

Şekil Hafızalı Alaşımların Farklı Kesici Takım Malzemeleri Kullanarak Alın Frezeleme ile İşlenmesinde Kesme Hızlarının Takım Aşınması Oluşumu ve İlerlemesine Etkisinin İncelenmesi

Eren KAYA*¹, İrfan KAYA²

^{1,2}Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 26555, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 27.06.2022, Kabul / Accepted: 05.12.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 25.04.2023)

Anahtar Kelimeler

NiTi,
Yüksek hız,
Frezeleme,
Takım aşınması,
Kesici takım

Öz: NiTi şekil hafızalı alaşımların kullanımı, fonksiyonel ve mekanik özellikleri nedeniyle, gün geçtikçe artmaya başlamıştır. Öte yandan, alaşımın termal ve mekanik özellikleri nedeniyle talaşlı imalat ile işlenebilirliği oldukça güçtür. Bu kapsamda karşılaşılan problemlerin başında takım aşınması gelmektedir. Önceki araştırmalara bakıldığında, gerçekleştirilmiş çalışmaların karbür ve kaplamalı karbür kesici takımlar ile geleneksel kesme hızlarında planlandığı görülmektedir. Bu çalışmada şekil hafızalı alaşımların, karbür, CBN ve whisker seramik kesici takımlar ile yüksek kesme hızlarında frezelenmesi ve takım aşınması davranışlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Deneylerde kullanılan kesme hızları şunlardır: 100, 200, 300 ve 400 m/dk. Takım aşınması analizleri göstermiştir ki takım ömrü ve aşınma davranışı, kesme hızı değişimine göre değişiklik göstermektedir. 100 ve 200 m/dk kesme hızlarında karbür ve kaplamalı karbür kesici takımlar yüksek kesme ömrü sergilemiştir. Kesme hızı 300 ve 400 m/dk değerlerine arttırıldığında, seramik ve CBN kesici takımların kesme ömrünün nispeten arttığı, karbür ve kaplamalı karbür kesici takım ömürlerinin ciddi düzeyde azaldığı görülmüştür. Gözlemlenen aşınma mekanizmaları; abrazyon, adeziv, oksidasyon ve kimyasal aşınma olarak sıralanabilir.

Investigation of Effects of Cutting Speed on Tool Wear Formation and Progression During Face Milling of Shape Memory Alloys Using Different Cutting Tool Materials

Keywords

NiTi,
High speed,
Milling,
Tool wear,
Cutting tool

Abstract: Use of NiTi shape memory alloys are increasing due to functional and mechanical properties of these alloys. However, machinability of them quite poor because of thermal and mechanical properties of the alloy. In this context, the main problem is tool wear. The previous work have been planned with coated and uncoated carbide cutting tools and conventional cutting speed values. In this work, high-speed milling of shape memory alloys using carbide, CBN and whisker ceramic cutting tools and investigation of tool wear behaviors are aimed. The cutting speed values used in the experiments are as follows: 100, 200, 300 and 400 m/min. The tool wear analysis showed that tool life and tool wear behavior change upon the cutting speed value. At the cutting speed values of 100 and 200 m/min, carbide cutting tools performed a long tool life. When the cutting speed was increased to 300 and 400 m/min, it was seen that the tool life of ceramic and CBN cutting tools relatively increased and that of carbide and coated carbide tools dramatically decreased. The observed wear mechanisms are abrasive, adhesive, oxidative and chemical wear.

1. Giriş

Son yüzyılda malzeme bilimi ve mühendisliğinde kaydedilen büyük gelişmeler ile malzemelerin mikro yapılarının daha iyi anlaşılması ve üretimleri kapsamında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Önceleri malzemelerden genel olarak beklenen

özelliik mukavim olması iken yeni malzemelerin keşfi ile bu durum değişmiştir. Günümüzde hafif, mukavim ve fonksiyonel malzemelerin talep edilmesi, "aktif malzemeler" olarak da adlandırılan bir malzeme grubunun oluşmasını sağlamıştır. Şekil hafızalı alaşımlar (SHA), özel bir sınıfta bulunan aktif malzemelerdir ve bazı uyarıları almalarını müteakip

esas şekillerine geri dönmektedirler. Genel olarak bu uyarılar, gerilim kaynaklı deformasyon ile ısı veya manyetik alan olarak sıralanabilir [1]. ŞHA'ların sunduğu bazı ilgi çekici özellikler şunlardır; mekanik yüklemeye esnasında yüksek derecede geri dönebilir gerilim alabilmeleri (süper elastiklik), ısıtılma sonucu esas şeklin geri kazanılması (şekil hafızası özelliği) ve biyo- uyumluluk. Nikel Titanyum (NiTi) ŞHA'ların diğer şekil hafızalı malzemelere göre oldukça yüksek aktivasyon enerjisi ve mekanik mukavemet sağladığı bilinmektedir. Fonksiyonel performanslarının daha yüksek olması ve biyo- uyumlu olmaları nedeniyle, NiTi bazlı alaşımlar en fazla araştırılan ve kullanılan ŞHA'lar olmuştur [2].

Talaşlı imalat yöntemi yaygınlığı, uygulanabilirliği, doğru ölçüde parça çıkarma kabiliyeti ve malzemeye verdiği hasarın minimum olması nedenleriyle en sık kullanılan imalat yöntemlerinden biridir. NiTi ŞHA'lardan imal edilen parçaların, bu alaşımların kullanım alanları dikkate alındığında (biyomedikal, otomotiv, havacılık ve uzay), boyutsal ve şekilsel olarak hassas olması gerekmektedir [1, 3]. Bu parçaların imalatı için çeşitli imalat yöntemleri kullanılıyor olsa da kabiliyetleri nedeniyle en uygun yöntem talaşlı imalattır. NiTi ŞHA parçaların, esas olarak malzemenin fonksiyonel özellikleri nedeniyle tercih edildiği göz önüne alındığında, talaşlı imalat sürecinin parçanın fonksiyonel özelliklerine olan etkisinin de değerlendirilmesi gerektiği görülmektedir. Zira bu etkilerin negatif olması durumunda, final parçadan beklenen fonksiyonel özellikler azalmış ya da tamamıyla yok olmuş olabilecektir [4]. Öte yandan NiTi ŞHA'ların işlenebilirliği kapsamında gerçekleştirilmiş olan çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır [5].

Freze işleminin talaşlı imalat yönteminde oldukça büyük bir yeri vardır. Freze ile işlemin mekanikleri, torna ile işlemeye çok benzer de olsa, işlenebilirlik davranışları bu prosesin kesintili olmasından dolayı torna prosesine göre farklılık gösterebilir. Huang, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametrelerinin işlenebilirlik yanıtları üzerine olan etkilerini oda şartlarında östenit fazında olan Ni50.6Ti49.4 (at%) alaşımının freze prosesi ile işlenmesi için araştırmıştır [6]. Kesici takım olarak 10 mm çapında, kaplamasız karbür parmak freze kullanılmıştır. Deneyler esnasında oldukça geniş bir deney matrisi araştırılmıştır ($V_c = 5 - 500$ m/dk, $f = 50 - 1000$ mm/dk, $a_p = 0,05 - 0,5$ mm, $a_e = 2,54$ mm). Kesme hızının $V_c = 5$ ve 50 m/dk arasında olması durumunda, yüksek kesme kuvvetleri (25 N), yüksek takım aşınması ve yüksek yüzey pürüzlülüğü ($0,8 \mu\text{m}$, Ra) oluştuğu bildirilmiştir. Guo vd. Ni50.8Ti49.2 alaşımının, freze ile işlenmesinden sonraki yüzey bütünlüğü karakteristiklerini AlTiN/TiN kaplamalı karbür kesici takımlar kullanarak araştırmıştır [7]. Araştırma sonucunda raporlanan aşınma tipleri çentik aşınması, tane kopması, yan yüzey aşınması ve

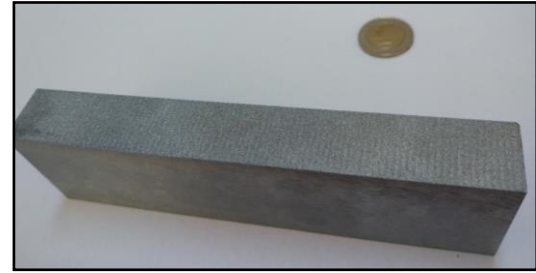
kaplama soyulması olarak sıralanabilir. En iyi yüzey kalitesi değeri (Ra), $f = 200$ mm/dk ilerleme değeri kullanıldığında elde edilmiştir.

Bu çalışmada östenitik eşatomik NiTi şekil hafızalı alaşımların freze imalat yöntemleri ile işlenebilirliği araştırılmıştır. Bunun için kaplamalı ve kaplamasız tungsten karbür kesici takımların yanında, tarihsel süreci daha yeni olan yüksek sertlikteki kesici takımlar (whisker seramik, CBN) da kullanılmıştır. Araştırmanın amaçlarından birisinin de işlenebilirliğin iyileştirilmesi olduğundan, literatürde sonuçları bulunmayan yüksek kesme hızları deneysel olarak uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. İş parçası malzemesi

Araştırmada çalışılan alaşım içeriği Ni50Ti50 (at%) olan oda sıcaklığında östenit faza sahip eş-atomik NiTi malzeme, boyutları $40 \times 20 \times 150$ mm ölçülerinde dikdörtgenler prizması şeklinde Baoji Seabird Metal Material Co. Ltd. firmasından temin edilmiştir (Şekil 1).

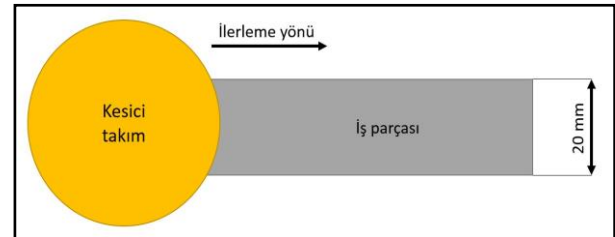


Şekil 1. İşlenmemiş freze numunesi

Alaşımlar tedarikçi firma tarafından vakum ark ergitme döküm ve ardından sıcak haddeme yöntemleri ile üretilmiştir.

2.2. Freze prosesi

Frezeleme işlemlerinde LER VQ 110 marka (25 HP iş mili gücü) CNC kontrollü, 4 eksenli dik işleme tezgâhı kullanılmıştır. Frezeleme işlemleri yüzey frezeleme olarak gerçekleştirilmiştir. Freze takımı parça yüzey genişliği boyunca (radyal kesme derinliği) sabit paso olacak şekilde ilerleme hareketi sağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Freze operasyonunda kullanılan yüzey frezeleme hareketi

2.3. Kesici takım

Farklı kesici takım malzemelerinin davranışlarını araştırabilmek için geniş bir kesici uç malzemesi yelpazesi oluşturulmuş olup değiştirilebilir uçlu kesici takım kullanılmıştır. Takım geometrisinin tüm deneyler boyunca sabit tutulması hedeflendiğinden, aynı uç tutucu, tüm takım konfigürasyonları için ortak kullanılmıştır. Bunun için 3 ağızlı ve TPKN ISO kod geometrisinde kesici uca uygun tutucu kullanılmıştır. Tezgâh-takım bağlantısı, BT50 takım tutucu ile gerçekleştirilmiştir.

Freze operasyonunda Whisker seramik, yüksek içerikli CBN (yCBN), çok katmanlı PVD kaplamalı tungsten karbür (WC - PVD) ve kaplamasız tungsten karbür (WC) kesici takım malzemeleri kullanılmıştır. Freze operasyonunda kullanılan kesici takımların bazı geometrik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Frezeleme işleminde kullanılan kesici takımların bazı özellikleri

Malzeme (Kalite)	Kesici uç ISO kodu	Takım çapı, mm	Uç rad., mm	Talaş açısı, °	Kesme kenarı açısı, °
Whisker (KY 4300)	TPGN 220412	63	1,2	5	30
yCBN (KB 1630)	TPGN 220408	63	0,8	5	30
WC (PVD) (KCU 10)	TPGN 220408	63	0,8	5	30
WC (K 68)	TPGN 220408	63	0,8	5	30

2.4. Kesme parametreleri

NiTi alaşımının frezeleme ile işlenmesinde kesme hızlarının takım aşınması oluşumu ve ilerlemesi üzerine etkisini incelemek için $V_c = 100, 200, 300$ ve 400 m/dk kesme hızları seçilmiştir. Tüm freze işlemlerinde sabit ilerleme ($f_z = 0,05$ mm/dev/diş) ile aksel ($a_p = 0,2$ mm) ve radyal kesme derinliği ($a_e = 20$ mm) kullanılmıştır. Tüm kesimler kuru kesim şartı altında gerçekleştirilmiştir.

2.5. Takım aşınması analizi

Takım aşınması analizleri ISO 3685 takım ömrü testi standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu standartlara göre takım ömrünün tamamlanmış sayılması için takım ömrü kriterlerinden birisinin sağlanmış olması gerekmektedir. Bu kriterler şu şekilde sıralanabilir:

- Ortalama yan yüzey aşınmasının, $0,3$ mm değerine ulaşması ($VB_{ort} > 0,3$ mm)
- Maksimum yan yüzey aşınmasının $0,4$ mm değerine ulaşması ($VB_{maks} > 0,4$ mm)
- Çentik aşınmasının $0,6$ mm değerine ulaşması ($VB_{ç} > 0,6$ mm)
- Kesme kenarında meydana gelen aşırı dökülme ya da kesme kenarında kırılma

ISO 3685 gereğince deney matrisinde bulunan her bir koşuldaki takım aşınmasının ölçülmesi ve takım ömrünün belirlenmesi için kesme işlemi belirli bir uzunlukta gerçekleştirilmiş ve ardından kesici takım optik mikroskopta analiz edilmiştir. Bu analizde hem aşınma miktarı ölçülmüş hem de aşınma tipleri ve kesici kenarın durumu değerlendirilmiştir. Eğer yukarıda belirtilen kriterlere göre takım ömrü tamamlanmamış ise, kesme ve ardından takım aşınması analizine devam edilmiştir. Bu işleme, takım ömrü tamamlanıncaya kadar devam edilmiştir. Takım aşınması analizleri için Nikon marka optik mikroskop kullanılmıştır.

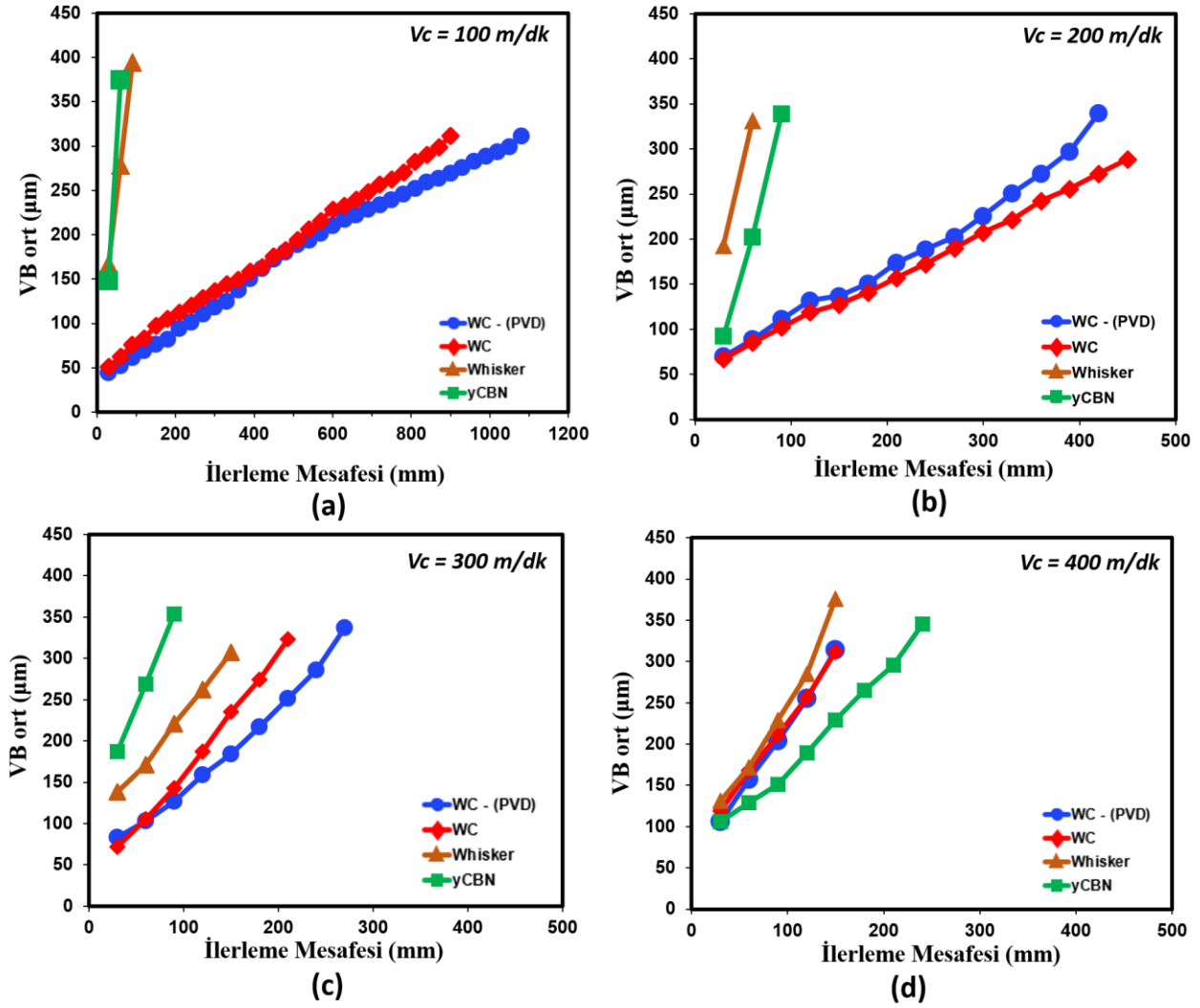
Aşınma analizi için uygulanan kesme aralıkları ise ilerleme mesafesi cinsinden belirlenmiştir. Bunun için $l = 30$ mm ilerleme mesafesi kullanılmıştır. Bu durumda her bir kesme aralığı için kaldırılan talaş hacmi 120 mm³ olmaktadır.

3. Bulgular

4 farklı kesici uç malzemesi için yüksek hızlı frezeleme ($V_c = 100, 200, 300$ ve 400 m/dk) işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3(a)'da $V_c = 100$ m/dk kesme hızı ile frezeleme neticesinde oluşan yan yüzey aşınması ilerlemeleri ve takım ömürleri verilmiştir. Whisker ve yCBN kesici takımlar çok çabuk aşınmış ve oldukça kısa bir takım ömrü ile sonuçlanmışlardır. WC ve WC-(PVD) kesici takımlar ise birbirlerine benzer aşınma ilerlemesi göstermişlerdir. Bu kesme hızı kullanıldığında en uzun takım ömrü, WC-(PVD) kesici takım tarafından sağlanmıştır (1080 mm).

Şekil 3(b)'de $V_c = 200$ m/dk kesme hızında gerçekleşen yan yüzey aşınmalarının ilerleme mesafesine göre değişimi verilmiştir. Yüksek sertlikteki kesici takımların ömrü $V_c = 100$ m/dk değerine göre büyük değişiklik göstermemiştir. WC ve kaplamalı WC kesici takımların ömrü, artan kesme hızı ile birlikte büyük düşüş göstermiştir. Bu beklenen durum, artan kesme sıcaklıkları ile tungsten karbür takımlardaki kobalt fazının ergimesi ile kesici takımın sertliğindeki ve aşınma direncindeki düşüşten kaynaklanmaktadır. Bir önceki kesme hızında kaplamalı WC takım en uzun kesme mesafesini gerçekleştirirken, $V_c = 200$ m/dk değerinde, WC takımın daha uzun kesme ömrünü sağladığı görülmektedir.

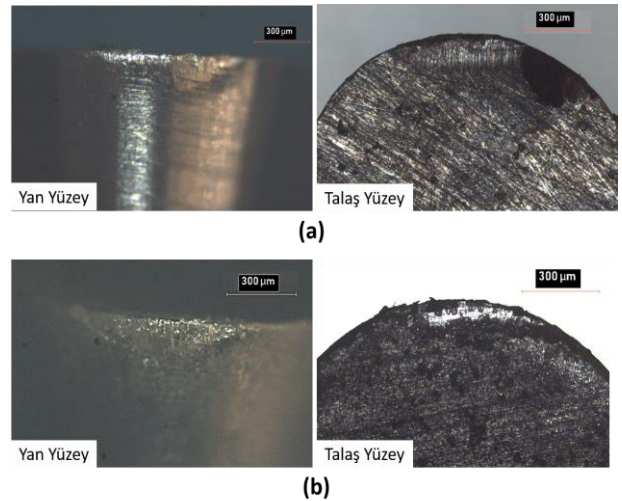
Şekil 3(c)'de $V_c = 300$ m/dk kesme hızında gerçekleşen yan yüzey aşınmalarının ilerleme mesafesine göre değişimi verilmiştir. Kesme hızının artması ile birlikte, yüksek sertlikteki kesici takımların kesme ömrünün arttığı görülmektedir. WC ve kaplamalı WC takımların kesme ömürleri ise daha düşük kesme hızlarına göre azalmıştır. Ancak yine de yCBN ve Whisker kesici takımlardan fazladır



Şekil 3. a) Vc = 100 m/dk, b) Vc = 200 m/dk, c) Vc = 300 m/dk ve d) Vc = 400 m/dk kesme hızları için ortalama yan yüzey aşınması ilerlemesi ve takım ömrü

Şekil 3(d)'de Vc = 400 m/dk kesme hızında gerçekleşen yan yüzey aşınmalarının ilerleme mesafesine göre değişimi verilmiştir. WC ve kaplamalı WC kesici takımın kesme ömrü daha da kısalarak 150 mm değerine inmiştir. Bu durum, kesici uç yapısındaki bağlayıcı fazın termal yumuşama ile ergimesi ve sertliğinin düşmesinden kaynaklanmaktadır. Whisker kesici takım, karbür takımlarla aynı kesme ömrünü sağlamıştır. yCBN kesici takım ise, Vc = 400 m/dk kesme hızı kullanıldığında, en uzun takım ömrünü sağlamıştır.

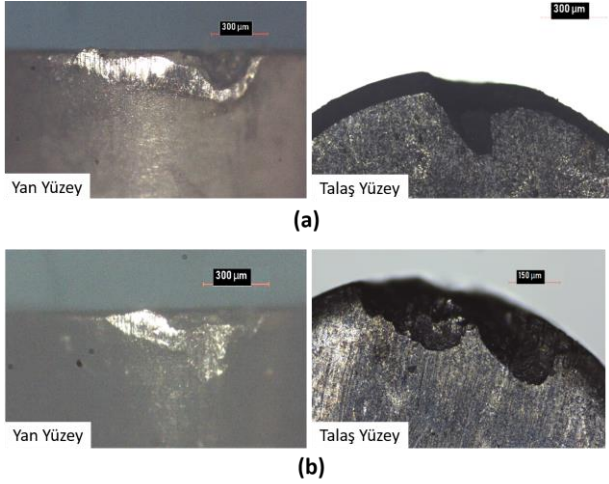
Şekil 4(a) ve 4(b)'de sırasıyla WC ve kaplamalı WC kesici takımlar için Vc = 100 m/dk kesme hızı kullanıldığında, ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından elde edilen, yan yüzey ve talaş yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. WC ve kaplamalı WC kesici takımlarda mikro parçacık kopması başlangıcı ve yan yüzey aşınması görülmektedir [8]. Ancak bu takımlarda talaş yüzeyi ve yan yüzeyde oluşan abraziv aşınmanın daha baskın olduğu görülmektedir.



Şekil 4. a) WC, b) kaplamalı WC kesici takımlar için Vc = 100 m/dk kesme hızı ile ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından oluşan yan yüzey ve talaş yüzeyi aşınmaları görüntüleri

Özellikle talaş yüzeyinde oluşan adezyon yüksek sertlikteki takımlara göre daha belirgin durumdadır. Kaplamasız WC kesici takımında oluşan çentik aşınmasının, kesici takım sertliğinin kaplamalı WC takıma göre daha düşük olmasından ve işleme sertleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

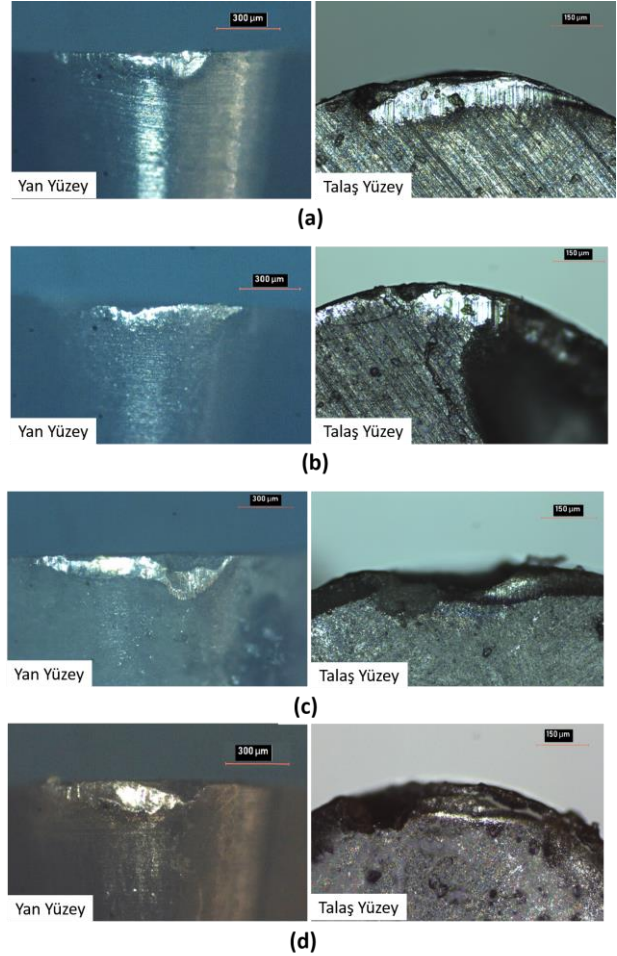
Şekil 5(a) ve 5(b)'de sırasıyla Whisker seramik ve yCBN kesici takımlar için yine $V_c = 100$ m/dk kesme hızında, ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından elde edilen, yan yüzey ve talaş yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5. a) Whisker, b) yCBN kesici takımlar için $V_c = 100$ m/dk kesme hızı ile ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından oluşan yan yüzey ve talaş yüzeyi aşınmaları görüntüleri

Yüksek sertlikteki yCBN ve Whisker kesici takımların aşınma davranışlarının oldukça benzer olduğu görülmektedir. Talaş yüzeyinde köşe kırılması oluşumu başlangıcı görülmektedir. Buna neden olan faktörler çentik aşınması ve hızlı ilerleyen parçacık kopmasıdır. İş parçasının işleme sertleşmesi geçirmesinin, çentik aşınması oluşumuna katkısı büyüktür. Öte yandan yCBN takımında bir miktar adezyon görülmektedir. Bu durumun kesici takımındaki bağlayıcı fazın ergimesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. yCBN ve Whisker kesici takımında gözlemlenen yan yüzey aşınmasının, kesici kenar dökülmesi ve çentik aşınması kaynaklı olarak daha hızlı ilerlediği önerilmektedir. Aşınma ile kesici takımdan ayrılan yüksek sertlikteki aşındırıcı partiküller abrazyon aşınma mekanizması ile yan yüzey aşınmasını hızlandırmışlardır. yCBN takımında çentik aşınmasının çabuk ilerlemesinde oksidasyon aşınmasının da etkilerinin olabileceği düşünülmektedir [9]. Burada hem talaş yüzeyi hem de yan yüzey görüntülerinden de anlaşılacağı üzere kesici kenarda parçacık kopmasının etkisi oldukça büyüktür. Bunun nedeni, nispeten düşük kesme hızlarında iş parçası sertliğinin yüksek olması, işleme sertleşmesi geçirmesi ve frezeleme operasyonunun doğası gereği darbeli bir kesim olmasıdır.

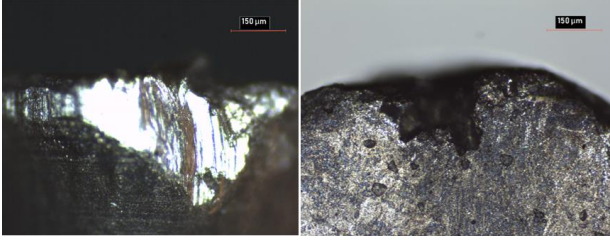
Şekil 6 'da $V_c = 200$ m/dk kesme hızı kullanıldığında, ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından elde edilen, yan yüzey ve talaş yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6. a) WC, b) kaplamalı WC, c) Whisker ve d) yCBN kesici takımlar için $V_c = 200$ m/dk kesme hızı ile ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından oluşan yan yüzey ve talaş yüzeyi aşınmaları görüntüleri

WC kesici takımında, yan yüzeyde ve talaş yüzeyinde abrazyon izleri ile adeziv aşınma oyuntuları görülmektedir. Çentik aşınması ve bir miktar parçacık kopması, kesme hızındaki artışa rağmen devam etmektedir. Öte yandan artan kesme sıcaklıkları ile kesici kenar bölgesinde termal çatlak oluşumları da vardır. Kaplamalı WC takımında ise parçacık kopmasının daha ciddi boyutlarda seyrederek, talaş yüzeyinde makro kopmaya yol açtığı görülmektedir. Bu durum kaplama malzemesinin gevrek yapısından ve mekanik şok dayanımının düşük olmasından kaynaklanıyor olabilir. Whisker ve yCBN kesici takımlarda çentik aşınması ve parçacık kopması problemleri devam etmektedir. Bu takımlarda yan yüzey aşınmasının çabuk ilerlemesinin en büyük nedeni, parçacık kopması ile kopan parçacıkların, yan yüzeyde abrazyon aşınmaya neden olmasıdır. Zira bu takımların talaş yüzeylerinin, çentik aşınması haricinde oldukça kararlı bir şekilde seyrettikleri görülmektedir.

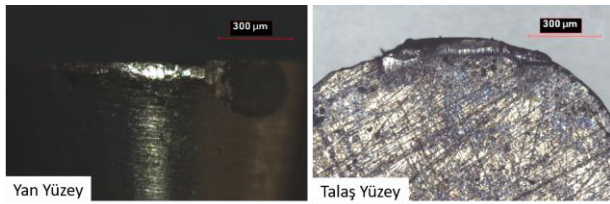
Şekil 7'de yCBN kesici takım ile 60 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından elde edilen takım aşınması görselleri verilmiştir.



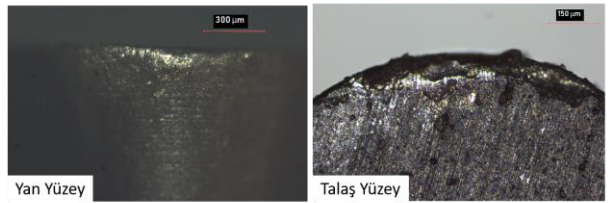
Şekil 7. $V_c = 200$ m/dk kesme hızı ile yCBN takımında 60 mm uzunluğunda gerçekleştirilen frezelemenin ardından oluşan takım aşınmaları

Takım ömrünün doldurulduğu bu görüntülerde, yan yüzeydeki ciddi abrazyon izleri ve kenar bölgesindeki parçacık kopmaları görünmektedir. Bunun yanında Whisker takımında termal yanıklar gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni ise yüksek sıcaklık ile talaşların yanmaya başlaması ve kesici takıma yapışmasıdır. Benzer durum, yüksek hızlı tornalama deneylerinde de vuku bulmuştur [10].

Şekil 8(a) ve 8(b)'de sırasıyla WC ve kaplamalı WC kesici takımlar için $V_c = 300$ m/dk kesme hızı kullanıldığında, ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından elde edilen, yan yüzey ve talaş yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



(a)

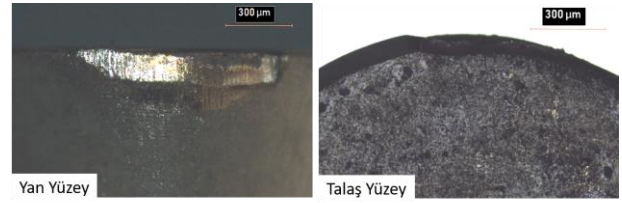


(b)

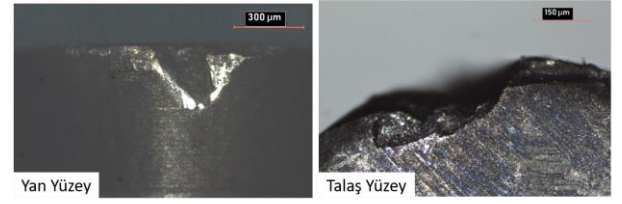
Şekil 8. a) WC, b) kaplamalı WC kesici takımlar için $V_c = 300$ m/dk kesme hızı ile ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından oluşan yan yüzey ve talaş yüzeyi aşınmaları görüntüleri

WC ve kaplamalı WC takımında, adezyon ve parçacık kopmasının baskın olduğu görülmektedir. WC takımında bu durum, kesimin ilk 30 mm uzunluğundaki kısmında makro dökülme şeklinde seyretmiştir. Daha düşük kesme hızlarında gözlemlenen abrazyon aşınma izlerinin $V_c = 300$ m/dk kesme hızında azaldığı görülmektedir. Öte yandan artan kesme sıcaklıkları ile iş parçasının termal yumuşaması kaynaklı olarak, çentik aşınmasının ortadan kalktığı gözlemlenmiştir.

Şekil 9(a) ve 9(b)'de sırasıyla Whisker seramik ve yCBN kesici takımlar için yine $V_c = 300$ m/dk kesme hızında, ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından elde edilen, yan yüzey ve talaş yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



(a)



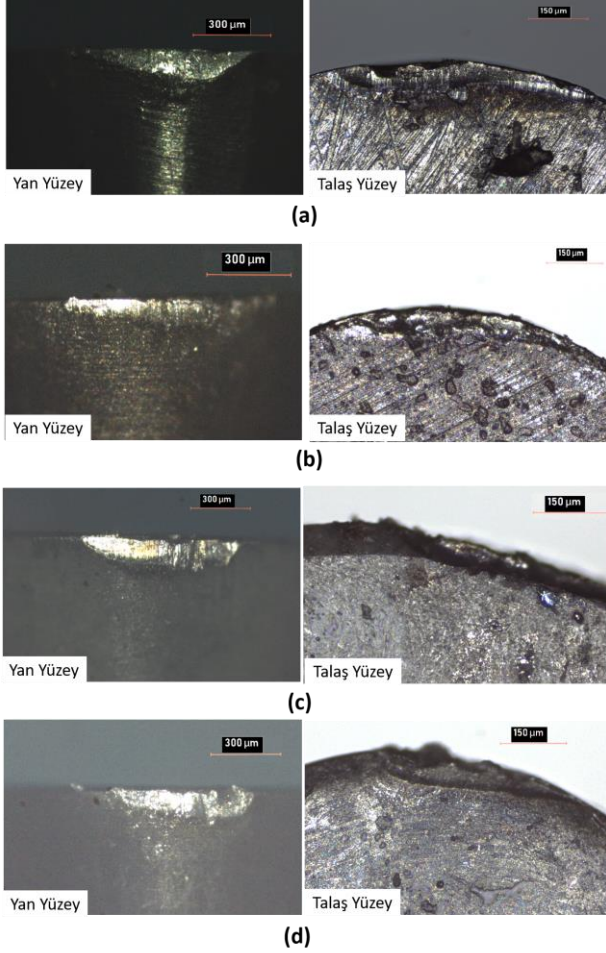
(b)

Şekil 9. a) Whisker, b) yCBN kesici takımlar için $V_c = 300$ m/dk kesme hızı ile ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından oluşan yan yüzey ve talaş yüzeyi aşınmaları görüntüleri

Whisker kesici takımında, artan kesme hızının etkisiyle çentik aşınması problemi ortadan kalkmıştır. Kesme kenarında gözlemlenen parçacık kopmasının ise oldukça düşük seviyede seyrettiği gözlemlenmiştir [11]. Whisker takımında baskın aşınma, yan yüzeyde meydana gelen abrazyon aşınmasıdır. Kesme hızı değeri $V_c = 300$ m/dk değerine ulaştığında, artan kesme sıcaklıkları ile beraber talaş yanması başlamıştır. yCBN kesici takımında ise parçacık kopması ve çentik aşınması ciddi seviyede devam etmektedir. Çentik aşınması probleminin devam ediyor olmasının nedeni, CBN'nin atmosferdeki O_2 ile tepkimeye girip, oksidasyon aşınmasına yol açması olabilir. Yüksek hızlara çıkıldıkça krater aşınması görülmesinin temel nedenlerinden birisi C ile Ti arasındaki kimyasal afinite ve kimyasal aşınmadır. Kesme sıcaklığındaki artış ile difüzyon aşınmasının etkileri de artış göstermiştir.

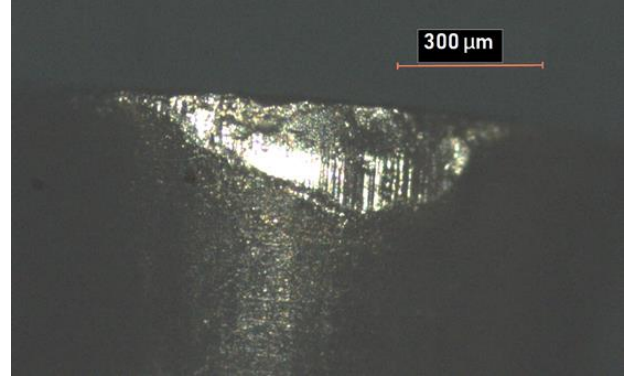
Şekil 10'da sırasıyla WC, kaplamalı WC, whisker ve yCBN kesici takımları için $V_c = 400$ m/dk kesme hızı kullanıldığında, ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından elde edilen, yan yüzey ve talaş yüzeyi optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. WC ve kaplamalı WC kesici takımların aşınma davranışlarının oldukça benzer olduğu görülmektedir. Özellikle kesici kenarda, parçacık kopması ve adeziv aşınmanın etkileri görülmektedir [12]. Her iki kesici takımında da krater aşınması başlangıcı görünse de kaplamasız WC takımında, krater oluşumu daha geniş bir alandadır. Kaplama malzemesi, yüksek hızlarda WC malzemeyi koruyucu bir etki göstermiştir.

Whisker kesici takımın talaş yüzeyi, artan kesme hızları ile birlikte oldukça kararlı bir davranış göstermiştir. $V_c = 400$ m/dk kesme hızında, neredeyse hiç talaş yüzeyi aşınması oluşmamıştır. Ancak abrazyon kaynaklı yan yüzey aşınması oldukça hızlı ilerlemiştir. Bu kesme hızında da Whisker kesici takımla oluşan talaşlar yanmış ve belirli bir formda talaş elde edilememiştir.



Şekil 10. a) WC, b) kaplamalı WC, c) Whisker ve d) yCBN kesici takımlar için $V_c = 400$ m/dk kesme hızı ile ilk 30 mm uzunluğundaki frezelemenin ardından oluşan yan yüzey ve talaş yüzeyi aşınmaları görüntüleri

yCBN kesici takımında daha düşük kesme hızlarında gözlemlenen çentik aşınması, $V_c = 400$ m/dk kesme hızında oluşmamıştır. Yan yüzey aşınması, bir miktar krater aşınması ve parçacık kopması bu kesme hızındaki aşınma davranışlarıdır. Önceki kesme hızlarında gözlemlenen derin çentik aşınmasının ilerlemesi ile oluşan kenar kırılması bu kesme hızında meydana gelmemiştir. Bu durum sayesinde de yan yüzey aşınması düzenli ve nispeten yavaş olarak ilerlemiş ve takım ömrü bu kesme hızındaki takımlar içerisinde en üst noktaya çıkmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. $V_c = 400$ m/dk kesme hızında yCBN takım ömrü sonunun görüntüsü

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada östenitik eşatomik NiTi şekil hafızalı alaşımların freze imalat yöntemleri ile literatürde bulunmayan yüksek kesme hızlarında işlenebilirlikleri araştırılmıştır. Bunun için kaplamalı, kaplamasız tungsten karbür kesici takımları ve yüksek sertlikteki kesici takımlar kullanılmıştır.

Östenitik NiTi alaşımının frezelenmesi neticesinde oluşan baskın aşınma tipi kesici kenarda parçacık kopması ve çentik aşınmasıdır. Baskın aşınma mekanizmaları ise adezyon ve abrazyondur. Genel olarak, artan kesme hızları ile beraber yCBN ve Whisker kesici takım ömürleri artarken, WC ve kaplamalı WC takım ömürleri azalma göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 19ADP141 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Zainal, M.A., Sahlan, S., Ali, M.S.M. 2015. Micromachined Shape-memory-alloy Microactuators and Their Application in Biomedical Devices. *Micromachines*, 6(7), 879-901.
- [2] Elahinia, M.H., Hashemi, M., Tabesh, M., Bhaduri, S.B. 2012. Manufacturing and Processing of NiTi implants: A Review. *Progress in materials science*, 57(5), 911-946.

- [3] Petrini, L., Migliavacca, F. 2011. Biomedical Applications of Shape Memory Alloys. *Journal of Metallurgy*, 2011.
- [4] Kaya, E., Kaya, İ. 2022. Investigation of High Speed Cutting Performance and Phase Transformation Behavior of NiTi Shape Memory Alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(1), 489-502.
- [5] Kaya, E., Kaya, İ. 2019. A Review on Machining of NiTi Shape Memory Alloys: the Process and Post Process Perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100(5), 2045-2087.
- [6] Huang, H. 2004. A Study of High-speed Milling Characteristics of Nitinol. *Materials and Manufacturing Processes*, 19(2), 159-175.
- [7] Guo, Y., Klink, A., Fu, C., Snyder, J. 2013. Machinability and Surface Integrity of Nitinol Shape Memory Alloy. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 62(1), 83-86.
- [8] Biermann, D., Kahleyss, F., Surmann, T. 2009. Micromilling of NiTi Shape-memory Alloys with Ball Nose Cutters. *Materials and Manufacturing Processes*, 24(12), 1266-1273.
- [9] Honghua, S., Peng, L., Yucan, F., Jihua, X. 2012. Tool Life and Surface Integrity in High-speed Milling of Titanium Alloy TA15 with PCD/PCBN Tools. *Chinese Journal of Aeronautics*, 25(5), 784-790.
- [10] Kaya, E., Kaya, İ. 2020. Tool Wear Progression of PCD and PCBN Cutting Tools in High Speed Machining of NiTi Shape Memory Alloy Under Various Cutting Speeds. *Diamond and Related Materials*, 105.
- [11] Weinert, K., Petzoldt, V., Kötter, D., Buschka, M. 2004. Drilling of NiTi Shape Memory Alloys. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 35(5), 338-341.
- [12] Weinert, K., Petzoldt, V., Kötter, D. 2004. Turning and Drilling of NiTi Shape Memory Alloys. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 53(1), 65-68.