

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
POLİMER MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN
İŞLENEBİLİRLİĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Zekeriya AYPARÇASI**

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ferit FIÇICI

Haziran 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

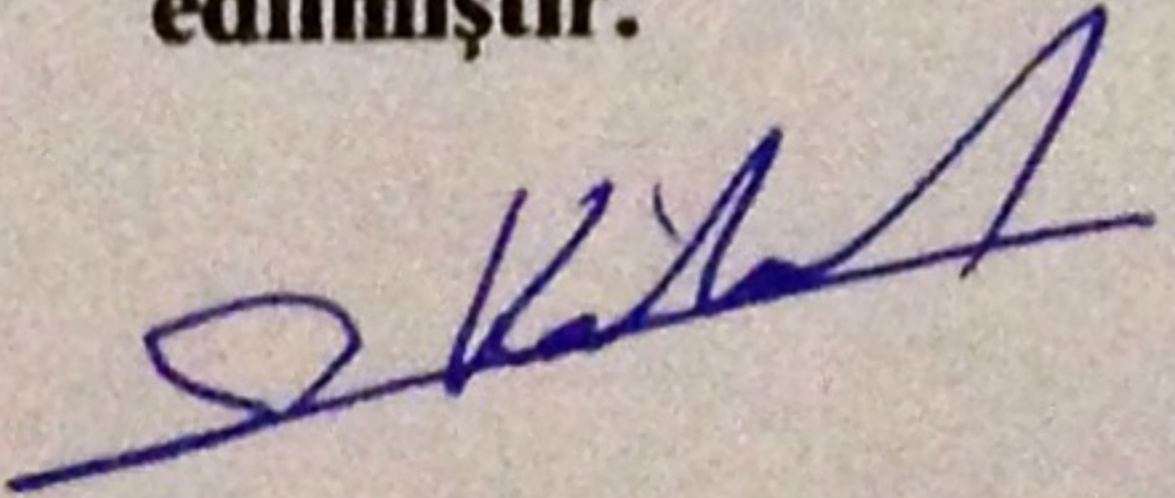
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
POLİMER MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN
İŞLENEBİLİRLİĞİ

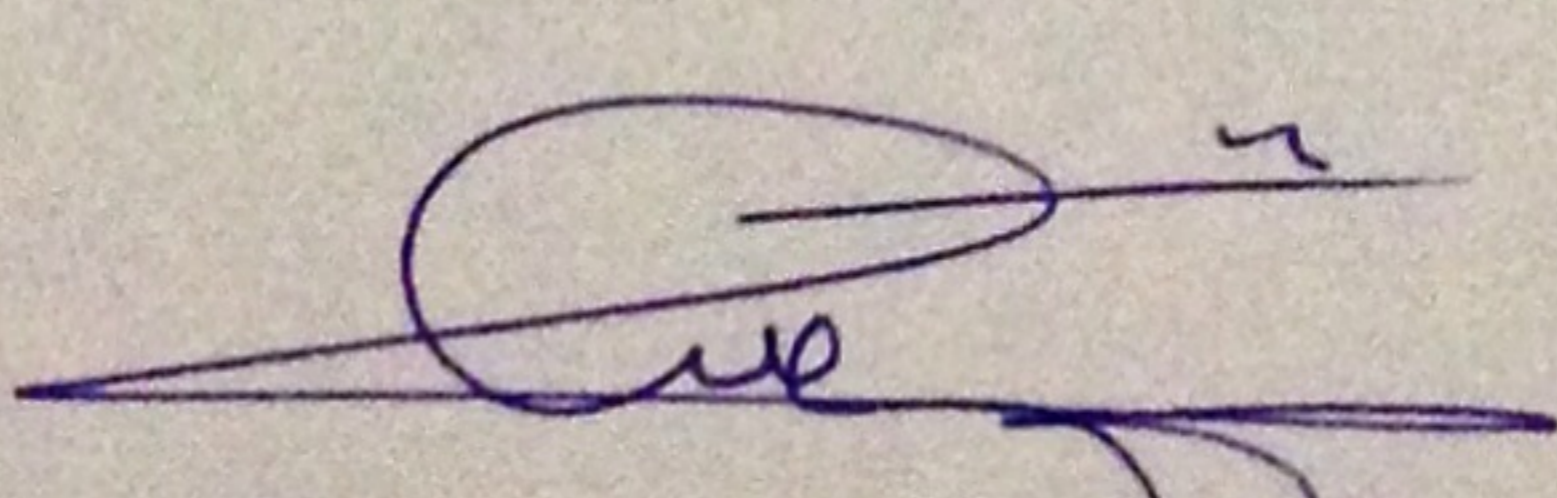
YÜKSEK LİSANS TEZİ

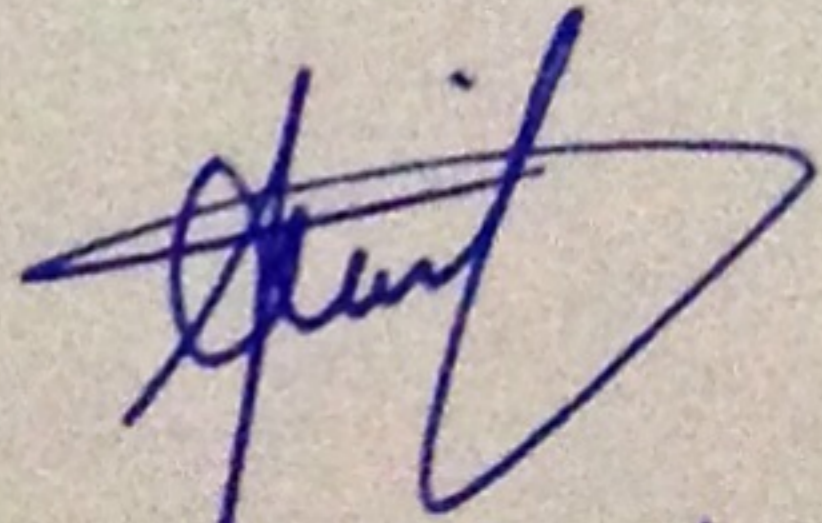
Zekeriya AYPARÇASI

Enstitü Anabilim Dalı : OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 17 / 06 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Sakıp KÖKSAL
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Uğur ÖZSEREN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Ferit FİÇİCİ
Üye

ÖNSÖZ

Akademi hayatının önemli bir basamağı olan yüksek lisans eğitimim süresince hem akademik hem de sivil hayata bakışlarıyla, deneyim, tecrübe, bilgi ve birikimlerini şahsımla paylaşan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ferit FIÇICI' ya ve akademik bölümümüzün değerleri öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Mesut Durat' a ve bölümümüzün diğer öğretim üyelerine desteklerinden dolayı ve görevlilerine en içten teşekkürleri sunarım.

İyi ve kötü günümde, zor ve sıkıntılı zamanlarımda manevi desteğiyle her zaman yanımda olan biricik eşim Arş. Gör. Fatma AYPARÇASI' na, Kızım Zeynep Zehranur'a, anneme, babama ve tüm aile fertlerime teşekkür ederim.

Malzeme temininde değerli katkılarında dolayı Prof. Dr. Hüseyin Ünal Bey'e, SEM görüntülerinin çekiminde yardımcı olan Murat Kazancı Bey' e, optik mikroskop çekimlerinde yardımcı olan Arş. Gör. Nuri Ergin Bey' e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez çalışması, 2014-50-01-019 nolu BAPK projesinin mali katkıları ile gerçekleştirilmiştir. Mali katkılarından dolayı Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederim. Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Desteğinden dolayı BAPK yönetici ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. İşlenebilirlik	1

BÖLÜM 2.

KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	6
2.1.1. Metal matriksli kompozitler (MMK).....	6
2.1.2. Seramik matriksli kompozitler (SMK)	6
2.1.3. Polimer matriksli kompozitler (PMK).....	7
2.2. Polimer Matriksli Kompozit Malzeme Yapısındaki Temel Bileşenler	10
2.2.1. Takviye elemanları (fiberler)	11
2.2.1.1. Cam fiberler.....	11
2.2.1.2. Karbon fiberi	13
2.2.1.3. Bor fiberi	14
2.2.1.4. Aremid fiberi	15
2.2.2. Matriks malzemeler	15
2.2.2.1. Termoplastik matriksler.....	17
2.2.2.2. Termoset matriksler	18
2.2.2.3. Elastomer matriksler.....	20

2.3. Polimer Matriksli Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	21
2.4. Polimer Matriksli Kompozitlerin Üretilmesi	21
2.4.1. Elyaf yatırma yöntemi.....	22
2.4.2. Püskürtme yöntemi	23
2.4.3. Basma ve transfer kalıplama	24
2.4.4. Soğuk presleme yöntemi.....	25
2.4.5. Helisel sarma yöntemi.....	25
2.4.6. Profil çekme yöntemi	26
2.4.7. Tabakalı birleştirme yöntemi	27
2.5. Polimer Matriksli Malzemelerin Kullanım Alanları	28
2.5.1. Otomotiv endüstrisinde kullanım alanı	28
2.5.2. Günlük ve ticari hayatta kullanım	29
2.5.3. Askeri alanda kullanımı	31
2.5.4. Silah roket ve diğer mühimmat sanayisinde kullanımı.....	32

BÖLÜM 3.

DELME İŞLEMİ.....	33
3.1. Delme İşlemi	33
3.2. Delik Delme İşlemini Etkileyen Faktörler	35
3.3. Matkapla Delik Delme İşlemi	38
3.3.1. Matkapla delik delme işleminin özellikleri.....	39
3.3.2. Matkapla delik delme işleminde kullanılan kesici takımlar.....	40
3.3.2.1. Delik delme işleminde kullanılan kesici takım malzemeleri	42
3.3.2.2. Yüksek hız çeliği (HSS)	44
3.3.2.3. Matkaplarda takım geometrisi.....	46
3.4. Matkapla Delik Delme İşleminde Talaş Oluşumu	47
3.4.1. Matkaplarda kesici uca gelen kuvvetler.....	49
3.5. Delme İşleminde Takım Aşınması	51
3.5.1. Kesici takımlarda aşınma mekanizmaları	54
3.5.1.1. Serbest yüzeydeki aşınma	55
3.5.1.2. Adhezyon aşınması.....	57
3.5.1.3. Krater aşınması.....	58
3.5.1.4. Abrasyon aşınması	59
3.5.1.5. Adhesif aşınma	59

3.6. Delaminasyon.....	60
BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE METOD	63
4.1. Deney Malzemesi.....	63
4.1.1 Kesici takımlar	64
4.1.1.1. HSS.....	64
4.1.1.2. HSS+TİN.....	65
4.1.1.3. Karbür.....	66
4.2. Takım Tezgahı CNC	66
4.3. Taramalı Elektronik Mikroskop (SEM)	67
4.4. Optik Mikroskop	68
BÖLÜM 5.	
DENEYSSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	69
5.1. Kompozit Malzeme	69
5.2. Delaminasyon Faktörü	71
5.2.1. Kesme hızının delaminasyon faktörüne etkisi	73
5.2.2. İlerleme hızının delaminasyon faktörüne etkisi	75
5.3. Yüzey Pürüzlülüğü.....	77
5.3.1. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	77
5.3.2. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	79
5.3.3. Talaş oluşum şekilleri.....	81
5.3.4. Kesici takımlarda SEM görüntüleri	82
BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR	89
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ	96

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MMK	: Metal Matriksli Kompozitler
SMK	: Seramik Matriksli Kompozitler
SİN	: Silisyum Nitrür
SİC	: Silisyum Karbür
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
PMK	: Polimer Matriksli Kompozitler
PAN	: Poliakrilonitril
B ₄ C	: Bor Karbür
FMS	: Esnek Üretim Sistemi
CBN	: Kübik Bor Nitrür
HSS	: High Speed Steel
YHÇ	: Yüksek Hız Çeliği
PPA	: Polyphthalamide
Tİ	: Titanyum
PVD	: Fiziksel Buharlaştırma Metodu
M _s	: Kesme Momenti
F _{sz}	: Kesme Kuvveti
A _{sz}	: Talaş Kesiti
k _s	: Özgül Kesme Kuvveti
F _{del}	: Delaminasyon Faktörü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Fiber ve matriks arayüzi ile bileşenler arasında meydana gelen ara yüzey .	5
Şekil 2.2. Kompozit malzeme de kullanılan fiber ve reçine	10
Şekil 2.3. Sürekli fiber ve kısa fiber kompozitler	10
Şekil 2.4. Gerilme etkisi altındaki elastomer zincirlerinin şematik gösterimi	20
Şekil 2.5. Kompozit malzemede takviye çeşitleri	21
Şekil 2.6. Fiber yatırma tekniği.....	23
Şekil 2.7. Püskürtme tekniği ve tabancası.....	24
Şekil 2.8. Basma ve transfer kalıplama	25
Şekil 2.9. Fiber sarma düzeneği	26
Şekil 2.10. Torba kalıplama tekniği	28
Şekil 2.11. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması	30
Şekil 2.12. Uydu bileşenleri olarak kullanılan kompozit yapıları.....	30
Şekil 2.13. Ticari uçaklarda kullanılan kompozit yapılar.	31
Şekil 2.14. Askeri uçaklarda kullanılan kompozit yapılar	32
Şekil 3.1. İşlem sayısına göre delme işleminin diğer işlemlerle karşılaştırılması	33
Şekil 3.2. Delme işleminin diğer talaş kaldırma süreleri ile karşılaştırılması.....	34
Şekil 3.3. Takımın dönmesi	35
Şekil 3.4. Kesme hızı, giriş oranı, fener mili hızı, devir başına ilerleme ve delik işleminin temel faktörleri.....	36
Şekil 3.5. Çap uzunluk ilişkisi	39
Şekil 3.6. Delme işlemleri işleminden sonra yapılan delme.	39
Şekil 3.7. Matkap uçu ve uç açıları.	41
Şekil 3.8. Farklı malzemede ve boyutlarda üretilmiş matkap uçları.....	44
Şekil 3.9. Matkap takım ucu geometrisi.....	46
Şekil 3.10. Talaş oluşumuna etki eden faktörler	48
Şekil 3.11. Kesici kenarın talaş kaldırması	49
Şekil 3.12. Matkap ucuna gelen kuvvetler	50

Şekil 3.13. Tipik aşınma bölgeleri	54
Şekil 3.14. Sert metal plaketsli bir takımda serbest yüzdeki a.ş.g'nin zamana bağlı olarak değişimi ve kritik	56
Şekil 3.15. Adhezyon aşınmasının meydana gelişi.....	57
Şekil 3.16. Karbürlü takımlarda krater oluşumu	58
Şekil 3.17. Polimer matriksli kompozitlerin delinmesi esnasında bölgesinde oluşan delaminasyonun gösterimi.....	60
Şekil 3.18. Delaminasyon faktörünün gösterimi.....	61
Şekil 4.1. Makine takım endüstri a.ş. dın 338 HSS rın 118°taşlanmış uç.....	64
Şekil 5.1. Kompozit malzemede matriks malzeme ile takviye fazının ıslatma olayının SEM görüntüsü (1000 X)	70
Şekil 5.2. Kompozit malzemede cam fiberlerin yönlenmesine ait SEM görüntüsü (100 X)	70
Şekil 5.3. Kompozit malzemenin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü (500 X)	71
Şekil 5.4. 0.05 mm/dev ilerleme hızına ait delaminasyon optik mikroskop görüntüsü (10X)	71
Şekil 5.5. 0.10 mm/dev ilerleme hızına ait delaminasyon optik mikroskop görüntüsü (10X)	72
Şekil 5.6. 0.15 mm/dev ilerleme hızına ait delaminasyon optik mikroskop görüntüsü (10X.....	72
Şekil 5.7. 0.05 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi	73
Şekil 5.8. 0.10 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi	73
Şekil 5.9. 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi	74
Şekil 5.10. 7 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi	75
Şekil 5.11. 9 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi	75
Şekil 5.12. 11 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi	76
Şekil 5.13. 0.05 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi	77

Şekil 5.14. 0.10 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi	78
Şekil 5.15. 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi	78
Şekil 5.16. 7 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi	79
Şekil 5.17. 9 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi	80
Şekil 5.18. 11 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi	80
Şekil 5.19. Delme sonucu meydana gelen talaş çeşitleri	81
Şekil 5.20. 0.19 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS matkap görüntüsü.....	83
Şekil 5.21. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki HSS matkap elementel analiz.....	84
Şekil 5.22. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TiN sem görüntüsü.....	85
Şekil 5.23. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TiN kesme yüzeyi sem görüntüsü.....	85
Şekil 5.24. 9 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TiN.....	86
Şekil 5.25. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TiN elementel analiz.....	87
Şekil 5.26. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki Karbür kesme yüzeyi SEM görüntüsü.....	88

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı mühendislik seramiklerin tipik özellikleri.....	7
Tablo 2.2. Cam fiberlerin mekanik özellikleri ve bileşimleri.....	12
Tablo 2.3. 1988 ve 1993 yılları arasında otomobillerde kullanılan kompozitlerin oranları.....	29
Tablo 3.1. Matkap takım uçu değerleri.....	47
Tablo 4.1. Polyphthalamide özellikleri.....	64
Tablo 4.2. HSS takım özellikleri ve kesme parametreleri.....	65
Tablo 4.3. HSS+TİN takım özellikleri ve kesme parametreleri.....	65
Tablo 4.4. Karbür takım özellikleri ve kesme parametreler.....	66

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kompozit, aşınma, işlenebilirlik, cam fiber, delaminasyon,

Cam fiber takviye fazlı polimer matriksli kompozit malzemeleri tasarım kolaylığı, yüksek rijitlik, yüksek mukavemet, korozyon direnci v.b. özelliklerinden dolayı mühendislik malzemeleri için olası bir alternatiftir. Ancak bu malzemelerin delinmesi esnasında birçok problemle karşılaşmaktadır. Bu problemler hızlı takım aşınması, kötü yüzey pürüzlülüğü, fiberin matriksten ayrılması ve kompozit delaminasyonu v.b. içermektedir.

Bu çalışmada, değişik işleme parametreleri kullanılarak %30 cam fiber takviye fazlı PPA matriksli kompozit malzeme iki ağızlı helisel matkap ile delinmiştir. Matkaplar HSS, HSS+TiN, Karbür şeklinde 3 matkap cinsinden yararlanılmıştır. Bu matkaplarla yapılan delme işlemi sırasında malzemede oluşacak olan aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve malzemede oluşacak olan delaminasyon hatalarının, kullanılan parametrelerle karşılaştırılarak en iyi kullanım şartı amaçlanmıştır.

THE POLYMER MATRIX COMPOSITE MATERIALS USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY FOR THE MACHINABILITY

SUMMARY

Key Words: PPA polymer, glass fiber, machinability, wear

Glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite materials are a feasible alternative to engineering materials. It's have excellent properties such as high strength, high stiffness, corrosion resistance and design flexibility. There are many problems encountered when drilling fiber-reinforced composites. These problems include delaminating of the composite, rapid tool wear; poor surface roughness and fiber pull out.

In this study, in the experiments HSS twist drills were used on PPA matrix composite material with %30 glass fiber reinforced workpiece. Drilling operations were performed at various experiment parameters.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik evrensel olarak tanımlanmış, standart bir özellik değildir. Genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, bir başka deyişle iş parçasının kesici bir takım ile şekillendirilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu, ya da uygun kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak bir malzemeyi (çoğunlukla metal) talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirebilmenin nispi kolaylığı veya zorluğu olarak tanımlanabilir. Örneğin orta karbonlu bir çelik ısıl dirençli bir alaşıma göre, gri dökme demir kır dökme demire göre daha kolay işlenir. Sıvanma özelliğine sahip düşük karbonlu bir çeliğin işlenmesi ise bazı alaşımlı çeliklere göre çok daha zordur.

Kesici takımlardaki gelişmeler, değişen koşullar ve metotlar nedeniyle işlenebilirlik kavramı karşılaştırmalı değerler cinsinden ifade edilmesi zor olan bir kavramdır. İş parçası malzemelerinin metalurjisi, kimyası, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler işlenebilirliği etkiler. Bu etkilerin yanı sıra işlenebilirlik üzerinde kesici kenarın, takım tutucunun, takım tezgahının, işlemlerin ve işleme koşullarının da etkisi büyüktür. Malzemeler için işlenebilirlik verileri talaşlı imalat işlemlerinde daha sonra iyileştirilebilecek başlangıç değerlerinin belirlenmesine yardımcı olurlar (Çakır, 1999., Sandvik, 1994).

İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır (Degorma, 1997).

İşlenebilirliği değerlendirmek için çeşitli kriterler kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

- a) Takım ömrü,
- b) Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç,

c) İşlenen yüzey kalitesidir (Shaw, 1994.)

Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısıl işlem ve içerisindeki inkluzyonlar işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler ve bazı durumlarda kimyasal bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler (Güllü, 1995., Sandvik, 1999).

Talaşlı imalat işlemi, bir iş parçası üzerindeki fazlalıkları uygun kesici takım ve takım tezgahı kullanarak uzaklaştırmaktır. İş parçası metal olduğu zaman, işlem metal kesme olarak da isimlendirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da, diğer bazı malzemeler de aynı yöntemle şekillendirilebilir (Degorma, 2000., Groover, 1996).

Talaş kaldırma işleminin anlaşılabilmesi değişik tipteki metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışlarının anlaşılmasına bağlıdır. Bir kesici kenar ile bir metalden talaş kaldırma işleminde kesici takım iş parçası malzemesinin bir bölümünü deforme eder ve talaşı ayırır. Talaş olarak ayrılacak malzeme tabakası üzerindeki gerilmeler bu tabaka kesici kenara yaklaştıkça artar. Bu artan gerilmeler malzemenin akma sınırına ulaştığı anda metal içerisinde elastik ve plastik deformasyonlar meydana gelir. Oluşan talaşlar iş parçası malzemesine bağlı olarak farklılık gösterir (Çakır, 1999).

Talaş kaldırma işleminin amacı parçalara sadece bir şekil vermek değil, bunları geometrik, boyut ve yüzey bakımından imalat resminde gösterilen belirli bir doğruluk derecesine göre imal etmektir. Buna işleme kalitesi denir. Parçanın geometrik, boyut ve yüzey doğruluğunu kapsayan işleme kalitesi, günümüzde talaş kaldırma işleminin en önemli özelliğidir (Akkurt, 2000).

Talaşlı imalat işlemi önemli imalat yöntemlerinden bir tanesidir. Aşağıdaki sebepler dikkate alındığında talaşlı imalat işleminin en önemli imalat yöntemlerinden biri olduğu anlaşılır:

- a) Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir. Gerçekte bütün katı malzemeler işlenebilir. Polimer ve polimer esaslı kompozitler de talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilir.
- b) Talaşlı imalat işlemiyle düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir. Birkaç talaşlı imalat işlemi sırayla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.
- c) Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir ve çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir (Groover, 2000).

BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Günümüz teknolojisinde kompozit malzemeler; iki veya daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, belirli oranlarda karıştırarak yeni ve tek malzeme elde üretmek amacı ile makro düzeyde birleştirilmesi ile üretilmektedir. Kompozit malzemeler daha homojen bir mikro yapıya sahip alaşımlardan ayrılırlar (Şahin 2006).

İnsan yapısı olmaması, dolayısıyla doğal bir malzeme olması, kimyasal bileşimleri birbirinden farklı belirli ara yüzeylerle ayrılmış en az iki malzemedен oluşması, farklı malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmesi, bileşenlerin hiç birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması kompozit malzemelerde genel olarak aranan koşullardır. Buna göre malzeme, mikroskobik açıdan heterojen bir malzeme özelliği göstermekle birlikte mikroskobik açıdan da homojen bir malzeme gibi davranmaktadır (Askeland, 1998).

Bu malzemeler, belirli uygulama alanları için üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarından çok fazlı malzeme olarak da adlandırılır.

Kompozit malzemeler üretilirken aşağıdaki özelliklerin sağlanması istenilmektedir. Bu özellikler uygulama alanlarına göre kompozit malzeme özelliği oluşturur. Bunlar genel olarak aşağıda sıralanmıştır (Şahin 2006, Aran 1990, Jones 1999):

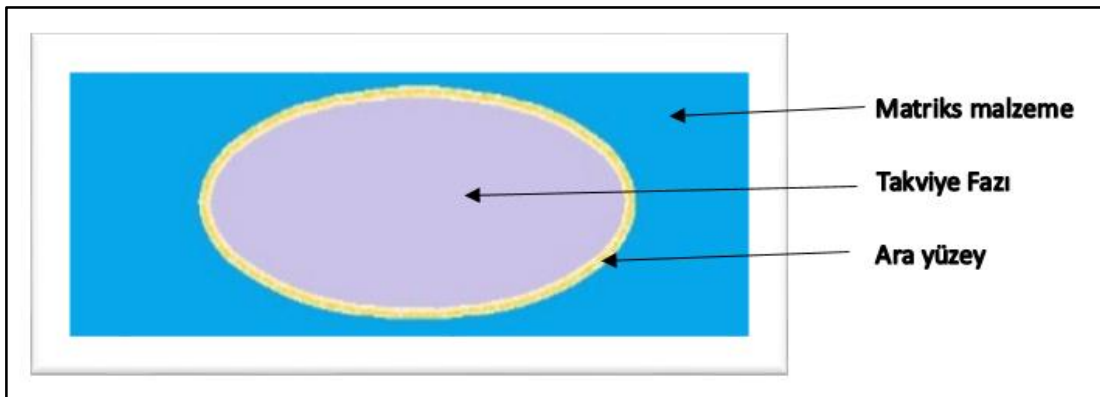
- a) yüksek dayanım gücü,
- b) yüksek aşınma dayanımı,
- c) yüksek rijitlik,
- d) iyi korozyon dayanımı,
- e) ısı iletkenliği, iyi termal,

- f) estetik görünüm,
- g) uygun fiyat,
- h) düşük ağırlık,
- i) hafif olması üretilen kompozit malzemedен istenmektedir.

Bu avantajların yanında bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunları da şöyle sırayabiliriz;

- a) Akma dayanımı düşük,
- b) Elastik modülü düşük,
- c) Kırılma tokluğu düşük,
- d) Birim hacim kütlesi düşük,
- e) Yüksek sıcaklıklarda dayanma direnci, kompozit malzemedен istenmeyen durumlardandır (Şahin, 2006).

Kompozit malzemeler genellikle iki malzemedен oluşur. Bunlar takviye elemanı ve matriks yapısıdır. Matriks, kompozit malzemenin ana yapısını oluşturur. Takviyelendirici olarak da fiber malzemedен meydana gelir. Ayrıca kompozit malzemelerde en önemli şartlardan birisi kompozit malzeme bileşenlerinin ıslatılabilirlik özelliklerinin durumudur. Bileşenler arasında ara yüzey bağının kuvvetli olabilmesi için birbirine uygun matriks malzemesinin seçilmesi gereklidir (Şahin, 2006). Bu amaçla kompozit malzemelerde iyi ara yüzey oluşması için saf metal veya alaşımları matriks malzemesi olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.1'de fiber ara yüzey ve takviye fazı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Fiber ve matriks arayüzi ile bileşenler arasında meydana gelen ara yüzey

2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre 3'e ayrılırlar. Kompozit malzemelerin içerisine katılan katkı malzemelerine göre sınıflandırmak mümkündür. Kompozit malzemeler alanındaki ayırım ve sınıflandırma ana malzeme grubuna göre değişir. Bu ana malzeme yapısına göre Metal Matriksli Kompozitler, Seramik Matriksli Kompozitler ve Polimer Matriksli Kompozit malzemeler olarak 3 gruptan oluşmaktadır. Metal matriksli kompozitlerde yüksek mukavemet, tokluk, ısı- elektriksel iletkenlik ve şekillendirilebilirlik istenirken seramik matriksli kompozitlerden yüksek sertlik, yüksek sıcaklığa direnç, korozyona dayanıklılık önceliktir. Polimer matriksli kompozitlerde ise düşük maliyet, hafiflik ve korozyona dayanım istenmektedir.

2.1.1. Metal matriksli kompozitler(MMK)

Bu gruptaki kompozitler için matriks malzemesi için genellikle alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi hafif metaller ve alaşımların matriks işleviyle; karbon, boron ve diğer bazı metallerin fiber, parçacık, pulcuk whisker yapısında takviye fazını oluşturmasından meydana gelmektedir. Bu hafif metalle alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının yüksek olması da daha çok tercih edilir. Bu karma malzemeler daha üstün mukavemet, aşınma, korozyon, serik özellikleriyle nükleer güç ekipmanlarından, gaz türbinleri, uzay-havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır.

2.1.2. Seramik matriksli kompozitler (SMK)

Seramik matriks malzemelerinin (Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiC vs), seramik veya metal parça, pulcuk, kristal veya fiber olarak takviyesiyle oluşturulan, üstün ısıl dayanım ve mukavemete sahip malzemeler grubudur. SMK malzemeler genellikle, nükleer uygulamalarda, gaz türbinlerinde ve hava-uzay sektöründe kullanılmaktadır. Yaygın

olarak kullanılan takviye fazları silisyum karbür (SiC), silisyum nitrür (SiN), ve alüminyum oksit (Al₂O₃) kullanılmaktadır. Tablo 2.1’de bazı takviye fazlarının özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Bazı mühendislik seramiklerin tipik özellikleri

Malzeme türü	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Si ₃ N ₄	SiC
Eğilme dayanımı mpa	440	1020	880	500
Oda sıcaklığında çekme dayanımı mpa	500	1200	1000	1100
1200 c sıcaklıkta çekme dayanımı mpa	300	350	350	480
Kırılma tokluğu	4	9	6	4
Termal şok direnci (suda)	200	350	900	370

2.1.3. Polimer matrisli kompozitler (PMK)

Plastik-polimer grubu matris malzemelerin çoğunlukla fiber formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilmeleri veya pekiştirmeleri kısaca bu gruptaki kompozit malzemeler grubunu oluşturur. En belirgin olarak artık günümüzde kullanılan fiber glass olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam fiberle takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak ileri kompozitler grubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip fiberler kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım, yüksek elastik modül ve yüksek tokluğa sahiptirler.

Polimer malzemeler, düşük yoğunluğa sahip olmaları, kolay elde edilebilmeleri, bunlarla kompozit üretiminin klasik polimer malzeme üretim teknolojisi ile bire bir uyum sağlıyor olması, kompozit üretimlerinde yüksek sıcaklıklarla uğraşılması ve elektrik iletkenliklerinin olmaması gibi nedenlerden dolayı en çok kullanılan ana faz malzemelerindendirler. Polimer esaslı kompozit malzemeler ise polimer malzemelere ilaveten, yüksek aşınma ve korozyon direnci, sıcaklık dayanımlarının polimerlere göre yüksek oluşu gibi ilave nedenlerden dolayı endüstride uçaklarda, savaş

helikopterlerinde, roket, uzay araçları ve özellikle otomotiv sektöründe giderek artan ve % 6 ya yaklaşan bir uygulama artışı hızla görülmektedir.

En çok kullanılan polimer esaslı kompozit malzeme kombinasyonları; Cam fiber + polyester, karbon fiber + epoksi ve aramid fiberi + epoksi birleşimleridir. Kompozit malzemeler katlı tabakalar veya ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. Çeşitli plastik malzemelerin, seramik, metal, bazen de sert polimerlerin fiberleri ile güçlendirilerek özellikleri daha iyi olan malzemeler üretmek mümkündür. Polimer esaslı kompozit malzemeler içindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilmeleri ve takviye fiberler sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme kombinasyonları, yepyeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar.

Plastikler, metallerle karşılaştırıldığında çok düşük dayanım ve elastikiyet modülüne sahip oldukları ve aynı zorlama için daha büyük hacimler gerektirdiğinden dolayı her zaman tercih edilmezler. Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşabilmektedir (Sur, 2008).

Çoğu uygulamalarda tercih edilmelerine neden olan tipik özellikleri şunlardır;

- a) Yoğunluğu düşük malzemeler oluşu,
- b) Kitle üretim teknikleri ile kolay, hızlı ve ekonomik olarak üretilebilmeleri,
- c) Atmosferik korozyona ve kimyasal maddelerin pek çoğuna karşı iyi bir direnç göstermeleri,
- d) Moleküler yapıları değiştirilerek ve katkı maddeleri kullanılarak özelliklerinin geliştirilebilmesi,
- e) Boyar maddeler kullanılarak çok değişik renklere üretilebilmeleri,
- f) Nispeten ucuz malzeme oluşları.

Polimere önemli avantajlar kazandıran ve pek çok uygulamalar için ilgi çekici hale getiren bu özelliklerinin yanısıra, mühendislik malzemesi olarak kullanılmalarını sınırlayan özellikleri ise:

- a) Mekaniksel özellikleri zayıf, düşük mukavemetli malzemelerdir. Düşük gerilme altında kolayca deforme olur (termoplastikler) veya gevrek bir kırılma gösterirler (termoset plastikler). Bu nedenle yük taşıyıcı sistemlerde kullanılmazlar.
- b) Ergime sıcaklıkları, ısıl dirençleri ve kararlılıkları düşüktür.
- c) Kompozit malzeme tasarımının genel prensipleri ve amaçları çerçevesinde, plastiklerin yararlı özelliklerini geliştirmek için diğer yapı bileşenleri ile birleştirilerek kullanılmaları günümüz malzeme teknolojisinin hedeflerinden birini oluşturmaktadır.

Hacimsel bazda yıllık polimer kullanımı metalleri aşmaktadır. Polimerlerin ticari ve teknik bakımdan önemli olmasının nedenleri şunlardır;

- a) Plastiklerde kullanılan ekstra işleme gerek kalmadan karmaşık parçaların kalıplanabilmesi,
- b) Metal ve seramiklere göre düşük yoğunluğa sahip olması, dayanım yoğunluk oranının iyi olması,
- c) Yüksek korozyon direnci ve düşük ısıl ve elektrik iletkenliğine sahip olması,
- d) Polimerlerin yaygın şekilde kompozit malzemelerde kullanılması,
- e) Hacimsel bazda polimerleri üretmek için daha az enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır,
- f) Maliyet yönüyle metallerle yarışır hale gelmesidir.

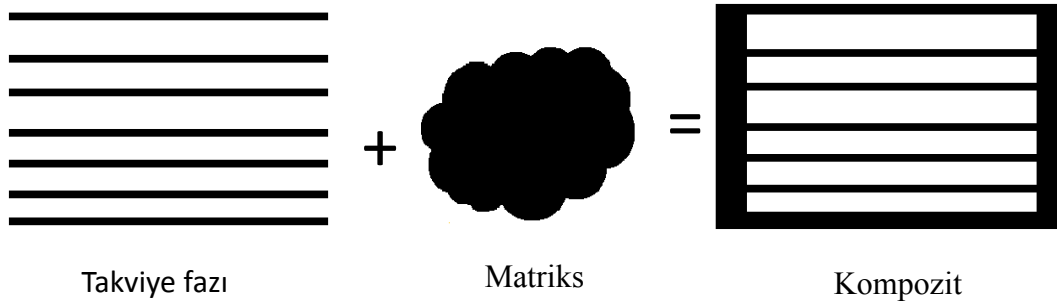
Bunu avantajların yanında dezavantajları da bulunmaktadır;

- a) Servis sıcaklığının düşük olması,
- b) Düşük elastik modüle sahip olması,
- c) Seramikler ve metallerden daha düşük dayanıma sahip olması şeklinde sıralanabilir.

Kompozit malzemelerde matriks olarak kullanılan genelde üç tip plastikler mevcut olup, bunlar termosetler, termoplastikler ve elastomerlerdir (Deniz, 2005).

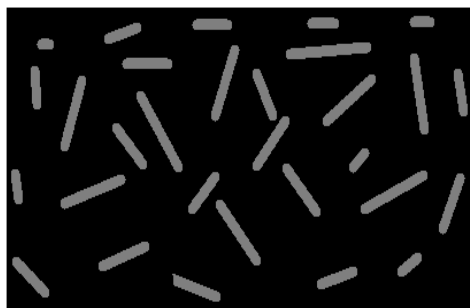
2.2. Polimer Matriksli Kompozit Malzeme Yapısındaki Temel Bileşenler

Kompozit malzemeler, şekil 1.2’ de görüldüğü gibi matriks ve takviye malzemesinden oluşurlar. Genellikle takviye (fiber) malzemesi; karbon, cam veya aramid olurken matriks malzemesi ise genellikle epoksi reçine den oluşmaktadır (Mazumdar, 2002).

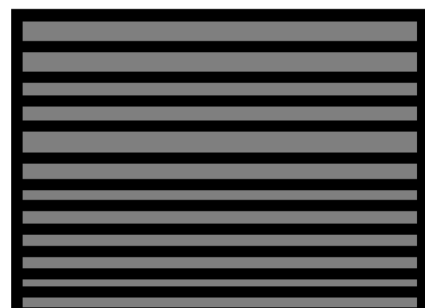


Şekil 2.2. Kompozit malzeme de kullanılan fiber ve reçine

Kompoziti oluşturan dokumalar veya takviye fiberler kompozit malzemeyi dayanıklı ve güçlü kılar. Matriksler malzemeye katılık verir ve malzemeyi çevreden gelecek olan etkilere karşı korur. Takviyeli fiberlerin farklı biçimleri (Şekil 2.2) vardır. Bunlar uzun sürekli fiberler ve kısa fiberlerdir. Kısa fiberler uzun fiberlerin kesilmiş halidir. Kısa fiberlere kırılmış fiberlerde denir. Fiberler uygulama (yapısal veya yapısal olmayan) ve üretim metoduna göre uzun sürekli fiberler veya kısa fiberler tercih edilir. Yapısal uygulamalar için uzun fiberler buna karşılık yapısal olmayan uygulamalarda kısa fiberler tercih edilirler. Enjeksiyonlu kalıplama ve hazır kalıplamalı üretim metodlarında kısa fiberler tercih edilir. Fiber sarma ve profil çekme üretim yöntemlerinde sürekli fiberler tercih edilirler (Mazumdar, 2002).



Kesik Fiber Kompozit



Sürekli Fiber Kompozit

Şekil 2.3. Sürekli fiber ve kısa fiber kompozitler

2.2.1. Takviye elemanları (fiberler)

Bir kompozit malzemede yükü taşıyarak matriksin rijitliğini ve dayanımını artıran malzemede bulunan takviye elemanının fonksiyonudur. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan fiberler kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli fiberlerdir. Bu fiberler özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam fiberler teknolojiye kullanılan en eski fiber tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum, karbür ve aramid fiberler ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan diğer fiber tipleridir. Fiberlerin ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca üstün mikro yapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri, boy/çap oranı arttıkça matriks malzeme tarafından fiberlere iletilen yük miktarının artması ve elastisite modülünün çok yüksek olması fiberlerin yüksek performanslı mühendislik malzemesi olmasını beraberinde getirmektedir (Ashby ve ark., 1998).

2.2.1.1. Cam fiberler

Cam fiberler polimer esaslı kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan ve en ucuz takviye malzemesidir. Cam fiberler, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir. Cam fiberin esasını doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2), sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elemanların oksitlerinden oluşur (Şahin 2006).

Cam fiberlerin bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir: (Anonim, 1984).

- a) Yüksek çekme mukavemetine sahiptirler, birim ağırlık başına düşen mukavemet çeliğinkinden yüksektir.
- b) Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Bu özellikleri katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirilebilir.
- c) Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.

- d) Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam fiberli kompozitlerde matris ile cam fiber arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel fiber kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabılır.
- e) Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam fiberli kompozitlerin kullanılmasına imkân tanırılır.

Dört farklı tipte cam fiber mevcuttur. Bunlar;

- a) A (Alkali) Camı: Yüksek oranda alkali içerir. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlı özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek olup en yaygın cam tipidir.
- b) C (Korozyon) Camı: Kimyasal çözütilere direnci çok yüksektir.
- c) E (Elektrik) Camı: Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.
- d) S (Mukavemet) Camı: Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam fiberler genellikle plastik veya epoksi reçinelerle birlikte kullanılıyor. Mekanik özellikleri ve bileşimleri ise Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2. Cam fiberlerin mekanik özellikleri ve bileşimleri (Bağcı, 2010).

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgür ağırlık	2,50	2,49	2,54	2,48
Elastiklik modülü	-	69	72,4	85,5
Çekme mukavemeti	3033	3033	3448	4585
Isıl genişleme katsayısı	8,6	7,2	5	5,6
Yumuşama sıcaklığı	727	749	841	970
Katki Malzemeleri(%)				
SiO ₂	72	64,4	52,4	64,4
Al ₂ O ₃ ,FeO ₃	0,6	4,1	14,4	25
CaO	10	13,4	17,2	-

Tablo 2.2. Cam fiberlerin mekanik özellikleri ve bileşimleri (Bağcı, 2010)

Özellikler				
MgO	2,5	3,3	4,6	10,3
Na ₂ O,K ₂ O	14,2	9,6	0,8	0,3
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-
BaO	-	0,9	-	-

2.2.1.2. Karbon fiberi

Karbon fiberlerin en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Karbon fiberler, nemden etkilenmezler ve sürtünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon fiberler çeşitli plastik matrikslerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon fiberler alüminyum, magnezyum gibi metal matrikslerle de kullanılırlar (Rouchan, 1987).

Karbon yoğunluğu 2.268 gr/cm³ olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon fiberler cam fiberlerden daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir fiber grubudur. Hem karbon hem de grafit fiberler aynı esaslı malzemedden üretilirler. Bu malzemeler hammadde olarak bilinirler. Karbon fiberlerin üretiminde üç adet hammadde mevcuttur. Bunlardan ilki rayondur (suni ipek). Bu hammadde inert bir atmosferde 1000–3000 °C civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon fiberler uygun değildirler. Fiber imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN esaslı fiberler 2413 ile 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen zift esaslı fiberler ise 2069 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler.

Mekanik özellikleri PAN esaslı fiberler kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür. Karbon fiberlerin en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve toklu değerleridir. Bu fiberler, nemden etkilenmezler ve sürünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon fiberler çeşitli plastik matrikslerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca alüminyum ve magnezyum gibi metal matrikslerle de kullanılır (Bağcı, 2010).

2.2.1.3. Bor fiberi

Bor fiberler aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılanınca bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle Tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir. Ancak bu yeni bir uygulamadır. Bor fiberler, yüksek dayanımlı fiberdir (Mallick, 1993).

Bor sert ve gevrek olduğundan doğrudan fiber olarak çekilemez. Bu nedenle hidrojenle bortriklorürün elektriksel olarak belli bir sıcaklığa (815 °C) ısıtılmış W teli üzerinde çökertilmesi ile elde edilir. Bor lifler kompozit malzemelerde kullanılan en kalın fiber türü olup, karbon fiberden yaklaşık 20 kat daha kalındır. Burkulma, çekme ve basma dayanımları yüksektir. Genellikle metal matrikslerde kullanılır (Aran, 1990).

Bor fiberlerin Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B₄C) kaplanmasıyla yüksek sıcaklıklara dayanım artar. Özellikle bor karbür kaplanmasıyla çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor fiberlerin erime sıcaklıkları 204 °C civarındadır (Chawla, 1987).

Bu fiberler pahalı olmasına rağmen uzay sanayisinde kullanılır ve ABD’ de bor fiber üretimi yılda 50 bin tonu aşmaktadır. Bunlar pazar piyasasını girdiklerinden dolayı dayanımları 2.6 GPa dan 3.9 GPa kadar yükselmiştir (Şahin, 2006).

2.2.1.4. Aremid fiberi

Yapay organik fiberler içerisinde önemli bir yeri vardır. Kevlar ticari adı ile piyasaya tanıtılmıştır. Dupont firması tarafından 1970 li yıllarda Kevların PRD-29 ve PRD-49 türleri uygulamada en çok kullanılan çeşitlerindendir. Camdan daha hafif ve daha rijit olan bu malzeme fiyat açısından da cam fiberlerin dışında kalan diğer birçok fiberlerden daha ucuzdur. İplik fitil dokuma gibi üretimler kolaylıkla imkan verir. Basınç dayanımının önem taşıdığı yerde sınırlı şekilde kullanılır (Ersoy, 2001).

Aramid fiberleri ile pekiştirilmiş reçine kompozitleri uçaklarda uzay araçlarda deniz ulaşım araçlarında, otomotiv, diğer endüstri uygulamalarda ve spor teçhizatlarında kullanılmaktadır.

2.2.2. Matriks malzemeler

Kompozit yapılarda matriksin genel olarak görevi; Takviye fazını bir arada tutmak, yükü takviye fazına dağıtmak ve takviye fazlarını çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matriks malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra fiberleri sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Bir matriks malzeme, kompozit malzeme yapısında birçok fonksiyonu yerine getirir. Bunların birçoğu, yapının yeterli performans değerleri için çok önemlidir. Kompozit malzemeyi oluşturan ana bileşenlerinden birisi olan matriks malzemenin önemli özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- a) Matriks, fiberleri bağlar ve yükü fiberlere iletir. Yapıya, rijitlik kazandırır.
- b) Matriks, fiberleri bir arada tutarak, fiberlerin bağımsız davranmalarına yardımcı olur veya çatlakların ilerlemesini yavaşlatır.
- c) Matriks, iyi bir yüzey kalitesi sağlar.
- d) Matriks, takviye elamanlarını kimyasal etkilere ve mekanik hasarlara karşı korur.
- e) Matriks malzemesi kompozit malzemenin darbe dayanımına önemli etkisi vardır.

Polimerik matriksli kompozitler (pmk), birçok mühendislik uygulamalarında tercih edilen malzeme özelliklerine sahiptir. Rijitlik, dayanım, darbe özellikleri ve aşınma dayanımı gibi faktörler, bu malzemeleri özellikle uçak sanayi, inşaat mühendisliği, gemi ve otomobil endüstrisi için cazip kılmaktadır. Uygulamaların birçoğu dinamik yükleme koşulları altında çalışmaktadır. Uçak endüstrisinde; kanatlar, türbin bıçakları gibi uçak yapılarında bu malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler kuş çarpmaları veya yabancı maddelerden kaynaklanan yüksek hızda darbelere maruz kalmaktadır. Otomotiv, gemi ve inşaat yapıları da kullanım sırasında yabancı maddelerden dolayı yüksek hızlı darbelere maruz kalabilirler.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan matriks malzeme görevlerini yerine getirmeleri açısından matriksin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matriks malzemesi olmaksızın bir fiber demeti düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç fiber tarafından taşınacaktır. Matriksin varlığı ise yükün tüm fiberlere eşit olarak dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, fiberlerle matriks arasında iyi bir yapışma ve matriksin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Fiber yönelmelerine dik doğrultuda, matriksin mekanik özellikleri ve fiber ile matriks arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit malzemenin mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matriks fibere göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit malzemelerin tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur (Şahin 2006).

Matriksin kesme mukavemeti ve matriks ile fiber arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise fiber yada matrikste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse fiberler boşluktaki bir fiber demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise fiber veya matriksten başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak fiber/matriks ara yüzeyine dönüp fiber doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

En yaygın plastik matriks malzemeleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- a) Termoplastik matriksler,
- b) Termoset matriksler,
- c) Elastomer matriksler (Aran, 1990).

2.2.2.1. Termoplastik matriksler

Uzun bağımsız Van der Waals bağ zincirleri halinde bulunan, lineer veya dallanmış zincirlerden oluşan polimer sistemlerine termoplastik denir. Termoplastiklerin aralarındaki bağların Van der Waals olmasından dolayı özellikle ısıtıldıkları zaman şekillendirilmeleri kolaydır. Oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Rijit bir yapıya sahip değildirler. Sıcaklık arttıkça viskozitesi düşer ve yumuşar. Bu özellik termoplastiklerden yapılan ticari malzemeleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla işlenebilmesini sağlar. Termoplastikler kristal, amorf ve yarı kristal yapıda olabilirler. Moleküller büyük zincir yapılı ve oldukça düzenli şekil oluşturmuş ise kristal yapılı malzemedir. Amorf polimer ise zincir yapıları birçok noktada birbirine dolaşmış şekilde bulunurlar. Kimyasal etkilere karşı hassastırlar. Termoplastiklerin ısıtma ve soğuma prosesi defalarca tekrarlanabilir (Erbay, 2006). Termoplastik grubunu oluşturan ve en çok kullanılan plastikler şunlardır;

Akrilik, Asetal, Akronitril-Butadiene-Styren (ABS), Politetra Fluorethylene (PTFE), Poliamid (PA), Polietilen (PE), Polipropilene (PP), Polivinil klorür (PVC)

Bu gruba giren polimerler;

- a) Asetol reçineler,
- b) Akrilikler (PMMA),
- c) Selülozik (selüloz asetat),
- d) Florokarbonlar (politetrafloretilen),
- e) İzosiyonatlar (poliüretan),
- f) Poliamidler,
- g) Poliolenfinler (PE, PP),
- h) Stiren (PS),
- i) Vinil (PVC, PVDC),
- j) Polikarbonat'tır.

Termoplastikleri 2 gruba ayırılır. Bunlar;

Genel amaçlı ticari termoplastikler;

- a) Polipropilen (PP),
- b) Polietilen (PE),
- c) Polistiren (PS),
- d) Polivinilklorür (PVC).

Genel amaçlı mühendislik termoplastikleri;

- a) Polikarbonat (PC),
- b) Poliasetal (POM),
- c) Polietereterketon (PEEK),
- d) Poliamidler (PA).

2.2.2.2. Termoset matrisler

Polimer matrisli kompozitlerde, matris malzemesi için en çok kullanılan malzeme termoset esaslı malzemelerdir. Bu malzemelerin üretiminde bir defaya mahsus ısıtılıp biçim verilir, bundan sonra malzemeye tekrar ısı verilip şekil elde edilemezler. Onun için bu malzemelerin geri dönüşümü olmadığından tekrar kullanılamazlar. Bunun nedeni termoset matrisli malzemelerin molekülleri birbirlerine çapraz bağlıdır. Böyle olunca bu moleküller ısıtıldığında atomlar birbirlerinin üzerine kaymazlar.

Ayrıca bu malzemeler çözünmezler. Termoset plastikler mukavemeti ve sıcaklığa karşı dayanımları yönünden termoplastiklerden daha üstündür. Aşağıda en yoğun kullanılan termoset matrisler ve genel özellikleri yer almaktadır.

Epoksiler; iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar. Polifenol'ün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Viskoz ve açık renkli bir sıvı halindedirler (Yıldızhan, 2008).

Epoksilerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Schwartz, 1984).

Avantajları:

- a) Kopma mukavemetleri yüksektir,
- b) Fiber yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlar,
- c) Yüksek aşınma direncine sahiptirler,
- d) Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir,
- e) Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.

Dezavantajları:

- a) Polyesterle karşılaştırıldığında pahalıdır,
- b) Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur.

Polyester matriksler; dibazik asitlerin, dihidrik alkoller (glikol) yada dihidrik fenollerle karışımının yoğunlaşması ile şekil alırlar. Polyesterin ana tipleri, polyester bileşeninin doymuş asitle ya da alternatif malzeme olarak glikolle modifikasyonu temeline dayanır. Ayrıca kür işlemi ile matriksin esnekliği iyileştirilerek kopma gerilmesi artırılabilir (Chawla, 1987).

Polyester matrikslerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir; (Schwartz, 1984).

Avantajları:

- a) Takviyelerin neminin kolayca dışarı atılabilmesine izin veren düşük viskozite
- b) Düşük maliyetli olması
- c) Çeşitli uygulamalar için geniş bir sınır içinde kolay imal edilebilirlik
- d) İyi çevresel dayanımları olması

Dezavantajları:

- a) Kür sırasındaki yüksek egzotermik reaksiyon zayıf fiber/matriks bağ mukavemetine neden olur.
- b) Sistem gevrekleşmeye eğilimlidir.
- c) Çok seyreltik alkalilere bile zayıf kimyasal direnç gösterir.

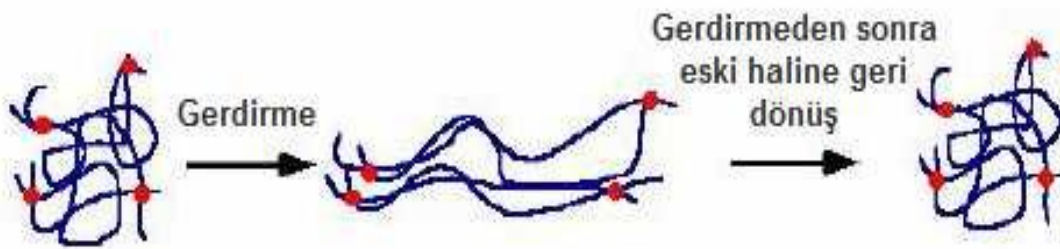
Vinyilester reçine matriksler; Polyesterlere benzerler. En önemli avantajları fiber ve matriks arasında iyileştirilmiş bir bağ mukavemetine sahip olmalarıdır. Polyesterde glikolün bir kısmının yerine doymamış hidrosilik bileşenlerin kullanılması ile elde edilirler (Hoskin and Baker, 1986).

Fenolik reçine matriksler; Fenol, alkalin şartlar altında formaldeitle yoğuştuğunda polimerizasyon oluşur. Polimerizasyon asidik şartlar altında yapılır. Fenolik reçinelerin en büyük avantajı yüksek sıcaklık dirençleridir. En önemli dezavantajları ise diğer matriks malzemelerine göre mekanik özelliklerinin düşük olmasıdır. (Chawla, 1987).

2.2.2.3. Elastomer matriksler

Termosetler gibi çapraz bağlı bir yapıya sahip olan elastomerler uzun zincirli yapıdadırlar. Maruz kaldıkları çok küçük gerilmeler sonunda bile büyük elastik deformasyona uğrarlar. Bazı elastomerler ilk boyutlarına nazaran %500 ve üzerinde uzama gösterebilirler ve sonrasında eski boyutlarına geri dönebilirler. Yüksek elastik şekil değiştirme kabiliyetine sahip olmalarının nedeni, polimer zincirlerinin birbirine zayıf çapraz bağlarla bağlı olmasıdır. En çok bilinen elastomer kauçuk' tur. Çapraz bağların sayısının artırılması elastomerin daha dayanımlı ve rijit bir yapı kazanmasını sağlar.

Elastomerlerde Şekil 2.4' de görüldüğü gibi gerilme öncesinde polimer zincirleri olağan konumunda iken, gerilme sonrasında zincirler gerilme yönünde açılarak malzemenin elastik olarak deformasyona uğramasına neden olurlar. Gerilme kaldırıldığında ise polimer zincirleri eski konumlarına geri dönerler.

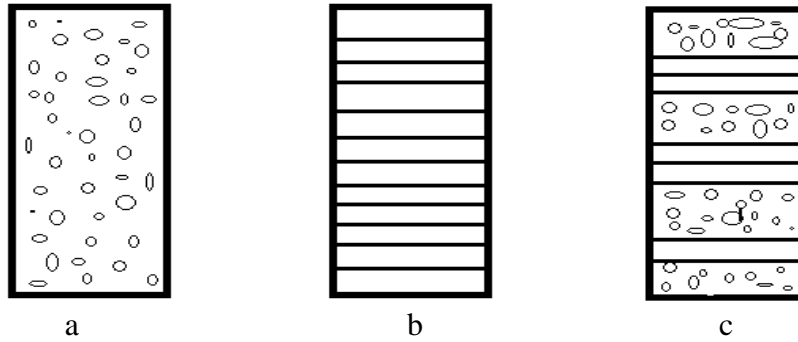


Şekil 2.4. Gerilme etkisi altındaki elastomer zincirlerinin şematik gösterimi (Ekşi, 2007).

2.3. Polimer Matriksli Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Polimer matriksli kompozit malzemelerin sınıflandırılması takviye fazının fiziksel özelliklerine göre yapılmaktadır. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması takviye elemanın özelliğine ve matriks elemanın özelliğine göre olmaktadır. Takviye elemanın özelliğine göre kompozit malzemeler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır. (Kollar and Springer, 2003).

- Fiber takviyeli polimer matriksli kompozit malzemeler
- Parçacık takviyeli polimer matriksli kompozit malzemeler
- Tabakalı polimer matriksli kompozit malzemeler
- Karma polimer matriksli kompozit malzemeler (Şekil 2.5)



Şekil 2.5. kompozit malzemedeki takviye çeşitleri

(a) Parçacık takviyeli, (b) Fiber takviyeli, (c) Tabakalı kompozit malzemeler

2.4. Polimer Matriksli Kompozitlerin Üretilmesi

Polimer malzemeler son 35 - 40 yıl içerisinde önemli gelişmeler göstererek günlük yaşamımızda ve endüstrinin hemen her dalında kullanılan malzemeler haline gelmiştir. Tercih edilmelerinin birkaç tipik özelliği şöyledir;

- Yoğunluğu düşük hafif malzemelerdir.
- Üretim teknikleri ile kolay, hızlı ve ekonomik olarak üretilebilirler.
- Atmosferik korozyona ve kimyasal maddelerin pek çoğuna karşı iyi bir direnç gösterirler.

- a) Moleküler yapıları değiştirilerek ve katkı maddeleri kullanarak özelliklerinin geliştirilmeleri mümkündür.
- b) Boyar maddeler kullanarak çok değişik renklerde üretilebilirler.
- c) Nispeten ucuz malzemelerdir.

Yukarıdaki özelliklerin yanı sıra kullanımlarını sınırlayan bazı özellikleri de Vardır. Bunlar;

- a) Mekanik özellikleri zayıf, düşük mukavemetli malzemelerdir. Düşük gerilmeler altında kolayca deforme olur (termoplastikler) veya gevrek bir kırılma gösterirler (termoset plastikler). Bundan dolayı yük taşıyıcı sistemlerde kullanılmazlar.
- b) Ergime sıcaklıkları, ısıl dirençleri ve kararlılıkları düşüktür.

Kompozit malzeme tasarımının genel prensipleri ve amaçları çerçevesinde, polimerlerin yararlı özelliklerini geliştirmek için diğer yapı bileşenleri ile birleştirilerek kullanımları günümüz teknolojisinin hedefi olmuştur. Polimer matriksli kompozit malzemeleri üretmek için birçok teknik geliştirilmekle beraber kullanılan matriks malzemelerine göre ya termoset reçineli yada termoplastik reçineli olarak üretilmektedir. Polimer matriks kompozitlerin üretim yöntemi şunlardır.

- a) Elyaf yatırma yöntemi,
- b) Püskürtme yöntemi,
- c) Basma ve transfer yöntemi,
- d) Soğuk presleme yöntemi,
- e) Helisel sarma yöntemi,
- f) Profil çekme yöntemi,
- g) Tabakalı birleştirme(torba kalıplama) yöntemidir.

2.4.1. Elyaf yatırma yöntemi

Düşük ve orta hacimli temas kalıplama olup, bina panelleri, tanklar, tekne ve sandık gibi hacim olarak büyük boyutlu parçalar için kullanılan en yaygın yöntemdir. Keçe

dokuma gibi fiberler takviye elemanı olarak kullanılır. Elastik modülü ve ek dayanım kazandırmak için içerisine fiberin yanına sürekli cam ve karbon fiberler yerleştirilir. Bu teknikte, genellikle keçe veya dokuma biçimindeki fiber, hazırlanan bir kalıp üzerine veya içine yerleştirilir ve fiberi ıslatması sağlanır. İstenilen kalınlık elde edilene kadar bu işleme devam edilerek çok tabakalı bir malzeme oluşturulur. Reçine içinde kalan hava bir rulo yardımı ile çıkartılır. Sertleştirici oda sıcaklığında reçineyi sertleştirir. Elyaf yatırma tekniğinde polyester ve epoksi en çok kullanılan reçine çeşitleridir. Kalıp üretiminde balmumu, kil, tahta, metal, kâğıt ve plastik gibi değişik malzemeler; kalıptan ayrılmayı sağlamak için ise polivinil alkol, silikon ve madeni yağlar kullanılır. Bu yöntemle üretilebilecek en yüksek fiber hacim oran % 30' dur.

Şekil 2.6'da gösterilen elyaf yatırma yönteminde, hazırlanan kalıp içine viskozitesi yüksek olan reçine fırçayla sürülür. Daha sonra fiber demeti hazırlanarak dolgu maddeli reçine fiberler üzerine emdirilir. Bu şekilde istenilen yön, doğrultuda ve hacim oranlarında arzulanan kalınlığa ulaşıncaya kadar işleme devam edilir.

Ayrıca bu tekniğin yanı sıra yüzeyi iyileştirmek için vakumda torbalama, basınçlı torbalama vb. metotlar uygulanabilir. Kalıptan çıkarılan son ürün belli bir sertliğe sahip olmalıdır. Sertleşme polimerizasyon süresinin sonuçlanmasına bağlıdır.



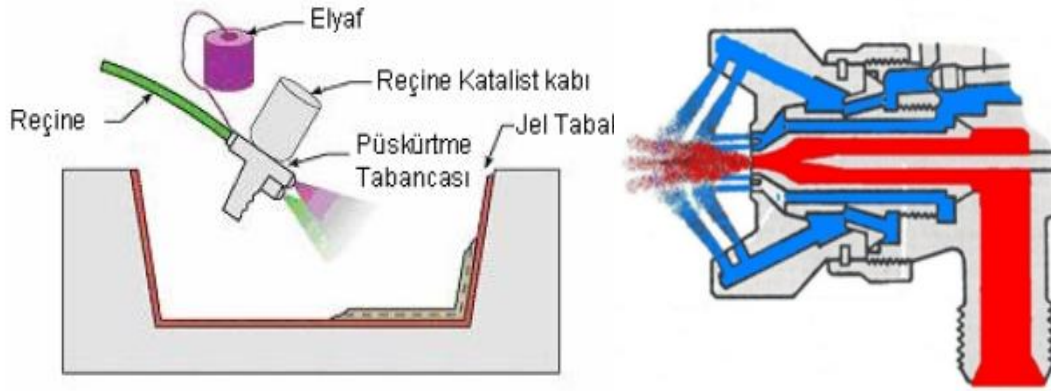
Şekil 2.6. Fiber yatırma tekniği (Deniz, 2005).

2.4.2. Püskürtme yöntemi

Püskürtme yöntemi fiber yatırma yönteminin aletle yapılmış şeklidir. Teknikte, düşük ve orta hacimdeki tekneler ve kayıklar, tanklar, duş ünitesi ve daha büyük karmaşık şekilli ise bu teknikle fiber yatırmadan daha iyidir. Teknikte kırılmış fiberler içerisine sertleştirici reçine malzemesi katılarak kalıp üzerine özel tasarlanmış bir makina ile

püskürtülür. Fiberlerin kırılma işlemi makina içerisinde bulunan dişli çark tarafından kırılır. Reçine içinde kalan havayı çıkarmak ve düzgün yüzey elde etmek için rulo şeklinde lama uygulanır.

Malzemenin katılaşması genellikle oda sıcaklığındaki ısılarla ulaşılmca gerçekleşir. Ana malzemeyi püskürtmeden kalıp içerisinde daha iyi bir yüzey oluşması için silikon sürülür. Katkı maddesi olarak reçine kullanılır. Bu tekniğin avantajı maliyeti düşük, basit, taşınabilir aygıt ve parka boyutu sınırlamasının olmamasıdır. Aşağıdaki şekil 2.7' de püskürtme yöntemi gösterilmiştir.



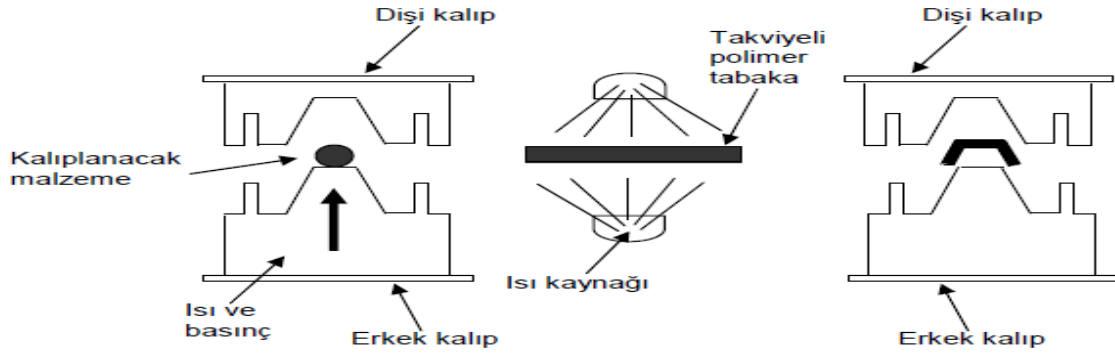
Şekil 2.7. Püskürtme tekniği ve tabancası

2.4.3. Basma ve transfer kalıplama

Yüksek hacim ve yüksek basınç altında karmaşık ve yüksek dayanımlı cam fiber takviyeli plastiklerin üretimi için uygun bir metottur. Fiber olarak genellikle cam, grafit ve asbest kullanılır. Polyester, epoksi ve fenolikler ise reçine olarak kullanılır. Kalıplar erkek (pozitif) ve dişi (negatif) olmak üzere iki parçalı olup genellikle elektrikle ısıtılırlar. Levha veya döküm kalıplama bileşimi miktarı veya reçine eklenmiş preform veya matkap ile preste açık kalıba yerleştirilir.

Presleme sıcaklığı ve hidrolik sistemle sağlanan presleme basınç reçine sistemine ve parça kalınlığına bağlıdır. Basınç 1 - 14 MPa arasında değişebilir. Isıl işlem sıcaklığı polyester için 115 - 140 °C, epoksi reçineler için 125 - 175 °C, fenolik ve silikon reçinelerinde ise 150 °C' nin üzerindedir. Kalınlık, ölçü ve parça şekline göre ısıl işlem

çevrimi 1 - 5 dakika yapılır ve kalıp açılarak bitmiş parça dışarı alınır. Otomobil ön tamponları, ev cihazları ve elektrik malzemeleri tipik üretilen parçalardır. Aşağıda basma ve transfer kalıplamaya örnek Şekil 2. 8’de gösterilmiştir (Deniz, 2005).



Şekil 2.8. Basma ve transfer kalıplama(Deniz, 2005).

2.4.4. Soğuk presleme yöntemi

Kalıp olarak metal, alçı, cam fiberlerden takviyeli plastiklerde yapılırlar. Reçine ile polyester kullanılır. Bunun sebebi ise düşük viskoziteli oda sıcaklığında hızlı soğumalarıdır. Bu yöntem ekonomik kalıplama yöntemidir. Preform ve mat şeklinde cam fiberler termoset reçine ile birlikte eşleşen kalıplar arasına konulur. Kalıplar da 130-340 kPa basınç altında kapanır ve ısıtılmadan katılaşmaya tabi tutulur. Yüksek sıcaklık gerek olmadığından dolayı maliyeti de düşük olup, kalıplamada hassas yüzeyler elde edilebilir (Şahin, 2006).

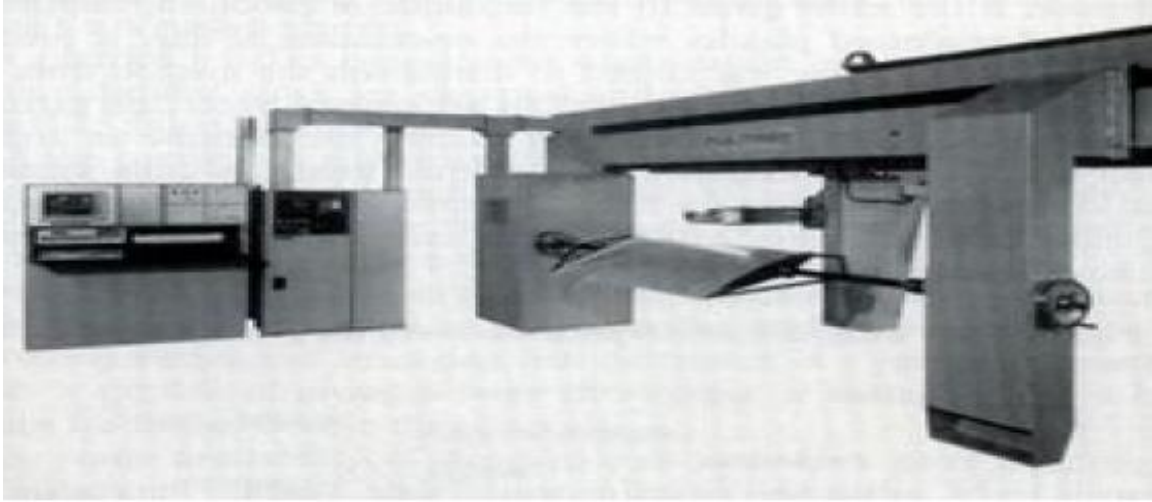
2.4.5. Helisel sarma yöntemi

Helisel sarma yöntemi ile şaftlar, uzun pervaneler, basınçlı kaplar, roket gövdesi ve boru gibi silindirik şekilli parçalar üretilir. Sarma işlemi ıslak veya kuru yapılabilir. Islak sarmada fiber sarılmadan önce reçineye daldırılır. Kuru sarmada ise pregreg sarılır. Sarma sırasında fibere bir gergi kuvveti uygulanır.

Helisel sarma işleminde mandrel döner, fiberin beslediği araba ise ileri geri hareket ederek lif helisel bir eğri boyunca sarılır. Helisel sarmada lifler birbiri üzerinden geçer

iki ucu kapalı parçalarda ise kalıplar daha sonra içeriden çıkarılabilecek malzemelerden (örneğin sonradan çözdürülen sert tuz) yapılır.

Sarma işlemi, beklenen işletme yüklerini karşılamak, fiberleri uygun doğrultuda tutmak için tasarlanır. Şekil 2.9' da fiber sarma düzeneği ve yöntemi gösterilmiştir. İşlemden en çok kullanılan reçineler; polyester ve epoksidir. Fiber ise camdır. Diğer yöntemlere göre fiber hacim oranı daha yüksektir (E.t.d).



Şekil 2.9. Fiber sarma düzeneği

2.4.6. Profil çekme yöntemi

Profil çekme metodu ile oluşturulan kompozit malzemenin içerisinde fiber hacim oranı yaklaşık % 75 dir. Reçineye daldırılıp fiber demeti bir ön kalıptan geçirilerek içindeki hava ve fazla reçine bertaraf edilir. Sonra ısıtılmış kalıptan geçirilerek fırına gönderilir. Böyle ön biçim verilen malzeme son kalıptan geçirilerek kompozit üretilir.

Bu yöntemde uzun fiber demetleri ile metal alaşımları da birleştirilir. Kompoziti oluşturacak elemanlar iki kalıp arasında sıkıştırılarak sertleştirilir. Takviye elemanı olarak dokuma veya kırılmış fiber kalıp içerisine konularak bu fiberleri tamamen emdirerek reçinenin basınçla ısıtılarak, sertleştirilmesi sağlanır. Düşük viskoziteli reçineler tavsiye edilir. Ön kalıplamada karışım olarak dolgu maddesi sertleştirici de kullanılır.

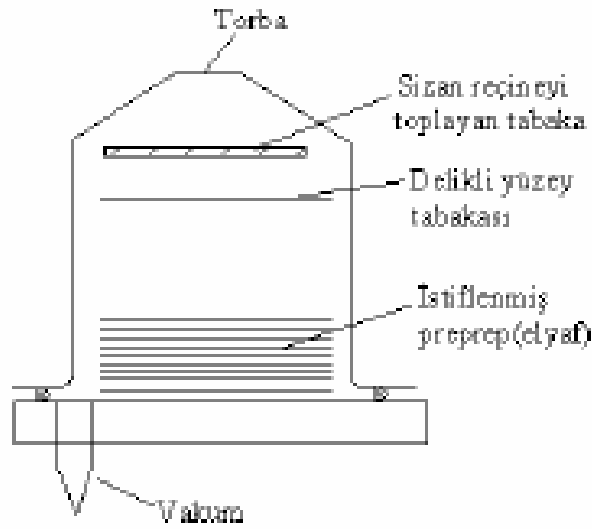
2.4.7. Tabakalı birleştirme (torba kalıplama) yöntemi

Ön görülmüş fiber (prepreg) lerin reçine ile doyurulması ile preslenip sarılarak, şekillenmiş kalıp yüzeyi ile ısıtılmış zımba arasında sıcak presleme yöntemi ile üretilirler. Levha arkasına yada madrel üzerine şerit yerleştirilir. Tabakayı elle tutabilir hale getirmek için kısmı ısıtılma yapılarak kalkan tabaka el ile tutulur. Böylece tabaka bütün fiberlerle aynı doğrultuda yönlendirilmiş olur. Buna prepreg adı verilir. Bu prepregler bilgisayarla kontrollü lazerlerle kesilerek yaprak şeklinde levhalar oluşturur. Bunlar kalıp içerisine 0, 90, 0/90, 0/45, 45 °C lerde yerleştirilebilirler.

Torba kalıplama tekniği, kalıp üzerine istiflenmiş termoset reçine ve fiber esnek bir diyaframla (torba) örtüldükten sonra basınç ve sıcaklığın etkisiyle sistemin sertleşmesi sağlanır.

Otoklav diğer bir birleştirme yöntemidir. Kalıp içerisine levha şeklinde istif edilen fiber ve matriks çiftleri sistemdeki tüm havayı dışarı atmak için vakum torbaya konulur. Bunun içinde delikli yüzey tabakası ve sızan reçineyi toplayan tabakalarda kullanılır. Bunların üzerine naylon örtülür ve kenarlardan sızdırmazlık sağlanır, otoklav yavaşça ısıtılır. İlk önce reçine erimeye başlar sonra basınç altında ve sıcaklıkta bir gaz altında sertleşmesi sağlanır.

Bu teknik ekonomik olup vakum altında uygulama sadece basınçlı gaz aralığıyla torba kalıbı üzerine yapılmaktadır. Böyle bir torba kalıplama yönteminin yapılışı ve yöntemi şekil 2.10 da gösterilmiştir (Şahin, 2006).



Şekil 2.10. Torba kalıplama tekniği (Şahin, 2006)

2.5. Polimer Matriksli Malzemelerin Kullanım Alanları

2.5.1. Otomotiv endüstrisinde kullanım alanı

Otomotiv endüstrisinde kullanılan kompozit malzemeler, diğer malzemelere nazaran daha hafif olmakla birlikte mukavemetleri iyidir. Kompozit malzemelerin hafifliğinde dolayı taşıt araçlarında yakıt tasarrufu sağlar. Kompozit malzemeyle tasarlanan bir araç gideceği yolu diğer malzemelerle tasarlanan araçlara göre daha az yakıt harcar.

Bugün kompozit malzemeler otomotiv endüstrisinde çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler, spor arabalarda, yolcu otobüslerinde, kamyonlarda, uygulamalar vardır.

Otomotiv endüstrisi 2000 yılında kompozit malzemelere 318 milyon sterlin para harcamıştır. Çünkü otomobil pazarı çok pahalıdır, karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler yüksek maliyetlerinden dolayı kabul edilmezler. Otomotiv endüstrisi cam fiberleri ana takviye malzemesi olarak yararlanır. Tablo 2.3' te otomobil endüstrisi geçmişinde kullanılan, uygulamala alanlarına göre kullanılan matriks malzemeler ve üretim metodları gösterilmiştir (Mazumdar, 2002).

Tablo 2.3. 1988 ve 1993 yılları arasında otomobillerde kullanılan kompozitlerin oranı (Anonim, 1994).

Uygulama alanı	Kullanım miktarı(kgx 10 ⁶)	Matriks malzeme	Kullanım miktarı(kgx 10 ⁶)	Üretim yönetimi	Kullanım miktarı(kgx 10 ⁶)
Tampon	42	Polyester	42	SMC (Hazır Kalıplama)	40
Koltuk	14	Polypropylene	22	GMT (Preslenebilir Takviyeli Termoplastik)	20
Kaput	13	Polycarbonate /PBT	10	Enjeksiyon Kalıplama	13
Radyatör	4	Polyethylene	4	Ekstra Güç Kalıbı	5
Tavan	4	Epoksi	4	Fiber Sarma	3
Diğer	11	Diğer	7	Diğer	8
Toplam	89	Toplam	89	Toplam	89

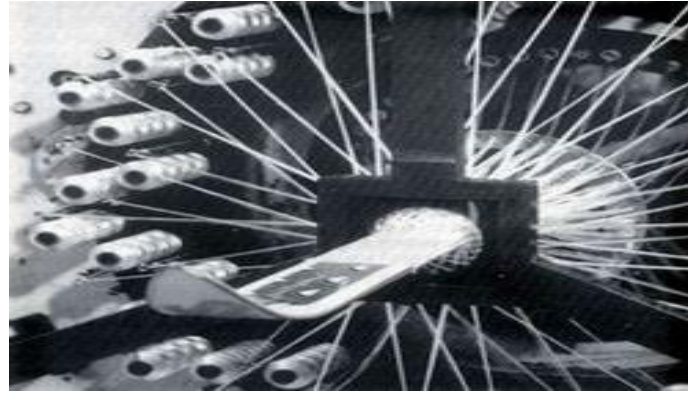
2.5.2. Günlük ve ticari hayatta kullanım

Cam fiber takviyeli kompozit malzemelerin dayanım/yoğunluk oranının yüksek olması, korozyona karşı dayanıklı olmasından dolayı günlük ve ticari hayatta kullanımı çok yaygındır. Özellikle taşıt, tekne, ev, yüzme havuzu, depolar, borular, ev aletleri, profillerde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

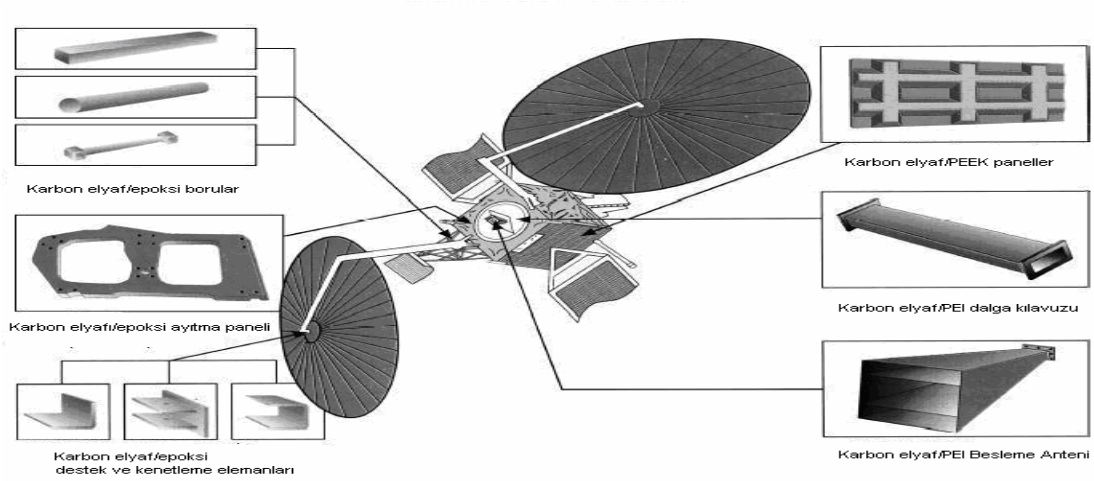
Yüksek dayanım gerektiren yerlerde karbon takviyeli epoksi matriksli kompozit malzemeler daha çok kullanılmaktadır. Taşımacılıkta (yaprak yaylar, miller, köprüler), spor malzemelerinde (Sörf, kayak, olta, raket gibi), tekerli sandalye ve protez gibi tıp alanında çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Spor malzemeleri üretiminde bor takviyeli kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tenis raketleri, yaylar, kayaklar, yarı bisikleti gövdeleri, yelken direkleri genellikle bunlarda imal edilmektedir (Asi, 2008).

Aramid fiber takviyeli kompozit malzemenin yoğunluğu, cam ve karbon takviyeli kompozit malzemelerin yoğunluğundan daha düşük olması, darbe dayanımlarının yüksek olması nedeniyle spor malzemelerin yapımında (tenis raketleri, kayaklar, golf sopaları), gemi yapımında, otomotiv sanayiinde (yaylar, miller, fren ve debriyaj balataları) yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Şekil 2.12’de kompozit malzemelerin uydu sisteminde kullanım yerlerine ait bir örnek verilmektedir (Asi, 2008).



Şekil 2.11. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması

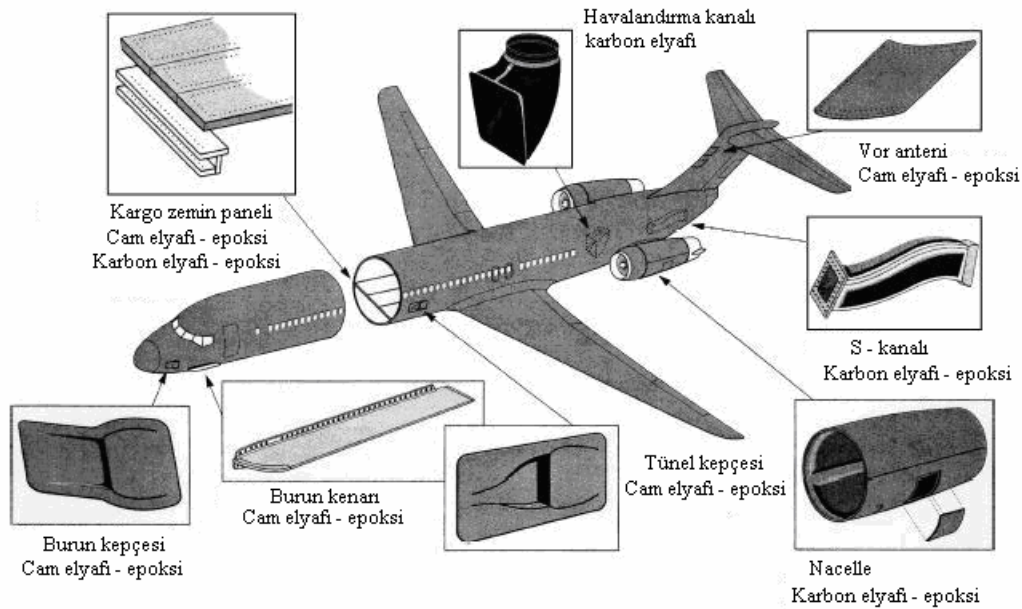


Şekil 2.12. Uydu bileşenleri olarak kullanılan kompozit yapılar

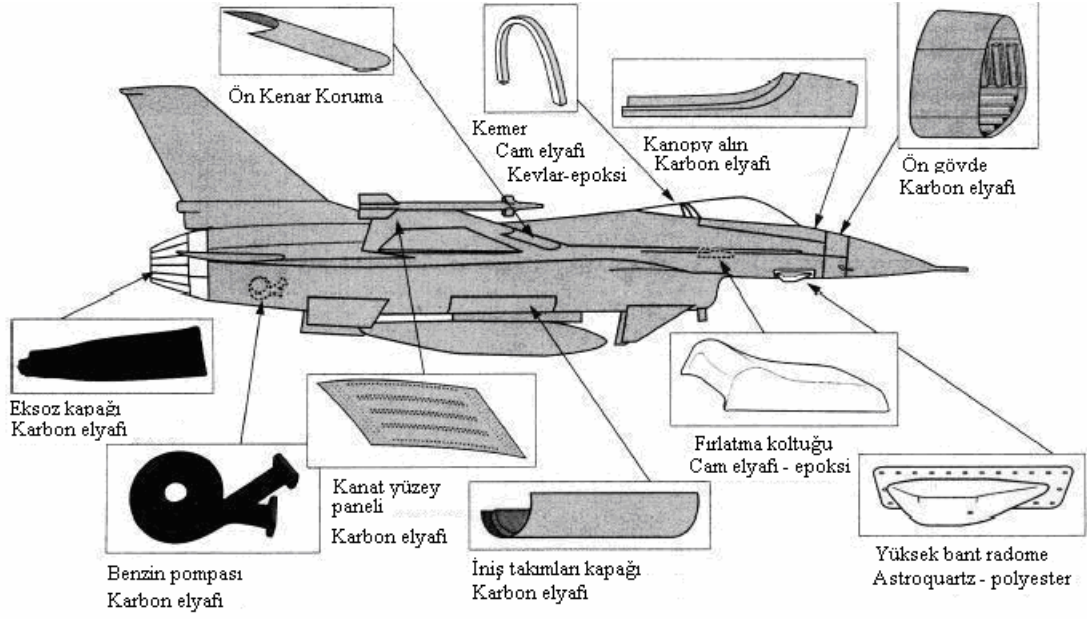
2.5.3. Askeri alanda kullanımı

Uzay ve havacılık Sanayisinde kompozit malzemelerin hafiflik ve dayanım değerlerinin diğer malzemelere göre daha iyi olmasından dolayı uzay ve havacılık sanayinde kullanımı çok daha yaygındır. Çünkü hafif malzemeden yapılması, daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği sağlamaktır. Ayrıca, özellikle titreşim, yorulma ve termal dayanımı gibi nitelikler uzay ve havacılık sanayinde kompozit malzemelerin önde gelen avantajlarıdır (Asi, 2008).

Özellikle karbon takviyeli kompozit malzemeler havacılık sanayisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.13, Şekil 2.14). Uzay mekiğinin kargo kapılarında, roket gövdelerinde, uçaklarda iniş takımlarında, çeşitli kanatçıklarda kullanılmaktadır. Yorulma dayanımı, sürtünme dayanımı, korozyon dayanımı, darbe dayanımı ve titreşimleri sönmüleme kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle aramid (kevlar) takviyeli kompozit malzemeler, roket motoru gövdeleri, uzay mekiğindeki gaz depoları, uçak sanayisinde kanatçıklarda, iniş takımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Asi, 2008).



Şekil 2.13. Ticari uçaklarda kullanılan kompozit yapılar.



Şekil 2.14. Askeri uçaklarda kullanılan kompozit yapılar.

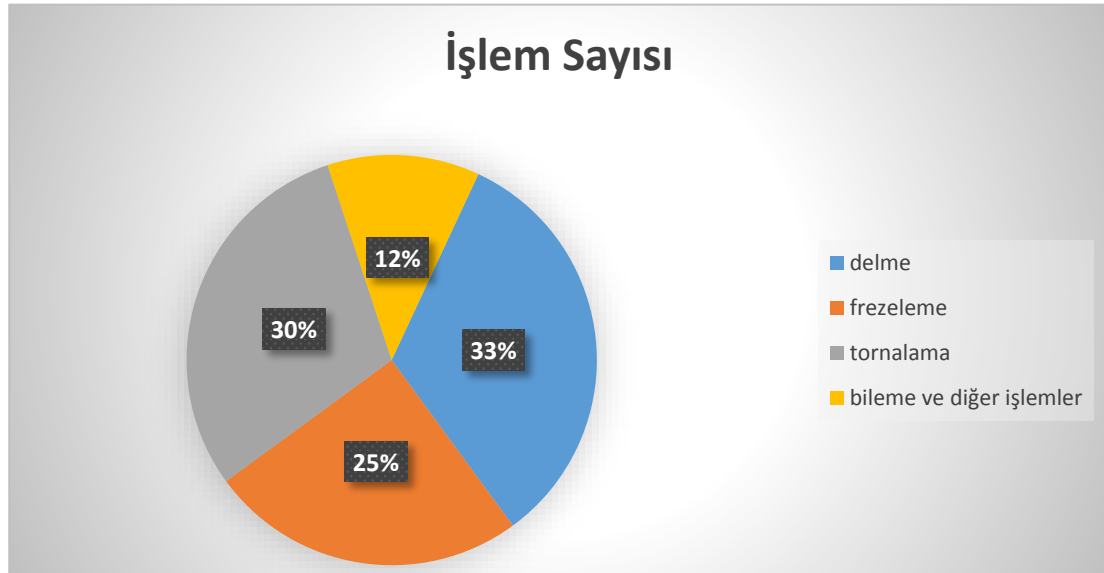
2.5.4. Silah, roket ve diğer mühimmat sanayisinde kullanımı:

Günümüzde hafiflik ve dayanım bakımından kompozit malzemeler silah sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Roket üretiminde önemli bir yere sahiptirler. Miğfer ve kurşun geçirmez yelekler, zırhlı taşıtlarda kevlar takviyeli kompozit malzemeler çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Asi, 2008).

BÖLÜM 3. DELME İŞLEMİ

3.1. Delme işlemi

Delme işlemi talaş kaldırma işlemlerinin en başında olan işlemlerden biridir. Ayrıca delme işlemi genellikle talaş kaldırma işlemlerinin en sonucusudur. Delme işlemi esnasında oluşan talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımlarının tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme işlemleri karşılaştırıldığında işlemlerin kinematik ve dinamik yapısında benzer olduğu görülmektedir. Delme işlemi talaş kaldırma işlemlerinin %33'ünü kapsamaktadır (Şekil 3.1). Delme işlemi esnasında olumsuz durumlarla da karşılaşmak mümkündür. Talaş oluşumu sadece kapalı alanlarda oluşur ve gözle görülemez.

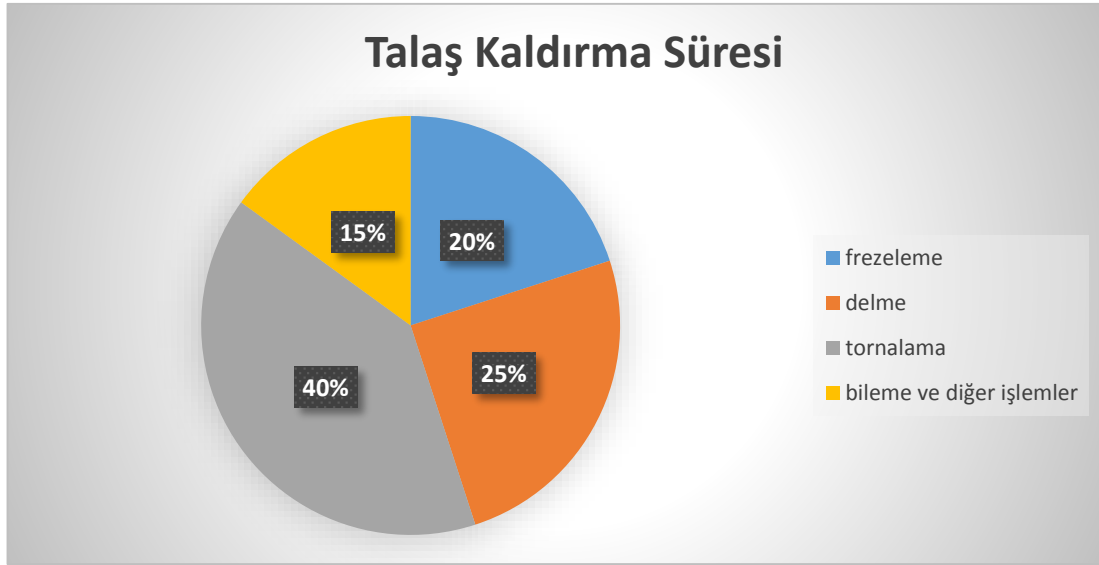


Şekil 3.1. İşlem sayısına göre delme işleminin diğer işlemlerle karşılaştırılması (Tonshoff, 1994)

Matkapta oluşan talaş kalınlığı, talaş akışını sınırlandırır. Takım ve iş parçası arasındaki sürtünme önemlidir. Yüzeiden akan sıcaklığın yetersiz olması ve dönme ekseninde kesici ağız boyunca kesme hızı değerinin sıfır olması ana problemlerdendir. Bu yüzden matkap ve işlem özellikle tezgaha ve iş parçasına adapte edilmeli, delik

kalitesi sağlanmalı ve gerekli yöntem şartları oluşturulmalıdır. Bu sebeplerden dolayı birçok takım malzemesi ve takım geometrisi tasarlanmıştır (Tonshoff, 1994).

Kesici takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde delik delme işleminde harcanan zamanın %25'i delme işleminde geçmektedir.



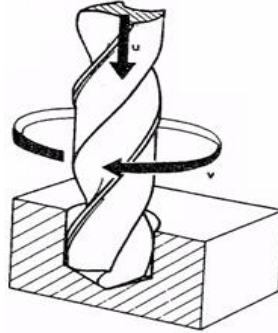
Şekil 3.2. Delme İşleminin Diğer Talaş Kaldırma Süreleri İle Karşılaştırılması (Tonshoff, 1994)

Delik delme iş parçasından silindirik bir şekilde talaş kaldırma işleminin tamamına verilen bir addır. Kısa ve derin delik delme işlemleri için söylemekle beraber bronşlama, raybalama, havşa başı açma, parlatma gibi talaş kaldırma işlemlerinin hepsine terim olarak delme işlemi denir. Bütün bu işlemlerin ortak noktası, ana dönme hareketinin doğrusal bir ilerleme hareketi ile birlikte yapılmasıdır (Çakır, 2010).

Delik delme işleminin bir çok yöntemleri bulunmaktadır. Bunların arasında frezeleme tornalama ve matkap işlemleri talaş kaldırmanın en belirgin yöntemleridir.

Öncelikle delikler klasik ve yatay tezgahlarda delinmiş ve delme işlemlerinde dar bağozlar meydana gelmiştir. Bugün bu tezgahlar yerini daha modern yapıda bulunan

FMS (esnek üretim sistemi) sistemlere, işleme birimlerine ve CNC torna tezgahlarına bırakmıştır.



Şekil 3.3. Takımın Dönmesi (Çakır, 2010).

Kısa delik delme işlemi için geliştirilen kesici takımlar sayesinde delme işlemi öncesi ve sonrası işlemlere olan gereksinim azalmıştır. Modern takımlar delme işlemini herhangi bir yardımcı sisteme gerek duymadan tek paso da alma işlemi gerçekleştirebilmektedirler. Delinmiş olan delik gerek boyut gerekse yüzey kalitesi açısından ek işleme ihtiyaç duyulmaz (Çakır, 2010).

3.2. Delik Delme İşlemini Etkileyen Faktörler

Delme işlemlerinde ana hareket takımı veya iş parçası tarafından yapılan dönme hareketidir. Devir sayısı, ana hareketi oluşturan ana mil hızı (n) dakikada yapılan iş olarak tanımlanır.

Delik delme işleminde kesme hızı, (V_c m/min) çevre hızıyla belirtilir ve fener mili hızından hesaplanır. Fener mili hızı (n), dakikadaki devir sayısı olarak ifade edilir. Bir devir boyunca matkabın çeperi, $\pi \cdot D_c$ olan bir çemberi tanımlar. Buradaki D_c ifadesi takım çapını belirtir. Kesme hızı, kesme kenarının hangi matkap yüzeyi boyunca çalışacağına bağlı olarak da değişir. Delik delme takımları için işlemedeki zorluk, matkabın çevresinden merkezine doğru kesme hızının düşmesi ve merkezde sıfır olmasıdır.

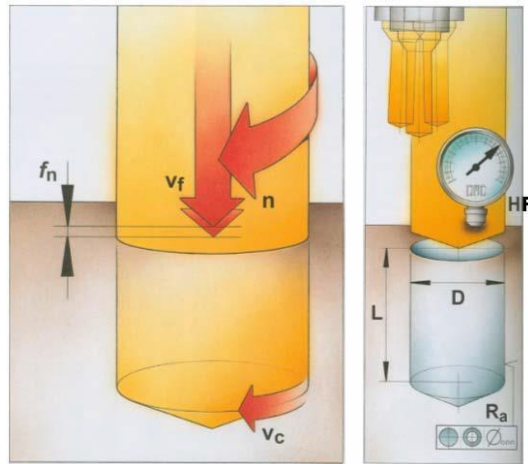
Tavsiye edilen kesme hızları çevredeki en yüksek hız içindir. Devir başına ilerleme bir devir süresince takımın yaptığı aksenal hareketi belirtir. Bu ifade giriş oranını

hesaplama da kullanılır ve matkabın ilerleme kapasitesini belirler. Giriş oranı veya ilerleme hızı (V_f mm/min) birim zamandaki uzunluk cinsinden takımın iş parçasına bağıl olarak ilerlemesidir. Bu ifade tezgâh ilerlemesi veya tablo ilerlemesi olarak da bilinir. Devir başına ilerleme ve fener mili hızının çarpımları matkabın iş parçasına giriş hızını verir. Delik delme işlemi hesaplamalarında radyal kesme derinliği (ap) ve diş başına ilerleme (f_z) kadar delik derinliği (L) de önemli bir faktördür.

Delikler ya boş olarak üretilir ya da işlenerek son hali verilir. Birçok iş parçasının en az bir deliği vardır. Fonksiyonuna bağıl olarak da çeşitli kısıtlamalarla işleme tabi tutulabilirler.

Bir deliği işleme açısından tanımlayan temel faktörler şunlardır (Şekil 3.4):

- Çap,
- Derinlik,
- Kalite,
- Malzeme,
- İşlem Şartları,
- Verimlilik,
- Güvenirlilik (Avuncun, 1998).



Şekil 3.4. Kesme hızı, giriş oranı, fener mili hızı, devir başına ilerleme ve delik işleminin temel faktörleri (Sandvik, 2008).

İlerleme hızının etkileri; Güç tüketimini etkiler mekanik ve temel gerilmelerde katkıda bulunur. Talaş oluşumunda en belirleyici faktördür.

Düşük ilerleme hızı;

- a) Daha uzun talaşlar,
- b) Kalitede iyileşme,
- c) Takım aşınmasında daha hızlı artış,
- d) Daha uzun kesme süresi/delik başına daha yüksek maliyet oluşturur.

Yüksek ilerleme miktarı ise;

- a) İyi talaş kontrolü,
- b) Daha düşük kesme süresi,
- c) Daha düşük takım aşınması

Sağlarken;

- a) Daha yüksek matkap kırılması riskine,
- b) Delik kalitesinin kötüleşmesine

Sebepler olur.

Kesme hızının etkileri:

Güç tüketimini etkiler, takım ömrünün saptanmasında temel faktördür.

Çok düşük kesme hızı;

- a) Matkap üzerinde talaş yığılılığı oluşmasına,
- b) Talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine,
- c) Deşek verimlilik/delik başına yüksek maliyete

Sebepler olur.

Yüksek kesme hızı ise;

- a) Matkap üzerinde hızlı serbest yüzey oluşmasına,
- b) Kesme kenarlarında plastik deformasyona,
- c) Düşük delik kalitesine,
- d) Tolerans dışı sonuçlara.

Yol açabilir (Sandvik, 2008).

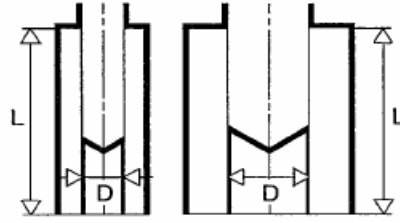
3.3. Matkapla Delik Delme İşlemi

İlke olarak matkapla talaş kaldırma olayı ile tek ağızlı takımla (tornalama, planyalama) talaş kaldırma olayı arasında bir fark yoktur. Ancak delik işlemede, talaşın tahliyesi ve kesme sıvısının verilmesi çok daha zordur. Bu yüzden talaş ile helis kanalların ve matkap ile işlenen yüzeyler arasında sürtünmenin çok daha büyük olmasının sebebi talaş açısının ağız boyunca değişmesidir. Bundan dolayı ağız boyunca farklı kesme şartlarının olduğu göz önünde tutulursa, matkapla talaş kaldırma, tek ağızlı takıma göre çok daha karışık ve ağır koşullarda meydana geldiği sonucuna varılır (Kıvak, 2007).

Matkaplar, delik delme ve genişletme için kullanılan takımlardır. Matkaplar dönel yapıya sahip bir veya birden fazla kesici ağızlı olan, talaş akışı için bir veya daha fazla helisel ya da düz kanala sahip talaş kaldırma takımlarıdır. Bu tip kesici takımlar birçok çeşitte, çeşitli formlarda, ölçülerde ve toleranslarda üretilmektedir. Endüstriyel uygulamaların tamamına yakın oranda kullanılan matkaplar, helisel matkaplardır (Tonshoff, 1994).

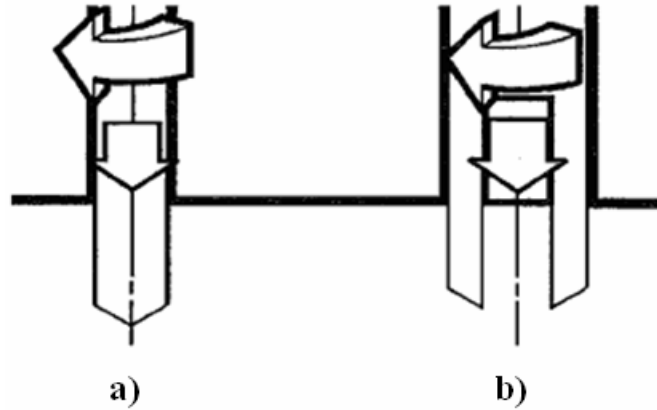
Delik derinleştikçe, işlemin kontrolü ve talaşın boşaltılması zorlaşır. Derin delik delme işleminde yüzey ve delik kalitesi daha büyük bir öneme sahip iken, kısa deliklerde daha ekonomik bir işlem için daha yüksek talaş debilerinde çalışma önem kazanmaktadır. Kısa delik delme işlemi ile derin delik delme işlemi arasındaki fark, sadece çap ve delik derinliği ilişkisiyle sınırlanmamıştır. Talaş boşaltma, kalite ve talaş debisi ile ilgili parametreler de derin delik delme ile kısa delik delme işlemlerini ayıran temel özelliklerdir

Delik boyu, delik çapının 10 katından daha büyük ise bu delikler uzun delik olarak adlandırılır. Delik boyu çap oranı 4-10 arasında olan deliklere normal delik, delik boyu çap oranı 3 ve daha düşük olan delikler ise kısa delik olarak adlandırılır (Şekil3.3).



Şekil 3.5. Çap uzunluk ilişkisi (Akincioğlu, 2011).

En yaygın delik delme metodu, dolu bir malzemenin yekpare bir takım kullanılarak belirli bir çapta, tek operasyonda delinmesidir (Şekil 3.6.a). Hem içten hem de dıştan kesen bir takımın kullanıldığı çevreden kesme (Şekil 3.6.b). Metodu bir önceki delik delme işlemindeki kadar güç gerektirmeyen ve prensipte büyük çaplı deliklerin delinmesi için kullanılan bir metottur. Bu metot, malzemenin tamamını talaş olarak kaldırmak yerine, merkezde silindir şeklinde bir çekirdek oluşturan ve yine tek operasyonda tamamlanan bir delme işlemidir (Akincioğlu, 2011).



Şekil 3.6. Delme işlemleri (a) tek operasyonda delme işlemi, (b) ön delik delme işleminden sonra yapılan delme (Akincioğlu, 2011).

3.3.1. Matkapla delik delme işleminin özellikleri

Matkap tezgahına bağlanan matkap ucu olarak nitelendirilen kesici takım ile yapılan delik delme işlemi matkap ucunun kendi ekseni etrafında dönmesi ve z ekseninin doğrultusunda kendi eksen vektörü üzerinde iş parçasına doğru düşey doğrultuda yaptığı hareketle gerçekleşir (Akkurt, 1996, Armarego, 1969).

Matkap ucunun ekseni ile delinecek deliğin ekseninin çakıştırılma zorunluluğu vardır. Matkap ucunun çapı ile delik çapı aynı çapa sahip olur. Delik delme işleminde daha

büyük çapta delik elde edilecekse öncesinden 5 mm çaplı matkalarla önceden kademeli olarak daha büyük çapta delik oluşturulabilir.

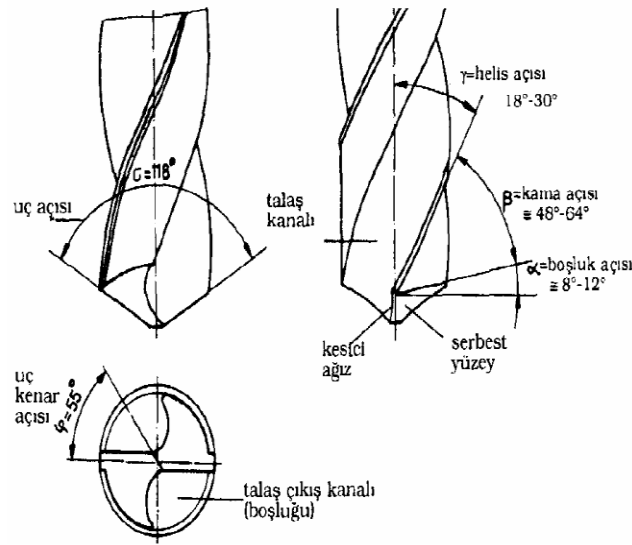
Delik delme işlemi; tezgahlarda meydana gelir. Bu tezgahlar temel plaka kolon, sütun, hız kutusu, ana mil, ilerleme mekanizması, tabla gibi ana elemanlardan oluşur. Takım ana mile parça ise tablaya monte edilir (Akkurt, 1996).

Takım ana mile iş parçası tablaya bağlanır. Ana mil yatay pozisyonundadır. Araba takım ile birlikte kolona bağlı olan yatay kol üzerinde ileri-geri hareket edebilir, kolun uzunluğuna göre istenilen konuma getirilebilir ve yatay bir düzlemde istenilen yöne 360 derece dönebilir. Bu şekilde çeşitli yüksekliklerde ve genişliklerde olan iş parçalarına delik delme işlemi yapılır. Bu tezgahta ilerleme ve kesme hareketi kolun dikey yöndeki hareketini ayarlamak için ayrı motorlar kullanılır. 80 mm çapında delikler bu tezgahlarda delinebilir (Demir, 2006).

3.3.2. Matkapla delik delme işleminde kullanılan kesici takımlar

Delme işleminde kullanılan kesici takımlara matkap denir. Matkaplar talaşlı üretimde en çok kullanılan kesici alet çeşitlerinin başında gelir. Bir matkap kendi eksenini etrafında dönerek ve aynı zamanda kendi eksenini etrafında tam tur yaparak ilerler, iki kesici ağzı ile kesme yapar (Şekil 3.7). Matkaplar talaş kaldırma işlemi yaptıkça ağzında zamanla körelme ve bozulma görülür ve bilindiği sürece tekrar kullanılır. Her çeşitteki malzemeye göre matkaplar çeşitlilik sağlar. (Megep, 2007).

Bir delik delme takımı bir veya daha fazla kesici kenara ve helisel veya düz kanala sahip dönen bir parçadır. Tüm delme takımlarının kesme hızının merkezde sıfır, çevrede maksimum olmasından kaynaklı ortak problemleri olmaktadır. İşlem sırasında oluşan talaşların delik yüzeylerine zarar vermeden ve kolaylıkla kesme bölgesinden çıkarılması sağlanmalıdır. Matkap seçimi delik çapı, delik derinliği, gerekli toleransları sağlayacak şekilde, iş parçası malzemesi, üretim hacmi ve mevcut tezgah gibi çeşitli parametrelerce belirlenir.



Şekil 3.7. Matkap ucu ve uç açıları(Megep, 2007).

Matkapların sivri uç merkezde olacak şekilde tasarlanması sayesinde takımının bir simetriye sahip olması ve kesme kuvvetlerinin birbirini dengelenmesi sağlanır. Kısa delik delme işleminde kullanılan matkaplar iki ana grupta toplanırlar: bilenebilir matkaplar ve değiştirilebilir uçlu matkaplar 2.5 mm 'den 17 mm 'ye değişen çaplar için yaygın olarak bilenebilir matkaplar kullanılırlar. Özellikle kısa delik matkapları için tasarlanmış takım geometrisi merkezleme deliklerinin ve delme burçlarının kullanımını ortadan kaldıran kendi kendine merkezleme özelliği sağlar. Bunun anlamı oldukça yüksek talaş debilerinin elde edilmesi ve işleme zamanlarının klasik spiral matkaplara göre 3–4 kat azalmasıdır. Bu durum kesici ucun matkabın ömrü boyunca 30 -40 defa değiştirilebilmesinden kaynaklanır. Ancak pek çok yaygın delik çapı için değiştirilebilir uçlu matkap mevcut değildir. Bu nedenle klasik hız çeliği matkaplar küçük çaplı delikler için en fazla kullanılan takımlardır.

Yüksek maliyetli modern tezgahlarda klasik HSS matkaplar ekonomik bir üretim için belirlenmiş performans gereksinimlerini karşılamazlar, birçok uygulamada zaman alıcı bir ön delme işlemine ve bir ince işleme gereksinim duyulur. Bu nedenle modern geometrilere sahip bilenebilir matkaplar işletme maliyeti yüksek yeni tezgahlarda her geçen gün önem kazanmaktadır (Çakır, 2010).

3.3.2.1. Delik delme işleminde kullanılan kesici takım malzemeleri

Kesici takımlar, iş parçalarının şekillendirilmelerinde kullanılan yüksek kaliteli, yüksek boyut hassasiyetli ve çoğu ileri teknoloji ürünü olan malzemelerden üretilirler. İşlenecek parçanın özellikleri, kullanılacak kesici takım malzemelerine sınıflandırmalar getirdiği gibi, takımın kullanım şartları da takım malzemesinin seçimini büyük çapta etkiler. Kesici takım malzemelerinde istenen ortak özellik ise sertlik ve sıcak sertlik, aşınma direnci, tokluk ve ekonomiktir.

Uygun takım malzemesinin seçimi ile kesici takım-iş parçası malzemeleri arasında sürtünme sonucu oluşan yüksek sıcaklık aşınma mekanizmalarının (difüzyon, oksidasyon vb.) bertaraf edilmesi ile yüksek kesme hızlarına ulaşır. Genel olarak takım malzemeleri üç ana grupta toplanabilir: Metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı takım malzemeleri günümüzde yaygın olarak kullanılan matkap malzemeleri ise yüksek hız çelikleri, Kobaltlı yüksek hız çelikleri ve sement karbürlerdir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar sonucunda, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplanmış takımlar da kullanılmaya başlanmıştır (Özdemir, 2000).

Semente karbür uçlar, yüksek hız çeliği matkaplardan daha yüksek devirlerde ve daha sert malzemelerde kullanılabilirler. Semente karbürler imalatta daha geniş kullanım alanına sahiptirler. Çünkü yüksek hız gerektiren işlemlerde, kesici ağız çabuk aşınmaz, ilaveten yüksek sıcaklıklara karşı oldukça dirençlidir. Aşınma direncinin yüksek olması ve termal dayanımının yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı karbür uçlar oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Oldukça ince, sert, aşınmaya karşı direnci olan titanyum karbür, alüminyum oksit ve titanyum nitrit çelikler ve karbür kesici takımların bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- a) Daha uzun takım ömrü: İki ile on kat daha fazla takım ömrü,
- b) Yüksek üretkenlik: Kesme hızları %25 ile %90 arasında artırılabilir,
- c) İş parçası kalitesinin artırılması: Takımlar düşük sıcaklıklarda işleme yaparak daha iyi yüzey kalitesi elde ederler.

- a) İmalat fiyatının azaltılması: Daha az takım değiştirilerek, makine daha az süre
- b) meşgul edilir.
- c) Harcanan makine kuvveti azalır: Güç miktarı %15 daha az tüketilir.
- d) HSS matkaba göre kaplanabilme özelliği daha iyidir.
- e) Kesici kenarlar daha keskindir (Krar, 1998).

Metal işleme sanayinde kesme bütün operasyonların kalbi niteliğindedir. Yapılacak operasyona, işlenecek malzemenin cinsine ve istenilen hassasiyete göre, metal kesiciler farklıdır. Talaşlı imalattaki gelişmeler, kesme ve ilerleme hızlarını da gün geçtikçe arttırması, üretimde değişik malzemelerin kullanılması, talaşlı üretim tezgahlarının gelişimi, kesici takımların gelişimini de zorunlu kılmaktadır.

Yapılacak operasyona göre, uygun tezgah seçimini de göz önüne alırsak, kesici takımlardan istenen özellikler;

- a) Uzun ömürlü olması,
- b) İstenilen işleme kalitesini ve ölçüsünü sağlaması,
- c) Parça başı takım maliyetinin uygun olması,
- d) Kolay temin edilebilir olması,

Takım değiştirme zamanları ve dolayısıyla işleme zamanları takım, makine ve işgücü maliyetlerinin yükselmesi nedeniyle, kesici takım malzemeleri aşınmaya karşı mukavemetli olması istenir. Kesici takım malzemeleri ile ilgili teknik gelişmeler sona ermemiştir, mevcut malzemelerde hem alarım elemanları hem de yüzey işlemlerle aşınma mukavemeti ve ömrünü arttırmak mümkündür.

Değişik kesme kuvvet ve zorlamalara maruz kalan kesici takım malzemeleri aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır:

- a) Sertlik ve basınç mukavemeti,
- b) Eğilme mukavemeti süreklilik,
- c) Kenar mukavemeti,
- d) İç yapısal mukavemet,
- e) Isı mukavemeti,
- f) Oksitlenmeye karşı koyabilme,

- g) Difüzyon yayılma eğiliminin az olması,
- h) Sürtünmeye karşı dayanıklı olmasıdır.

Ayrıca ısı iletim katsayısı ve genleşme kullanım alanlarına göre uygun olması gerekmektedir (Avuncan, 1998). Matkaplar genellikle tek parça veya kaynaklı olarak hız çeliğinden yapılırlar. Hız çeliğinden yapılan matkapların kesme kabiliyetini arttırmak için kesme kısımlarına siyanürizasyon gibi kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Bazı hallerde sert metalden yapılan matkaplar da kullanılır, bunlar daha çok takılabilir plakette matkap şeklindedir ve sinterleme tekniği ile üretilir (Akkurt, 1998).

3.3.2.2. Yüksek hız çeliği (HSS)

İlk olarak 1900 yılında Toylar ve White tarafından geliştirilen bu çelikler sade karbon ve alaşımlı takım çeliklerinden daha üstündür. 600 °C' a kadar kesme kabiliyetlerini korurlar ve yüksek kırmızı sertlik özelliğine sahiptirler. Takım çelikleri ile aynı takım ömrü için kesme hızları takım çelikleri için müsaade edilen değerlerin iki katıdır ve bu nedenle yüksek hız çeliği (high speed steel) olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.8' de farklı malzemeler ve ölçülerde matkap uçları gösterilmiştir

Yüksek hız çelikleri (hss) Fe ve C 'un yanısıra önemli oranlarda W, Mo, Co, V, Cr içerir. W, Mo, Cr ve Co ferrite çözünerek matriks mukavemetinin temperleme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yüksek olmasını sağlarlar ve bu yüzden sıcaklık sertliği artırır (Çiğdem, 2006).



Şekil 3.8. Farklı malzemede ve boyutlarda üretilmiş matkap uçları (Kaynak, 2013).

Hız çelikleri yüksek alaşımlı asal çeliklerden olup 600 °C sıcaklığına kadar sertliklerini muhafaza ettikleri için yüksek kesme hızlarında (30-50 m/dak) talaşlı imalatta en çok tercih edilen kesici takımlardır. Kesici takımı iyileştirmek için alaşım elementleri katılarak takım çeliğinin kendi kendine sertleşmesi ticari olarak ilk defa Robert Müshet tarafından yapılmıştır. Bu bileşim yaklaşık olarak % 1.2-2 mangenez, % 6-10 tungsten ve daha sonra % 1.2-5 karbon ve % 0.5 krom içermektedir. Bunun en önemli özelliği , havada soğutularak sertleşme özelliğine sahip olmasıdır. Çünkü suyla sertleşme çoğu zaman özellikle karmaşık şekilli ve büyük oranda mangenez ve kromun ihtiva etmesinin sonucu ve her ikisi de soğuma sonucu ve her ikisinde soğuma esnasında büyük oranda dönüşümü geciktirmesinden dolayı soğuma hızı düşük olduğundan havada veya yağda soğutulur. Bu takımlarda sertleşme sıcaklığı 1150-1300 °C iken temperleme sıcaklığı 550 °C civarında gerçekleştirilir. Bu takımlarda kesme hızında bazı ilerlemeler sağlanmıştır. Bu da esas itibari ile ısıtılardan sonra yüksek sıcaklıkta akma gerilmesinde önemli bir artış sağlayan tungsten tarafından gerçekleştirildiği sanılmaktadır.

YHÇ' lerinin günümüzde AISI'ye göre 40 kalitesi mevcut olmakla beraber bugün toplam 150'yi aşmaktadır. Esas itibari ile YHÇ' leri T ve M olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Bunlar ilk alaşım elementi olarak tungstene (T) sahip ve Molinden (M) dir. Bu nedenle YHÇ'leri M1, M2, M41, T1 ,T2, T15 gibi harflerle gösterilir.

M ve T türüne bakılmaksızın YHÇ' de fiziksel olarak benzerliklere sahiptirler. Bunlar aşağıda sıralanmıştır;

- a) Hepsi yüksek alaşım çeliğine sahiptirler,
- b) Genellikle 64 Rc serliğine müsaade etmesi için yeterli oranda C içermektedirler,
- c) Hepsi yüksek sıcaklıkta sertleşebilirler,
- d) Merkezden yüzeye uniform sertliğe sahiptirler (Şahin, 2003).

Sonuç olarak yüksek hız çelikleri 3 ana grupta toplanır;

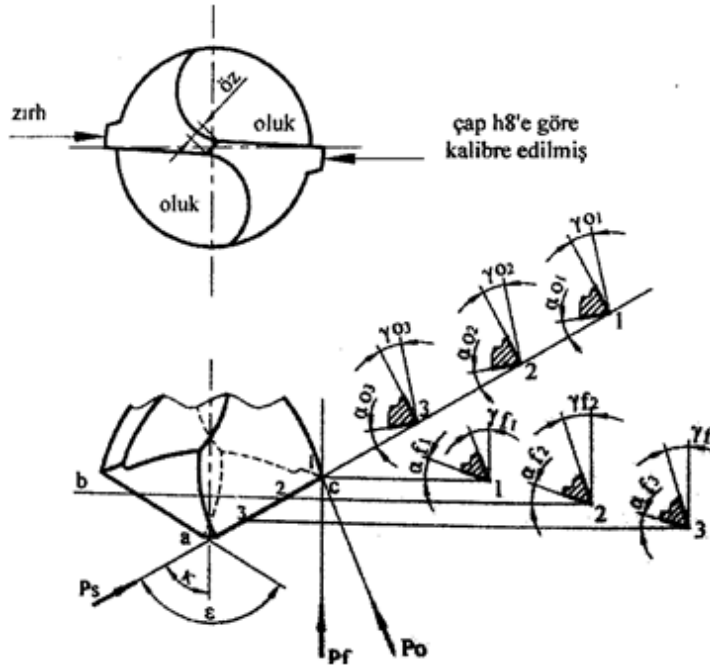
- a) Wolfram içeren yüksek hız çelikleri,
- b) Molibden içeren yüksek hız çelikleri,
- c) Wolfram ve molibden içeren yüksek hız çelikleri.

Yüksek hız çelikleri S harfi ile alaşım elemanlarının oranlarını belirten sayılarla gösterilir. Yüksek hız çelikleri W ve Mo oranına göre ayrılırlar (Kaynak, 2006).

Bileme için son derece uygun bir takım olması bilhassa torna tezgahlarındaki işlemlerde hss takımlar fazla tercih edilmektedir. Aynı zamanda radyüslerin, açılarının, kanalların ve daha karmaşık şekillerin işlenmesinde de tercih edilmiştir (Çakır, 2006).

3.3.2.3. Matkaplarda takım geometrisi

Delik delme işlemlerinde kullanılan matkap uçları, genellikle yüksek hız çeliklerinden (hss) imal edilir. Bunların çapları genel olarak h8 toleransına göre kalibre edilmiştir.



Şekil 3.9. Matkap Takım Ucu Geometrisi

Bir matkap ucu geometrisinde dikkate alınması gereken dört ana temel açı vardır.

Bunlar;

- Uç açısı (ϵ),
- Helis açısı (γ_0),
- Taban açısı (α_0),
- Kesme kenarı açısı (k) dır.

Bu açıların genel değerleri tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Matkap takım ucu değerleri (Çakır 2010).

Malzeme cinsi (genel)	Açı değerleri		
	ϵ	γ	α
Çelik gereçlerin delinmesinde:	110°-120°	25°-30°	8°
Hafif metal alaşımları için,:	130°-140°	30°-40°	9°
Pirinç/Bronz için:	120°	0-3°	6°

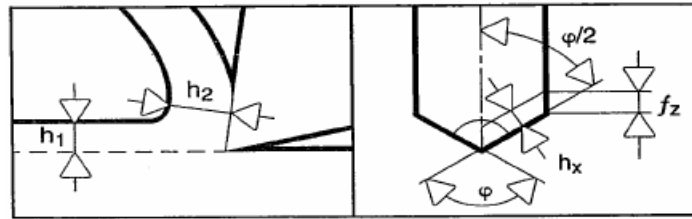
3.4. Matkapla Delik Delme İşleminde Talaş Oluşumu

Normal delik delme işleminde kullanılan matkapların birçoğunda iki talaş kanalı ve iki kesici kenar vardır. Talaşlar, delik içerisinden helis kanalları yardımıyla boşaltılırlar. Bu, modern tezgahlarda ve matkaplarda kesme sıvısının takım içerisinde bulunan kanallar vasıtasıyla kesme bölgesine aktarılması sonucunda gerçekleştirilir. Talaş oluşumu iş parçası malzemesi, takım geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kesme sıvısı seçiminden etkilenir. Genellikle artan ilerleme ve/veya azalan kesme hızı değerleri kısa talaş oluşumuna neden olurlar. Talaşların matkabın kesici kenarlarından problemsiz uzaklaştırılması, elde edilen talaşın kabul edilebilir bir uzunlukta olduğunu gösterir.

Talaş kırma aralığının etüdü sonrasında doğru kesme verilerinin saptanması mümkündür. Talaş kırma alanı, söz konusu malzeme üzerinde çeşitli kesme hızı - ilerleme değerlerinin denenmesi ve belirlenen değerlerden talaş kırma açısından tatmin edici sonuçlar veren değerlerin seçilmesiyle oluşturulur (Çakır 2010).

Kesme hızı, matkabın çevresinden merkeze yaklaştıkça azalır. Bu nedenle kesme hızının azalması sonucunda ortaya çıkabilecek yığılma kenar oluşumu riskinin göze alınması gerekir.

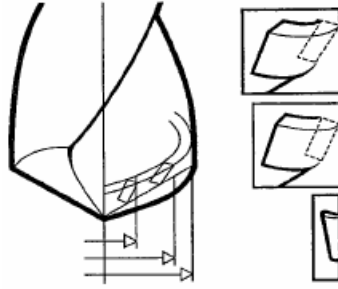
Matkabin merkezi yakınında oluşacak belirli bir miktar yığma kenar çoğu işlem için kabul edilebilir bir durumdur. Ancak kesme hızının düşürülmesi yığma kenarın çevreye daha yakın bir bölgede oluşmasına neden olacaktır, dolayısıyla sakıncalıdır. Talaş kaldırma işlemi esnasında talaşın plastik deformasyona uğraması nedeniyle, deformasyona uğramış talaş kalınlığı (h_2) teorik talaş kalınlığından (h_1) farklıdır. Delme işleminde teorik talaş kalınlığı artan kenar başına ilerleme ve uç açısı (φ) ile artar (Şekil 3.10) (Çakır 2010).



Şekil 3.10. Talaş oluşumuna etki eden faktörler

Artan ilerleme değeri ile helis açısı artar ve boşluk açısı azalır. Azalma merkeze en yakın noktada en yüksek seviyeye ulaşır. Bu ise, takım ile delik yüzeyleri arasındaki aşınmanın önlenmesi için boşluk açısının çevreden merkeze doğru artırılmasını zorunlu kılar. Talaş açısı, kesici kenar boyunca değişir ve matkabin çevresinden merkeze doğru azalır. Matkabin hızının da çevreden merkeze doğru azalması nedeniyle kesme hızının sıfır olduğu merkez noktasında matkabin ucu son derece verimsiz çalışacaktır. Matkap merkezdeki malzemeyi kesmek yerine bastırıp ezerken talaş açısının negatif olduğu ve kesme hızının sıfıra yaklaştığı noktada bir plastik deformasyon oluşur (Şekil 3.11). Bu basınç oldukça yüksek bir eksenel kuvvet bileşeninin ortaya çıkmasına neden olur.

Tezgahın gücü delinecek deliğin boyutlarına göre düşükse, ilerleme kuvvetinin büyük olmasından dolayı tezgah ana milinin esnemesi söz konusu olacak ve bunun sonucunda oval delikler elde edilecektir. Radyal ağız nedeniyle ortaya çıkan elverişsiz çalışma koşullarının giderilmesi için takımlarda önemli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Radyal ağız çok inceltilmiş veya tamamen ortadan kaldırılmış ve kesici kenara matkap merkezine doğru bir yarıçap verilmiştir (Çakır 2010).



Şekil 3.11. Kesici kenarın talaş kaldırması

Delik delme esnasında malzemenin türüne ve delme hızına ve matkap çeşitlerine göre oluşan talaşlar farklı şekillerde oluşurlar. Aşağıdaki şekillerde farklı hız ve malzemelerden çıkan talaş örneklerini şekil 3.13 de görebiliriz.



Şekil 3.13 ilerleme miktarında kesme hızına bağlı olarak delinen deliklerden alınan talaş örneklerindeki değişim

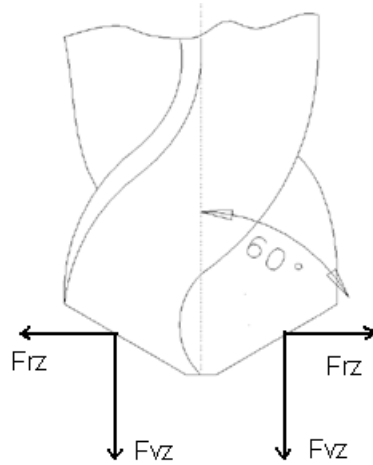
3.4.1. Matkaplarda kesici uca gelen kuvvetler

Matkapla delik delme işleminde belirli miktarda enerji ve güçte ihtiyaç duyulmaktadır. Matkap iş parçasının içine girerek talaş kaldırırken kesme de oluşan kuvvetler matkaba etki eder ve bunun sonucunda da belli bir güçte ihtiyaç duyulur.

İş parçası malzemesinin cinsine göre delik açmada kullanılacak olan güç farklılık gösterebilir ve bu güç hesaplanır. Malzeme için gerekli özgül bir kesme kuvveti göz önüne alınmalıdır. (Palmer, 1959).

Özgül kesme kuvveti gerekli olan gücün ve torkun ve ilerleme kuvvetinin hesaplanmasında önemlidir. Özgül kesme kuvveti belirli bir talaş açısı ve talaş kalınlığı belirli bir malzemenin işlenmesi açısından önem arz etmektedir.

Özgül kesme kuvveti efektif talaş açısı, ortalama talaş kalınlığı ve iş parçası parçası malzemesine bağlı olarak hazırlanmış tablolardan elde edilmektedir. Delme işleminde otaya çıkan kesme kuvvetleri kesici kenarlar, matkabın ucu, talaş yüzeyleri ve matkabın çevresinde bulunan ve klavuzlama yapan kenarlar üzerinde etkide bulunurlar (Çakır 2010). Delme sırasında bir ağza gelen talaş kaldırma kuvvetinin bileşenleri kesme kuvveti (F_{sz}), ilerleme kuvveti (F_{vz}) ve radial kuvvet (F_{rz}) şeklinde tanımlanır.



Şekil 3.12. Matkap ucuna gelen kuvvetler(Erdoğan, 2000).

Ağızların konumu itibariyle her ağızda oluşan radyal kuvvetler (F_{rz}) aynı düzlemde ve iki ağızlı matkap için zıt yönlü olduğundan birbirini dengelemektedir. Dolayısıyla delme işleminde sadece kesme ve ilerleme kuvvetlerinin etkisi vardır. Matkap ile delme sırasında harcanan güç kesme ve ilerleme için gerekli olan güçlerin toplamıdır. İlerleme için gerekli olan kuvvet, tamamıyla kullanan kişi tarafından uygulanan itme kuvveti yardımı ile sağlanırken matkap tarafından uygulanan kuvvetle kesme gücü sağlanmaktadır (Erdoğan, 2000).

Kesme gücü: $P_s = M_s \cdot \omega$ bağlantısı ile bulunur. Kullanılan ω matkabın açısal hızını M_s ise kesme momentini ifade eder. Kesme gücü matkabındöndürme momenti ile açısal hızının çarpımına eşittir. Kilowatt cinsinden ifade edilir (1000 Nm/dakn' ye e eşittir). Hız ve talaş kesici kenar boyunca değişimi dikkate alınmadığından formüller yaklaşık formüllerdir. Burada cidarlarda sürtünme ile oluşan kuvvet ve gücü etkileyen kuvvetlerde dikkate alınmamıştır (Çakır, 2006).

$$\text{Kesme momenti: } M_s = z \cdot (F_{sz}) \cdot F_{sz} \quad (3.1)$$

şeklinde hesaplanır.

Bu hesapta kullanılan z: kesme işlemini yapan ağız sayısı, matkap ucunun çapıdır. Matkap uçlarında genel olarak ağız sayısı ikidir.

$$\text{Kesme kuvveti: } F_{sz} = (A_{sz}) \cdot k_s \quad (3.2)$$

bağlantısı ile hesaplanır.

$$A_{sz} = s \cdot d / 4 \quad (3.3)$$

formülü ile talaş kesiti hesaplanır. Formüldeki s matkap ucunun bir devirdeki ilerlemesini temsil eder. K_s ise işlem yapılan malzemeye bağlı olan özgül kesme kuvvetidir.

$$k_s = 1,2 \cdot k_{s11} \cdot h^{-a} \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanır (Erdoğan, 2000).

3.5. Delme İşleminde Takım Aşınması

Aşınma, birbirine temas eden hareketli makina elemanlarının ara yüzeyinde değişik tribolojik etkiler sonucunda meydana gelen yüzey hasarı veya malzeme kaybı olarak adlandırılır. (Soydan 1996). Ayrıca ASTM G40-93 standartına göre aşınma: kontak halinde bulunan iki veya daha fazla katı cismin yüzeylerinin birbiri ile olan sürtünme etkileşimi sonucunda yüzeylerinde oluşan malzeme kaybı olarak da tanımlanabilir (Blau, 1999).

Bir çok durumda aşınma pürüzlerindeki yüzey etkileşimi sonucunda oluşur. Ancak bu durum erosif aşınma için geçerli değildir (Fıçıcı, 2012).

Temas halinde bulunan iki katı cisim birbirine göre nispi hareketi sonucunda sürtünen yüzeylerde malzeme değişimi söz konusu olabilir. Fakat bu malzeme değişiminde malzemelerin ana özelliklerinde herhangi değişim görülmez yada hissedilmeyecek kadar değişim olur. Etkileşim içinde olan yüzeylerde malzeme transferi olabilir veya aşınma artığı gözlenir. Malzeme değişiminden dolayı her iki cisimde de kütle veya hacimce belirgin değişimler olmaz. Aşınma olabilmesi malzeme kaybı ile ölçülür.

Günümüzde aşınmanın bazen istenen veya istenmeyen durumları da olabilir. Örneğin kullandığımız çaydanlıkların yüzeylerinin parlatılması için aşınma istenen durumlardandır. Makina sanayisinde aşınma istenmeyen bir durumdur. Yataklar, miller, kasnaklar, dişliler sızdırmazlık elemanları gibi hareketli parçalarda aşınma istenmez.

Aşınmanın en fazla olduğu yerlerden bir tanesi de imalat sanayisinde delik delme esnasında kullanılan kesici takımlardır. Delik delme esnasında tüm kesici takımlar aşınır ve bu aşınma kesici takımın ömründe azalma meydana getirir. Kesici takımın ömrü dakika cinsinden ifade edilir. Genellikle takım ömürleri işlem sırasında aşınmadan dolayı 15 dakikadır. Fakat bazı durumlarda takım ömürleri uzun olabilir. Takım ömrü, kesici takımın iş parçasını, iş parçasına ait sınırlayıcı parametrelerin belirlenen sınırlar içerisinde kalması koşulu ile işlenmesi için gerekli olan zamandır (Çakır, 2010).

Takımın aşınması, takım ve parça malzemesi, takım ve talaş geometrisi, kesme hızı, kesme sıvısı gibi birçok faktöre bağlıdır (Akkurt, 1991).

Takım genelde şu olaylar meydana geldiği durumda aşınmış sayılır.

- a) Serbest yüzeyde aşınma bölgesinin belirli bir boyuta ulaşması,
- b) Talas yüzeyinde krater veya başka aşınma türlerinin meydana gelmesi,
- c) Kesme ağzından küçük parçacıkların kopması,
- d) Yüzey kalitesinin bozulması,
- e) Kesme kuvvetinin ve gücün aniden artması.

Bu olayların biri veya birkaçının meydana geldiği durumda takım değiştirilir ve bilenir.

Takım ömrü, takımın müsaade edilen aşınma değerine erişeceği kadar geçen talaş kaldırma zamanı olarak ifade edilir. Müsaade edilen aşınma miktarı başlangıçta tayin edilir. Bu zamandan sonra takımın artık talaş kaldırma olayını istenen şekilde yerine getiremeyeceği ve dolayısıyla aşınmış olduğu varsayılarak bilinmesi ve değiştirilmesi gerekir. Buna bağlı olarak takım ömrü, iki bileme arasındaki çalışma zamanı olarak ta ifade edilebilir (Akkurt, 1991).

Kesici takım ömrü esas olarak iki kritere dayanır:

- a) İş parçasının istenen tolerans sınırları içerisinde üretilmesi
- b) İş parçası yüzey kalitesinin istenen sınırlar içerisinde tutulması

Bir kesici takımın bu kriterleri sağlayamadığı andan itibaren kullanılabilirliği bitmiş olur. Yani kesici takım aşınma sonucu kullanım ömrünü tamamlamış olur. Takımda meydana gelen aşınma belirli bir zaman sonra kırılmaya sebep olmaktadır. Kesici takımın kırılması kendi maliyetinden çok ekonomik zararlar getirmektedir (Sönmez, 2006). Uygulamalarda ve yapılan deneylerde kesici takımlarda kırılmanın iki şekilde meydana geldiği görülmüştür:

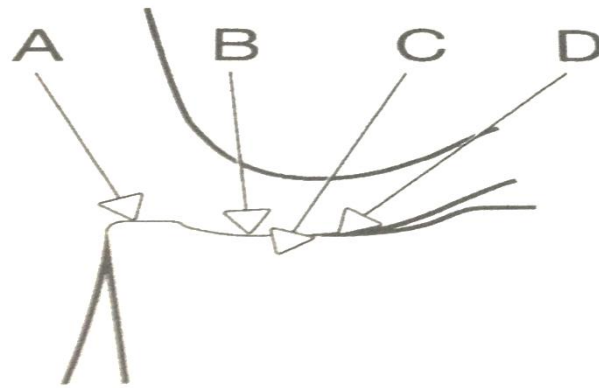
- a) Takım ömrü serbest yüzey aşınması veya krater aşınmasına bağlı olarak yavaş yavaş sona ermektedir.
- b) Aşınma belirli bir değere ulaştığında bir-iki saniye içerisinde serbest yüzey aşınması hızlı bir artış göstermekte, kesici kenar plastik deformasyona neden olmakta ve takım kırılmaktadır (Dinçmen, 1984).

Takım aşınması kaçınılmazdır, fakat aşınması ne zaman, nasıl, ne miktarda oluştuğunun ve ne tip aşınmanın bilinmesi halinde aşınmadan kaynaklı fazla da olumsuz bir etkisi yoktur. Bir kesici takımın çok küçük bir zaman aralığında, büyük miktarda talaş kaldırması son derece olumludur, fakat takımın ömrünü gereğinden önce tamamlaması ve kırılması olumsuz bir davranıştır. Modern kesici takımların çoğu doğru kullanılması halinde talaş kaldırma işlemi sadece daha çok verimli ve

ekonomik olmasının yanında daha çok güvenilir ve sürekli bir işlem halini alacaktır (Çakır, 2006).

3.5.1. Kesici takımlarda aşınma mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktöründen kaynaklanmaktadır. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak olarak belirlenir. Aşınma takım, iş parçası malzemesi ve işlem koşullarının etkileşiminden kaynaklanır.



Şekil 3.13. Tipik aşınma bölgeleri (Çakır, 2006).

Temel yük faktörü ve bu faktörlerin etki ettiği bölgeler bunlardan (A) mekanik, (B) ısı, (C) kimyasal, (D) abrazyon yükleri şekil 3.13 de gösterilmiştir (Çakır, 2006).

Genellikle kesici takımlarda yaygın olarak oluşan aşınma mekanizmalarını şöyle sırayabiliriz:

- a) Adhezyon,
- b) Abrasive,
- c) Yapışma,
- d) Difüzyon(krater)
- e) Plastik deformasyon,
- f) Kimyasal etki ile aşınma,
- g) Serbest yüzeyde oluşan aşınma (Şahin 2001. Çakır, 2006).

Şimdi bunlardan serbest yüzeyde oluşan aşınma, adhezyon, abrasive, difüzyon ve yapışma olayının nasıl ortaya çıktığını açıklayalım;

3.5.1.1. Serbest yüzeydeki aşınma

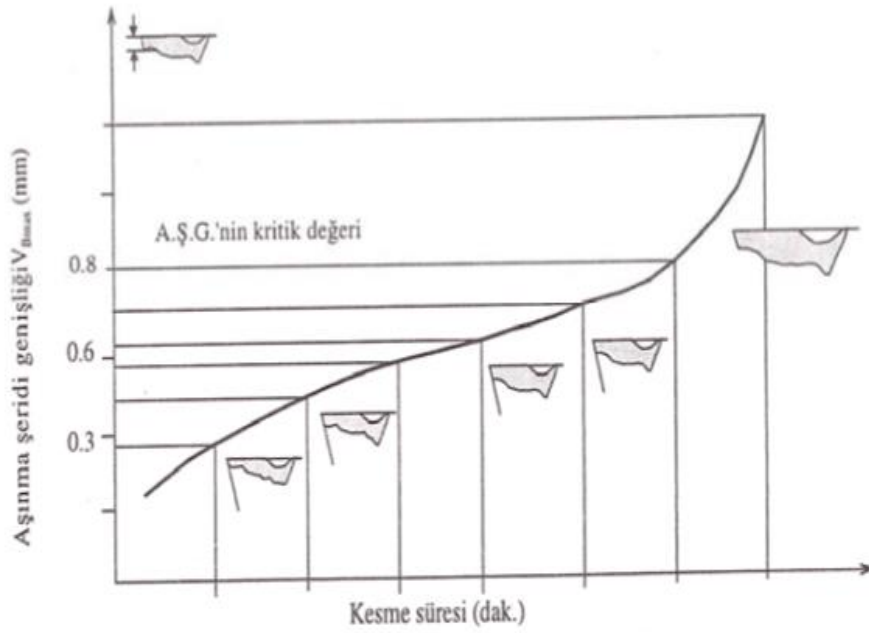
Talaş kaldırma esnasında takım serbest yüzeyi belirtilmiş etkilerden dolayı serbest yüze aşınmasına maruz kalır. Aşınma şeridi veya aşınma bölgesi tabir edilen bu bölge genellikle üniform bir görünüş arz etmez.

Araştırmacılar genellikle dayanma süresi tespiti için serbest yüzey aşınmasında belli bir genişliği tespit ederler. Ancak muntazam bir görünüm arz etmeyen bu bölgede genişliklerden hangisinin kabul edilmesi hususunda mutabakat bulunmamaktadır. Serbest yüzey aşınmasında aşınma şerit genişliğinin talaş kaldırma zaman ile değişimi, birçok araştırmacıların hedefi olmuştur. Bazı araştırmacılar içindeki kükürt miktarı değişen çelikler üzerinde sert metal ve yüksek hız çeliği takımlar kullanılarak bu çeşit takımlarda aşınma şeridinin zamanla değişimini incelemiştirler. Buna ait farklı çelikler için grafikler tespit edilmiş, grafiklerin incelenmesinden araştırmacıların hız çeliği ve sert metal takımlar için farklı değerler elde etmekle beraber eğrilerin karakterleri bakımından yakın neticelere eriştikleri görülmektedir.

Kesme zamanı aşınma şerit genişliği eğrileri üç bölgede karakterize edilmektedir.

- a) Başlangıçta hızlı bir aşınma veya kırılma,
- b) Aşınmanın büyümesi, eğri bu bölgede aşağıya doğru konkav bir görünüş arz eder. Bu bölgede takım sıcaklığına karşı fazla hassas değildir.
- c) Takımın tam harabiyete doğru gittiği ifade eden süratli bir aşınma bölgesi oluşur. Bu bölgede takım, sıcaklığa karşı hassastır.

Takım süratli aşınma bölgesine, yani önceden tespit edilmiş noktaya erişmeden işletmeden alınması faydalı olacaktır. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için bir örnek verilmiştir. Şekil 3.14' deki grafik kesme süresine bağlı olarak serbest yüzeydeki aşınma şerit genişliğinin değişimini göstermektedir.



Şekil 3.14. Sert metal plakette bir takımında serbest yüzdeki a.ş.g'nin zamana bağlı olarak değişimi ve kritik a.ş.g.

Verilen örnekte kritik aşınma şerit genişliği 0.8 mm seçilmiş olup, bu değerin geride bıraktığını ifade eden bölgede eğri ani tırmanış göstermektedir. 0.8 mm'lik değerin aşılması yukarıda sözü edilmiş olan 3. bölgeye girildiğini belirtmektedir. Aşağıda kritik aşınma şerit genişliği için referans değerler verilmiştir. Ancak bu değerlerin tesadüfi seçilmesi yerine, büyük parti işleyen kuruluşlarda ön deneylerin yapılması ve şartlara en uygun aşınma şeridi genişliği veren parka adedinin tespiti pratik çözüm sağlar.

Kritik nokta hem ani kırılma ve büyük zorlamaların başlangıcını, hem de bileme ve takım değiştirme zamanları bakımından optimum çözümü getiren noktayı temsil etmektedir. Dayanma süresi sonunun tespiti için serbest yüz üzerindeki aşınma şerit genişliğinin değeri muhtelif araştırmacılar tarafından farklı olarak verilmektedir. Bu genişlik araştırmacı ya bağlı olarak metrik sistemi kullanan ülkelerde 0.3-0.4-0.5 ve 0.7 mm ve inç sistemi kullanılan ülkelerde 0.05-0.010-0.015-0.020-0.025 ve 0.030 inç değerinden herhangi biri olarak seçilmektedir.

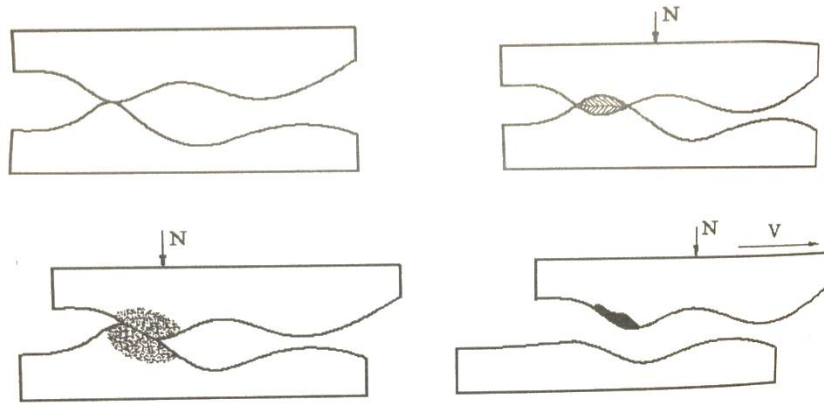
Amerikan standartlarında sert metal takımlar için bu değer 0.030 inç olarak verilmiştir. Seramik takımlarda ise bu değer 0.060 inç değerine kadar çıkabileceği bir takım araştırmacılar tarafından verilmiştir (Kaynak, 2006).

3.5.1.2. Adhezyon aşınması

Bilindiği gibi adhezyon, birbiri ile temas halinde çalışan iki metal parçanın birbirlerine bastırılması halinde yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktalarında çok yüksek basınçlar meydana gelir. Bu yüksek basınç nedeniyle metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro-kaynaklar oluşur. Temas yüzeyleri birbirine göre relatif olarak hareket ederlerse mikrokaynaklar kırılır.

Diğer bir ifadeyle, mekanik gerilmeler sürtünme elemanı olan malzemenin akma sınırını aştığında yüzey plastik deformasyona uğramaktadır. Birbirlerinin yüzeylerinden çok ufak talaş zerreleri özellikle yumuşak malzemedan koparılır. Bu şekilde ortaya çıkan aşınma adhezyon aşınması olarak adlandırılır (Şahin, 2001).

Bu tip aşınmaya en fazla tesir eden faktörler temas eden yüzeylerin sertliği, yüzey kalitesileri ve yüzeyler arasındaki basınçtan ileri gelmektedir. Bu tür aşınma, takım, iş parçası, ile temas halinde iken çıkan talaşın yüzüne sürtünmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Adhezyon aşınmasının oluşu şekil 3.15’ de gösterilmiştir.

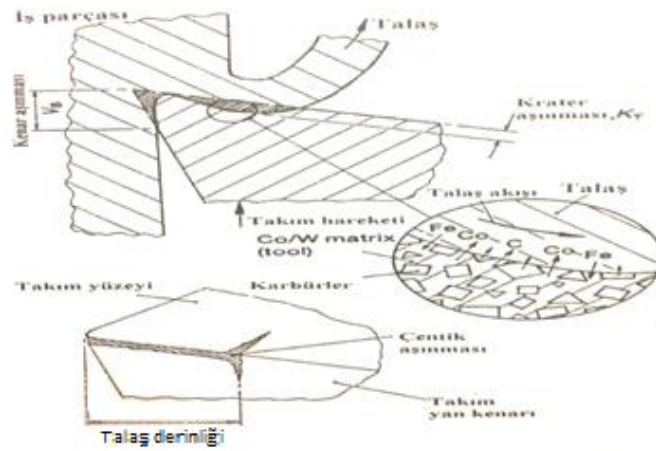


Şekil 3.15. Adhezyon aşınmasının meydana gelişini (Şahin, 2001).

3.5.1.3. Krater aşınması

Takım ömründe en etkili parametre takım aşınmasıdır. Matkap geometrileri diğer kesici takımlara oranla daha karmaşık ve komplekstir. Dolayısıyla kesici uçlardaki aşınmanın belirlenmesi nispeten daha güçtür. Bu sebeple araştırmacılar birçok deneysel ve matematiksel işlemlerle aşınmayı irdelemeye çalışmışlardır. Ulaşılan sonuçlara bakıldığında delmede en ciddi aşınmalardan birisi krater aşınmasıdır (Choudhury, 2000).

Abu-Mahfouz'a göre krater aşınmasının temel nedeni; talaş yüzeyinde meydana gelen yüksek sıcaklıktır (Abu, 2003). Talaş kaldırma esnasında takımın talaş yüzünde belirtilmiş bulunan aşındırıcı tesirler nedeniyle meydana gelen oyulmanın miktarını tayin edebilmek için, araştırmacılar çeşitli ölçüler kullanmışlardır. Araştırmacı, takım bu aşınma değerlerinden hangisine daha önce ulaşmışsa, onu kriter olarak takımın dayanma süresi sona ermiş bulunduğunu kabul etmiş bulunmaktadır (Avuncan, 1996).



Şekil 3.16. Karbürlü takımlarda krater oluşumu (Şahin, 2001).

Krater aşınma genellikle tungsten karbür kobalt alaşımli takımların talaş yüzeyinde oluşur. bu karbürlü takımlarda sıcaklık dağılımı yhc' ine benzer. Çünkü ısı kaynağı aynı karakterde olup, takım temas yüzeyi ince bir metalik akma bölgesi halindedir. Şekil 3.16' da karbürlü takımlarda krater oluşumu gösterilmektedir (Şahin, 2001)

3.5.1.4. Abrasyon aşınması

Abrasyon, sert malzeme (takım) iş parçasından talaş kaldırırken, talaş altındaki sert partiküllerin takım yüzeyinden geçerken mekanik hareketiyle oluşur. Bu tip aşınma muhtemelen sert parçacıklar ihtiva eden iş parçalarının işlenmesinde ve talaş kaynamasından oluşan sertleştirilmiş parçalarda ortaya çıkar. Abrasyon aşınmasını iki yumuşak yüzey arasına sert parçaların girmesiyle oluştuğunu ve boşluklu dökme demirlerin kaba işlenmesinde, sert parçacık içeren alaşımların işlenmesinde takım aşınmasının mümkün olduğu görülmüştür. Keza küçük boyutlu sert parçaların aşınma üzerine etkisi az olurken büyük sert parçacıklar abrasyon aşınma miktarını daha fazla artırır (Şahin, 2001).

Bu sert parçacıkların zımpara tozu gibi yüzeyler arasın kazıyıcı görevi yaparak taşlama işlemine benzer bir işlem yaparak takımı aşındırırlar. Takım ve iş parçası mikro yapı olarak sert iseler ve karbür, oksit içeriyorlarsa bu talaşlı işleme esnasında abrasyon aşınmasına neden olur (Altıntaş, 2000).

3.5.1.5. Adhesif aşınma

Temelde takım yüzeyinde oluşan mikroskobik ölçüdeki parçacıklar veya büyük parçaların takım yüzeyindeki aralıklarla koparılması olayına denir. Takım ile talaş arasında sürtünmeden dolayı talaşların takım yüzeyine kaynar. Yapışma aşınması, takım yüzeyinde talaşın düzgün akmadığı veya takım talaş arasında kesikli teması olduğu yerde, takım-talaş yüzeyi kaba ve düzgün değilse oluşur. Bu şartlar yapışma aşınmasının düşük hızlarda oluştuğunu göstermektedir.

Parlatılmış takımların kullanılması bu tip aşınmaya daha dirençlidir. Talaş kaynamasının dinamik yapısından dolayı bu tür aşınmanın temel sebeplerinden biri olduğu ifade edilebilir.

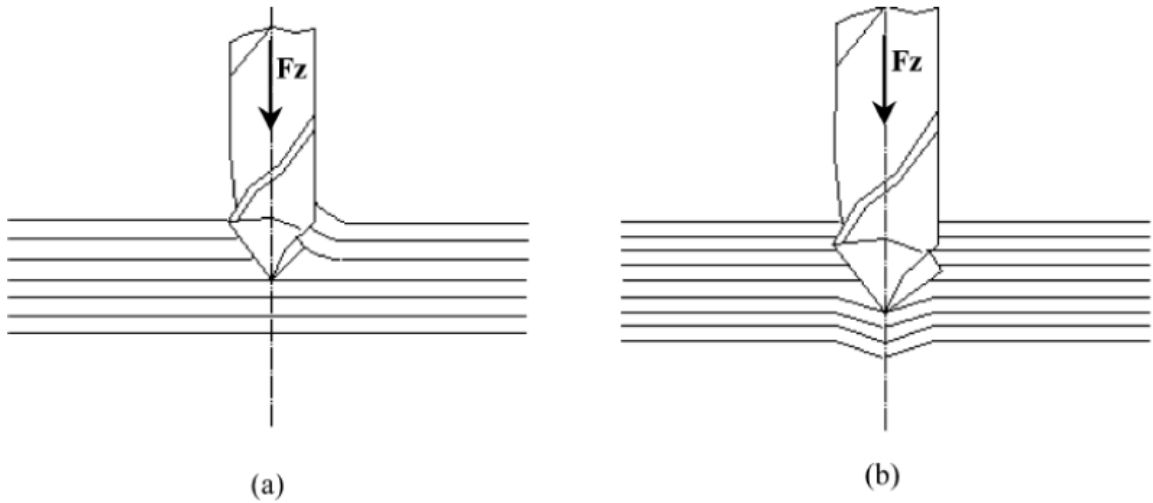
Titreşimli ve düşük rijitliğe sahip takım tezgahların, düşük kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi faktörler yapışma aşınma miktarını artırır.

Bu aşınma mekanizması:

- Yeterli boşluk açısı,
- Küçük tane boyutlu takım malzemelerinin kullanılması,
- Kesme hızının artırılması ile önlenir (Şahin, 2001).

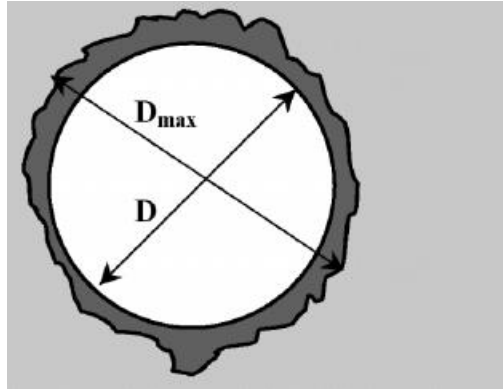
3.6. Delaminasyon

Delaminasyon faktörü, delme esnasında hasar bölgesinde oluşan maksimum hasar çapının (D_{max}) matkap çapına (D) oranlanmasıyla hesaplanan sayısal bir değerdir (Luis 2009). Bu değer, kompozit malzemelerde yapılan talaşlı imalat işlemlerinde oluşan yüzey hasarı için önemli bir etkidir (Davim 2003). Polimer kompozit malzemelerde oluşan hasar, matkabın kompozit malzemeye giriş (peel-up) Şekil 3.17.a ve malzemeden çıkış esnasında (push-down) Şekil 3.17.b olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleşir. Ayrıca delaminasyonun oluşumu da kesme parametrelerinin bir fonksiyonu olarak ele alınmaktadır (Davim 2003).



Şekil 3.17. Polimer matrisli kompozitlerin delinmesi esnasında, a) giriş bölgesinde, b) çıkış bölgesinde oluşan delaminasyonun gösterimi (Davim 2003).

Delaminasyon faktörünün görüntüsü ise Şekil 3. 18' de verilmiştir.



Şekil 3.18. Delaminasyon faktörünün gösterimi (Kılıçkap, 2010).

Yapılan birçok çalışmada, kesme parametrelerinin delaminasyon faktörü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Malzemede oluşan delaminasyon farkı aşağıdaki formülle bulunur.

$$F_{Del} = \frac{D_{max}}{D_{drill}} \quad (3.5)$$

Kılıçkap, delaminasyon faktörünün kesme hızı, ilerleme oranı ve matkap uç geometrisi gibi delme parametrelerinden etkilendiği ve yaptığı çalışmada en düşük delaminasyon faktörünün düşük kesme hızı ve ilerleme değerlerinde oluştuğunu belirtmiştir. Yüksek kesme hızı ve ilerleme değerlerinde delaminasyon faktöründe artış olduğunu belirlemişlerdir (Kılıçkap, 2010).

Delaminasyon faktörü üzerine yapılan bazı çalışmalarda ise araştırmacılar kesme parametrelerinin yanı sıra takım geometrisini de incelemişlerdir. Elias, GFRP malzemenin delinmesinde kesme parametreleri, takım geometrisi ve elyaf oryantasyonunun delaminasyon üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonrasında hasar faktörünün devir ve takım uç geometrisindeki artışla birlikte azaldığını belirtmişlerdir (Elias, 2012).

Ekici ve Işık cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesi esnasında oluşan yüzey hasarını incelemişlerdir. Çalışmalarında 2, 3 ve 4 ağızlı 60°, 90° ve 120° uç açısına sahip HSS matkaplar kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda, en az yüzey

hasar faktörünün 2 ağızlı 60° uç açılı matkap ile oluştuğunu belirtmişlerdir (Ekici ve Işık, 2002).

Delaminasyon tabakalı kompozit malzemeyi meydana getiren her bir katmanın ayrılması olarak tanımlanır. Ayrılma her bir katman arasında bulunan ve katmanlar arası yüzey adı verilen bölgedeki ince matriks malzemede meydana gelir. Tabakalı kompozit malzemede oluşan hasar türleri arasında delaminasyon genellikle en baskın ve ciddi hasar türü olarak kabul edilir. Balistik darbe maruz kalan tabakalı kompozit malzemelerde delaminasyon oluşumu ve ilerlemesi önemli bir hasar türü olarak kabul edilse bile, oluşan delaminasyonun uzunluğu ve darbe esnasında ilerlemesi hakkında halen sınırlı ölçüde bilgi mevcuttur (Turan 2007).

BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma ile farklı kesme parametrelerine bağlı olarak polyphthalamide (PPA) polimer matrisli kompozit malzemenin delinebilmesi için gerekli olan optimum delme şartlarının bulunması ve işleme sırasında oluşan delaminasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve takım aşınma mekanizmaları açısından incelenmiştir. Deneylede kullanılan malzeme, donanım, işleme parametreleri, takım tezgahı vb. özellikler aşağıda ele alınmıştır.

4.1. Deney Malzemesi

Deney numuneleri olarak 80x50 çaplarında 5 mm kalınlığında plaka olarak kesilmiştir. Deneyde kullanılan PPA makina endüstrisinde en çok kullanılan malzemesidir. Nisbeten sertlik rijit kaygan ve iyi mekanik dayanımı değerlerine sahip bir malzemedir.

Dişli uygulamalarında tekerlek yapımına kadar bir çok muhtelif yerlerde kullanılır. Ancak döküm PPA kadar sert ve aşınmaya dayanıklı poliasetal kadar kaygan bir malzeme değildir. Kimyasal mukavemeti orta değerdedir, bazı asit ve bazlara karşı mukavemeti vardır.

PPA bünyesinde su toplama özelliğine sahiptir. Bu özelliklerin iyi ve kötü yanları vardır. İyi yönü parçanın titreşim ve ani darbelere karşı dayanımı artırır. Böylece parça kullanım esnasında oluşacak dinamik gerilmelerin bünyede yok edilmesine olanak sağlar. Kötü yönü ise malzemede ölçü stabilitesine ulaşmak güçleşir. Yani malzeme havadaki nemden dahi etkilenerek ölçü değişikliklerine uğrar parçaya son işlem yapılmadan toleranslara dikkat edilmelidir. Aşağıda PPA özellikleri sıralanmıştır;

Tablo 4.1. Polyphthalamide özellikleri

Malzemenin cinsi	Sert plastik
Malzemenin esası	polyphthalamide
Çekme dayanımı	650Kgf/cm ²
Kopma uzaması	% 273
Eğilme dayanımı	515 Kgf/cm ²
Sertlik	Rocwell E 112
Vicat yumuşama sertliği	184 °C
Özgül ağırlığı	1.14 gr/cm ³

4.1.1. Kesici takımlar

Kesici takım olarak, delme işlemlerinde HSS, HSS+Ti, Karbür olmak üzere 3 farklı cinsten matkap kullanıldı. Deneylerde, 30°±3 helis açısına, 118° uç açısına sahip N tipi matkaplar kullanıldı. Yapılan her deneyde yeni bir matkap kullanılmıştır.

4.1.1.1. HSS

Bu çalışmada makina takım endüstri A.Ş. tarafından imal edilmiş (DIN 338) kaplamasız HSS (Şekil 4.1) matkaplar kullanılmıştır. Delme işlemlerinde kullanılan kesme parametreleri ve takım özellikleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Makine takım endüstri a.ş. din 338 hss m 118°taşlanmış Uç

Tablo 4.2. Takım özellikleri ve kesme parametreleri

Kesicinin cinsi	HSS yüksek hız çeliği, N , uç açısı 118, çap toleransı h8, sağ kesme yönü
Standart	DIN 338
Kesici geometrisi	3 mm, uç açısı 118, helis açısı 30
Kesme hızları	7, 9, 11 m/dak
İlerleme miktarı	0.05, 0.1, 0.15 mm/dev

4.1.1.2. HSS+TİN

Bu çalışmada makina takım endüstri A.Ş. tarafından imal edilmiş. (DIN 338) kaplamalı HSS TİN (Şekil 4.2) matkaplar kullanılmıştır. (Resim 4.1). Kaplamalar PVD (Fiziksel Buharlaştırma Metodu) ile DIN 338 HSS RN 118 taşlanmış matkap üzerine TİN malzeme kullanılarak yapılmıştır. Delme işlemlerinde kullanılan kesme parametreleri ve takım özellikleri çizelge 4.3' de gösterilmiştir



Şekil 4.2. Taşlanmış uç

Tablo 4.3. Takım özellikleri ve kesme parametreleri

Kesicinin cinsi	HSS+TİN, uç açısı 118, çap toleransı h8, sağ kesme yönü
Standart	DIN 338
Kesici geometrisi	3 mm, uç açısı 118, helis açısı 30
Kesme hızları	7, 9, 11 m/dak
İlerleme miktarı	0.05, 0.1, 0.15 mm/dev

4.1.1.3. Karbür

Bu çalışmada makina takım endüstri A.Ş. tarafından imal edilmiş. (DIN 338) kaplamalı karbür (Şekil 4.3) matkaplar kullanılmıştır. Kaplamalar PVD (Fiziksel Buharlaştırma Metodu) ile din 338 HSS rın 118 taşlanmış matkap üzerine. Delme işlemlerinde kullanılan kesme parametreleri ve takım özellikleri Tablo 4.4' de gösterilmiştir



Şekil 4.3. Karbür taşlanmış uç

Kesicinin cinsi	KARBÜR, N , uç açısı 118, çap toleransı h8, sağ kesme yönü
Standart	DIN 338
Kesici geometrisi	3 mm, uç açısı 118, helis açısı 30
Kesme hızları	7, 9, 11 m/dak
İlerleme miktarı	0.05, 0.1, 0,15 mm/dev

Tablo 4.4. Takım özellikleri ve kesme parametreler

4.2. Takım Tezgahı CNC

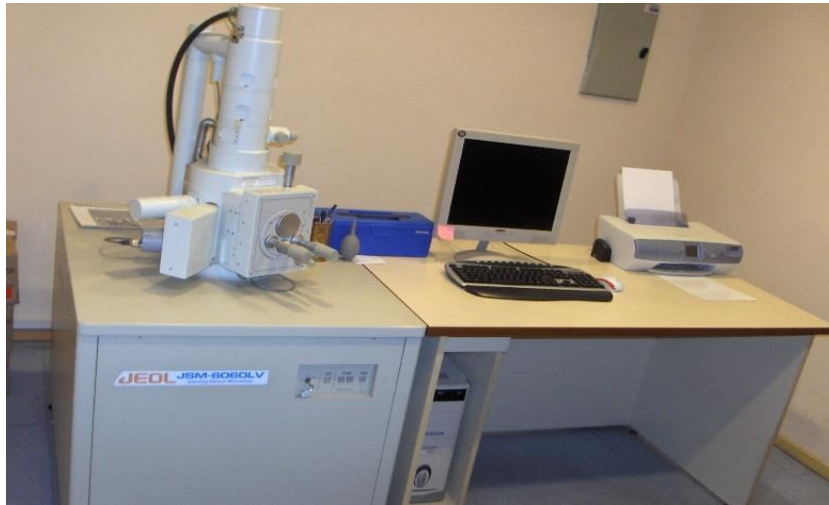
Delme deneyleri, kuru kesme şartları altında Sakarya Üniversitesi Makina Eğitimi bölümünün atelyesinde 3 eksenli HAAS TM-1 model CNC dikey freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Tezgah, maksimum 4000 devir hızı ve 5.6 kW motor gücüne sahiptir. CNC programlama işlemi, Intel Pentium IV at 2.8 GHz özelliğine sahip bilgisayarda kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.4' de deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Deneysel düzenek olan cnc tezgâhı

4.3. Taramalı Elektronik Mikroskop (SEM)

Bu çalışmada Polimer matriksli kompozit malzemeyi delme işleminde kullanılan kesici takımlarında oluşan aşınma, madde yapışması, matkaplarda pürüzlülük, iş parçasında kesilen yüzeylerin incelenmesi için jeol jsm- 6060 lv modelli taramalı elektronik mikroskop (Şekil 4.5) aracılığıyla bakıldı.



Şekil 4.5. Taramalı elektronik mikroskop

4.4. Optik Mikroskop

Çalışmada kompozit malzemelerin kesme testlerinden elde edilen talaşlar ve kanallarda oluşan çapaklar, ikon Eclipse L150 optik mikroskop ile yapılmıştır. Optik mikroskop metalografik olarak hazırlanmış numunelerin, farklı büyütmelerde ve farklı mikroskopik tekniklerle incelenmesine olanak sağlar. Mikroskopun resmi şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Nikon Eclipse L150 optik mikroskop

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

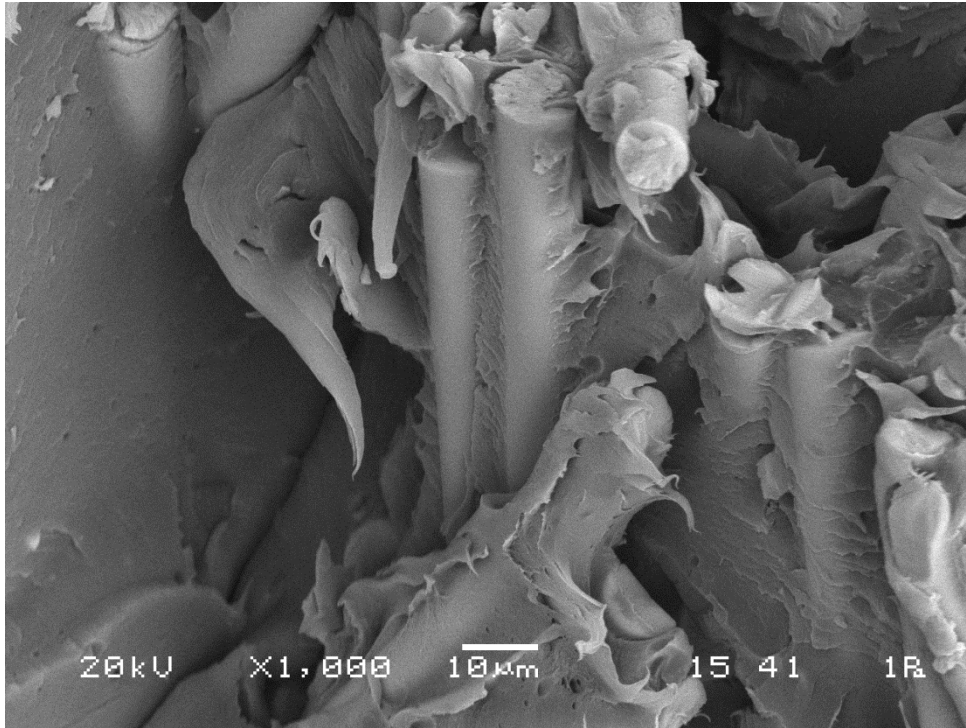
%30 cam fiber takviyeli PPA matriksli kompozit malzemenin delinmesi ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar detaylı olarak incelenmiştir. Deneysel inceleme delaminasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve takım aşınma mekanizmaları açısından yapılmıştır.

5.1. Kompozit Malzeme

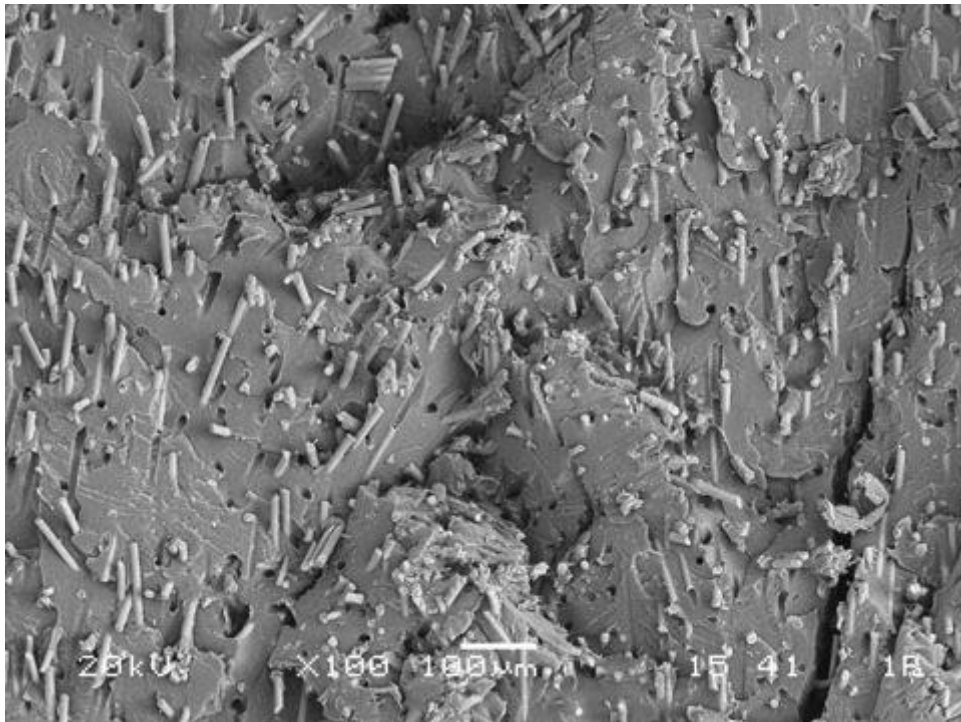
Delme işleminde kullanılan kompozit malzemede matriks malzeme ile takviye fazı arasındaki ıslanma olayına ait SEM görüntüsü Şekil 5.1' de gösterilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde cam fiber takviye fazı ile matriks malzeme arasındaki ıslanmanın iyi olduğu gözlenmiştir. PPA matriks malzemenin cam fiberlerin etrafını güzel bir şekilde sardığı tespit edilmiştir.

Deneylerde kullanılan cam fiber takviyeli kompozit malzemenin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüleri Şekil 5.2' de gösterilmiştir. Şekil 5.2 incelendiğinde cam fiber takviye fazlarının genel olarak dik bir şekilde yönelmiş olduğu gözlenmiştir. Kırılma olayından dolayı fiberlerin bir kısmının ise ters doğrultuda olduğu tespit edilmiştir.

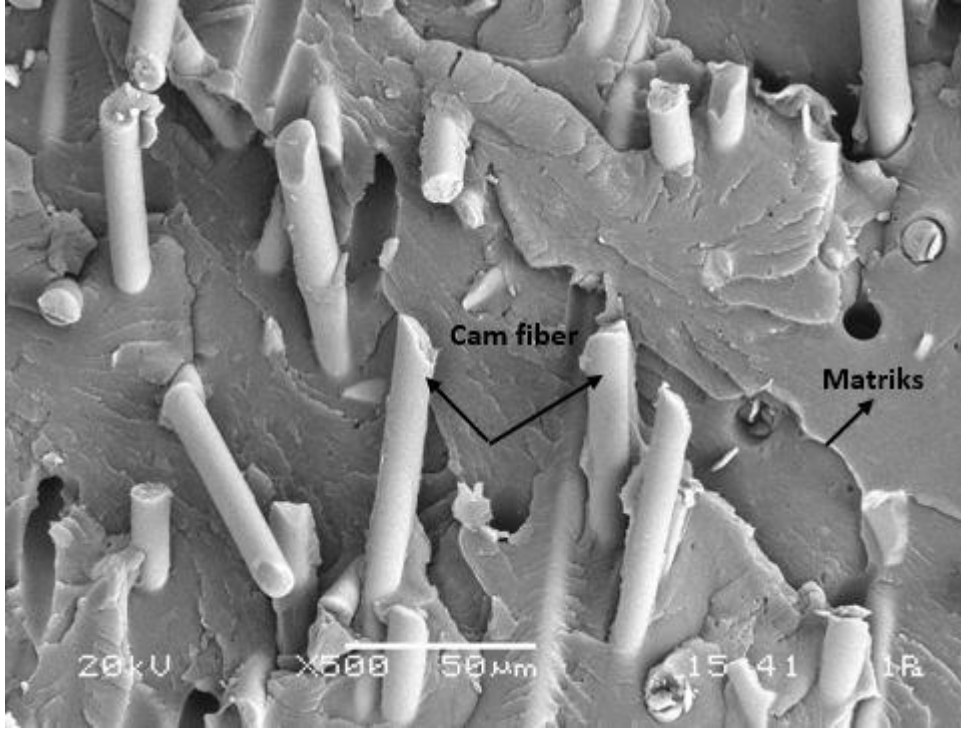
Şekil 5.3 incelendiğinde matriks malzeme ve cam fiberlerde kırılmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca takviye fazlarının bir kısmının matriks malzeme yüzeyinden uzaklaşmış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. Kompozit malzemede matriks malzeme ile takviye fazının ıslatma olayının SEM görüntüsü (1000 X)



Şekil 5.2. Kompozit malzemede cam fiberlerin yönlenmesine ait SEM görüntüsü (100 X)



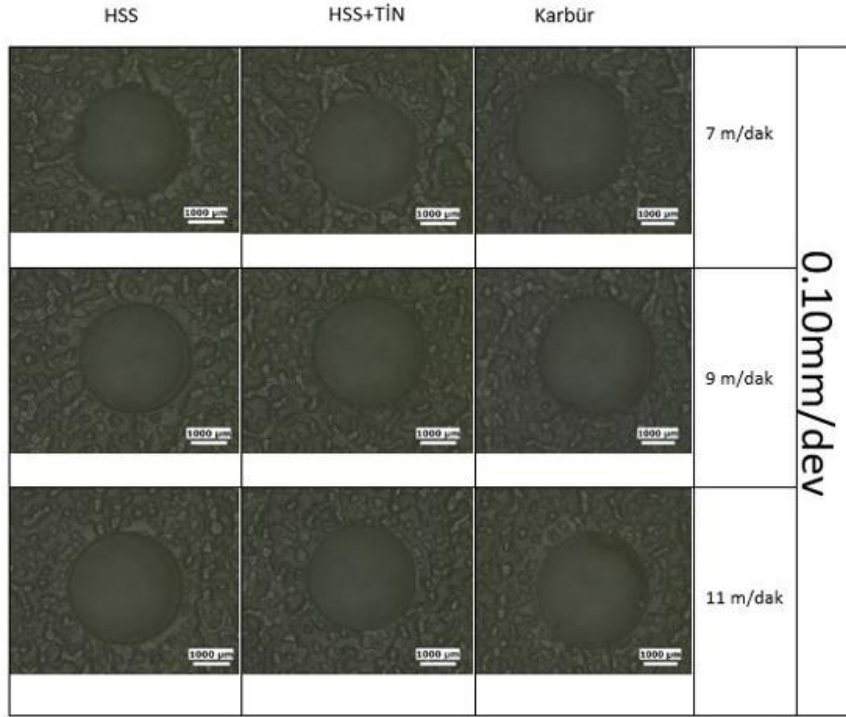
Şekil 5.3. Kompozit malzemenin kırılma yüzeyine ait SEM görüntüsü (500 X)

5.2. Delaminasyon Faktörü

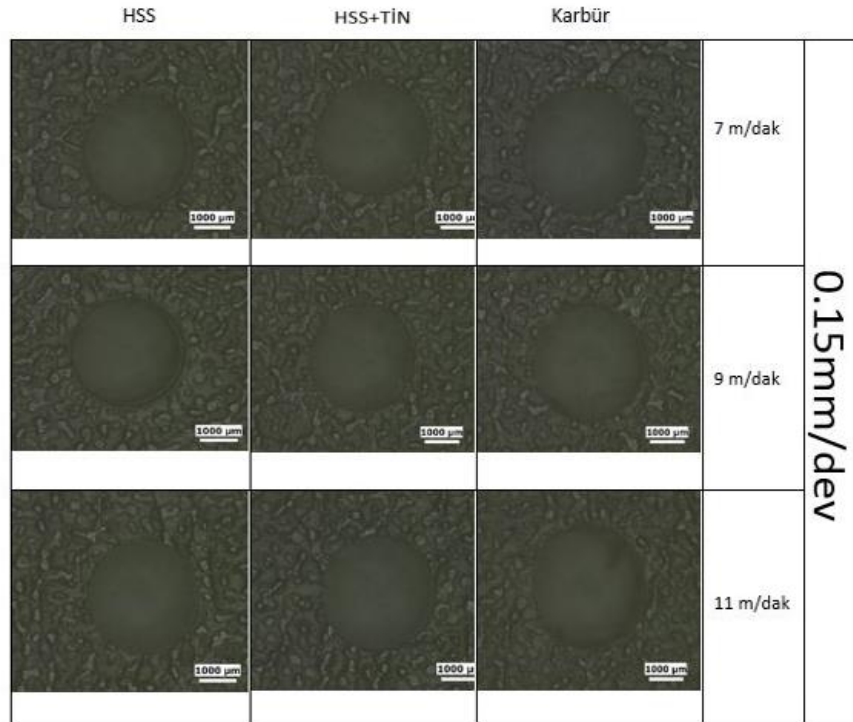
Delaminasyon faktörü, kesme hızı ve ilerleme hızı açısından incelenmiştir. Şekil 5.4-5.6' da delaminasyona ait optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.

HSS	HSS+TIN	Karbür		
			7 m/dak	0.05mm/dev
			9 m/dak	
			11 m/dak	

Şekil 5.4. 0.05 mm/dev ilerleme hızına ait delaminasyon optik mikroskop görüntüsü (10X)



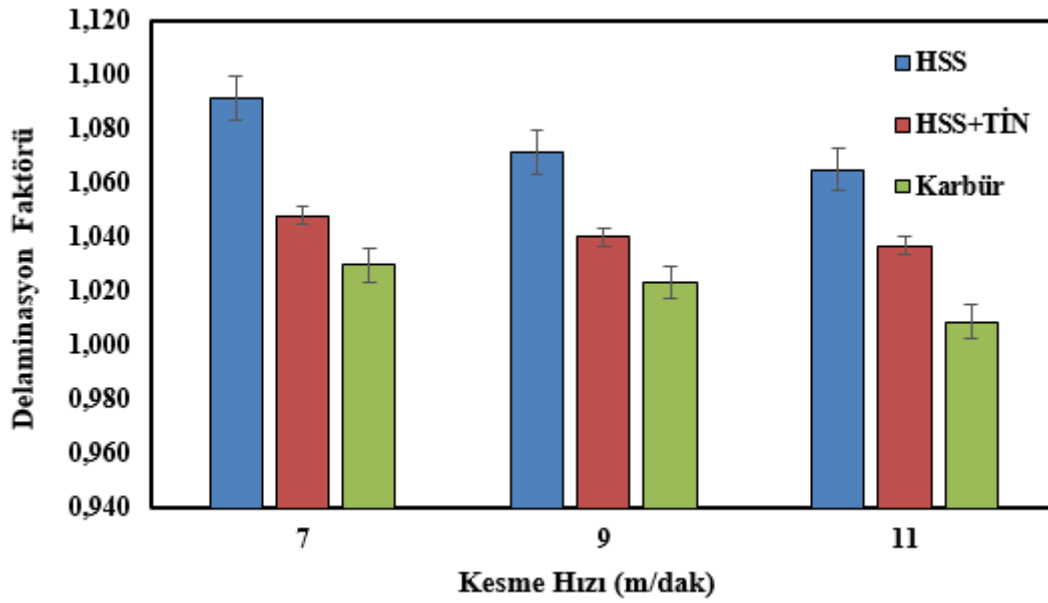
Şekil 5.5. 0.10 mm/dev ilerleme hızına ait delaminasyon optik mikroskop görüntüsü (10X)



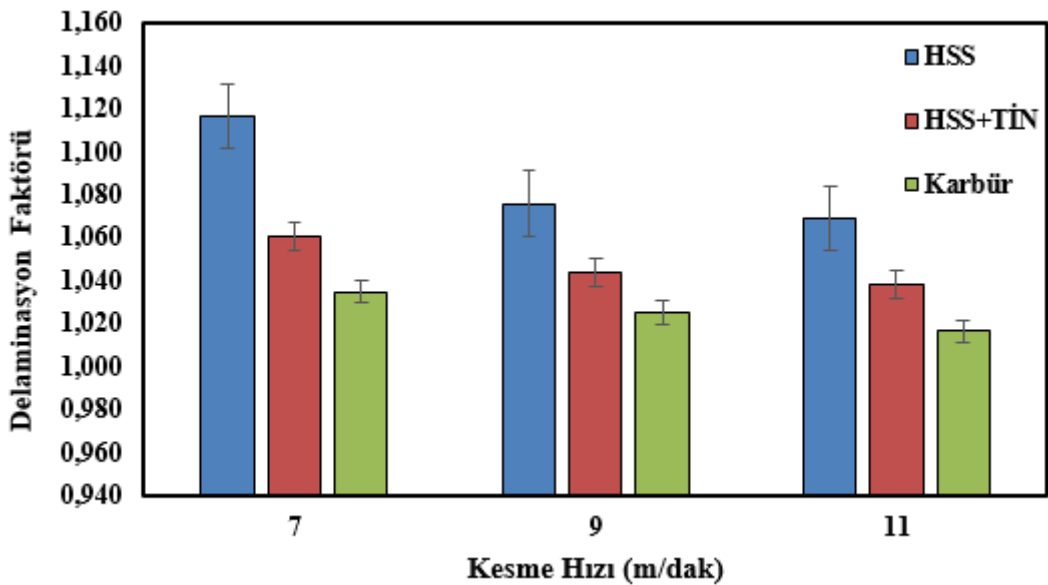
Şekil 5.6. 0.15 mm/dev ilerleme hızına ait delaminasyon optik mikroskop görüntüsü (10X)

5.2.1. Kesme hızının delaminasyon faktörüne etkisi

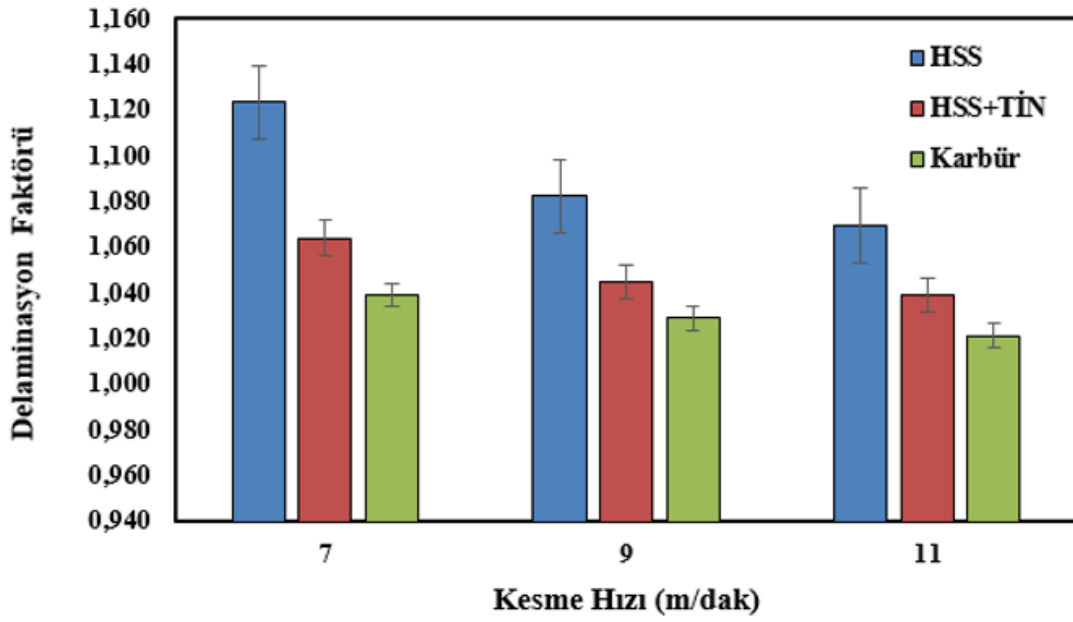
Delaminasyon faktörü üzerinde önemli faktörlerden bir tanesi kesme hızıdır. %30 cam fiber takviyeli kompozit malzemenin üç farklı kesici takım malzemesine ait delaminasyon faktörünün kesme hızına bağlı grafikler Şekil 5.7-5.9' da gösterilmiştir.



Şekil 5.7. 0.05 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi



Şekil 5.8. 0.10 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi



Şekil 5.9. 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi

Şekil 5.8 incelendiğinde her üç matkap için kesme hızı artışı ile delaminasyon faktöründe azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. En yüksek delaminasyon faktörü 7m/dak kesme hızında elde edilirken, en düşük kesme hızı ise 11 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu durum Rubio ve ark. 2008 yılında yapmış oldukları çalışma ile benzerlik göstermiştir. Araştırmacılar farklı uç açlarına sahip üç farklı matkap ucuyla cam fiber takviye fazlı epoksi matrisli kompozit malzemenin delinebilirliğini incelemişlerdir (Campos Rubio, 2008).

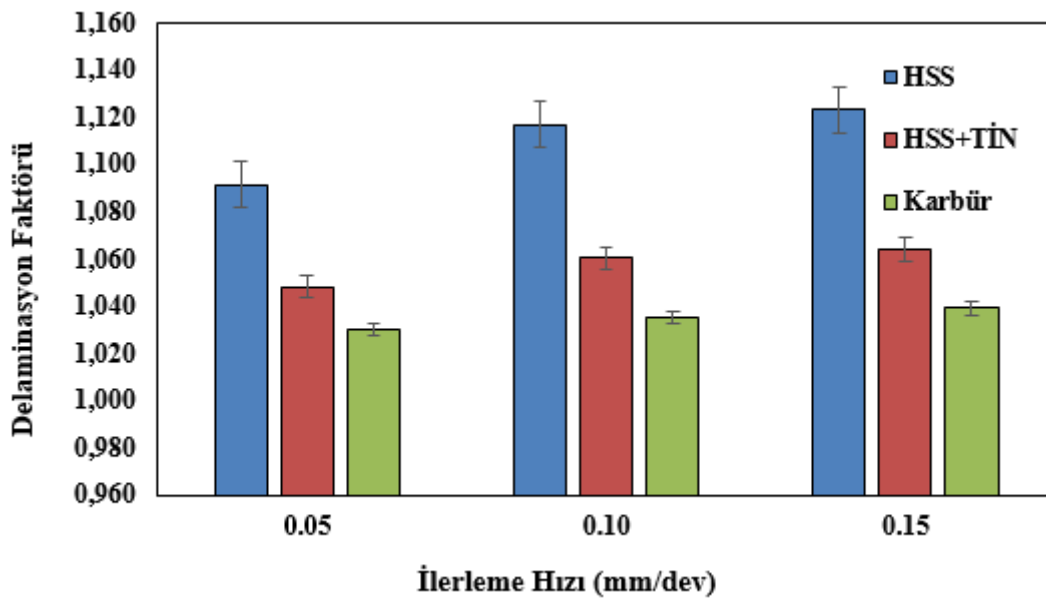
Yapılan çalışma da her üç matkap ucunda delaminasyon faktöründe kesme hızı etkili bir faktör olduğu ifade edilmiştir. Khashaba ve ark ise farklı takviye fazı oranlarına sahip kompozit malzemelerin delme parameterlerinin delaminasyon faktörüne etkisini incelemişlerdir (Khashaba, 2007). Yapılan çalışma sonucunda ilerleme hızının artmasıyla delaminasyonun arttığını, kesme hızının delaminasyon faktörü üzerinde belirli bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. Yazarlar yüksek hacimli kompozit malzemelerde delaminasyon faktörünün detaylı bir şekilde incelenmesinin gerektiğini söylemişlerdir.

9 m/dak kesme hızı analiz edildiğinde en yüksek delaminasyon faktörü HSS matkap ucunda, en düşük delaminasyon faktörü ise Karbür matkap ucunda gözlenmiştir. Bu

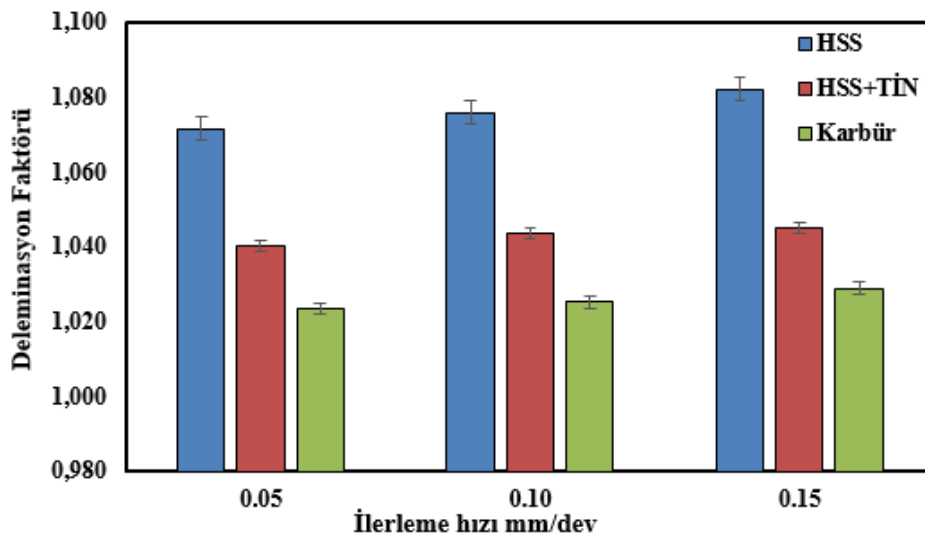
durum, abrasif özelliğe sahip cam fiber takviye fazına karşı direnci, sertliğinin yüksek olmasıyla ifade edilebilir (Hocheng, 2006).

5.2.2. İlerleme hızının delaminasyon faktörüne etkisi

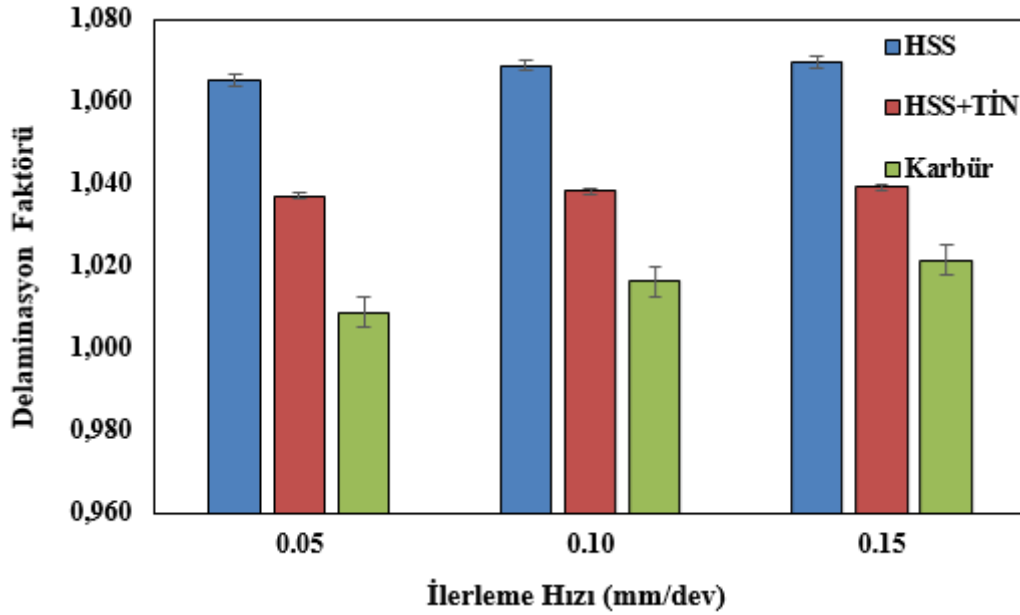
İlerleme hızının delaminasyon faktörüne etkisi Şekil 5.10-5.12’de gösterilmiştir. 0.10 mm/dev ilerleme hızında en büyük delaminasyon faktörü HSS matkap ucunda görülürken, en düşük delaminasyon faktörü Karbür matkap ucunda tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. 7 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi



Şekil 5.11. 9 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi



Şekil 5.12. 11 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre delaminasyon faktörünün incelenmesi

Şekil 5.10 incelendiğinde genel olarak her üç matkap malzemesine göre delaminasyon faktörü ilerleme hızıyla artış göstermiştir. İlerleme hızları birbirleriyle kıyaslandığında en yüksek delaminasyon faktörü 0.15 mm/dev, en düşük delaminasyon faktörü de 0.05 mm/dev ilerleme hızında olduğu gözlenmiştir.

Bu durum düşük ilerleme hızı esnasında iş parçası ile temas eden matkap ucu arasında meydana sürünme sonucu ısı artışıyla açıklanabilir. Artan bu sıcak nedeniyle matriks malzeme de meydana gelen yumuşamadan dolayı delaminasyon faktöründe artış gözlenebilir.

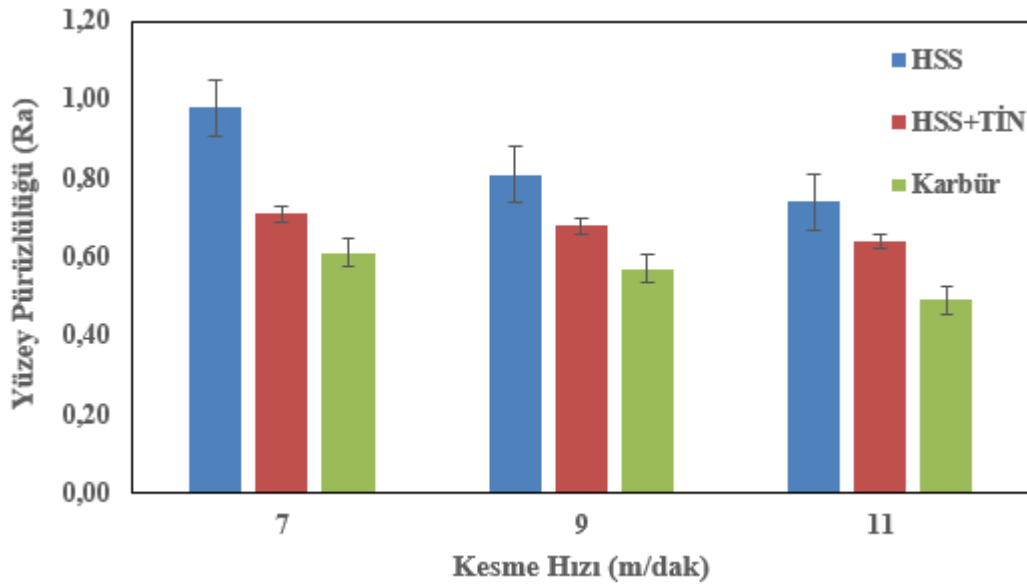
Palanikumar ve arkadaşları da (Palanikumar, 2012) benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Kılıçkap, 2010) cam fiber takviye fazlı epoksi matriksli kompozit malzemenin matkap ile delinmesi sonucu oluşan delaminasyon faktörünün etkisini uç açısı, ilerleme hızı ve kesme hızı yönünden incelemiştir. Yapmış olduğu çalışma sonucunda ilerleme hızının delaminasyon faktörü üzerinde en etkili faktör olduğunu tespit etmiştir. Artan ilerleme hızıyla delaminasyon faktörünün artış gösterdiğini rapor etmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalarla paralellik göstermektedir (Kılıçkap, 2010).

5.3. Yüzey Pürüzlülüğü

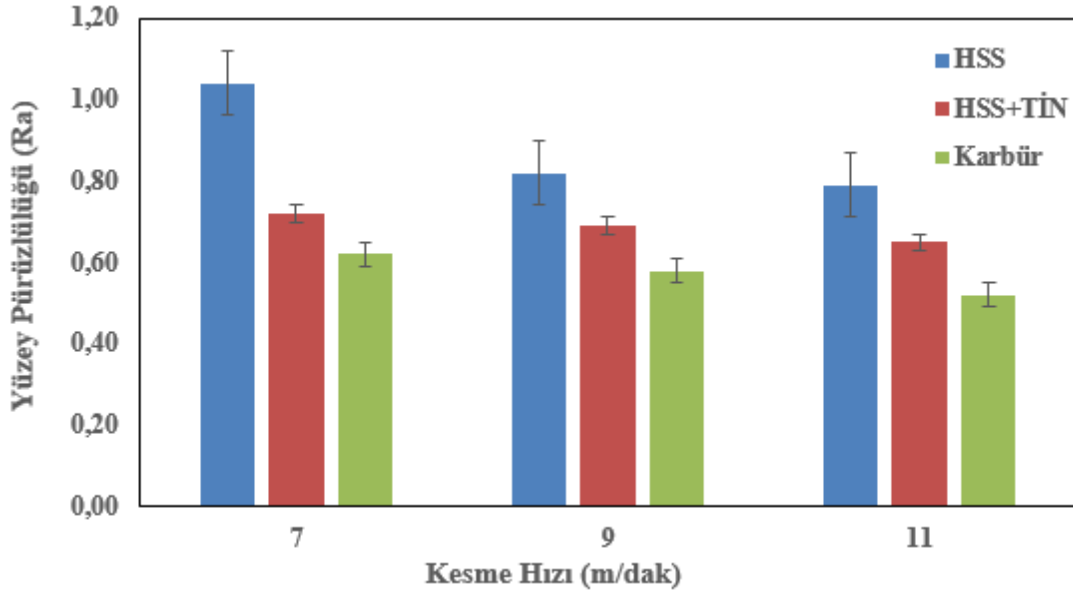
İlerleme hızı, kesme hızı yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkili faktörlerdir. Birçok araştırmacı tarafından iyi bir delik elde edilebilmesi için yüzey pürüzlülüğü konusunda araştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü kesme hızı ve ilerleme hızı açısından incelenmiştir.

5.3.1. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

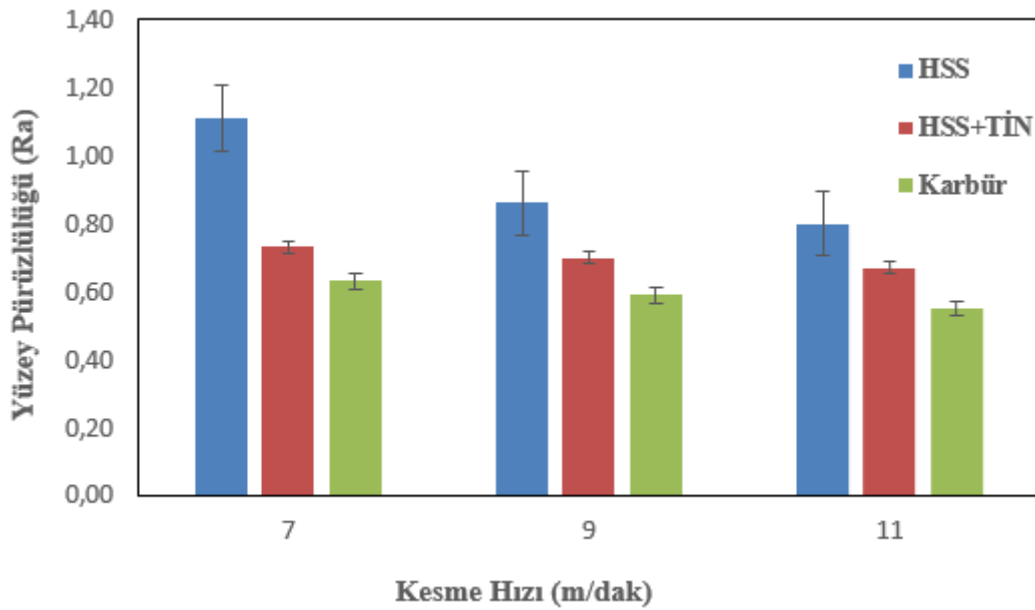
Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkileri şekil 5.13-5.15' de gösterilmiştir. Üç şekil incelendiğinde genel olarak kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana gelmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü 11 m/dak kesme hızında elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise 7 m/dak kesme hızında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.13. 0.05 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi



Şekil 5.14. 0.10 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi



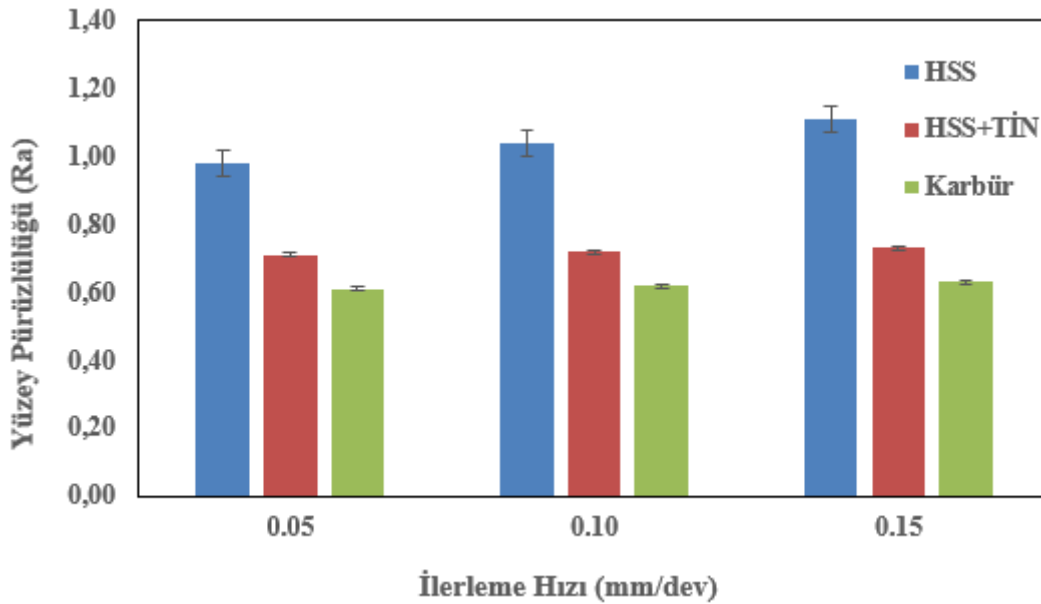
Şekil 5.15. 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki kesme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

Şekil 5.14'e göre 9 m/dak kesme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü Karbür matkap ucunda elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise HSS matkap ucunda olduğu gözlenmiştir. Bu durum, Karbür matkap ucunun abrasif cam fiber takviye fazına karşı diğer malzeme türlerine göre daha dirençli olmasından kaynaklanmış olabilir (Rajamurugan, 2013). Tsao ve Hocheng (2008), polimer matriksli kompozit malzemeyi özel uçlu matkap ile delmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme ve ilerleme hızlarının etkili olduğunu rapor etmişlerdir (C.C. Tsao, 2008).

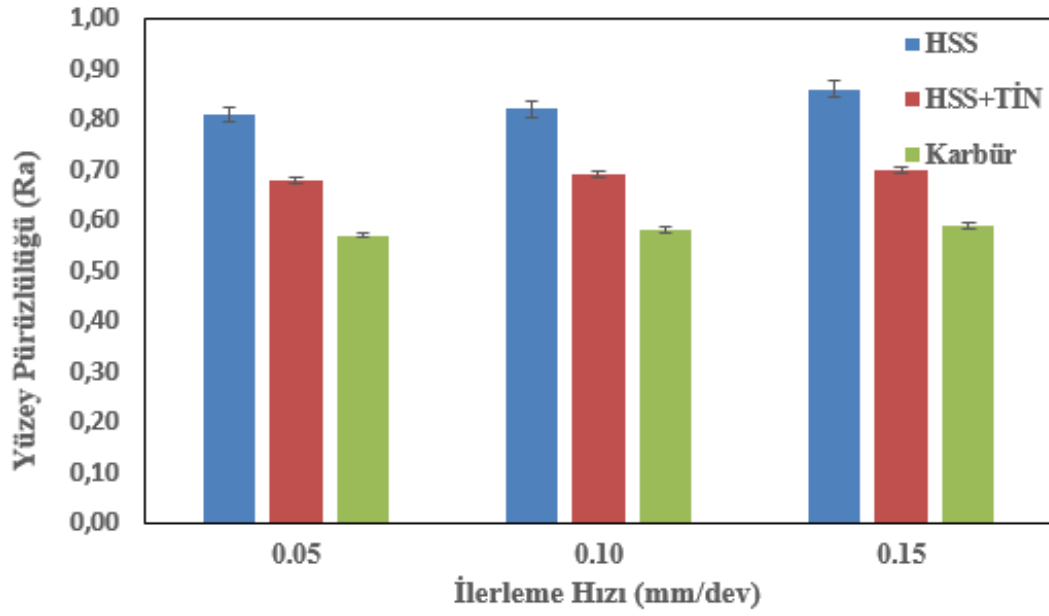
5.3.2. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

İlerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün etkileri Şekil 5.16-5.18’ de gösterilmiştir. Her üç şekle göre ilerleme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde her üç matkap ucu için artış gözlenmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü 0.15 mm/dev ilerleme hızında görülürken, en düşük yüzey pürüzlülüğü ise 0.05 mm/dev ilerleme hızında ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu durum literatürdeki diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir (K. Ogawa 1997, J. Paulo Davim 2004).

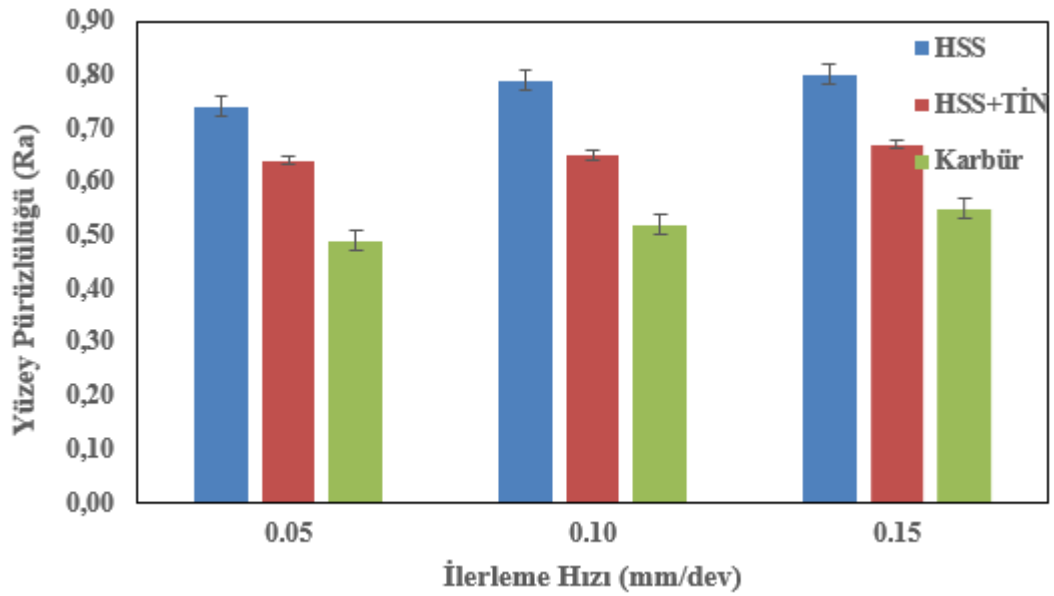
Şekil 5.17’ de 0.10 mm/dev ilerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğü değerleri en iyi Karbür uçlu matkapta elde edilmiş olup, en kötü yüzey pürüzlülüğü ise HSS matkap ucunda görülmüştür. Bu durum, ilerleme hızına bağlı olarak artan kontak yüzeyindeki artan abrazyona karşı Karbür ucun daha dirençli olmasından kaynaklanabilir. Palanikumar 2011 yılında yapmış olduğu çalışmayla paralellik göstermektedir (Palanikumar, 2011).



Şekil 5.16. 7 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi




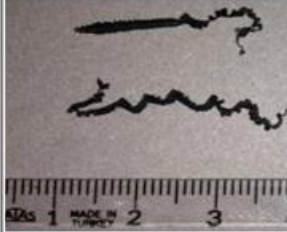





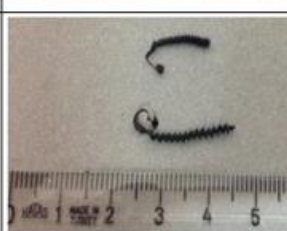

Şekil 5.17. 9 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi



Şekil 5.18. 11 m/dak kesme hızındaki ilerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

5.3.3. Talaş oluşum şekilleri

Farklı kesici takımlar kullanılarak yapılan delme deneyleri sonucu oluşan talaşlarda benzerlikler gözlenmiştir. Şekil 5.19 11m/dak kesme hızı ve 0.05 -0.15 ilerleme hızı sonucu meydana gelen talaş oluşumlarını göstermektedir. Şekil 5. 19 incelendiğinde genellikle her üç matkap ucu için ilerleme hızı artışı ile talaş sarım sayısında azalma meydana geldiği gözlenmiştir. En fazla talaş sarım sayısı 0.05 mm/dev ilerleme hızında gözlenirken en az 0.15 mm/dev ilerleme hızında gözlenmiştir.

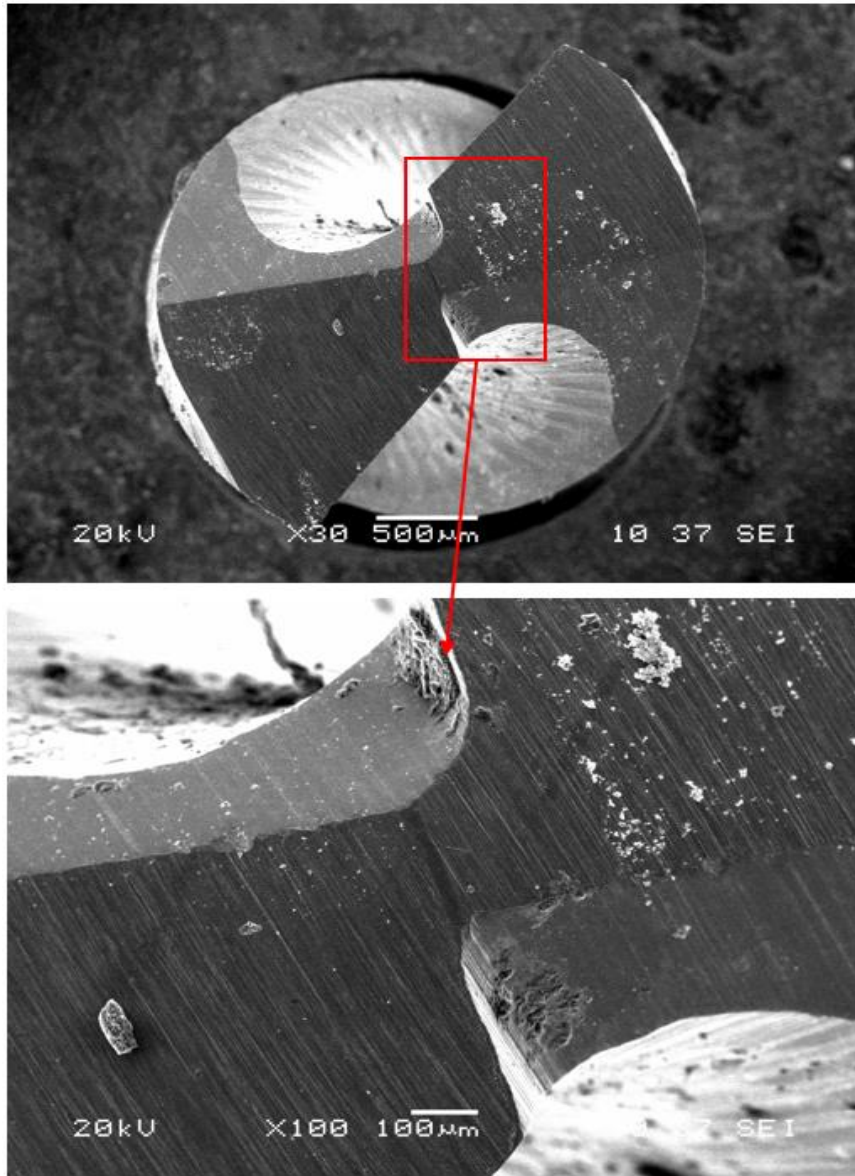
11			Kesme hızı (m/dak)
0.05	0.10	0.15	İlerleme hızı (mm/dev)
			HSS
			HSS+TIN
			KARBÜR

Şekil 5.19. Delme sonucu meydana gelen talaş çeşitleri

5.3.4. Kesici takımlarda SEM görüntüleri

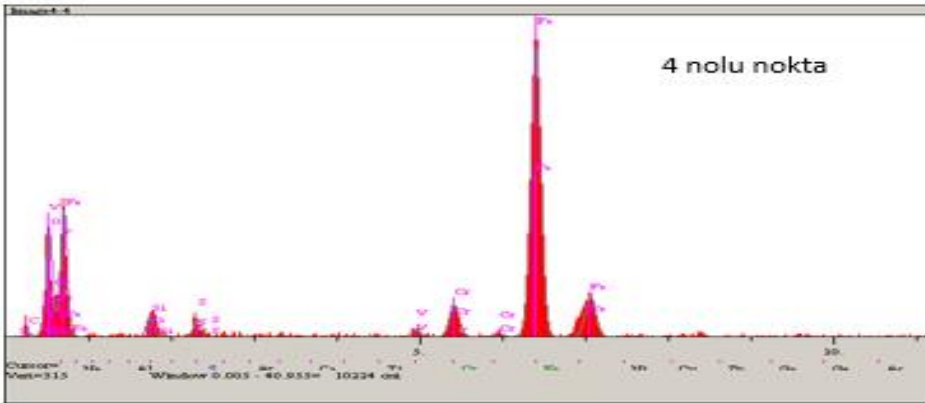
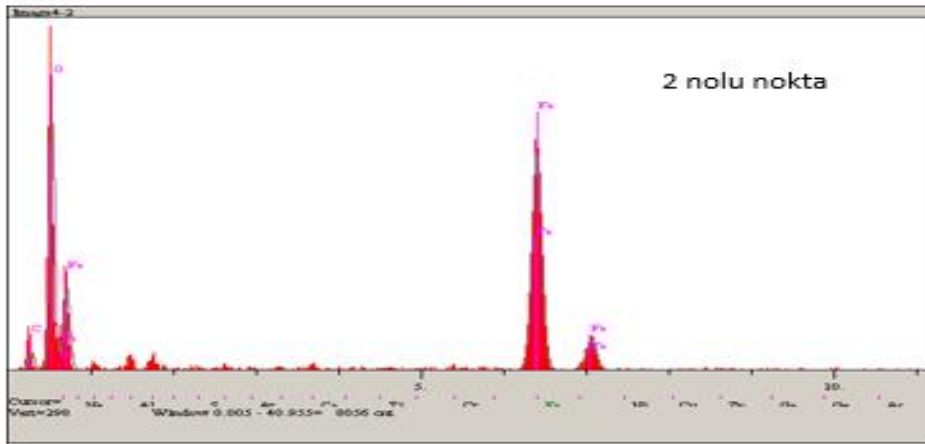
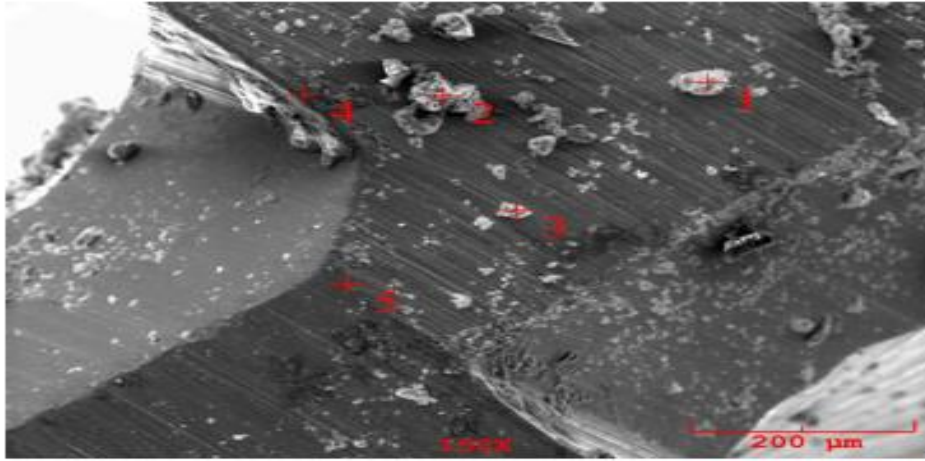
Yapılan deneysel çalışmalar sonucu kesici takım yüzeyleri SEM aracılığıyla analiz edilmiştir. Genel olarak HSS, HSS+TiN kesici takım yüzeylerinde kesme sonucu meydana gelen kesme artıklarının daha yoğun bir şekilde gözlenmiştir.

Şekil 5.20 de 9 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki kesme yüzeyine ait SEM görüntüsünü verilmiştir. Şekil 5.20 incelendiğinde kesme yüzeyinde yer yer kopmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum abrasif özelliğe sahip cam fiber neden olabileceği düşünülmektedir. Bu durum Palanikumar'ın 2011 yılında yapmış olduğu çalışma ile benzerlik göstermektedir. Araştırmacı cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemenin delinmesi esnasında kesici takım yüzeyinde benzer sonuçlar elde etmiştir. Ayrıca zheng ve ark. yapmış oldukları çalışmada aynı aşınma mekanizmasını gözlemlemişlerdir (Zhenga, 2012).



Şekil 5.20. 9 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS matkap görüntüsü

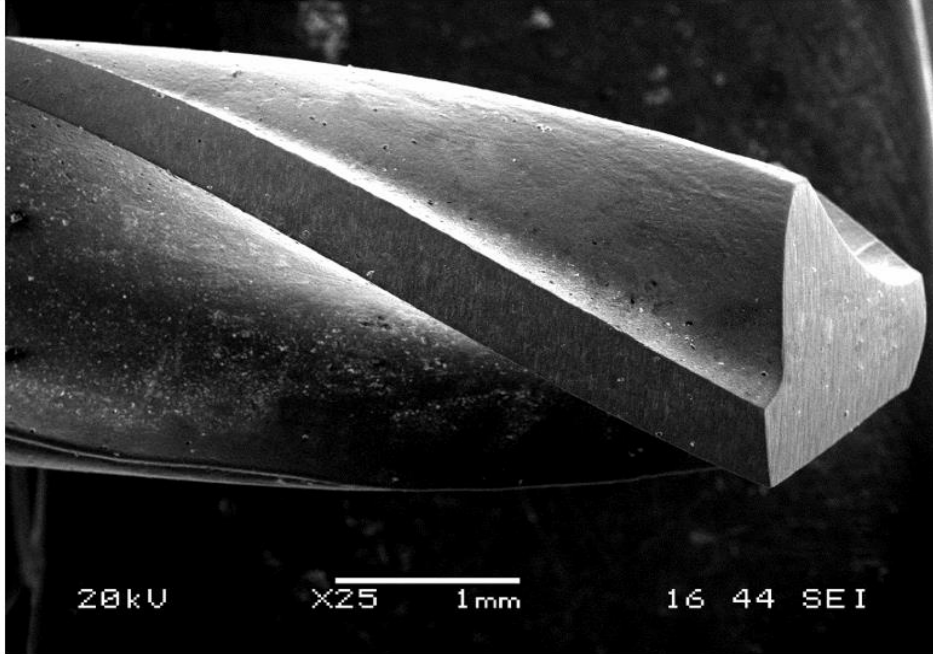
Şekil 5. 21 11 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki HSS matkap ucundan yapılan elementel analiz sonuçlarını göstermektedir. Kesme yüzeyinin 2 nolu noktasından yapılan elementel analiz sonucuna göre oksijen (O) ve karbon (C) elementlerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kesme sonucu meydana gelen ısı artışından dolayı matriks malzemenin yanmış olabileceği düşünülmektedir. 4 nolu analiz sonucu incelendiğinde elde edilen elementler HSS matkap ucuna ait kimyasal bileşenleri kapsadığı görülmüştür.



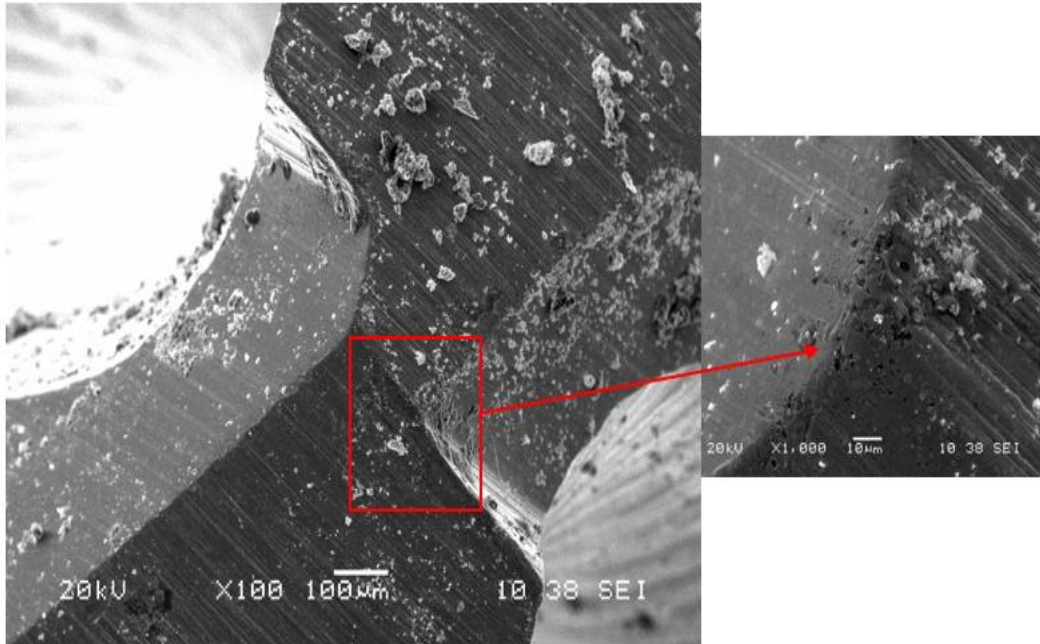
Şekil 5.21. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki HSS matkap elementel analiz

Şekil 5. 22' de HSS+TiN matkap ucunun 11 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev kesme parametresine ait sem görüntüsünü vermektedir. Aynı matkap ucunun Şekil 5.23' deki 100x büyüklüğündeki SEM görüntüsünde kesme yüzeylerinde kısmı olarak kopmaların meydana geldiği görülmüştür.

Aynı şekilde kesme yüzeylerinin iyi bir şekilde temizlenmesine rağmen yüzeylerde kesme artıklarının sıcaklık artışından dolayı yapışmaların meydana geldiği belirlenmiştir.

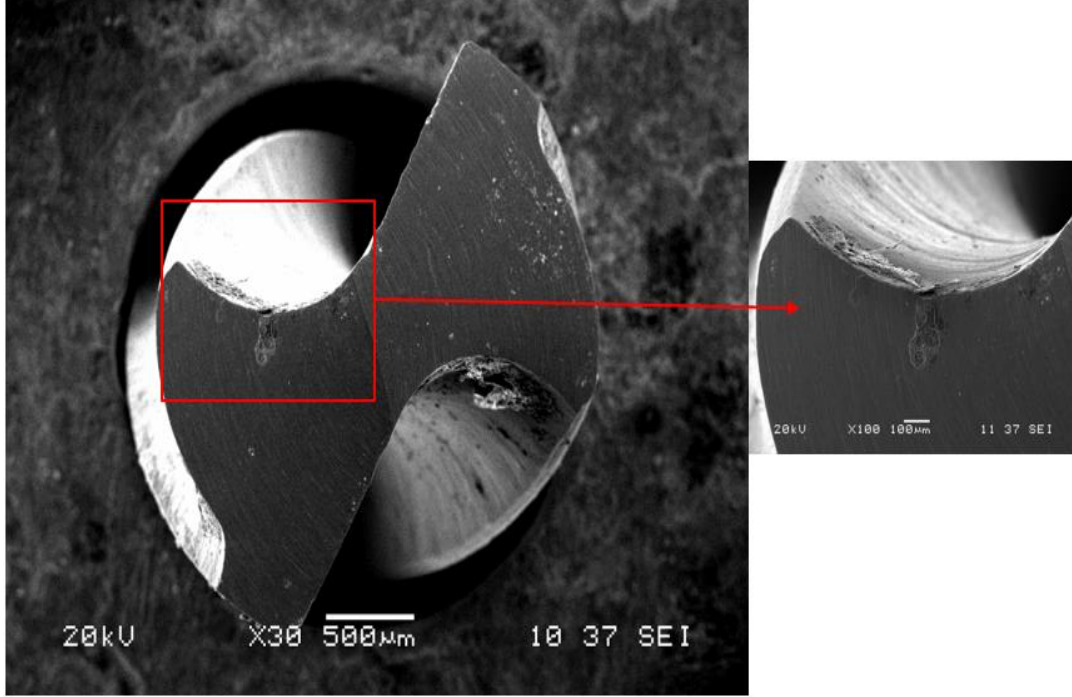


Şekil 5.22. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TİN sem görüntüsü



Şekil 5.23. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TİN kesme yüzeyi sem görüntüsü

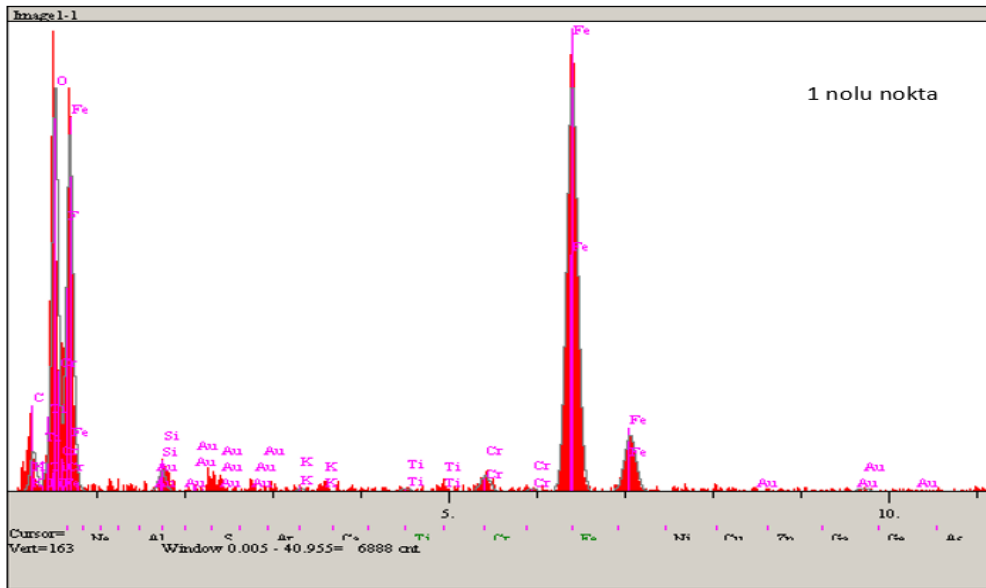
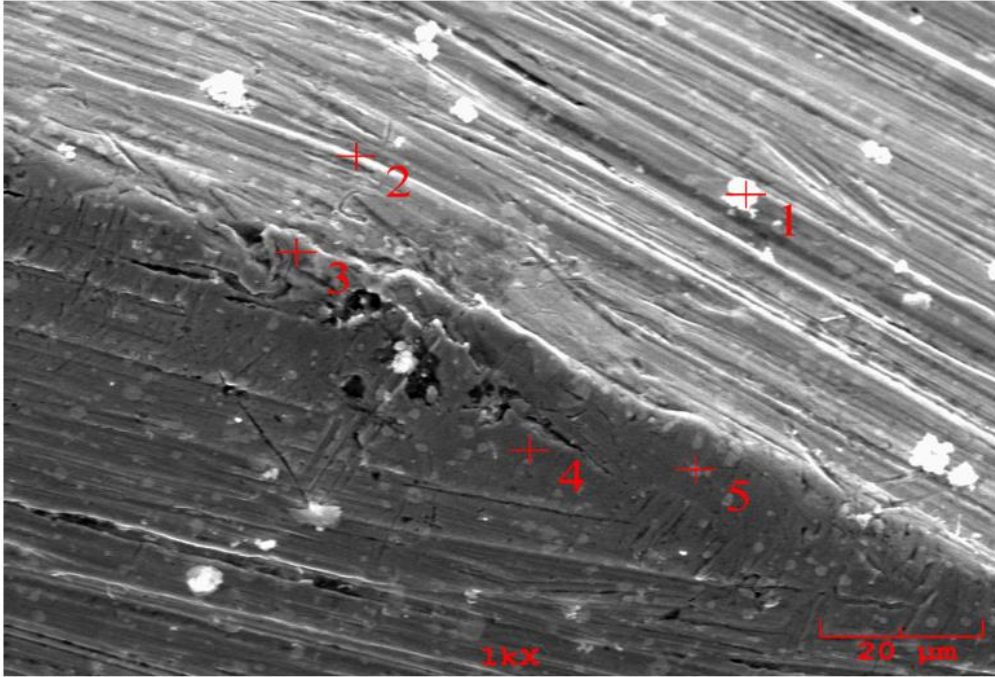
Şekil 5.24' de ise kesme yüzeyinde ve talaş boşaltma yüzeyinde matriks malzemelerinin yapıştığı gözlenmiştir.



Şekil 5.24. 9 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TİN

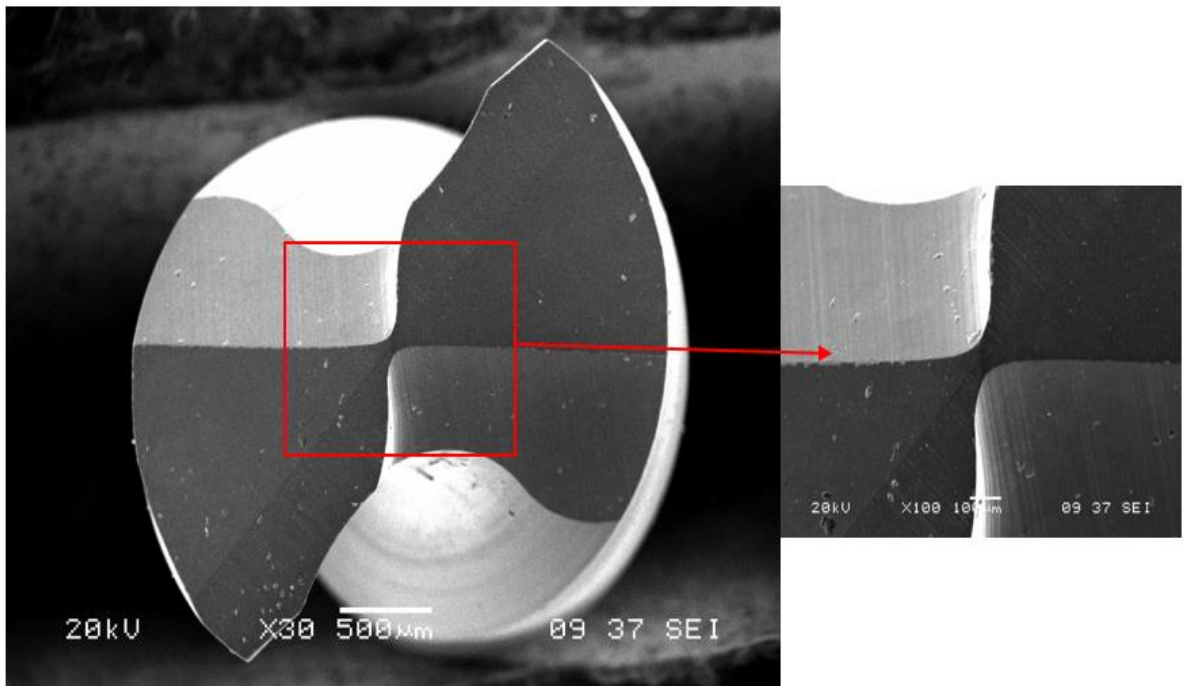
11 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TİN matkap ucundan yapılan elementel analiz sonuçlarını göstermektedir.

Kesme yüzeyinin 1 nolu noktasından yapılan elementel analiz sonuuna göre karbon (C), silisyum (Si) altın(AU), Titanyum(Ti) krom (Cr) elementlerinin olduğu tespit edilmiştir. Elementel analiz sonucunda Titanyum (Ti) ve Altın (AU), elementlerinin bulunması kaplamanın titanyum ile yapıldığını ispatlamaktadır.



Şekil 5.25. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15mm/dev ilerleme hızındaki HSS+TiN elementel analiz

Şekil 5.26 karbür kesici takımın 11 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki kesme yüzeyine ait SEM görüntüsünü vermektedir. 2.25 incelendiğinde kesme yüzeylerinin temiz olduğu gözlenmektedir. Bu durum karbür kesici takımın sertlik değerinin diğer iki kesici takım malzemesine göre daha fazla olması ve cam fiber takviye fazına karşı abrsif aşınma direncinin yüksek olması ile ifade edilebilir (Zhenga, 2012).



Şekil 5.26. 11 m/dak kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızındaki Karbür kesme yüzeyi SEM görüntüsü

BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Kompozit malzemelerin işlenebilirliği esnasında malzemelerin içyapısında deformasyon olduğu gözlenmiştir.
2. PPA matriks malzemenin cam fiberlerin etrafını güzel bir şekilde sararak ıslanmanın iyi olduğu tespit edilmiştir.
3. Üç farklı matkap tipi için kesme hızı artışı ile delaminasyon faktöründe azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.
4. Kesme hızının düşük olduğu durumlarda en yüksek delaminasyon faktörünün olduğu tesbit edilmiştir.
5. Her üç matkap malzemesine göre delaminasyon faktörü ilerleme hızıyla artış göstermiştir.
6. Kesme hızına göre en yüksek delaminasyon faktörü HSS matkap ucunda, en düşük delaminasyon faktörü ise Karbür matkap ucunda gözlenmiştir.
7. İlerleme hızında en büyük delaminasyon faktörü HSS matkap ucunda görülürken, en düşük delaminasyon faktörü Karbür matkap ucunda tespit edilmiştir.
8. Kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana tespit edilmiştir.
9. Kesme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü Karbür matkap ucunda elde edilirken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise HSS matkap ucunda olduğu gözlenmiştir.
10. İlerleme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde her üç matkap ucu için artış tesbit edilmiştir.
11. İlerleme hızı artışına göre yüzey pürüzlülüğü değerleri en iyi Karbür uçlu matkapta elde edilmiş olup, en kötü yüzey pürüzlülüğü ise HSS matkap ucunda görülmüştür.
12. Karbür kesici takımın sertlik değerinin diğer iki kesici takım malzemesine göre daha fazla olması ve cam fiber takviye fazına karşı abrsif aşınma direncinin yüksek olduğu gözlenmiştir.
13. Kesme yüzeyinde ve talaş boşaltma yüzeyinde matriks malzemelerinin yapıştığı gözlenmiştir.

14. Kesme yüzeylerinin iyi bir şekilde temizlenmesine rağmen yüzeylerde kesme artıklarının sıcaklık artışından dolayı yapışmaların meydana geldiği belirlenmiştir.
15. Kesme yüzeylerinde kısmı olarak kopmaların meydana geldiği görülmüştür.
16. Her üç matkap ucu için ilerleme hızı artışı ile talaş sarım sayısında azalma meydana geldiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

ASKELAND, D.R. (Çev. Mehmet Erdogan). Malzeme Bilimi Ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayınları, Ankara, 1998.

ARAN, A., "Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler", T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul, 1990.

A.S.M., ANONİM,. A.S.M. International, Composite Materials I The Basics, Materials Engineering Institute. 10-15s Ohio 4, 1984.

ANONİM. Automotive Composites Consortium, U.S.A, 1994,

ASİ, Dilek. "Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Aşınması Performansının İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 2008.

AVUNCUN, G."Talaş Kaldırma Ekonomisi Ve Kesici Takımlar" Makina Takım Endüstrisi A.Ş., İstanbul, 1998.

AKINCIOĞLU, S. "Aisi D2 Sağuk İş Takım Çeliğinin Farklı Kesici Takım Ve Parametreler Kullanılırken Delinebilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.

AKKURT, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgahları". Birsen yayınevi, İstanbul, 1996.

ARMAREGO, E.J.A. Ve BROWN, R.H., The Machining Of Metals. Englewood Cliffs, 192. New Jersey, 1969.

ALTINTAŞ, Y., "Manufacturing Automation" Cambridge University Pres, United Kingdom, 2000.

ABU, AHFOUZ,I., "Drilling Wear Detection And Classification Using Vibration Signals And Artificial Neural Network" International Journal Of Machine Tools Manufacture, 2003.

AKKURT, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgahları", Birsen Yayınevi, 1991.

AKKURT, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgahları", Birsen Yayınevi, İstanbul 1998

AKKURT, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları" İ.T.U. Makine

Fakultesi, İstanbul, 2000.

BAĞCI, Mehmet Cam “Elyaf Takvyel Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi” Selçuk Üniversitesi, Konya, 2010.

BAKER, A., Bonded Composite Repair Of Fatigue-Cracked Primary Aircraft Structure, Airframes Division, Defence And Technology Organization, Belbourne, 431–443, Australia, 1999.

CHAWLA, K.K., Composite Materials Science And Engineering. 140-283s Springer Verlag New York Inc, 1987.

CHOUDHURY, S.K., RAJU, G., ”Investigation into Crater Wear In Drilling”International Journal of Machine Tools Manufacture, 2000.

ÇİĞDEM, M., İmal Usulleri, 2. Baskı Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2006.

ÇAKIR, M.Ç “Modern Talaşlı İmalatın Esasları” Nobel Yayınevi 2. Baskı, Ankara, 2006.

ÇAKIR, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri” Dora Yayıncılık, Bursa, 2010.

CAMPOS RUBIO, J. ABRAO, A.M. FARIA, P.E. ESTEVES CORREIA, A. PAULO DAVIM, J. “Effects of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: Evaluation of the delamination factor” International Journal of Machine Tools & Manufacture 48 715–720, 2008.

ÇAKIR, M. C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 140, Ceylan Matbaacılık, Bursa, 1999

Davim, J.P., Reis,P., Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave-experimental and statistical study, Materials&Design, 24, 2003,

DENİZ, MEHMET EMİN., “Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve ısı İşleme Presleme Tekniğinin Kullanarak Kompozit malzeme Üretecek Bir Düzenğin Tasarım Ve Malatı”. Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 2005.

DEMİR Z., “Sic Partikül Takviyeli Alüminyum Metal Matriksli Malzemelerin Delinmesinin Araştırılması”. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır, 2006.

DEGARMO, E. P., “Face Milling Of Nickel-Based Superalloys with Coated And Uncoated Carbide Tools”, PhD Thesis, School Of Engineering, Coventry Universty, England, Coventry, 2000.

DEGARMO, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A., “Materials and Processes In Manufacturing”, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1997.

GROOVER, M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing- Materials, Processes

And Systems”, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1996.

ERDOĞAN, M., “Mühendislik Alaşımalarının Yapı Ve Özellikleri”, Nobel Yayın Dağıtım No: 105, Cilt 1, Ankara, 2000.

EKİCİ, E., Işık, B., Cam Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemenin Delinmesi Esnasında Oluşan Yüzey Hasarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS), 2009.

EKŞİ, O., “Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi”, Y. Lisans Tezi, Trakya Üniv., 2007.

ELİAS, G.K., Varadarajan, A.S., Joseph, R., Influence of Process Parameters on Cutting Force and Torque of Drilling of Glass Fiber Reinforced Epoxy Composites, International Journal of Compute Technology and Electronics Engineering (IJCTEE) 2(2), 2012.

ERSOY, HALİT YAŞA., Kompozit Malzeme, Literatür Yayınları, İstanbul, 2001.

ERBAY B., “Nemin %30 Cam Elyaf ile Takviye Edilmiş Poliamid 66 Malzemede Sıkıştırılabilirlik Mukavemeti Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, Y. Lisans Tezi, Osmangazi Üniv, 2006.

GULLU, A., “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 1995.

HOSKİN, B.C., BAKER. A.A., Composite Materials for Aircraft Structures. American Institute of Astronautics Inc., S, 233. 1986.

HOCHENG H, TSAO CC. Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials. Int J Mach Tools Manuf; 46: 1403–16, 2006.

JONES R. M., "Mechanics of Composite Materials." Taylor Francis, Philadelphia, USA, 1999.

KIVAK, T., “Inconel 718 In Delinebilirliğinin Araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.

KHASHABA, U.A. SEIF, M.A. ELHAMID, M.A. “Drilling analysis of chopped composites” Composites: Part A 38 61–70, 2007.

KRAR, F., RAPISARDA, M., CHEK, F.A., Machine Tool And Manufacturing Technology” Delmar Publishers, U.S.A, 1998.

KAYNAK, Y., “Matkap İle Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

KOLLAR L. P., SPRINGER G. S., "Mechanics Of Composite Structures." Cambridge, 2003.

KILIÇKAP, E., CETP Kompozitlerin Delinmesinde Oluşan Deformasyona Delme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, 2.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 77, Kasım 2010.

KILICKAP, E. Optimization of cutting parameters on delamination based on Taguchi method during drilling of GFRP composite Expert Systems with Applications 37 6116–6122, 2010.

LUÍS, M.P.D, Daniel, J.S.G., João, M.R.S.T., Victor, H.C.A., Marques, A.T., Baptista, A.M., Drilling of carbon fibre reinforced laminates – a study, International Materials Symposium materials, 2009.

MAZUMDAR, S.K., Composites Manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering. 4-5s New York, 2002.

MALLICK P.K., "Fiber Reinforced Composites, Materials Manufacturing and Design." Second Edition. Marcel Dekker, New York, USA, 1993.

MEGEP,"El Tesviyecilik 2", Ankara, 2007.

MURAT, Dinçmen,. "Takımlar Ve Takım Tezgâhları", Karadeniz Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Karadeniz Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 1984.

ÖZDEMİR, Ö. İPEK, M., ZEYTİN, S,. "Kesici Takım Malzemeleri"

OGAWA, K. AOYAMA, E. INOUE, H. HIROGAKI, T. NOBE, H. Y. KITAHARA, Y. KATAYAMA, T. GUNJIMA, M. Investigation on cutting mechanism in small diameter drilling for GFRP (thrust force and surface roughness at drilled hole wall), Composite Structures 38 343–350, 1997.

PAULO DAVIM, J. REIS, P. CONCEICAO, A.C Drilling fiber reinforced plastics (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, 2004.

PAULO DAVIM, J. REIS, P. CONCEICAO, A.C Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up, Composites Science and Technology 64 289–297, 2004.

PALMER, W.B., OXLEY, P.L.B., "Mechanics Of Orthogonal Machining", Proc. Inst. Mech. Engrs., 173: 623, 1959.

PALANIKUMAR K" Experimental investigation and optimisation in drilling of GFRP composites" Measurement 44 2138–2148, 2011.

RAJAMURUGAN, T.V. SHANMUGAM, K. PALANIKUMAR, K.” Analysis of delamination in drilling glass fiber reinforced polyester composites” *Materials and Design* 45 80–87, 2013.

ROUCHAN, J., *Materiaux Composites Pour D’aeronefs*, Ecole Nationale Superieure d’Ingenieurs De Constructions Aeronautiques, 95, 1987

ŞAHİN, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, Seçkin Yayıncılık, Ankara 2006.

SUR, GÖKHAN. “Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara. 2008.

SCHWARTZ, M.M., *Composite Materials Handbook*, 8-26s Mcgraw-Hill Inc, 1984.

SANDVİK Coromant., “Modern Metal Cutting – A Practical Handbook”, English Edition, Sandvik Coromant, Sweden, I-III 1994.

SANDVIK Coromat Kesici Takım El Klavuzu, İşveç, 2008.

SHAW, M. C., “Metal Cutting Principles”, Oxford University Pres, Oxford, 1-9 1994.

SÖNMEZ, MURAT., ERTUNÇ, H.METİN., KARAKUZU, CIHAN., “Kesici Takım Aşınma Durumunun Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Belirlenmesi” , Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kocaeli, 2006.

ŞAHİN, Y., “Talaş Kaldırma Prensipleri” Gazi Kitap Evi 2. Baskı Ankara 2003.

ŞAHİN, Y., ”Talaş Kaldırma Prensipleri” Nobel Yayınları, Ankara, 2001.

TONSHOFF, HL., SPINTİG, W., KONİG, W., NESİSES, A., “Machining Of Holes Developments İn Drilling Tecnology”, *Annals Of The Cirp*, 43 (2):551-560 1994.

TURAN, MESUT., “Tabakalı Kompozit Malzemelerde Yüksek Hızlı Darbe Hasarı” mühendis ve makina dergisi cilt: 48 sayı: 575 ege üniversitesi 2007.

TSAO, C.C. HOCHENG, H. Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network’, *Journal of Materials Processing Technology* 203 342–348, 2008.

YILDIZHAN, HASAN., “Polimer Matriksli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2008.

Www.Precisiontwistdrill. Erişim Tarihi., 2013.

ZHENGGA, L.J. WANGA, C.Y. FUB, L.Y. YANGA, L.P. QUA, Y.X. Wear mechanisms of micro-drills during dry high speed drilling of PCB Songa *Journal of Materials Processing Technology* 212 1989– 1997, 2012.

www.Vokankaynak, Erişim Tarihi., 2013.

ÖZGEÇMİŞ

28.04.1985' te Ordu'nun Fatsa ilçesinde doğan Zekeriya AYPARÇASI ilk, orta ve lise eğitimlerini Ordu Fatsa'da tamamladı. 2006'da Gaziantep Üniversitesi Gaziantep Meslek Yüksek Okulu Makina Programını Tamamladı. 2007' de Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği bölümünü okumaya hak kazandı. 2011 yılında aynı fakülteden mezun oldu. 2012'de Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Evli ve 1 çocuk babasıdır. Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.