

Kesici Uç Genişliğinin Kanal Açma Sırasındaki Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Abdullah KURT^{1,✉}, Serkan BAKIR²

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500 Teknikokullar Ankara
² Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, 06500 Teknikokullar Ankara

Başvuru: 16/04/2014 Düzenleme: 27/05/2014 Kabul: 27/05/2014

ÖZET

Bu çalışma; kesme parametrelerindeki değişimlere göre tornada dış kanal açma sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel ölçümlerle belirlenmesini ve kesici uç genişliğinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini içermektedir. Bu amaçla, değişik kesme parametreleri kullanılarak 2 mm, 4 mm ve 6 mm uç/kanal genişliğine sahip kesici takımlarla AISI 1050 iş parçası malzemesi üzerinde çeşitli kesme deneyleri yapılmıştır. Kanal açma sırasında oluşan kesme kuvvetleri Kistler 9257B dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Çalışma sonucunda; kesme kuvvetlerinin büyüklüğü bakımından ilerleme değerinin kesme hızına göre daha belirleyici olduğu ve pasif kuvvetlerin esas kesme kuvvetlerinden daha büyük ve eksenel kuvvetin diğer kesme kuvvetlerine göre ihmal edilebilecek seviyede olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tornalama, kanal açma, kesme kuvvetleri, kesici takım

ABSTRACT

In this paper contains the determination of the cutting forces with experimental measurements according to the variations in the cutting parameters during grooving operation to the outer surface and the effect of the insert width on the cutting forces. For this purpose; a variety of experiments were carried out the AISI 1050 work-piece material with grooving insert widths have 2 mm, 4 mm, and 6 mm using different cutting parameters. The cutting forces that occur during grooving operation were measured by Kistler 9257B dynamometer. The study results showed that the feeding rate value is more decisive than the cutting speed in terms of the magnitude of the cutting forces, the passive forces are greater than the primary cutting forces and the axial forces are negligible compared to other cutting forces.

Key Words: Turning, grooving, cutting forces, cutting tool

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde rekabet edebilmek için imalatın, maksimum emniyet ve minimum maliyetle yapılması gerekmektedir. Genel olarak, üretilen iş parçası için istenen işlevsel toleransların en uygun işleme şartlarıyla gerçekleştirilmesi gerekir. Bu işlevsel toleransların gerçekleşmesi kesici takım/takım tezgâhı/iş parçası ilişkilerinin doğru kurulmasıyla mümkündür. Doğru

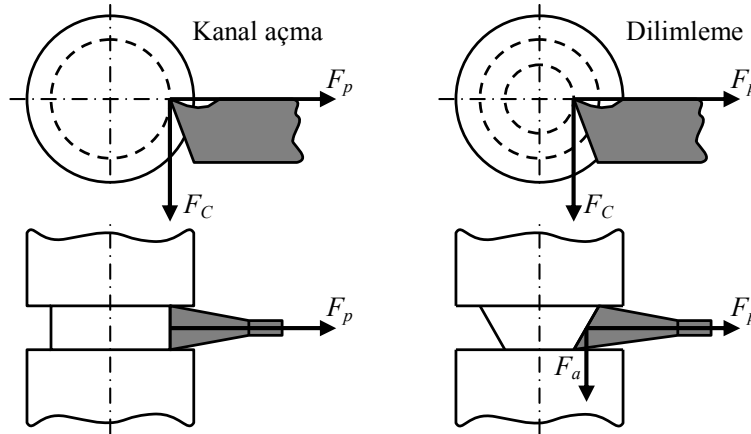
seçilmemiş işleme parametreleri ve titreşimler işlevsel toleransları engelleyen ölçü ve yüzey hatalarına sebep olur. Bu yüzden hatasız veya en az hata ile iş için talaş kaldırma işlemlerinde ekonomikliği simgeleyen en önemli unsurların minimum takım aşınması ve düşük güç sarfiyatı olduğu düşünülebilir. Özellikle takım ömrü ve takım değiştirme sıklığı, takım tezgâhlarının verimli kullanılması için en önemli parametrelerden biridir. Uygun kesme parametreleri için gerekli olan bilgiler ise genellikle deneysel çalışmalarla belirlenmektedir.

Talaş kaldırma yöntemleri arasında torna tezgâhında en zor işlemlerden biri de kanal açma işlemidir. Verilen tolerans aralığında kanal genişliği elde etmenin zorluğu yanında kesici takımın yüzeylerine gelen yükler sebebiyle yüzey kalitesinin de istenen seviyede olmaması, kanal açma işleminde karşılaşılan en büyük zorluklardandır [1].

Tornada yapılan işlerin pek çoğunda kanal açma takımlarıyla yapılan kanal açma işlemleri uygulanmasına rağmen; kanal açma işlemleri, özellikle de talaş kontrolü açısından tüm kesme operasyonları içindeki en sorunlu yöntemlerden biridir. Bu sorun için kesici takım üzerinde talaş kırıcı profilleri tasarlanmış, böylece talaşın kolayca boşaltılması amaçlanmıştır. Kanal açma işlemlerindeki diğer problemler ise kanal genişliğinin verilen tolerans aralığında elde edilmesinin zorluğu ve kesici takımın yüzeylerine gelen yükler nedeniyle yüzey kalitesinin istenilen kalitede oluşmamasıdır. Kanal açma ve dilimleme işlemlerinde kesme (veya kanal) genişliği genelde kesici takımın kesme kenarı genişliğine eşit olduğundan ölçü ve boyutsal toleranslar için ilerleme (radyal doğrultudaki) ve kesme hızı uygun değerlerde seçilmelidir. Diğer

tornalama operasyonlarıyla karşılaştırıldığında bu işlemlerin temel karakteristikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir [2]:

- i) Kanal açma ve özellikle de dilimleme süresince kesme hızı, iş parçasının üst çapında en büyük değerde olurken iş parçasının merkezine doğru gidildikçe sıfıra yaklaşır. Ancak bu durum sadece sabit devir sayısı (rpm) ile işlemede geçerlidir.
- ii) Dilimleme işleminde kesici takıma F_C esas kesme kuvveti (veya teğetsel kuvvet), F_p pasif (radyal) kuvvet ve F_a aksel kuvvetleri etki etmesine rağmen; kanal açma işleminde F_C esas kesme kuvveti (veya teğetsel kuvvet) ve F_p pasif (radyal) kuvvet etki eder (Şekil 1). Kanal açmanın kesme kenarı düz (kesme kenarı iş parçasının boyuna eksenine paralel) olan kesici takımın radyal doğrultudaki dalma hareketiyle yapılması sebebiyle; F_a aksel kuvveti diğer kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne göre ihmal edilebilecek seviyededir. Dilimleme işleminde ise kesme kenarı iş parçasının boyuna eksenine paralel olmadığından, üç boyutlu bir kesme gerçekleşir.



Şekil 1. Kanal açma ve dilimleme işlemlerinde kesme kuvvetleri (The cutting forces during grooving and parting-off operations) [2]

Literatürde doğrudan kanal açma işlemini içeren çalışmalarda [3-11] takım tasarımı, soğutma, yağlama, kalıntı gerilme, yüzey pürüzlülüğü ve optimizasyon konuları dikkate alınmıştır. Chern [3], özellikle ortogonal kesme için kullanılan kanal açma veya radyal doğrultuda kesme takımları yardımıyla talaş oluşumunun incelenmesinde kullanılmak üzere yeni, basit ve kullanışlı bir hızlı durdurma takımı geliştirmiştir. Geliştirdiği sistemle AISI 1017 çelik üzerinde 2.6 mm kanal genişliğine sahip 20° boşluk açılı ve 5°, 10°, 15°, 20° talaş açılı kesme takımları yardımıyla 14.1-21.2-24.3-45.6 m/min ve 0.101-0.130-0.165-0.191 mm/rev şartlarında çeşitli ortogonal kesme deneyleri yapmıştır. Geliştirdiği sistemle yapılan kesme deneylerinde çekilen talaş kökü mikro fotoğrafları yardımıyla talaş oluşumu, kayma düzleminin doğrultusu ve kenarda talaş sıkışması/yapışması olaylarını göstermiştir. Obikawa et al. [4]; P25 kalitesindeki kaplamasız ve her biri 10 µm kalınlığa sahip TiC/TiCN/TiN olmak üzere üçlü kaplama katmanıyla

kaplanmış P35 kalitesindeki kesici bir takım kullanarak % 0.45C içeren karbon çelik için yüksek hızda 5.1 mm kanal genişliğinde ve 7.5 mm derinliğinde pek çok silindirik kanal açma işlemindeki minimum miktarda yağlama performansını incelenmişlerdir. De Chiffre et al. [5], su bazlı diğer soğutucularla karşılaştırma yapmak üzere kesici takım ömrü, kesme kuvvetleri, talaşın atılması ve iş parçasının bitirme yüzeyi açısından kriyojenik CO₂'nin verimliliğini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, kaplı karpit takımlarla AISI 316L östenitik paslanmaz çelik üzerinde vida çekme ve AISI 304L östenitik paslanmaz çelik üzerinde de 0.15 mm/rev ve 130-150 m/min şartlarında 3 mm genişliğindeki kesici takımlarla yarıçapta 19 mm kanal açma/dilimleme operasyonları yapmışlardır. Kafkas [6], düz tornalama ile literatürde fazla ele alınmayan kanal açma ve vida açma işlemleri neticesinde meydana gelen iş parçasındaki kalıntı gerilmeleri deneysel olarak incelemiş ve işlemlerde kullanılan parametrelerin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Vida açma,

kanal açma ve düz tormalama işlemlerinde kesme biçiminin farklı talaş oluşumu meydana getirdiği ve kalıntı gerilmeleri etkileyen en önemli faktörün talaş oluşumunun farklılığından kaynaklandığı ortaya koymuştur. 50, 100, 150 m/min kesme hızı ve 0.1, 0.15, 0.25 mm/rev ilerleme şartlarında 1.5 mm burun yarıçapına sahip kanal takımıyla 1.5 mm derinliğinde ve 5 mm aralıklarla çeşitli kanal açma operasyonları yapılmıştır. Yanar [7] çalışmasında makine devri, ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesici takım olmak üzere dört farklı kesme parametresi ve iki farklı seviye belirleyip bir deney tasarım tekniği olan Taguchi metodunu kullanarak tormalama ve kanal açma operasyonunda kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Pistonun dış yüzeyine 1500, 2000 rpm ve 0.05, 0.1 mm/min şartlarında uygulanan kanal açma deneylerinde 4 mm genişliğe sahip 0,4 mm burun yarıçaplı kesici takımlar soğutma sıvısıyla birlikte kullanılmıştır. Özyılmaz'ın [1] çalışmasında, farklı ısı işlemlere tabi tutulmuş Etial 145 alüminyum-silisyum alaşımı piston malzemeleri üzerine tormalama yöntemiyle kanallar açılmıştır. Kanal açma işlemleri farklı kesme hızlarında sementit karbür kanal açma takımları kullanılarak yapılmıştır. Kanal açma deneyleri soğutma sıvısı kullanılmadan, 0.1 mm/rev ilerleme hızında ve 200, 240, 280 ve 320 m/min kesme hızlarında yapılmış olup numunelere Sandvik N151.2-300-5E kodlu sementit karbür (K20) kesici takımlarla 8 mm (yarıçapta) derinliğinde kanallar açılmıştır. Daghini et al. [8] dilimleme için yeni bir kesici takım tasarımı yaparak bu tasarımın performansını incelemiştir. Geliştirdikleri takım, işleme sisteminin frekans ve sönümlenme oranı ile işlenen yüzeyin pürüzlülüğü biçiminde dinamik özellikler kriteriyle karakterize etmişler ve bu tasarımı dilimleme işleminde denemişlerdir. P35 tipindeki malzemeyi işlemek için pozitif açılı 4 mm genişliğindeki CVD kaplı TiN/TiCN/TiN kesici uçlarla 100, 133, 150, 167, 200 m/min ve 0.1, 0.23, 0.37, 0.5 mm/rev şartlarında çeşitli dilimleme deneyleri yapılmışlardır. Ding ve Rahman [9]; çok hassas işleme tezgâhında tek kristalli elmas mikro takımlar ile çok kristalli Al 6061-T6 alüminyum malzemenin kesme/işleme mekanizmasını anlamak üzere kanal açma işleminin uygulandığı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 1 mm/min gibi çok düşük bir kesme hızında soğutma sıvısı kullanmadan yaklaşık 30 µm kanal genişliğine sahip mikro takımla 10 µm'lik bir yüzeyde 0.8 µm kesme derinliğinde ortogonal kesme deneyleri ve 1.5 µm kesme derinliğinde mikro kanal açma deneyleri yapmışlardır. Machai et al. [10]; işlenmesi oldukça zor olan üç farklı temperleme uygulanmış β-titanyum alaşımının (Ti-10V-2Fe-3Al) işlenmesinde yenilikçi bir soğutma yöntemi olarak karbon dioksit karının (sıvı karbon dioksitin hızlı buharlaştırılmasıyla

elde edilen katı/kristalize karbon dioksit) ve yüksek kesme hızlarının etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. 12.5, 25, 50, 100, 150, 200 ve 300 m/min'de 3 mm genişliğindeki silindirik kanal açma deneylerini yaptıkları çalışmalarında; kesici takımın talaş ve yan yüzeyleri üzerinde farklı soğutma teknikleri arasında karşılaştırma yapmışlar ve kesme kuvvetleri, takım aşınması ve talaş morfolojisini incelemiştir. Baykasoğlu [2] çalışmasında; kaba dış tormalama, boşaltma, alın tormalama, delme, diş açma, kanal açma ve dilimleme işlemlerinde kesme şartlarının optimizasyonu için Turbo C++ ve CLIPPER dillerini kullanarak bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Delme, diş açma, dilimleme-kanal açma işlemlerinde ise kesme şartlarının optimizasyonu için kısıtlayıcı kontrol metodlarını kullanmıştır. Geliştirdiği programda; kesici-ış parçası malzemesi için kullanılacak en büyük/küçük kesme derinliği ve ilerleme, kesici takım ve takım tutucu için en büyük yük, fener mili ve sürücü motorların tork-hız karakteristikleri, tutturma sınırlamaları, parçanın sapması, parçanın toleransı, rulmanların dizayn yükleri, kesici takım hızları, kesici takım aşınması ve yüzey kalitesini kısıtlayıcılar olarak kullanmıştır. Cakir ve Cavdar [11]; talaşlı imalat alanında çalışan kişileri eğitmek amacıyla, DELPHI Visual programlama dilini kullanarak if-then kurallarından oluşan bilgi tabanlı bir uzman sistem (COROSolve) programı geliştirmişlerdir. Program; tormalama (vida açma, dilimleme ve kanal açma dahil), frezeleme ve delme operasyonlarında karşılaşılan temel problemlere sebep-sonuç ilişkisini de ifade eden bir şekilde çözüm alternatifleri sunmakta, çeşitli tavsiyeler vermekte ve takım ömrü için uygun kesme parametrelerinin seçimine yardımcı olmaktadır.

Literatürden farklı olarak bu çalışmada, kesme parametrelerindeki değişime dayalı olarak imalatta yaygın olarak kullanılan kanal açma kesici takımının performansını iyileştirmek amacıyla; farklı genişlik ve talaş kırıcı geometrilerine sahip değiştirilebilir kesici uçlarda oluşan kesme kuvvetleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışma kapsamında, kesme parametrelerindeki değişime dayalı olarak farklı genişlik ve talaş kırıcı geometrilerine sahip değiştirilebilir kesici uçlarla kanal açma sırasında oluşan kesme kuvvetleri incelemek amacıyla bir dizi kesme deneyi yapılmıştır.

İş parçası malzemesi olarak kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilen ve makine imalat sanayisinde yaygın kullanım alanı bulunan AISI 1050 karbon çeliği kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi, % ağırlık (The chemical composition of test samples, % weight)

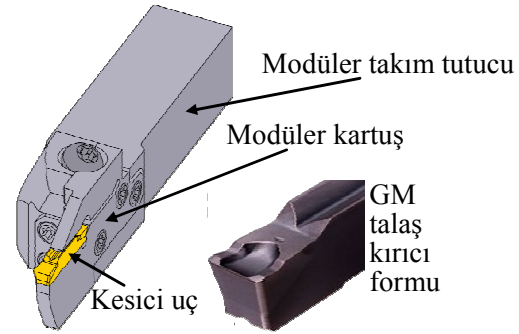
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
0.485	0.218	0.752	0.0256	0.056	0.109	0.0147	0.111	0.0021
Co	Cu	Pb	V	Sn	Nb	W	Fe	
0.0013	0.231	0.0021	0.0134	0.0166	0.0025	0.0053	97.9565	

Deneylerde; Mitsubishi firmasının ürettiği, kanal açma genişliği 2, 4, 6 mm olan sırasıyla GY2M0200D020N, GY2M0400G030N, GY2M0600J040N kesici uçlar ve bunlara uygun sırasıyla GYM25RA-D12, GYM25RA-G14, GYM25RA-J14 modüler kartuşlar ile kesici takımların tezgaha bağlanması için de GYHR2525M00-M25R modüler takım tutucu kullanılmıştır. GM talaş kırıcı formuna sahip PVD kaplı kesici uçlar, P10 kalitesinde olup Mitsubishi firmasının VP10RT ile kodlanmıştır. Şekil 2’de kesici uç, modüler kartuş ve modüler takım tutucunun montaj biçimi ve GM talaş kırıcı formu gösterilmiştir.

Kesme deneylerinde, kesici takım üreticisi firmanın (Mitsubishi) önerdiği kesme hızı ve ilerleme kesme parametreleri referans alınmıştır. Firma; VP10RT kalitesindeki kesici uçlar için 110~230 m/min kesme hızı aralığını ve uç genişliği 2, 4 ve 6 mm için sırasıyla 0.05~0.15 mm/rev; 0.10~0.25 mm/rev ve 0.12~0.35 mm/rev ilerleme aralığını önermektedir [12]. Kesici takımlar arasında karşılaştırmalı değerlendirmeler yapmak amacıyla, kesici takım üreticisi firmanın önerdiği kesme hızı ve ilerleme değerlerinin biraz dışına çıkmıştır. Bu sebeple kesme deneyleri 7 farklı kesme hızı ve 5 farklı ilerleme değeri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan kesme parametreleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Kanal açma deneyleri için JOHNFORD T35 CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Ø50×500 mm ölçülerinde hazırlanan tüm numuneler, deneylerin sağlıklı yapılması için öncelikle 1 mm kesme derinliğinde boydan boya dış yüzey tormalama işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra alın yüzeylerine punta delikleri açılmıştır. Kuru kesme şartlarında yapılan deneysel çalışmalarda, her bir deney için daha önceden kullanılmamış yeni kesici uçlar kullanılmıştır. Dinamometre ve takım tutucunun

boyutlarına bağlı olarak takım tutucunun dinamometreye bağlama boyu 55 mm olarak ayarlanmıştır. Deneyler sırasında kesme kuvvetlerinin ölçülmesi, kesici takımın iş parçasına yaklaşmasına 1 mm kalacak şekilde ve kanal açma işleminin tamamlanmasına kadar veri alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kesici takımlar için en büyük kanal açma derinliği (uç genişliği 2 mm için yarıçapta 12 mm ve uç genişliği 4 mm ve 6 mm için 14 mm) göz önüne alınarak; ardışık iki kanal arasındaki mesafe 2 mm olacak biçimde numunelere 5 mm derinliğinde (yarıçapta) kanallar açılmıştır. Uç genişliği 2 mm olan kesici takımlar için 30; uç genişliği 4 mm ve 6 mm olan kesici takımlar için de 35’şer deney olmak üzere toplam 100 kanal açma deneyi yapılmıştır. Özellikle uç genişliği 2 mm olan kesici takımlar için kesici takım üreticisi firmanın önerdiği 110~230 m/min aralığı dışında yer alan 250 m/min kesme hızında, tüm ilerleme değerleri için sürekli kesici uç kırılmaları oluşması sebebiyle; bu uçlar için 250 m/min kesme hızındaki deneyler (5 adet) yapılamamıştır.



Şekil 2. Kanal açma takımları (The grooving tools) [12]

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri (The test parameters)

Modüler takım tutucu	GYHR2525M00-M25R
Modüler kartuş / Kesici uç	GYM25RA-D12 / GY2M0200D020N-GM GYM25RA-G14 / GY2M0400G030N-GM GYM25RA-J14 / GY2M0600J040N-GM
Kesme hızı, V (m/min)	100, 125, 150, 175, 200, 225, 250
İlerleme, f (mm/rev)	0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200

Kanal açma sırasında oluşan kesme kuvvetleri Kistler 9257B dinamometre ve ekipmanları yardımıyla ölçülmüştür. Deneyler tamamlandıktan sonra, kesici takımın iş parçasına yaklaşması süresince ölçülen ve özellikle kesici takımla iş parçasının ilk temas anındaki kuvvet ölçüm sonuçlarında görülen ani yükselme etkileri dikkate alınarak; kanal açma işlemi süresince ölçülen kesme kuvvetlerinin kararlılık gösterdiği (başka bir deyişle kuvvet ölçüm sonuçlarındaki sapmaların az olduğu) bölge belirlenmiştir. Daha sonra bu kararlı bölge için kesme kuvveti verilerinin ortalaması alınmış ve incelemeler için ortalaması belirlenen bu kesme kuvveti değerleri referans alınmıştır.

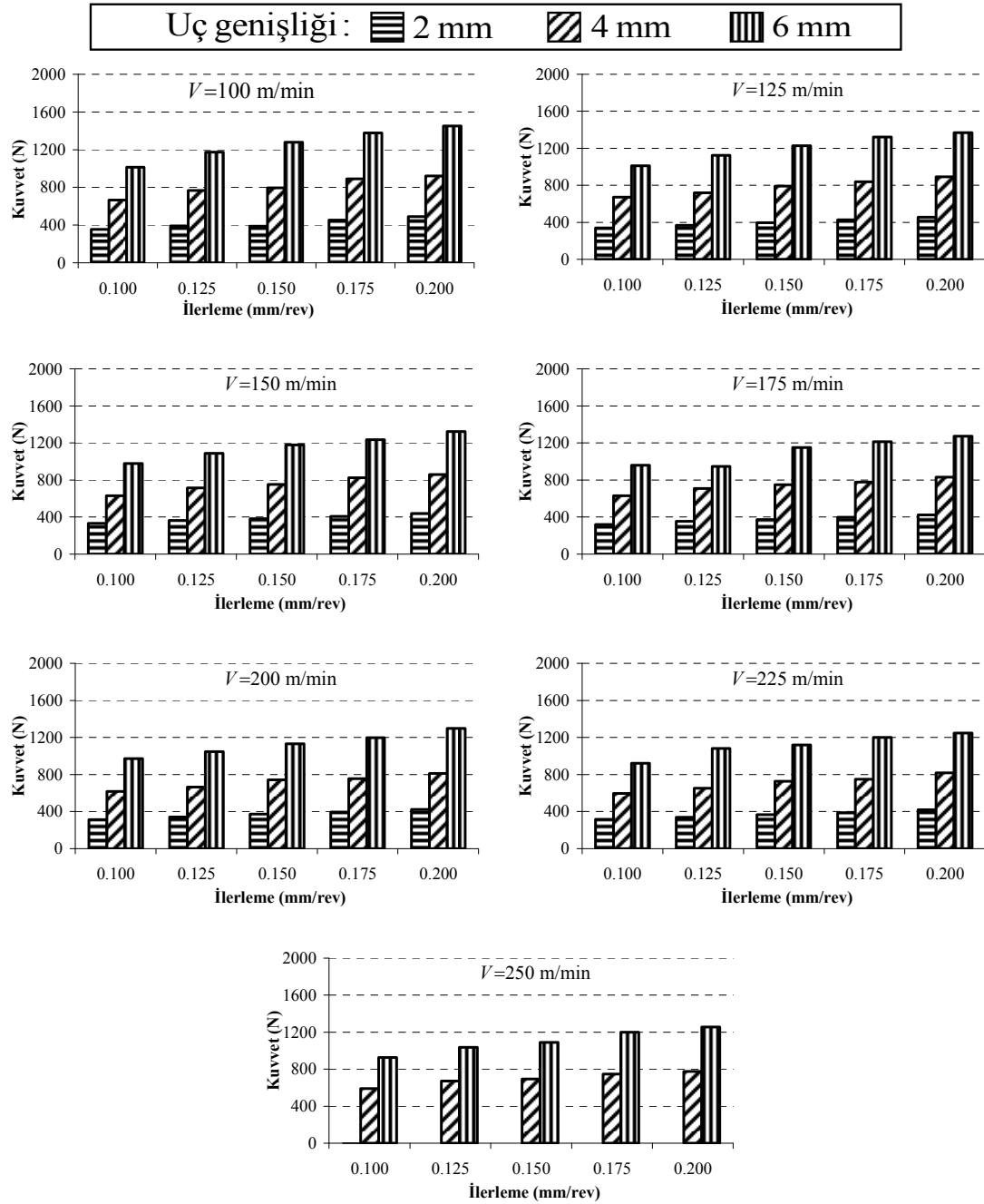
3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (TEST RESULTS AND DISCUSSION)

Uç genişliği 2, 4 ve 6 mm olan kesici takımlarla yapılan kanal açma deneyleri sırasında dinamometre yardımıyla ölçülen F_C esas kesme kuvveti (veya teğetsel kuvvet) ve F_p pasif (radyal) kuvvet sonuçları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir.

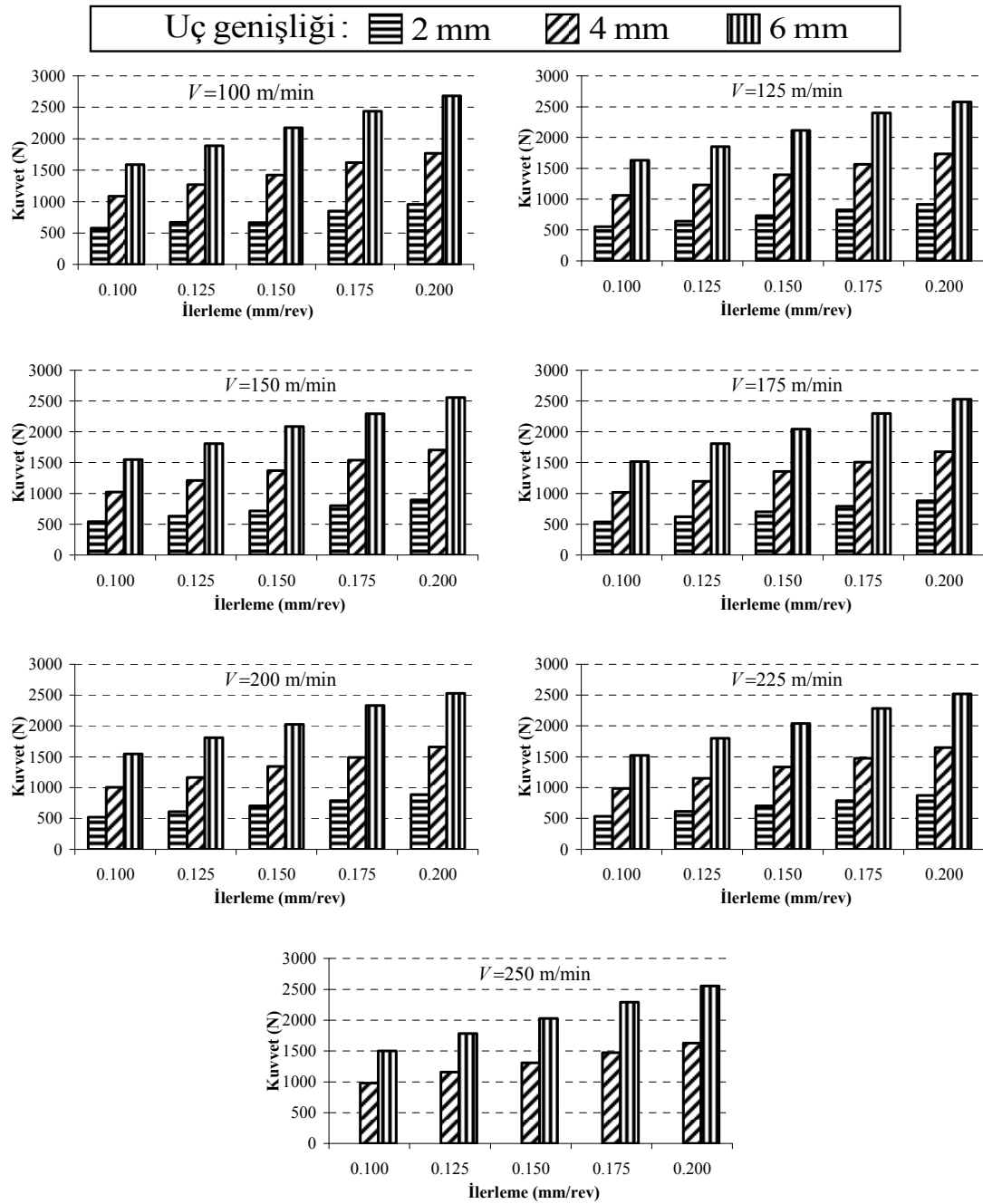
Şekil 1’de, kanal açma ve dilimleme işlemleri sırasında kesici takıma etkiyen kesme kuvvetleri gösterilmiş ve diğer tormalama operasyonlarıyla karşılaştırıldığında bu işlemlere özel bazı önemli tespitlerde bulunulmuştur: Dilimleme işleminin aksine, kanal açma işleminin kesme kenarı düz (kesme kenarı iş parçasının boyuna eksenine paralel) olan kesici takımla yapılmasından dolayı iş parçasının boyuna eksenine paralel doğrultudaki F_a aksenal kuvveti; F_C esas kesme kuvveti

ve F_p pasif kuvvetin büyüklüğüne göre ihmal edilebilecek seviyededir. Kanal açma işleminde kesici

takım; daha ziyade F_C esas kesme kuvveti ve F_p pasif kuvvetin etkisi altındadır [2].



Şekil 3. Kesici takım genişliğine göre esas kesme kuvveti değişimleri (The primary cutting force variations according to insert width)



Şekil 4. Kesici takım genişliğine göre pasif kuvvet değişimleri (The passive force variations according to insert width)

Yapılan kanal açma deneyleri sırasında uç genişliği 2, 4 ve 6 mm olan kesici takımlar için F_C esas kesme kuvveti sırasıyla 310~490 N, 590~920 N, 920~1450 N ve F_p pasif kuvveti de sırasıyla 520~950 N, 980~1760 N, 1500~2690 N aralığında ölçülürken; F_a eksenel kuvveti ise gerçekten de ihmal edilebilecek kadar küçük değerlerde ölçülmüştür (sırasıyla 2~20 N, 4~25 N, 30~50 N). Başka bir deyişle genel itibariyle F_a kuvvetlerinin F_C ve F_p kuvvetlerinin yaklaşık %0.4~4'ü seviyelerinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla kesici takım genişliğine göre Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla sadece F_C ve F_p kuvvet değişimleri gösterilmiş; F_a eksenel kuvvetinin ihmal edilebilecek seviyede olması

sebebiyle, çalışmada bu kuvvetlerin gösterimine yer verilmemiştir.

İlerleme değerindeki değişimler açısından; genel olarak pasif ve esas kesme kuvvetlerinin ilerleme değerindeki artışa paralel olarak yükseldiği görülmüştür. Uzun ve arkadaşlarına [13] göre; ilerleme miktarındaki artış, kesme esnasında talaşın akmaya karşı mukavemeti artmakta ve kesici takım yüzeyine daha fazla talaşın yığılmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda takım-talaş temas boyunun arttığı ve talaşın takım yüzeyi ile daha uzun bir mesafede temas kurduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla takım-talaş temas bölgesinin ilerleme değerine göre değişmesi sebebiyle; ilerleme arttıkça

büyüyen takım-talaş temas yüzeyinin daha büyük kuvvetlere maruz kaldığı düşünülmektedir.

Ucun ve arkadaşlarının [13] belirttiği gibi takım-talaş temas bölgesinin kesme hızıyla değişmemesi ve kesme hızının artmasıyla birlikte takım-talaş arasındaki sürtünme katsayısının azalması sebebiyle; ilerleme değeri etkisinin aksine, genel olarak kesme hızındaki artışla birlikte pasif ve esas kesme kuvvetlerinin çok azda olsa düşme eğiliminde olduğu gözlenmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4).

Kesici takımın radyal doğrultudaki ilerleme hareketleri sebebiyle pasif kuvvetlerin esas kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. En yüksek pasif ve esas kesme kuvvetleri, tüm kesici takım genişlikleri için 100 m/min ve 0.200 mm/rev kesme şartlarında ölçülmüştür. Uç genişliği 2, 4 ve 6 mm olan kesici takımlar için en yüksek pasif ve esas kesme kuvvetleri sırasıyla 955 N, 1765 N, 2685 N ve 489 N, 922 N, 1252 N olarak gerçekleşmiştir.

Uç genişliği 2 mm'den 4 mm ve 6 mm'ye arttıkça, boyutsal olarak büyüyen takım-talaş temas bölgesinin daha büyük pasif ve esas kesme kuvvetlerine maruz kaldığı görülmüştür (Şekil 3 ve Şekil 4). Ancak pasif kuvvet ve esas kesme kuvvetindeki uç genişliğine bağlı bu artışın, tam olarak uç boyutuyla doğru orantılı bir biçimde gerçekleştiği söylenemez. Uç genişliğine bağlı olarak, talaş kırıcı geometrisindeki farklılıklar sebebiyle; pasif ve esas kesme kuvvetlerinde uç genişliği 2 mm'ye göre 4 mm ve 6 mm uç genişlikleri için sırasıyla ortalama 1.9-1.96 ve 2.88-3.02 kat değişimlerin olduğu gözlenmiştir.

En düşük pasif ve esas kesme kuvvetleri ise 0.100 mm/rev ilerlemede 2 mm uç genişliği için 200 m/min'de, 4 mm ve 6 mm uç genişlikleri için de 250 m/min kesme hızında ölçülmüştür. Uç genişliği 2, 4 ve 6 mm olan kesici takımlar için en düşük pasif kuvvetler sırasıyla 524 N, 980 N, 1504 N ve en düşük esas kesme kuvvetleri ise sırasıyla 311 N, 590 N, 926 olarak ölçülmüştür.

Pasif kuvvet ve esas kesme kuvveti için en düşük değerlerin, kesici takım üreticisi firmanın özellikle uç genişliği 4 ve 6 mm için önerdiği en düşük ilerleme ve en yüksek kesme hızına yakın kesme şartlarında gerçekleştiği söylenebilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Kanal açma kesici takımının performansını iyileştirmek amacıyla; farklı genişlik ve talaş kırıcı geometrilerine sahip değiştirilebilir kesici uçlarda oluşan kesme kuvvetleri, kesme parametrelerindeki değişime dayalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kanal açma işleminin kesme kenarı düz (kesme kenarı iş parçasının boyuna eksenine paralel) olan kesici takımın radyal doğrultudaki hareketiyle yapılması sebebiyle; iş parçasının boyuna eksenine paralel doğrultudaki F_a aksenal kuvveti diğer

kesme kuvvetlerine göre ihmal edilebilecek seviyededir.

- Klasik silindirik tornalamadan farklı olarak, pasif kuvvetler esas kesme kuvvetlerinden daha büyüktür.
- Kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkisi açısından; ilerleme değeri, kuvvetlerin büyüklüğü bakımından kesme hızına göre daha belirleyicidir.
- Kanal açma esnasında talaşın akmaya karşı artan mukavemeti ve kesici takım yüzeyinde daha fazla talaşın yığılması sonucunda takım-talaş temas boyunun artarak talaşın takım yüzeyi ile daha uzun bir mesafede temas kurmasına sebep olan ilerleme değerindeki artışlar pasif ve esas kesme kuvvetlerini belirgin bir biçimde yükseltmektedir.
- Kesme hızının artmasıyla birlikte takım-talaş arasındaki sürtünme katsayısının azalması sonucunda; ilerleme değeri etkisinin aksine, kesme hızındaki artışla birlikte pasif ve esas kesme kuvvetleri azalmaktadır.
- Uç genişliğinin takım-talaş temas bölgesi üzerinde doğrudan etkili olmasından dolayı artan uç genişliği/kalınlığı, kesici takımın daha büyük kesme kuvvetlerine maruz kalmasına yol açar. Ancak kesme kuvvetlerindeki uç genişliğine bağlı bu artış, tam olarak uç boyutuyla doğru orantılı bir biçimde gerçekleşmez.
- Pasif ve esas kesme kuvvetleri için en düşük değerler, kesici takım üreticisi firmanın önerdiği en düşük ilerleme ve en yüksek kesme hızına yakın kesme parametrelerinde gerçekleşmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazarlar olarak bu çalışmanın gerçekleşmesinde finansman desteği sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje Kodu: 07/2012-36) teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Özyılmaz, A., "Piston kanallarının işlenmesinde yüzey kalitesinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 16-20, 42-43 2011.
2. Baykasoğlu, A., "Computer aided optimisation of cutting conditions in multicut turning operations", MSc. Thesis, *Gaziantep University Graduate School of Natural and Applied Sciences*, 70-71, 1995.
3. Chern, G.L., "Development of a new and simple quick-stop device for the study on chip formation", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol 45, No. 7-8, 789-794, 2005.
4. Obikawa, T., Kamata, Y. and Shinozuka, J., "High-speed grooving with applying MQL", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol 46, No.14, 1854-1861, 2006.
5. De Chiffre, L., Andreasen, J.L., Lagerberg, S. and Thesken, I. B., "Performance testing of cryogenic CO₂ as cutting fluid in parting/grooving and

- threading austenitic stainless steel”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol 56, No.1, 101-104, 2007.
6. Kafkas, F., “*Vidaların talaşlı imalatında imalat parametrelerinin vida dış dibindeki kalıntı gerilmeler üzerine etkilerinin deneysel olarak araştırılması*”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 104-122, 2007.
 7. Yanar, N., “*Hidrolik silindir imalatında yüzey pürüzlülüğüne etkili parametrelerinin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 45-48, 2008.
 8. Daghini, L., Archenti, A. and Nicolescu, C.M., “*Design and dynamic characterization of composite material dampers for parting-off tools*”, *Journal of Machine Engineering*, Vol 10, No. 2, 57-70, 2010.
 9. Ding, X. and Rahman M., “*A study of the performance of cutting polycrystalline Al 6061 T6 with single crystalline diamond micro-tools*”, *Precision Engineering*, Vol 36, No.4, 593-603, 2012.
 10. Machai, C., Iqbal, A., Biermann, D, Upmeier, T. and Schumann, S., “*On the effects of cutting speed and cooling methodologies in grooving operation of various tempers of β -titanium alloy*”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 213, No. 7, 1027-1037, 2013.
 11. Cakir, M.C. and Cavdar K., “*Development of a knowledge-based expert system for solving metal cutting problems*”, *Materials & Design*, Vol 27, No. 10, 1027-1034, 2006.
 12. Mitsubishi Carbide General Catalogue 2012-2013, “*Grooving tools*”, *Mitsubishi Carbide*, F04-F037, 2013.
 13. Ucun, İ., Aslantaş, K. ve Karabulut, A., “*Ortogonal kesme işleminde takım-talaş temas uzunluğundaki değişimin araştırılması*”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, No. 3, 477-484, 2009.