüşümün detaylı incelenmesi Rietveld analizleri sonrasında detaylı olarak irdelenmiştir.

α -Co fazından ε -Co fazına dönüşümü inceleyen farklı alanlardaki çalışmalar aşağıda derlenmiştir. Bauer vd. (2010) Co elementi üzerine yaptıkları çalışmada, Co'ı martenzitik dönüşüm sıcaklığı üzerine ısıtıp soğutarak DSC ve XRD analizleri yapmışlardır. Yapılan incelemeler doğrultusunda, Co bileşenine ait dönüşümün difüzyonsuz martenzitik dönüşüm olduğu ve bu dönüşüme neden olan mekanizmanın ise dislokasyon ve istif hatalarının enerjisi sebebiyle kafes yapısında kaymaların meydana gelmesi ile olduğunu belirtmişlerdir. Sprouster vd. (2009) yaptıkları çalışmada ağır iyon ışınlamasını kullanarak Co nano parçacıklarının ymk kafes yapısından hsp kafes yapısına geçişini sağlamışlardır. Yaptıkları işlem ile öncelikle SiO₂ üzerinde Co nano parçacıklarını oluşturmuşlardır. Sonrasında ise ağır iyon ışınlaması yöntemini kullanarak SiO₂ ile Co nano parçacıkları arasında meydana gelen hızlı termal genleşme neticesinde kayma gerilmelerinin meydana geldiğini ve bununda faz dönüşümüne neden olduğunu belirtmişlerdir. Marx vd. (2016) yaptıkları çalışmada, poliimid üzerindeki iki fazlı Co filmine çekme testi uygularken aynı anda XRD çekmişlerdir. Çekme gerilmesine maruz kalan Co filminde α -Co fazından ε -Co fazına dönüşüm olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca bu dönüşümün tersinir, difüzyonsuz ve martenzitik bir faz dönüşümü olduğunu da vurgulamışlardır. Lee vd. (2015), nano kristal Co ince filmi üzerinde martenzitik dönüşüm öncesi ve sonrasında incelemeler yapmışlardır. Co ince filmi martenzitik dönüşüm sıcaklığı olan 420 °C'nin üzerinde olan 600 °C'ye ısıtıp sonrasında oda sıcaklığına soğutmuşlardır. Oda sıcaklığına soğuttuklarında Co'a ait α -Co fazı ve ε -Co fazının her ikisinin de yapıda mevcut olduğunu, martenzitik dönüşümün tamamen gerçekleşmediğini belirtmişlerdir. Dönüşüme neden olan mekanizmanın termal

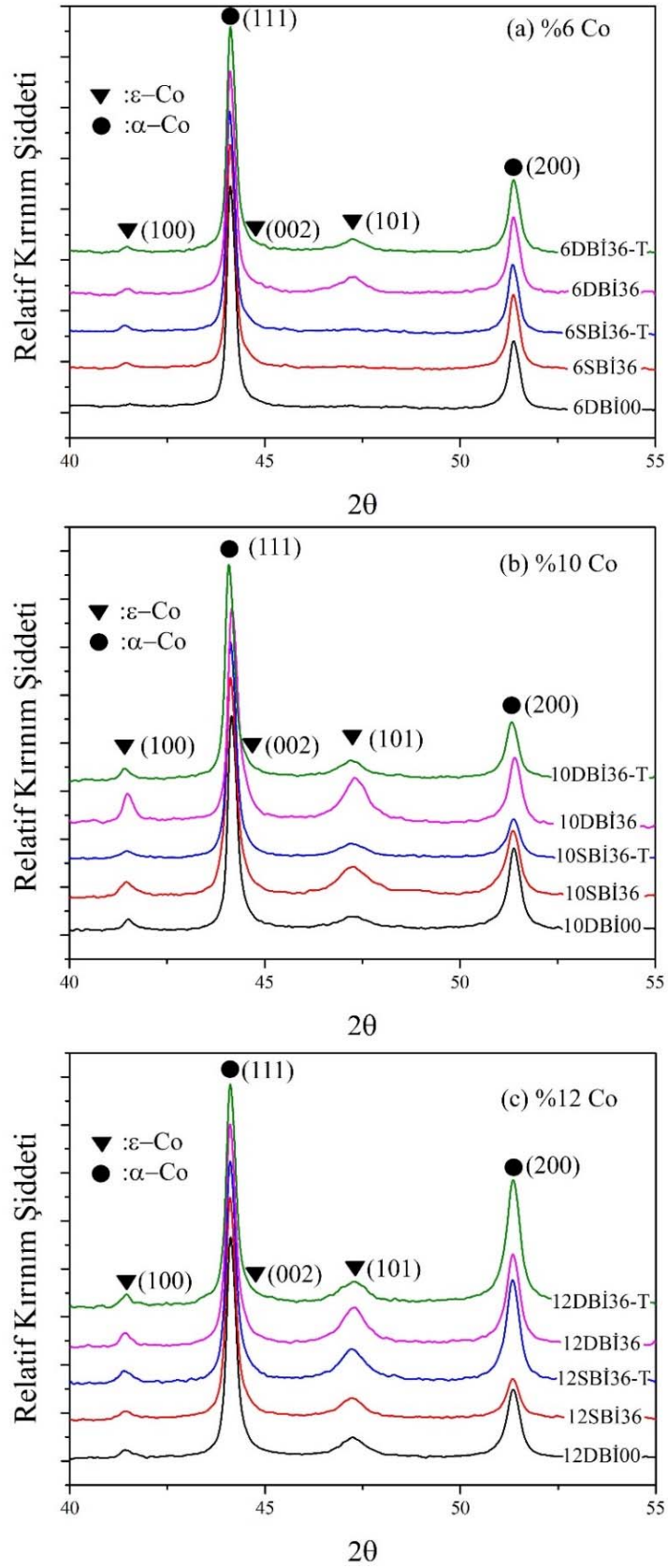
genleşmeden dolayı gerilme enerjisi ve komşu taneler tarafından meydana gelen gerilme enerjisi olduğunu vurgulamışlardır. Chawla vd. (2002) çalışmalarında malzemelerin termomekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında WC ve Co fazlarına ait termal genleşme katsayılarına yer vermişlerdir. WC ve Co'a ait termal genleşme katsayıları sırasıyla $5,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ve $14,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ şeklindedir. Bu sayısal değerler ele alındığında buzul işlem uygulanan WC-Co malzemesinde Co bileşeni çekme gerilmelerine WC ise basma gerilmelerine maruz kalacaktır. Yong ve Ding (2011), WC-Co malzemesine buzul işlem uyguladıktan sonra malzeme üzerindeki kalıntı gerilmeyi hesaplamışlardır. Malzeme üzerinde basma kalıntı gerilmesi meydana geldiğini belirtmişlerdir. Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda, tungsten karbür malzemelere uygulanan buzul işlem sonrasında, yapı içerisinde bulunan Co bileşenine ait α -Co'tan ϵ -Co'a bir martenzitik dönüşümün olduğunu ve bu dönüşüm mekanizmasının ise farklı sıcaklıklardaki termal genleşme farklılıklarından dolayı Co bileşeni üzerinde çekme gerilmesi meydana getirdiği açıklanmıştır. Bu gerilme neticesinde de α -Co'tan ϵ -Co'a dönüşümün tetiklendiği söylenebilir. Şekil 7.14'de ise bu mekanizma şematik olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Şekilde %10 Co oranına sahip WC-Co malzemesine ait mikro yapı ve kırınım desenleri yer almaktadır. Isıl işlemsiz malzemeye ait kırınım deseninde α -Co ve ϵ -Co fazlarının her ikisi de görülmektedir. Buzul işlem uygulanması esnasında WC taneleri basma gerilmesine dolayısı ile de Co taneleri çekme gerilmesine maruz kalacaktır. Bu gerilme sonucunda ise α -Co fazından bir miktar ϵ -Co fazına dönüşecektir. Şekil üzerinde de buzul işlemlili malzemenin kırınım deseni incelendiğinde ısıl işlemsiz kırınım desenindeki ϵ -Co piklerinden daha şiddetli piklere sahip olduğu görülebilir. Ayrıca buzul işlemin ardından WC-Co malzemesinin 200 °C'de 2 saat tavlama sonrasında kırınım deseni incelendiğinde, buzul işlemlili malzemenin kırınım deseninde yer alan ϵ -Co piklerinden tavlama sonrası malzemenin ϵ -Co piklerinin daha az şiddetli olduğu görülebilir.

Şekil 7.15'te farklı ısıl işlemler sonrasında elde edilen kırınım şiddetlerine ait grafikler yer almaktadır. Şekil 7.15a'da %6 Co oranına sahip kesici takımların buzul işlemsiz, sığ buzul işlemlili ve derin buzul işlemlili durumları ele alınmıştır. Buzul işlem uygulanmamış durum ile sığ buzul işlem uygulanmış durum kıyaslandığında ϵ -Co fazının (100) düzlemine ait pikte bir miktar artış olduğu görülmektedir. Derin buzul işlem uygulanmış durumda ise (100) ve (101) düzlemlerine ait piklerin her ikisinde de oldukça

belirgin bir artışın olduğu gör÷lmektedir. Buzul işlemlere ilave olarak sonradan uygulanan tavlama ile ϵ -Co fazına ait piklerin kırınım şiddetlerinde azalma olduğu gör÷lmektedir.



Şekil 7.14. Kobaltın faz dönüşüm prosesinin şematik gösterimi.



Şekil 7.15. Farklı sıcaklıklarda buzul işlem uygulanmış ve elektroliz yapılmış kesici takımlarına ait XRD (a) %6 Co, (b) %10 Co ve (c) %12 Co.

Şekil 7.15b ve Şekil 7.15c’de buzul işlemsiz durumlarda ϵ -Co fazına ait pikler belirgin kırınım şiddet değerlerine sahip iken sığ ve derin buzul işlem sonrasında pik kırınım şiddetlerinde artış olduğu görülmektedir. Özellikle derin buzul işlem uygulanmış malzemelerde sığ buzul işleme göre daha yüksek kırınım şiddeti olduğu görülmektedir. Derin buzul işlem prosesinin sığ buzul prosesine göre ϵ -Co fazının martenzitik dönüşümünde daha etkili bir yöntem olduğu söylenebilir. Ayrıca buzul işlemlerden sonra uygulanan tavlama prosesi sonrasında dönüşen ϵ -Co fazında bir azalma olduğu yine şekil üzerinden anlaşılmaktadır.

Yapılan X-ışınları kırınım analizi sonrasında elde edilen veriler rietveld analizlerinde incelenerek nicel değerler elde edilmiştir. Bu değerler ile buzul işlem süresinin ve türünün α -Co’dan ϵ -Co’ya dönüşümü üzerindeki etkinliği sayısal olarak Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Farklı Co ve ısıl işlem türlerine göre rietveld analizi sonuçları.

%Co	6DBİ00	6DBİ12	6DBİ24	6DBİ36	6DBİ36-T	6SBİ36	6SBİ36-T
α	99,57038	95,58408	84,95557	84,90654	88,34371	90,96764	94,84343
ϵ	0,42961907	4,1227965	15,04443	15,09346	11,656287	9,032359	5,156572
%Co	10DBİ00	10DBİ12	10DBİ24	10DBİ36	10DBİ36-T	10SBİ36	10SBİ36-T
α	85,9089	81,141365	73,48815	66,04233	81,251976	75,01337	83,32251
ϵ	14,091103	18,858635	26,511847	33,957672	18,748024	24,986633	16,677488
%Co	12DBİ00	12DBİ12	12DBİ24	12DBİ36	12DBİ36-T	12SBİ36	12SBİ36-T
α	83,7194	75,70873	81,43532	74,0259	86,48331	80,1172	77,03299
ϵ	16,280598	24,291265	18,564678	25,974098	13,516695	19,882795	22,967014

Çizelge 7.1’de görüldüğü üzere buzul işlem süresinin artması ile yapıdaki dönüşüm miktarının da arttığı görülmektedir. 6DBİ00 %0,429 oranında ϵ -Co içerirken, 6DBİ36 durumunda ise bu oran %15,093’e çıkmıştır. 10DBİ00 %14,091 oranında ϵ -Co içerirken, 10DBİ36 durumunda ise bu oran %33,957’ye çıkmıştır. Benzer şekilde 12DBİ00 %16,28 oranında ϵ -Co içerirken, 12DBİ36 durumunda ise bu oran %25,974’e çıkmıştır. Buzul işlem mevcut ϵ -Co oranı yapısındaki Co oranının artması ile artış göstermektedir. Ayrıca DBİ36 koşulları ile DBİ36-T koşulları kıyaslandığında %6, %10 ve %12 Co oranına sahip kesici takımlarda sırasıyla %22,8 , %44,7 ve %47,9 oranında azalma meydana gelmiştir. SBİ36 ile DBİ36 koşulları kıyaslandığında %6, %10 ve %12 Co oranına sahip kesici takımlarda sırasıyla %40,1 , %26,4 ve %23,4 oranında azalma meydana gelmiştir. Sığ buzul işlem

uygulanmış numunelerin yine derin buzul işlem uygulanmış numunelere benzer şekilde ardından tavlama işlemi uygulandığında ϵ -Co fazında düşüş görülmektedir.

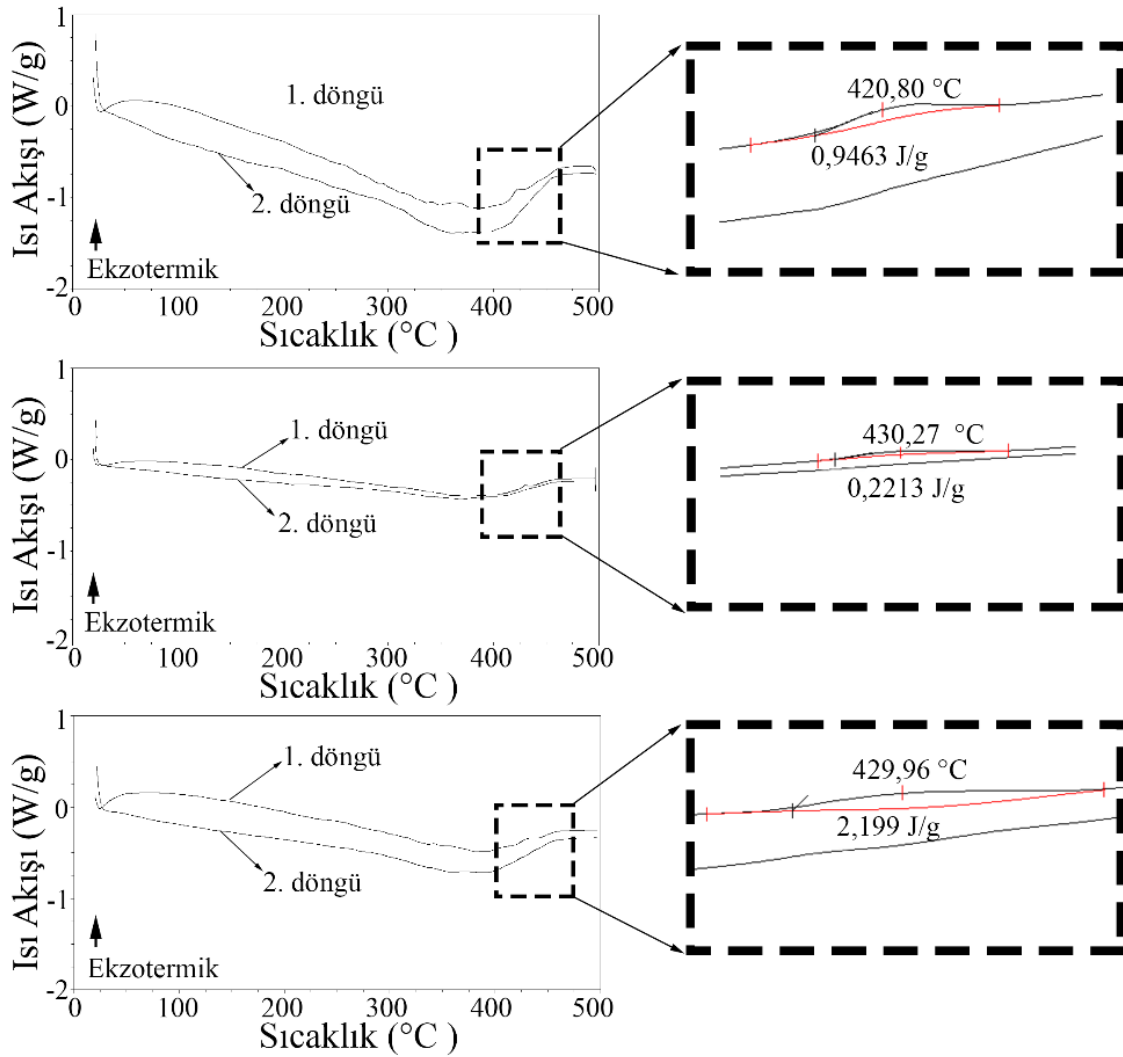
7.1.5. Diferansiyel taramalı kalorimetri ve ısıl ağırlık incelemeleri

Buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların sıcaklığa bağlı yapısında dönüşüm olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri yapılmıştır. Analizler oda sıcaklığı ile 500 °C aralığında 20°/dk hızla N₂ inert ortamında gerçekleştirilmiştir. %10 Co oranına sahip buzul işlem uygulanmamış, sığ ve derin buzul işlem uygulanmış üç farklı malzemeye analiz uygulanmıştır. Analizler iki çevrimde gerçekleştirilmiştir. Bir çevrim işlemi 20 °C - 500 °C ile 500 °C - 20° C şeklinde ısıtma ve ardından soğutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Co üzerine yapılan bir çalışmada, yüksek saflıktaki Co malzemesinin oda sıcaklığından 500 °C'ye ısıtılması ve soğutulması ile diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu analizlerde ısıtma esnasında ~440 °C civarında ϵ -Co'dan α -Co'a dönüşümünün olduğunu ve bununla endotermik bir reaksiyon olduğunu belirtmişlerdir (Bauer vd., 2011). Farklı bir çalışmada ise WC-Co tozlarının ısıtılması ile gerçekleşecek kimyasal reaksiyonların analizi diferansiyel kalorimetri ile incelenmiştir. İncelemeler sonucunda 873 °C'de kimyasal reaksiyon sonrasında WC oluştuğu ve bunun endotermik bir reaksiyon olduğu belirtilmiştir (Lin vd., 2013). Öğütülmüş Co tozu üzerinde yapılan bir analiz sonucunda ise 426 °C'de küçük bir ekzotermik pikinin oluştuğunu ve bu durumun kristalin fazın yeniden dizilmesi ile meydana gelen kristalleşme olabileceğini belirtmişlerdir (Bolokang vd., 2012). WC-Co malzeme üzerinde yapılan bir çalışmada hem saf Co tozu hem de WC-Co malzemesi üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada Co tozunun yaklaşık 420 °C civarında dönüştüğüne dair pik oluşturduğunu fakat WC-Co malzemelerde bu sıcaklık aralığında belirgin bir pike rastlanmadığını belirtmişlerdir (Zhang vd., 2014).

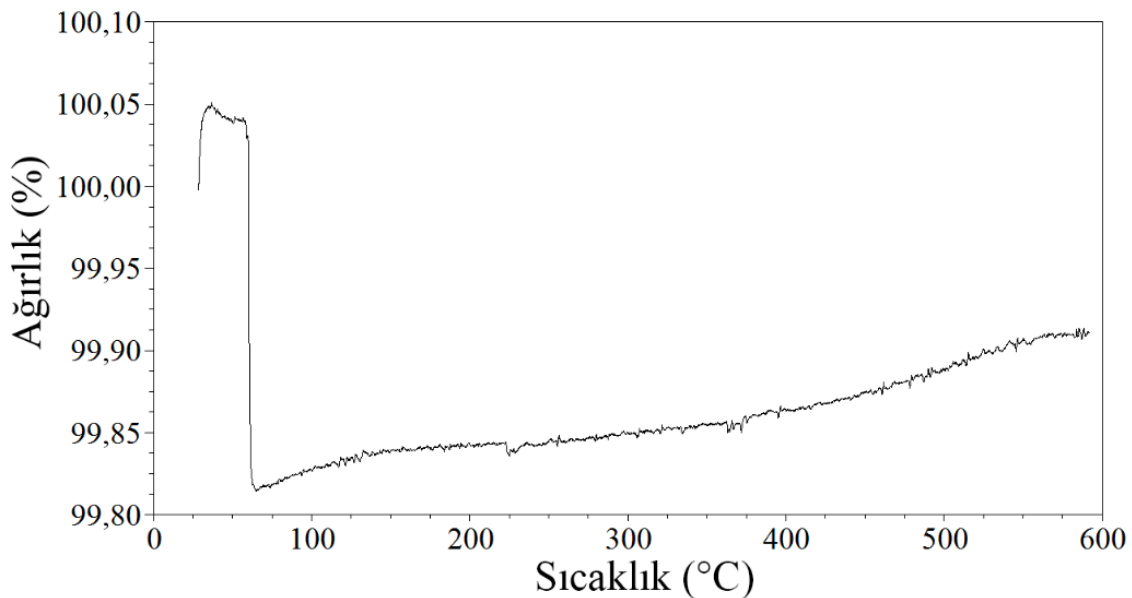
Şekil 7.16'da sırasıyla %10 Co oranına sahip buzul işlem uygulanmamış, sığ ve derin buzul işlem uygulanmış malzemelerin diferansiyel taramalı kalorimetri analizleri verilmiştir. Bu analizlerde iki adet çevrime ait ısıtma eğrileri görülmektedir. İlk çevrimde her üç malzeme de sırasıyla 420,8 °C, 430,27 °C ve 429,96 °C'de küçük ekzotermik pikleri

görülmektedir. Bu görünen pikler ikinci çevrimde görülmemektedir. Bu sıcaklık aralığında ikinci çevrimde yeniden piklerin görülmemesi, bu noktada oluşabilecek reaksiyonun tersinir olmadığına bir göstergesi olabilir. Literatürde de bahsedildiği üzere, ekzotermik pikler kristalleşmenin olduğu durumlarda görülmektedir. Bu sıcaklık aralığında Co bileşeninde bir dönüşüm olduğu bilinmektedir fakat bu dönüşümün endotermik olduğundan da bahsedilmiştir. Bu durumda yine Co bileşeninde bu sıcaklık aralığında kristal kafes yapısında yeniden bir düzenlenme meydana gelmiş olabilir. Zira WC fazında bu sıcaklıkta inert ortamda herhangi bir değişim olması beklenmemektedir.



Şekil 7.16. (a) Buzul işlem uygulanmamış, (b) SBİ uygulanmış ve (c) DBİ uygulanmış kesici takımların DSC analizleri.

Şekil 7.17’de %10 Co oranına sahip buzul işlem uygulanmamış kesici takıma ait ısı ağırlık analizi yer almaktadır. Analiz N₂ inert ortamında ve oda sıcaklığından 600 °C’ye kadar 40 °C/dk ısıtma hızıyla gerçekleştirilmiştir. Grafiğin başlangıcında ani bir düşüş görülmektedir. Bu düşüş ~65 °C’de meydana gelmektedir. Isıl ağırlık analizi öncesinde numune etil alkol ile ultrasonik banyoda temizlenmiştir. Numunenin yüzeyinde kalmış olan az miktardaki etil alkolün yaklaşık bu sıcaklıklarda ortamdaki uzaklaştığı ve bu yüzden yaklaşık %0,2’lik bir düşüş olduğu düşünülmektedir. Bu düşüşten sonra 600 °C’ye kadar yaklaşık %0,1’lik artış olduğu görülmektedir. Bu durumun ise yapılan analiz esnasında malzeme yüzeyinde bir miktar N₂ tutunduğu düşünülmektedir. Bu oranlar oldukça düşük değerlerdedir ve bu analiz kapsamında belirgin bir yapısal bozulmanın olduğu görülmemektedir.

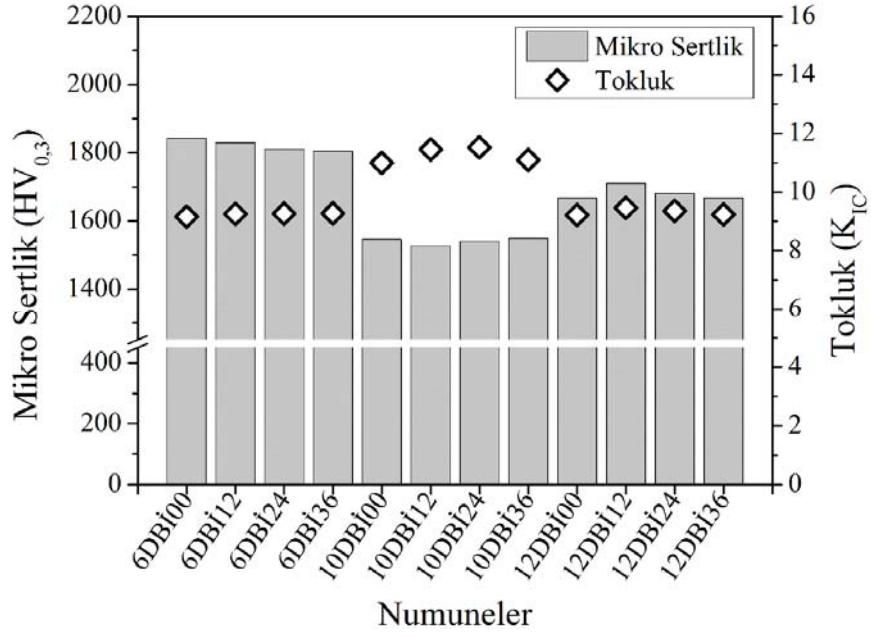


Şekil 7.17. %10 Co içerikli kesici takımın TGA analizi.

7.2. Mikro Sertlik ve Kırılma Tokluğu Analizleri

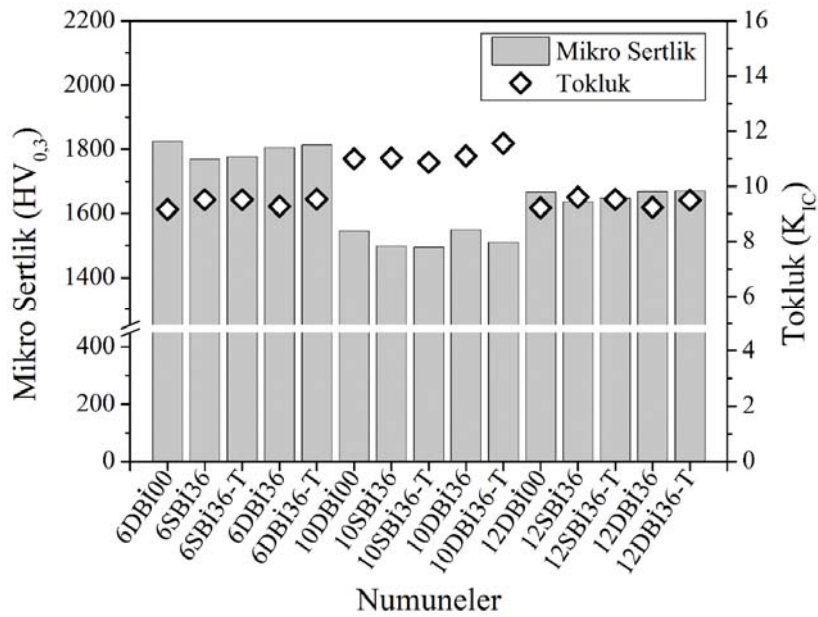
WC-Co malzemelerinin sertlik ve dayanım değerleri yapısı içerisinde bulunan WC tanelerinin boyutuna ve Co oranına bağlıdır. WC tane boyutunun ve Co oranının azalması ile tungsten karbür malzemelerinin sertlik ve aşınmaya karşı direnci artmaktadır (Saito vd., 2006). Li vd. (2016) ise kaba taneli WC ile mikron altı WC tanelerini Co bağlayıcısı ile sinterlemişler ve oluşturdukları malzemenin mikro yapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Mikron altı WC tanelerinin mikro yapıyı iyileştirdiğini ve sertlik değerini

arttırdığını belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmada %6, %10 ve %12 oranında Co içeren WC-Co malzemeler kullanılmıştır. WC tane boyutları ise %6 ve %10 Co oranı içeren WC-Co malzemelerinin 0,6 µm ve %12 Co içeren malzemelerin ise 0,35 µm'dir. Bu farklılıklara göre elde edilen sertlik ve kırılma tokluğu değerleri Şekil 7.18'de verilmiştir. %6 Co içeren malzeme grubu incelendiğinde ~1800 HV, %10 Co içeren malzeme grubu ~1500 HV ve %12 Co içeren malzeme grubu ise ~1700 HV'dir. Co oranı arttıkça sertlikte düşüş beklenirken %12 Co içeren malzeme grubunun %10 Co içeren malzeme grubundan daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise %12 Co oranına sahip grubun WC tane boyutu %10 Co oranına sahip malzeme grubundan daha düşüktür. Kırılma tokluğu değerleri ise, %6 ve %12 Co içeren malzemelerin ~9 [MNm^{-3/2}] ve %10 Co içeren malzemelerin ise ~11 [MNm^{-3/2}] dir. %12 Co içeren malzemelerin kobalt oranı fazla olmasına rağmen %6 Co oranına sahip malzemeler ile hemen hemen aynı kırılma tokluğu değerlerine sahiptir. Bu duruma WC tane yapısının etkili olduğu söylenebilir. Yong ve Ding (2011), %8 Co içeren tungsten karbür malzemelere uyguladıkları buzul işlem sonrasında malzemelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sertlik ve tokluk değerlerinde belirgin bir fark görülmezken aşınma direncinde artış olduğunu belirtmişlerdir. Vadivel ve Rudramoorthy (2009) yaptıkları çalışmada tungsten karbür kesici takımlara derin buzul işlem uygulamışlar ve buzul işlem sonrasındaki özelliklerini incelemişlerdir. Buzul işlem uygulanan ve uygulanmayan kesici takımlar ile tornalama deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonrasında buzul işlem uygulanmış malzemenin aşınma direncinin iyileştiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra buzul işlem sonrasında malzemenin kırılma tokluğunda herhangi bir değişimin olmadığını bildirmişlerdir. Gill vd. (2011 a)'nin yaptıkları çalışma kapsamında, buzul işlem uygulanması ile kesici takımların sertliklerinde %5'lik bir artışın olduğu ve bununla beraber aşınma direncinde ise %42'lik bir artış olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 7.18. Farklı buzul işlem sürelerinde kesici takımların sertlik ve kırılma tokluğu değerleri.

Şekil 7.19’da ise farklı buzul işlem türlerindeki malzeme gruplarına ait mikro sertlik ve kırılma tokluğu değerleri verilmiştir. Şekil 7.18’e benzer durum burada da söz konusudur. Farklı Co oranına sahip malzemelere uygulanan sıg ve derin buzul işlem sonrasında, buzul işlem uygulanmamış malzemelere göre sertlik ve kırılma tokluğu değerlerinde belirgin bir farklılık görülmemektedir. Bu sonuçlar literatür ile de benzerlik göstermektedir.

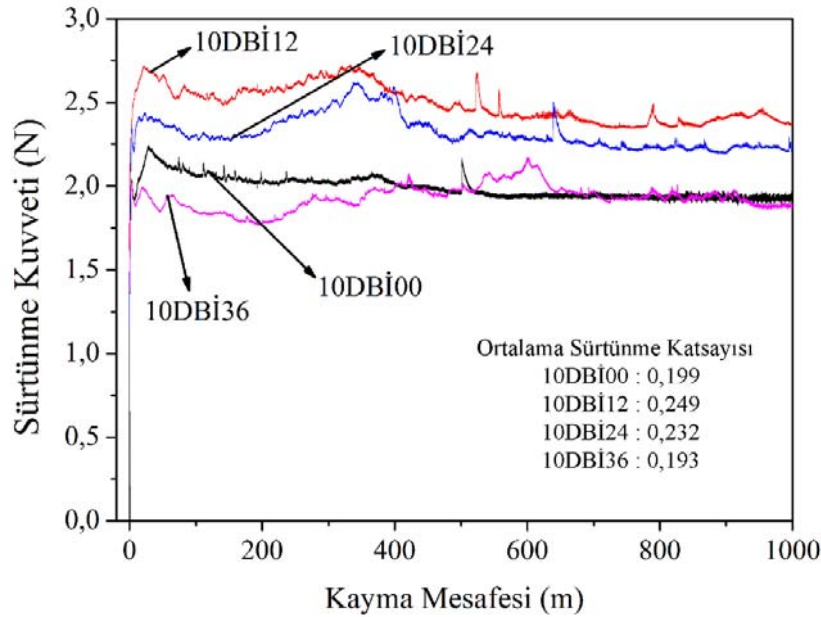


Şekil 7.19. Farklı ısıl işlem türlerinde kesici takımların sertlik ve kırılma tokluğu değerleri.

7.3. Triboloji Test Sonuçlarının İncelenmesi

Farklı sürelerde buzul işlem uygulanmış %10 Co içeriğindeki WC-Co malzemelerin triboloji testi yapılmış ve mesafeye bağlı sürtünme kuvveti değerleri ölçülmüştür (Şekil 7.20). Bu değerler ayrıca buzul işlem uygulanmamış malzeme ile de kıyaslanmıştır. Şekilde görüldüğü üzere mesafeye bağlı sürtünme kuvveti değerlerinde belirli dalgalanmalar meydana gelmiştir. İlk etapta, sürtünme katsayısı değerleri yükselmiş ve yaklaşık 15 m kayma mesafesinden sonra düşmüştür. Bu durum birbirine temas eden yüzeylerdeki pürüzlülükler nedeniyle mekanik parlatma mekanizması olduğunun göstergesidir (Bonny vd., 2010; Jianxin vd., 2012). Kayma testinin başlangıcında, temas eden yüzeylerdeki pürüzlülükler birbirleri ile temas halindedir. Bu pürüzler kayma hareketi başladığında birbirini engelleyerek kayma hareketini de engelleyici özellik gösterirler. Test devam ederken, birbiri ile temas halindeki yüzeylerin pürüzlülükleri üzerindeki yükünde etkisiyle zamanla kopmaya başlar. Bu sayede sürtünme kuvveti bu ikinci etapta düşüş gösterir (15-250 m). Üçüncü etapta ise eğri boyunca farklı boyutlarda dalgalanmaların olduğu görülmektedir. Bu dalgalanmalar ise kayma hareketi esnasında temas yüzeylerinden kopan sert WC partiküllerinin, kayma bölgesinde temas eden yüzeyler arasına girerek zaman zaman sürtünmeyi engelleyici özellik göstermektedir.

Şekil 7.20’de sürtünme kuvveti ve ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin farklı sürelerde uygulanan buzul işlem prosesine göre değiştiği görülmektedir. Buzul işlem süresinin 12 saatten 36 saate yükselmesi ile sürtünme kuvveti ve ortalama sürtünme katsayısının her ikisinin birden azaldığı görülmektedir (Ortalama sürtünme katsayısı 0,249’dan 0,193’e düşmüştür). 10DBİ36 numunesinin buzul işlem uygulanmamış 10DBİ00 numunesine göre sürtünme özelliği açısından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Buzul işlem uygulanmış kesici takımların kristal kafes yapılarında meydana gelen değişiklikler ile sürtünme özelliklerinin iyileştiği düşünülmektedir.



Şekil 7.20. Farklı buzul işlem süresine bağlı %10 Co'lu kesici takımın triboloji testleri.

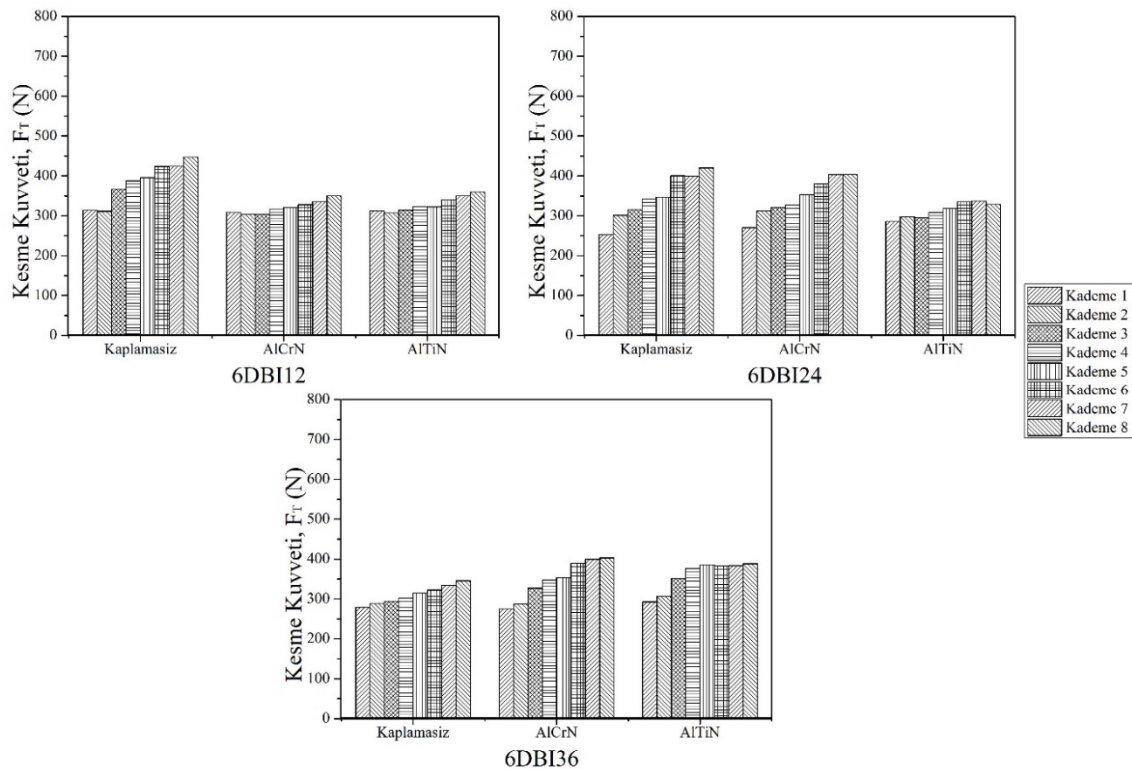
7.4. Takım Aşınması ve Takım Ömrünün Değerlendirilmesi

Buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış kesici takımların performanslarının değerlendirilmesi amacıyla frezeleme deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler esnasında iş parçasının altına bağlanan dinamometre ile kesme kuvveti değerleri ölçülmüştür. Frezeleme deneyi esnasında termal kamera ile kesme esnasında açığa çıkan sıcaklık değerleri de ölçülmüştür. Frezeleme deneyleri sonrasında ise işlenen Ti6Al4V malzemelerinin yüzey özellikleri ile talaşlar incelenmiştir. Son olarak, kesici takımların kesme profilleri incelenerek aşınma davranışları da incelenmiştir.

7.4.1. Kesme kuvvetlerinin incelenmesi

Farklı Co oranına ve kaplama özelliklerine sahip kesici takımlara buzul işlem uygulanarak performanslarının iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Uygulanacak buzul işlemin optimum süresinin belirlenmesi amacıyla ön frezeleme deneyleri yapılmıştır. Şekil 7.21'de %6 Co oranına sahip kesici takımların 12, 24 ve 36 saat derin buzul işlem uygulandıktan sonraki frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Ön frezeleme deneylerinde 8 kademe talaş kaldırılmıştır. Şekilde 6DBİ12 durumu incelendiğinde, kaplamasız takımın ilk kademesindeki kesme kuvveti 313,4 N iken son

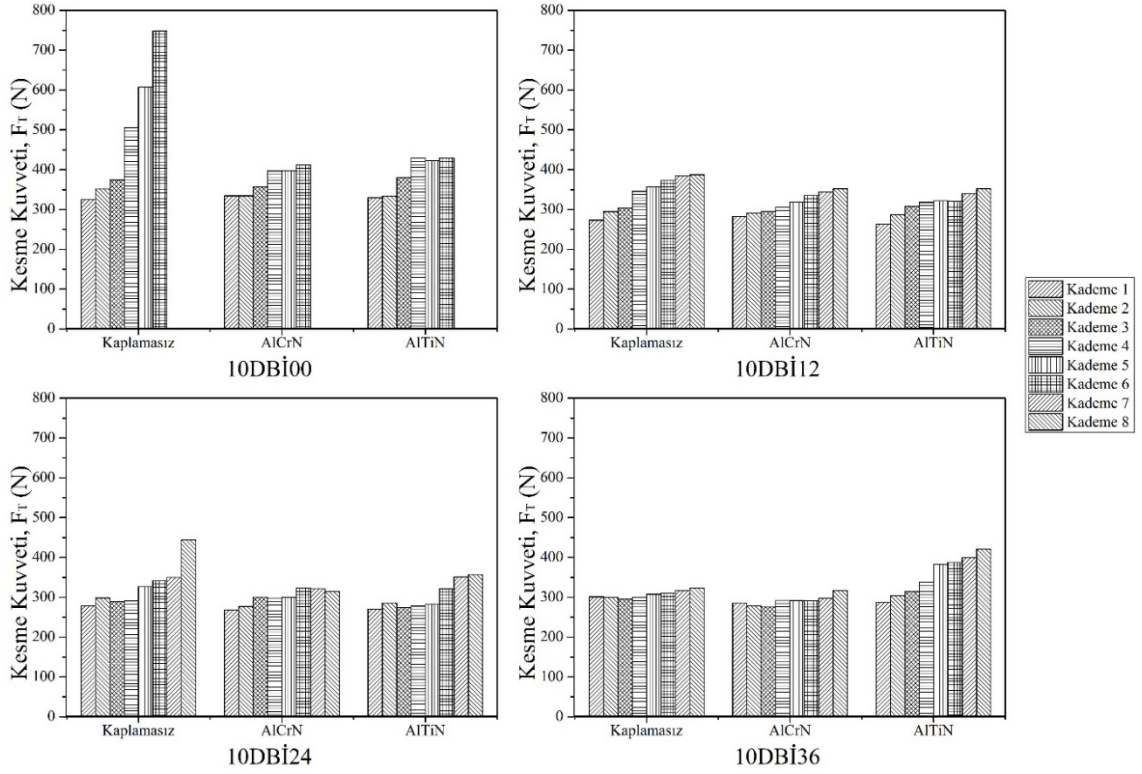
kademesinde ise 447 N'dur. Kademe miktarı arttıkça kaldırılan talaş miktarı da artmaktadır. Başlangıçta kesici takım keskin kenara sahipken kesme kuvvetlerindeki dalgalanma miktarı az olmaktadır. Sonraki kesme pasolarında ise kesici takımın aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetine ait dalgalanma miktarında artış görülmektedir (Zhang vd., 2009). Frezeleme deneylerinde, kesici takım ile işlenen malzeme arasında yüksek sürtünme ve büyük temas alanının oluşmasından dolayı kesici takımlar zamanla kesme işlevini yitirmektedir (Sun vd., 2013). Bu duruma bağlı olarak kesme kuvvetlerinde artış beklenmektedir. Farklı kaplama türleri kıyaslandığında ise 8 kademe kesme kuvvetinin ortalamaları sırasıyla; kaplamasız takımın 383,6 N, AlCrN kaplamalı takımın 321,1 N ve AlTiN kaplamalı takımın 328,6 N'dur. Kaplamasız takımın kesme kuvveti değeri AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlara göre sırasıyla %16,3 ve %14,3 daha fazladır. 6DBİ24 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 346,9 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 346,3 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 313,2 N'dur. 6DBİ36 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 309,8 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 347,7 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 358,3 N'dur.



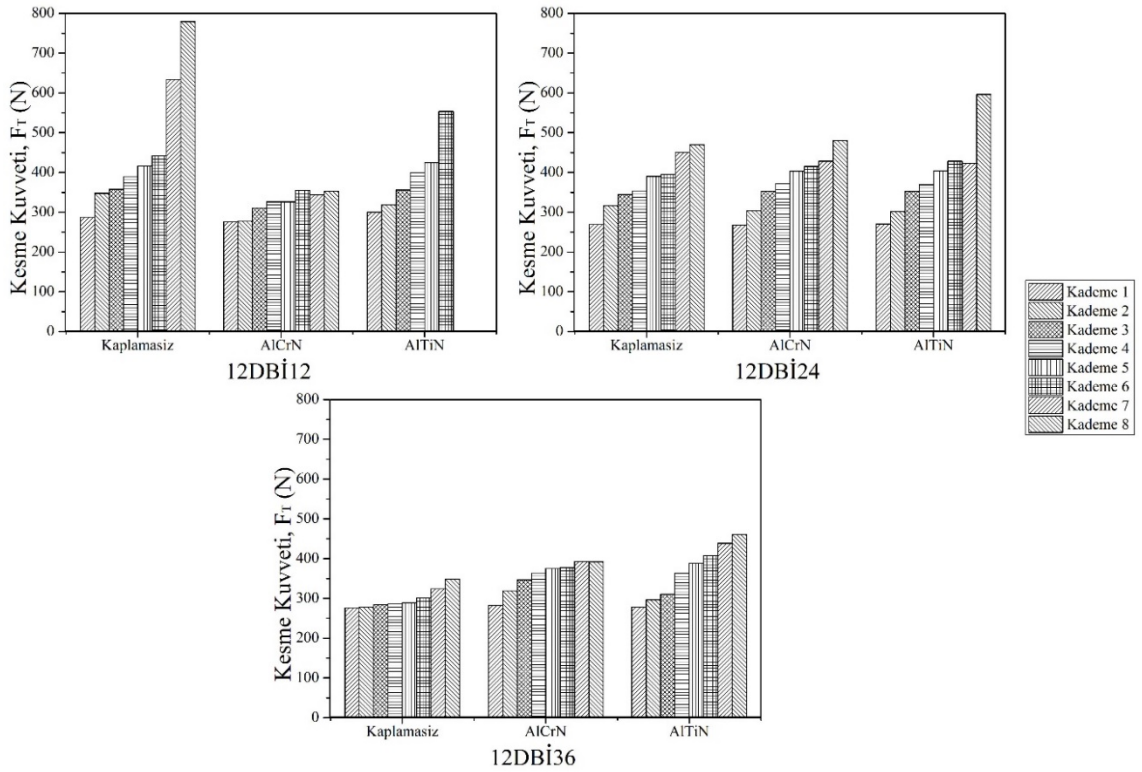
Şekil 7.21. Ön deneme deneylerinde kullanılan %6 Co'lu kesici takımların kesme kuvvetleri.

%6 Co içeren kesici takımlarda 12, 24 ve 36 saatlik buzul işlemler sonrasındaki kesme kuvvetleri incelendiğinde, kaplamasız kesici takımın 36 saatlik buzul işlem sonrasında en düşük kesme kuvvetine sahip olduğu görülmektedir. 36 saatlik buzul işlem uygulanmış takımlardan kaplamasız takım, AlCrN takıma göre %12,2 ve AlTiN kaplamalı takıma göre %15,6 daha iyi performans sergilemiştir.

Şekil 7.22'de %10 Co oranına sahip kesici takımların 12, 24 ve 36 saat derin buzul işlem uygulanmış ve buzul işlem uygulanmamış durumlarının frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Kademe miktarı arttıkça kesme kuvvetlerinde artış görülmektedir. 10DBİ00 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait 6 kademe kesme kuvvetinin olduğu görülmektedir. Yapılan deneyler esnasında, kaplamasız ve buzul işlem uygulanmamış %10 Co oranına sahip kesici takımın 6. kademe sonrasında ucu kırılmış ve frezeleme işleminde tekrar kullanılamaz hale gelmiştir. Bu durumda, 10DBİ00 koşulunda ortalama kesme kuvveti hesaplanırken diğer kaplamalı takımlarda 6 kademe üzerinden hesaplanmıştır. 10DBİ00 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 485,4 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 371,9 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 387,2 N'dur. Kaplamasız takımın kesme kuvveti değeri AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlara göre sırasıyla %23,3 ve %20,2 daha fazladır. 10DBİ12 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 339,9 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 315,6 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 313,9 N'dur. 10DBİ24 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 327,4 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 300 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 302,3 N'dur. 10DBİ36 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 306,5 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 291,1 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 354,4N'dur. Kaplamasız takımın 10DBİ00 durumu ile 10DBİ36 durumu kıyaslandığında %37,7'lik bir iyileşmenin 36 saatlik buzul işlem sonrasında meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.22. Ön deneme deneylerinde kullanılan %10 Co'lu kesici takımların kesme kuvvetleri.



Şekil 7.23. Ön deneme deneylerinde kullanılan %12 Co'lu kesici takımların kesme kuvvetleri.

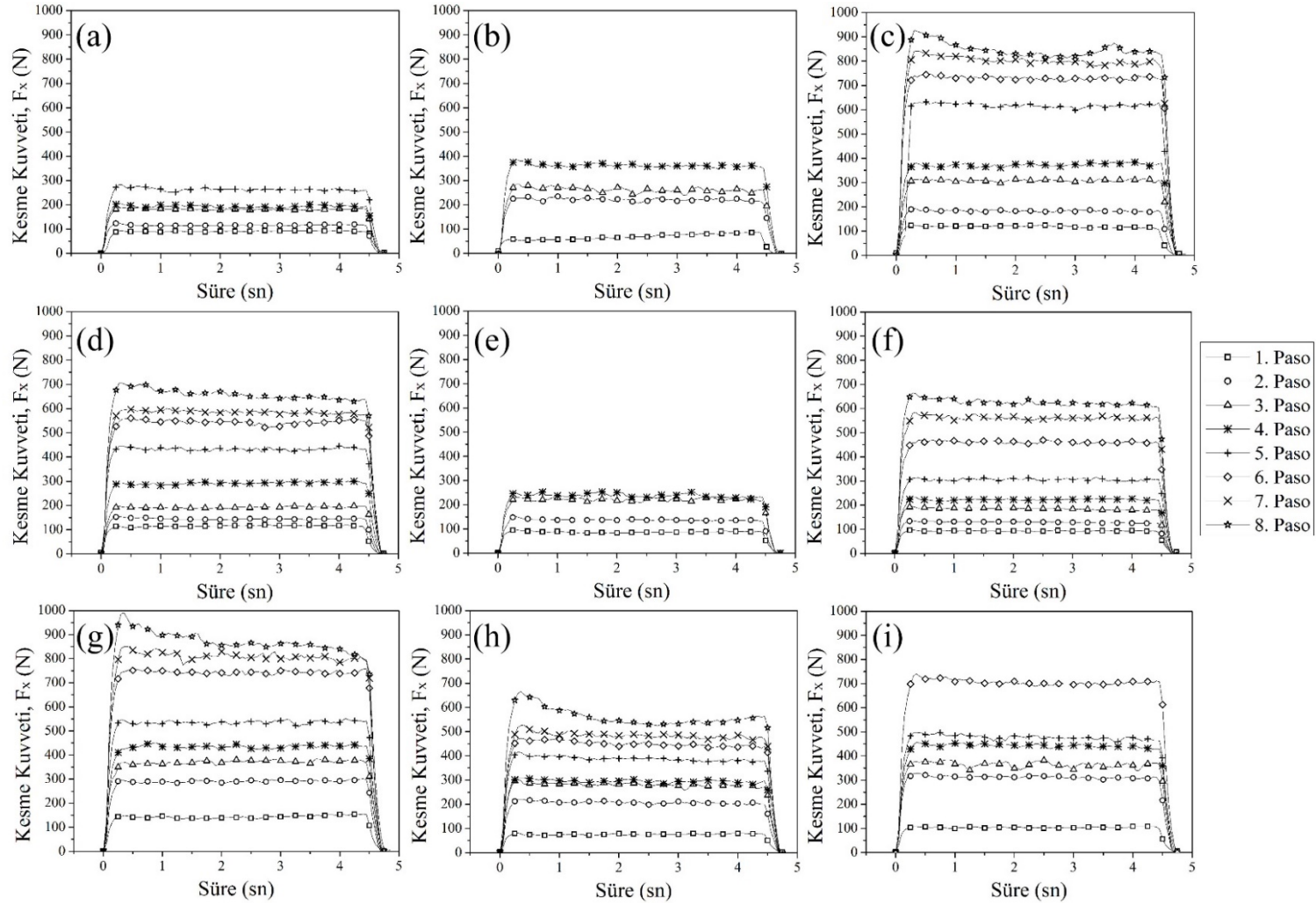
Kaplamasız takımın 12, 24 ve 36 saatlik buzul işlem sürelerindeki değerler incelendiğinde ise buzul işlem süresinin artması ile kesme kuvvetlerinde düşüş olduğu görülmektedir. Triboloji testlerinde ise %10 Co oranına sahip malzemelerin 12, 24 ve 36 saat buzul işlem uygulanmış ile uygulanmamış durumları ele alınmıştır. Triboloji testlerinde de frezeleme testlerindeki kesme kuvvetinde elde edildiği gibi buzul işlem süresi arttıkça sürtünme kuvveti ve ortalama sürtünme katsayısı değerleri azalmıştır. Kesme kuvvetindeki bu azalmanın triboloji testlerinde elde edilen sürtünme kuvveti ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 7.23’de %12 Co oranına sahip kesici takımların 12, 24 ve 36 saat derin buzul işlem uygulanmış durumlarının frezeleme deneylerinden elde edilen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Kademe miktarı arttıkça kesme kuvvetlerinde artış görülmektedir. 10DBİ00 durumu incelendiğinde AlTiN takıma ait 6 kademe kesme kuvvetinin olduğu görülmektedir. Yapılan deneyler esnasında, AlTiN ve 12 saat buzul işlem uygulanmış %12 Co oranına sahip kesici takımın 6. kademe sonrasında ucu kırılmış ve frezeleme işleminde tekrar kullanılamaz hale gelmiştir. Bu durumda, 12DBİ12 koşulunda ortalama kesme kuvveti hesaplanırken diğer takımlarda 6 kademe üzerinden hesaplanmıştır. 12DBİ12 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 373,3 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 311,7 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 391,9 N’dur. 12DBİ24 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 373,6 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 377,8 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 393,1 N’dur. 12DBİ36 durumu incelendiğinde kaplamasız takıma ait ortalama kesme kuvveti 298,2 N, AlCrN kaplamalı takımın kesme kuvveti ortalaması 356 N ve AlTiN kaplamalı takımın ortalama kesme kuvveti ise 367,9 N’dur. Kaplamasız takımın farklı buzul işlemleri sürelerindeki durumu incelendiğinde, buzul işlem süresinin artması ile kesici takıma ait kesme kuvvetlerinde azalmaya neden olmuştur.

%6, %10 ve %12 Co oranlı malzemelerin farklı buzul işlem sürelerindeki frezeleme deneyleri sonrasında kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Kaplamasız takımlarda kesme kuvveti açısından farklı Co oranlarında 36 saat buzul işlemin en iyi durum olduğu görülmektedir. AlTiN kaplamalı takımın birçok durumda kaplamasız takımdan da yüksek kesme kuvvetlerine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle farklı Co oranlarında 36 saatlik buzul işlem uygulanmış durumlarda kaplamasız kesici takım AlTiN kaplamalı takıma göre üstün

özelliğ sergilemiştir. Gill vd. (2011 a)'nin yaptıkları bir çalışmada, TiAlN kaplamalı takım üzerinde buzul işlem uygulamışlar ve talaşlı imalatta kesici takımın performansını incelemiştirlerdir. -196 °C'de 38 saat kesici takımlara buzul işlem uygulamışlar ve bu ısı işlemi kesici takım ile kaplama arasındaki bağı zayıflattığını belirtmişlerdir.

Şekil 7.24'te görülen eğriler, performans testleri esnasında her bir paso değerinin 5. kademesinde elde edilen kesme kuvveti doğrultusundaki F_x kesme kuvvetlerine aittir. Kesme kuvveti değerleri her paso miktarında artış göstermektedir. Bu artışın nedeni daha öncede bahsedildiği üzere kesici takımların kesme uçlarının aşınması ve dolayısı ile sürtünmenin ve kesme kuvvetinin de giderek artmasıdır. Performans testlerinde, her paso değerinden sonra (10 kademedan sonra) kesici takımlar mikroskop altında incelenmiştir. Kesici takımlar, aşınma kriteri olarak belirlenen 200 μm 'den fazla aşındıysa ya da kesici ucunda kopma olduysa frezeleme deneyine devam edilmemiştir.



Şekil 7.24. Performans testlerinde %6 Co içerikli kesici takımların kesme kuvvetleri, (a) 6DBİ00-Kaplamasız, (b) 6DBİ00-ALCrN, (c) 6DBİ00-AlTiN, (d) 6SBİ36-Kaplamasız, (e) 6SBİ36-ALCrN, (f) 6SBİ36-AlTiN, (g) 6DBİ36-Kaplamasız, (h) 6DBİ36-ALCrN, (i) 6DBİ36-AlTiN.

Şekil 7.24a,b ve c’de 6DBİ00 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. Kaplamasız takımın 5. paso ve AlCrN kaplamalı takım 4. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 5. pasodaki F_T değeri 380,9 N, AlCrN kaplamalı takımın 4. pasodaki F_T değeri 495,6 N ve AlTiN kaplamalı takımın 8. pasodaki F_T değeri ise 923,5 N’dur. Şekil 7.24d,e ve f’de 6SBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlara ait kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. AlCrN kaplamalı takım 4. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 8. pasodaki F_T değeri 726,2 N, AlCrN kaplamalı takımın 4. pasodaki F_T değeri 396 N ve AlTiN kaplamalı takımın 8. pasodaki F_T değeri ise 703,5 N’dur. Şekil 7.24g,h ve i’de 6DBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlara ait kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. AlTiN kaplamalı takım 6. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 8. pasodaki F_T değeri 980,4 N, AlCrN kaplamalı takımın 8. pasodaki F_T değeri 645,2 N ve AlTiN kaplamalı takımın 6. pasodaki F_T değeri ise 811 N’dur. Kaplamasız takımlar farklı ısı işlemler için incelendiğinde, buzul işlem uygulanmamış takımın 5 paso sonrasında kırıldığı ve sığ/derin buzul işlem uygulanmış takımların 8. paso sonrasına kadar kırılmadan dayanabildikleri görülmüştür. Buzul işlem ile kaplamasız %6 Co içeren takımlarda kesme kuvvetleri açısından performansın arttığı söylenebilir. AlCrN kaplamalı takımlarda ise, buzul işlemsiz ve sığ buzul işlemlerli takımın 4 paso sonrasında kırıldığı ve derin buzul işlem uygulanmış takımın 8. paso sonrasına kadar kırılmadan dayanabildiği görülmüştür. Buzul işlem uygulanmış takımlar ile buzul işlem uygulanmamış takım kıyaslandığında aynı sayıdaki paso değerlerinde elde edilen kesme kuvvetlerinde buzul işlem uygulanmış takımlarda azalma görülmektedir. AlTiN kaplamalı takımlarda derin buzul işlemlerli takımın 6 paso sonrasında kırıldığı görülmektedir. Sığ buzul işlem uygulanmış takım ile buzul işlem uygulanmamış takım kıyaslandığında 8. paso değerlerinde elde edilen kesme kuvvetlerinde buzul işlem uygulanmış takımda %23,8 azalma görülmektedir. %6 Co içeren kesici takımların genel kesme kuvvetleri incelendiğinde, en iyi durumun AlCrN kaplamalı derin buzul işlem uygulanmış takımda olduğu görülmektedir. Bu takıma en yakın durumdaki diğer takımlar ise sığ buzul işlem uygulanmış AlTiN kaplamalı ve kaplamasız takımlardır.

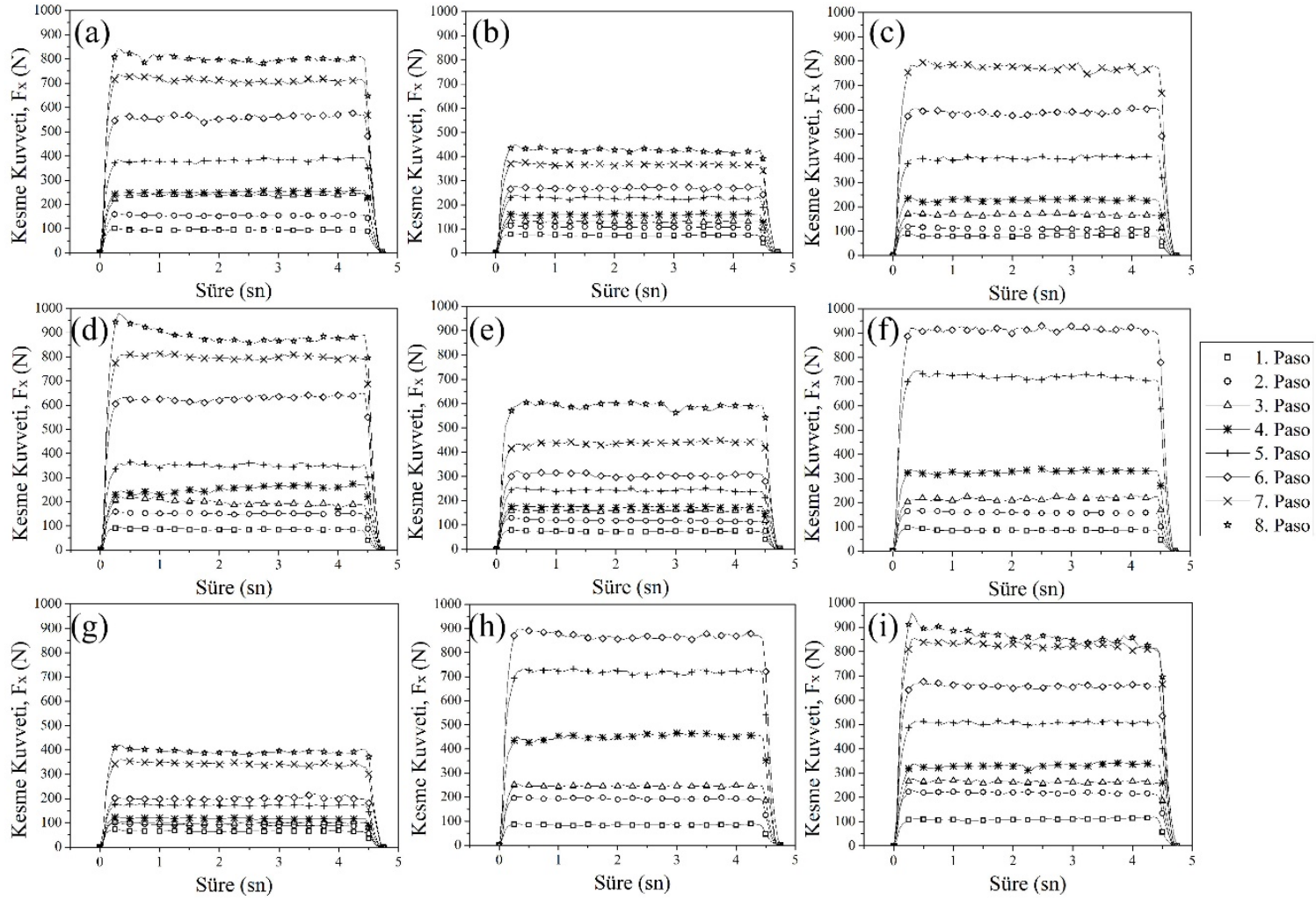
Şekil 7.25a,b ve c’de 10DBİ00 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. AlTiN kaplamalı takım 7. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 8. pasodaki F_T değeri 890,5 N, AlCrN kaplamalı takımın 8. pasodaki F_T değeri 519,7 N ve AlTiN kaplamalı takımın 7. pasodaki F_T değeri ise

877,4 N'dur. Şekil 7.24d,e ve f'de 10SBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlara ait kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. AlTiN kaplamalı takım 6. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 8. pasodaki F_T değeri 961,8 N, AlCrN kaplamalı takımın 8. pasodaki F_T değeri 687,3 N ve AlTiN kaplamalı takımın 6. pasodaki F_T değeri ise 1013 N'dur. Şekil 7.24g,h ve i'de 10DBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlara ait kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. AlCrN kaplamalı takım 6. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 8. pasodaki F_T değeri 484,9 N, AlCrN kaplamalı takımın 6. pasodaki F_T değeri 979,6 N ve AlTiN kaplamalı takımın 8. pasodaki F_T değeri ise 973,1 N'dur. Kaplamasız takımlardan derin buzul işlem uygulanmış takımın F_T değeri, buzul işlem uygulanmamış ve sığ buzul işlem uygulanmış takımlara göre sırasıyla %45,5 ve %49,5 daha düşüktür. AlCrN kaplamalı takımlarda ise, buzul işlem uygulanması kesme kuvvetlerini negatif yönde etkilemiştir. AlTiN kaplamalı takımlarda buzul işlem uygulanmamış takım 7. paso sonunda ve sığ buzul işlem uygulanmış takım 6. paso sonunda kırılmıştır. Derin buzul işlem uygulandığında ise 8. paso değerine kadar talaşlı imalat yapılabildiği görülmektedir. %10 Co içeren kesici takımların genel kesme kuvvetleri incelendiğinde, en iyi durumun kaplamasız derin buzul işlem uygulanmış takımda olduğu görülmektedir. Bu takıma en yakın durumdaki diğer takım ise buzul işlem uygulanmamış AlCrN kaplamalı takımıdır. Aralarındaki fark ise %6,7'dir.

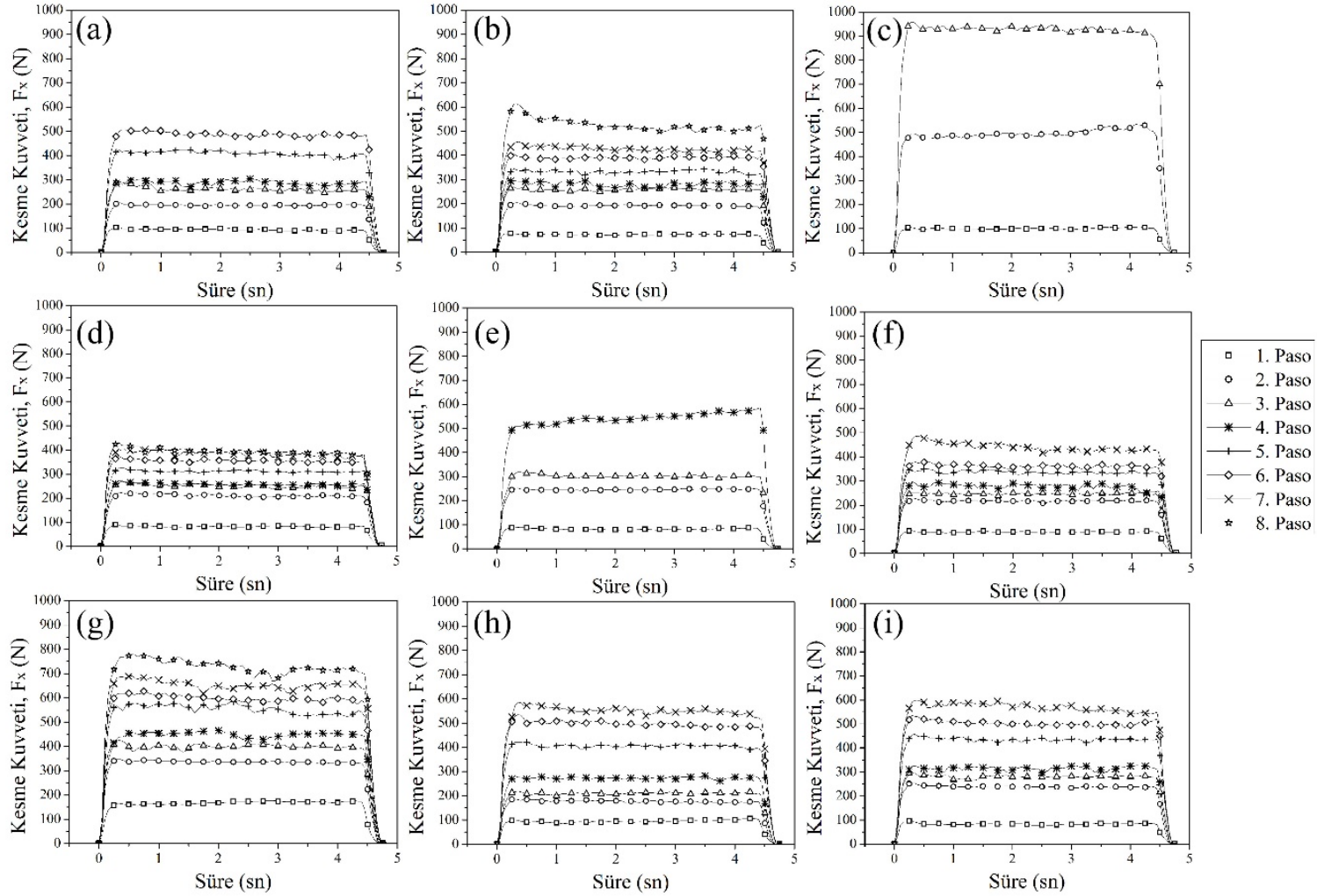
Şekil 7.26a,b ve c'de 12DBİ00 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. Kaplamasız takım 6. pasodan sonra ve AlTiN kaplamalı takım 3. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 6. pasodaki F_T değeri 598,5 N, AlCrN kaplamalı takımın 8. pasodaki F_T değeri 616,1 N ve AlTiN kaplamalı takımın 3. pasodaki F_T değeri ise 1090,2 N'dur. Şekil 7.24d,e ve f'de 12SBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlara ait kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. AlCrN kaplamalı takım 4. pasodan ve AlTiN kaplamalı takımın 7. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 8. pasodaki F_T değeri 502,2 N, AlCrN kaplamalı takımın 4. pasodaki F_T değeri 695 N ve AlTiN kaplamalı takımın 7. pasodaki F_T değeri ise 564,7 N'dur. Şekil 7.24g,h ve i'de 12DBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlara ait kesme kuvveti eğrileri yer almaktadır. AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların 7. pasodan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız takımın 8. pasodaki F_T değeri 859,1 N, AlCrN kaplamalı takımın 7. pasodaki F_T değeri 642,2 N ve AlTiN kaplamalı takımın 7. pasodaki F_T değeri ise 682,2 N'dur. Kaplamasız takımlardan

buzul işlem uygulanmamış takımın 6. pasoda kırıldığı, uygulananların ise 8 paso dayandığı görülmektedir. Kaplamasız takımlarda buzul işlemin takım ömrü üzerinde iyileştirici etkisinin olduğunu söyleyebiliriz. F_T değeri incelendiğinde, sığ buzul işlem derin buzul işleme göre %58,4 oranında kesme kuvvetini azaltıcı özelliğe sahip olduğu görülmektedir. AlCrN kaplamalı takımlarda ise, buzul işlem uygulanması kesme kuvvetlerini negatif yönde etkilemiştir. AlTiN kaplamalı takımlarda buzul işlem uygulanmamış takım 3. paso sonunda, sığ ve derin buzul işlem uygulanmış takımlar 7. paso sonunda kırılmıştır. %10 Co içeren kesici takımların genel kesme kuvvetleri incelendiğinde, en iyi durumun kaplamasız sığ buzul işlem uygulanmış takımda olduğu görülmektedir. Bu takıma en yakın durumdaki diğer takım ise buzul işlem uygulanmamış AlCrN kaplamalı takımdır. Aralarındaki fark ise %18,5'dur.

Genel durum incelendiğinde, özellikle kaplamasız takımlar üzerinde buzul işlemin kesme kuvvetleri üzerinde iyileştirici özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu sayede kaplanmış takımlar ile rekabet edebilecek nitelikte kesici takımlar elde etmek mümkündür. %6 ve %12 Co oranına sahip AlCrN kaplamalı takımlarda derin buzul işlemin, AlTiN kaplamalı takımlarda ise sığ buzul işlemin kesme kuvvetleri üzerinde daha fazla pozitif etki yarattığı görülmektedir. Bu durum %10 Co içeren takımlarda ise tam tersidir. AlCrN kaplamalı takımlarda sığ buzul işlemin, AlTiN kaplamalı takımlarda ise derin buzul işlemin kesme kuvvetleri üzerinde daha pozitif etki yarattığı görülmektedir. %6 ve %12 Co oranına sahip kaplamasız takımda sığ buzul işlemin daha pozitif etki yarattığı görülmektedir. Bu durum %10 Co içeren takımda ise tam tersidir. %10 Co içeren kaplamasız takımın derin buzul işlem uygulanmış durumu sığ buzul işleme göre %49,5 oranında daha düşük kesme kuvvetine sahiptir. Kesici takımların mikro yapı özelliklerine bağlı olan kırılma tokluğu değerlerinin uygulanan buzul işlem üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir.



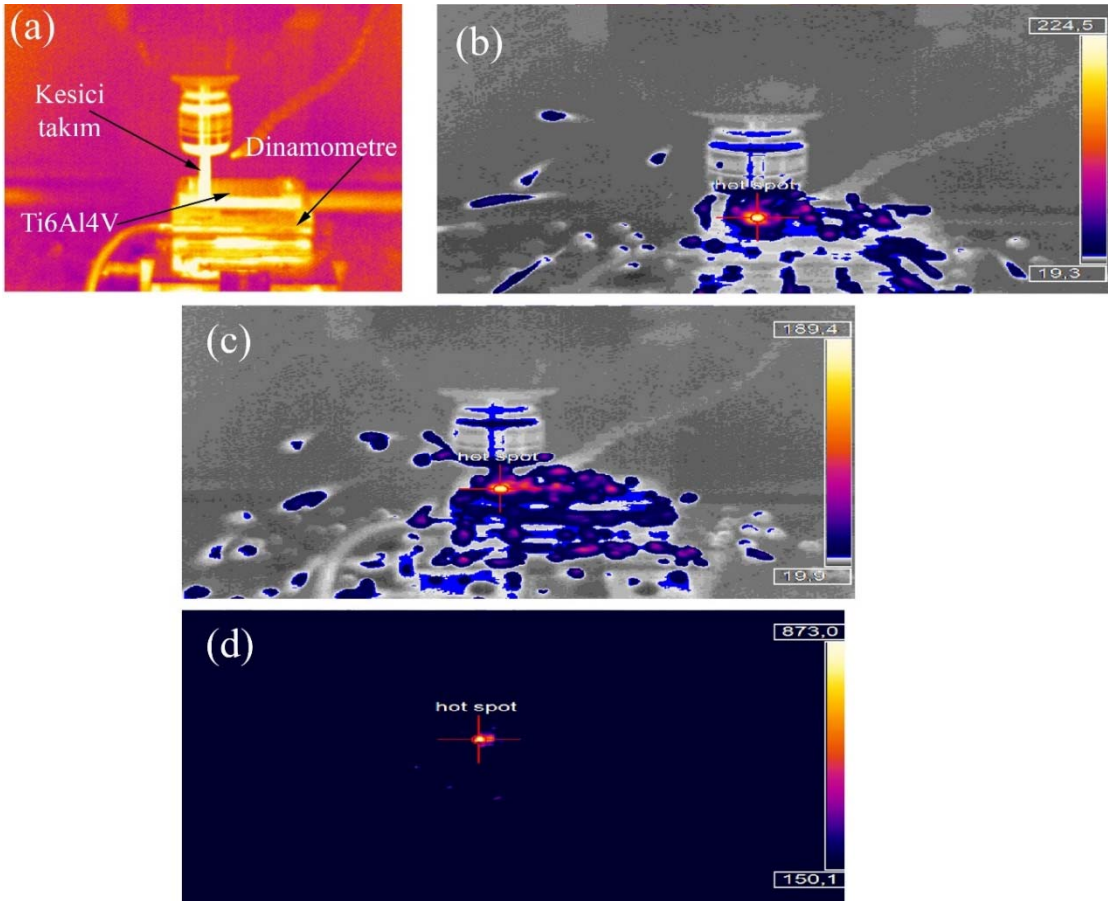
Şekil 7.25. Performans testlerinde %10 Co oranına sahip kesici takımların kesme kuvvetleri, (a) 10DBİ00-Kaplamasız, (b) 10DBİ00-ALCrN, (c) 10DBİ00-AlTiN, (d) 10SBİ36-Kaplamasız, (e) 10SBİ36-ALCrN, (f) 10SBİ36-AlTiN, (g) 10DBİ36-Kaplamasız, (h) 10DBİ36-ALCrN, (i) 10DBİ36-AlTiN.



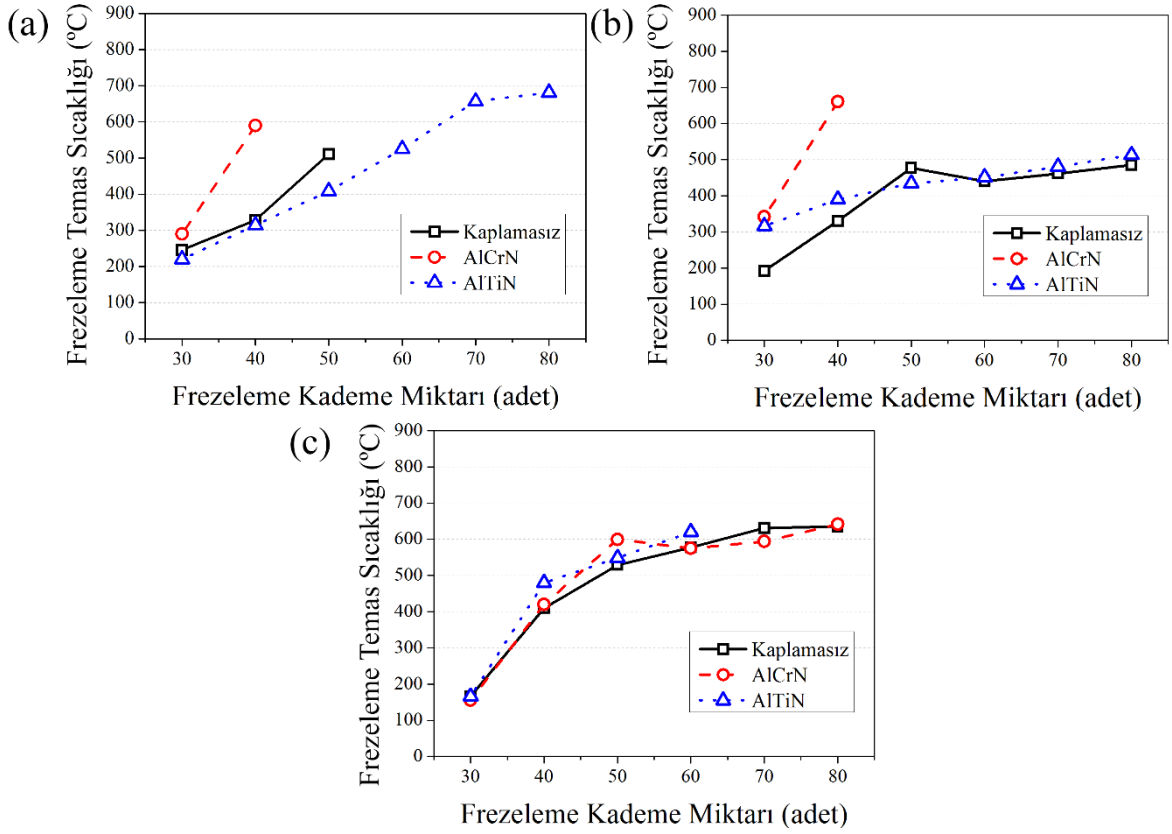
Şekil 7.26. Performans testlerinde %12 Co oranına sahip kesici takımların kesme kuvvetleri, (a) 12DBİ00-Kaplamasız, (b) 12DBİ00-ALCrN, (c) 12DBİ00-AlTiN, (d) 12SBİ36-Kaplamasız, (e) 12SBİ36-AlCrN, (f) 12SBİ36-AlTiN, (g) 12DBİ36-Kaplamasız, (h) 12DBİ36-AlCrN, (i) 12DBİ36-AlTiN

7.4.2. Kesme sıcaklıklarının incelenmesi

Talaşlı imalat esnasında kesici takım, işlenen malzeme ve talaş sıcaklık tarafından etkilenmektedir. Özellikle titanyum ve alaşımları, çelik malzemelere göre 1/6 oranında daha düşük termal iletkenlik özelliğine sahiptirler. Bu özelliği ile talaşlı imalat esnasında açığa çıkan ısının %80'i takım tarafından ortamdaki uzaklaştırılmaktadır (Çelik, 2014). Sonuç olarak titanyum ve alaşımlarının talaşlı imalatı esnasında, kesici takım çok yüksek sıcaklıklara çıkabilmekte ve hızlı aşınmaya maruz kalabilmektedir. Bu sebeple yüksek sıcaklıklarda kesici takım ve titanyum arasında güçlü adeziv yapışma meydana gelir. Kesici uçta meydana gelen yüksek gerilmeden dolayı kesici takımda plastik deformasyonlara neden olur. Bu durumda takım aşınması durumunu hızlandırır (Dearnley ve Grearson, 1986). Şekil 7.27'de termal kamera ile alınan görüntü örnekleri yer almaktadır.



Şekil 7.27. Performans testleri esnasında termal kamera ile kesme sıcaklıklarının belirlenmesi, (a) termal kameranın kapsadığı bölge, (b) 10DBI00-AlCrN kesici takıma ait görüntü, (c) 10DBI36-kaplamasız kesici takıma ait görüntü ve (d) 12DBI36 –AlTiN kesici takıma ait görüntü.



Şekil 7.28. Performans testlerinde %6 Co içerikli kesici takımların kesme sıcaklıkları (a) 6DBI00, (b) 6SBİ36 ve (c) 6DBİ36.

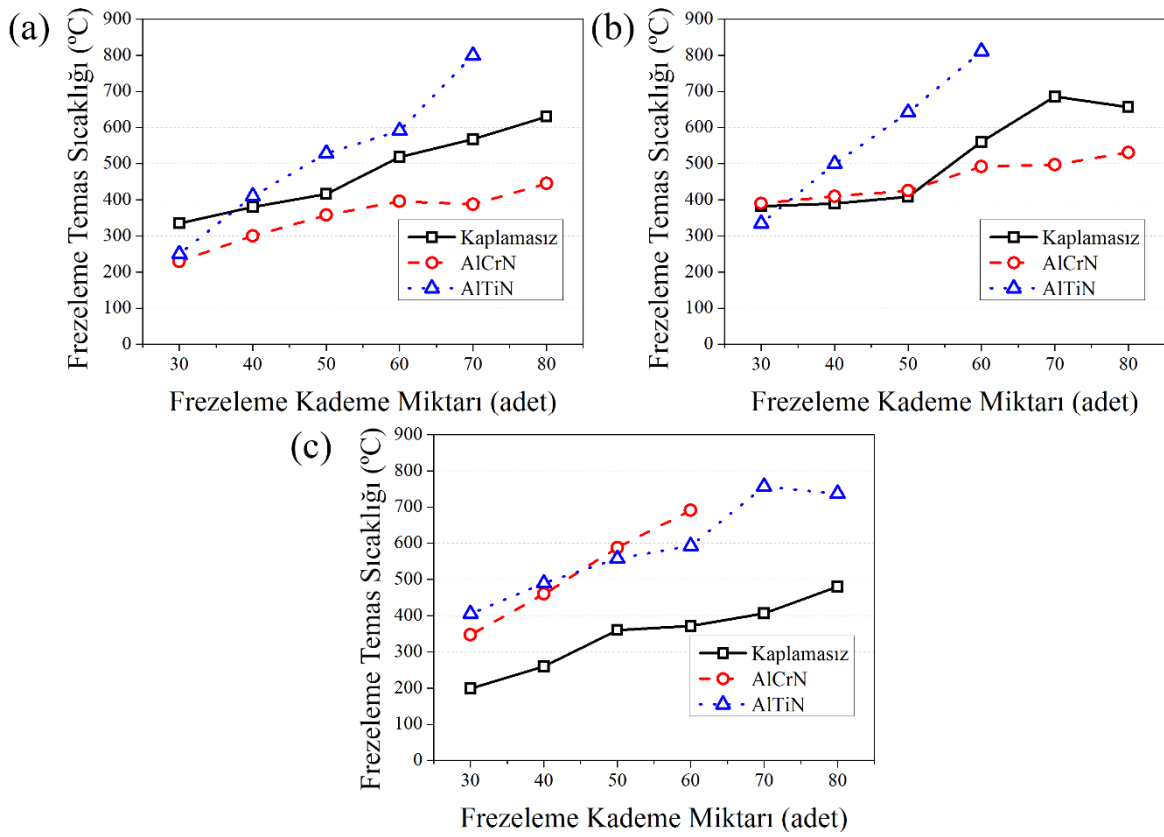
Şekil 7.28’de %6 Co içeren kesici takımlara ait kesme sıcaklıkları yer almaktadır. Şekil 7.28a’da buzul işlem uygulanmamış numuneler yer almaktadır. Kademe 30’daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı takımların sırasıyla 245,8 °C, 290 °C ve 220,3 °C’dir. Kaplamasız takım 50 kademe sonrasında kırılmış ve 50. kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 511,1 °C’dir. AlCrN kaplamalı takımda 40 kademe sonrasında kırılma tespit edilmiş ve bu kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 590 °C’dir. AlTiN kaplamalı takımın kademe 80’de ölçülen sıcaklık değeri 680,8 °C’dir. Şekil 7.28b’da sıg buzul işlem uygulanmış numuneler yer almaktadır. Kademe 30’daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı takımların sırasıyla 191,9 °C, 342 °C ve 316 °C’dir. Kaplamasız takımın kademe 80’de ölçülen sıcaklık değeri 485,7 °C’dir. AlCrN kaplamalı takımda 40 kademe sonrasında kırılma tespit edilmiş ve bu kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 660 °C’dir. AlTiN kaplamalı takımın kademe 80’de ölçülen sıcaklık değeri 513 °C’dir. Şekil 7.28c’de derin buzul işlem uygulanmış numuneler yer almaktadır. Kademe 30’daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı rakımları sırasıyla 166,1 °C, 155,3 °C ve 166,1 °C’dir. Kaplamasız takımın kademe 80’de ölçülen sıcaklık değeri 634,9 °C’dir. AlCrN

kaplamalı takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 641,6 °C'dir. AlTiN kaplamalı takımında 60 kademe sonrasında kırılma tespit edilmiş ve bu kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 620 °C'dir.

%6 Co içeren kesici takımların kesme sıcaklıkları genel olarak incelendiğinde, kademe miktarı arttıkça kesme sıcaklıklarında artış görülmektedir. Kaplamasız takımlarda, buzul işlem uygulanması ile kademe 30'daki sıcaklık değerlerinde sığ buzul işlemde %21,9 ve derin buzul işlemde %32,4 düşüş meydana gelmiştir. Bu durum literatürde (SreeramaReddy vd., 2009), buzul işlem uygulanan tungsten karbürlerin termal iletkenliklerinin iyileştiği şeklinde açıklanmıştır. AlCrN kaplı takım için derin buzul işlemleri durumunda, AlTiN kaplı takım için ise sığ buzul işlemleri durumunda, kesme sıcaklığı açısından daha düşük sıcaklıklar elde edildiği görülmektedir. Bu durum kesme kuvvetlerinde elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

Şekil 7.29'da %10 Co içeren kesici takımlara ait kesme sıcaklıkları yer almaktadır. Şekil 7.29a'da buzul işlem uygulanmamış numuneler yer almaktadır. Kademe 30'daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı takımların sırasıyla 335 °C, 229,6 °C ve 250,1 °C'dir. Kaplamasız takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 630,2 °C'dir. AlCrN kaplamalı takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 445,2 °C'dir. AlTiN kaplamalı takım 70 kademe sonrasında kırılmış ve 70. kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 799,7 °C'dir. Şekil 7.29b'da sığ buzul işlem uygulanmış numuneler yer almaktadır. Kademe 30'daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı takımların sırasıyla 382,6 °C, 390 °C ve 334,4 °C'dir. Kaplamasız takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 656,5 °C'dir. AlCrN kaplamalı takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 531,1 °C'dir. AlTiN kaplamalı takım 60 kademe sonrasında kırılmış ve 60. kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 810,9 °C'dir. Şekil 7.29c'de derin buzul işlem uygulanmış numuneler yer almaktadır. Kademe 30'daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı takımların sırasıyla 198,8 °C, 347,2 °C ve 404,8 °C'dir. Kaplamasız takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 480,3 °C'dir. AlCrN kaplamalı takımında 60 kademe sonrasında kırılma tespit edilmiş ve bu kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 691,2 °C'dir. AlTiN kaplamalı takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 736,9 °C'dir.

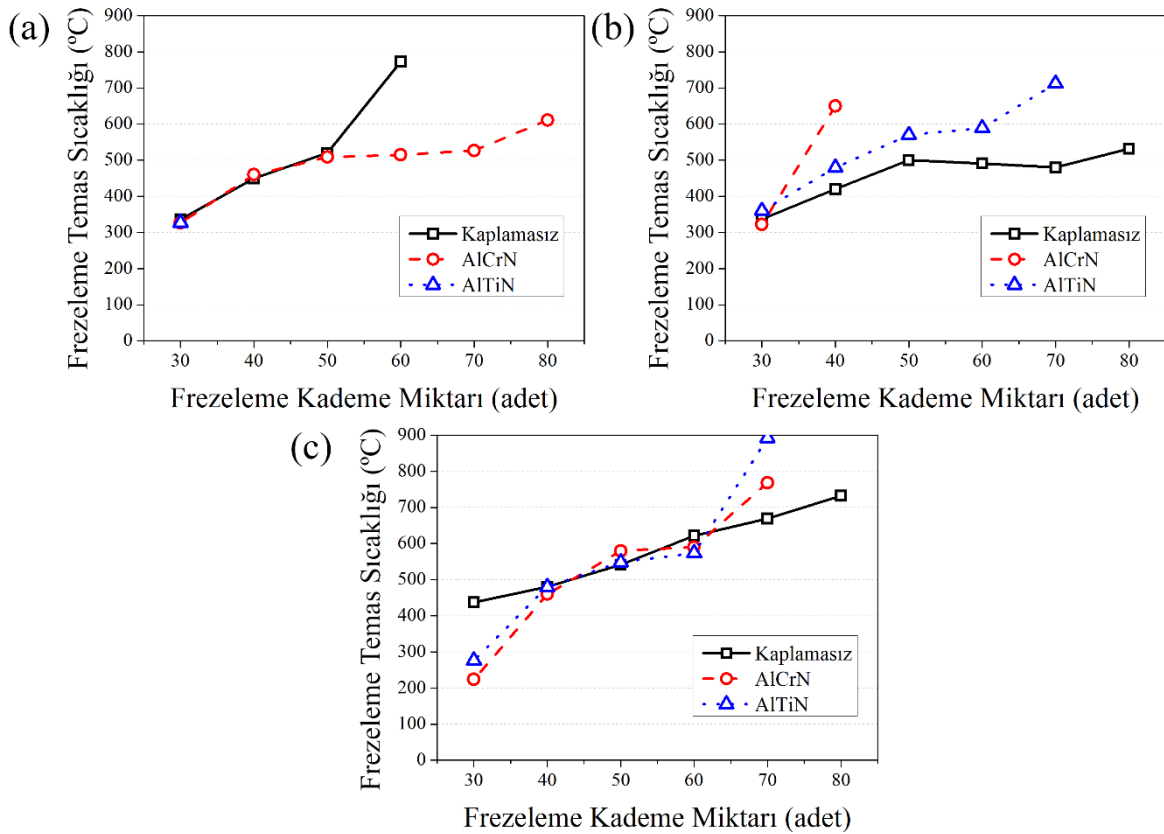
%10 Co içeren kesici takımların kesme sıcaklıkları genel olarak incelendiğinde, kademe miktarı arttıkça kesme sıcaklıklarında artış görülmektedir. Kaplamasız takımlarda, buzul işlem uygulanması ile kademe 30'daki sıcaklık değerlerinde sıg buzul işlemde %14,2 artış ve derin buzul işlemde %40,6 düşüş meydana gelmiştir. AlCrN kaplı takım için buzul işlemin uygulanmadığı durumda, AlTiN kaplı takım için ise derin buzul işlemli durumda, kesme sıcaklığı açısından daha düşük sıcaklıklar elde edildiği görülmektedir. Bu durum kesme kuvvetlerinde elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 7.29. Performans testlerinde %10 Co içerikli kesici takımların kesme sıcaklıkları (a) 10DBI00, (b) 10SBI36 ve (c) 10DBI36.

Şekil 7.30'de %12 Co içeren kesici takımlara ait kesme sıcaklıkları yer almaktadır. Şekil 7.30a'da buzul işlem uygulanmamış numuneler yer almaktadır. Kademe 30'daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı takımların sırasıyla 336,2 °C, 326,6 °C ve 326,9 °C'dir. Kaplamasız takım 60 kademe sonrasında kırılmış ve 60. kademe ölçülen sıcaklık değeri 772,2 °C'dir. AlCrN kaplamalı takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 610,8 °C'dir. AlTiN kaplamalı takım 30 kademe sonrasında kırılmış ve 30. kademe ölçülen sıcaklık değeri 326,9 °C'dir. Şekil 7.30b'de sıg buzul işlem uygulanmış

numuneler yer almaktadır. Kademe 30'daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı takımların sırasıyla 336,8°C, 322,4 °C ve 360 °C'dir. Kaplamasız takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 531,5 °C'dir. AlCrN kaplamalı takım 40 kademe sonrasında kırılmış ve 40. kademe de ölçülen sıcaklık değeri 650 °C'dir. AlTiN kaplamalı takım 70 kademe sonrasında kırılmış ve 70. kademe de ölçülen sıcaklık değeri 712,5 °C'dir. Şekil 7.30c'de derin buzul işlem uygulanmış numuneler yer almaktadır. Kademe 30'daki sıcaklık değerleri kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplı takımların sırasıyla 437,6 °C, 224 °C ve 276,1 °C'dir. Kaplamasız takımın kademe 80'de ölçülen sıcaklık değeri 732,6 °C'dir. AlCrN kaplamalı takımında 70 kademe sonrasında kırılma tespit edilmiş ve bu kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 768,4 °C'dir. AlTiN kaplamalı takımında 70 kademe sonrasında kırılma tespit edilmiş ve bu kademedeki ölçülen sıcaklık değeri 892 °C'dir.



Şekil 7.30. Performans testlerinde %12 Co içerikli kesici takımların kesme sıcaklıkları (a) 10DBİ00, (b) 10SBİ36 ve (c) 10DBİ36.

%12 Co içeren kesici takımların kesme sıcaklıkları genel olarak incelendiğinde, kademe miktarı arttıkça kesme sıcaklıklarında artış görülmektedir. Kaplamasız takımlarda, buzul işlem uygulanması ile kademe 30'daki sıcaklık değerlerinde sığ buzul işlemde

herhangi bir değişiklik görülmezken, derin buzul işleminde %30,1 artış meydana gelmiştir. AlCrN kaplı takım için buzul işlemin uygulanmadığı durumda, AlTiN kaplı takım için ise sıg buzul işlemlili durumda, kesme sıcaklığı açısından daha düşük sıcaklıklar elde edildiği görülmektedir. Bu durum kesme kuvvetlerinde elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

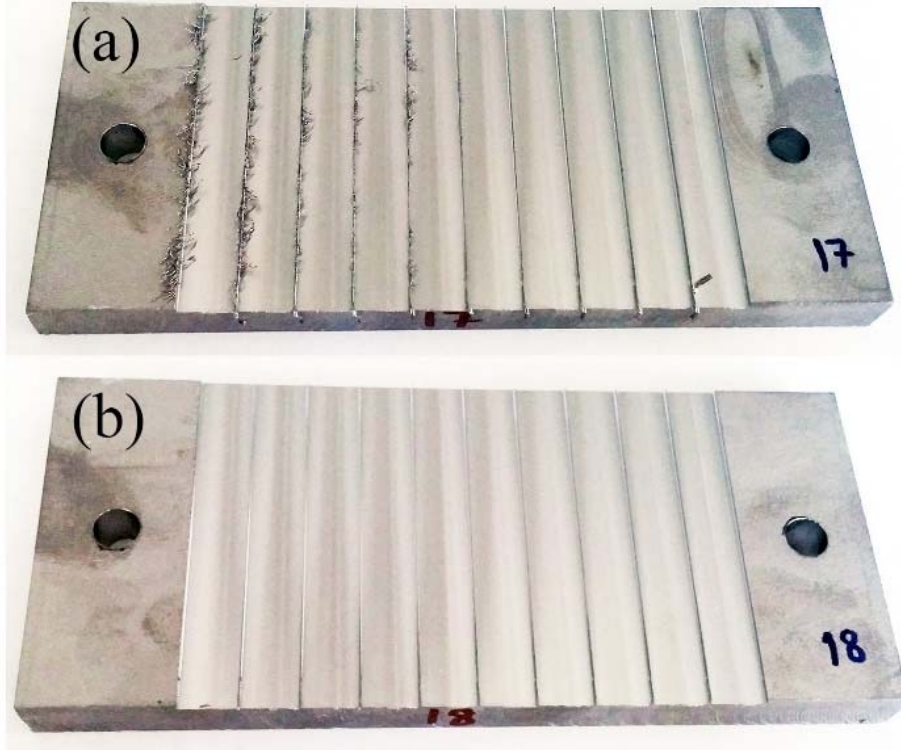
Termal kamera ile yapılan analizler sonrasında elde edilen sıcaklık değerlerinin gerçek değerlerden miktar düşük olduğu düşünölmektedir. Gerçek temas eden bölgeyi termal kamera direkt olarak görememektedir. Termal kameranın görüş açısı sadece çevresel bölgeyi içermektedir. Elde edilen sıcaklık değerleri ile kırılma durumları beraber incelendiğinde ise termal kamera ile elde edilen kesme sıcaklığının ~ 700 °C mertebesine çıkması ile kesici takımların hemen hemen hepsinde kırılmanın olduğu görölmektedir. Bu sıcaklık değerinde kesici takımın dayanımının azaldığı ve dolayısı ile kesme işleminde esnasında meydana gelen gerilmelere dayanamayıp kırıldığı düşünölmektedir. Ayrıca mikro yapı analizlerinde bahsedildiği üzere, 420 °C üzerinde Co bileşeninde ϵ -Co'dan α -Co'a dönüşüm geldiği bildirilmiştir (Bauer vd., 2011). Yapılan bir çalışmada ise ϵ -Co'nun α -Co'a göre daha düşük sürtünme kuvvetine sahip olduğunu belirtmişlerdir (Buckley ve Johnson, 1966). Bu durumda ~ 500 °C ve üzeri yüksek sıcaklıklara çıkıldığında Co bileşenindeki dönüşümden kaynaklanan sürtünme değeri yüksek bir faz yapıda meydana gelmektedir. Bu faz sürtünmenin daha da artması ve dolayısı ile kesme sıcaklığının da giderek artışına neden olacaktır. Titanyum sürtünme katsayısı yüksek bir malzemedir (Masmoudi vd., 2006) ve ayrıca yüksek sıcaklıklarda da mukavemetini koruyabilmektedir (Mavi ve Korkut, 2014). Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kesici takımların kırılması söz konusu olabilmektedir. Analizler sonrasında elde edilen değerler kesme kuvvetleri ile paralellik göstermektedir. Sıcaklığın yükselmesi ile kesici takım ve titanyum arasındaki adhezyonun artmasına neden olur ve kesme kuvvetinin de artmasına neden olacaktır. Ayrıca sürtünmeyi etkileyen özelliklerden birisi ise kaplamanın cinsidir. Yapılan çalışmalarda (Mo vd., 2007; Mo vd., 2013; Sampath Kumar vd., 2014), AlCrN kaplamalarının TiAlN kaplamalarına göre daha düşük sürtünme katsayısına ve yüksek aşınma direncine sahip oldukları açıklanmıştır.

7.4.3. Frezeleme deneyleri sonrasında işlenen malzemenin yüzey profil özelliklerinin incelenmesi

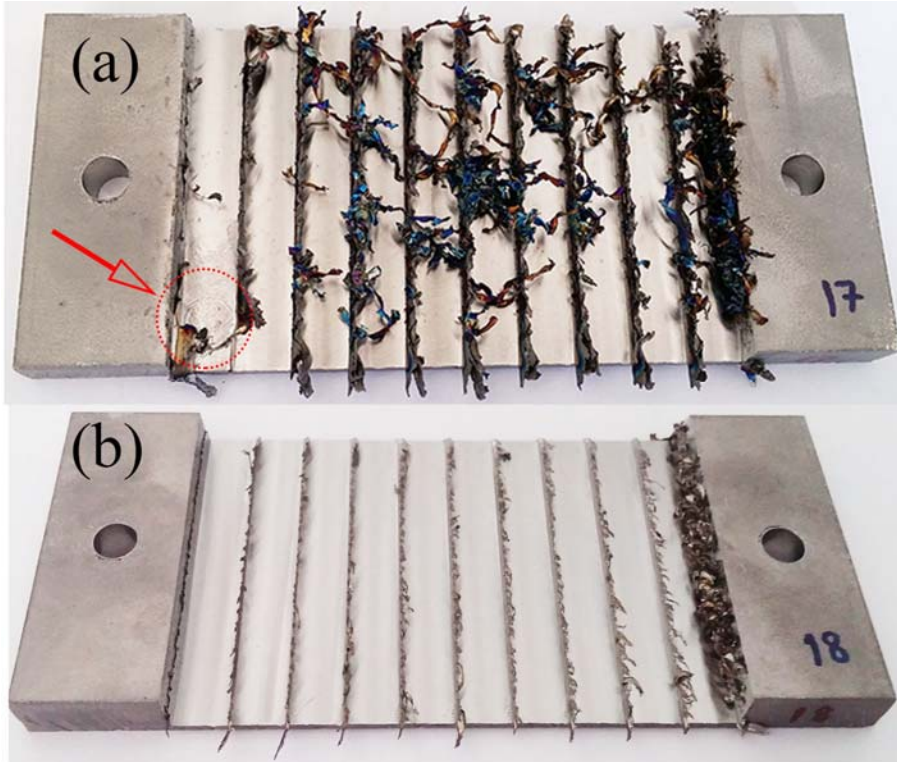
Talaşlı imalatta elde edilen son ürünün yüzey kalitesi talaşlı imalatın performansı açısından önemlidir. Buzul işlem uygulanmış kesici takımlar ile işlenen malzemelerin yüzey pürüzlülük değerlerinin daha düşük çıkması, buzul işlemin kesici takımında sertliğin ve aşınma direncinin artmasını sağlamaktadır. Bu artış ise kesici takımın keskin kenarlarının kısa sürede keskinliğini yitirmemesi ile bağlantısı olduğu belirtilmiştir (Thornton vd., 2013). Takım aşınması ile yüzey pürüzlülüğünün artması, yapılmış birkaç çalışmada açıklanmıştır (Yuan vd., 2011; Houchuan vd., 2014).

Yapılan frezeleme deneylerinde, alınan her bir paso değerinden sonra Ti6Al4V alaşımlarının yüzey görüntüleri alınmıştır. Yüzeylerde oluşan çapaklar incelenmiştir. Frezelemede alınan her paso sonrasında yüzeylerde frezeleme kanalı doğrultusunda ise yüzey pürüzlülük değerleri alınmıştır.

Şekil 7.31'de %10 Co oranına sahip kesici takımlar ile işlenen malzemelerin ilk pasolarından sonraki yüzey görüntüleri yer almaktadır. Görüntülerde on adet kademe görülmektedir. Her kademedede sırasıyla malzemenin sağ tarafından sol tarafına doğru gitmektedir. Malzemenin sağ tarafından sol tarafına gittikçe kesici takım frezeleme işleminden dolayı giderek absorbe ettiği ısı miktarı artmaktadır. Son kademelere doğru geldikçe kesici takımın ucundaki aşınmaya bağlı olarak daha fazla ısınması sözkonusu olmaktadır, ısınmadan dolayı frezeleme esnasında talaş kaldırırken, talaş yan kenarlara yapışabilmektedir (Wyen vd., 2013). Bu durum Şekil 7.31a'da oldukça belirgindir. Şekil 7.31b'de ise tüm kademe değerlerinde yapışan talaş görülmemektedir.



Şekil 7.31. Kesici takımlara ait 10 kademe sonrası yüzey görüntüleri (a) 10SBİ36-AlTiN, (b) 10DBİ36-kaplamasız.



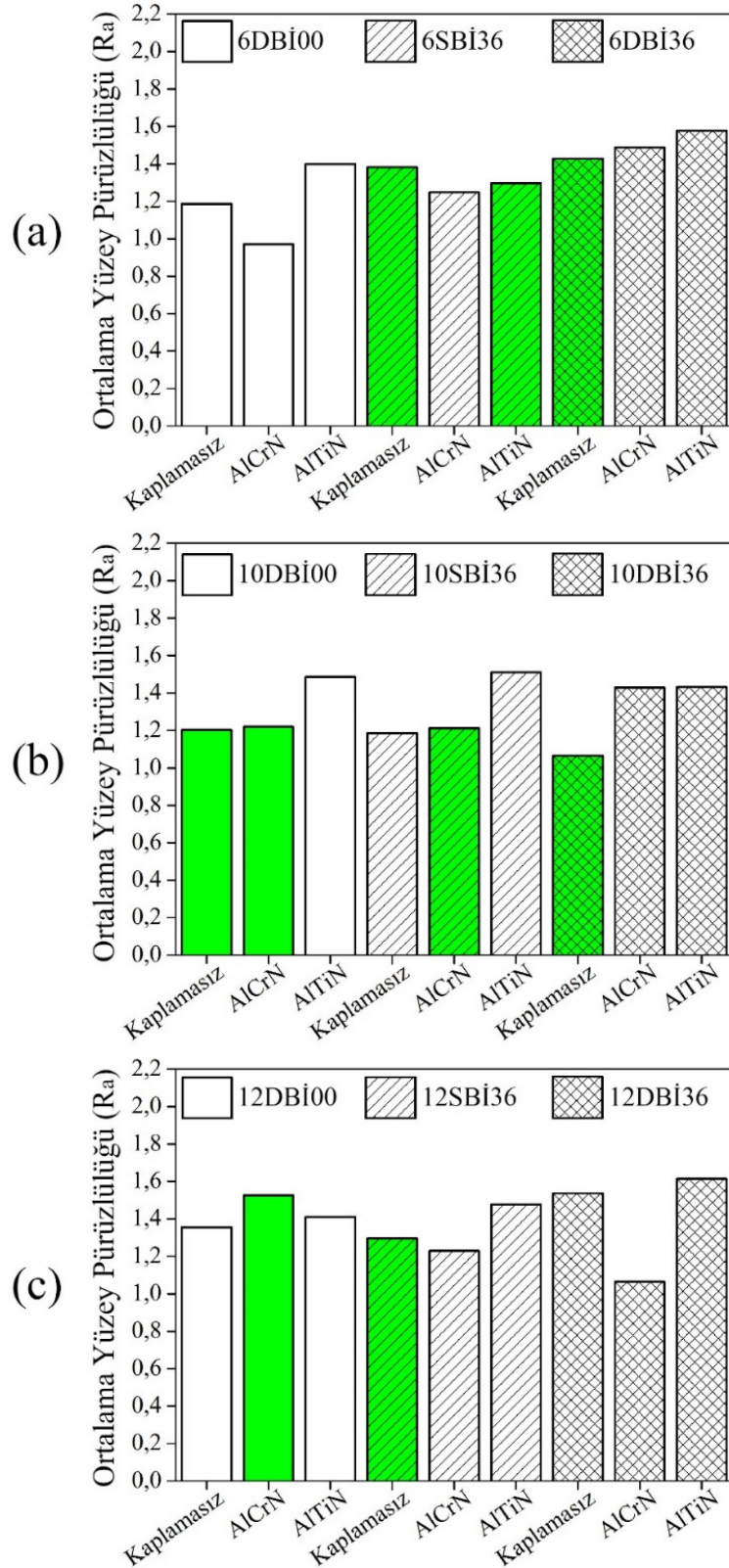
Şekil 7.32. Kesici takımlara ait yüzey görüntüleri (a) 10SBİ36-AlTiN 60 kademe sonrası, (b) 10DBİ36-kaplamasız 80 kademe sonrası.

İlk paso sonrası yüzey görüntüleri Şekil 7.31’de verilen parçaların, Şekil 7.32’de performans testleri sonrasında yüzey kalitesine ait görüntüler verilmiştir. Şekil 7.31a’da 10SBİ36-ALTiN durumuna ait görüntüde son kademelere doğru çapak oluşumu görülmüştür. Kullanılan kesici takımın ısıyı ortamdan fazla uzaklaştıramadığı ve ayrıca ALTiN kaplamalı olmasından dolayı işlenen malzemenin de titanyum esaslı olması, kesici takım ile malzeme arasındaki sürtünmenin artmasına ve dolayısı ile sıcaklığın yükselerek talaş yapışması ve çapak oluşumuna neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Şekil 7.32a’da şekil üzerinde daire içerisinde belirtilmiş bir alan mevcuttur. Bu alanda kesici takımın üzerine, sürtünmeden ve yüksek sıcaklıktan dolayı malzemenin iyice sıvanması ve ardından kesici takıma talaş sarması ile dönmeye karşı bir direnç oluşturması sonucu kesici takım gövdesinin ortasından kopmuştur. Şekil 7.32a’da da görüleceği üzere kesici takım son kademeyi tamamlayamadan kopma olayının gerçekleştiği görülmektedir. Sıcaklığın oldukça yüksek mertebelere çıkmasının bir diğer ispatı ise yüzeyde görülen yapışmış talaşların mavi ve mor renge dönmesidir. Şekil 7.32b’de ise kademeler arasında bir miktar çapak oluşumu görülmektedir. Fakat talaşın/çapağın renginde herhangi bir değişim görülmemektedir.

Şekil 7.33’de farklı Co oranlı ve ısıtma işlemi uygulanmış kesici takımlar ile işlenen Ti6Al4V alaşımının yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Grafikte verilen değerler, kesici takım ile işlenen son paso değerine tüm paso değerlerinde alınan yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamasıdır. Şekil üzerinde yeşil renk ile vurgu yapılan kesici takımlar, 80 kademe sonunda kullanılabilir durumdadır. Diğer takımlar ise farklı kademelerde kırılmış ya da aşınma kriterinin üzerinde aşınarak kullanılamaz durumdadırlar. Şekil 7.33a’da 6SBİ36-kaplamasız, 6SBİ36-ALTiN kaplamalı ve 6DBİ36-kaplamasız takımlar 80 kademe sonuna kadar dayanmışlardır. Sırasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 1,38 μm , 1,29 μm ve 1,42 μm ’dir. 6SBİ36-kaplamasız takımın 6DBİ36-kaplamasız takımdan %2,8 oranında yüzey pürüzlülük değeri düşüktür. Yine aynı bu takımların kesme kuvvetleri incelendiğinde sığ buzul işlemlerinin derin buzul işlemlerine göre kesme kuvvetinin düşük olduğu görülmektedir. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri de kesme kuvveti değerleri ile benzerlik göstermektedir. Şekil 7.33b’de 10DBİ00-kaplamasız, 10DBİ00-ALCrN kaplamalı, 10SBİ36-ALCrN kaplamalı ve 10DBİ36-kaplamasız takımlar 80 kademe sonuna kadar dayanmışlardır. Sırasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 1,2 μm , 1,31 μm , 1,21 μm ve 1,06 μm ’dir. 10DBİ36-kaplamasız takımın 10DBİ00-kaplamasız takımdan %11,6 oranında yüzey pürüzlülük değeri düşüktür. Yine aynı bu takımların kesme kuvvetleri

incelendiğinde derin buzul işlemlili takımın buzul işlemsiz takıma göre kesme kuvvetinin düşük olduğu görülmektedir. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri de kesme kuvveti değerleri ile benzerlik göstermektedir. Şekil 7.33c'de 12DBİ00-AlCrN kaplamalı ve 12SBİ36-kaplamasız takımlar 80 kademe sonuna kadar dayanmışlardır. Sırasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 1,52 μm ve 1,29 μm 'dir. 12SBİ36-kaplamasız takımın 12DBİ00-AlCrN kaplamalı takımdan %15,1 oranında yüzey pürüzlülük değeri düşüktür. Yine aynı bu takımların kesme kuvvetleri incelendiğinde 12SBİ36-kaplamasız takımın 12DBİ00-AlCrN kaplamalı takıma göre kesme kuvvetinin düşük olduğu görülmektedir. Elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri de kesme kuvveti değerleri ile benzerlik göstermektedir.

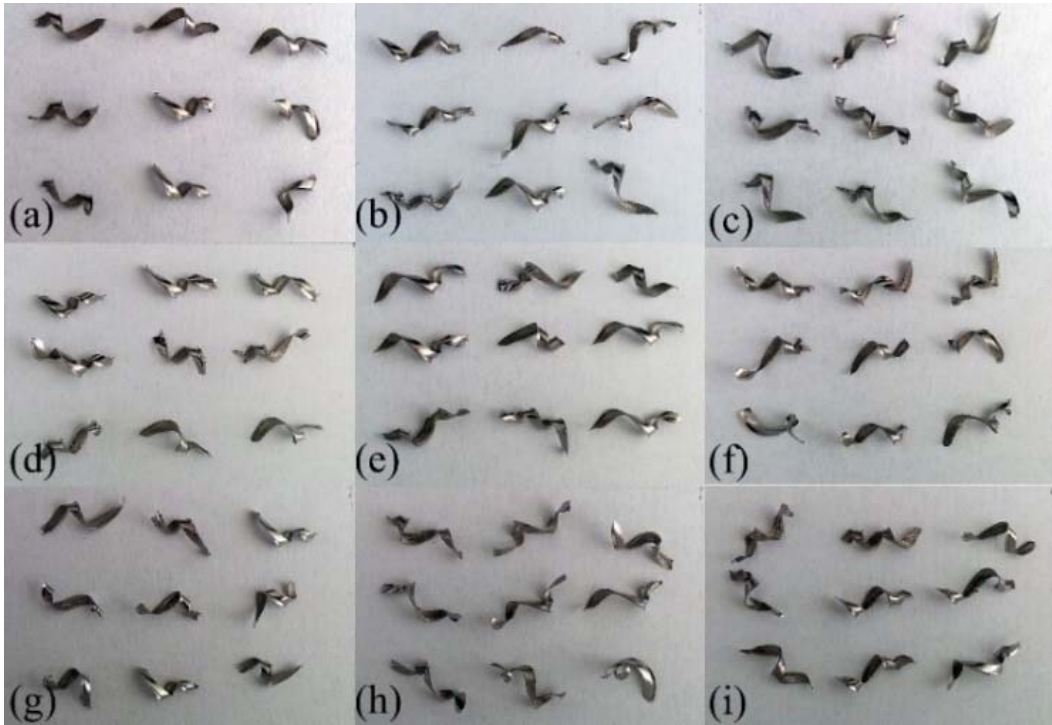
Genel yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde buzul işlemin yüzey pürüzlülük değerlerine pozitif katkısının olduğu söylenebilir. Buzul işlem üzerine yapılan çalışmalarda, kesici takıma uygulanan buzul işlem sonucunda iş parçası yüzeyinde elde edilen pürüzlülük değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir (Gill vd., 2011 b). Buzul işlem uygulanan kesici takımların kesme uçlarında daha az ısınma ve aşınma meydana gelmesi, yüzey pürüzlülük değerlerinin düşmesine neden olmaktadır (Yong vd., 2006). Ayrıca AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlar kıyaslandığında, AlCrN kaplamalı takımın genel olarak AlTiN kaplamalı takıma göre daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerine sahiptir. Bu durum, kaplamaya bağlı sürtünme katsayısı ile açıklanabilir. AlTiN kaplamalı takımların AlCrN kaplamalı takımlara göre daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu ve daha düşük aşınma direncine sahip olduğu da belirtilmiştir (Liew vd., 2013). Sürtünmenin artması sonucu kesici takım ile iş parçası arasındaki sıcaklığında artması ve dolayısı ile talaşın kesici takıma sıvanması beklenen bir durumdur. Fazla aşınan kesici takımın yüzeyinde biriken yığıntı talaş, iş parçasının yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir (Oliaei ve Karpat, 2016).



Şekil 7.33. Farklı Co oranlarında farklı ısıl işlemler uygulanmış kesici takımlar ile işlenen malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri (a) %6 Co, (b) %10 Co ve (c) %12 Co içeren kesici takımlar.

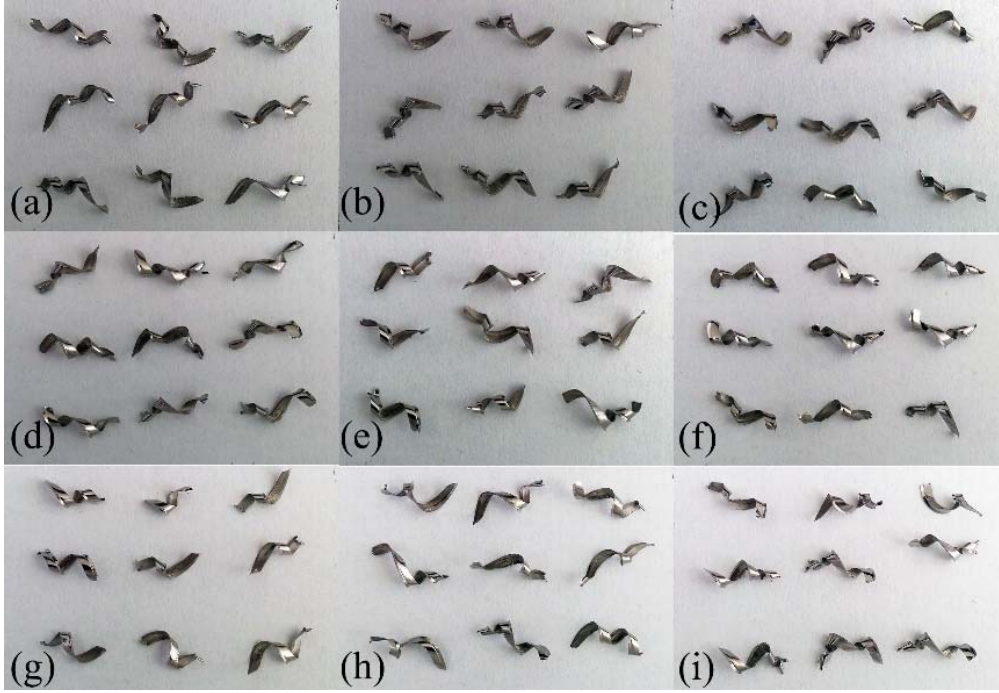
7.4.4. Talaş özelliklerinin incelenmesi

Performans testleri esnasında her pasodan sonra her bir farklı takım ile işlenen parçadan talaş toplanmıştır. Talaşların boyutu ve yapısı talaşlı imalatta kullanılan kesici takımın ömrü ve malzemenin yüzey kalitesini etkilemektedir (Yuan vd., 2011). Şekil 7.34’de %6 Co oranına sahip kesici takımlar ile frezeleme deneyleri sonrasında toplanan talaşlar görülmektedir. Talaşların boyutları oldukça kısa ve hemen hemen aynı şekle sahiptir. İlk paso esnasında tüm kesici takımların kesici uç kısmı oldukça keskin olduğu için oluşan talaşlarda fazla farklılık görülmemektedir. Talaşların kıvrımlı yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 7.34’de özellikle buzul işlem uygulanmamış kesici takımlardan elde edilen talaşların nispeten diğer talaşlara göre daha az kıvrımlı olduğu söylenebilir.



Şekil 7.34. Performans testlerinden elde edilen ilk talaşlar (a) 6DBİ00-kaplamasız, (b) 6DBİ00-AlCrN, (c) 6DBİ00-AlTiN, (d) 6SBİ36-kaplamasız, (e) 6SBİ36-AlCrN, (f) 6SBİ36-AlTiN, (g) 6DBİ36-kaplamasız, (h) 6DBİ36-AlCrN, (i) 6DBİ36-AlTiN.

Şekil 7.35’de %10 Co oranına sahip kesici takımlar ile frezeleme deneyleri sonrasında toplanan talaşlar görülmektedir. Talaşların boyutları oldukça kısa ve hemen hemen aynı şekle sahiptir. Şekil 7.35g’de talaş boyutunun ve kıvrımının diğer talaşlara göre az olduğu görülmektedir.

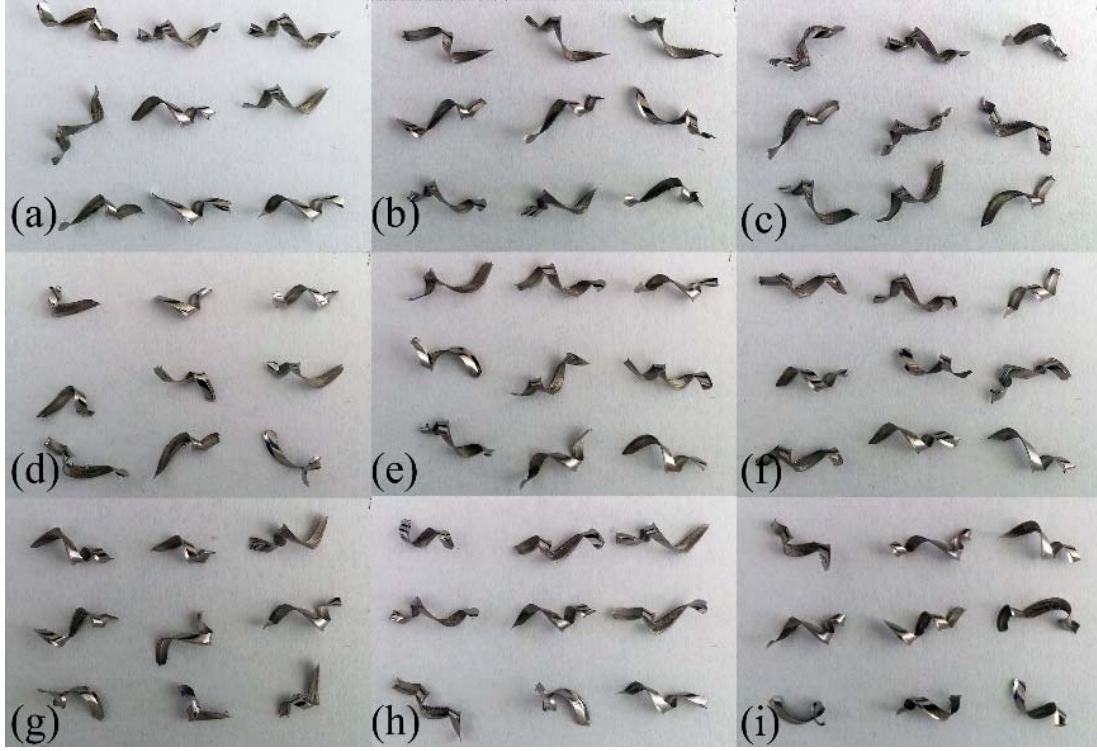


Şekil 7.35. Performans testlerinden elde edilen ilk talaşlar (a) 10DBİ00-kaplamasız, (b) 10DBİ00-AlCrN, (c) 10DBİ00-AlTiN, (d) 10SBİ36-kaplamasız, (e) 10SBİ36-AlCrN, (f) 10SBİ36-AlTiN, (g) 10DBİ36-kaplamasız, (h) 10DBİ36-AlCrN, (i) 10DBİ36-AlTiN.

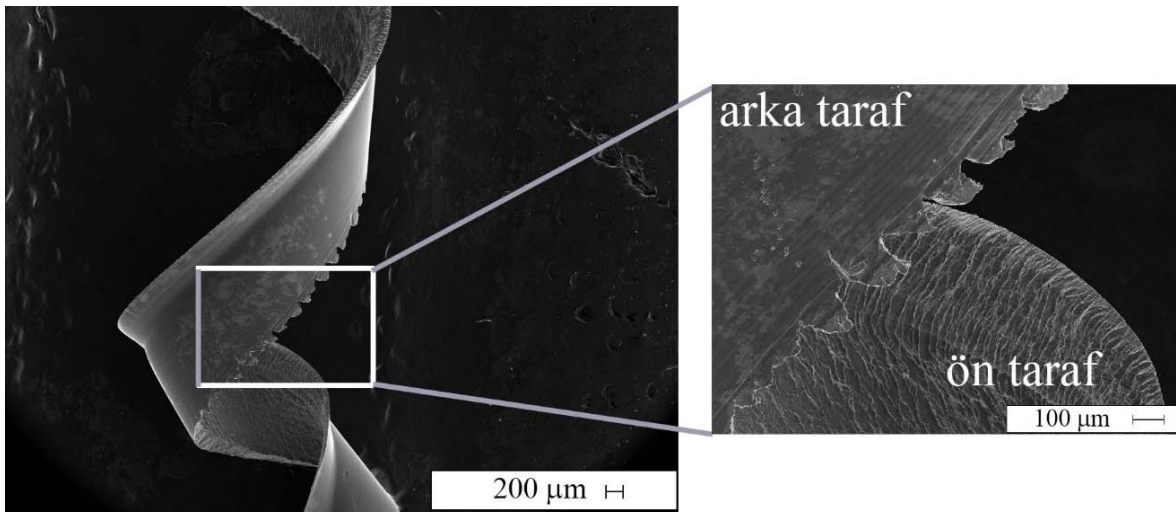
Şekil 7.36'da %12 Co oranına sahip kesici takımlar ile frezeleme deneyleri sonrasında toplanan talaşlar görülmektedir. Talaşların boyutları oldukça kısa ve hemen hemen aynı şekle sahiptir. Şekil 7.35d-g'de talaş boyutunun ve kıvrımının diğer talaşlara göre az olduğu görülmektedir.

Literatürde de bahsedildiği üzere, Ti6Al4V alaşımlarının talaşlı imalatında oluşan talaş yapısı testere dişi şeklindedir (Sun vd., 2009). Testere dişi şeklinde olmasının nedenlerinden biri ise düşük ısıl iletkenliktir (Antoniali vd., 2010). Şekil 7.37'de 10DBİ36-kaplamasız takıma ait bir talaşın taramalı elektron mikroskobu görüntüsü verilmiştir. Talaşın kıvrımlı ve testere dişli olduğu görülmektedir. Talaşlı imalat esnasında kesici takım ile talaş arasında yüksek sıcaklık meydana gelmektedir. Talaşın ön ve arka kısmındaki yüksek sıcaklık farkından, termal genleşme ve büzülmeden dolayı talaş kıvrımlı yapısını oluşturur. Bu sıcaklık farkı arttıkça kıvrım miktarı da artacaktır (An vd., 2014). Ayrıca, kesici takım ile talaş arasından ki yüksek temas basıncı, sürtünme kuvveti ve yüksek sıcaklık farkı, talaşın arka kısmının ön kısmına göre daha parlak ve pürüzsüz olmasını sağlayacaktır (An vd., 2014). Bunlarla beraber, Ti6Al4V alaşımının talaşlı imalatı esnasında kısa helisel talaş

formunun fazla kıvrımlı hale geçişinin takım aşınmasının artması ile görüldüğü belirtilmiştir (Strano vd., 2015).

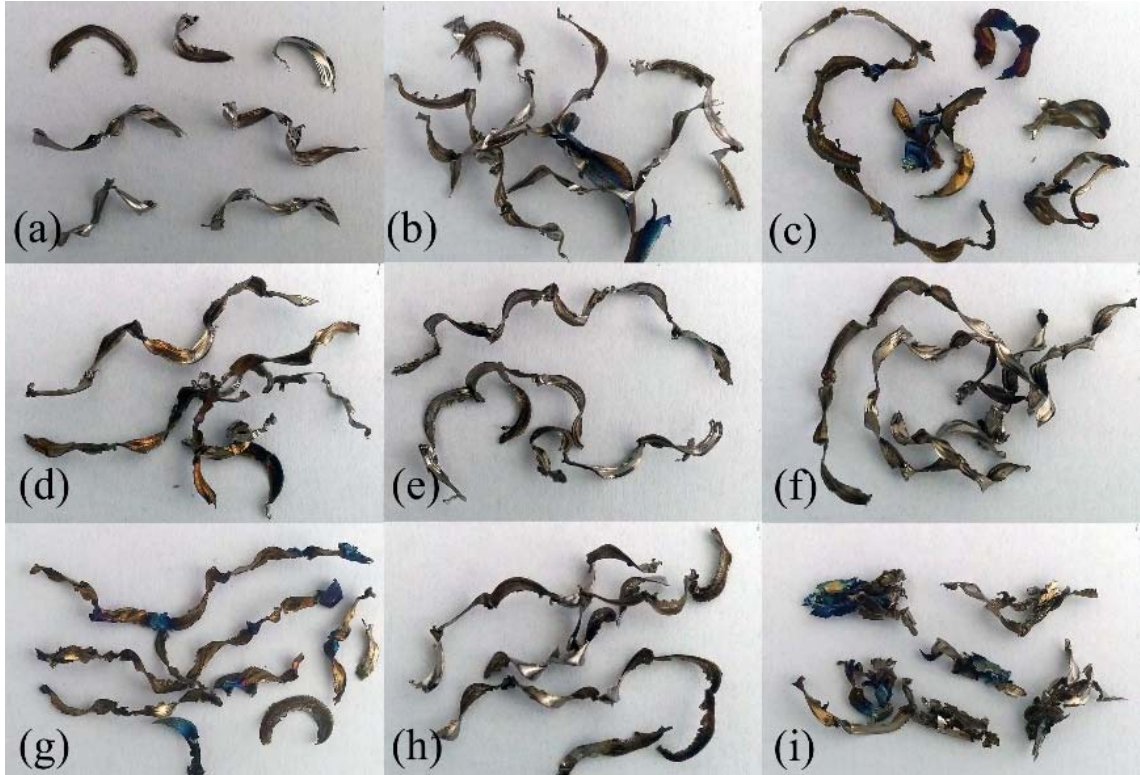


Şekil 7.36. Performans testlerinden elde edilen ilk talaşlar (a) 12DBİ00-kaplamasız, (b) 12DBİ00-AlCrN, (c) 12DBİ00-AlTiN, (d) 12SBİ36-kaplamasız, (e) 12SBİ36-AlCrN, (f) 12SBİ36-AlTiN, (g) 12DBİ36-kaplamasız, (h) 12DBİ36-AlCrN, (i) 12DBİ36-AlTiN.



Şekil 7.37. 10DBİ36-kaplamasız takıma ait 3. pasodan sonra alınan talaş görüntüsü.

Şekil 7.38’de %6 Co oranına sahip kesici takımlar ile frezeleme deneylerinde alınan son talaşlar görülmektedir. Son durumdaki talaşların rengi ilk pasodan sonra alınan talaşlara göre farklılık göstermektedir. Son pasoda, kesme kuvvetinin ve kesme sıcaklığının da yükselmesi ile talaşın rengi metalik griden önce sarıya sonrasında da mavi ve mora döndüğü görülmektedir. İlk pasodan sonraki talaşlar küçük boyuttayken son pasodan alınan talaşların boyutları ise ilk duruma göre oldukça büyüktür. Bunun sebebi ise şekilden de görüldüğü üzere, küçük boyutlardaki talaşların yüksek sıcaklığın etkisiyle birbiri ucuna kaynaması ile uzun talaş boyutları meydana gelmesidir. Şekil 7.38i’de görülen talaş şeklinde ise, talaşın yüksek sıcaklık ve kesme kuvvetinden dolayı aşırı deforme olup ve birbirleri ile kaynaklandığı görülmektedir.

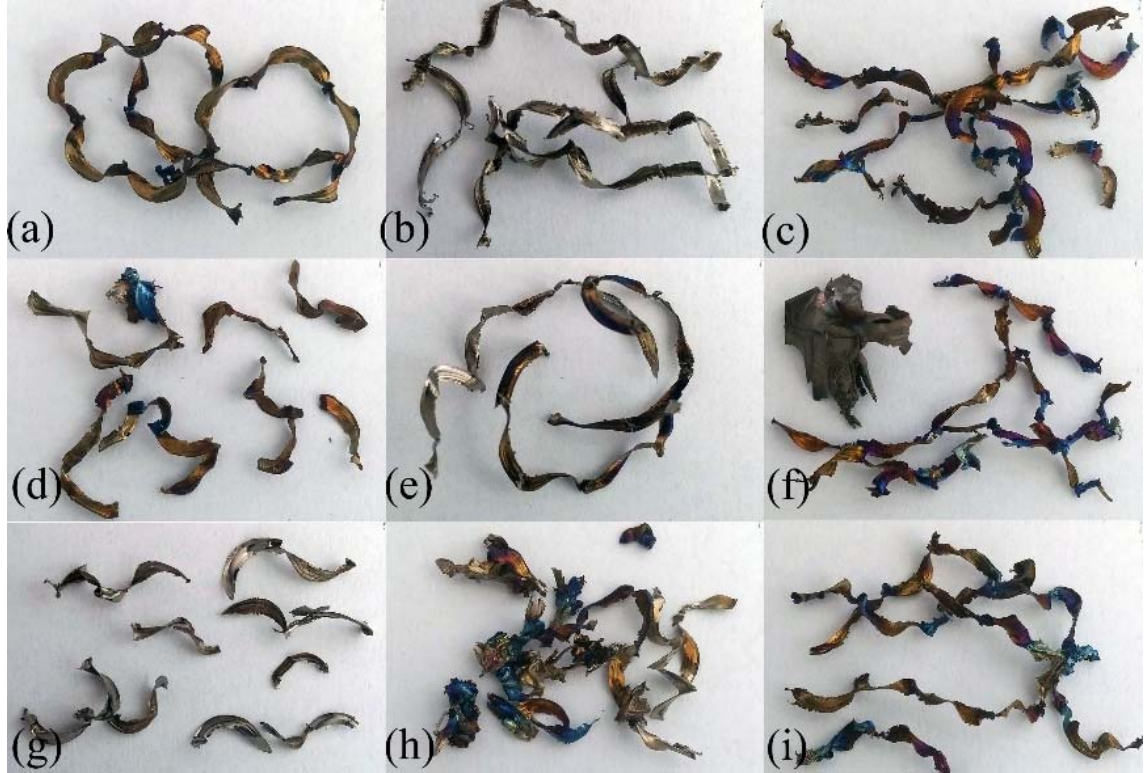


Şekil 7.38. Performans testlerinden elde edilen son talaşlar (a) 6DBİ00-kaplamasız, (b) 6DBİ00-AlCrN, (c) 6DBİ00-AlTiN, (d) 6SBİ36-kaplamasız, (e) 6SBİ36-AlCrN, (f) 6SBİ36-AlTiN, (g) 6DBİ36-kaplamasız, (h) 6DBİ36-AlCrN, (i) 6DBİ36-AlTiN.

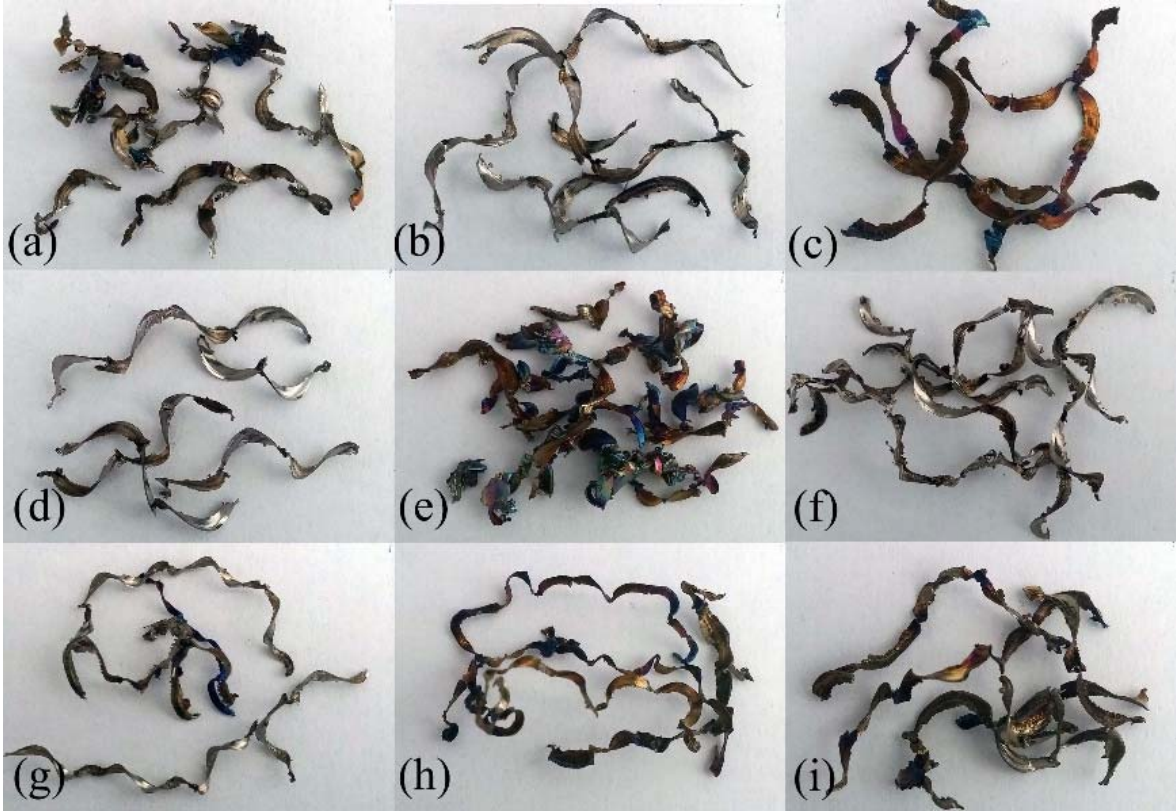
Şekil 7.38’de %10 Co oranına sahip kesici takımlar ile frezeleme deneylerinde alınan son talaşlar verilmiştir. Talaşların sıcaklığın etkisiyle renginin değiştiği ve deforme olduğu görülmektedir. Talaşlı imalat açısından en iyi talaş formu Şekil 7.39g’de görülmektedir. Talaşlar küçük boyutta ve rengi metalik gri-sarı’dır. . Şekil 7.39b’de bulunan talaşın rengi

de metalik gri-sarı renktedir. Diğer durumlarda ise talaşların birbirine kaydığı ve talaş renginin mavi-mor'a döndüğü görülmektedir.

Şekil 7.39'da %12 Co oranına sahip kesici takımlar ile frezeleme deneylerinde alınan son talaşlar verilmiştir. Talaşların sıcaklığın etkisiyle renginin değiştiği ve deforme olduğu görülmektedir. Talaşlı imalat açısından en iyi talaş formu Şekil 7.39d'de görülmektedir. Talaşlar nispeten küçük boyutta ve rengi metalik gri-sarı'dır. Şekil 7.39b-g'de bulunan talaşların rengi de metalik gri-sarı renktedir. Diğer durumlarda ise talaşların birbirine kaydığı ve talaş renginin mavi-mor'a döndüğü görülmektedir.



Şekil 7.39. Performans testlerinden elde edilen son talaşlar (a) 10DBI00-kaplamasız, (b) 10DBI00-AlCrN, (c) 10DBI00-AlTiN, (d) 10SBİ36-kaplamasız, (e) 10SBİ36-AlCrN, (f) 10SBİ36-AlTiN, (g) 10DBİ36-kaplamasız, (h) 10DBİ36-AlCrN, (i) 10DBİ36-AlTiN.

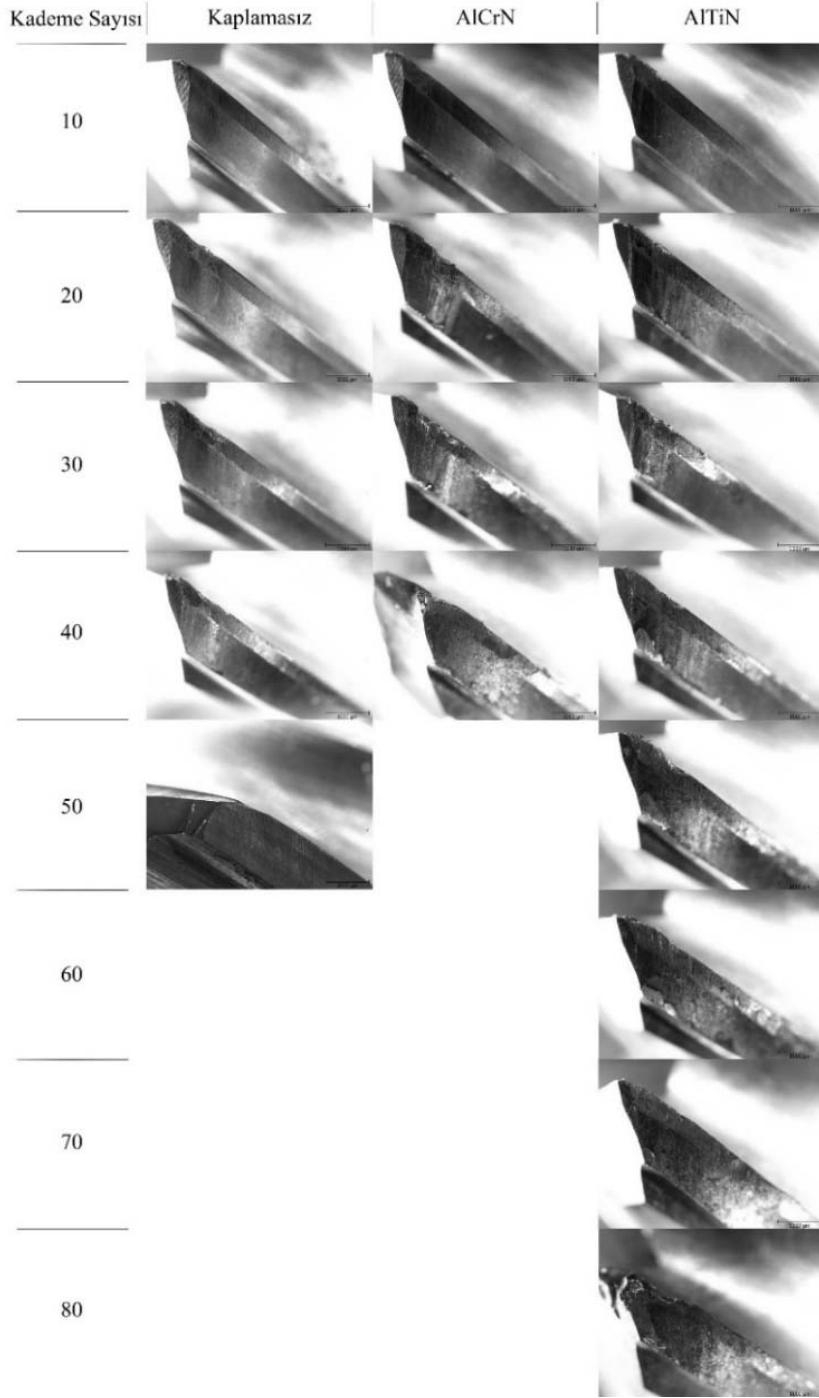


Şekil 7.40. Performans testlerinden elde edilen son talaşlar (a) 12DBI00-kaplamasız, (b) 12DBI00-AlCrN, (c) 12DBI00-AlTiN, (d) 12SBI36-kaplamasız, (e) 12SBI36-AlCrN, (f) 12SBI36-AlTiN, (g) 12DBI36-kaplamasız, (h) 12DBI36-AlCrN, (i) 12DBI36-AlTiN.

Frezeleme deneyleri sonrasında elde edilen talaş formlarının, kesme kuvveti ve sıcaklığı arasında paralellik olduğu görülmektedir. Kesme kuvvetinin ve sıcaklığının artması ile birbirine kaynamış ve rengi mavi-mor şeklinde değişmiş talaşlar görülmektedir. Sonuçlar birbirini desteklemektedir.

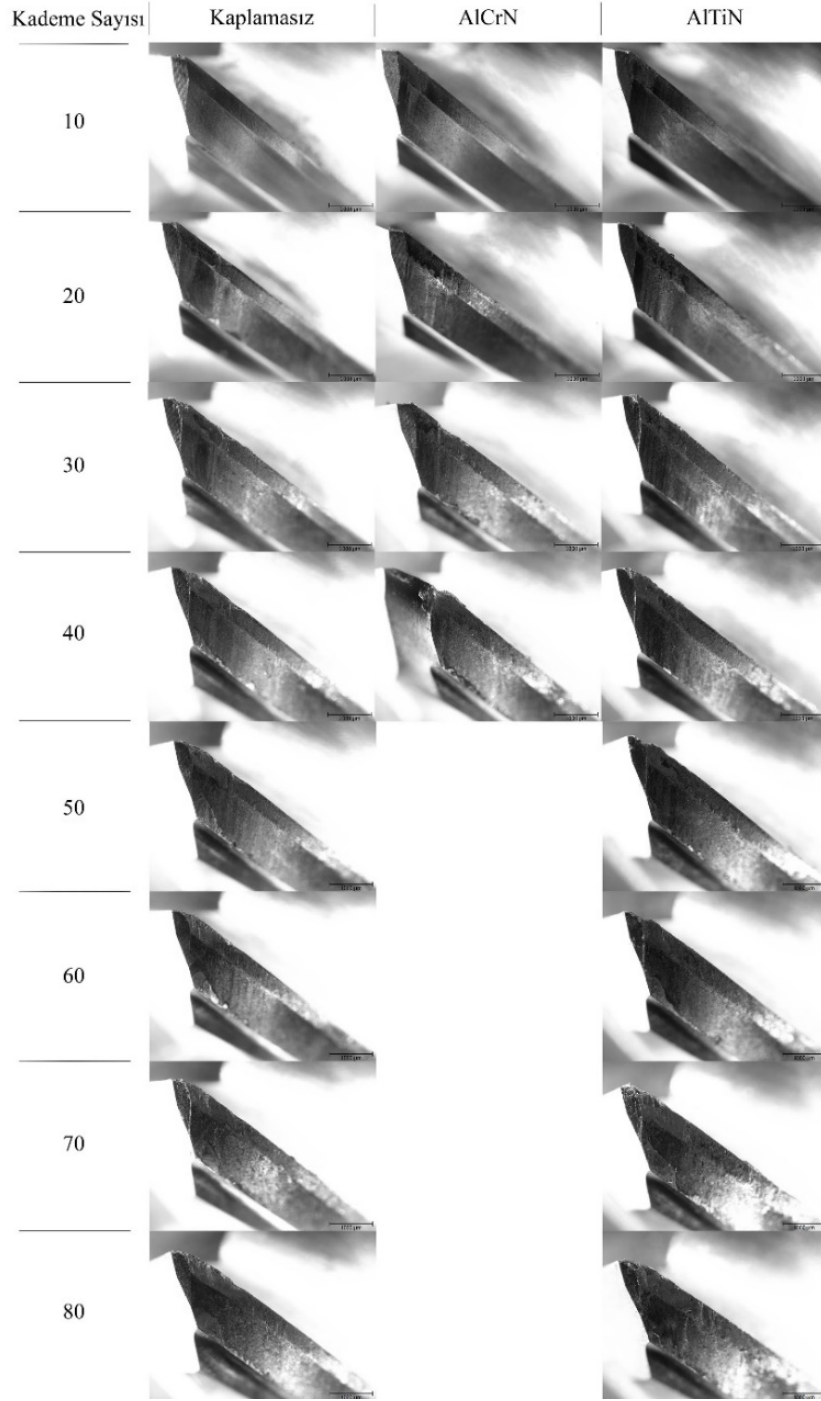
7.4.5. Kesici takım aşınma profillerinin incelenmesi

Performans testlerinde her bir pasodan (10 kademe) sonra kesici uçlar stereo mikroskop ile incelenmiş ve aşınma miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.



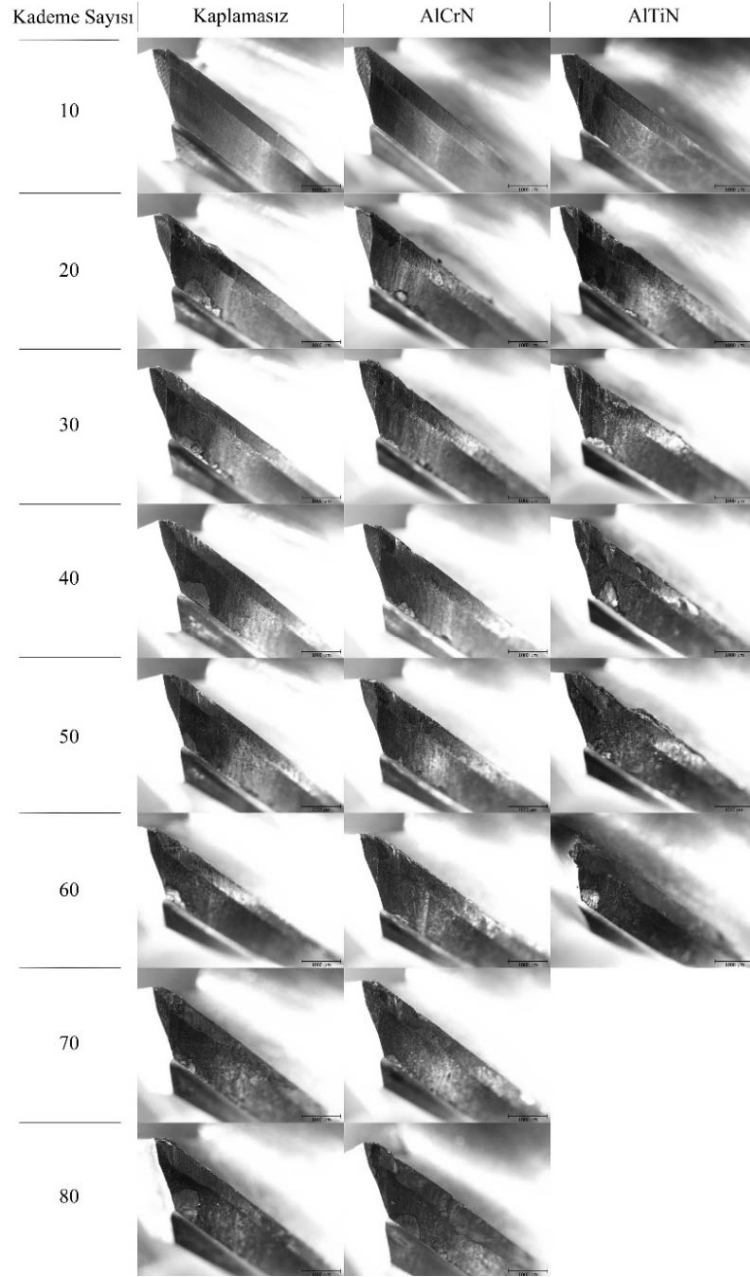
Şekil 7.41. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (6DBİ00).

Şekil 7.41’de kaplamasız takımın 50 kademe sonrasında gövdesinden kırıldığı görülmektedir. AlCrN kaplamalı takım 40 kademe sonrasında kesici uç kısmında meydana gelen talaş yığılması sonucu uç kısmından kırılmıştır. AlTiN kaplamalı takım ise 80 kademe talaş kaldırmış ve 80 kademe sonrasında kesici ucun uç kısmının kırılması ile kullanılamaz hale gelmiştir.



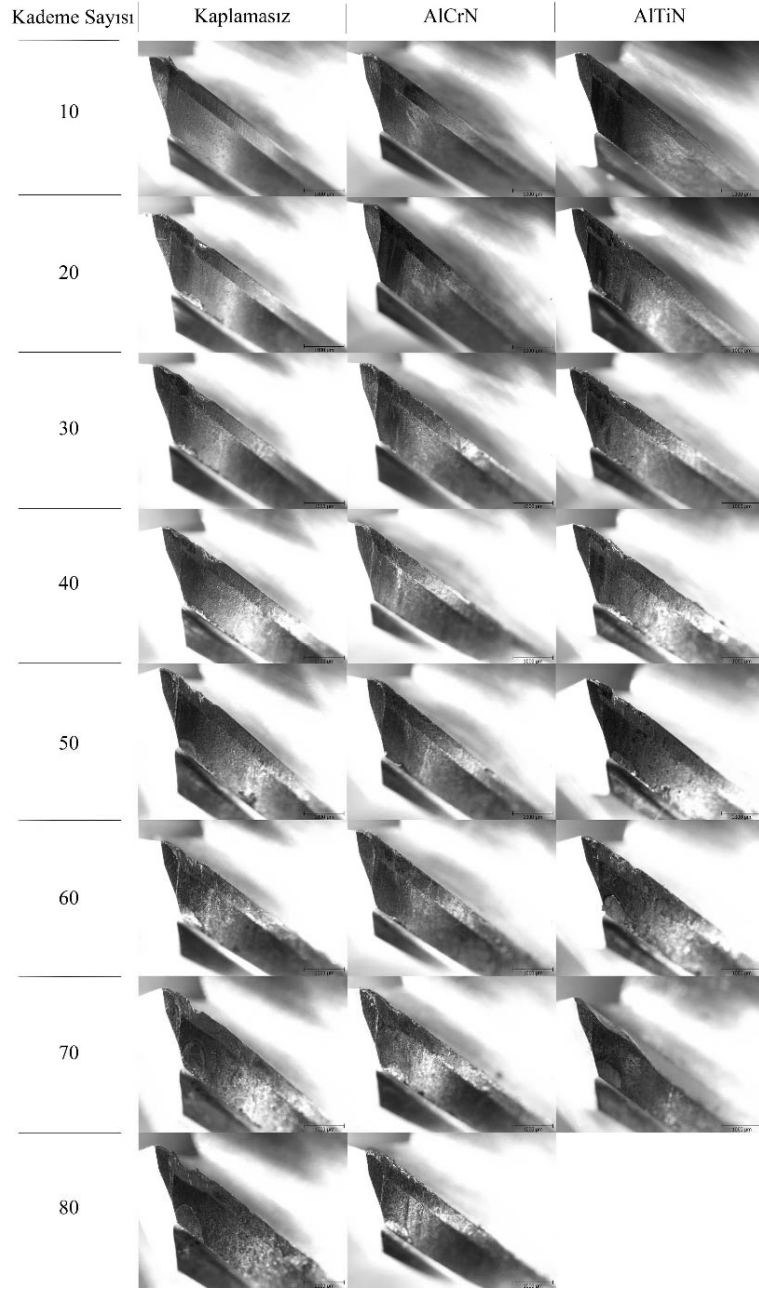
Şekil 7.42. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (6SBİ36).

Şekil 7.42’de kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında kullanılabilir olduğu görülmektedir. Uç kısmında talaş yığılması mevcuttur. AlCrN kaplamalı takım 40 kademe sonrasında kesici uç kısmından kırılmıştır. AlTiN kaplamalı takım ise 80 kademe talaş kaldırmış ve 80 kademe sonrasında kullanılabilir olduğu görülmektedir. Kesici uç kısmında talaş yığılması ve uç kısmında kesici takımdan kopan küçük bir parça görülmektedir.



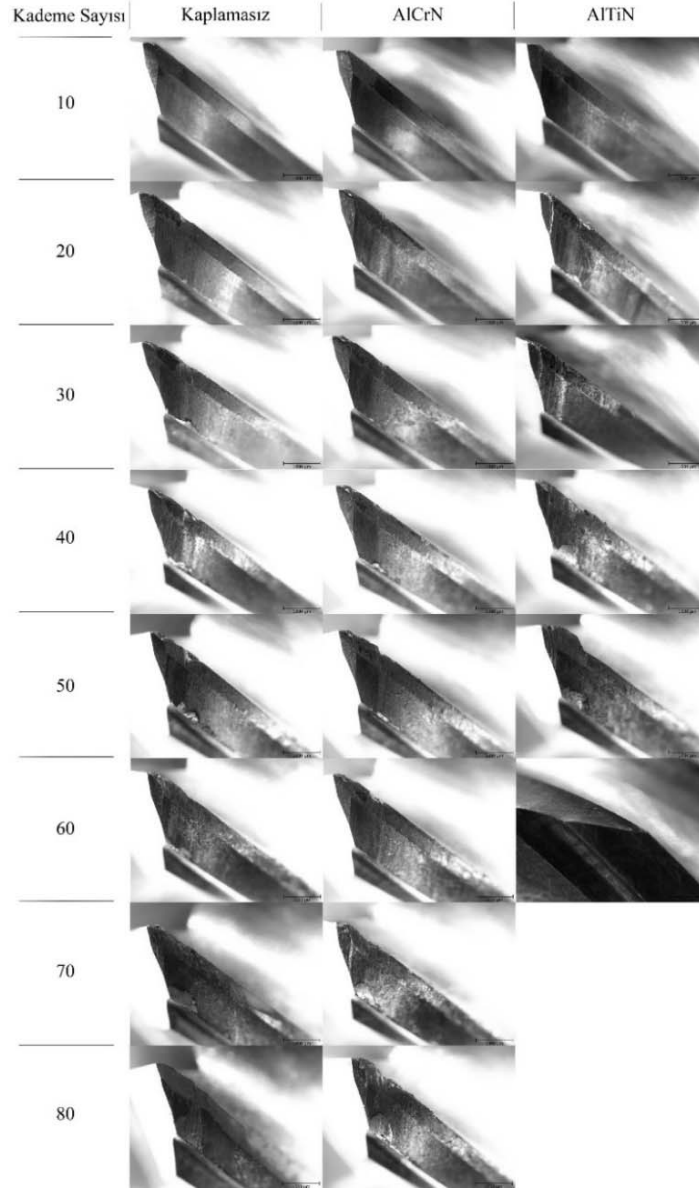
Şekil 7.43. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (6DBİ36).

Şekil 7.43’de kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında kullanılabilir olduğu görülmektedir. Uç kısmında talaş yığılması mevcuttur. AlCrN kaplamalı takımın 80 kademe sonrasında kesici uç kısmında talaş yığılması oluşmuş ve uzaklaşmıştır. Uzaklaşması esnasında ise kesici takımın kesici kenarından büyük bir parça kopmasına neden olmuştur. AlTiN kaplamalı takımın 60 kademe sonrasında kesici uç kısmında talaş yığılması oluşmuş ve uzaklaşmıştır. Uzaklaşması esnasında ise kesici takımın kesici kenarı boyunca parça kopması meydana gelmiştir.



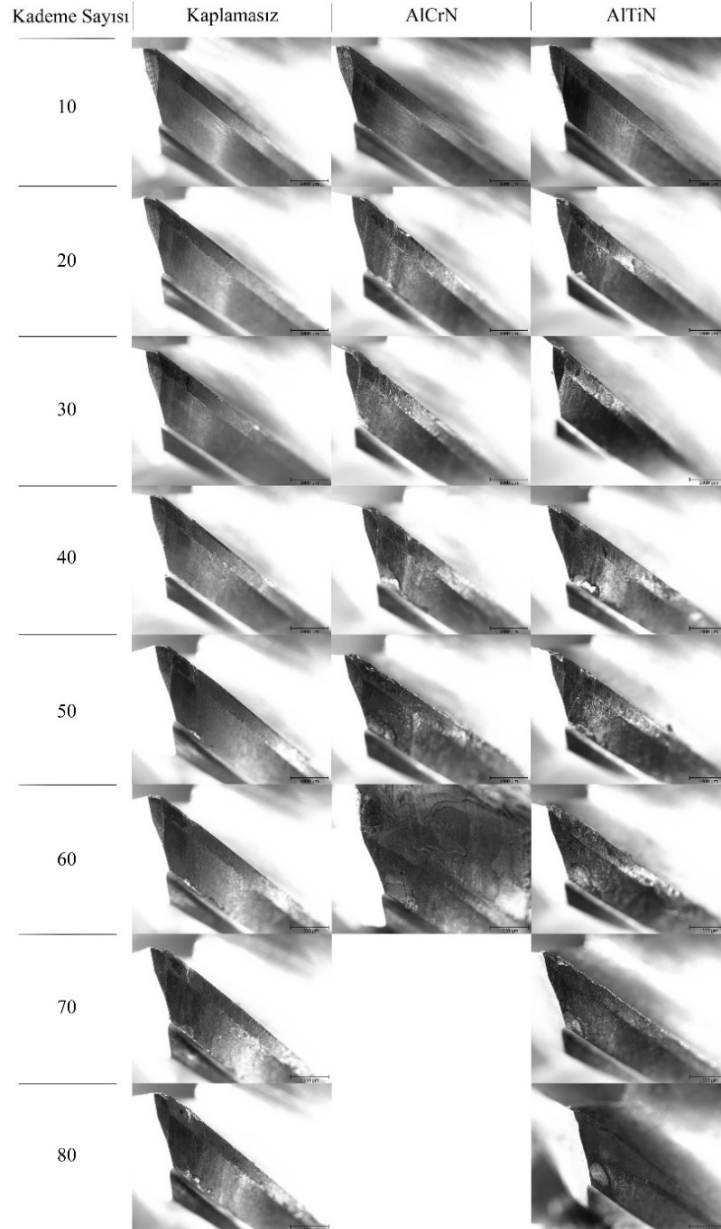
Şekil 7.44. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (10DBİ00).

Şekil 7.44’de kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında kullanılabilir olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin olduğu kısımda çentik aşınması meydana gelmiştir. AlCrN kaplamalı takımın 80 kademe sonrasında kullanılabilir olduğu görülmektedir. Kesici uç kısmında az miktarda talaş yığılması oluşmuştur. AlTiN kaplamalı takımın 70 kademe sonrasında kesici uç kısmında talaş yığılması oluşmuş ve uzaklaşmıştır. Uzaklaşması esnasında ise kesici takımın kesici kenarı boyunca parça kopması meydana gelmiştir.



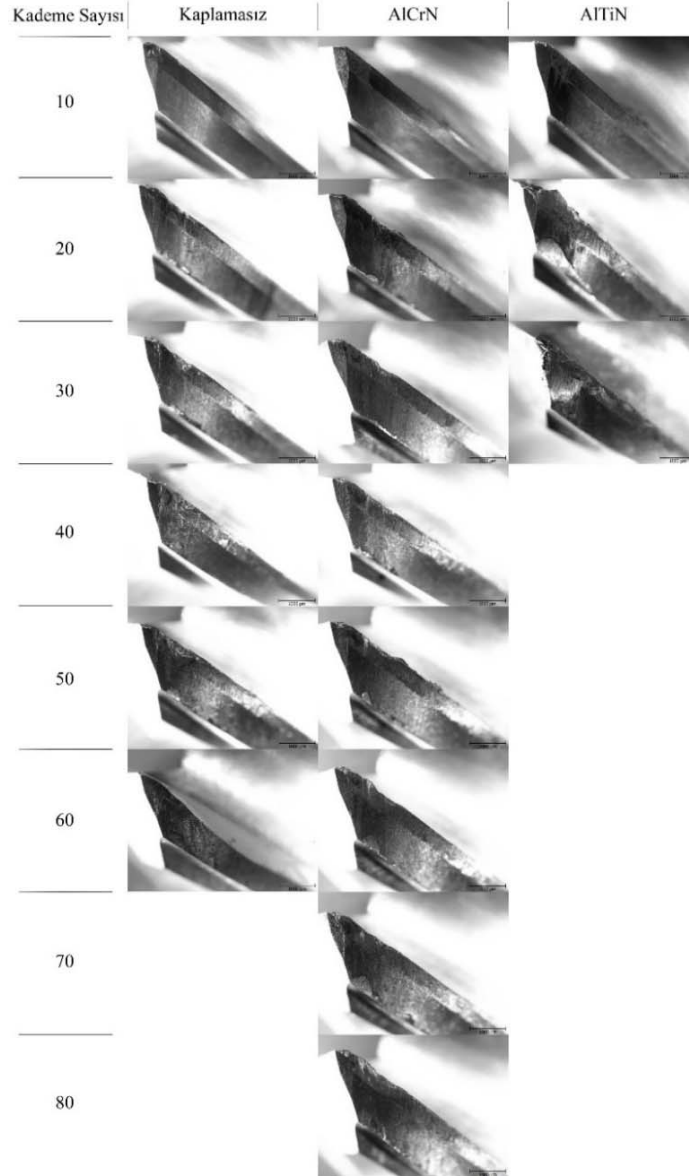
Şekil 7.45. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (10SB136).

Şekil 7.45’de kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında kullanılamaz olduğu görülmektedir. 80 kademe sonrasında kesici uç kısmında talaş yığılması oluşmuş ve uzaklaşmıştır. Uzaklaşması esnasında ise kesici takımın kesici kenarı boyunca parça kopması meydana gelmiştir. AlCrN kaplamalı takımın 80 kademe sonrasında kullanılabilir olduğu görülmektedir. Kesici uç kısmında az miktarda talaş yığılması ve kesme derinliğinde çentik aşınması olduğu görülmektedir. AlTiN kaplamalı takımın 60 kademe sonrasında gövdesinden koptuğu görülmektedir. 50 kademe sonrasında kesici uç kısmında büyük oranda talaş yığılması olduğu görülmektedir.



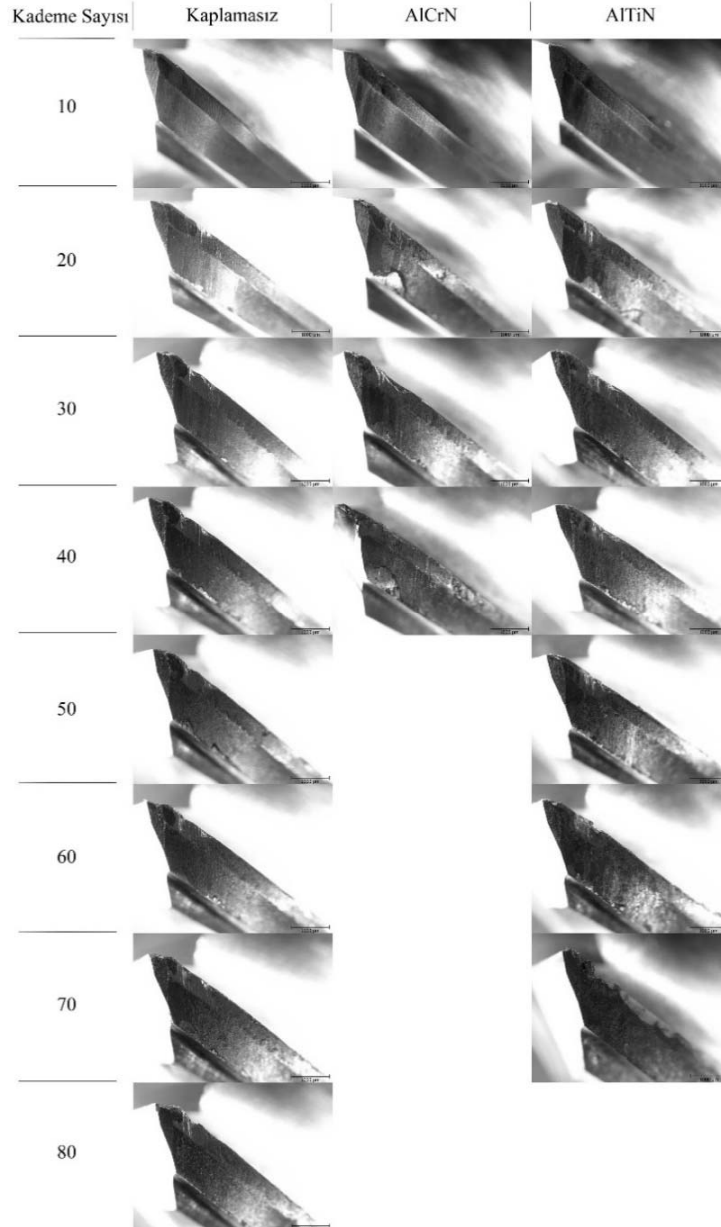
Şekil 7.46. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (10DBİ36).

Şekil 7.46’de kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında kullanılabilir olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin olduğu bölgede az miktarda talaş yığılması olduğu görülmektedir. AlCrN kaplamalı takımın 60 kademe sonrasında kesici uçların arasına talaş sıvanması nedeniyle kullanılamaz duruma gelmiştir. AlTiN kaplamalı takımın 80 kademe sonrasında kesici takımın uç bölgesinden büyük bir parçanın koptuğu görülmektedir. Kesme kenarında talaş yığılması meydana gelmiş ve talaşın kesme kenarından uzaklaşması esnasında büyük oranda kesici ucu deforme etmiştir.



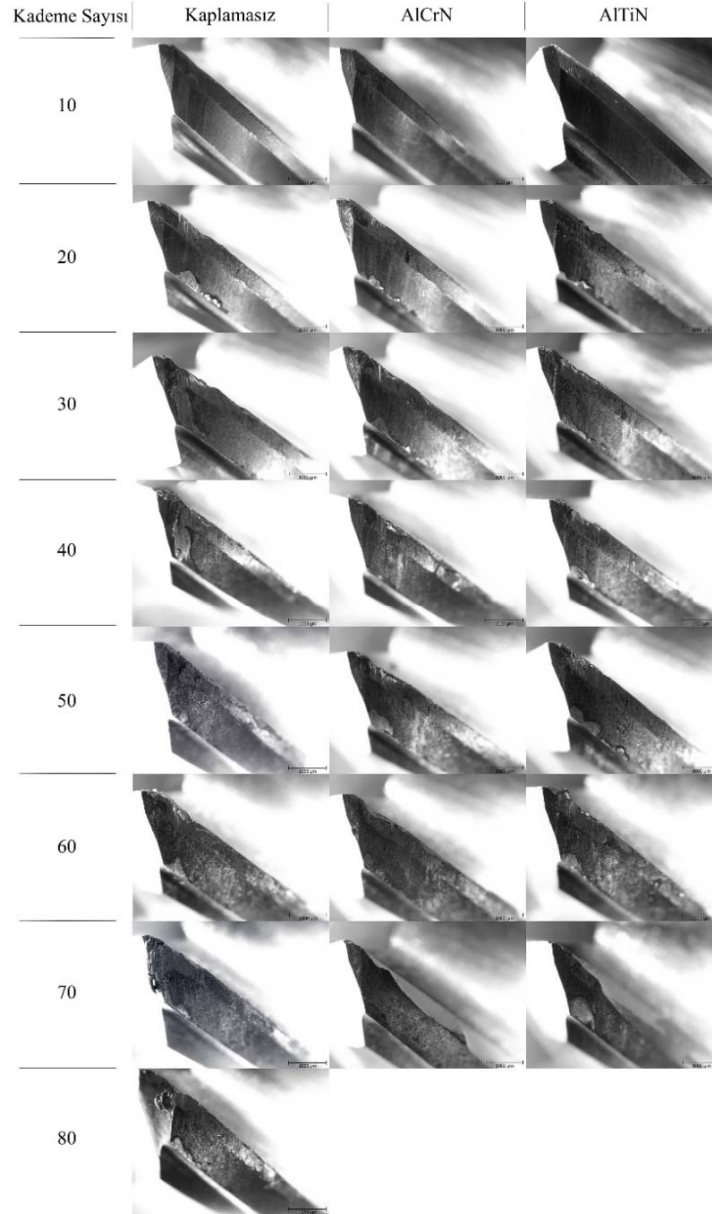
Şekil 7.47. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (12DBİ00).

Şekil 7.47’de kaplamasız takımın 60 kademe sonrasında kullanılamaz durumda olduğu görülmektedir. Kesici ucun talaş sıvanması ve sonrasında sıvanan talaşın koparken kesici ucuda kopardığı görülmektedir. AlCrN kaplamalı takımın 80 kademe sonrasında kullanılabilir olduğu ve kesme derinliği bölgesinde çentik aşınması meydana geldiği görülmektedir. AlTiN kaplamalı takımın 30 kademe sonrasında kesici takımın uç bölgesinden parçanın koptuğu görülmektedir. 20 kademe sonrasında kesme kenarında talaş yığılması meydana gelmiş ve talaşın kesme kenarından uzaklaşması esnasında büyük oranda kesici ucu deforme etmiştir.



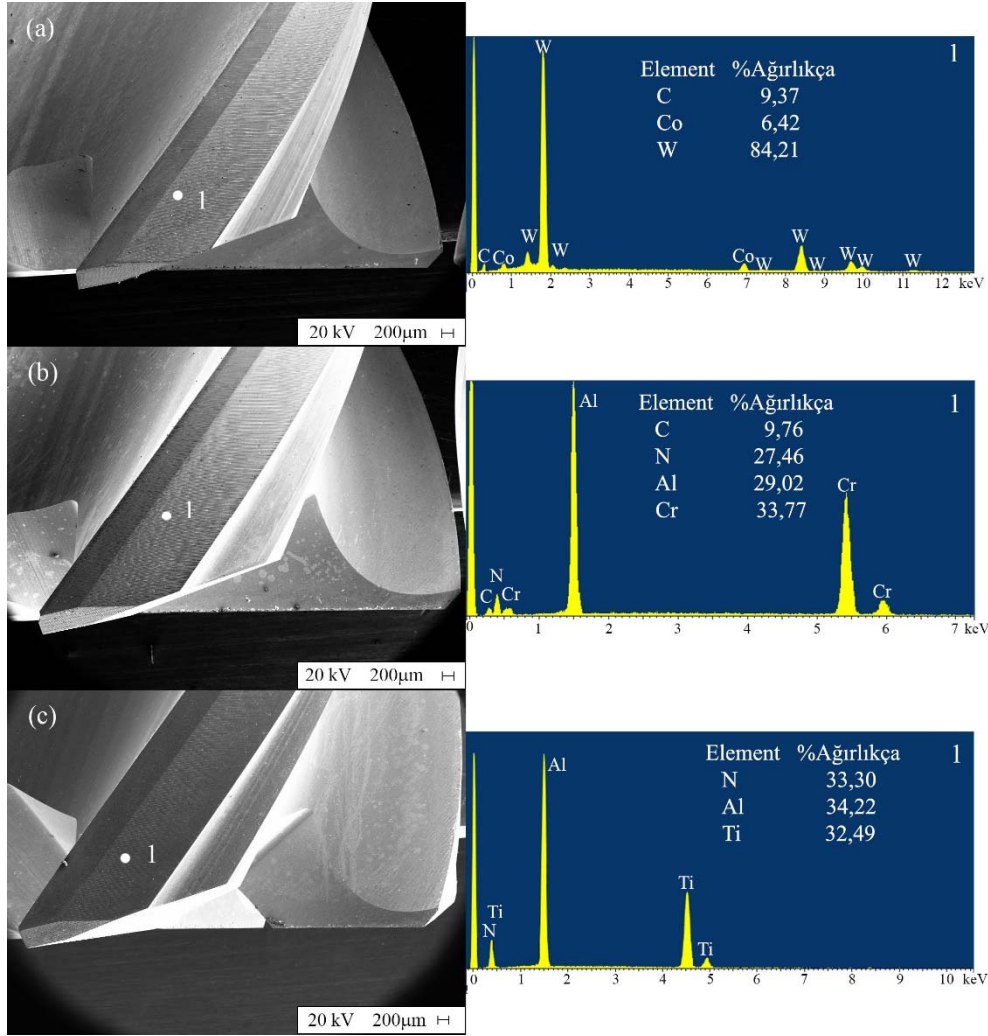
Şekil 7.48. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (12SBİ36).

Şekil 7.48’de kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında kullanılabilir durumda olduğu görülmektedir. Kesici ucun kesme derinliği bölgesinde bir miktar talaş yığılması ile çentik aşınması meydana gelmiştir. AlCrN kaplamalı takımın 40 kademe sonrasında kesici ucun uç bölgesinden parça kopmasının gerçekleştiği görülmektedir. AlTiN kaplamalı takımın 70 kademe sonrasında kesici takımın kesme ağız bölgesinden büyük parçaların koptuğu görülmektedir. Aşınma miktarı belirlenen kriterden fazla olması sebebiyle kesici takım 70. kademedен sonra kullanılmamıştır.



Şekil 7.49. Performans testleri esnasında her bir pasodan sonra kesici uçlardan alınan stereo mikroskop görüntüleri (12DBİ36).

Şekil 7.49’da kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında kesici ucun uç bölgesinde kopma meydana gelmiştir. AlCrN kaplamalı takımın 70 kademe sonrasında kesici ucun kesme ağızı bölgesinden parça kopmasının gerçekleştiği görülmektedir. Frezeleme esnasında talaş yığılması meydana gelmiş ve talaşın kesme ağızından uzaklaşması esnasında kesici ağızdan da parça koparması ile sonuçlanmıştır. AlTiN kaplamalı takımın AlCrN kaplamalı takıma benzer şekilde talaş yığılması sonrasında kesici kenar kısmından parça kopması ile 70. kademedен sonra kullanılamaz duruma gelmiştir.

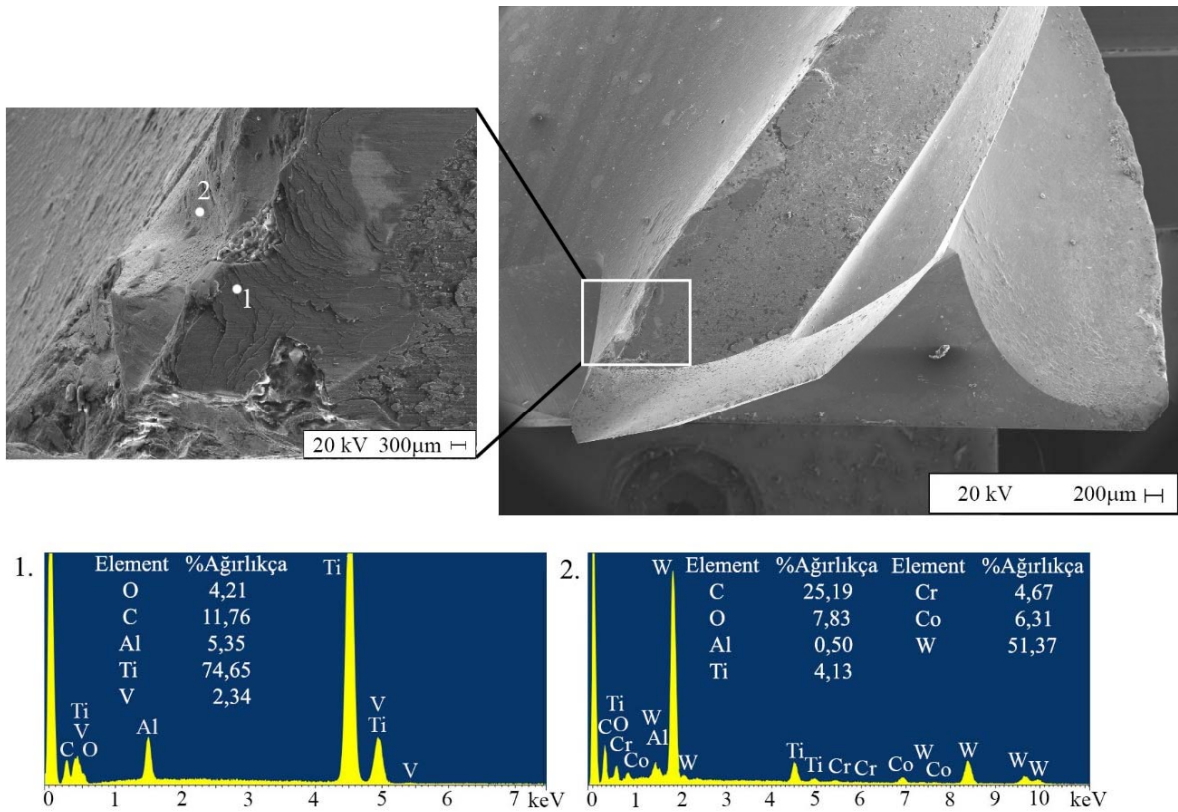


Şekil 7.50. (a) Kaplamasız, (b) AlCrN kaplamalı ve (c) AlTiN kaplamalı takımlar.

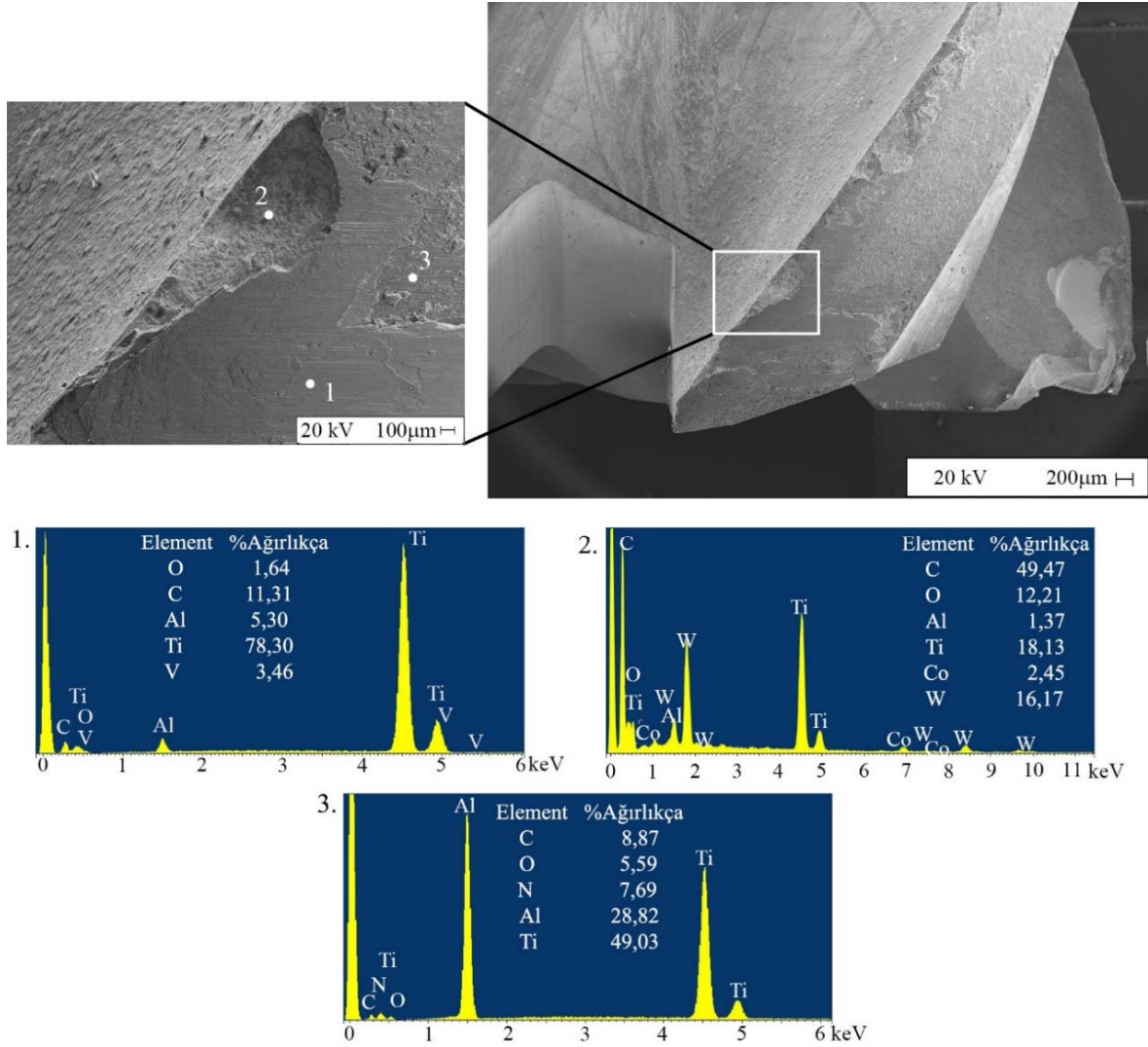
Şekil 7.50’de performans testleri öncesinde kullanılmamış kesici takımlara ait SEM görüntüleri ve EDS analizleri yer almaktadır. Görüntülerde kesici uçların keskin geometriye sahip olduğu görülmektedir. EDS analizlerinden ise malzeme yüzeyindeki kaplamanın türü anlaşılmaktadır.

Şekil 7.51’de 6DBI00-AlCrN kesici takımının 50 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 50 kademe sonrasında kesici ucun uç bölgesinden kırıldığı görülmektedir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Bu yüzeylerde kuru kesme şartları altında plastik deformasyonlar meydana gelmiştir. Taramalı elektron mikroskop görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede çentik aşınmasının etkin olduğu görülmektedir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır.

1. noktadaki analize bakıldığında %74,65 Ti, %5,35 Al, %2,34 V, %4,21 O ve %11,76 C belirlenmiştir. Bu analiz neticesinde bu bölgeye talaş sıvandığı ve hatta yüksek sıcaklık nedeniyle bölgede bulunan elementlerin yanması sonucu yüksek oranda C elementine rastlanmıştır. 2. noktadaki analiz incelendiğinde ise %51,37 W, %25,19 C, %6,31 Co, %4,13 Ti, %0,5 Al, %4,67 Cr, %7,83 O görülmüştür. Bu analiz çentik aşınmasının olduğu bölgeden alınmıştır. Çentik aşınması ile bu bölgeden talaşın yapışıp ayrılması sonucu ile parça kopması meydana gelmiş ve AlCrN kaplamanın altında bulunan WC-Co malzemesine ait elementlerde yer almaktadır. Ayrıca kaplamaya ve titanyum alaşımına ait elementlerde mevcuttur. Kaplamada yer alan Cr ve Al elementinin yüksek sıcaklıklarda oksitlenmesi EDS analizinde O elementine rastlanmasının sebebi olarak görülmüştür.



Şekil 7.51. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBI00-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

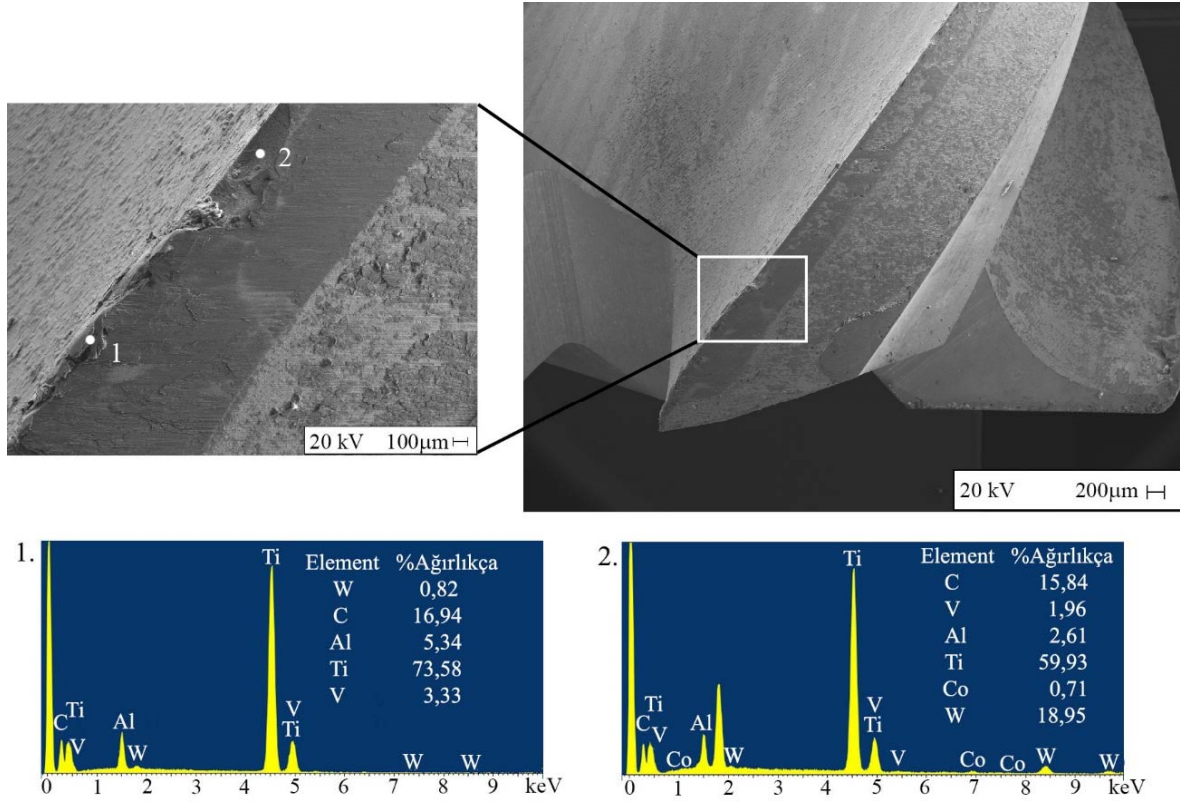


Şekil 7.52. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBI00-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.52’de 6DBI00-AlTiN kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı kesici uç kullanılamaz duruma gelmiştir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Özellikle talaş yüzeyinden büyük parçaların koptuğu görülebilmektedir. Bu yüzeylerde kuru kesme şartları altında plastik deformasyonlar meydana gelmiştir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede çentik aşınmasının etkin olduğu görülmektedir. Detay görüntü üzerinde üç farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1. noktadaki analize bakıldığında %78,30 Ti, %5,30 Al, %3,46 V, %1,64 O ve %11,31 C belirlenmiştir. Bu analiz neticesinde bu bölgeye talaş sıvandığı ve

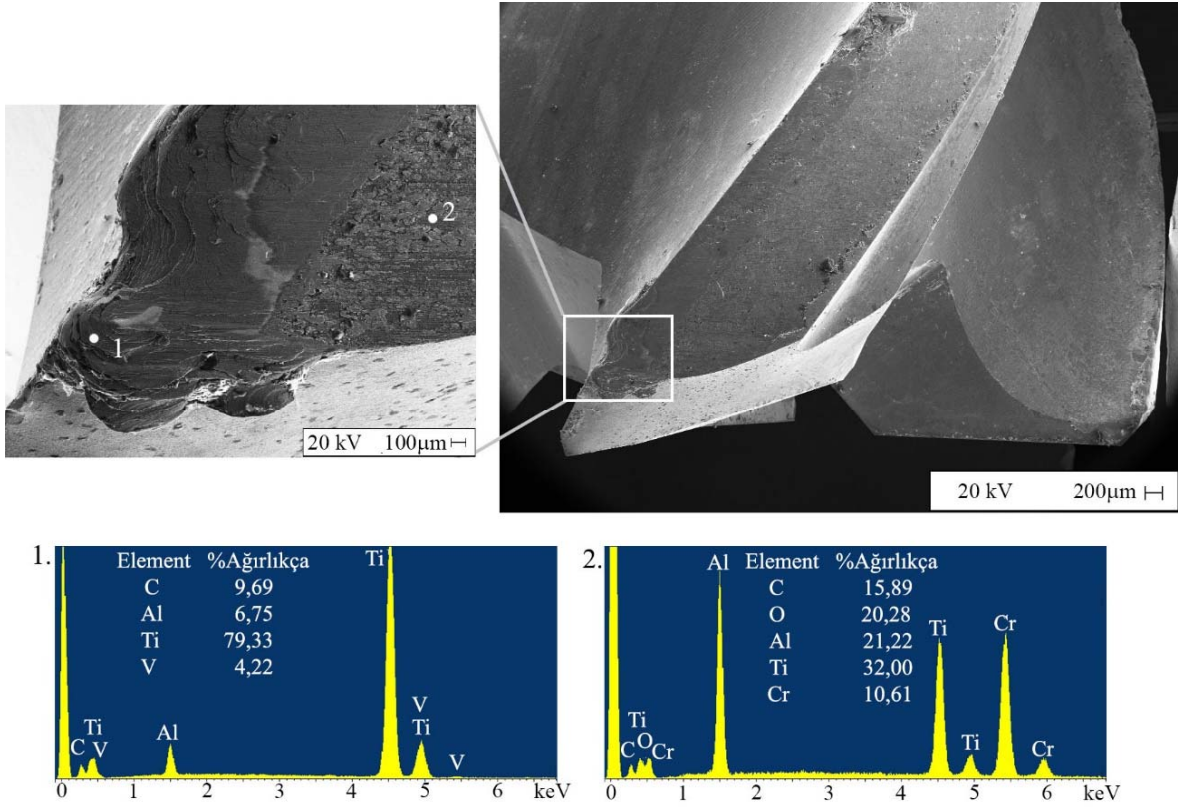
hatta yüksek sıcaklık nedeniyle bölgede bulunan elementlerin yanması sonucu yüksek oranda C elementine rastlandığı belirlenmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklık sonrasında bölgede bulunan Al elementinin oksitlenmesi sonucu O elementinin de bulunduğu düşünülmektedir. 2. noktadaki analiz incelendiğinde ise %16,17 W, %49,47 C, %2,45 Co, %18,13 Ti, %1,37 Al, %12,21 O görülmüştür. Bu analiz çentik aşınmasının olduğu bölgeden alınmıştır. Çentik aşınması ile bu bölgeden parça kopması meydana gelmiş ve AlTiN kaplamanın altında bulunan WC-Co malzemesine ait elementlerde yer almaktadır. Ayrıca titanyum alaşımına ait elementlerde mevcuttur. Kaplamada yer alan Al elementinin yüksek sıcaklıklarda oksitlenmesi sonucunda EDS analizinde O elementine rastlandığı düşünülmektedir. 3. noktadaki analizde %28,82 Al, %49,03 Ti, %7,69 N, %8,87 C ve %5,59 O yer almaktadır. Bu noktada kesici yüzeyde deforme olmamış kaplamaya ait elementlerin olduğu görülmektedir. Ayrıca yine yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C ve oksitlenmenin sonucunda ise O elementine rastlanmıştır.

Şekil 7.53'te 6SBİ36-kaplamasız kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon görülmemektedir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Bu yüzeylerde kesici takımın kenarları geometrik şeklini korumaktadır. Taramalı elektron mikroskop görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede oldukça küçük bir çentik aşınmasının olduğu görülmektedir. Kesici uç kısmında ise talaş yığılması görülmektedir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1. noktadaki analize bakıldığında %0,82 W, %16,94 C, %73,58 Ti, %5,34 Al ve %3,33 V belirlenmiştir. Bu analiz neticesinde bu bölgeye talaş sıvandığı görülmüş ve hatta yüksek sıcaklık nedeniyle bölgede bulunan elementlerin yanması sonucu yüksek oranda C elementine rastlanmıştır. Analiz sonucunda W elementine de rastlanmış olup, EDS analizinin etkileşim alanı sonucunda yüzeye sıvanan talaşın altından kesici takıma ait malzemedan de sinyal aldığı düşünülmektedir. 2. noktadaki analiz incelendiğinde ise %18,95 W, %15,84 C, %0,71 Co, %59,93 Ti, %2,61 Al, %1,96 V görülmüştür. Bu analiz çentik aşınmasının olduğu bölgeden alınmıştır. Çentik aşınması ile bu bölgeden parça kopması meydana gelmiş ve WC-Co malzemesine ait elementler analiz sonucunda yer almaktadır. Ayrıca titanyum alaşımına ait elementlerde mevcuttur.



Şekil 7.53. Performans testleri sonrasında aşınan 6SBİ36-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

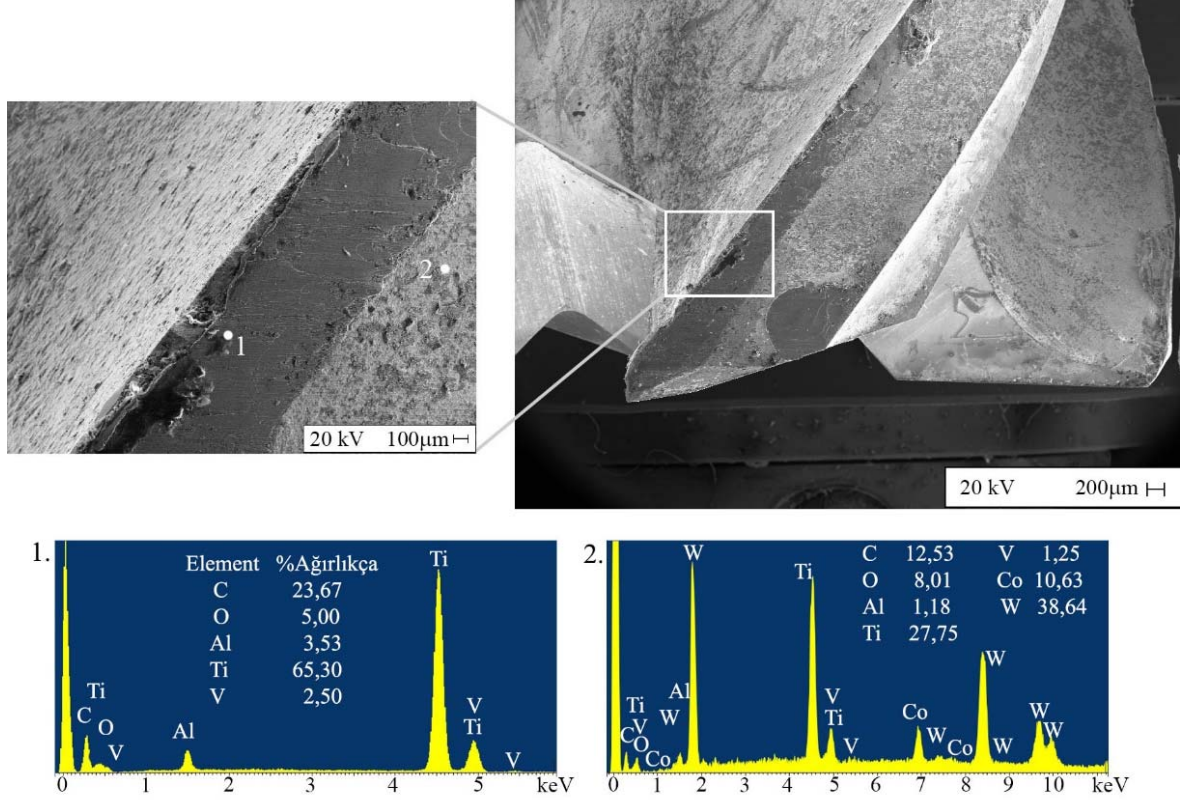
Şekil7.54'te 6SBİ36-AlCrN kaplamalı kesici takımının 40 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 40 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon görülmektedir. Kesici uçtan büyük bir parça koptuğu görülmektedir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede bir çentik aşınmasının olduğu görülmektedir. Kesici uç kısımda ise talaş yığılması görülmektedir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1. noktadaki analize bakıldığında %9,69 C, %79,33 Ti, %6,75 Al ve %4,22 V belirlenmiştir. Bu analiz neticesinde bu bölgeye talaş sıvandığı görülmüş ve hatta yüksek sıcaklık nedeniyle bölgede bulunan elementlerin yanması sonucu yüksek oranda C elementine rastlanmıştır. 2. noktadaki analiz incelendiğinde ise %10,61 Cr, %15,89 C, %20,28 O, %32,00 Ti, %21,22 Al görülmüştür. Bu analiz serbest kesme yüzeyine yakın bir bölgeden alınmıştır. Kaplama malzemesine ait elementler analiz sonucunda yer almaktadır. Ayrıca yüksek oranda titanyum elementide mevcuttur.



Şekil 7.54. Performans testleri sonrasında aşınan 6SB136-AlCrN kaplamalı kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.55'te 6SB136-AlTiN kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmemesinden dolayı uç kullanılabilir durumdadır. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Taramalı elektron mikroskop görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede çentik aşınmasının olduğu görülmektedir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1. noktadaki analize bakıldığında %65,30 Ti, %3,53 Al, %2,50 V, %5,00 O ve %23,67 C belirlenmiştir. Bu analiz neticesinde bu bölgeye talaş sıvandığı ve hatta yüksek sıcaklık nedeniyle bölgede bulunan elementlerin yanması sonucu yüksek oranda C elementine rastlanmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık sonrasında bölgede bulunan Al elementinin oksitlenmesi sonucu O elementinde bulunduğu düşünülmektedir. 2. noktadaki analiz incelendiğinde ise %38,64 W, %12,53 C, %10,63 Co, %27,75 Ti, %1,18 Al, %1,25 V ve %8,01 O görülmüştür. Bu analiz serbest kesme yüzeyine yakın bir bölgeden alınmıştır. Analiz sonucunda kaplamaya ve kesici takımı oluşturan elementlere rastlanmıştır. Kaplamada yer alan Al elementinin yüksek sıcaklıklarda

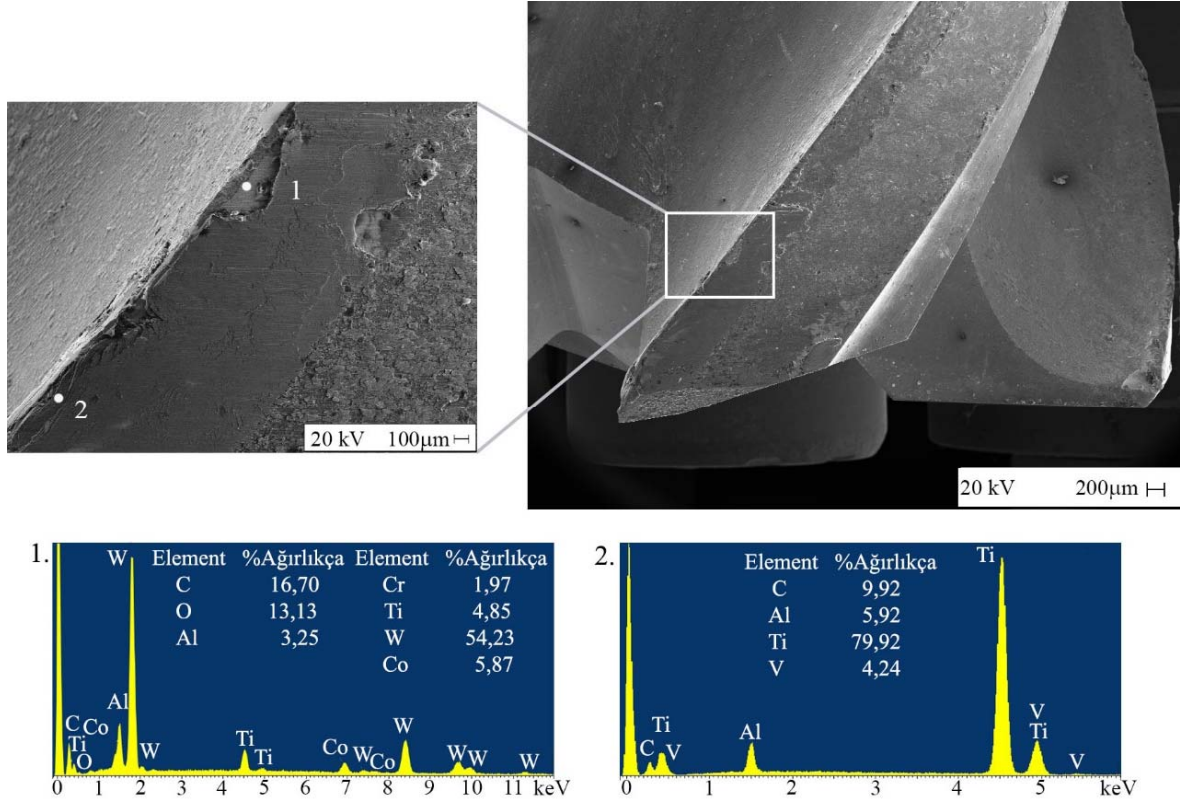
oksitlenmesi sonucunda EDS analizinde O elementine rastlandığı düşünülmektedir. Ayrıca yine yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C elementine rastlanmıştır.



Şekil 7.55. Performans testleri sonrasında aşınan 6SB136-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

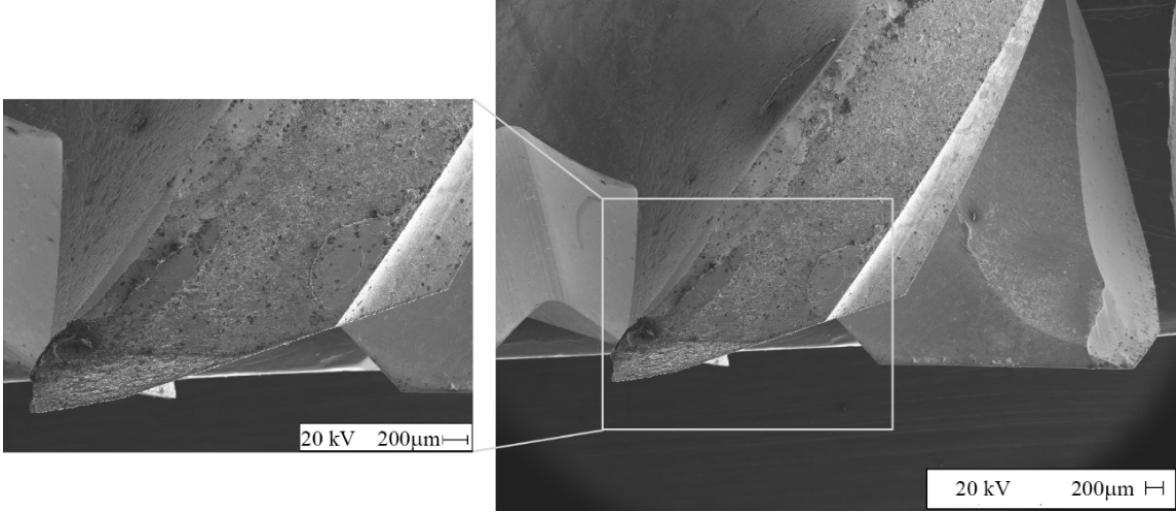
Şekil 7.56'da 6DB136-kaplamasız kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmemesinden dolayı uç kullanılabilir durumdadır. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede çentik aşınmasının olduğu görülmektedir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1 nolu noktadaki analize bakıldığında %54,23 W, %5,87 Co, %16,70 C, %1,97 Cr %4,85 Ti, %3,25 Al ve %13,13 O belirlenmiştir. Bu analiz neticesinde kesici takıma ait yüksek oranda W ve C elementleri belirlenmiştir. Bu bölgeye talaş sıvandığı görülmektedir ve hatta yüksek sıcaklık nedeniyle bölgede bulunan elementlerin yanması sonucu yüksek oranda C elementine rastlanmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık sonrasında bölgede bulunan Al elementinin oksitlenmesi sonucu O elementinin de

bulunduğu düşünülmektedir. 2. noktadaki analiz incelendiğinde ise %79,92 Ti, %5,92 Al, %4,24 V ve %9,92 C görülmüştür. Bu analiz serbest kesme yüzeyinden alınmıştır. Analiz sonucunda serbest yüzeye sıvanmış titanyum alaşımını oluşturan elementlere rastlanmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C elementine rastlanmıştır.



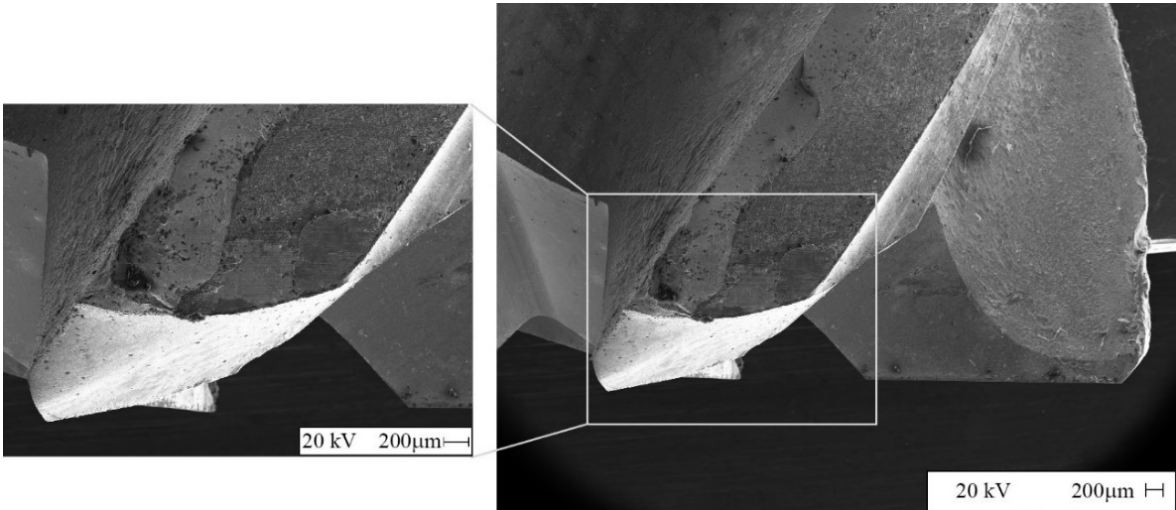
Şekil 7.56. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBİ36-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.57’de 6DBİ36-AlCrN kaplamalı kesici takımın 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Her iki yüzeyde de büyük miktarda parçanın koptuğu görülmektedir. Talaşlı imalat esnasında yığıntı talaş oluşması sonucunda yüzeyde kesme kenarında talaş yapışması meydana gelmektedir. Talaşlı imalat devam ederken buraya yapışan talaş gerilme altında yüzeyden ayrılmış ve ayrılırken de yüzeyden büyük bir parça koparmıştır.



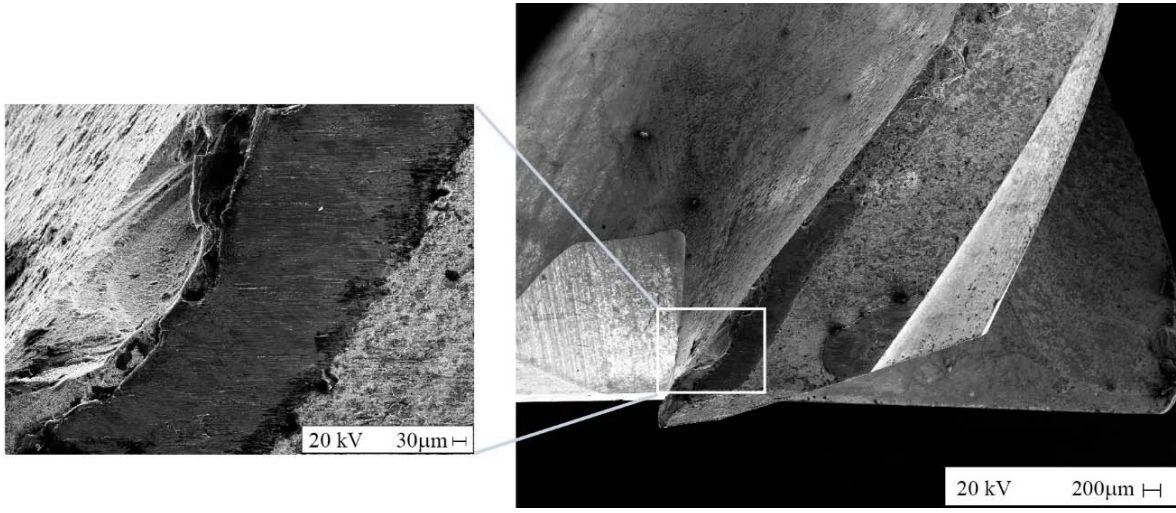
Şekil 7.57. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.58’de 6DBİ36-AlTiN kaplamalı kesici takımın 60 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 60 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici ucun uç bölgesinden parça kopması meydana gelmiştir. Ayrıca serbest kesme yüzeyinde de kesme kenarı boyunca parça kopması görülmektedir. Buradaki deformasyonun yüksek sıcaklık nedeniyle talaşın kesme yüzeyine yapışması ve yüksek gerilmeler sonrasında ise kesici ucun uç bölgesinden parça kopmasının gerçekleştiği söylenebilir.



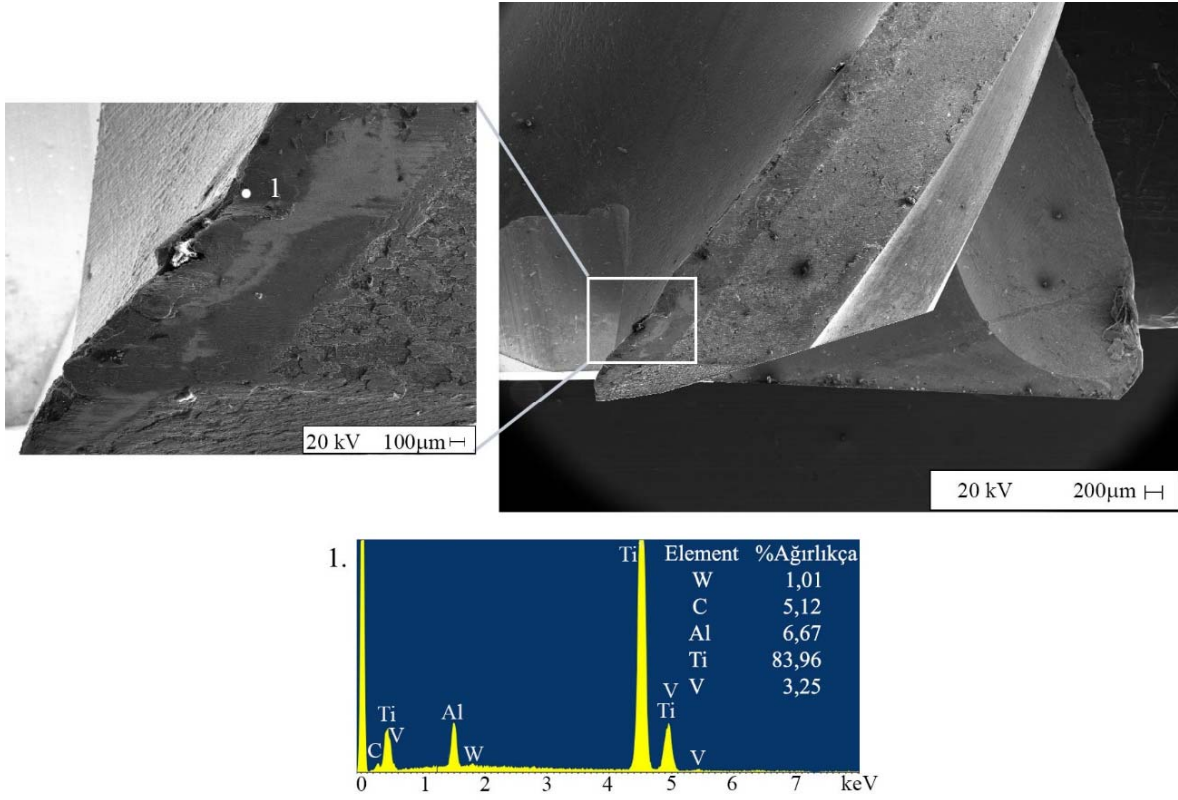
Şekil 7.58. Performans testleri sonrasında aşınan 6DBİ36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.59’da 10DBİ00-kaplamasız kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmemesinden dolayı uç kullanılabilir durumdadır. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Taramalı elektron mikroskop görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede çentik aşınmasının olduğu görülmektedir.



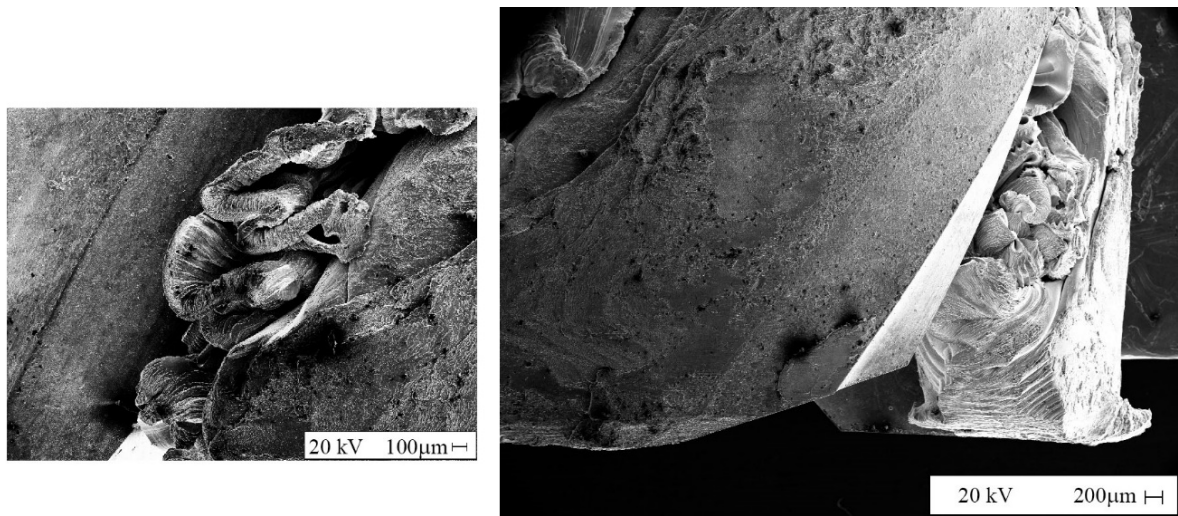
Şekil 7.59. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBİ00-kaplamasız kesici takımına ait SEM analizleri.

Şekil 7.60’da 10DBİ00-AlCrN kaplamalı kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmemesinden dolayı uç kullanılabilir durumdadır. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Taramalı elektron mikroskop görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede çentik aşınmasının olduğu görülmektedir. Detay görüntü üzerinde bir bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1 numaralı noktadaki analize bakıldığında %83,96 Ti, %6,67 Al, %3,25 V, %1,01 W ve %5,12 C belirlenmiştir. Bu bölgeye yüksek oranda talaş sıvandıği görülmektedir. Sıvanan talaşın ile beraber kesici takımın yapısında bulunan W elementi de analiz sonucunda görülmektedir. Bununla beraber yüksek sıcaklık nedeniyle bölgede bulunan elementlerin yanması sonucu yüksek oranda C elementine rastlanmıştır.



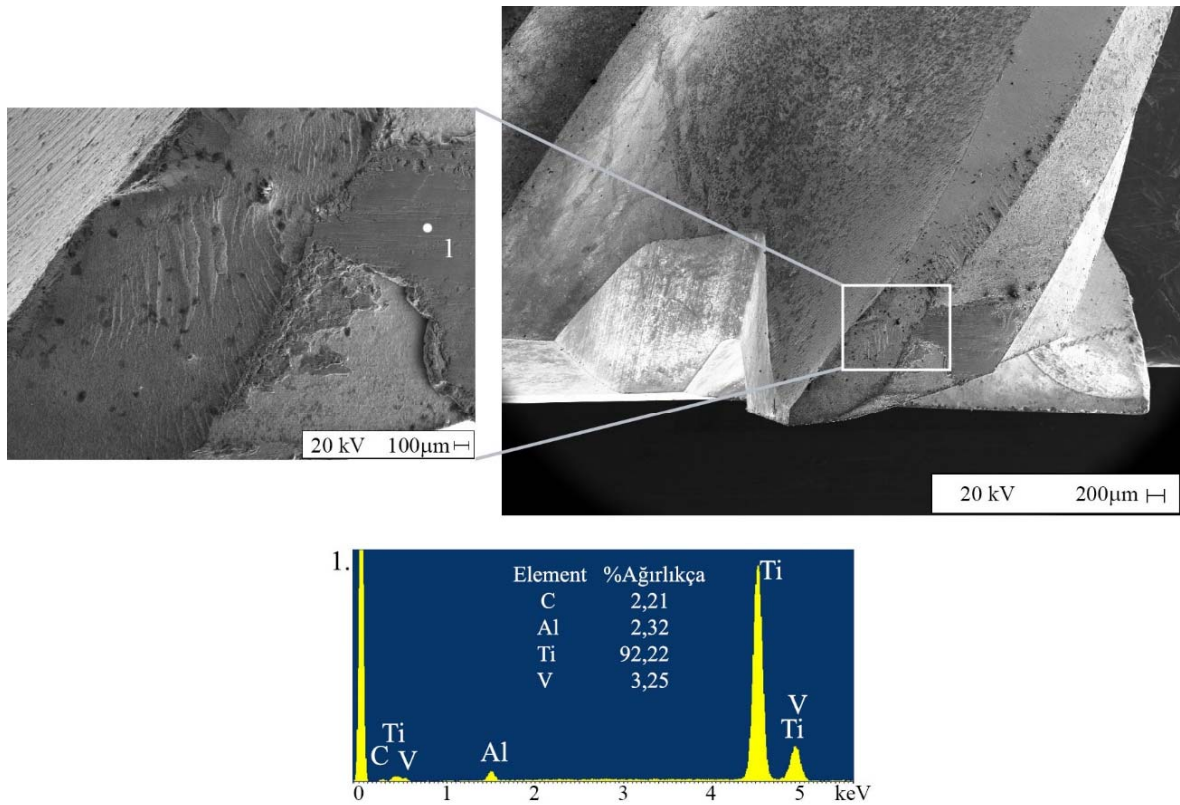
Şekil 7.60. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBI00-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.61’de 10DBI00-AlTiN kaplamalı kesici takımının 70 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır 70 kademe sonrasında kesici uçların arasına titanyum talaşı sıvanarak kesici uç kullanılamaz duruma gelmiştir.



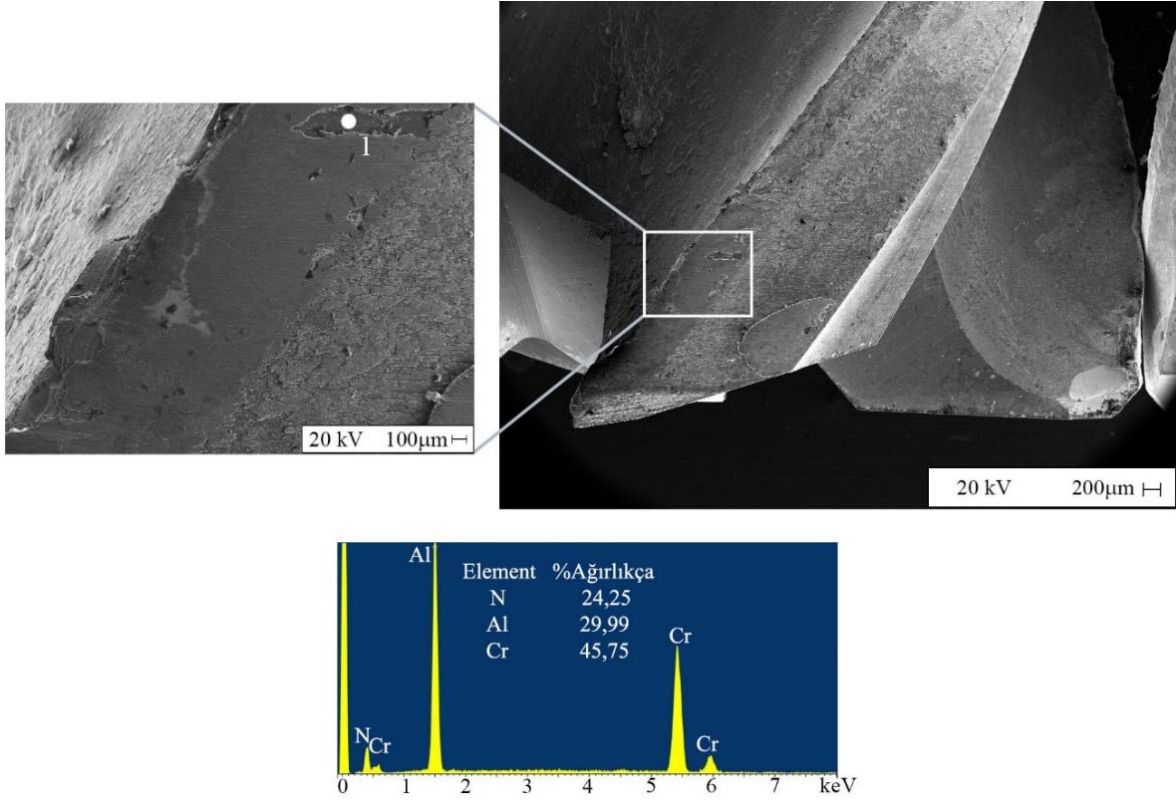
Şekil 7.61. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBI00-AlTiN kesici takımına ait SEM analizleri.

Şekil 7.62’de 10SBİ36-kaplamasız kesici takımının 80 kademe sonrasında ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Kesici takımın serbest kesme ve talaş yüzeyinde boydan boya parça koptuğu görülmektedir. SEM görüntüsünde kopmanın gerçekleştiği bölgenin detayı da verilmiştir. Detay görüntü üzerinde 1 numaralı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. Analize bakıldığında %92,22 Ti, %2,32 Al, %3,25 V ve %2,21 C belirlenmiştir. Bu bölge talaş yığılmasının ardından kesici uçtan parça kopmasının gerçekleştiği bölgedir. Bu analiz serbest kesme yüzeyine yakın bir bölgeden alınmıştır. Analiz sonucunda serbest yüzeye sıvanmış titanyum alaşımını oluşturan elementlere rastlanmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C elementine rastlanmıştır.



Şekil 7.62. Performans testleri sonrasında aşınan 10SBİ36-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

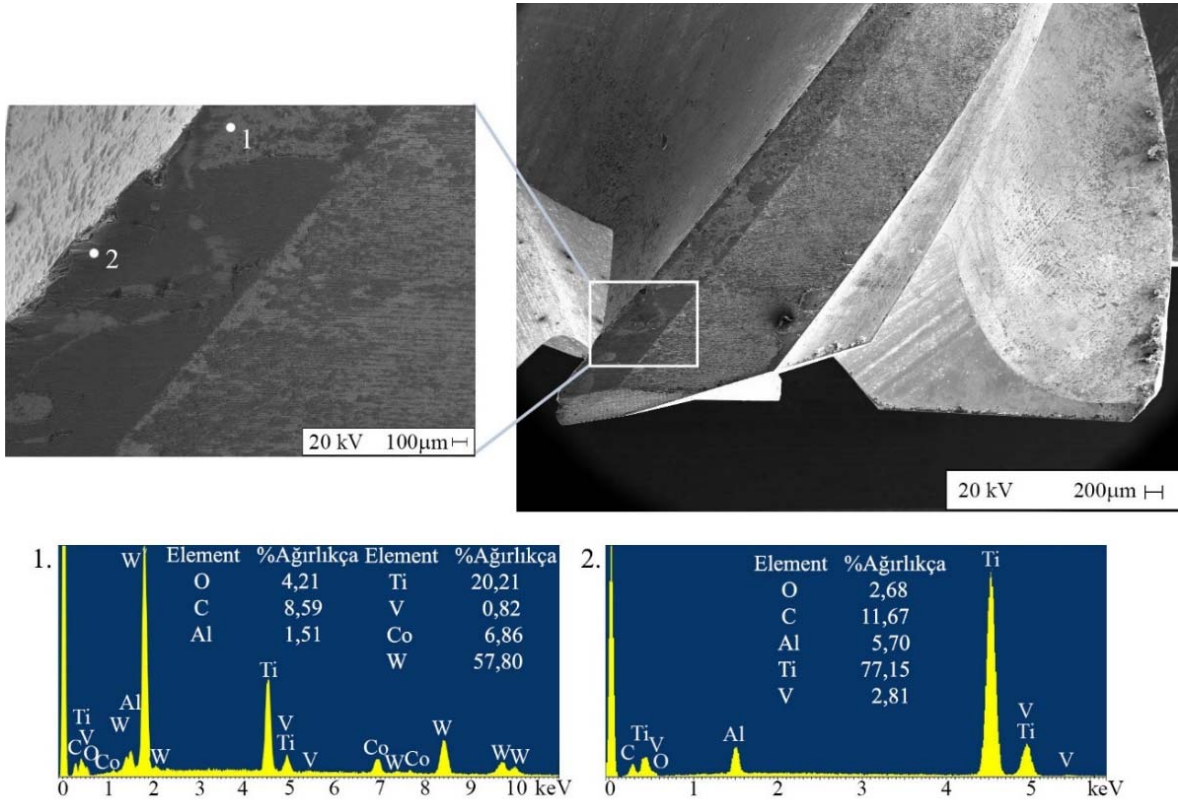
Şekil 7.63'te 10SBİ36-AlCrN kaplamalı kesici takımının 80 kademe sonrasında ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmemesinden dolayı uç kullanılabilir durumdadır. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede küçük bir çentik aşınmasının olduğu görülmektedir. Detay görüntü üzerinde bir bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1 numaralı noktadaki analize bakıldığında %29,99 Al, %45,75 Cr ve %24,25 N belirlenmiştir. Bu bölge plastik deformasyondan etkilenmemiş kaplamanın yer aldığı bir bölgedir. Çentik aşınmasının olduğu kısımda ise talaş yığılması görülmektedir.



Şekil 7.63. Performans testleri sonrasında aşınan 10SBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

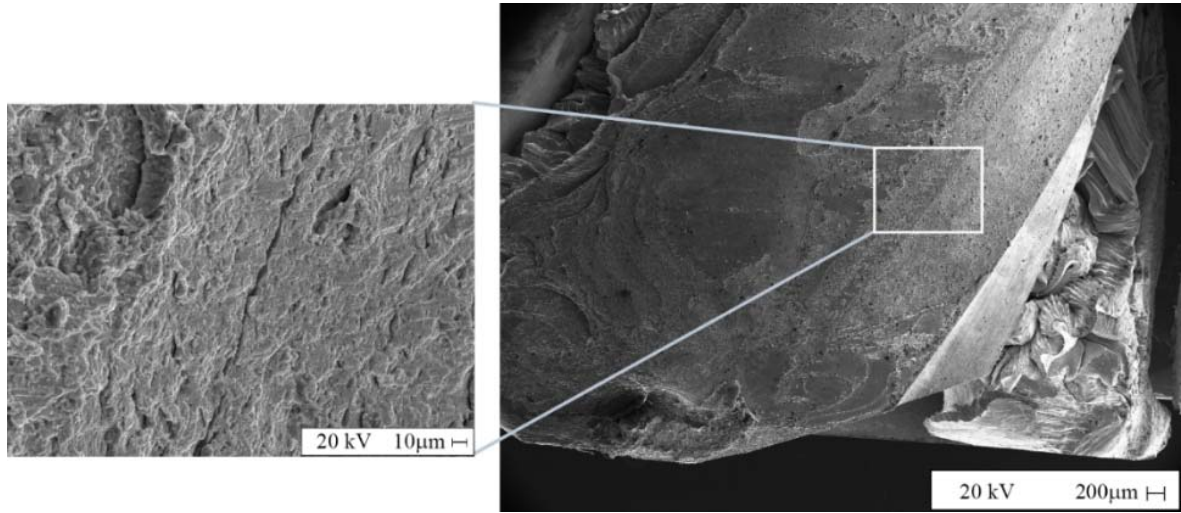
Şekil 7.64'te 10DBİ36-kaplamasız kesici takımının 80 kademe sonrasında ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmemesinden dolayı uç kullanılabilir durumdur. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Kesici takımın serbest kesme ve talaş yüzeyinin geometrisinde bir bozulma görülmemektedir. Taramalı elektron mikroskop görüntüsünde

kesme bölgesinin detayı da verilmiştir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1 numaralı noktadaki analize bakıldığında %57,80 W, %6,86 Co, %8,59 C, %20,21 Ti, %1,51 Al, %0,82 V ve %4,21 O belirlenmiştir. Bu bölge kesici takımın kesme kenarına yakın bir bölgedir. Yüksek oranda W ve Co elementleri olduğundan kesici takımın yüzeyi olduğu söylenebilir. Açık gri renkteki bölgenin kesici takımın yüzeyi olduğu söylenebilir. Ayrıca bir miktarda Ti, Al ve V elementleride analiz sonucunda yer almaktadır. Bu bölgenin etrafına sıvayan titanyum alaşımından gelen sinyaller olduğu düşünülmektedir. Koyu gri renkteki bölgelerin yüzeye sıvayan titanyum alaşımı olduğu söylenebilir. 2 numaralı noktadaki analiz incelendiğinde ise %77,15 Ti, %5,70 Al, %2,81 V, %2,68 O ve %11,67 C görülmüştür. Bu analiz serbest kesme yüzeyinin ucundan bir bölgeden alınmıştır. Analiz sonucunda serbest yüzeye sıvanmış titanyum alaşımını oluşturan elementlere rastlanmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C elementine rastlanmıştır. Bunun yanında analizde mevcut olan Al elementinin yine yüksek sıcaklık nedeniyle oksitlenmesi sonucunda O elementine de rastlanmıştır.



Şekil 7.64. Performans testleri sonrasında aşınan 10DB136-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

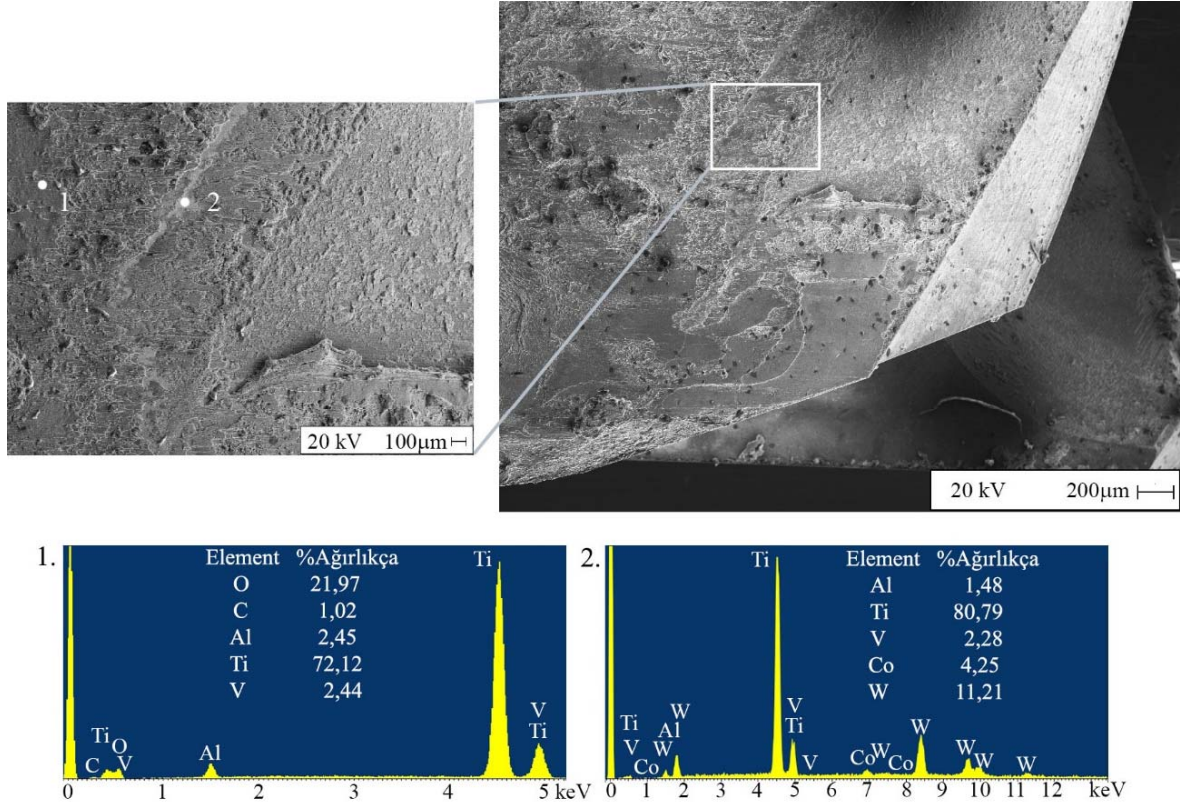
Şekil 7.65'te 10DBİ36-AlCrN kaplamalı kesici takımının 60 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 60 kademe sonrasında kesici uçta talaş sıvanması meydana geldiğinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölgede sıcaklık farkından dolayı meydana gelen termal çatlak görülmektedir.



Şekil 7.65. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM analizleri.

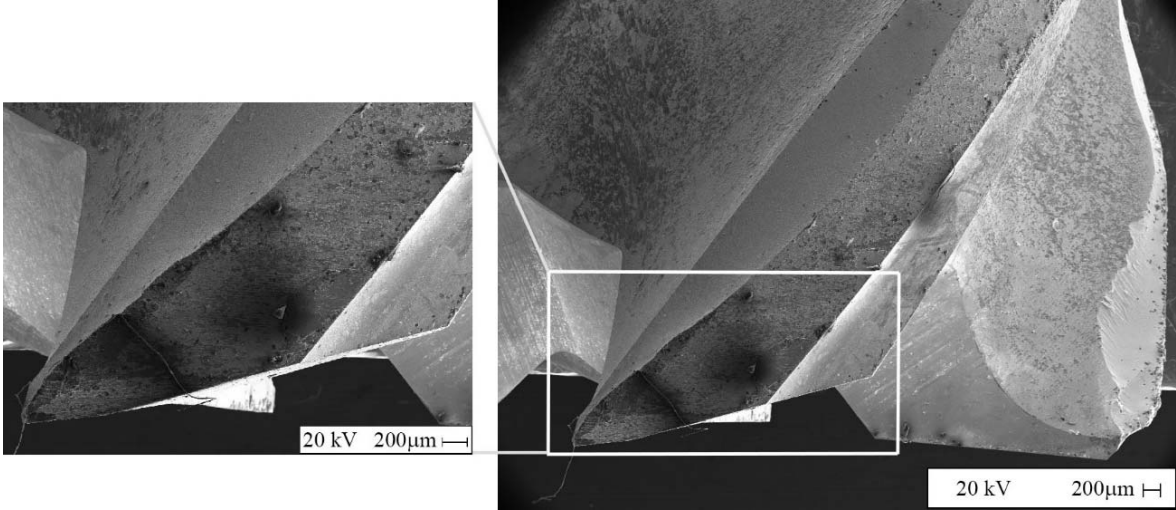
Şekil 7.66'da 10DBİ36-AlTiN kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta talaş sıvanması meydana geldiğinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Kesici takımın SEM görüntüsünde kesme bölgesinin detayı da verilmiştir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1 numaralı noktadaki analize bakıldığında %72,12 Ti, %2,45 Al, %2,44 V, %1,02 C ve %21,97 O belirlenmiştir. Bu bölge kesici takımın kesici uçları arasına sıvanan talaşın olduğu bölgedir. Yüksek oranda Ti, Al ve V elementleri olduğundan kesici takımın yüzeyine sıvanan titanyum alaşımı olduğu söylenebilir. Ayrıca yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C elementine rastlanmıştır. Bunun yanında analizde mevcut olan Al elementinin yine yüksek sıcaklık nedeniyle oksitlenmesi sonucunda O elementine de rastlanmıştır. 2 numaralı noktadaki analiz incelendiğinde ise %80,79 Ti, %1,48 Al, %2,28 V, %11,21 W ve %4,25 Co görülmüştür. Bu analiz serbest kesme yüzeyinin ucundan bir bölgeden alınmıştır. Analiz sonucunda serbest yüzeye sıvanmış titanyum alaşımını oluşturan elementlere

rastlanmıştır. Ayrıca kesici takıma ait W ve Co gibi elementlerde elde edilmiştir. Bu bölgede N elementi bulunmadığından, kesici takımın bu bölgesinde kaplamanın deforme olduğu ve takımın yüzeyinden kalktığı söylenebilir.



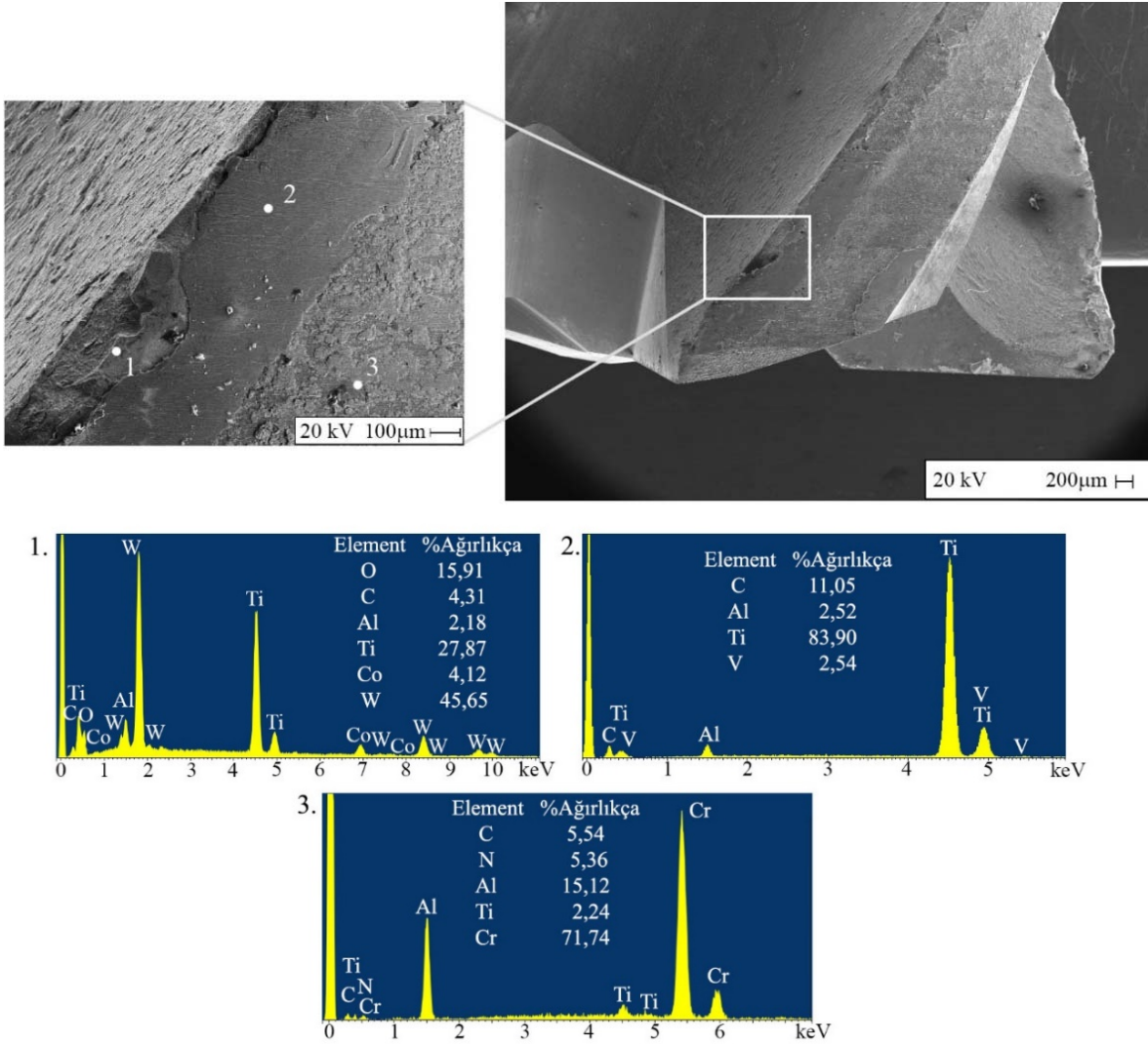
Şekil 7.66. Performans testleri sonrasında aşınan 10DBI36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.67’de 12DBI00-kaplamasız kesici takımının 60 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 60 kademe sonrasında kesici uçta talaş sıvanması sonucu serbest kesme kenarında boydan boya parça kopması meydana geldiğinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Kesici takımın serbest kesme ve talaş yüzeyinde boydan boya parça koptuğu görülmektedir. SEM görüntüsünde kopmanın gerçekleştiği bölgenin detayı da verilmiştir.



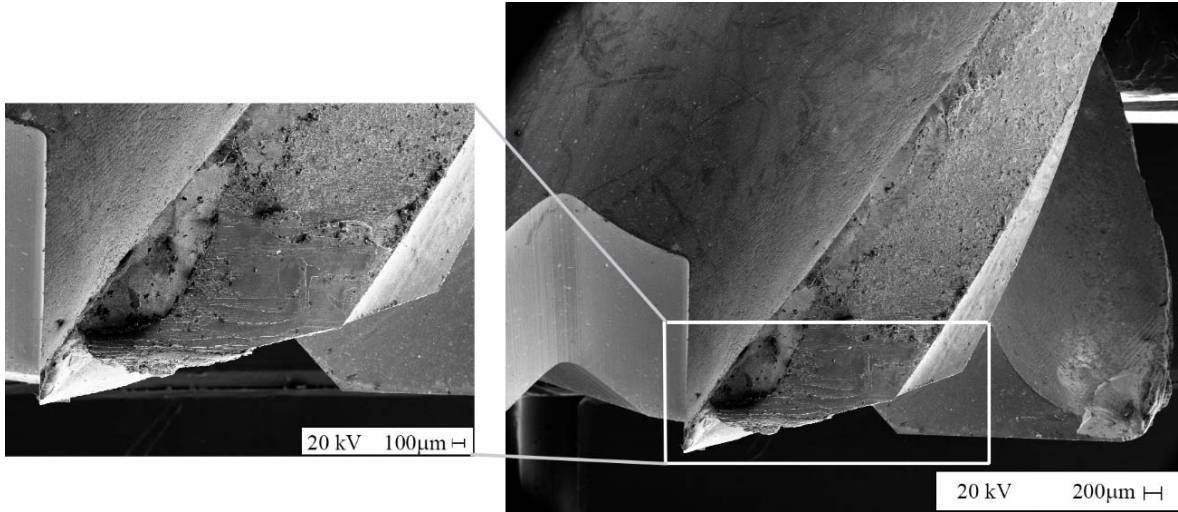
Şekil 7.67. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBI00-kaplamasız kesici takımına ait SEM analizleri.

Şekil 7.68’de 12DBI00-AlCrN kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uça yüksek oranda deformasyon meydana gelmemesinden dolayı uç kullanılabilir durumdadır. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Bu yüzeylerde kuru kesme şartları altında plastik deformasyonlar meydana gelmiştir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede çentik aşınmasının etkin olduğu görülmektedir. Detay görüntü üzerinde üç farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1. noktadaki analize bakıldığında %27,87 Ti, %2,18 Al, %45,65 W, %4,12 Co, %15,91 O ve %4,31 C belirlenmiştir. Bu analiz neticesinde bu bölgeye talaş sıvandığı söylenebilir. Bu bölgede çentik aşınması meydana geldiği için kesici takımdan parça kopması meydana gelmiş ve kopan kısımdan kesici takıma ait elementler olan W, Co ve C analiz sonucunda görülmektedir. Kaplamaya ait Cr elementi analiz sonucunda yoktur. Buna göre kaplamanın da çentik aşınması esnasında kalktığı söylenebilir. Ayrıca yüksek sıcaklık sonrasında bölgede bulunan Al elementinin oksitlenmesi sonucu O elementinin de bulunduğu düşünülmektedir. 2. noktadaki analiz incelendiğinde ise %83,90 Ti, %2,52 Al, %2,54 V ve %11,05 C görülmüştür. Bu analiz serbest kesme yüzeyine yakın bir bölgeden alınmıştır. Bu bölgede talaş sıvanmasının meydana geldiği görülmektedir. 3 numaralı noktadaki analizde %15,12 Al, %71,74 Cr, %5,36 N, %2,24 Ti ve %5,54 C yer almaktadır. Bu noktada kesici yüzeyde deforme olmamış kaplamaya ait elementlerin olduğu görülmektedir. Yüze yapışmış bir miktar talaştan ise Ti elementine ait sinyal toplanmıştır. Ayrıca yine yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C elementine rastlanmıştır.

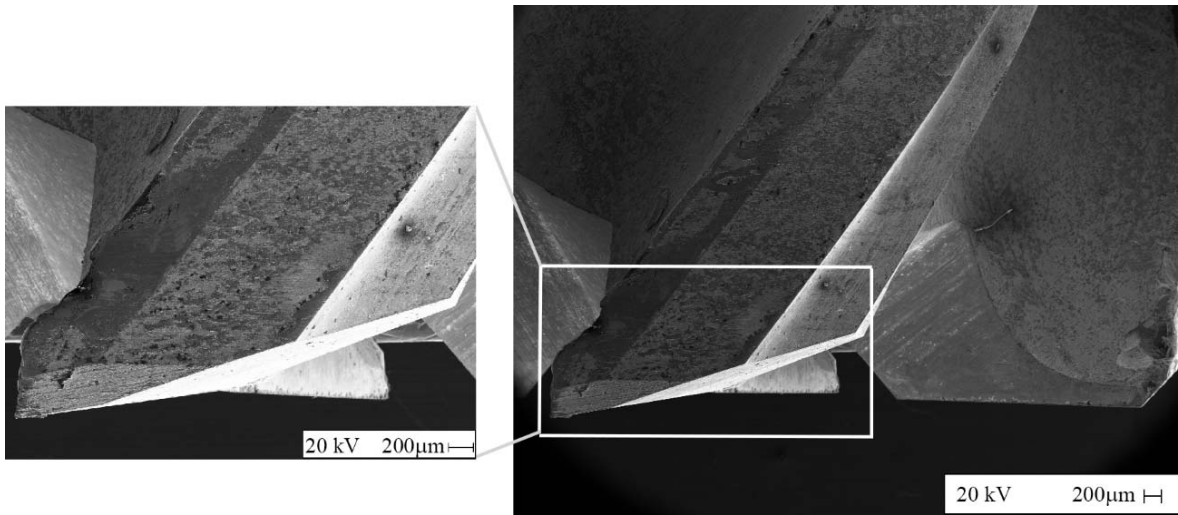


Şekil 7.68. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ00-AICrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.69’da 12DBİ00-ALTiN kesici takımının 30 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 30 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Bu yüzeylerde kuru kesme şartları altında plastik deformasyonlar meydana gelmiştir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölgede kesici takımın uç kısmından kırıldığı görülebilmektedir.

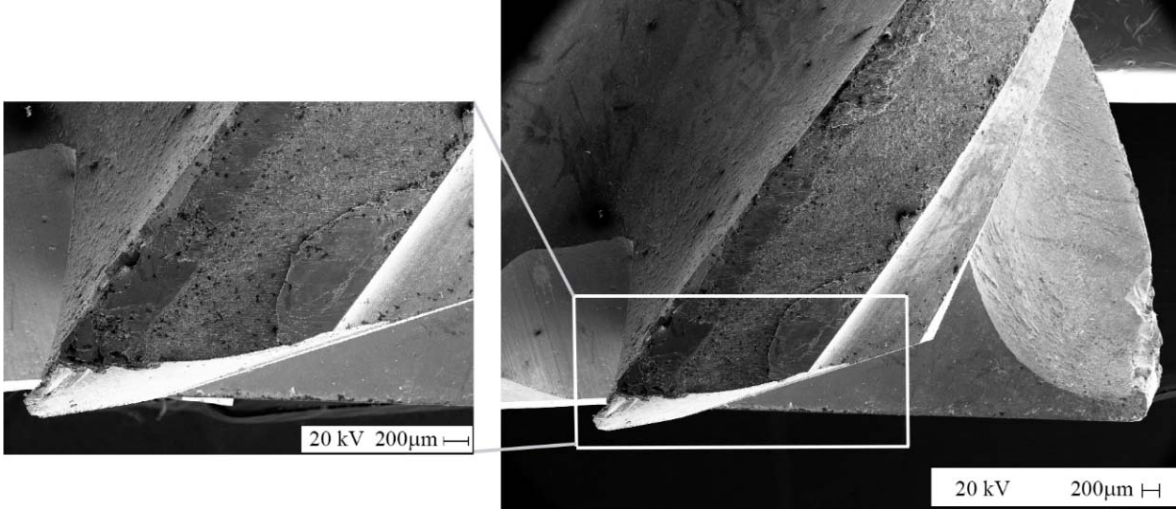


Şekil 7.69. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBI00-AlTiN kesici takımına ait SEM analizleri.



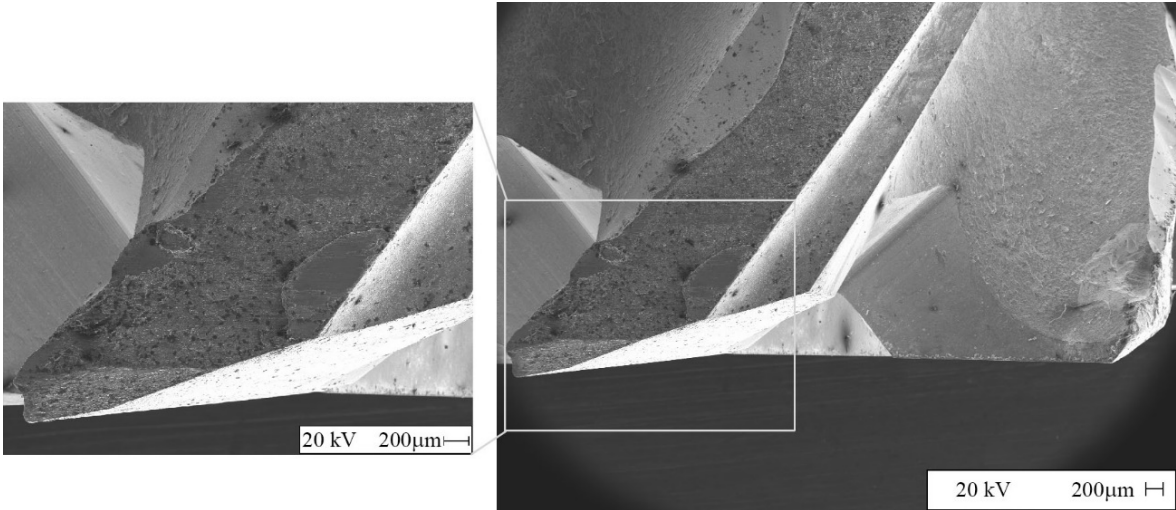
Şekil 7.70. Performans testleri sonrasında aşınan 12SBİ36-kaplamasız takıma ait SEM analizleri.

Şekil 7.70'de 12SBİ36-kaplamasız kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmemesinden dolayı kullanılabilir durumdadır. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölgede kesici takımın serbest kesme kenarında talaş yığılması görülmektedir.



Şekil 7.71. Performans testleri sonrasında aşınan 12SBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM analizleri.

Şekil 7.71’de 12SBİ36-AlCrN kesici takımının 40 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 40 kademe sonrasında kesici uça yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Taramalı elektron mikroskop görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölgede kesici takımın uç kısmından kırıldığı görülebilmektedir.



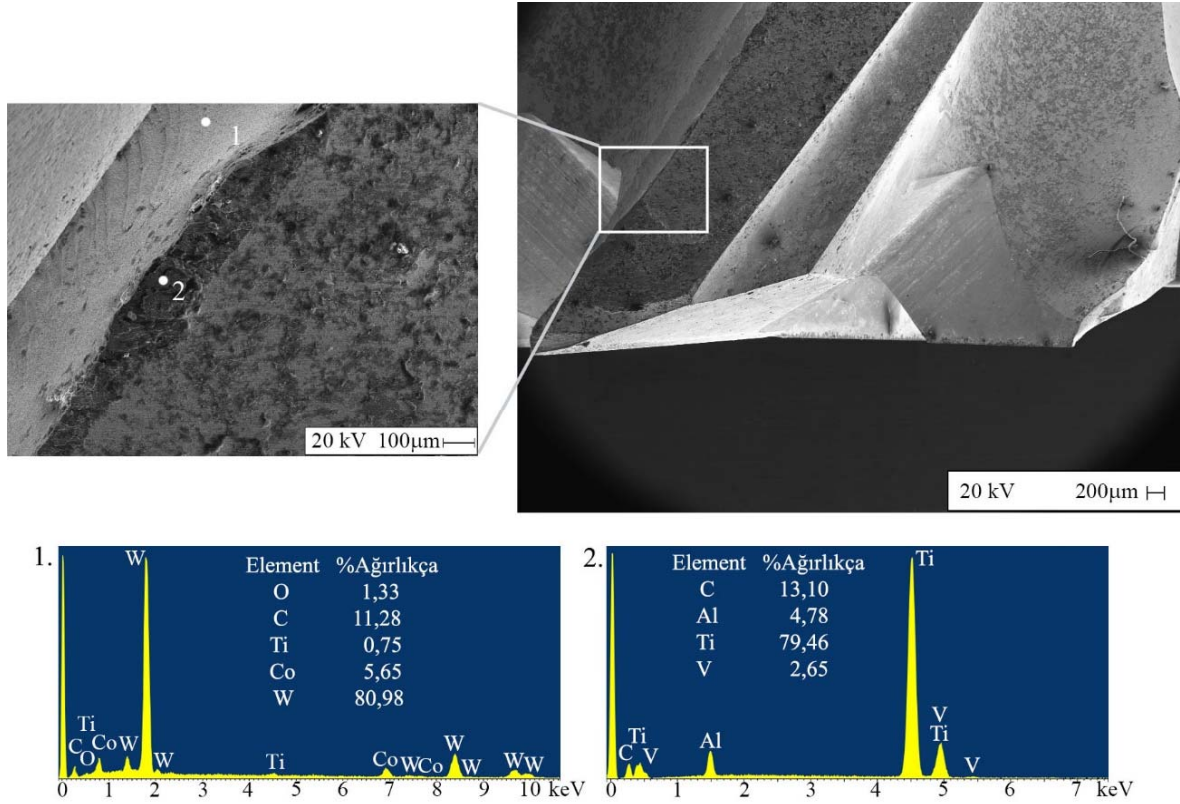
Şekil 7.72. Performans testleri sonrasında aşınan 12SBİ36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.72’de 12SBİ36-AlTiN kaplamalı kesici takımın 70 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 70 kademe sonrasında kesici uça yüksek oranda

deformasyon meydana gelmesinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici ucun uç bölgesinin fazla deformasyona uğramadığı görülmektedir. Yaklaşık olarak kesme derinliği mesafesinde başlayan bir parça kopması görülmektedir. Bu bölgede meydana gelen gerilmeler yüzünden çentik aşınmasının başladığı ve çentik kısmında biriken talaş yüzünden kesme kenarından parça kopmasının olduğu söylenebilir.

Şekil 7.73’de 12DBİ36-kaplamasız kesici takımının 80 kademe sonrasına ait detaylı incelemesi yer almaktadır. 80 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Bu yüzeylerde kuru kesme şartları altında plastik deformasyonlar meydana gelmiştir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede serbest kesme yüzeyi boyunca talaş yığılması sonucunda serbest kesme kenarı boyunca kesici takımdan parça kopması görülmektedir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1 numaralı noktadaki analize bakıldığında %0,75 Ti, %80,98 W, %5,65 Co, %1,33 O ve %11,28 C belirlenmiştir. Bu analiz neticesinde bu bölgeden parça kopması ile kesici takımı oluşturan elementlerin elde edildiği anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra Ti elementinin de mevcut oluşu kopma meydana geldikten sonra bir miktarda bu bölgeye talaş sıvandığı söylenebilir. 2 numaralı noktadaki analiz incelendiğinde ise %79,46 Ti, %4,78 Al, %2,65 V ve %13,10 C görülmüştür. Bu analiz serbest kesme yüzeyine yakın bir bölgeden alınmıştır. Bu bölgede talaş sıvanmasının meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C elementine rastlanmıştır.

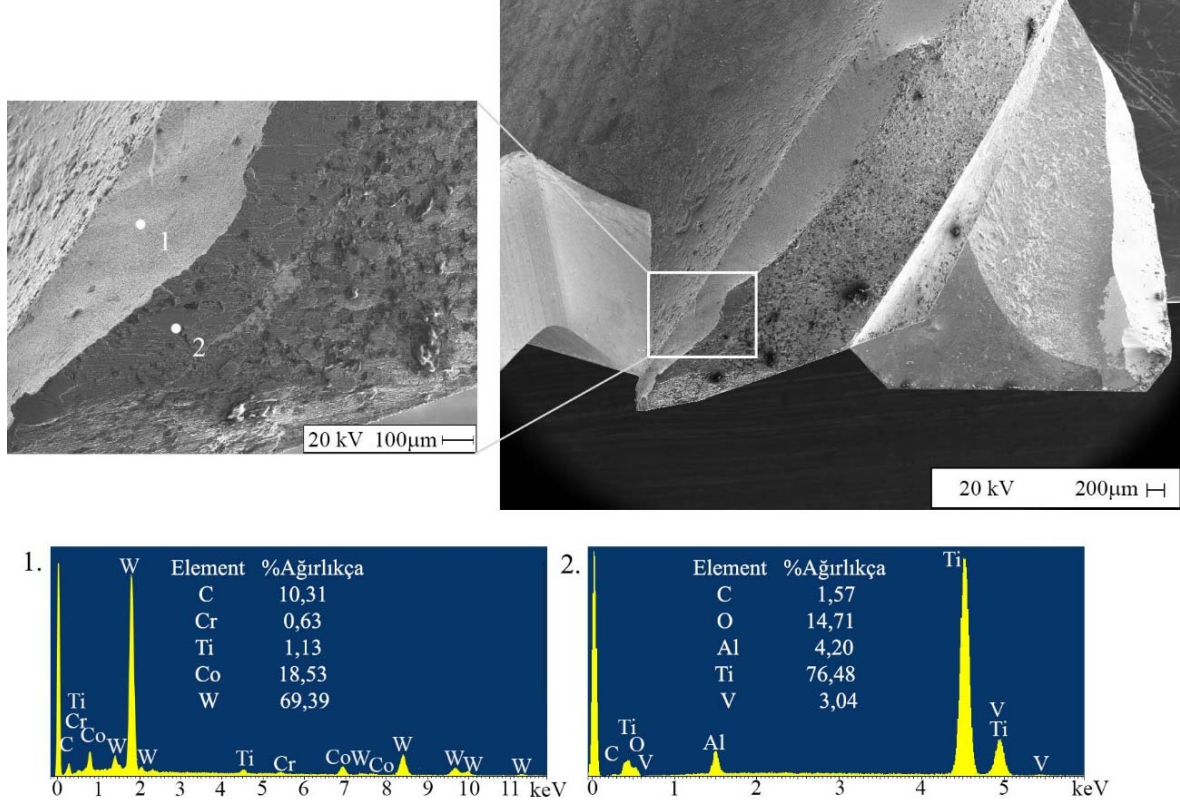
Kesici takımlara ait aşınma görüntüleri ve EDS analizleri incelendiğinde hemen hemen bütün testlerde kesme derinliği bölgesinde kesici takımda çentik aşınması görülmektedir. Ti6Al4V titanyum alaşımının WC-Co kesici takımlar ile frezelemesi esnasında meydana gelen aşınma mekanizmaları; çentik aşınması, kesici uçta küçük parçaların kopması, takım ucunun kırılması ve serbest kesme yüzeyinde talaş birikmesi şeklinde sıralanabilir. Kesici uçta kesme derinliğinde meydana gelen çentik aşınmasının ise yapılan deneyler sonrasında takım ömrünü etkileyen baskın mekanizma olduğu söylenebilir.



Şekil 7.73. Performans testleri sonrasında aşınan 12DB136-kaplamasız kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

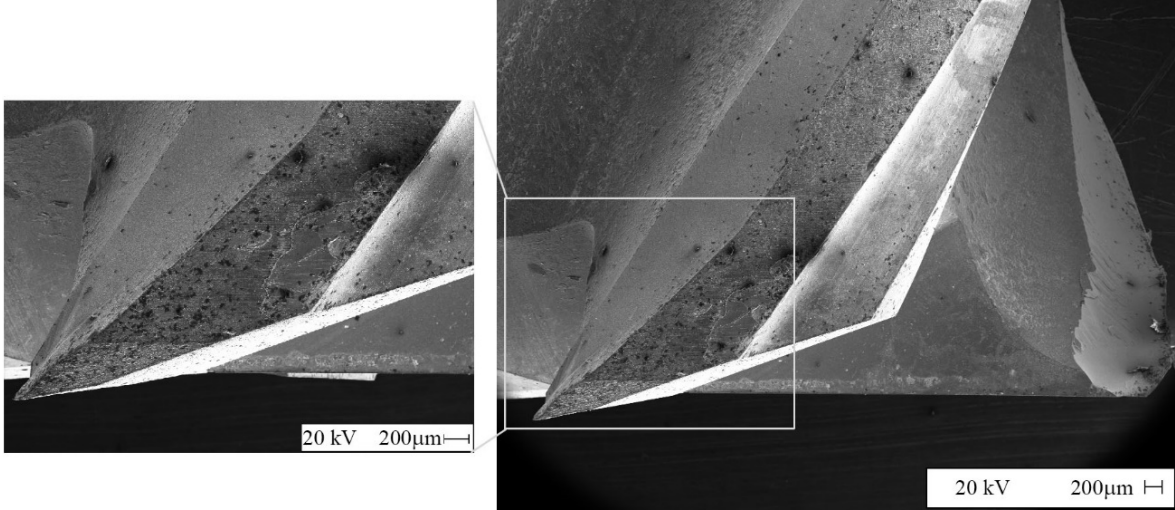
Şekil 7.74'te 12DB136-AlCrN kaplamalı kesici takımına ait 70 kademe sonra detaylı incelemesi yer almaktadır. 70 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Kesici takımın serbest kesme yüzeyinin uç kısmından parça koptuğu görülmektedir. Taramalı elektron mikroskop görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede kesme kenarı hattı boyunca kesici kenardan parça koptuğu görülmektedir. Detay görüntü üzerinde iki farklı bölgeden EDS analizi yapılmıştır. 1 numaralı noktadaki analize bakıldığında %1,13 Ti, %0,63 Cr, %10,31 C, %18,53 Co ve %69,39 W belirlenmiştir. Bu bölgede yüksek oranda kesici takım malzemesi içerisinde yer alan elementlerin olduğu belirlenmiştir. Kesme kenarından parça kopması ile yüzeydeki kaplamanın da kalkması sonucunda kesici takımı oluşturan malzeme yüzeye çıkmıştır. 2. noktadaki analiz incelendiğinde ise %76,48 Ti, %4,2 Al, %3,04 V, %14,71 O ve %1,57 C görülmüştür. Bu analiz serbest kesme yüzeyine yakın bir bölgeden alınmıştır. Analiz sonucunda serbest yüzeye sıvanmış titanyum alaşımını oluşturan elementlere rastlanmıştır. Talaşta ve kaplamada yer alan Al elementinin yüksek sıcaklıklarda oksitlenmesi sonucunda

EDS analizinde O elementine rastlandığı düşünülmektedir. Ayrıca yine yüksek sıcaklık nedeniyle yanmanın sonucunda C elementine rastlanmıştır.



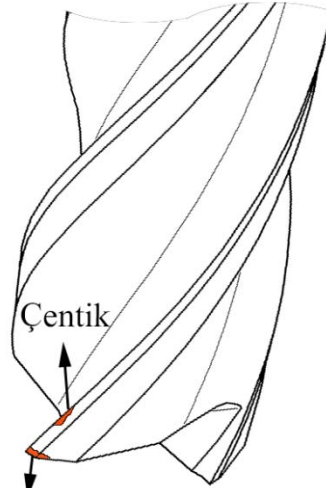
Şekil 7.74. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ36-AlCrN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

Şekil 7.75'te 12DBİ36-AlTiN kaplamalı kesici takımına ait 70 kademe sonra detaylı incelemesi yer almaktadır. 70 kademe sonrasında kesici uçta yüksek oranda deformasyon meydana gelmesinden dolayı uç kullanılabilir durumda değildir. Kesici takıma ait serbest kesme yüzeyi ve talaş yüzeyi görülmektedir. Kesici takımın serbest kesme ve talaş yüzeylerinin uç kısmından parça koptuğu görülmektedir. SEM görüntüsünde talaşın kaldırıldığı bölgenin detayı da verilmiştir. Detayın verildiği bölge paso derinliğine denk gelen bölgedir. Bu bölgede kesme kenarı hattı boyunca kesici kenardan parça koptuğu görülmektedir.



Şekil 7.75. Performans testleri sonrasında aşınan 12DBİ36-AlTiN kesici takımına ait SEM ve EDS analizleri.

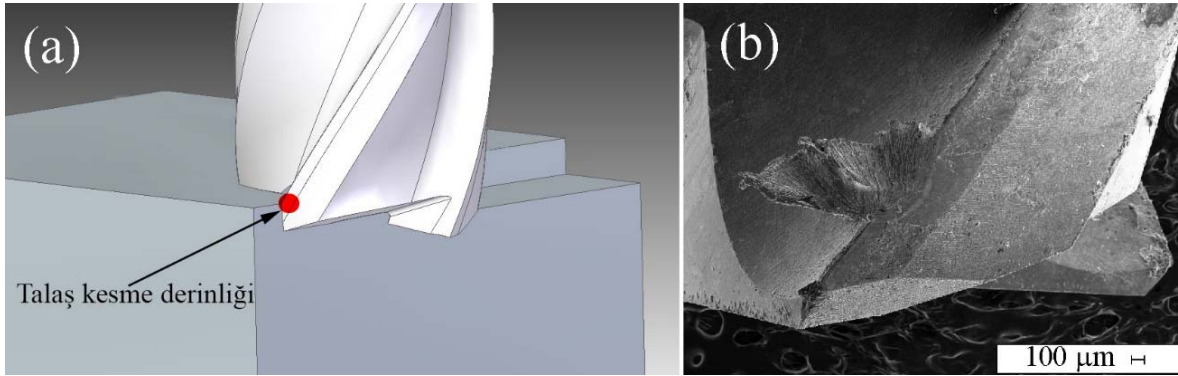
Tornalama ve delik delme işlemlerinden farklı olarak frezeleme işleminde kesici takımın ömrü, kesici ucunda meydana gelen çatlak, pullanma ve kırıklara bağlıdır. Bunun sebebi frezelemede kesici takımın kesici ucu iş parçasına birçok defa temas edip temasını kesmektedir (Aykut vd., 2007). Şekil 7.76'da frezeleme esnasında kesici takımda meydana gelen kusurların şematik çizimi verilmiştir.



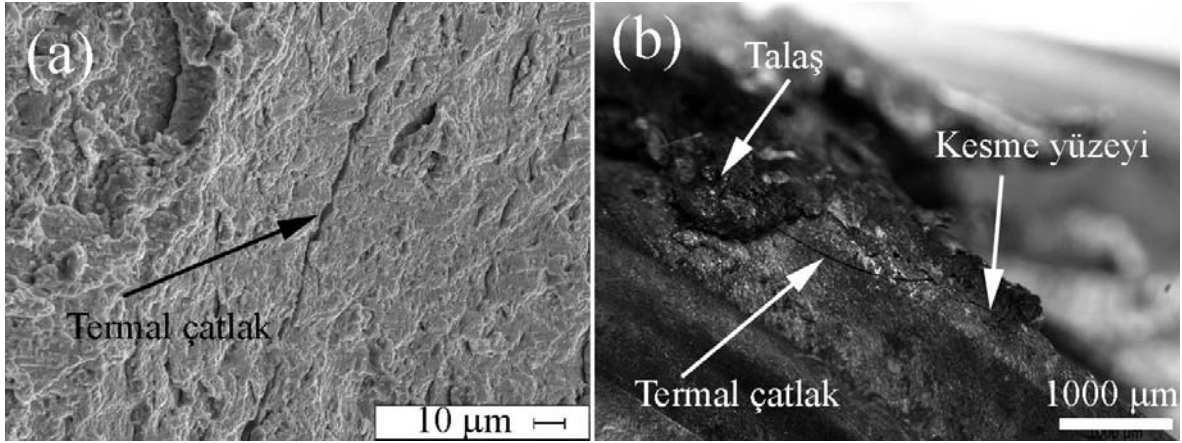
Kesici ucun kırılması

Şekil 7.76. Kesici takımların Ti6Al4V alaşımını frezelemesi esnasında kesici takımlarda meydana gelen kusurların şematik gösterilmesi.

Kasim vd. (2013) yaptıkları çalışmada kesme derinliğinin olduğu bölgede maksimum talaş kalınlığının oluştuğunu belirtmişlerdir. Kesici takım üzerinde meydana gelen gerilme ile bu bölgede talaş yığılması meydana geleceğini belirtmişlerdir. Frezeleme işleminde parmak freze üzerinde oluşan gerilme bölgesini gösteren şematik çizim Şekil 7.77a'da verilmiştir. Kesme derinliğinde meydana gelen talaş yığılması ise Şekil 7.77b'de gösterilmiştir. Kesme derinliğinde meydana gelen talaş yapışması, frezeleme işlemi devam ederken o bölgeden kopabilmektedir. Özellikle talaş ile kesici takım arasındaki sıcaklık farklılığından ötürü bu yapışmanın olduğu kısımlarda termal çatlaklar meydana gelebilmektedir. Şekil 7.78'de frezeleme deneyleri esnasında tespit edilmiş termal çatlaklara örnek şekiller verilmiştir. Bu termal çatlakların olduğu kısımlardan talaş yığılmasının koparak ayrılması daha kolay olacaktır. Fakat talaş yığılmasının yüzeyden ayrılması esnasında kesici takıma sıcaklığın etkisi ile kaynadığından, kesici takımdan da bir parça kopabilmektedir. Kesme derinliğinde karşılaşılan bu durum çentik aşınması olarak nitelendirilmektedir. Bu durumda bu kısımda büyük oranda plastik deformasyon meydana gelerek kesici takım ömrü hızlı bir şekilde azalacaktır. Kesici yüzeyden kopan parçanın etkisi ile oluşan çentik, frezeleme esnasında gerilmeye maruz kalan kesici takımda kesit daralmasına neden olup kesici takımın uç kısımlarının kopmasına da neden olabilecektir.



Şekil 7.77. (a) Kesici takımında frezeleme esnasında gerilme oluşması, (b) kesme derinliğinde oluşan talaş yığılması.

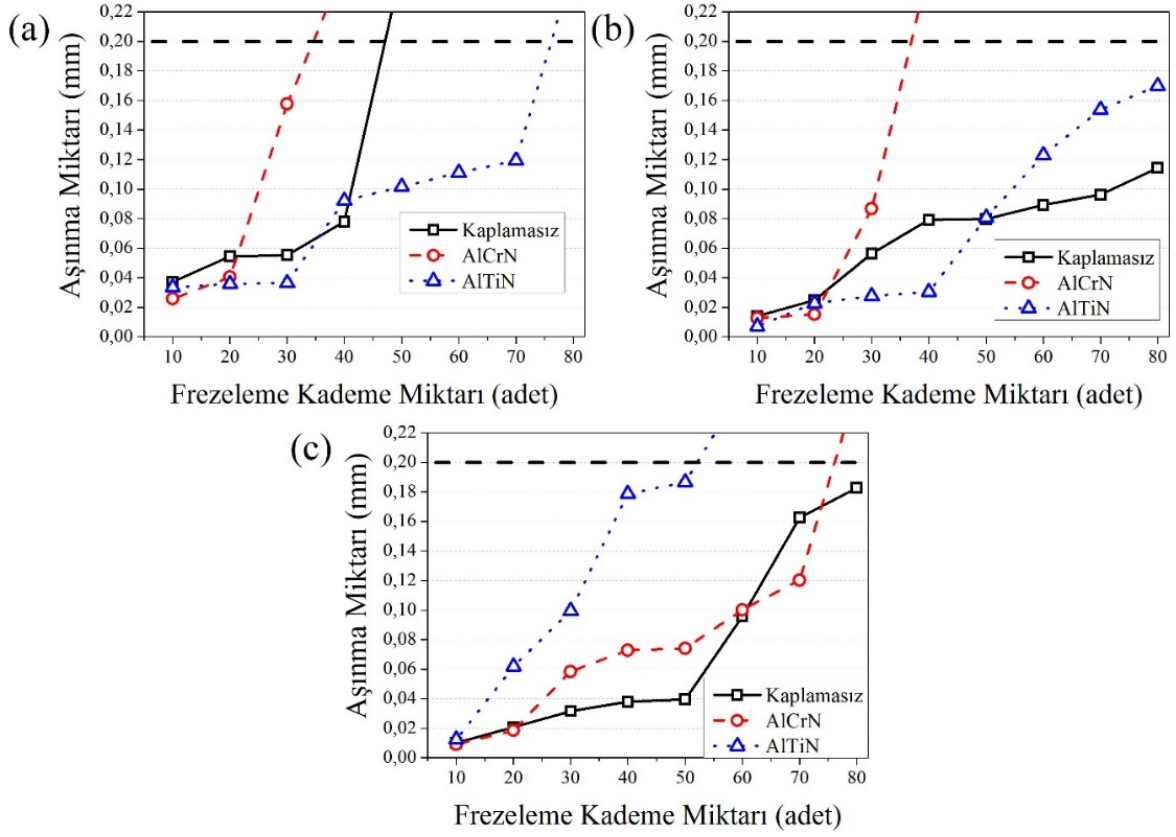


Şekil 7.78. Talaş ile kesici takıma arasında sıcaklık farkından meydana gelen mikro çatlaklar.

7.4.6. Performans test sonuçlarının incelenmesi

Ti6Al4V titanyum alaşımının frezelenmesinin de kesme bölgesinde oluşan zorlu işleme koşulları, kesici takımların ömrünü etkilemektedir. Yapılan ön deneme kesme kuvveti ölçümleri ve X-ışınları kırınım analizleri sonucunda, WC-Co kesici takımlar için 36 saatlik buzul işlem süresi uygun bulunmuştur. Bu süre kapsamında sığ ve derin buzul işlemler uygulanmış olan 3 farklı Co oranı ve 3 farklı kaplama özelliğine sahip kesici takımlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Çizelge 6.4'te durum-2 ile belirtilmiş koşullar altında, kesici takımlar ile işlenen 1-80 kademe frezeleme işlemi sonrasında, kesici uçların mikroskobik karakterizasyonu, kesme kuvveti değişimleri, kesme sıcaklığı ve yüzey kalitesi ile talaş formu analizleri ile performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Şekil 7.79'da görülen eğriler, performans testleri esnasında her on kademe değerinden sonra stereo mikroskop görüntüleri üzerinden hesaplanan aşınma miktarlarını göstermektedir. Aşınma miktarı değerleri her kademe miktarında artış göstermektedir. Kesici takımlar, aşınma kriteri olarak belirlenen 200 µm'den fazla aşındıysa ya da kesici takımın ucunda kopma olduysa frezeleme deneyine devam edilmemiştir.



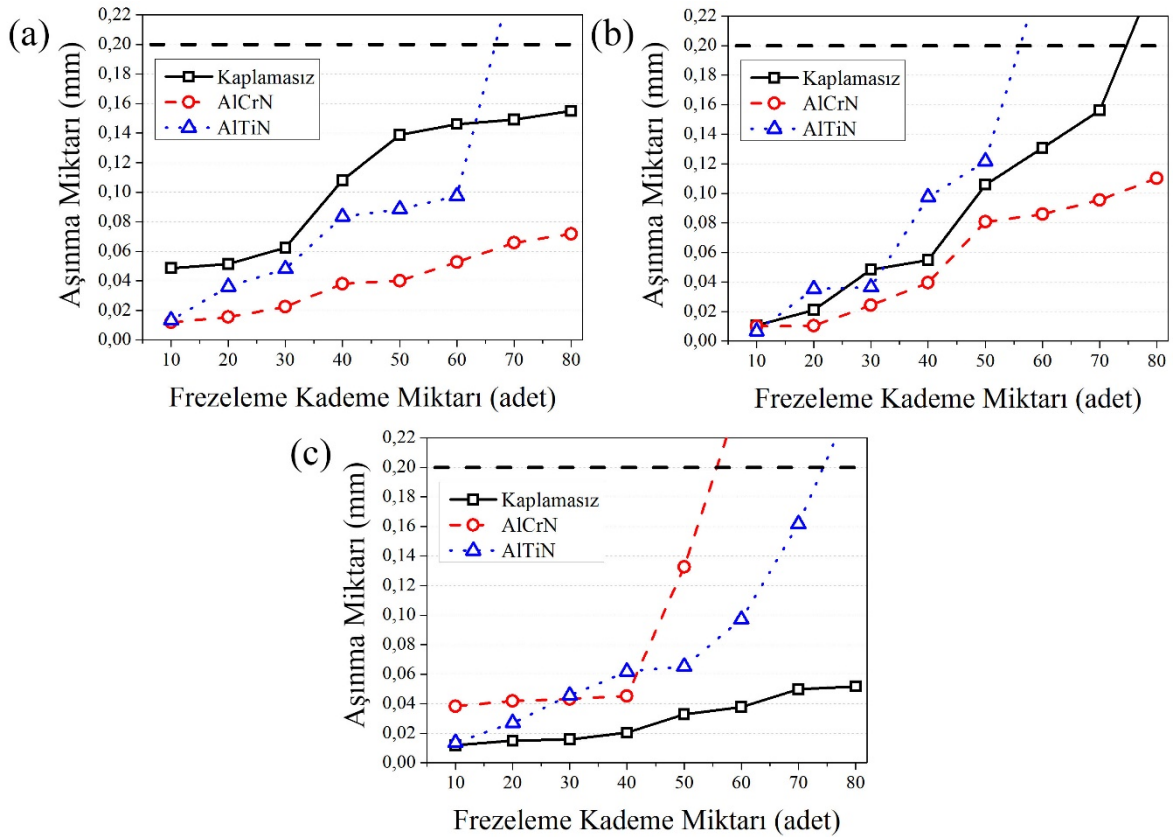
Şekil 7.79. Performans testleri sonrasında %6 Co içeren kesici takımların aşınma miktarları (a) ısıl işlemsiz, (b) SBİ ve (c) DBİ.

Şekil 7.79a'da 6DBİ00 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. Kaplamasız takımın 50 kademe ve AlCrN kaplamalı takım 40 kademe ve AlTiN kaplamalı takımın ise 80 kademedен sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların 10 kademedен sonraki aşınma miktarları sırasıyla 37 μm , 25 μm , 33 μm 'dir. Başlangıçta AlCrN kaplamalı takımın en az aşındığı görülmesine rağmen 30. kademeде 157 μm 'lik bir aşınma meydana gelmiş ve kademe 40'ta kesici uç kırılmıştır. Kaplamasız takım ise kademe 40 sonrasında ölçülen aşınma değeri 77 μm 'dir. Kademe 50'den sonra ise 200 μm 'nin üzerinde bir aşınma meydana gelmiştir. AlTiN kaplamalı takımın kademe 30 sonrasında ölçülen aşınma değeri 36 μm iken kademe 40'ta bu değeri 92 μm 'ye çıkmaktadır. Kademe 70'te 119 μm olan aşınma değeri kademe 80 olduğunda 200 μm 'nin üzerine çıkmıştır. Şekil 7.79b'de 6SBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. Kaplamasız ve AlTiN kaplamalı takımın 80 kademe sonrasında aşınma kriterinden daha az miktarda aşındığı görülmektedir. AlCrN kaplamalı takımın ise 40 kademedен sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların

10 kademeden sonraki aşınma miktarları sırasıyla 14 μm , 12 μm , 7 μm 'dir. Başlangıçta AlCrN kaplamalı takımın az aşındığı görülmesine rağmen 30. kademe 86 μm 'lik bir aşınma meydana gelmiş ve kademe 40'ta kesici uç kırılmıştır. Kaplamasız takım ise kademe 80'e kadar düzgün artan bir eğilim göstermiştir. Kademe 80 sonrasında ölçülen aşınma değeri 114 μm 'dir. AlTiN kaplamalı takımın kademe 40 sonrasında ölçülen aşınma değeri 30 μm iken kademe 40'ta bu değer 81 μm 'ye çıkmaktadır. Kademe 40'tan sonra hızlı artan bir eğilim göstererek kademe 80'de ölçülen aşınma miktarı 169 μm 'dir. Şekil 7.79c'de 6DBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. Kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında aşınma kriterinden daha az miktarda aşındığı görülmektedir. AlCrN kaplamalı takımın 80 kademedен AlTiN kaplamalı takımın ise 60 kademedен sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların 10 kademedен sonraki aşınma miktarları sırasıyla 10 μm , 9 μm , 12 μm 'dir. AlTiN kaplamalı takım hızlı artan aşınma eğilimi göstererek kademe 50'de ki aşınma miktarı 186 μm ölçülmüş ve kademe 60'da aşınma kriterinin üzerinde bir değer ile kesici takım kullanılamaz duruma gelmiştir. AlCrN kaplamalı takımın kademe 70'e kadar belirli bir eğim ile aşınmasında artış görülürken, kademe 70'te ki aşınma değeri 120 μm 'dir. Kademe 70'ten sonra 200 μm 'nin üzerinde bir aşınma değeri ile takım kullanılamaz duruma gelmiştir. Kaplamasız takım ise kademe 50'ye kadar az miktarda aşınma değerinde bir artış görülmüştür ve kademe 50'de ölçülen aşınma değeri 39 μm 'dir. Kademe 50'den sonra artan bir ivme ile aşınma eğilimi göstermiş ve kademe 80 sonunda ölçülen aşınma değeri 182 μm olmuştur.

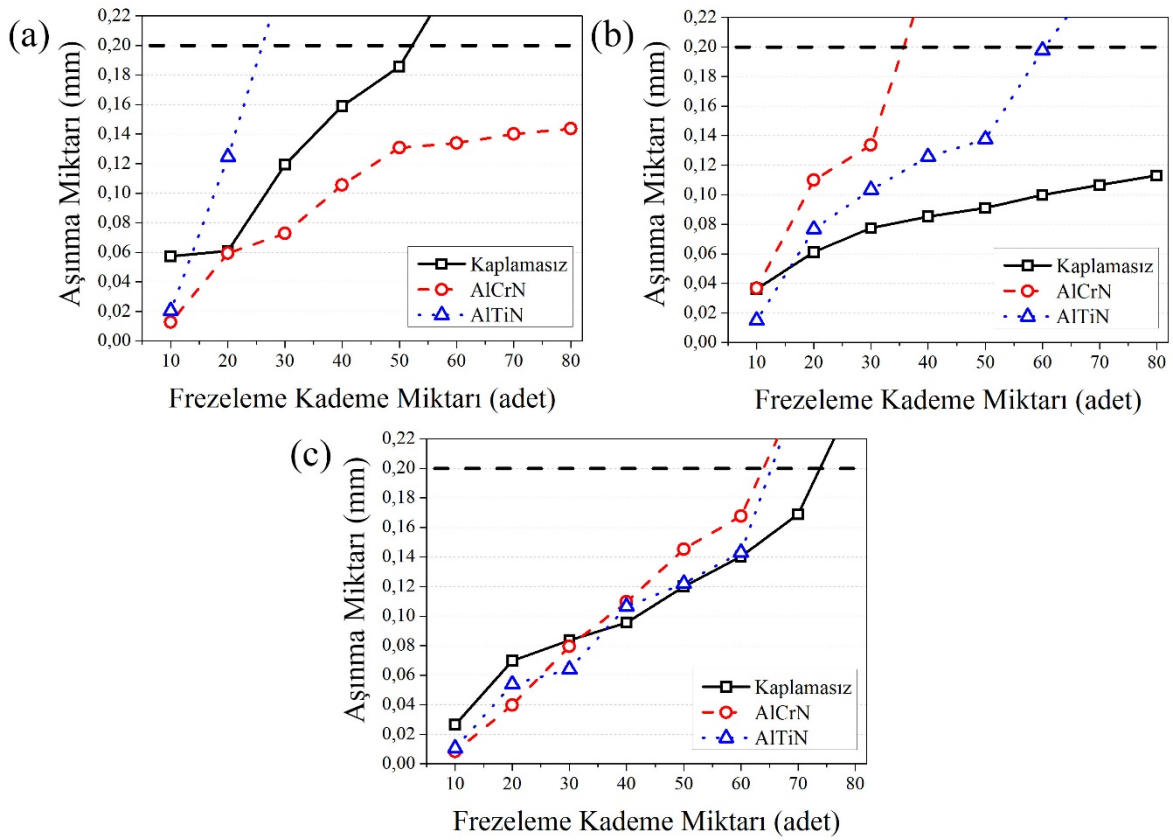
Şekil 7.80a'da 10DBİ00 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. AlTiN kaplamalı takımın 70 kademe sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız ve AlCrN kaplamalı takımın ise 80 kademe sonrasında aşınma kriterinden daha az miktarda aşındığı görülmektedir. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların 10 kademedен sonraki aşınma miktarları sırasıyla 48 μm , 11 μm , 13 μm 'dir. Başlangıçta AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlar düşük aşınma değeri göstermişlerdir. AlTiN kaplamalı takım kademe 60'a kadar belirli bir eğim ile aşınma göstermiştir ve kademe 60'ta ki aşınma değeri 97 μm 'dir. Kademe 70'ten sonra ise 200 μm 'nin üzerinde bir aşınma meydana gelmiştir. Kaplamasız takım kademe 30'a kadar aşınma değeri nispeten yatay seyretmişken kademe 30 ile 50 arasında aşınma değerinde hızlı bir artış görülmektedir. Kademe 50'den sonra yine nispeten yatay bir eğri sergilemiş olup

kademe 80'de ki aşınma miktarı 154 μm 'dir. AlCrN kaplamalı takım kademe 10'dan kademe 80'e kadar belirli bir eğim ile aşınma değerinde artış görülmektedir. Kademe 80'de ki aşınma değeri ise 72 μm 'dir. Şekil 7.80b'de 10SBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. AlCrN kaplamalı takımın 80 kademe sonrasında aşınma kriterinden daha az miktarda aşındığı görülmektedir. AlTiN kaplamalı takımın 60 kaplamasız takımın ise 80 kademedan sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların 10 kademedan sonraki aşınma miktarları sırasıyla 11 μm , 10 μm , 7 μm 'dir. AlTiN kaplamalı takımın kademe 50 sonrasında ölçülen aşınma değeri 121 μm iken kademe 60'ta bu değer aşınma kriteri üzerine çıkmaktadır. Kaplamasız takım ise kademe 70'e kadar düzgün artan bir eğilim göstermiştir. Kademe 70 sonrasında ölçülen aşınma değeri 156 μm iken kademe 80'den sonra aşınma kriteri üzerinde çıkmıştır. AlCrN kaplamalı takımın kademe 80'e kadar belirli bir eğim ile aşınma değerinde artış görülmektedir. Kademe 80'de ölçülen aşınma miktarı 110 μm 'dir.



Şekil 7.80. Performans testleri sonrasında %10 Co içeren kesici takımların aşınma miktarları (a) ısıl işlemsiz, (b) SBİ ve (c) DBİ.

Şekil 7.80c'de 10DBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımın aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. Kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında aşınma kriterinden daha az miktarda aşındığı görülmektedir. AlCrN ve AlTiN kaplamalı takım sırasıyla 60 ve 80 kademedan sonra kırıldıkları görülmüştür. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımın 10 kademedan sonraki aşınma miktarları sırasıyla 12 μm , 38 μm , 14 μm 'dir. AlCrN kaplamalı takım nispeten yatay bir eğri çizerek kademe 40'a kadar belirli bir eğim ile aşınma değeri artış göstererek kademe 40'tan sonraki aşınma değeri 45 μm iken kademe 50'de bu değer 132 μm 'ye yükselmektedir. Kademe 60'tan sonra ise aşınma kriteri üzerinde bir aşınma tespit edilmiştir. AlTiN kaplamalı takım ise kademe 50'ye kadar belirli bir eğim ile aşınma değerinde artış göstermişken kademe 50'den sonra artan bir eğim ile kademe 80'den sonra aşınma kriteri üzerinde bir aşınma tespit edilmiştir. Kaplamasız takım ise oldukça düşük bir eğim ile kademe 80'e kadar artan bir aşınma eğilimi gösterirken kademe 80'de ki aşınma değeri ise 52 μm 'dir. Yapılan deneyler arasındaki en az aşınma gösteren kesici takımıdır.



Şekil 7.81. Performans testleri sonrasında %12 Co içeren kesici takımın aşınma miktarları (a) ısıl işlemsiz, (b) SBI ve (c) DBI.

Şekil 7.81a'da 12DBİ00 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. AlTiN kaplamalı takımın 30 kademe sonrasında kaplamasız takımın ise 60 kademe sonrasında kırıldığı görülmüştür. AlCrN kaplamalı takımın ise 80 kademe sonrasında aşınma kriterinden daha az miktarda aşındığı görülmektedir. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların 10 kademedeki sonraki aşınma miktarları sırasıyla 57 µm, 13 µm, 20 µm'dir. Başlangıçta AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlar düşük aşınma değeri göstermişlerdir. AlTiN kaplamalı takım kademe 30'a kadar hızlı artış gösteren bir eğilim ile aşınma göstermiştir. Kademe 30'dan sonra ise 200 µm'nin üzerinde bir aşınma meydana gelmiştir. Kaplamasız takım kademe 60'a kadar aşınma değeri belirli bir hızda ilerlemiştir. Kademe 30'dan sonra ise 200 µm'nin üzerinde bir aşınma meydana gelmiştir. AlCrN kaplamalı takım kademe 10'dan kademe 50'ye kadar belirli bir eğim ile aşınma değerinde artış görülmektedir. Kademe 50'de ki aşınma değeri ise 130 µm'dir. Kademe 50'den kademe 80'e kadar nispeten yatay bir eğilim göstermiş ve kademe 80'de ki aşınma değeri 144 µm'dir. Şekil 7.81b'de 12SBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. Kaplamasız takımın 80 kademe sonrasında aşınma kriterinden daha az miktarda aşındığı görülmektedir. AlCrN kaplamalı takımın 40, AlTiN kaplamalı takımın ise 70 kademedeki sonra kırıldığı görülmüştür. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların 10 kademedeki sonraki aşınma miktarları sırasıyla 36 µm, 37 µm, 15 µm'dir. AlCrN kaplamalı takım hızlı bir şekilde aşınarak kademe 40 sonrasında aşınma değeri 200 µm'nin üzerindedir. Kaplamasız takım ise kademe 80'e kadar düzgün artan bir eğilim göstermiştir. Kademe 80 sonrasında ölçülen aşınma değeri 112 µm'dir. Şekil 7.81c'de 12DBİ36 durumuna ait kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların aşınma değerlerinin eğrileri yer almaktadır. Kaplamasız ve AlCrN, AlTiN kaplamalı takımlar sırasıyla 80, 70 ve 70 kademedeki sonra kırıldıkları görülmüştür. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımların 10 kademedeki sonraki aşınma miktarları sırasıyla 26 µm, 8 µm, 11 µm'dir. Kaplamasız, AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlar benzer eğilim göstererek belirtilen kademe değerlerinde aşınma kriterinin üzerinde aşınma göstermişlerdir.

Performans testleri; kesme kuvvetleri, kesme sıcaklıkları, iş parçasının yüzey özellikleri, talaş özellikleri ve kesici takımın aşınma profilleri incelemeleri ile tamamlanmıştır. Bahsi geçen analizler, birbirleri ile uyumlu ve birbirlerini doğrular sonuçlar çıkarmıştır. Uygulanan buzul işlemler sonucunda kaplamalı ve kaplamasız takımlarda

performans artışı sağlanmıştır. Özellikle kaplamasız kesici takımlara buzul işlem uygulanması ile kaplamalı takımlardan performans açısından daha etkili olduğu durumlar söz konusudur. Bu durumda, sadece yüzeyde koruma sağlayan pahalı kaplamalar yerine malzemenin bütününe etki eden buzul işlem ile daha verimli bir talaşlı imalat yapmak mümkün olacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ti6Al4V titanyum alaşımları özellikle havacılık endüstrisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olmasının yanında işlenebilirliği zor malzeme grubundadır. Titanyum alaşımlarının talaşlı imalarında en çok tercih edilen kesici takım malzemesi ise sinter karbürlerdir. Özellikle havacılık endüstrisinde belli malzeme gruplarının talaşlı imalatında kaplamasız sinter karbürler tercih edilmektedir. Kaplamasız takımların tercih edilmesinin sebebi, talaşlı imalat esnasında yüksek sıcaklık ve plastik deformasyon meydana gelmesi sonucunda kesici takım üzerindeki kaplamadan işlenen parça üzerine malzeme geçişi olmaktadır ve bu durumda da olumsuz koşullar ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca kaplamalı takımların kaplama kısmında hasar meydana geldiğinde kesici takım kullanılamaz duruma gelmekteyken kaplamasız takımlarda ise kesici uç taşlanarak tekrar tekrar bilenebilir ve kesici takım uzun süreler kullanılabilir. Bu çalışmada, Ti6Al4V titanyum alaşımının frezelemesinde kullanılacak WC-Co kesici takımlara buzul işlem uygulanması ile titanyum alaşımının işlenebilirliğinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, üç farklı %Co oranına (%6-10-12) sahip ve üç farklı kaplama (kaplamasız, AlCrN, AlTiN) türüne sahip kesici takımlar ele alınmıştır. Optimum buzul işlem süresinin belirlenmesi amacıyla farklı sürelerde (12, 24, 36 saat) buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış numuneler arasında değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda 36 saat süre ile uygulanan buzul işlemin en iyi performansı sergilediği tespit edilmiştir. Buzul işlemin etkisinin araştırılması amacıyla sığ buzul işlem ve derin buzul işlem uygulanmış ile buzul işlem uygulanmamış numuneler arasında performans değerlendirmesi yapılmıştır. Performans değerlendirmeleri, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, talaş morfolojisi, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma miktarı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca uygulanan buzul işlemin performans üzerindeki etkilerinin karakterizasyonu için taramalı elektron mikroskobu, geçirimli elektron mikroskobu, diferansiyel taramalı kalorimetri ile ısıl ağırlık analizleri, X-ışınları kırınım deseni incelemeleri detaylı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Farklı sürelerde ve sıcaklıklarda uygulanan buzul işlem sonrasında kesici takımların mikro yapılarında belirgin bir değişim görülmemiştir. Mikro yapıda sadece α fazı (WC) ve β fazı (Co) mevcuttur. %6 ve %10 Co içeren kesici takımların WC tane boyutu 600 nm ve

%12 Co içeren kesici takımın ise 350 nm'dir. Buzul işlem sonrasında bu değerlerde bir değişim meydana gelememiştir.

Derin buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış %10 Co oranına sahip kesici takımların geçirimli elektron mikroskobu incelemeleri yapılmıştır. İncelemeler sonucunda, yapısında taramalı elektron mikroskobu incelemelerinde elde edilen fazların mevcut olduğu belirlenmiştir. Ayrıca seçilmiş alan kırınım deseni incelemelerinde ise, WC, α -Co ve ϵ -Co'a ait belirli düzlemlerden kırınım desenleri elde edilmiştir. Buzul işlem uygulanması ile yapıdaki mevcut fazların türünün değişmediği görülmektedir.

Farklı sürelerde ve sıcaklıklarda uygulanan buzul işlemler sonrasında X-ışınları kırınım deseni incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca rietveld analizleride uygulanarak yapıda meydana gelen değişimlerin sayısal değerleri elde edilmiştir. Buzul işlem uygulanmamış numunelerde ϵ -Co'a ait değerler buzul işlem uygulanmış numunelerdeki ϵ -Co değerlerinden düşüktür. Buzul işlem uygulanması ile Co bileşeninde martenzitik dönüşümün (α -Co $\rightarrow\epsilon$ -Co) meydana geldiği belirlenmiştir. Buzul işlem sonrasında tavlanan numunelerde ise dönüşen ϵ -Co oranında azalmanın olduğu belirlenmiştir. Uygulanan buzul işlem süresinin artması ile ϵ -Co miktarının da arttığı görülmüştür.

%10 Co oranına sahip, sığ ve derin buzul işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelere diferansiyel taramalı kalorimetri ile ısı ağırlık analizleri yapılmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetri analizlerinde yaklaşık 420 °C civarında her üç farklı numunede de küçük bir ekzotermik pik olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık α -Co'ın ϵ -Co'a martenzitik dönüşüm sıcaklığının olduğu değerdir. Bu durumda Co bileşeni içerisinde kristalleşmenin gerçekleşmiş olduğu söylenebilir. Isıl ağırlık analizlerinde ise sıcaklığın artması ile yapısal bir bozulmanın olmadığı görülmüştür.

Farklı sıcaklık ve sürelerde gerçekleştirilen buzul işlemler sonrasında yapısında %6 Co içeren numune grubunun ~1800 HV, %10 Co içeren numune grubunun ~1500 HV ve %12 Co içeren numune grubunun ise ~1700 HV mikro sertlik değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Uygulanan buzul işlem süresi ve sıcaklığına bağlı belirgin bir değişimin olmadığı görülmüştür. Aynı şekilde kırılma tokluğu değerleri ise %6, %10 ve %12 Co oranına sahip malzemelerin sırasıyla ~9 [MNm^{-3/2}], ~11 [MNm^{-3/2}] ve ~9 [MNm^{-3/2}]’dir.

Mikro sertlik sonuçlarına benzer şekilde buzul işlem süresi ve sıcaklığına bağlı kırılma tokluğu değerlerinde belirgin bir değişim görülmemiştir.

Farklı sürelerde derin buzul işlem uygulanmış %10 Co oranına sahip numuneler ile buzul işlem uygulanmamış numuneler triboloji testlerinde kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar sonucunda 12, 24 ve 36 saat derin buzul işlem uygulanmış numunelerin sırasıyla (0,249), (0,232) ve (0,193) ortalama sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Buzul işlem uygulanmamış numunenin ortalama sürtünme katsayısı ise (0,199)'dur. Buzul işlem uygulama süresinin artması ile ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. 36 saat buzul işlem uygulanan numunenin ise buzul işlem uygulanmamış numuneye göre daha düşük sürtünme özelliği gösterdiği belirlenmiştir.

Performans açısından en uygun buzul işlem süresinin belirlenmesinde ön deneme frezeleme deneyleri yapılmıştır. Frezeleme deneylerinde kesme kuvvetleri ölçülmüş ve buzul işlem süresinin artması ile özellikle kaplamasız takımlarda kesme kuvvetlerinde düşüş görülmüştür. Performans deneylerinde ise sığ buzul işlem, derin buzul işlem ve buzul işlemsiz durumlar ele alınmıştır. Tüm durumlar incelendiğinde, kesici takımlar üzerinde buzul işlemin kesme kuvvetleri üzerinde iyileştirici özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Bu sayede kaplanmış takımlar ile rekabet edebilecek nitelikte kesici takımlar elde etmek mümkündür. Özellikle %10 Co içeren kaplamasız takımın derin buzul işlem uygulanmış durumu, buzul işlem uygulanmamış duruma göre %45,5 oranında daha düşük kesme kuvvetine sahiptir.

Kesici takımların kesme sıcaklıkları genel olarak incelendiğinde, kademe miktarı arttıkça kesme sıcaklıklarında artış görülmektedir. Sığ ya da derin buzul işlem uygulanmış numunelerin buzul işlem uygulanmamış numunelere göre kesme sıcaklıkları kıyaslandığında, buzul işlemin kesme sıcaklığının düşmesinde etkili olduğu görülmektedir.

Genel yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde uygulanan buzul işlemin yüzey kalitesine pozitif katkısının olduğu söylenebilir. Ayrıca AlCrN ve AlTiN kaplamalı takımlar incelendiğinde, AlCrN kaplamalı takımın genel olarak AlTiN kaplamalı takıma göre daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Frezeleme deneyleri sonrasında elde edilen talaş formları incelendiğinde, kesme kuvveti ve sıcaklığının artması ile uzun ve deforme olmuş talaş formu görülmektedir.

Performans testleri sonrasında kesici takımların kesici kenarları incelendiğinde, baskın aşınma tipinin çentik aşınması olduğu görülmüştür. Bunun yanında çatlama, yığıntı talaş ve kesici ucun kırılması şeklindeki oluşumlarda meydana gelmiştir.

Uygulanan buzul işlemler sonucunda kaplamalı ve kaplamasız takımlarda, takım ömründe artış sağlanmıştır. Özellikle kaplamasız kesici takımlara buzul işlem uygulanması ile kaplamalı takımlardan performans açısından daha etkili olduğu durumlar söz konusudur. Kesme kuvveti, kesme sıcaklığı, talaş morfolojisi, yüzey kalitesi ve aşınma miktarı değerleri açısından en iyi durum 10DBİ36 kodlu numunede elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler kuru şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Kesme sıcaklıkları incelendiğinde 500 °C'nin üzerinde değerler elde edilmiştir. Literatür kısmında da belirtildiği üzere, WC-Co kesici takımlarının içerisindeki Co bileşeninde iki adet kristal kafes yapısı mevcuttur. Bunlardan ϵ -Co oda sıcaklığında kararlı durumdadır ve α -Co ise 420 °C'nin üzerinde kararlı hale geçmektedir. Yine literatürde belirtildiği üzere, ϵ -Co'nun sürtünme ve termal iletkenlik özellikleri α -Co'ya göre daha iyidir. Bu durumda kesme sıcaklığının yükselmesi ile kesici takımda Co bileşeni içerisinde ϵ -Co'dan α -Co'ya faz dönüşümü söz konusudur. Yüksek sıcaklıkta meydana gelebilecek bu dönüşüm kesici takımların performansını kötü yönde etkileyecektir. Buzul işlem uygulanmış kesici takımlar kullanılarak yapılacak talaşlı imalatta soğutucu bir sıvı ya da ortam kullanılarak yüksek sıcaklıklara çıkılması engellenip kesici takımların performanslarının uzun süreli olması sağlanabilir.

Performans deneyleri 70 m/dk'lık kesme hızında gerçekleştirilmiştir. Daha düşük kesme hızı değerleri kullanılarak oluşacak kesme sıcaklığı değerlerinin de düşmesini sağlayabilir. Bu durumdan takım ömrü etkilenecektir. Takım ömrü değerleri farklı kesme hızı değerlerinde kıyaslanabilir.

Uygulanan buzul işleminden sonra farklı tavlama sıcaklığı ve sürelerinin de uygulanması ile işlenebilirlik deneyleri yapılabilir.

Farklı buzul işlem sıcaklığı ve süreleri uygulanarak kaplamannın buzul işlemden nasıl etkilendiğı üzerinde detaylı incelemeler yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akhbarizadeh, A., Shafyei, A., Golozar, M.A., 2009, Effects of cryogenic treatment on wear behavior of D6 tool steel, *Materials and Design*, 30, 3259-3264.
- Amin, A.K.M.N., Ismail, A.F., Nor Khairusshima, M.K., 2007, Effectiveness of uncoated WC-Co and PCD inserts in end milling of titanium alloy—Ti-6Al-4V, *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193, 147-158.
- Amini, K., Akhbarizadeh, A., Javadpour, S., 2012, Investigating the effect of holding duration on the microstructure of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment, *Vacuum*, 86, 1534-1540.
- Amini, K., Nategh, S., Shafyei, A., Rezaeian, A., 2010, The effect of deep cryogenic treatment on mechanical properties of 80CrMo12 5 tool steel, *International Journal of Iron & Steel Society of Iran*, 7, 12-17.
- Andriya, N., Rao, P.V., Ghosh, S., 2012, Dry Machining of Ti-6Al-4V using PVD Coated TiAlN Tools, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol III., London, U.K.
- An, Q., Wang, C., Xu, J., Liu, P., Chen, M., 2014, Experimental investigation on hard milling of high strength steel using PVD-AlTiN coated cemented carbide tool, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 43, 94-101.
- Anonim, 2015 a, Heat Resistant Super Alloys, Application Guide, Sandvik Coromat, p. 46.
- Anonim, 2015 b, Cemented Carbide - Sandvik new developments and applications, Sandvik Coromat, p. 1-15.
- Anonim, 2017 a, PlusCut, <http://www.helixtools.com/pdf/PC404.pdf>, erişim tarihi: 31.03.2017.
- Anonim, 2017 b, Mitsubishicarbide, http://www.mitsubishicarbide.com/en/technical_information/tec_rotating_tools/tec_head_exchangeable/tec_head_exchangeable_technical/tec_solid_end_mills_terminology, erişim tarihi: 31.03.2017.
- Armendia, M., Garay, A., Iriarte, L.M., Arrazola, P.J., 2010, Comparison of the machinabilities of Ti6Al4V and TIMETAL® 54M using uncoated WC-Co tools, *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 197-203.
- Aykut, Ş., Bağcı, E., Kentli, A., Yazıcıoğlu, O., 2007, Experimental observation of tool wear, cutting forces and chip morphology in face milling of cobalt based süper-alloy with physical vapour deposition coated and uncoated tool, *Materials & Design*, 28, 1880-1888.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Baldissera, P., Delprete, C., 2008, Deep cryogenic treatment: A bibliographic review, *The Open Mechanical Engineering Journal*, 2, 1-11.
- Barron, R.F., 1973, Effect of cryogenic treatment on lathe tool wear, *Progress in Refrigeration Science and Technology*, 1, 529-533.
- Barron, R.F., Mulhern, C.R., 1981, Cryogenic treatment of AISI T-8 and C1045 steels, *Advances in Cryogenic Engineering*, 27, 20.
- Bauer, R., Jäggle, E.A., Baumann, W., Mittemeijer, E.J., 2011, Kinetics of the allotropic hcp–fcc phase transformation in cobalt, *Philosophical Magazine*, 91, 437-457.
- Birmingham, M.J., Kirsch, J., Sun, S., Palanisamy, S., Dargusch M.S., 2011, New observations on tool life, cutting forces and chip morphology in cryogenic machining Ti-6Al-4V, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51, 500-511.
- Birmingham, M.J., Sim, W.M., Kent, D., Gardiner, S., Dargusch, M.S., 2015, Tool life and wear mechanisms in laser assisted milling Ti-6Al-4V, *Wear*, 322-323, 151-163.
- Bolokang, A.S., Phasha, M.J., Motaung, D.E., Bhero, S., 2012, Effect of mechanical milling and cold pressing on Co powder, *Journal of Metallurgy*, 2012, 1-7.
- Bonny, K., De Baets, P., Perez, Y., Vleugels, J., Lauwers, B., 2010, Friction and wear characteristics of WC–Co cemented carbides in dry reciprocating sliding contact, *Wear*, 268, 1504-1517.
- Buckley, D.H., Johnson, R.L., 1966, Friction and wear of hexagonal metals and alloys as related to crystal structure and lattice parameters in vacuum, *ASLE Transactions*, 9, 121-135.
- Campbell, F.C., 2006, Chapter 4 - Titanium, *Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials*, Elsevier Science, Oxford, p. 119-174.
- Cardellini, F., Mazzone, G., 1993, Thermal and structural study of the h.c.p.-to-f.c.c. transformation in cobalt, *Philosophical Magazine A*, 67, 1289-1300.
- Chawla, N., Patel, B.V., Koopman, M., Chawla, K.K., Saha, R., Patterson, B.R., Fuller, E.R., Langer, S.A., 2002, Microstructure-based simulation of thermomechanical behavior of composite materials by object-oriented finite element analysis, *Materials Characterization*, 49, 395-407.
- Courbon, C., Pusavec, F., Dumont, F., Rech, J., Kopac, J., 2013, Tribological behaviour of Ti6Al4V and Inconel718 under dry and cryogenic conditions—Application to the context of machining with carbide tools, *Tribology International*, 66, 72-82.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çakır, M.C., 2006, Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Nobel Yayın Dağıtım, s.67-79, 175-255.
- Çalışkan, H., Küçükköse, M., 2015, The effect of aCN/TiAlN coating on tool wear, cutting force, surface finish and chip morphology in face milling of Ti6Al4V superalloy, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 50, 304-312.
- Çelik, Y.H., 2014, Investigating the effects of cutting parameters on the hole quality in drilling The Ti-6Al-4V alloy, *Materials and Technology*, 48, 653–659.
- Das, D., Ray, K.K., Dutta, A.K., 2009 a, Influence of temperature of sub-zero treatments on the wear behaviour of die steel, *Wear*, 267, 1361-1370.
- Das, D., Dutta, A.K. and Ray, K.K., 2009 b, Influence of varied cryotreatment on the wear behavior of AISI D2 steel, *Wear*, 266, 297-309.
- Dearnley, P.A., Grearson, A.N., 1986, Evaluation of principal wear mechanisms of cemented carbides and ceramics used for machining titanium alloy IMI 318, *Materials Science and Technology*, 2, 47-58.
- Ezugwu, E.O., Bonney, J., Yamane, Y., 2003, An overview of the machinability of aeroengine alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 134, 233-253.
- Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., 1997, Titanium alloys and their machinability—a review, *Journal of Materials Processing Technology*, 68, 262-274.
- Fernandes, C.M., Senos, A.M.R., 2011, Cemented carbide phase diagrams: A review, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29, 405-418.
- Gao, Y., Luo, B.-H., Bai, Z.-h., Zhu, B., Ouyang, S., 2016, Effects of deep cryogenic treatment on the microstructure and properties of WCFeNi cemented carbides, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 58, 42-50.
- Gill, S.S., Singh, J., Singh, H., Singh, R., 2011 a, Investigation on wear behaviour of cryogenically treated TiAlN coated tungsten carbide inserts in turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51 (1), 25-33.
- Gill, S.S., Singh, H., Singh, R., Singh, J., 2011 b, Flank wear and machining performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts, *Materials and Manufacturing Processes*, 26, 1430-1441.
- Gill, S.S., Singh, J., Singh, H., Singh, R., 2012, Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC–Co), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58 (1), 119-131.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Grzesik, W., 2008, *Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications*, Elsevier, p. 27-48, 163-180, 405-426.
- Groover, M.P., 2016, *Modern İmalatın Prensipleri*, (Çev. M. Yurdakul, Y.T. İçsel), Nobel Akademik Yayıncılık, s. 1-24, 474-496.
- Gu, L., Huang, J., Tang, Y., Xie, C., Gao, S., 2015, Influence of different post treatments on microstructure and properties of WC-Co cemented carbides, *Journal of Alloys and Compounds*, 620, 116-119.
- Houchuan, Y., Zhitong, C., ZiTong, Z., 2014, Influence of cutting speed and tool wear on the surface integrity of the titanium alloy Ti-1023 during milling, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78, 1113-1126.
- Huang, J.Y., Zhu, Y.T., Liao, X.Z., Beyerlein, I.J., Bourke, M.A., Mitchell, T.E., 2003, Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel, *Materials Science and Engineering A*, 339, 241-244.
- International Organization for Standardization. (1989). Tool life testing in milling – Part2: End milling, (ISO Standard No. 8688-2).
- Ítalo Sette Antonialli, A., Eduardo Diniz, A., Pederiva, R., 2010, Vibration analysis of cutting force in titanium alloy milling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50, 65-74.
- Jawaid, A., Sharif, S., Koksai, S., 2000, Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 99, 266-274.
- Jianxin, D., Hui, Z., Ze, W., Yunsong, L., Jun, Z., 2012, Friction and wear behaviors of WC/Co cemented carbide tool materials with different WC grain sizes at temperatures up to 600°C, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 31, 196-204.
- Kasim, M.S., Che Haron, C.H., Ghani, J.A., Sulaiman, M.A., Yazid, M.Z.A., 2013, Wear mechanism and notch wear location prediction model in ball nose end milling of Inconel 718, *Wear*, 302, 1171-1179.
- Lay, S., 2013, HRTEM investigation of dislocation interactions in WC, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 41, 416-421.
- Lay, S., Allibert, C.H., Christensen, M., Wahnström, G., 2008, Morphology of WC grains in WC–Co alloys, *Materials Science and Engineering: A*, 486, 253-261.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lee, S.B., Kim, D.-I., Kim, Y., Yoo, S.J., Byun, J.Y., Han, H.N., Lee, D.N., 2015, Effects of Film Stress and Geometry on Texture Evolution Before and After the Martensitic Transformation in a Nanocrystalline Co Thin Film, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 46, 1888-1899.
- Li, S., Min, N., Li, J., Wu, X., Li, C., Tang, L., 2013, Experimental verification of segregation of carbon and precipitation of carbides due to deep cryogenic treatment for tool steel by internal friction method, *Materials Science and Engineering: A*, 575, 51-60.
- Li, X., Liu, Y., Liu, B., Zhou, J., 2016, Effects of submicron WC addition on structures, kinetics and mechanical properties of functionally graded cemented carbides with coarse grains, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 56, 132-138.
- Liew, W.Y.H., 2010. Low-speed milling of stainless steel with TiAlN single-layer and TiAlN/AlCrN nano-multilayer coated carbide tools under different lubrication conditions, *Wear*, 269, 617-631.
- Liew, W.Y.H., Jie, J.L.L., Yan, L.Y., Dayou, J., Sipaut, C.S., Madlan, M.F.B., 2013, Frictional and wear behaviour of AlCrN, TiN, TiAlN single layer coatings, and TiAlN/AlCrN, AlN/TiN nano-multilayer coatings in dry sliding, *Procedia Engineering*, 68, 512-517.
- Lin, H., Tao, B., Xiong, J., Li, Q., Li, Y., 2013, Tungsten carbide (WC) nanopowders synthesized via novel core-shell structured precursors, *Ceramics International*, 39, 2877-2881.
- Marx, V.M., Kirchlechner, C., Breitbach, B., Cordill, M.J., Többens, D.M., Waitz, T., Dehm, G., 2016, Strain-induced phase transformation of a thin Co film on flexible substrates, *Acta Materialia*, 121, 227-233.
- Masmoudi, M., Assoul, M., Wery, M., Abdelhedi, R., El Halouani, F., Monteil, G., 2006, Friction and wear behaviour of cp Ti and Ti6Al4V following nitric acid passivation, *Applied Surface Science*, 253, 2237-2243.
- Mavi, A., Korkut, I., 2014, Machinability of Ti-6Al-4V alloy with cryogenically treated cemented carbide tools, *Materials and Technology*, 48, 577-580.
- Menezes, P.L., Nosonovsky, M., Kailas, S.V., Lovell, M.R., 2013, *Friction and Wear, Tribology for Scientists and Engineers*, Springer, New York, p. 43-91.
- Mo, J.L., Zhu, M.H., Lei, B., Leng, Y.X., Huang, N., 2007, Comparison of tribological behaviours of AlCrN and TiAlN coatings – Deposited by physical vapor deposition, *Wear*, 263, 1423-1429.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mo, J.L., Zhu, M.H., Leyland, A., Matthews, A., 2013, Impact wear and abrasion resistance of CrN, AlCrN and AlTiN PVD coatings, *Surface and Coatings Technology*, 215, 170-177.
- Norberto López de Lacalle, L., Campa, F.J., Lamikiz, A., 2011, 3 – Milling, Davim, J. Paulo, *Modern Machining Technology*, Woodhead Publishing, p. 213-303.
- Nouari, M., Ginting, A., 2006, Wear characteristics and performance of multi-layer CVD-coated alloyed carbide tool in dry end milling of titanium alloy, *Surface and Coatings Technology*, 200, 5663-5676.
- Oliaei, S.N.B., Karpat, Y., 2016, Investigating the influence of built-up edge on forces and surface roughness in micro scale orthogonal machining of titanium alloy Ti6Al4V, *Journal of Material Processing Technology*, 235, 28-40.
- Oomen-Hurst, S., Abad, M. D., Khanna, M., Veldhuis, S.C., 2012, Comparative wear behavior studies of coated inserts during milling of NiCrMoV steel, *Tribology International*, 53, 115-123.
- Özbek, N.A., Çiçek, A., Gülesin, M., Özbek, O., 2014, Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 86, 34-43.
- Özbek, N.A., Çiçek, A., Gülesin, M., Özbek, O., 2016, Effect of cutting conditions on wear performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts in dry turning of stainless steel, *Tribology International*, 94, 223-233.
- Pérez, R.G.V., 2005, Wear mechanisms of WC inserts in face milling of gamma titanium aluminides, *Wear*, 259, 1160-1167.
- Peters, M., Hemptenmacher, J., Kumpfert, J., Leyens, C., 2005 a, Structure and Properties of Titanium and Titanium Alloys, *Titanium and Titanium Alloys*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 1-36.
- Peters, M., Kumpfert, J., Ward, C.H., Leyens, C., 2005 b, Titanium Alloys for Aerospace Applications, *Titanium and Titanium Alloys*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 333-350.
- Pittalà, G.M., Monno, M., 2011, A new approach to the prediction of temperature of the workpiece of face milling operations of Ti-6Al-4V, *Applied Thermal Engineering*, 31, 173-180.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rahman, M., Wong, Y.S., Zareena, A.R., 2003, Machinability of titanium alloys, JSME International Journal, Series C: Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, 46, 107-115.
- Rao, B., Dandekar, C.R., Shin, Y.C., 2011, An experimental and numerical study on the face milling of Ti-6Al-4V alloy: Tool performance and surface integrity, Journal of Materials Processing Technology, 211, 294-304.
- Saito, H., Iwabuchi, A., Shimizu, T., 2006, Effects of Co content and WC grain size on wear of WC cemented carbide, Wear, 261, 126-132.
- Sampath Kumar, T., Balasivanandha Prabu, S., Manivasagam, G., Padmanabhan, K.A., 2014, Comparison of TiAlN, AlCrN, and AlCrN/TiAlN coatings for cutting-tool applications, International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 21, 796-805.
- Sieniawski, J., Ziąja, W., Kubiak K., Motyka M., 2013, Microstructure and Mechanical Properties of High Strength Two-Phase Titanium Alloys, Titanium Alloys - Advances in Properties Control, InTech, p. 69-80.
- da Silva, R.B., da Silva, M.B., Sales, W.F., Ezugwu, E.O., Machado, Á.R., 2016, Advances in the Turning of Titanium Alloys with Carbide and Superabrasive Cutting Tools, Advanced Materials Research, 1135, 234-254.
- Singh, S., Singh, D., Kalsi, N.S., 2012, Experimental Analysis of Cryogenic Treatment On Coated Tungsten Carbide Inserts In Turning, International Journal of Advanced Engineering Technology, 3, 290-294.
- Sort, J., Nogués, J., Suriñach, S., Baró, M.D., 2003, Microstructural aspects of the hcp-fcc allotropic phase transformation induced in cobalt by ball milling, Philosophical Magazine, 83, 439-455.
- Sprouster, D.J., Giulian, R., Schnohr, C.S., Araujo, L.L., Kluth, P., Byrne, A.P., Foran, G.J., Johannessen, B., Ridgway, M.C., 2009, fcc-hcp phase transformation in Co nanoparticles induced by swift heavy-ion irradiation, Physical Review B, 80, 115438-5.
- SreeramaReddy, T.V., Sornakumar, T., VenkataramaReddy, M., Venkatram, R., 2008, Machining performance of low temperature treated P-30 tungsten carbide cutting tool inserts, Cryogenics, 48, 458-461.
- SreeramaReddy, T.V., Sornakumar, T., VenkataramaReddy, M., Venkatram, R., 2009, Machinability of C45 steel with deep cryogenic treated tungsten carbide cutting tool inserts, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 27, 181-185.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Strano, M., Albertelli, P., Chiappini, E., Tirelli, S., 2015, Wear behaviour of PVD coated and cryogenically treated tools for Ti-6Al-4V turning, *International Journal of Material Forming*, 8, 601-611.
- Sun, J., Guo, Y.B., 2009, A comprehensive experimental study on surface integrity by end milling Ti-6Al-4V, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 4036-4042.
- Sun, S., Brandt, M., Dargusch, M.S., 2009, Characteristics of cutting forces and chip formation in machining of titanium alloys, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49, 561-568.
- Sun, Y., Sun, J., Li, J., Li, W., Feng, B., 2013, Modeling of cutting force under the tool flank wear effect in end milling Ti6Al4V with solid carbide tool, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69, 2545-2553.
- Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L., 2014, Effect of posttreatments on the performance of tungsten carbide (K20) tool while machining (turning) of Inconel 718, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76, 587-596.
- Thornton, R., Slatter, T., Lewis, R., 2014, Effects of deep cryogenic treatment on the wear development of H13A tungsten carbide inserts when machining AISI 1045 steel, *Production Engineering*, 8(3), 355-364.
- Upadhyaya, G.S., 1998, 2 - Crystal Structure and Phase Equilibria, *Cemented Tungsten Carbides*, William Andrew Publishing, Westwood, p. 7-54.
- Vadivel, K., Rudramoorthy, R., 2008, Performance analysis of cryogenically treated coated carbide inserts, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42, 222-232.
- Venugopal, K.A., Paul, S., Chattopadhyay, A.B., 2007, Tool wear in cryogenic turning of Ti-6Al-4V alloy, *Cryogenics*, 47, 12-18.
- Wang, J., Xiong, J., Fan, H., Yang, H., Liu, H., 2009, Effects of high temperature and cryogenic treatment on the microstructure and abrasion resistance of a high chromium cast iron, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 3236-3240.
- Wang, Z.G., Rahman, M., Wong, Y.S., 2005, Tool wear characteristics of binderless CBN tools used in high-speed milling of titanium alloys, *Wear*, 258, 752-758.
- Wyen, C.-F., Jaeger, D., Wegener, K., 2013, Influence of cutting edge Radius on surface integrity and burr formation in milling titanium, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67, 589-599.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yong, A.Y.L., Seah, K.H.W., Rahman, M., 2006, Performance of cryogenically treated tungsten carbide tools in milling operations, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32 (7), 638-643.
- Yong, A.Y.L., Seah, K.H.W., Rahman, M., 2006, Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46 (15), 2051–2056.
- Yong, J., Ding, C., 2011, Effect of cryogenic treatment on WC–Co cemented carbides, *Materials Science and Engineering: A*, 528 (3), 1735-1739.
- Yuan, S.M., Yan, L.T., Liu, W.D., Liu, Q., 2011, Effects of cooling air temperature on cryogenic machining of Ti–6Al–4V alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 356-362.
- Yugandhar, T., Krishnan, P.K., Bhaskar Rao, C.V., Kalidas, R., 2002, Cryogenic treatment and it's effect on tool steel, *Proceeding of the 6th International Tooling Conference*, Karlstad University, Karlstad, Sweden, 547-557.
- Zhang, H., Chen, L., Sun, J., Wang, W., Wang, Q., 2014, Influence of Deep Cryogenic Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of an Ultrafine-Grained WC-12Co Cemented Carbide, *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 27, 894-900.
- Zhang, H., Chen, L., Sun, J., Wang, W., Wang, Q., 2015, An investigation of cobalt phase structure in WC–Co cemented carbides before and after deep cryogenic treatment, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 51, 201-206.
- Zhang, L., Chen, S., Xiong, X.-j., He, Y.-h., Huang, B.-y., Zhang, C.-f., 2007, Phase composition, transition and structure stability of functionally graded cemented carbide with dual phase structure, *Journal of Central South University of Technology*, 14, 149-152.
- Zhang, L., Wang, Z., Chen S., Xu, T., Zhu, J.F., Chen, Y., 2015, Binder phase strengthening of WC–Co alloy through post-sintering treatment., *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 50, 31-36.
- Zhang, S., Li, J.F., Sun, J., Jiang, F., 2009, Tool wear and cutting forces variation in high-speed end-milling Ti-6Al-4V alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 46, 69-78.

ÖZGEÇMİŞ

ABDULLAH SERT, 1985 yılında Eskişehir’de doğdu. 2004 yılında Eskişehir Anadolu Lisesinden, 2008 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliğinden, 2011 yılında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalından mezun olmuştur. 2011 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında doktora eğitimine başladı ve halen bu üniversitede araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.