

KESME HIZININ YIĞINTI KATMANI VE YIĞINTI TALAŞ OLUŞUMU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN SEM İLE İNCELENMESİ

Hasan GÖKKAYA ve Muammer NALBANT

Safranbolu Meslek Yüksekokulu Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 78600, Karabük
Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Ankara
gokkaya@hotmail.com, nalbant@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 11.09.2006; Kabul/Accepted: 23.05.2007)

ÖZET

Bu çalışmada, işleme parametrelerinden kesme hızının Yığıntı Katmanı (Built-Up layer) (YK) ve Yığıntı Talaş (Built-Up Edge) (YT) oluşumu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, AA5052 alaşımı; kaplamasız karbür takımla bilgisayarlı sayısal denetimli (BSD) torna tezgahında, kuru olarak işlenmiştir. Deneylerde, beş farklı kesme hızı (100, 200, 300, 400, 500 m/min), sabit ilerleme hızı (0,30 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (1.5 mm) işleme parametreleri olarak seçilmiştir. Talaş kaldırma işlemleri sonucunda, kesici takım üzerinde en fazla YK ve YT, 100 m/min kesme hızı ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında yapılan talaş kaldırma işleminde olduğu tespit edilmiştir. Kesme hızının artırılması YK ve YT oluşumunu azaltmış, fakat denenen sınırlar içerisinde YK ve YT oluşumu engellenememiştir.

Anahtar Kelimeler: İşlenebilirlik, kesme hızı, YK ve YT, kaplamasız karbür takım.

INVESTIGATING THE EFFECTS OF CUTTING SPEEDS OVER THE BUILT-UP LAYER AND BUILT-UP EDGE FORMATION WITH SEM

ABSTRACT

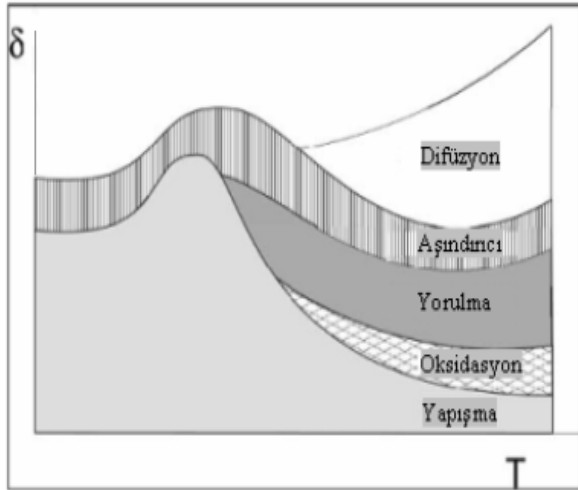
In this study, the effects of cutting speed; over the formation of Built-Up Layer (BUL) and Built-Up Edge (BUE) were investigated. For this purpose, AA5052 alloy was processed on a Computer Numeric Control (CNC) lathe with uncoated cemented carbide insert in dry conditions. As processing parameters in the experiments, five different cutting speeds (100, 200, 300, 400, 500 m/min), constant feed rate (0,30 mm/rev) and constant depth of cut (1,5 mm) were selected. As the result of the experiments, it was stated that BUL and BUE were formed on cutting tool mostly in machining at 100 m/min cutting speed and 0,30 mm/rev feed rate. Increasing the cutting speed decreased BUL and BUE formation but they could not be stopped in the tested range.

Keywords: Processing, cutting speed, BUL and BUE, uncoated carbide insert.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalatta takım ömrü, genelde takım aşınması kriter alınarak belirlenir (1-3). Bu nedenle, kesici takımın aşınması çalışmalarında; takımın en uzun ömürle kesme yapabilmesi, araştırılması gereken en önemli konulardan biridir (4-6). Takım aşınması, kesici kenar üzerindeki yük faktörlerinin (Mekanik, Termal, Kimyasal, Aşındırıcı) kombinasyonu sonucu meydana gelir. Yük faktörleri tek başlarına takım aşınmasının belirli bir aşamasında etkili olabilirler.

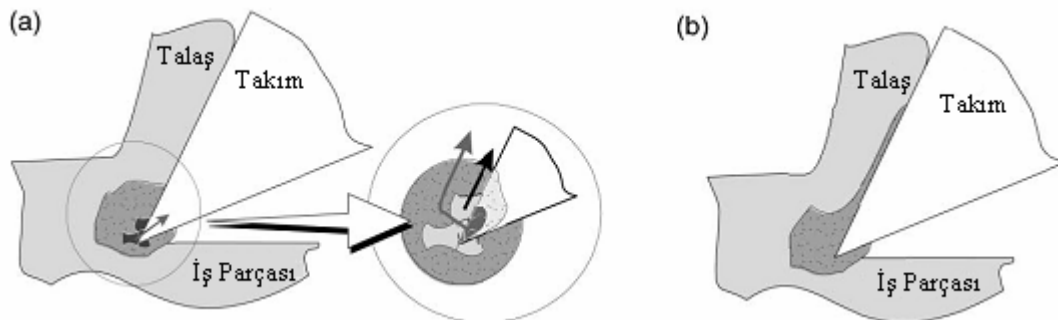
Genellikle yükler ayrı olarak davranmazlar, talaş kaldırma işlemi devam ettikçe yüklerin birleşimi sinerjik olarak artar (1). Talaş kaldırma sırasında kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklıklar, aşınma mekanizmalarının oluşma eğilimini artırır (Şekil 1) (2,3,5). Şekil 1'de, sıcaklığın fonksiyonu olarak aşınma mekanizmaları görülmekte ve T sıcaklığı, δ ise farklı aşınma mekanizmalarını ifade etmektedir (2,5).



Şekil 1. Sıcaklığın fonksiyonu olarak oluşan aşınma mekanizmaları (2,5) (Wear mechanisms as a function of temperature)

Yapışma (Adhesion) ve difüzyon aşınması mekanizmaları, kesici takım aşınması üzerinde etkili olan mekanizmalardır (7). Şekil 1'e bakıldığında kesme sıcaklıklarının en geniş aralığında oluşan aşınma mekanizmasının yapışma olduğu görülmektedir. Yapışma aşınması, genel olarak iş parçası malzemesinin kesici takım yüzeyine eklenmesi şeklinde gerçekleşir (5,6,8). Takım yüzeyine yapışan iş parçası malzemeleri, sabit (durağan) değildir ve kesme esnasında üretilen yüksek kesme kuvvetleri ile takım yüzeyinden yırtılıp (kopup) uzaklaşır ve talaş kaldırma işlemi devam ettikçe tekrar takım üst yüzeyinde talaş birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına sebep olabilir (5,6,8,9). İş parçası malzemesi, takım yüzeyine iki farklı şekilde ve hemen hemen eş zamanlı olarak yapışır (Şekil 2). Şekil 2a en çok bilinen ve iş parçası malzemesinin kesici takımın kesme kenarına yapışması ile oluşan Yığıntı Talaş (YT)'dir (2,5,10). Şekil 2b ise kesici takım talaş yüzeyinde geniş alana yayılarak ince katman olarak yapışan Yığıntı Katmanı (YK)'dir (2,4,8,10,11).

Kesici takım üzerinde YK ve YT oluşmasının nedeni,



Şekil 2. (a) YT oluşumu ve yapışma aşınması, (b) YK ve YT'li takım görüntüsü ((a) BUE formation and wear by adhesion, (b) Tool view with BUL and BUE)

özellikle kesme hızına bağlı olarak talaş kaldırma esnasında kesici takımdaki sıcaklık ve aşırı basınçtır. Aynı zamanda iş parçasının kimyasal yapısına da bağlıdır. Kesici takım üzerine yapışan/kaynaklanan iş parçası malzemesi devam eden işleme sürecinde büyür ve belirli bir süre sonra maruz kaldığı gerilmelere dayanamayarak kesici takımdan koparak ayrılır. Talaşlı imalat işleminde iş parçası malzemesinin, takımın talaş yüzeyine (esas kesme kenarı) yapışması YT olarak bilinir ve bu olay çoğunlukla sünek malzemelerin işlenmesinde sıkça görülür. Kesici takım yüzeyine talaşın kaynaklanarak oluşturduğu katmana YK adı verilir (2,4,7). Kesici takım üzerinde oluşan ve zamanla sertleşen YT'lerin kopması ile kesici takımdan da parça kopar ve dolayısıyla yapışma aşınması mekanizması vasıtasıyla kırılmalar gerçekleşir.

Sanchez ve arkadaşları, AA2024 ve AA7050 gibi iki farklı alüminyum alaşımının kuru işlenmesi sırasında kesici takım üzerine yapışan malzemenin mikro yapısal özelliğini incelemiştir. Yapmış oldukları çalışma sonucunda YK ve YT oluşumuna termo mekanik mekanizmaların neden olduğunu belirtmektedirler. YK oluşumu ve kesme şartları, YT oluşumunu değiştirmektedir. YT kalınlığı, talaş kaldırdıkça kritik kalınlığa kadar artar. Bundan sonra YT plastik olarak deforme olur ve takım yüzeyine doğru uzayabilir. Bu nedenle; daha önce oluşan YK altta kalarak üzeri örtülebilir. YK ve YT'nin oluşumu kesici takım geometrik formunu bozar. Kesici takım geometrisi ve etkinliğinin bozulması, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve ölçüsünün bozulmasına neden olur (7).

Bu çalışmada, kaplamasız karbür takımla, işleme parametresi olarak beş farklı kesme hızı ve sabit ilerleme hızı ile kesme derinliği kullanılarak, AA5052 alüminyum alaşımı malzemede talaş kaldırılmıştır. İşleme parametrelerinden kesme hızının YK ve YT oluşumu üzerindeki etkilerinin SEM vasıtasıyla belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Deney Numuneleri (Experimental Specimens)

Çizelge 1. Deney numunesi AA5052 alaşımının kimyasal bileşimi (% Ağırlık) (Chemical composition of AA5052 Alloy experimental specimen (% weight))

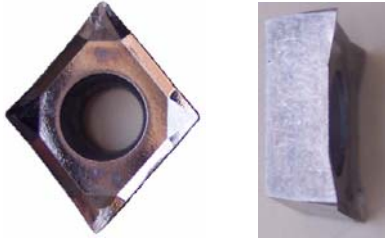
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
0,240	0,364	0,087	0,965	2,400	0,043	Kalan

Deneyisel çalışmalar için, AA5052 alaşımı malzemeden, Ø50x500 mm boyutlarında hazırlanmış deney numuneleri kullanılmıştır. Deney numunelerinin spektral analiz ile elde edilen kimyasal bileşimi, Çizelge 1’de verilmiştir.

AA5052 alaşımı sıcak-soğuk deformasyona ve herhangi bir ısıl işleme maruz bırakılmamıştır (AA5052-O). AA5052 alaşımı, 230 N/mm² çekme dayanımı ve 46 BSD (Brinell sertlik) değerine sahiptir. Sertlik deneyleri, yüzeyleri hassas işlenmiş 10 mm kalınlığındaki numuneler üzerinde Reichert marka Brinell sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçüm deneyinde 5 mm çapında bilya uç ve 125 kg yük kullanılmıştır. Malzeme sertlik değerleri belirlenirken, numunelerin dış yüzeyinden merkeze doğru yapılan 10 ölçümün ortalaması alınmıştır.

2.2. İşleme Parametreleri, Kesici Takım ve Takım Tutucu (Machining Parameters, Cutting Tools and Tool Holder)

Beş farklı kesme hızı 100, 200, 300, 400 ve 500 m/min olacak şekilde seçilmiştir. 0,4 mm uç



Şekil 3. Deneylerde kullanılan CCGT 120404FN-ALU geometrisine sahip kaplamasız karbür kesici takım. (Uncoated carbide insert with CCGT 120404FN-ALU geometry used in the experiments)

radyüsüne bağlı olarak ISO 3685’ de tavsiye edilen aralıkta 0,30 mm/dev ilerleme ile 1.5 mm kesme derinliği seçilmiştir. Kesici takım olarak CCGT 120404FN-ALU geometrisine ve K10 kalitesine sahip değiştirilebilir kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılmıştır (Şekil 3).

Deneylerde kullanılan değiştirilebilir uçlara (ISO 5608’e göre) uygun CSRNR 2525 M125 takım tutucusu kullanılmıştır. Takım tutucunun yanaşma açısı 90°’dir.

2.3. Tezgah ve Tarama Elektron Mikroskop (SEM) Cihazı (Lathe and Scanning Electron Microscope (SEM))

Talaş kaldırma işlemleri için 10 KW güce sahip 50 ve 3500 arasında devir ayarı yapabilen JOHNFORD T35 sanayi tipi Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (BSD) torna tezgahı kullanılmıştır. Kesici takımlar üzerindeki YK ve YT oluşumları, JEOL JSM 6060 tipi tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.

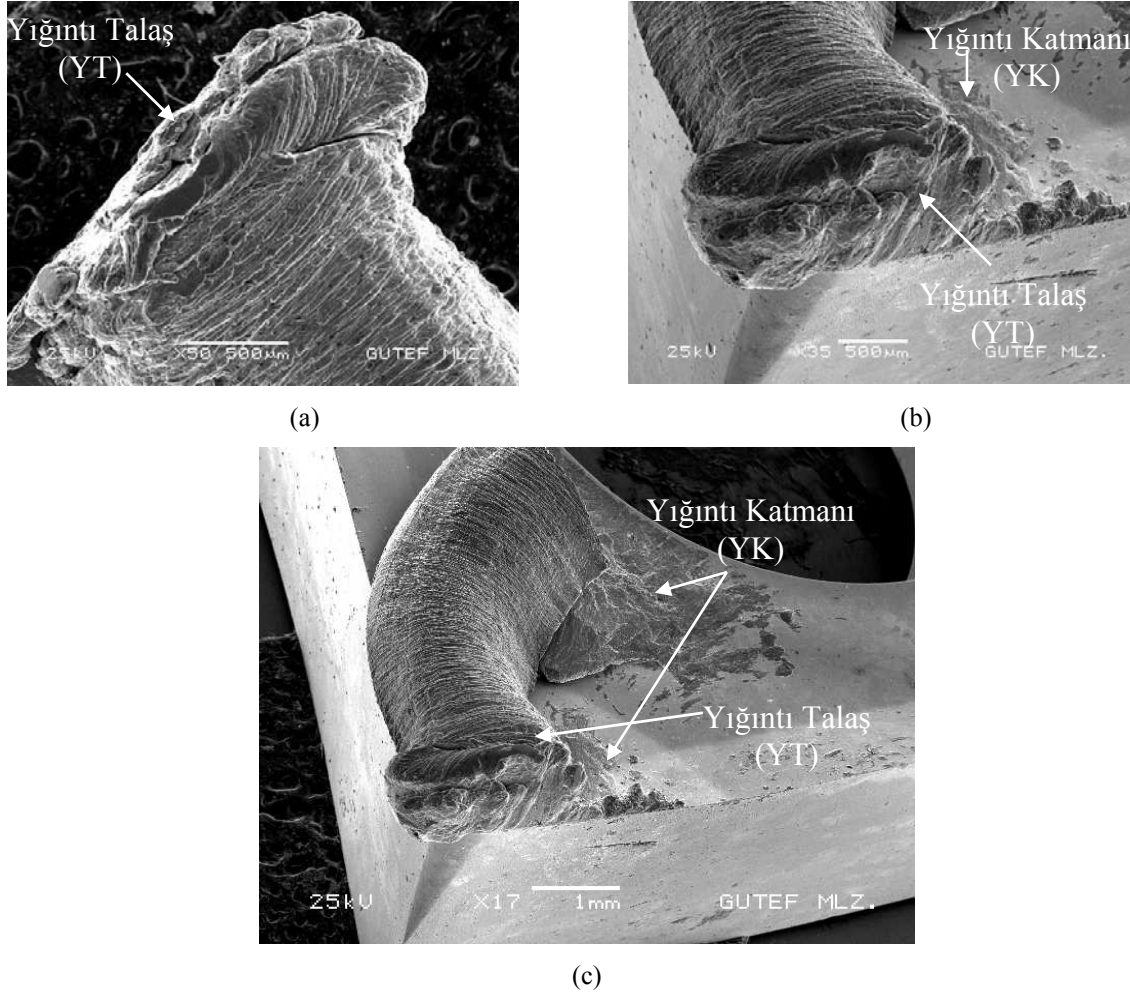
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS)

YT oluşumu, talaş kaldırma esnasında periyodik olarak tekrarlandığı için kesici uç tedrici olarak aşırır. Alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında çok güçlü bir birleşme olduğu bilinmektedir (12). Bu çalışmada, ilerleme hızı ve kesme derinliği sabit tutulmuş ve beş farklı kesme hızı sonucu oluşan YK ve YT’in SEM görüntüleri değerlendirilmiştir.

Şekil 4’de AA5052 alüminyum alaşımının 100 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesinde kaplamasız karbür kesici takım üzerinde oluşan YK ve YT’in SEM fotoğrafı görülmektedir. Şekil 4’de görüldüğü gibi YK kesici takım talaş yüzeyinde oluşurken YT ise kesici takım esas kesme kenarı boyunca oluşmaya başlamakta, takım talaş yüzeyine doğru devam etmekte ve YK’nın üzerini örtmektedir.

100 m/min kesme hızında oluşan YK ve YT, kesici takımın geometrik biçimini değiştirmiştir. Özellikle YT oluşumu kesici takım uç radiusunu değiştirmiştir. Esas kesme kenarında YT ve takım talaş yüzeyinde YK oluşumu kesici takım biçimini değiştirmektedir (4,12). Bu bulgu, Sanchez ve ark. ile Rubio ve arkadaşlarını teyit eder mahiyet arz etmektedir. 200 m/min ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında oluşan YK ve YT görüntüsü Şekil 5’de gösterilmiştir.

200 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında oluşan YK ve YT büyüklüklerinin 100 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında oluşan YK ve YT büyüklüklerinden daha küçük olduğu görülmüştür. Bu durum, kesme hızının YK ve YT oluşumu üzerinde etkili bir parametre olduğunun göstergesi olarak değerlendirilmiştir. YT oluşumu, kesici takımın uç radiusunu ve et kalınlığını artırmıştır. Bu durum, bazen talaş kaldırma sırasında iş parçası yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkiler. Kesici takım uç radiusu ile iş parçası yüzey pürüzlülüğü ters orantılıdır. Uç radiusunun artması yüzey pürüzlülüğünü azaltmaktadır. Bu husus; Rubio ve arkadaşları ile Gökkaya ve Nalbant tarafından yapılan araştırma sonuçlarına uygunluk göstermektedir (12,13).

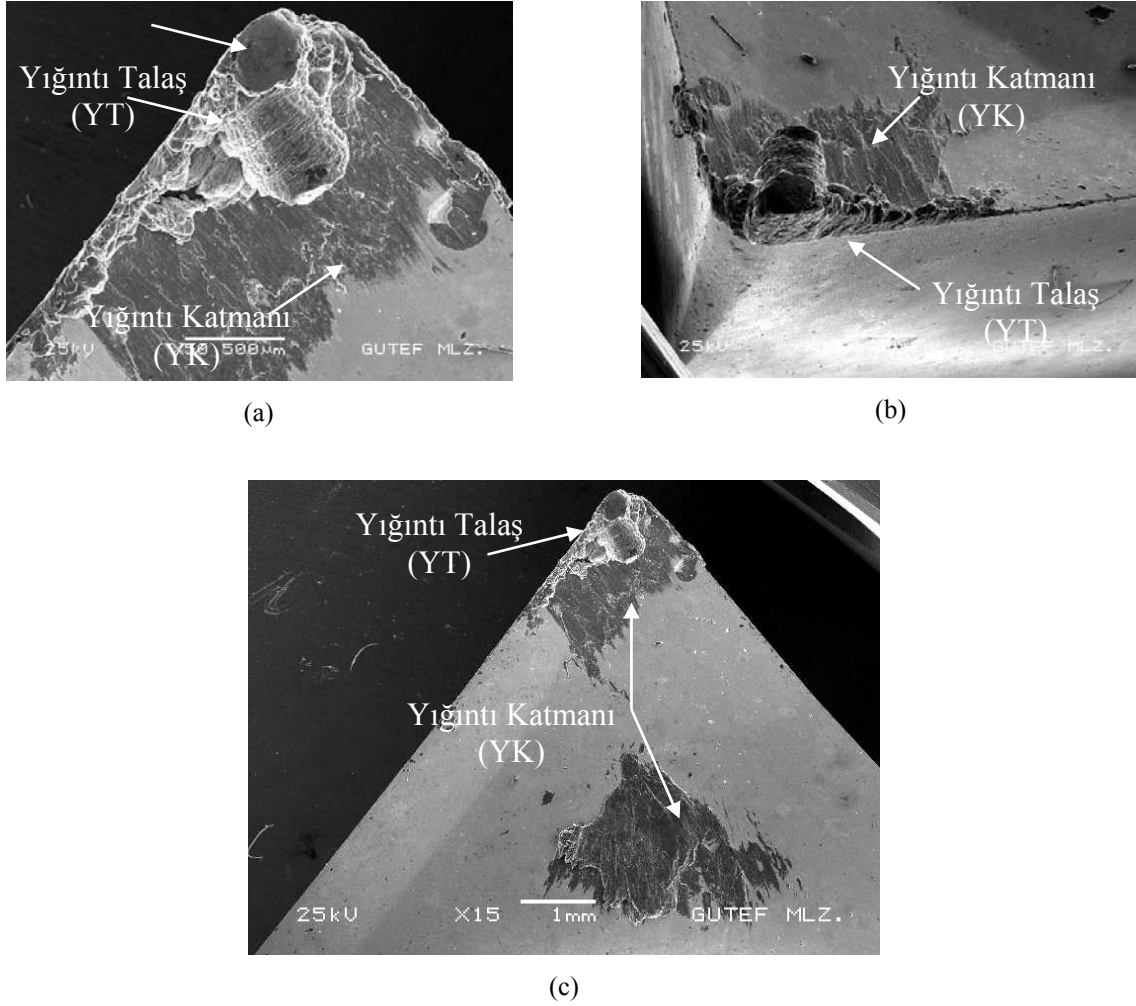


Şekil 4. AA5052 alaşımın kaplamasız karbür kesici takım ile 100 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT görüntüsü a) Kesici takım talaş yüzeyi SEM görüntüsü, b) Kesici takım üç boyutlu SEM görüntüsü c) Kesici takım üç boyutlu x17 büyültmeli SEM görüntüsü. (The view of BUL and BUE on cutting tool as a result of AA5052 alloy in being processed by 100 m/min cutting speed and 0.30 mm/rev feed rate. a) SEM view of the chip face of the insert, b) Three-dimensional SEM view of the insert, c) Three-dimensional SEM view of the insert with x17 magnification)

Şekil 5, 300 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında AA5052 alaşımını işleme sonrasında kesici takım üzerinde oluşan YK ve YT'ı göstermektedir. Şekil 6'da, YK'nın yine kesici takım talaş yüzeyinde oluştuğu görülmektedir. YT ise esas kesme kenarında oluşmuştur. Fakat 100 m/min ve 200 m/min kesme hızlarında oluşan YT'dan daha küçük boyutlarda ve kesme kenarı boyunca oluşmuştur. Diğer iki kesme hızında (100 ve 200 m/min) YT burun uç radyüsü üzerinde yığılma yaparak meydana gelmiştir. 300 m/min kesme hızında ise yığılma oluşumu azalmıştır.

Şekil 7, 400 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında oluşan YK ve YT'ı göstermektedir. YT oluşumlarında 100, 200 ve 300 m/min kesme hızlarında oluşan YT'lara göre azalma gözlenmiştir. Fakat YT, sıvanma özelliği göstererek takım talaş yüzeyi boyunca hatta yardımcı kesme kenarını da içine alarak sıvanmıştır.

500 m/min kesme hızında tespit edilen YK ve YT görüntüleri ise Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi YK ve YT'ın 500 m/min kesme hızında daha da azaldığı tespit edilmiştir. Kesme hızının artırılmasına rağmen YK ve YT oluşumunun azalmasına mukabil denenen sınırlar içerisinde engellenememiştir. Bu durumun, iş parçasının sünek yapısından kaynaklandığı söylenebilir. Kesme hızının artışı ile YK ve YT oluşumunun azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın sebeplerinin yüksek kesme hızında artan sıcaklığa bağlı olarak deforme işleminin kolaylaşması, iş parçası malzemesinin kesici kenar ve burun radyüsü çevresinde rahat bir şekilde deforme edilmesi ve yüksek sıcaklıklarda oluşan akma bölgesine (Fz) bağlı olması gibi faktörlerin olduğu söylenebilir. Şeker ve Oishi tarafından ifade edilen; kesme hızının artışına bağlı olarak oluşan sıcaklıklar, meydana gelen katmanları yumuşatır ve onların bir akma bölgesine dönüşmesine sebep olarak YK ve YT oluşumunu engeller sonucuna uygun gözlemler elde edilmiştir (9,14). Yapılan deneylerdeki gözlemlere



Şekil 5. AA5052 alaşımın kaplamasız karbür kesici takımla 200 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT yığıntı talaş görüntüsü a) Kesici takım talaş yüzeyinin SEM görüntüsü, b) Kesici takım üç boyutlu SEM görüntüsü, c) Kesici takım üç boyutlu x15 büyütme SEM görüntüsü. (The view of BUL and BUE on cutting tool as a result of AA5052 alloy in being processed by 200 m/min cutting speed and 0.30 mm/rev feed rate. a) SEM view of chip face of the insert, b) Three-dimensional SEM view of the insert, c) Three-dimensional SEM view of the insert with x15 magnification)

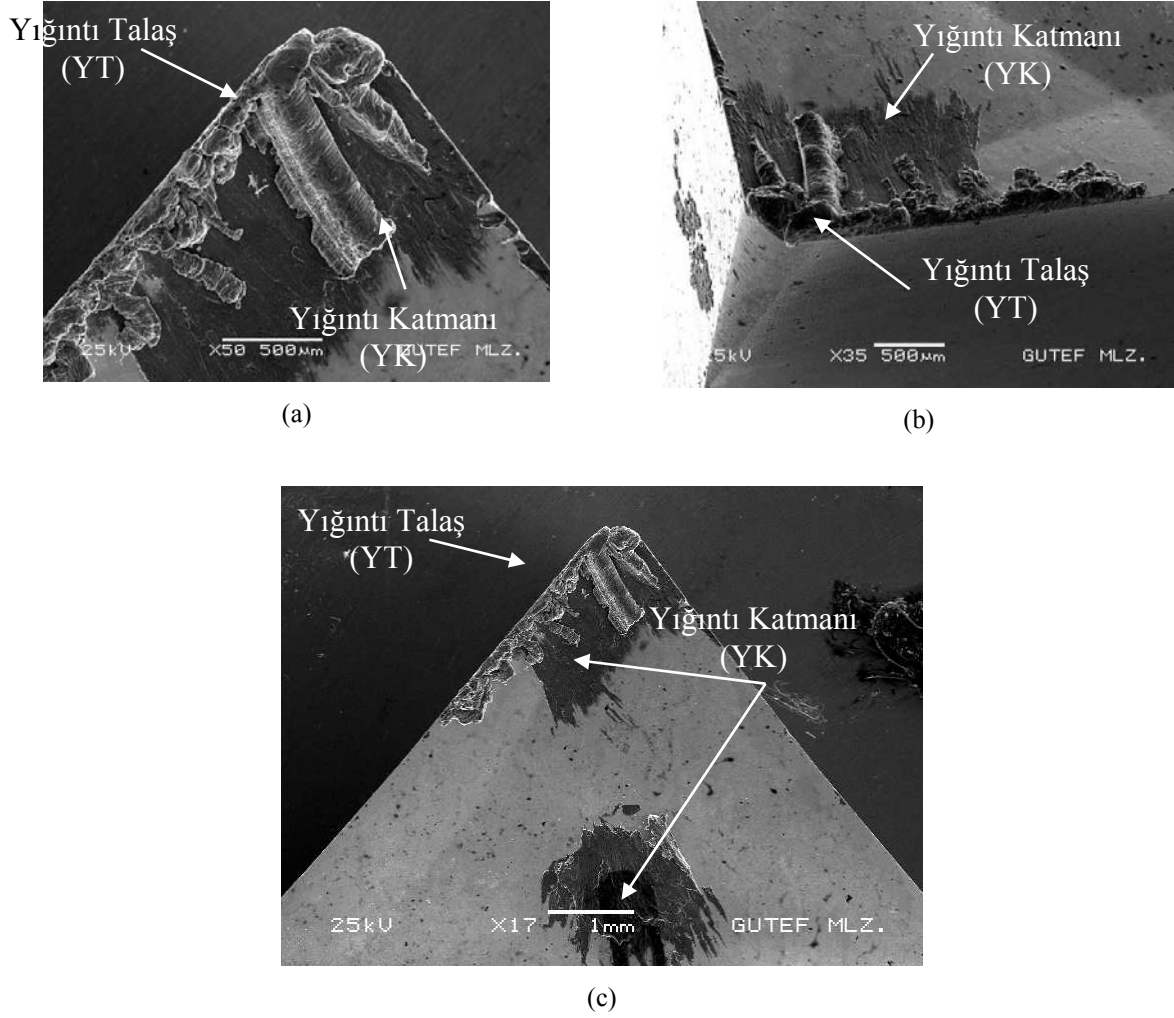
dayalı olarak YK ve YT oluşmasını engellemek (azaltmak) için 500 m/min'den daha yukarı kesme hızlarında deneme yapılması gerektiği söylenebilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

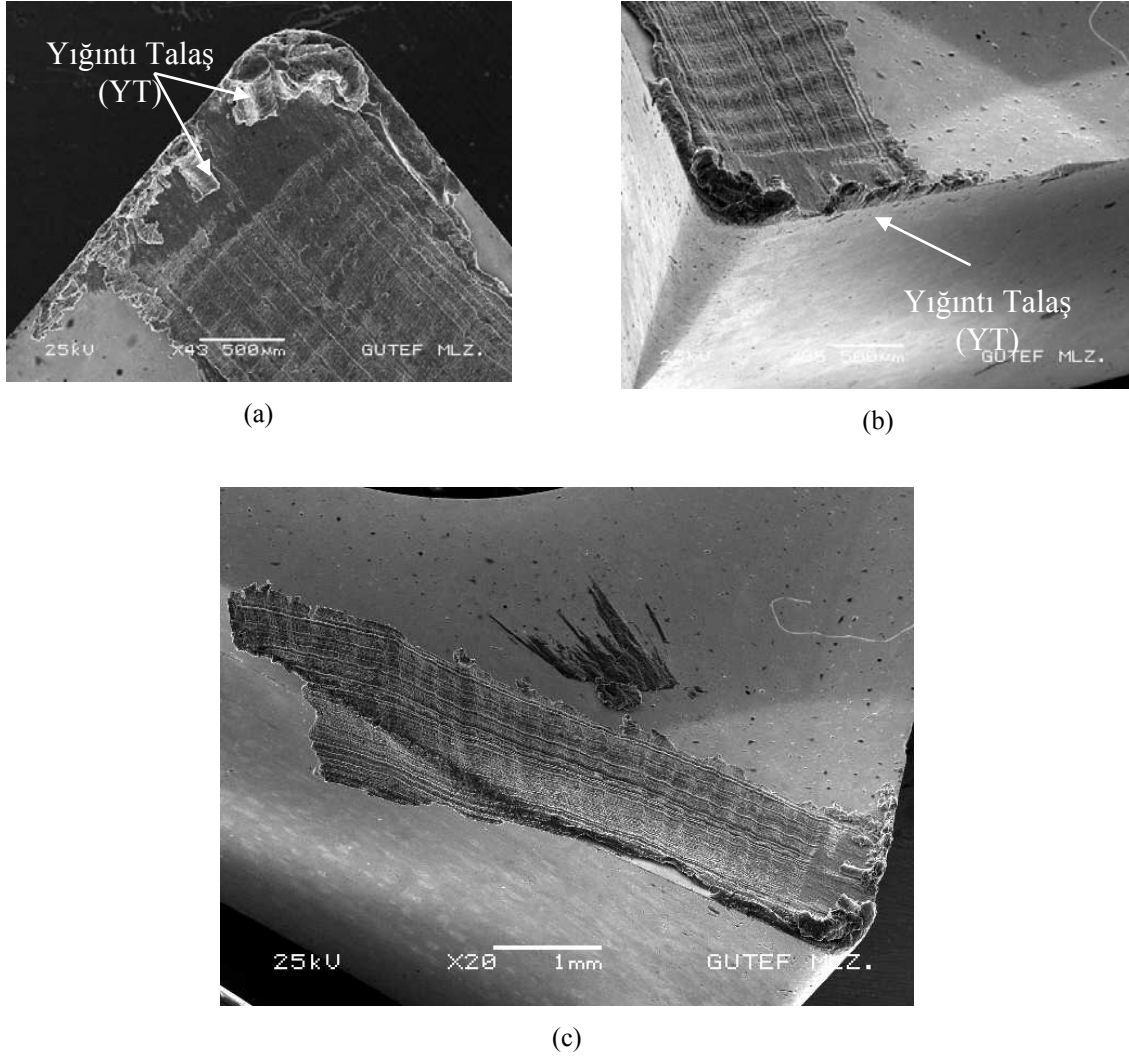
Kaplamasız karbür kesici takımla beş farklı kesme hızı, sabit ilerleme hızı ve kesme derinliğinde AA5052 alaşımı silindirik malzeme üzerinden tornalama yoluyla talaş kaldırılmıştır. Talaş kaldırma işlemi sonrasında kesme hızının kesici takım üzerinde YK ve YT oluşumlarına etkilerini belirlemek için kesici takımlar SEM ile incelenmiştir. Denenen sınırlar içerisinde deneme bulgularına göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- ✓ YT, kesici takımın esas kesme kenarında oluşmuş ve talaş yüzeyine doğru devam etmiştir.

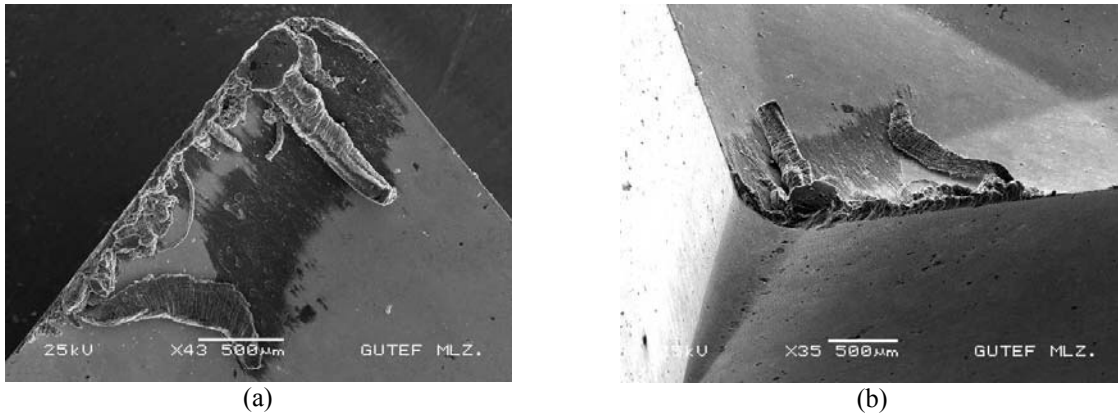
- ✓ Kesici takım üzerindeki YT oluşumu, takım uç radyüsü ve kesici takım kalınlığını artırmıştır.
- ✓ YK, kesici takım talaş yüzeyinde oluşmuştur.
- ✓ Düşük kesme hızında (100 m/min) oluşan YT, YK oluşumunu göstermeyecek şekilde üzerini örtmüştür.
- ✓ AA5052 alaşımını işlemede, denenen kesme hızları içerisinde düşük kesme hızından yüksek kesme hızlarına doğru gidildikçe YK ve YT oluşması azalmış, ancak YK ve YT oluşumu engellenememiştir.
- ✓ AA5052 alaşımının kaplamasız karbür kesici takımla işlenmesi esnasında kesici takım üzerinde YK ve YT oluşmasını engellemek veya önlemek için 500 m/min'den daha yukarı kesme hızlarında deneme yapılması gerektiği söylenebilir.



Şekil 6. AA5052 alaşımın 300 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT görüntüsü a) Kesici takım talaş yüzeyinin x50 büyütmeli SEM görüntüsü, b) Kesici takımın üç boyutlu x35 büyütmeli SEM görüntüsü c) Kesici takım talaş yüzeyinin x17 büyütmeli SEM görüntüsü. (The view of BUL and BUE on cutting tool as a result of AA5052 alloy in being processed by 300 m/min cutting speed and 0.30 mm/rev feed rate. a) SEM view of chip face of the insert with x50 magnification, b) Three-dimensional SEM view of the insert with x35 magnification c) SEM view of chip face of the insert with x17 magnification)



Şekil 7. AA5052 alaşımın 400 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT görüntüsü a) Kesici takım talaş yüzeyinin SEM görüntüsü, b) Kesici takımın üç boyutlu SEM görüntüsü, c) Kesici takım x20 büyültmeli üç boyutlu SEM görüntüsü. (The view of BUL and BUE on cutting tool as a result of AA5052 alloy in being processed by 400 m/min cutting speed and 0.30 mm/rev feed rate. a) SEM view of chip face of the insert, b) The three-dimensional SEM view of the insert c) The three-dimensional SEM view of the insert with x20 magnification)



Şekil 8. AA5052 alaşımın 500 m/min kesme ve 0,30 mm/dev ilerleme hızında işlenmesi sonucu kesici takım üzerinde gerçekleşen YK ve YT görüntüsü a) Kesici takım talaş yüzeyinin SEM görüntüsü, b) Kesici takımın üç boyutlu SEM görüntüsü. (The view of BUL and BUE on cutting tool as a result of AA5052 alloy in being processed by 500 m/min cutting speed and 0.30 mm/dev feed rate. a) SEM view of chip face of the insert, b) The three-dimensional SEM view of the insert with x35 magnification)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Carrilero, M.S., Marcos, M., **J. Mech. Behav. Mater.** vol. 7 (3), pp.179-191, 1996.
2. Carrilero, M.S., Bienvenido, R., Sanchez, J.M., Alvarez, M., Gonzalez, A., Marcos, M., "A SEM and EDS Insight into the BUL and BUE Difference in the Turning Processes of AA2024 Al-Cu Alloy", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, vol. 42, pp. 215-220, 2002.
3. Coroman, S., **Modern Metal Cutting**, Practical Handbook, Sweden, 1994.
4. Sanchez, J.M., Rubio, E., Alvarez, M., Sebastian, M.A., Marcos, M., "Microstructural Characterisation of Material Adhered Over Cutting Tool in the Dry Machining of Aerospace Aluminium Alloys", **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 164-165, pp. 911-918, 2005.
5. Sanchez, M., Marcos, M., "Relaciones Parametricas en el Mecanizado", **Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cadiz**, Cadiz, Spain, 1994.
6. Kendall, L.A., "Friction and Wear of Cutting Tools and Cutting Tool Material", ASM Metal Handbook, Friction, Lubrication and Wear, vol. 18, **ASM International**, Ohio, USA, 1995.
7. List, G., Nouari, M., Gehin, D., Gomez, S., Manaud, J.P., Le Petitcorps, Y., Girof, F., "Wear Behaviour of Cemented Carbide Tools in Dry Machining of Aluminium Alloy", **Wear**, vol. 259, pp. 1177-1189, 2005.
8. Boothroyd, G., Kinght, W.A., **Fundamentals of Machining and Machine Tools**, Marcel Dekker, New York, 1989.
9. Şeker, U., **Talaş İmalatta Takım Tasarımı Ders Notları**, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara, 2000.
10. Trent, E.M., **Metal Cutting**, Butterworths, London, 1989.
11. Bethencourt, M., Botana, F.J., Calvino, J.J., Carrilero, M.S., Marcos, M., **Proc. Electron Microscopy 98**, vol. II, Cancun, Mexico, 1998.
12. Rubio, E.M., Camacho, A.M., Sanchez-Sola, J.M., Marcos, M., "Surface Roughness of AA7050 Alloy Turned Bars Analysis of the Influence of the Length of Machining", **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 162-163, pp. 682-689, 2005.
13. Gökkaya, H., Nalbant, M., "The Effects of Cutting Tool Geometry and Processing Parameters on the Surface Roughness Of AISI 1030 Steel", **Materials and Design**, 28(2):717-721, 2007.
14. Oishi, K., "Mirror Cutting of Aluminium with Sapphire Tool", **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 62, pp. 331-334, 1996.