

**CAMELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMENİN
DELİNMESİ ESNASINDA OLUŞAN YÜZEY HASARININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Ergün EKİCİ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ocak 2009

Ergün EKİCİ tarafından hazırlanan "CAMELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMENİN DELİNMESİ ESNASINDA OLUŞAN YÜZEY HASARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Ünvanı, Adı ve Soyadı

Yrd. Doç.Dr. Birhan IŞIK

Tez Danışmanı, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Talaşlı Üretim Anabilim Dalında. Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19 / 01 / 2009

Başkan: Doç. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç.Dr. Birhan IŞIK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç.Dr. İsmail KARACAN (KBÜ)

Tarih/...../2009

Bu tez ile KBÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ergün EKİCİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CAMELYAF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT MALZEMENİN DELİNMESİ ESNASINDA OLUŞAN YÜZEY HASARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ergün EKİCİ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK

Ocak 2009, 80 sayfa

Uzay ve otomotiv sanayinde kompozit parçaların montajını gerçekleştirebilmek için endüstride delme işlemi çok yaygın ve önemli bir işlemdir. Buna rağmen kompozit malzemelerin delinmesinde kesme parametreleri ve malzemenin sahip olduğu karakteristikler sebebi ile hasar faktörü ile ilgili birçok sorunla karşılaşmaktadır. Bu problemleri ortadan kaldırmak için el yatırması yöntemi ile üretilmiş camelyaf takviyeli polimer kompozit malzeme üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak farklı kesme hızları (50, 70 ve 90 m/dak), farklı ilerleme (0,06, 0,12 ve 0,18 mm/dev), farklı uç açıları (60°, 90°, 120°), ve farklı ağız sayıları (2, 3 ve 4) seçildi. Kesici takımlar uç açılarından dolayı özel olarak bilindi. Delme işlemi bir plan doğrultusunda gerçekleştirildi. Delik giriş ve çıkış bölgesinde hasara etki eden kesme parametreleri ve takım geometrisi incelendi. Deneysel sonuçlarında kesme hızının artışıyla hasar faktörünün giriş ve çıkış bölgelerinde

ÖZET (devam ediyor)

azaldığı açıkça görülmüştür. Buna rağmen ilerlemenin artışı ile hasar faktörü giriş bölgesinde azalmasının aksine çıkış bölgesinde artmıştır. Ağız sayısının artışı giriş bölgesinde hasar faktörünü arttırmış, çıkış bölgesinde azaltmıştır. Takım uç açısının artışı delik giriş ve çıkış bölgelerinde oluşan hasar faktörünü arttırmıştır.

Anahtar Sözcükler : İşlenebilirlik, camelyaf takviyeli polimer kompozit, yüzey hasarı.

Bilim Kodu : 626.12.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DAMAGE FACTOR ON DRILLING OF GLASS FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Ergün EKİCİ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor:

Asst. Prof. Dr. Birhan IŞIK

January 2009, 80 pages

Drilling composite materials is a very common process used in manufacturing industry to perform the assembly of aerospace and automotive composite structures. However drilling composite materials present a number of problems such as damage factor associated with the characteristics of the material and cutting parameters. In order to reduce these problems a study for glass fiber reinforced plastic composite (GFRP) materials manufactured by hand - lay up process were used to accomplish the experimental study. For cutting parameters different cutting speeds (50, 70 and 90 m/min), different feed rate (0,06 0,12 and 0,18 mm/rpm), different tool point angle (60°, 90° and 120°), and different teeth number were chosen. The cutting tools were sharpened optionally because of used special angles. Drilling was established according to plan. Damage factor on the edge of hole entrance and hole exit which

ABSTRACT (continued)

are influenced by cutting parameters and tool geometry were investigated. It is clearly seen that increasing of cutting speed decrease damage factor on the hole entrance and exit edge. However increasing of feed decrease damage factor on the hole entrance edge on the contrary increasing of feed increasing damage factor on the hole exit edge. Increasing of tool teeth number increasing damage factor on the hole entrance edge on the contrary increasing of tool teeth number decrease damage factor on the hole exit edge. Increasing of tool point angles decreases damage factor on the hole entrance edge and hole exit edge.

Key Words : Machinability, glass fiber reinforced plastic, damage factor, drilling,

Science Code : 626.12.01

TEŞEKKÜR

Yaptığım alıőmaların her safhasında yardımlarını esirgemeyen katkılarıyla beni sonuna kadar destekleyen ve yönlendiren değerli danıőman hocam Yrd. Do.Dr. Birhan IŞIK'a ve bütün tez çalıőmalarımda laboratuvar imkânlarını sonuna kadar açan, beni yönlendiren, desteğini hiç esirgemeyen, bilgilerinden ve tecrübelerinden devamlı yararlandığım saygıdeğer hocam Arő. Gör. Mustafa GÜNAY'a teşekkür ederim. Ayrıca yine çalıőmalarımda yardımlarından dolayı yüksek lisans öğrencisi arkadaşım Ömer ERKAN'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve maddi manevi desteklerini hep yanımda gördüğüm anneme, babama ve kardeőlerime teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	iix
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZTLERİN DELİNMESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	2
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	16
3.1. MALZEME VE EKİPMANLAR	16
3.1.1. Malzemenin Teknik Özellikleri	16
3.1.2. Kesici Takımlar	18
3.1.3. CNC Freze Tezgahı.....	19
3.2. KALİBRASYON ÇALIŞMALARI.....	20
3.2.1. Doğrusallık Kalibrasyonu	20
3.2.2. Salgı Kalibrasyonu	21
3.2.2.1. Takım Tutucunun Salgı Kalibrasyonu	21
3.2.2.2. Kesici Takımın Salgı Kalibrasyonu	22
3.2.3. İş Mili Devir Sayısı Kalibrasyonu	23
3.3. DENEYİN UYGULANIŞI	25
BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR	30

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.1. Delik Çıkışı İçin Hasar Faktörü – İlerleme Kıyaslama Grafikleri	31
4.2. Delik Çıkışı İçin Hasar Faktörü – Ağız Sayısı Kıyaslama Grafikleri	35
4.3. Delik Çıkışı İçin Hasar Faktörü – Kesme Hızı Kıyaslama Grafikleri	39
4.4. Delik Çıkışı İçin Hasar Faktörü – Uç Açısı Kıyaslama Grafikleri	43
4.5. Delik Girişi İçin Hasar Faktörü – İlerleme Kıyaslama Grafikleri.....	47
4.6. Delik Girişi İçin Hasar Faktörü – Kesme Hızı Kıyaslama Grafikleri.....	51
4.7. Delik Girişi İçin Hasar Faktörü – Ağız Sayısı Kıyaslama Grafikleri	55
4.8. Delik Girişi İçin Hasar Faktörü – Uç Açısı Kıyaslama Grafikleri.....	59
BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA.....	63
5.1. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	63
5.2. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Azami delik hasar çapının ölçülmesi	6
2.2. Hasar faktörünün hesaplanması	8
2.3. Matkap uçlarının 1, 30 ve 50 numaralı deliklerdeki görüntüleri	11
2.4. Kompozit katmanlarda delme işleminden sonra yüzeyde oluşan hasar a. Giriş bölgesi için, b. Çıkış bölgesi için.....	13
3.1. 2 Ağızlı SBL Serisi (DIN 338) matkap a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$...	18
3.2. 3 Ağızlı SMS Serisi (DIN 6539) matkap a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$.	18
3.3. 4 Ağızlı SFS Serisi (DIN 6527) matkap a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$.	19
3.4. Tezgah iş mili devir kalibrasyonu a. Foto, b. Şema.....	20
3.5. Takım tutucusunda oluşan salgı kalibrasyonu a. Foto, b. Şema	21
3.6. Kesici Takımda oluşan salgı miktarının belirlenmesi. a. Foto, b. Şema.....	23
3.7. Deliklerin deney numuneleri üzerindeki dağılımı.....	25
3.8. Deney düzeneği.....	28
3.9. Hasar miktarının belirlenmesi	29
4.1. İki ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	31
4.2. Üç ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	32
4.3. Dört ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	33
4.4. 60° uç açılı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.....	35
4.5. 90° uç açılı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.....	36

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.6. 120° uç açılı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.....	37
4.7. İki ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	39
4.8. Üç ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	40
4.9. Dört ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	41
4.10. İki ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için	43
4.11. Üç ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için	44
4.12. Dört ağızlı takımda çıkış bölgesi hasar faktörü - uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için	45
4.13. İki ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	47
4.14. Üç ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	48
4.15. Dört ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	49
4.16. İki ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	51
4.17. Üç ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	52
4.18. Dört ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.19. 60° uç açılı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. f = 0,06 mm/dev için, b. f = 0,12 mm/dev için, c. f = 0,18 mm/dev için.....	55
4.20. 90° uç açılı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. f = 0,06 mm/dev için, b. f = 0,12 mm/dev için, c. f = 0,18 mm/dev için.....	56
4.21. 120° uç açılı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. f = 0,06 mm/dev için, b. f = 0,12 mm/dev için, c. f = 0,18 mm/dev için.....	57
4.22. İki ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - uç açısı (HF-Ψ) kıyaslama grafikleri a. f = 0,06 mm/dev için, b. f = 0,12 mm/dev için, c. f = 0,18 mm/dev için	59
4.23. Üç ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - uç açısı (HF-Ψ) kıyaslama grafikleri a. f = 0,06 mm/dev için, b. f = 0,12 mm/dev için, c. f = 0,18 mm/dev için	60
4.24. Dört ağızlı takımda giriş bölgesi hasar faktörü - uç açısı (HF-Ψ) kıyaslama grafikleri a. f = 0,06 mm/dev için, b. f = 0,12 mm/dev için, c. f = 0,18 mm/dev için	61
5.1. Kesici takımda oluşan yan yüzey yanak aşınması	63
5.2. Delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri.....	64
5.3. 2 Ağızlı 60° uç açılı takımda farklı ilerleme değerlerinde giriş bölgelerinde oluşan hasar a. 100 mm/dak, b. 400 mm/dak	64
5.4. Çıkış bölgesinde oluşan hasar yapısı.....	65
5.5. 2 Ağızlı 60° uç açılı takımda farklı ilerleme değerlerinde çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 100 mm/dak, b. 400 mm/dak	65
5.6. Giriş bölgesinde oluşan kuvvetler.....	66
5.7. 2 Ağızlı 60° uç açılı takımda farklı kesme hızı değerlerinde çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 50 m/dak, b. 90 m/dak.....	66
5.8. 4 Ağızlı 90° uç açılı takımda farklı kesme hızı değerlerinde çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 50 m/dak, b. 90 m/dak.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.9. Giriş bölgesinde oluşan kuvvetler.....	68
5.10. 2 Ağızlı takımında farklı uç açılarında giriş bölgelerinde oluşan hasar a.60°, b. 90° için.....	68
5.11. Uç açısının artması ile I_{AB} boyunun artışı.....	69
5.12. Çıkışta oluşan deformasyon bölgesi.....	69
5.13. 3 Ağızlı takımında farklı uç açılarında çıkış bölgelerinde oluşan hasar a.60°, b. 120° için.....	70
5.14. Ağız sayılarına göre kesme noktaları ve deformasyon bölgesi.....	70
5.15. 90° uç açılı takımlarda farklı ağız sayılarında giriş bölgelerinde oluşan hasar a. 2 ağızlı, b. 3ağızlı.....	71
5.16. Delme işlemi esnasında çıkış bölgesinde oluşan deformasyon bölgesi.....	71
5.17. 90° uç açılı takımlarda farklı ağız sayılarında çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 2 ağızlı, b. 3ağızlı.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.1.	CTP malzemenin mekanik özellikleri	16
3.2.	E camının mekanik özellikleri	17
3.3.	Polyester reçinenin kimyasal ve fiziksel özellikleri	17
3.4.	TMC 500V tezgahının teknik özellikleri	19
3.5.	Komparatörün teknik özellikleri	20
3.6.	Doğrusallık kalibrasyonu sonuçları	21
3.7.	Takım tutucuda ölçülen sapma miktarları	22
3.8.	Kesici takımında oluşan salgı kontrolü sonuçları	23
3.8.	Takometrenin teknik özellikleri	24
3.9.	Tezgâha girilen devir sayıları ile takometrede ölçülen devir sayıları	24
3.10.	Deneylerde kullanılan kesme parametreleri	26

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

D	:	delik çapı
D_m	:	azami hasar çapı
f	:	ilerleme
F_f, F_z	:	ilerleme kesme kuvveti
F_s	:	sürtünme kuvveti
F_r, F_x	:	radyal kesme kuvveti
F_t, F_y	:	teğetsel kuvvet
G	:	ağız sayısı
R	:	bileşke kuvvet
Ra	:	yüzey pürüzlülüğü
Vc	:	kesme hızı
x_1, x_2	:	hasar genişliği
Ψ	:	uç açısı
τ	:	kayma gerilmesi

KISALTMALAR

CTP	:	camelyaf takviyeli polimer kompozit
HF	:	hasar faktörü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek malzemede toplayarak veya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzemelerde bağlayıcı (matris) eleman ve takviye elemanlarından oluşur. polimer kompozit malzemelerde matris elemanı olarak değişik reçineler (polyester, vinlester, epoxy) kullanılmaktadır. İlave bir mukavemet değerine ihtiyaç duyulduğunda, plastikler genel olarak lif haline getirilmiş takviye malzemeleri yardımıyla istenilen mukavemet değerini karşılayacak şekilde takviye edilir. Her bir reçine performans özellikleri, işlenebilirlik ve maliyet faktörleri dikkate alınarak üretilmekte ve kompozitlerin problem çözme, verimliliği yükseltme yada yeni uygulama alanları bulunmasını arttırmaktadır. Kompozitlerin parça bütünlüğü, hafiflik, yüksek mekanik mukavemet, darbe dayanımı, korozyon direnci ve uzun kullanım ömrü gibi özellikleri bu malzemelerin çok geniş kullanım alanlarında tercih edilmesini sağlamaktadır. Camelyaf diğer metallerde bulunmayan elastik bir özelliğe sahiptir. Yük altında düzgün olarak kopma noktasına kadar uzayan, çekme yükünün kalkması sonucunda herhangi bir akma özelliği göstermeden başlangıç boyutuna döner ve bunun sonucunda büyük miktarlarda enerjiyi kayıpsız olarak depolama ve bırakma olanağı sağlar. Cam elya takviyeli polimer (CTP) kompozit'in mukavemetini etkileyen diğer bir etmen, cam elyafı takviyesinin yönüdür ve yönlendirme cam elyafının reçine ile kaplanabilirliğini de etkiler.

Camelyaf takviyeli polimer kompozit parçaların sahip oldukları yüksek elastikiyet modülü, korozyon direnci, ısı direnci gibi özellikleri dolayısı ile günümüzde uzay, havacılık, gemi, kimya ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit parçaların kullanılması esnasında görülen işleme yöntemi yaygın olarak montaj esnasında delinmesidir. Kompozit parçaların bir bütün olarak

üretimi ve montaj esnasında delme işlemi sırasında oluşan hasarlardan dolayı yüksek mali kayıplar meydana gelmektedir. Örneğin havacılık sanayisinde bu parçaların montaj esnasında yapılan delme işlemi sırasında oluşan hatalar %60'dır. Delme işlemi esnasında delik yüzeyinde oluşan yüksek gerilmelerin ve kompozit malzemenin sahip olduğu mekaniksel özelliklerin neden olduğu kuvvetler sebebi ile delik duvar yüzey giriş ve çıkış bölgelerinde hasar oluşumu meydana gelmektedir. Kesme parametrelerinin sebep olduğu hasarlar sonucunda kompozit malzemelerin mekaniksel özellikleri büyük oranda etkilenmektedir. Kompozit malzemelerin delinmesi teknolojik gelişmeler paralelinde CNC tezgahlarda geleneksel matkap tezgahlarına oranla daha hassas ve hasarsız yapılabilmekte buna rağmen istenilen kalitede delik yüzeyleri elde edilememektedir. Son yıllarda kompozit parçalarında oluşan hasarların azaltılması ve hasar oluşumuna neden olan faktörlerin belirlenmesi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kompozit parçaların delinmesi esnasında oluşan gerilim mekanizmalarının sebep olduğu hasarın azaltılmasında kesme parametrelerinin ve uygun geometride kesici takımların seçimi ile azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmalar göstermiştir ki kompozit parçaların delinmesi işlemi esnasında kullanılan kesme hızı, ilerleme ve takım geometrisinin delik giriş ve çıkış bölgelerinde oluşan hasar üzerinde önemli etkileri vardır. Bu çalışmada hasır oryantasyonlu CTP malzemenin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarlarını en aza indirecek kesme parametrelerinin ve uygun takım geometrisinin tespiti incelenmiştir.

BÖLÜM 2

POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN DELİNMESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Koenig et al. (1985), elyaf takviyeli plastik kompozitlerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada yüksek ilerleme oranında yapılan delme işlemlerinde delik çıkış kenarının çevresinde hasarı etkileyen çatlak oluşumu olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Miller (1987), camelyaf takviyeli polimer malzemelerin delinmesi işlemi esnasında, delik çevresinde oluşan hasarın en aza indirilmesi için bir çalışma yapmış ve optimum kesme parametrelerinin hesaplanması üzerine bir veri tabanı oluşturmuştur.

Fagliferri et al. (1990), camelyaf takviyeli epoksi katmanlarının delinmesi esnasında gerilme testleri meydana getirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda gerilim mukavemetinin delme işleminin neden olduğu hasara etkisi olmadığı, çekme mukavemetinin hasara ve çatlak oluşumuna neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Hocheng and Puw (1992), iki farklı kompozit malzemenin talaş oluşumu ve işlenebilirliği üzerine yaptıkları çalışmada talaşın şeklinden dolayı delik çevresinde oluşan deformasyonun delik yüzeyi kenarlarında çatlak oluşumunu büyük oranda etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Chambers and Bishop (1995), karbon epoksi malzemelerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada karbon kompozit yapının karakteristiklerine bağlı olarak helisel PCD matkap uç geometrisi en iyi performansı vermiştir. Kompozit malzemelerin delinmesi esnasında takım aşınması probleminin dolayı mekanik yapı parçalarının birleştirilmesi esnasında ihtiyaç duyulan yüzey kalitesinin çok zor elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Lin et al. (1996), yüksek kesme hızlarında camelyaf takviyeli hasır profilli kompozit malzemelerin delinmesi üzerine yapmış oldukları çalışmada kesme hızının arttırılması ile takım aşınmasında da artışa neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Owaga et al. (1997), camelyaf takviyeli plastik kompozit parçaların küçük çapta (1 mm) delinmesi esnasında delik iç yüzey duvarlarındaki yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi tanımlamaya çalışmışlardır. Araştırmalarında küçük çaptaki delik duvar yüzeyleri tarama elektron mikroskobu ile incelemiştirler. İlerleme oranının delik duvar yüzeylerinin pürüzlülüğüne etkisi kesme hızından daha fazla olduğu gözlemlenmiş, çalışmaları sonucunda da matkap ucu ana kesici kenarının delik duvar yüzeylerinin kalitesinde çok etkili bir parametre olduğunu belirlemiştirler.

Li and Tso (1999), çalışmalarında camelyaf takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi işleminde kesme parametreleri ve takım aşınması miktarları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacı ile bir model oluşturmuşlardır.

Piquet et al. (2000a), karbon ve epoksi takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinmesi esnasında matkap ucu takım geometrisinin delik kalitesine olan etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda bu malzemeler üzerinde iki oluklu geleneksel matkap ucu (twist-drill) ile en iyi sonucu almışlardır. İlerleme oranının azaltılması ile delik yüzey kalitesinin arttığı, fakat işleme zamanı ve takım aşınması miktarında artış meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır.

Piquet et al. (2000b), karbon epoksi katmanlarının iki farklı tip (helisel geometri ve özel geometri) matkap ucu ile delinen deliklerin giriş ve çıkış duvar kenarlarındaki hasar bölgelerini incelemiştirler. Özel geometri matkap ucu ile delik nihai yüzey kalitesi üzerinde daha iyi sonuç alındığını belirlemiştirler.

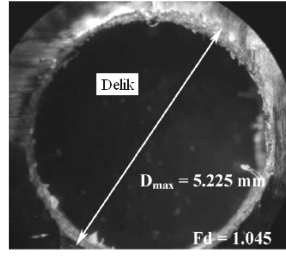
Enemuoh et al. (2001), karbon elyaf takviyeli epoksi malzemelerin delinmesi işleminde kesme parametrelerine ve kesici takım uç açısının değerleri bağlı olarak tabakalara ayırma (D_a), hasar genişliği (D_w), delik yüzey kalitesi (R_a) arasındaki ilişkiyi incelemiştirler. Kesme parametrelerinin seçiminde ilerlemeyi 63,5 - 88,9 -

114,3 - 139,7 - 165,1 mm/dev; devir sayısını 1250, 1750, 2250, 3250 dev/dak ve kesici takım uç açısını 75°, 95°, 118°, 140°, 160° olarak belirlemişlerdir. Taguchi tekniği uygulamaları ile yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda elyaf takviyeli polimer malzemelerin delinmesi esnasında delik bölgesinde oluşan hasarın kesme parametrelerin yardımı ile azaltılabileceği, karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit parçaların delinmesi işleminde ise yüksek hız ve düşük ilerleme değerleri ile düşük hasar miktarları ve iyi yüzey kalitesine sahip deliklerin elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Capello et al. (2001), değişik matkap uç geometrilerine sahip kesici takımlar ve farklı kesme parametreleri ile delinen eş yönlü camelyaf takviyeli plastik kompozit malzeme katmanlarının delinmesi işlemi esnasında artan gerilim mukavemetinin delik bölgesinde oluşan hasara etkilerini araştırmışlardır.

Hirogaki et al. (2001), küçük çaplı (1 mm) deliklerin delinmesi esnasında elyaf açalarına bağlı olarak oluşan delik hasarlarının yüzey pürüzlüğü ve hasar genişliği arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Araştırmaları sonucunda delik hasar bölgesinin oluşumunda elyaf yönlerinin arasındaki ters açılar önemli bir faktör olduğunu sonucuna varmışlardır.

Davim and Reis (2003a), camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada ilerleme kuvvetinin tabakalara ayırma kuvveti üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalarında 4 mm kalınlığında camelyaf takviyeli kompozit malzemesi ve 5 mm çapındaki üç farklı uç geometrisine sahip matkap ucu kullanmışlardır. Çalışma esnasında kullanılan kesme hızını 16, 24, 32 m/dak; ilerlemeyi 0,04 - 0,08 - 0,15 mm/dev; devir sayısını 1000, 1500, 2000 dev/dak olarak belirlemişlerdir. Tabakalara ayırma faktörünün hesaplanması Şekil 2.1'de görüldüğü gibi azami (D_{max}) hasar çapının delik çapına (D) oranı şeklinde yapılmıştır. Camelyaf takviyeli kompozit katmanların delinmesi esnasında tabakalara ayırma faktörüne bağlı olarak helisel oluklu K10 matkap ucu en az hasar oluşturmuş ve en iyi performansı vermiştir.



Şekil 2.1. Azami delik hasar çapının ölçülmesi.

Yüksek ilerleme değerleri için tabakalara ayırma faktörünün artması sonucunda hasar bölgesinin arttığı sonucuna varmışlardır. Test sonuçları göstermiştir ki tabakalara ayırma faktörü (F_d) maksimum değeri %2 ve minimum olarak % 0,4'dür. HSS matkap ucunda aşınma miktarı matkap ucu radyüs köşesinde ve 0,012 mm olarak ölçülmüştür.

Davim and Reis (2003b), camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme), güç (P_c), özgül kesme kuvvetinin (K_s) tabakalara ayırma faktörü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İki farklı uç geometrisine sahip matkap ucu ile kesme hızını 30, 40, 50 m/dak; ilerlemeyi 0,05 - 0,1 - 0,2 mm/dev, devir sayısını 1910, 2547, 3128 dev/dak olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak kesme parametrelerindeki ilerlemenin oranının güç üzerinde (%72,9 ve %53,8) oranında çok önemli statik ve fiziki etkileri olduğu, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak her iki kesme parametresi için güç (P_c)'ün arttığı, özgül kesme kuvveti ise azaldığı gözlenmiştir. Her iki matkap ucu için delik çıkış bölgesindeki tabakalara ayırma faktörünün (F_d) giriş bölgesinden daha az olduğu görülmüştür. Kesme parametrelerinden ilerlemenin tabakalara ayırma faktörünün camelyaf takviyeli kompozit katmanlarına giriş esnasında (%87,55 ve %67,45) oranında, kesme hızı için ise her iki matkap ucu için tabakalara ayırma faktörünün kompozit katmanlarından çıkış esnasında (%48,34 ve %57,04) oranında çok önemli statik ve fiziki etkisi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Khashaba (2004), camelyaf takviyeli termoset kompozitlerin delinmesinde ilerlemenin tabakalara ayırma faktörü üzerine etkilerini araştırmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak kesici takımın delme işlemi esnasında delik giriş ve çıkış noktalarında oluşan hasar faktörünü incelemiştir. Polyester içerikli

kompozitlerin delinmesi esnasında giriş ve çıkış bölgelerinde oluşan tabakalara ayırma faktörünün kesme hızına bağlı olarak zıtlık gösterdiği sonucuna ulaşmıştır. Hasır oryantasyonlu polimer kompozitlerde ise giriş ve çıkış bölgelerinde oluşan tabakalara ayrılma kesme hızının artması ile azalmıştır. İlerlemenin artması ile tabakalara ayırma oranı artmış, çıkış esnasında oluşan tabakalara ayırma oranı giriş esnasında oluşandan daha ciddi etkilere sebep olduğunu belirlemiştir.

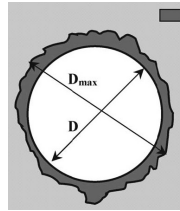
Capello (2004), ince kompozit katmanların delinmesinde tabakalara ayırma hasarının iş parçası üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Kompozit katmanların delinmesi esnasında destekli ve desteksiz olmak üzere iki farklı deney düzeneği oluşturmuş, ilerleme, iş parçasının genişliği ve matkap uç geometrisini dikkate alarak tabakalara ayırma mekanizmalarını incelemiştir. Destekli ve desteksiz olarak kompozit katmanların delinmesi işleminde desteğin temel etkisi mekaniksel gerilimleri sağlamaktır. Tabakalara ayırma faktörünün azalmasında desteğin etkisi genel olarak düşük katmanlarda oluşan mekaniksel gerilimlerdir. İş parçasında oluşan dinamik etkilerin tabakalara ayırma faktörünün azalmasında önemli bir etken olduğunu belirlemişlerdir.

El-Sonbaty et al. (2004), el yatırması yöntemi ile üretilen camelyaf takviyeli epoksi kompozit parçaların delinmesi esnasında kesme hızı, ilerleme, delik çapı ve elyaf katmanlarının dağılım oranının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında ilerleme oranı 0,05 - 0,1 ve 0,23 mm/dev olarak kullanılmış epoksi reçinenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme hızı ve ilerleme miktarının önemsiz etkisi olduğu görülmüştür. Diğer yandan camelyaf takviyeli epoksi kompozit parçaları için kesme hızı ve elyaf katmanları oranının artması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği görülmüştür. Düşük kesme hızı ve düşük ilerleme ile delinen delikler yüksek ilerleme ile delinen deliklere göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü sonucu vermiştir. Numunelerdeki yüksek kesme hızı davranışlarının aksine delik çapı ve ilerleme miktarlarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemsiz etkileri olduğu görülmüştür.

Ramkumar et al. (2004a), üç farklı tip matkap ucu ile cam epoksi katmanların delinmesi esnasında oluşan titreşimlerin iş parçası üzerindeki etkilerini

araştırmışlardır. Çalışmaları esnasında camelyaf takviyeli plastik katmanların düşük sıklıktaki titreşimler üzerinde delinmesi ile en iyi sonuca ulaşmışlardır. Küçük genişlikteki iş parçasının düşük sıklıktaki titreşim değerlerinde delik kalitesinin düzeldiği ve tabakalara ayırma oranının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Deneyde kullanılan üç farklı tip matkap ucu arasında en iyi delme performansı üç oluklu karpit matkap ucu ile sağlanmıştır.

Davim and Reis (2004a), camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada kesme kuvvetinin ilerleme ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışma esnasında 22 mm kalınlığında camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemesi ve 5 mm çapındaki iki farklı uç geometrisine sahip matkap ucu ile kesme hızını 55, 71, 86 m/dak; ilerlemeyi 0,05 - 0,1 - 0,2 mm/dev olarak belirlemişlerdir. Verilerin kaydedilmesi esnasında itme kuvveti (F_z), özgül kesme kuvveti (K_s), hasar faktörü (HF) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) olarak alınmıştır. Deneysel analiz değişim sonuçlarının belirlenmesi ve sonuçlarının ortalamalarının hesaplanması için ANOVA analiz programı kullanılmıştır. Hasar bölgesi azami çapı (D_{max}), delik çapı (D) ve hasar faktörünün (HF) hesaplanması Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



D_{max} : Oluşan hasarın azami çapı

D : Delik çapı

HF : Hasar faktörü

HF : D_{max} / D

Şekil 2.2. Hasar faktörünün hesaplanması.

Deneysel çalışma sonucunda her iki kesme parametresi (yüksek hız ve yüksek ilerleme) için camelyaf takviyeli plastik kompozit katmanlarda oluşan hasar oranı gittikçe arttığı gözlemlenmiştir. Kesme parametrelerinden kesme hızının camelyaf takviyeli plastik kompozit katmanlarında oluşan hasar üzerinde her iki matkap ucu için (%61,4 ve %63,5) yüksek fiziki ve statik etkileri vardır. Kesme parametrelerinden kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) bağlı olarak her iki matkap ucu için ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değeri 4-8 μm 'dir. Kesme hızının camelyaf

takviyeli plastik kompozit katmanlarında oluşan yüzey pürüzlülüğüne (R_a) etkisi her iki matkap ucu için (%52 ve %72,2) fiziki ve statik etkileri olduğu, ilerleme ve kesme hızının azalması ile yüzey pürüzlülüğünün (R_a) arttığına ulaşılmıştır.

Ramkumar et al. (2004b), camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delme işlemi esnasında oluşan titreşimlerin yardımı ile oluşan hasar miktarının azaltılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında 4 katmanlı tek yönlü camelyaf takviyeli kompozit malzemenin 4 farklı matkap ucu ve farklı delme yöntemi ile delinmiştir. Delme işleminin neden olduğu hasarın azaltılması incelenmiş ve elde edilen sonuçlar geleneksel delme işlemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Tsao and Hocheng (2004), değişik matkap ucu ile karbon elyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi ile tabakalara ayırma arasında Taguchi analiz metodunu kullanarak bir ilişki kurmaya çalışmışlardır. Çok değişkenli analiz yöntemi ile karbon elyaf takviyeli plastik kompozit katmanların delinmesinde üç farklı tip matkap ucu değişik kesme parametreleri, delik çapı kullanarak tabakalara ayırma faktörü ve kesme parametreleri arasında bir ilişki kurmuşlardır. Deneysel çalışma sonucunda ilerleme oranı ve matkap çapının toplam performans üzerinde önemli etkileri olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

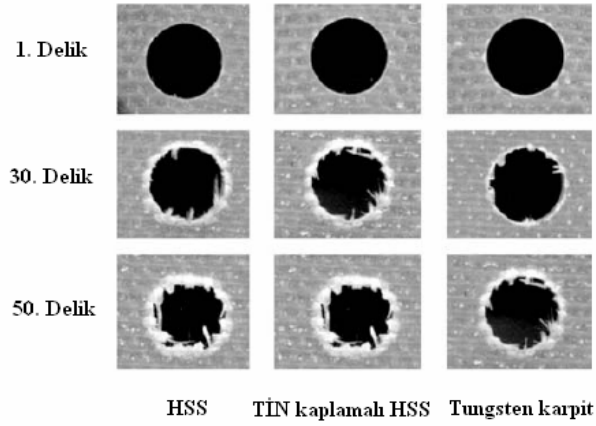
Davim et al. (2004b), el yatırması yöntemi ile üretilen (Viapal VUP 9731 ve ATLAC 382-05) iki farklı karışımın delme işlemi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada sabit kesme parametreleri ile el yatırması yöntemi ile üretilen iki farklı elyaf takviyeli plastik malzemesi ve K10 matkap ucu kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin artması ile tabakalara ayırma faktörü (F_d) de artmıştır. K10 matkap ucu Viapal VUP 9731 takviye elemanlı CTP malzemesinde ATLAC 382-05 yapıya oranla daha düşük tabakalara ayırma faktörü (F_d) gözlenmiştir. Kesme parametrelerinden ilerleme oranının tabakalara ayırma faktörü (F_d) üzerinde yüksek fiziki ve statik etkileri olduğu belirlenmiştir. Bu etki sırası ile her iki yapı elemanlı kompozit için %63,5 ve %72,8'dir. İlerleme oranı ve kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü (R_a) artmıştır. Kesme parametrelerinde kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde yüksek fiziki ve statik etkisi olduğunu belirlemişlerdir.

Tsao and Hocheng (2006), kompozit malzemeler üzerinde delme işleminin neden olduğu tabakalara ayırma faktörü üzerinde özel matkap uçları ile etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada 5 farklı tip matkap ucu ile değişik ilerleme oranlarında tabakalara ayırma faktörü üzerinde etkileri incelemişlerdir.

Singh and Bhatnagar (2006a), eş yönlü camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemenin eş yönlü gerilimlere karşı koyabileceği üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında eş yönlü kompozit katmanlarda artan gerilim mukavemetinin delme işleminin neden olduğu hasara etkileri ve delme parametrelerine bağlı olarak artan gerilim üzerindeki matematiksel ilişkiyi incelemişlerdir. Kompozit katmalarda delme işleminin yol açtığı hasar üzerine bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir.

Singh and Bhatnagar (2006b), eş yönlü camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin kesme parametreleri ile delme işlemi esnasında oluşan hasar arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışmışlardır. Deneysel çalışmaların 4 farklı uç geometrisine sahip matkap ucu ile 3 farklı değerde ilerleme ve kesme hızı değerlerine bağlı olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında dijital resim metodu kullanılmış ve kesici takım uç geometrisinin tabakalara ayırma faktörü üzerinde ana bir faktör olduğu belirlenmiştir. Kesme hızı ve ilerleme oranı delme işleminin neden olduğu hasar üzerinde önemli etkileri vardır. Delme işlemi esnasında oluşan hasar miktarı en çok yüksek kesme hızları sonucunda gözlemlenmiştir.

Arul et al. (2006), yüksek hız çeliği (HSS), TİN kaplamalı HSS ve tungsten karpit matkap uçları ile camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi üzerine yaptıkları çalışmada tabakalara ayırma faktörü ve takım aşınması arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.



Şekil 2.3. Matkap uçlarının 1, 30 ve 50 numaralı deliklerdeki görüntüleri.

Deneysel çalışma sonuçları kesme parametrelerinin ve kesici takım malzemesinin uygun seçiminin delik toleransı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Üç farklı yapıdaki matkap ucu ve optimum kesme parametreleri için (kesme hızı 18,85 m/dak ve ilerleme 0,02 mm/dev) ile camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemenin delinmesi işlemi sonucunda delik sayısına bağlı olarak takım aşınması incelenmiştir.

Deneysel çalışmada delme işlemi sırasında şekil 2.3’de görüldüğü gibi (0-20) numaralı delikler arasında takım aşınması miktarları her üç takım için benzer bir şekilde artmış, (20-30) numaralı deliklerden sonra HSS ve TiN kaplamalı HSS matkap uçlarında benzer bir oranda, tungsten karbit matkap ucunda ise (40-50) numaralı deliklerden sonra hızlı bir şekilde yükselişe geçmiştir. Buda göstermektedir ki takım aşınma miktarlarına göre tungsten kesici takım kaplamalı ve kaplamasız HSS kesici takıma göre daha iyi performans sağlamıştır.

Velayudham and Krishnamurt (2007), polimer kompozitlerin delinmesinde takım uç geometrisi ve tabakalara ayırma faktörünün etkilerini araştırmışlardır. Camelyaf takviyeli plastik kompozitlerin delinmesi işleminde üç farklı uç geometrisine sahip matkap ucu kullanılmış ve kesme parametreleri için kesme hızı 52, 64, 80 m/dak; ilerleme 0,08 - 0,1 - 0,13 mm/dev olarak belirlenmiştir.

Khaskaba et al. (2007), camelyaf takviyeli kompozit katmanların delinmesi işlemi üzerine yaptıkları deneysel çalışmada kesme parametrelerinin (ilerleme ve kesme hızı) tabakalara ayırma faktörü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Delme işlemi

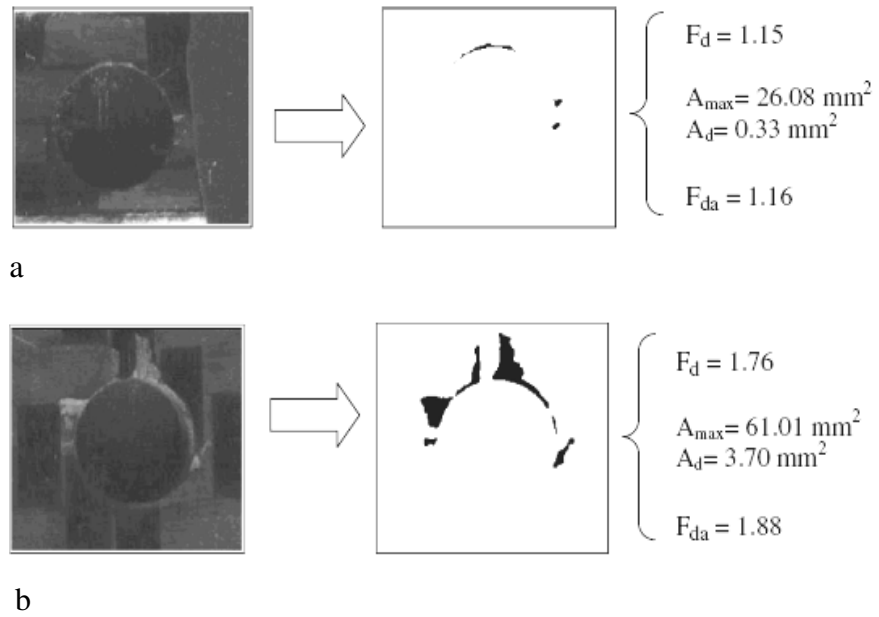
esnasında takım aşınması faktörünü göz önünde bulundurarak her bir delme işlemi için yeni bir HSS matkap ucu kullanmışlardır. Deneysel çalışmada ilerleme 0,03 - 0,08 - 0,15 - 0,23 ve 0,3 mm/dev ve kesme hızına bağlı olarak devir sayısı 455, 875 ve 1850 dev/dak olarak belirlenmiştir. Kesme parametrelerinin ve takım geometrisinin delik yüzey kalitesi (yüzey pürüzlülüğü ve ölçü hassasiyeti) üzerinde önemli etkileri olduğu ilerleme oranının artmasına bağlı olarak tabakalara ayırma oranında arttığı kesme hızının ise yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Tsao and Hocheng (2007), karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin geleneksel matkap ucu (twist-drill) ile delinmesi esnasında oluşan takım aşınmasının tabakalara ayırma üzerindeki nedenleri üzerine kapsamlı bir analiz ve deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Endüstriyel tecrübe göstermektedir ki körelmiş takımların tabakalara ayırma üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda endüstriyel tecrübe ile deneysel çalışmada aynı sonuçlar görülmüştür. Analitik ve deneysel çalışma takım aşınmasından dolayı delme işleminin neden olduğu hasara önemli etkileri olduğu belirlenmiştir.

Tsao (2007a), camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi esnasında Taguchi analiz yöntemini yardımıyla iki farklı tip matkap ucu ile delinmesiyle oluşan delik yüzey kaliteleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Camelyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi esnasında yüzey pürüzlülüğü için ilerleme ve devir çok önemli faktörler olduğu belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda numuneler üzerinde yüksek hız ve düşük ilerleme değeri altında tabakalara ayırma ve delik bitiş yüzey kalitesi üzerinde iyi sonuçlar alınmıştır.

Tsao (2007b), karbonelyaf takviyeli kompozit plastiklerin özel matkap ucu (core-saw drill) ile delinmesi esnasında oluşan tabakalara ayırma faktörü araştırılmıştır. Kompozit malzemelerin delinmesinde uygun takım geometrisinin ve delme parametrelerinin seçimi ile delme işleminin neden olduğu tabakalara ayırma üzerinde önemli etkili olduğu görülmüştür. İlerleme oranı ve devir tabakalara ayırmayı etkileyen iki ana parametredir. Düşük ilerleme delme işlemi esnasında düşük itme kuvveti oluşturmakta ve bunun sonucunda tabakalara ayırma azalmaktadır.

Davim et al. (2007), karbonelyaf takviyeli kompozit katmanların delindikten sonra dijital resim analiz yöntemi yardımı ile tabakalara ayırma faktörünün belirlenmesi için yeni bir yaklaşım getirmeye çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarında 13 katmanlı 3 mm kalınlığında karbonelyaf takviyeli malzemesi 5 mm çapında K20 helisel matkap ucu kullanılmış ve kullanılan kesme hızı 50, 60, 70 m/dak ilerleme 0,25 - 0,30 - 0,35 mm/dev olarak belirlemişlerdir. Yazarlar çalışmalarında belirlenen kesme parametrelerine bağlı olarak delinen karbon elyaf takviyeli katmanların giriş ve çıkış bölgelerindeki dijital resimlerini görüntüleyip azami hasar bölgesinin alanı (A_{max}), hasar bölgesi (A_d), tabakalara ayırma faktörü (F_d) ve geleneksel tabakalara ayırma faktörü (F_{da}) olarak tanımlamış ve buna bağlı olarak delik giriş ve çıkış bölgesinde oluşan hasar ve tabakalara ayırma faktörü hesaplamışlardır. Kesme hızlarına bağlı olarak her iki tabakalara ayırma faktörü için oluşan değerler karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma ile işleme parametreleri değiştirilerek oluşan hasar değerleri ölçülmüş ve matematiksel bir yaklaşım ile kompozitlerin delinmesinde hasarın karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Dijital resim yöntemlerinin kullanımı ile kompozitlerin delinmesinden sonra hasar bölgesinin memnun edici oranda gözlemlenmiştir. Kullanılan analiz yöntemlerinin yardımı ile oluşan hasar ve karbonelyaf takviyeli kompozit katmanların gevrek davranışları belirlenmiştir.



Şekil 2.4. Kompozit katmanlarda delme işleminden sonra yüzeyde oluşan hasar a.Giriş bölgesi, b. Çıkış bölgesi için.

Sonuçlar göstermektedir ki delik giriş bölgesinde ilerleme oranı tabakalara ayırma faktörü üzerinde, çıkış bölgesinde ise kesme hızının tabakalara ayırma faktörü üzerinde çok önemli etkileri olduğu sonucuna varılmıştır.

Mohan et al. (2007), camelyaf takviyeli plastik kompozit parçaların delinmesi esnasında tabakalara ayırma faktörünü dört farklı kalınlıktaki malzeme, ilerleme, devir ve delik çapları ile analiz etmişlerdir. Camelyaf takviyeli plastik kompozit katmanların değişik parametre değerlerinde giriş ve çıkış anındaki tabakalara ayırma faktörü üzerinde çok önemli etkileri olduğu sonucuna varmışlardır. Yüksek kesme hızı, düşük ilerleme, giriş ve çıkış noktalarında asgari hasar ve uzun bir takım ömrü sağlamaktadır. Hasar miktarının azaltılması için ilerleme miktarının seçilmesinde çok dikkatli olunmalıdır. Yüzey analiz sonuçları asgari dalma anındaki tabakalara ayırma düşük katmanda ilerleme, yüksek katmanda malzeme kalınlığı orta katmanda ise kesme hızı ile orantılı olduğu açıklanmıştır. Benzer şekilde asgari çıkış tabakalara ayırma faktörü için düşük katmanda ilerleme oranı, yüksek katman için kesme hızı ve orta katman ise matkap uç çapı malzeme kalınlığının etkili olduğu görülmüştür.

Shing et al. (2008), elyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delme işlemi bölgesindeki kritik itme kuvvetlerinin teorik modellenmesi, kesici takım geometrisi ve delme operasyonları değişkenlerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarında 90°, 104°, 118° uç açılına sahip matkap uçları ile 0,075 - 0,188 - 0,3 mm/dev ilerleme değerleri kullanılmıştır. Elyaf takviyeli plastik kompozit malzemelerin delinmesi işleminin sınırları sonlu elemanlar analiz yöntemi ile belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda matkap uç açısı, ilerleme oranı ve delme kuvvetleri üzerindeki belirgin etkisi ANOVA analiz programı kullanımı ile istatistiksel olarak ispatlanmıştır. Eş yönlü elyaf takviyeli kompozit katmanların delinmesinde matkap uç açısının delme işleminin neden olduğu hasar üzerine etkileri sonlu elemanlar ile belirlenmiş ve optimum bir uç geometrisi geliştirilerek lifli kompozit katmanların delinmesinde bir çok yardım sağlanmıştır.

Davim et al. (2008), camelyaf takviyeli plastik kompozitlerin delinmesi esnasında kesici takım geometrisinin tabakalara ayırma faktörü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında farklı uç geometrilerine sahip dört kesici takım

kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesici takım geometrisinin tabakalara ayırma faktörü üzerindeki etkisi ve takım aşınması miktarı incelenmiştir. Kesme hızları 55, 71, 86 m/dak ve ilerleme 0,05 - 0,10 - 0,15 - 0,20mm/dev olarak kullanılmıştır. Kesme parametrelerine bağlı olarak kesici takımların oluşturduğu hasar görüntülenmiş ve karşılaştırılmıştır. Testler sonucunda ilerleme ve kesme hızının artması ile hasar bölgesinde artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Rubio et al. (2008), camelyaf takviyeli plastik kompozitlerin yüksek hızla delinmesinin tabakalara ayırma faktörü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında farklı uç açıları ve geometrilerinde üç kesici takım kullanarak yüksek devir ve takım geometrisinin tabakalara ayırma faktörü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda ilerleme ve uç açısının artması ile hasar faktörünün arttığını, yüksek kesme hızlarında ise hasar faktörünün azaldığını belirlemişlerdir.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. MALZEME VE EKİPMANLAR

3.1.1. Malzemenin Teknik Özellikleri

Deneylerde ARMAPLAST A.Ş. tarafından üretilen 90° elyaf oryantasyonlu (hasır) E camı takviyeli polyester reçineli kompozit malzeme kullanılmıştır. Kompozit malzeme %90 elyaf %10 polyester reçine karışım oranında 10 mm kalınlığında 14 katman elyaf'tan hazırlanmıştır. Camelyaf takviyeli polimer kompozit (CTP) malzemenin mekaniksel özellikleri Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. CTP malzemenin mekanik özellikleri.

Elyaf çapı	22 [μm]
Kopma uzaması	4,9 [%]
Çekme modülü	3450 [Gpa]
Çekme dayanımı	48 [MPa]
Özgül ısı	1.45 [kJ/kgC°]

Kompozit malzemede kullanılan E camının mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. E camının mekanik özellikleri. (CEM Handbook, 2001)

Özgül ağırlık	2,6 [g/cm ³]
Sertlik Vickers	5,6 [50g-15s]
Kopma Uzaması	4,8 [%]
Çekme modülü	81,3 (1 elyaf için) [Gpa]
Çekme dayanımı	3400 (1 elyaf için) [MPa]
Gerilim noktası	617 [C°]
Gerilim giderme noktası	840 [C°]
Isıl iletkenlik katsayısı	1.0 [W/m.K°]
Yalıtkanlık katsayısı 1MHz'de	6,4

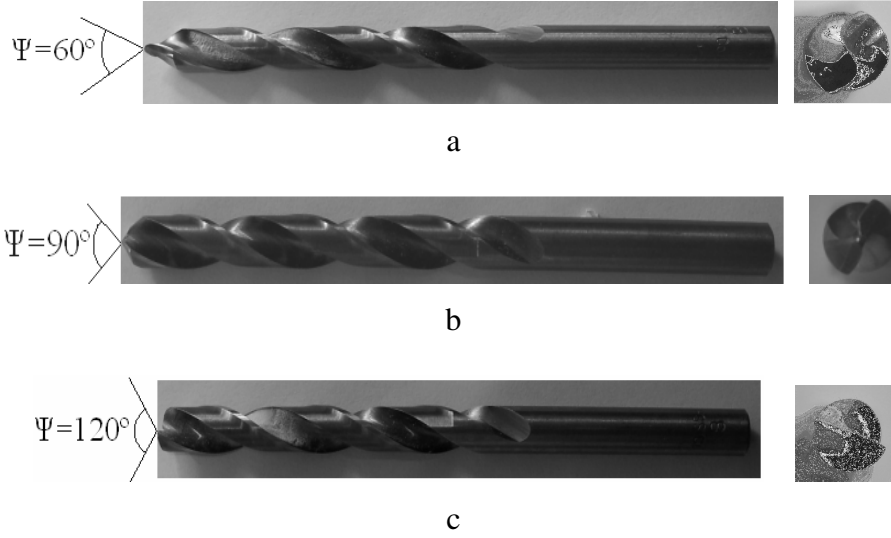
Kompozit malzemede kullanılan polyester reçinenin kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Polyester reçinenin kimyasal ve fiziksel özellikleri. (CEM Handbook 1987)

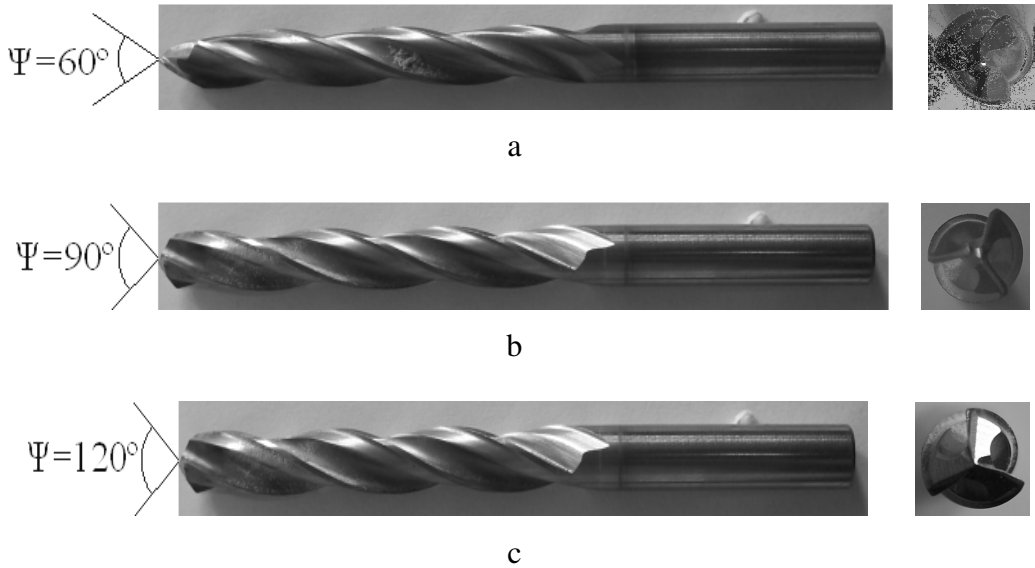
Vizkozite	850±100 [cps]
Asit Sayısı	Max.26 [mgKOH]
Katı Madde Miktarı	Min.60 [%]
Reovaktivite Sıcaklığı	230±10 [C°]
Çekme Dayanımı	1000 [Mpa]
Kayma Modülü	1.0-2.0 [GPa]
Basma Dayanımı	140 [Mpa]
Çekme Dayanımı	42-90 [Mpa]
Uzama Katsayısı	1,6-2,8 [%]
Özgül Ağırlık	1,38 [g/cm ³]

3.1.2. Kesici Takımlar

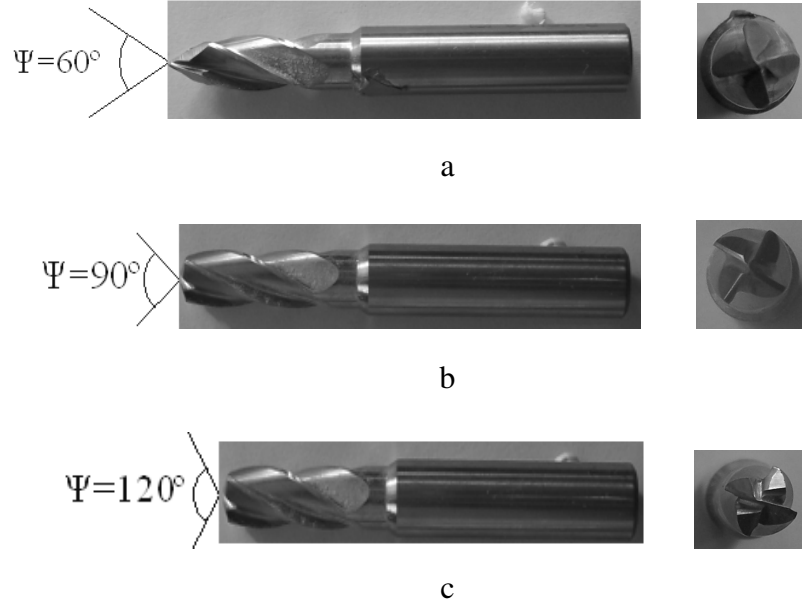
Deneysel çalışma esnasında Guhring kesici takım firması tarafından imal edilmiş olan 8 mm çapında 2, 3, 4 ağızlı kesici takımlar kullanılmıştır. Üretici firma tarafından uç açıları istenilen özelliklerde bilenmiş kesici takımların fotoğrafları Şekil 3.1, 3.2, 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.1. 2 Ağızlı SBL Serisi (DIN 338) matkap a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$



Şekil 3.2. 3 Ağızlı SMS Serisi (DIN 6539) matkap. a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$



Şekil 3.3. 4 Ağzılı SFS Serisi (DIN 6527) matkap a. $\Psi = 60^\circ$, b. $\Psi = 90^\circ$, c. $\Psi = 120^\circ$

3.1.3. CNC Freze Tezgahı

Deneylerde Taksan TMC 500V dik işleme merkezi kullanılmıştır. Tezgah kurulum şartnamesine bağlı olarak gerekli rijitlik, titreşim ve balans ayarlarında kurulan tezgahın teknik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. TMC 500V tezgahının teknik özellikleri. (<http://www.taksan.com.tr>, 2008)

X/Y/Z Eksen Hareketleri	500/410/400 mm
Tabla Ebatı	750x400 mm
Tabla Çalışma Alanı	650x400 mm
İş Mili Devir Aralığı	60-6000 dev/dk
İş Mili Max. Tork	7.2 kg/m
İş Mili Motor Gücü	5 kw

3.2. KALİBRASYON ÇALIŞMALARI

Deneysel çalışmalara başlamadan önce, CNC dik işleme merkezinde takımın bağlandığı iş milinin doğrusallığı, salgısı ve devir kalibrasyonu yapılmıştır.

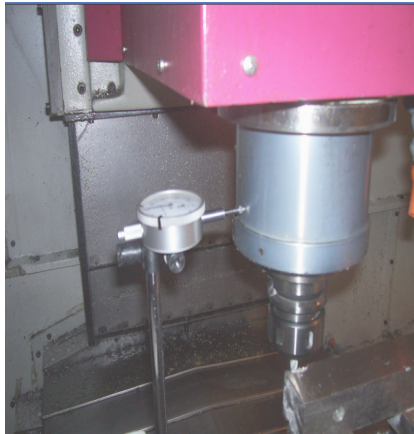
3.2.1. Doğrusallık Kalibrasyonu

Kalibrasyon işlemi sırasında MITUTOYO 1044F analog komparatör kullanılmıştır. Komparatörün teknik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

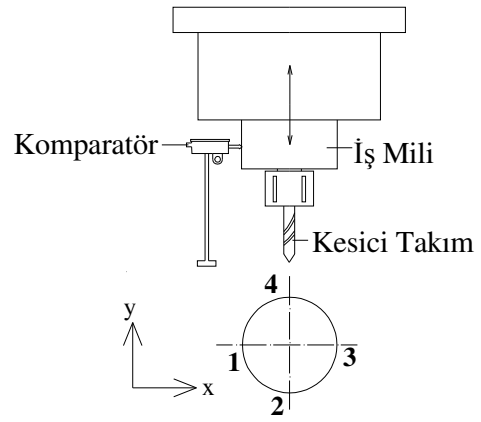
Çizelge 3.5. Komparatörün teknik özellikleri. (<http://www.mitutoyo.com>, 2007)

Ölçüm hassasiyeti	0.001 mm
Ölçü ve kontrol alanı	0-10 mm
Gösterge	Analog
Sabitleme düzeneği	Manyetik

Doğrusallık kalibrasyonu tabla üzerine sabitlenen komparatör yardımı ile birbirlerine 90°’lik açıda duran dört farklı nokta üzerinde yapılmıştır. Komparatör iş mili üzerinde y eksenine doğrultusunda $L = 50$ mm’lik mesafe içerisinde hareket ettirilmiş ve komparatörde oluşan sapma miktarına göre koniklik oranları belirlenmiştir. Kalibrasyon işlemi Şekil 3.4’te görülmektedir.



a



b

Şekil 3.4. Tezgah iş milindeki devir kalibrasyonu a. Foto, b. Şema.

İş mili üzerindeki 50 mm'lik mesafede koniklik oranları ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 3.6'da verilmiştir. Tespit edilen koniklik oranları tezgahın genel çalışma şartlarına uygun değerler içerisinde.

Çizelge 3.6. Doğrusallık kalibrasyonu sonuçları.

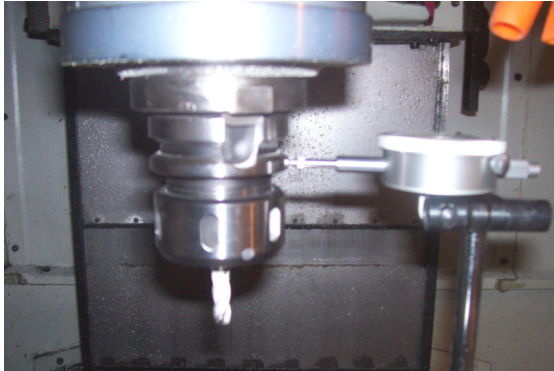
1.Noktadaki Koniklik Oranı	2/1000 mm
2.Noktadaki Koniklik Oranı	4/1000 mm
3.Noktadaki Koniklik Oranı	3/1000 mm
4.Noktadaki Koniklik Oranı	2/1000 mm

3.2.2. Salgı Kalibrasyonu

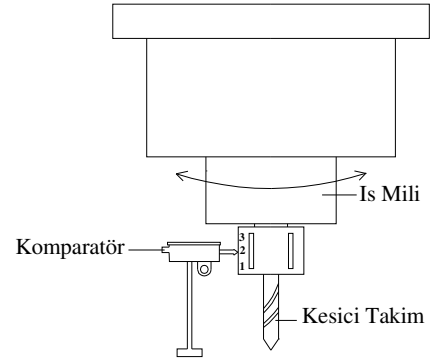
Takım tutucu ve kesici takımın kendi eksenine etrafında dönmeleri sonucunda oluşan salgı miktarları ölçülmüştür.

3.2.2.1. Takım Tutucunun Salgı Kalibrasyonu

CNC dik işleme merkezi iş milinin dönmesi esnasında takım tutucusunda oluşan salgının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Takım tutucu kendi eksenine etrafında farklı devirlerde döndürülerek salgı miktarları belirlenmiştir. Kalibrasyon işlemi Şekil 3.5'de görülmektedir.



a



b

Şekil 3.5. Takım tutucusunda oluşan salgı kalibrasyonu a. Foto, b. Şema.

Kalibrasyon işlemi sırasında takım tutucu üzerinde 10 mm aralıktaki belirlenen üç farklı noktadan 3 farklı devir (1000, 2000, 3000 dev/dak) kullanılarak takım tutucuda oluşan sapma miktarları belirlenmiştir. Ölçülen sapma miktarları Çizelge 3.7’de verilmiştir.

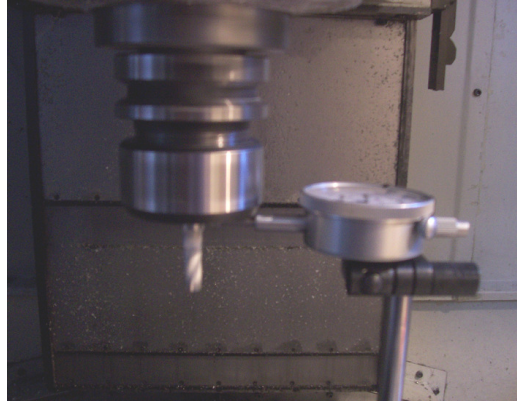
Çizelge 3.7. Takım tutucuda ölçülen sapma miktarları.

Ölçüm Noktası	İş Mili Devir Sayısı [dev/dak]	Sapma Miktarı [mm]
1	1000	± 0.005
	2000	± 0.001
	3000	± 0.015
2	1000	± 0.005
	2000	± 0.001
	3000	± 0.015
3	1000	± 0.005
	2000	± 0.001
	3000	± 0.010

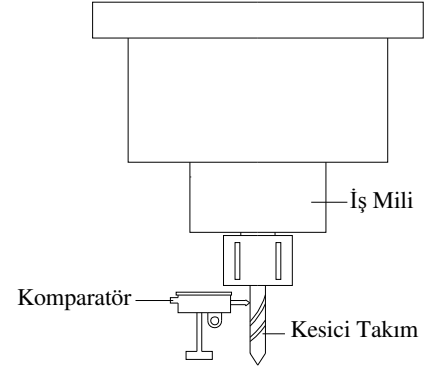
Bulunan sapma miktarları ihmal edilebilir değerlerdir. Deneyin yapılmasında bir olumsuzluk göstermez.

3.2.2.2. Kesici Takımın Salgı Kalibrasyonu

Takım tutucuya sabitlenen kesici takım değişik devirlerde (100, 2000 ve 3000 dev/dak) döndürülmüş ve sapma miktarları belirlenmiştir. Sapma miktarlarının tespiti Şekil 3.6’da görülmektedir.



a



b

Şekil 3.6. Kesici takımında oluşan sapma miktarının belirlenmesi. a. Foto, b. Şema.

Çizelge 3.8. Kesici takımında oluşan salgı kontrolü sonuçları.

İş Mili Devir Sayısı [dev/dak]	Sapma Miktarı [mm]
1000	±0.005
2000	±0.001
3000	±0.015

Kalibrasyon işleminde ortalama 0.001 sapma miktarı belirlenmiştir ve bu değer deneylerin yapılması için ihmal edilebilir. Ölçüm sonuçları çizelge 3.8’de verilmiştir.

3.2.3. İş Mili Devir Sayısı Kalibrasyonu

Devir sayısı kalibrasyonunda PROVA RM-1500 dijital takometre kullanılmıştır. Bu işlem esnasında iş mili üzerine yansıtıcı bant yapıştırılmış ve 150 mm’lik uzaklıkta takometre banta dik konumda tutularak iş milinin devir değerlerinin kontrolü yapılmıştır. Takometrenin teknik özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Takometrenin teknik özellikleri. (<http://www.Infotek.com.tr>)

Aralık	10.000 – 99.999
Çözünürlük	0.001/0.01/0.1/1
Doğrusallık	0.04% ±2 basamak

Kalibrasyon işleminde tezgâha girilen devir ile takometrede ölçülen değerler aşağıda Çizelge 3.9’de mukayese edilmiştir.

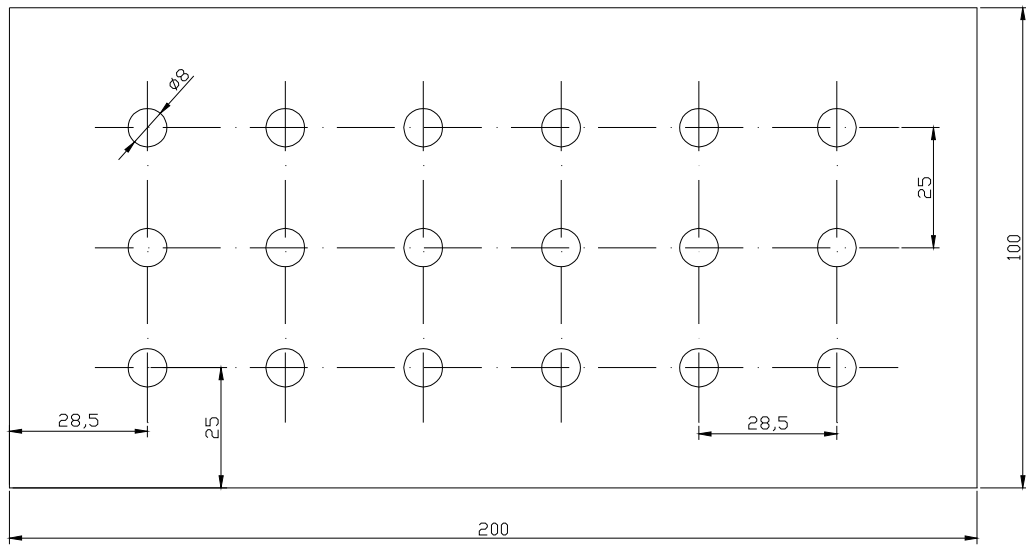
Çizelge 3.9. Tezgâha girilen devir sayıları ile takometrede ölçülen devir sayıları.

Girilen devir [dev/dak]	Ölçülen devir [dev/dak]
1000	1000,025
2000	1999
3000	2999
4000	3998

Sonuç olarak çok küçük devir sayılarında sapmalar ölçülmüştür. Bu küçük sapma değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

3.3. DENEYİN UYGULANIŞI

Hasır yapıda, 90° elyaf oryantasyonlu polyester reçineli camelyaf malzemeden 200x100x10 mm plakalar halinde hazırlanan deney numuneleri kullanılmıştır. Delme işlemi esnasında oluşan gerilme kuvvetlerinin oluşturması muhtemel etkilerinden dolayı deliklerin uzak mesafede konumlandırılması yapılmıştır. Böylece delik hasarlarının birbirlerini etkilememesi hedeflenmiştir. Deliklerin plakadaki dağılımı Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7. Deliklerin deney numuneleri üzerindeki dağılımı.

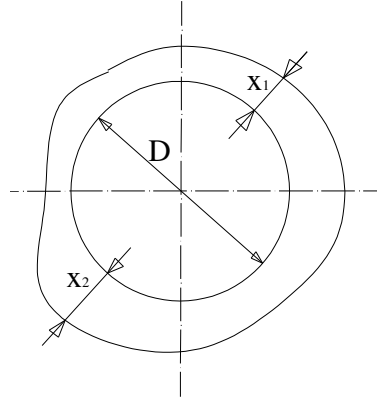
Litaratür araştırmaları sonucunda yüksek kesme hızının kesici takım üzerinde termal etkiler oluşturacağı için düşük kesme hızları (50, 70 ve 90 m/dak) tercih edilmiştir. Yine litaratür çalışmaları ışığında camelyaf'ın delinmesinde düşük ilerleme miktarı tavsiye edilmektedir. Davim ve ekibi (2007) yılında yapmış oldukları çalışmada (0,05 mm/dev - 0,1 - 0,15 ve 0,2 mm/dev) gibi düşük ilerleme değerleri ile daha az hasarlı deliklerin delinebildiğini tespit etmişlerdir. Literatür çalışmaları ışığında ilerleme değerleri (0,6 - 0,12 ve 0,18 mm/dev) olarak belirlenmiştir. Uç açıları 60°, 90°, 120° olan özel olarak üretilen 2, 3, ve 4 ağızlı kesici takımlar kullanılmıştır. Deneilerin yapılmasında kullanılan parametreler Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.

Deney No	Ağız Sayısı, G	Uç Açısı, Ψ [°]	Kesme Hızı, Vc [m/dak]	İlerleme, f [mm/dev]
1	2	60°	50	0.06
2				0.12
3				0.18
4			70	0.06
5				0.12
6				0.18
7			90	0.06
8				0.12
9				0.18
10		90°	50	0.06
11				0.12
12				0.18
13			70	0.06
14				0.12
15				0.18
16			90	0.06
17				0.12
18				0.18
19		120°	50	0.06
20				0.12
21				0.18
22			70	0.06
23				0.12
24				0.18
25			90	0.06
26				0.12
27				0.18
28	3	60°	50	0.06
29				0.12
30				0.18
31			70	0.06
32				0.12
33				0.18
34		90	0.06	
35			0.12	
36			0.18	
37		90°	50	0.6
38				0.12
39				0.18

Çizelge 3.10. (devam ediyor)

Deney No	Ağız Sayısı, G	Uç Açısı, Ψ [°]	Kesme Hızı, Vc [m/dak]	İlerleme, f [mm/dev]
40	3	90°	70	0.06
41				0.12
42				0.18
43			90	0.06
44				0.12
45				0.18
46		120°	50	0.06
47				0.12
48				0.18
49			70	0.06
50				0.12
51				0.18
52			90	0.06
53				0.12
54	0.18			
55	4	60°	50	0.06
56				0.12
57				0.18
58			70	0.06
59				0.12
60				0.18
61		90	0.06	
62			0.12	
63			0.18	
64		90°	50	0.06
65				0.12
66				0.18
67			70	0.06
68				0.12
69				0.18
70			90	0.06
71	0.12			
72	0.18			
73	120°	50	0.06	
74			0.12	
75			0.18	
76		70	0.06	
77			0.12	
78			0.18	
79		90	0.06	
80			0.12	
81	0.18			



$D_m = \text{Azami hasar \u00e7ap\u0131 [mm]}$

$D = \text{Delik \u00c7ap\u0131 [mm]}$

$x_1, x_2 = \text{Hasar geni\u015fli\u011fi [mm]}$

$D_m = D+x_1+x_2$

$\text{HF} = \text{Hasar fakt\u00f6r\u00fc}$

$\text{HF} = D_m/D$

Şekil 3.9. Hasar fakt\u00f6r\u00fcn\u00fcn belirlenmesi.

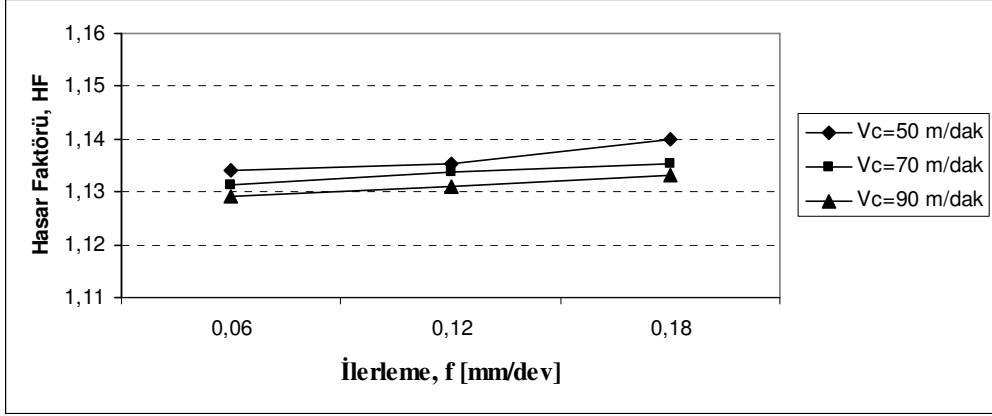
Hasar fakt\u00f6r\u00fc, azami hasar \u00e7ap\u0131n\u0131n matkap \u00e7ap\u0131na b\u00f6l\u00fcnmesiyle bulunmu\u015ftur. Hasar miktarlar\u0131 belirlendikten sonra giri\u015f ve \u00e7\u0131k\u0131\u015f b\u00f6lgeleri i\u00e7in hasar tablolar\u0131 olu\u015fturulmu\u015ftur. Olu\u015fturulan hasar tablolar\u0131na g\u00f6re giri\u015f ve \u00e7\u0131k\u0131\u015f b\u00f6lgeleri i\u00e7in hasar fakt\u00f6r\u00fc-ilerleme, hasar fakt\u00f6r\u00fc-kesme h\u0131z\u0131, hasar fakt\u00f6r\u00fc-a\u011f\u0131z sayısı, hasar fakt\u00f6r\u00fc-u\u00e7 a\u00e7\u0131s\u0131 kıyaslama grafikleri yapılm\u0131\u015ftır.

BÖLÜM 4

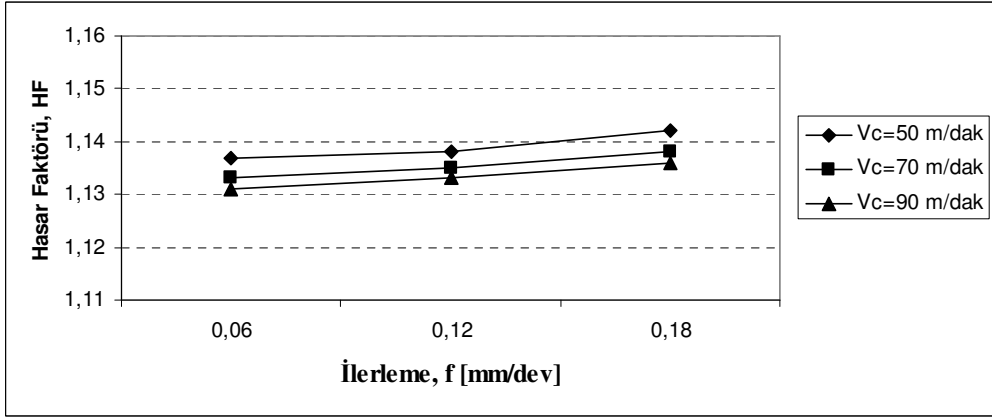
DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel çalışmada kesme hızı, uç açısı, ağız sayısı ve ilerlemenin hasar faktörü üzerindeki etkilerinin net bir biçimde görülmesi ayrıca daha detaylı bir biçimde açıklanması amacıyla giriş ve çıkış bölgeleri için kıyaslama grafikleri oluşturulmuştur. Kıyaslama grafiklerin oluşturulması esnasında ilk olarak Çizelge 3.10'daki kesme parametrelerine bağlı olarak delinen numunelerin hasar faktörleri belirlenmiştir. İlerlemenin hasar faktörü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla kesme hızı sabit tutularak hasar faktörü-ilerleme grafikleri oluşturulmuştur. Kesme hızının hasar faktörü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla ilerlemeyi sabit tutularak hasar faktörü-kesme hızı kıyaslama grafikleri oluşturulmuştur. Ağız sayısının hasar faktörü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için kesme hızı sabit tutularak hasar faktörü-ağız sayısı kıyaslama grafikleri oluşturulmuştur. Uç açısının hasar faktörü üzerine etkilerinin belirlenmesi açısından kesme hızı sabit tutularak hasar faktörü-uç açısı kıyaslama grafikleri hazırlanmıştır.

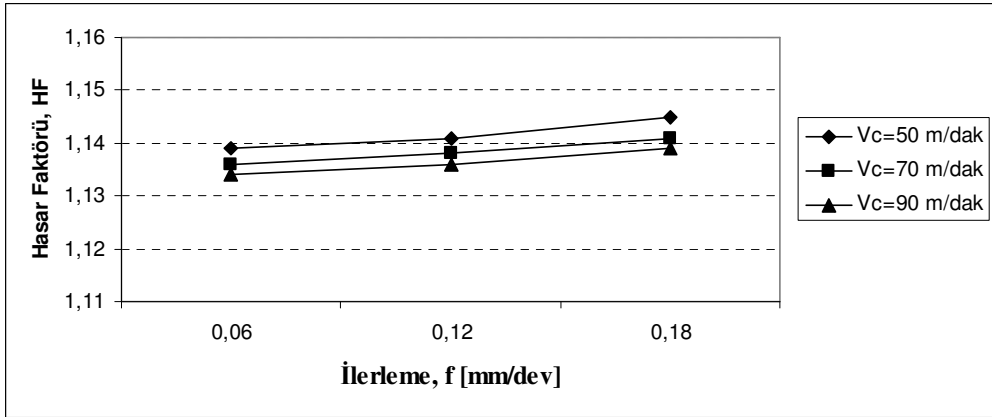
4.1. Delik Çıkışı İçin Hasar Faktörü - İlerleme Kıyaslama Grafikleri.



a

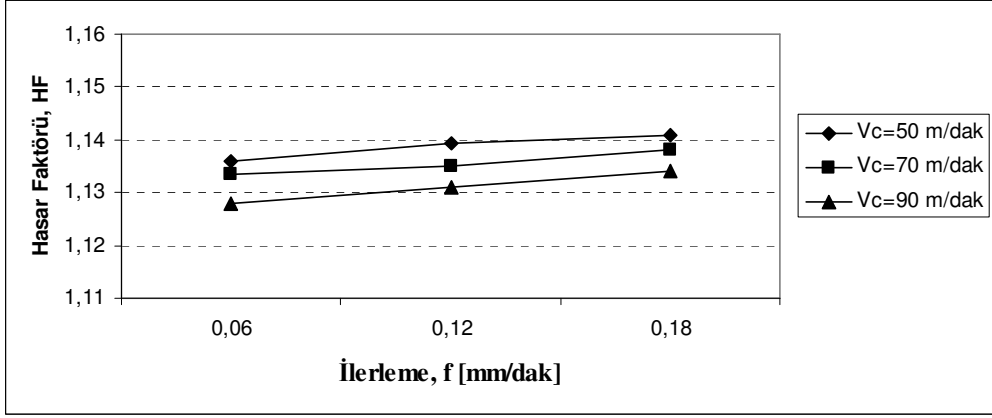


b

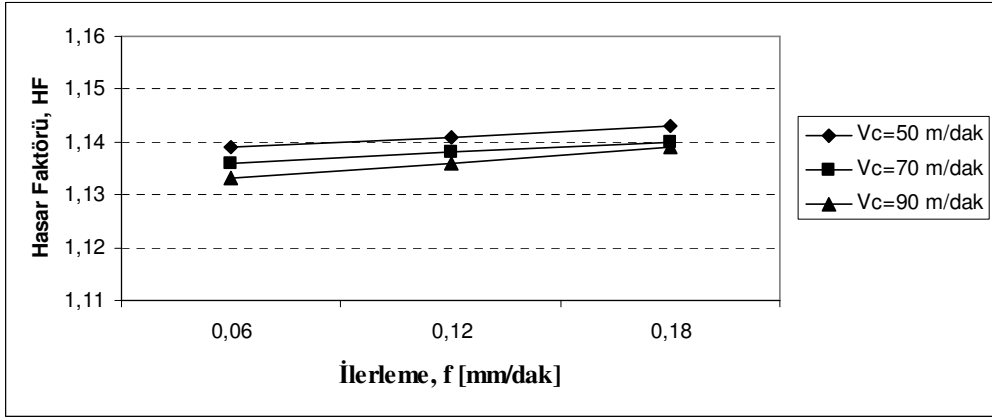


c

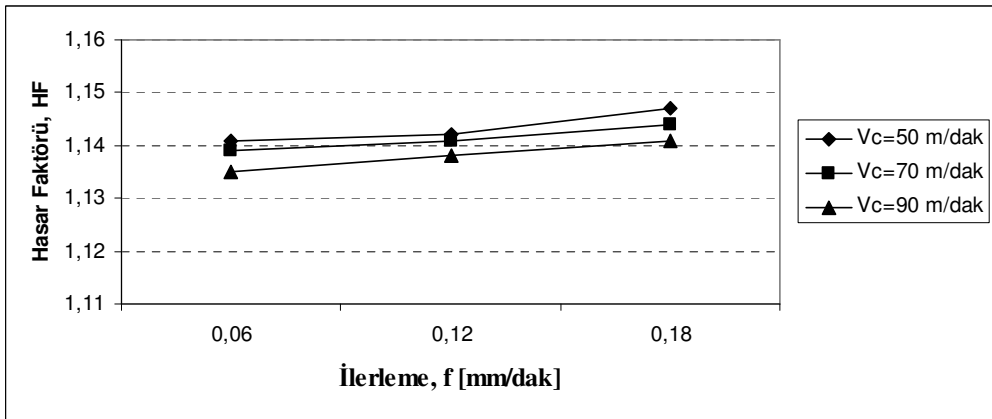
Şekil 4.1. İki ağızlı takımında çıkış bölgesi, hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.



a

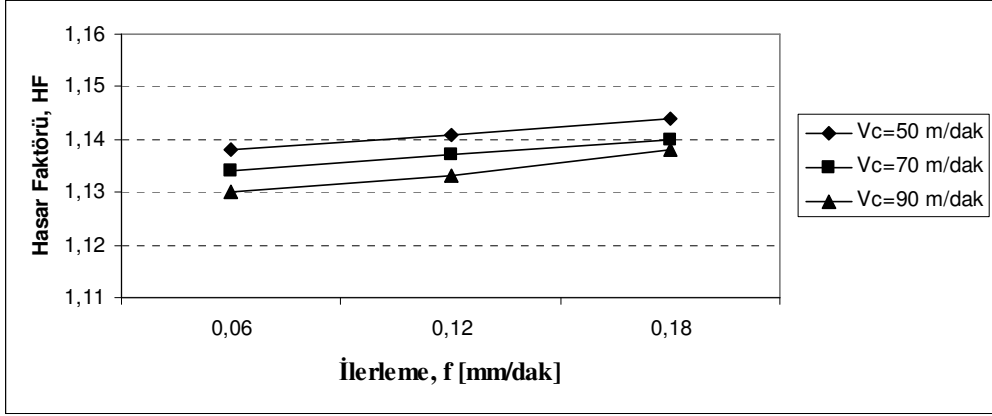


b

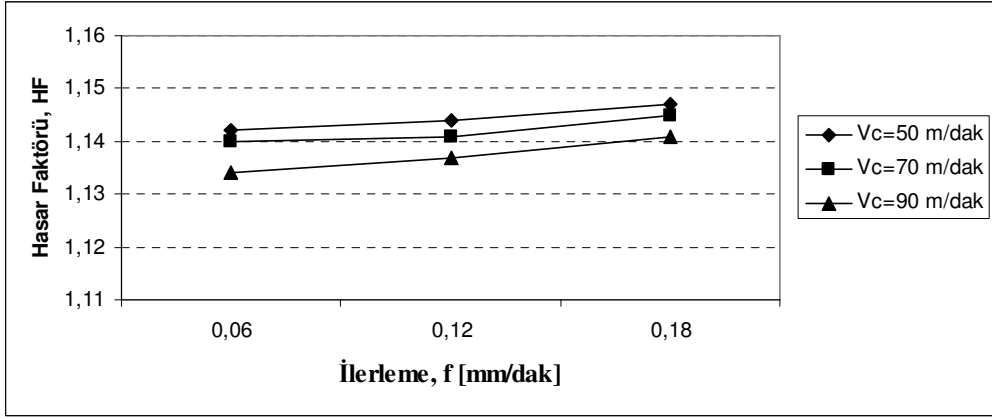


c

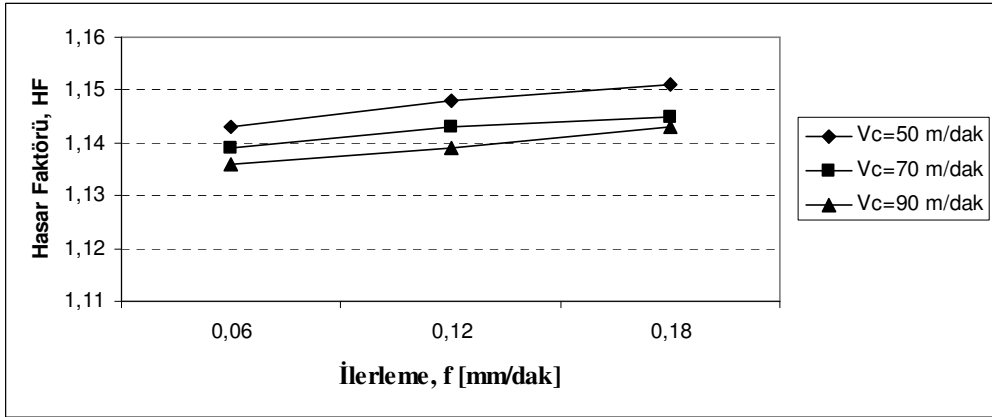
Şekil 4.2. Üç ağızlı takımda çıkış bölgesi, hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.



a



b



c

Şekil 4.3. Dört ağızlı takımında çıkış bölgesi, hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.

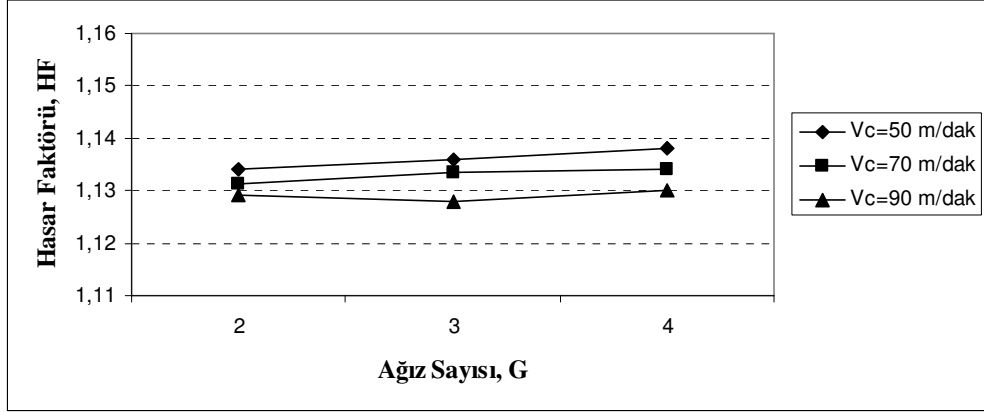
Genel olarak kesme hızı değerlerine bağlı ilerlemenin artması ile hasar faktöründe az da olsa bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.1 ele alındığında ilerlemenin artması ile hasar faktörü değerinde azda olsa paralel bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu artış miktarının en yüksek değerleri 120° uç açısı, 50 m/dak kesme hızında belirlenmiştir. Hasar faktörünün en düşük 60° uç açısı, 90 m/dak kesme hızında 0,06 mm/dev ilerlemede gözlenmiştir.

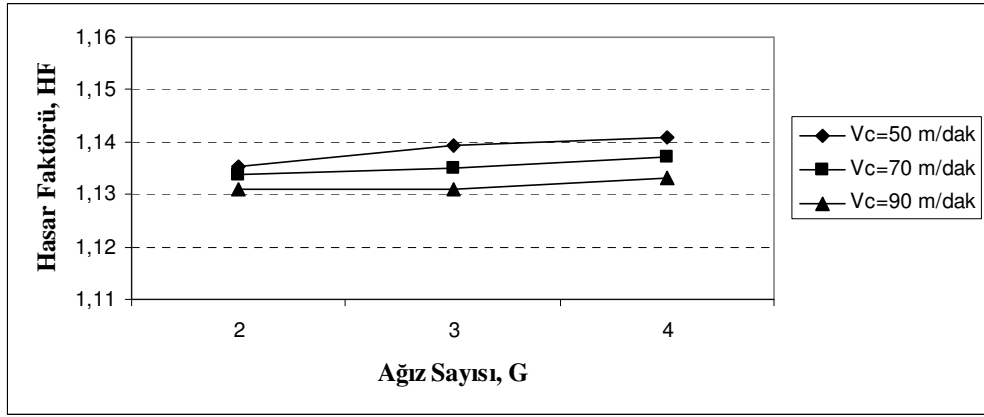
Şekil 4.2.a'da 90 m/dak kesme hızı 0,06 mm/dev ilerlemede hasar faktörü en düşük değerinde olduğu görülmüştür.

Şekil 4.3.c'de 50 m/dak kesme hızı 0,18 mm/dev ilerlemede hasar faktörü en yüksek değerine ulaşmıştır.

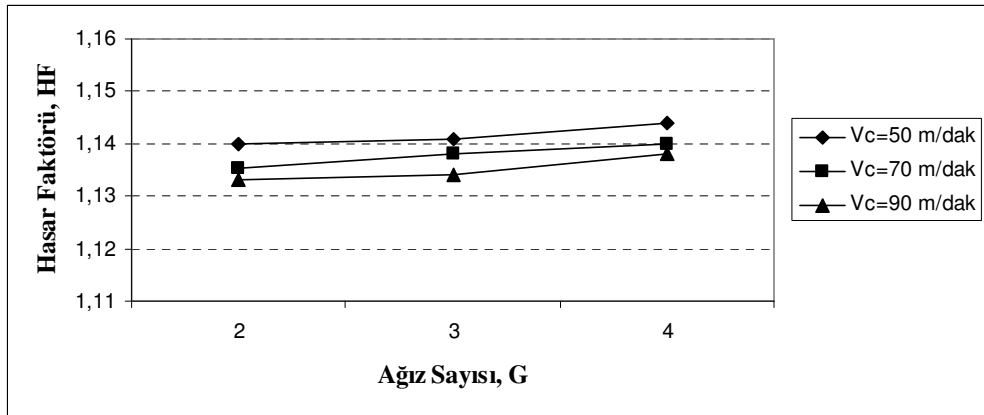
4.2. Delik Çıkışı İçin Hasar Faktörü - Ağız Sayısı Kıyaslama Grafikleri.



a

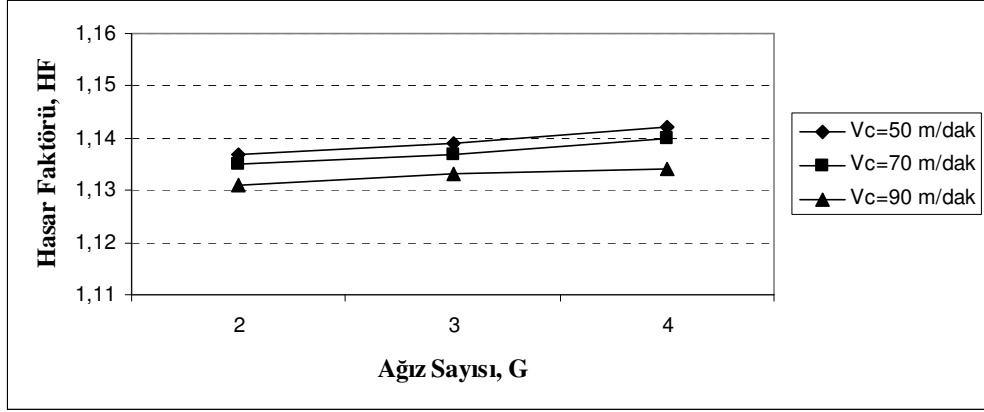


b

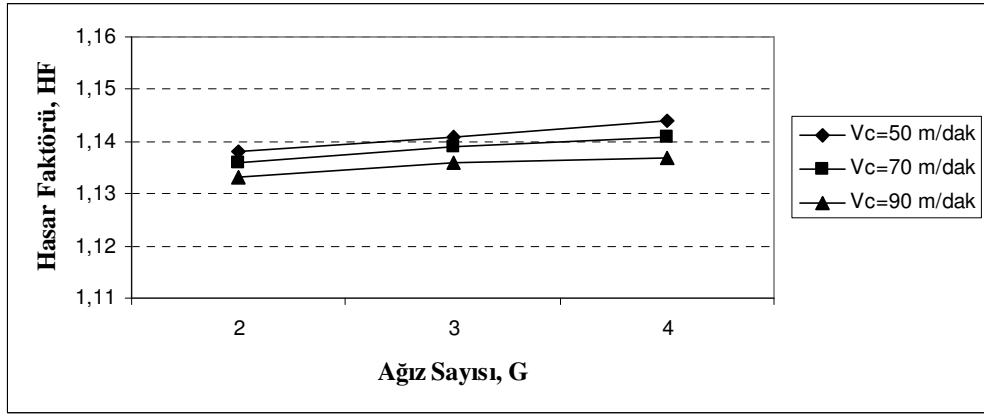


c

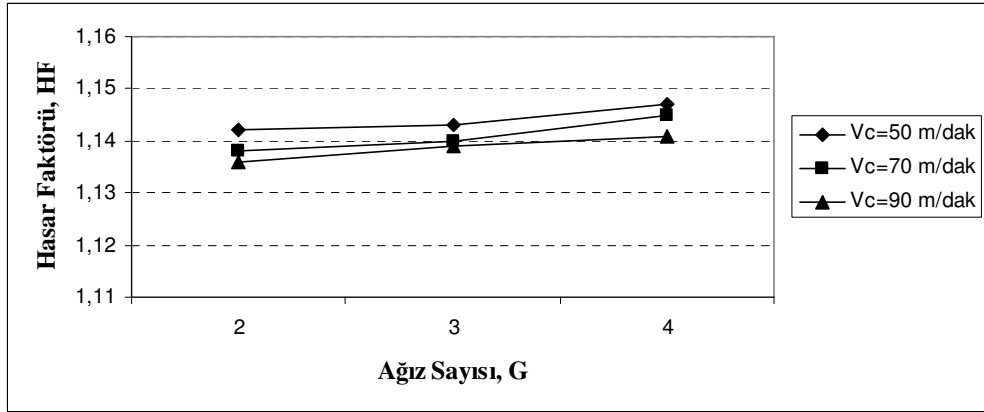
Şekil 4.4. 60° uç açılı takımda çıkış bölgesi, hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.



a

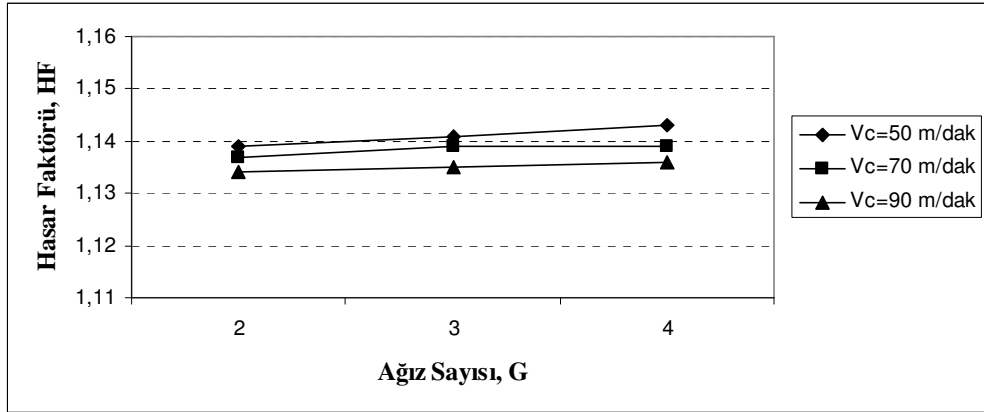


b

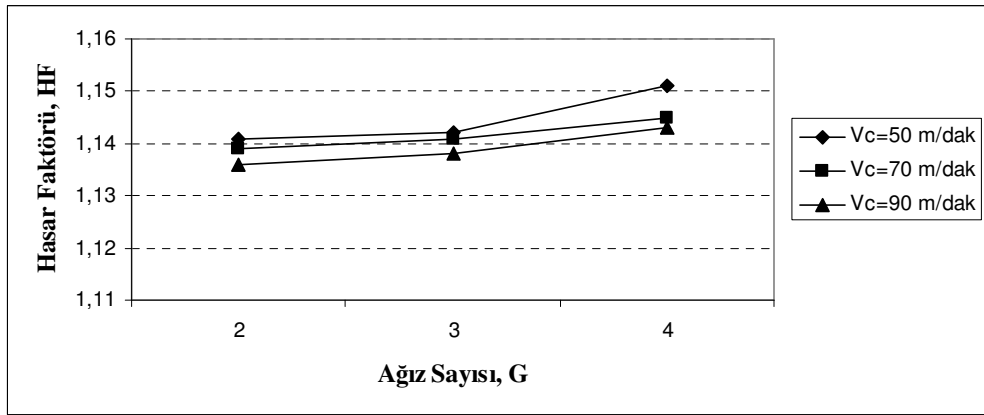


c

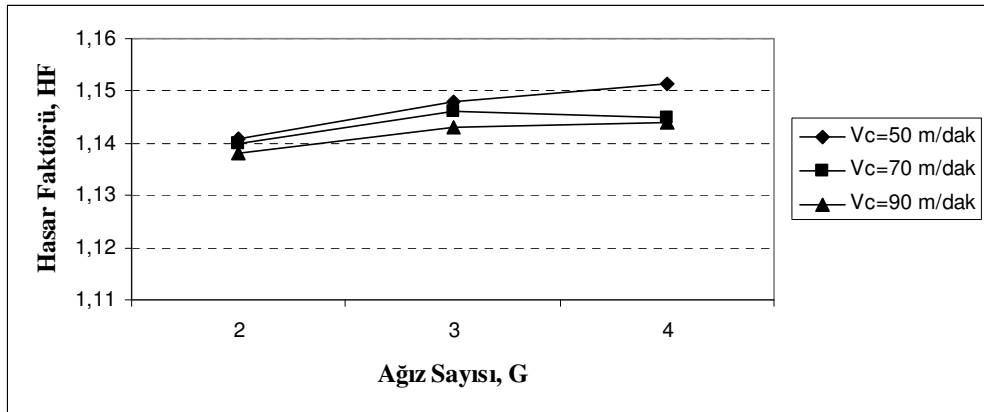
Şekil 4.5. 90° uç açılı takımında çıkış bölgesi, hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.



a



b



c

Şekil 4.6. 120° uç açılı takımında çıkış bölgesi, hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri. a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.

Genelde kesme hızı değerlerine bağı olarak ağız sayısının artması ile hasar faktöründe paralel bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.4' ele alındığında genel olarak ağız sayısının artması ile hasar faktörünün arttığı görülmüştür. Hasar faktörünün en yüksek değeri 0,06 mm/dev ilerleme, 50 m/dak kesme hızında 4 ağızlı takımda belirlenmiştir.

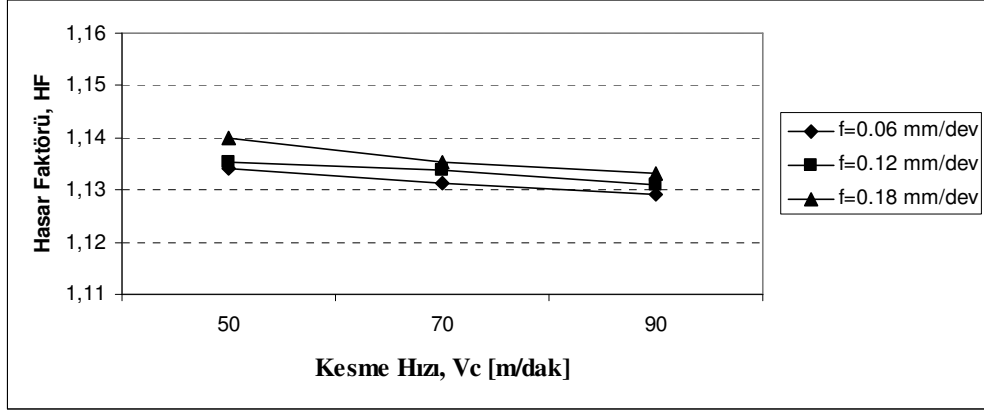
Şekil 4.4.a ve Şekil 4.4.b'de 90 m/dak kesme hızı için hasar faktöründe belirgin bir değışim görülmemiştir.

Şekil 4.4.c'de 90 m/dak kesme hızında, 3 ağızlı takımda, hasar faktöründe belirgin bir değışme gözlenmemiş, 4 ağızlı takımda ise ani bir artış görülmüştür.

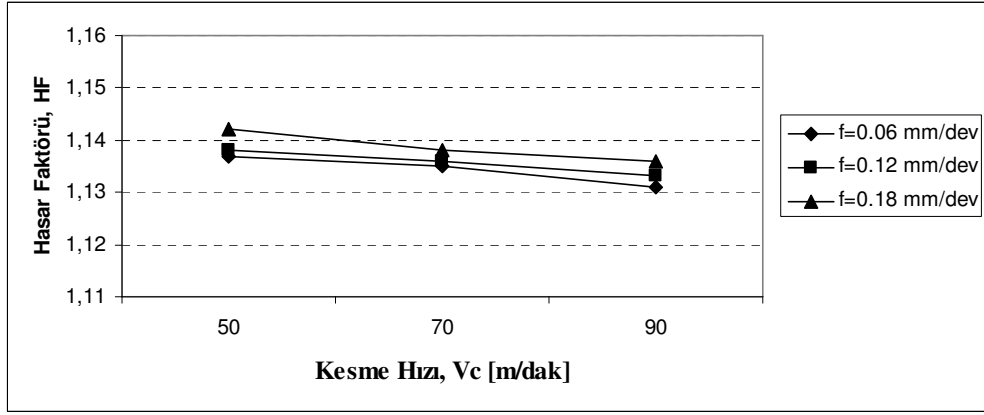
Şekil 4.6.b'de 50 m/dak kesme hızında, 4 ağızlı takım için hasar faktörü ani bir artış gözlenmiştir.

Şekil 4.6.c'de 3 ağızlı takımda hasar faktöründe ani bir artış, 4 ağızlı takımda ise 70 m/dak ve 90 m/dak kesme hızı değerlerinde belirgin bir değışim gözlenmemiştir.

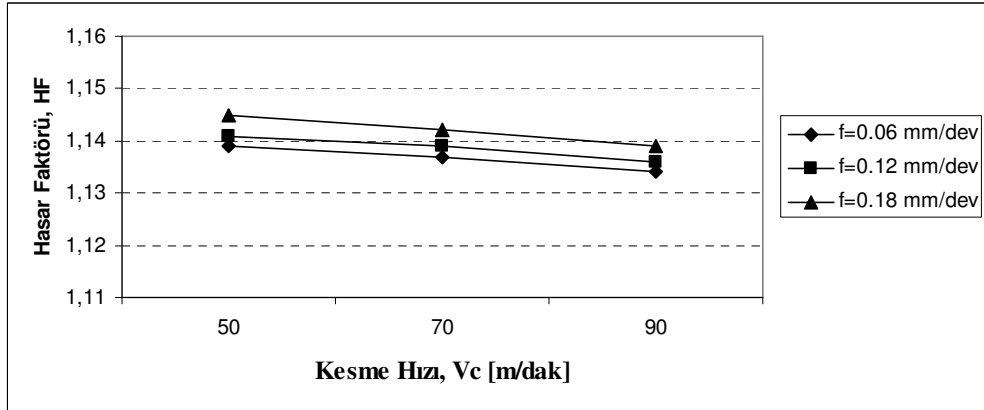
4.3. Delik Çıkışı İçin Hasar Faktörü - Kesme Hızı Kıyaslama Grafikleri.



a

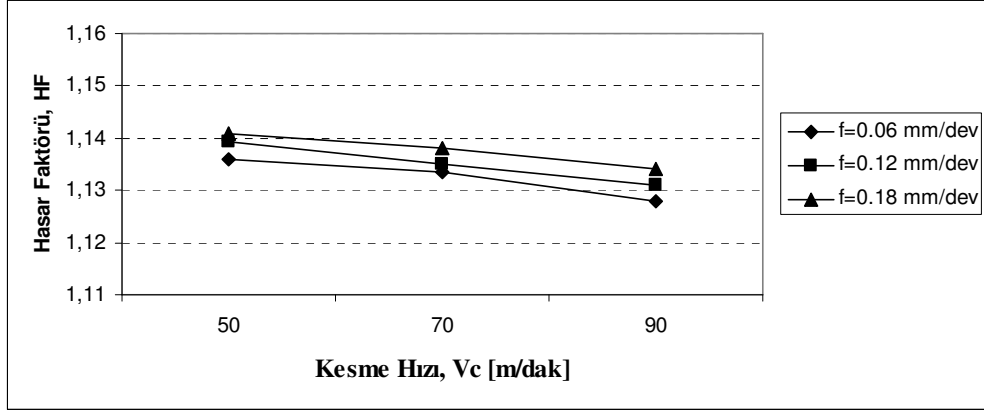


b

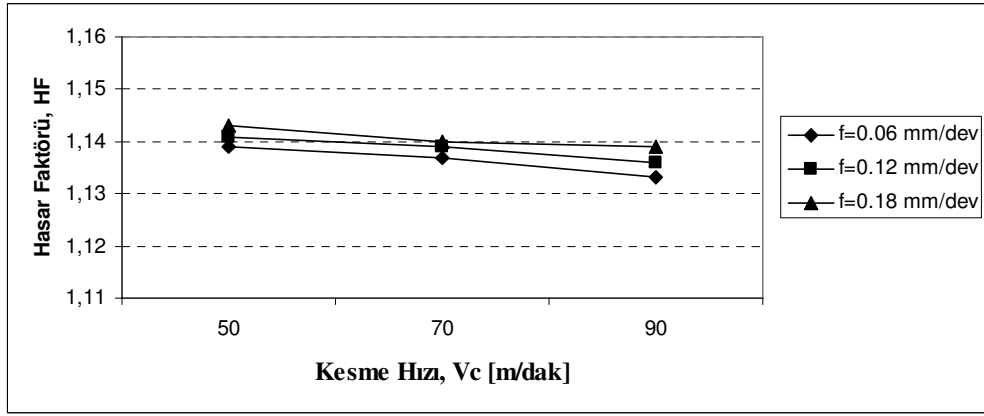


c

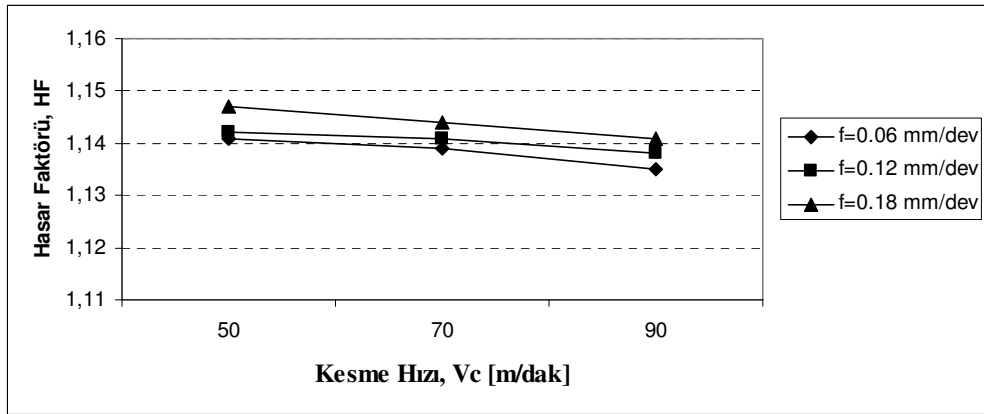
Şekil 4.7. İki ağızlı takımında çıkış bölgesi, hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.



a

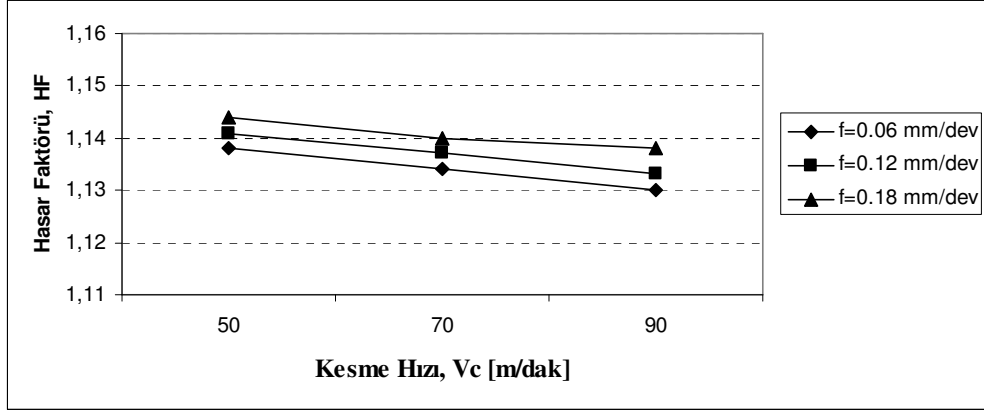


b

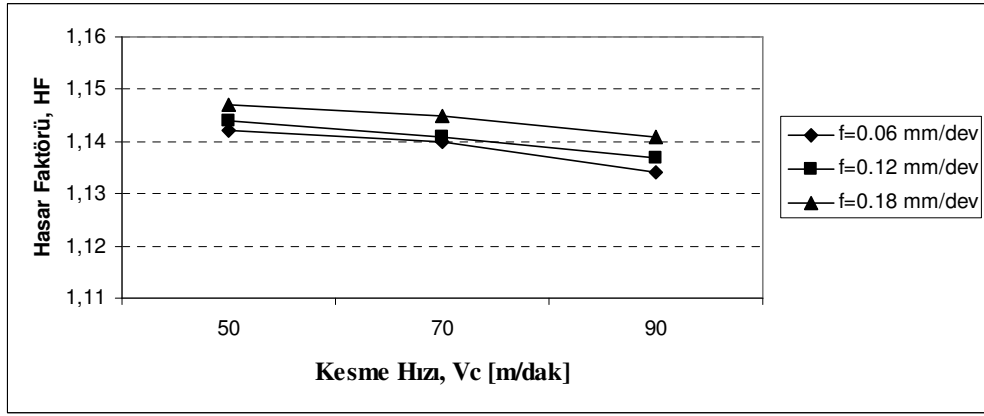


c

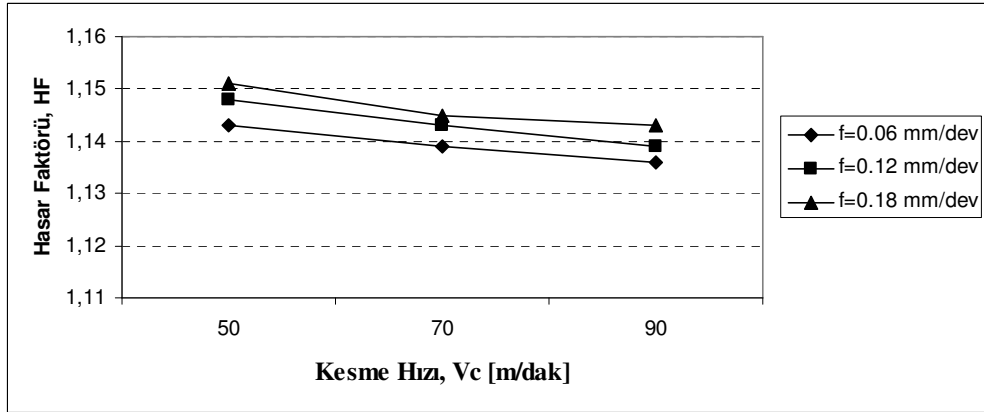
Şekil 4.8. Üç ağızlı takımda çıkış bölgesi, hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.



a



b



c

Şekil 4.9. Dört ağızlı takımda çıkış bölgesi, hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.

Genelde ilerleme değerlerine bağlı olarak kesme hızının artması ile hasar faktöründe azalma olduğu gözlemlenmiştir.

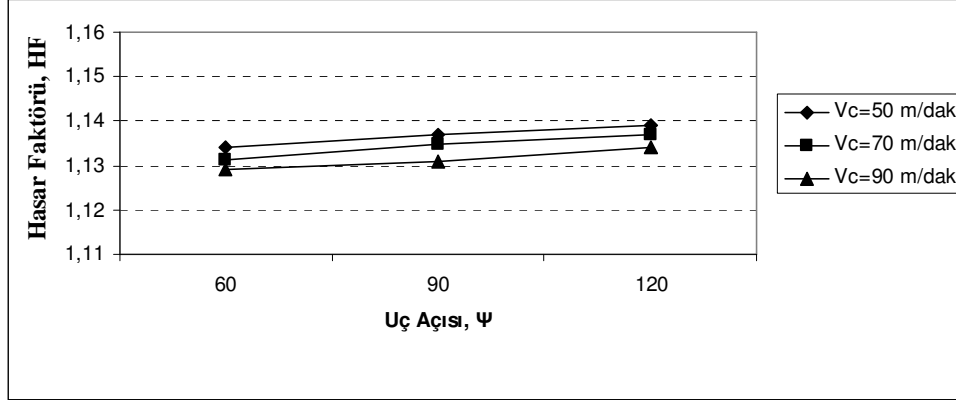
Şekil 4.7 ele alındığında ilerleme değerlerine bağlı olarak kesme hızının artması ile hasar faktörü değerinde az da olsa bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu azalma miktarının en düşük değeri 60° uç açılı matkap için 0,06 mm/dev ilerleme, 90 m/dak kesme hızında belirlenmiştir. Hasar faktörünün en yüksek değeri 120° uç açılı matkap'ta 50 m/dak kesme hızı, 0,06 mm/dev ilerleme için gözlenmiştir.

Şekil 4.7.a'da 0,06 mm/dev ilerleme, 50 m/dak kesme hızında hasar faktöründe ani bir azalma, 70 ve 90 m/dak kesme hızı değerlerinde paralel bir azalma gözlemlenmiştir.

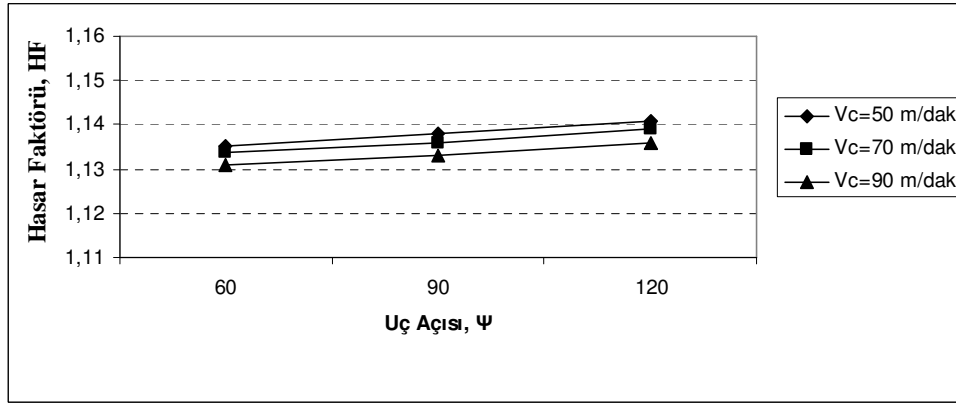
Şekil 4.8.a'da 0,06 mm/dev ilerleme, 90 m/dak kesme hızında 3 ağızlı takımla hasar faktörünün en düşük değeri gözlemlenmiştir.

Şekil 4.9.b'de 90 m/dak kesme hızında 0,012 mm/dev ilerleme için hasar faktöründe ani bir azalma görülmüştür.

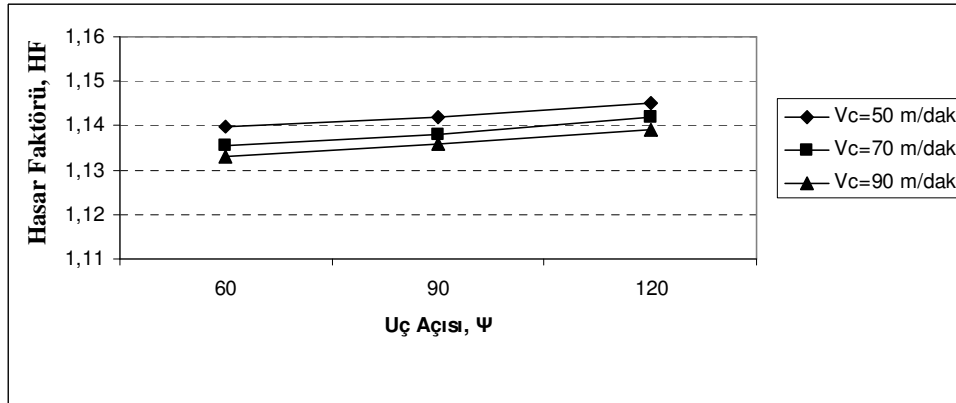
4.4. Delik Çıkışı İçin Hasar Faktörü - Uç Açısı Kıyaslama Grafikleri.



a

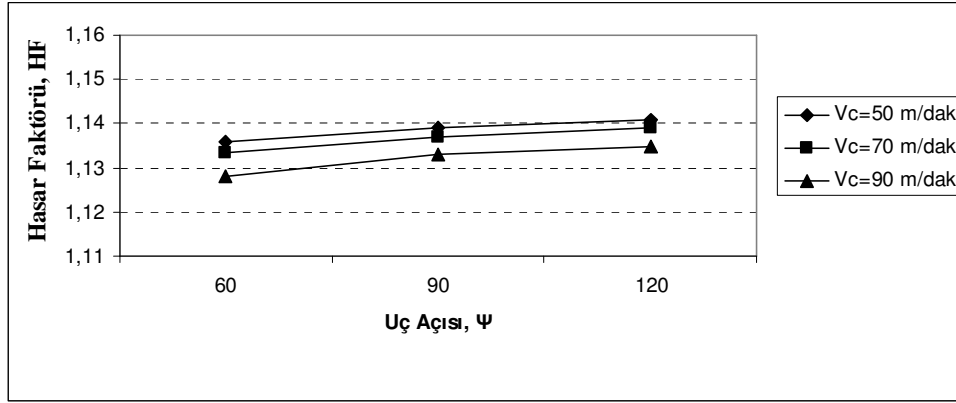


b

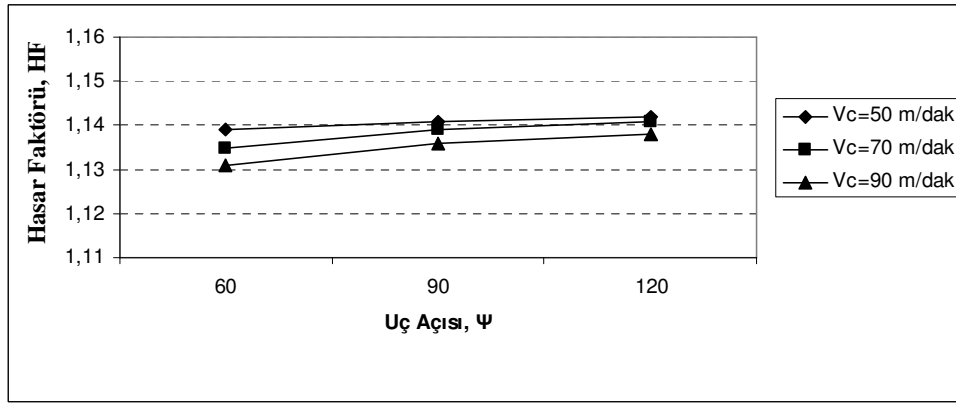


c

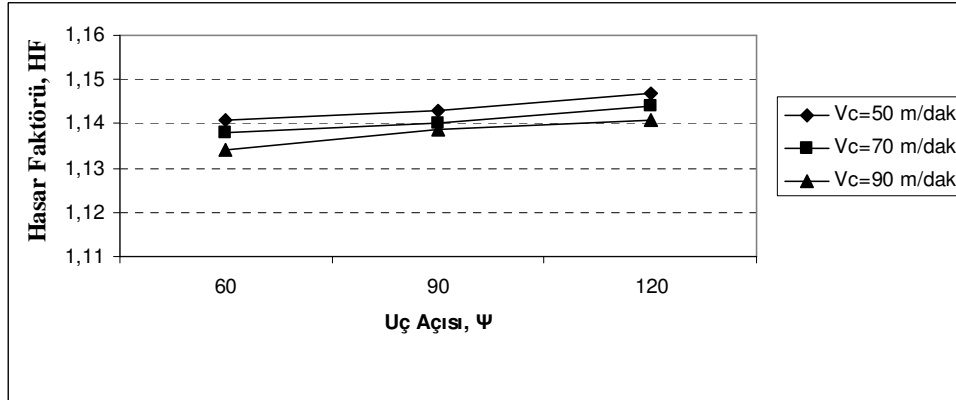
Şekil 4.10. İki ağızlı takımda çıkış bölgesi, hasar faktörü - uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.



a

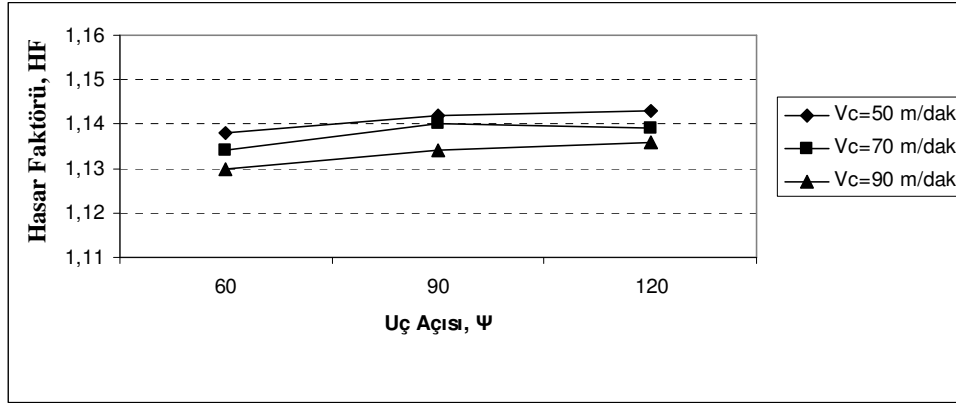


b

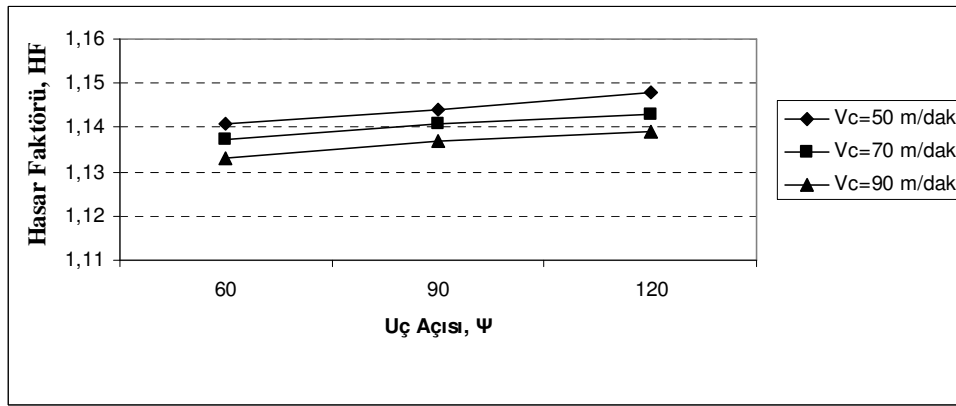


c

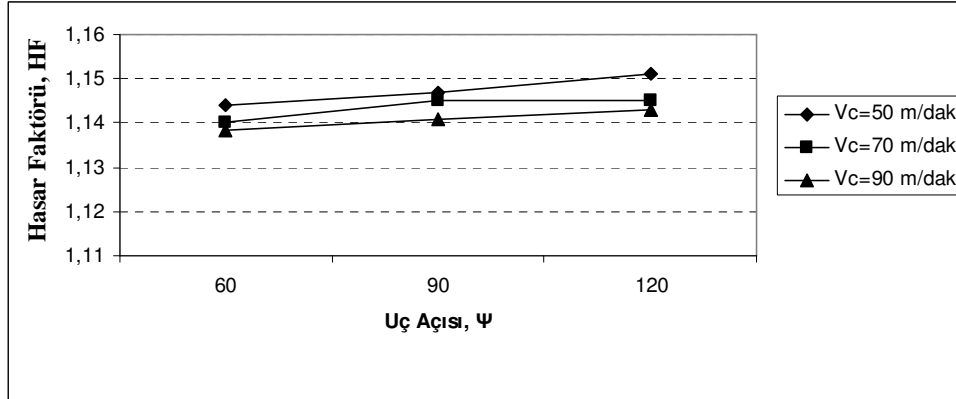
Şekil 4.11. Üç ağızlı takımda çıkış bölgesi, hasar faktörü - uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.



a



b



c

Şekil 4.12. Dört ağızlı takımda çıkış bölgesi, hasar faktörü - uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. f = 0,06 mm/dev için, b. f = 0,12 mm/dev için, c. f = 0,18 mm/dev için.

Genelde, kesme hızına bağılı olarak uç açısının artması ile hasar faktöründe paralel bir artış gözlemlenmiştir.

Şekil 4.10 ele alındığında kesme hızına bağılı olarak ilerlemenin artması ile hasar faktöründe paralel bir artış olduğu görülmüştür. Hasar faktörünün düşük değeri 120° uç açısında, 50 m/dak kesme hızında, asgari değeri ise 60° uç açılı takımında 90 m/dak kesme hızında görülmüştür.

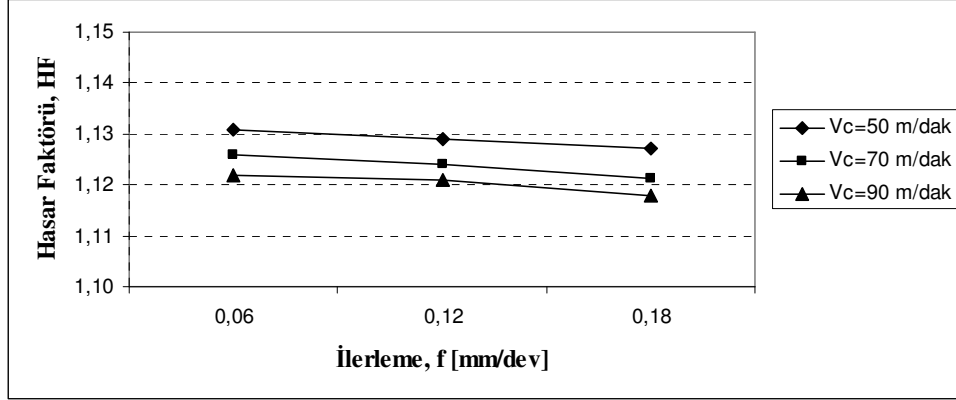
Şekil 4.11.a'da 90 m/dak kesme hızı, 60° uç açısında hasar faktörünün en düşük değeri belirlenmiştir.

Şekil 4.11.b'de 50 m/dak kesme hızı değeri için hasar faktöründe bir değışim görülmemiştir.

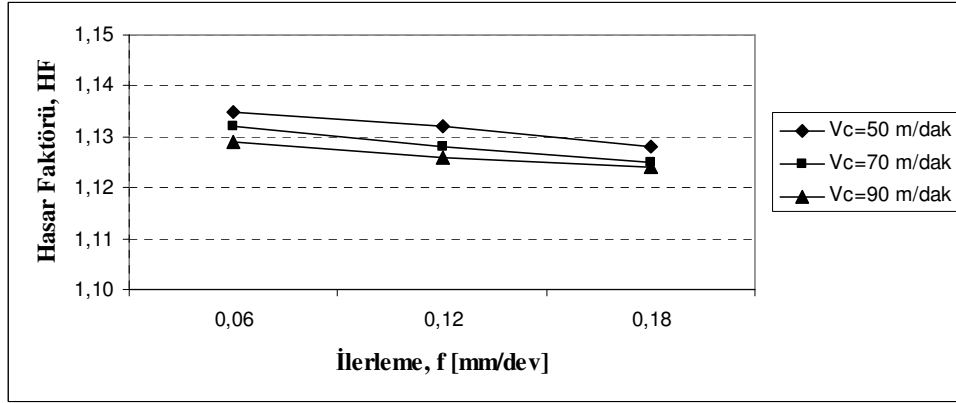
Şekil 4.12.a'da 70 m/dak kesme hızında 90° uç açısında ani bir artış, 120° ise belirgin bir değışim görülmemiştir.

Şekil 4.12.c'de 50 m/dak kesme hızı, 120° uç açısında hasar faktörünün en yüksek değeri belirlenmiştir.

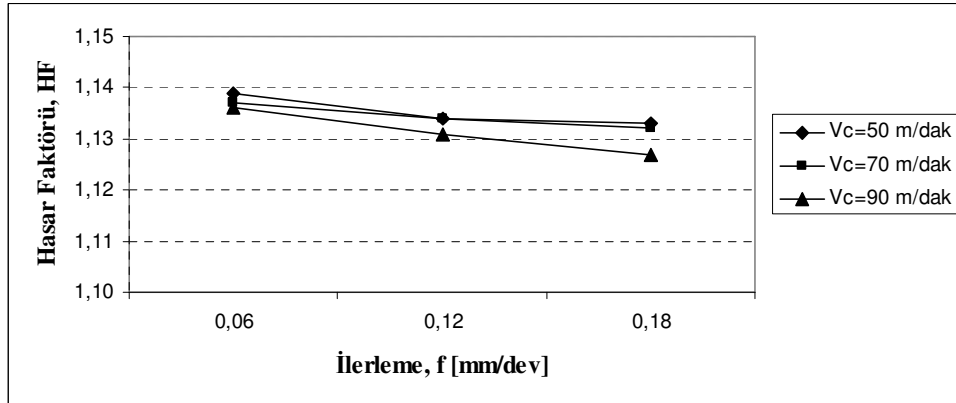
4.5. Delik Girişi İçin Hasar Faktörü - İlerleme Kıyaslama Grafikleri.



a

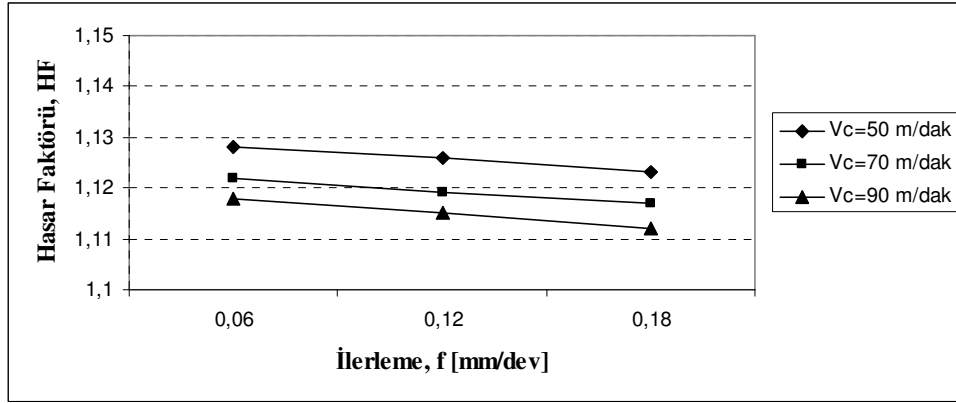


b

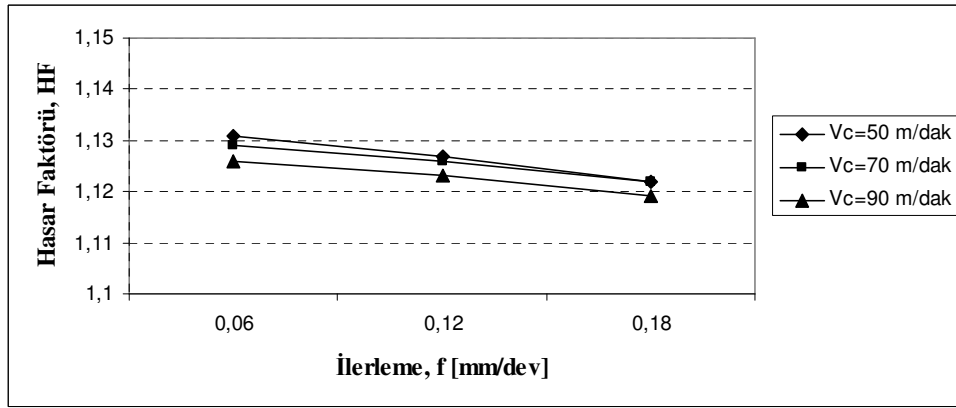


c

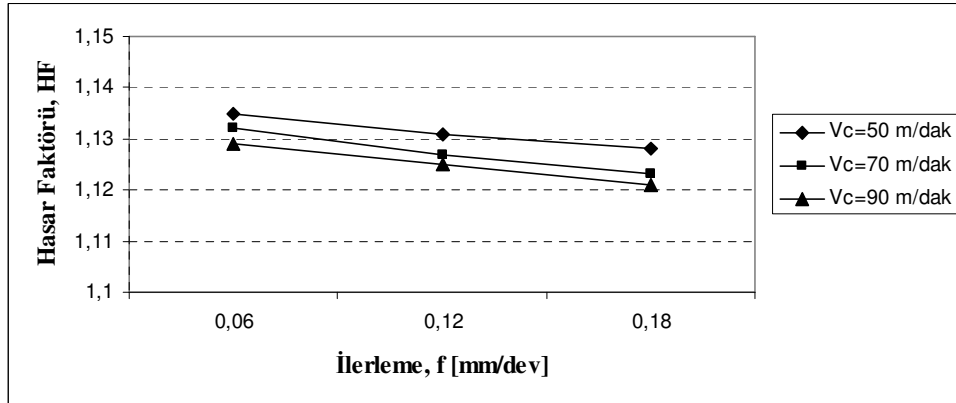
Şekil 4.13. İki ağızlı takımda giriş bölgesi, hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.



a

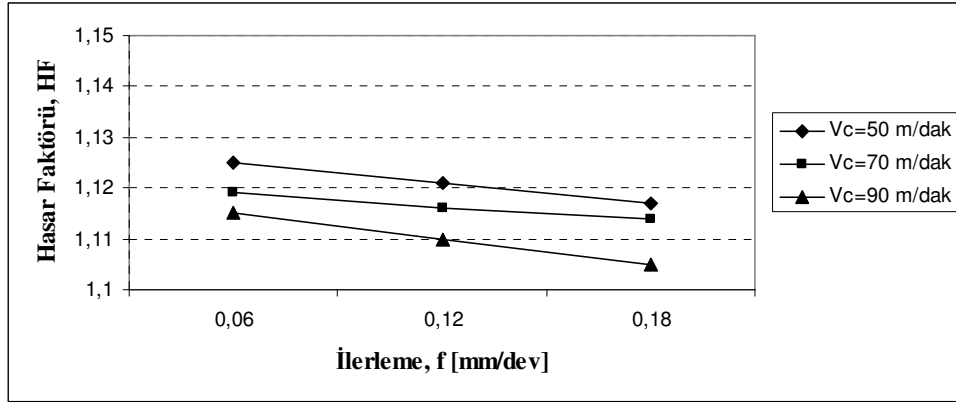


b

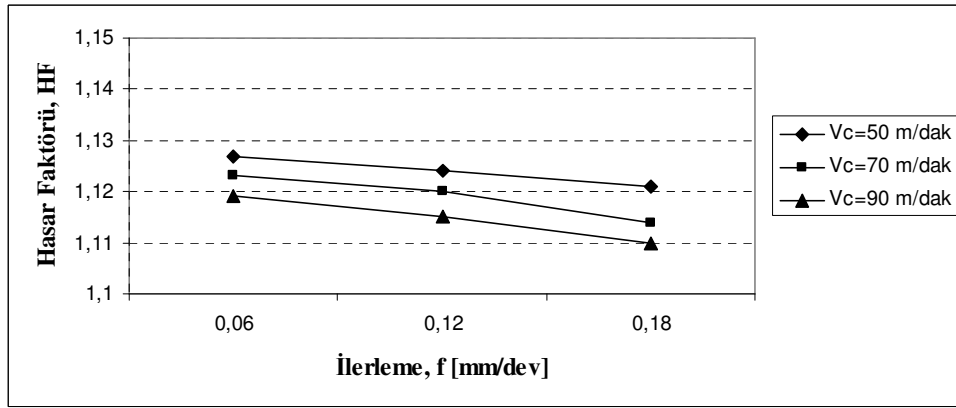


c

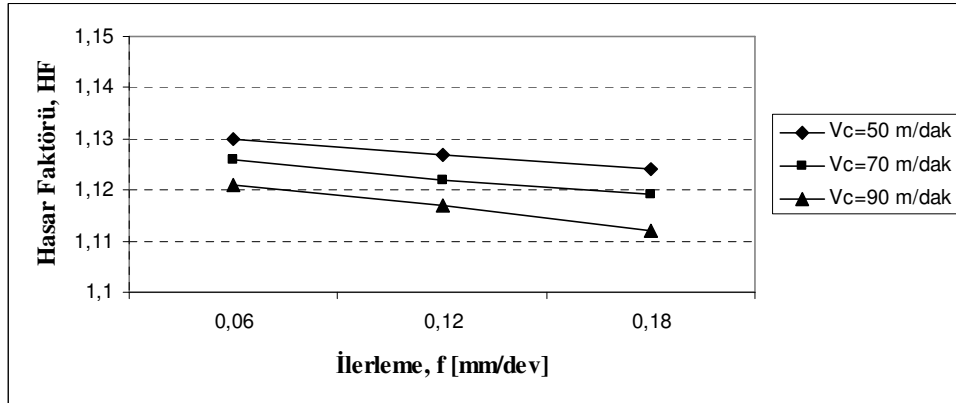
Şekil 4.14. Üç ağızlı takımın giriş bölgesi, hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.



a



b



c

Şekil 4.15. Dört ağızlı takımın giriş bölgesi, hasar faktörü - ilerleme (HF-f) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.

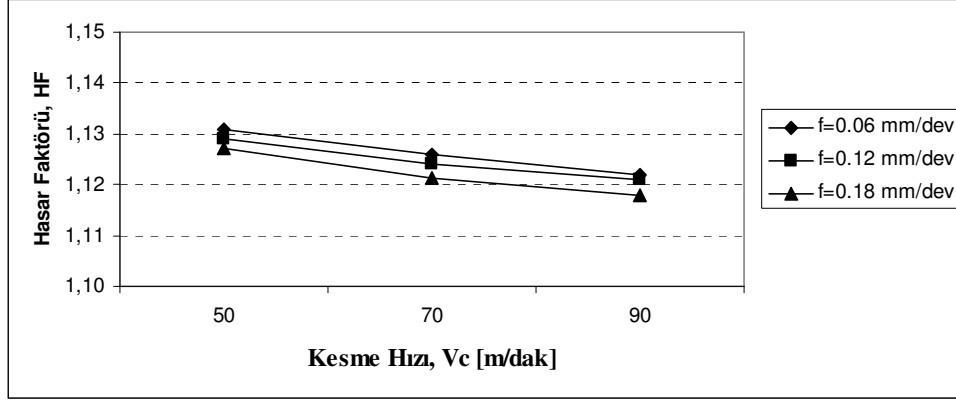
Genelde, kesme hızına bağı olarak ilerlemenin artması ile hasar faktörüne paralel bir azalma olduğı görülmüştür.

Şekil 4.13.c'de 50 ve 70 m/dak kesme hızlarında 0,12 mm/dev ilerleme değeriinde hasar faktöründe ani bir azalma 0,18 mm/dak ilerleme değeriinde ise bir değışim gözlenmemiştir.

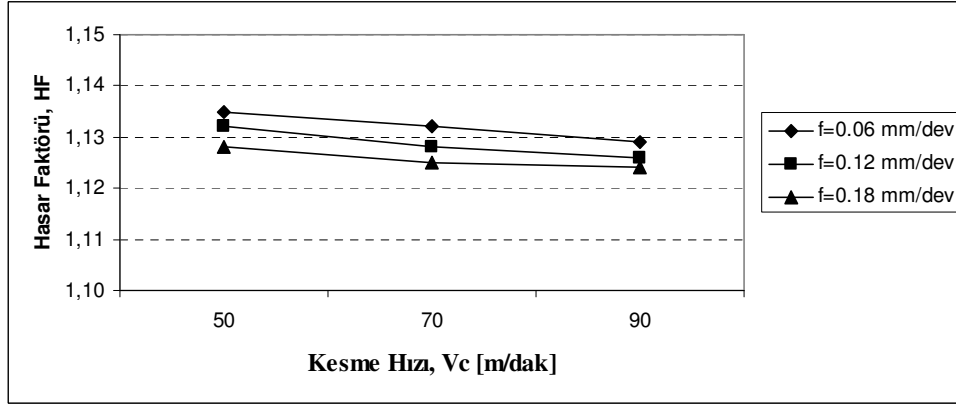
Şekil 4.13.c'de 50 m/dak kesme hızı, 0,06 ilerleme değeriinde hasar faktörünün en yüksek değeri belirlenmiştir.

Şekil 4.15.a'da 90 m/dak kesme hızı, 0,18 mm/dev ilerleme değeriinde hasar faktörünün en düşük değeri belirlenmiştir.

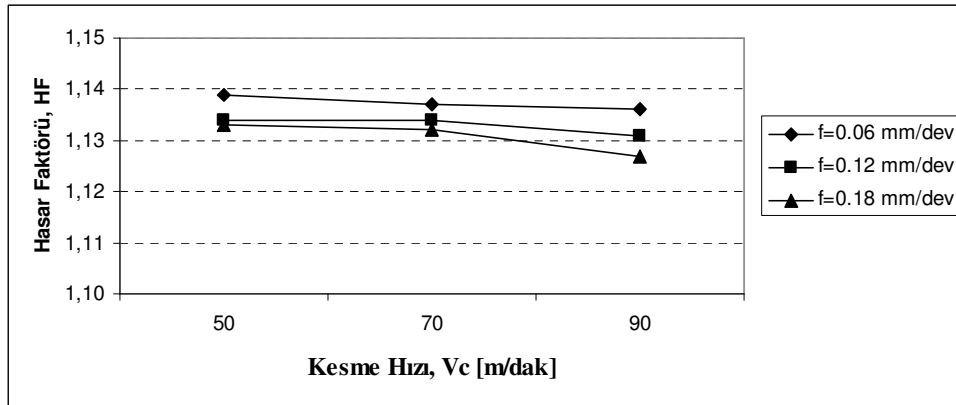
4.6. Delik Girişi İçin Hasar Faktörü - Kesme Hızı Kıyaslama Grafikleri.



a

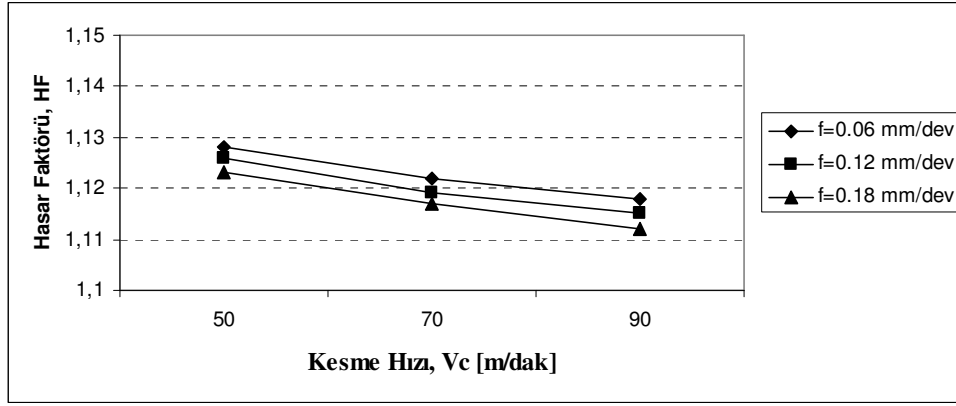


b

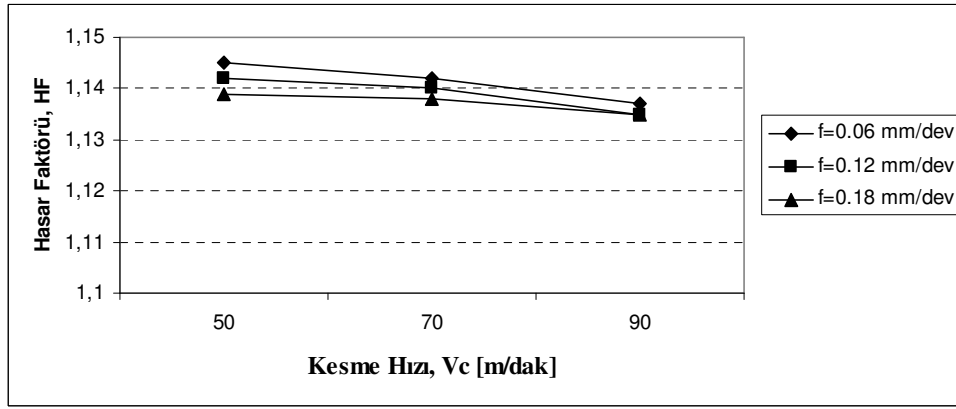


c

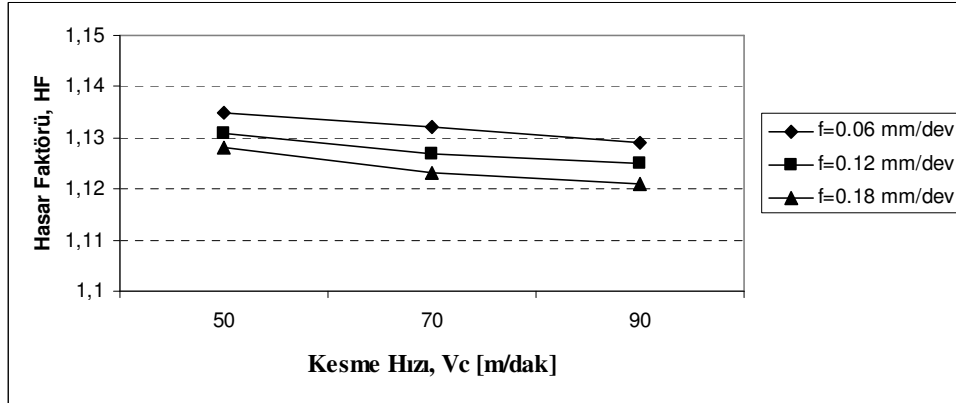
Şekil 4.16. İki ağızlı takımda giriş bölgesi, hasar faktörü - kesme hızı (HF-Vc) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.



a

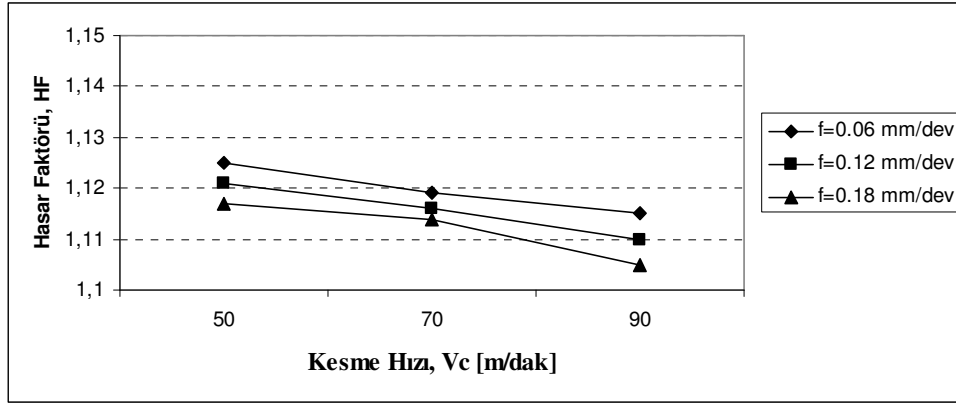


b

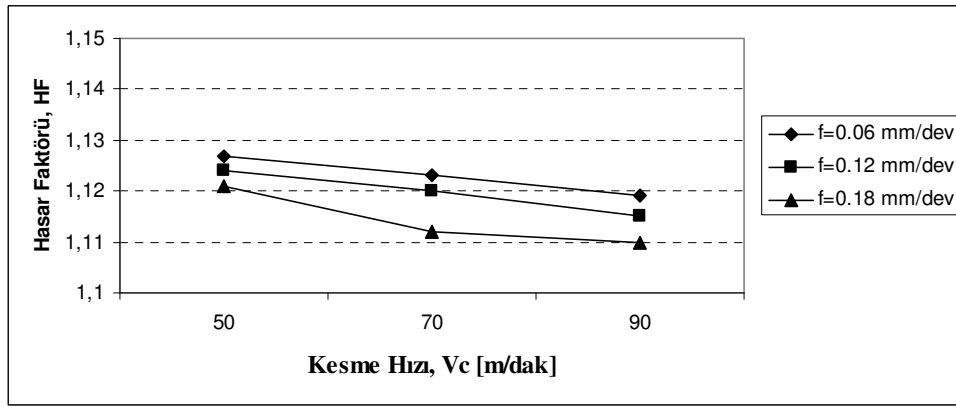


c

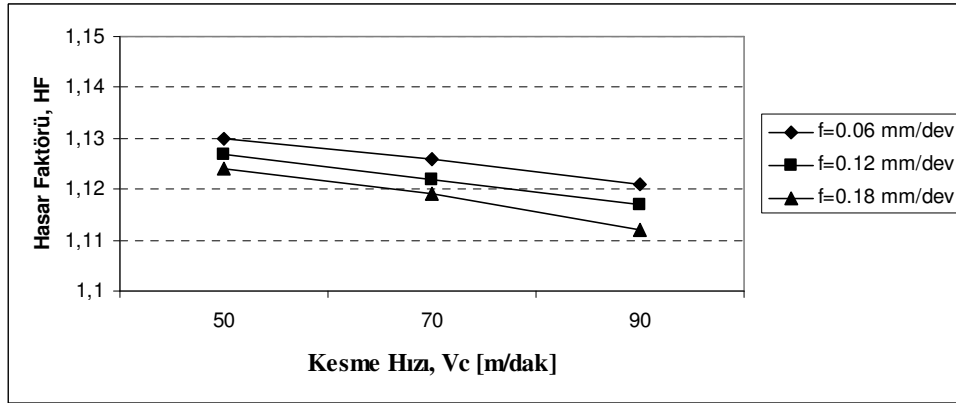
Şekil 4.17. Üç ağızlı takımın giriş bölgesi, hasar faktörü - kesme hızı (HF- V_c) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.



a



b



c

Şekil 4.18. Dört ağızlı takımın giriş bölgesi, hasar faktörü - kesme hızı (HF- V_c) kıyaslama grafikleri a. $\Psi = 60^\circ$ için, b. $\Psi = 90^\circ$ için, c. $\Psi = 120^\circ$ için.

Genelde, ilerleme değerlerine bağlı olarak kesme hızının artması ile hasar faktöründe azalma olduğu görülmüştür.

Şekil 4.16'ele alındığında ilerleme değerlerine bağlı olarak kesme hızının artması ile hasar faktörü değerinde paralel bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Uç açısının artması ile hasar faktöründe az da olsa bir azalma görülmüştür.

Şekil 4.16.c'de 0,12 ve 0,18 mm/dev ilerleme değeri için 70 m/dak kesme hızında hasar faktöründe bir değişme görülmemiş, 90 m/dak kesme hızında 0,12 ve 0,18 mm/dev ilerleme değerinde ise hasar faktöründe ani bir düşüş görülmüştür.

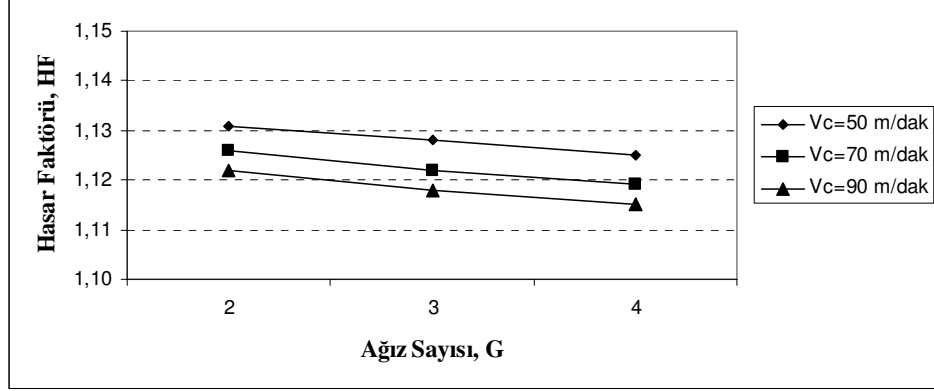
Şekil 4.17'de kesme hızının artması ile hasar faktöründe azalma görülmüştür. Uç açısının artması ile de ilerleme miktarlarına bağlı olarak hasar faktöründe azalma görülmüştür.

Şekil 4.17.b'de 0,06 mm/dev ilerleme, 50 m/dak kesme hızında hasar faktörünün en yüksek değeri belirlenmiştir.

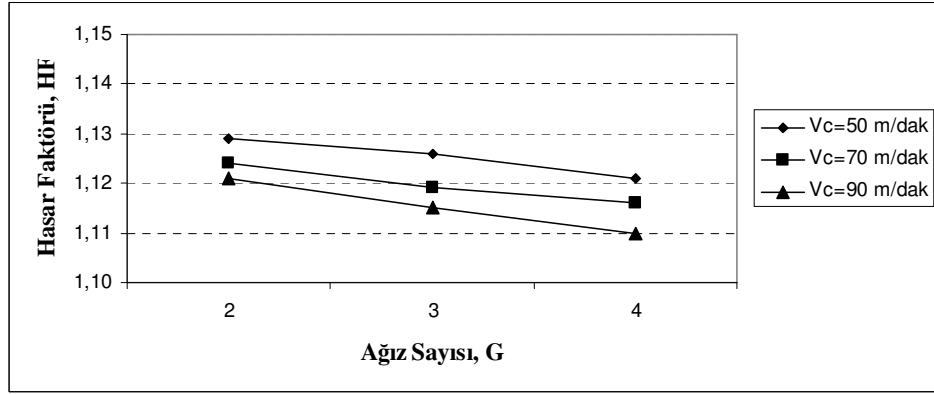
Şekil 4.18.a'da 0,18 mm/dev ilerleme, 90 m/dak kesme hızında hasar faktörünün en düşük değeri belirlenmiştir.

Şekil 4.18.b'de 0,18 mm/dev ilerleme, 70 m/dak kesme hızında hasar faktöründe ani bir düşme 90 m/dak kesme hızında ise belirgin bir değişim görülmemiştir.

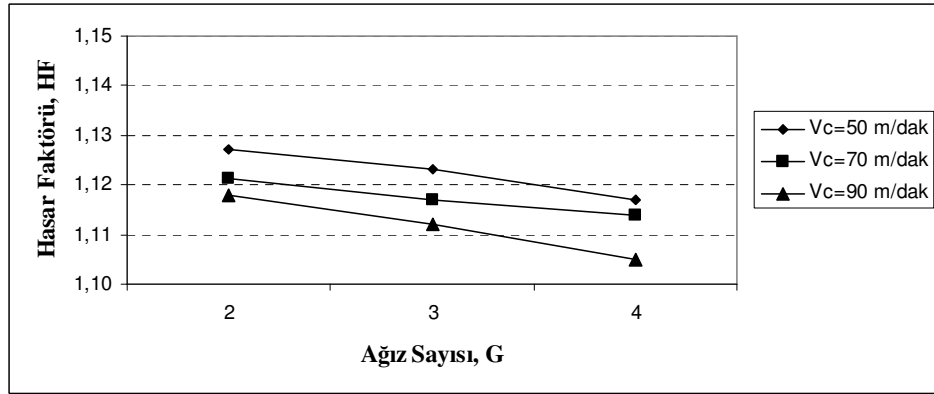
4.7. Delik Girişi İçin Hasar Faktörü - Ağız Sayısı Kıyaslama Grafikleri.



a

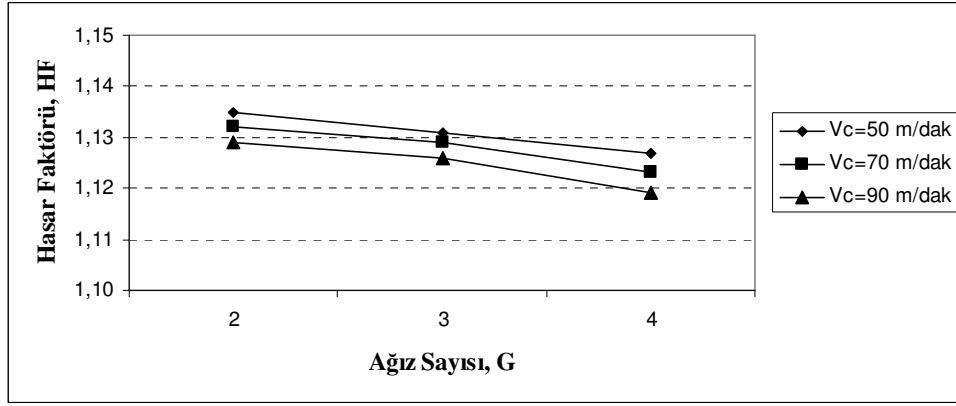


b

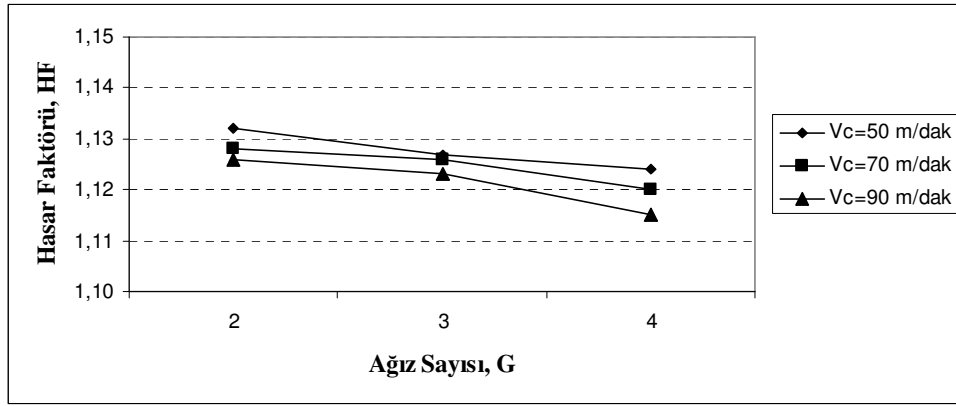


c

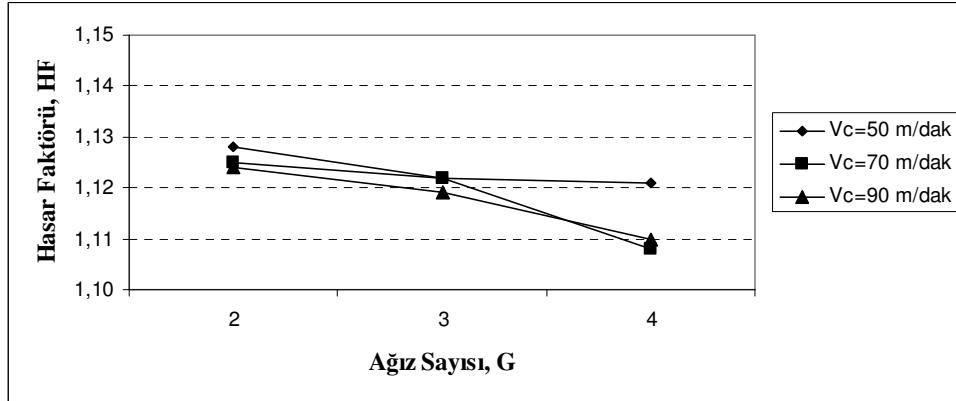
Şekil 4.19. 60° uç açılı takımda giriş bölgesi, hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.



a

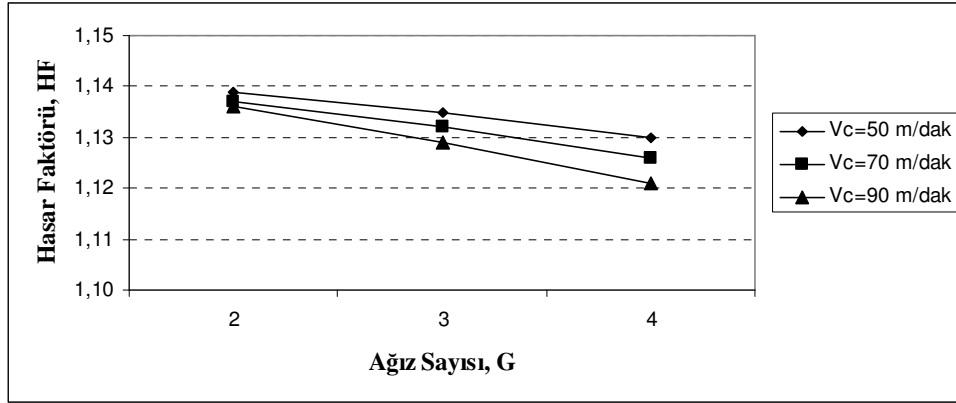


b

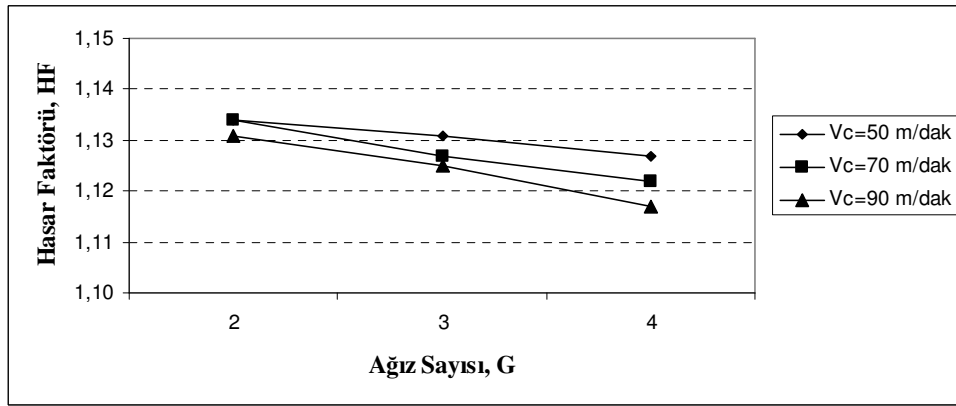


c

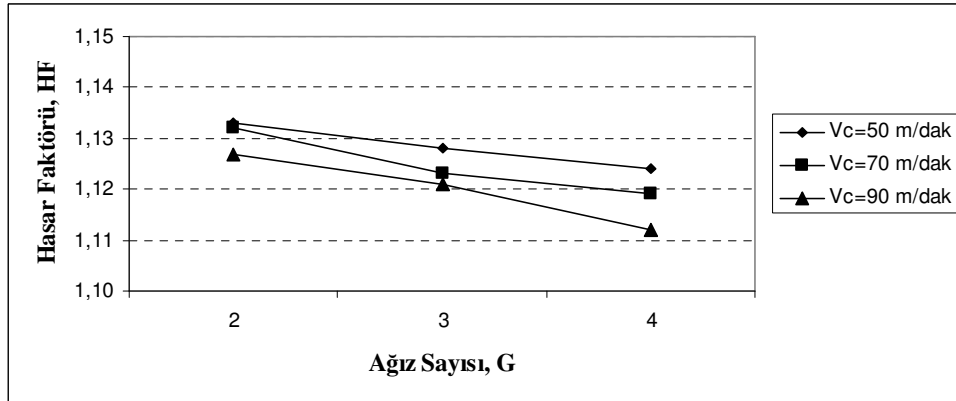
Şekil 4.20. 90° uç açılı takımında giriş bölgesi, hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.



a



b



c

Şekil 4.21. 120° uç açılı takımda giriş bölgesi, hasar faktörü - ağız sayısı (HF-G) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.

Genelde, kesme hızı değerlerine bağlı olarak ağız sayısının artması ile hasar faktörünün azaldığı belirlenmiştir. Uç açısının artması ile hasar faktörünün de az da olsa arttığı görülmüştür.

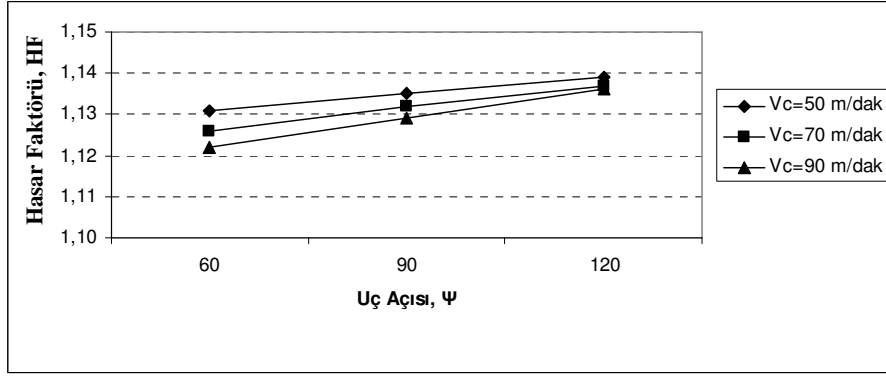
Şekil 4.19' ele alındığında kesme hızına bağlı olarak ilerlemenin artmasıyla hasar faktörü de azalmıştır.

Şekil 4.19.c'de Hasar faktörünün en düşük değeri 4 ağızlı takımında, 90 m/dak kesme hızında belirlenmiştir.

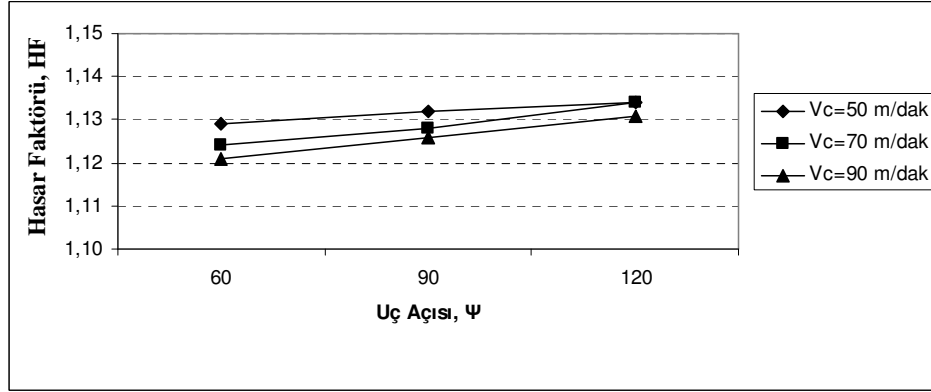
Şekil 4.20.c'de 70 ve 90 m/dak kesme hızları için 4 ağızlı takımında hasar faktöründe ani bir azalma görülmektedir.

Şekil 4.21.a'da 50 m/dak kesme hızında 2 ağızlı takımında hasar faktörünün en yüksek değeri belirlenmiştir.

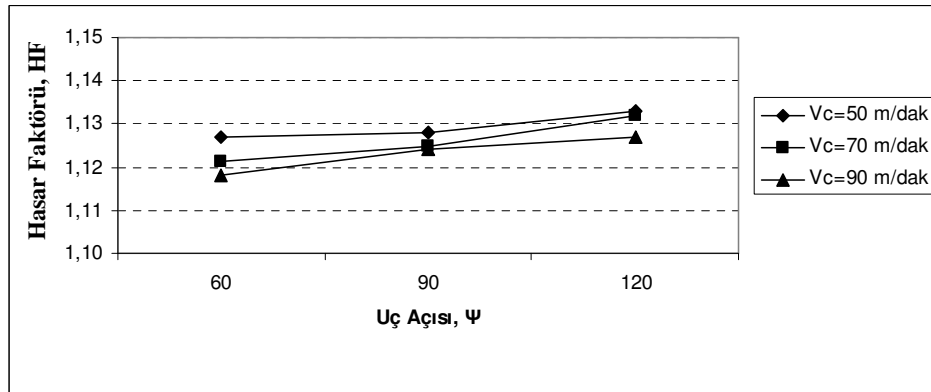
4.8. Delik Girişi İçin Hasar Faktörü- Uç Açısı Kıyaslama Grafikleri.



a

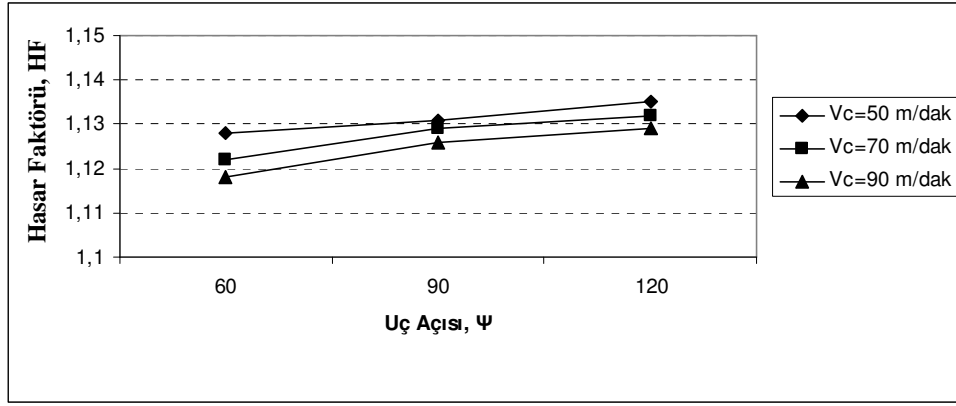


b

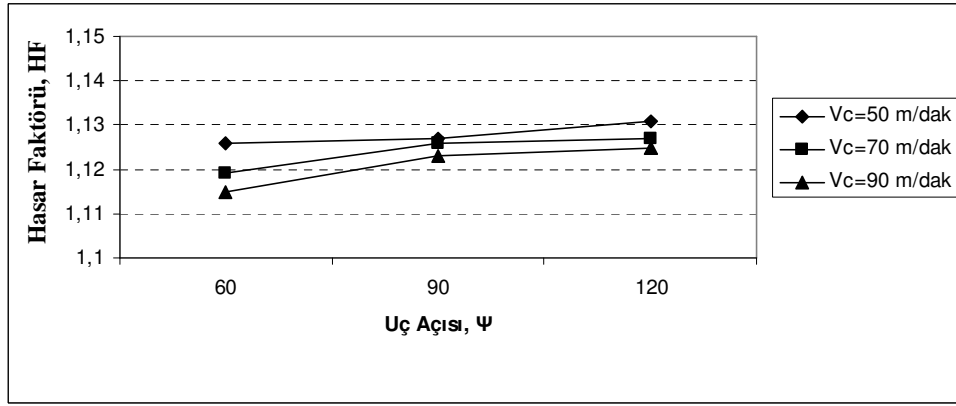


c

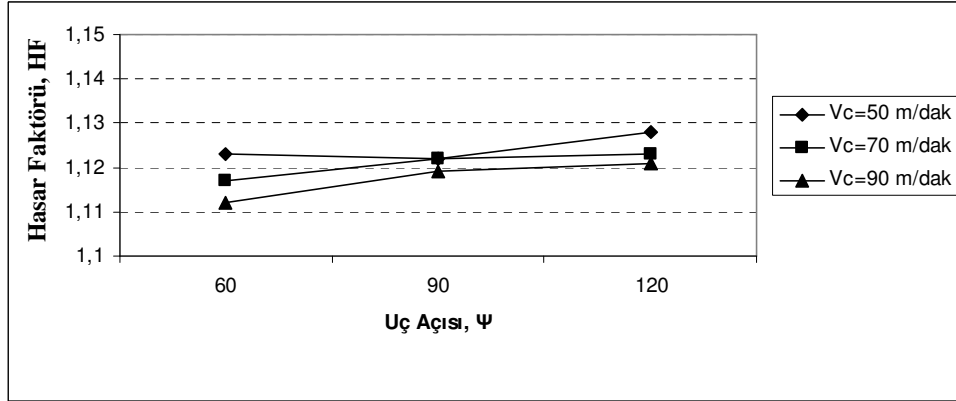
Şekil 4.22. İki ağızlı takımında giriş bölgesi, hasar faktörü - uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.



a

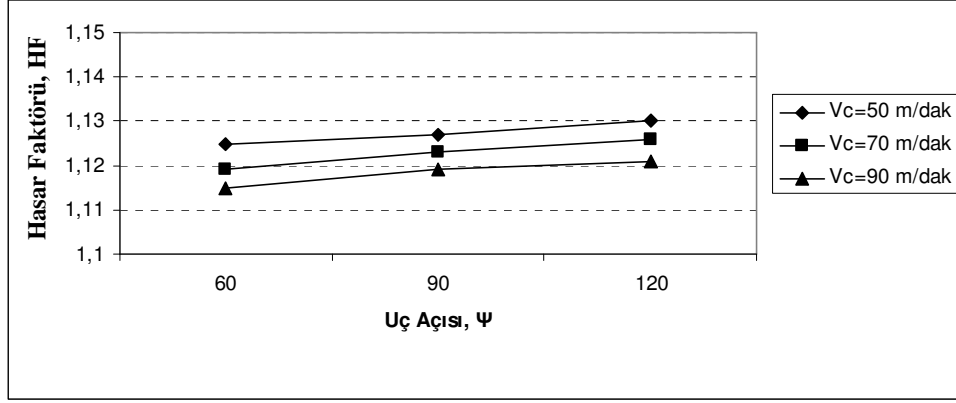


b

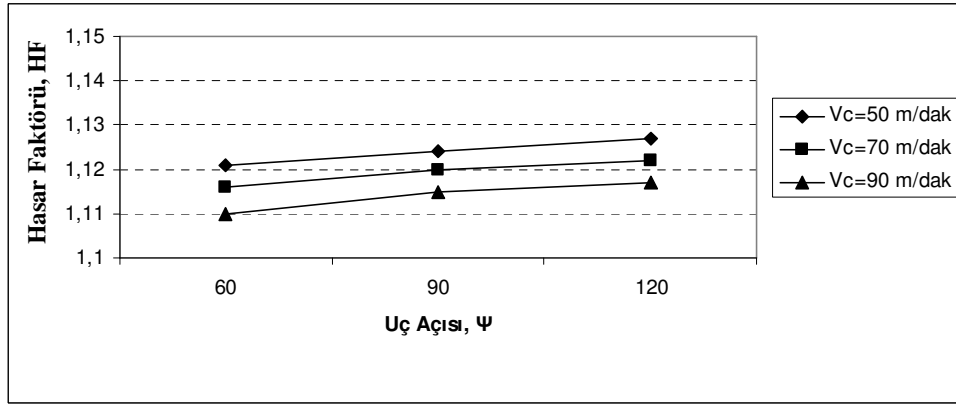


c

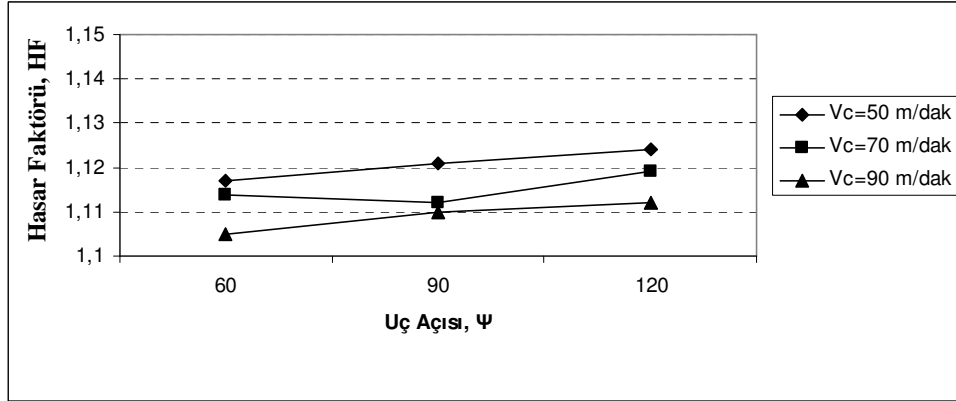
Şekil 4.23. Üç ağızlı takımda giriş bölgesi, hasar faktörü-uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.



a



b



c

Şekil 4.24. Dört ağızlı takımda giriş bölgesi, hasar faktörü-uç açısı (HF- Ψ) kıyaslama grafikleri a. $f = 0,06$ mm/dev için, b. $f = 0,12$ mm/dev için, c. $f = 0,18$ mm/dev için.

Genel olarak giriş bölgesinde uç açısının artması ile hasar faktörünün arttığı görülmüştür. İlerleme miktarının artması ile hasar faktöründe az da olsa bir azalma olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.22.a'da 50 m/dak kesme hızı, 120° uç açısında hasar faktörünün en yüksek değeri belirlenmiştir.

Şekil 4.23'de 50 m/dak kesme hızında 60° ve 90° uç açıları için hasar faktöründe bir değişim görülmemiş, 120° uç açısında ise ani bir artış görülmüştür.

Şekil 4.24.c'de ise dört ağızlı takım için 50 m/dak kesme hızına bağlı olarak, 60° uç açısında hasar faktörünün en düşük değeri belirlenmiştir.

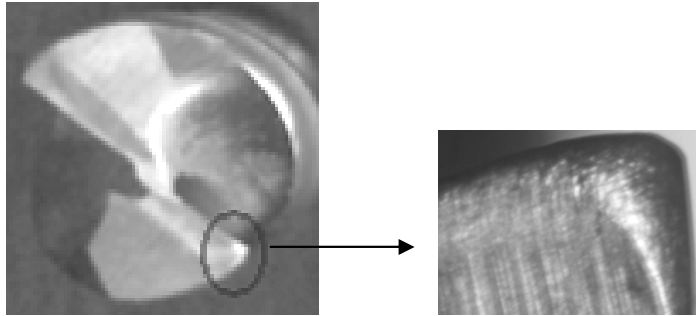
Şekil 4.24.c'de ise dört ağızlı takım için 70 m/dak kesme hızına bağlı olarak, 90° uç açısında hasar faktöründe bir değişim görülmemiştir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

5.1. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Camelyaf takviyeli plastik kompozitlerin delinmesi işleminde cam oranının yüksek olması (% 90 oranında camelyaf) sebebi ile etken talaş davranışını cam yönlendirmiştir. Plastiğin etkisi yok denebilecek kadar azdır. Cam parçacıklarının iş parçası yüzeyi ile takım arasına gelmesi sonucunda kesici takımlarda kenar aşınmaları oluşmuştur. Kenar aşınması Şekil 5.1’de görülmektedir.



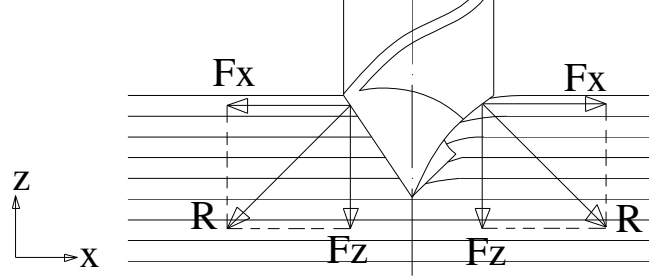
Şekil 5.1. Kesici takımda oluşan kenar aşınması.

DeneySEL sonuçların daha iyi elde edilebilmesi için her üç deneyde bir takımların değiştirilmelerinden dolayı çok ciddi aşınma kayıpları gözlenmemiştir.

CTP malzemelerin delinmesinde, malzemenin karmaşık yapısından dolayı değişik sonuçlar görülebilmektedir.

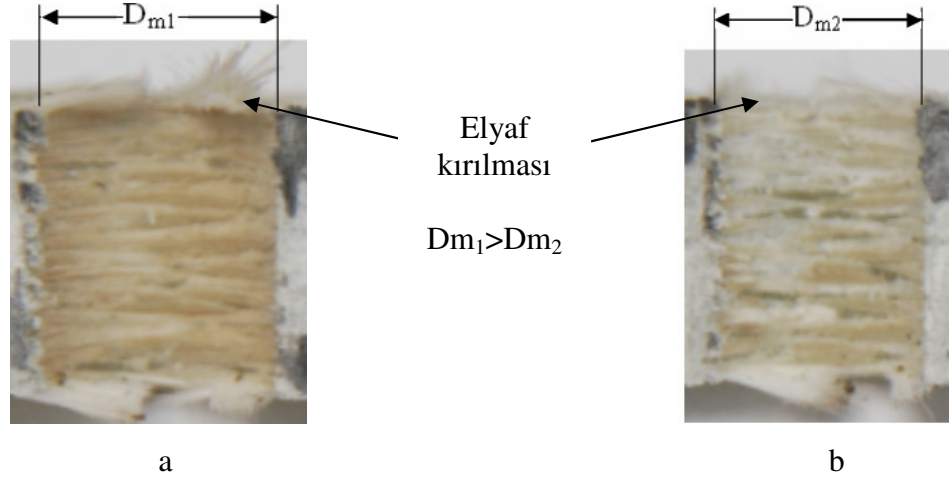
Delğin giriş bölgesi için ilerlemenin artması ile hasar faktörünün azaldığı görülmüştür. Camelyaf’ın delinmesinde camın aşındırıcı ve kırılğan bir yapıya sahip olmasından dolayı sürekli talaş oluşumu görülmez. Delme sırasında bir ağza karşılık

gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin bileşenleri, yani ilerleme kesme kuvveti (F_z), radyal kesme kuvveti (F_x) ve bileşke kuvvet (R) Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Delme esnasında oluşan kesme kuvvetleri.

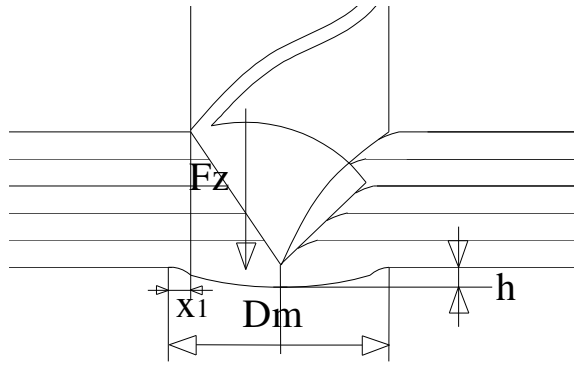
İlerlemenin artması ile ilerleme kesme kuvveti (F_z) daha etkin bir kuvvet olur. Elyaflar X eksenine doğru hareket edemeden içeri bükülür. Malzeme Z eksenine doğru helis kanallarına alınır ve dışarı atılır. Sonuç olarak giriş bölgelerinin temiz ve az hasarlı olması istenen deliklerin yüksek ilerleme değerleri ile delinmesi önerilmektedir. İlerlemeye bağlı olarak giriş bölgesinde oluşan hasar Şekil 5.3'de görülmektedir.



Şekil 5.3. 2 Ağızlı 60° uç açılı takımında farklı ilerleme değerlerinde giriş bölgelerinde oluşan hasar a. 100 mm/dak, b. 400 mm/dak.

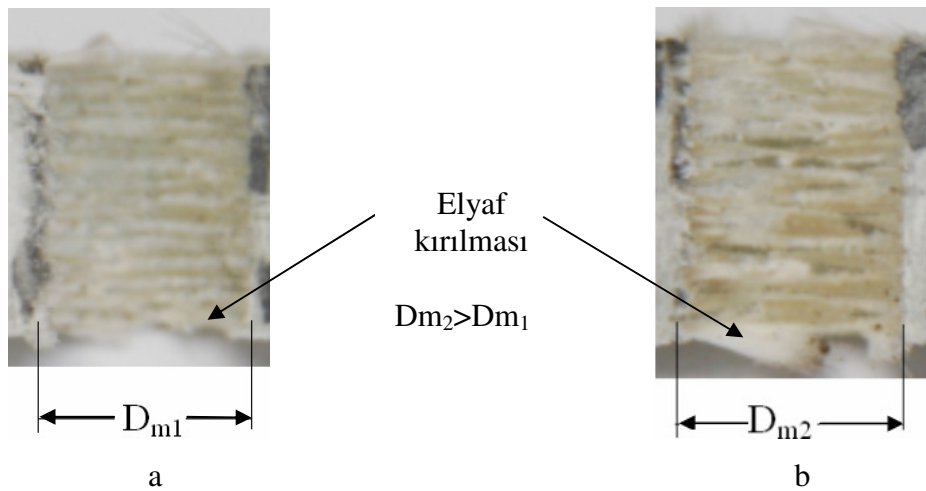
Yapılan çalışmada ilerlemenin artması ile delik giriş bölgesinde oluşan hasar faktörünün azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç Mohan et al. (2007) ve Rubio et al. (2008) çalışmaları ile zıtlık göstermektedir.

Delik çıkış bölgesi için ilerlemenin artması ile hasarın arttığı görülmüştür. Bunun nedeni kesilme sonucunda delik içerisine dolan camelyafları matkap'ın helisel kanallarından bir kısmının atılamaması, matkap uç noktasında plastik deformasyonun yavaşlaması ve baskın kuvvet olan F_z 'nin oluşturduğu gerilmelerdir. F_z kuvvetinin oluşturduğu gerilmeler sebebi ile delik çıkışına doğru alt katmanlarda tabakalara ayırma h yüksekliğinin artması ile deformasyon bölgesinde hasar çapını belirleyen x_1 genişliği artar. Bunun sonucunda D_m hasar genişliğinin arttığı görülmüştür. Çıkış bölgesinde oluşan hasar yapısı Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4. Çıkış bölgesinde oluşan hasar yapısı.

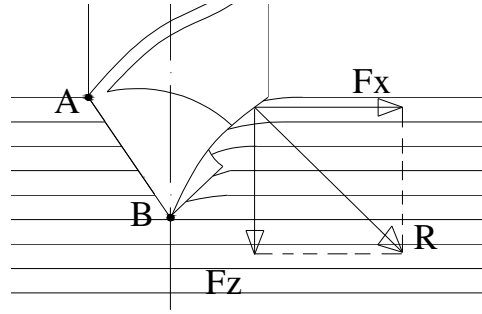
Delik çıkış bölgesinde oluşan hasarın azaltılması için düşük ilerleme değerleri tercih edilmelidir. İlerlemeye bağlı olarak çıkış bölgesinde oluşan hasar Şekil 5.5'de görülmektedir.



Şekil 5.5. 2 Ağızlı 60° uç açılı takımda farklı ilerleme değerlerinde çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 100 mm/dak, b. 400 mm/dak.

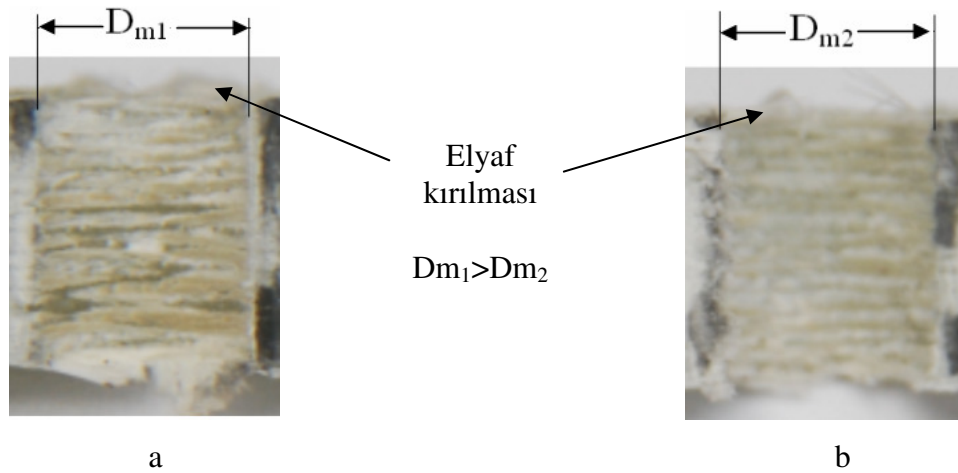
İlerlemenin artması ile delik çıkış bölgesinde hasar faktörünün arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç Taso (2007b), Davim et al. (2004b), Mohan et al. (2007) çalışmaları ile paralellik göstermektedir.

Delik giriş bölgesi için kesme hızının artması ile hasar faktörünün azaldığı görülmüştür. Geleneksel kesme formülü $V_c = \pi.D.n/1000$ 'e bağlı olarak kesme hızının artması ile devir artmaktadır. A noktasında tezgaha verilen devir en yüksek, B noktasında ise devir en düşük olmaktadır. Yüksek kesme hızlarında plastik deformasyon daha hızlı yaşanacağından kesme olayı kendisini daha güçlü hissettirir. Delik giriş bölgesinde oluşan kuvvetler Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6. Giriş bölgesinde oluşan kuvvetler.

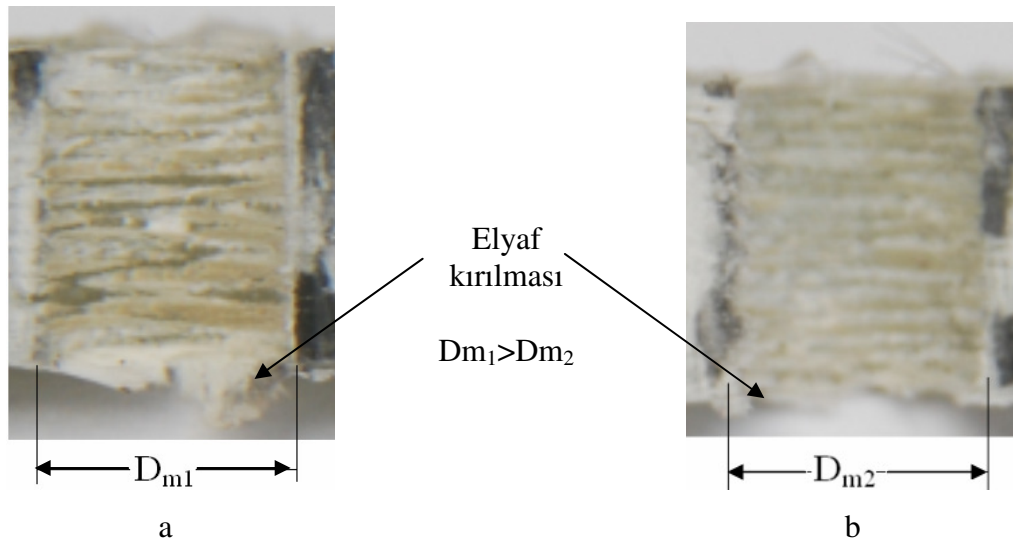
Kesme hızı arttıkça aktif bir kesme yaşanır kopma asgari edilir. Giriş bölgesinde oluşan hasarın azaltılması için yüksek kesme hızı tavsiye edilmektedir. Kesme hızına bağlı olarak giriş bölgesinde oluşan hasar Şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.7. 2 Ağızlı 60° uç açılı takımında farklı kesme hızı değerlerinde giriş bölgelerinde oluşan hasar a. 50 m/dak, b. 90 m/dak.

Kesme hızının artması ile delik giriş bölgesinde hasar faktörünün azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç Mohan et al. (2007), Rubio et al. (2008) çalışmaları ile paralellik göstermektedir.

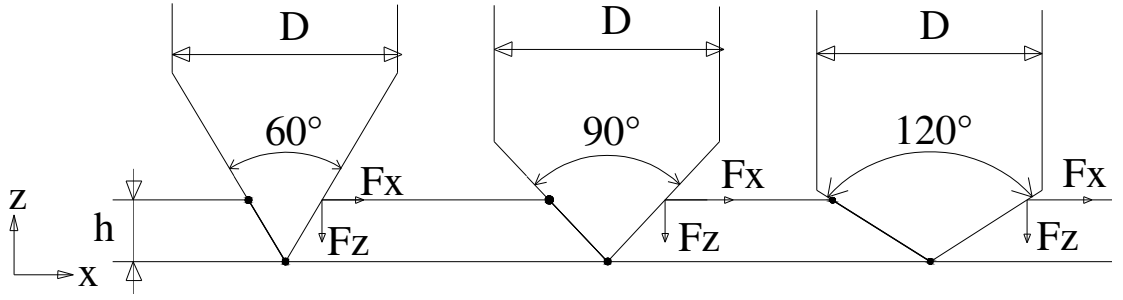
Delik çıkış bölgesi için kesme hızının artması ile hasarın azaldığı görülmüştür. Çıkış bölgesinde hasar faktörünü etkileyen özellikler giriş bölgesinin aynısıdır. Çıkış bölgesinde oluşan hasarın azaltılması için yüksek kesme hızı tavsiye edilmektedir. Kesme hızına bağlı olarak çıkış bölgesinde oluşan hasar Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8. 4 Ağızlı 90° uç açılı takımda farklı kesme hızı değerlerinde çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 50 m/dak, b. 90 m/dak.

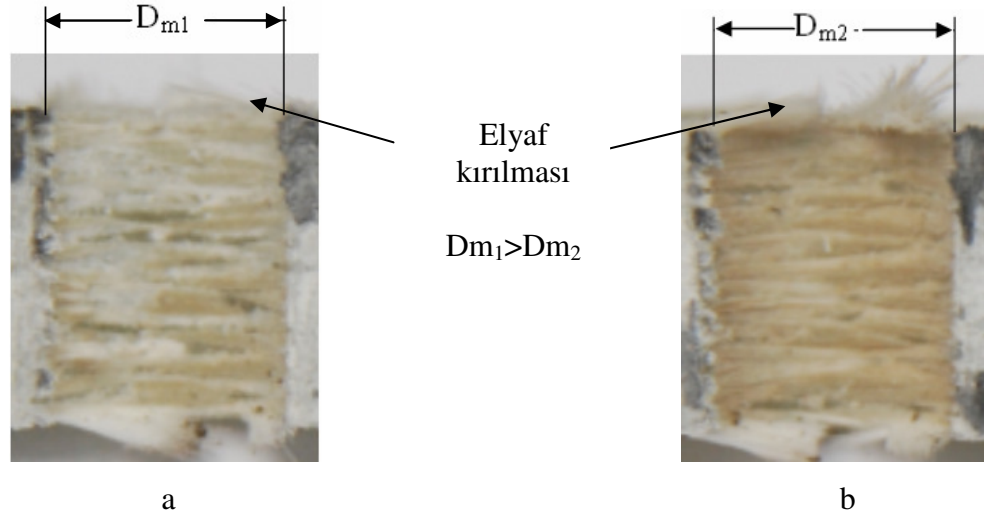
Kesme hızının artması ile delik çıkış bölgesinde hasar faktörünün azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç Davim et al. (2004a) çalışmaları ile zıtlık, Mohan et al. (2007) çalışmaları ile paralellik göstermektedir.

Delik giriş bölgesi için uç açısının artması ile hasar faktörünün arttığı görülmüştür. Uç açısının artması ile radial kesme kuvveti (Fx), ilerleme kesme (Fz) kuvvetinden daha etkin rol almaya başlar. Deformasyon bölgesinde radyal kuvvetlerin oluşturduğu baskılar sebebi ile talaşlar X ve Y eksenine doğru itilir ve daha hasarlı delikler elde edilir. Giriş bölgesinde oluşan kuvvetler Şekil 5.9’da görülmektedir.



Şekil 5.9. Giriş bölgesinde oluşan kuvvetler.

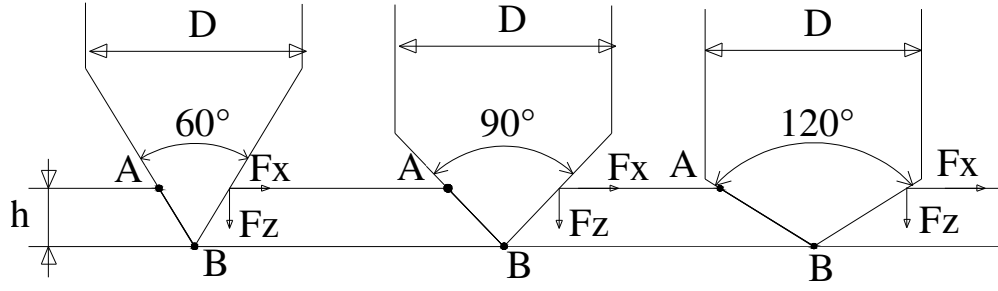
Giriş bölgesinde oluşan hasarın azaltılması için dar uç açılarında takımlar tavsiye edilmektedir. Uç açısına bağlı olarak giriş bölgesinde oluşan hasar Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5.10. 2 Ağızlı takımda farklı uç açılarında giriş bölgelerinde oluşan hasar a. 90°, b. 60° için.

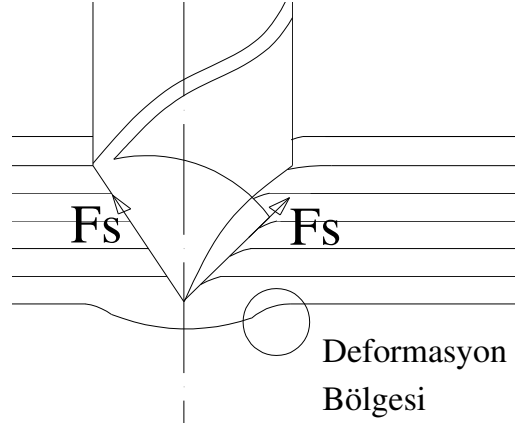
Uç açısının artması ile giriş bölgesinde hasar faktörünün arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç Rubio et al. (2008), Bhatnagar et al. (2008) çalışmaları ile paralellik göstermektedir.

Delik çıkış bölgesi için uç açısının artması ile hasar faktörünün arttığı görülmüştür. Çıkış bölgesinde aynı h yüksekliği için uç açısının artması ile geleneksel sürtünme kuvveti formülünden $F_s = \tau \cdot l_{AB} \cdot h$, kayma gerilmesi τ sabit olduğu için l_{AB} boyu artmaktadır. Uç açısı l_{AB} boyu arasındaki ilişki Şekil 5.11'de görülmektedir.



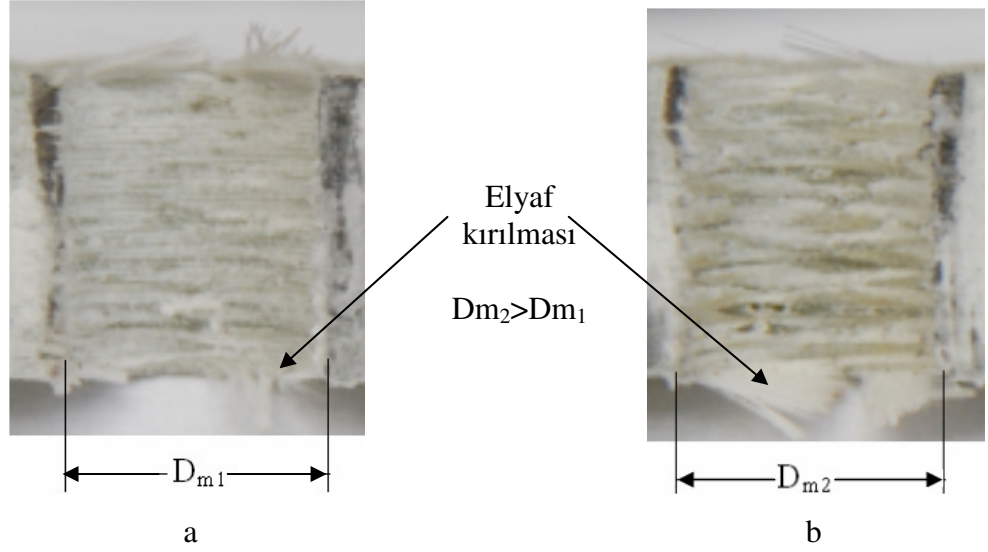
Şekil 5.11. Uç açısının artması ile l_{AB} boyunun artışı.

Sürtünme kuvvetinin artması ile talaşın iş parçasından ayrılması zorlaşır ve deformasyon bölgesi büyür. Deformasyon bölgesinin büyümesi çıkışta oluşan hasarı artırır. Çıkışta oluşan deformasyon bölgesi Şekil 5.12'de görülmektedir.



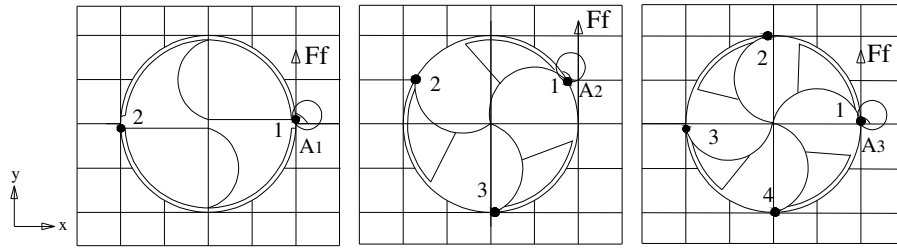
Şekil 5.12. Çıkışta oluşan deformasyon bölgesi.

Çıkış bölgesinde oluşan hasarın azaltılması için dar ($< 90^\circ$) uç açısında takımlar tavsiye edilmektedir. Uç açısına bağlı olarak çıkış bölgesinde oluşan hasar Şekil 5.13'de görülmektedir.



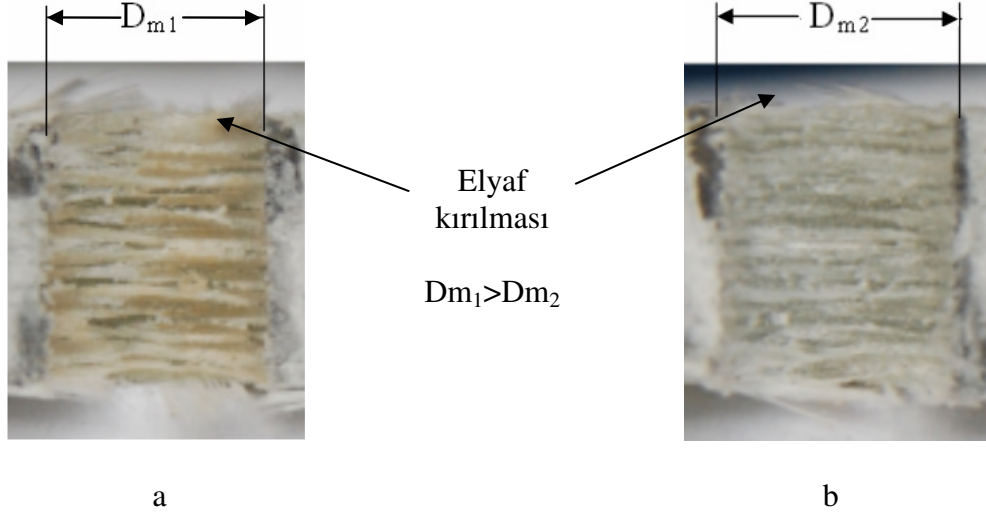
Şekil 5.13. 3 Ağızlı takımda farklı uç açılarında çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 60°, b. 120° için.

Delik giriş bölgesi için ağız sayısının artması ile hasar faktörünün azaldığı görülmüştür. Sabit kesme hızında takımlar ağız sayılarının artması ile iki kesme noktası arasında geçen süre azalır. Bu süre iki ağızlı takımda azami, dört ağızlı takım için asgari olur. Kesici kenar sayısının artması ile kenar başına düşen talaş miktarında azalır. Ağız sayılarına göre kesme noktaları Şekil 5.14’de görülmektedir.



Şekil 5.14. Ağız sayılarına göre kesme noktaları ve deformasyon bölgesi.

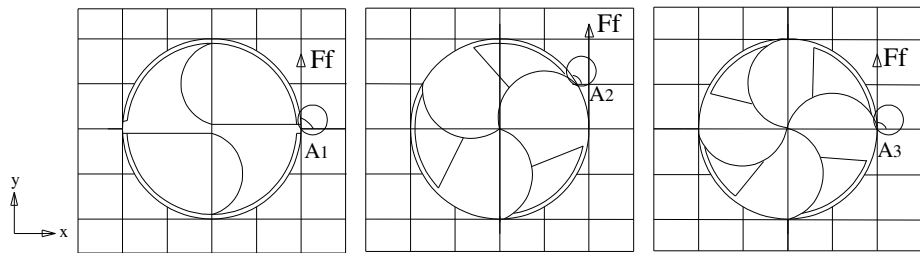
Ağız sayısının artması ile deformasyon bölgesinde kesme olayı kendisini daha güçlü hissettirir buda talaşın iş parçasından daha hızlı ayrılacağı anlamına gelir Aktif bir kesme yaşanır kopma minimize edilir. Giriş bölgesinde oluşan hasarın azaltılması için çok ağızlı takımlar tavsiye edilmektedir. Ağız sayısına bağlı olarak delik giriş bölgesinde oluşan hasar Şekil 5.15’de görülmektedir.



Şekil 5.15. 90° uç açılı takımlarda farklı ağız sayılarında giriş bölgelerinde oluşan hasar a. 2 ağızlı, b. 3 ağızlı.

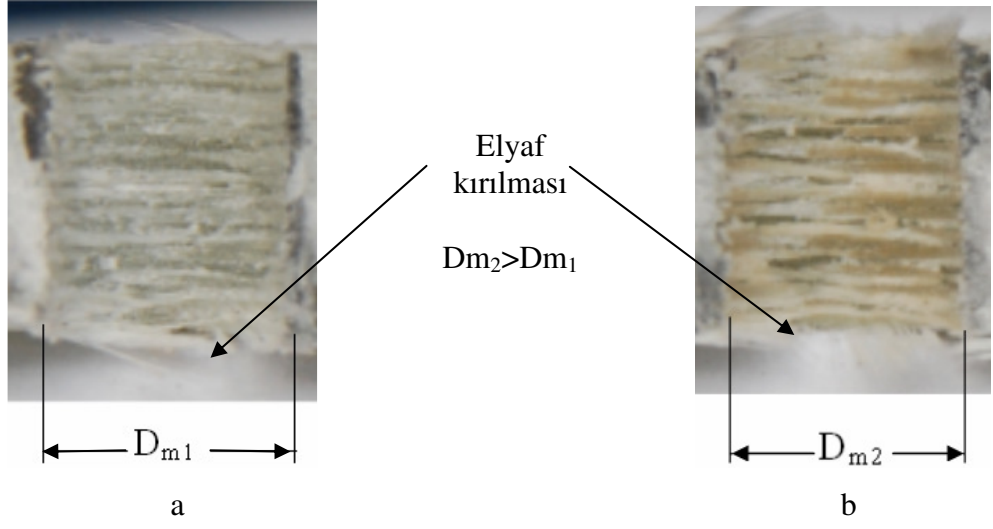
Ağız sayısının artması ile delik giriş bölgesinde hasar faktörünün azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç Taso (2007b) çalışması ile paralellik göstermektedir.

Delik çıkış bölgesi için ağız sayısının artması ile hasar faktörünün arttığı görülmüştür. Takımın ağız sayısının artması ile kesici kenarların iş parçasına temas eden yüzey alanı genişler. Kesici ağız sayısının artması ile helisel kanallar daralır kanal içerisinde talaşların hareket etmesi zorlaşır. Alt elyaf katmanlarına doğru baskı uygular ve deformasyon bölgesi $A_3 > A_2 > A_1$ büyür. Deformasyon bölgesi Şekil 5.16'da görülmektedir.



Şekil 5.16. Delme işlemi esnasında çıkış bölgesinde oluşan deformasyon bölgesi.

Deformasyon bölgesinin artması ile kesme olayı daha zor gerçekleşir ve buda talaşın iş parçasından daha zor ayrılacağı anlamına gelir. Aktif bir kesme olayı görülmez kopma artar. Elyaf diziliminde yaşanan bu kopma olayı sonucunda çıkış bölgesinde oluşan hasar artar. Delik çıkış bölgesinde oluşan hasar Şekil 5.17'de görülmektedir.



Şekil 5.17. 90° uç açılı takımlarda farklı ağız sayılarında çıkış bölgelerinde oluşan hasar a. 2 ağızlı, b. 3 ağızlı.

5.2. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir, :

Genel olarak çıkış bölgesinde oluşan hasar faktörü giriş bölgesinden daha büyük olmasının temel nedeni CTP'nin alt katmanlarında oluşan kayma gerilmeleridir.

- İlerlemenin artması ile giriş bölgesinde oluşan hasarın azaldığı görülmüştür.
- İlerlemenin artması ile çıkış bölgesinde oluşan hasarın arttığı görülmüştür.
- Kesme hızının artması ile giriş bölgesinde oluşan hasarın azaldığı görülmüştür.
- Kesme hızının artması ile çıkış bölgesinde oluşan hasarın azaldığı görülmüştür.
- Uç açısının artması ile giriş bölgesinde oluşan hasarın arttığı görülmüştür.
- Uç açısının artması ile çıkış bölgesinde oluşan hasarın arttığı görülmüştür.
- Ağız sayısının artması ile giriş bölgesinde oluşan hasarın azaldığı görülmüştür.
- Ağız sayısının artması ile çıkış bölgesinde oluşan hasarın arttığı görülmüştür.

Hasır yapıda 90° elyaf oryantasyonlu CTP malzemeler işlenirken;

- Delik giriş bölgelerinde oluşan hasarların azaltılması isteniyor ise kesme parametreleri için yüksek kesme hızı (90 m/dak), yüksek ilerleme (0.18 mm/dev). Takım geometrisi seçiminde 3 – 4 ağızlı dar uç açılarında takım tercih edilmelidir.
- Delik çıkış bölgelerinde oluşan hasarların azaltılması isteniyor ise kesme parametreleri için yüksek kesme hızı (90 m/dak), düşük ilerleme (0.06 mm/dev). Takım geometrisi seçiminde 2 ağızlı dar uç açılarında (60° - 90°) takım tercih edilmelidir.

- Delik giriş ve çıkış bölgelerinde oluşan hasarların azaltılması isteniyor ise kesme parametreleri için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme değerleri tercih edilmelidir. Takım geometrisi seçiminde 2 ağızlı dar uç açılarında takım tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Koenig, W., Wulf, C. and Grass, P., “Willerscheid H. Machining of fiber reinforced plastics”, *Manufacturing Technology*, 34 (2): 537–548 (1985).
2. Miller, JA. “Drilling graphite/epoxy at Lockheed”, *Automotive Manufacturing*, 70–81 (1987).
3. Tagliaferri, V., Caprino, G. and Diterlizzi, A., “Effect of drilling parameters on the finish and mechanical properties of GFRP composites”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 30 (1): 77–84 (1990).
4. Hocheng, H. and Puw, H. “On drilling characteristics of fibre-reinforced thermoset and thermoplastics”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 32 (4): 583–592 (1992).
5. Chambers, A. and Bishop, G., “The drilling of carbon fibre polymer matrix composites”, *Process Manufacturing*, 59 (4): 565–572 (1995).
6. Lin, SC. and Chen, IK. “Drilling of carbon fiber-reinforced composite material at high speed”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 194 (1): 156–162 (1996).
7. Ogawa, K., Aoyama, E., Inoue, H., Hirogaki T., Nobet, H., Kitahara, Y. Katayama, T. and Gunjima, M. “Investigation on cutting mechanism in small diameter drilling for GFFW thrust force and surface roughness at drilled hole wall”, *Composite Structures*, 38 (1): 343-350 (1997).
8. Li, XL. and Tso, SK., “Drill wear monitoring based on current signals”, *Wear*, 231 (2): 172–178 (1999).
9. Piquet, R., Ferret, B., Lachaud, F. and Swider, P., “Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy plate using special drills”, *Composites*, 31 (10): 1107–1115 (2000a).
10. Piquet, R., Ferret, B., Lachaud, F. and Swider, P., “Experimental analysis of drilling damage in thin carbon/epoxy laminate using special drills”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 31:1107–15 (2000b).

11. Enemuoh, U., Sherif El-Gizawy, E., Chukwujekwu, A. and Okafor, A., “An approach for development of damage-free drilling of carbon fiber reinforced thermosets”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 41 (12): 1795–1814 (2001).
12. Capello, E. and Tagliaferri, V., “Drilling damage of GFRP and residual mechanical behavior-part I: drilling damage generation”, *Journal Composites Technology*, 23 (2): 122–130 (2001).
13. Aoyama, E., Nobe, H. and Hirogaki, T. “Drilled hole damage of small diameter drilling in printed wiring board”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118 (1): 436–441 (2001).
14. Davim, JP. and Reis, P., “Study of delamination in drilling carbon fibre reinforced plastics (CFRP) using design experiments”, *Composites Science and Technology*, 59 (4): 481–487 (2003a).
15. Davim, JP. and Reis, P., “Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave experimental and statistical study”, *Material Design*, 24 (5) 315–324 (2003b).
16. Khashaba, UA. “Delamination in drilling GFR-thermoset composites”, *Composite Structures*, 63 (3–4): 313–327 (2004).
17. Capello, E. “Work piece damping and its effect on delamination damage in drilling thin composite laminates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 148 (2): 186–195 (2004).
18. El-Sonbaty, I., Khashaba, UA. and Machaly, T., “Factors affecting the machinability of GFR/epoxy composites”, *Composite Structures*, 63 (3–4): 329–338 (2004).
19. Ramkumar, S.K. and Malhotra, R., “Effect of workpiece vibration on drilling of GFRP laminates”, *Journal of Materials Processing Technology*, 152 (3) 329–332 (2004a).
20. Davim, JP., Reis, P. and António, CC., “Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up”, *Composite Science Technology*, 64 (2): 289–297 (2004a).
21. Ramkumar, J., Aravindan, S., Malhotra, SK. and Krishnamurthy, R., “An enhancement of the machining performance of GFRP by oscillatory assisted drilling”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23 (3-4): 240–244 (2004b).

22. Tsao, CC. and Hocheng, H., “Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 44 (10):1085–1090 (2004).
23. Davim, JP., Reis, P. and António, CC., “Drilling fiber reinforced plastic (FRPs) manufactured by hand lay up: influence of matrix (Viapal VUP 9731 and ATLAC 382-05)”, *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156: 1828-1833 (2004b).
24. Hocheng, H. and Tsao, CC., “Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials”, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 46 (12–13):1403–16 (2006).
25. Singh, I. and Bhatnagar, N., “Drilling-induced damage in uni-directional glass fiber reinforced plastic (UD-GFRP) composite laminates”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 27 (9): 877–882 (2006a).
26. Singh, I. and Bhatnagar, N., “Drilling of uni-directional glass fiber reinforced plastic (UD-GFRP) composite laminates”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27 (10): 870–876 (2006b).
27. Arul, S., Vijayaraghavan, L., Malhotra, S.K. and Krishnamurthy, R., “Influence of tool material on dynamics of drilling of GFRP composites”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29 (7-8): 655–662 (2006).
28. Velayudham, A. and Krishnamurthy, R., “Effect on point geometry and their influence on thrust and delamination in drilling of polymeric composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 185 (1-3): 204-209 (2007).
29. Khashaba, U.A. and Elhamid M.A., “Drilling analysis of chopped composites”, *Composites*, 38 (A): 61–70 (2007).
30. Tsao, C.C. and Hocheng, H., “Effect of tool wear on delamination in drilling of composite materials”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 49 (8): 983-988 (2007).
31. Tsao, C.C., “Taguchi analysis of drilling quality associated with core drill in drilling of composite material”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32 (9-10): 877-884 (2007a)
32. C. C. Tsao “Thrust force and delamination of core-saw drill during drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP)”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37 (1-2): 23-28 (2007b)

33. Paulo, J.D., Campos Rubio, J. and Abrao, A.M., “A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates”, *Composites Science and Technology*, 67 (9): 1939–1945 (2007).
34. Mohana, N.S., Kulkarni, S.M. and Ramachandra, A., “Delamination analysis in drilling process of glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials”, *Journal of Materials Processing Technology*, 186 (1-3): 265–271 (2007).
35. Singh, I., Bhatnagar, N. and Viswanath, P., “Drilling of uni-directional glass fiber reinforced plastics: Experimental and finite element study”, *Materials and Design*, 29 (2): 546-553 (2008).
36. Abrao, A.M., Faria, P.E., Rubio, J.C. and Davim J.P., “The effect of cutting tool geometry on thrust force and delamination when drilling glass fibre reinforced plastic composite”, *Materials and Design*, 29 (2): 508-513 (2008).
37. Rubio, J.C., Abrao, A.M. Correia, A.E. and Davim J.P. “Effect of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: Evaluation of the delamination factor”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48: 715-720 (2008).
38. Composites Engineered Materials Handbook, Cilt 21, ASM International 2001
39. Composites Engineered Materials Handbook, Cilt 1, ASM International 1987
40. İnternet: Taksan Takım Tezgahları Sanayi A.Ş. “TMC 500V tezgahının teknik özellikleri”. <http://www.taksan.com.tr/trtaksan/indextr.htm>, (2007).
41. İnternet: Mitutoyo U.S.A. Katolog 2007, “Komparatörün teknik özellikleri”. <http://www.mitutoyo.com/pdf/F.pdf>, (2007).
42. İnternet: İNFOTEK elektrik, otomasyon, test – ölçü cihazları bilgisayar sistemleri, “Takometrenin teknik özellikleri”. <http://www.Infotek.com.tr/TES/rm-1500.htm>, (2007).

	GFRP	FRP	CFRP	Epoksi	Polyester	İlerleme (f)	Kesme hızı (Vc)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	Takım Aşınması	İtme Kuvveti
Koening (1985)		•								
Miller (1987)	•									
Tagliaferri (1990)	•			•						
Hocheng (1992)			•	•						
Chambers (1995)			•	•					•	
Lin (1996)			•	•					•	
Ogawa (1997)	•						•		•	
Li (1999)	•			•		•	•	•		•
Piquet (2000a)		•	•						•	•
Piquet (2000b)			•	•						
Ugo (2001)	•					•	•	•		
Capello (2001)	•					•	•			
Aoyama (2001)	•					•	•			
Davim (2003a)	•							•		
Davim (2003b)	•									
Khashaba (2004)		•		•		•				
Capello (2004)	•			•	•					
El - Sonbay (2004)	•					•				
Ramkumar (2004a)	•			•			•	•		•
Davim (2004a)	•			•			•	•		•
Ramkumar (2004b)	•				•	•		•		•
Tsao (2004)	•									
Davim (2004b)			•	•						
Hocheng (2006)	•				•	•				•
Singh (2006a)						•				•
Singh (2006b)	•			•		•	•			
Arul (2006)	•			•		•	•			•
Velayudham (2007)	•			•					•	•
Khashaba (2007)	•					•	•			
Tsao (2007)	•					•		•		•
Tsao (2007a)			•			•	•		•	
Tsao (2007b)			•			•		•		•
Paulo (2007)			•							•
Mohana (2007)			•			•	•			
Singh (2008)		•					•			
Abrao (2008)		•				•	•			
Rubio (2008)	•			•		•	•			•

ÖZGEÇMİŞ

Ergün EKİCİ 1983'de Tokat'ta doğdu; ilk ve orta öğrenimini Edirne'de tamamladı; Edirne Teknik Lisesi, Makine Eğitimi Bölümünden mezun olduktan sonra 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümüne girdi; 2005'de 'iyi' derece ile mezun olduktan sonra 2006 yılında ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans programına girdi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: İnönü Mahallesi, Kent Birlik Sitesi, 6. Blok No: 1
Batıkent/ ANKARA

Tel: (0536) 795 10 94

E-posta: behind_eyes@mynet.com