

Bayram Aydın
Arş. Gör.

Yusuf Özçatalbaş
Yrd. Doç. Dr.

Gazi Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi
Metal Eğitimi Bölümü
06500 ANKARA

AA2014 (T6) Alaşımının İşlenebilirlik Özelliklerine Kesici Takım Geometrisinin Etkisi

Bu çalışmada, yaşlandırma (T6) ısıtma işlemi uygulanmış, 134 BSD sertliğe ve 507 N/mm² çekme dayanımına sahip AA2014 alaşımının talaşlı işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır. Farklı iki geometrideki kesici takımla tormalanan malzemenin yüzey pürüzlülüğü, tormalama kuvvetleri ve farklı kesme hızlarında oluşan talaş kökü morfolojileri belirlenmiştir. Düşük kesme hızlarında, küçük talaş açılı (6°) takım ile işleme sırasında büyük boyutlu yığıntı talaş (YT) oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünde artış gözlemlenmiştir. Büyük talaş açılı 30° takım ile işlemede ise YT boyutlarında, yüzey pürüzlülüğünde ve kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AA2014 alaşımı, işlenebilirlik, takım geometrisi

GİRİŞ

Al-Cu alaşımları, bir çok metal ve alaşıma göre üstün özellikler sergilemesi sebebiyle günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemelerinden birisi haline gelmiştir. Özgül ağırlığının düşük, korozyon direncinin yüksek, alaşımlandırılabilir, parlak bir renge sahip olması ve doğada cevher olarak bol miktarda bulunması üstün özelliklerinden sadece bir kaçıdır. AA2014 alaşımı 2xxx serisi içerisinde en çok kullanılan alaşımlardan bir tanesidir. Isıl işlemlerle ve alaşım elementleri takviyesiyle mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi endüstride, uçak, otomobil, makine ve tren vagonları imalatı gibi alanlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

AA2014 alaşımı genellikle talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmektedir. Tormalama işlemleri talaşlı şekillendirmenin büyük bir kısmını kapsamaktadır. İdeal işlenebilirlik özelliklerinin elde edilmesinde malzemenin mekanik özellikleri yanında kullanılan tezgahın rijitliği, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı ve kesici takım geometrisi gibi parametreler etkili olmaktadır [1,2]. Kesme hızı ve kesici takım geometrisi işlenebilirlik özelliklerine etkisi bakımından en önemli parametrelerdendir [1-3]. AA2014 alaşımının işlenmesinde düşük kesme hızlarında oluşan yığıntı talaş (YT) (Built-Up Edge) yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkmasına sebep olmaktadır [4,5]. Artan kesme hızıyla birlikte YT oluşumu ortadan kalkmakta ve yüzey pürüzlülüğü düşmektedir [6]. Aynı zamanda, düşük kesme hızlarında oluşan YT etkin talaş açısını artırması sebebiyle kesme kuvvetlerinin azalmasına yol açmaktadır [7-9]. Kesici takımın geometrisi, talaş oluşumu, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde etkili olmaktadır. Takımın pozitif talaş

açısının artması takım/talaş temas alanını daraltmaktadır. Bu durum, takım/talaş ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetini azalttığından kesme kuvvetleri de düşmektedir [7]. Aynı zamanda, artan pozitif talaş açısıyla düşük kesme hızlarında oluşan YT boyutları azalmakta ve yüzey pürüzlülüğü düşmektedir.

Bu çalışmada, AA2014 Al-Cu alaşımının talaş oluşumuna, yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine kesme hızının ve takım geometrisinin etkisi araştırılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, Çizelge 1'de kimyasal bileşimi verilen 50 mm çapında yaşlandırma (T6) ısıtma işlemi uygulanmış duralüminyum tipi AA2014 (ETİAL 21) malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
0,693	0,521	4,21	0,574	0,379	0,184	Kalan

Deney malzemesi, ingot malzemedan 450 °C'de yatay direkt ekstrüzyon yoluyla 50 mm çapında üretilmiştir. Malzeme ekstrüzyon sonrası kendi halinde soğutulmuş ve sonra T6 ısıtma işlemine tabi tutulmuştur.

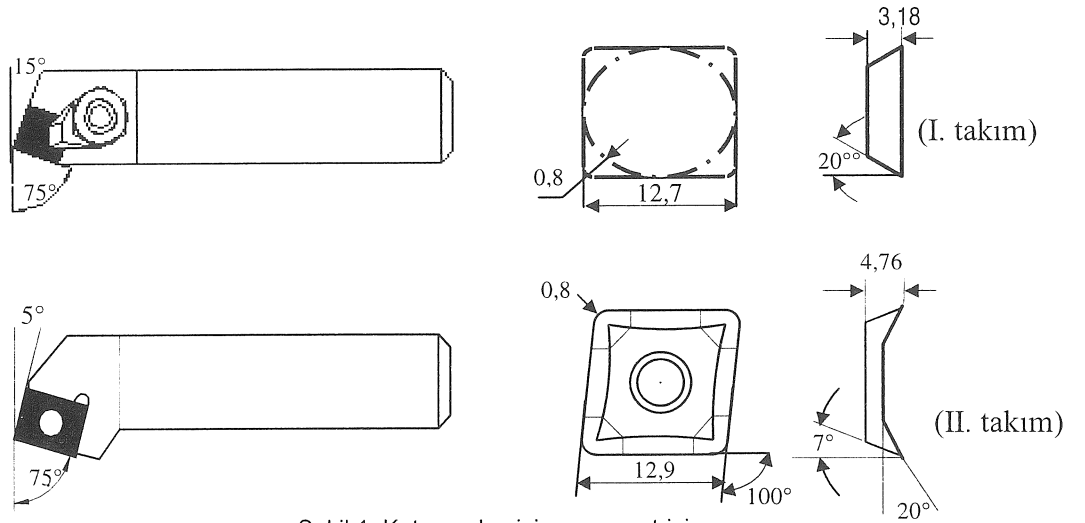
Sertlik deneyi, yüzeyleri hassas işlenmiş 10 mm kalınlığındaki numuneler üzerinde Instron Wolpert GmbH marka Brinell sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçüm deneyinde 2,5 mm çapında bilya uç ve 187,5 kg yük kullanılmıştır. Sertlik değeri

belirlenirken, numune dış yüzeyinden merkeze doğru 10 ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Çekme deney numuneleri TSE 138'e [10] göre ilk kesit alanı 100 mm, çap 11,28 mm, ilk ölçü uzunluğu 56 mm, gövde uzunluğu 62 mm, kavis yarı çapı 10 mm ölçüsünde hazırlanmıştır. MFL marka 20 ton kapasiteli çekme cihazında dört adet çekme numunesi kullanılarak çekme deneyi gerçekleştirilmiştir.

İşlenebilirlik deneylerinde, K10 kalitesinde iki farklı geometriye sahip mekanik sıkımalı tip sert metal kesici uç kullanılmıştır. I. ve II. takım geometrilerinin her ikisi içinde yan kesme açıları (yanaşma açıları) (75°), uç yarıçapları (0,8 mm) ve kesici uç malzemeleri aynı olmakla birlikte yan boşluk açısı, uç açısı ve esas olarak talaş açılarında belirgin bir farklılık mevcuttur. Bu sebeple, deney sonuçlarının tartışılmasında takımların yan talaş açılarındaki farklılık göz önüne alınmıştır. Zira, kesme kuvvetleri ve talaş morfolojisini etkileyen en önemli takım parametresinin yan talaş açısı olduğu literatürde de [5] belirtilmektedir. Deneylerde kullanılan kater ve kesici takımlar Şekil 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Talaş kaldırma deneyleri 7 kW

gücündeki bir torna tezgahında ilerleme $f = 0,24$ mm/dev ve talaş derinliği $a = 1,6$ mm seçilerek yapılmıştır.

İki farklı takımla işlenen yüzeylerin pürüzlülüğü surfest 211 Mitutoyo marka yüzey profilometresi ile ilerleme yönünde ölçülmüştür. Profilometre iğnesi uç yarı çapı $5 \mu\text{m}$ ve ölçme kuvveti 0,4 grf, ilerleme hızı 0,5 mm/sn, örnekleme uzunluğu ise 0,8 mm dir. Belirtilen kesme parametreleri ve sekiz farklı kesme hızında talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme (F_c) ve ilerleme (F_f) kuvvetleri strain-gauge'li bir dinamometre ile ölçülmüştür. Aynı zamanda talaş kökü numuneleri belirlenen kesme hızlarında ani durdurma cihazı (ADC) kullanılarak hazırlanmıştır. Takım geometrisinin talaş oluşum mekanizmasına etkisini belirleyebilmek için üç farklı kesme hızında işleme sırasında ADC kullanılarak talaş kökleri hazırlanmıştır. Talaş kökleri metalografik muayene için epoksi reçineye gömülmüş ve 2,5 ml HNO_3 , 1 ml HCl , 1,5 ml HF ve 95 ml su içeren modife edilmiş Keller reaktifleri ile 60 - 90 sn dağlanarak optik mikroskopta incelenmiştir.



Şekil 1. Kater ve kesici uç geometrisi

Çizelge 2. Kesme geometrisi

Takım geometrisi	I. takım	II. takım
Yan talaş açısı (γ)	6°	30°
Arka (geriye) talaş açısı	0°	20°
Uç açısı	90°	100°
Yan boşluk açısı	14°	7°
Yanaşma açısı (K_r)	75°	75°
Uç yarı çapı	0,8 mm	0,8 mm
Kesici uç ISO kodu	SEGN 120308	CCGT 120408
Kater ISO kodu	CSBPR 25x25 L12	SCRRCR 25x25 L12
Yan talaş açısı: Takım yüzü ile takım tutucu (kater) gövdesine paralel yatay düzlem arasındaki açı. Arka talaş açısı: Gövdeye dik düzlemle kesici uç yan kenarına paralel düzlem içinde ölçülen, kater gövdesine paralel yatay düzlemle takım yüzeyi arasındaki açı.		

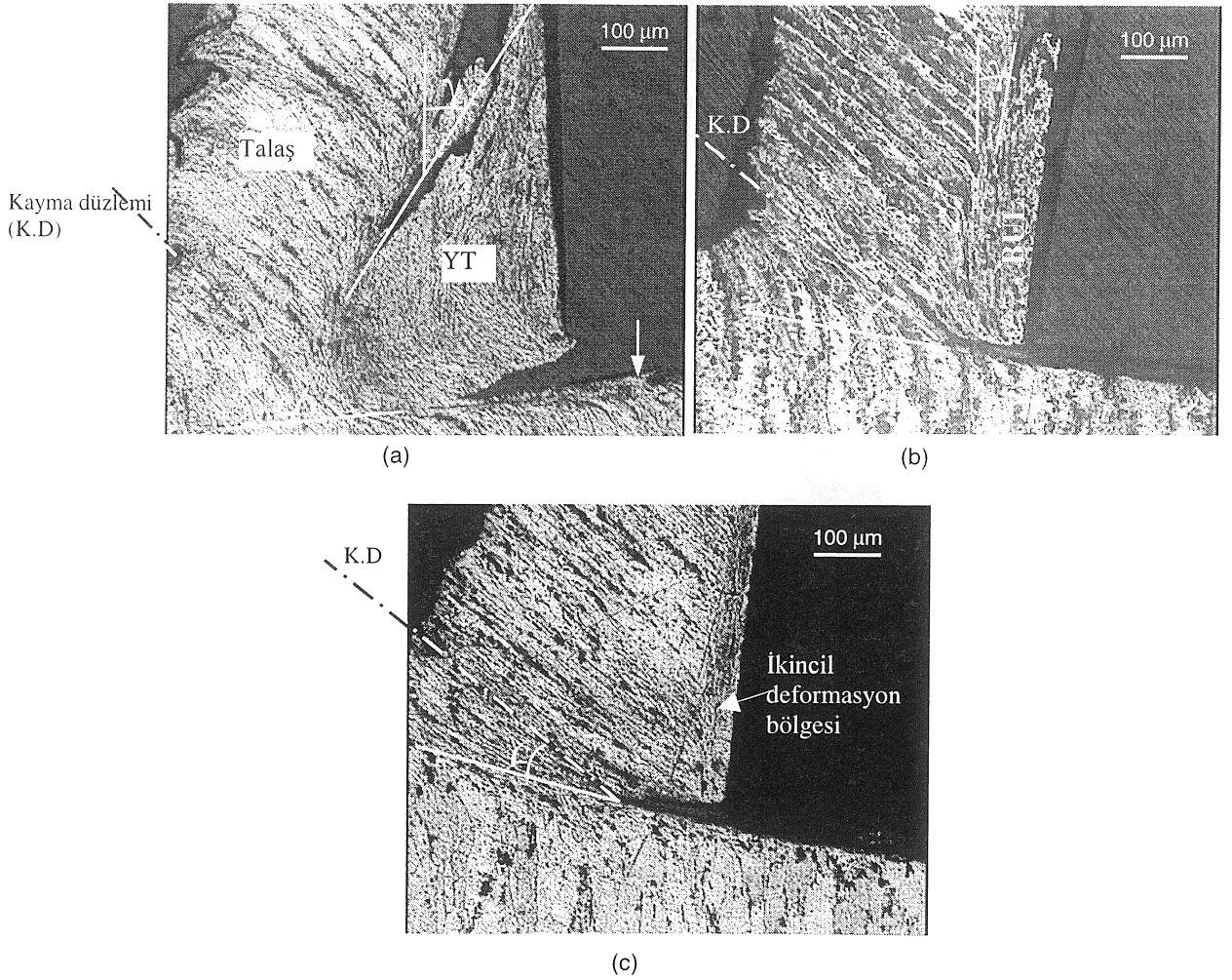
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Talaş oluşumu

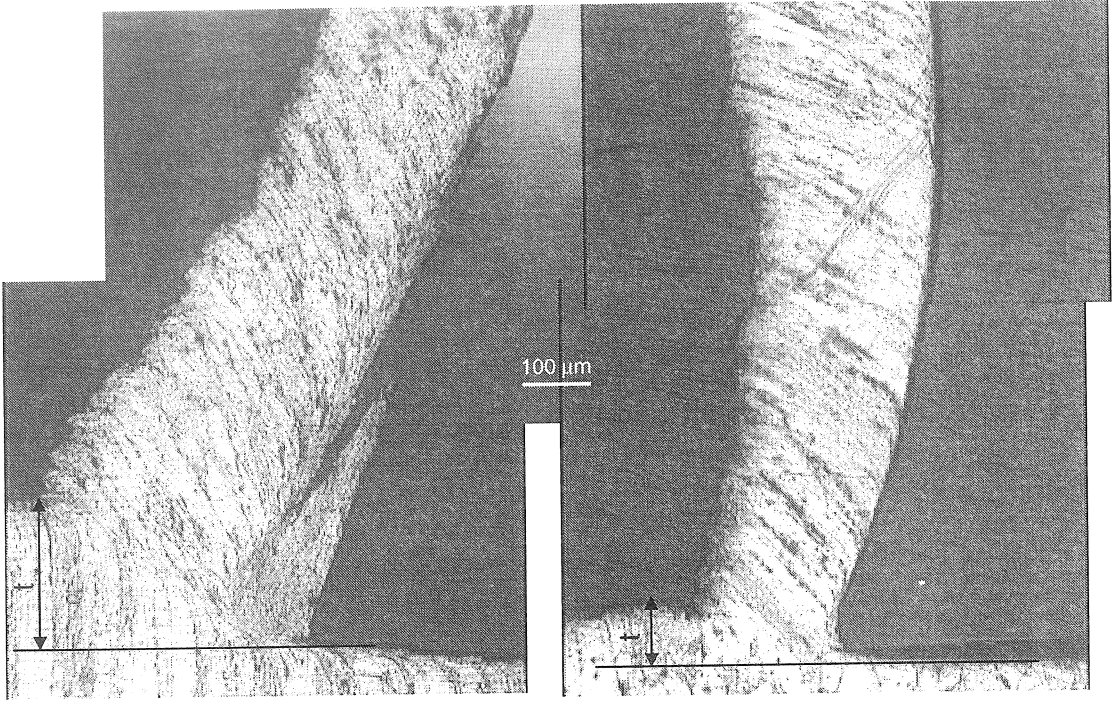
I. ve II. takımın üç farklı kesme hızında tornalama sırasında oluşan talaş köklerinin mikroyapıları Şekil 2 ve 3'de verilmiştir.

I. takımın işlemede, 15 m/dak kesme hızında (Şekil 2.a) büyük boyutlarda YT oluşumu, 87 m/dak'da (Şekil 2.b) yığıntı tabaka (BUL) oluşumu ve 171 m/dak'da ise talaşın ikincil deformasyon bölgesinde yoğun deformasyona uğradığı ve (Şekil 2.c) ince bir deformasyon tabakasının oluştuğu görülmektedir. Düşük kesme hızlarında büyük boyutlarda YT'nin oluşması kesme düzlemi açısı (θ) ve etkin talaş açısını arttırmıştır [6,7]. Bu durumda ikinci deformasyon bölgesinde takım/talaş temas

alanı daralmış ve sürtünme kuvvetleri azalmıştır [7-9]. Ancak YT'nin kesici takımı kesme bölgesinden uzaklaştırarak kesici kenar gibi davranması işlenmiş yüzeyin deformasyon miktarını arttırmış ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına yol açmıştır (Şekil 2.a'da okla gösterildi). Artan kesme hızıyla birlikte takım/talaş ara yüzey sıcaklığının artması YT'nin akma dayanımının düşmesine sebep olduğundan [2] YT küçülerek ortamdaki kalkmış ve takımın talaş yüzeyinde yığıntı tabaka (BUL) oluşmuştur [11]. 87 m/dak kesme hızında elde edilen mikroyapı fotoğrafında görülen (BUL) oluşumunun talaş açısını fazla etkilemediği belirlenmiştir. 171 m/dak kesme hızında artan kesme sıcaklığı sebebiyle ince bir ikincil deformasyon tabakası oluşmuştur. Kesme hızı arttıkça tabaka kalınlığının azaldığı söylenebilir.

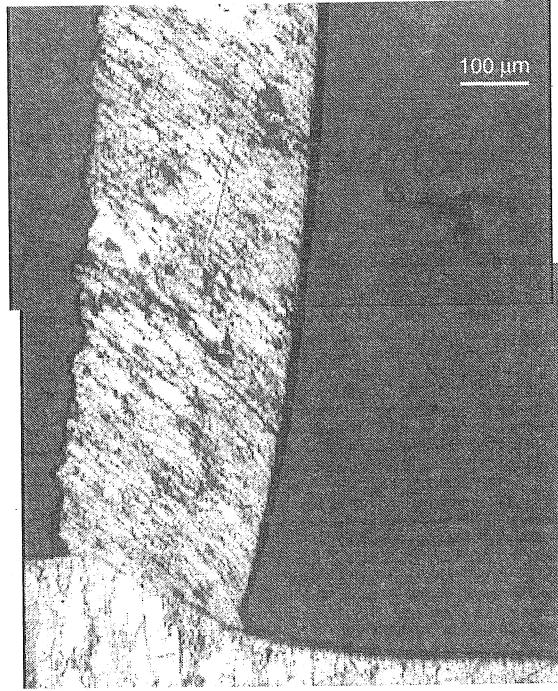


Şekil 2. I. takımın işlemede oluşan talaş morfolojileri a) 15 m/dak b) 87 m/dak c) 171 m/dak



a)

(b)



(c)

Şekil 3. II. Takımla işlemede oluşan talaş morfolojileri a) 15 m/dak b) 87 m/dak c) 171 m/dak

Şekil 3'de II. takım ile işlemede elde edilen talaş kökü morfolojisi ve mikroyapı fotoğrafları verilmektedir. Şekil 3.a'da YT oluşumu, Şekil 3.b ve 3.c'de ise YT veya (BUL) oluşmadığı görülmektedir. 15 m/dak kesme hızında yığıntı talaş oluşmuştur ancak boyutu, I. takım ile yapılan işlemede oluşan YT boyutundan çok daha küçüktür. Bu durum, II. takımın büyük talaş açısından kaynaklanmaktadır. Zira, takım/talaş temas alanı daralmış ve ikincil deformasyon bölgesinde talaşın deformasyon miktarı azalmıştır. 87 m/dak kesme hızı ve sonrasında II. takım ile işlemede YT veya BUL oluşmamıştır. Şekil 3'deki kesilmemiş talaş kalınlıklarındaki farklılık, kesilmiş talaş kalınlıklarında da farklılık meydana getirmiştir. Bu durum, ADC'nin kullanımı sırasında kesilmemiş talaş derinliğinin (t) sabit tutulmadığını göstermektedir. Özellikle 87 m/dak ve üzerindeki kesme hızlarındaki tornalamada, kesici takımın düşürülmesi anında takım kesme konumundan uzaklaşırken dahi talaş kaldırma devam etmiştir. Şekil 3b'de bu etki açıkça görülmekte ve kesme bölgesinden uzaklaştıkça kesilmiş talaş kalınlığı artmaktadır. Şekil 3b ve c'deki talaş açılarındaki farklılık ise, talaş kökünün tornalanmış numuneden çıkarılırken zorlanmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yüzey Pürüzlülüğü

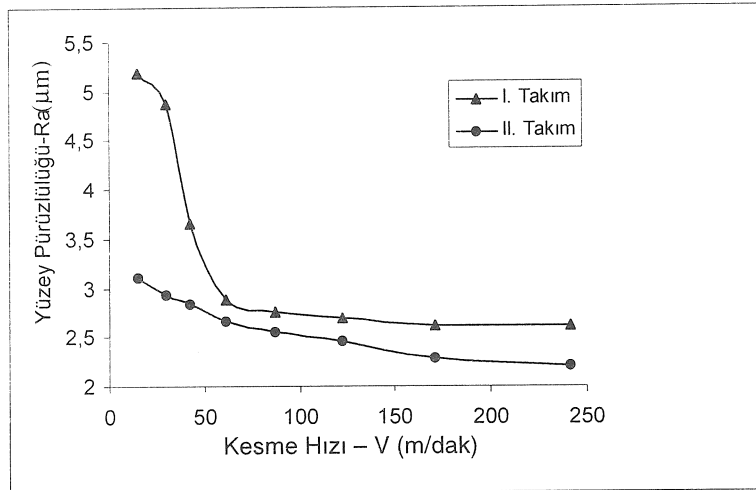
Farklı geometriye sahip iki takım ile tornalama sırasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüklerindeki değişim Şekil 4'de verilmiştir.

Minimum kesme hızında I. takım ile işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü çok yüksektir ve 5,2 μm civarındadır. Artan kesme hızıyla yaklaşık 60 m/dak kesme hızına kadar Ra değerinde hızlı bir düşüş görülmekte ve pürüzlülük $Ra \approx 2,7 \mu\text{m}$ 'ye

kadar azalmakta bu hızdan sonra kesme hızından bağımsız Ra yaklaşık sabit kalmaktadır. Minimum kesme hızında II. takım ile işlenen numunelerde ise yüzey pürüzlülük değeri $Ra \approx 3,1 \mu\text{m}$ 'dir. Artan kesme hızıyla Ra değeri 2,2 μm 'ye kadar düşmüştür. Pürüzlülük değerlerinden de anlaşılacağı gibi II. Takım ile işlenen numunelerde yüzey pürüzlülüğü daha düşük değerlerde elde edilmiştir. Bu durum takım ve kesme geometrisinin önemini ortaya koymaktadır. Takım talaş açısının artmasıyla azalan YT oluşma eğilimi düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünü düşürmüştür. Özellikle I. takımında düşük kesme hızlarında Ra değerindeki hızlı düşüşün sebebi YT'nin yüzey pürüzlülüğüne etkisine bağlanabilir. Zira YT boyutları kesme hızının artmasına bağlı olarak küçülme ve Ra azalmaktadır. Fakat II. takımında düşük kesme hızlarında YT'nin etkisi daha azdır ve yüzey pürüzlülüğü I. takıma göre çok daha düşüktür. Arttırılan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğünün düşme eğilimi devam etmektedir. Nihai kesme hızlarında minimum $Ra \approx 2,2 \mu\text{m}$ değeri II. takım ile sağlanmıştır. Ancak bu değer hesaplanan teorik ($Ra = 0,321 \cdot 0,24^2 / 0,8$) $Ra = 2,3 \mu\text{m}$ değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu etki, rombik uçlu II. takımın kesme geometrisine bağlanabilir (Şekil 1). Zira çok küçük tali kesme kenarı açısının (5°), uç yarıçapının teorik yaklaşımdaki geometrik etkisini, yüzey pürüzlülüğünü azaltıcı yönde olumlu etkilediği düşünülmektedir.

Talaş Kaldırma Kuvvetleri

Her iki takım ile yapılan işleme sırasında elde edilen kesme kuvvetinin (F_c) kesme hızına göre değişimi Şekil 5'de, ilerleme kuvvetinin (F_f) değişimi ise Şekil 6'da verilmiştir.

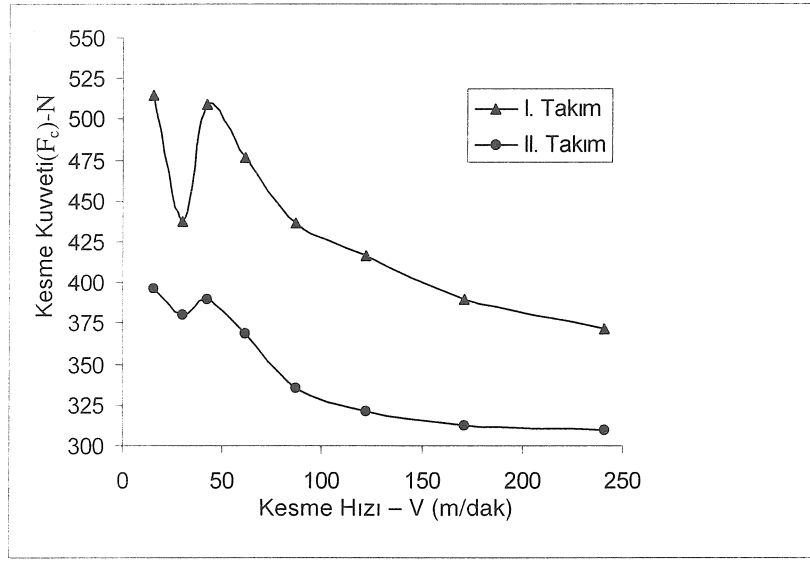


Şekil 4. Takım geometrisi ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

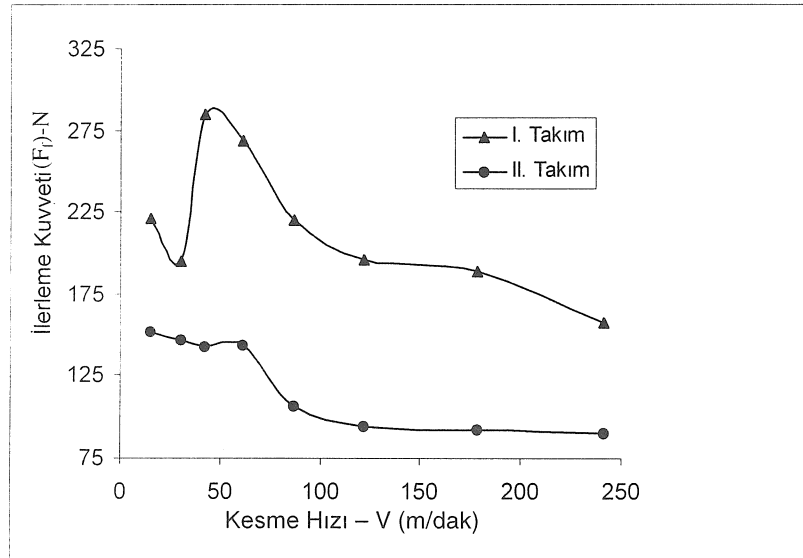
I. takım için maksimum $F_c = 515$ N, minimum F_c ise 372 N'dur. II. takımda ise F_c daha küçüktür ve düşük kesme hızlarında $F_c \cong 396$ N, yüksek kesme hızlarında ise $F_c \cong 310$ N civarındadır. I. takımda 42 m/dak kesme hızına kadar F_c 'deki değişimin sebebi YT oluşumu ile ilgilidir. Takım/talaş ara yüzeyinde kararlı YT oluşumu kesici takımın etkin talaş açısını arttıracığından ve dolayısıyla kesme düzlemi açısının artmasıyla azalan kesme alanı talaş kaldırma kuvveti bileşenlerinin azalmasına sebep olur [7,8]. Ayrıca, takımın talaş yüzeyinde YT'nin varlığı takım/talaş temas alanını da kısaltır. Bu sebeple azalan sürtünme kuvvetleri de F_c ve F_f 'in azalmasına sebep olur [7,8]. Bu etki I. takımın işlemede daha belirgindir ve 30 m/dak kesme hızında YT muhtemel maksimum boyutuna ulaşmıştır. I. takımın yapılan işlemede YT boyutunun büyük olmasından dolayı F_c kuvvetinde

düşük kesme hızındaki değişim daha fazla oranda olmuştur.

Şekil 6'da görüldüğü gibi F_f kuvvetleri de F_c kuvvetleri ile benzerlik göstermektedir. İlerleme kuvveti I. takımın en yüksek 285 N en düşük 158 N, II. takımın en yüksek 152 N en düşük 90 N olarak belirlenmiştir. I. takımın yapılan işlemede ~ 42 m/dak'dan yüksek kesme hızlarında F_c ve F_f 'de hızlı bir azalma görülmektedir. Her iki takım için F_c ve F_f 'de oluşan belirgin farklılık bu kesme hızlarında YT'nin giderildiği ve BUL'un oluştuğu kesme hızı olarak düşünülebilir. Bu hızdan sonra kesme kuvvetlerindeki düşüş ise artan kesme sıcaklığı ile malzemenin akma gerilmesindeki düşüşe bağlanır [4]. Yaklaşık aynı ilişki çok daha küçük değişimle II. takım için de belirlenmiştir.



Şekil 5. Takım geometrisi ve kesme hızı / kesme kuvveti ilişkisi



Şekil 6. Takım geometrisi ve kesme hızı / ilerleme kuvveti ilişkisi

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, T6 ısıl işlemi uygulanmış AA2014 malzemesi işlenebilirlik özelliklerinin farklı kesme hızları ve farklı geometride takımlar kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Her iki takımla yapılan işlemede yüzey pürüzlülüğü 61 m/dak kesme hızına kadar belirgin bir düşüş göstermiştir. 61 m/dak'dan büyük kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün kesme hızından etkileşimi çok daha azdır. Minimum yüzey pürüzlülüğü büyük talaş açılı takımla işlemede oluşmuştur.
- Talaş kaldırma kuvvetleri ~ 50 m/dak kesme hızına kadar YT oluşmasından dolayı kararsızlık göstermektedir. Daha sonraki kesme hızlarında her iki takım için F_c ve F_f kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir. II. takımla işlemede elde edilen talaş kaldırma kuvvetleri pozitif talaş açısının yüksek olmasından dolayı daha düşüktür.
- Talaş kökü morfolojisi ve mikroyapı incelemelerinde I. takımla işlemede 171 m/dak kesme hızında, II. takımla işlemede ise 87 m/dak kesme hızında YT ve BUL'un oluşmadığı belirlenmiştir.
- T6 ısıl işlemi AA2014 malzemenin talaşlı işlenmesinde büyük talaş açılı takım kullanılması, talaş kaldırma kuvvetlerinin minimize edilmesi ve bitirme yüzey kalitesinin artırılması için 100 m/dak kesme hızının üzerine çıkılması önerilir.

EFFECT OF CUTTING TOOL GEOMETRY ON THE MACHINABILITY PROPERTIES OF AA2014 (T6) ALLOY

In this study, machining properties of AA2014 alloy, with hardness of 134 BHN and tensile strength of 507 N/mm², aged by T6 heat treatment were investigated. Surface roughness, cutting forces and chip root morphology formed at different cutting speeds on turned material by means of two different cutting tool geometries were determined. During machining the test material with a small rake angle (6°) tool, a larger built-up edge (BUE) formation and an increasing surface roughness were observed at low cutting speeds. A decreasing in BUE, in surface roughness, and in cutting forces was observed during machining with a larger rake angle (30°) tool.

Keywords: AA2014 alloy, machinability, tool geometry

KAYNAKLAR

1. Özçatalbaş, Y., Düşük Alaşımli Çelikte Yığıntı Talaş Oluşumunun İşleme Özelliklerine Etkisi, 8. Uluslararası Makine Tasarım İmalat Kongresi ODTÜ, Ankara, 1998.
2. Trent, E.M., Metal Cutting, Tanner Ltd, London 1998.
3. Aluminium, Fabrication and Finishing, American Society for Metals, Metals Park, Volume III, Ohio 1967.
4. Dae, E.K. ve Dong, H.H., Experimental Investigation of the Contact Sliding Behaviour of Metals, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Volume 120, P 395-400, Korea 1998.
5. Jeelani, S. ve Musial, M., Dependence of Fatigue Life on the Surface Integrity in the Machining of 224-T 351 Aluminum Alloy Unlubricated Conditions, Journal of Materials Science, 21, P 155-160, USA 1986.
6. Oishi, K., Mirror Cutting of Aluminium with Sapphire Tool, Journal of Materials Processing Technology, 62, pp: 331-334, Japan 1996.
7. Özçatalbaş, Y., Düşük Alaşımli Çelikte Yığıntı Talaş Oluşumunun İşleme Özelliklerine Etkisi, 8. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, s; 25-33, Ankara, 1998.
8. Liew, W.Y.H, Hutchingsand, I.M. and Williams, J.A. , The Interaction Between Tool Material Environment and Process Conditions in the Machining of Aluminum Alloys, Machining Technology, 3 (2), pp: 286- 373 UK, 1999.
9. Özçatalbaş, Y., Investigation of Machinability Behaviour of Al₄C₃, Reinforced Al Based Composite produced by Mechanical Alloying Technique, Composites Science and Technology, Vol. 63, pp: 53-61, (2003).
10. Türk Standartları, Çekme Deneyleri, TS 138/Mart 1978.
11. Carrilero, M.S. et al., A SEM and EDS insight into the BUL and BUE differences in the turning processes of AA2024 Al-Cu alloys, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 (2002) 215-220, 2002.