

INCONEL 718'İN DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TALAŞ OLUŞUMU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Turgay KIVAK*, Kasım HABALI ve Ulvi ŞEKER

*Makine Bölümü, Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Düzce Üniversitesi, 81700 Düzce
Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Ankara
turgaykivak@duzce.edu.tr, khabali@gazi.edu.tr, useker@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 17.03.2009 ; Kabul/Accepted: 08.12.2009)

ÖZET

Bu çalışmada, Inconel 718 süper alaşımının kaplamalı ve kaplamasız karbür matkaplarla delinmesi esnasında kesme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Delme deneyleri kaplamasız, TiN ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılarak, kuru kesme şartlarında CNC dik işleme merkezinde, dört farklı kesme hızı (10, 12,5, 15, 17,5 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (0,05, 0,075, 0,1 mm/dev) kullanılarak yapılmıştır. 5 mm çapında matkaplarla 8 mm derinliğinde kör delikler delinmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ışığında kesici takımlar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Genel olarak, yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçlar kaplamasız takım ile delinen deliklerden alınmıştır. Talaş oluşumu incelendiğinde yapılan bütün deneylerde, ilk delikte meydana gelen talaş şeklinin kopuk talaş ya da küçük adımlı helisel talaş şeklinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Inconel 718, yüzey pürüzlülüğü, talaş oluşumu, delme.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS AND CHIP FORMATION IN DRILLING OF INCONEL 718 SUPER ALLOY

ABSTRACT

In this study, the effects of cutting parameters on surface roughness and chip formation obtained during the drilling of Inconel 718 super alloy with coated and uncoated carbide drills were investigated. Drilling tests were performed using TiN and TiAlN coated carbide drills on a vertical CNC machining center with four different cutting speeds (10, 12,5, 15, 17,5 m/min) and three different feed rates (0,05, 0,075, 0,1 mm/rev). Blind holes with 8 mm depth were drilled with 5 mm diameter drills. Surface roughnesses evaluation of holes based on the cutting tools was made with respect to the roughness measurements. According to this evaluation, the best results for surface roughness on the holes were obtained with the ones drilled by uncoated carbide tools. When the chip formations were examined, for all tests the chip formations for the first drilled holes were a discontinuous chip form or tight helical chip form.

Keywords: Inconel 718, surface roughness, chip formation, drilling.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Süper alaşımlar, yüksek sıcaklıkta iyi korozyon ve oksidasyon direncine, üstün sürtünme ve kopma dayanımına sahiptirler [1]. Bu alaşımların içerisinde krom ve nikel içeren demir esaslı alaşımlar, demir-nikel-krom-kobalt bileşikler, karbür takviyeli kobalt esaslı alaşımlar, katı solüsyon takviyeli nikel esaslı alaşımlar,

çökeltme ve dağılım takviyeli nikel esaslı alaşımlar bulunmaktadır [2]. Son yıllarda farklı çalışma sıcaklıklarına sahip çeşitli alaşımlar geliştirilmiştir. Bunların en önemlilerinden biri de Inconel 718 süper alaşımıdır. Polikristalli ve eşeksenli bir mikro yapıya sahiptir. Düşük ve orta sıcaklıktaki ((-250)-(-700)°C) mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı son yıllarda uzay, petrol ve nükleer enerji endüstrisinde

geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Inconel 718'in işlenmesi sırasında, iyi bilinen özelliği olan düşük ısı iletkenliğinden dolayı takım sıcaklığı kolayca yükselmektedir. İşleme sırasında malzemenin yüksek sertliğinin sonucu olarak talaş oluşumunda güçlüklerle karşılaşmaktadır [3]. Malzemenin üretim maliyeti yüksek olduğu için işlenmesi esnasındaki hatalar ciddi maddi kayıplara neden olmaktadır.

Uzay endüstrisinde delik delme işlemi, uzun zaman dan beri bilinen en önemli işleme süreçlerinden biridir. Şu ana kadar yapılan Inconel 718 alaşımı üzerindeki işleme araştırmaları, çoğunlukla tornalama ve frezeleme operasyonlarından ibaret olup, delme operasyonları ile ilgili literatür çok kısıtlıdır [3, 4]. Subramaniam ve Cook, yaptıkları bir çalışmada delik delmenin uzay endüstrisinde bütün talaş kaldırma operasyonlarının %40'ını oluşturduğunu tespit etmişlerdir [5]. Klocke ve arkadaşları, farklı PVD kaplamalarla kaplanmış takımlar kullanarak nikel esaslı Inconel 718'i delme işleminin tornalama ve frezelemeye göre daha zor bir işlem olmasını, dış çaptan merkeze doğru sifıra düşen kesme hızına; matkap üzerindeki helis kanallardan dolayı meydana gelen karşıt yönlü ilerleme hareketinin talaşın kaldırılmasını zorlaştırmasına; sürtünme ve yapışma işleminin talaş, takım ve delik duvarı arasında olmasına ve soğutma işlemi dışardan tatbik edildiğinde matkap ucuna yetersiz ulaşmasına bağlamışlardır [6]. Arunnachalam ve Mannan, araştırmalarında verimliliğin artmasında, yüksek kesme hızı ile işlemin ümit verici olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca kesici geometrisinin doğru seçiminin işleme verimliliği üzerinde önemli olduğu saptanmıştır [7]. Uehara yaptığı çalışmada, Inconel 718'in işlenebilirliği zor bir malzeme olarak sınıflandırıldığına dikkat çekmiştir. Inconel 718'in zor işlenebilirliği ile tanınmasındaki başlıca nedenleri ise içerdiği karbürlerin aşınma ile takımı hızla kullanılamaz hale getirmesi, düşük ısı iletkenliğe sahip olması, takım malzemesi ile yüksek reaksiyon vermesi ve yüksek oranda işleme sertliğine sahip olması olarak belirtmiştir [8].

Bu çalışmada, Inconel 718'in farklı kesme hızı ve ilerlemelerde TiN, TiAlN kaplamalı ve kaplamasız matkaplarla delinmesinde yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Kesici Takımlar ve Kesme Parametreleri (Cutting Tools and Cutting Parameters)

Talaş kaldırma deneyleri Johnford VMC-550 marka (Tayvan) CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Kesici takım olarak, Guhring kesici takım firması (Almanya) tarafından imal edilmiş karbür (DIN 6539) matkaplar kullanılmıştır. Ana malzemesi karbür olan bu matkaplar üç gruba ayrılmıştır. Birinci gruba TiN kaplama, ikinci gruba TiAlN kaplama yapılmış ve son

grup matkaplar üzerinde herhangi bir işlem yapılmadan (kaplamasız) kullanılmıştır. Kaplamalar, Guhring firması tarafından PVD (Fiziksel Buharlaştırma Metodu) ile tamamen kuru bir ortamda tek kat olarak; TiN için 1,5-2 µm, TiAlN için 3-3,5 µm kalınlığında yapılmıştır. Kaplama sertlikleri TiN kaplama için 1500-2000 Vickers, TiAlN kaplama için 3000-3500 Vickers, kaplamasız için de 1620 Vickers'dir. Delme işleminde kullanılan kesme parametreleri ve takım özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kesici takım özellikleri ve kesme parametreleri (Cutting tools properties and cutting parameters)

Kesicinin Cinsi	Silindirik saplı kısa helisel matkap ucu
Standart	DIN 6539
Kesici Takım Malzemesi	Sementit karbür
Kesici Geometrisi	Ø5mm, uç açısı 135°, helis açısı 35°
Kaplama Malzemeleri	TiN, TiAlN, kaplamasız
Kesme Hızları	10; 12,5; 15; 17,5 m/dak
İlerleme Hızları	0,05; 0,075; 0,1 mm/dev

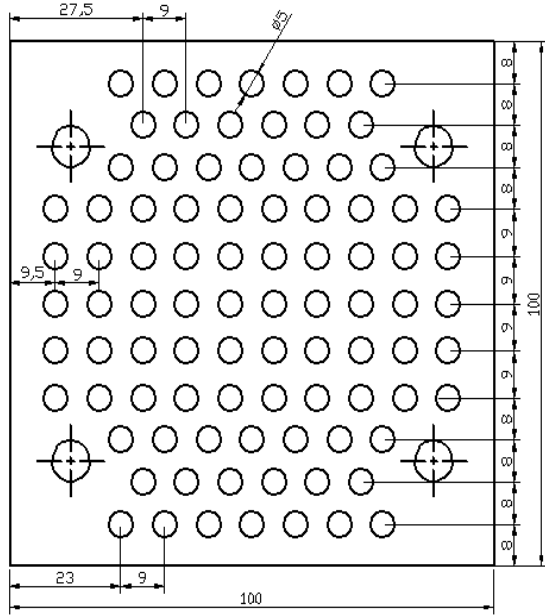
2.2. Deney Numuneleri (Test Samples)

Deneyisel çalışmalar için, endüstride özel kullanım alanı olan Inconel 718 süper alaşım (0.040% C, 0.08% Mn, 0.08% Si, 0.98% Ti, 0.50% Al, 0.23%Co, 3.04% Mo, 5.43% Nb+Ta, 17.80% Fe, 19.00% Cr ve 52.82% Ni) malzemeden hazırlanmış deney numuneleri kullanılmıştır. Inconel 718 süper alaşımın mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Deney numuneleri tel erozyon tezgâhında 100x100 mm ebatlarında 10 mm kalınlığında plaka olarak kesilmiştir. Her deneyde 10 adet delik delindiğinden, numunelerin her biri üzerinde 9 adet deney yapılmış olup toplam 90 adet delik delinmiştir. Deliklerin numune üzerindeki dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Delinen delik etrafındaki sertlik dağılımı göz önüne alınarak, deliklerin parça üzerine yerleştirilmesinde mümkün olduğu kadar birbiri ile uzaklığının eşit olmasına dikkat edilmiştir. Böylece, delme sırasında ısının mümkün olduğu kadar eşit şartlarda dağılması hedeflenmiştir.

Tablo 2. Inconel 718'in mekanik özellikleri (Mechanical properties of Inconel 718)

Sertlik (HB)	Akma sınırı (Mpa)	Çekme dayanımı (Mpa)	Kopma Uzaması % (5do)
388	1375	1170	23.3

Michael ve arkadaşları, delme işleminde optimum sonuçlar elde etmek amacıyla delme boyu, delik çapının üç katı yada üç katından daha düşük olması gerektiğini belirtmişlerdir [9]. Bu nokta göz önünde bulundurularak delik boyu 8 mm olarak seçilmiştir. Delik çıkışlarında takımda oluşacak beklenmeyen problemleri engellemek maksadı ile kör delik uygu-



Şekil 1. Deliklerin deney numunesi üzerindeki dağılımı (Distribution of the holes on the test sample)

laması tercih edilmiştir. Deney sırasında takımlardaki muhtemel ısı şoku oluşmaması için soğutma sıvısı kullanılmamıştır [10].

Her deney için yeni bir matkap kullanılarak toplam 36 adet deney yapılmıştır. Bu deneylerden on ikisi TiN kaplamalı on ikisi TiAlN kaplamalı ve diğer on ikisi de kaplamasız matkaplarla yapılmıştır. Her deney iki kez tekrarlanarak elde edilen verilerin doğruluğu teyit edilmeye çalışılmıştır.

2.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi (Measuring of the surface roughness)

İşlenebilirlik çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ve değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Ölçme işleminin delik yüzeylerinde yapılacak olması işlemi biraz zorlaştırmaktadır. Özellikle küçük çaplı deliklerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi özel uç ve aparatlar gerektirdiğinden standart basit cihazlarla yapılması mümkün değildir. Bu nedenle elde edilen deliklerin yüzey pürüzlülüğünün ölçümü ORS (Orta Doğu Rulman Sanayi A.Ş.) ölçme laboratuvarlarında yapılmıştır. Ölçümlerde Taylor Hobson marka Talysurf PGI Plus tip yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Ölçümlerin kolay yapılabilmesi için numuneler tel erozyon tezgâhında delik eksenine paralel olarak tam ortasından kesilmiştir. Delik eksenine paralel üç farklı noktadan ölçüm yapılarak, bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Bu işlem her deneydeki 10 adet delik için tekrarlanmış olup elde edilen bu değerlerin de ortalaması alınmıştır. Böylece her deney için 1 adet yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Pürüzlülük ölçümlerinde sadece ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ölçülmüştür. Matkap üzerindeki burkulma etkisini yok etmek amacıyla, matkap ucunun takım tutucudan

çıkma mesafesi 30 mm tutulmuştur. Bu değer karşılaştırma doğruluğu sağlamak için bütün deneylerde sabit kalmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENT RESULTS AND DISCUSSION)

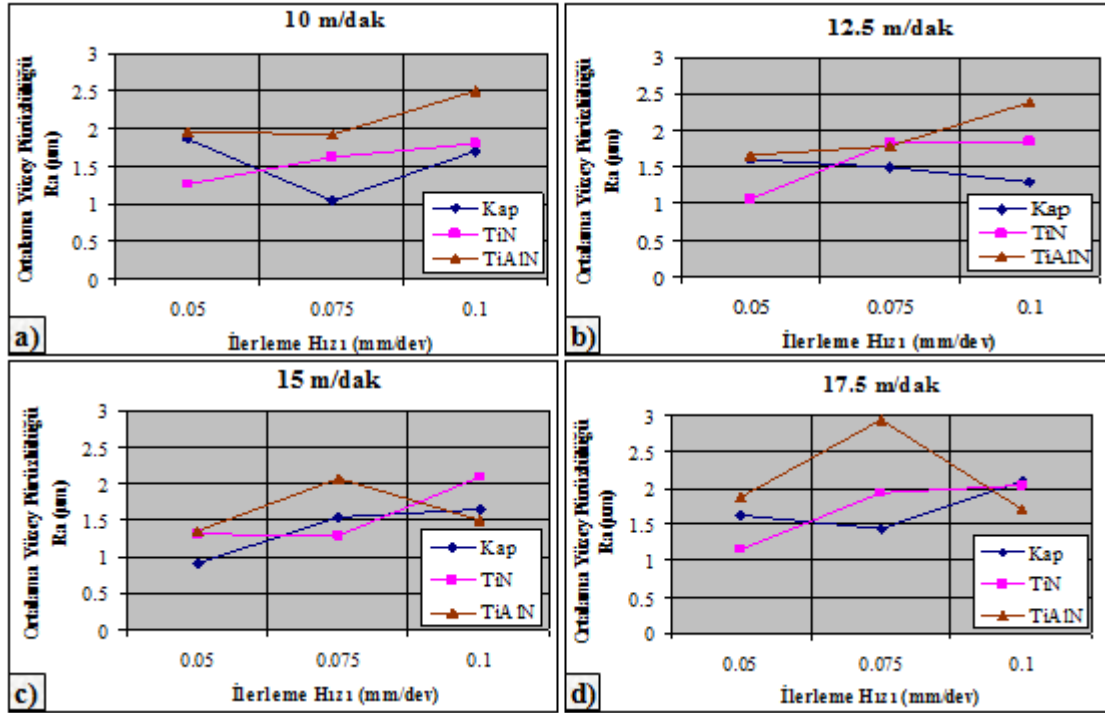
Chen ve Liao, yaptıkları çalışmada süper alaşımların delinmesinde matkap uç açısının 135° ve daha büyük olmasını tavsiye etmişler ve Inconel 718'in delinmesinde 140° uç açısına ve 8° boşluk açısına sahip matkapların daha iyi performans sergilediğini tespit etmişlerdir [11]. Literatür ışığında matkabın uç açısının 135° olmasına ve delme sırasında istenilen rijitliğin sağlanabilmesi için matkap boyunun kısa olmasına karar verilmiştir.

Kesme parametrelerinin tayini, yine literatürden [6,11,12], istifade edilerek ve kesici takım kataloğunda tavsiye edilen değerler göz önünde bulundurularak pilot deneylerle belirlenmiştir. Pilot deneyler sırasında kesme hızı $17,5$ m/dak'ı ve ilerleme hızı $0,1$ mm/dev'i aştığında, matkaplar sadece birkaç delik delebilecek kadar ömür sergilemiştir. Bu nedenle her kesici takımla 10 adet delik delinmesi hedeflenmiş olup bazı kesici takımlar 10 adet deliği tamamlayamadan kırılmıştır.

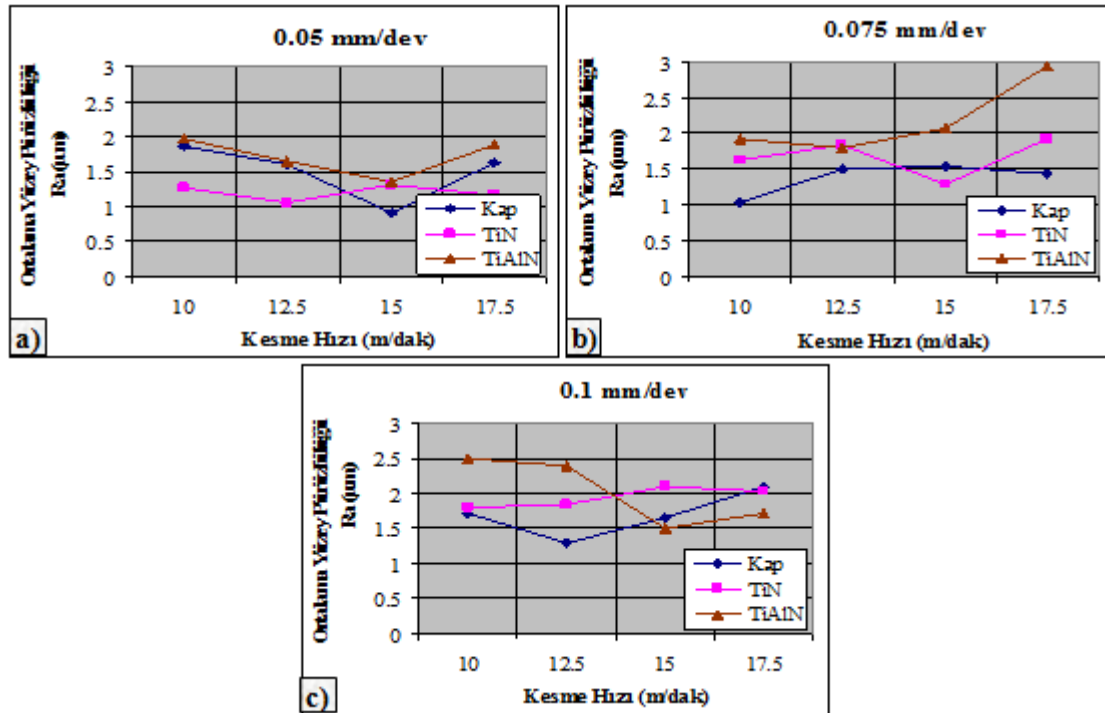
3.1. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi (Evaluation of The Surface Roughness)

Şekil 2'de farklı kesme hızlarında, ilerleme hızına bağlı olarak üç farklı takımın R_a değerlerinin birbiri ile karşılaştırılması görülmektedir. Grafiklere bakıldığında genel olarak üç takım da ilerleme hızındaki artışla R_a değerleri artış göstermiş ve en yüksek R_a değerleri $0,1$ mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Literatürde belirtildiği gibi ilerleme hızındaki artışla yüzey pürüzlülüğündeki artış beklenen bir durumdur [13]. Grafiklerdeki eğilim çizgilerine bakıldığında ise, bazı ilerleme hızlarında sapmalar olmakla birlikte genel itibarıyla, kaplamasız takıma ait olan eğilim çizgisi aşağıda yer alırken TiAlN kaplı takıma ait eğilim çizgisi en yukarıda bulunmaktadır. Dolayısıyla her takım için R_a değerlerinin ortalaması düşünüldüğünde, kaplamasız takımla elde edilen R_a değerlerinden TiAlN kaplı takımla elde edilen R_a değerlerine doğru bir artış söz konusudur. TiN kaplı takımla, TiAlN kaplı takıma göre daha düşük R_a değerlerinin elde edilmesinin sebebi TiN kaplamanın yüzey yağlama özelliğine ve düşük sürtünme katsayısına atfedilmiştir [14].

Şekil 3'teki grafiklere bakıldığında $0,05$ mm/dev ve $0,1$ mm/dev ilerleme hızlarında üç takım da kesme hızındaki artışa bağlı olarak R_a değerlerinde, 15 m/dak kesme hızına kadar düşüş görülmüştür. Ancak 15 m/dak kesme hızından sonra R_a değerlerinde bir miktar artış meydana gelmiştir. Literatürde, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği belirtilmektedir [13].



Şekil 2. Kaplama malzemesi ve kesme hızına bağlı olarak ilerleme hızındaki artışla ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim (Variation in the average surface roughness with an increase in the feed rates, depending on coating material and cutting speed)



Şekil 3. Kaplama malzemesi ve ilerleme hızına bağlı olarak kesme hızındaki artışla ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim (Variation in the average surface roughness with an increase in the cutting speed, depending on coating material and feed rates)

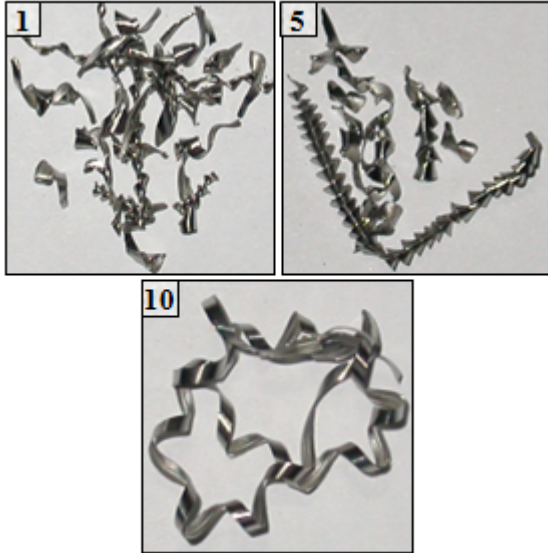
15 m/dak kesme hızından sonra meydana gelen artışın, yüksek kesme hızlarında kesici takım üzerinde aşınmaların daha hızlı olması buna bağlı olarak sürtünmenin artması, talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılmasının zor olması gibi nedenlerden kaynaklandığı söylenebilir [13]. 17,5 m/dak kesme hızında bazı

takımların deneyi tamamlayamadan kırılması da bunu doğrular niteliktedir. Bütün ilerleme ve kesme hızı kombinasyonlarında en düşük R_a değerleri 0,05 mm/dev ilerleme hızı ile TiN kaplı takımlar için 12,5 m/dak, diğerleri için ise 15 m/dak kesme hızı kombinasyonunda elde edilmiştir (Şekil 3).

YüzeY pürüzlülüğünün genel bir değeriendirilmesi yapılacak olursa en düşük R_a değeri kaplamasız takımlarla delinen deliklerden alınmıştır. Üç kesici takım arasında en düşük R_a değeri ($0,92 \mu\text{m}$), $0,05 \text{ mm/dev}$ ilerleme ve 15 m/dak kesme hızında kaplamasız takımlarla delinen deliklerden elde edilmiştir.

3.2. Talaş Oluşumunun Değeriendirilmesi (Assessment of The Chip Formation)

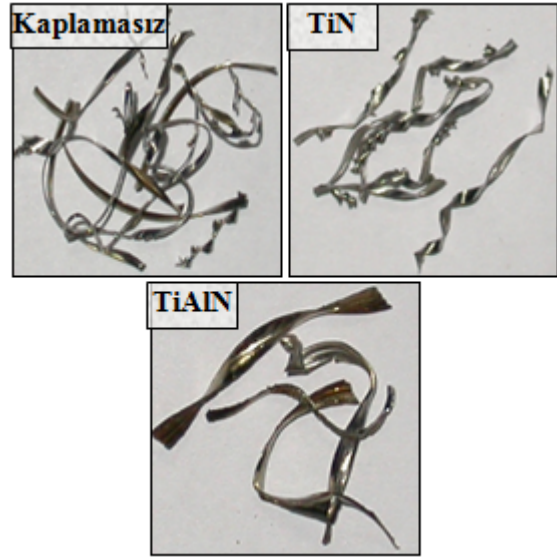
Delme deneyleri sırasında talaş karakteristiğini belirlemek için yapılan deneyler sırasında talaş örnekleri alınmıştır. Genel olarak talaş oluşumu incelendiğinde yapılan bütün deneylerde, ilk delikte meydana gelen talaş şeklinin kopuk talaş şeklinde olduğu görülmekle birlikte birkaç delikten sonra şekil değeriştirerek sürekli helisel talaş şekline dönüşmüştür. Şekil 4'te bir deneydeki 1., 5. ve 10. delikten alınan talaş örnekleri görülmektedir. Ayrıca ilk deliklerdeki talaş şekilleri daha sünek yapıda iken son deliklere doğru daha sert ve kırılğan bir yapıya büründüğü görülmüştür.



Şekil 4. Bir matkapla yapılan deneylerde 1., 5. ve 10. delme sırasında alınan talaş şekilleri (The chip forms taken from the first, fifth and tenth holes in the tests by a drill)

Yüksek kesme hızı ve ilerleme hızı kombinasyonlarında, özellikle delme işlemini tamamlayamadan kırılan takımlarla oluşan talaş örneklerine bakıldığında büyük adım ve testere dişi şeklinde talaş şekli meydana gelmiştir. Şekil 5'te $17,5 \text{ m/dak}$ kesme hızı ve $0,1 \text{ m/dev}$ ilerleme hızlarında üç farklı takımla delinen son deliklerden (10., 7. ve 2. delik) alınan talaş örnekleri görülmektedir.

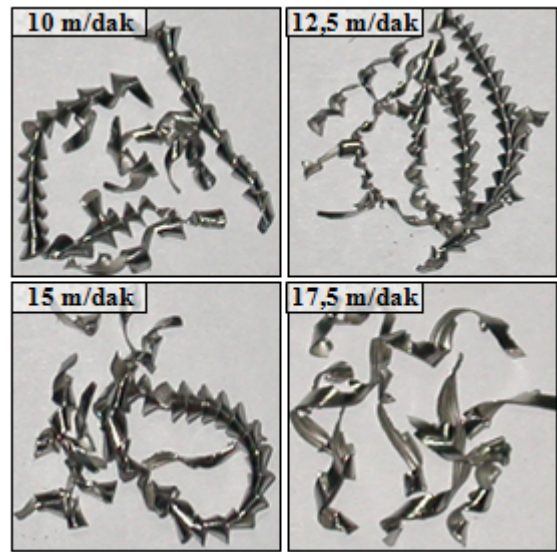
Talaş örneklerinden, talaş oluşumunun zor kesme şartları altında meydana geldiği yüksek kesme kuvvetlerinin oluştuğu, bunlara bağlı olarak talaş şeklinin düzensiz olduğu görülmektedir. TiAlN kaplı takımla oluşan talaş örneğinden takımın kesmeden ziyade kazıma ve koparma yaptığı ve sonuç olarak takımın daha ikinci delikte kırıldığı görülmüştür. Bu kesme



Şekil 5. $17,5 \text{ m/dak}$ kesme hızı ve $0,1 \text{ mm/dev}$ ilerleme hızında üç farklı takımdan alınan talaş şekilleri (The chip forms taken from three different cutting tools at the feed rate $0,1 \text{ mm/rev}$ and the cutting speed $17,5 \text{ m/min}$)

parametrelerinde R_a değerilerinde çok fazla artış olmamıştır. Bunun sebebi ise değeriendirmede, delinen tüm deliklerden alınan R_a değeriilerinin ortalamasının alınmasıdır. Oysaki son deliklerde takım aşınmasının da etkisiyle R_a değerilerinde ciddi artışlar gözlemlenmiştir.

Şekil 6'da aynı ilerleme hızında, kesme hızına bağlı olarak TiN kaplı takımla delinen ilk deliklerden alınan talaş örneklerindeki değerişim görülmektedir. Orta kesme hızlarında ($12,5\text{-}15 \text{ m/dak}$) elde edilen talaşlar daha düzenli ve küçük adım helisel talaş şeklindedir. Bu kesme hızları (özellikle 15 m/dak) en düşük yüzeY pürüzlülük değeriilerinin elde edildiği kesme hızlarıdır.



Şekil 6. $0,075 \text{ mm/dev}$ ilerleme hızında kesme hızına bağlı olarak TiN kaplı takımla delinen ilk deliklerden alınan talaş şekillerindeki değerişim (Changes at the chip forms according to cutting speed taken from the holes drilled by the TiN coated drills at the $0,075 \text{ mm/rev}$ feed rate)

Düzenli talaş akışının yüzey pürüzlülüğünü olumlu etkilediği düşünülmektedir.

Sonuç olarak düşük ilerleme ve kesme hızlarında talaş şekli daha düzenlidir. Talaş oluşumu ile yüzey pürüzlülüğü değerleri birlikte göz önüne alındığında genel olarak talaş şeklinin daha düzgün bir şekil almasıyla yüzey pürüzlülüğünün de azaldığı söylenebilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- i- TiN kaplı takımlarla düşük ilerlemelerde (0,05 mm/dev), kaplamasız takımlarla orta ilerlemelerde (0,075 mm/dev), TiAlN kaplı takımlarla yüksek ilerlemelerde daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Ancak genel olarak, en düşük yüzey pürüzlülük değerleri kaplamasız takımla delinen deliklerden alınmıştır.
- ii- Deneyi başarıyla tamamlayan matkaplar arasında yüzey pürüzlülük değeri ortalaması en düşük 0,91 µm'dur. Bu değer kaplamasız matkapla 15 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. TiAlN kaplı matkapların bir kısmı deneyleri tamamlayamadan kırıldığı için genel olarak yüzey pürüzlülük ölçümleri daha yüksektir.
- iii- Genel olarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme hızındaki artışa bağlı olarak artmış, kesme hızındaki artışa bağlı olarak belirli bir kesme hızına kadar (15 m/dak) azalmıştır. Yüzey pürüzlülüğündeki değişimde ilerleme hızının kesme hızından daha etkili olduğu söylenebilir.
- iv- Talaş oluşumu incelendiğinde yapılan bütün deneylerde, ilk delikte meydana gelen talaş şeklinin kesik kesik talaş şeklinde olduğu görülmüştür. Takip eden deliklerde talaş şekli büyük adımlı sürekli talaşa dönüşmüştür. İlk deliklerdeki talaş şekilleri daha sünek yapıda iken son deliklere doğru gevrek ve kırılmalı bir yapıya dönüşmüştür. Yüksek kesme hızı ve ilerleme hızı kombinasyonlarında, özellikle delme işlemini tamamlayamadan kırılan takımlarla oluşan talaş şekillerinin büyük adımlı helis ve testere dişlere sahip olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar bu çalışmayı; 07/2007-41 No'lu Proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bhattacharya, S.K., Javaid, A., Lewis, M.H., Walbank, J., "Wear Mechanisms of Syalon Ceramic Tools when Machining Nickel-Based Materials", **Metals Technology**, 10: 482-483 (1983).
2. Bradley, E., "Superalloys A Technical Guide", **ASM International**, USA, 1-29 (1988).
3. Rahman, M., Seah, W.K.H., Teo, T.T., "The Machinability of Inconel 718", **Journal of Materials Processing Technology**, 63: 199-204 (1997).
4. Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., "Wear of Coated Carbide Tools When Machining Nickel (Inconel 718) and Titanium Base (Ti-6Al-4V) Alloys", **Triboloji Transactions**, 43: 263-268 (2000).
5. Subramaniam, K., Cook, N.H., "Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life", **ASME, Journal of Engineering for Industry**, 99: 295-301 (1997).
6. Klocke, F., Gerschwiler, K., Fritsch, R., Lung, D., "PVD-Coated Tools and Native Ester – an Advanced System for Environmentally Friendly Machining", **Surface & Coatings Technology**, 201: 4389-4394 (2006).
7. Arunachalam, R., Mannan, M.A., "Machinability of Nickel-Based High Temperature Alloys", **Machining Science and Technology**, 4 (1): 127-168 (2000).
8. Uehara, K., "High-Speed Machining of Inconel 718 with Ceramic Tools", **Ann CIRP**, 42 (1): 103-106 (1993).
9. Michael, F., Kahles, J.F., Koster W.P., **ASM Handbook: "Surface finish and surface integrity"**, **American Society for Metals**, 3: 468-475 (1989).
10. Durante, S., Rutelli, G., Rabezzana, F., "Aluminum-Based MMC Machining with Diamond-Coated Cutting Tools", **Surface&Coatings Technology**, 632-640 (1997).
11. Chen, Y.C., Liao, Y.S., "Study on Wear Mechanisms in Drilling of Inconel 718 Superalloy", **Journal of Materials Processing Technology**, 140: 269-273 (2003).
12. Syed, E.A., Mannan, M.A., "Hole Quality In Drilling Of Annealed Inconel 718", **Transactions Of The North American Manufacturing Research Institution Of SME**, 32: 271-278 (2004).
13. Modern Metal Cutting, **Practical Handbook**, Sandvik, (1994).
14. Çakır, M.C., "Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", **Vipaş A.Ş.**, Bursa, 350-390 (2000).