

Tornalama işlemlerinde çeşitli kesici takım uçlarının hasar mekanizmaları

Nuray Beköz Üllen (ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-2705-2559>)

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

Sorumlu yazar e-mail: nbekoz@istanbul.edu.tr

Özet

Günümüz endüstrisinde metal esaslı parçalara istenilen son şeklin verilip kullanılabilir hale gelmeleri için uygulanan mekanik işlemlerin tamamı talaş imalatı gerektirmektedir. Bu yüzden talaş kaldırmada kullanılan kesici takımlar gittikçe önem kazanmıştır. Kesici takımlar sektör giderlerinin büyük bir bölümünü oluşturan ve sürekliliği olan gider kalemlerindendir. Talaşlı imalat esnasında kesici takımda meydana gelen kırılma, aşınma ve plastik deformasyon gibi hasarlar takımı kullanılamaz hale getirir. Takım ömrü, işlenen parçanın kalitesini ve maliyetini direk olarak etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenlerden dolayı takım ömrünü etkileyen faktörlerin bilinmesi, gerekli önlemlerin alınması, takım ömrünün tespit edilip uygun takım değiştirme zamanının belirlenmesi gereklidir. Takım ömrünün doğru tespit edilmesi için takım hasar mekanizmalarının bilinmesi gerekmektedir. Literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmaların çoğu; takım hasar mekanizmalarının incelenmesiyle takım ömrünü tespit edecek yöntemler geliştirmek üzerinedir. Bu çalışmada; talaşlı imalat sırasında kesici takım ömrünü etkileyen hasar mekanizmaları ele alınmıştır. Bu amaçla, Bor Kesici Takım Mak. San. Tic. Ltd. Şti. tarafından tornalama işleminde kullanılmış metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı kesici uçların hasar analiz çalışmaları yapılmıştır. Servis ömrünü tamamlamış farklı parçaların üretiminde kullanılan kesici uçlarda meydana gelen hasarlar taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. İncelenen kesici uçlarda, talaş kaldırma sırasında yüksek gerilme ve sıcaklıklara maruz kalarak plastik şekil değişimi ve aşınmalar olduğu tespit edilmiştir. Oluşan aşınmalarda en baskın olan serbest yüzey aşınmasıdır, diğer gözlenen aşınmalar krater aşınması ve çentik aşınmasıdır. İncelediğimiz kesici takımlarda oluşan kırılma gevrek kırılmadır. İncelenen tüm kesici uçlarda hasar mekanizmalarının birden fazla olduğu ve birbiriyle etkileşim içinde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kesici takım, Hasar analizi, Aşınma, Kırılma.

The failure mechanisms of various cutting tool insert in turning operations

Abstract

In today's industry, all of the mechanical procedures applied for transforming metal-based materials to their final form and make them usable require machining. Thus, cutting tools used in machining gain more and more importance. Cutting tools are one of the expenditure items that have continuity and constitute a great majority of the sector expenses. Damages such as fracture, wear, and plastic deformation that occur during machining in cutting tools make the toolkit unusable. Tool life is a significant factor that directly affects the quality and cost of the machined material. For these reasons, it is required to acknowledge the factors that affect the tool life, to take necessary precautions, and to determine the change over time of the toolkit by recognizing the tool life. Most of the studies in the literature are about the improvement of methods that would determine the tool life by examining the failure mechanisms of toolkits. In this study, the failure mechanisms that affect the tool life during machining were discussed. In accordance with this purpose, failure analyses were conducted on the metal-based, carbide-based, and ceramic-based cutting tools that were used in machining by the Bor Cutting Tools Machine Industry Trade Ltd. Co. The failures that occurred in the cutting tips used in the production of different materials that completed their service life were examined with a scanning electron microscope (SEM). In the examined cutting tips, it was determined that there were plastic strains and wear due to exposure to high levels of voltage and heat during the machining process. The most dominant wear type was flank wear; the other types of observed wear were crater wear and notch wear. It was observed that the type of fracture in the examined cutting tips was brittle fracture. It was determined that there were several failure mechanisms in all of the examined cutting tips and these mechanisms were in interaction with each other.

Keywords: Cutting tool, Failure analysis, Wear, Fracture.

GİRİŞ

Küreselleşen dünyada sektörler arası rekabet günden güne artmakta ve rekabet süreci gittikçe zorlaşmaktadır. Üretici firmaların, faaliyet gösterdikleri endüstri kollarında rekabet edebilmeleri ve konumlarını korumaları mali güçleri ile bağlantılıdır. Günümüz endüstrisinde metalik parçalara nihai şekillerinin verilip kullanılabilir hale gelmeleri için uygulanan mekanik işlemlerin tamamı talaşlı imalat yöntemlerini gerektirmektedir. Son yıllarda talaşlı imalat sektöründe; kesici takım malzemeleri ve takım tezgâhları geliştirilmiş, yüksek hızda üretim teknikleri ve kesici takımlar vasıtası ile tezgâhtaki operasyon süreleri kısaltılmış ve bunların neticesinde üretim artışı meydana gelmiştir. Yaşanan bu gelişmeler sonucunda talaşlı imalat yöntemleri ve talaş kaldırmada kullanılan kesici takımlar önem kazanmıştır. Neredeyse tüm endüstride kullanılan ve daimi bir gider olan "kesici takımlar" firma giderlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Karagöz, 2012; Ertunç ve Sevim, 2011). Üretim sırasında kesici takımda oluşan kırılma, aşınma, yanlış kullanım ve benzeri gibi durumlarda kesici takımların yenisi ile değiştirilmesi veya takımın bileme yapılarak tekrar kullanılır hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işlemlerde, doğrudan maliyeti etkilemektedir. Son derece büyük kapasiteli endüstri kuruluşlarında bu gider kalemi oldukça önemlidir.

Kesici takımın ömrünü iş parçasının istenen tolerans sınırları içinde üretilmesi ve iş parçasının yüzey kalitesinin istenen sınırlar içinde tutulması belirlemektedir. Bahsedilen bu iki kıstası sağlayamayan kesici uçlar kullanım ömrünü tamamlamış olur. Servis ömrünü arttırmak için farklı kesici takım tasarımları yapılmakta ve yeni takım malzemeleri araştırılmaktadır. Bu gelişmelerde başarı sağlamak için, kesici takımda oluşan aşınma mekanizmaları ve sebeplerinin, işleme sırasında oluşan problemlerin bilinmesi ve bunların oluşmasına karşı gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Talaş kaldırma sırasında takım çok yüksek sıcaklık ve gerilmeler altında kalır ve takımda şekil değişimleri oluşur (Lee ve diğ., 1994; Korkut ve Demir, 2008). Bu şekil değişimleri ve aşınma talaş kaldırma işlemini olumsuz yönde etkiler. Kesici takımda meydana gelen bu deformasyonlar; iş parçasının yüzey kalitesini bozarak kaliteyi düşürmekte, takım tezgâhının mil ve yataklarında titreşimlerin artmasına neden olmakta, talaş kaldırmak için gerekli olan enerji miktarını dolayısıyla enerji sarfiyatını ve üretim maliyeti arttırmaktadır. Yaşanan tüm bu olumsuzluklar kesici takım ömrünün azalmasına ve takım maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Takım ömrünü etkileyen unsurların bilinmesi, bu etkilerin minimum düzeye indirilerek kontrol altına alınması, en uygun takım ömrünü ve takım değiştirme zamanı belirlemek açısından önem taşımaktadır (Ceviz, 20015). Takım aşınmasını takip edebilmek için genellikle; direkt ve endirekt olmak üzere iki türlü yöntem kullanılır. Direkt olarak aşınmanın izlenmesi yönteminde talaş kaldırma işlemi durdurularak kesici takım üzerinde meydana gelen aşınmalar çeşitli tekniklerle ölçülür. Endirekt olarak aşınmanın izlenmesi yönteminde ise kesme işlemi durdurulmadan, talaş kaldırma esnasında tespit edilen titreşim, gürültü, güç, kesme kuvveti, iş mili hız değişimi, iş parçası yüzey kalitesi ve boyutlarının değişiminin ölçümü gibi sinyaller takım aşınma durumu ile ilgili bilgiler verir. Bu yöntemde talaş kaldırma işlemi durdurulmadığından direkt yöntemde olduğu gibi bir üretim kaybı söz konusu değildir. Ancak tespit edilen sinyallerin güvenilirlik olasılığı düşük olduğu için, endirekt olarak aşınmanın izlenmesi problemlili olabilir. Takımdaki aşınmanın tüm yönleriyle belirlenmesi için kesme işleminin durdurularak kesici insert üzerinde oluşan aşınmanın çeşitli fiziksel ölçüm yöntemleri ile tespit edilmesi gerekmektedir (Byrne ve diğ., 2003; Ceviz , 2015). Bu çalışmada kullanılan kesici takım aşınmaları direkt olarak izlenmiş ve bu amaçla elektron mikroskobu kullanılmıştır.

Talaşlı imalat esnasında kesici takımda meydana gelen ısı ve mekanik yorulma, kırılma, aşınma ve plastik deformasyon gibi hasarlar takımı kullanılamaz hale getirir. Takım ömrü, işlenen parçanın kalitesini ve maliyetini direkt olarak etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenlerden dolayı takım ömrünü etkileyen faktörlerin bilinmesi, gerekli önlemlerin alınması, takım ömrünün tespit edilip uygun takım değiştirme zamanının belirlenmesi gereklidir. Takım ömrünün doğru tespit edilmesi için takım hasar mekanizmalarının bilinmesi gerekmektedir. Gerek talaşlı imalat yöntemlerinin çeşitliliği ve talaş kaldırma şartlarındaki değişim, gerekse talaşlı imalatta kullanılan takımların çok farklı geometrilere sahip olması ve değişik malzemeden üretilmesi nedeniyle literatürde bu konuda yapılan çalışmalar büyük çeşitlilik arz etmektedir (Byrne ve diğ. 2003, Jung, 2002; Özçatalbaş, 2002). Bu çalışmalar; takım aşınmaları üzerine oluşturulan diyagramlar, aşınma mekanizmaları, aşınma tipleri ve bunların işlenebilirliğe etkisi gibi birçok açıdan çok yönlü ele alınmıştır (Hosseini ve Kishawy, 2014; Liu ve Makis, 1996; Mills, 1996, Takatsu, 1990). Bu çalışma da yapılan çalışmalara destek niteliğinde olup; talaşlı imalat sırasında kesici takım ömrünü etkileyen hasar mekanizmaları ele alınmıştır.

HASAR ANALİZİ YAPILAN KESİCİ UÇLAR

Kesici takımlarda karşılaşılan hasarların çok sayıda ve çeşitlilikte olması nedeniyle, burada en yaygın karşılaşılan hasar mekanizmaları ele alınmıştır. Bu çalışmada; Bor Kesici Takım Makine San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından tornalama işleminde kullanılan servis ömrünü tamamlamış çeşitli hasar mekanizmalarına sahip kesici uçlar kullanılmıştır. Tablo 1’de kesici takımların kodları ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kesici uçların kodları ve özellikleri

Kesici uç kodu	Özellikleri
CCMT 060204	Malzeme: WC Kaplama: PVD TiAlN
DCMT 070204	Malzeme: WC Kaplama: PVD TiAlN
ADKT 160650	Malzeme: WC Kaplama: PVD TiAlN
CCMT 09T302	Malzeme: WC Kaplama: PVD TiAlN
APFT 160448R	Malzeme: WC Kaplama: CVD TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN
VCMT 160408	Malzeme: WC Kaplama: CVD TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN

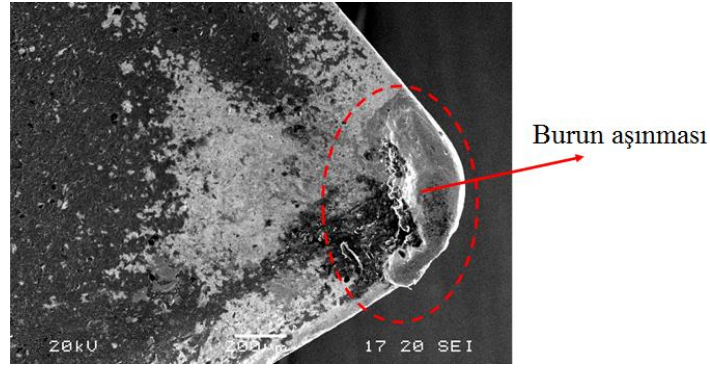
Kesici takımın ömrünü iş parçasının yüzey kalitesinin istenen toleranslar içinde tutulması belirlemektedir. İncelediğimiz servis ömrünü tamamlamış kesici uçlarda bu kriter baz alındı. Kesici uçların aşınan yüzeylerinin görüntü analizleri; Jeol JSM-5600 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile farklı büyütme oranlarında yapılmıştır. SEM görüntüleri üzerinde aşınma tipleri açıklanmıştır. Uçların aşınan kısımlarını daha iyi görüntülemek için uçlar numune tutuculara yatay bir konumda çift taraflı karbon bant yardımıyla yerleştirilmiştir. Numune tutuculara yerleştirilen kesici uçların fotoğrafları Şekil 1’de görülmektedir.



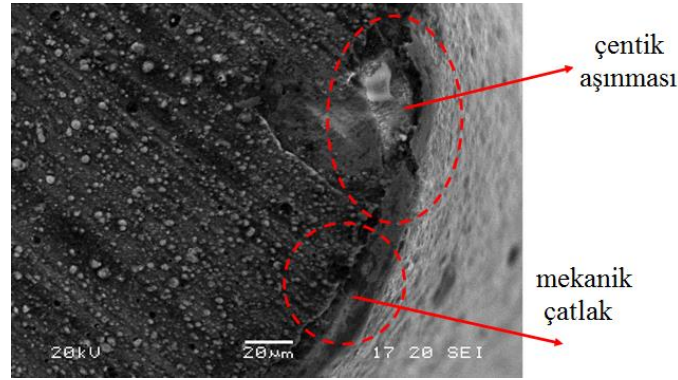
Şekil 1. SEM’de analiz etmek için hazırlanan kesici uçlar

HASAR ANALİZİ VE DEĞERLENDİRMESİ

Kesici takım hasarı ile ilgili yapılan çalışmalarda; takım aşınması üç şekilde ele alınmıştır: kırılma hasarı, sıcaklık hasarı ve zamana bağlı aşınma (Jung ve diğ., 2002). Şekil 2-7’de çeşitli metal tornalama işlemlerinde kullanılmış ve servis ömrünü tamamlamış farklı parçaların üretiminde kullanılan kesici uçların hasar mekanizmalarını içeren SEM görüntüleri verilmektedir. İncelenen tüm kesici uçlarda hasar mekanizmaları birden fazla olduğu ve birbiriyle etkileşim içinde olduğu için bahsedilen aşınmaların çoğu gözlenmiştir. Şekil 2’de verilen SEM görüntüsü üzerinde burun aşınması oluşumu tespit edilmiştir. Oluşan bu hasar mekanizması abrazyon ile korozyon ya da oksidasyon nedeniyle oluşur. Oluşan hasar mekanizmasını azaltmak veya engellemek için burun çapını arttırmak ve ilerleme hızını azaltmak gibi yöntemler kullanılabilir (Soderberg ve Hogmark, 1986). Şekil 3’de kesici uçta çentik aşınması ve mekanik çatlaklar olduğu gözlemlenmiştir. Çentik aşınmasına sebep olan etkenler takım ile atmosfer arasındaki kimyasal reaksiyon veya korozyon nedeniyle oluşan oksidasyondur. Talaş derinliği çizgisindeki kesici ucun, hem talaş yüzeyinde hem de serbest yüzeyinde aşırı derecede bölgesel hasarla belirlenen bir aşınma tipidir. Bu aşınma tipine, talaşların basınç ile kaynaması veya deformasyon sertleşmesine maruz kalmış bir yüzeyde neden olabilir (Lee ve diğ., 1994). Mekanik çatlaklara değişken mekanik yükler sebep olur. Çentik aşınmasını engellemek veya azaltmak için kesme hızını azaltmak, kaplamayı değiştirmek gibi yöntemler kullanılabilir. Mekanik çatlakları engellemek için ise tokluğu yüksek takım kullanmak gerekmektedir (Soderberg ve Hogmark, 1986).

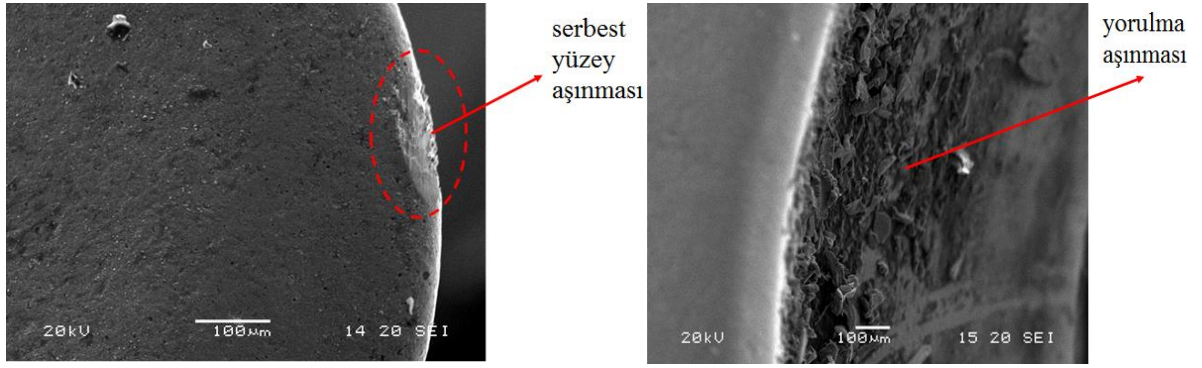


Şekil 2. CCMT 060204 kodlu kesici ucun SEM görüntüsü ve hasar mekanizmaları

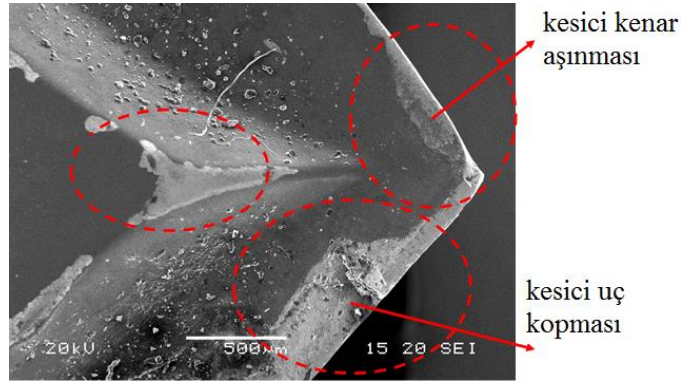


Şekil 3. DCMT 070204 kodlu kesici ucun SEM görüntüsü ve hasar mekanizmaları

Şekil 4’de kesici uçta serbest yüzey aşınması ve yorulma aşınması olduğu gözlemlenmiştir. Serbest yüzey aşınması, aşınmanın en yaygın tipidir ve aynı zamanda öngörülebilir ve istikrarlı takım ömrü sağladığından tercih edilen aşınma tipidir. Serbest yüzey aşınması, iş parçası malzemesindeki sert bileşenlerin neden olduğu aşınmaya bağlı olarak oluşur. Abrasyon, ısıl yumuşama ya da düşük hızlarda çalışma nedeniyle de oluşur. Serbest yüzey aşınma bölgesi genellikle homojen genişliktedir ve kenara yakın bölgede oluşur. Oluşan hasar mekanizmasını azaltmak veya engellemek için ilerleme hızını arttırmak ve burun yarıçapını arttırmak gibi yöntemler kullanılabilir (Jung ve diğ., 2002; Ertunç, 2011). Yorulma aşınması ısıl-mekanik bir bileşimin sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkien kesme kuvvetlerinin değişmesi, kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar (Lee ve diğ., 1994). Yorulma aşınmasını engellemek ya da azaltmak için takımın hızlarını azaltmak ve kaplama malzemesini değiştirmek gibi yöntemler kullanılabilir (Ertunç, 2011). Şekil 5’de verilen SEM görüntüsü üzerinde kesici uçta kenar aşınması ve kopma olduğu görülmektedir. Aşınma hasar mekanizması genellikle abrazyon ile korozyon ya da oksidasyon nedeniyle oluşur. Kesici ucun kopması veya kırılma, mekanik gerilim baskılarının aşırı yüklenmesinin bir sonucudur. Bu gerilimler, talaş vurması, çok yüksek olan bir talaş derinliği veya ilerleme, iş parçası malzemesindeki kum kalıntıları, talaş yığılması, titreşimler ya da kesici uç üzerindeki aşırı aşınma gibi bir dizi sebebe bağlı olabilir. Oluşan hasar mekanizmasını azaltmak için ilerleme hızı azaltılabilir (Lee ve diğ., 1994; Soderberg ve Hogmark, 1986). Literatürde yapılan birçok çalışmada; iş parçası malzemesinin sertliğinin değişmesi, kesici takım malzemesindeki mekanik ve ısıl değişkenlik, uç geometrisi ve hazırlama şekli, takım tutucusu ve iş parçası bağlantısı ve titreşimler, iş parçası yüzey karakteristiklerinin değişimi, kullanılan soğutma sıvısının kimyasal etkisi, kesme parametreleri takım ömrünü doğrudan etkilemektedir (Takatsu, 1990; Özdemir ve Erten, 2003; Ertunç, 2011; Jung ve diğ., 2002; Karagöz, 2012; Lee ve diğ., 1994).

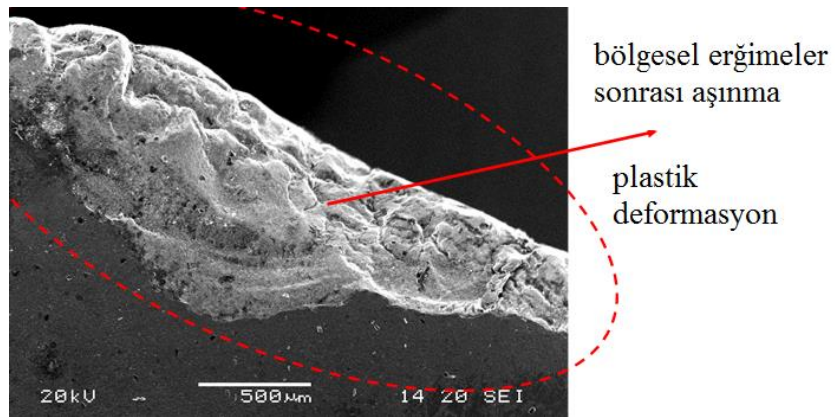


Şekil 4. ADKT 160650 kodlu kesici ucun SEM görüntüsü ve hasar mekanizmaları



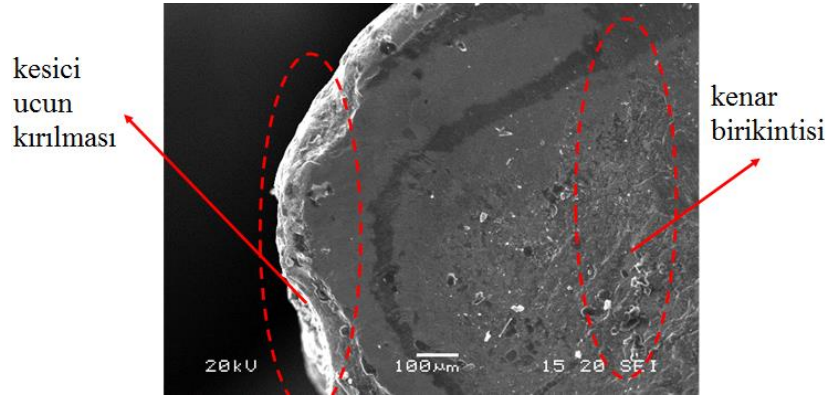
Şekil 5. CCMT 09T302 kodlu kesici ucun SEM görüntüsü ve hasar mekanizmaları

Şekil 6’da kesici uçta bölgesel ergimeler sonrası aşınma ve plastik deformasyon oluşumu görülmüştür. Isıl plastik deformasyon, kesme sıcaklığı kullanılan kesici uç için çok yüksek olduğunda meydana gelir. Genel olarak, daha sert kaliteler ve daha kalın kaplamalar plastik deformasyon aşınmasına karşı olan direnci geliştirir. (Byrne ve diğ., 2003). Takım ile talaş arasındaki temas alanı üzerinde kesme basınçları takım tarafından desteklenemediğinde, kesme kenarlarında plastik deformasyon oluşur. Kesme kenarlarının deformasyonu genellikle yüksek kesme kenar takım sertliğinin azaldığı yüksek kesme hızlarında oluşur. Bu tip hasarı önlemek için genel stratejiler; kesme kuvvetlerinin azaltılması, sağlam ve daha rijit takım tutucular kullanılması ve kırılma tokluğu artırılmış takımlar kullanılması şeklindedir (Lee ve diğ., 1994; Soderberg ve Hogmark, 1986).



Şekil 6. APFT 160448R-MBT25M kodlu kesici ucun SEM görüntüsü ve hasar mekanizmaları

Şekil 7’de kesici uçta meydana gelen hasar mekanizmaları kesici ucun kırılması ve kenar birikintisi olarak görülmektedir. Kesici ucun kırılma hasarını önlemek için genel stratejiler; kesme kuvvetlerinin azaltılması, sağlam ve daha rijit takım tertibatlarının kullanılması ve kırılma tokluğu artırılmış takımlar kullanılması şeklindedir. Kenar birikintisi yumuşak malzemelerin düşük hızlarda işlenmesi durumunda oluşur. Oluşan hasar mekanizmasını engellemek için ilerleme hızı artırılabilir (Jung ve diğ., 2002; Karagöz, 2012).



Şekil 7. VCMT 160408 kodlu kesici ucun SEM görüntüsü ve hasar mekanizmaları

Tablo 2’de, çalışmamızda inceleme sonucu belirlenen kesici takım aşınma mekanizmaları, aşınma karakteristiği ve aşınmaya sebep olan etkenlerin ortadan kaldırılması kısa özetlenmiştir.

Tablo 2. Çalışmada karşılaşılan hasar mekanizmalarının oluşumunu önlemek için öneriler

Aşınma tipi	Aşınma mekanizması	Aşınma karakteristiği	Önlem
Burun aşınması	Abrozyon/ korozyon (oksidasyon)	Kaba, düzgün olmayan aşınma	İlerleme hızını azaltmak ve burun yarıçapını arttırmak
Çentik aşınması	Kimyasal reaksiyon/korozyon (oksidasyon)	Serbest yüzeylerde renk değişimi	Kesme hızını azaltmak, kaplamayı değiştirmek
Mekanik çatlak	Değişken mekanik yükler	Kenara dik veya paralel	Tok takım kullanmak
Serbest yüzey aşınması	Abrasyon /ısıl yorulma/düşük hızlarda çalışma	Düzgün aşınma dağılımı, kalitesiz parça yüzeyi, deforme olmuş kenarlar	İlerleme hızını arttırmak, burun yarıçapını arttırmak
Yorulma aşınması	Abrasyon/osidasyon	Renk değişimi, kalitesiz parça yüzeyi	Takım hızını azaltmak, kaplama malzemesini değiştirmek
Kenar birikintisi	Yumuşak malzemelerin düşük hızlarda işlenmesi	Kalitesiz parça yüzeyi	İlerleme hızını artırmak
Uç kırılması	Difüzyon/aşınma/abrazyon	Çok hızlı aşınma, kalitesiz parça yüzeyi	Kesme kuvvetlerinin azaltılması, kırılma tokluğu iyi takım kullanımı
Çentik aşınması	Kimyasal reaksiyon/ korozyon (oksidasyon)	Serbest yüzeyde renk değişimi	Değişik kesme derinliklerinde talaş kaldırma, uç açısı ver kaplamasının değişimi

TEŞEKKÜR

Deneysel çalışmada kullanılan parçaların temin edilmesi Bor Kesici Takım Mak. San. Tic. Ltd. Şti. tarafından sağlanmıştır. Bu konudaki desteklerinden dolayı firma çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Byrne G, Dornfeld D, Denkena B 2003. Advancing cutting technology. CIRP Annals, 52(2): 483-507.
- Ceviz M 2015. Kesici takım, kesme hızı ve malzeme cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ertunç HM, Sevim İ 2011. Kesici takımların aşınmasını gözlemleme üzerine yapılan çalışmalar. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1): 55-62.
- Hosseini A, Kishawy HA 2014. Cutting tool materials and tool wear. In Machining of titanium alloys. Berlin: Springer, pp. 31-56.
- Jung I, Lubich V, Wieland HJ 2002. Tool failure—causes and prevention. In 6th International tooling conference, Sweden. 1343-1362
- Karagöz İ 2012. Kesici takım malzemesi seçiminin kesici takım kaynaklı hatalar üzerindeki etkisinin incelenmesi. Kalıp Dünyası Dergisi, 76: 118-123.
- Korkut İ, Demir H 2008. Tornalama işlemlerinde kesici takım ömrünün iyileştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım. Teknoloji, 11(2):129-135.
- Lee LC, Lam KY, Liu XD 1994. Characterisation of tool wear and failure. Journal of materials processing technology, 40(1-2): 143-153.
- Liu H, Makis V 1996. Cutting-tool reliability assessment in variable machining conditions. IEEE Transactions on Reliability, 45(4): 573-581.
- Mills B 1996. Recent developments in cutting tool materials. Journal of Materials Processing Technology, 56(1-4): 16-23.
- Özçatalbaş Y 2002. Kesici takım aşınması ve iş malzemesi mekanik özelliklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisi. Politeknik Dergisi, 4:47-52.
- Özdemir U, Erten M 2003. Talaşlı imalat sırasında kesici takımda meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri. Journal of Aeronautics and Space Technologies, 1(1):37-50.
- Soderberg S, Hogmark S 1986. Wear Mechanisms and Tool Life of High Speed Steels Related to Microstructure. Wear, 110: 315-329,
- Takatsu S 1990. Recent developments in hard cutting tool materials. High Temperature Materials and Processes, 9(2-4): 175-194.