

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

**POLİMER MATRİKSLİ KOMPOZİT MALZEMELERDE FARKLI
FİBER TAKVİYE FAZLARININ İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ÖZEN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Ferit FIÇICI

Haziran 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER MATRİKSİLİ KOMPOZİT MALZEMELERDE FARKLI
FİBER TAKVİYE FAZLARININ İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ÖZEN

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 01/06 / 2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Uğur ÖZSARACI
Jüri Başkanı

Yrd.Doç.Dr. Ferit FİGİCİ
Üye

Yrd.Doç.Dr. Alaattin Metin KATA
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatih ÖZEN

15.05.2015

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi süresince, edindiği bilgi, deneyim, tecrübe ve çalışma azmini şahsıma en iyi şekilde öğreten, paylaşan ve bilimsel yönde hayatımda farklı bir bakış açısı sağlayan değerli danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Ferit FIÇICI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Malzeme katkıları ve paylaştığı değerli bilgiler ve tecrübelerden dolayı sayın Prof. Dr. Hüseyin Ünal'a, sağladığı bütün desteklerden ötürü öğretim üyesi sayın Yrd. Doç. Dr. Mesut Durat'a ve diğer öğretim elemanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneyler esnasında sağladığı katkılardan dolayı öğretim görevlisi Mustafa Dündar'a, teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Öğrenim hayatında bana yön veren, çalışma azmi katan ve bu günlere gelmeme destek veren kıymetli öğretim üyeleri sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail Altın, Yrd. Doç. Dr. Yasin Alemdağ, Öğr. Gör. Dr. Ebru Öztekin ve Öğr. Gör. Dr. Erkan NAS'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Karşılaştığım bütün zorluklarda bana her zaman en büyük desteklerini veren babam Yaşar Özen'e, annem Azize Özen'e ve bütün aile fertlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

“Bu çalışma SAÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. (Proje no: 2015-50-01-015)”

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÖZET	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Kompozitlerin Gelişimi.....	2
BÖLÜM 2.	
KOMPOZİT MALZEMELER.....	6
2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	8
2.1.1. Metal matrisli kompozitler.....	9
2.1.2. Seramik matrisli kompozitler.....	10
2.1.3. Polimer matrisli kompozitler	11
2.2. PMK’larda Kullanılan Takviye Fazları.....	13
2.2.1. Cam fiber (fiberglass).....	15
2.2.2. Karbon fiberler	17
2.2.3. Aramid (kevlar) fiberler.....	17
2.2.4. Bor fiberler.....	18
2.2.5. Rockforce doğal fiberler	18
2.3. PMK Üretim Yöntemleri.....	18
2.3.1. Elle yatırma yöntemi (hand lay up).....	18
2.3.2. Püskürtme (spray up) tekniği	19
2.3.3. Elyaf sarma metodu (filament winding).....	20

2.3.4. Profil çekme metodu (pultrusion)	22
2.3.5. Reçine transfer kalıplama / reçine enjeksiyon metodu.....	23
2.3.6. Hazır kalıplama / sıkıştırma kalıplama yöntemi	23
2.3.7. Vakum kalıplama	24
2.3.8. Otoklav yöntemi	25

BÖLÜM 3.

İŞLENEBİLİRLİK.....	26
3.1. Talaş Oluşum Mekanîği.....	26
3.1.1. Orthogonal (dik) kesme teorisi.....	27
3.1.2. Eğik (oblique) kesme teorisi	29
3.2. Kesme Kuvvetleri ve Hız Parametreleri.....	30
3.3. Delme Operasyonu.....	34
3.3.1. Kesme ve ilerleme hızları	34
3.3.2. Delme esnasında oluşan kuvvetler	35
3.3.3. Delme işlem süreleri.....	36
3.4. Delme İşleminde Kullanılan Matkap Çeşitleri	37
3.4.1. Matkap ucunun helis açısına göre kullanılan matkap çeşitleri	37
3.4.2. Matkap ucunun ağız formuna göre matkap çeşitleri	39
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü.....	43
3.6. Delaminasyon	47

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE METOD	50
4.1. Deney Malzemesi.....	50
4.2. Kesici Takımlar	51
4.2.1. HSS matkap ucu	52
4.2.2. Titanyum nitrür kaplamalı HSS (HSS+TiN) matkap ucu.....	52
4.2.3. Karbür matkap ucu	52
4.3. Deney Hız Parametreleri	53
4.4. CNC Takım Tezgâhı.....	54
4.5. Optik Mikroskop.....	54
4.6. Dinamometre	55

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR VE SONUÇLARIN

DEĞERLENDİRİLMESİ.....	57
5.1. Kompozit Malzemelerin Analizleri.....	57
5.2. Delaminasyon Analizi	60
5.2.1. İlerleme hızının delaminasyon faktörüne olan etkisi	63
5.2.2. Kesme hızının delaminasyon faktörüne olan etkisi.....	71
5.3. Kesme Kuvvetlerinin Analizi	79
5.3.1. İlerleme hızının kesme kuvvetine etkisi	80
5.3.2. Kesme hızının kesme kuvvetine etkisi	87

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR.....	94
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	104

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Kesme alanı
COM	: İletişim Bağlantısı
D	: Çap
f_z	: İlerleme
L_m	: Ölçüm uzunluğu
N, n	: Devir
PA	: Polyamid
r	: Talaş kalınlık oranı
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü
T	: İşleme süresi
t_0	: Talaş derinliği
T	: Oluşan talaşın kalınlığı
VC	: Kesme hızı
Y	: Düşey sapma
Φ	: Talaş kayma düzlemi açısı
α	: Serbest boşluk açısı
γ	: Gerinim
μ	: Sürtünme katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Delaminasyonun ölçülere olan etkisi	3
Şekil 2.1. Fiber, matriks ve ara yüzeyin sem görüntüsü	8
Şekil 2.2. Kompozitlerin sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.3. Termoplastik malzemelerin moleküler yapısı.....	12
Şekil 2.4. Termoset malzemelerin moleküler yapısı.....	12
Şekil 2.5. Farklı fiber malzemelerin çekme dayanımı.....	15
Şekil 2.6. Elle yatırma yöntemi	19
Şekil 2.7. Bağımsız başlıklı spreyci tabancası ile Spray up tekniğinin uygulanması .	20
Şekil 2.8. a) Elyaf sarma metodu b)Çevresel Sarım c)Helisel Sarım d) Polar Sarma.....	21
Şekil 2.9. Pultrusion yönteminin taslak gösterimi	22
Şekil 2.10. RTM uygulaması şematik gösterimi	23
Şekil 2.11. Vakum kalıplama.....	24
Şekil 2.12. Otoklav cihazının temsili resmi	25
Şekil 3.1. Orthogonal (dik) kesme modelinin iki boyutlu gösterimi.....	27
Şekil 3.2. a) Gerçek talaş kaldırma olayı b) talaş kaldırma işleminin paralel plakalar ile modellenmiş hali c) tek bir plakanın geometrik tanımı d) Plakalar üzerine gelen kuvvetlerin geometrik bağıntısı.....	29
Şekil 3.3. Eğik kesme modeli.....	29
Şekil 3.4. Takım üzerine gelen basınç gradyanı.....	31
Şekil 3.5. Dik (orthogonal) kesme modelinde a) talaş üzerine etki eden kuvvetler b) takım üzerine gelen ölçülebilir kuvvetler	32
Şekil 3.6. F, N, Fs, Fc ve Ft kuvvetleri arasında bulunan geometrik ilişkiler.....	33
Şekil 3.7. Delme kuvvetleri etkileyen kuvvetler	36
Şekil 3.8. Ortalama işlem süreleri.....	36
Şekil 3.9. Matkap ağız formuna göre matkap çeşitleri.....	39
Şekil 3.10. İçten soğutmalı matkap çeşitleri	39
Şekil 3.11. Kademeli matkaplar	41
Şekil 3.12. Değiştirilebilir uca sahip bir matkap türü.....	42

Şekil 3.13. İçeriden ve dışarıdan talaş taşıyıcı matkap çeşitleri.....	43
Şekil 3.14. Yüzey üzerindeki kusur ve pürüzlülükler.....	44
Şekil 3.15. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde ortalama ve gerçek düzlemi	44
Şekil 3.16. Yüzey pürüzlülüğünün ölçüm metodu	46
Şekil 3.17. Delaminasyon hasarına uğramış delik şekli	47
Şekil 3.18. Giriş ve çıkış esnasındaki delaminasyon.....	48
Şekil 4.1. 118° Uc açısına sahip HSS matkap.....	52
Şekil 4.2. 118° Uc açısına sahip Titanyum nitür kaplamalı HSS matkap	52
Şekil 4.3. 118° Uc açısına sahip karbür matkap.....	53
Şekil 4.4. HAAS TM1 üç eksen CNC freze tezgahı	54
Şekil 4.5. Nikon Eclipse 150 Optik mikrposkop.....	55
Şekil 4.6. AD-4406 Load cell göstergeleri.....	55
Şekil 4.7. Tasarlanıp üretilen dinamometre cihazı	56
Şekil 5.1. PA6 polimerinin SEM görüntüsü (100 X).....	57
Şekil 5.2. %30 cam fiber takviyeli PA6 polimerinin kırılma yüzeyi SEM görüntüsü (100 X).....	58
Şekil 5.3. %30 cam fiber takviyeli PA6 polimerinin SEM görüntüsü (1000 X).....	58
Şekil 5.4. %30 rockforce doğal mineral fiber takviyeli PA6 polimerinin kırılma yüzeyi SEM görüntüsü (100 X)	59
Şekil 5.5. %30 rockforce doğal mineral fiber takviyeli PA6 polimerinin SEM görüntüsü (1000 X).....	59
Şekil 5.6. %20 cam takviyeli PA6 nın 0.05 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları.....	60
Şekil 5.7. %20 cam takviyeli PA6 nın 0.1 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları.....	61
Şekil 5.8. %20 cam takviyeli PA6 nın 0.15 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları.....	61
Şekil 5.9. %30 cam takviyeli PA6 nın 0.05 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları.....	62
Şekil 5.10. %30 cam takviyeli PA6 nın 0.1 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları.....	63
Şekil 5.11. %30 cam takviyeli PA6 nın 0.15 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları.....	63

Şekil 5.12. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	63
Şekil 5.13. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	64
Şekil 5.14. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	64
Şekil 5.15. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	66
Şekil 5.16. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	66
Şekil 5.17. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	67
Şekil 5.18. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	68
Şekil 5.19. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	68
Şekil 5.20. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	69
Şekil 5.21. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	70

Şekil 5.22. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	71
Şekil 5.23. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	71
Şekil 5.24. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	72
Şekil 5.25. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.10 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	72
Şekil 5.26. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	73
Şekil 5.27. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	74
Şekil 5.28. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.10 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	74
Şekil 5.29. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	75
Şekil 5.30. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	76
Şekil 5.31. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.10 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	77
Şekil 5.32. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi.....	77

Şekil 5.33. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi	78
Şekil 5.34. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.10 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi	78
Şekil 5.35. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi	79
Şekil 5.36. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	80
Şekil 5.37. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	81
Şekil 5.38. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.	81
Şekil 5.39. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	82
Şekil 5.40. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.	82
Şekil 5.41. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	83
Şekil 5.42. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	84
Şekil 5.43. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	84

Şekil 5.44. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	85
Şekil 5.45. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	85
Şekil 5.46. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	86
Şekil 5.47. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	86
Şekil 5.48. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	87
Şekil 5.49. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.10mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	88
Şekil 5.50. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	88
Şekil 5.51. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	89
Şekil 5.52. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.1mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	89
Şekil 5.53. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	90
Şekil 5.54. %20 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	90

Şekil 5.55. %20 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.1mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	91
Şekil 5.56. %20 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	91
Şekil 5.57. %30 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	92
Şekil 5.58. %30 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.1mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi	92
Şekil 5.59. %30 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi.....	93

ÖZET

Anahtar kelimeler: İşlenebilirlik, Delaminasyon, Takviyeli polimer kompozit

Fiber takviyeli kompozit malzemeler düşük özgül ağırlık, yüksek mukavemet, yüksek aşınma direnci, yüksek yorulma dayanımı, tokluk gibi üstün mekanik özelliklere sahip olduğundan uzay, askeri ve havacılık gibi çok özel alanlarda kullanım yeri bulmuştur ya da metallerin yerine geçmiştir.

Ancak, fiber takviyeli kompozit malzemeler her ne kadar üstün özelliklere sahip olsalar da, bu malzemelerin işlenebilirliği esnasında bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bunlar delaminasyon, fiber fazının ayrılması, matriks malzemesinin çatlaması, takımın hızlı aşınması ve matriks fazının işleme sıcaklığından etkilenmesi gibi problemlerdir.

Kompozit malzemeleri işleme esnasında oluşan problemler malzemenin mukavemetini ve yorulma dayanımını olumsuz yönde etkiler. Özellikle de bu malzemelerin yorulma dayanımı istenen uçak parçalarında kullanıldığı göz önüne alındığında parça üzerinde oluşabilecek bir işleme kusuru hayati facialara neden olabilir. Bu nedenle; fiber takviyeli kompozit malzemelerin işlenebilirliğinin incelenmesi önem teşkil eder.

Bu çalışmada; farklı fiber yapılarına sahip kompozit malzemelerin işlenebilirlik üzerinde etkileri deneysel olarak incelenecektir. Fiber olarak %10, %20 ve %30 takviye oranlarında cam fiberleri ve literatürde henüz yeni olan rockforce minerali aynı oranlarda kullanılacaktır. Matriks malzemesi olarak polyamid 6 tercih edilmiştir.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION THE EFFECT OF DIFFERENT FIBER PHASES ON MACHINABILITY IN FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES

SUMMARY

Keywords: Delamination, Machinability, Reinforced Polymer Composites

Due to high properties such as low density, high strength, high wear resistance and high fatigue endurance, Fiber reinforced plastic composites are employed wide range of specific areas, including military and aerospace, or can take place of metals.

Although Fiber reinforced plastic (FRP) composites have superior properties, there is some problems during machining of FRP. Some of them are fiber pull-out, cracking of matrix, excessive wear of tool, matrix phase thermal degradation.

The problems which are occurred at the machining of FRP adversely affect fatigue resistance and strength. Especially, given that these materials are used in aeroplane parts which should resist to high fatigue damage, machining defect on the composite part can pose to fatal results. Thus, Machining of fiber reinforced composites is of great importance.

In this study, composite parts reinforced with different fiber structures are investigated. %10, %20 and %30 ratios are used as rate of fibers. Rockforce which is too new in literature as fiber and glass fibers are employed for reinforcement phase. The matrix phases are selected as polyamide-6.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlığın gün geçtikçe tek yapıda bulunmayan özellikleri, farklı türden malzemelere ait özellikleri tek bir malzemede istemesinden dolayı, yeni malzeme arayışları başlamıştır. Doğada yapay veya doğal elde edilen tek yapılı malzeme türleri olmasına rağmen, yinede bu ihtiyaç karşılanamamış ve farklı malzemeleri aynı yapıda birleştirerek üstün özellikleri tek bir malzemede kullanır hale gelmiştir.

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla malzemenin üstün özelliklerinden faydalanmak amacıyla makro seviyede bir araya getirilip yeni bir malzeme oluşturulmasıdır. Kompozit malzemelerin tek bir yapıda istenilen özellikleri karşılamasından dolayı insan hayatı ve teknolojiye talebi sürekli artmaktadır. Yeni kompozitler artan bu ihtiyaçtan dolayı araştırmacıları kapsamlı bir araştırma ve geliştirme çalışmalarına sevk etmiştir. Hiç şüphesiz bu çalışmalar insan var oldukça devam edecektir.

Kompozit malzemelerin kullanımı çok eski devirlere dayanmaktadır. Örneğin; Eski insanlar yalnızca çamurdan briket yapamıyordu. Ancak, çamura güçlendirici takviye olarak saman kamışları katarak briket olarak kullanabiliyorlardı (Kaw, 2006).

Moğollar ise yaylarında boynuz, hayvan kası tendonu ve ahşap malzemeleri birleştirerek kompozit yay icat etmişlerdir. Bu yay normal yaylara göre daha hafif ve menzili daha uzun bir yapıya sahipti.

Modern anlamda kompozitlerin gelişimi ise 2. Dünya savaşında (1940'lı yıllarda) meydana gelmiştir. Örneğin bu gelişmelerden bazıları; uçak endüstrisinde yorulmaya ve korozyona daha dayanıklı malzeme arayışı sonucunda kompozit malzemeler bulunmuştur. 1960'lı yılların başlarında kompozit malzeme teknolojisi çok daha

ilerlemiş, maliyetine bakılmaksızın performansı daha yüksek ve daha hafif malzemeler elde edilmiştir. Ayrıca, 1970'lerdeki enerji krizinde, hafif ve aynı zamanda mukavim malzeme arayışından dolayı kompozit malzemelere olan talep önemli miktarda artmış ve kompozit teknolojisinde önemli gelişmeler olmuştur (Farahani, 2010).

1.1. Takviyeli Kompozit Malzemeler

Havacılık ve uzay sektöründe kullanılan konvansiyonel malzemelere alternatif olarak polimer matrislere cam, karbon gibi elyaf takviye fazları kullanılarak güçlendirilmesi sağlanmış ve eski malzemelerin yerini almıştır. Bu malzemelere örnek olarak; Cam fiber takviyeli polimer kompozitler orta ve küçük ölçekli yat, bot gibi deniz araçları, uçak panelleri ve basınçlı kaplar gibi birçok araç ve gereç yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bor fiber takviyeli hibrit kompozitler tenis racketlerinde ve golf aletlerinde yaygın bir şekilde kullanım alanı bulmuştur. Karbon fiberler ile takviye edilen polimer matrisli kompozitler ise hafiflik ve yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, havacılık ve uzay araçlarında geniş bir biçimde kullanım alanı bulmuştur. Aramid fiber takviyeli kompozitler ise uçak kanadı yapımında kullanım alanı bulmuştur (Farahani, 2010).

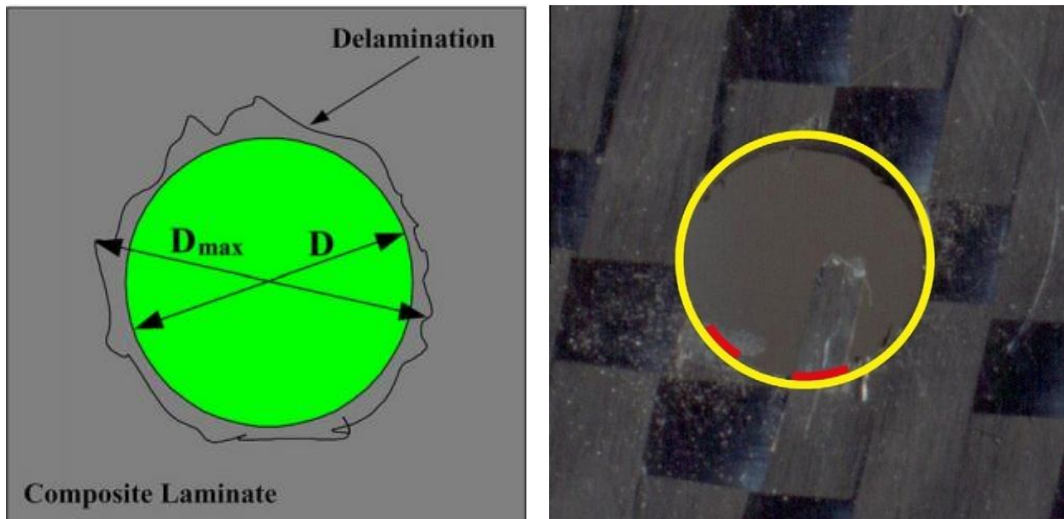
Fiber takviyeli kompozitlerin montajını yapmak için kesme, kanal açma ve delik delme gibi işlemlerden geçmesi gerekir. Kompozitlerdeki montaj işlemlerinde en büyük öneme sahip olan işlem delik delmedir. Çünkü delinen delik vasıtasıyla perçin, cıvata gibi birçok montaj elemanları kullanılabilir (Shahrajabian, Hadi & Farahnakian, 2012). Bu malzemelerde delik delme işlemi en çok kullanılan işlem olmasına rağmen, matkap ucunun kesme kenarı boyunca kesme geometrisi değişiklik gösterdiğinden matkap ile delik delmek zor bir işlemdir (Rajamurugan, Shanmugam & Palanikumar, 2013).

Ayrıca, fiber takviyeli kompozit malzemeler anizotropik yapıya sahip oluşu, heterojenliği ve takviye fazlarının aşındırıcı olmasından dolayı işlenebilirliği zordur (Teti, 2002). Fiber takviyeli kompozit malzemelerin bu özelliklerinden dolayı çeşitli problemler oluşur. Bunlardan başlıcaları; fiber kırılması, delaminasyon, matris

yapısının kırılması veya çatlaması, fiber ile matrisin ayrılması, fiberlerin matris fazından çıkması, termal bozulma, tüylenme ve kabarmadır (Rajamurugan, Shanmugam & Palanikumar, 2013).

Fiber takviyeli kompozit malzemelerin montajverimi ve ömrü delinen deliğin yüzey kalitesine, aksenal düzgünlüğe ve delik çemberinin düzgünlüğüne bağlıdır. Çünkü gerilim birikmeleri ve yorulmalardan dolayı malzemeyi bozar yada zaman içinde zayıflatarak kullanılmaz hale getirmektedir (Radhakrishnan & Wu, 1981) (Eriksen, 2000). Bu nedenle, kompozit malzemelerdeki delinen deliğin yüzey kalitesi kritik öneme sahiptir.

Delneğin yüzey ve boyut kusurlarından en önemlisi delaminasyondur. Çünkü delaminasyon kusuru yapısal bütünlüğü bozar ve parçanın ömrü süresince parçaya olan güvenilirliğini ciddi bir boyutta tehlikeye atarak parçanın kullanılamaz hale gelmesine karşı büyük bir risk oluşturur. Havacılık ve uzay endüstrisinde delinen delik nedeniyle oluşan delaminasyon kusuru tüm parça kusurlarının neredeyse %60'ını oluşturur (Wong, TL, Wu, SM, Croy, GM, 1982) (Stone & Krishnamurthy, 1996) (Isbilir & Ghassemieh, 2013).



Şekil 1.1. Delaminasyonun ölçülere olan etkisi (Tsao & Hocheng, 2004) (Grilo et al., 2013)

Ayrıca, delaminasyonun ölçü tamlığına da etkisi büyüktür. Delneğin matkapla delinmesi sonucunda matkap çapından daha büyük bir çap elde edilir. Şekil 1.1'de

delaminasyonun oluşturduğu delik ve delinen delik gösterilmektedir. Delinen deliğin çap değerinin matkap deliğine oranı delaminasyon faktörünü verir. Delaminasyon faktörü ne kadar büyükse montaj edildiği bağlantıda o oranda boşluklar oluşur. Bu da hareket eden araçlarda kullanılan malzemeler olduğu için yorulma üzerinde etkisi gösterir. Bu yorulma da zamanla parçanın hasar alıp görevini yerine getirememesine neden olur.

Fiber takviyeli kompozit malzemelerin delinmesi esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetinin delaminasyona ve deliğin yüzey kalitesine de etkisi vardır. Yapılan çalışmalar sonucunda delaminasyonun, kesme esnasındaki kesme kuvvetiyle ilişkili olduğu görülmüştür. Maruz kalınan kesmekuvveti ne kadar büyükse delaminasyonun o kadar arttığı literatürde yapılan deneylerde görülmüştür (Ho-Cheng & Dharan, 1990) (Hocheng & Tsao, 2003) (Herbert et al., 2013). Ayrıca, ilerleme hızının yüksek olması da deliğin kenarlarında çatlaklar oluşumuna neden olmaktadır (Konig et al., 1985).

İşlenebilirlik bir malzemedeki talaş kaldırma esnasındaki verdiği tepkidir. İşlenebilirlik kavramı aşağıdaki başlıklara göre değerlendirilir. Bunlar; İşlenen yüzeyin kalitesi ve yüzey bütünlüğü, elde edilen takım ömrü, harcanan güç ve kuvvetler, oluşan talaşın kontrolüdür (Kalpajian & Schmid, 2000). Fiber takviyeli kompozit malzemelere işlenebilirlik açısından bakarsak; kompozit malzemenin üstün özelliklerine ve geniş kullanım alanına sahip olmasına rağmen, bu malzemenin işlenmesi sırasında oluşan aşırı takım aşınması, heterojen yapıyı kesmeden doğan parça ve takım bozulmasından dolayı zaman ve para kaybı kaçınılmazdır (Cfrp et al., 2014).

İşleme esnasında kesici takım takviye fazları ve matriks fazıyla karşılaşır. Takviye fazları içinde silisyum gibi aşındırıcı elementler buldukları için çok hızlı bir şekilde takım aşınmasına neden olur (Dandekar & Shin, 2012). Ayrıca, literatürde elde edilen kesme verilerinin eksik ve yetersiz oluşu, bu malzemelerin aşınma davranışı ve işlenebilirliğinin tam olarak anlaşılmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, bu kompozit malzemelerin optimum kesme değerleri ve uygun takım seçimi gibi bilgiler bilinmemektedir (Teti, 2002).

Kompozit malzemeleri işlenmesindeki uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ile takım aşınmasının azaltılması, işlemin en optimum düzeyde olmasına, delaminasyon faktörünün minimumda tutulmasına ve böylece birim zamandaki en uygun işleme şartlarının belirlenmesine yardımcı olur. Bu da, bir işletmede takım aşınmasından kaynaklanan giderleri minimize eder ve buna göre optimum kesici takımsayısına ulaşılır.

Bu çalışmada, cam fiber takviye fazlı polimer matriksli kompozit malzemelere alternatif olması düşünülen rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemelerinin işlenebilirliği deneysel olarak incelenecektir. Ayrıca bu çalışmanın özgün tarafı, literatürde rockforce fiber takviye fazlı kompozit malzemelerine ait yeterince çalışma bulunmamaktadır. Bu amaçla deneysel çalışmada kullanılacak kesici takım cinsi olarak HSS, HSS+TiN ve karbür malzemeden üretilmiş matkap uçları tercih edilmiştir. Kesme parametreleri ise mevcut literatür ve yapılan ön testler sonucunda tespit edilmiştir.

BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme, özellikleri tek bir malzemedeki bulunmayan ve farklı malzemelerin üstün özelliklerini tek bir malzeme altında toplamak için iki ya da daha fazla malzemenin makro düzeyde birleştirilmesi ile elde edilen yeni özellikteki malzemeye denir (Soy, 2010).

Kompozit malzemeler en az iki bileşenden meydana gelir. Bunlar; matris malzeme ve takviye fazıdır. Bu iki bileşenin görevleri; matris malzemenin takviye fazını düzgün bir şekilde sarması ve kompozit malzeme üzerine gelen yükü eşit bir şekilde takviye fazına iletmesidir. Takviye fazı ise kompozit malzemenin mukavemetini artırır ve aynı zamanda şeklini korur.

Bir kompozit malzeme içindeki bileşenler, birbiri arasında kimyasal bir reaksiyon oluşturmamalı ve yapay olarak birleştirilebilir. Kimyasal yapısı stabildir ve kompoziti oluşturan malzemeler arasında gözle görünür farklılıklar vardır (Saçak, 2014).

Kompozit malzemelerin bileşenleri, istenilen özelliklere göre malzemeler arasında mantıklı seçimler yapılarak birleştirilip tasarımı yapılabilir. İstenilen malzeme özelliklerinin karşılanabilmesi de kompozitlerin kullanımını havacılık, uzay, otomotiv, medikal gibi birçok sektörde yer almasına neden olmuştur. Bu nedenle, kompozit malzemeler en önemli mühendislik malzemesi grubunu oluşturur.

Kompozit malzemelerin kullanım amaçlarına örnek verecek olursak;

- Mukavemet,
- Yorulmaya karşı dayanım,
- Aşınma direnci,
- Korozyon direnci,

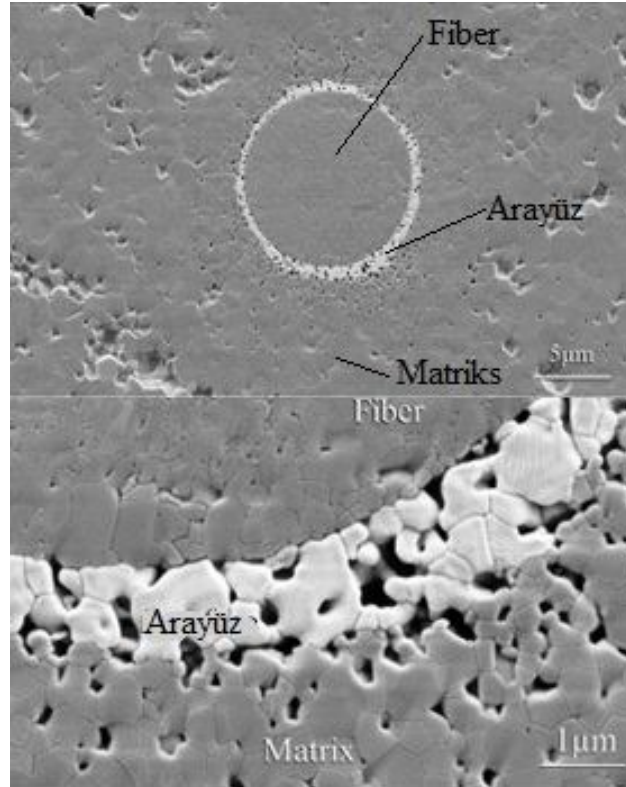
- Yüksek sıcaklık karakteristikleri,
- Isıl iletkenlik,
- Darbe dayanımı,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Hacim,
- Estetik görünüm,
- Elektriksel iletkenlik,
- Fiyat gibi ve daha fazla özelliklerden biri yada birkaçını bir arada bulundurma amacı taşıyabilmektedir (Aran, 1990).

Kompozit malzemeler her ne kadar çeşitli faydalı özellikleri bir araya getirirse de, bazı dezavantajlara sahiptir;

- Malzemelerin özellikleri üretim yöntemlerine göre değişmektedir,
- Seramik matrisli kompozit malzemeler başta olmak üzere metal matrisli kompozitlerin üretim süreçleri bir hayli karmaşık ve zordur,
- Üretim süreci esnasında çeşitli zehirli gazların oluşması muhtemeldir,
- Tabakalı kompozitlerde, kompozit tabakalar arası kayma gerilim dayanımı düşüktür,
- Kullanılan hammaddeler pahalıdır,
- Kompozitlerin belli raf ömürleri vardır. Bazı kompozit çeşitlerinin yada kompozit hammaddelerinin ise soğuk ortamda muhafaza ederek kullanılması gerekir,
- Bazı kompozit hammaddelerinin neme karşı duyarlılığı vardır. Bu nedenle kullanılmadan önce nem alma işlemleri yapılmalıdır,
- Genel itibarıyla kompozit malzemeler anizotropik yapıya sahiptir,
- Kompozit malzemelerin test edilmesi pahalıdır,
- Ara katlardaki yapışmanın kontrolü zordur,
- Ara katlar arasında kalan hava malzemenin ömrü üzerinde olumsuz etkisi vardır (Okutan, 2009).

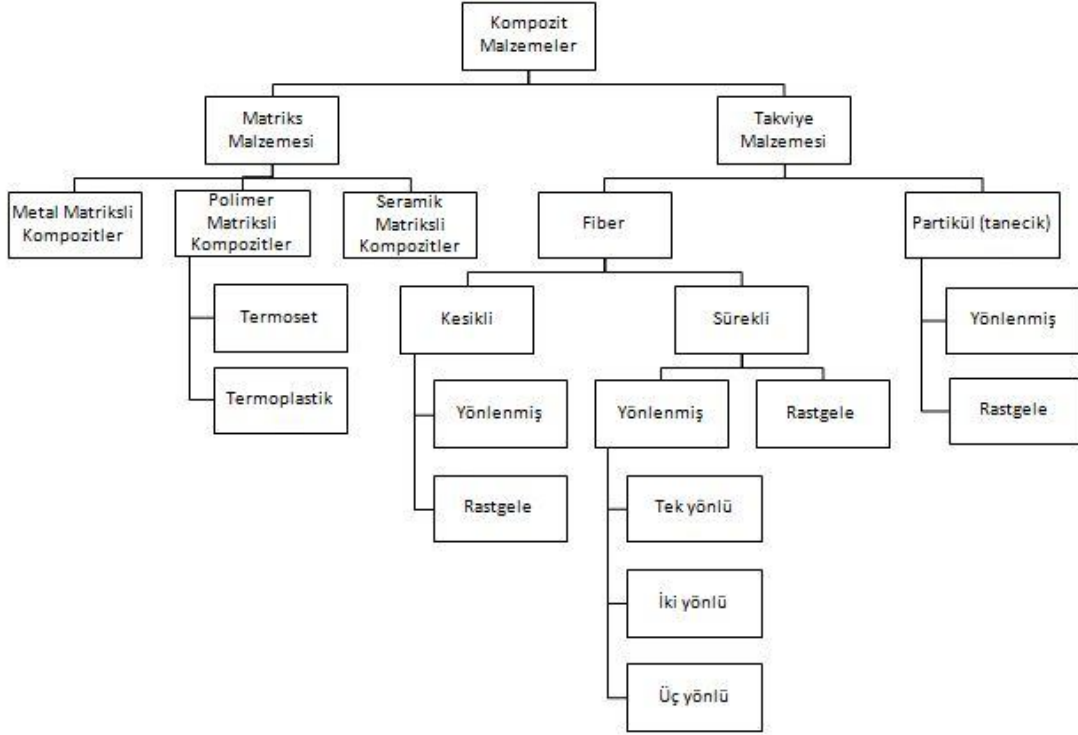
2.1. Kompozitlerin Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri oluşturan iki esas faz vardır. Birincisi, takviye fazıdır. Bu faz malzeme içine pul, yönsüz tanecikler, partiküller, uzun lifler ve kısa lifler şeklinde malzeme içinde bulunur. Kompozit malzeme içinde bulunan takviye fazı malzemeye mukavemet, rijitlik, dayanım ve tokluk özelliklerini katmaktadır. Takviye fazı genelde, %10 ve daha az oranda bulunursa takviye fazı görevini tam olarak yapması beklenemez. İkincisi ise, Matriks malzemesidir. Matriks malzeme kompozit takviye fazını etrafını sararak bünyesinde homojen olarak bulundurma görevini yapar ve bağlayıcılık görevi görür. Takviye fazını dış çevrelere karşı korur, dıştan gelen kuvvetleri fiber takviyesine homojen olarak ileterek yapıyı güçlü kılar. Takviye fazı, plastik deformasyon başlangıcında oluşabilecek çatlağı engeller ve malzemenin kompasını geciktirmektedir. Ayrıca, takviye ve matriks malzemesi arasındaki ara yüzeyin üçüncü bir fazın olarak sayılması bazı kaynaklarda dile getirilebilmektedir (Agrawal, 1990). Şekil 2.1’de seramik bir kompozit malzeme içinde bulunan fiber, matris ve arayüzeyin sem görüntüsü verilmiştir. Bu çalışmada bir arayüz fazının olduğu dile getirilmiştir.



Şekil 2.1. Fiber, matriks ve ara yüzeyin sem görüntüsü (Blaese et al., 2015)

Kompozit malzemeler, pek çok farklı niteliklere göre sınıflandırılabilir. Ancak, en genel sınıflandırma takviye fazı ve matriks fazına göre sınıflandırılır.



Şekil 2.2. Kompozitlerin sınıflandırılması (Saçak, 2014)

Kompozit malzemeler, Şekil 2.2’de sınıflandırma şeması görüldüğü üzere, matriks malzemesinin kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre açısından üçe ayrılır. Bunlar;

- Metal matriksli kompozitler
- Seramik matriksli kompozitler
- Polimer matriksli kompozitler

2.1.1. Metal matriksli kompozitler

Metal matriksli kompozit (MMK) malzemeler, geleneksel malzemelerle kıyaslandığında, yüksek aşınma dayanımı, yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip düşük yoğunluklu ve yüksek performansa sahip malzemelerdir. Matris malzemesi olarak birbirlerinden kimyasal ve fiziksel olarak birbirlerinden farklı en az iki faza

sahiptirler (Soy, 2010). Bunlar; takviye fazı, matriks malzemesi içinde uzun fiber, kısa fiber, partikül, pul şeklinde olabilir. MMK malzemeler genelde alumina, grafit gibi seramik bir takviye edici ve sünek olan bir metal ile karıştırılmasıyla elde edilirler. Ayrıca, her iki fazın özellikleri de bir arada bulunur. Yani, Metalik malzemenin plastik şekil değiştirebilme özelliği ve darbe dayanımı özellikleriyle yüksek ısıl direnç gibi seramik takviye özellikleri aynı anda bulunabilmektedir. Her ne kadar takviye fazı malzemesinin ve matriks malzemesinin genel özellikleri kompozitin karakteristiğini belirlese de takviye fazı malzemesinin geometrik düzeni, cinsi, boyutu, hacim oranı, matriks malzemesi ile arasındaki ıslatılabilirliği ve malzeme içindeki porozitelerin olup olmayışı gibi özelliklere de bağlıdır (Atas& Gür, 2000). Örneğin; Silisyum karbür (SiC) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) seramik fazının metal matriksli malzeme içinde takviye edilmesi, malzemeyi aşınmaya karşı direncini artırır ve bu malzemeler piston, rulman gibi aşınmaya dayanıklı yerlerde kullanılır (Macke, Schultz & Rohatgi, 2012).

2.1.2. Seramik matriksli kompozitler

Seramik Matrisli Kompozit (SMK) malzemeler, seramik malzemenin sahip olduğu kötü özellikleri bertaraf etmek ve kendinde olmayan yeni özellikler katmak amacıyla seramik matriks içinde bir seramik takviye fazı eklenerek elde edilen malzeme türüdür. SMK malzemeler düşük yoğunluk, yüksek sertlik, üstün ısıl ve kimyasal dayanımı yanında kısmi mukavemet/tokluk oranına sahiptir. Seramik matriks yapısına takviye fazı ilavesiyle, seramik malzemesinin özelliklerini geliştirerek kötü özelliklerini iyileştirmiştir. Bu malzemeler, motorların yanma odalarında, reaktörlerde, egzoz ve sıcaklığa dayanım sistemlerinde geniş bir biçimde kullanılmaktadır (Wood, 2013).

Takviye fazı sürekli fiber, kısa fiber, partikül ve whisker şeklinde olabilir. SMK takviye fazlarının en temel malzemeleri karbonlar, camlar, camsı seramikler, oksitli ve oksitsiz seramiklerdir.

SMK'ların genel avantaj ve dezavantajları bir sonraki sayfadaki gibidir (NPTEL, 2008b).

Avantajları;

- Hafiflik,
- Yüksek sertlik dayanımı,
- Ani kopmama,
- Yüksek sıcaklıklarda yüksek tutma dayanımı,
- Yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahiptir,
- Yüksek kimyasal kararlılığı vardır,
- Çeşitli sıcaklık ve çevre koşullarında korozyon ve aşınma dayanımları çok iyidir.

Dezavantajları ise;

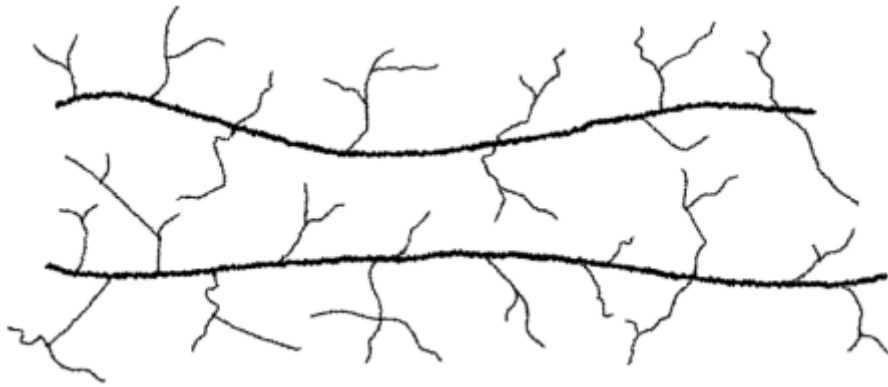
- SMK malzemelerin üretim prosesleri yüksek sıcaklıklarda olduğu için sadece yüksek sıcaklığa dayanıklı takviye malzemeleri kullanılabilir,
- SMK malzemelerde genelde seramik malzemelerin sadece düşük tokluğunu yükseltmek için tasarımlar yapılır,
- SMK malzemelerin üretilmesi için yüksek sıcaklıklara sahip proseslerin kullanımı sebebiyle üretim prosesleri çok karmaşıktır ve bu nedenle SMK malzemelerin üretilmesi çok maliyetlidir,
- SMK malzemesinin, matriks yapısı ile takviye fazının arasındaki termal genişleme katsayısının değişik olması, üretim aşamasındaki soğuma esnasında termal gerilmelere yol açar.

2.1.3. Polimer matriksli kompozitler

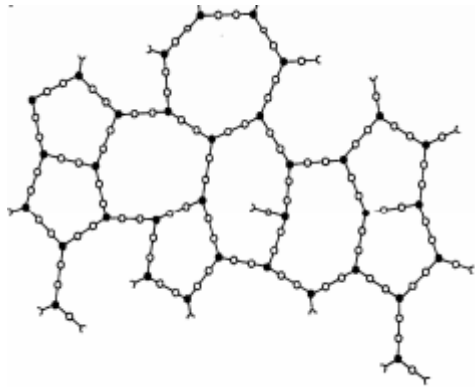
Polimer malzemeler doğası gereği mekanik özellikleri sınırlı olduğundan(örn;düşük darbe dayanımı ve düşük çekme gerilmesi), polimerin mekanik özelliklerini artırmak için polimer matrise güçlendirici takviye fazı ilave ederek polimer matriksli kompozitler (PMK) elde edilir.

Polimer malzemeler iki gruba ayrılır. Bunlar; termoset ve termoplastiklerdir. Termoset ve termoplastikler arasında mikroyapısal farklar ve çeşitli özellik farkları bulunur (Zeren, 2012). Bu farkları oluşturan en temel mekanizma polimerlerin ısıtıldıktan sonraki kürleşme mekanizmalarıdır. Termoset plastikler polimerik zincirler oluşturur ve bu zincirler arasında birbirleriyle kenetlenen çapraz kovalent

bağlar meydana getirirler. Termoplastiklerde ise bu bağlar oluşmaz. Bu nedenle, Termoplastikler, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, ısıtıldığında polimerik zincirler birbirinden kurtulur ve zincirler birbiri arasında hareket edip ergime olayı başlar. Tekrar ısıtma halinde ise termosetler polimer zincirleri arasında bulunan kovalent bağlar erimez ve bu nedenle polimer zincirleri birbirlerinden kurtulamadığından dolayı ergime yerine yanma meydana gelir. Ancak Termoplastikleri tekrar ısıtma halinde polimer zincirleri arasında herhangi bir bağ olmadığı için ergime olayı tekrar tekrar gerçekleşebilir ve şekillenebilir. Bu bağlar Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Termoplastik malzemelerin moleküler yapısı (NPTEL, 2008a)



Şekil 2.4 Termoset malzemelerin moleküler yapısı (Turi, 2012)

2.2. PMK'larda Kullanılan Takviye Fazları

PMK'larda oluşturmak için polimer matriks içine kendinden daha mukavim takviye malzemesi kullanılır. Takviye malzemesi eklenerek aşağıdaki özellikler elde edilebilmektedir;

- Yüksek çekme mukavemeti,
- Yüksek sertlik,
- Yüksek darbe dayanımı,
- İyi aşınma dayanımı,
- İyi delinme dayanımı,
- İyi korozyon direnci,
- Düşük maliyettir.

Ancak PMK malzemeler bazı dezavantajlara da sahiptir. Bunlar;

- Düşük termal dayanım,
- Yüksek genleşme katsayısıdır.

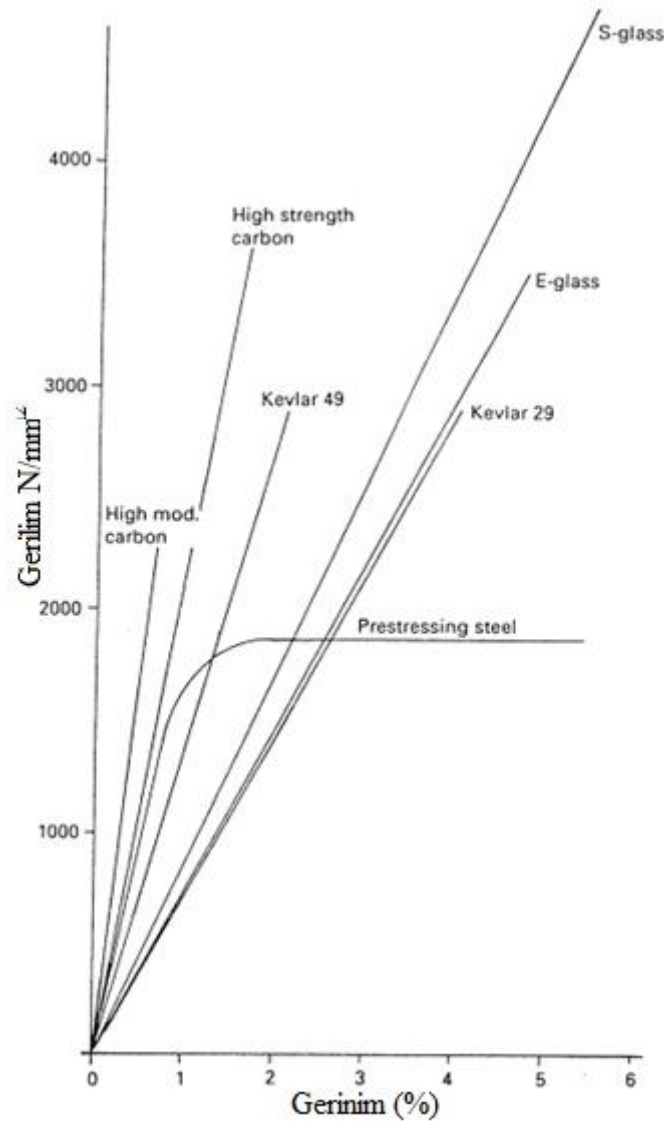
Polimer matriks içindeki takviye fazı, fiberin türüne göre özellikleri de değişiklik göstermektedir. Fiber takviye fazlarının kompozite etkisini kontrol eden dört faktör vardır. Bunlar (Zeren, 2012);

- Fiberin kendi mekanik özellikleri,
- Fiberin matriks içindeki oranı,
- Fiberin matriks içindeki oryantasyonu (açısı),
- Fiber ile matriks yapısı arasındaki arayüz etkileşimidir.

Fiberin kendi uzunluğu, şekli, açısı, fiberin kompozisyonu ve matriks yapısının mekanik özelliklerine bağlı olmasının yanında, fiberin matriks içindeki durduğu açı da bir derece kompozitin mukavemeti hakkında bilgi verir. Yani, Fiber doğrultusunda uygulanan bir yük en iyi mukavemet değerini verir. Ancak, farklı yönde uygulanan yük ya da kuvvetler aynı sonucu veremez. PMK içinde genelde kullanılan fiber takviye fazı mekanik özellikleri polimerik ve bazı metalik mühendislik malzemelerinden daha iyidir. Tablo 2.1'de bu malzemelerin genel mekanik özellikleri gösterilmektedir. Ayrıca, Şekil 2.5'te çekme eğrileri verilmiştir.

Tablo 2.1. Genel Fiber takviye fazları ve bazı mühendislik malzeme özellikleri (SP systems, 2015)

Fiber Türü	Çekme Muk.	Çekme modülü	Yoğunluk	Modül
Karbon HS	3500	160-270	1,8	90-150
Karbon IM	5300	270-325	1,8	150-180
Karbon HM	3500	325-440	1,8	180-240
Karbon UHM	2000	440+	2,0	200+
Aramid LM	3600	60	1,45	40
Aramid HM	3100	120	1,47	80
Aramid UHM	3400	180	1,47	120
E - Cam fiberi	2400	69	2,5	27
S2 Cam fiberi	3450	86	2,5	34
Kuartz Cam fiberi	3700	69	2,5	31
7020 Alüminyum	400	1069	2,7	26
Titanyum	950	110	4,5	24
Orta çelikler	450	205	7,8	26
A5-80 Paslanmaz	800	196	7,8	25



Şekil 2.5. Farklı fiber malzemelerin çekme dayanım kıyaslaması (Burgoyne, 1988)

2.2.1. Cam fiber (fiberglass)

Cam fiberler PMK'larda en fazla kullanılan fiber türüdür. Sürekli ve kısa olmak üzere iki türde elde edilirler. Kimyasal yapısı ise Silisyumdioksittir (SiO_2). E-glass, S-glass ve C-glass başlıca cam fiber tiplerindedir. Literatürde R ve T gibi diğer cam fiber tipleri vardır. Cam fiberlerin mekanik özellikleri birbirinden farklıdır. Bunlar genelde yüksek mukavemet ve düşük maliyete sahiptir. Ancak, düşük aşınma direncinden dolayı kısıtlı kullanılabilir boya sahiptir. Ayrıca, bazı polimerlere olan yapışma kapasitesi zayıftır. Bu nedenle kullanılmadan önce fiberlerin çeşitli yüzey işlemlerinden geçmesi gereklidir. Bu yapışma kapasitesinde dikkat edilecek bir diğer

husus ise nemli ortamlardaki yapışma kapasitesi düşmesinin göz önüne alınmasıdır (Tiwari, 2015).

- E-Glass cam fiber

İçerisinde %5-10 B_2O_3 bulunmasından dolayı yüksek çekme ve sıkıştırma mukavemetine sahiptir. E-Glass Cam fiberinin çapı azaldıkça 3 GPa'yı aşan mukavemet değerlerine ulaşabilmektedir (Davis, 1997). Stabilitesi yüksek, düşük maliyetli ve serttir. Ayrıca, içeriğinde %1 alkali sınırına sahip olduğu için elektriksel dayanımı yüksektir (ETİ Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü, 2003). Ancak, düşük darbe dayanımına sahiptirler.

- C-Glass cam fiber

C-Glass fiber dış etkilere ve zorlu dış şartlara dayanması için tasarlanan bir mühendislik malzemesidir. Kimyasallara karşı direnci çok iyidir, korozyona karşı üstün bir direnci vardır. Bu nedenle, boru ve tankların en dış katmanındaki kompozitlerde kullanılır. Ancak, C-Glass ın kalıplanabilirlik özellikleri pekiyi değil ve yalıtım materyali olarak kullanılamama gibi dezavantajları vardır (Saçak, 2014) (Khan et al., 2015).

- A-Glass cam fiber

İçerisinde bor ilavesi ya da bor ilavesi bulunmayan alkali-kireç camlarıdır. Mukavemet, stabilite ve elektriksel direnç gerekmeyen uygulamalarda E tipi cam fiberin yerine kullanılır. Bu tip cam fiber soda kireç silikat camlarının kullanımıyla üretilir (Özdemir et al., 2006).

- S,R ve T-Glass cam fiber

Cam fiber tipleri içinde en fazla çekme mukavemetine sahip olan cam fiber tipi S-Glass'dır. S-Glass tipi fiberler uçak ve roket gibi araçlarda şase kompozit malzemelerinde takviye elemanı olarak kullanmak için tasarlanmıştır. Ancak, üretim maliyeti fazladır ve bu nedenle pahalıdır (Etcheverry & Barbosa, 2012).

R ve T Glass tipi fiberlerin özellikleride T glass'a benzerdir. S glass kadar çekme mukavemeti yüksek olmasada en baskın özelliği fiziksel mukavemettir.

2.2.2. Karbon fiberler

Kompozit malzemeler içinde en çok kullanılan takviye malzemelerinden biridir. 207-1035GPa arasında çekme mukavemetleri vardır. Yoğunluğu üretim esnasındaki maruz kaldığı sıcaklığa bağımlı olarak 1,6-2,2 g/cm³ arasında değişiklik göstermektedir (Yaman, Öktem& Seventekin, 2007). Yüksek mukavemet/ağırlık oranına, düşük termal genleşme katsayısına, yüksek yorulma dayanımına (tüm metallere göre daha yüksek), yüksek ısı iletim katsayısına sahiptir. Ancak, düşük kırılma deformasyonu, düşük darbe dayanımı ve yüksek elektrik iletkenliğine sahip olması dezavantajlarıdır (Mallick, 2008). Poliakrilonitrilin ısı iletimle karbona dönüşümünden (PAN) elde edilirler.

2.2.3. Aramid (keklar) fiberler

Du Pont firması tarafından iyontopik sıvı kristalin polimerin yüksek gerilim altında yüksek dayanım göstermesinin keşfedilmesi sonucunda bulunan fiber türüdür. Yüksek çekme mukavemeti, yüksek sertlik, düşük yoğunluk, düşük sürtünme, iyi darbeye yük dayanımı, orta düzeyde aşınma dayanımı, yüksek kimyasal direnç, çekme yorulmalarına karşı dayanıklı, yüksek sıcaklıklara karşı dirençli elektriği iletmeme ve zor yanma gibi avantajları vardır. Ayrıca, 1,35-1,40 g/cm³ yoğunluğa sahiptirler. Ancak, basma mukavemetleri düşük, ultraviyole ışınlarına karşı zayıf dirençli ve nem tutma özelliğine sahiptir (Burgoyne, 1988). Güneş ışığına dayanıklı değildir. Bu nedenle karanlıkta muhafaza edilmesi gereklidir.

Aramid fiberler diğer sentetik fiberler ile kıyaslandığında aynı ağırlığa göre %10-20 daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Bu nedenle havacılıkta metallere ve cam fiberlerin yerine alternatif olarak kullanılabilir. Ayrıca, aramid fiberler zor yanma özelliklerine sahip oldukları için, yangın elbiseleri yapımında da kullanılmaktadır (Jassal & Ghosh, 2002).

2.2.4. Bor fiberler

Yüksek basma ve çekme dayanımına sahip ve serttirler. Diğer fiberlerle kıyaslandığında daha büyük fiber çapına sahiptir. Fazla esneme özelliği yoktur. Genelde epoksi matriks yapısı içinde kullanılırlar. Termal genleşme katsayısı alüminyuma yakın olduğundan uçak dış şaselerini tamir etmede kullanılabilirler. Pahalı ve üretim esnasında sağlık açısından personele zarar verebilirler. Genelde askeri uçaklarda kullanılırlar (Federal Aviation Administration, 2012).

2.2.5. Rockforce doğal fiberler

Literatürde henüz yeni olan bu malzeme, cam fiberlere kıyasla biraz daha düşük özelliklere sahiptir. Kaya yününden elde edilir ve sentetik değildir. Cam liflere kıyasla çapı yarısı kadardır (5 μm). Fiber boyu ise yaklaşık 100-150 μm 'dir. Bu fiberlerin ergime derecesi cam tipi fiberlere göre yüksektir. Ergime sıcaklığı 1000°C'dir (Unal & Mimaroglu, 2014).

Unal ve Mimaroglu'nun yaptıkları çalışmanın sonucuna göre Rockforce doğal mineral fiberler bir güçlendirici takviye olarak kullanılmasından ziyade güçlendirici takviye fazına maliyeti azaltıcı katkı olarak kullanılmalrı daha da doğru olduğunu ortaya çıkarmışlardır (Unal & Mimaroglu, 2014).

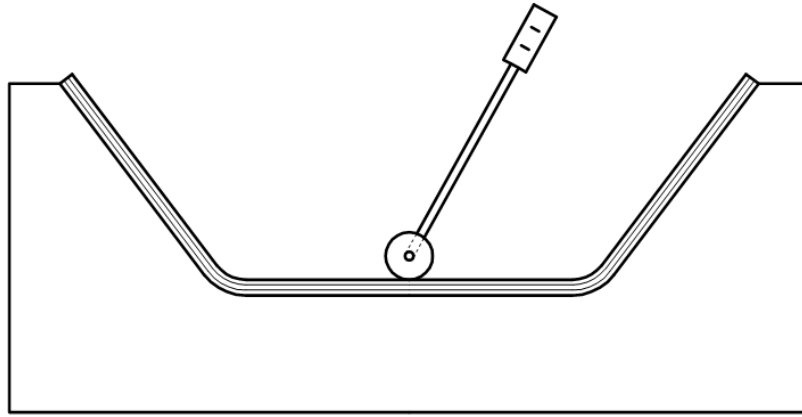
2.3. PMK Üretim Yöntemleri

PMK malzemelerin üretiminde birçok yöntem vardır. Teknoloji geliştikçe bu üretim metotları gelişmekte ve daha yeni yöntemler bulunmaktadır. Ayrıca, üretim yöntemi parçanın boyutuna da bağlıdır.

2.3.1. Elle yatırma yöntemi (hand lay up)

Bu metot genelde orta ve büyük ölçekte parçalar için kullanılan bir kompozit üretim yöntemidir. Bu yöntemle paneller, büyük oyuncaklar, tanklar gibi malzemeler

üretilir. Bu yöntemin kullanılması esnasında kalıplama kullanılır. Şekil 2.6'daki gibi istenilen şekle uygun bir kalıp hazırlanmasının ardından daha önceden hazırlanan reçine/polimer kalıba el aletleri yardımıyla sürülüp takviye malzemesi ilave edilir. Kalıba yerleştirilen takviye malzemesi üzerine tekrardan reçine/polimer sürüldükten sonra bu işlem istenilen kompozit kalınlığı elde edene kadar tekrar eder. Ancak kompozitin kalıba yapışmasını önlemek için kalıp ayırma yüzeyine jelkot sürülür. Jelkot kuruyup sertleştikten sonra elyaf tabakalarının (takviye malzemesinin) ilavesi sağlanır.



Şekil 2.6. Elle yatırma yöntemi

Bu yöntemin dezavantajları ise az adette üretim için uygundur, insan emek sarfiyatı fazladır, Kalıp iyi temizlenmediği halde çıkan parçada da aynı hata görülür, farklı yönlerde farklı mekanik özellikler oluşur, her üretilen parçanın mukavemet değerleri aynı değildir. Ayrıca, bu yöntemin kullanılması esnasında kompozitin dayanımını zayıflatan hava kabarcıkları gibi boşluklar da oluşabilmektedir.

2.3.2. Püskürtme (spray up) tekniği

Teknik olarak elle yatırma metoduna çok benzemektedir. Bu prensip karmaşık şekilli parça üretiminde elle yatırma tekniğinden daha da başarılıdır. Elle yatırma prensibinde katmanları el aletleriyle tatbik yapılırken bu teknikte kesikli takviye malzemesi ve matriks malzemesi aynı spreyden kalıp içine püskürtür. Püskürtme esnasında elyafların kırılması gerçekleştirilir. Elyafların kırılıp gönderilmesi ve

matriks malzemesinin püskürtülmesi birbirinden bağımsız iki ayrı başlık tarafından gerçekleştirilir. Şekil 2.7’de bu tekniğin uygulanış şekli gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Bağımsız başlıklı spreyl tabancası ile Spray up tekniğinin uygulanması (PPG, 2015)

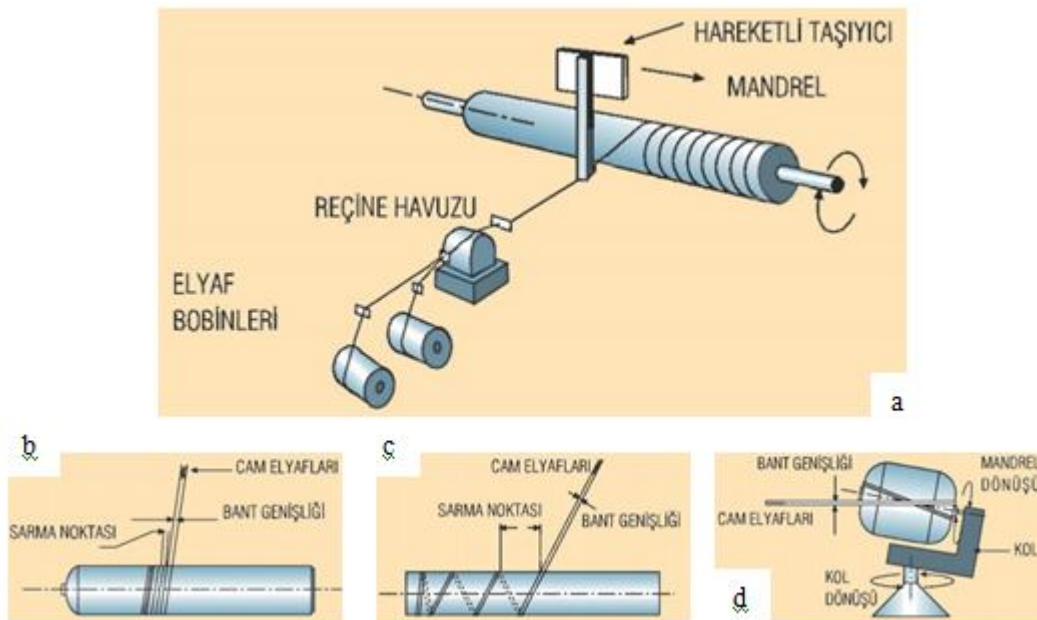
Bu teknikle üretilen parçanın kalitesi işçinin beceri ve kabiliyetine bağlıdır. Elle yatırma metoduyla kıyaslandığında işçi bu teknikle daha az yorulur ve daha fazla ürün kapasitesine sahiptir. Saatte 450-800 kg reçine püskürtme kapasitesi vardır. Ayrıca, daha ucuz bir üretim yöntemidir (Hüner, 2008).

2.3.3. Elyaf sarma metodu (filament winding)

Dayanıklı ve büyük boyuta sahip ürünlerin imalatı bu metot ile gerçekleştirilebilmektedir. Basınç tüpleri, büyük çaplı borular gibi simetrik parçaların üretimi bu metoda uygundur. Şekil 2.8’deki gibi filament şeklindeki elyaflar, reçine banyosundan geçerek rulo üzerinden farklı açılarla bir hareketli taşıyıcı vasıtasıyla kalıp yüzeyine sarılır. İstenilen kalınlık elde edilmesinin ardından işlem durdurulup ürünün sertleşmesi beklenir. Bu işlem sonunda ürün kalıptan ayrılarak kalıp bir sonraki işleme hazırlanır. Bu kalıplar genelde mandrel şeklinde olur ve belirli ölçülere kadar parçalar üretilmesi sağlanır. Zamanla teknolojinin ilerlemesi sayesinde mandrel kalıp yerine arzu edilen çaplara ayarlanabilen çelik bantlar sayesinde istenilen boyda kompozit ürün elde edilebilmektedir (Boytek A.Ş.,

2008). Ayrıca, bu yöntem daha önce anılan yöntemlerden seri imalata biraz daha yatkındır.

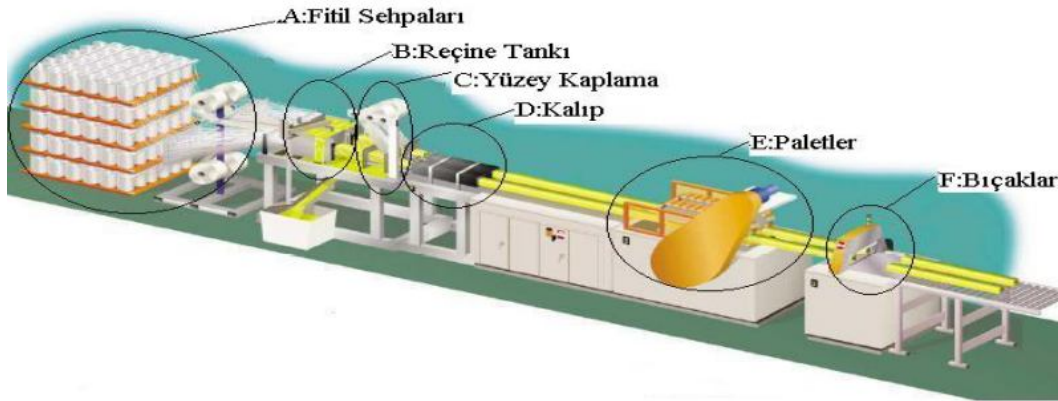
Ayrıca, imalat esnasında sarım teknikleri parçaların mukavemetini büyük oranda etkilemektedir. Bu tekniklerden bazıları; Çevresel Sarım, Helisel Sarım ve Polar Sarmadır. Çevresel sarım tekniğinde fiberler mandrel eksenine dik şekilde sarım yapılır. Helisel sarmada, mandrel sabit hızda döner ve hareketli taşıyıcı filamentlere belirli açıda helis oluşturarak sarımı gerçekleştirir. Polar sarmada ise basınçlı kalıpların üretiminde sık karşılaşılan ve filamentlerin sarımının uçdan uca yapıldığı yöntemdir (Boytek A.Ş., 2008).



Ancak, bu yöntem ile sınırlı şekillere sahip parçalar üretilmesi, sarım sırasında meydana gelen küçük hataların, sarım öngerilme parametrelerinin uygun olmaması ürünün mekanik performansını negatif yönde etkilemesi bu yöntemin dezavantajlarından (Toptaş, Çağlarer & Akkuş, 2013).

2.3.4. Profil çekme metodu (pultrusion)

Şerit, çubuk ve profil şeklindeki ürünlerin imalatında kullanılan bir kompozit üretim yöntemidir. Bu yöntemde filamentler bir reçine tankında matriks malzemesi emdirilir ve kalıp içerisinden 120-150°C'ye ısıtılarak profil kalıbının şeklini alarak kurluşur. İçindeki takviye fazı malzemesinin mukavemeti sayesinde kendi fiberlerine paralel yüksek mukavemet elde edilmiş olunur. Ancak, fiber eksenine dik kuvvetlerinde karşılanması isteniyorsa, fiberlerin özel tipte örülüp kalıplaması yapılır (Sarıbyık et al., 2007). Bu yöntemin uygulaması Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Pultrusion yönteminin taslak gösterimi (Sarıbyık et al., 2007)

Bu yöntemle kompozit üretiminin avantajları;

- İş gücü bakımından karmaşık değildir. Bu nedenle çok kalifiye elemana gerek yoktur,
- Üretim sistemi fazla yatırım gerektirmez ve insan müdahalesi azdır. Bu nedenle hata oranı düşüktür,
- Üretim oranı yüksektir ve seri üretime elverişlidir,
- Diğer üretim metodlarına göre iyi yüzey kalitesi elde edilir,
- Basittir ve çok fazla bakım gerektirmez.

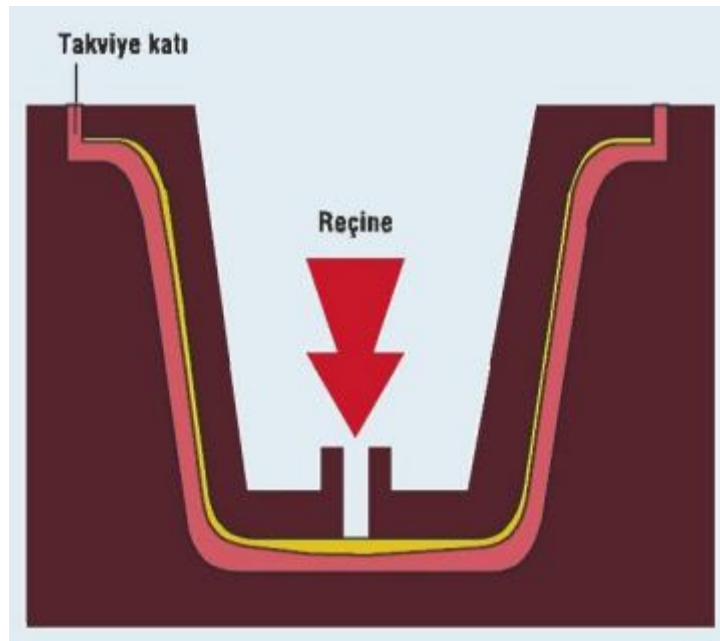
Dezavantajları ise;

- Bu metod sınırlı kesitteki pofillerin üretimi için uygundur. Karmaşık şekilli parçaların üretilmesi zordur,
- Fiberin yönünü kontrol etmek bu metotta mümkün değildir,

- Bu yöntemle ince cidarlı parçalar üretilemez (NPTEL, 2015).

2.3.5. Reçine transfer kalıplama / reçine enjeksiyon metodu

Bu metot kapalı kalıplama yöntemiyle uygulanır. Şekil 2.10'da gösterildiği üzere kalıbın dişi ve erkek tarafı vardır. Kalıp yüzeylerine geç kuruyan reçineler sürülerek takviye malzemesinin reçinelerin dolumu esnasında kaymaması sağlanır. Flamentler ya da takviye malzemeleri kalıp içine yerleştirilerek kapatılır. Hazırlanan reçine kalıp girişinden basınçla enjekte edilerek parçaların kürleşmesi beklenir. Kalıp boşluğu içinde hava kabarcıkları kalmaması için ve takviye malzemesinin daha iyi reçineye yapışması için vakum da kullanılabilir. Bu yöntemin üretim kapasitesi elle yatırmaya göre daha iyidir. Ancak, takviye malzemesinin elle yerleştirilmesi gerektiğinden işçilik gerektirmektedir (Boytek A.Ş., 2006).



Şekil 2.10. RTM uygulaması şematik gösterimi (Boytek A.Ş., 2006)

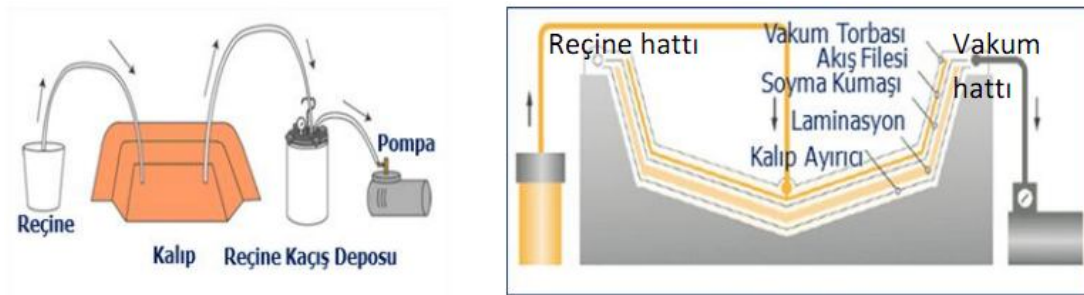
2.3.6. Hazır kalıplama / sıkıştırma kalıplama yöntemi

Bu yöntem üretilen kompozit şeklinde dişi ve erkek kalıp üretilir. Takviye malzemesi ve matriks malzemesinin kalıba yerleştirildikten sonra belirli sıcaklıktaki kalıp ile malzemeler sıkıştırılır. Sıkıştırılan malzeme kürleştikten sonra kalıplanan

kompozit çıkarılır. Bu metod sayesinde delikler ve farklı cidara sahip kompozit malzemelerin üretimi mümkündür. Fire oranı düşüktür. Ancak, kalıplama bileşiminin soğuk ortamda bekletilmesi, kalıp malzemelerinin metal oluşu, büyük parçaların üretimi zor ve kısmi olarak büyük malzemelerin ise büyük preslerde basılma gerekliliğinden dolayı maliyet gerektirmesi bu yöntemin dezavantajlarındandır (Arıcasoy, 2006).

2.3.7. Vakum kalıplama yöntemi

Teknik anlamda elle yatırma metoduyla benzerlik gösteren bir tekniktir. Şekil 2.11'deki gibikalıp yüzeyine jelkot sürülüp üretilecek kompozitin uygun desenlerle takviye ve reçinesinin kalıba yerleştirilmesinin ardından en üst katmana akışı düzgün bir şekilde dağıtacak akış filesi koyulur. Ardından kalıp dışında parça kenarlarına vakum poşetini tutma işlevini gören yapıştırıcı bantlar yapıştırılır. Vakum poşetiyle hava kaçırmayacak şekilde bantlara tutturulur. Vakumlama işlemi ardından reçine hattı açılır ve fazlalık reçinenin emilmesi sağlanmaktadır. Emilen fazlalık reçine vakum pompasına ulaşmasını engellemek için kaçış deposuyla kullanılması gerekmektedir (Balikoğlu, Ataş & Arslan, 2012).

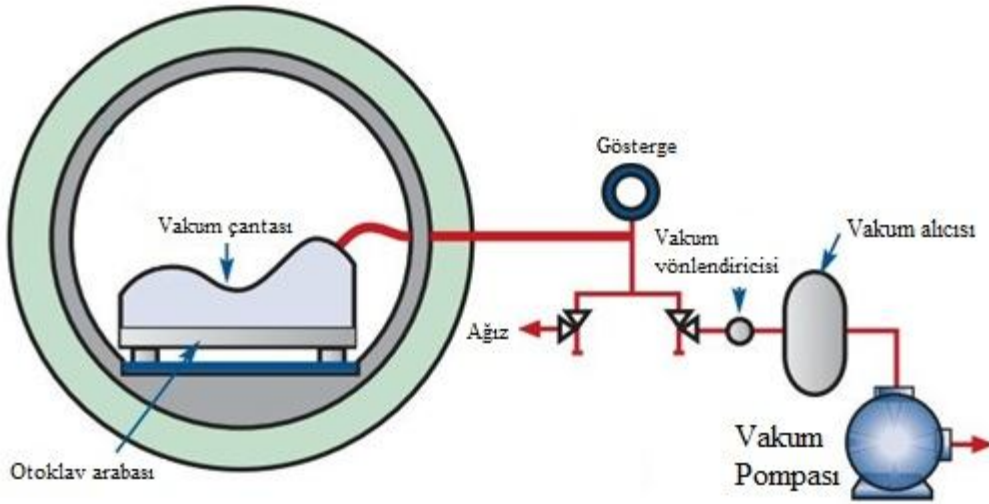


Şekil 2.11. Vakum kalıplama (Balikoğlu, Ataş & Arslan, 2012).

Vakum kalıplama; elle yatırma, püskürtme yöntemlerine göre daha az hava kabarcıklarına ve boşluklara sahip daha mukavim ve rijit parçalar elde edilir.

2.3.8. Otoklav yöntemi

Otoklav, bir basınç tüpü içerisinde aynı anda istenilen sıcaklık ve basınç/vakum uygulayabilen bir cihazdır. Matriks malzemeleri ve takviye malzemeleri vakum paketlenme yönteminde olduğu gibi kalıba yerleştirilerek otoklav içine yerleştirilir. Otoklav içinde hazırlanan parçalara uygun değerlerde basınç ve sıcaklık şartları ayarlanıp en uygun kürleşmenin gerçekleşmesi sağlanır. Bu işlemde genelde termoset malzemelerin kürleşme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.12’de bu üretim yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Otoklav cihazının temsili resmi (NASH Gardener, 2010)

Kompozit malzemelerin performansının artması, içindeki takviye malzemesi ve matriks malzemesinin miktarına, içinde hava boşluklarının olmamasına ya da minimumda tutulmasına bağlıdır. Bu nedenle; Otoklav metodu en iyi kompozit üretim yöntemlerinden biridir. Basınç ve sıcaklığın kontrolünün iyi olması, tek seferde birden fazla kompozitin üretimine olanak vermesi, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, fiber hacim yoğunluğunun yüksek olması avantajları olmasına rağmen, otoklav sisteminin ilk yatırımının maliyetli olduğu, üretilen parçanın boyutlarının otoklav cihazının iç boyutlarıyla sınırlı olması ve işletme maliyetinin diğer yöntemlere göre pahalı olması bu işlemin dezavantajlarındandır.

BÖLÜM 3. İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik, uygun kesme parametreleri, soğutma sıvısı ve uygun takımların malzemeyi işleme kolaylık derecesine denir (Groover, 2010). Ancak, farklı kaynaklarda işlenebilirliğin tanımının tarifinde farklı tanımlamalar da kullanılmıştır. Bunlardan bazıları;

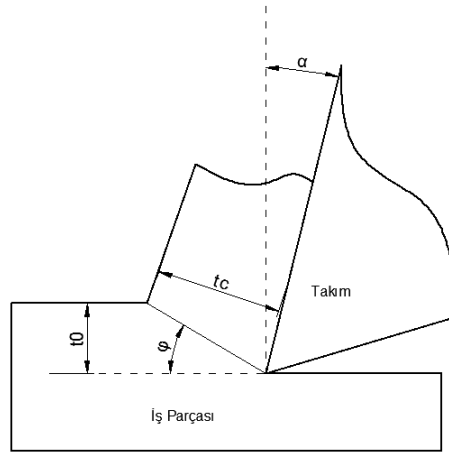
- Kesme operasyonu esnasında malzemenin nasıl davranışlar sergilediği (Valery, 2008),
- Bir malzemenin işlenme karakteristiğini belirleyen önemli bir özellik olduğu (Akyuz, 2013),
- Bir malzemenin ihtiyaç olunan boyutta, biçimde, yüzeyin pürüzlülüğünde işlenmesi esnasındaki kısmi zorluk ve kolaylık derecesi gibi birçok tanımlamalar vardır (Akkurt, 2004).

3.1. Talaş Oluşum Mekanizması

Talaşın kaldırılma işlemi aslında bir plastik deformasyonun neticesidir. Takımın malzeme içine batarak talaş oluşturup belli açıda uzaklaştırıp yeni yüzeyler elde etme işlemidir. Kesme olayı şu ana kadar net bir yaklaşım bulunmuş değildir. Çünkü kesme esnasında oluşan kuvvetler ve kesme geometrileri son derece karmaşık bir olaydır. Ancak yine de kesme olayını anlamak için, kesilen malzemenin kesme esnasında oluşan talaşın oluşum mekanizmasını ve ortaya atılan ve gerçeğe yakın teoriler vardır. Literatürde birçok talaş kaldırma teorileri, kesme modelleri ortaya atılmıştır. Orthogonal (dik) kesme teorisi ve oblique (eğik) kesme modelleri gerçeğe en yakın kabul edilmekte ve bu nedenle bilimsel olarak en fazla kabul görülenleridir.

3.1.1. Orthogonal (dik) kesme teorisi

Bu teoride kesme yönüne dik kama şeklindeki takımın malzeme içerisine bir kuvvetle itilerek plastik deformasyona sebep olunur. Deformasyonun sonucunda metal yüzeyine ϕ açısı yapan bir kayma düzlemi üzerinden kayar. Metalin bu düzlem yüzeyine akması takımın uç kısmının malzeme içinde ayrılmasına sebebiyet vererek talaşın oluşumu gerçekleşmektedir (Astakhov, 2004). Ayrıca, kesme işlemi çok kompleks bir olay olduğundan şekil 3.1'deki gibi basitleştirilmiştir. Nihayi olarak, dik kesme modeli (orthogonal) ortaya atılmıştır.



Şekil 3.1. Orthogonal (dik) kesme modelinin iki boyutlu gösterimi

Orthogonal (dik) kesme modelinde, takım geometrisinde iki ana açı vardır. Bunlar α takım talaş açısı ve serbest açıdır. Talaş açısı, talaşın takımın üzerinden kayma doğrultusunu belirler. Serbest açı ise talaş kaldırma işlemi sonucunda oluşan yeni yüzey ile takım arasında sürtünme oluşmamasını sağlamak için bırakılmaktadır (Groover, 2010). Talaş oluşumu esnasında takımın parçaya girdiği talaş derinliği ile çıkan talaşın kalınlığı aynı değildir. Oluşan talaşın kalınlığı ϕ kayma düzlemi açısı ve (t_0) talaş derinliğinin bilinmesiyle elde edilebilir. Bu esas aslında talaş derinliğinin, oluşan talaş derinliğine oranını verir. Buna “r” yani talaş kalınlık oranı denir. Buna göre; t_c oluşan talaşın kalınlığı, t_0 ise talaş derinliğidir (Groover, 2010).

$$r = \frac{t_0}{t_c} \quad (3.1)$$

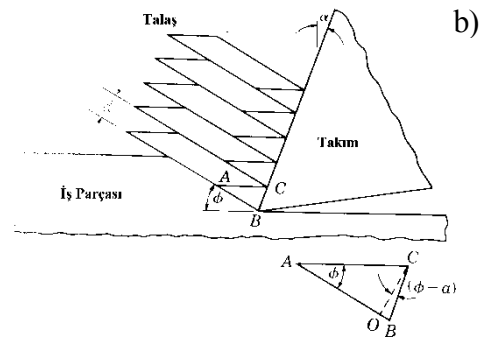
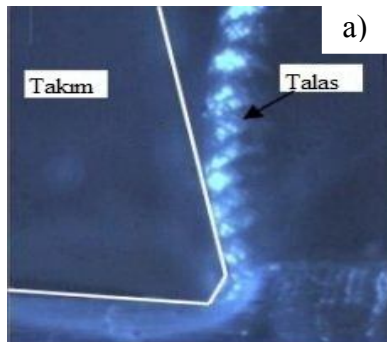
Kesme işlemi sonucunda oluşan talaş her zaman talaş derinliğinden büyük olacağı için bu oran 1'den büyüktür(Astakhov, 2004).Talaş kalınlık oranının elde edilmesi sayesinde kayma düzlemi açısı, talaş kalınlığı oranı ve talaş açısı ile önemli bağıntılar elde edilebilmektedir. $t_0=l_s \cdot \sin \varphi$ ve $t_c=l_s \cos(\varphi-\alpha)$ eşitliği şekilden kolaylıkla çıkarılır. Bu da denklem 3.1 e yerleştirilirse;

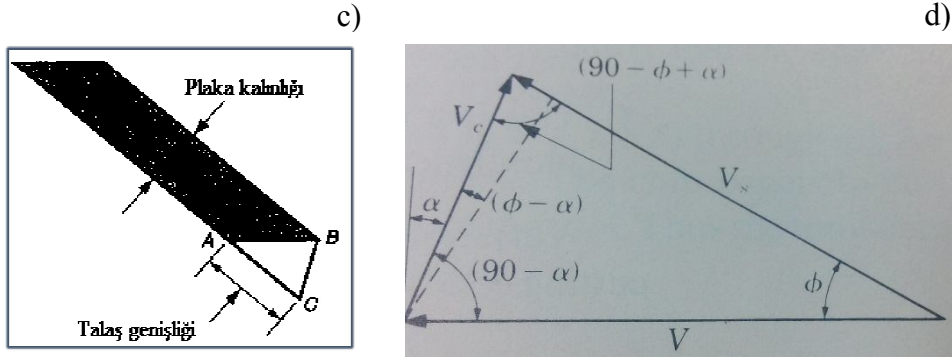
$$r = \frac{l_s \cdot \sin \varphi}{l_s \cdot \cos(\varphi - \alpha)} = \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi - \alpha)} \quad (3.2)$$

Eşitlik tekrar düzenlendiğinde;

$$\tan \varphi = \frac{r \cdot \cos \alpha}{1 - r \cdot \sin \alpha} \quad (3.3)$$

Gerçek talaş oluşumunda Şekil 3.2 a) resminde görüldüğü gibi plastik deformasyona uğramış talaş plakaları üst üste yığılarak takımın talaş yüzeyi üzerinden kayar talaş oluşturur. Orthogonal kesme teorisi de bu mantığa yakındır. Şekil 3.2 b) de gösterildiği gibi bu modele göre düzgün talaş plaka parçacıklarını düzlem üzerinde üst üste kaymaktadır. Şekil 3.2 c) de tek bir plaka olarak alınıp Şekil 3.2 d) deki kesme gerinimi modeli oluşturulmuştur.





Şekil 3.2. a) Gerçek talaş kaldırma olayı b) talaş kaldırma işleminin paralel plakalar ile modellenmiş hali c) tek bir plakanın geometrik tanımı d) Plakalar üzerine gelen kuvvetlerin geometrik bağıntısı (Kalpajian&Schmid, 2000)

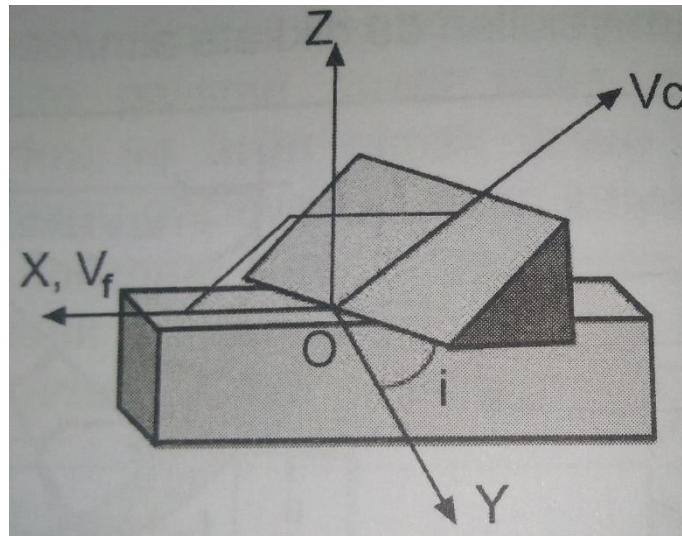
Bu model üzerinden kuvvetler arasındaki ilişkiler Şekil 3.2.'de çizilmiştir. Formülize edersek gerinim (γ);

$$\gamma = \frac{AB}{OC} = \frac{AO + OB}{OC} \quad (3.4)$$

Trigonometrik olarak ifade edersek;

$$\gamma = \tan(\varphi - \alpha) + \cot \varphi \quad (3.5)$$

3.1.2. Eğik (oblique) kesme teorisi



Şekil 3.3. Eğik kesme modeli (Akkurt, 2004)

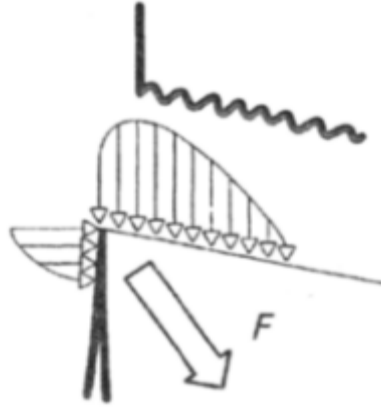
Orthogonal (dik) kesme modeli günlük hayatta az rastlanan bir kesim mekanizmasıdır. Genelde vargel tezgâhında ya da alın tornalamada karşılaşılabilmektedir. Çoğu takımlarda kesme işlemi düz kenarlarla değil de ucu radiüslü ve eğik kenarlarla yapılmaktadır. Bu nedenle, eğik kesme modelini daha genel kullanım alanı vardır.

Eğik kesme modelinde orthogonal modeldeki gibi kesici kesme hızına dik bir şekilde değil, belirli bir açı (λ) ile Şekil 3.3'deki gibi kesme yapılır. Orthogonal (dik) kesme modelinde, kalınlığın kuvvetleri hesaplamada pek fazla rolü olmadığı için hesaplamalar iki boyuta indirgenebilmekteydi. Ancak, eğiklik açısının varlığıyla iki boyutlu kesme dinamiğini değiştirmektedir. Bu nedenle eğik kesme modelindeki hesaplamalar üç boyut üzerinden yapılır.

3.2. Kesme Kuvvetleri ve Hız Parametreleri

Kesme esnasında talaşı iş parçasından ayırmak için yüksek güç harcanır. Talaş kaldırma tezgâhlarının dayanımı, gerekli duyduğu güç, kesici takım tasarımı ve dayanımı gibi birçok konuda kesme kuvveti arasında önemli bir ilişki vardır. Talaş kaldırma işlemi esnasında sürtünme ve büyük bir basınç oluşur. Oluşan basınç ve sürtünme takım üzerinde kuvvet oluşumuna neden olur (Çakır, 2010). Bu kuvvetler kesilen parçanın malzemesi, takımın malzemesi, kesme hızı, ilerleme hızı, soğutma sıvısının kullanılma durumu ve talaş derinliği gibi birçok parametrelerinden etkilenir.

Orthogonal kesme modelinde gerçek kesme kadar mükemmel olmasa da yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu farklılıklardan bahsedecek olursak; kesme işleminde talaşın kesilip ayrılma işlemi bir düzlem üzerinden değil de bir kayma bölgesi olarak talaş oluşumuna neden olmasıdır (Groover, 2010).



Şekil 3.4. Takım üzerine gelen basınç gradyanı (Chiles et al., 1996)

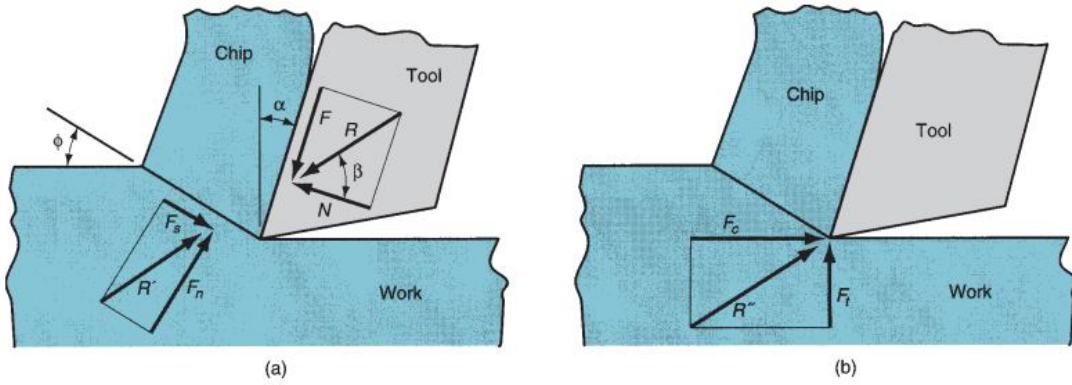
Kesme esnasında takım ve parça üzerine gelen kuvvetler, Şekil 3.4'deki gibi gradyanlara sahiptir. Bu gradyan incelendiğinde, Şekil 3.5 a)'da gösterildiği gibi, takım üzerine bir R bileşke kuvvet etki eder. Bu kuvvetlerin nedenlerini incelersek iki adet kuvvetin bulunduğunu görmüş oluruz. Bu kuvvetler; talaşın akmasına karşı takımın direnç gösterdiği F sürtünme kuvveti ve N isetalaşın karşı tepki kuvvetidir. Takımın malzemeyle arasındaki sürtünme katsayısı ise F/N oranıyla elde edilir (Groover, 2010). Formülize edecek olursak;

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (3.6)$$

Sürtünme katsayısı F/N oranı olarak tanımlamıştık. Bu orana trigonometrik olarak bakıldığında F/N oranının β açısının tanjantı olduğu görülmektedir (Groover, 2010). Yani;

$$\mu = \tan \beta \quad (3.7)$$

Ayrıca, takım üzerine etkiyen kuvvetlerin yanında parçanın da talaş üzerine gösterdiği bir R' kuvveti vardır. Bu kuvvet bileşenlerine ayrıldığında iki kök neden kuvvet olduğu görülür. Bunlardan biri kesme kuvveti olan F_s , diğeri ise kesme kuvvetine dik bulunan F_n tepki kuvvetidir. Bu kuvvetler Şekil 3.5 a)'da gösterilmiştir (Astakhov, 2004).



Şekil 3.5. Dik (orthogonal) kesme modelinde a) talaş üzerine etki eden kuvvetler b) takım üzerine gelen ölçülebilir kuvvetler (Groover, 2010)

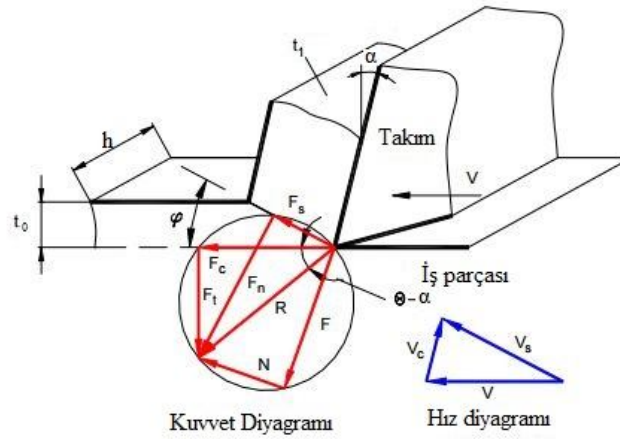
Kesme kuvvetinin bilinmesiyle de bir malzemenin ne kadar kesme mukavemetine sahip olduğu belirlenebilir. Ancak, kesme mukavemetinin bilinmesi için alanın da kayma düzlemine göre alınması gereklidir (Groover, 2010). Yani;

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (3.8)$$

$$A_s = \frac{w \cdot t_0}{\sin \phi} \quad (3.9)$$

Elde edilen kesme kuvveti işlenen malzemenin kesilme mukavemetinin düzeyini yani kesilebilirliğini temsil etmektedir. Kesme olayının gerçekleşebilmesi için uygulanan kesme mukavemetinin bu değerde olması gerekmektedir (Astakhov, 2004). Eğer bu gerilme değerinde daha aşağı bir gerilme uygulanırsa malzeme üzerinde bir plastik deformasyon meydana gelemez.

Farklı takım geometrileri, boyutlar ve farklı kesme koşulları var olduğundan F , N , F_s ve F_n kuvvetlerinden içbiri direkt olarak ölçülemez. Ancak, takım üzerinde gelen F_c kesme kuvveti ve F_t kesme kuvveti dinamometre, loadcell, prizyoelektrik plakalar gibi kuvvete duyarlı araçlar vasıtasıyla ölçülebilmektedir. Elde edilen F_c kesme kuvveti ve F_t kesme kuvvetinin bileşkesi alındığında bir R'' kuvveti elde edilir. Elde edilen bu kuvvet Merchant çemberindeki diğer bileşke kuvvetlere eşittir (Groover, 2010).



Şekil 3.6. F, N, Fs, Fc ve Ft kuvvetleri arasında bulunan geometrik ilişkiler (Astakhov, 2004)

Her ne kadar F, N, Fs ve Fn kuvvetleri ölçülemese de, elde edilen Fc ve Ft kuvvetlerinin bileşkesinin diğer bileşke kuvvetlere eşittir. Dolayısıyla, trigonometrik fonksiyonlardan yararlanarak ölçülemeyen kuvvetler elde edilmiş olur (Groover, 2010). Bu kuvvetleri türetecek olursak F, N, Fs ve Fn kuvvetleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$F = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \quad (3.10)$$

$$N = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \quad (3.11)$$

$$F_s = F_c \cos \varphi - F_t \sin \varphi \quad (3.13)$$

$$F_n = F_c \sin \varphi + F_t \cos \varphi \quad (3.14)$$

Talaşın kaldırılması esnasında talaş da belli bir hızda parçadan uzaklaşır. Talaşın hızı (V_c) ile kesme hızı arasında kütle korunumu vardır. Ancak, daha öncede belirtildiği gibi hacimsel bir değişiklik bulunmakta ve kaldırılan talaşın daha da kalın olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda bu kalınlık oranı r ile ifade edilmekteydi. Kütle korunumu r sabitinde de sürdürüldüğü için aynı oran hızlar için kullanılabilir. Formüle edecek olursak;

$$V \cdot t_0 = V_c t_c \quad (3.15)$$

$$V_c = \frac{V \cdot \sin \varphi}{\cos(\varphi - \alpha)} \quad (3.16)$$

$$r = \frac{V_c}{V} = \frac{t_0}{t_c} \quad (3.17)$$

Formül 3.17'yi göz önüne alırsak, kaldırılan talaş, talaş derinliğinden her zaman fazla olduğu için kaldırılan talaşın hızı (V_c) kesme hızından her zaman daha da azdır (Kalpajian & Schmid, 2000).

3.3. Delme Operasyonu

Delik delme işlemi, parça üzerinde silindirik bir oyuk oluşturmak için yapılan işlemdir (Yurdakul & İç, 2015). Bu esnada kullanılan takıma matkap ucu adı verilir. Bu takım, birbirine simetrik helis şeklinde ve herbir helis ucunda eğik kesme kenarına sahiptir.

Diğer bir bakış açısından bakarsak, delme operasyonu baralama, raybalama, kılavuz çekme gibi işlemlerin yapılabilmesi için gerekli olan ön işlemdir. Bir delme işlemi, takımın kendi eksenini etrafında dönmesi ve eksenini boyunca belirli bir hızda ilerlemesiyle yapılan talaş kaldırma işlemidir.

Parçalara açılan delikler vasıtasıyla hazır bağlantı elemanları rahatlıkla kullanılabilirdiği için delik delme operasyonu işlemede anahtar role sahiptir. Ayrıca, diğer yüzeylerle karşılaştırıldığında deliklerin hassaslığı daha kolay elde edilebilmekte ve bu nedenle hassas bağlantılar yapılabilir (Kuo et al., 2014). Aynı zamanda delikler bir montajda en fazla adete ve adet sayısı fazla olduğu için de en yüksek maliyete sahiptir. Örneğin; bir otomobil motorunun işlenmesinde delik delme işlemi en büyük maliyet kalemlerinden birine sahiptir (Kalpajian & Schmid, 2000).

3.3.1. Kesme ve ilerleme hızları

Delik delme işlemi en fazla maliyet işgal etmesinin yanında önemli derecede işleme zamanına sahiptir. Bu nedenle bir matkap için optimum kesme ve ilerleme hızlarının seçimi önemli bir yer tutmaktadır. Aynı zamanda, kesme parametrelerinin tayini ile

en uygun takım ömrünü, yüzey kalitesini ve birçok parametreyi belirlemede yardımcı olur.

Kesme hızı ve İlerleme hızını tanımlayacak olursak. Kesme hızı, matkap ucunun bir dakikada kesme doğrultusunda aldığı yoldur. İlerleme hızı ise, takımın 1 devirde aldığı yoldur. Formülize edecek olursak;

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.18)$$

Burada; V kesme hızı (m/dk), D matkap ucunun çapı (mm), n ise bir dakikada yapılan devir sayısıdır. Delik delme işleminde ilerleme hızını da formülize edecek olursak;

$$F = n \cdot z \cdot f_z \quad (3.19)$$

Formülde; n dakikada yapılan devir sayısı, z matkaptaki diş adeti, f_z ise takımın bir devirde aldığı yol ve F takımın dakikada aldığı mm cinsinden yoldur.

3.3.2. Delme esnasında oluşan kuvvetler

Delik delme işleminde kuvvet ve momentlerin elde edilmesi, işlenen parçanın işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde önemli niteliklerden biridir. Bu kuvvet ve momentler kullanılan matkap türüne, geometrisine, kaplaması varsa yapılan kaplamanın cinsine, takım malzemesine, delinen parçanın malzemesine, kesme ve ilerleme parametreleri gibi birçok şartlara göre değişiklik göstermektedir.

Matkap uçununun talaş kaldırma işlemi esnasında matkap ucunun geometrisi helisel ve karmaşık geometrilere sahip olduğu için çok sayıda kesme kuvvetleri ve yükleri oluşabilmektedir. Delik delme işleminde iki adet ölçülebilen nicelik vardır. Bunlardan birincisi takımın eksenine dik etki eden kesme kuvveti (thrust force), diğeri ise matkabın parça üzerinde oluşturduğu momenttir.

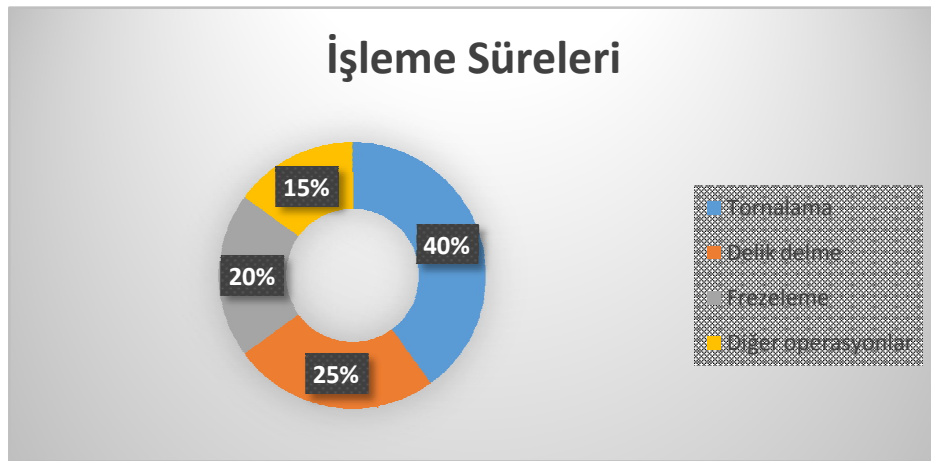
Literatürde delme operasyonu esnasında oluşa kuvvetlerin hesaplanmasında birçok model ortaya atılmış ve ölçülebilir kuvvetlerin tahmini sağlanmıştır. Bu modellerin çoğu Merchant ve Euler kesme modelini referans olarak alır.

Delme işleminde kuvvetler pek çok faktör tarafından etkilenir. Bunlar Şekil 3.7’de gösterildiği gibi üç grupta özetlenir.



Şekil 3.7. Delme kuvvetleri etkileyen kuvvetler (El-Hofy, 2013)

3.3.3. Delme işlem süreleri



Şekil 3.8. Ortalama işlem süreleri (Tonshoff et al., 1994)

Delme işlemi her ne kadar en fazla kullanılan işlem olsa da yapılan araştırmalar neticesinde delik delme operasyonlarının bütün operasyonlara oranla yaklaşık dörtte birini oluşturmaktadır (Tonshoff et al., 1994).

İşleme süresinin hesaplanabilmesi, imalatın düzenlenmesinde, kontrolünde ve planlanmasında önemli bir yere sahiptir. Genel olarak delme işleminde kullanılan hesaplama aşağıdaki gibi formülize edilmiştir (Wikipedia, 2015).

$$T = \frac{L}{fxN} \quad (3.20)$$

Burada, T dakika cinsinden delik delme süresi, L matkap ucunun yavaşma mesafesi ve deliğin boyunun toplamı (mm), f ilerleme hızı (mm/devir) ve N ise bir dakikadaki tur sayısıdır (devir/dak).

3.4. Delme İşleminde Kullanılan Matkap Çeşitleri

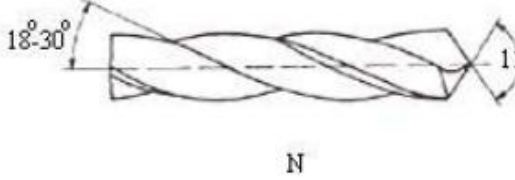

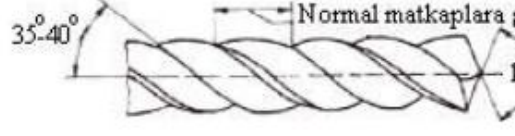
Farklı kesme şartları, malzeme ve daha değişik nedenlerden ötürü farklı özelliklere sahip matkap ucu takımları geliştirilmiştir. Bu takımlar literatürde üç ana grup içinde sınıflandırılmıştır. Bunlar;

- Matkabın helis açısına göre
- Matkap ucunun ağız formuna göre
- Matkap ucunun ağız sayısına göre kendi içinde gruplanmıştır.

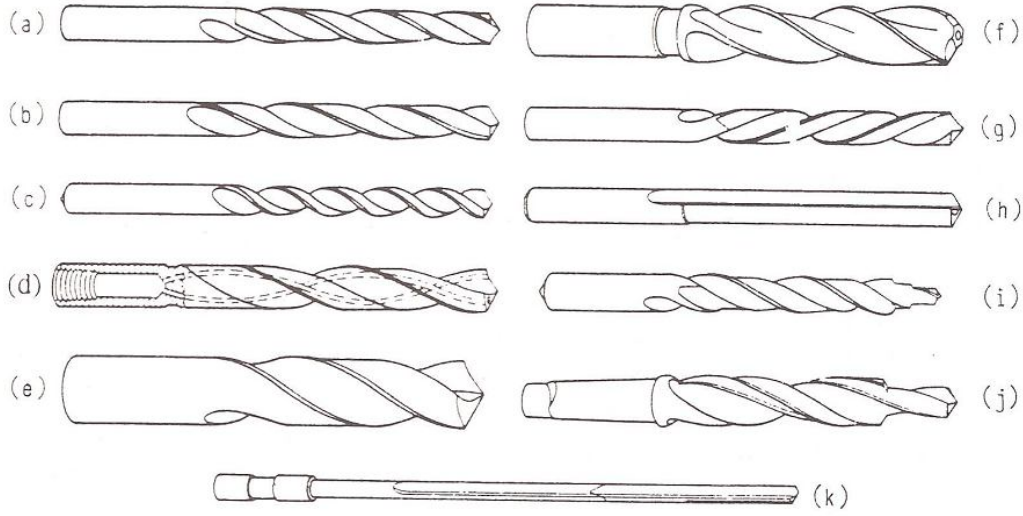
3.4.1. Matkap ucunun helis açısına göre kullanılan matkap çeşitleri

Matkap helis açısı, sertlik ve mukavemet ve delinecek çap gibi malzemenin fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişik matkap tipleri kullanılmaktadır. Bu açılar DIN 1414 standardı altında H, W, N olmak üzere üç tipte standartlaştırılmıştır. Tablo 3.1. de H, N ve W standartlarının kullanım alanları belirtilmiştir. Bu Matkap çeşitlerinden N tipi matkap tipi dövülmüş, preslenmiş ve paslanmaz çelikler gibi yüksek kesme dayanımına sahip malzemelerin delinmesinde, H tipi matkap uçları pirinç, plastik, bronz ve bazı sert çeliklerin delinmesinde kullanılan malzemelerin delinmesinde, W tipi matkap uçları ise bakır, alüminyum çinko gibi nispeten yumuşak malzemelerin delinmesinde kullanılır (Akkurt, 2004).

Tablo 2.1. Farklı helis açılarının farklı malzeme tiplerinde kullanımı (Arafat, 2009).

Malzemenin Cinsi	Uç açısı	Matkabın Tipi
Çelik; Çelik döküm, Dökme demir, temper döküm, sert bakır çinko alaşımları	118°	 <p>N</p>
Çekme dayanımı 70 N/mm ² üzerinde olan çelik ve döküm malzemeler için	130°	
Sac ürünler ve sac demet plakeleri	124-130°	
Paslanmaz çelikler, Bakıra 30mm ve üstü çap değerlerinde delik delme operasyonlarında, kısa talaşa sahip alüminyum alaşımları	130°	 <p>H</p>
Pres işlemi görmüş malzemeler, Sert bakalit, taş kömürü, mermer, sert bakalit	80°	
Sert çelikler, pirinç, bronz	130°	
Magnezyum ve alaşımları	140°	 <p>Normal matkaplara</p> <p>W</p>
Kalay, kurşun ve çinko alaşımları	118°	
Bakır	120°-125°	
Alüminyum alaşımları,	140°	
Uzun talaş veren alüminyum alaşımları, bakır üzerinde çap değeri 30 mm ve üstü çaplar	140°	

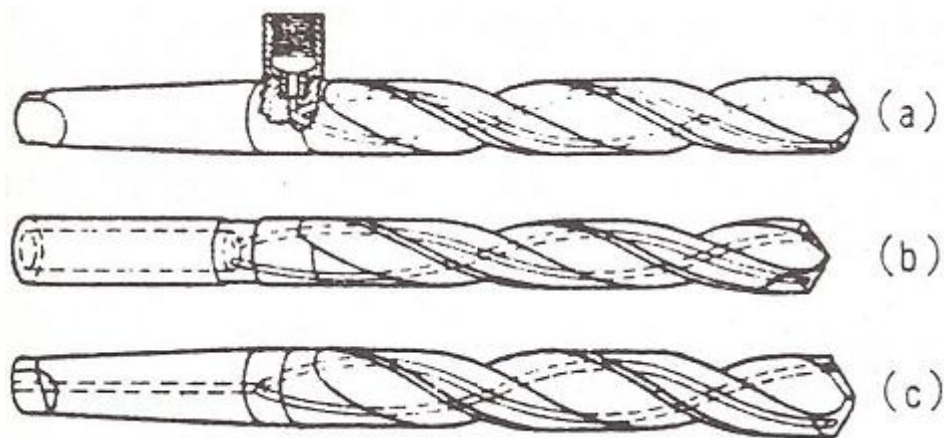
3.4.2. Matkap ucunun ağız formuna göre matkap çeşitleri



Şekil 3.9. Matkap ağız formuna göre matkap çeşitleri (Akkurt, 2004)

Şekil 3.9.'daki a), b) ve c) türü matkaplar normal matkap uçları adı altında piyasada bulunur. Genel delik delme işlemlerinde kullanılır. Nispeten diğer matkaplara göre düşük fiyatı vardır (Arafat, 2009).

Şekil 3.9. d)'deki matkap türü ise içten soğutmalıdır. Matkap kendi içinden basınçlı soğutma sıvısı geçen küçük çapta delikler barındırır. Kesme işlemi esnasında bu delikler içindeki basınçlı soğutma sıvısı hem kesme işlemi esnasında ortaya çıkan ısının hızlı bir şekilde soğutulması hem de basınç vasıtasıyla talaşın ortamdan uzaklaştırılması sağlanır.



Şekil 3.10. İçten soğutmalı matkap çeşitleri (Akkurt, 2004)

Matkap içindeki soğutma kanalları imalat yöntemlerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Şekil 3.10 a), b) ve c) de bu farklı tipler gösterilmektedir. İçten soğutma vasıtasıyla daha az aşınma olduğundan dolayı matkap ucunun ömrü daha da uzundur. Ancak içten soğutma normal matkap ucuna göre daha fazla işlem gerektiğinden piyasadaki normal matkaplardan daha da pahalıdır (Akkurt, 2004).

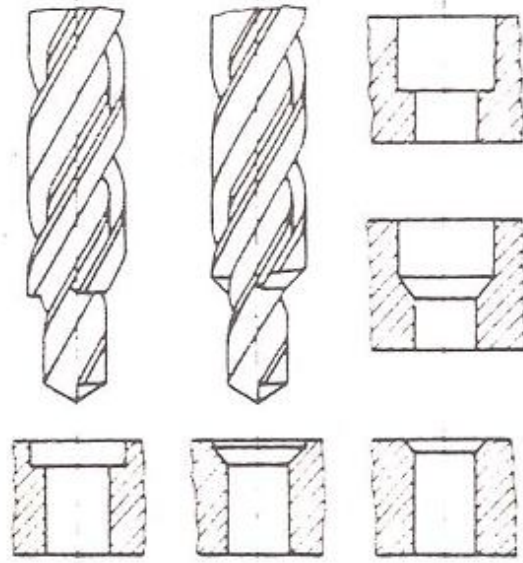
Şekil 3.9. e)'deki matkap ucu tipine küt matkap adı verilir. Normal matkaplara göre helis kanal uzunluğu daha kısadır. Bu nedenle daha rijit bir yapıya sahiptir. Seyyar rijid bir matkap elde edilerek ağır koşullarda ve seyyar kullanım durumlarında kullanım alanı vardır (Arafat, 2009).

Şekil 3.9. f)'deki matkap ucu ise delik genişletme işlemlerinde kullanılır. Üç ya da altı ağız sayısına sahip olabilirler. Yüksek ilerleme hızlarında kullanılabildiği için diğer matkaplara göre üretkenlik oranı daha da yüksektir (Akkurt, 2004).

Şekil 3.9. g)'deki matkap ucu ise sol helisli matkaptır. kesme yönü diğer matkaplara nazaran aksi yönde olduğu için devir yönü de terstir, diğer özellikleri standart matkaplarla aynıdır. Genelde dönme yönü ters olan ve birden fazla prosesli işlemlerde kullanılır (Arafat, 2009).

Şekil 3.9 h)'da gösterilen matkap ucu ise düz kanallı matkaptır. Genelde pirinç bakır gibi yumuşak malzemeleri işlemede kullanılır (Akkurt, 2004).

Zamandan tasarruf etmek, proses sayısını azaltmak ve bazı durumlarda maliyeti azaltmak için farklı uc yapılarına sahip matkap çeşitleri tasarlanmıştır. Şekil 3.9. ve Şekil 3.10'da bu tip matkap ucları gösterilmiştir. Genel itibarıyla bu tip matkaplar kademeli matkap olarak da anılır. Tek seferde, deliğe cıvata başı deliği açılması, pah kırma ve delik büyütme gibi işler için idealdir.



Şekil 3.11. Kademeli matkaplar (Arafat, 2009)

Matkapların yekpare oluşundan dolayı seri üretim için yeteri kadar kullanışlı değildir. Çünkü matkap ucunun körelmesi durumunda bilemeye ihtiyaç duyar. Ancak, bileme belli bir süre gerektirir. Ayrıca, körelen matkabın da imalat esnasında yerinden çıkarılması ve yerine yenisi takılacağından offset ayarlarını bozarak yeniden takım telafisi ya da ölçümü gerekmektedir. Bu da seri üretim esnasında zaman aldığı için istenmeyen bir durum oluşturur. Ayrıca, maliyet açısından bakıldığında örneğin seri imalata en uygun matkap olan karbür matkabın kullanıldığını farz edersek, karbürün matkap yekpare olduğu için matkaba yapılan yatırım fazladır ve bileme masrafı ortaya çıkarmaktadır. Ancak, değiştirilebilir uca sahip matkaplarda karbür kesici takımla yekpare olmadığı için birim matkap başına yapılan yatırım azdır. Ayrıca, kesici uç direkt takıma bağlandığı için boy telafisi meydana gelmez, bu nedenle ofset ayarı gerekmediği için ayar süresini düşük seviyede tutulmasına sebep verir. Bu da değiştirilebilir uçlu matkabın önemini açıklamaktadır. Şekil 3.12’de değiştirilebilir uçlu matkap sisteminden biri gösterilmiştir.

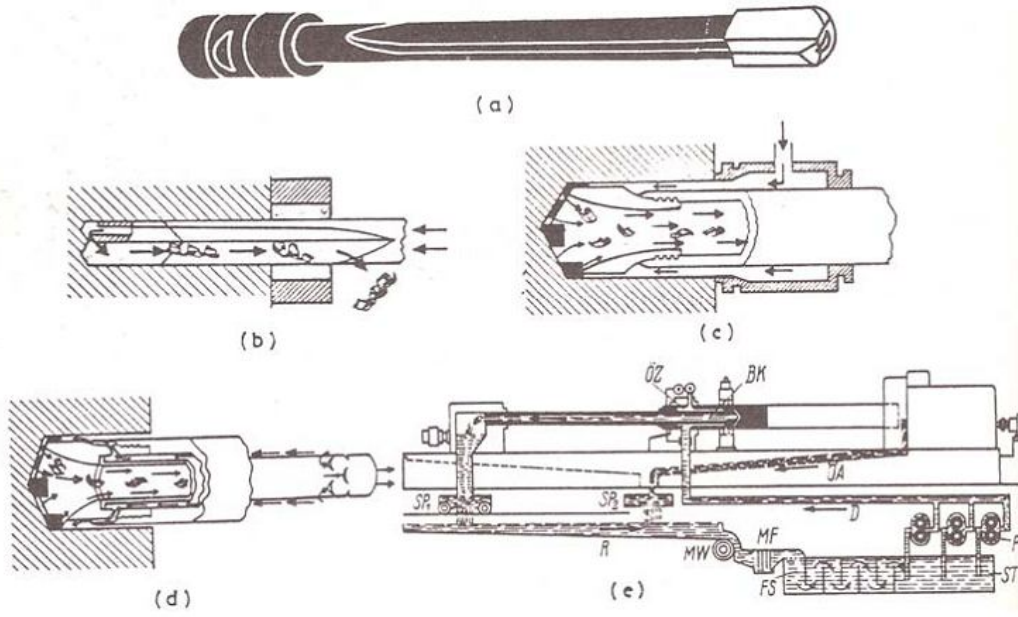


Şekil 3.12. Değiştirilebilir uca sahip bir matkap türü (Sandvik, 2015)

Çapının beş katından daha fazla olan deliklerin delinmesinde derin delik matkapları yada namlu matkapları kullanılır. Derin deliklerin delinmesi normal işlemlere göre problemlidir. Şekil 3.9k'da gösterilmiştir. Bu matkaplar tek ağızlı yapıya sahiptir. Bu matkaplar, deliğin delinmesi esnasında talaşı tahliye etmek için basınçlı soğutma sıvısı kullanılarak iki farklı sistem kullanılır. Bunlar, iç talaş taşıyıcı ve dış talaş taşıyıcı sistemlerdir (Arafat, 2009).

İç talaş taşıyıcı matkaplar, şekil 10 c'de gösterildiği gibi içi boş bir silindir ucuna monte lehim v.b. gibi yöntemlerle edilmiş kesici ağız vardır. Basınçlı soğutma sıvısı sayesinde kaldırılan talaşı bünyesinde bulunan talaş boşlukları vasıtasıyla matkabın kendi içerisinden tahliye eder.

Bu işlemde talaşın tahliyesi önemlidir. Bu nedenle, sülfür ve klorit gibi katkıları vasıtasıyla güçlendirilmiş soğutma sıvıları kullanılır. Delik delme ve delik büyütme işlemleri esnasında talaşın tahliyesini iyi bir şekilde sağlamak için soğutma sıvısı debisi genelde 4 lt/dak olmalıdır. Delik delmede 10-60 bar ve delik genişletmede 5-25 bar arasında basınçlı sıvı kullanılmalıdır (Kaynak, 2006).

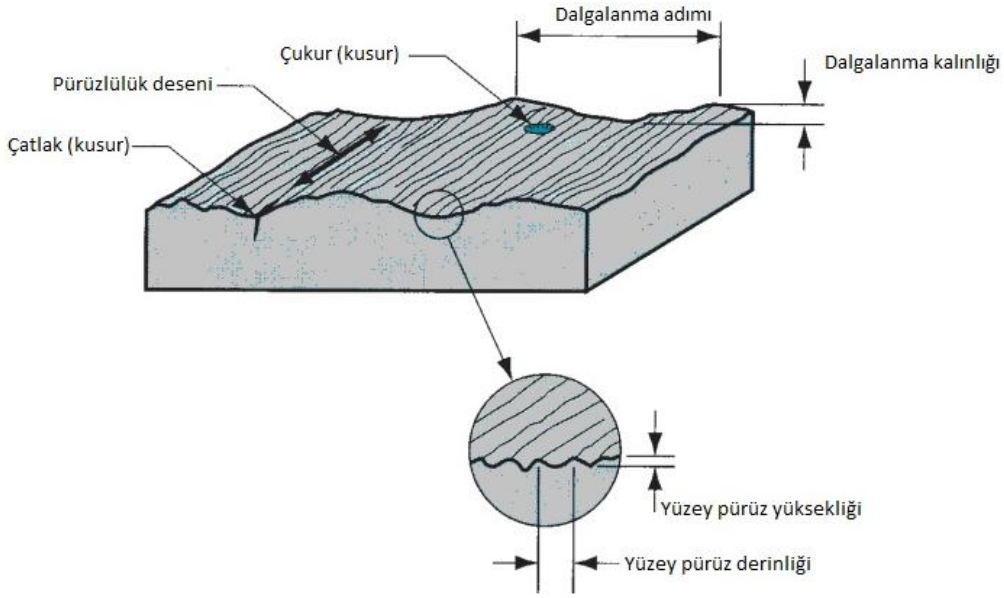


Şekil 3.13. İçeriden ve dışarıdan talaş taşıyıcı matkap çeşitleri (Kaynak, 2006)

Dıştan talaş tahliyelili matkaplar ise simetrik değildir. İç tarafı v harfi şeklinde geometriye sahiptir. Kesme esnasında matkap ucunun bir yüzeyi kesme yaparken diğer yüzeyi de talaşların rahat tahliye olabilmesi için kıvrılan talaşları kırarak küçük talaş parçacıkları haline getirir. Soğutma sıvısı basınçlı bir şekilde takım içerisinden geçirilerek talaşın takım dışından tahliyesi sağlanır (Kaynak, 2006).

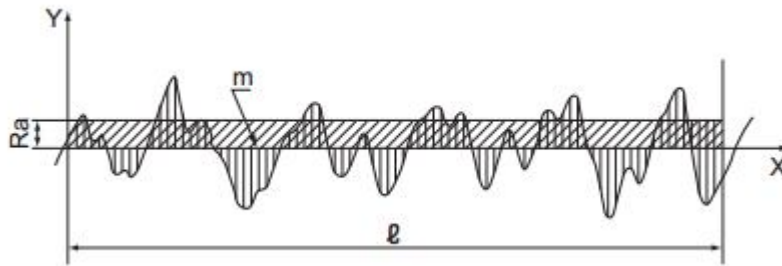
3.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Bir cismin yüzeyi dört ana farklı bakış açısından değerlendirilir. Bunlar yüzeyde meydana gelen rastgele sapmalardır. Pürüzlülük, dalgalanma, dizilim ve hatalar şeklinde tanımlanır. Pürüzlülük, Şekil 3.14.'deki gibi orta düzleme göre küçük ve ince aralıklı sapmaları ifade eder. Yüzey pürüzlülüğü oluşumunun asıl parametreleri malzemenin cinsi ve kullanılan imalat yöntemidir. Dalgalılık ise pürüzlülüğe göre daha da belirgindir. Bu durumda sapmalar ince küçük değil kitlesel halde oluşur. Genelde iş parçasının eğilmesi, titreşimi, ısıl işlemi gibi faktörlerden kaynaklanır. Dizilim ise yüzeyin dokusu ve yönüdür. Genelde kullanılan imalat metoduna göre yüzeyin şekli değişiklik göstermektedir. Kullanılan takım ile Tablo 4'deki gibi desenler elde edilmektedir. Kusurlar ise, yüzeyler üzerinde çatlaklar, çizikler gibi hatalardır ve genellikle nadirdir (Yurdakul & İç, 2015).








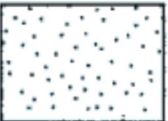
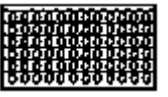
Şekil 3.14. Yüzey üzerindeki kusur ve pürüzlülükler (Yurdakul & İç, 2015)

Parçaların imalatı esnasında her ne kadar istenilen parça boyutunu elde etmek ana hedef ise de üretilen parçanın yüzey kalitesi de o kadar önemlidir. Bir imalat resminde hem istenilen boyutlar belirtilmekle beraber, istenilen yüzey kalitesi de belirtilir. Hatta bazı durumlarda istenilen yüzey pürüzlülüğün bir şekli olabilir. Tablo 4'te bu şekillerin bazılarının imalatta nasıl simgelandiği ve ne anlama geldiği gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde ortalama ve gerçek yüzey düzlemi (JIS, 1994)

Tablo 3.1. Yüzey pürüzlülük desen tipleri (JIS, 1994)

Yüzey Tip Sembolü	Yüzey deseni	Tanımı
=		Yüzey üzerindeki çizgiler gösterilen yüzeydeki çizgilere paraleldir.
⊥		Yüzey üzerindeki çizgiler gösteriler yüzeydeki çizgilere diktir
X		Üzerinde sembolü gösterilen çizgiler kendi içinde birbirine çaprazdır.
C		Yüzey çizgi desenleri merkezden başlayarak dairesel şekilde dışa doğru yayılır.
R		Yüzey deseni merkeze dış çap arasında yaylar bulunur.
P		Yüzey deseni partikül halinde yönsüzdür.
M		Kesici takımın yönü yoktur ve genelde bitirme yüzeylerinde kullanılır

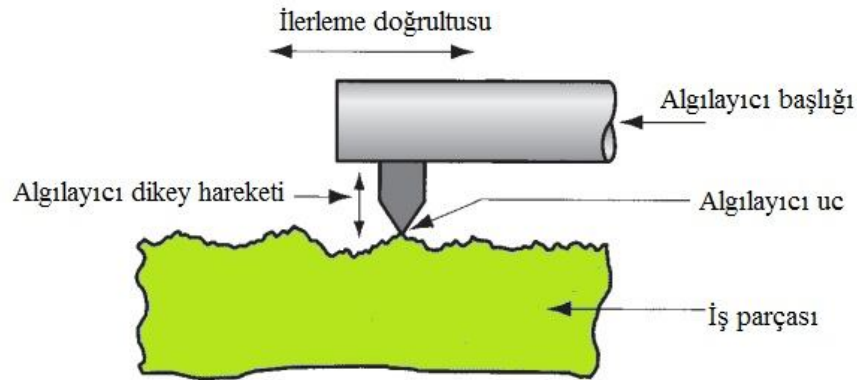
Bir yüzeyin pürüzlülüğü bir yüzeyin bütünlüğünü değerlendirmede en yaygın kullanılan ölçüttür. Şekil 3.15' de gösterildiği gibi nominal düzleme belli uzaklıklara sahip sapsmalardır. Diğer bir deyişle yüzey ortak düzleminden sapan tepe ve çukurların dikey ölçüleridir. Ancak yüzey pürüzlülük değeri genelde bu tepe ve çukurların mutlak değer halinde sapsmaların ortalamasını alarak nicel bir değere dönüştürülür. Bu formül aşağıdaki gibidir (Yurdakul & İç, 2015);

$$R_a = \int_0^{L_m} \frac{|y|}{L_m} dx \quad (3.21)$$

Burada; R_a = ortalama yüzey pürüzlülüğü, y nominal yüzeyden yapılan düşey sapma, L_m pürüzlülüğü ölçülen mesafedir.

Yüzey pürüzlülüğü çeşitli şekillerde ölçümü mümkündür. Bunlar, farklı bir yüzeyle karşılaştırma, algılayıcı iğne uc ile tarama ve optik bakımdan ölçüm teknikleridir.

Yüzeyler arası karşılaştırma metoduyla, farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip bloklar kullanılır. Bu bloklar ile işlenen parçanın yüzeyi karşılaştırılır. Bu karşılaştırma işlemi hem çıplak gözle hem de tırnak ile yapılır. Operatör, yüzey pürüzlülüğü kontrol edilecek yüzeye tırnak ile gezdirir. Ardından standart blok üzerinde gezdirilir. Böylece en uygun blok bulunur. Bu metotta nicel bir değer elde etmek mümkün değildir. Ancak yüzey pürüzlülüğünün hangi aralıklar arasında olduğunu tahmininde işe yarar bir metottur (Yurdakul & İç, 2015).



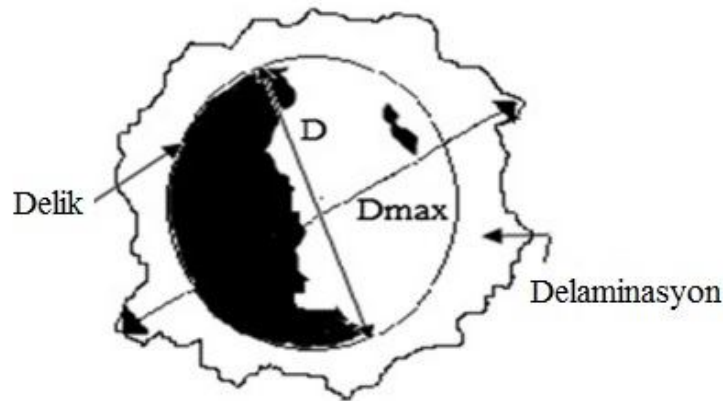
Şekil 3.16. Yüzey pürüzlülüğünün ölçüm metodu (Yurdakul & İç, 2015)

Algılayıcı uca sahip cihazlar ile bir yüzeyin ortalama yüzey pürüzlülüğünü elde edilebilmektedir. Cihaza bağlı algılayıcı uç parça üzerinde yatay doğrultuda hareket eder. Bu esnada algılayıcı uç dikey doğrultusunda yüzeyi okur ve cihaz bunları sinyale dönüştürerek kaydeder. Ardından bu değerlerin ortalamasını alıp bize yüzey pürüzlülük değerini gösterir ya da yüzey topografyasını çıkarır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü veren cihazlara yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazları, yüzeyin topografisini çıkartan cihazlara ise profilometre adı verilmektedir (Yurdakul & İç, 2015).

Optik yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodu lazer temellidir. Işık kaynağından parçaya gönderilen ışının yansımaları, ışık saçılması veya difüzyonu ile yüzey pürüzlülüğü belirlenir. Bu teknoloji ile algılayıcı ucun parçaya temasının istenmemesi istenildiğinde ve yüzey pürüzlülüğü çok kısa sürede avantaj sağlamaktadır. Ancak optik yüzey pürüzlülüğü cihazları ile elde edilen değerler algılayıcı uca sahip yüzey pürüzlülük cihazları ile elde edilen değerler ile uyuşmadığı unutulmamalıdır.

3.6. Delaminasyon

Delaminasyon, kompozit malzemeleri delme işlemi sonucunda takviye fazının matriks malzemeden ayrılmasıdır. Bu nedenle, delaminasyon hasarına uğramış kompozit malzemenin fiziksel özellikleri düşer. Kompozit malzemeler askeri, havacılık ve uzay gibi kritik alanlarda kullanıldığından kompozit malzemelerde delaminasyonun en az düzeyde olmalıdır.

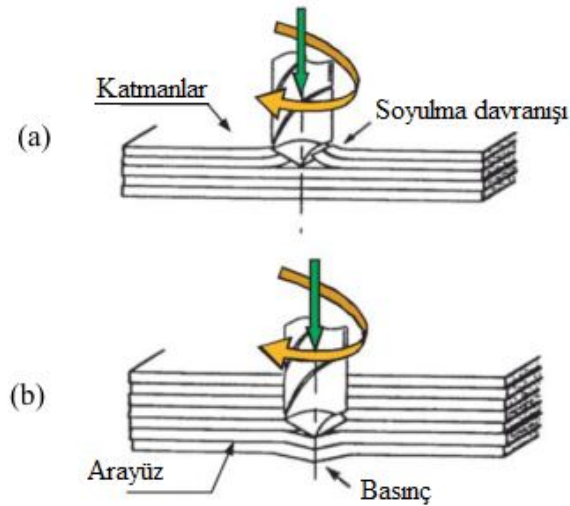


Şekil 3.17. Delaminasyon hasarına uğramış delik şekli (Rajamurugan, Shanmugam & Palanikumar, 2013)

Kompozit malzemelerin yapısının heterojen oluşundan ve anizotropik olduklarından dolayı delme operasyonu özellikleri homojen malzemelere göre daha da zordur. Ayrıca, bu malzemeleri delme esnasında takviye malzemesinin ayrılması nedeniyle kompozit malzemeler yorulma ve mukavemet değerleri düşer. Burada takviye malzemesinin matriks malzemesinden ayrılması delaminasyon hasarını verir. Delme işleminde delaminasyon ne kadar yüksek ise delinen deliğin yüzey kalitesi o kadar düşüktür. Ayrıca delinen deliğin geometrik ölçüsü matkap çapından yüksektir. Bu

durum da yapılan montajın sağlıklı oluşunu önemli derecede zayıflatır. Çünkü kompozit malzemenin montajının yapılması bu kompoziti dinamik yüklere karşı savunmasız bırakmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemenin ömrünü önemli derecede etkiler.

Kompozit malzemeler delinme esnasında Şekil 3.17'deki gibi delik girişlerinden çıkışına gidene kadar kompoziti delamine ederek delinir. Matkap ucunun delik çıkışına yaklaştıkça kesilecek malzemenin kalınlığının azalır ve malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç azalır. Bu esnada, matkap ucu takviye fazı ile matriks malzeme arasındaki yapışma mukavemetini yener. Böylece delik çıkışına doğru delaminasyon oluşur. Bu durum matkap tam olarak malzeme içine işledikten sonra (matkap ucunun baş kısmı) gerçekleşir. Farklı takımların kullanılmasıyla, takımın kesme esnasında uyguladığı kesme kuvvetinin (thrust force) azalmasıyla takviye fazı ile matriks malzemesi arasındaki dayanımı yenemez ya da daha az etkiler. Bu nedenle kesme kuvvetinin azaltılmasıyla delaminasyonun azaltılması mümkün hale gelmektedir. Ancak, nihai olarak matkap çıkışında olan ayrılma, matkap kesme başlangıcında olan soyulma davranışından daha da tehlikeli bir durum teşkil eder (Kavad et al., 2014).



Şekil 3.18. Giriş ve çıkış esnasındaki delaminasyon (Kavad et al., 2014)

Delaminasyonun büyüklüğünü anlamak için Şekil 3.18.'de gösterildiği gibi delamine olmuş çap ile matkap çapı arasında oranlanmasıyla delaminasyon faktörü adı verilen bir terim geliştirilmiştir. Aşağıdaki formülle ifade edilir (Kilickap, 2010);

$$F_d = \frac{D_{max}}{D_{matkap}} \quad (3.19)$$

BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde farklı fazlara sahip parçaların en uygun kesme parametrelerini bulmak için kullanılan, materyal, metod, cihaz ve teknikler detaylı bir biçimde açıklanacaktır.

4.1. Deney Malzemesi

Deney için kullanılan malzemelerin imalatı takviye hazneli plastik enjeksiyon tezgahında basılmıştır. Numuneleri basma esnasında fiber olarak doğal rockforce fiberler ve cam fiberler kullanılmıştır. Bu fiberler cihaz üzerindeki hazneye girecek olduğundan fiberlerin boyu kısadır. Aksi takdirde sonsuz vidayı aşırı şekilde aşındırır.

Bu deneyde kullanılan cam fiberlerin boyu 3000 μm ile 4500 μm arasındadır. Fiber çapı ise yaklaşık 10 μm 'dir. 2,55 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir. Ergime sıcaklığı 600°C'dir. E tipi cam fiber bu deneyde takviye fazı olarak kullanılmıştır.

Kullanılan rockforce fiberler ise 100-150 μm arasında boya sahiptirler. Fiber çapı yaklaşık 5 μm 'dir. Ergime sıcaklığı 1000°C'dir. Bu fiber tipi 2,75 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir.

Deney numuneleri 100 mm çapında bir kalıp boşluğuna enjekte edilmiştir. Homojenliğinin eşit bir şekilde olması için tam ortadan kalıba enjekte edilmiştir.

Deney malzemelerinin tümünde matriks malzemesi olarak polyamid-6 kullanılmıştır. Polyamid-6 bir termoplastiktir. Yani ısıtıldığında tekrar kullanılabilir özelliğine sahiptir. Kullanımı en yaygın mühendislik plastiklerinden biridir. Yüksek

sıcaklıklarda diğer polimerlere kıyasla iyi sertlik ve mukavemete, yüksek yorulma dayanıma, yüksek kimyasal dayanıma, iyi aşınma ve yıpranma dayanımına sahiptir. Diğer teknik özellikleri Tablo 4.1.'deki gibidir. Ancak, nem tutma özelliği en büyük dezavantajlardan biridir.

Tablo 4.1. Polyamide-6 (PA) malzemenin teknik özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	g/cm ³	1,14
Akma Mukavemeti	Mpa	80-45
Çekme Mukavemeti	Mpa	78
Kopma Mukavemeti		
Çekme Modülü	Gpa	2,6-3
Poison oranı	-	0,39
Izod çarpma testi	J m-1	30-250
Sürtünme Katsayısı	-	0,2-0,3
Aşınma Dayanımı (ASTM D1044)	mg/1000 cycles	5
Oksijen Limit İndeksi	-	%25
Termal Genleşme Katsayısı	x10 ⁻⁶ K ⁻¹	95
Çarpılma Sıcaklığı (0,45 Mpa)	°C	20
Çarpılma Sıcaklığı (1,8 Mpa)	°C	20
En Düşük Çalışma Sıcaklığı	°C	-40
En Yüksek Çalışma Sıcaklığı	°C	80-160
Termal İletkenlik	W m ⁻¹ K ⁻¹	0,24-0,28

4.2. Kesici Takımlar

Malzeme tipinin işlenebilirlik üzerine etkisini anlamak için kesici takım malzemesi olarak HSS, Titanyum nitrür kaplı HSS ve kaplamasız karbür olmak üzere üç farklı

takım kullanılmıştır. Ayrıca, boyutsal olarak işlenebilirlik üzerinde olan etkiyi gözlemlemek için ise kesici takım ölçüleri 3mm, 4mm ve 5mm çapları seçilmiştir. Bu çapları seçmemizin nedeni literatürde genelde bu tip matkaplarla kıyaslanıyor olmasıdır. Yapılan her deneyde sadece bir adet matkap kullanılmıştır.

4.2.1. HSS matkap ucu

HSS takımlar Makine Takım A.Ş. firması tarafından imal edilmiştir. DIN 338 nolu standarda göre üretimi yapılmıştır. H8 toleransa sahiptir. Helis açısı 30° , uc açısı 118° ve N tipidir. Sağ kesme yönüne sahiptir. Takım yüzeyine herhangi bir kaplama yapılmadan kullanılmıştır. Takımın uc yüzeyleri taşlanarak elde edilmiştir.



Şekil 4.1. 118° Uc açısına sahip HSS matkap

4.2.2. Titanyum nitrür kaplamalı hss (hss+tin) matkap ucu

Kullanılan Titanyum Nitrür kaplamalı HSS takım (Şekil 4.2) DIN 338 standardına göre Makine Takım A.Ş. tarafından imal edilmiştir. Doğru bir kıyaslama yapabilmek amacıyla bu takımın özellikleri diğer takımlar ile aynı tutulmuştur. H8 toleransa sahiptir. Helis açısı 30° , uc açısı 118° ve N tipidir. Sağ kesme yönüne sahiptir.



Şekil 4.2. 118° Uc açısına sahip Titanyum nitrür kaplamalı HSS matkap

4.2.3. Karbür matkap ucu

Kullanılan karbür matkaplar kaplamasız ve DIN 338 standardında Makine Takım A.Ş. firmasından tedarik edilmiştir. H8 toleransa sahiptir. Helis açısı 30° , uc açısı 118° ve N tipidir. Sağ kesme yönüne sahiptir.



Şekil 4.3. 118° Uc açısına sahip karbür matkap

4.3. Deney Hız Parametreleri

Yapılan deneylerde her takım için Tablo 4.2. de belirtilen kesme hızı ve ilerlemeler kullanılmıştır. Kesme hızı olarak 15, 20 ve 25 m/dk seçilmiştir. İlerleme olarak ise 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/devir seçilmiştir. Bu kesme hızı ve ilerlemeler literatürde yapılan deneyleri araştırdıktan sonra elde edilmiş ve bu değerlerin kullanılması uygun görülmüştür.. Her bir numune cinsine üç farklı takım cinsi kullanılmıştır. Bunlar; HSS, HSS+TiN ve karbürdür. Bu takımlar ise kendi içinde üç farklı çaplarda (3,4 ve 5 mm) kullanılmıştır.

Tablo 4.2. Her bir takım türü için kullanılan kesme ve ilerleme değerleri

Takım Çapı	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Hızı (mm/dev)
3	15	0,05
3	15	0,1
3	15	0,15
3	20	0,05
3	20	0,1
3	20	0,15
3	25	0,05
3	25	0,1
3	25	0,15
4	15	0,05
4	15	0,1
4	15	0,15
4	20	0,05
4	20	0,1
4	20	0,15
4	25	0,05
4	25	0,1
4	25	0,15
5	15	0,05
5	15	0,1
5	15	0,15
5	20	0,05
5	20	0,1

5	20	0,15
5	25	0,05
5	25	0,1
5	25	0,15

4.4. CNC Takım Tezgâhı

Deneyle Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında bulunan üç eksen HAAS marka TM1 model CNC tezgâh kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyle kuru ortamda yapılmıştır. Belirtilen tezgâh 5,6 KW güce ve maksimum 4000 devir/dakika işmili hızına sahiptir. Tezgah ve deney düzeneği Şekil 4.4'de sunulmuştur.



Şekil 4.4. HAAS TM 1 üç eksen freze tezgahı

4.5. Optik Mikroskop

Deneylede delaminasyon miktarının ölçümü, talaşların makro boyutta değerlendirilmesi, çapakların oluşumu optik stereo mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskopun markası Nikon Eclipse L150'dir. Delaminasyon ölçümlerinde 20x yakınlaşma ve 1mm çözünürlük altında delaminason ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.5 da optik mikroskobun detayları verilmiştir.



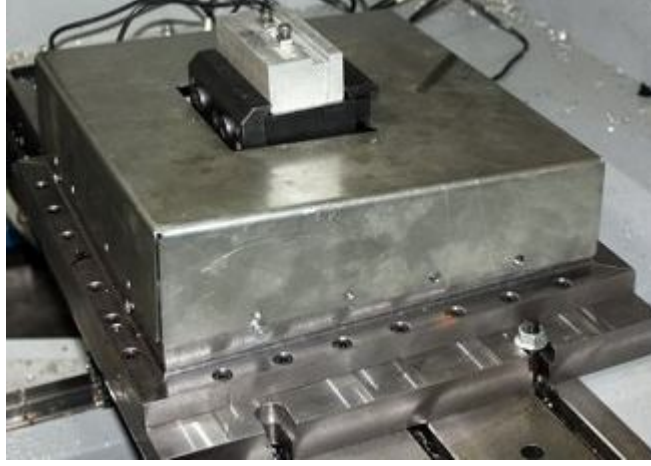
Şekil 4.5. Nikon Eclipse 150 Optik mikroskop

4.6. Dinamometre

İşleme esnasında oluşan kuvvetleri ölçmek için dinamometre tasarlanıp üretilmiştir. Dinamometreler kuvvet karşılıklarına yük hücresi (Loadcell) konumlandırılarak kesme verileri elde edilmiştir. Şekil 4.7 de bu şekil gösterilmiştir. Konumlandırılmış yük hücresi (Loadcell) tarafından gönderilen veriler AD-4406 göstergelere yansımıştır. Bu veriler de şekil 4.6 da belirtilen gösterge ile bilgisayar iletişimi arasındaki iletişimi sağlayan RS 232 kablosu kullanılarak saniyede en az 10 veri transferi yapılmıştır. Burada dikkat edilecek nokta her bir RS 232 bağlantıya farklı bir COM bağlantı noktası atanması gereklidir.



Şekil 4.6. AD-4406 Load cell göstergeleri



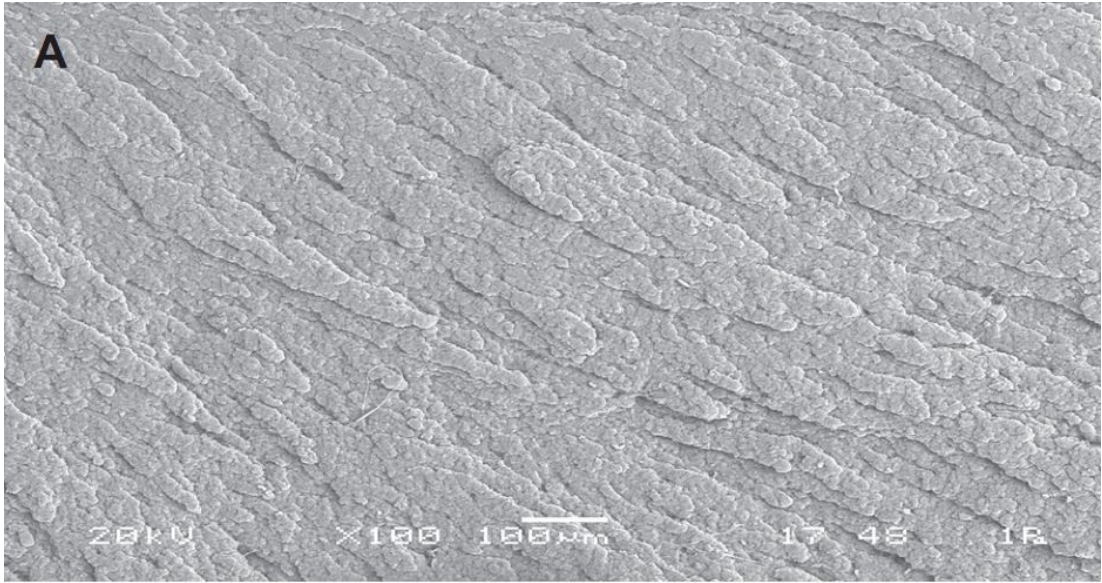
Şekil 4.7. Tasarlanıp üretilen dinamometre cihazı

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

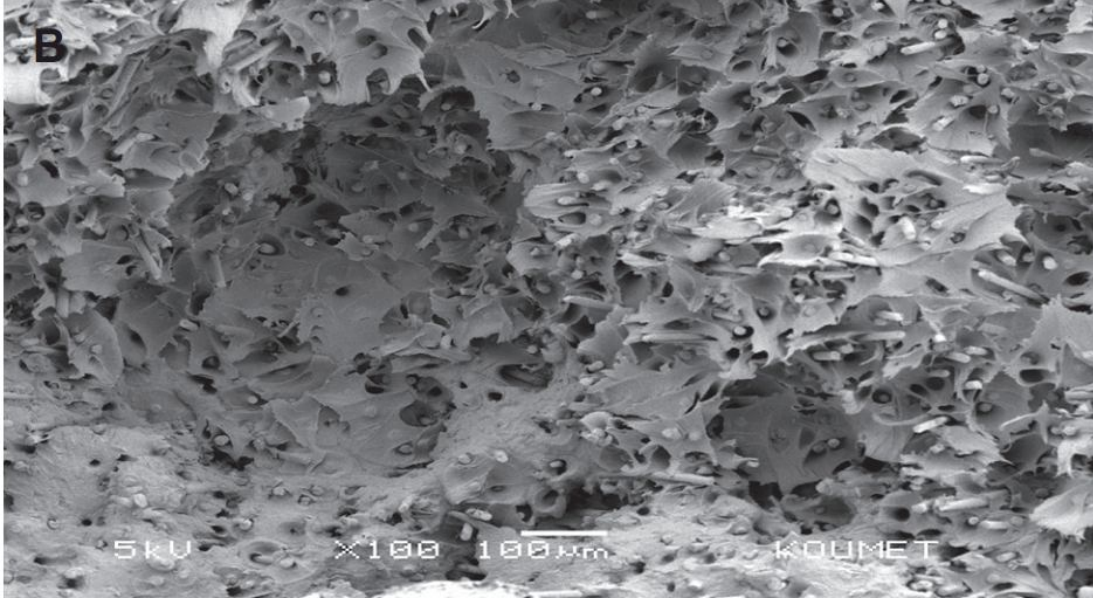
Bu bölümde, farklı hız ve ilerlemelerde yapılan deneylerin sonuçları tartışılacaktır. Öcelikle kompozit malzemeler üzerinde oluşan delaminasyon hasarı tartışılmıştır. Ardından işleme esnasında karşılaşılan kuvvetlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Nihayi olarak ise elde edilen tüm sonuçlar arasındaki ilişkiler kurulup sonuçlar açığa çıkarılmıştır.

5.1. Kompozit Malzemelerin Analizleri

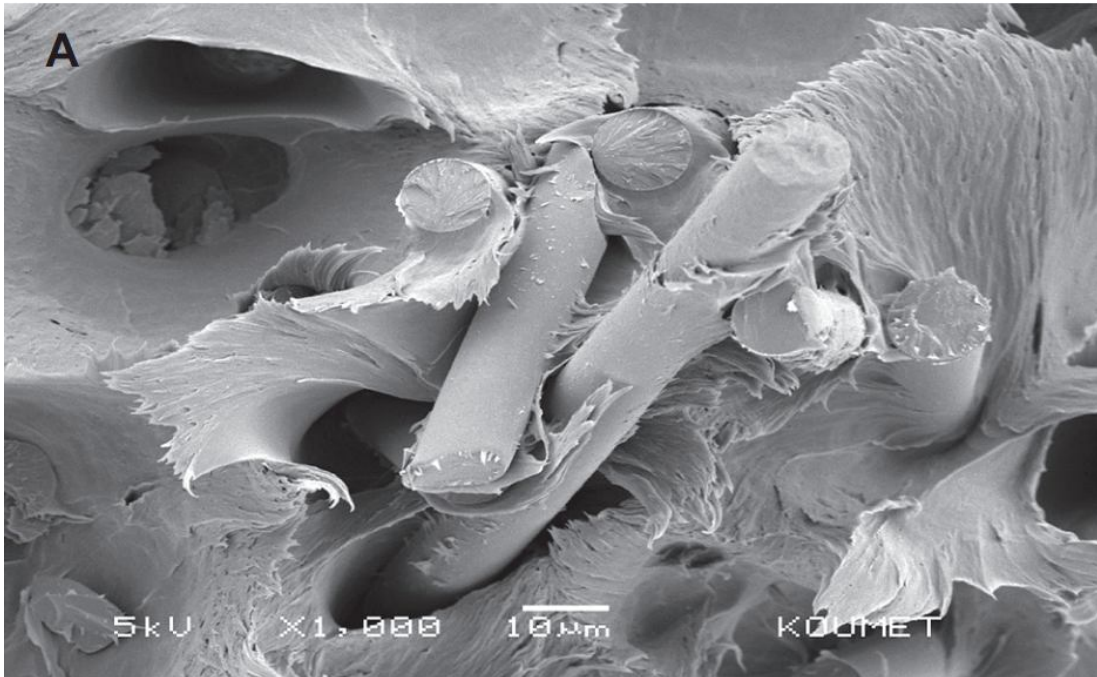
Şekil 5.1’de PA6 polimerinin 100x çözünürlükteki SEM görüntüsü verilmiştir. Şekil 5.2-3’de ise %30 cam fiber takviyeli PA6 polimerinin yüzeyinin kırılma düzlemini göstermektedir. Şekil 5.3 incelendiğinde cam fiberlerin matriks malzemesi arasındaki islanmanın başarılı olduğu görülür.



Şekil 5.1. PA6 polimerinin SEM görüntüsü (100 X) (Unal & Mimaroglu, 2014)

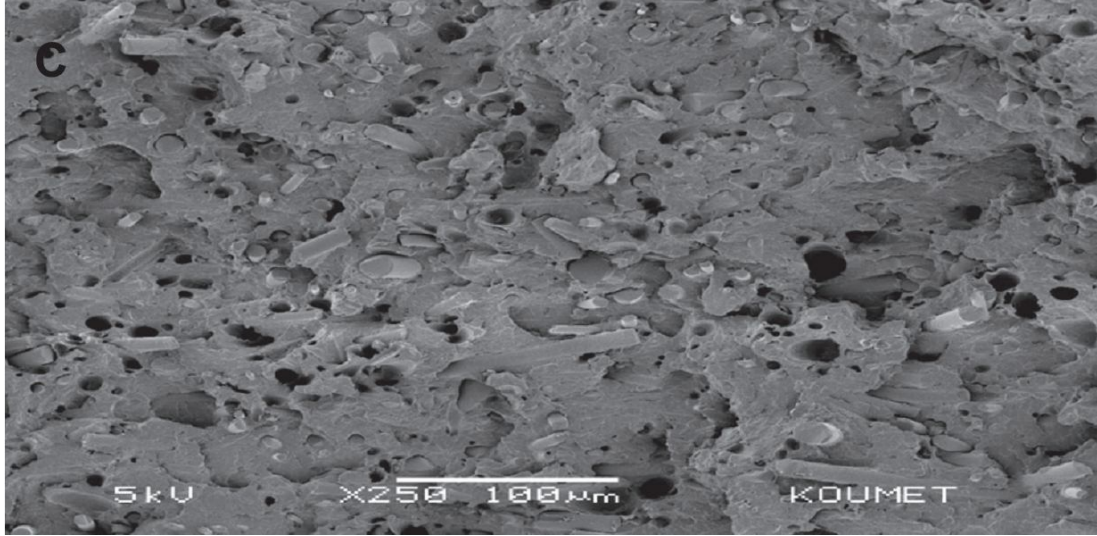


Şekil 5.2. %30 cam fiber takviyeli PA6 polimerinin kırılma yüzeyi SEM görüntüsü (100 X) (Unal & Mimaroglu, 2014)

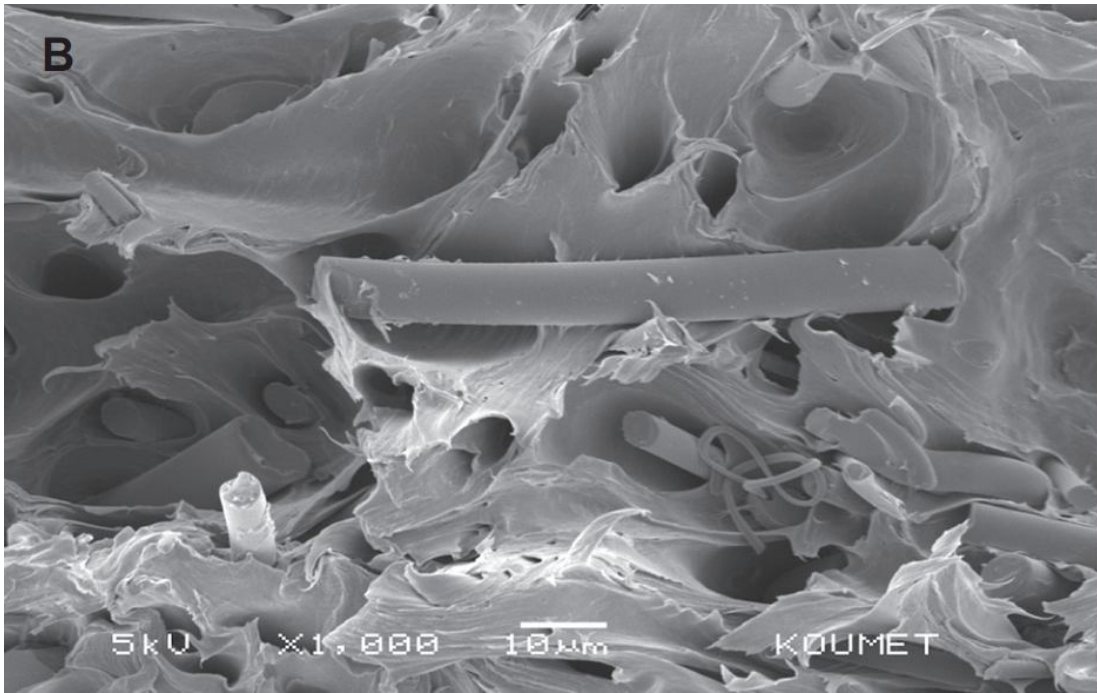


Şekil 5.3. %30 cam fiber takviyeli PA6 polimerinin SEM görüntüsü (1000 X) (Unal & Mimaroglu, 2014)

%30 doğal rockforce mineral takviyeli PA6 matriks malzemesinin SEM görüntüleri Şekil 5.4-5'te gösterilmiştir. Görüntüler incelendiğinde matriks ile fiber malzemesi arasındaki ıslatılabilirlik açısından bakıldığında, cam fiberlere göre daha zayıf bir ıslatmanın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. %30 rockforce doğal mineral fiber takviyeli PA6 polimerinin kırılma yüzeyi SEM görüntüsü (100 X) (Unal & Mimaroglu, 2014)

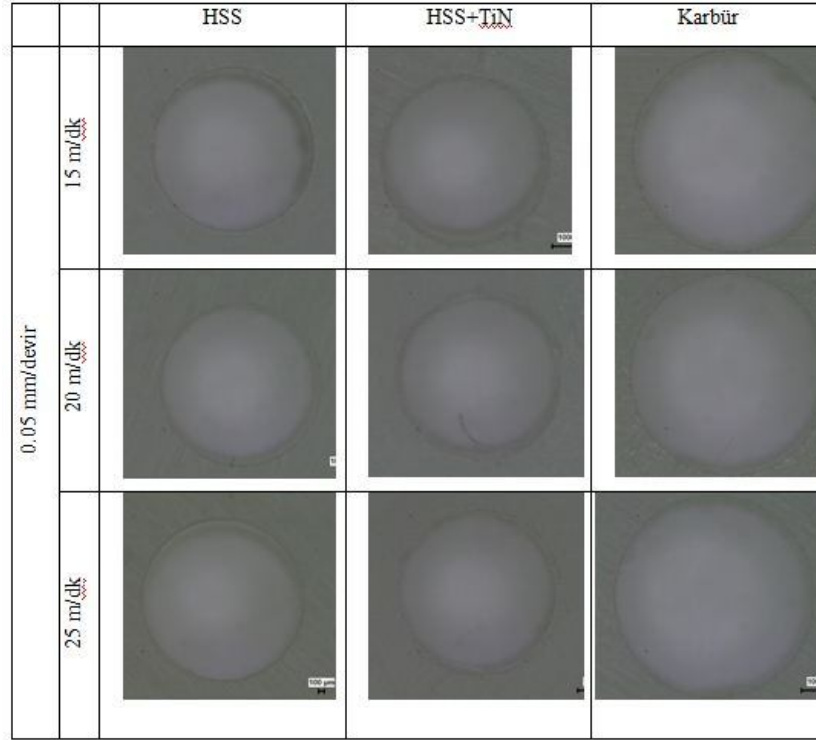


Şekil 5.5. %30 rockforce doğal mineral fiber takviyeli PA6 polimerinin SEM görüntüsü (1000 X) (Unal & Mimaroglu, 2014)

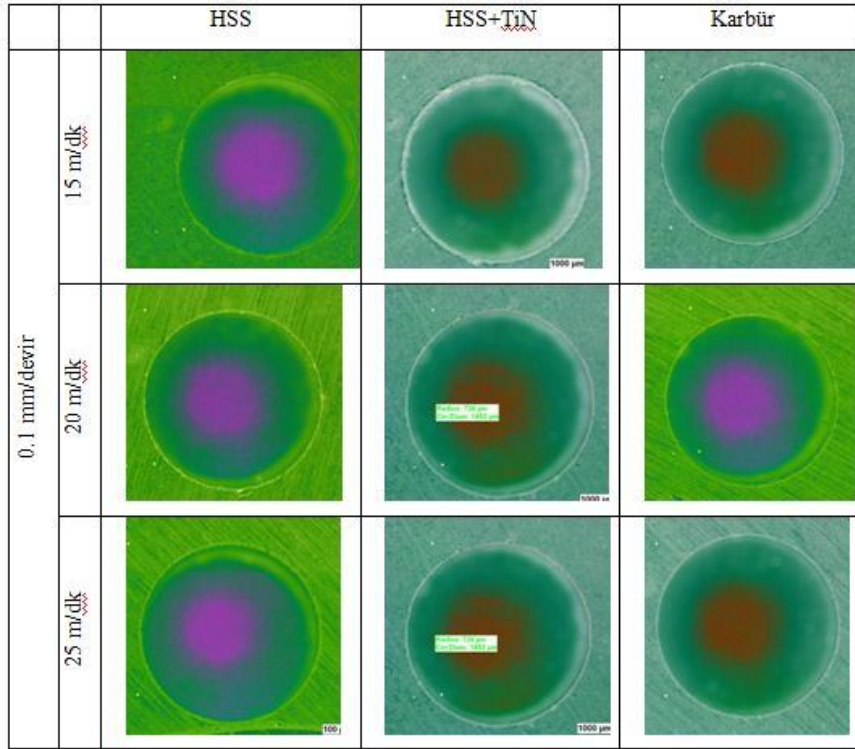
Kırılma yüzeyleri görüntüleri incelendiğinde fiberlerin genelde kırılma düzlemine dik bir şekilde geliş güzel konumlandığı görülmektedir. Fiberlerin bir kısmı kırılma esnasında yerlerinden çıktığı ve fiberlerin genelde çap bölgesinden düzgün bir şekilde kırıldığı saptanmıştır.

5.2. Delaminasyon Analizi

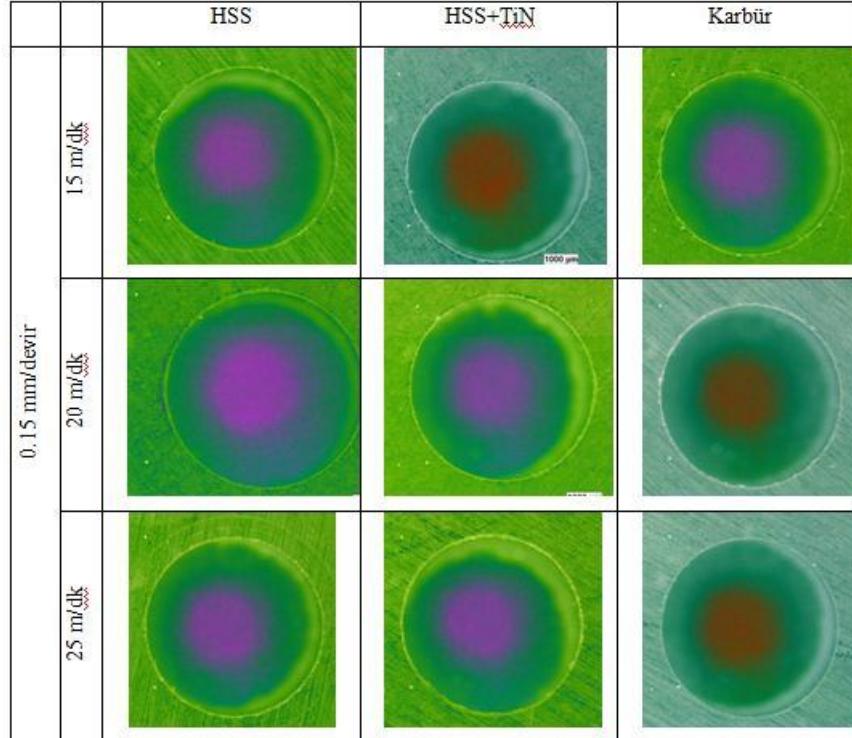
% 30 ve %20 cam fiber takviyeli PA6 malzemenin 4mm çap ile uğradığı delaminasyon farklı ilerleme, kesme hızı ve takım türü açısından Şekil 5.6-5.11’de gösterilmiştir.



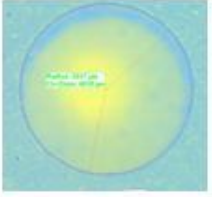
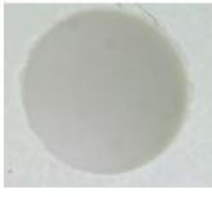
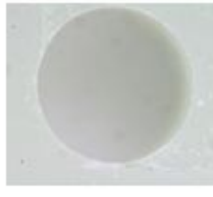
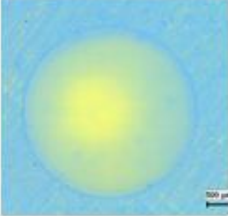

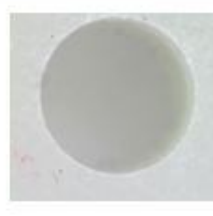
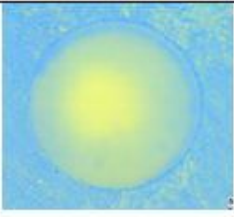

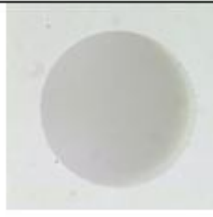
Şekil 5.6. %20 cam takviyeli PA6 nın 0.05 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları



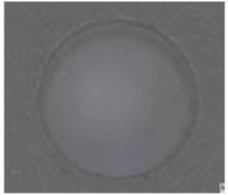
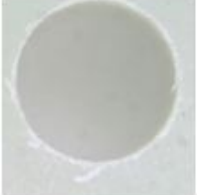

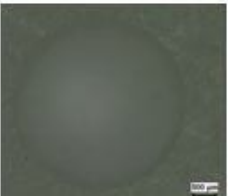



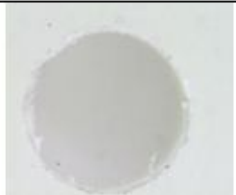
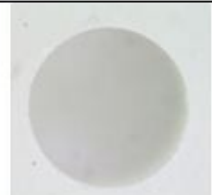
Şekil 5.7. %20 cam takviyeli PA6 nın 0.1 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları



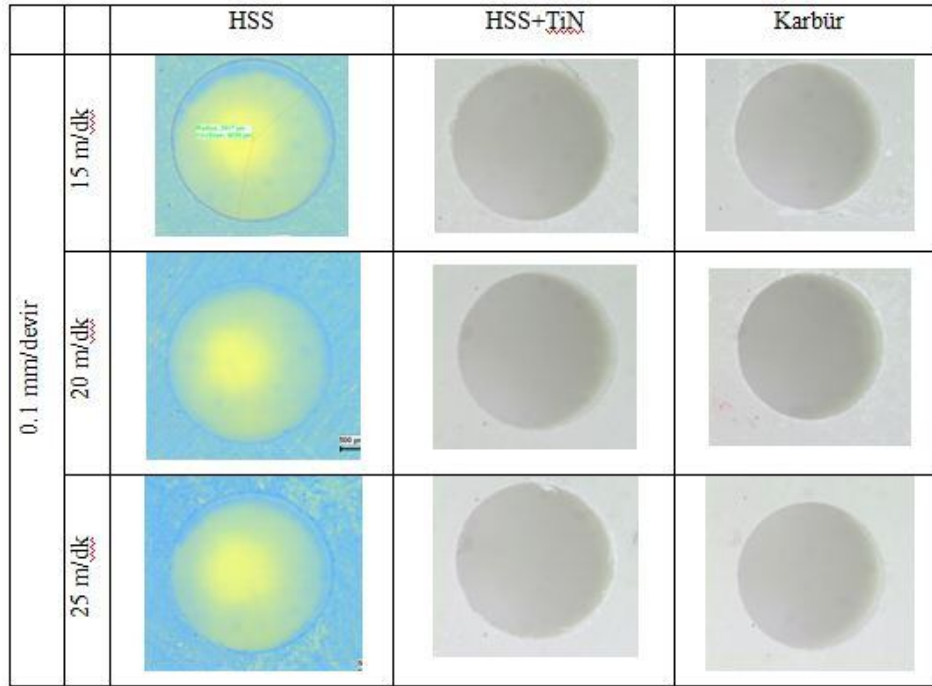
Şekil 5.8. %20 cam takviyeli PA6 nın 0.15 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları

		HSS	HSS+TiN	Karbür
0.1 mm/devir	15 m/dk			
	20 m/dk			
	25 m/dk			

Şekil 5.9. %30 cam takviyeli PA6 nın 0.05 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları

		HSS	HSS+TiN	Karbür
0.05 mm/devir	15 m/dk			
	20 m/dk			
	25 m/dk			

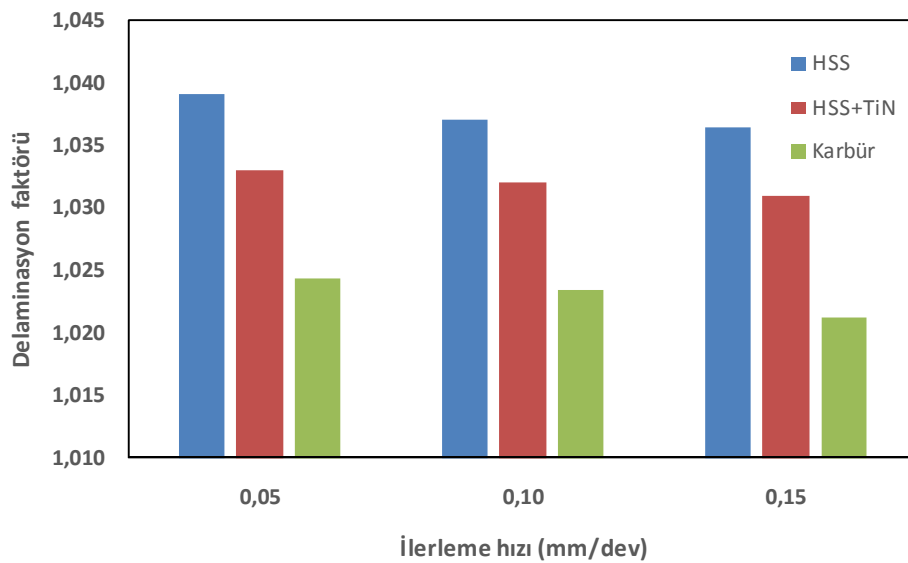
Şekil 5.10. %30 cam takviyeli PA6 nın 0.1 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları



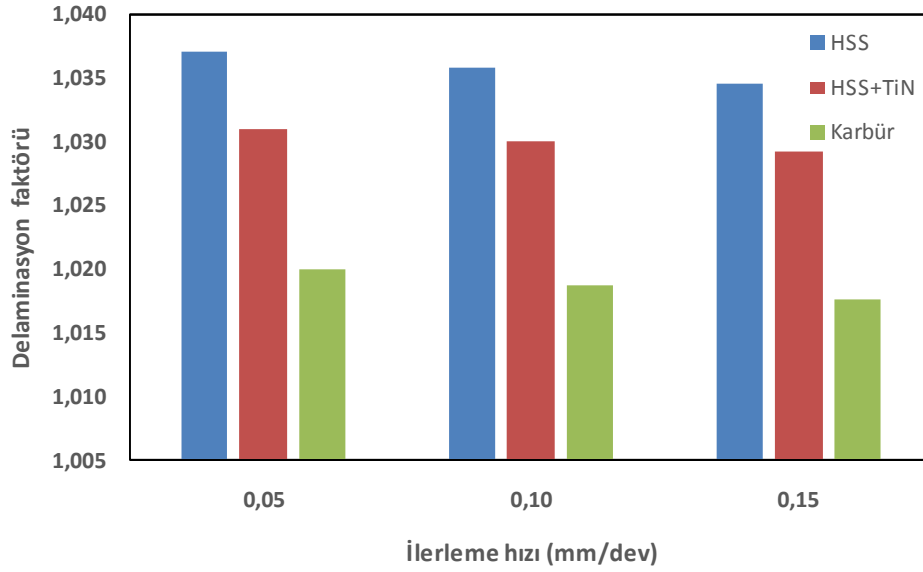
Şekil 5.11. %30 cam takviyeli PA6 nın 0.15 ilerleme hızı ve 4 mm çap matkap ucu ile delaminasyonları

5.2.1. İlerleme hızının delaminasyon faktörüne olan etkisi

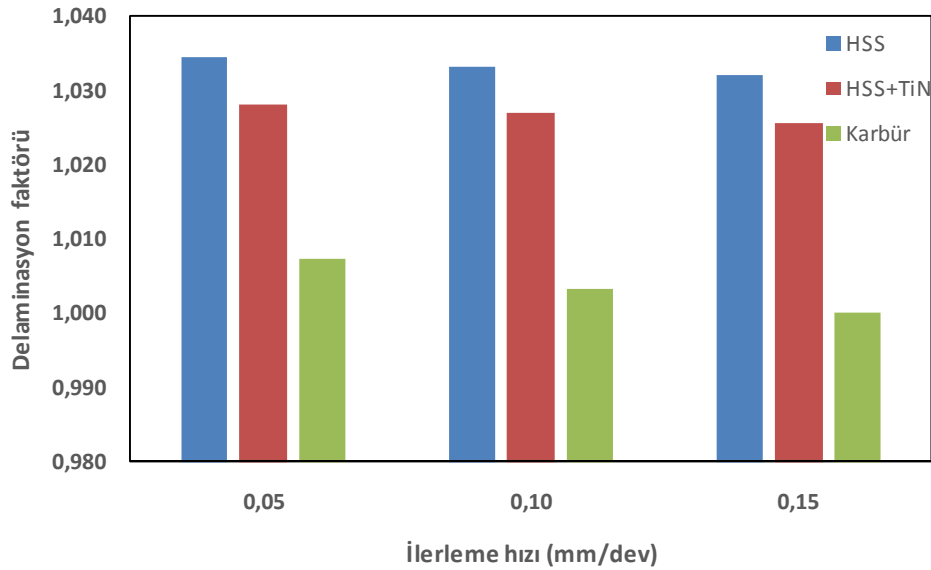
Şekil 5.12-14'de 4 mm çaplı üç farklı kesici takıma ait ilerleme hızının %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin delaminasyon faktörüne etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.12. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.13. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.14. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

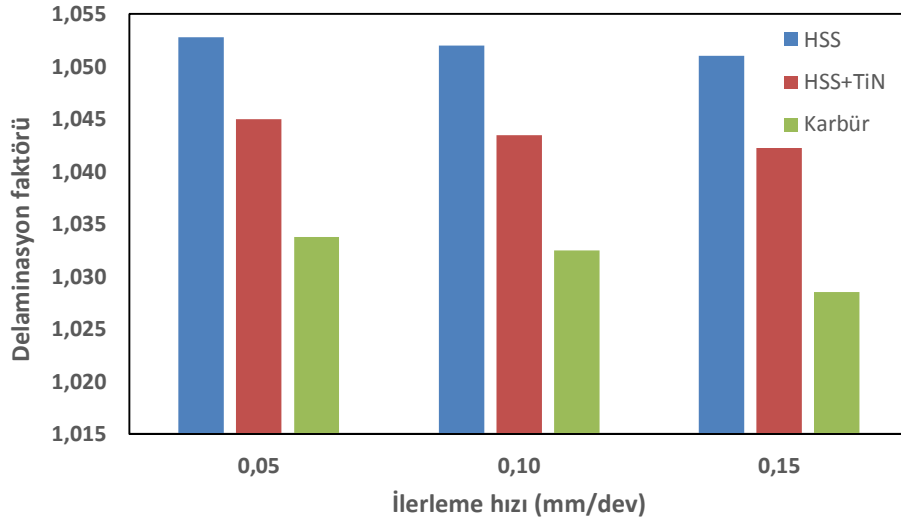
Her üç şekil incelendiğinde, delaminasyon kusurunun her matkap türü için, ilerleme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe azalma olduğu gözlenmiştir. Bu durum Sunny ve ark., 2014 yılında yapmış oldukları çalışmayla benzerlik göstermiştir. Bu çalışmada araştırmacılar cam fiber takviye fazlı epoksi matriksli kompozit malzemenin delme parametrelerinin delaminasyon faktörü üzerindeki etkisini ve bu

parameterlerin optimizasyonunu incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda ilerleme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe azalma meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Aynı zamanda ilerleme hızının delaminasyon faktörü üzerinde kesme hızına göre daha etkili olduğunu göstermişlerdir.

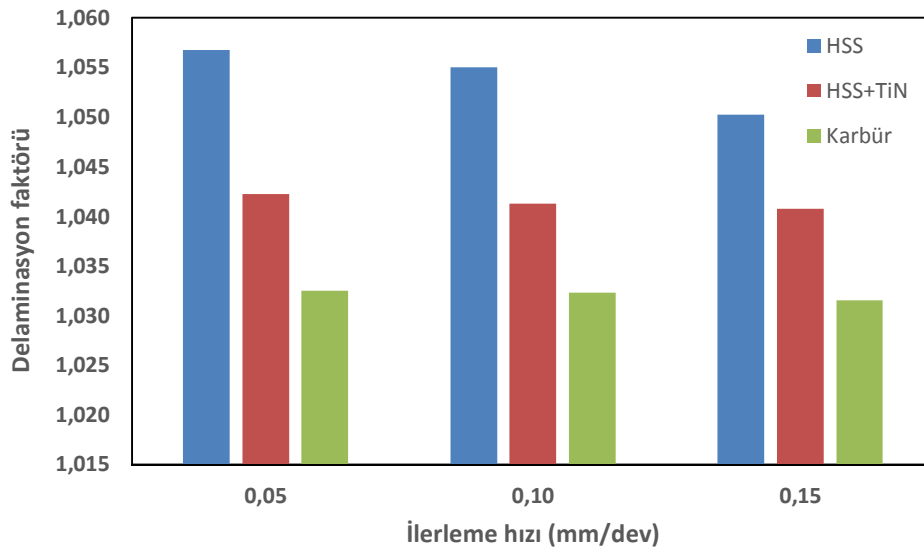
İlerleme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe meydana gelen bu azalmanın nedeni ise, düşük ilerleme hızında kesici takım ile kompozit malzeme arasındaki yüksek sürtünmeden dolayı meydana gelen sıcaklık artışı matriks malzemesinin yumuşamasına neden olduğu düşünülmektedir. Meydana gelen bu yumuşamadan dolayı matriks malzeme kesici takım ve kendi yüzeyine sıvanır. Bu durum delaminasyon faktörünün düşük ilerleme hızlarında artışa neden olduğu varsayılmaktadır (Sunny, 2014). Bu durum Faramarz ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmanın sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir (Ghasemi, el at. 2011).

Şekil 5.13 incelendiğinde ilerleme hızı 0.05 mm/dev'den 0.15'e kadar artırılmıştır. HSS matkap ucu için delaminasyon faktörü 1.037 değerinden 1.030 değerinde düşmüş olduğu gözlenmiştir. Bu düşüş delaminasyon faktörü için % 0.38 olarak tespit edilmiştir. HSS+TiN kaplı matkap ucu için bu düşüş miktarı 0.29 olarak belirlenmiştir. Karbür matkap ucu için ise bu değer 0.19 olarak hesaplanmıştır. Bu üç matkap ucu birbiri ile kıyaslandığında en iyi sonucun Karbür matkap ucunda olduğu gözlenirken, en kötü değer ise HSS matkap ucunda olduğu gözlenmiştir.

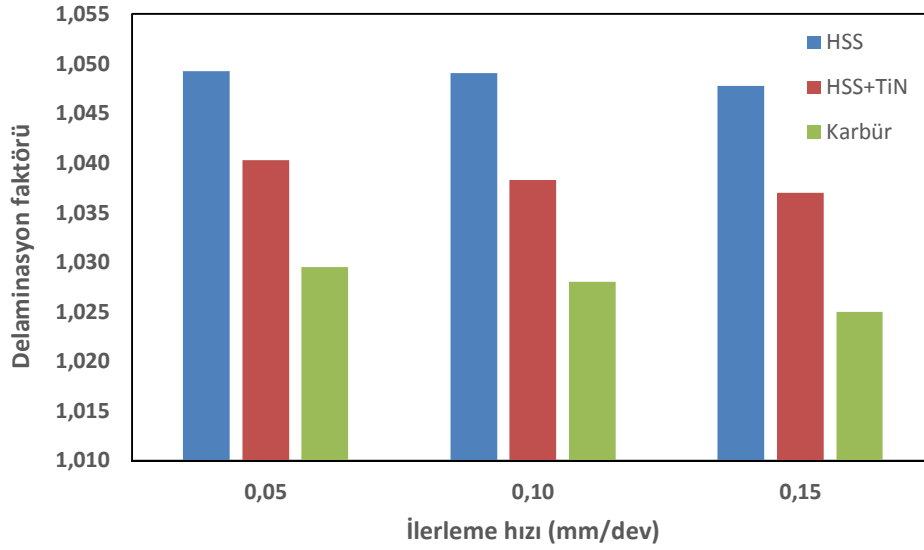
Şekil 5.15-17'de 4 mm çaplı üç farklı kesici takıma ait ilerleme hızının %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin delaminasyon faktörüne etkisi incelenmiştir. Her üç şekil incelendiğinde, delaminasyon faktörünün üç farklı kesici takım için, ilerleme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe azalma olduğu gözlenmiştir. Bu durum cam fiber takviye fazlı kompozit malzemelerin delaminasyon davranışlarıyla benzerlik göstermiştir.



Şekil 5.15. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.16. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

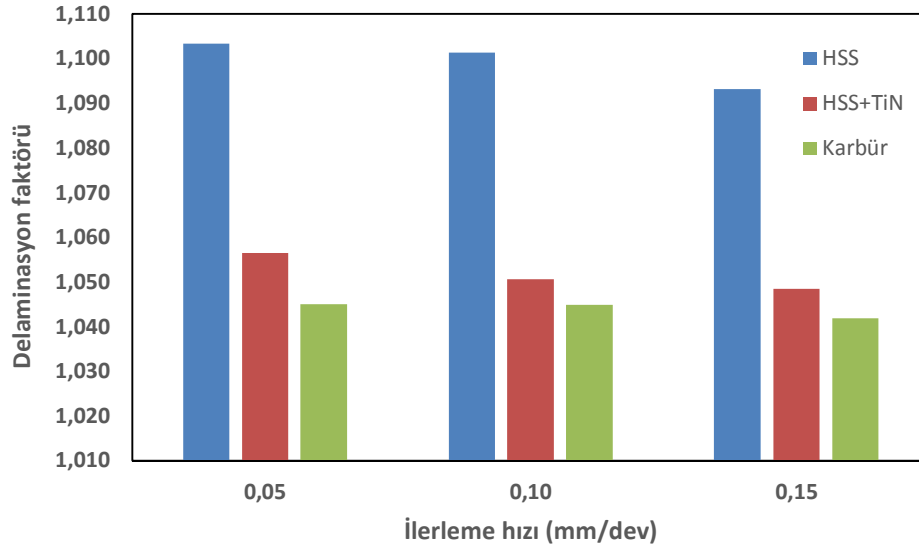


Şekil 5.17. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

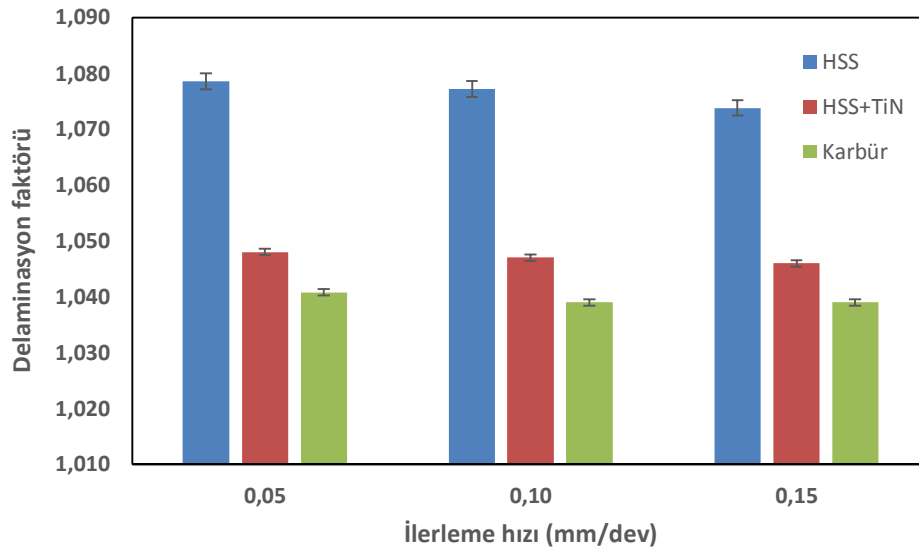
Şekil 5.16 incelendiğinde ilerleme hızı 0.05 mm/dev'den 0.15'e kadar artırılmıştır. HSS matkap ucu için delaminasyon faktörü 1.057 değerinden 1.050 değerinde düşmüş olduğu gözlenmiştir. Bu düşüş delaminasyon faktörü için % 0.66 olarak tespit edilmiştir. HSS+TiN kaplı matkap ucu için bu düşüş miktarı 0.19 olarak belirlenmiştir. Karbür matkap ucu için ise bu değer 0.09 olarak hesaplanmıştır. Bu üç matkap ucu birbiri ile kıyaslandığında en iyi sonucun Karbür matkap ucunda olduğu gözlenirken, en kötü değer ise HSS matkap ucunda olduğu gözlenmiştir.

Şekil 5.13 ve Şekil 5.16'daki cam fiber takviye fazlı kompozit malzemelere ait delaminasyon faktörlerindeki değerleri ile rockforce fiber takviye fazlı kompozit malzemelere ait değerler birbirlere ile kıyaslandığında, rockforce takviye fazlı kompozit malzemelerde HSS matkap ucu için % 1.5'lik artış, HSS+TiN matkap ucu için % 1.15'lik artış ve Karbür matkap ucu için ise % 1.35'lik artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

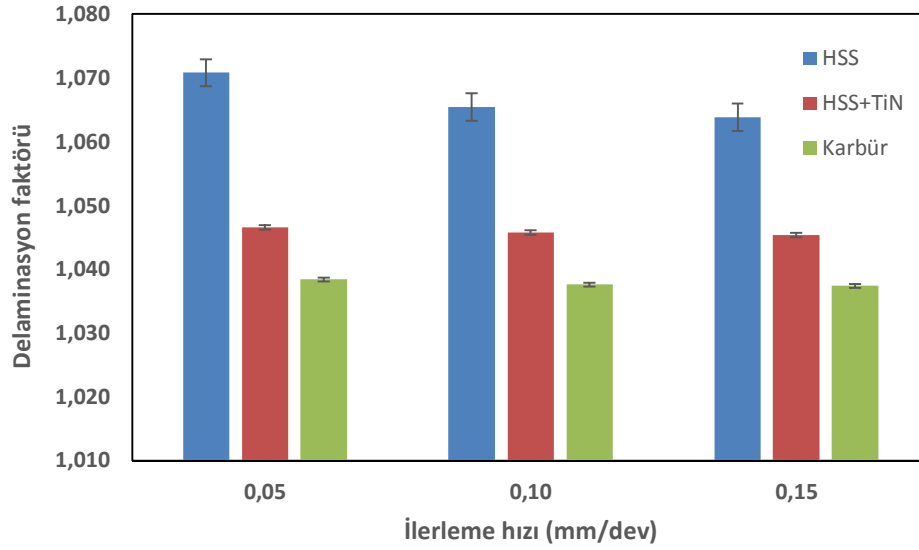
Şekil 5.18-20'de 4 mm çaplı üç farklı kesici takıma ait ilerleme hızının %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin delaminasyon faktörüne etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.18. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.19. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



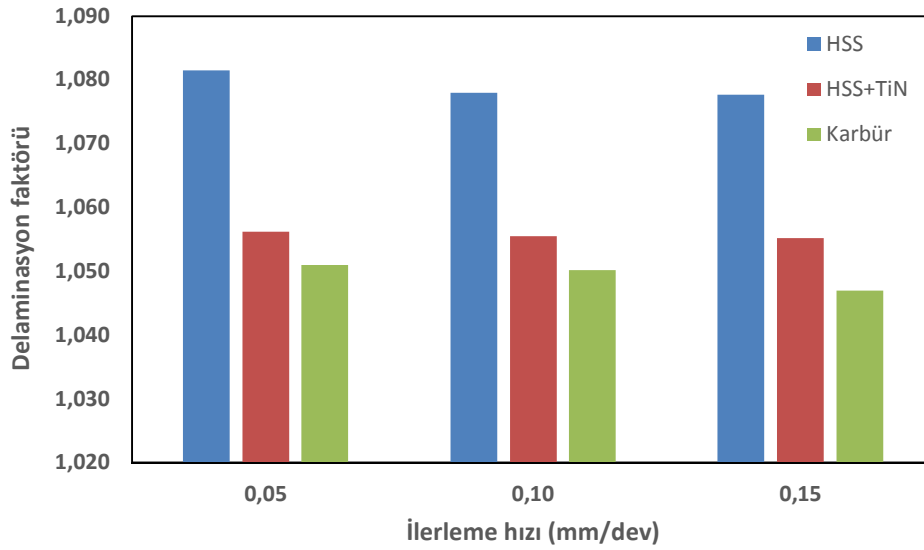
Şekil 5.20. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

Her üç şekil incelendiğinde, delaminasyon kusurunun her matkap türü için, ilerleme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe azalma olduğu gözlenmiştir. Bu durum Ghasemi ve ark.,(Ghasemi, el at. 2011) 2011 yılında yapmış oldukları deneysel çalışmayla paralellik göstermiştir. Bu çalışmada araştırmacılar E-cam fiber takviye fazlı ML-506 epoksi matriksli kompozit malzemenin ilerleme hızı, devir sayısı ve matkap uç açısı gibi proses parametrelerinin delaminasyon faktörü üzerindeki etkisini ve bu parameterlerin Yüzey Cevap Metodunu kullanarak optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda ilerme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda minimum delaminasyon faktörünün 2000 dev/dak, 90° uç açısı ve 25 mm/dak ilerleme hızında elde ettiklerini bildirmişlerdir.

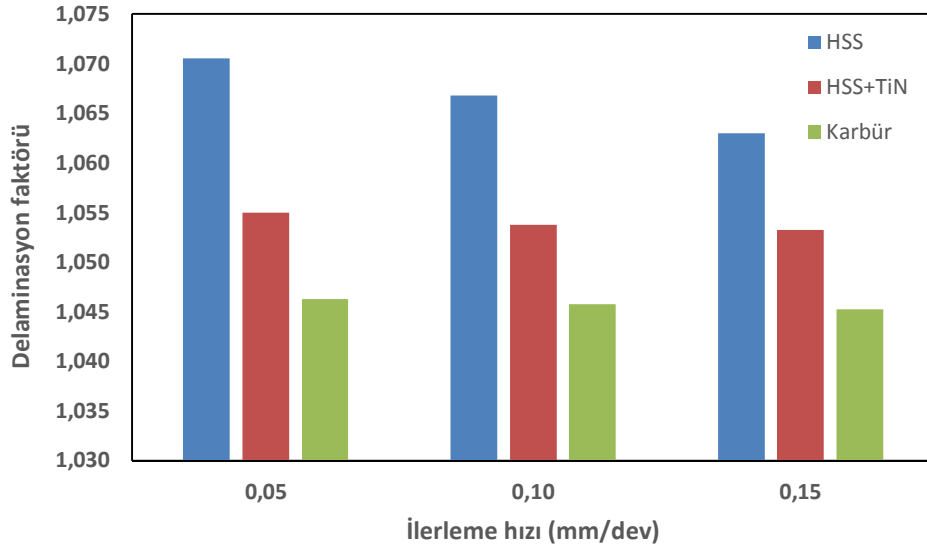
İlerleme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe meydana gelen bu azalmanın nedeni ise, düşük ilerleme hızında kesici takım ile kompozit malzeme arasındaki yüksek sürtünmeden dolayı meydana gelen sıcaklık artışı matriks malzemesinin yumuşamasına neden olduğu düşünülmektedir. Meydana gelen bu yumuşamadan dolayı matriks malzeme kesici takım ve kendi yüzeyine sıvanır. Bu durum delaminasyon faktörünün düşük ilerleme hızlarında artışa neden olduğu varsayılmaktadır (Sunny, 2014).

Şekil 5.19 incelendiğinde ilerleme hızı 0.05 mm/dev'den 0.15'e kadar artırılmıştır. HSS matkap ucu için delaminasyon faktörü 1.079 değerinden 1.072 değerinde düşmüş olduğu gözlenmiştir. Bu düşüş delaminasyon faktörü için % 0.64 olarak tespit edilmiştir. HSS+TiN kaplı matkap ucu için bu düşüş miktarı 0.57 olarak belirlenmiştir. Karbür matkap ucu için ise bu değer 0.19 olarak hesaplanmıştır. Bu üç matkap ucu birbiri ile kıyaslandığında en iyi sonucun Karbür matkap ucunda olduğu gözlenirken, en kötü değer ise HSS matkap ucunda olduğu gözlenmiştir.

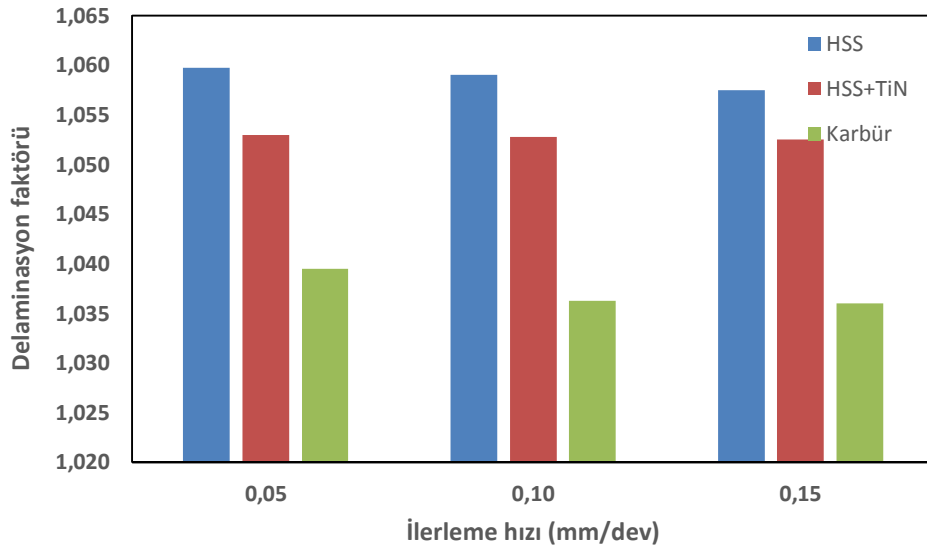
Şekil 5.21-23'de 4 mm çaplı üç farklı kesici takıma ait ilerleme hızının %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin delaminasyon faktörüne etkisi incelenmiştir. Her üç şekil incelendiğinde, delaminasyon faktörünün üç farklı kesici takım için, ilerleme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe azalma olduğu gözlenmiştir. Bu durum cam fiber takviye fazlı kompozit malzemelerin delaminasyon davranışlarıyla benzerlik göstermiştir.



Şekil 5.21. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



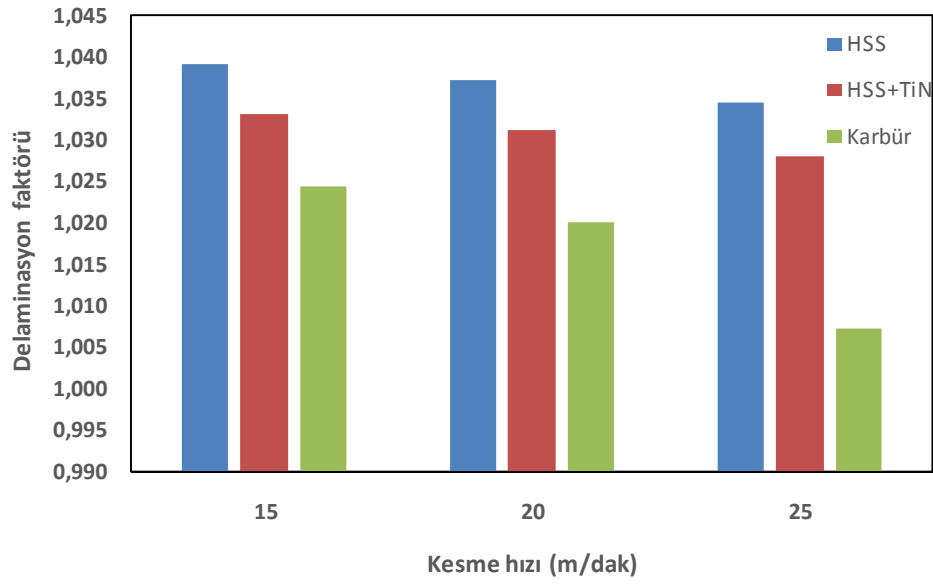
Şekil 5.22. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



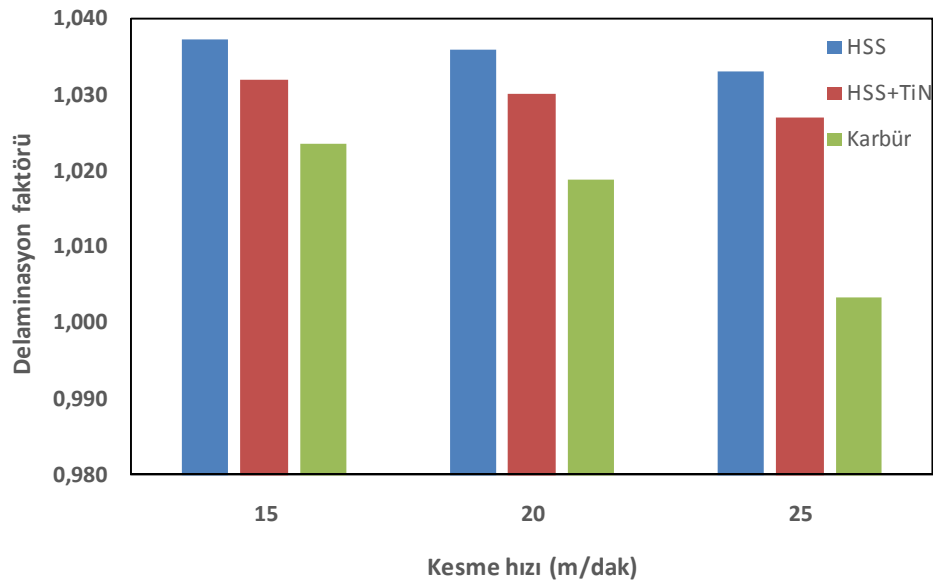
Şekil 5.23. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

5.2.2. Kesme hızının delaminasyon faktörüne olan etkisi

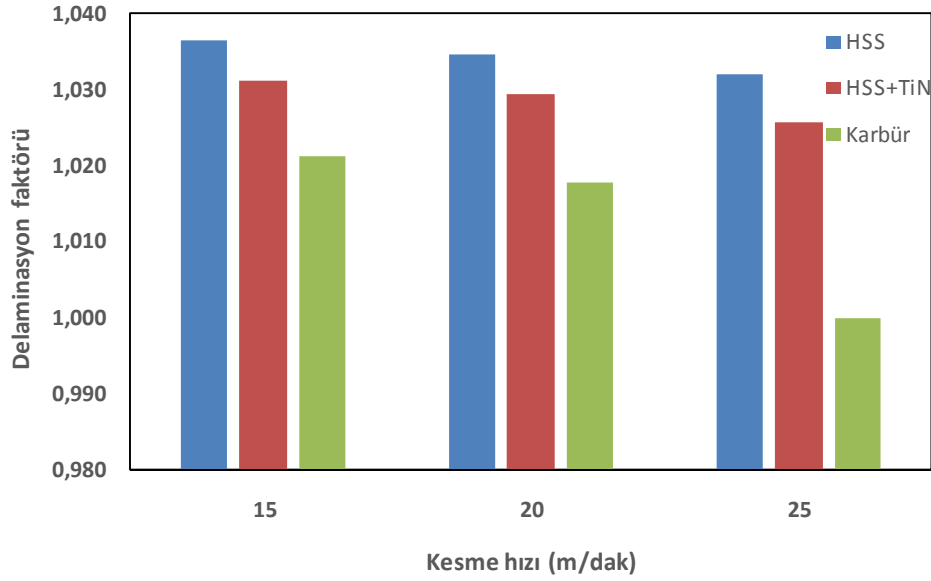
Şekil 5.24-26'da 4 mm çaplı üç farklı kesici takıma ait kesme hızının %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin delaminasyon faktörüne etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.24. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.05 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.25. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.10 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.26. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

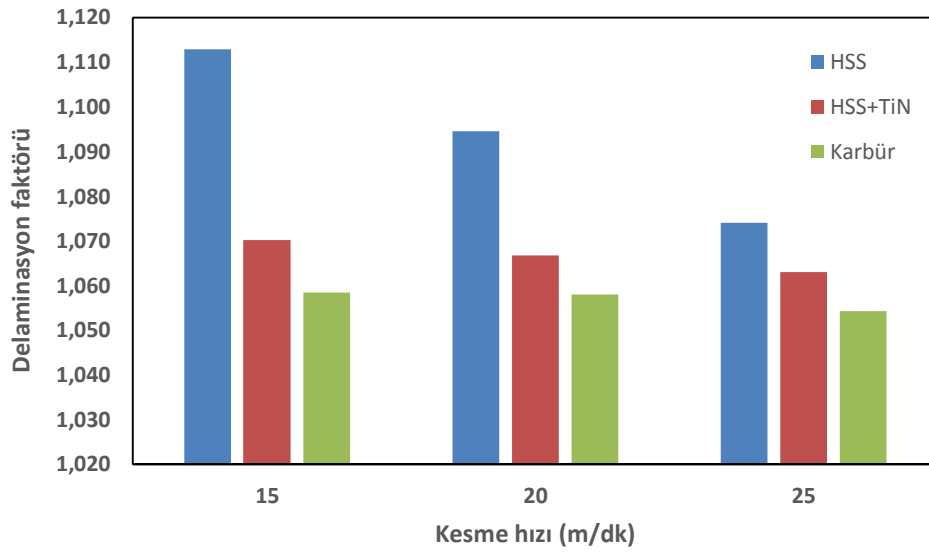
Şekil 5.26 incelendiğinde her üç matkap türü için kesme hızı artışıyla delaminasyon faktöründe azalma meydana geldiği gözlenmiştir. En yüksek delaminasyon faktörü 15 m/dak kesme hızında elde edilirken, en düşük delaminasyon faktörü ise 25 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Bu durum Bosco ve arkadaşlarının 2013 yılında yapmış oldukları çalışma ile benzer sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Araştırmacılar üç farklı ilerleme ve üç kesme hızının yanı sıra üç farklı matkap ucu kullanarak cam fiber takviyeli kompozit malzemelerinin delaminasyon faktörü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapılan bu çalışma da araştırmacılar kesme hızı artışıyla delaminasyon faktörünün azaldığını rapor etmişlerdir (Bosco, 2013).

Yapılan diğer bir çalışmada Rubio ve arkadaşları farklı uç açlarına sahip üç farklı matkap ucuyla cam fiber takviye fazlı epoksi matriksli kompozit malzemeni işlenebilirlik davranışlarını 11 kW gücünde bir işleme merkezi kullanarak incelemiştir. Her üç matkap türünde de delaminasyon faktöründe kesme hızının etkili bir faktör olduğu dile getirilmiştir (Rubio et al., 2008).

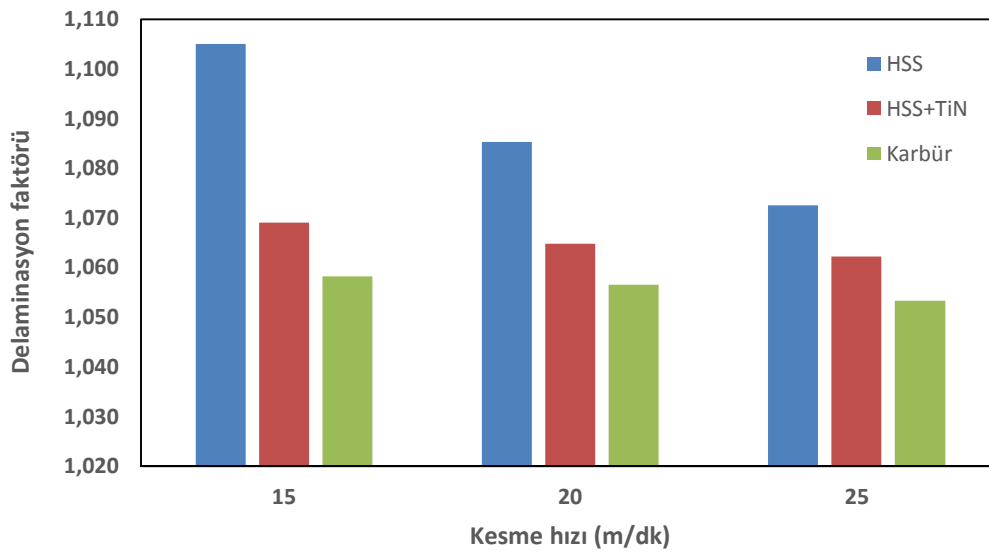
Şekil 5.26'da en yüksek kesme hızı (25 m/dak)'na göre kesici takım malzemeleri birbirleri ile kıyaslandığında, en yüksek delaminasyon faktörünü HSS matkap ucuyla elde edilirken, en düşük delaminasyon faktörü ise Karbür matkap ucunda elde

edilmiştir. Bu durum abrasif özelliğe sahip olan cam fiber takviye fazına karşı direnci Karbür matkap ucunun en yüksek sertliğe sahip olması ile izah edilebilir (Hocheng & Tsao, 2006).

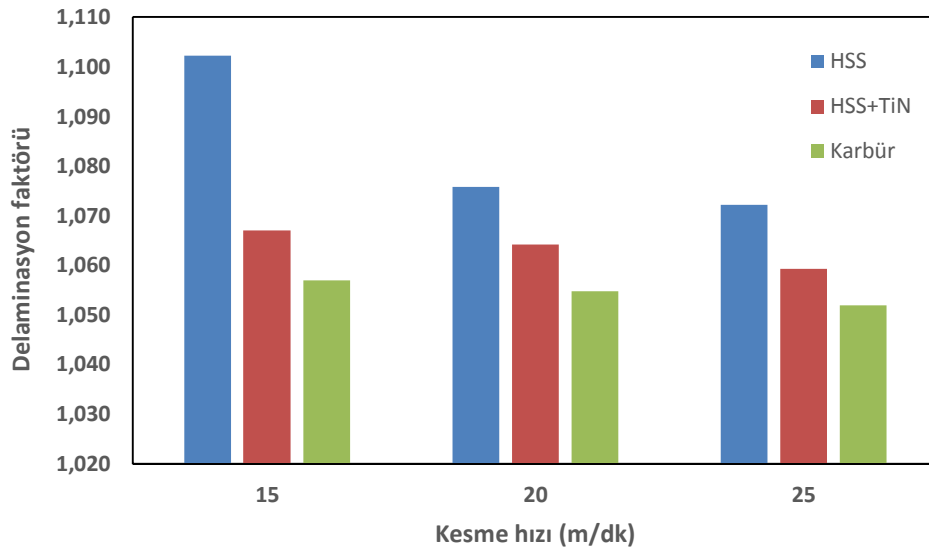
Şekil 5.27-29'da 4 mm çaplı üç farklı kesici takıma ait kesme hızının %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin delaminasyon faktörüne etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.27. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.28. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.10 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.29. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.15 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

Şekil 5.28 incelendiğinde her üç matkap türü için kesme hızı artışıyla delaminasyon faktöründe azalma meydana geldiği gözlenmiştir. En yüksek delaminasyon faktörü 15 m/dak kesme hızında elde edilirken, en düşük delaminasyon faktörü ise 25 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

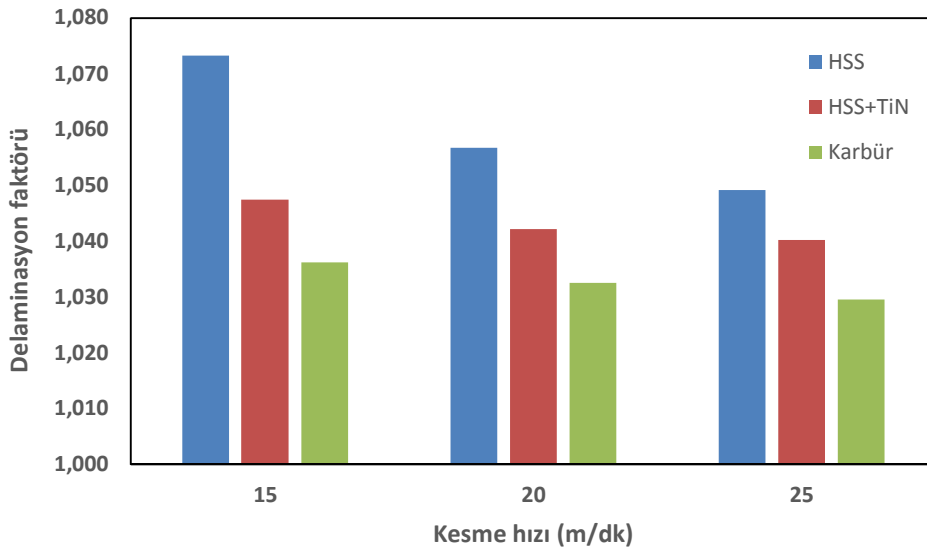
%20 ve %30 cam fiber takviyeli PA6 matrisli kompozit malzemeler birbirleri ile kıyaslandığında, %30 cam fiber takviye fazlı kompozit malzemede delaminasyon faktörü daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Kesme parametreleri açısından ise, kesme hızı arttıkça delaminasyon faktöründe bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalma, HSS matkap türünün delaminasyon faktörüne ait değerler referans alındığında, Titanyum nitrür kaplamalı HSS matkap ucunda %2.8, karbür takımında ise %3.67'lik bir azalma olmuştur.

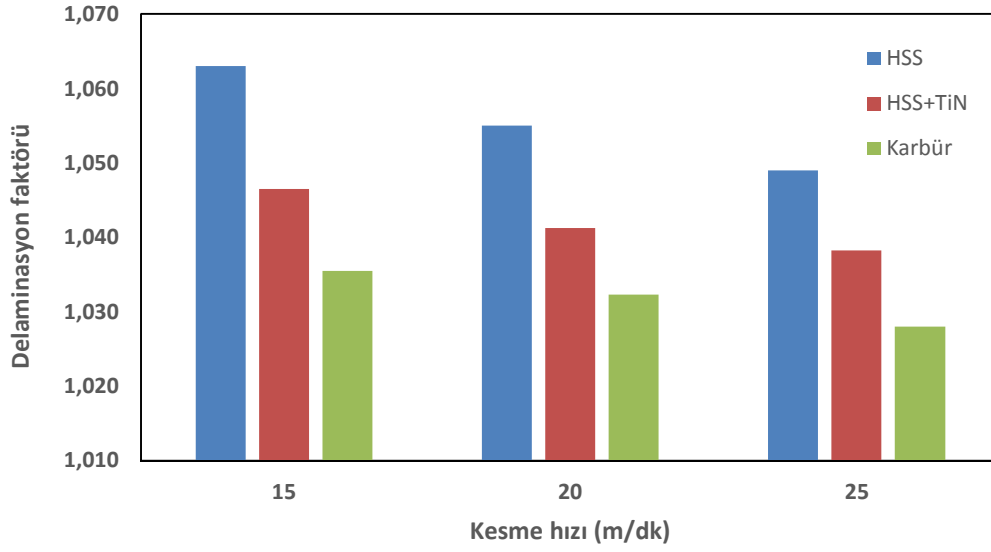
Elde edilen bu sonuçlar, literatürde Kılıçkap ve Davim ile Reis'in yapmış oldukları çalışmalarda bulgularla benzer olduğu gözlenmiştir. Kılıçkap'ın (Kilickap, 2010) yaptığı çalışmada, cam takviyeli epoksi matrisli malzemesini 118° uc açısına sahip N tipi matkap ile delaminasyon hasarını incelemiştir. Yapılan çalışmada 5, 10, 15 ve 20 m/dk kesme hızı ve 0.1, 0.2 ve 0.3 ilerleme hızları kullanılmıştır. Çalışmada ilerleme

hızı ve kesme hızı arttıkça delaminasyon faktörünün arttığı saptanmıştır. Davim ve Reis'in (Davim & Reis, 2003) yaptığı çalışmada karbon fiber takviyeli epoksi matriksli kompozit malzemenin 0.05, 0.1 ve 0.15 mm/devir ilerleme hızlarında ve 30, 40 ve 50 m/dk kesme hızlarında 5 mm çapındaki farklı matkap tipleri kullanılarak oluşan delaminasyon gözlemlenmiştir. Çalışmada, ilerleme hızının delaminasyon üzerindeki etkinin en büyük ve ardından kesme hızının ikinci etkili faktör olduğu rapor edilmiştir.

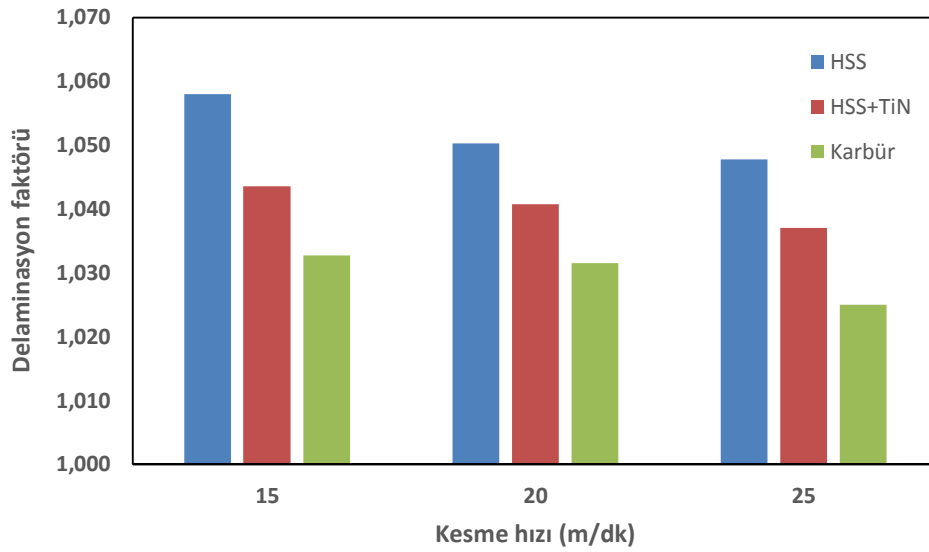
%20 rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemenin kesme hızının delaminasyon faktörü üzerine olan etkisi Şekil 5.30-32'de gösterilmiştir. Her üç grafik incelendiğinde, cam fiber takviye fazlı kompozit malzemelerde olduğu gibi kesme hızı artışıyla delaminasyon faktöründe azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.31 incelendiğinde en yüksek delaminasyon faktörü 15 m/dak kesme hızında elde edilirken, en düşük delaminasyon faktörü ise 25 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. %20 cam fiber takviye fazlı kompozit malzeme ile %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemeyi birbiri ile kıyasladığımızda delaminasyon faktörünün rockforce fiberli kompozit malzemelerde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.25, Şekil 5.30).



Şekil 5.30. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

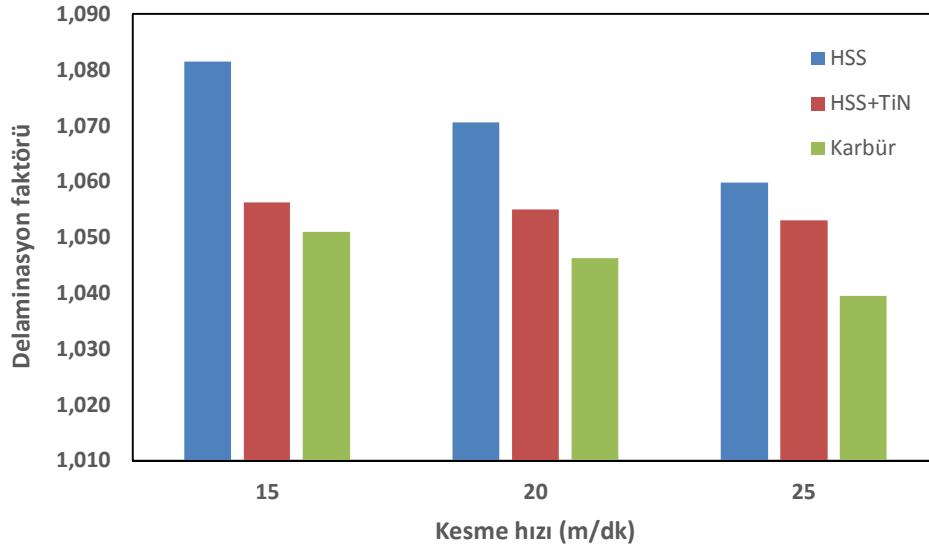


Şekil 5.31. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.10 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

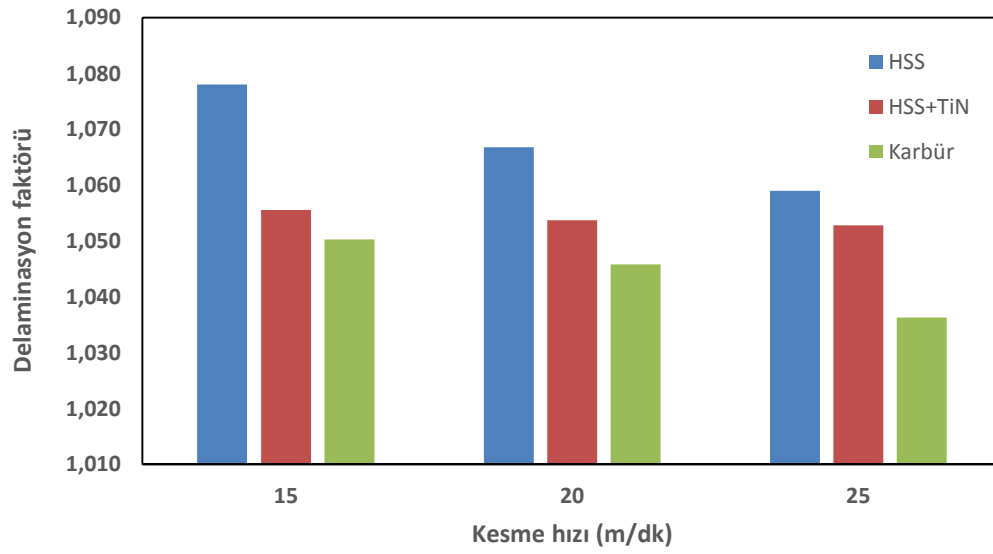


Şekil 5.32. %20 rockforcedoğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

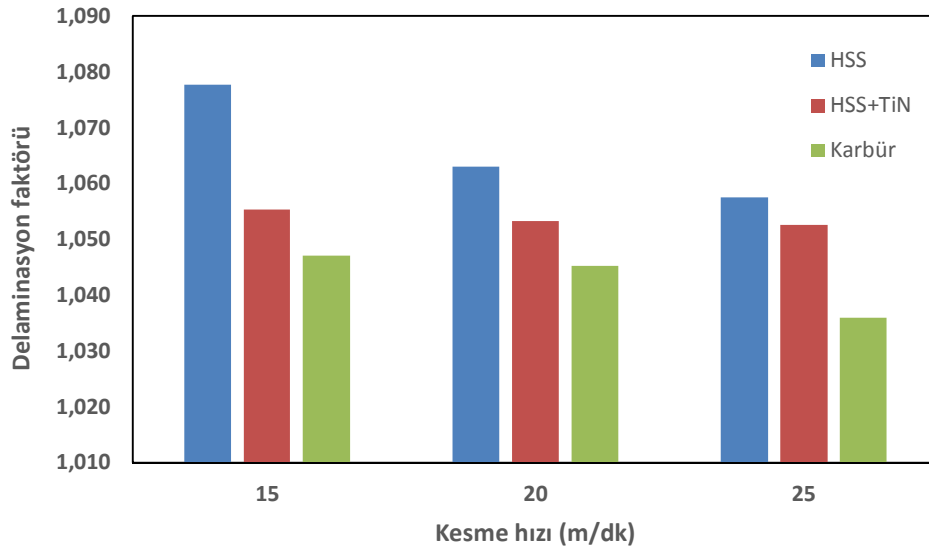
%30 rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemelere ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne olan etkisi Şekil 5.33-35'de gösterilmiştir. Her üç grafik incelendiğinde diğer takviye fazlı kompozit malzemelere ait delaminasyon davranışlarına benzerlik göstermiştir. Kesme hızının artışıyla delaminasyon faktöründe azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.33. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.05 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.34. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.10 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi



Şekil 5.35. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 m/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının delaminasyon faktörüne etkisi

%20 rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemeler ile karşılaştırıldığında ise, bu malzeme grubuna ait delaminasyon faktörü değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

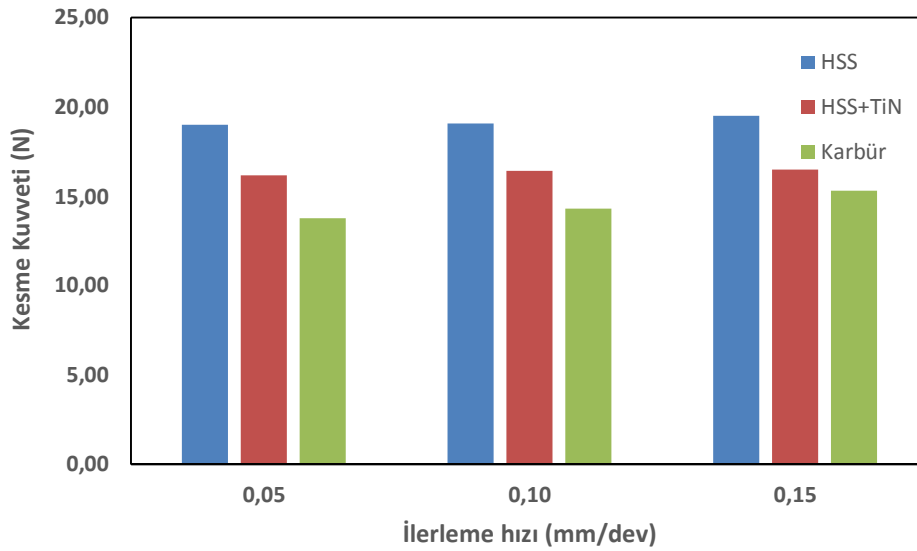
5.3. Kesme Kuvvetlerinin Analizi

Delme işleminde, delinen deliğin yüzey kalitesi, oluşan delaminasyon ve harcanan güç, oluşan aşınma gibi birçok parametreler kesme kuvvetleri ile bağıntılıdır. Bu nedenle, delme işleminde oluşan kuvvetler bir bakıma işlenebilirliğin bir göstergesidir.

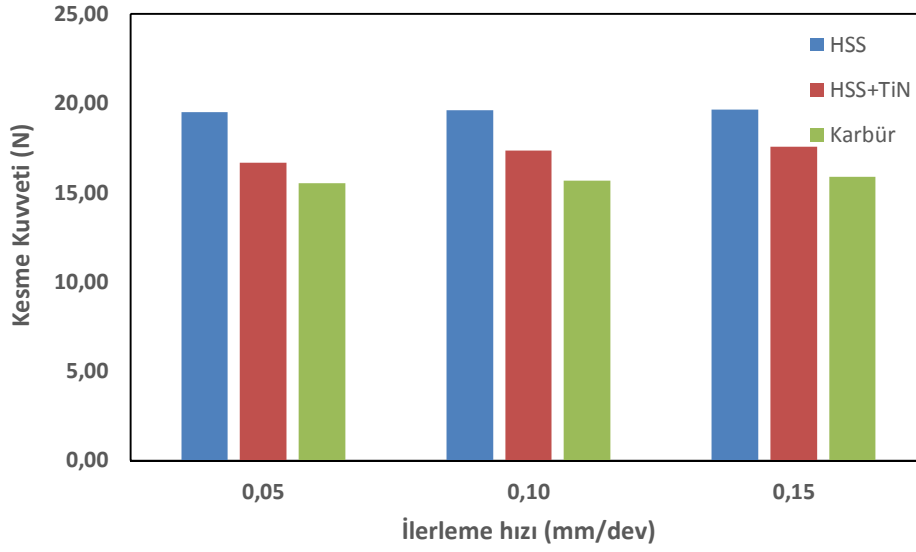
%20 ve %30 cam fiber ve rockforce doğal fiber takviye fazlarına sahip PA-6 matriksli kompozit malzemelerinin farklı proses parametreleri ile işlenmesi sonucunda oluşan kesme kuvvetleri değerlendirilmiştir.

5.3.1. İlerleme hızının kesme kuvvetine etkisi

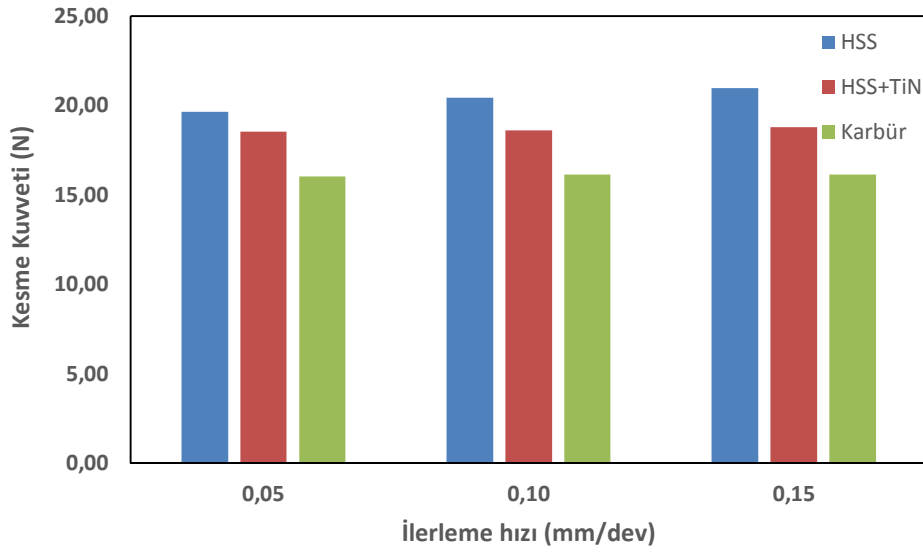
Şekil 5.36-38’de %20 cam fiber takviye fazına sahip PA6 matriksli kompozit malzemelerinin 15, 20 ve 25 m/dk kesme hızlarındaki ilerleme hızı değişiminin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Her üç şekil incelendiğinde, ilerleme hızı artışıyla kesme kuvvetlerinde artış meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durum literatürdeki diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir. (Lin & Chen, 1996) (LAngella, 2004) (Tsao, 2008). Lin ve Chen 1996 yılında karbon fiber takviye fazlı kompozit malzemelerin yüksek kesme hızında delinebilirliğini incelemiştir (Lin & Chen, 1996). Karbür kesici takım kullanılarak yapılan bu çalışma sonucunda araştırmacılar ilerleme hızı artışıyla kesme kuvvetinde artış meydana geldiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 5.36. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



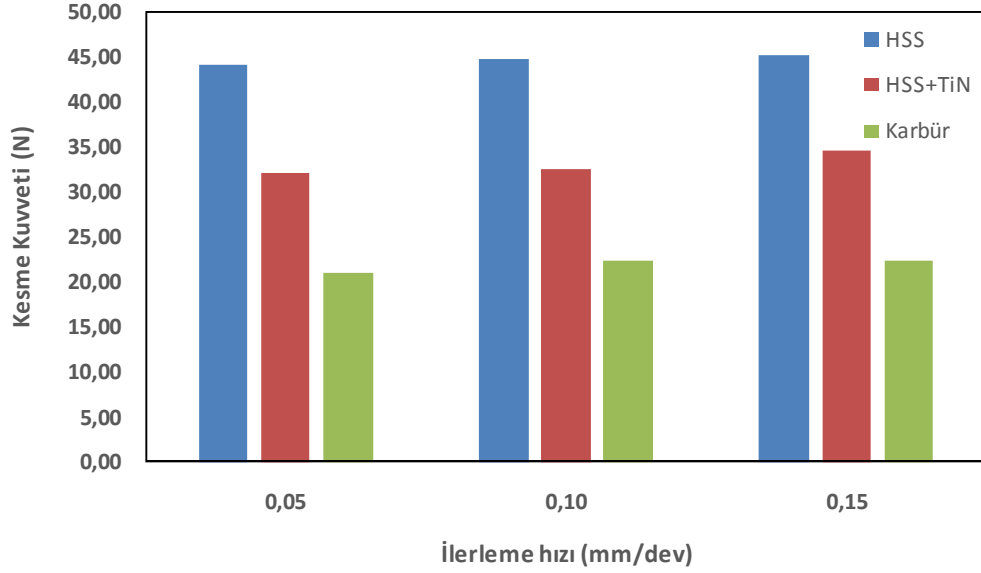
Şekil 5.37. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



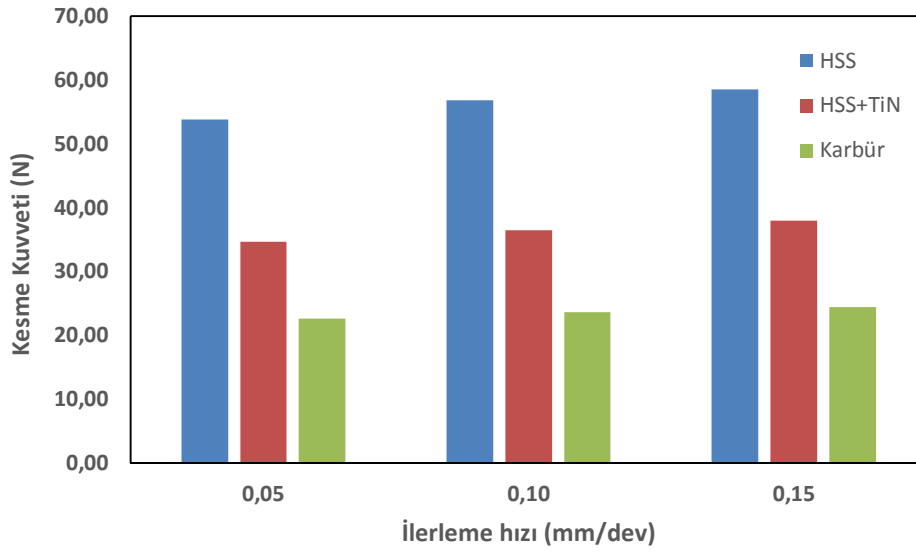
Şekil 5.38. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi

Şekil 5.37 incelendiğinde her üç kesici takımında kesme kuvvetlerinin benzer davranışlar sergilediği gözlenmiştir. Kesme kuvvetleri kesici takım malzeme türüne göre kıyaslandığında, en yüksek kesme kuvvetinin HSS kesici takımında elde edilmiştir. HSS kesici takıma göre, Titanyum nitrür kaplamalı HSS takım %13, karbür takım türünde ise %25,4'lük bir azalma meydana gelmiştir.

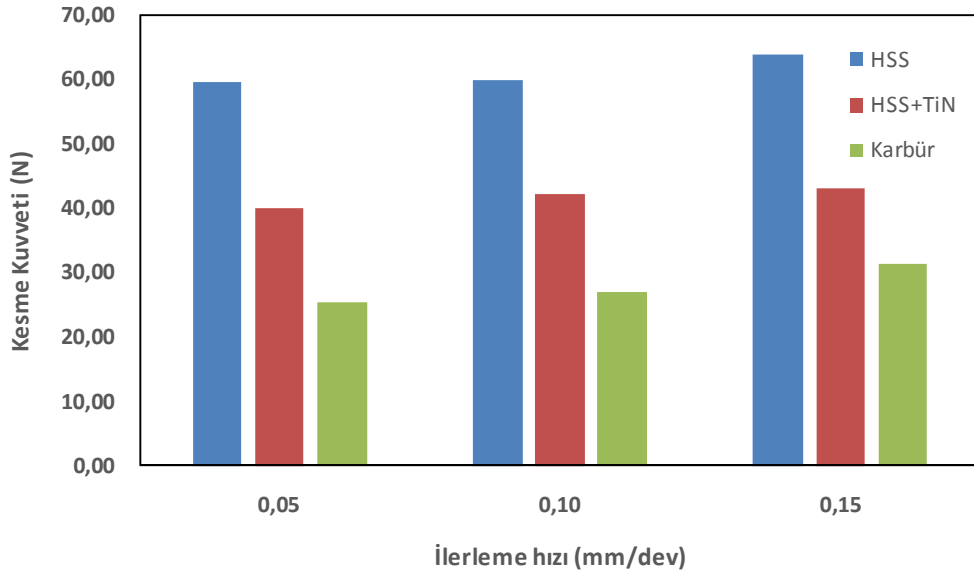
Şekil 5.39-41 %30 cam fiber takviye fazlı kompozit malzemenin üç farklı kesme hızına göre, ilerleme hızı artışının kesme kuvveti üzerindeki etkisini göstermiştir.



Şekil 5.39. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



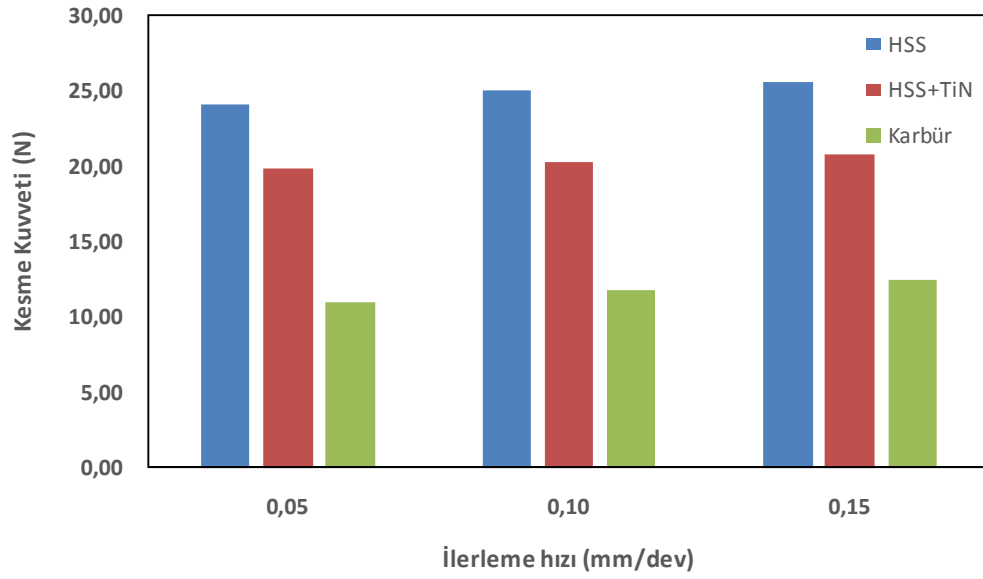
Şekil 5.40. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



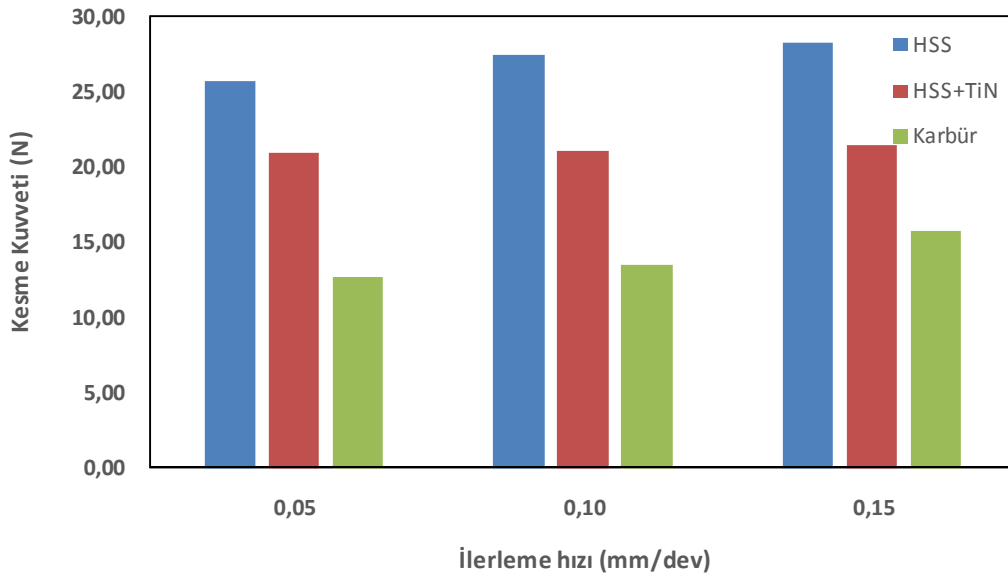
Şekil 5.41. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi

Bu üç grafik incelendiğinde %20 cam fiber takviye fazlı kompozit malzemenin ilerleme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisiyle benzer davranış sergilemiştir. Bu iki malzeme grubu birbirleriyle kıyaslandığında, % 30 cam fiber takviye fazlı kompozit malzemedede daha yüksek kesme kuvvetlerinin elde edildiği gözlenmiştir. bu durum, kompozit malzeme içerisindeki takviye fazı artışıyla kompozit malzemenin daha mukavim olması nedeniyle daha yüksek kesme kuvveti oluşturduğu düşünülmektedir. Elde edilen bu bulgular önceki yapılan çalışmalarla paralel olduğu gözlenmiştir (Sivinişan, 2014) (Ramesh 2014).

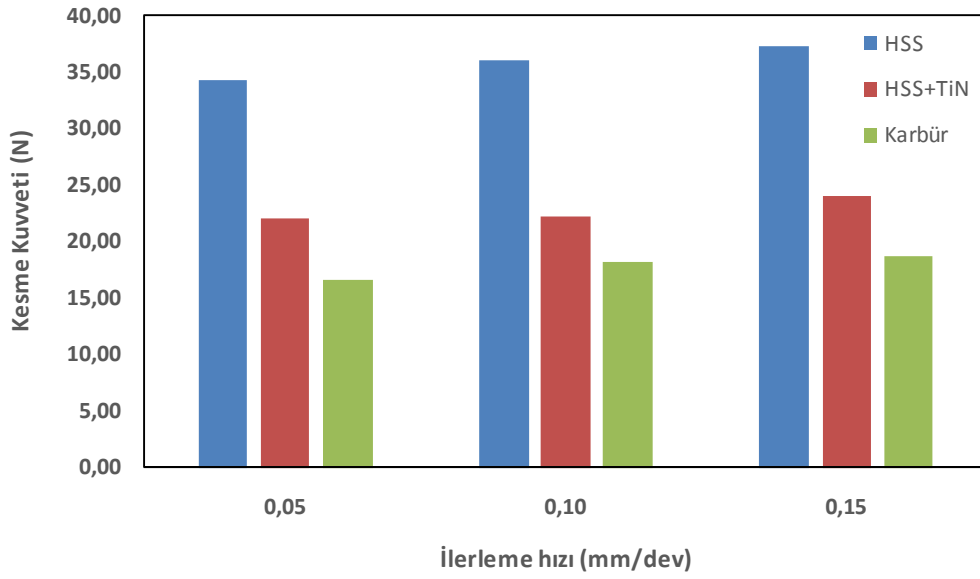
%20 ve %30 cam fiber takviye fazlı kompozit malzemelerin 20 m/dak kesme hızında elde edilen kesme kuvvetleri kıyaslandığında, karbür matkap türünde en az kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Her üç kesici takım türüne göre, %20 takviye fazından %30 takviye fazına artışının kesme kuvvetinde, HSS için 37.27 N, HSS+TiN için 19.1 N ve Karbür kesici takım için 7.90 N'luk bir artış meydana getirmiştir.



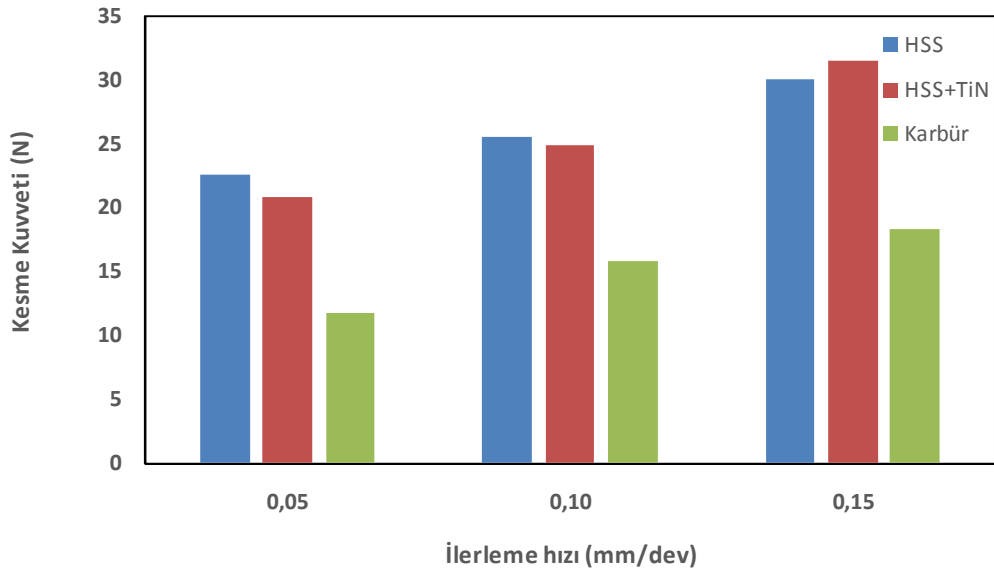
Şekil 5.42. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



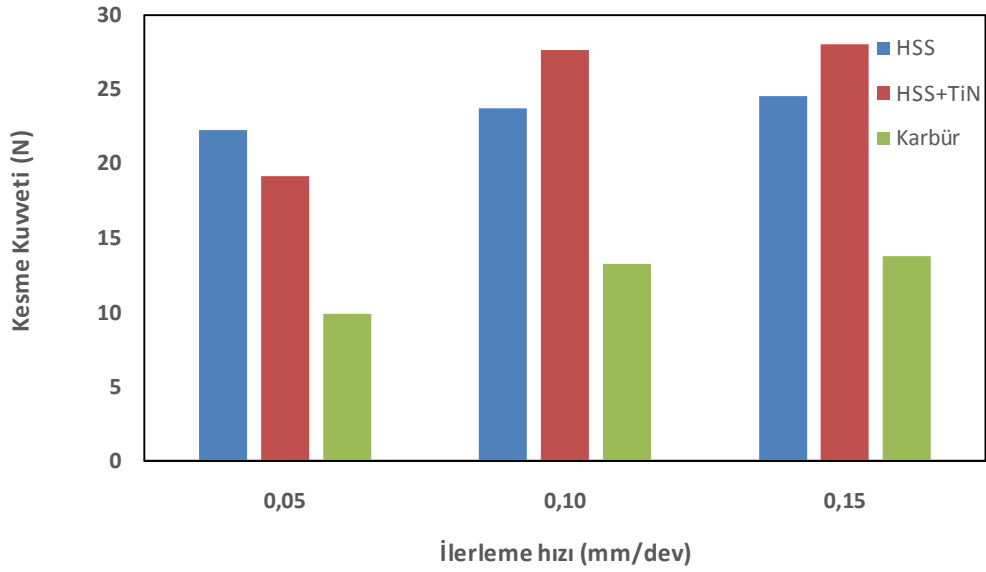
Şekil 5.43. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



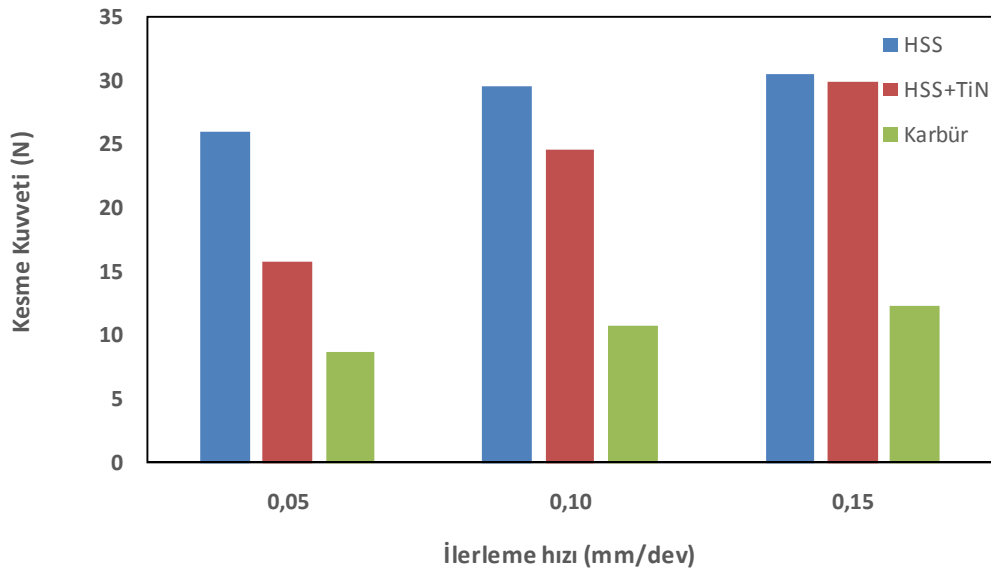
Şekil 5.44. %20 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



Şekil 5.45. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 15 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



Şekil 5.46. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 20 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



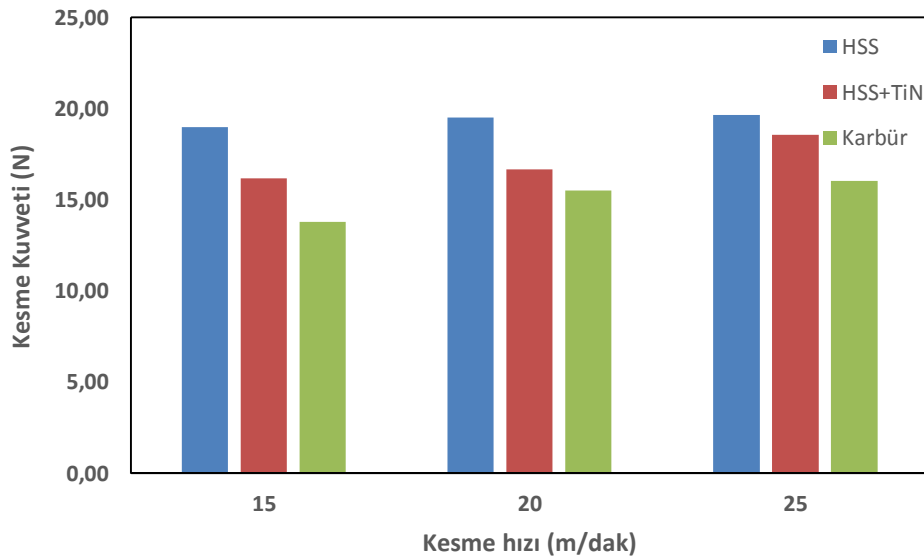
Şekil 5.47. %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 25 m/dak kesme hızına ait ilerleme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi

Şekil 5.42-47'e kadar olan grafikler incelendiğinde ilerleme hızı artışıyla kesme kuvvetlerinde artış meydana geldiği her iki malzeme grubu için tespit edilmiştir. %20 ve %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemeler birbirleriyle kıyaslandığında, cam fiber takviye fazlı kompozit malzemelerde olduğu gibi takviye fazı artışıyla kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir. Cam fiber takviye takviye fazlı kompozit malzemelerle rockforce takviye fazlı kompozit malzemelerin kesme

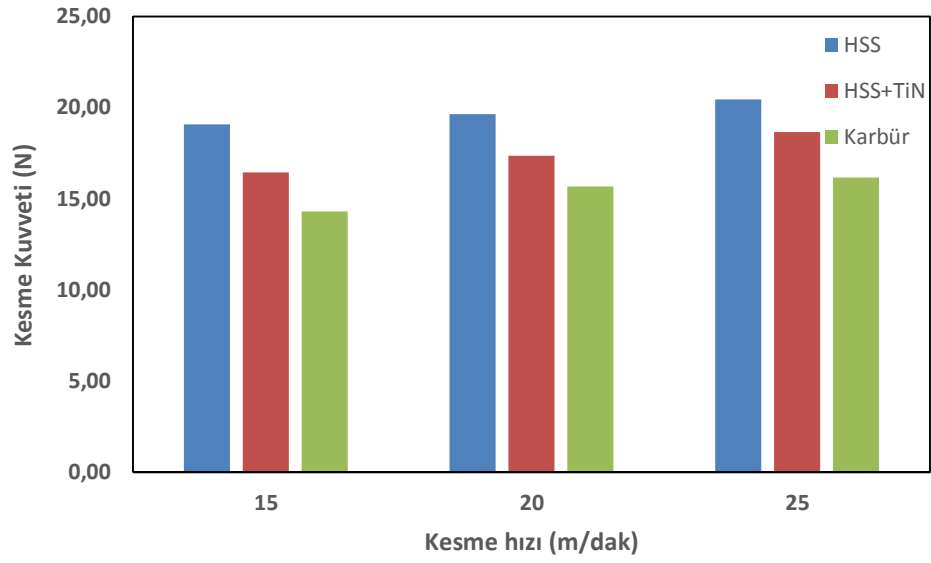
kuvveti değerleri birbirleriyle kıyaslandığında, rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemelerin kesme kuvvetlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu düşüş çekme muavemet değerlerindeki değerler ile ilişkilendirilebilir (Unal & Mimaroglu, 2014). 20 m/dak kesme hızı, 0.10 mm/dev ilerleme hızındaki %30 cam fiber ve rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemenin kesici takım türüne göre kesme kuvveti değerleri kıyaslanmıştır. Sırasıyla cam fiber ve rockforce kompozit malzemeler için; HSS kesici takım 56.89 N-27.52 N; HSS+TiN kesici takım 36.43 N- 21.11 N ve Karbür kesici takım için 23.58 N-13.57 N'luk değerler elde edilmiştir.

5.3.2. Kesme hızının kesme kuvvetine etkisi

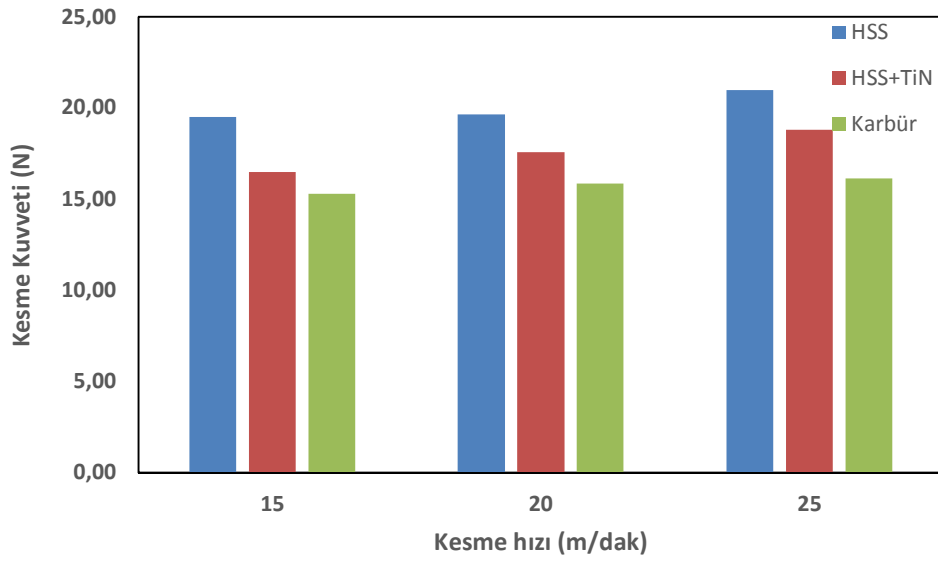
Şekil 5.58-63'te %20 ve %30 cam fiber takviye fazlı kompozit malzemelerin kesme hızı artışının kesme kuvvetine olan etkisi gösterilmiştir. Tüm grafikler incelendiğinde kesme hızı artışıyla kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir.



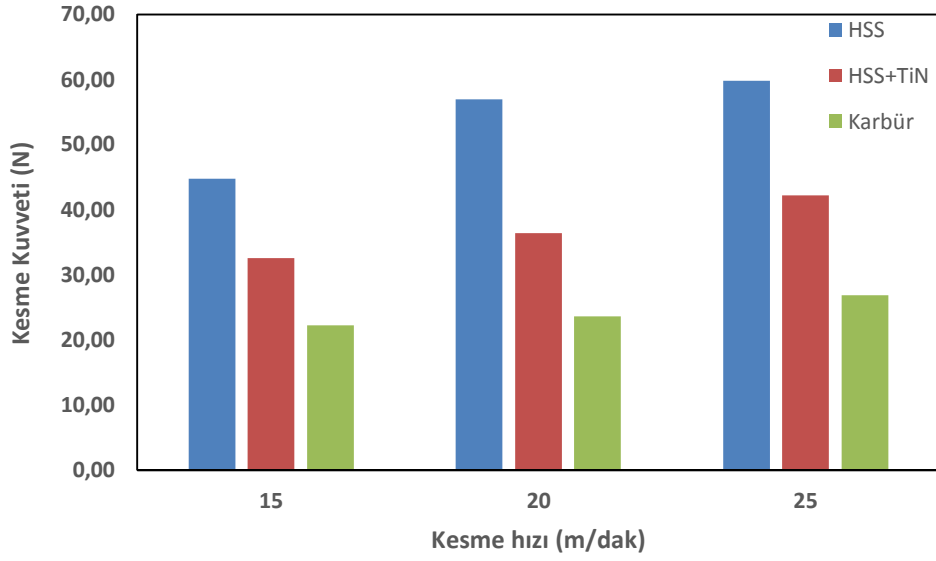
Şekil 5.48. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



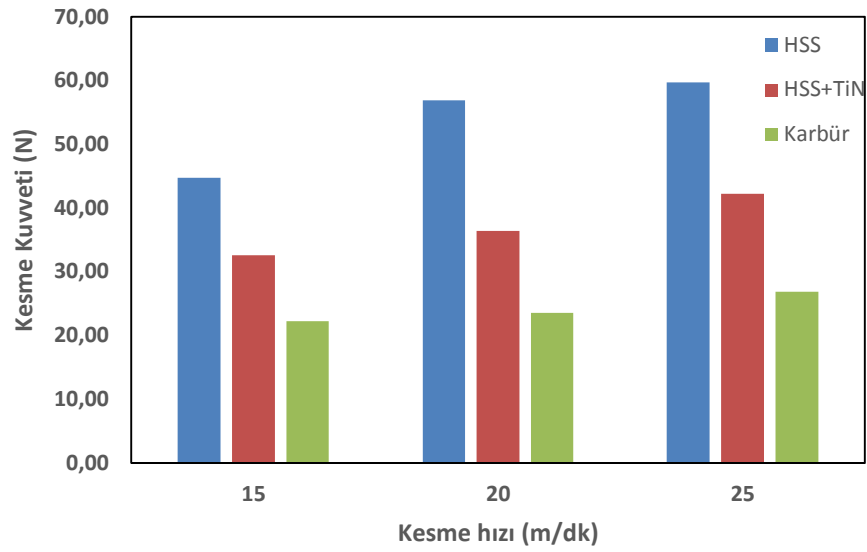
Şekil 5.49. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.10 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



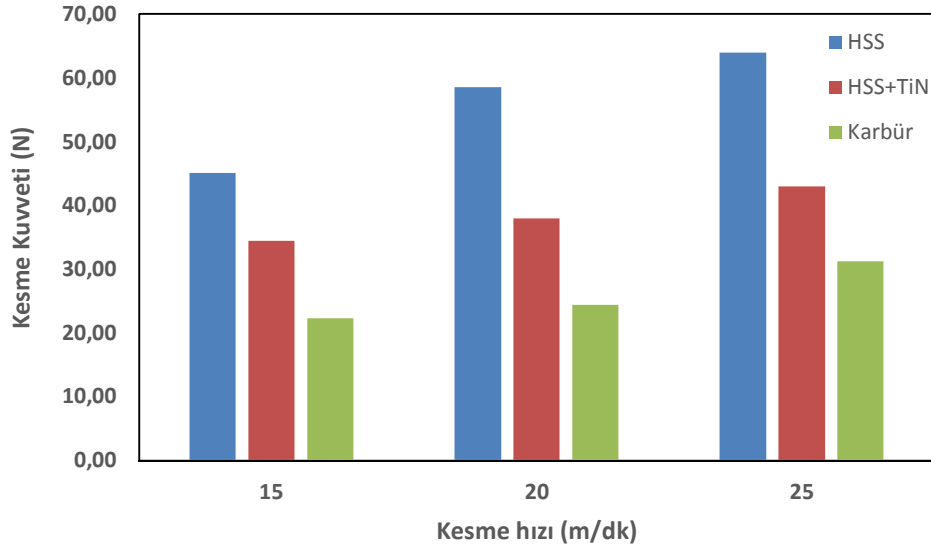
Şekil 5.50. %20 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.15 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



Şekil 5.51. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.05 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi

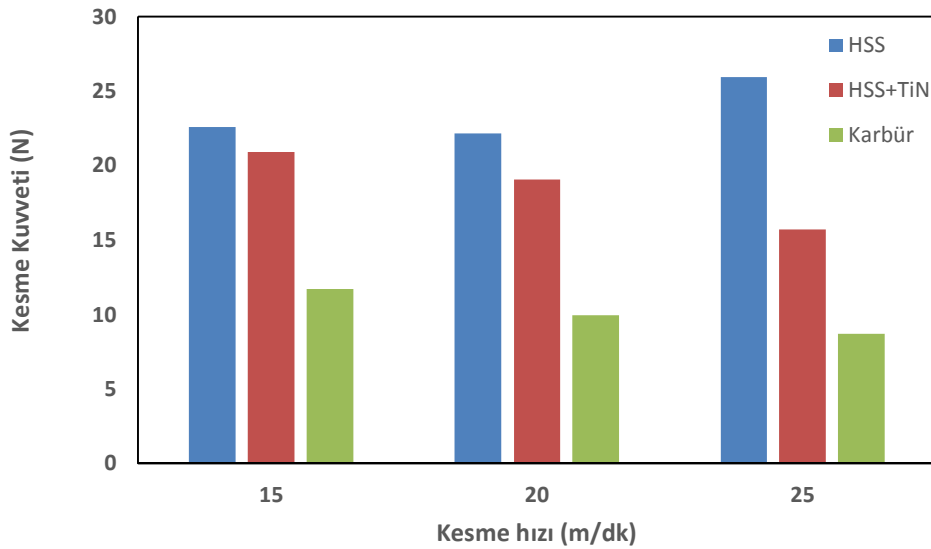


Şekil 5.52. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.1 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi

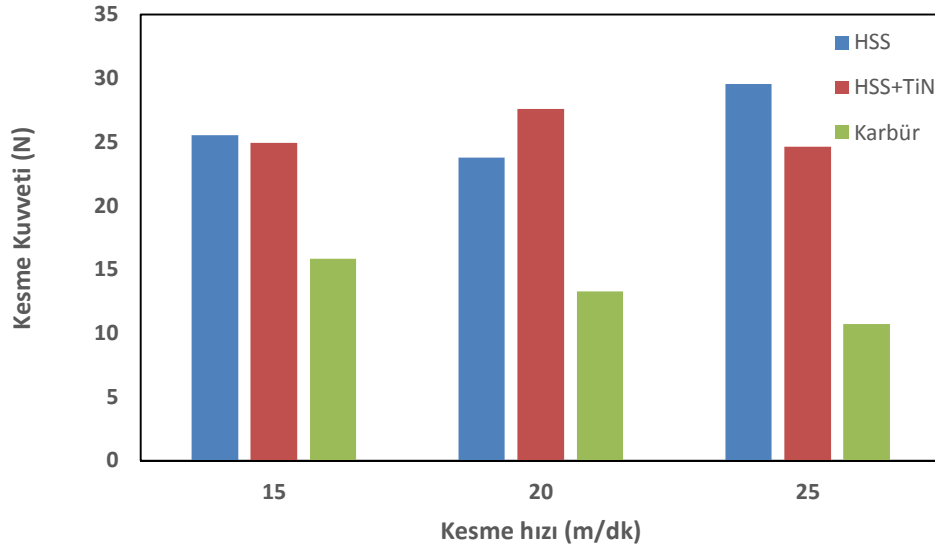


Şekil 5.53. %30 cam fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi

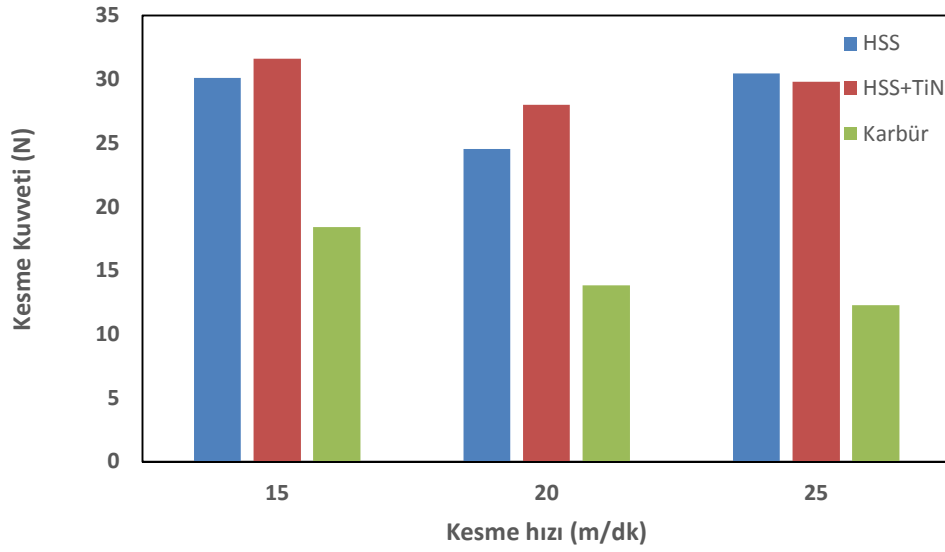
Tüm kesici takımlar birbirlerine göre kıyaslandığında en yüksek kesme kuvvetinin HSS kesici takımında, orta kesme kuvvetinin HSS+TiN kesici takımında, en düşük kesme kuvvetinin ise Karbür kesici takımında elde edildiği tespit edilmiştir. %20 ve %30 cam fiber takviye fazlı kompozit malzemelerde ise en yüksek kesme kuvveti %30 cam fiber takviye fazlı kompozit malzemede olduğu tespit edilmiştir.



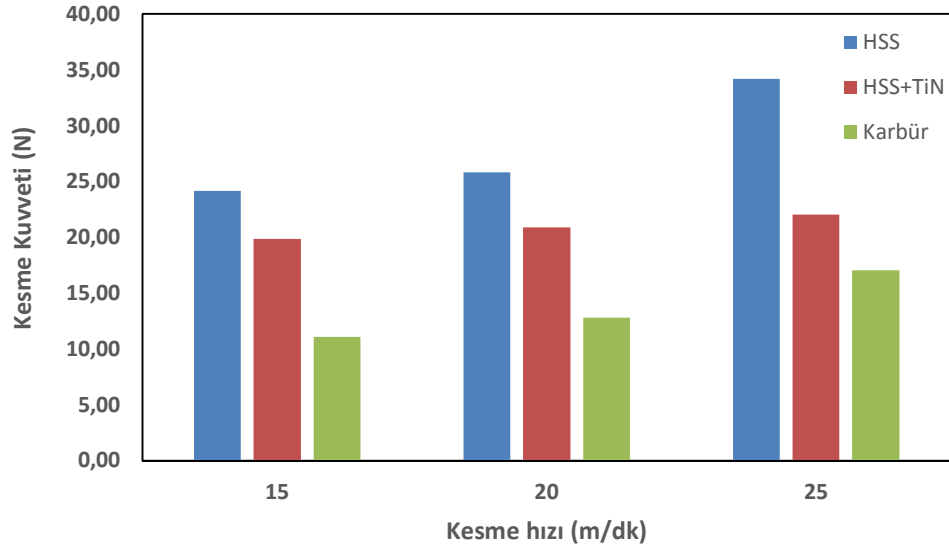
Şekil 5.54. %20 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.05 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



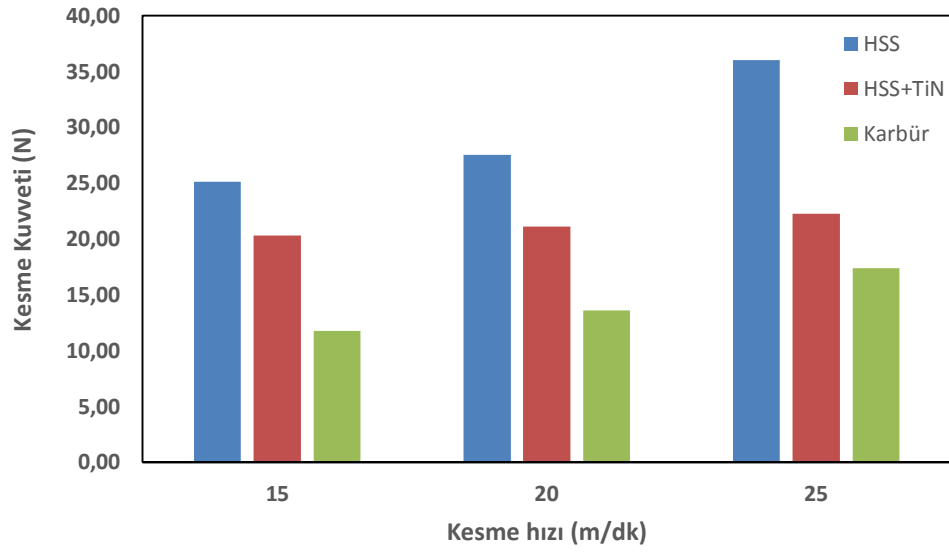
Şekil 5.55. %20 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.1 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



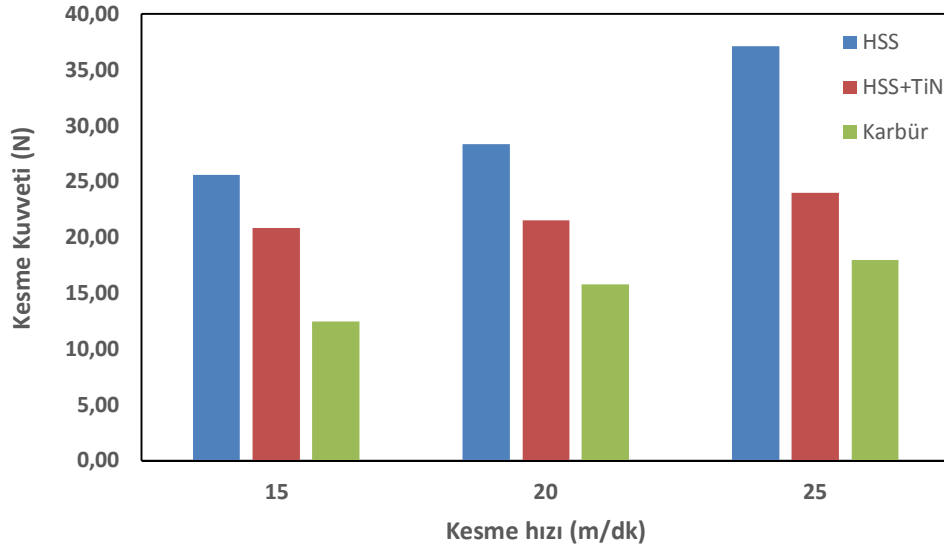
Şekil 5.56. %20 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.15 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



Şekil 5.57. %30 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.05 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



Şekil 5.58. %30 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matrisli kompozit malzemenin 0.1 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi



Şekil 5.59. %30 rockforce fiber takviye fazlı PA6 matriksli kompozit malzemenin 0.15 mm/dev ilerleme hızına ait kesme hızı artışının kesme kuvvetine etkisi

Şekil 5.54-59'da %20 ve %30 rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemelerin kesme hızı artışının kesme kuvveti değişimine etkisi gösterilmiştir. Her iki malzeme grubu için kesme hızı artışıyla kesme kuvvetlerindeki artış cam fiber takviye farklı kompozit malzeme grubuyla aynı davranış sergilemiştir. Rockforce doğal fiber takviye fazlı kompozit malzemeler, cam fiber takviye fazlı kompozit malzemeler ile kıyaslandığında daha düşük kesme kuvveti elde edilmiştir.

Ogawa ve arkadaşlarının (Ogawa et al., 1997) ağırlıkça %39 örgülü cam fiber takviyeli epoksi matriksli kompozit malzemesi 1 mm çapında matkap ucu ile 5000-12000 devir/dak arası kesme hızında ve 5-63 $\mu\text{m}/\text{devir}$ ilerleme hızlarında delme işleminde oluşan kuvvetleri incelemişlerdir. Çalışmada, ilerleme arttıkça kesme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Yapılan deneyler sonucunda ortaya çıkan değerler aşağıdaki gibidir.

1. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin işleme esnasında delik alın ve iç yüzeyinde deformasyon olduğu gözlemlenmiştir.
2. Delme işleminde ortaya çıkan bu deformasyonun nedeni kompozitin homojen olmaması ve fiberlerin delme esnasında çıkmasıyla ilişkilendirilmiştir.
3. Delaminasyon kusuru her matkap türü için, ilerleme arttıkça delaminasyonda azalma gerçekleşmiştir.
4. Tüm deneylerde kesme hızı arttıkça delaminasyon faktörünün azaldığı saptanmıştır.
5. Yapılan tüm deneylerde ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde artma meydana gelmiştir.
6. Karbür takım türü, kompozit malzemenin delinmesi esnasında en az delaminasyon ve en az kesme kuvvetleri oluşturduğu saptanmıştır.
7. En büyük delaminasyon ve kesme kuvvetleri HSS takım malzemesinde gerçekleşmiştir.
8. HSS matkap ucu üzerine yapılan Titanyum Nitrür kaplama hem delaminasyon faktörü hem de kesme kuvvetlerinde önemli bir azalma meydana getirmiştir.
9. Yapılan deneylerde en uygun kesme koşulları ise 0,15 mm/devir ilerleme ve 25 m/dakika kesme hızı olduğu saptanmıştır.
10. PA-6 matriks malzemesi içinde bulunan cam fiber ve Rockforce doğal mineral fiber oranı arttıkça kesme kuvvetleri ve delaminasyon miktarları artmıştır.
11. Rockforce doğal mineral fiber takviyeli kompozitler, cam fiber takviyeli kompozitlere oranla daha az kesme kuvveti ve delaminasyon oluşturmuştur.

KAYNAKLAR

- AGRAWAL, J., Composite Materials, DESIDOC, 7-10, Delhi, 1990.
- ASTAKHOV, V. P., Metal Cutting Theory - Missed Chances Or A Science Without History: Part 2, 1-12, 2004.
- AKKURT, M., talaş kaldırma bilimi ve teknolojisi CNC takım tezgahları ve üretim otomasyonu, Birsen Yayınevi, 16, 220-230, İstanbul, 2004.
- AKYUZ, B., Influence of Al content on machinability of AZ series Mg alloys. Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition) 23(8), 2243–2249, 2013.
- ARAFAT, M., CNC Delme İşleminde Delme Parametrelerindeki Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Optimizasyonu. Kayseri Erciyes Üniversitesi, 15-30p. 2009.
- ARAN, A., Elyaf takviyeli karma malzemeler, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1-29, İstanbul, 1990.
- ARICASOY, O., Kompozit Sektör Raporu. İSTANBUL TİCARET ODASI, 13–16, 2006.
- ATAŞ, E., GÜR, H., Determination of properties of SiC Reinforced Aluminium metal matrix composites by Ultrasonic Techniques, In *15th World conference on Nondestructive Testing*, pp. 1–4. Roma, İTALY, 2000.
- BALIKOĞLU, F., ATAŞ, A., ARSLAN, N., Yat ve Tekne İmalatında Vakum İnfüzyon ile Kompozit Üretim Yönteminin Uygulanması. 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 480–495, 2012.
- BLAESE, D., GARCÍA, D.E., GUGLIELMI, P., HOTZA, D., FREDEL, M.C., JANSSEN, R., ZrO₂ fiber-matrix interfaces in alumina fiber-reinforced model composites. Journal of the European Ceramic Society 35(5), 1593–1598, 2015.
- BOSCO, M. A. J., PALANIKUMAR, K., PRASAD, B. D., VELAYUDHAM, A., Procedia Engineering, 51, 758–763, 2013.
- BOYTEK A.Ş., Reçine Transfer Kalıplama Metodu. Kompozit Dünyası, 6–9, 2006.
- BOYTEK A.Ş., Filament Sarma Yöntemi. Kompozit Dünyası 1, 5–7, 2008.
- BURGOYNE, C.J., Aramid fibres for civil Engineering Applications. Additives for Polymers 18(9), 12, 1988.
- CFRP, T.S., XU, J., AN, Q., CHEN, M., A comparative evaluation of polycrystalline diamond drills in drilling. Composite Structure 117, 71–82, 2014.

CHILES, V., BLACK, S., LİSSAMAN, A., MARTİN, S., Principles of engineering manufacture 3rd ed., Butterworth-Heinemann, 255-260, 1996.

ÇAKIR, C., Modern talaşlı imalatın esasları 2nd ed., Dora Yayınları, 40-50, Bursa, 2010.

DANDEKAR, C.R., SHİN, Y.C., Modeling of machining of composite materials: A review. International Journal of Machine Tools and Manufacture 57, 102–121, 2012.

DAVİM, J.P., REİS, P., Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave-experimental and statistical study. Materials and Design 24(5), 315–324, 2003.

DAVIS, A.K., Influence Of Surface Treatment And Humidity On Strength Of E-Glass Fiber Bundles. University of Illinois at Urbana-Champaign, 1-2p. 1997.

EL-HOFY, H.A.-G., Fundamentals of machining processes: conventional and nonconventional processes 2nd ed., CRC press, 140-150, USA, 2013.

ERİKSEN, E., The influence of surface roughness on the mechanical strength properties of machined short-fibre-reinforced thermoplastics. Composites Science and Technology 60(1), 107–113, 2000.

ETCHEVERRY, M., BARBOSA, S.E., Glass fiber reinforced polypropylene mechanical properties enhancement by adhesion improvement. Materials 5(6), 1084–1113, 2012.

ETİ HOLDİNG A.Ş. GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, Tekstil Tipi Cam Elyafı Ön Fizibilite Etüdü, 9-23, Ankara, 2003.

FARAHANİ, A.V., Composite Materials: Characterization, Fabrication and Application-Research Challenges and Directions. Appl Compos Mater 17, 63–67, 2010.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, Advanced Composite Materials, US Department of Transportation, 6, USA, 2012.

Ghasemi, F. A., Hyvadi, A., Payganeh, G., Arab, N. B. M., Effects of Drilling Parameters on Delamination of Glass Epoxy Composites, Australian Journal of Basic Applied Sciences, 5(12), 1433 -1440, 2011.

GRİLO, T.J., PAULO, R.M.F., SİLVA, C.R.M., DAVİM, J.P., Experimental delamination analyses of CFRPs using different drill geometries. Composites Part B: Engineering 45(1), 1344–1350, 2013.

GROOVER, M.P., Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes and Systems 4.th Editi., JOHN WILEY & SONS, INC., 585-590, 2010.

- YURDAKUL, M., İÇ, Y. T., Modern İmalatın Prensipleri, Nobel Yayınevi, 509-511, İstanbul, 2015.
- HERBERT, M. A, SHETTY, D., SHETTY, R., SHIVAMURTHY, B., Effect of Process Parameters on Delamination , Thrust force and Torque in Drilling of Carbon Fiber Epoxy Composite. 2(8), 47–51, 2013.
- HOCHENG, H., TSAO, C.C., Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits. Journal of Materials Processing Technology 140, 335–339, 2003.
- HOCHENG, H., TSAO, C.C., Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, 1403–1416, 2006.
- HO-CHENG, H., DHARAN, C.K.H., Delamination During Drilling in Composite Laminates. Journal of Engineering for Industry 112(3), 236, 1990.
- HÜNER, Ü., Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 28-32p. 2008.
- İSBİLİR, O., GHASSEMİEH, E., Numerical investigation of the effects of drill geometry on drilling induced delamination of carbon fiber reinforced composites. Composite Structures 105, 126–133, 2013.
- JASSAL, M., GHOSH, S., Aramid Fibres-An overview. Indian Journal of Fibre & Textile Research 27, 290–360, 2002.
- JIS, Japan International Standarts, JISB0031, Drawing Indications of Surface Texture, 2839, Japonya, 1994.
- KALPAJIAN, S., SCHMİD, S.R., Manufacturing Engineering and Technology Fourth edi., Prentice Hall International, 538-627, 2000.
- KAVAD, B.V., PANDEY, A. B., TADAVİ, M.V., JAKHARİA, H.C., A Review Paper on Effects of Drilling on Glass Fiber Reinforced Plastic. Procedia Technology 14, 457–464, 2014.
- KAW, A.K., Mechanics of Composite Materials 2. Edition., CRC Taylor & Francis group, 1-3, 2006.
- KAYNAK, Y., Matkap İle Delik Delme Esnasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Ve Sıcaklığın Değişimine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Marmara Üniversitesi, 30-38p. 2006.
- KHAN, A.S., AZAM, M.T., KHAN, M., MİAN, S.A., REHMAN, I.U., An update on glass fiber dental restorative composites: A systematic review. Materials Science and Engineering: C 47, 26–39, 2015.

KİLİCKAP, E., Optimization of cutting parameters on delamination based on Taguchi method during drilling of GFRP composite. *Expert Systems with Applications* 37(8), 6116–6122, 2010.

KONIG, W., WULF, C., GRAL, P., WILLERSCHIED, H., Keynote- Papers Machining of Fibre Reinforced Plastics. *CIRP Annals* 34(2), 537–548, 1985.

KUO, C.L., SOO, S.L., ASPINWALL, D.K., THOMAS, W., BRADLEY, S., PEARSON, D., M'SAOUBI, R., LEAHY, W., The effect of cutting speed and feed rate on hole surface integrity in single-shot drilling of metallic-composite stacks. *Procedia CIRP* 13, 405–410, 2014.

LIN, S.C., CHEN, I.K., Drilling carbon fiber-reinforced composite material at high speed, *Wear* 194 156-162, 1996.

MACKE, A., SCHULTZ, B.F., ROHATGI, P., Metal matrix: Composites offer the automotive industry an opportunity to reduce vehicle weight, improve performance. *Advanced Materials and Processes* 170(3), 19–23, 2012.

MALLICK, P.K., Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design Second edi., Taylor & Francis Group, 616, Dearborn, Michigan, 2008.

NASH GARDENER, NASH pumps for processing composites in autoclaves, 1-2, Trumbull, USA, 2010.

NPTEL, Lecture 4.1: Thermoplastics and Thermosets. National Programme on Technology Enhanced Learning, 1–5, 2008a.

NPTEL, Lecture 6.1: Ceramic Matrix Composites. National Programme on Technology Enhanced Learning, 1–5, 2008b.

NPTEL, Pultrusion. Lecture Notes, 2015.

OGAWA, K., AOYAMA, E., INOUE, H., HIROGAKI, T., NOBE, H., KITAHAARA, 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(1), 343–350, 1997.

OKUTAN, E., Polimer Kompozitlerin Matkapla Delinme Karakteristiklerinin Ve Oluşan Mekanizmalarinin İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2-3p. 2009.

ÖZDEMİR, D., MECİT, D., SEVENTEKİN, N., ÖKTEM, T., Cam lifleri. *Tekstil ve Konfeksiyon* (1), 281–287, 2006.

PPG, Spray up processes. 2015.

RADHAKRISHNAN, T., WU, S.M., On-Line Hole Quality Evaluation for Drilling Composite Material Using Dynamic Data. *Journal of Engineering for Industry* 103(1), 119, 1981.

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

RUBIO, J. C., ABRAO, A. M., FARIA, P. E., CORREIA, A. E., DAVIM, J.P., 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.

SAÇAK, M., *Polimer Teknolojisi* 3. Baskı., Gazi Kitabevi, 275 - 296, Ankara, 2014.

SANDVIK COROMANT, *Modern Metal Cutting, A Practical Handbook*, First Edition, ABD, 1996

SANDVIK, <http://www.sandvik.coromant.com>, Erişim Tarihi: 15.05.2015

SARIBIYIK, M., CUMHUR, A., AYDIN, F., SARIBIYIK, A., Pultrüzyon Metodu ile Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastik Profillerin Sera Modellemesinde Kullanılması. *Uluslararası Deprem ve Yapı Mühendisliğinde Gelişmeler Sempozyumu*, 674–682, 2007.

SHAHRAJABIAN, H., HADI, M., FARAHNAKIAN, M., Experimental Investigation of Machining Parameters on Machinability of Carbon Fiber / Epoxy Composites. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* 2(3), 30–36, 2012.

SRINIVASAN, T., PALANIKUMAR, K., RAJAGOPAL, K., Influence of Process Parameters on Delamination of Drilling of (GF/PC) Glass Fiber Reinforced Polycarbonate matrix Composites, *Advanced Materials Research Vols. 984-985* pp 355-359, 2014.

SOY, U., *Metal Matriks Kompozit Malzemeler. Metal Dünyası Dergisi* (181), 292 – 295, 2010.

SP SYSTEMS, *SP Systems Guide to Composites. Composite Engineering Materials*, 2015.

STONE, R., KRISHNAMURTHY, K., A neural network thrust force controller to minimize delamination during drilling of graphite-epoxy laminates. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 36(9), 985–1003, 1996.

SUNNY, T., BABU, J., PHILIP, J., Experimental Studies on Effect of Process Parameters on Delamination in Drilling GFRP Composites Using Taguchi Method. *Procedia Materials Science* 6(Icmpc), 1131–1142, 2014.

TETİ, R., Machining of Composite Materials. CIRP Annals - Manufacturing Technology 51(2), 611–634, 2002.

TİWARİ, N., introduction to Composite Materials and Structures. Institute of Technology Kanpur, 2015.

TONSHOFF, H.K.I., KONİG, I., NEİSES, A., AACHEN, R., Machining of Holes Developments in Drilling Technology. 43, 551–561, 1994.

TOPTAŞ, E., ÇAĞLARER, E., AKKUŞ, N., ELEKTRİKSEL YÖNTEMLE ÖLÇÜMÜ. VIII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 1–8, 2013.

TSAO, C.C., HOCHENG, H., Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material. International Journal of Machine Tools and Manufacture 44(10), 1085–1090, 2004.

TURİ, E., Thermal characterization of polymeric materials, Elsevier, San Diego, 2012.

UNAL, H., MİMAROĞLU, A., Evaluation of morphological characteristics and mechanical performance of Rockforce mineral fiber- and glass fiber-reinforced polyamide-6 composites. Science and Engineering of Composite Materials 21(3), 323–328, 2014.

VALERY, M., Manufacturing Processes for Metal Products, Kendall Hunt Publishing Company, 89-91, 2008.

WİKİPEDİA, Machining Time. 2015.

WONG, TL, WU, SM, CROY, GM, An analysis of delamination in drilling composite materials. 14th National SAMPE technology conference, 471–483, 1982.
WOOD, K., ceramic matrix composites heat up. High Performance Composites 21(6), 38–39, 2013.

YAMAN, N., ÖKTEM, T., SEVENTEKİN, N., Karbon Liflerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları. Tekstil ve Konfeksiyon (2), 90–95, 2007.

ZEREN, D., The effects of diatom shape and heat treatment on the mechanical properties of diatom-frustule-filled polymeric matrix composites. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 5-6p. 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih ÖZEN 09.11.1989'da Trabzon ili Çaykara ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Çaykara Zeki Bilge İlköğretim okulunda tamamladı. 2004-2007 yılları arasında Of Ulusoy HMB Anadolu Meslek Lisesi CNC bölümünde öğrenimini tamamlamıştır. 2007-2009 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon Meslek Yüksek Okulunda Makine programını bitirmiştir. 2009-2012 yılları arasında Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim öğretmenliği okumuştur. Bir süre özel sektörde CNC ve CAM uzmanı olarak çalışmasının ardından Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği lisans programına araştırma görevlisi olarak atanmıştır. Şu an halen daha araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.