

makale

Bekir YALÇIN, Nihat YILMAZ *
* Süleyman Demirel Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü

ARK PVD YÜZEY KAPLAMA METODUYLA TİTANYUM NİTRÜR (TiN) KAPLANMIŞ MATKAP TAKIMLARINDA TAKIM AŞINMASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

GİRİŞ

SS matkapların aşınması ve hasarı endüstriyel talaşlı işleme operasyonlarında teknolojik ve ekonomik olarak önemlidir. Aşınmış bir matkap ucu, deliğin kalitesini etkilediği gibi verimlilik ve üretim maliyetinin artmasını da beraberinde getirir (1). Endüstride aşınmayı azaltmak, takım ömrü ve verimliliği iyileştirmek için benimsenen yaklaşımlardan birisi de, kesici takımlara PVD tekniği ile TiN kaplanmasıdır. TiN kaplamanın önemli faydaları, yüksek sertlik ve aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüksek sıcaklık mukavemeti ve kimyasal kararlılık ile kesme kenarında temas şartlarının iyileşme kabiliyetidir (1). Bu ise TiN kaplamalara, mükemmel abrazyon, adhezyon, kraterleme ve düşük kesme hızlarında kesi kenarlarda talaş yığılması direnci kazandırır. Bunun sonucunda da kaplanmış takımların iş parçası malzemesi ve kesme şartları bakımından çalışma aralığı genişler (2).

Matkapla Delmenin Temel Prensipleri

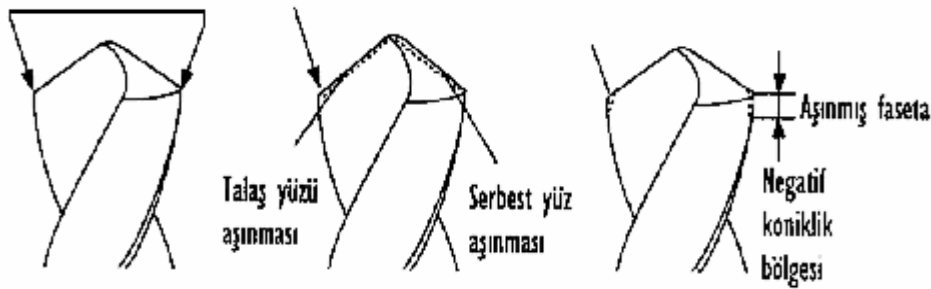
Matkaplarda oluşan aşınmaları iyi analiz edebilmek için, takım geometrisini ve delme prensibini çok iyi anlamak gerekir. Delme işlemlerinde kullanılan matkaplar, Şekil 1' de görüldüğü gibi iki veya daha fazla ana kesici kenar, ana serbest yüzeyler, zırh, radyal ağız (chisel-edge) ve helisel oluklardan oluşan geometriye sahiptir (3).

Şekil 1. Matkap Takımının Geometrisi (Ψ -Uç Açısı, ϕ -Radyal Kesme Açısı) (3)

Delme işlemi radyal ağızın parçaya dalmasıyla başlar ve ana kesme ağızlarının aktif kesme işlemini gerçekleştirmesiyle devam eder. Kesme ağızları tarafından kesilerek parçadan ayrılan talaş helisel kanallar vasıtasıyla tahliye edilir. Delme mekaniği, radyal ağız ve kesme ağızları olarak ayrı ayrı alanlarda analiz edilmelidir (4). Radyal ağız kesme yapmaz, sadece dönme ve ilerleme hareketi sayesinde iş parçasını ezerek ağızlama yapar ve matkabın kolayca ilerlemesini sağlar. Kesici ağız ise, dönme ve ilerleme hareketiyle helis bir yüzey oluşturarak, iş parçasını keser (4). Bu helisin adımı, matkabın bir devirde yaptığı ilerleme miktarı olarak ifade edilebilir (4). Dolayısıyla helisel yüzey boyunca hareket eden takımın kesme ağızlarının efektif yönü sürekli değiştiğinden, matkabın efektif kesme açıları da değişecektir.

Helisel matkaplardaki iki kesme ağızı, üst üste yerleştirilmiş ve çekirdek etrafına helisel bir şekilde sarılmış iki torna kalemine benzetilebilir (3). Dolayısıyla matkabın ana kesme ağızının geometrisi, tek ağızlı takımlardaki gibi belirlenir. Ancak helisel yapısından dolayı kesme ağızı boyunca talaş açısı değişmektedir; dış çapta maksimum iken matkabın ucuna doğru azalmakta ve radyal kesme ağızının bulunduğu yassı kısımda negatif olmaktadır (3). Radyal ağız bu yüzden kesme yapmaz.

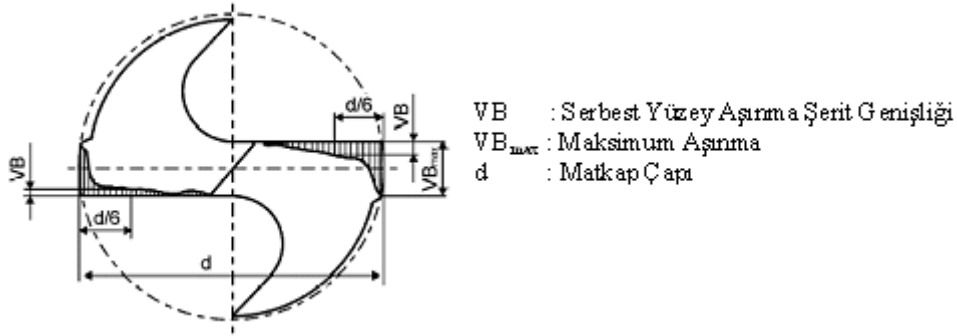
Delik delme işlemlerinde, kesme parametrelerinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Çünkü, delme parametreleri efektif takım açılarını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, ilerlemenin artması, helis açısını arttıracak ve boşluk açısını azaltacaktır (5). Boşluk açısının azalması, takımın ana serbest yüzeyinin, işlenen yüzeye sürtünmesini arttırarak, serbest yüzey aşınmasını (flank wear) hızlandıracaktır (5). Matkap takımlarında aşınma, Şekil 2' de görüldüğü gibi serbest yüzeylerde serbest yüzey aşınması, köşelerin yuvarlanması, kesici kenarla zırhın birleştiği noktada zırhın aşınması, krater aşınması ve radyal ağız (enine kenar) aşınması şeklinde oluşur (6).



Şekil 2. Helisel

Matkaplarda Oluşan Aşınma Mekanizmaları;
a) Köşelerin Yuvarlanması b) Serbest Yüzey Aşınması c) Zırh Aşınması (6)

Genelde aşınma, kesici kenarın zırh (fesata) ile birleştiği noktada başlar, kesici ağızlar ve serbest yüzeylerde gelişir (Şekil 3). Kesici ağızlarda aşınmanın artması, serbest yüzeylerde boşluk açısı kaybolmuş konik yüzey meydana getirir (6). Oluşan bu konik yüzey, serbest yüzeylerde aşınma şeritlerini (VB) temsil eder (Şekil 3) (6). Serbest yüzeylerdeki aşınma, kesme işleminin yerini sürtünme ve zorlamalara bırakarak, ısı oluşumunu arttırır ve aşınma hızlanarak takımı köreltir (6).



Şekil 3. Serbest Yüzeyde Oluşan Aşınmanın Gösterimi (7)

Oluşan aşınma değerleri kabul edilir sınırı aştığında, delme işlemlerinde oldukça önemli olan delik geometrisi (dairesellik), boyut ve yüzey kalitesinin bozulmasına neden olur. Delme işlemlerinde kullanılan matkaplar, kesme işlemi sırasında oluşan mekanik (tork, kesme kuvvetleri), ısı, kimyasal ve abrazyon yükleri karşılayabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekir (8). İlk olarak, yeterli mukavemet ve kırılma direncine sahip olmalıdır. İkinci olarak, delme sırasında oluşan talaşın ve ısının transferinin daha kolay sağlanabilmesinin yanı sıra abrazyon aşınma direncinin yüksek ve kimyasal olarak kararlı olması gerekir. Bu özelliklerinin tümünün mevcut olduğu kesici takım malzemesi mevcut değildir. Ancak, kaplama tekniklerinin gelişmesiyle, ana malzemenin tokluk özelliği korunarak, mikron mertebesindeki sert seramik tabakalarla, aşınma ve ısı direnci yüksek ve kimyasal olarak kararlı kesici takım malzemesi kombinasyonu elde edilebilmektedir.

Mevcut literatürde, kesici takımların performanslarını arttırıcı birçok yüzey kaplama çalışması vardır. Kopac (1998) kesici takımlarda, takım malzemesi ve kaplamaların takım ömrüne etkisi ile ilgili yaptıkları çalışmada, yüzey sertleştirilmenin önemine değinmişlerdir (9). Ezugwu ve Okeke'nin yaptığı çalışmada işleme operasyonunda ortalama güç tüketimiyle kabul edilebilir yüzey hassasiyetini elde etmek için, sağ vida çekme takımlarına TiN kaplamışlardır. Sonuçta, iş parçası kalitesini ve takım ömrünü arttırmak için, kesici takımların sert seramik filmlerle kaplanmasını önermişlerdir (10).

Wang, (2000) ise, çelik tornalamada kesici takıma etkiyen kuvvetlerine, çok katlı yüzey kaplamalarının etkilerini tartışmış ve karbür takımlar üzerine bu konuyla ilgili deneyler yapmıştır. Deneylerinde, takımlara kaplanan sert kaplamaların yan yüzeyinde meydana gelen kuvvet bileşenlerinin, düşük sürtünme katsayısından dolayı azaldığını iddia etmişlerdir (11). Tokmanoğlu vd., (2000) çalışmalarında, takımların aşınmadan dolayı çok büyük malzeme kayıplarına maruz kaldıklarını ortaya koyarak, kılavuz, matkap ve freze gibi takımlara çeşitli kompozisyonda sert seramik kaplamışlardır. Yaptıkları deneylerde, kaplamalı takımların %10-30 arasında takım ve işleme maliyetini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir (12). Tamura ve Tokunaga (1998) ise, geniş çaplardaki çelik boruların ve martenzitik paslanmaz çeliğin, düzgünce kesilebilmesi için, testere disk yüzeylerini TiCN (titanyum karbonitrür) ile kaplamışlardır. Sonuç olarak, kesilmesi zor olan malzemeler için kaplamalı kesici takımların konvansiyonel kesici takımlara göre 4 kat daha fazla kesme performansının arttığını belirtmişlerdir (13).

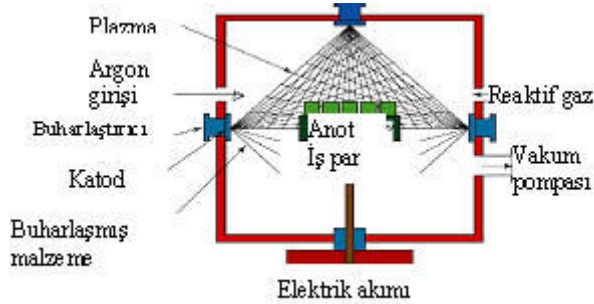
Bu çalışmada, delme işleminde kullanılan HSS matkaplar, Ark PVD yüzey sertleştirme yöntemiyle TiN kaplanmışlardır. TiN ile kaplanan ve kaplamasız matkaplar, sertleştirilmiş Ç4140 ıslah çeliğinin delinmesinde test edilmişlerdir. Aynı işleme koşullarında, kaplamasız ve kaplamalı takımlarda oluşan aşınma miktarları elektron mikroskopunda ölçülmüştür. Ölçülen aşınma miktarları ile, kaplamalı ve kaplamasız matkapların çalışma ömürleri

kıyaslanmıştır. Ayrıca, aşınma dayanımını sağlayan TiN tabakanın, mikro sertliği de ölçülmüştür.

KAPLAMA İŞLEMİ KARAKTERİZASYONU

Ark PVD tekniği, kaplama malzemesinin vakum ortamında buharlaştırılması esasına dayanır. Bu teknik, kaplama malzemesinin (Ti, Cr, Al₂O₃, TiAlN vs.), vakum ortamında ergitilip buharlaştırılarak, buharlaşan atomların elektro manyetik ortam içerisinde, matriks malzeme yüzeyine yoğunlaştırılması esasına dayanır. Bu sistemde, vakum kazanı içerisinde kaplama malzemesi katot, matriks malzemesi anot olarak asılı pozisyonadadır (Şekil 4). Sisteme uygulanan voltaj (400-500V) ve yüksek akım değerinin (100-250A) etkisiyle, katot yüzeylerinde ark meydana gelir. Katodun ark oluşturduğu alanlarda, sıcaklığın ergime sıcaklıklarında olması (1660 oC), Ti elementinin buharlaşmasını sağlar. Matriks ve kaplama malzemenin ısıtılması ayrı rezistanslarla sağlanır. Matriks malzeme alt kritik sıcaklığın çok altında ısıtılarak (yüksek hız çeliklerinde 400-550 oC), anot ve katot arasında elektro manyetik ortam sağlanır. Bu ortamda, vakum içerisine azot verilerek, buharlaşan titanyum atomlarıyla azotun reaksiyona girmesi sağlanır. Oluşan TiN atomları, katottan anoda doğru aktif enerjilerini kaybetmeden ilerleyerek, matriks malzeme yüzeylerinde yoğunlaşır. Matriks yüzeye biriken kaplamanın mukavemeti aşağıdaki parametrelere göre değişir (14).

- Matriks malzemenin yüzey temizliği ve pürüzlülüğü,
- Kaplama sıcaklığı ve uygulanan akım değeri,
- Kaplama tabakasının kimyasal bileşimi ve kalınlığı,
- Vakum ortamının saflığı.



Şekil 4. Ark PVD Tekniğinin Şematik Gösterilişi

Ark PVD kaplama tekniğini, diğer yüzey sertleştirme tekniklerinden ayıran esas özellik, sertleştirme sıcaklığının, kaplanacak malzemenin alt kritik sıcaklığının altında olması ve ısı kontrol sisteminin çok hassas olmasıdır. Dolayısıyla, matriks malzemede, çarpılma ve mikro yapı bozukluğuna neden olmadan, sertleştirmenin sadece yüzeyde 0,1 -50 mm bir tabakada olması, bu tekniği tercih edilir hale getirmiştir. Çünkü, kaplamanın 0,1-50 mm mertebesinde olması, matriks malzemenin tokluğunun tabakaya da kazandırılarak, iki ayrı malzemenin bir tek malzeme gibi özellik göstermesi sağlanmıştır. Bu ise, Ark PVD kaplama tekniğini tercih edilir hale getirmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Materyal ve metot

Bu çalışmada, helisel matkaplara, yukarıda anlatılan ark PVD tekniği kullanılarak TiN kaplanmasının takım aşınmasına etkileri incelenmiştir. Matkaplar, AISI M2 yüksek hız çeliğinden, DIN 6581 standardına göre imal edilmişlerdir. Kesici takımlara istenilen tokluk, kesici formuna girmeden gerekli ısıl işlem (hacimsel sertleştirme ve temperleme) yapılarak kazandırılmıştır. Daha sonra helisel kanallar ve kesme kenarları oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan kesici takımların kimyasal bileşimi Tablo 1' de verilmiştir.

AISI M2	C	Cr	Mo	V	W
%	0.9	4.1	5.0	1.8	6.4

Tablo 1. AISI M2 Yüksek Hız Çeliğinin Kimyasal Bileşimi

Matkapların yüzey kaplama işlemi, Ark PVD tekniği kullanılarak TiN seramik film tabakasıyla yapılmıştır. Yüzey kaplama yapılmadan önce, kesici takım yüzeyleri kaplama prosesinde, temizleyici kimyasal malzemelerle temizlenmiştir. Yüzey kaplama parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Kaplama malz.	Uygulanan Akım	Ortam sıcaklığı	Uygulama süresi	Uygulanan Voltaj	Ortam Basıncı
TiN	50 A	450°C	40 dakika	400V	4.10 ⁻⁵ torr

Tablo 2. Ark PVD siteminin kaplama parametreleri

Öncelikle yapılan kaplama işleminin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için kaplanan TiN tabakasının mikro sertlikleri ve tabaka kalınlıkları ölçülmüştür. Daha sonra TiN ile kaplanan matkaplar ve kaplamasız matkaplar, Tablo 3' de verilen delme koşullarında Tablo 4' de kimyasal bileşimi verilen Ç 4140 ıslah çeliği malzemesinin delinmesinde kullanılmışlardır.. Delme işlemleri TOS Tezsan marka delme tezgahında yapılmıştır.

Tablo 3. Delme koşulları

Delme işlemi parametreleri	
Takım çapı	12 mm' lik helisel matkap
Kesme hızı (ortalama hız)	10 m/dak
İlerleme hızı	100mm/dak
Devir sayısı	500 dev/dak
Matkap uç açısı	118 ⁰
Matkap helis açısı	37 ⁰
Delik derinliği	10 mm
Uç uzunluğu	130 mm
Delik sayısı	40 delik
İşlenen malzeme	Ç 4140 ıslah çeliği
Helis sayısı	2 (zırh)
Soğutma sıvısı	Bor yağı

Tablo 4. Ç 4140 ıslah çeliğinin kimyasal bileşimi

Ç 4140	C	Mn	Si	P	Cr	Mo
%	0.35	0.6	0.15	0.040	0.80	0.15

Kesici takımlar	Kaplama Tabakalarının		Kaplanmayan Takımların
	Mikro Sertliği (VSD)	Tabaka kalınlığı (µm)	Mikro Sertliği (VSD)
1. numune	1885	1.65 µm	910
2. numune	1910	1.90 µm	922
3. numune	1880	1.85 µm	918

Ta

tin tabakası

blo 5. TiN kaplanmış kesici takımların mikro sertlik değerleri

Aynı işleme koşullarında, kaplamalı kesici takımlarla kaplanmayan takımların serbest yüzeylerinde oluşan maksimum aşınma şerit miktarları Va-lup cihazında ölçülmüştür. Ölçülen aşınma miktarları Tablo 6'da verilmiştir.

Deney Sonuçları

Matkap yüzeylerine kaplanan TiN tabakasının mikrosertliği, vickers sertlik ölçüm cihazında 5-10 gr yük 2 sn uygulanarak ölçülmüştür. TiN tabaka kalınlıkları SEM mikroskopunda ölçülmüş olup, Tablo 5' de verilmiştir 2 TiN kaplamalı matkap takımları ile konvansiyonel matkap takımları Tablo 3' de öngörülen işleme koşullarında, sertleştirilmiş Ç4140 ıslah çeliğinin delinmesinde kullanılmışlardır.

kesme kenarı

serbest yüzey

Şekil 5. Kesici takımlara kaplanan TiN tabakanın SEM mikroskopunda görüntüsü

Kesici takımlar	TiN kaplı matkap, AŞG miktarı(mm)	Kaplanmayan matkap, AŞG miktarı, (mm)
1. numune	0.050	0.350
2. numune	0.035	0.290

3. numune	0.060	0.310
-----------	-------	-------

Tablo 6. Kaplamalı ve kaplamasız takımların işleme sonrası ölçülen aşınma değerleri

40 adet delik delindikten sonra, kaplamalı ve kaplamasız matkapların, serbest yüzey üzerinde oluşan aşınma şerit genişliği (AŞG) ölçülerek aşınma değerleri belirlenmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız üçer matkap üzerinde ölçülen aşınma miktarları Tablo 6' da verilmiştir.



Şekil 6. Kaplamasız Matkapın Delik Delme Sonrası Matkap Kesme Kenarı ve Serbest Yüzeylerinin SEM Mikroskopunda Görüntüsü

Matkap kesici kenar ve serbest yüzeyleri SEM mikroskopunda incelenmiştir (Şekil 6, Şekil 7). SEM fotoğraflarına göre, kaplamasız matkapın kesici kenarında adhezif aşınma mekanizmasının neden olduğu, talaş yığılması (built-up edge) oldukça yoğun bir şekilde gözlemlenmiştir (Şekil 6). Kenar yığılması, kesici kenar geometrisi değiştirmiş ve kesme kenarı hattı kaybolmuştur. Özellikle takım ömrünü büyük oranda belirleyen aşınma şerit genişliği (VB), 40 delik delinmesi sonrasında, yaklaşık limit değeri olan 0.42mm değerine yaklaşmış olup, istenilen yüzey ve ölçü tamlığını sağlayamaz duruma gelmiştir.

Şekil 7. TiN kaplamalı matkap ile delik delme sonrası matkap kesme kenarı ve serbest yüzeyleri SEM mikroskopunda görüntüsü

TiN' le kaplanmış kesici takımında ise, kesme kenarı hattı oldukça belirgin ve kaplamanın yüzey kayganlığı nedeniyle adhezif aşınma oldukça azdır (Şekil 7). Kaplama tabakası, abrazyon aşınma mekanizmasına karşı bariyer oluşturarak, kesici takımın sürtünme direncini arttırmıştır. Bu ise, TiN' le kaplamalı matkap takımlarına, kaplamasız takımlara nazaran aynı delik sayısı (veya delik uzunluğu) sonucunda oluşan aşınmaların oranlarına göre, 5-8 kat daha fazla efektif çalışma süresini kazandırmıştır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ark PVD tekniği ile TiN sert film tabakasıyla kaplanan matkap yüzey sertlikleri normal takımlara göre, iki kat daha fazla sertlikte olduğu saptanmıştır. Yapılan delme deneylerinde ise, aynı delme koşullarında ölçülen aşınma miktarlarına göre; TiN'le kaplamalı matkapların, kaplamasız takımlara nazaran 5-8 kat daha fazla çalışma ömrüne sahip olduğu saptanmıştır. TiN sert seramik kaplamalı matkapta, delik delme sırasında aşağıdaki özellikler gözlemlenmiştir;

1. İyi talaş transferi,
2. Şekil 6 ve Şekil 7' ye göre TiN tabakası ile, iş parçası yapışma (built-up edge) eğilimi azaltılmıştır,
3. Yüksek yüzey sertliği ve sürtünme direnci,
4. Tabaka kalınlığı birkaç mikron mertebesinde olduğundan dolayı, ana malzemenin tokluğu TiN tabakaya da kazandırılmıştır. Bu sayede, takım yüzeyinde pul pul dökülmeler ve çatlaklıklar gözlemlenmemiştir,
5. İşleme süresi ve ekonomiklik de göz önüne alındığında, sert seramik filmle kaplanan takımlarda daha az malzeme kaybı ve takım aşınması sonucu takım tezgahı durdurulma süresi minimuma indirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, nispeten ucuz HSS matkap takımlarına, özellikle Ark PVD tekniği ile TiN kaplanması sayesinde, yüksek kesme özellikleri kazandırılarak takım performansının arttırılabileceği deneysel olarak ortaya konulmuştur. Bu performans artışının, değişen oranlarda diğer talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan kesici takımlarda da görüldüğü birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (12, 15). Kaplama ile takım performansında görülen artış, kaplama proses parametrelerinin optimizasyonu ile daha yüksek oranlara çıkarılabilir. Bu çalışmada da, talaşlı imalat sektöründe yaygın kesici takım olarak kullanılan HSS den imal edilmiş matkapların, PVD yöntemiyle TiN kaplanmasının, takımın mikrosertlik ve aşınma değerlerine etkisi deneysel olarak karakterize edilmiştir. HSS matkaplara uygulanan yüzey kaplama işlemleriyle, nispeten pahalı kesici takım malzemelerine (elmas, kübik bor nitrid, koronite vs) alternatif kesici takımın üretiminin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Özellikle çok katmanlı (multilayer) kaplama ve plazma destekli CVD (PACVD) gibi yeni yöntemlerin gelişmesi ve TiCN, TiC gibi farklı kaplamaların kullanılmasıyla kaplama prosesleri, kesici takımların performansının iyileşmesine katkı sağlamaya devam edecektir (16).

KAYNAKÇA

1. Nickel, J., Shuaib, A.N., Yilbaş, B.S., Nizam, S.M., "Evaluation of the Wear of Plasma-Nitrided and TiN-Coated HSS Drills Using Conventional and Micro-PIXE Techniques", Wear, 239:155-167 (2000).
2. Lim, C.Y.H., Lim, S.C., Lee, K.S., "The performance of TiN-Coated High Speed Steel Tool Insert in Turning", Tribology International, 32:393-398 (1999).
3. Akkurt, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", Birsen Yayınevi, İstanbul, 168-180 (1992)
4. Altıntaş, Y., "Metal Cutting Mechanics, Manufacturing Automation", Cambridge University Press, USA, 47-49 (2000).

5. **Çakır, M.C.**, "Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", VİPAŞ Yayınları, Bursa, 355-365 (2000).
6. **Avuncan, G.**, "Kesici Takımların Bilenmesi", Mavi Tanıtım ve Pazarlama Ltd. Şti. Yayınları, Gebze, 62-80 (1998).
7. **Dolinsek, S., Sustarsic, B., Kopac, J.**, "Wear Mechanisms of Cutting Tool in High-Speed Cutting Processes", *Wear*, 250:349-356 (2001).
8. **Çakır, M.C.**, "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", VİPAŞ Yayınları, Bursa, 81-82 (1999).
9. **Kopac, J.**, "Influence of Cutting Materials and Coating on Tool Quality and Tool Life", *Journal of Materials Processing Technology*, 78: 95-103 (1998).
10. **Ezugwu, E., Okeke, C.I.**, "Tool Life and Wear Mechanism of TiN Coated Tools in an İntermittent Cutting Operation", *Journal Materials Processing Technology*, 116: 10-15 (2001).
11. **Wang, J.**, "The Effect of the Multi-layer Surface Coating of Carbide Insert on the Cutting Forces in Turning Operation", *Journal of Material Processing Technology*, 97, 114-119 (2000).
12. **Tokmanoğlu, K., Türküz, C.**, "Kesici Takım Sanayiine Yönelik İnce Sert Seramik Kaplamaların Önemi ve Uygulama Sonuçları", *Yüzey İşlemleri Dergisi*, Kasım-Aralık Sayısı, 300-304 (2000).
13. **Tamura, M., Tokunaga, T.**, "Deposition of TiCN Coating onto Large-Diameter Tip Saws", *Surface and Coating Technology*, 108-109:551-557 (1998).
14. **Krauss, G.**, "Steels: Heat Treatment and Processing Principles", American Society for Metal Park, USA, 328-336, (1989).
15. **Yalçın, B.**, "Yüksek Hız Çeliği Kesici Takım Üzerine Yapılan Titanyum Nitrür Kaplamanın Kesici Takım Performansına Etkilerinin İncelenmesi", *Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniv., Fen Bil. Ens., Isparta*, 87-92, (2002).
16. **Södenberg, S., Sjöstrand, M. and Ljungberg, B.**, "Advances in Coating Technology for Metal Cutting Tools", *Metal Powder Report*, Volume 56, Issue 4, April, Pages 24-30, (2001).