

ISIL İŞLEMLE SERTLİĞİ 53 HRC'YE ÇIKARILMIŞ AISI 1050 ÇELİĞİNİN KAPLAMALI KARBÜR TAKIMLA İŞLENMESİNDE TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Rıza MOTORCU

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 06500-Beşevler/Ankara

Geliş Tarihi : 07.06.2005

ÖZET

Bu çalışmada, ısıl işleme sertliği 53 HRC' ye çıkarılmış AISI 1050 çeliği, TP100-Ti (C, N)/Al₂O₃/TiN içerikli ve TP1000-Ti (C, N)/Al₂O₃/Ti (C, N)/TiN içerikli kaplamalı karbür takımlarla işlenmiştir. Talaş kaldırma deneyleri sabit talaş derinliği ve ilerleme miktarında kuru kesme şartları altında yapılmıştır. Yan kenar aşınma yüzeyleri optik mikroskop altında incelenmiştir. Farklı kesme hızlarında oluşmuş yan kenar aşınması verilerinden takım ömrü eğrileri ve Taylor Takım Ömrü Denklemi sabitleri (n, C) elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, kesme hızı artışının takımların performansı üzerinde belirgin etkisi olduğunu göstermiştir. Yan kenar aşınması ve talaşlanma/kesme kenarındaki kırılmalar etkin aşınma tipi olarak tespit edilmiştir. TP1000 takımı TP100 takımından daha uzun takım ömrü vermiştir.

Anahtar Kelimeler : Yan kenar aşınması, Takım ömrü, Kaplamalı karbür takımlar, Tornalama

THE EVALUATION OF TOOL WEAR IN THE MACHINING AISI 1050 STEEL HARDENED UP TO 53 HRC WITH COATED CARBIDE TOOL

ABSTRACT

In this study, the machining of AISI 1050 steel which is hardened up to 53 HRC is carried out with two carbide tool materials (three layer coated carbide of TP100 containing Ti (C, N)/Al₂O₃/TiN and (multi layer coated carbide of TP1000 containing Ti (C, N)/Al₂O₃/ Ti (C, N)/TiN. Cutting tests are performed with constant depth of cut and feed rate under dry cutting conditions. The flank wear is examined using an optical microscope. Tool life curves and Taylor Tool Life Equation constants (n, C) are obtained via the flank wear data at various cutting speeds. The test results show that tools' performance is adversely affected by increasing cutting speed due to increased temperatures and stress generated at the cutting edges during machining. Flank wear and chipping/fracture of the tool edges are identified the major failure modes at the cutting conditions. TP1000 multi-layer coated inserts give longer tool life than those of TP100 three layer coated inserts.

Key Words : Flank wear, Tool life, Coated carbide tools, Turning

1. GİRİŞ

Talaş kaldırma yöntemleri, üretimde yaygın olarak kullanılan ve bir ürünün üretim sürecinde

oluşturulan katma değerde önemli paya sahip imalat yöntemleridir. Bu yöntemlerde başlıca girdiler arasında kesici takımlar ön planda gelir. Takım aşınması denetim altında tutulması gereken en

önemli belirleyici parametrelerden birisidir. Yan kenar aşınması üretilen parçanın çapını ve yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir. Takım aşınmasının belirlenmesinde en önemli faktör üretime ara verilmeden aşınmanın tespit edilmesidir. Bu amaçla modern üretim tezgâhlarında adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takımın ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekir. Aksi durumda üretime devam edilmesine rağmen üretilen parçaların tolerans değerleri uygun olmayacaktır. Kesici uçta meydana gelen aşınmalar yüzey kalitesinde bozulmalara neden olacağı gibi, üretimin kesici takım değiştirilmeden devam ettirilmesi üretim ve takım maliyetlerini arttıracaktır (Işık ve Çakır, 2000). Kesme parametrelerinden kesme hızı ve ilerleme değerlerinin optimizasyonu ile takım ömrünün artırılmasına ilişkin çalışmalar sonucu takım ömründe % 30'a varan artışlar sağlanmıştır (Choudhury et al., 1999).

Son 25 yıldır kesici takımlar üzerine yapılan çalışmalarda, kimyasal buhar çökertme (CVD) ve fiziksel buhar çökertme (PVD) kaplama tekniklerinin kullanılmasıyla kaplamalı karbür kesici takımların performansları artırılmıştır. Kaplamalı karbür takımlar farklı malzemelerin kesilmesinde başarıyla ve artan oranlarda kullanılmaktadırlar. Daha yüksek takım ömrü, daha fazla üretim ve daha kolay talaş akışı sağlamaktadırlar (Prengel et al., 1998). Kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. CVD teknikleriyle tek katmanlı kaplama yönteminden titanyum karbür (TiC), titanyum nitrid (TiN), titanyum karbonitrid (TiCN) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) içerikli çok katmanlı takımların kullanılmasına geçişle birlikte dökme demirlerin ve çeliklerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi gerçekleştirilmiştir (Şahin, 2003).

50–65 HRC sertlik değerine sahip sertleştirilmiş çelikler üzerinde yüksek kesme hızlarında bitirme işlemlerinin uygulanması ekonomik bir yol olduğundan dolayı bu tür işlemler tercih edilmektedir. Yüksek kesme hızlarında yapılan tornalama işlemleriyle karmaşık iş parçaları bir operasyonda işlenebilmektedir. Sertleştirilmiş çeliklerin kesilmesinde takım ucunda oluşan ısı uç değerlere ulaşabilmektedir. Sıcaklık, soğutma sıvısı kullanmaksızın doğru kesici takımların seçilmesiyle de azaltılabilir (Wang and Ezugwu, 1997).

Bu çalışmada, ısıl işleme sertleştirilmiş AISI 1050 düşük alaşımlı karbon çeliği üzerinde farklı kaplama katmanlarına sahip kaplamalı karbür kesici takımlarla farklı kesme hızlarında işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Yan kenar aşınmasına bağlı olarak takım ömrü grafikleri çizilmiş ve Taylor

Takım Ömrü Denklemi sabitleri çıkarılmıştır. Kesici takım aşınmaları optik mikroskopla incelenmiş ve aşınma davranışları değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜRÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kaplama katmanları ve tekniklerinin gelişimiyle birlikte kaplamalı karbür kesici takımların geliştirilmiş özellikleri bu takımları sertleştirilmiş çeliklerin, alaşımlı çeliklerin ve demir dışı alaşımların işlenmesinde çekici hale getirmiştir. Artan kesme hızlarında kullanılabilme özellikleri işleme zamanını kısaltarak işleme maliyetlerini azaltmıştır. Karbür kesici takımların aşınma davranışları oldukça karmaşıktır ve seçilen iş parçası malzemesi-kesici takım çiftine göre farklılık göstermektedir. Dolayısıyla takım performanslarını arttırmak için optimum parametrelerin belirlenmesi ve aşınma davranışlarının tanımlanması gerekliliği birçok araştırmacıyı bu konularda çalışmaya sevk etmiştir.

Wang ve Ezugwu (Wang and Ezugwu, 1997) tarafından yapılan çalışmada PVD yöntemi ile TiN ve TiN/TiCN/TiN kaplanmış karbür kesici takımların Ti-6Al-4V malzemesinin işlenmesindeki performansı araştırılmıştır. Yan kenar aşınması, talaşlanma, burun uç yarıçapında ve talaş yüzeyindeki çökeltme etkin aşınma mekanizması olarak rapor edilmiştir. Benzer diğer iki çalışmada nikel esaslı alaşım C-263 PVD yöntemiyle kaplanmış çok katmanlı TiN/TiCN/TiN ve tek katmanlı kaplamalı takımlarla işlenmiştir. Yine, Ni-Cr-Mo esaslı çelik malzemeler ise TiN- Al_2O_3 kaplı kaplamalı takımlarla işlenmiştir. Çok katmanlı karbür uçlar daha yüksek takım ömrü vermekte iken tek katmanlı takımlar ise daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri sağlamıştır. Bununla birlikte, kaplama katmanının aşınma mekanizması takım performansını, dolayısıyla takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve kuvvet bileşenlerini etkilemiştir (Ezugwu, 2001a; Ezugwu, 2002a).

Uhlmann and et al., (2000) tarafından yapılan çalışma CVD yöntemleriyle üretilmiş elmas kaplı karbür ve seramik kesici takımların aşınma davranışlarını tanımlamaktadır. Elyaf takviyeli malzemeler, ötektik üstü alüminyum-silikon alaşımı ve bakır-alüminyum alaşımı malzemeler iş parçası olarak kullanılmıştır. Kaplamalı takımlarda abrasif ve adheziv aşınma gözlenmişken benzer aşınma türleri kaplamasız karbür takımlarda da tespit edilmiştir. Kaplamalı karbür kesici takımlar, paslanmaz çeliklerin işlenmesinde de geniş uygulama alanı bulmuştur. Paslanmaz çelikler

üzerine yapılan bir çalışmada, X5CrMnN1818 östenitik paslanmaz çeliğin, TiN kaplı sinterlenmiş karbür takımla işlenmesinde oluşan aşınma ve kırılma mekanizmaları açıklanmıştır. Kesme hızı ve takım ömrüne bağlı V-T diyagramları oluşturulmuştur. Kesme hızı artırıldığında, talaş oluşumunun zorlaştığı ve takım malzemesi üzerinde talaşlanma hatalarının olduğu rapor edilmiştir. Yine, yapılan mikro sertlik ölçümleri ile talaş sıvanmasının (BUE-Built Edge Up) ve işlenmiş yüzeyde mikro çatlakların olduğu tespit edilmiştir. BUE yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır (Paro et al., 2001).

Kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takımların kesme kuvveti, takım talaş yüzeyindeki aşınma ve talaş özellikleri üzerindeki etkisi, üç farklı içerikteki östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde incelenmiştir. Talaş kesme yüzeyinin arka kısımlarında kısa işleme sürelerinde difüzyon aşınması oluşmuştur. Aynı zamanda BUE oluşumu da gözlenmiştir (Agrawal et al., 1995). Martenzitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği üzerine yapılan ve Ti (C, N)/TiC/Al₂O₃, Ti (C, N)/Al₂O₃/TiN çok katmanlı kaplamalı karbür kesici takımların kullanıldığı birbirini tamamlayan iki çalışmada ise yüksek kesme hızlarında burun aşınması ve kesme kenarında kırılmaların en etkin aşınma şekli olduğu rapor edilmiştir (Ezugwu, 2001b; 2002b).

Düşük kesme hızlarında, takım talaş akma yüzeyinden en üst katmandaki Al₂O₃ katmanında kırılmaların olduğu tespit edilmiştir. Yine seramik kaplama katmanında ise talaş akışı sırasında çözünme ve difüzyonun olduğu gözlenmiştir (Ezugwu, 2001b). CVD ile Ti (C, N)/TiC/Al₂O₃ ve PVD ile TiN kaplı takımların kuru ve soğutma sıvılı kesme şartlarında yapılan deneylerde ise işlenmiş yüzeylerin mikro yapısı incelenmiş ve tane sınırlarında plastik deformasyonun olduğu rapor edilmiştir. Yağ esaslı kesme sıvılarının kullanılması CVD ile kaplı karbür kesici takımların takım ömrünü artırmışken PVD kaplı takımlar keskin kesme kenarına sahip oldukları için kesme kenarında kırılmalar oluşmuştur (Ezugwu, 2002b). İş parçasının artan sertlik değerlerinin kesme sıcaklığının artmasına neden olduğu; TiN kaplamasının deformasyona uğrayarak talaş yüzeyi üzerindeki akan talaş üzerinde “çekiçleme” etkisi yarattığı rapor edilmiştir.

Monaghan and MacGinley, (1999) tarafından yapılan çalışmada da sonlu elemanlar analizi kullanılarak Inconel 718 nikel esaslı süper alaşımın işlenmesinde kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen takım aşınması ve gerilme sonuçları ile deneysel veriler yakın çıkmış ve tatmin edici

bulunmuştur. Nikel esaslı alaşımların karbür ve seramik kesici takımlarla işlenmesinde takım aşınması ve takım ömrü üzerinde kesme hızı en önemli faktör olduğu için Li and et al., (2002) Inconel 718 üzerinde işlenebilirlik deneyleri yaparak kesme hızını optimize etmeyi amaçlamışlardır. Yapılan çalışmada düşük kesme hızlarında çıtılamalar oluşmasına rağmen, takım daha az zarar görmüş ve artan kesme hızı ile birlikte burun ve yan kenar aşınması artmıştır. Yapılan çalışma sonunda PVD kaplı kaplamalı takımlar CVD kaplı takımlara göre daha iyi performans sergilemiştir.

AISI 1060 çeliğin tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerinde kuru olarak yapılan soğutma ile sulu işlemenin etkisi bir başka deneysel çalışmada araştırılmıştır (Paul et al., 2001). Soğutma elemanı olarak kullanılan ve çözülebilen yağlar ile kuru işlemenin sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda kuru soğutmanın takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkisi olduğu saptanmıştır. Kesme bölgesindeki sıcaklık artışının engellenmesinin de takım ömrü üzerinde belirgin bir artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.

Das and et al., (1997) tarafından yapılan çalışmada, C60 orta karbonlu bir çeliğin TiN kaplı karbür takımlarla işlenmesinde yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak takım aşınması görüntülenmiştir. Sistem tarafından tahmin edilen aşınma değerleri ile doğrudan ölçülmüş yan kenar aşınması değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Haron and et al., (2001) tarafından yapılan çalışmada da, 23 HRC sertliğindeki takım çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlarla işlenmesinde yan kenar aşınması temel alınarak kesici takımların aşınma davranışları araştırılmıştır. Kaplamasız karbür takımların aşınması kaplamalı takımlardan fazla olmakta iken her iki kesici takımında düzenli bir yan kenar aşınması sergilemiştir. Kaplamasız takımlarda yan kenar aşınması uç yarıçapı bölgesine yakın bölgede oluşmakta iken; kaplamalı takımlarda ise bu aşınma kesme kenarından 0.4–0.7 mm içeride olmaktadır. Yine kaplamasız takımlarla kuru ve sulu kesmede yapılan talaş kaldırma deneylerinde kesme sıvısı kaplamasız takımın ömrünü arttırmıştır. Lim et al., (2001) tarafından yapılan çalışmada ise TiC kaplı karbür kesici takımların davranışları yapılmış deneysel çalışmalardan derlenerek haritalama yöntemiyle açıklanmıştır. İncelenen aşınma davranışları, AISI 1045 ve AISI 4340 çeliğinin özellikle yüksek kesme hızlarında ve ilerleme oranlarında işlenmesinde yan kenar aşınmasının olduğunu göstermiştir. AISI 1045 çeliğinin çok katmanlı karbür kesici takımla işlenmesinde kesici takım performansları yanıt-yüzey metodu ile incelenmişken diğer bir çalışmada ise AISI 4340 çeliğinin tornalanmasında kaplamasız, iki katmanlı

(TiC/Al₂O₃) ve üç katmanlı (TiC/Al₂O₃/TiN) kaplamalı karbürlerin performansları akustik emisyon (AE) yöntemiyle değerlendirilmiştir (Cho, 1997; Noordin et al., 2004).

Tornalama işlemleri için kesme hızının geniş bir aralığında takım ömrünün değişimine neden olan etkiler Astakhov and Osman, (1996) tarafından yapılan çalışmada belirlenmiştir. Kesme parametreleri arasındaki temel ilişkiler belirleyerek işlemin daha iyi anlaşılmasını sağlamak, bu ilişkilerle optimum kesme hızının seçilmesini sağlayacak kataloglar hazırlamak araştırmacıların çalışmadaki hedefi olmuştur. İyon emdirilmiş PVD ile TiN, TiCN ve yüksek iyon emdirilmiş PVD ile TiAlN kaplamalar Inconel 718, SAE 1045 karbon çeliği ve dökme demirin düşük ve yüksek hızlarda tornalanmasında test edilmiştir. Çalışmada TiAlN kaplı takımlar en iyi kesme performansı sergilemişken bunu TiCN ve TiN kaplı takımlar izlemiştir (Jindal et al., 1999). Rupi and et al., (1998) tarafından yapılan çalışmalarda, TiC, Ti (C, N) ve Al₂O₃ kaplamalı karbür takımların su verme + temperleme işlemiyle sertleştirilmiş 42CrMo4 çeliğinin işlenmesindeki aşınma karakteristikleri araştırılmıştır. Çalışmada en iyi kenar aşınması direncini Ti (C, N) kaplamalar verirken bunu TiC kaplaması izlemiştir. En düşük yan kenar aşınması dayanımını ise Al₂O₃ kaplama göstermiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde geniş bir malzeme gurubunun işlenmesinde uygulama alanı bulan karbür kesici takımlar ile işleme performansları arttırılabilmektedir. Tanımlanan takım performansları ve aşınma davranışları işlenecek malzemeye uygun optimum parametrelerin seçimine katkı sağlayacaktır. Malzemelerin ısıl işlem gördükten sonra işlenmesi ikinci bir işlemeyi ortadan kaldıracak ve maliyetleri azaltacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada; ısıl işlem görmüş ve imalatta önemli bir yer tutan AISI 1050 çeliğinin işlenmesindeki kaplamalı karbür takımların takım ömrü performansları ve aşınma davranışları araştırılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3. 1. İş Parçası Malzemesi

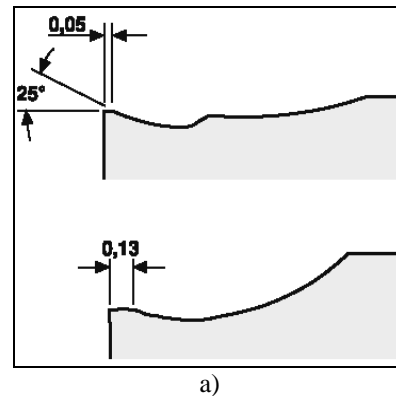
İş parçası malzemesi olarak Ø 50 x 200 mm boyutlarında AISI 1050 düşük alaşımlı karbon çeliği kullanılmıştır. Kimyasal kompozisyonun Tablo 1'de verilmiştir. İş parçası ISO 3685 göz önünde bulundurularak boy/çap oranı 10/1 den küçük olacak şekilde hazırlanmıştır.

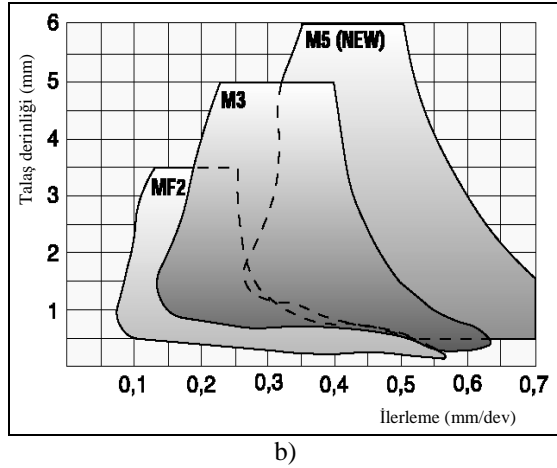
Tablo 1. İş Parçasının Kimyasal Kompozisyonu (Ağırlıkça %)

C	Si	Mn	P	S
0.470	0.176	0.658	0.0144	0.00531
Cr	Mo	Ni	Al	Co
0.0540	0.0250	0.133	0.0201	0.0193
Cu	Nb	Ti	V	W
0.169	<0.0020	<0.0010	<0.0010	<0.0050
Sn	Sb	Fe		
<0.004	<0.0020	98.24		

3. 2. Kesici Takımlar ve Takım Geometrileri

Tornalama testlerinde farklı kaplama katmanlarına sahip kaplamalı karbür uçlar kullanılmıştır. SECO ticari firması tarafından üretilmiş olan uçlar ISO tanımlamasına göre TNMG 160408 takım geometrisine, TP100 ve TP1000 kalitesine ve MF2 talaş kırıcı geometrisine sahiptir. TP100 ve TP1000 kalitelerinin alt maddeleri aynıdır. TP100 kalitesi kimyasal buhar çökertme metodu (CVD) ile kaplanmış olup; Ti (C, N) alt katmana, Al₂O₃ orta katmana ve TiN üst katmana sahiptir. TP100 kalitesi oldukça yüksek aşınma dayanımına sahip çok amaçlı bir uçtur. Çeliklerin, alaşımlı çeliklerin ve dökme demirin orta-kaba ve bitirme işlemlerinde kullanılmaktadır. TP1000 kalitesi ise kimyasal buhar çökertme (CVD) ve azaltılmış sıcaklıkta kimyasal buhar çökertme (MTCVD) teknikleri ile üretilmiş olup; Ti (C, N) alt katman, Al₂O₃ ve Ti (C, N) orta katmanları ve TiN üst katmanlarından oluşmuştur. TP1000 uzun takım ömürlerine karşı oldukça iyi aşınma dayanımına ve tokluğa sahiptir. Kuru işlemede ve hızlı talaş kaldırmada mükemmel performans sergilemektedir. Kesici takımlar, kama açısı $\beta = 120^\circ$ ve uç yarıçapı $r = 0.8, 1.6$ mm geometriye sahiptirler. Uçlar rijit bir takım tutucuya tutturulmuştur. MF2 talaş kırıcı Şekil 1a. Ve bu talaş kırıcı formu ile işleme aralıkları da Şekil 1b'de sunulmuştur. Talaş kırıcı formu ve bu talaş kırıcı formu ile işleme aralıkları Şekil 1'de sunulmuştur (Anon., 2003). Kullanılan kesici takımlarda seçilen MF2 kalitesi bitirme operasyonlarında ilk seçim olarak üretici firma tarafından önerilmektedir. İşleme aralığı $f = 0.1-0.4$ mm/dev, talaş derinliği ise $a = 0.2-3$ mm'dir (Anon., 2003).





Şekil 1. Kesici takımların özellikleri a) MF2 talaş kırıcı formu b) İşleme aralıkları (Anon., 2003).

3. 3. Kesme Şartları

Tornalama testleri, ilerleme miktarı (f) 0.075 mm/dev ve talaş derinliği (a) 1 mm sabit tutularak farklı üç kesme hızlarında (V) 50, 70, 90 m/dak kuru olarak yapılmıştır. İlerleme miktarı iş parçasının sertlik değeri göz önünde bulundurularak en alt seviyede tutulmuştur.

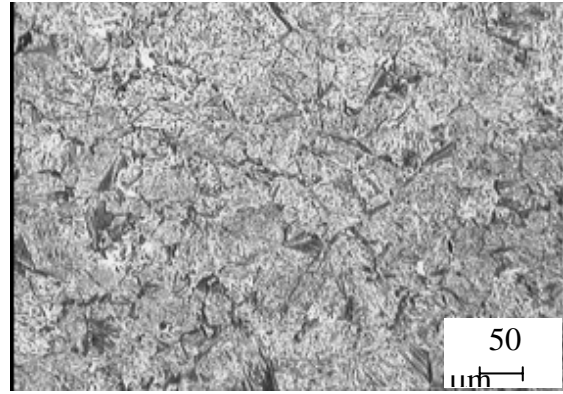
3. 4. Deneysel Teknikler

İşlenebilirlik deneyleri Johnford TC35 sanayi tipi Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (CNC) torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâh gücü 10 KW, devir sayısı maksimum 4500 devir/dak olup kademesiz olarak devir kontrolü yapılmaktadır. İş parçalarında ısıl işlem sonrası oluşan dış çaplardaki dekarbürize bölgeyi yok etmek için iş parçaları düşük kesme hızlarında işlenebilirlik deneylerinde kullanılmayacak diğer takımlarla Ø48 mm'ye tornalanmıştır. Merkez ile dış çap arasındaki sertlik farkı takım ömrünün belirlenmesinde önemli olduğu için iş parçaları Ø20 mm'ye kadar tornalanmıştır. Her kesici uç için 100 mm'lik kesme boyunda talaş kaldırılarak takım ömrü eğrileri elde edilmiştir. Takım aşınmaları Mitutoyo verniyer bölüntülü, 5–10 büyütme ve 0.001 hassasiyette ölçme yapabilen optik mikroskop ile ölçülmüştür.

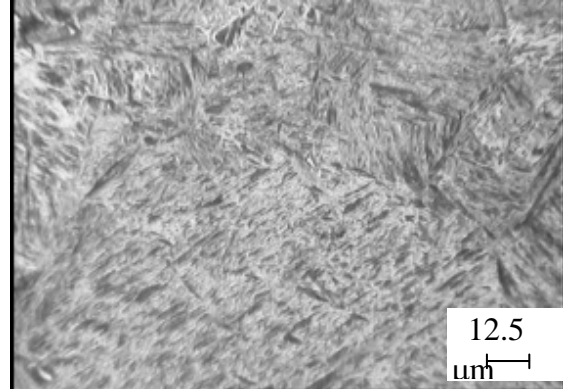
3. 5. Metalografik Çalışmalar

Isıl işlem uygulanan Ø50X200 mm boyutlarındaki iş parçasından 25X10X5 mm boyutlarında numuneler kesilerek bakalite gömülmüştür. Standart metalografik yöntemlerle (Zımparalama+Polisaj) metalografik incelemeye hazır hale getirilmiştir. Dağlayıcı olarak % 2 Nital (%2 HNO₃ + %98 CH₃OH) kullanılmıştır. Bütün mikroyapıların görüntülenmesinde Panasonic dijital kamera

bağlantılı Prior marka optik mikroskop kullanılmıştır. Isıl işlem görmüş AISI 1050 iş parçasının mikro yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Dağlama sonrası optik mikroskop incelemelerinde martensit açık kahverengi, perlit siyah ferrit ise beyaz renkte açığa çıkmış ve ferrit-ferrit tane sınırları belirginleşmiştir. Isıl işlem sonrası çapa bağlı olarak sertliklerin değişimi Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'den hesaplanarak talaş kaldırma işleminin yapıldığı Ø48 mm ve Ø20 mm arasında ortalama sertlik 53.2 HRC olarak elde edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2. Isıl işlem görmüş AISI 1050 çeliğinin mikro yapısı a) X 100 büyütme, b) X 400 büyütme

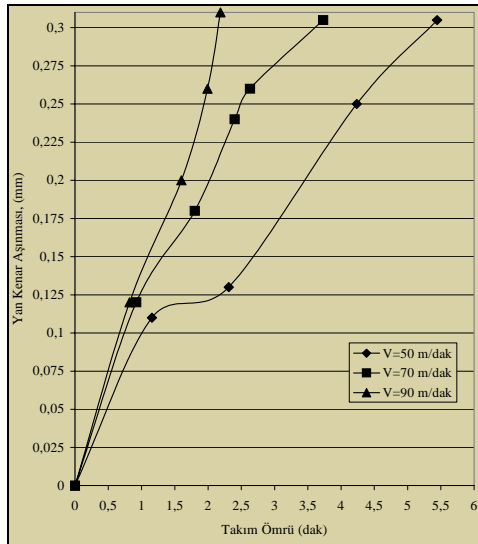
Tablo 2. AISI 1050 Çeliğinin 830 °C'de 2 Saat Tavlanması ve Suda Sertleştirilmesi Sonucu Çapa Bağlı Olarak Sertliklerin Değişimi.

Çap (mm)	830 °C'de su verme
48	61.9
44	61.5
40	59.3
36	58
32	56
28	52.2
24	42.2
20	34.6
16	32.1
12	30.3

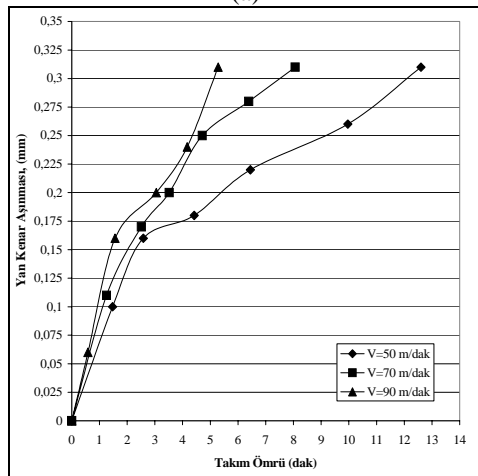
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4. 1. Kesme Hızı-Yan Kenar Aşınması İlişkileri

Takım ömrü üzerinde en etkili kesme parametresi olan kesme hızının artması yan kenar aşınması (VB)'nin oluşumunu hızlandırdığından, yan kenar aşınması miktarı takım ömrünün belirlenmesinde önemli bir etkidir. Yan kenar aşınması kriteri kaplamalı kesici takım kullanıldığı için VB = 0.3 mm olarak alınmıştır. TP100 ve TP1000 kaplama katmanlarına sahip karbür kesici takımlarla üç farklı kesme hızında, sabit talaş derinliği ve ilerleme miktarında kuru olarak yapılan kesme şartlarında yan kenar aşınmasına bağlı olarak elde edilen takım ömrü eğrileri Şekil 3a ve b'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3. Kaplamalı karbür takımlar için takım ömrü eğrileri a) TP100 kalitesi, b) TP1000 kalitesi.

Eğrilerden farklı kaplama katmanlarına sahip her iki takımında da takım ömrü daha yüksek kesme hızlarında hızla düşmektedir. TP100 takımlara göre daha yüksek takım ömrü sergilemesine rağmen her iki takımında benzer takım ömrü eğrileri sergilemiştir. TP1000 kalitesi VB = 0.15 mm yan kenar aşınmasına kadar her üç kesme hızında da hızlı bir aşınma gösterirken V = 50 m/dak düşük kesme hızında bu değerden sonra takım aşınması artışı yavaşlamıştır (Şekil 3b). TP100 kesici takımlar içinde benzer eğilim VB = 0.11 mm'ye kadar görülmektedir (Şekil 3a). Aşınma ve takım ömrü eğrileri karşılaştırıldıklarında çok katmanlı takımlar üç katmanlı takımlara göre yaklaşık 2 kat daha fazla takım ömrü artışı sağlamışlardır. Bu TP1000 takımların bir fazla olan TiN en üst katmanının kesme sırasında yağlama etkisinin sonucudur (Şahin, 2003). TiN düşük sürtünme katsayısına sahip olduğundan dolayı takım ömrü üzerinde kaplama katmanının verimliliğini arttırmıştır. Takımın talaş yüzeyi üzerinden talaş akışı kolaylaştığı için kesme kuvvetleri düşmektedir. Bu kaplama aynı zamanda talaş, iş parçası yüzeyi ve karbürün ana malzemesi arasında mükemmel bir difüzyon bariyeri oluşturmuştur. Benzer sonuç, Wang and Ezugwu tarafından yapılan çalışmada da tespit edilmiş ve PVD yöntemi ile TiN kaplı tek katmanlı takımın TiN/TiCN/TiN kaplı çok katmanlı takımından daha az takım ömrü sergilediği rapor edilmiştir. Araştırmacılar bu durumu kaplama katmanlarının farklı termal ve tribo-kimyasal özellikleri ile kesici takımların ana katman malzemesi ile ilişkilendirmişlerdir (Wang, 1997). Bununla birlikte kaplamasız takımlar kaplamalı takımlardan daha az takım ömrü sergilemişken (Haron, 2001), üç katmanlı takımın iki katmanlı takımından daha iyi performans gösterdiği de rapor edilmiştir (Cho, 1997). Takım ömrü üzerinde kaplama yönteminin etkili olacağı vurgulanmış ve PVD kaplı kaplamalı takımların CVD kaplı takımlara göre daha iyi performans sergilemiştir (Li et al., 2002).

4. 2. Takım Ömrü Denklemleri

Kesme parametrelerinin takım ömrü üzerinde etkileri konusunda Taylor tarafından yapılan deneylere göre takım ömrü (T) ve kesme hızı arasındaki ilişki;

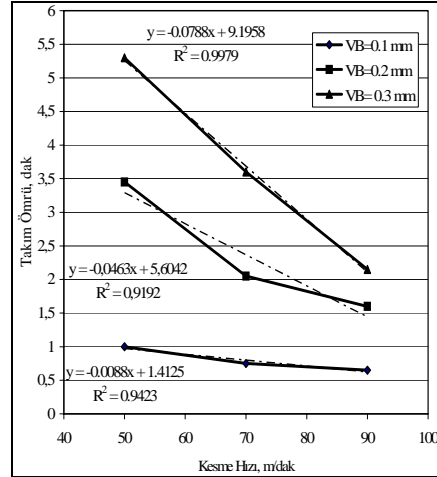
$$V.T^n=C \quad (1)$$

ile ifade edilmektedir. Bu denklemden ve C kesme parametrelerine bağlı sabitlerdir (Işık, 2000). Bu denklemlerle kesici takım-malzeme çiftine bağlı olarak seçilen kesme şartları altında takım ömrü hesaplanabilmektedir. Şekil 3'te elde edilen yan kenar aşınması-takım ömrü eğrilerinden TP100 ve TP1000 kesici takımlar için kesme hızı takım ömrü

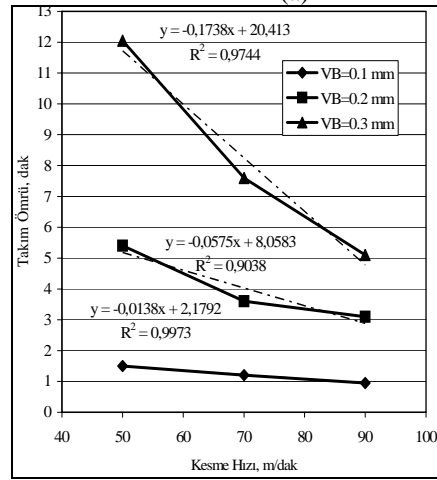
doğruları, doğruların denklemleri ve takım ömrü-kesme hızı arasındaki ilişki katsayısı (R^2) Şekil 4a ve Şekil 4b'de verilmiştir. İlerleme miktarının ve talaş derinliğinin etkisi kesme hızına göre daha az olduğundan değerlendirilmemiştir.

Şekil 4'teki grafiklerden TP100 ve TP1000 kaplama katmanlarına sahip kaplamalı karbür kesici takımlar için Taylor takım ömrü denklemleri Tablo 3'te sunulmuştur. Her iki takım için $V_B=0.1$ mm, $V_B=0.2$ mm ve $V_B=0.3$ mm yan kenar aşınmasındaki takım ömrü değerleri kullanılarak Taylor Takım Ömrü denklemleri çıkarılmıştır. Yine her iki kesici takım için çıkarılan üç Taylor Takım Ömrü denkleminin n ve C sabitlerinin aritmetik ortalaması alınarak $V_B=0.1-0.3$ mm aralığına ait n ve C sabitleri çıkarılmıştır. Matematiksel ifade sonucu bulunan katsayılar belirli takım-ış parçası çiftinde optimum takım ömrünün belirlenmesinde kullanılmaktadır (Işık ve Çakır, 2000).

Tablo 3'te görüleceği üzere öncelikle takım malzemesine aynı zamanda iş parçası ve kesme şartlarından ve ortamdan etkilenen bir üs olan "n" sabiti tüm yan kenar aşınması oranları için hesaplanan takım ömrü denklemlerinde çok katmanlı-TP1000 takımlar için daha yüksek çıkmıştır. Bu durum takım malzemesinin (kaplama katmanının) takım ömrü denklemindeki etkisini yansıtmaktadır. Diğer taraftan girdi (kesme) parametrelerine özellikle de ilerlemeye bağlı olan "C" sabiti (Işık, 2000) ise yan kenar aşınması miktarı arttıkça her iki takım için de artmıştır.



(a)



(b)

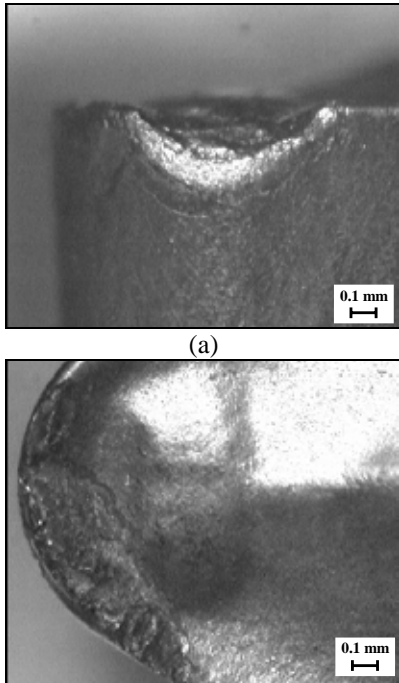
Şekil 4. Kesme hızı takım ömrü doğruları a) TP100 kalitesi, b) TP1000 kalitesi

Tablo 3. Isıl İşlem Görmüş AISI 1050 Çeliğinin TP100 ve TP1000 Kaplamalı Karbür Takımlar ile İşlenmesinde Taylor Takım Ömrü Denklemleri

1. TP100 Kaplamalı Karbür Kesici Takım					
Yan Kenar Aşınması (V_B , mm)	V (m/dak)	T (dak)	Takım Ömrü Denklemleri		
$V_B=0.1$ mm	$V_1=50$ $V_2=70$ $V_3=90$	$T_1=0.9725$	$V \cdot T^{1.68}=47.711$	$V \cdot T^{1.343}=51.694$	$V \cdot T^{0.933}=124$
		$T_2=0.7965$	$V \cdot T^{1.006}=55.678$		
		$T_3=0.6205$	$V \cdot T^{1.017}=167.822$		
$V_B=0.2$ mm	$V_1=50$ $V_2=70$ $V_3=90$	$T_1=3.2892$	$V \cdot T^{0.505}=108.072$	$V \cdot T^{0.761}=137.947$	
		$T_2=2.3632$	$V \cdot T^{0.943}=239.113$	$V \cdot T^{0.696}=182.404$	
		$T_3=1.4372$	$V \cdot T^{0.449}=125.696$		
$V_B=0.3$ mm	$V_1=50$ $V_2=70$ $V_3=90$	$T_1=3.2892$	$V \cdot T^{1.64}=96.075$	$V \cdot T^{1.306}=90.28$	
		$T_2=2.3632$	$V \cdot T^{0.973}=84.485$		
		$T_3=1.4372$	$V \cdot T^{1.34}=453.46$		
$V_B=0.2$ mm	$V_1=50$ $V_2=70$ $V_3=90$	$T_1=5.1833$	$V \cdot T^{0.745}=198.03$	$V \cdot T^{1.042}=325.475$	
		$T_2=4.0333$	$V \cdot T^{0.956}=526.11$	$V \cdot T^{0.707}=355.257$	
		$T_3=2.8830$	$V \cdot T^{0.459}=184.403$		
$V_B=0.3$ mm	$V_1=50$ $V_2=70$ $V_3=90$	$T_1=11.723$			
		$T_2=8.247$			
		$T_3=4.771$			

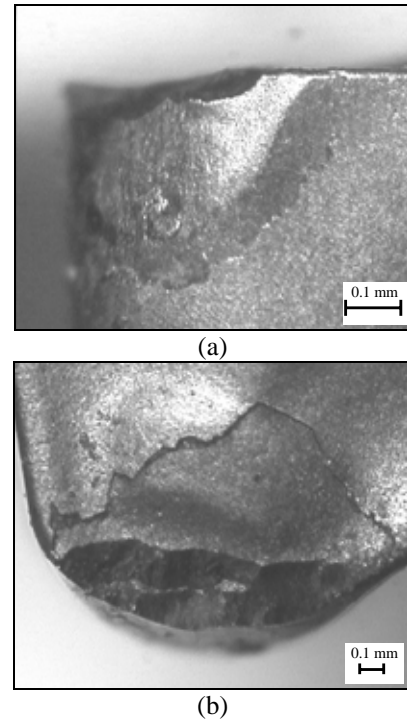
4. 3.Takım Aşınmaları

Takım aşınmasını değerlendirmek amacıyla optik mikroskop ile aşınan uçların yan kenar kesme kenarı ve kesici takım uç yarıçapı incelenmiştir. Şekil 5'te ısıtılmış AISI 1050 iş parçasının TP1000 kaplama katmanına sahip kesici takımla $V=90$ m/dak'da işlenmesinde aşınma desenleri görülmektedir. 90 m/dak kesme hızında, yan kesme kenarında uniform olmayan bir yan kenar aşınması gözlenmiştir (Şekil 5a), daha yüksek büyütmedeki optik görüntüde ise takımın uç yarıçapında kaplama katmanının kırıldığı (Şekil 5b) ve aşınmanın karbürün ana maddesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Yüksek kesme hızlarında artan talaş hacmi kesme bölgesinde sıcaklık artışına sebep olmuş ve artan gerinimle birlikte kesme kenarında yan kenar aşınması oluşmuştur. Kesmenin ilk dakikalarında esas kesme sırasında izlenen mikro çatlaklar ve kırılmalar işleme süresinin artmasıyla kaplama katmanının kırılması şeklinde gelişmiş ve kaplama katmanının etkisinin ortadan kalkması kırılmanın ilk başladığı bölgeden itibaren yan kenar aşınması artmıştır. Şekil 5b'de görülen uç yarıçapı bölgesindeki kaplama katmanının kırılması talaş kırıcı formunun uç yarıçapında kesiştiği bölgede maksimum değerine ulaşmıştır. Kesişim bölgesinin zayıfladığı kaplama katmanının kırılmasına neden olurken kaplama katmanının etkileri ucun deformasyonunu engellemiştir.



Şekil 5. Isıl işlem görmüş AISI 1050 çeliğinin TP1000 kesici takımla işlenmesinde aşınma desenleri, $V=90$ m/dak, a) Yan kenar aşınması, b) Uç yarıçapı aşınması

TP100 kesici takımlar için Şekil 6a'da görüldüğü gibi kaplama katmanı kırılmakta ve yan kenar aşınması ile burun aşınması birleşmektedir. Yan kenar aşınması a bölgesinde maksimum değere ulaşmaktadır. Benzer eğilimler Lim ve diğerleri (Lim and et al., 2001) tarafından yapılan çalışmada da gözlenmiş ve kesme hızı ve ilerleme miktarının etkili olduğu rapor edilmiştir. Çok katmanlı kaplamalı karbür kesici takımla bitirme yüzeyi tormalanmada kesme hızı ve ilerleme miktarı takım aşınması üzerinde en etkili parametreler olarak tespit edilmiştir. Yan kenar aşınması, talaşlanma/kırılmalar ana aşınma modunu oluşturmuştur. Daha yüksek kesme hızlarında ise difüzyon aşınması oluşmuştur (Rupi et al., 1998).



Şekil 6. Isıl işlem görmüş AISI 1050 çeliğinin TP100 kesici takımla işlenmesinde aşınma desenleri, $V=90$ m/dak, a) Yan kenar aşınması, b) Uç yarıçapı aşınması

Her iki kaplama katmanında oluşan aşınma tipleri ile literatürde yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlarla benzer şekilde, Ti-6Al-4V malzemesinin kaplamalı karbür takımlarla işlenmesinde de yan kenar aşınması, burun uç yarıçapında ve talaş yüzeyindeki çökelmenin etkin aşınma mekanizması olduğu görülmüştür (Ezugwu, 2002.a). Paslanmaz çeliklerin düşük kesme hızlarında işlenmesinde takım talaş akma yüzeyinden en üst katmandaki Al_2O_3 katmanında kırılmalar oluşmakta iken (Ezugwu, 2001.b), TP100 kesici takımla seçilen en yüksek kesme hızında- $V=90$ m/dak kaplama katmanı

tamamen kırılarak alt maddeye ortaya çıkmıştır (Şekil 6.b). Şekil 6.b'de görüldüğü gibi kaplamanın deformasyonla kırılması kesme sırasında akan talaşın ana madde üzerinde "çekiçleme" etkisi yaratmıştır (Ezugwu, 2002). 95MnCrW1 takım çeliğinin kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici takımlarla işlenmesinde; kaplamalı takımlarda yan kenar aşınmasının kesme kenarından 0.4–0.7 mm içeride, kaplamasız takımlarda ise aşınmanın uç yarıçapı bölgesine yakın bölgede olduğu rapor edilmiştir (Haron, 2001). Şekil 5.a ve Şekil 5.b incelendiğinde aynı aşınma eğiliminin kullanılan takımlarda da sergilenmiş olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Sertleştirilmiş AISI 1050 çeliği üzerinde farklı kaplama katmanlarına sahip karbür takımların aşınma davranışlarını belirlemek ve yan kenar aşınması-takım ömrü eğrilerinden Taylor Takım Ömrü denklemlerini elde etmek amacıyla yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır:

- 1) Her iki kaplama katmanı için kesme hızının arttırılmasıyla, takım ömrü belirgin bir şekilde azalmıştır. TP1000 kesici takımlar, TP100 kesici takımlara göre aynı kesme şartlarında takım ömründe ortalama iki kat artış sağlamışlardır.
- 2) Üç katmanlı ve çok katmanlı karbür takımlar ve sertleştirilmiş AISI 1050 çeliği çiftleri için Taylor Takım Ömrü Denklemleri çıkartılmıştır. Yan kenar aşınmalarının değişimine bağlı olarak, yan kenar aşınması arttıka "n" üssünün azaldığı, "C" sabitinin ise arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte takım malzemesi kaplama katmanına bağlı olarak, çok katmanlı takımlarda daha yüksek "n" ve "C" değerlerinin elde edileceği gözlemlenmiştir.
- 3) Yan kenar aşınması etkin aşınma mekanizması olarak tespit edilmiştir. TP1000 kaplama katmanına sahip kesici takımla düşük kesme hızlarında daha yüksek takım ömrü elde edilmekte, kesme gölgesi fazla deforme olmamakta ve kesici takım uç yarıçapı deforme olmamaktadır. TP1000 kalitesinin TP100 kalitesine göre daha fazla olan aşınma dayanımının bir kat fazla olan TiN katmanının olumlu etkisinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.
- 4) Çok katmanlı takımlarda yan kenar aşınması burun uç yarıçapı bölgesinden uzakta oluşmakta iken üç katmanlı takımlarda yan kenar aşınması burun uç yarıçapına yakın oluşmakta ve birleşmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu deneysel çalışmanın 07/2003–38'nolu proje ile finansal desteğini sağlayan Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projelerine teşekkür ederim.

6. KAYNAKLAR

Agrawal, S., Chakrabarti, A. K. and Chattopadhyay, A. B. 1995. A study of The Machining of Cast Austenitic Stainless Steel with Carbide Tools. *Journal of Materials Processing Technol.*, 52 (2-4), 610-620.

Anonim, 2003. Seco Kesici Takım Katoloğu. Beta Ltd. şti. Ankara.

Astakhov, V. P., Osman, M. O. M. 1996. Correlations Amongst Process Parametres in Metal Cutting and Their Use for Establishing The optimum cutting Speed. *Journal of Materials Processing Technology*, 62, 175–176.

Cho, S. S., Komvopoulos, K. 1997. Correlation between Acoustic Emission and Wear of Multi-Layer Ceramic Coated Carbide Tools, *Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transaction of The ASME*, 119 (2), 238-246.

Choudhury, S. K., Jain, V. K. and Rama Rao, Ch. V. 1999. On-Line Monitoring of Tool Wear in Turning Using a Neural Network, *Int. J. Machine Tools and Manufact.*, 39, 489-504.

Das, S., Bandyopadhyay, P. P. and Chattopadhyay, P. 1997. Neural-Networks-Based Tool Wear Monitoring in Turning Medium Carbon Steel Using a Coated Carbide Tool. *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 187-192.

Ezugwu, E. O., Okele, C. I. 2002. Behavior of Coated Carbide Tools in High Speed Machining of a Nickel Base Alloy. *Tribology Transactions*, 45 (1), 122-126.

Ezugwu, E. O., Okele, C. I. 2001. Wear Pattern of Coated Carbide Tools in High Speed Threading of a Ni-Cr-Mo Based Steel. *Key Engineering Materials*, 202 (1), 29-34.

Ezugwu, E.O., Olajre, K.A. 2002. Evaluation of Machining Performance of Martensitic Stainless Steel (JETHETE). *Tribology Letters*, 12 (3), 183-187.

- Ezugwu, E. O., Olajre, K.A. and Jawaid, A. 2001. Wear Performance of Multilayer-Coated Carbide Tools. *Machining Science and Technology*, 5 (1), 115-129.
- Haron C.H.C, Ginting, A. and Goh, J. H. 2001. Wear of Coated and Uncoated Carbides in Turning Tool Steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 116, 49-54.
- Işık, Y., Çakır M.C. 2000. Tornalama İşlemlerinde Taylor Takım Ömrü Denklemine Deneysel Olarak İncelenmesi. *Teknoloji*, 4, 47-56.
- Jindal, P.C., Santhanam, A. T., Schleinkofer, U. and Shuster, A.F. 1999. Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN Coated Cemented Carbide Tools in Turning. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 17, 163-170.
- Li, L., He, N., Wang, M. and Wang, Z. G. 2002. High Speed Cutting of Inconel 718 with Coated Carbide and Ceramic Inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 129 (1-3), 127-130.
- Lim, C.Y.H., Lau, P. P. T. and Lim, S. C. 2001. The Effects of Work Material on Tool Wear. *Wear*, 250 Part I, 344-348.
- Monaghan, J., MacGinley, T. 1999. Modeling the Orthogonal Machining Process Using Coated Carbide Cutting Tools. *Computational Materials Science*, 16 (1-4), 275-284.
- Noordin, M. Y., Venkatesh, V. C., Sharif, S., Elting, S. and Abdullah, A. 2004. Application of Response Surface Methodology in Describing the Performance of Coated Carbide Tools when Turning AISI 1045 Steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 145 (1), 46-58.
- Paul, S., Dhar, N.R. and Chattopadhyay, A. B. 2001. Beneficial Effects of Cryogenic Cooling Over Dry and Wet Machining on Tool Wear and Surface Finish in Turning AISI 1060 Steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 19, 14-20.
- Prengel, H. G., Pfouts, W.R. and Santhanam, A. T. 1998. State of The Art in Hard Coatings for Carbide Cutting Tools. *Surface and Coatings Technology*, 102, 183-190.
- Ruppi, S., Högrelius, B. and Huhtiranta, M. 1998. Wear Characteristics of TiC, Ti (C, N), TiN and Al₂O₃ Coatings in The Turning of Conventional and Ca-Treated Steels. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 16, 353-368.
- Şahin, Y. 2003. *Talaş Kaldırma Prensipleri 1.Cilt* 384 s. Gazi Kitabevi, Sözkese Matbaası, Ankara.
- Uhlmann, E., Lachmund, U. and Brücher, M. 2000. Wear Behavior of HFCVD-Diamond Coated Carbide and Ceramic Tools. *Surface and Coatings Technology*, 131, 395-399.
- Wang, Z. M., Ezugwu, E. O. 1997. Performance of PVD-Coated Carbide Tools when Machining Ti-6Al-4V. *Tribology Transaction*, 40 (1), 81-86.