



**AI 2024 T3 LAMİNE LEVHALARIN DELMESİ**

**Wahid Salem Almabrouk DAKHEEL**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. İsmail ESEN**

**AI 2024 T3 LAMİNE LEVHALARIN DELMESİ**

**Wahid Salem Almabrouk DAKHEEL**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. İsmail ESEN**

**KARABÜK  
Temmuz 2022**

Wahid Salem Almagrouk DAKHEEL tarafından hazırlanan “Al 2024 T3 LAMİNE LEVHALARIN DELMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İsmail ESEN

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 01/07/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç.Dr. Mehmet Akif KOÇ ( SUBU)

.....

Üye : Doç. Dr. İsmail ESEN ( KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ÖZMEN ( KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Wahid Salem Almabrouk DAKHEEL

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **AI 2024 T3 LAMİNE LEVHALARIN DELMESİ**

**Wahid Salem Almabrouk DAKHEEL**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. İsmail ESEN**

**Temmuz 2022, 97 sayfa**

Bu çalışmada, metal matris elemanı olarak 0,8 mm kalınlığında 2024-T3 alüminyum levha kullanılmıştır. Metal matris elemanlarının arasına takviye fazı olarak karbon fiber kullanılmıştır. Karbon fiber polietilen eter keton (PEEK) ile işlem yaparak lamine kompozit malzeme üretiminde kullanılmıştır. Lamine kompozit malzemeler 3/2 istif sırasına göre (Metal/Prepreg/Metal/Prepreg/Metal) istiflendikten sonra sıcak pres cihazında üretilmiştir. İşlenebilirlik deneyleri KARCAN A.Ş tarafından 6 mm çapında sinterlenmiş karbür çubuk malzemedен üretilen matkap kullanılarak, 3 farklı uç açısıyla (100°-120°-138°), üç farklı kesme hızıyla (1000-1250-1500 m/dak) ve üç farklı ilerleme miktarıyla (0.075-0.10-0.15 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Delme kuvveti, tork gibi temel işlenebilirlik parametreleri araştırılmıştır. Delik delme işleminde meydana gelen delik hasarı incelenmiş ve delaminasyon faktörü (Fd) hesaplanmıştır. İşlenmiş yüzeylerin, talaşların ve matkapların yüzey görüntüleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda 100° matkap ucunda maksimum kuvvet değeri 855 N bulunurken maksimum tork değeri 0.070 Nm olarak hesaplanmıştır. 120°

matkap ucunda ise maksimum kuvvet değeri 440 N, maksimum tork değeri 0.54 Nm olarak bulunmuştur. 138° matkap ucunda maksimum kuvvet değeri 370 N, maksimum tork değeri 1.26 Nm olarak hesaplanmıştır. Delaminasyon ölçüm sonuçlarına bakıldığında ise 100° matkap ucuyla yapılan delme deneyinde en yüksek delaminasyon faktörü 1.135, 120° matkap ucunda 1.062 ve 138° matkap ucunda ise 1.142 olarak ölçülmüştür. İşlenmiş yüzeylerin değerlendirme sonucunda ise ilerleme hızı arttıkça daha fazla tabakanın ayrıldığı görülmüştür. İncelenen talaş formu sonucunda testere dişli ve kısa talaş formunda talaşlar elde edilmiştir. 100° matkap ucunun incelenmesiyle matkap ucunun deforme olduğu ve kompozitten kopan parçaların matkap ucuna yapıştığı görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Al 2024, PEEK, fiber metal lamine kompozit, işlenebilirlik, delme, delaminasyon

**Bilim Kodu :** 91438

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DRILLING OF Al 2024 T3 LAMINATED PLATES**

**Wahid Salem Almabrouk DAKHEEL**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Machine Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. İsmail ESEN**

**July 2022, 97 sayfa**

In this study, 0.8 mm thick 2024-T3 aluminum plate was used as the metal matrix element. Carbon fiber was used as the reinforcement phase between the metal matrix elements. Carbon fiber was treated with polyether ether ketone (PEEK) and used in the production of laminated composite material. Laminated composite materials were produced in a hot press device after stacking in 3/2 stacking order (Metal/Prepreg/Metal/Prepreg/Metal). Machinability tests were performed by KARCAN A.Ş using a drill produced from sintered carbide rod material with a diameter of 6 mm, with 3 different tip angles ( $100^\circ$ - $120^\circ$ - $138^\circ$ ), three different cutting speeds (1000-1250-1500 m/min) and three different was carried out with the amount of advance (0.075-0.10-0.15 mm/rev). Basic machinability parameters such as drilling force and torque were investigated. Hole damage in drilling process was investigated and delamination factor ( $F_d$ ) was calculated. Surface images of machined surfaces, chips and drills were examined. As a result of the experimental studies, the maximum force value of the  $100^\circ$  drill bit was found to be 855 N, while the maximum torque

value was calculated as 0.070 Nm. In the 120° drill bit, the maximum force value was 440 N, and the maximum torque value was 0.54 Nm. The maximum force value of the 138° drill bit is calculated as 370 N, and the maximum torque value is calculated as 1.26 Nm. Considering the delamination measurement results, the highest delamination factor was measured as 1.135 in the drilling test performed with a 100° drill bit, 1.062 in a 120° drill bit and 1.142 in a 138° drill bit. As a result of the evaluation of the machined surfaces, it was seen that more layers were separated as the feed rate increased. As a result of the examined chip form, saw-toothed and short chip form chips were obtained. Upon examination of the 100° drill bit, it was observed that the drill bit was deformed and the pieces that were broken off from the composite adhered to the drill bit.

**Key Words** : Al 2024, PEEK, fiber metal laminated composite, machinability, drilling, delamination

**Bilim Kodu** : 91438



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. İsmail ESEN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tez hazırlama sürecinde büyük bir özveriyle bana destek olan değerli eőime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xviii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....	4
2.1.1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	5
2.1.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	6
2.1.3. Yapısal Kompozit Malzemeler.....	6
BÖLÜM 3 .....	7
FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİTLER.....	7
3.1. FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİTLERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI .....	8
3.2. FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER.....	9
3.2.1. 2024-T3 Alüminyum Alaşımı ve Özellikleri .....	9
3.2.2. Karbon Fiber ve Özellikleri.....	11
3.2.3. Polietereeterketon (PEEK) ve Özellikleri .....	12

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 .....	14
TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK .....	14
4.1. TALAŞLI İMALAT .....	14
4.2. TALAŞ KALDIRMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	14
4.2.1 Takım Geometrisi .....	14
4.2.2. Kesme Hızı .....	15
4.2.3. Kesme Kuvveti .....	15
4.2.4. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı .....	16
4.2.5. Titreşimin Etkisi .....	16
4.3. İŞLENEBİLİRLİK .....	16
4.3.1. İşlenme Kabiliyeti .....	17
4.3.2. Alüminyumun İşlenebilirliği .....	18
BÖLÜM 5 .....	20
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	20
5.1. FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER.....	20
5.1.1. 2024-T3 Alüminyum Levha .....	20
5.1.2. PEEK Emprenye Edilmiş Dokuma Karbon Fiber Prepreg.....	21
5.2. FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİTLER'İN ÜRETİMİ.....	21
5.2.1. Metal Levhaların Yüzey Hazırlıkları.....	22
5.2.2. Shot Peening İşlemi .....	23
5.2.3. Laminasyon Öncesi Takviye Elemanlarının Hazırlanması .....	23
5.2.4. Laminasyon İşlemi .....	24
5.2.5. İşlenebilirlik Deneyleri .....	25
5.2.6. Delaminasyon Ölçümü .....	29
5.2.7. İşlenmiş Yüzey, Takım aşınması ve Talaş Yapısının Görüntülenmesi ..	30
BÖLÜM 6 .....	32
DENEYSEL SONUÇLAR .....	32
6.1. DELME KUVVETİ VE TORK SONUÇLARI .....	32
6.1.1. Delme Kuvveti Sonuçları .....	32

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.2. DELAMİNASYON ÖLÇÜM SONUÇLARI .....	57
6.3. İŞLENMİŞ YÜZEYLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	75
6.4. TALAŞ YAPILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	85
6.5. TAKIM AŞINMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	87
BÖLÜM 7 .....	90
GENEL SONUÇLAR .....	90
KAYNAKLAR .....	92
ÖZGEÇMİŞ .....	97

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Boeing 787 yolcu uçağı gövdesinde kompozit malzeme kullanımının sembolik gösterimi . . . . .	4
Şekil 3.1. Fiber metal lamine kompozitin sembolik görüntüsü. . . . .	8
Şekil 3.2. İkiz merdaneli sürekli döküm yönteminin sembolik gösterimi . . . . .	11
Şekil 5.1. Fiber metal lamine üretiminde kullanılan 2024-T3 alüminyum levha. . . . .	20
Şekil 5.2. PEEK emprenye edilmiş dokuma karbon fiber prepreg görüntüsü. . . . .	21
Şekil 5.3. FML’ lerin genel üretim kademeleri. . . . .	22
Şekil 5.4. Metal plakaların yüzey işlemleri. . . . .	23
Şekil 5.5. Laminasyon işlemi için hazırlanan PEEK emprenyeli dokuma karbon fiber prepreg. . . . .	24
Şekil 5.6. Bir FML istifinin sembolik gösterimi. . . . .	25
Şekil 5.7. FML’ lerin üretildiğı sıcak pres cihazı. . . . .	25
Şekil 5.8. ETASİS ETAMILL VL 1000 freze tezgahı. . . . .	26
Şekil 5.9. Kullanılan numune örneğı ve delik sistemi . . . . .	28
Şekil 5.10. Deliklerin isimlendirilmesi . . . . .	28
Şekil 5.11. Delik delme işleminin fotoğraf görüntüsü . . . . .	29
Şekil 5.12. Maksimum delamine ve normal delik çaplarının ölçümü. . . . .	30
Şekil 5.13. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem SEM analiz cihazı . . . . .	31
Şekil 6. 1. 100-0.1-1000 numaralı deliğın kuvvet. . . . .	33
Şekil 6. 2. 100-0.1-1250 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	33
Şekil 6. 3. 100-0.1-1500 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	34
Şekil 6. 4. 100-0.15-1000 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	34
Şekil 6. 5. 100-0.15-1250 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	35
Şekil 6. 6. 100-0.15-1500 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	35
Şekil 6. 7. 100-0.075-1000 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	36
Şekil 6. 8. 100-0.075-1250 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	36
Şekil 6. 9. 100-0.075-1500 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	37
Şekil 6. 10. 120-0.1-1000 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	37
Şekil 6. 11. 120-0.1-1250 numaralı deliğın kuvvet grafiğı . . . . .	38

## Sayfa

Şekil 6. 12. 120-0.1-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	38
Şekil 6. 13. 120-0.15-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	39
Şekil 6. 14. 120-0.15-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	39
Şekil 6. 15. 120-0.15-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	40
Şekil 6. 16. 120-0.075-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	40
Şekil 6. 17. 120-0.075-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	41
Şekil 6. 18. 120-0.075-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	41
Şekil 6. 19. 138-0.1-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	42
Şekil 6. 20. 138-0.1-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	42
Şekil 6. 21. 138-0.1-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	43
Şekil 6. 22. 138-0.15-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	43
Şekil 6. 23. 138-0.15-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	44
Şekil 6. 24. 138-0.15-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	44
Şekil 6. 25. 138-0.075-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	45
Şekil 6. 26. 138-0.075-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	45
Şekil 6. 27. 138-0.075-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği .....	46
Şekil 6. 28. 100-0.1-1000 numaralı deliğin tork grafiği .....	46
Şekil 6. 29. 100-0.1-1250 numaralı deliğin tork grafiği .....	47
Şekil 6. 30. 100-0.1-1500 numaralı deliğin tork grafiği .....	47
Şekil 6. 31. 100-0.15-1000 numaralı deliğin tork grafiği .....	48
Şekil 6. 32. 100-0.15-1250 numaralı deliğin tork grafiği .....	48
Şekil 6. 33. 100-0.15-1500 numaralı deliğin tork grafiği .....	49
Şekil 6. 34. 100-0.075-1000 numaralı deliğin tork grafiği .....	49
Şekil 6. 35. 100-0.075-1250 numaralı deliğin tork grafiği .....	50
Şekil 6. 36. 100-0.075-1500 numaralı deliğin tork grafiği .....	50
Şekil 6. 37. 120-0.1-1500 numaralı deliğin tork grafiği .....	51
Şekil 6. 38. 120-0.15-1000 numaralı deliğin tork grafiği .....	51
Şekil 6. 39. 120-0.15-1250 numaralı deliğin tork grafiği .....	52
Şekil 6. 40. 120-0.15-1500 numaralı deliğin tork grafiği .....	52
Şekil 6. 41. 120-0.075-1000 numaralı deliğin tork grafiği .....	53
Şekil 6. 42. 120-0.075-1250 numaralı deliğin tork grafiği .....	53
Şekil 6. 43. 138-0.1-1000 numaralı deliğin tork grafiği .....	54

## Sayfa

Şekil 6. 44. 138-0.1-1250 numaralı deliğin tork grafiği .....	54
Şekil 6. 45. 138-0.1-1500 numaralı deliğin tork grafiği .....	55
Şekil 6. 46. 138-0.15-1250 numaralı deliğin tork grafiği .....	55
Şekil 6. 47. 138-0.15-1500 numaralı deliğin tork grafiği .....	56
Şekil 6. 48. 138-0.075-1000 numaralı deliğin tork grafiği .....	56
Şekil 6. 49. 138-0.075-1250 numaralı deliğin tork grafiği .....	57
Şekil 6. 50. 100-0.075-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	58
Şekil 6. 51. 100-0.075-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	58
Şekil 6. 52. 100-0.075-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	59
Şekil 6. 53. 100-0.1-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	60
Şekil 6. 54. 100-0.1-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	60
Şekil 6. 55. 100-0.1-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	61
Şekil 6. 56. 100-0.15-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	62
Şekil 6. 57. 100-0.15-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	62
Şekil 6. 58. 100-0.15-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	63
Şekil 6. 59. 120-0.075-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	64
Şekil 6. 60. 120-0.075-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	64
Şekil 6. 61. 120-0.075-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	65
Şekil 6. 62. 120-0.1-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	66
Şekil 6. 63. 120-0.1-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	66
Şekil 6. 64. 120-0.1-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	67
Şekil 6. 65. 120-0.15-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	68
Şekil 6. 66. 120-0.15-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	68
Şekil 6. 67. 120-0.15-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	69
Şekil 6. 68. 138-0.075-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	70
Şekil 6. 69. 138-0.075-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	70
Şekil 6. 70. 138-0.075-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	71
Şekil 6. 71. 138-0.1-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	72
Şekil 6. 72. 138-0.1-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	72
Şekil 6. 73. 138-0.1-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	73
Şekil 6. 74. 138-0.15-1000 numaralı deliğin delaminasyonu .....	74
Şekil 6. 75. 138-0.15-1250 numaralı deliğin delaminasyonu .....	74

Şekil 6. 76. 138-0.15-1500 numaralı deliğin delaminasyonu .....	75
Şekil 6. 77. 100-0.075-1000 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	76
Şekil 6. 78. 100-0.075-1000 numaralı deliğin 1KX büyütmede SEM görüntüsü.....	77
Şekil 6. 79. 100-0.075-1250 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	77
Şekil 6. 80. 100-0.075-1250 numaralı deliğin 1KX büyütmede SEM görüntüsü.....	78
Şekil 6. 81. 100-0.075-1500 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	78
Şekil 6. 82. 100-0.075-1500 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.....	79
Şekil 6. 83. 100-0.100-1000 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	79
Şekil 6. 84. 100-0.100-1000 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.....	80
Şekil 6. 85. 100-0.100-1250 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	80
Şekil 6. 86. 100-0.100-1250 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.....	81
Şekil 6. 87. 100-0.100-1500 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	81
Şekil 6. 88. 100-0.100-1500 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.....	82
Şekil 6. 89. 100-0.150-1000 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	82
Şekil 6. 90. 100-0.150-1000 numaralı deliğin 64X büyütmede SEM görüntüsü.....	83
Şekil 6. 91. 100-0.150-1250 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	83
Şekil 6. 92. 100-0.150-1500 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.....	84
Şekil 6. 93. 100-0.150-1500 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.....	84
Şekil 6. 94. 100-0.075-1000 numaralı deliğin talaş formununa ait 54X büyütme SEM görüntüsü.....	85
Şekil 6. 95. 100-0.075-1000 numaralı deliğin talaş formununa ait 300X büyütme SEM görüntüsü.....	86
Şekil 6. 96. 100-0.150-1500 numaralı deliğin talaş formununa ait 54X büyütme SEM görüntüsü.....	86
Şekil 6. 97. 100-0.150-1500 numaralı deliğin talaş formununa ait 300X büyütme SEM görüntüsü.....	87
Şekil 6. 98. 100° matkap ucunun 36X büyütme SEM görüntüsü.....	88
Şekil 6. 99. 100° matkap ucunun 300X büyütme SEM görüntüsü.....	88



**Sayfa**

Şekil 6. 100. 100° matkap ucunun 500X büyütme SEM görüntüsü..... 89

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. PEEK polimerinin özellikleri.....	13
Çizelge 5.1. ETASİS ETAMILL VL 1000 freze tezgahı özellikleri.....	26
Çizelge 5.2. Çalışmada kullanılan işlem parametreleri.....	27

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Mg : magnezyum

Al : alüminyum

Cu : bakır

Zn : çinko

$\mu$  : mikron

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: alüminyum oksit

SiC : silisyum karbür

Mn : mangan

V : vanadyum

W : tungsten

Fd : delaminasyon faktörü

### KISALTMALAR

FML : Fiber Metal Laminate (Fiber Metal Lamine Kompozit)

PEEK : Poli Eter Eter Keton

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Gelişmekte olan dünyada uçaklar, uzay araçları, otomobiller ve diğer teknolojik olarak gelişmiş ürünler üretilmektedir. Anahtar hedeflerden biri, yakıt kullanımını ve egzoz emisyonlarını aynı anda düşürürken bunları hafifletmektir. Özellikle havacılık sektöründe faydalı ağırlık, hız ve menzilin artırılması hem son derece ciddi ihtiyaçlarda hem de faydalı iyileştirmelerde ulaşılmaya çalışılan bir çalışma konusudur. Başta havacılık olmak üzere havacılık ve otomotiv endüstrileri tarafından üretilen araçlarda istenen daha yüksek genel performans talebi, daha sağlam, daha dayanıklı ve güvenli araçlar yaratma gereksinimini beraberinde getiriyor. Bahsedilen endüstriler için bu kadar iyi özellikler sunabilen nadir malzemelerden biri olan kompozit malzemeler vazgeçilmezleri olmuştur.

Uçak ve havacılık endüstrileri, kompozit malzemelerin alt türü olan fiber metal lamine kompozitleri yapısal malzemeler olarak yaygın olarak kullanmaktadır. Ticari olarak temin edilebilen ve sektörde sıklıkla kullanılan malzemeler alüminyum matrisli ve fiber takviyeli kompozitlerdir. Bununla birlikte, farklı metal alaşımları veya fiber takviyeler kullanılarak lamine kompozit malzemelerin oluşturulması, ilerlemeye açık bir alan olarak çekiciliğini sürdürmeye devam etmektedir.

Bazen, toz metalurjisi teknikleri kullanılarak yapılan kompozitleri tamamlamak için ikinci bir üretim prosedürü gereklidir. İmalat işlemlerinde sıklıkla kullanılan tornalama, frezeleme ve delme gibi geleneksel talaş kaldırma teknikleridir. Talaş çıkarmanın en önemli yöntemlerinden biri, tüm yöntemlerin %33'ünü oluşturan delme işlemidir. Talaş kaldırma prosedürlerinin sonuncusu delme işlemidir. Delme, tornalama ve frezeleme işlemlerinin karşılaştırılması, kinematik ve dinamik yapılarının yakın olduğunu, talaş akışı ile kesme sıcaklığı dağılımının aynı olduğunu

ortaya koymaktadır. Ayrıca, delme esnasında bazen istenmeyen durumlar olabilir. Talaş oluşumu süreci kapalı gerçekleşir ve görünmez. Matkaptaki talaşların kalınlığı talaş akışını engelleyen tek şeydir. Takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeyi dikkate almak çok önemlidir. Temel sorun, yüzeyden yayılan yeterli ısının olmaması ve dönme eksenini boyunca kesici kenar boyunca kesme hızının olmamasıdır. Sonuç olarak, delik kalitesi garanti edilmeli, gerekli yöntem doğruluğu tanımlanmalı ve matkap ve proses, makineye ve iş parçasına özel olarak uyarlanmalıdır. Bu faktörler, çok sayıda alet geometrisi ve malzemesinin geliştirilmesine yol açmıştır.

Bu çalışmanın amacı, matris olarak alüminyum levha, takviye elemanı olarak ise PEEK emprenye edilmiş dokuma karbon fiber pregreg kullanılarak fiber metal lamine kompozit malzemeler üretilmiştir. Ardından üretilen malzemelerin itme kuvveti ve tork sonuçları, delaminasyon ölçüm sonuçları, işlenmiş yüzeylerin, talaş yapılarının ve takım aşınmalarının incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar, literatür taraması ve deneysel çalışmalardır. Literatür taraması ve deneysel çalışmalar ayrı bölümlerde incelenmiştir. Bu çalışmaların ilk bölümü olan “Giriş” bölümünde çalışmanın genel bir görünümü verilmektedir. Kompozit malzemelerin genel özellikleri ikinci bölümde detaylı olarak ele alınmıştır. Ayrıca, kompozit malzemelerin sınıflandırılması da detaylı olarak verilmiştir. Üçüncü bölümde, fiber metal lamine kompozitler ve üretiminde kullanılan malzemeler anlatılmıştır. Talaşlı imalat, talaş kaldırmayı etkileyen faktörler, işlenebilirlik ve alüminyumun işlenebilirliği dördüncü bölümde ele alınmıştır. Yapılan deneyler beşinci bölümde anlatılmıştır. Çalışmanın altıncı bölümü, deneysel bulguları ve sonuçların ayrıntılı bir raporunu içermektedir. Araştırmanın genel sonuçları ise son bölüm olan yedinci bölümde verilmiştir.

## BÖLÜM 2

### KOMPOZİT MALZEMELER

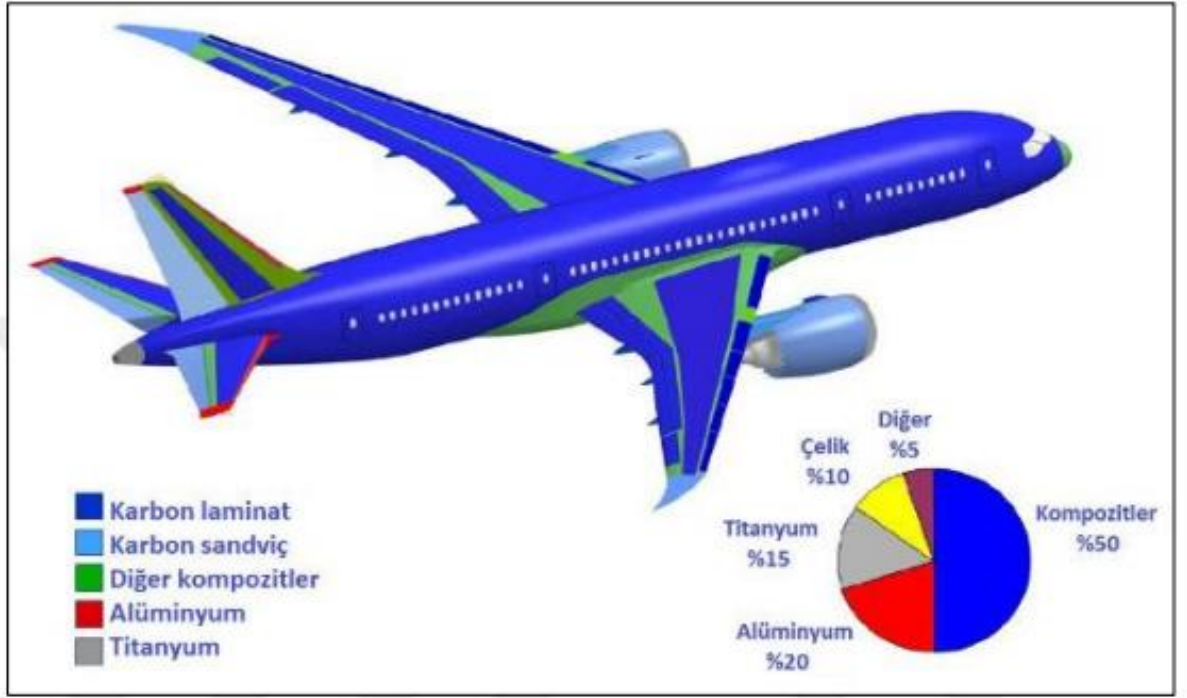
Malzeme bilimi, teknolojik ve sektörel gereksinimler bağlamında, özellikle havacılık, uzay ve otomotiv de artan teknik ve yapısal ihtiyaçlarla eş zamanlı olarak çok sayıda alt alana (metaller, polimerler, seramikler, kompozitler, nanokompozitler vb.) ayrılmak zorunda kalmıştır. Öte yandan kompozit malzemeler, bu gruplamalar içerisinde gelişime açık ve geniş bir uygulama alanına sahip bir alan olarak cazibesini korumaya devam etmektedir. Havacılık, uzay ve otomotiv gibi endüstri sektörleri, kompozit malzemelere yoğun ilgi göstermekte ve kendi yapılarında uygulama odaklı araştırmalarıyla son sürat ilerlemektedir [1].

Aynı tip veya farklı tipteki iki veya daha fazla malzemenin özelliklerini tek bir malzemede birleştirmek için kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Kompozit malzemeler kendisini oluşturan malzemelerin her birinden benzersiz niteliklere sahip makro düzeyde birleştirilmiş malzemeler olarak tanımlanır.

Kompozit malzemelerin yapısı, yüksek mukavemetli takviye fazı ve düşük dayanımlı matristen oluşur. Matris ve takviye fazları birbiriyle karışmaz veya çözülmez. Takviyenin görevi, matrisin mukavemet yönünü geliştirmek, matris için rijitlik sağlamak ve gelen yükü taşımaktır. Matrisin görevi, takviyeyi bir arada tutmak, desteklemek ve gerilmeyi takviye elemanına aktarmaktır[2].

Son zamanlarda, çok sayıda bilim insanı kompozit malzemeleri incelemeye ve araştırmaya başladılar. Havacılık sektöründeki askeri kullanımlar, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra, kompozitleri ticari olarak uygun hale getirdi. Kompozitlerdeki son gelişmeler, yapısal sistemlerin ağırlığını önemli ölçüde azaltmayı mümkün kılmıştır. Metal alaşımları ile karşılaştırıldığında, özellikle yüksek mukavemet ve özgül mukavemet (kuvvet/ağırlık) söz konusu olduğunda kompozit malzemelerin birçok

avantajı vardır. Ayrıca yapısal uygulamalar için olağanüstü korozyon direnci ve yorulma özellikleri sunarlar. Tüm bu faydaları sayesinde kompozit yapılar son yıllarda havacılık sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [3-5]. Şekil 2.1’de kompozit malzemelerin kullanıldığı bir yolcu uçağının gövdesi sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Boeing 787 yolcu uçağı gövdesinde kompozit malzeme kullanımı[6].

## 2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeler matris ve takviye fazlarından oluşmaktadır. Amaçlanan uygulamaları için kompozitler üretilirken, çok çeşitli şekillerde birleştirilebilen bu matris ve takviye sistemi en iyi kombinasyonları bulmayı mümkün kılar. Kompozit malzemeler, takviye ve matris bileşenlerine göre sınıflandırılabilir [7,8].

Kompozit malzemeleri ilk olarak matris tipine göre sınıflandırabiliriz. Matris tipine göre kompozitler;

- Metal matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Polimer matrisli kompozitler

Olarak üç ana gruba ayrılmaktadır.

Takviye tipine göre kompozit malzemeler ise;

- Fiber takviyeli kompozitler
- Parçacık takviyeli kompozitler
- Yapısal kompozitler

Olarak üç ana gruba ayrılmaktadır [9,10]. Bu çalışmada yapısal kompozitler kategorisine giren fiber metal lamine kompozitler esas alındığından kompozit malzemeler, takviye tipine göre daha detaylı olarak anlatılacaktır.

### **2.1.1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler**

Fiber takviyeli kompozit malzemeler olarak bilinen bir kompozit sınıfı, takviye elemanları olarak farklı lifler (sürekli veya süreksiz) kullanır. Nispeten zayıf çekme, eğilme ve darbe dayanımı gibi matrisin mekanik özelliklerini iyileştirmek için, kompozit malzemeler için fiber takviyesi çok önemlidir. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, matris/fiber oranı ideal bir seviyede tasarlanırsa büyük ölçüde iyileşir. Fakat matrisin fiberleri güvenli bir şekilde bir arada tutma yeteneği, fiber oranı belirli bir noktanın üzerine çıktıkça azalarak gerekli niteliklerin elde edilmesini zorlaştıracaktır [11-13].

Kompozit malzemelerin performansı, matrise takviye edilen liflerin fiziksel özelliklerinden (çap, uzunluk vb.) çok etkilenir. Örneğin kullanılan elyaf demetlerinin çapı azaldıkça matris fazı ile arayüzey etkileşimi miktarı daha güçlü olacak ve mukavemet buna bağlı olarak artacaktır. Fiber takviye, kompozit malzemelerin tasarımında en önemli unsurlardan biridir. Çünkü matris içerisine takviye edilen fiberler çatlak önleyici olarak hizmet ederler. Kompozit malzemede oluşan çatlak matris boyunca ilerleyebilir ancak fiber demetleriyle karşılaştığında ilerleyemez veya yön değiştirir [11,14,15].



### **2.1.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler**

Kimyasal olarak farklı bir matrisin, matristen daha sert bir takviye fazı ile fiziksel olarak karıştırılması sonucunda partikül takviyeli kompozit malzemeler elde edilirler. Parçacık takviyeli kompozitlerin en basit örneklerinden biri, agregaların bir çimento matrisine takviye edilmesiyle yapılan betondur. Mukavemeti artırmaya ek olarak, matris parçacık takviyesinin ana amacı, elektriksel, termal ve tribolojik özellikleri geliştirmektir [11,15].

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerin oluşturulması için matrisin ve takviye fazının uyumu çok önemlidir. Matris ve takviye fazı yeterli arayüzey niteliklerine sahip olamıyorsa, takviye fazı kompozit malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Bu nedenle, çok sayıda akademik çalışma ve pratik uygulama, takviye edilecek fazlara yüzey işlemleri uygulanmasına veya çeşitli teknikler kullanılarak matrisin ıslatma kabiliyetinin artırılmasına odaklanmıştır [11,16].

### **2.1.3. Yapısal Kompozit Malzemeler**

Yapısal kompozit malzemeler olarak bilinen kompleks malzemeler genellikle kompozit malzemedan yapılmış bir iç katmana ve monolitik ve homojen bir dış katmana sahiptir. Bu kompozit malzeme sınıfındaki nihai kompozit malzemenin özellikleri, yalnızca kendisini oluşturan parçaların özelliklerine değil, aynı zamanda bu parçaların geometrik olarak nasıl düzenlendiğine de bağlıdır. Lamine kompozitler ve sandviç kompozitler olmak üzere yapısal kompozit malzemeler iki ana kategoriye ayrılır [17].

## BÖLÜM 3

### FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİTLER

Çeşitli endüstriyel sektörlerin birincil amacı, yapısal bileşenlerin ağırlığını fiber metal lamine kompozitler, mevcut yapı malzemelerine kıyasla azaltmaktır. Bu temel amacın bir sonucu olarak, temel yapısal bileşenler için fiber kompozitlerin uygulama alanları genişlemiştir. Yepyeni bir hafif malzeme sınıfı olan fiber metal lamine kompozitler bu amaç göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Yapısal kompozit malzemeler grubunun bir alt sınıfı olan tabakalı kompozit malzemeler sınıfına aittir ve performansı nedeniyle kapsamlı araştırmaların odak noktası olmuştur [18-20].

Spesifik dayanım, ağırlık ve maliyet, endüstriyel ve yapısal uygulamaların çoğu için malzeme seçiminde çok önemli faktörlerdir. "Fiber metal lamine kompozitler (FML)" fiber takviyeli bir plastik tabakayı sandviçleyen iki metal tabakadan oluşur. Genel olarak alüminyum, magnezyum veya titanyum kullanılan metallerdir. Cam, karbon ve aramid elyaf takviyeli kompozit, elyaf takviyeli tabakayı oluşturur. Tipik kompozit lamineyle karşılaştırıldığında, fiber metal lamine kompozitler, yüksek korozyon direnci ve büyük mukavemet/ağırlık oranı gibi üstün mekanik özellikler sunar [21,22]. Şekil 3.1'de fiber metal lamine kompozitlerin sembolik görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.1. Fiber metal lamine kompozitin sembolik görüntüsü [19].

### 3.1. FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİTLERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

FML'lerin avantajları şunlardır;

- FML' ler yapılarındaki fiberler, kompozitin herhangi bir yerinde başlayabilen çatlakların yayılmasını engeller ve köprüleme görevi gördükleri için yüksek yorulma direnci gösterirler [23,24].
- Yüksek yük taşıma mukavemetine sahip monolitik metal plakalar ve yüksek mukavemet ve sertliğe sahip fiberler sayesinde, FML'ler yüksek mukavemetli yapısal malzemeler olarak kullanılır [23-25].
- FML'ler konvansiyonel alüminyum alaşımlarından daha dayanıklıdır. FML'ler, darbe deformasyon tespiti ve muayenesinin kolay olması nedeniyle onarım işlemleri açısından diğer kompozit malzemelere göre bir avantaja sahiptir [26,27].
- Alüminyum dış katmanların bariyer etkisi nedeniyle, FML kompozitlerinde nem emilimi polimer kompozitlere göre daha yavaştır. Ek olarak, FML'lerin içindeki çeşitli alüminyum katmanlar arasında bulunan prepreg katmanları, nem bariyerleri olarak hizmet edebilir [3,24].
- FML'ler olağanüstü nem ve korozyon direnci sayesinde, metalik veya kompozit yapılarla karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha az bozunur [23].

- Mevcut metalik yapılarla karşılaştırıldığında, FML'ler önemli bir ağırlık tasarrufu sunar. Ek olarak, bir bileşeni oluşturmak için gereken parça miktarı, aynı metal alaşımından yapılmış bir bileşeni oluşturmak için gereken miktardan önemli ölçüde daha az olabilir. Bu gibi durumlarda önemli ölçüde iş gücü tasarrufu sağlayabilir [28].
- FML'ler, yüksek yorulma dirençleri nedeniyle daha az onarım ve daha uzun bakım aralıkları gerektirir. Bu avantajlar sayesinde FML'lerin bakım maliyetleri azalır [29].

FML'lerin dezavantajları ise şunlardır:

- Epoksi bazlı fiber metal laminatların ana dezavantajı, kompozit katmanlardaki matrisi sertleştirmek için gereken uzun işlem döngüsüdür. Bu uzun süreli kurlenme süresi, üretim döngüsünü uzatır ve verimliliği düşürür [5,23,25].
- Kompozit malzemenin fiyatı, üretim sürecinin karışık olması ve pahalı ham bileşenler nedeniyle artmaktadır [30,31].
- Monolitik metal malzemelerle karşılaştırıldığında, geri dönüştürülebilirlikleri daha zordur [32,33].
- Metallere kıyasla şekillendirilebilirliği ve kaynaklanabilirliği, daha zayıftır [34,35].

## **3.2. FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER**

Bu çalışmada, matris elemanı olarak 0,8 mm kalınlığında 2024-T3 alüminyum levha kullanılarak fiber metal lamine kompozitler yapılmıştır. Metal matris elemanları arasına, bir takviye fazı olarak karbon fiber eklenmiştir. Karbon fiber, PEEK ile işlem görerek sonucunda lamine kompozit malzeme üretilmiştir.

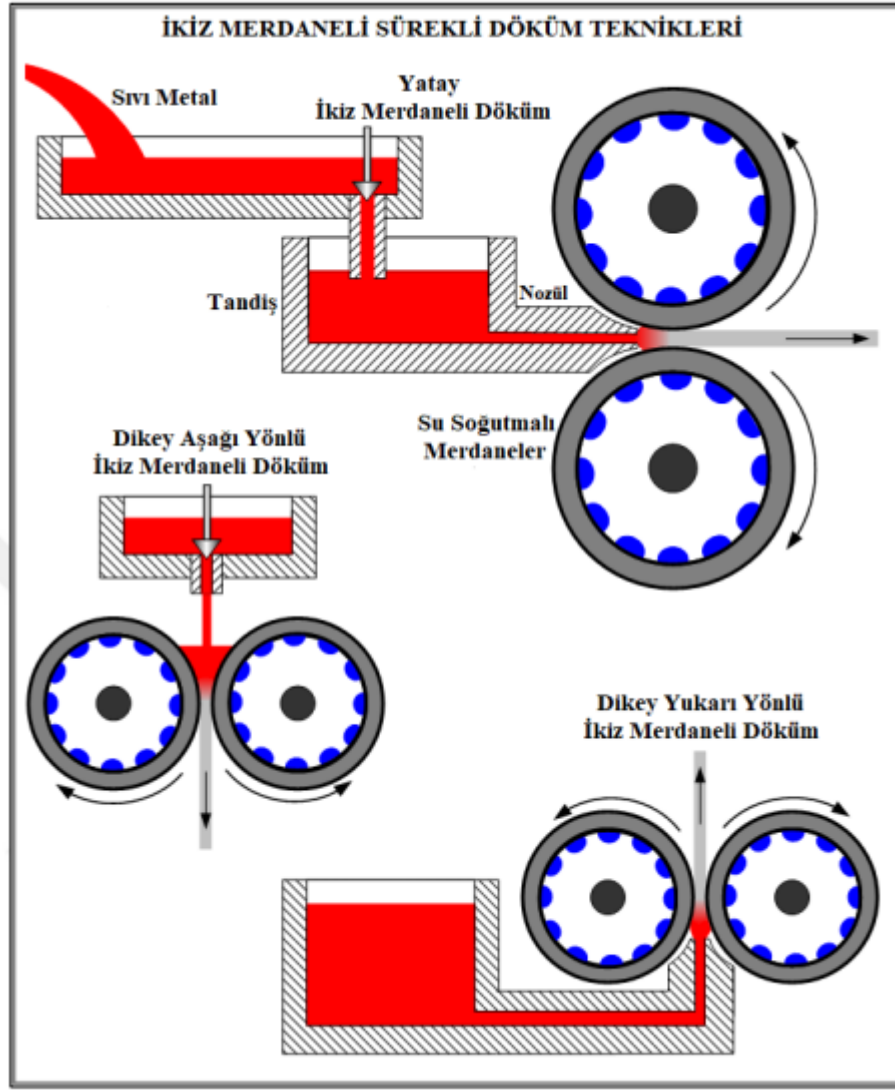
### **3.2.1. 2024-T3 Alüminyum Alaşımı ve Özellikleri**

Havacılık ve uzay sektörlerinde sıklıkla kullanılan Al-Cu-Mg alaşımları, diğer niteliklerinin yanı sıra güvenceli kırılma tokluğu, geliştirilmiş kısa enine özellikleri,

oldukça yüksek mukavemeti ve güçlü korozyon direnci gerektiren uçak üretim uygulamaları ile öne çıkıyor [36,37]. Örneğin, Al-Cu-Mg alaşım grubunun en popüler serisi olan 2024-T3 alüminyum levhalar, öncelikli olarak uçak konstrüksiyonlarında, özellikle sürekli gerilmelere maruz kalan kanat ve gövde yapılarında kullanılmaktadır. Sürünme yaşlandırma işlemi sırasında oluşan çökeltiiler nedeniyle alaşım olağanüstü özelliklere sahiptir [38,39].

2024 alüminyum alaşımında ana alaşım bileşeni olarak bakır bulunmaktadır. Yüksek özgül mukavemet ve üstün yorulma direnci gerektiren uygulamalar da kullanım alanı bulmaktadır. Orta düzeyde işlenebilirliğe sahiptir ve sadece sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Zayıf korozyon direncinden dolayı koruma için sıklıkla alüminyum veya Al 1Zn ile kaplanır, ancak bu prosedür yorulma mukavemetini azaltabilir. 2024 alüminyum alaşımı 500 °C'de erir, 2.78 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa, %30 IACS elektrik iletkenliğine ve 73 GPa'lık bir Young modülüne sahiptir [40]. 2024 alüminyum alaşımı yaklaşık %4,3-4,5 bakır, %0,5-0,6 manganez, %1,3-1,5 magnezyum ve yüzde yarısından daha az silikon, çinko, nikel, krom, kurşun ve bizmut içerir [41-43].

ALUSEM Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'den alınan 0,8 mm kalınlığında olan 2024-T3 alüminyum levha bu çalışmada kullanılmıştır. Alüminyum levhalar, ikiz merdaneli döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. İki hadde merdanesi kullanılarak sıvı metal hızla soğutulur, ezilir ve levha formuna dönüştürülür. Şekil 3.2, bu tekniğin sembolik görselini göstermektedir.



Şekil 3.2. İkiz merdaneli sürekli döküm yönteminin sembolik gösterimi [44].

### 3.2.2. Karbon Fiber ve Özellikleri

Karbon atomları, karbon fiberleri oluşturmak için uzun bir zincirde birleşir. Ortaya çıkan 5 ila 10  $\mu$  çapa sahip ancak inanılmaz derecede sert, güçlü ve hafif olan karbon fiberler, çeşitli yapılar için ideal yapı malzemeleri oluşturur. İplik, tek yönlü, dokuma ve şerit formu dahil olmak üzere kompozit parçalar yapmak için kullanılabilir. Birkaç farklı karbon fiber malzeme formu vardır. Karbon fiber bileşeni, çeliğe benzer mekanik özelliklere ve plastiğe benzer bir ağırlığa sahiptir. Sonuç olarak, bir karbon fiber parça, bir çelik veya plastik bileşenden çok daha yüksek bir mukavemet/ağırlık oranına ve ayrıca daha yüksek bir sertlik/ağırlık oranına sahiptir [45].

### 3.2.3. Polietereterketon (PEEK) ve Özellikleri

Isıtıldığında yumuşayan ve soğutulduğunda bir kez daha sertleşen termoplastik reçineler, tipik olarak termoset reçinelerden daha sünek ve dayanıklıdır. Termoplastik reçineler, dolgu ve takviye eklenmeden yapısal ve yapısal olmayan uygulamalar için kullanılabilir. Termoplastikler ısıtılarak eritilebilir ve soğutulmuş olarak katılaştırılabilirler. Bu onları tekrar tekrar şekillendirmeyi mümkün kılar. Çapraz bağlanmadıkları için termoplastik moleküller esnektir ve yeniden düzenlenebilirler [46].

Poliyeten, polipropilen, polyester, naylon, polikarbonat, polieterimid, poli (fenilen sülfür) ve polietereterketon (PEEK) en popüler ve iyi bilinen termoplastik polimerlerdir [46]. Tekrarlayan bir keton ve iki eter grubundan oluşan polieter eter keton (PEEK) polimeri, yalnızca karbon, hidrojen ve oksijen atomları içeren yapısından dolayı tamamen aromatik, çok kararlı, lineer bir yapıya sahiptir [47].

PEEK, termal, kimyasal ve yanma özelliklerinin performansta çok önemli bir rol oynadığı uygulamalar için olağanüstü niteliklere sahip yarı kristal, 260 °C yüksek sıcaklığa dayanıklı bir termoplastiktir. Çizelge 3.1, PEEK'in özelliklerini göstermektedir. PEEK ayrıca aleve maruz kaldığında çok az zararlı dumanlar yayar. Bu malzeme büyük bir sürünme direncine sahiptir ve güçlü, sağlam ve dayanıklıdır. Otomotiv, denizcilik, nükleer, petrol, elektronik, tıp ve havacılık endüstrileri, uygulamalarından sadece birkaçıdır [46].

Çizelge 3.1. PEEK polimerinin özellikleri [47].

<b>Özgül ağırlık</b>	1.26-1.32 g/cm <sup>3</sup>
<b>Başlangıç modülü</b>	3.6 GPa
<b>Kopma mukavemeti</b>	90-100 MPa
<b>Kopma anındaki uzama</b>	% 50
<b>Nem geri kazanımı</b>	% 0.1
<b>Dielektrik kuvveti</b>	190 kV/cm
<b>Özdirenç</b>	5.10 <sup>16</sup> ohm.cm
<b>Isı sığası</b>	134 kJ/kgC°
<b>Isıl iletkenliği</b>	0.25 W/m/C°
<b>Isıl genleşme katsayısı</b>	72-85 10 <sup>-6</sup> (C°) <sup>-1</sup>



## BÖLÜM 4

### TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

#### 4.1. TALAŞLI İMALAT

Belirli bir ölçülere sahip bir parça oluşturabilmek için malzemenin iş parçasından (hammaddeden) keskin bir alet ve kuvvet kullanılarak uzaklaştırılması işlemine talaş kaldırma denir. Talaş, ayrılan malzeme için kullanılan terimdir. Sürtünme, ısı üretimi, talaş kırılması ve büzülme, iş parçası yüzeyinin sertliği ve takım ucundaki aşınmanın bir sonucu olarak talaş kaldırma, elastik ve plastik deformasyona dayalı karmaşık bir fiziksel olgudur [48].

Talaş kaldırma işlemleri 7 ana sınıfa ayrılır. Bunlar; taşlama ve tığ çekme, frezeleme, tornalama, testere ile kesme, delme ve delik büyütme, vargelleme/planyalamadır. [49].

#### 4.2. TALAŞ KALDIRMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yüksek verimlilikle üretim yapabilmek için üretim sırasında en iyi işleme koşullarının sunulması gerekir. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği parametrelerinin talaş kaldırma işleminde, takım ömrüne ve talaş kaldırma miktarına etkisi büyüktür. Elastik ve plastik deformasyona dayalı karmaşık bir fiziksel olay olan talaş kaldırma işleminde iş malzemesinin yüzeyi sertleşir, talaş meydana gelir, kırılır ve kesici takım ucu aşınır ve kırılır [48].

##### 4.2.1 Takım Geometrisi

Hepsi birbirinden çok farklı görünse de, tüm aletlerin kesici ve tutturma olmak üzere iki bileşeni vardır. Tüm aletler için keskin uç, ağız veya diş olarak da bilinen kesici kısım ortogonal olarak gösterilebilir. Takımın kama şeklindeki kesici kısmı, parçanın

işlenmiş yüzeyine ve talaşın temas ettiği talaş yüzüne bakan serbest yüzeyde mevcuttur. Takım ucu, bu iki yüzeyin kesiştiği noktadır. Kesme özelliğini belirleyen takım, parçanın işlenmiş yüzeyini ve ona dik bir çizgiyi koordinat sistemi olarak kullanır. Bu durumda, üç açı vardır: kesme parçasının talaş açısı ( $\gamma$ ), kama açısı ( $\beta$ ) ve yan taraf ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasındaki serbest açı ( $\alpha$ ). Ek olarak, eğik kesmede takım ağzı, eğim açısı ( $\lambda$ ) olarak bilinen kesme hızının yönü ile başka bir açı yapar. Dik kesim yaparken bu açı  $0^\circ$ 'dir [48]. Kayma açısı, kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasında oluşan açı bu açılardan en önemlisidir. Kayma açısı değiştikçe, bunun talaş kalınlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu dik kesme işleminde boşluk açısı, kama açısı ve talaş açısı toplamı her zaman  $90^\circ$ 'ye eşit olmalıdır.

#### **4.2.2. Kesme Hızı**

Talaş kaldırma sırasında kesme takımının dönen iş parçası üzerinde metre/dakika olarak kat ettiği mesafe kesme hızıdır. Talaş kaldırma sırasında kullanılması gereken kesme hızını belirleyen değişkenler arasında kesici takım malzemesi, kesme derinliği, ilerleme hızı, soğutma sıvısı ve tezgah rijitliği bulunur. Genel bir kural olarak, önceki testlerden yararlanarak uygun kesme hızının seçilmesi, en iyi kesme koşullarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken en önemli unsurdur. Kesme hızı çok düşük ayarlanırsa çok az parça üretilebilir ve bu hızlarda takım ucunda talaş sıvanması mümkündür. Böyle bir durumda takım değiştirmek gerekebilir. Bununla birlikte, kesme hızı çok yüksek ayarlanırsa, takım hızla bozulur ve sık sık takım değiştirmeyi gerektirir. Kesici takım ömrünü talaş kaldırma ile dengelemek için her talaş kaldırma prosedürü için en iyi kesme hızı belirlenmelidir [49].

#### **4.2.3. Kesme Kuvveti**

Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ısı üretimi, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde büyük etkisi vardır. Takım tezgahlarının, kesme aletlerinin ve uygun sıkıştırma kalıplarının tasarımında kesme kuvvetleri de dikkate alınır [12].

#### **4.2.4. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı**

Farklı kesme koşullarının sonuçları işlenmiş bir iş parçası üzerindeyse, torna tezgahı işlenecek malzeme için uygun hıza ayarlanır. İlerleme hızı belirlenir ve minimum kesme derinliği de (genellikle ilerleme hızının 10 katı olarak kabul edilir) seçilir [12]. En derin talaş ve en yavaş ilerleme hızı, uygun ilerleme hızı ve kesme derinliği dikkate alındıktan sonra seçilir. Bunlar, kesme hızından daha az önemli bir etkiye sahip oldukları için takım ömrünü daha az oranda kısaltacaktır. Optimum ilerleme oranları için kesici takım ömrü ve talaş kaldırma oranı dengelenmelidir [12].

#### **4.2.5. Titreşimin Etkisi**

Titreşim, kesici takım ile iş parçası arasında sabit bir bağıl titreşim olduğundan, kesici takım ömrü ve işlenen yüzeyin kalitesi üzerinde zararlı bir etkiye sahiptir. Talaş kaldırma sırasında, zorlamalı titreşim ve kendiliğinden oluşan titreşim meydana gelir. Kendiliğinden doğan titreşim talaş kaldırmadan kaynaklanırken, zorlamalı titreşim tezgahın mekanik hareketlerinden kaynaklanır. Genel olarak, kesme hızı arttığında kesme kuvvetleri azalır ve bu da kendiliğinden titreşimin oluşmasına yol açar.

### **4.3. İŞLENEBİLİRLİK**

"İşlenebilirlik" terimi, iş parçasının işlenebilirliğini ve diğer ayırt edici özelliklerini ifade eder. İşlenebilirlik, araştırılması zor bir konudur. Genel olarak işlenebilirlik, belirtilen kesme koşullarına hem bu kesme koşuluna uygun bir kesici takım kullanılarak bir malzemenin ne kadar kolay işlenebileceğini ifade eder. İşlenebilirlik, malzeme sertliği ve mukavemeti, takım ömrü, talaş boşaltma kolyalığı, takım sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü dahil olmak üzere çeşitli kriterler kullanılarak değerlendirilir [50].

İşlenebilirliğin farklı bir tanımı, belirlenmiş koşullar altında işlenecek malzemenin kalitesini temsil eder [51,52].

### 4.3.1. İşlenme Kabiliyeti

İşlenebilirliğin genel tanımı, terimin adından da anlaşılacağı gibi, belirli bir iş parçası malzemesinin ne kadar kolay işlenebileceğidir. İşlenebilirlik, işleme parametrelerine bağlı olarak değişse de, aynı işleme parametrelerini kullanırken birkaç malzemeyi karşılaştırmak mümkündür. İşlenebilirlik kabiliyetini belirlemek için aşağıdaki faktörler çok önemlidir:

1. Belirli kesme koşulları altında kesme hızı veya belirli kesme koşulları altında kesici takım ömrünün uzunluğu. Bu durumda, kesme hızı ne kadar hızlı veya takım ömrü ne kadar uzun olursa o malzemenin işlenebilirliği o derece iyi olduğu kabul edilir.
2. Kesme kuvvetinin büyüklüğü veya güç tüketimi. Bir iş parçası belirli kesme koşulları altında ne kadar az kesme kuvveti veya güç tüketimiyle işlenebiliyorsa, o iş parçasının işlenebilirliği o derece iyi olduğu kabul edilir.
3. İş parçası üzerinde oluşan yüzey pürüzlülüğü derecesi. Bu durumda, belirli kesme koşulları altında malzemenin yüzey düzgünlüğü ne kadar iyi ise, malzemenin işlenebilirliği o kadar iyi olur.

Takım ömrü veya kesme hızı olan ilk madde, bu maddelerden en önemlisidir. Bununla birlikte, kesme kuvveti ve güç kullanımının da önemli bir etkisi vardır. Belirli bir iş parçası işlendiğinde, talaş kaldırma parametreleri takım ömrünü, güç kullanımını ve yüzey kalitesini etkiler [53].

#### 4.3.1.1. İş Parçasının Özelliklerinin İşlenebilirliğe Etkisi

İşlenebilirliği ele almak ve işleme koşullarını optimize etmek için yaygın olarak kullanılan iş parçası araştırılırken, temel malzeme nitelikleri ve bunların işlenebilirlik üzerindeki etkilerine ilk olarak bakılmalıdır [54].

##### 1- Malzeme Yapısı

Bazı yapı türleri aşındırıcı niteliklere sahip olduğu için malzemenin mukavemeti de yapı tipine göre değişmektedir. Örneğin, çeliklerde aşındırıcı element karbürdür. Miktarları ve şekilleri, malzeme nitelikleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Yapı, karbon ve diğer alaşım maddelerinin miktarından hemen etkilenir. Karbon

çeliklerindeki en önemli alaşım bileşeni olan karbon, çok çeşitli yapılar üretmek için değişen miktarlarda mevcut olabilir. Çeliklerde östenit dışında üç faz tanımlanmıştır ve bu fazlar işlenebilirlik üzerinde anında bir etkiye sahiptir. Sementit, perlit ve ferrit bu fazlardır [54].

#### 2- Sertlik ve Dayanım

Genel olarak, sertlik ve mukavemet için daha düşük olan değerler tercih edilir. Bu, zayıf yüzey kalitesine, çapak oluşumuna ve sınırlı takım ömrüne neden olan talaş oluşumuyla ilgili sorunları olan aşırı sünek malzemeler için geçerli değildir. Bu tür malzemelerde sertliği artırmak için soğuk çekme işlemi faydalı bir sonuç sağlar [55].

#### 3- Süneklik

Daha düşük süneklik seviyeleri tipik olarak tercih edilir. Talaş kaldırma enerjisi açısından etkili ve talaş oluşturma açısından elverişlidir. İyi işlenebilirlik elde etmek için sertlik ve süneklik arasında ortak bir nokta bulunmalıdır [54].

#### 4- Isıl İletkenlik

Yüksek oranda ısı iletkenlik talaşlı imalat sırasında meydana gelen ısının hızlı bir şekilde kesim yapılan bölgeden uzaklaşması anlamına gelir. Bu olaya talaş kaldırma perspektifinden baktığımızda, sıklıkla yardımcı olur [56].

#### 5- Pekleşme

Plastik deformasyondan sonra metallerin değeri değişen oranlarda artar. Deformasyon derecesi ve malzemenin sertleşme kapasitesi bu mukavemetin ne kadar arttığını etkiler. Yüksek pekleşme oranı, deformasyon oranındaki artışa bağlı olarak hızlı bir dayanım artışını ifade eder [54].

#### 6- Alaşım Elementi

Malzemelerin özellikleri, alaşım bileşenlerinden önemli ölçüde etkilenir. Alüminyum Oksit ( $Al_2O_3$ ), Silisyum Karbon (SiC), Mangan (Mn), Vanadyum (V), Bakır (Cu), Tungsten (W) ve Niyobyum (Nb) birkaç alaşım elementidir. İşlenebilirlik, alaşım bileşenlerinden büyük ölçüde etkilenir. İş parçasının kimyasal analizi bir iş parçasının işlenebilirliği hakkında önemli bilgileri verir [55].

### 4.3.2. Alüminyumun İşlenebilirliği

Saf alüminyum yumuşaktır ve son derece mukavemeti de düşüktür. Sonuç olarak oldukça kısıtlı bir kullanım alanına sahiptir. Sadece alaşımlama yapılarak

alüminyumun mekanik özellikleri artırılabilir. Korozyon direnci iyileştirilir ve alaşımlama yoluyla ısıl işleme uygun hale getirilir. Alüminyum sıcak veya soğuk olarak işlemek rahat olsa da, talaş ve makine işçiliği oldukça zordur. İşleme sırasında yüksek hız ve özel takımlar gereklidir [57].

Alüminyum alaşımları yüksek kesme hızlarında kullanılır, iyi işlenebilirliğe sahiptir ve genellikle işleme sıcaklıkları düşüktür. Bazı talaşlı imalat işlemleri sırasında talaş kontrolü için özel tedbirler gerekebilir. Kesme işlemi, net ve özel olması gereken geometrik açıları içerir. Alüminyumun işlenmesini kolaylaştırmak için tipik olarak özel uçlar kullanılır. Ancak standart takımlarla da kolayca işlenebilir. Sert ve kaba parçacıklara sahip alüminyum alaşımları önemli aşınma oranlarına sahiptir. Bu tür alaşımlar elmas uçlu kesiciler kullanılarak işlenmektedir. Alüminyum alaşımlarının işlenmesi için özel olarak tasarlanmış keskin, kaplamasız sinterlenmiş karbürden yapılmış kesici takımlar mükemmel işleme kapasitesi sağlar [58].

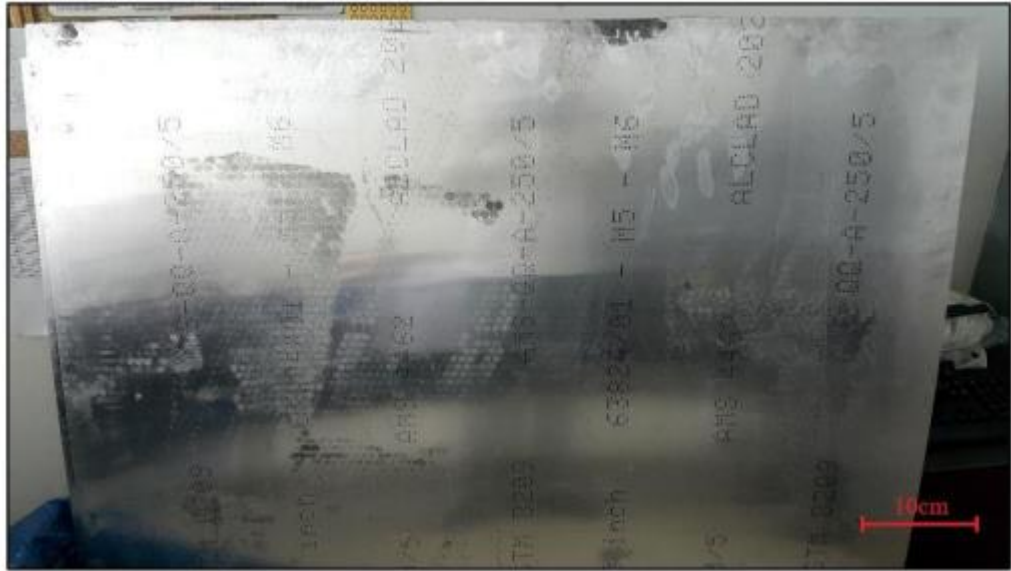
## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1. FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER

##### 5.1.1. 2024-T3 Alüminyum Levha

Bu çalışma için 2024-T3 kalite alüminyum levha 0,8 mm kalınlığında ve ALUSEM Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'den alınmıştır. 1200x3600 mm ölçülerinde alınan alüminyum levha istenilen ölçülerde (10x10 cm) kesilerek kullanılmıştır. Şekil 5.1, numuneleri üretmek için kullanılan alüminyum levhayı göstermektedir.



Şekil 5.1. Fiber metal lamine üretiminde kullanılan 2024-T3 alüminyum levha.

### 5.1.2. PEEK Emprenye Edilmiş Dokuma Karbon Fiber Prepreg

PEEK emprenye edilmiş dokuma karbon fiber kumaş prepregler Mir-Arge A.Ş. pilot tesislerinde üretilmiştir. 5 Harness Saten dokuma tipine sahip ve 3K ipliklerden oluşan dokuma karbon elyaf kumaşın alan ağırlığı 285 gr/m<sup>2</sup>'dir. Bu kumaştan üretilen PEEK emprenyeli prepregin (Şekil 5.2) ise elyaf hacim oranı % 55 ve alan ağırlığı 587 gr/m<sup>2</sup> dir.

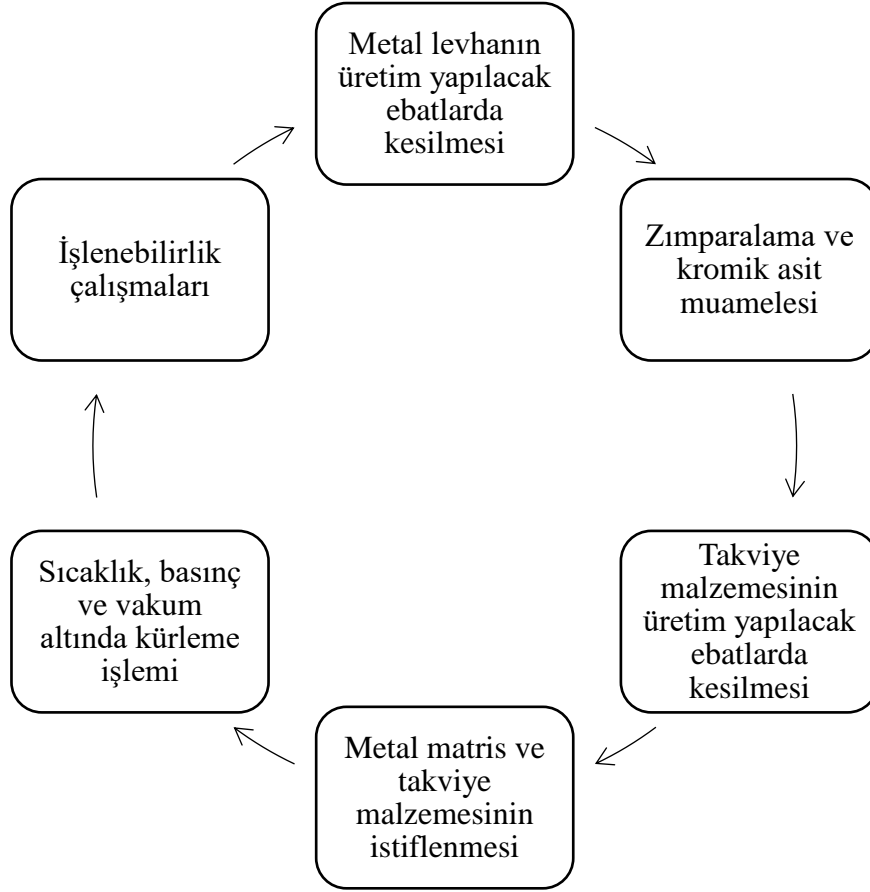


Şekil 5.2. PEEK emprenye edilmiş dokuma karbon fiber prepreg görüntüsü.

### 5.2. FİBER METAL LAMİNE KOMPOZİTLER'İN ÜRETİMİ

Bu çalışmada matris olarak 2024-T3 alüminyum plaka ve takviye olarak PEEK emprenye edilmiş dokuma karbon fiber prepreg kullanılarak numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. FML üretim prosesinin genel şeması ise Şekil 5.3'de görülmektedir.

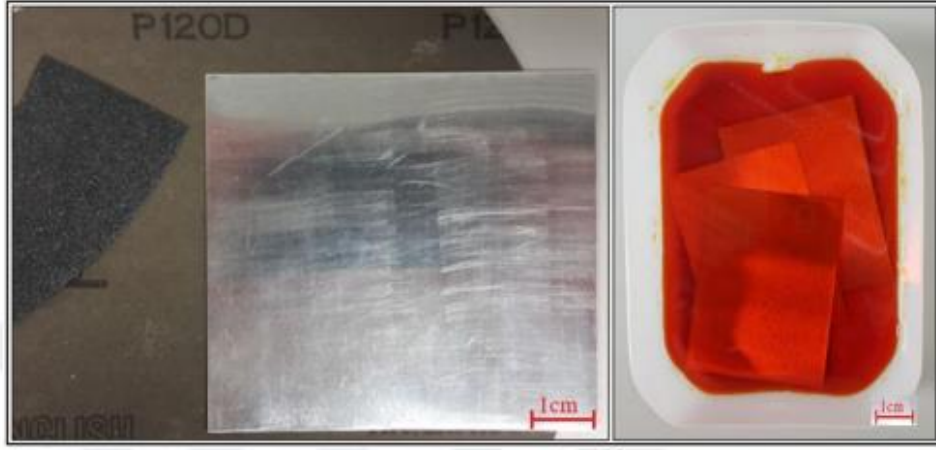




Şekil 5.3. FML' lerin genel üretim kademeleri.

### 5.2.1. Metal Levhaların Yüzey Hazırlıkları

Bu çalışmada 0,8 mm kalınlığında 2024-T3 alüminyum levha kullanılmıştır. Laminasyon işleminden önce metal levhalar bazı yüzey işlemlerinden geçirilmelidir. Çünkü yüzeyde kalan yağ, kalıntı vb. giderilmezse laminasyon prosedürü sorunlu hale gelebilir. Fiber metal laminelerin laminasyon işleminden önce, yüzey pürüzlülüğünü arttırmak ve adhezif yapışma mekanizmasını iyileştirmek için metal plakaların yüzeyleri 120'lik zımpara kağıdı ile zımparalanmıştır. Metal plaka zımparalandıktan sonra saf su ve etanol ile yıkandı ve sonra kurutuldu. Bu prosedürlerin ardından, alüminyum plakalar, yüzeylerinde hala mevcut olabilecek yağ ve kir gibi kalıntıları gidermek için %7'lik kromik asit solüsyonunda 30 dakikalık bir bekletme işlemine tabi tutuldu. Plakalar daha sonra tekrar sırasıyla saf su ve etanol ile temizlenerek kurutuldu. Şekil 5.4 bu prosedürleri göstermektedir.



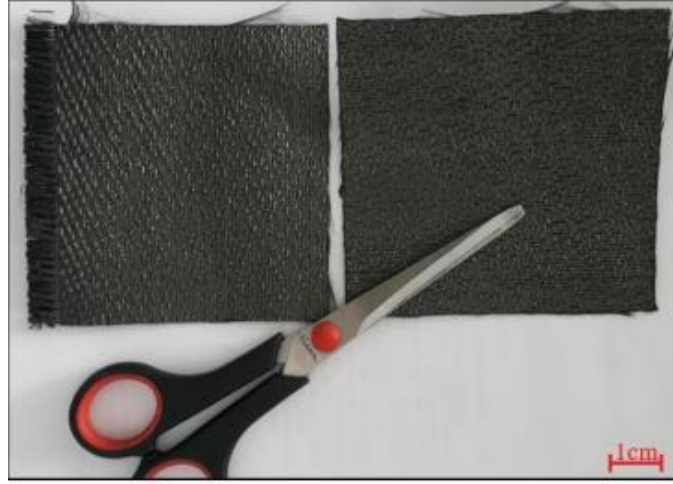
Şekil 5.4. Metal plakaların yüzey işlemleri.

### 5.2.2. Shot Peening İşlemi

Bu çalışmada kullanılan alüminyum levhaların PEEK reçineyle ara yüzey kalitelerini arttırmak için, shot peening prosedürünün metal levhalara uygulanması tercih edilmiştir. Eskişehir 1. Hava İkmal ve Bakım Komutanlığı'nda size:6 cam tozuyla 30 psi basınç, 10 sn süre, ve 0,18 mm intensity parametreleri kullanılarak metal levhalar shot peening işlemine tabi tutulmuştur. Fiber metal laminenin en dış 2 katmanını oluşturan metal levhaların iç yüzeyleri ile orta tabakayı oluşturan levhaların her iki yüzeyi de bu teknik uygulanmıştır.

### 5.2.3. Laminasyon Öncesi Takviye Elemanlarının Hazırlanması

PEEK emprenye edilmiş karbon fiber prepreg olarak alındığı için bu prepreglere laminasyon işleminden önce makas ile 10x10 cm ebatlarında kesme işlemi (Şekil 5.5) yapılmıştır.



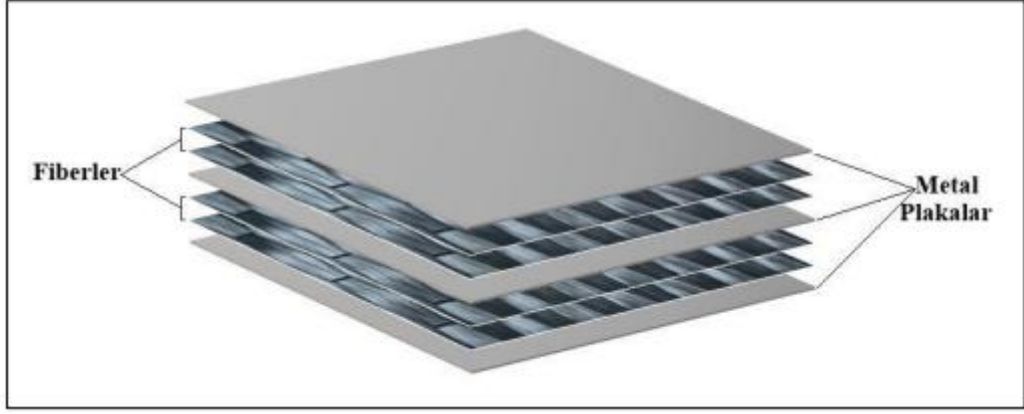
Şekil 5.5. Laminasyon işlemi için hazırlanan PEEK emprenyeli dokuma karbon fiber prepeg.

#### 5.2.4. Laminasyon İşlemi

Laminasyon işlemi öncesi tüm aşamalar tamamlandıktan sonra bu çalışmada kullanılan genel numune üretim istif sırası 3/2 yani metal/fiber/metal/fiber/metal şeklindedir. Sıcak presleme cihazının koçları arasında kalacak sıkıştırma aparatının üzerine soyma kumaşı serilerek ilk kat metal plaka (2024-T3) yerleştirilmiştir.

Daha sonra PEEK emprenyeli prepegler yerleştirildi. Daha sonra ikinci bir metal plaka koyularak onunda üstüne PEEK emprenyeli prepegler yerleştirildi. Son metal plaka da yerleştirilmiş ve üstüne soyma kumaşı ve sıkıştırma ekipmanı koyularak, istif laminasyona hazır hale getirilmiştir. Şekil 5.6, hazırlanmış bir istifin sembolik temsilini göstermektedir. Dokuma karbon fiber + PEEK 2'şer kat olacak şekilde istiflenmiştir.

Hazırlanan FML istifleri, sıcak presleme cihazında (Şekil 5.7) PEEK reçineli FML istifleri 475 °C sıcaklıkta ve 1.5 ton basınç altında 3 saat süreyle kürleme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.6. Bir FML istifinin sembolik gösterimi.



Şekil 5.7. FML'lerin üretildiği sıcak pres cihazı.

### 5.2.5. İşlenebilirlik Deneyleri

Bu tezde üretilen fiber metal lamine kompozitlerin işlenebilirlik parametrelerini belirlemek için üç farklı uç açısı, üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme hızı ile deneyler yapılmıştır. Delme işlemlerinde kullanılan farklı parametrelerin etkileri değerlendirilmiştir.

### 5.2.5.1. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Üretilen FML kompozitlerin işlenebilirlik testleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü CNC Atölyesinde ETASİS ETAMILL VL 1000 freze tezgahında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. ETASİS ETAMILL VL 1000 freze tezgahı

Kullanılan freze tezgâhına ait teknik özellikler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. ETASİS ETAMILL VL 1000 freze tezgahı özellikleri

<b>Tezgah adı</b>	ETASİS ETAMILL VL 1000
<b>Kontrol ünitesi</b>	SIEMENS 802 DSL
<b>Maksimum Devir Sayısı (dev/dk)</b>	8000
<b>İlerleme (mm/dk)</b>	36/25
<b>Tabla büyüklüğü</b>	1200*500
<b>Taşıma kapasitesi (ton)</b>	0.8

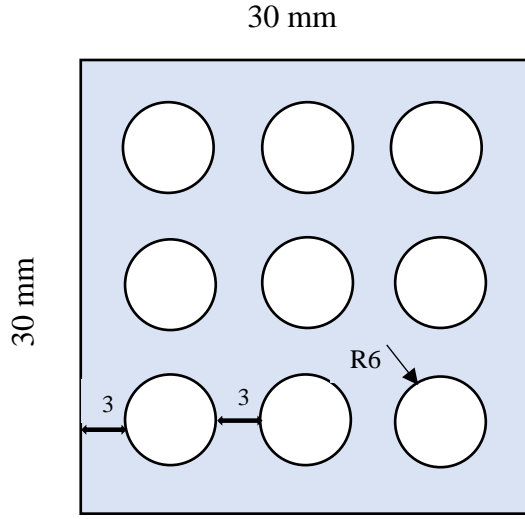
### 5.2.5.2 Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Delik delme deneylerinde kullanılan matkap uçları KARCAN A.Ş (Eskişehir/Türkiye) tarafından 3 farklı uç açısında (100°, 120° ve 138°) 6 mm çapında sinterlenmiş karbür çubuk malzemeden özel olarak üretilmiştir.

Çalışmada kullanılan işleme parametreleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

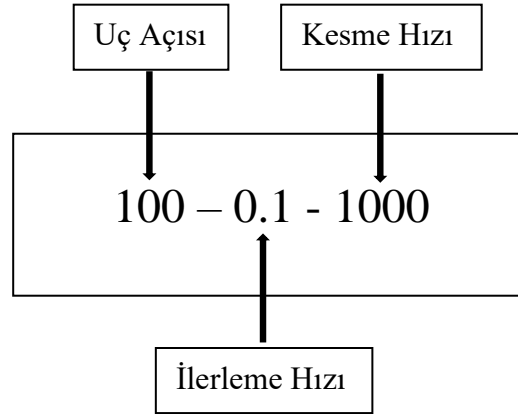
Çizelge 5. 2. Çalışmada kullanılan işlem parametreleri

Uç açısı	İlerleme Hızı	Kesme Hızı
100°	0.075	1000
	0.1	
	0.15	
120°	0.075	1250
	0.1	
	0.15	
138°	0.075	1500
	0.1	
	0.15	



Şekil 5.9. Kullanılan numune örneği ve delik sistemi

Deney sırasında kullanılan tüm iş parçaları ise, Şekil 5.9’da gösterildiği gibi, 30x30 boyutlarında kesilmiş ve delikler arası mesafe 3 mm olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 5.10. Deliklerin isimlendirilmesi

Şekil 5.10’da görüldüğü gibi delikler isimlendirilmiştir.

### 5.2.5.3. Kesme Kuvveti ve Delme Torku Ölçümü

Tez çalışması kapsamında üretilen hibrit kompozitler delik delme işlemine (Şekil 5.11) tabi tutulmuştur. Kompozit malzemeler delinirken parçaya etki eden kuvvetler ve torklar ölçülmüştür. Kesme Kuvveti ve Delme Torku Ölçümü için sayın tez danışmanım Doç.Dr. İsmail Esen ve Arş.Gör. Muhammed Mevlüt Karaca tarafından tasarlanan dinamometre kullanılmıştır.

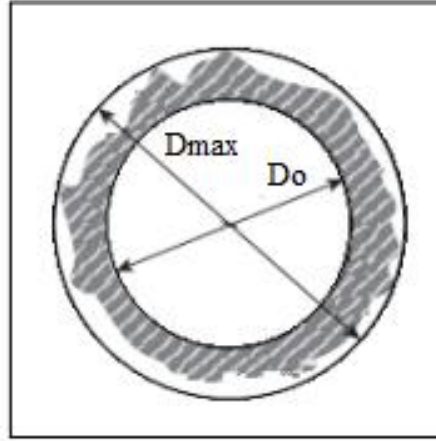


Şekil 5.11. Delik delme işleminin fotoğraf görüntüsü

#### 5.2.6. Delaminasyon Ölçümü

Delaminasyonun, kompozitin delme yönündeki mukavemet eksikliği nedeniyle, delinmiş malzemelerdeki başlıca başarısızlık biçimlerinden biri olduğu kabul edilmektedir. Delme işleminden sonra, her delinmiş deliğin etrafındaki delamine kısım, Optobul Scaler yazılımı kullanılmasıyla incelenmiştir. Şekil 5.12’de gösterildiği gibi delik bölgesi, delaminasyonlu ve ardından delaminasyonsuz bölgeler olarak gösterilmiştir.





Şekil 5.12. Maksimum delamine ve normal delik çaplarının ölçümü [60].

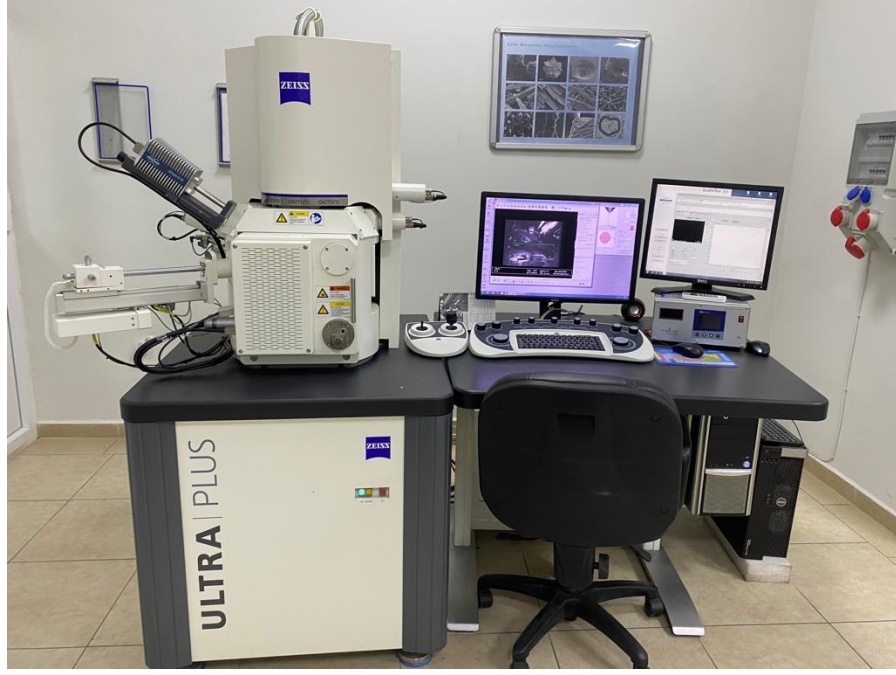
Bununla birlikte, hasarlı bölge genişlemesini sayısal olarak ifade eden faktörü ölçmek için hasarlı bölgenin nicelleştirilmesini yapmak mümkündür. Wen Chou Chen [59], lamine kompozitlerde sınırlandırma kapasitesinin incelenmesini ve analizini güçlendiren bir karşılaştırma faktörünü ortaya çıkardı. Bu oran delaminasyon faktörü ( $f_d$ ) olarak adlandırıldı ,  $D_{max}$  maksimum delamine çapı; ve  $D_0$  ise delik normal çapını temsil etmektedir. denklem 5.1'de gösterildiği gibidir.

$$f_d = \frac{D_{max}}{D_0} \quad (5.1)$$

Deliklerin delaminasyonunun ölçümleri alındıktan sonra delamine alanlar için SEM incelemesi yapmak amacıyla seçilen delikler kesildi.

### 5.2.7. İşlenmiş Yüzey, Takım aşınması ve Talaş Yapısının Görüntülenmesi

Delme işlemi sırasında elde edilen işlenmiş yüzeyleri ve talaş yapılarını incelemek için Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde olan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır (Şekil 5.13). Delmenin neden olduğu takım hasarlarının tespiti için takım yüzeyleri, optik mikroskop ile de incelenmiştir.



Şekil 5.13. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem SEM analiz cihazı

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL SONUÇLAR

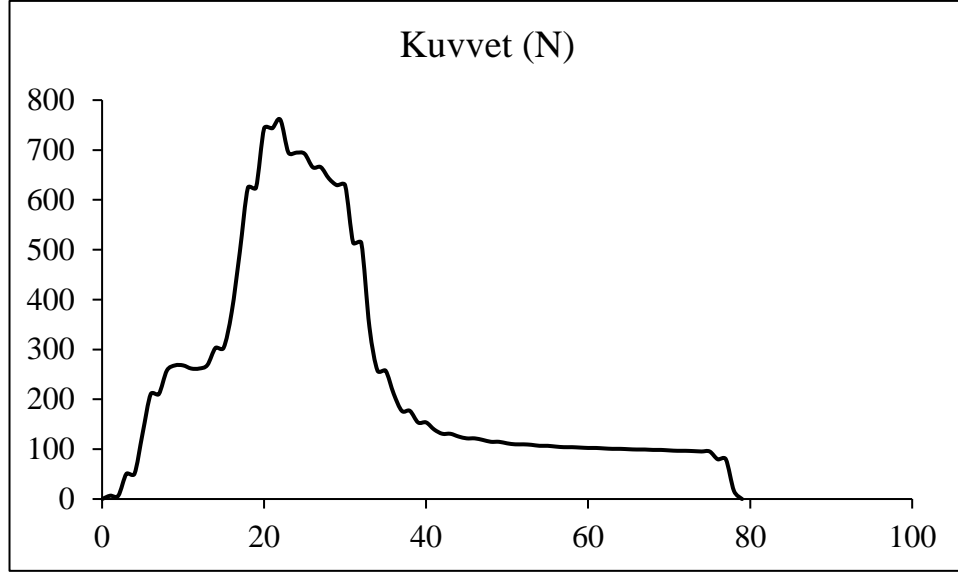
#### 6.1. DELME KUVVETİ VE TORK SONUÇLARI

Matkap ucu kesici kenarının tam kavrama aşaması için düşünülen her bir delik için delme sırasında yakalanan (N) cinsinden itme kuvveti değeri ve (N.m) cinsinden tork değerleri hesaplanmıştır.

Kompozitlerin delinmesi esnasında elde edilen grafiklerde ilk aşama, kuvvet ve torkun minimum değerler olduğu, kompozit malzemesine ilk matkap girişini ortaya koymaktadır. İkinci aşamada ise, kesici takım iş parçasına girer ve artan itme kuvveti ve torku gösteren delme işlemi başlar. Üçüncü aşamada ise matkap iş parçası malzemesinin içinden geçerek delme işlemi gerçekleştirilir. Dördüncü aşama da, takım kesme kenarı, maksimum değerlerle itme kuvveti ve torku iş parçası ile tam temas halinde olur. Beşinci aşama, itme kuvveti ve torktaki keskin düşüşü ortaya çıkaran matkabın numuneden çıkışını gösterir.

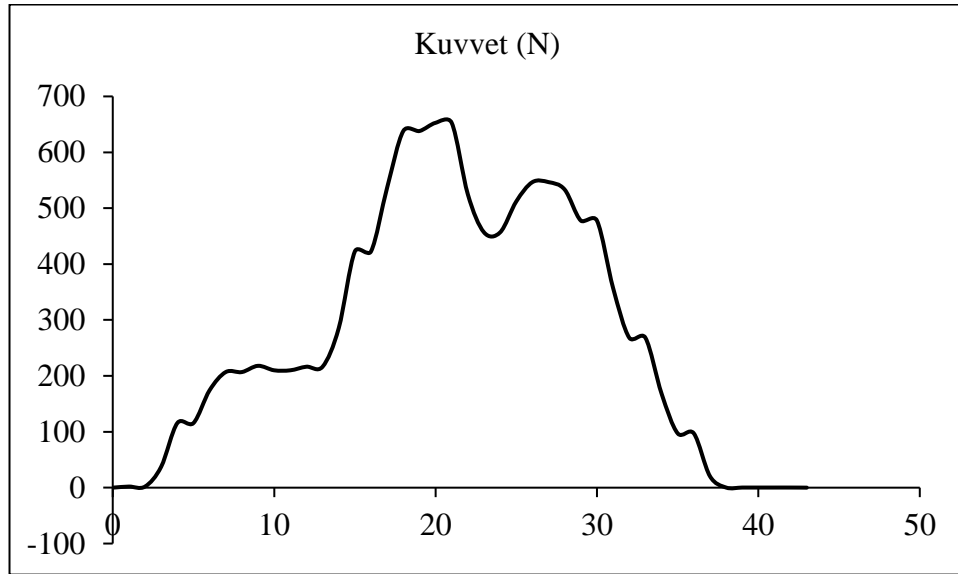
##### 6.1.1. Delme Kuvveti Sonuçları

Şekil 6.1–6.27’de 100°-120°-138° matkap ucuyla işlenen tüm delikler için hesaplanan delme kuvveti değerleri gösterilmektedir.



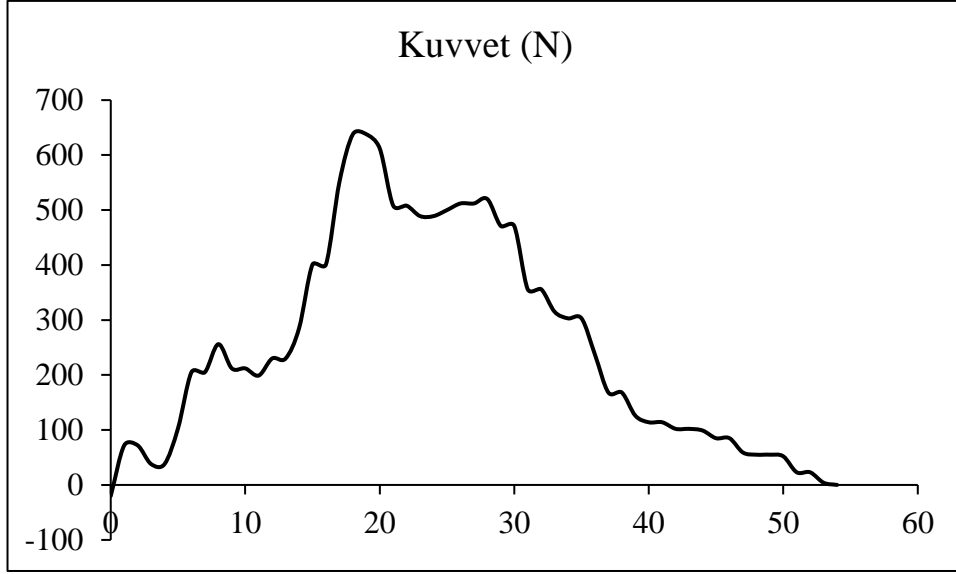
Şekil 6. 1. 100-0.1-1000 numaralı deliğin kuvvet

Şekil 6.1'e göre 100-0.1-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 760 N hesaplanmıştır.



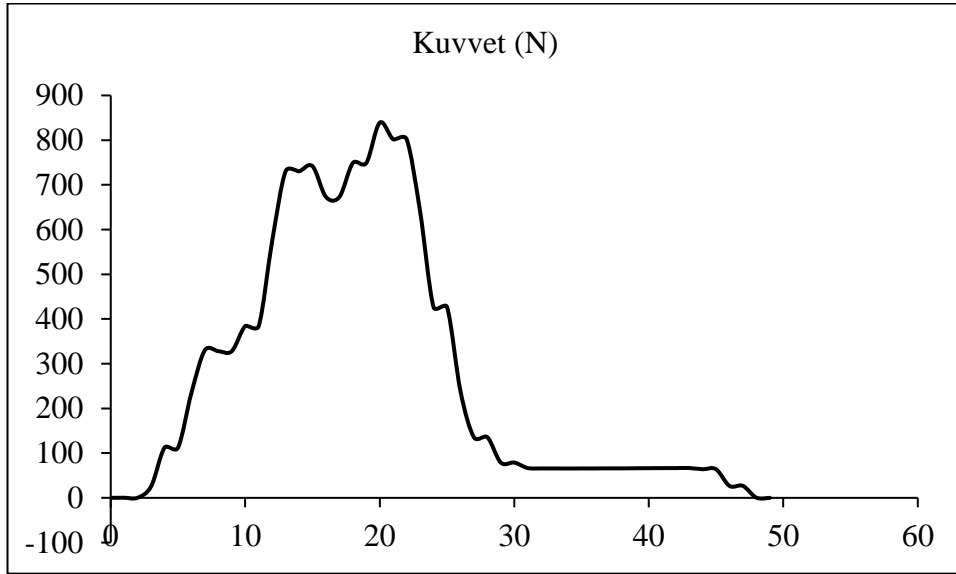
Şekil 6. 2. 100-0.1-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.2'ye göre 100-0.1-1250 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 660 N hesaplanmıştır.



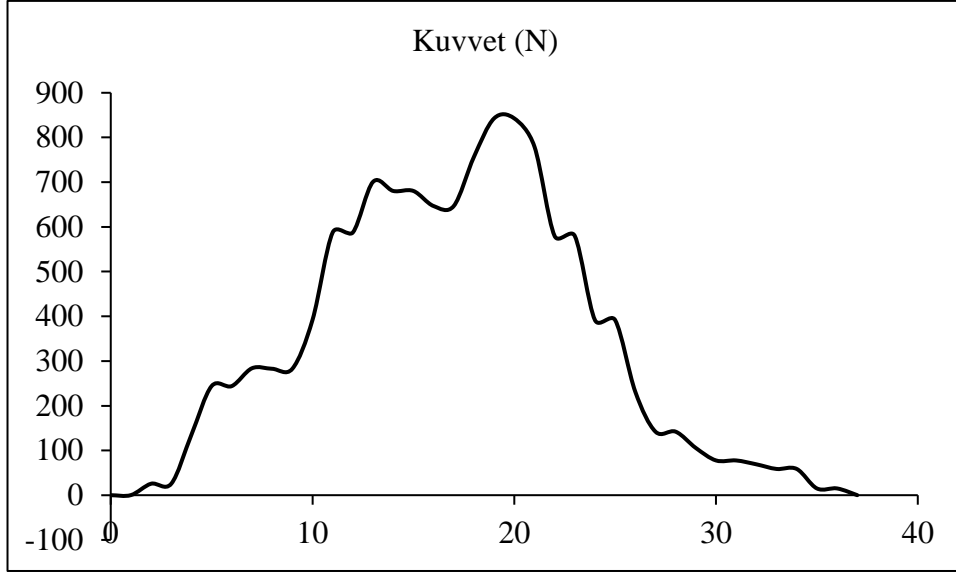
Şekil 6. 3. 100-0.1-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.3'e göre 100-0.1-1500 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 640 N hesaplanmıştır.



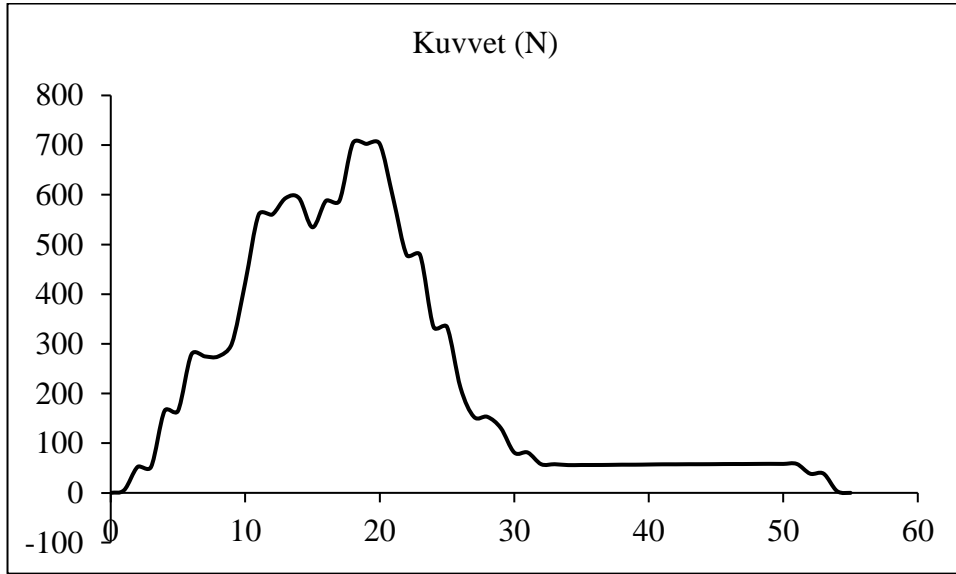
Şekil 6. 4. 100-0.15-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.4'e göre 100-0.15-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 840 N hesaplanmıştır.



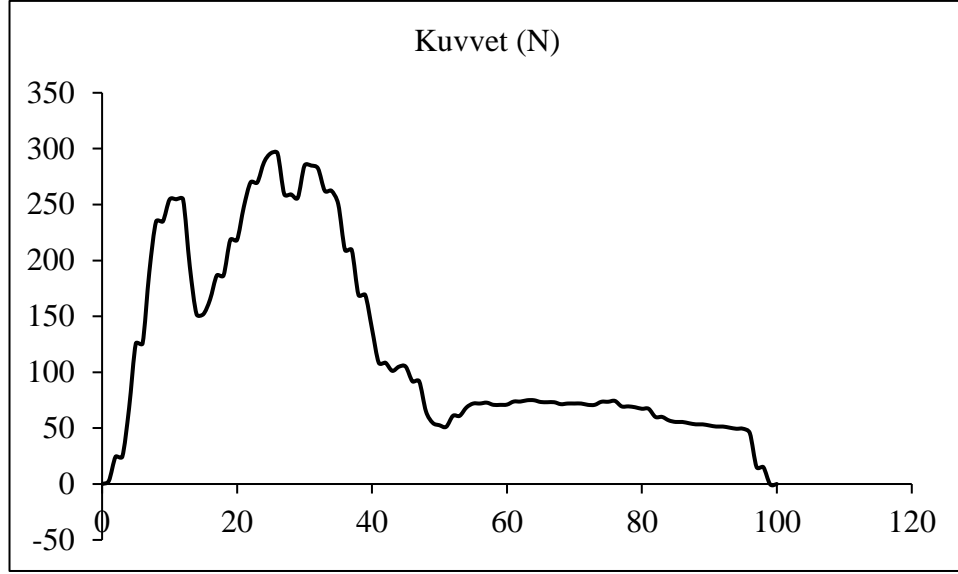
Şekil 6. 5. 100-0.15-1250 numaralı deliğın kuvvet grafiği

Şekil 6.5'e göre 100-0.15-1250 numaralı deliğın maksimum kuvvet değeri 855 N hesaplanmıştır.



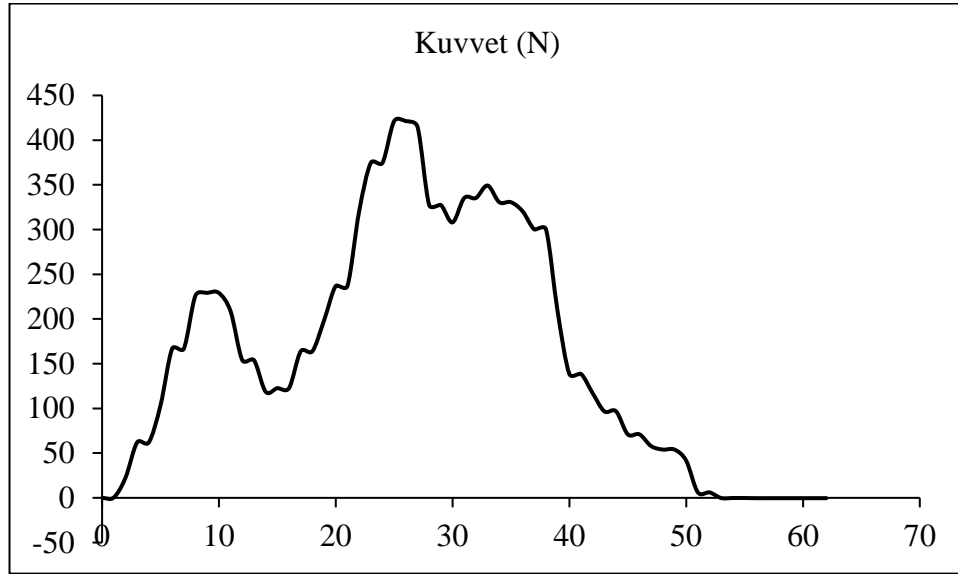
Şekil 6. 6. 100-0.15-1500 numaralı deliğın kuvvet grafiği

Şekil 6.6'ya göre 100-0.15-1500 numaralı deliğın maksimum kuvvet değeri 710 N hesaplanmıştır.



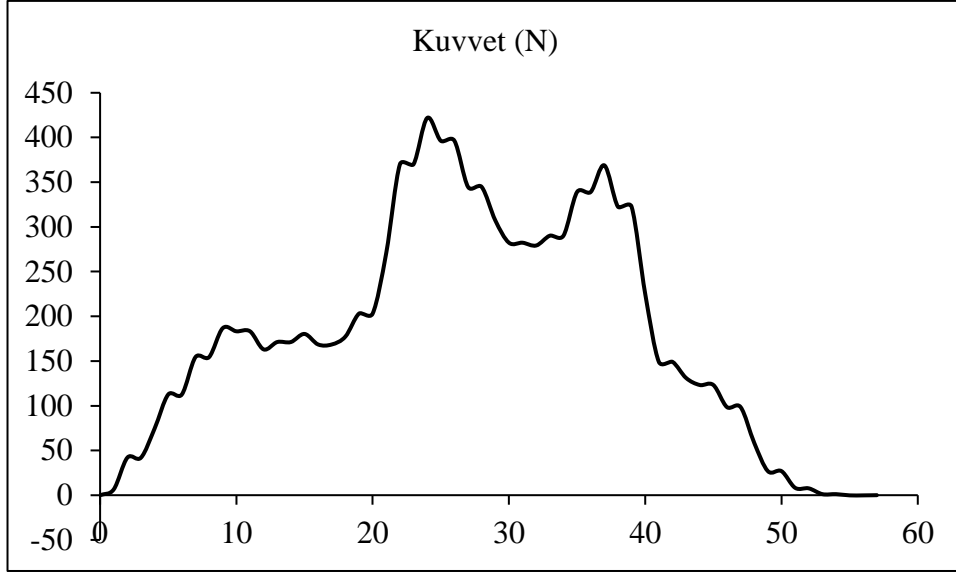
Şekil 6. 7. 100-0.075-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.7'ye göre 100-0.075-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 296 N hesaplanmıştır.



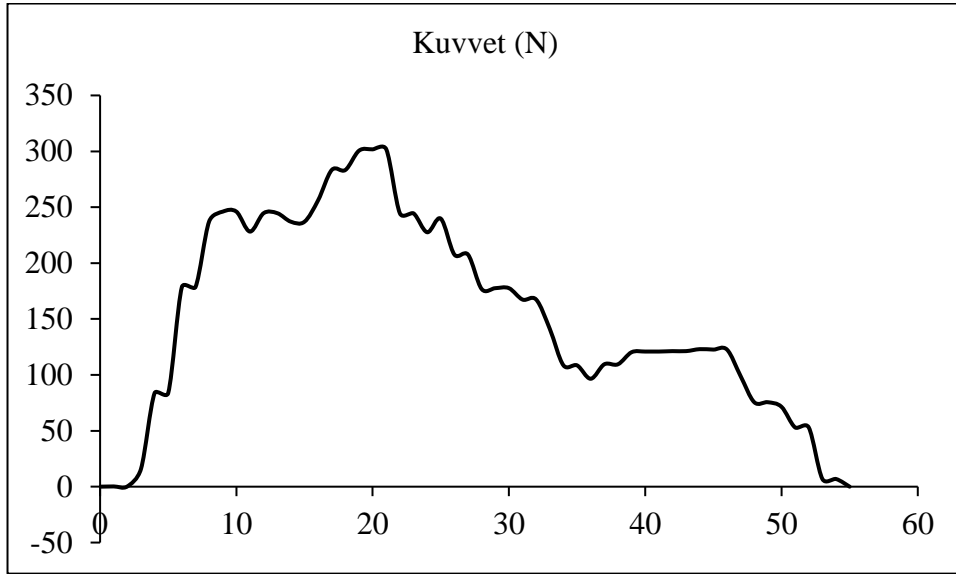
Şekil 6. 8. 100-0.075-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.8'e göre 100-0.075-1250 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 425 N hesaplanmıştır.



Şekil 6. 9. 100-0.075-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği

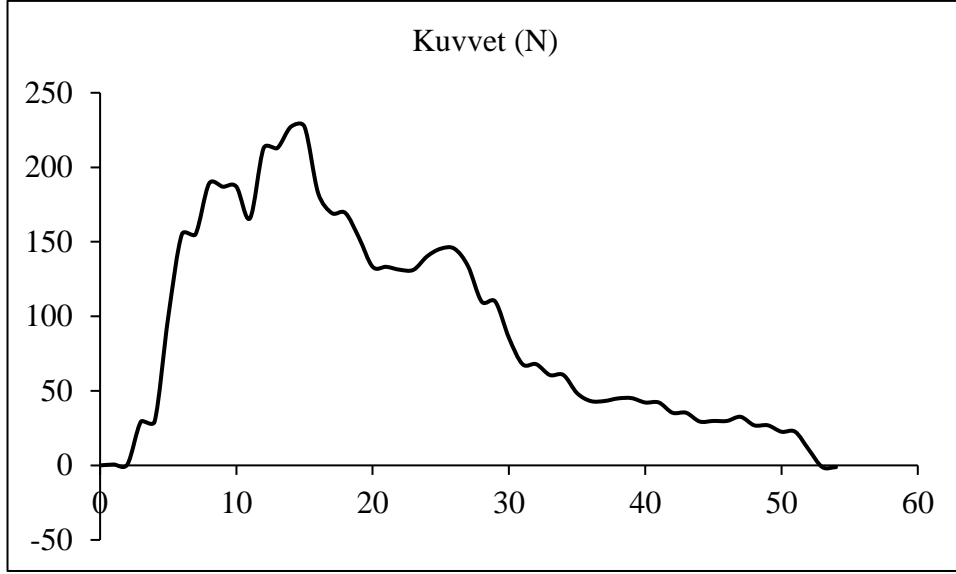
Şekil 6.9'a göre 100-0.075-1500 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 420 N hesaplanmıştır.



Şekil 6. 10. 120-0.1-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği

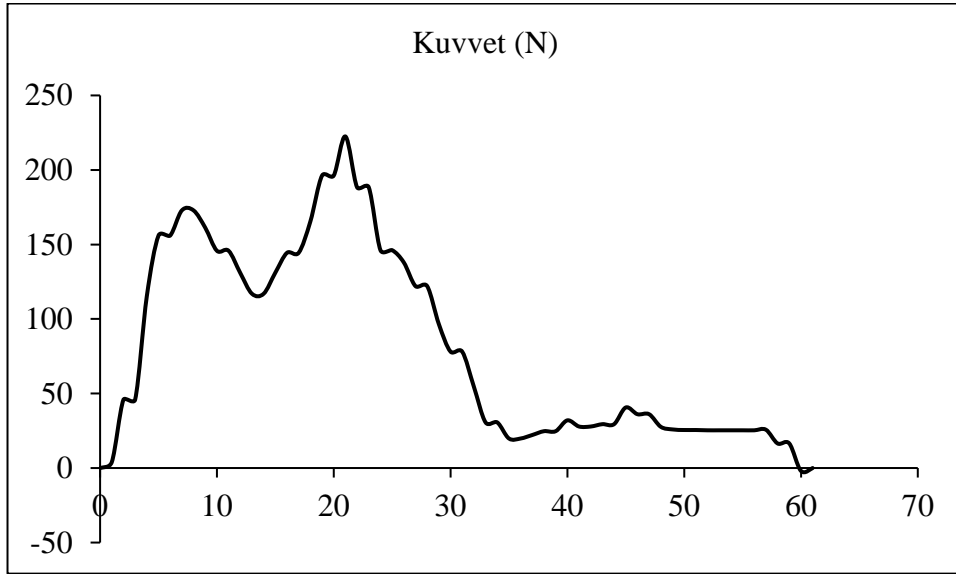
Şekil 6.10'a göre 120-0.1-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 300 N hesaplanmıştır.





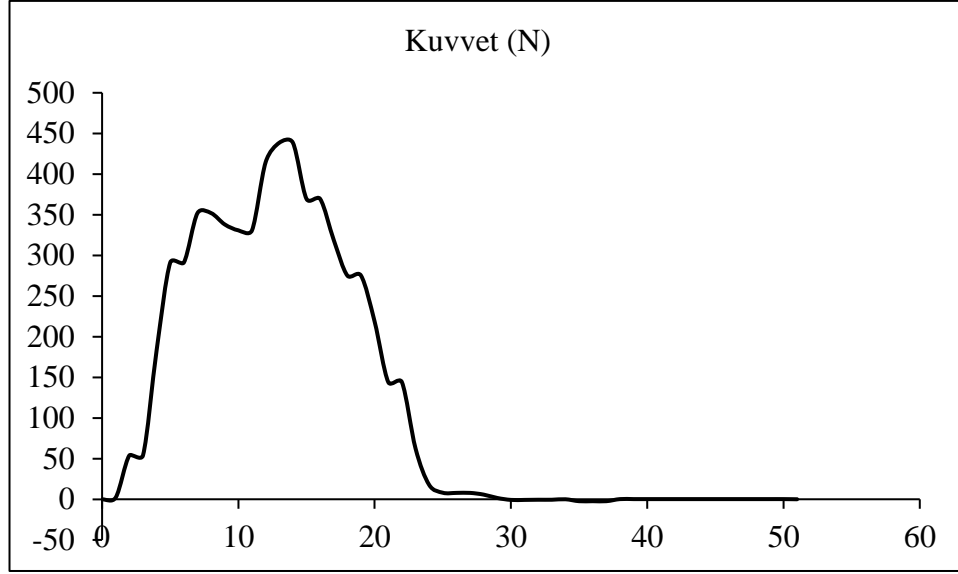
Şekil 6. 11. 120-0.1-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.11'e göre 120-0.1-1250 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 232 N hesaplanmıştır.



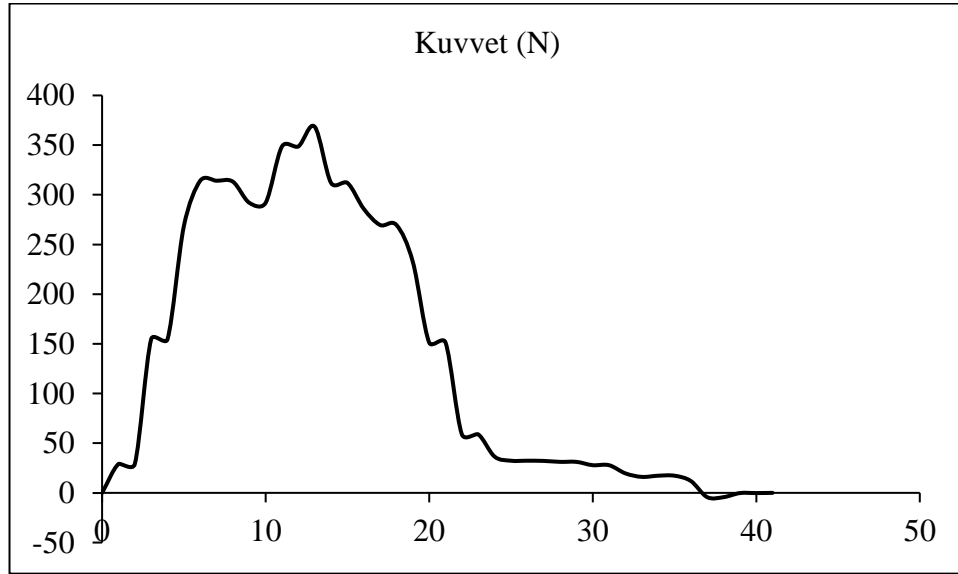
Şekil 6. 12. 120-0.1-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.12'ye göre 120-0.1-1500 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 225 N hesaplanmıştır.



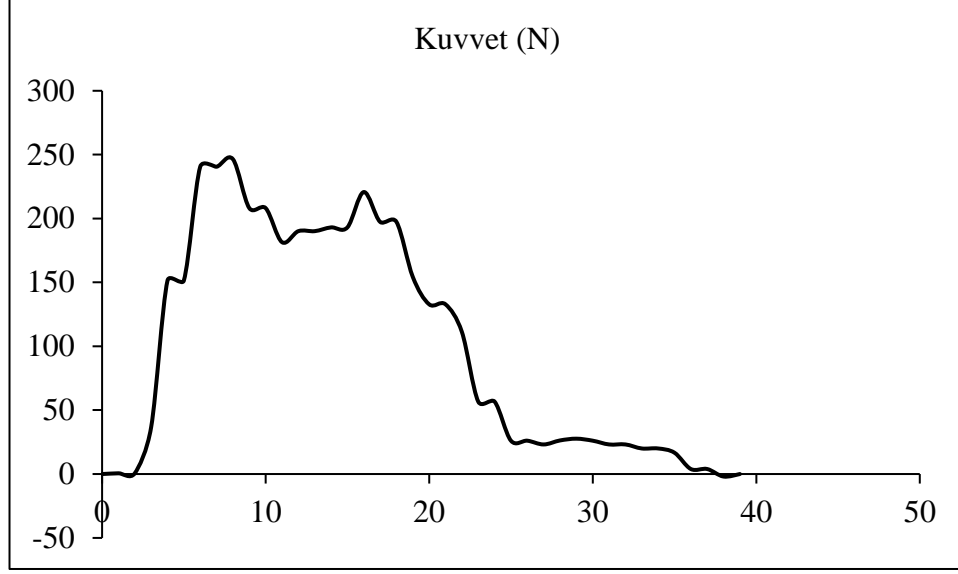
Şekil 6. 13. 120-0.15-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.13'e göre 120-0.15-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 440 N hesaplanmıştır.



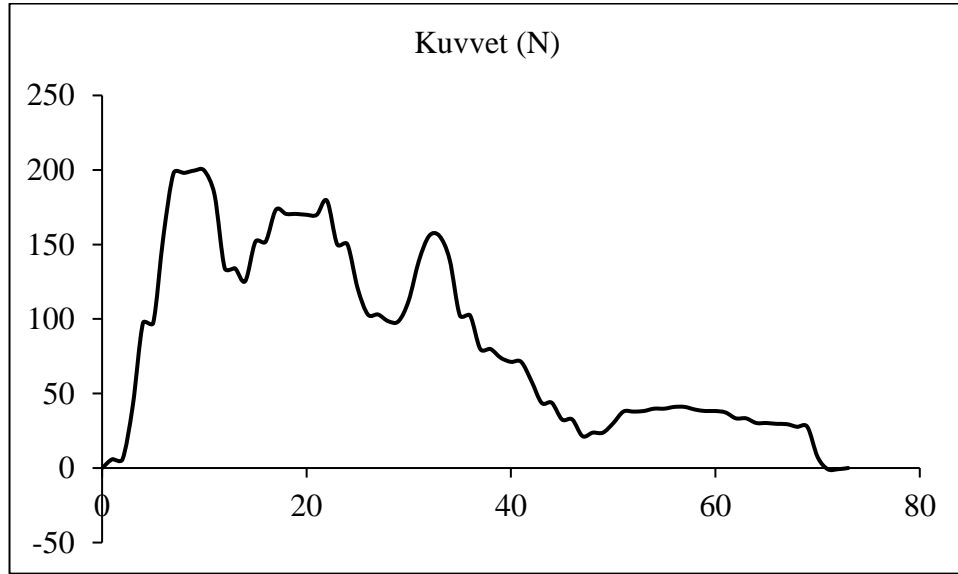
Şekil 6. 14. 120-0.15-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.14'e göre 120-0.15-1250 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 370 N hesaplanmıştır.



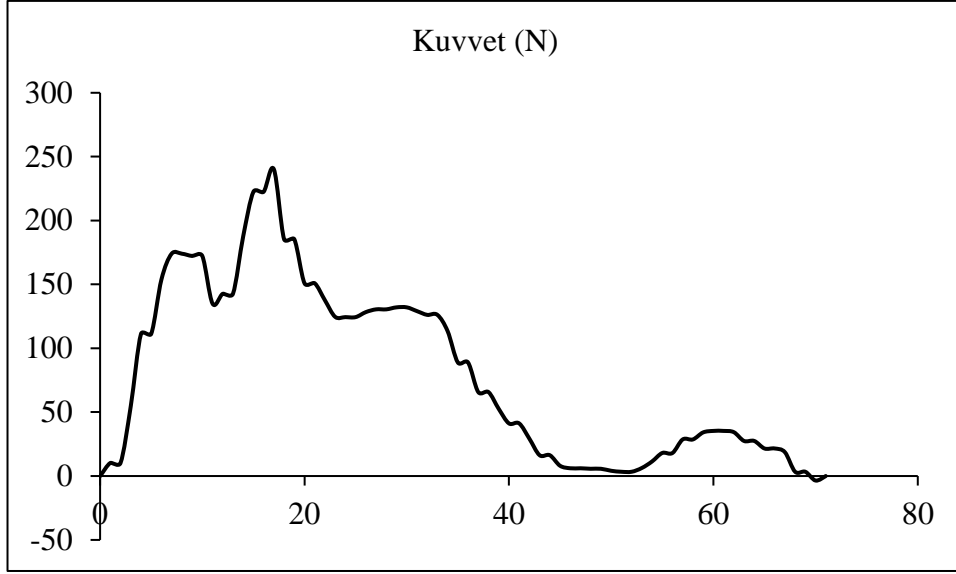
Şekil 6. 15. 120-0.15-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.15'e göre 120-0.15-1500 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 250 N hesaplanmıştır.



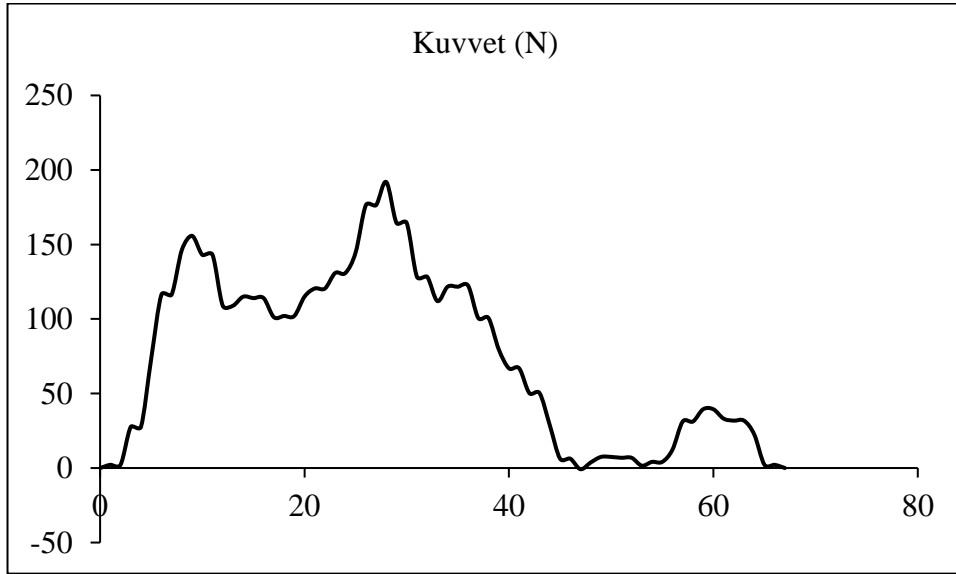
Şekil 6. 16. 120-0.075-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.16'ya göre 120-0.075-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 200 N hesaplanmıştır.



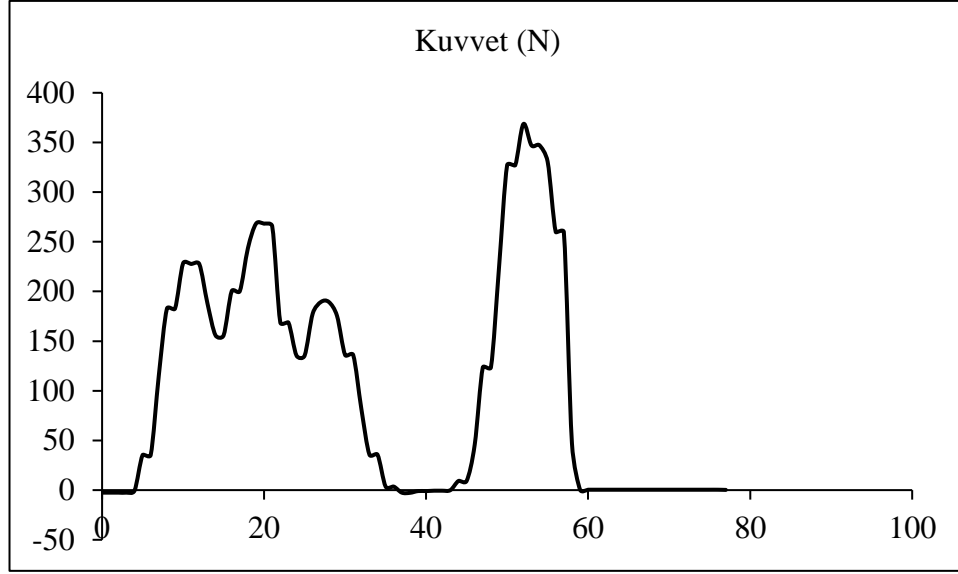
Şekil 6. 17. 120-0.075-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.17'ye göre 120-0.075-1250 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 240 N hesaplanmıştır.



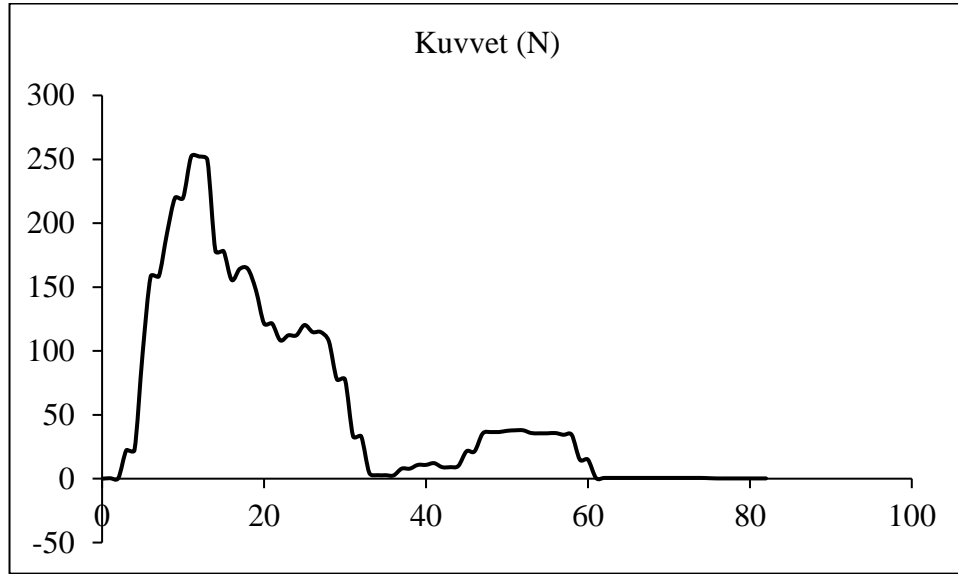
Şekil 6. 18. 120-0.075-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.18'e göre 120-0.075-1500 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 190 N hesaplanmıştır.



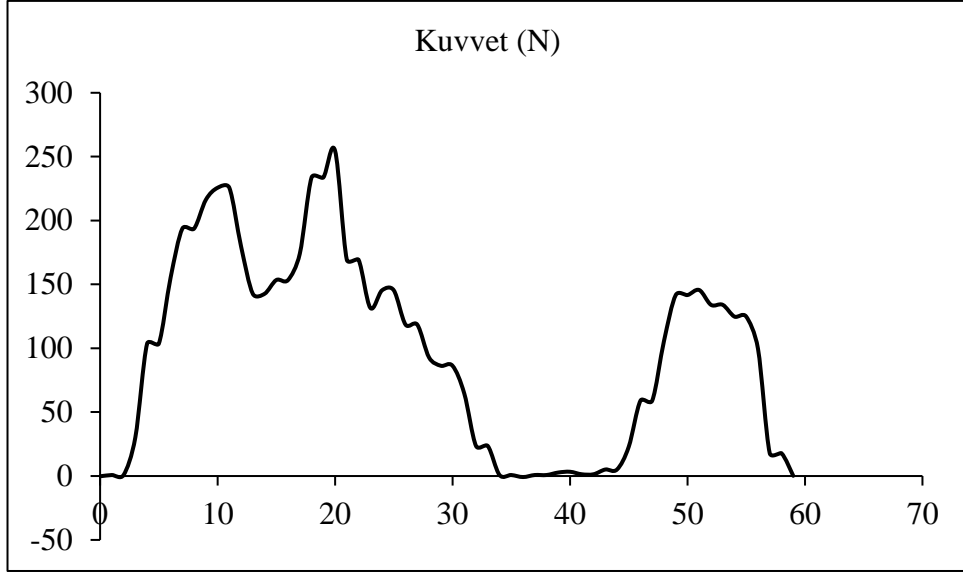
Şekil 6. 19. 138-0.1-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.19'a göre 138-0.1-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 370 N hesaplanmıştır.



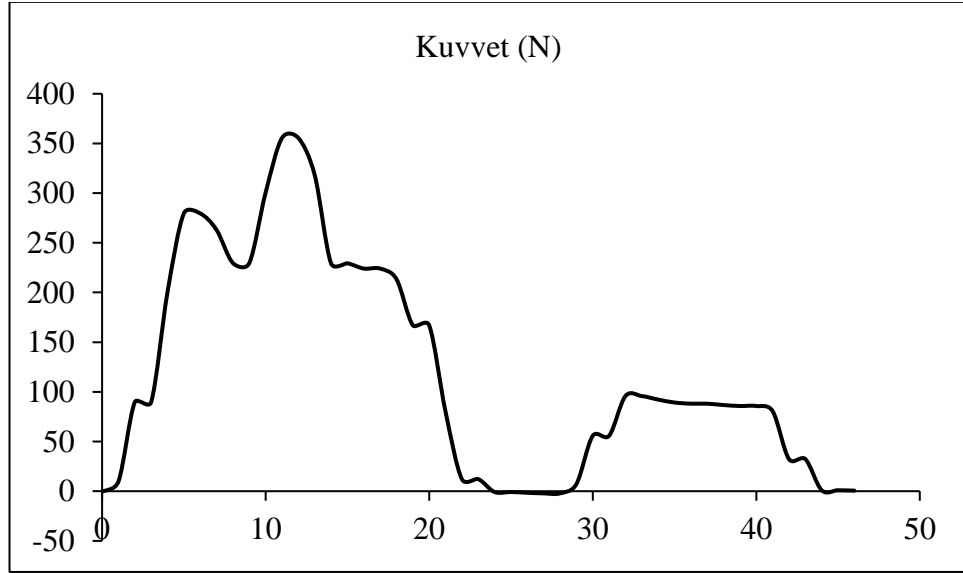
Şekil 6. 20. 138-0.1-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.20'ye göre 138-0.1-1250 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 252 N hesaplanmıştır.



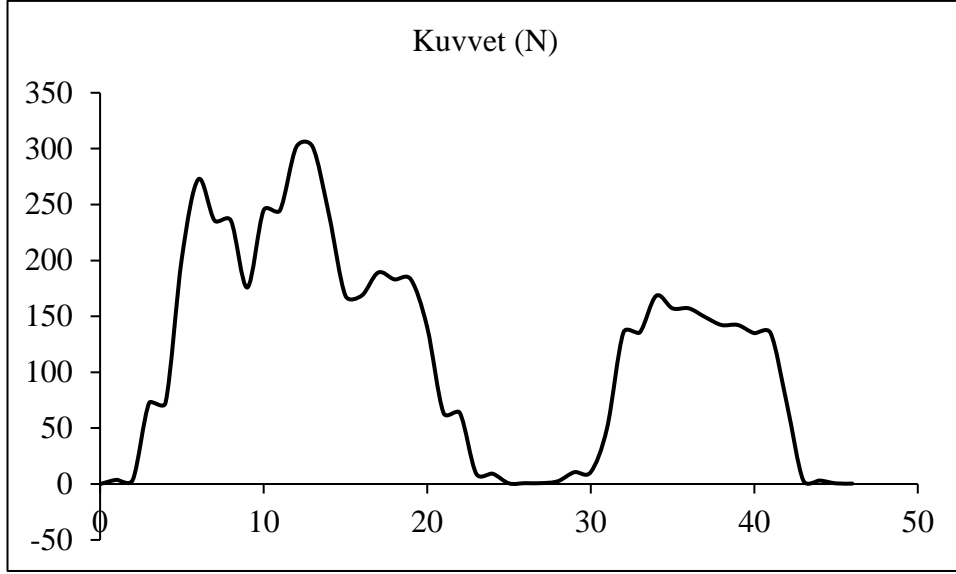
Şekil 6. 21. 138-0.1-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.21'e göre 138-0.1-1500 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 258 N hesaplanmıştır.



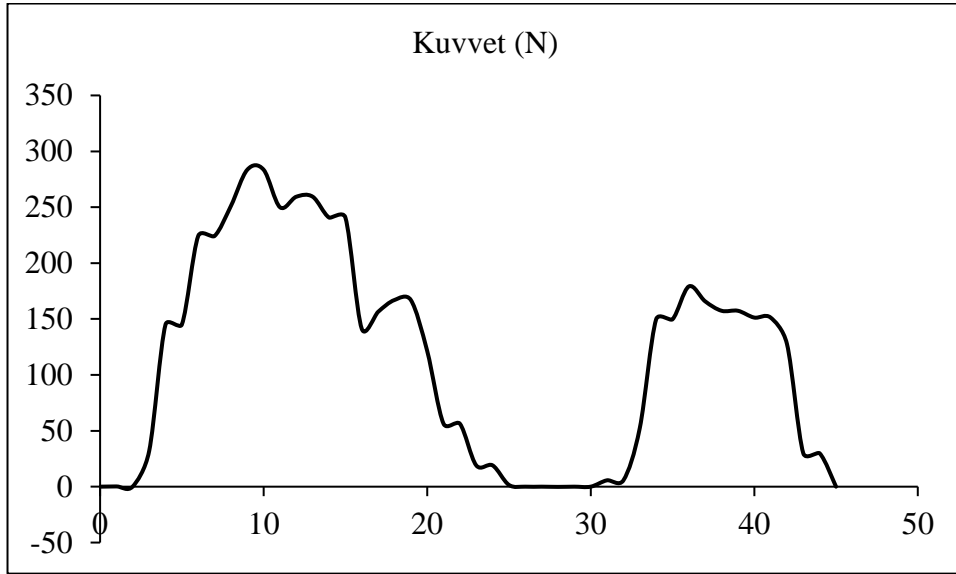
Şekil 6. 22. 138-0.15-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.22'ye göre 138-0.15-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 360 N hesaplanmıştır.



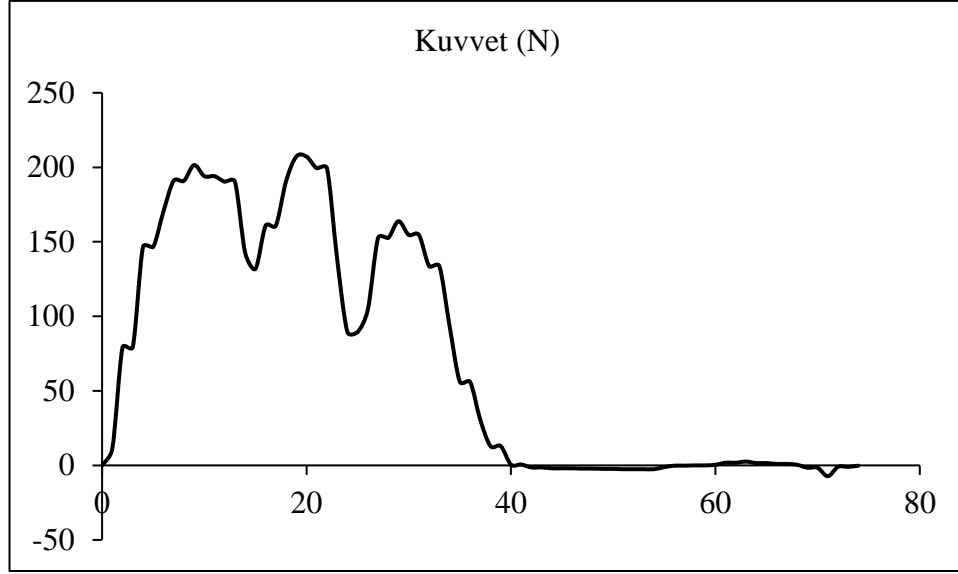
Şekil 6. 23. 138-0.15-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.23'e göre 138-0.15-1250 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 310 N hesaplanmıştır.



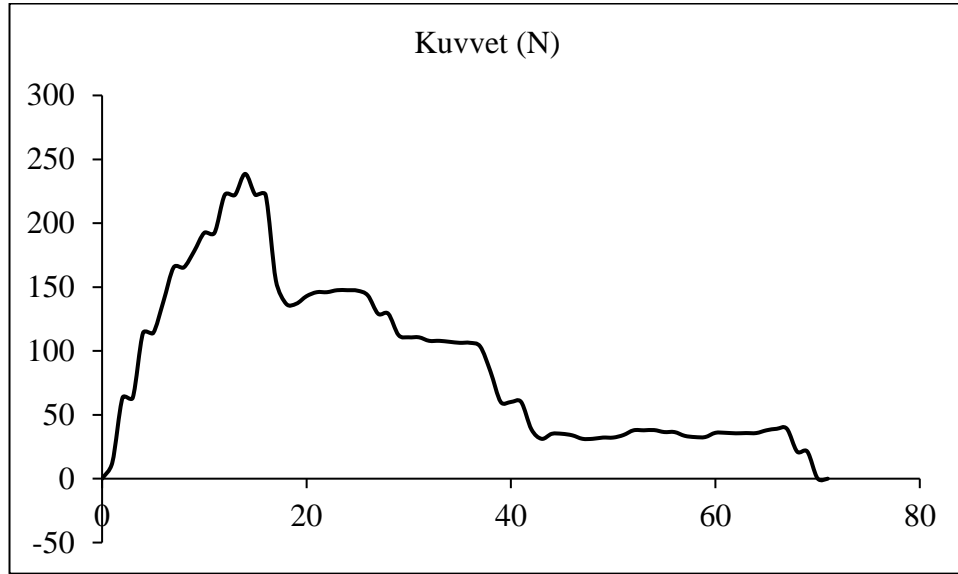
Şekil 6. 24. 138-0.15-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.24'e göre 138-0.15-1500 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 290 N hesaplanmıştır.



Şekil 6. 25. 138-0.075-1000 numaralı deliğin kuvvet grafiği

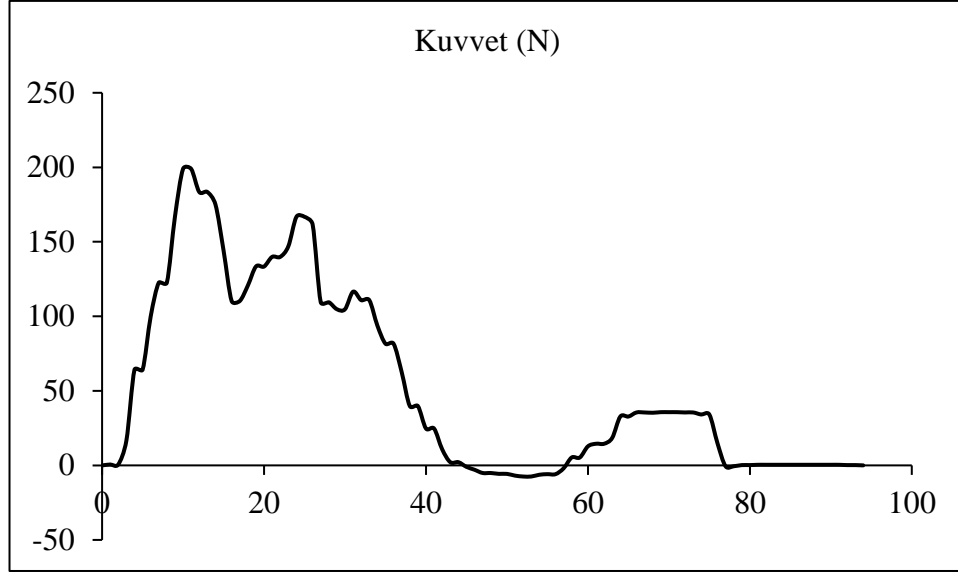
Şekil 6.25'e göre 138-0.075-1000 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 210 N hesaplanmıştır.



Şekil 6. 26. 138-0.075-1250 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.26'ya göre 138-0.075-1250 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 240 N hesaplanmıştır.



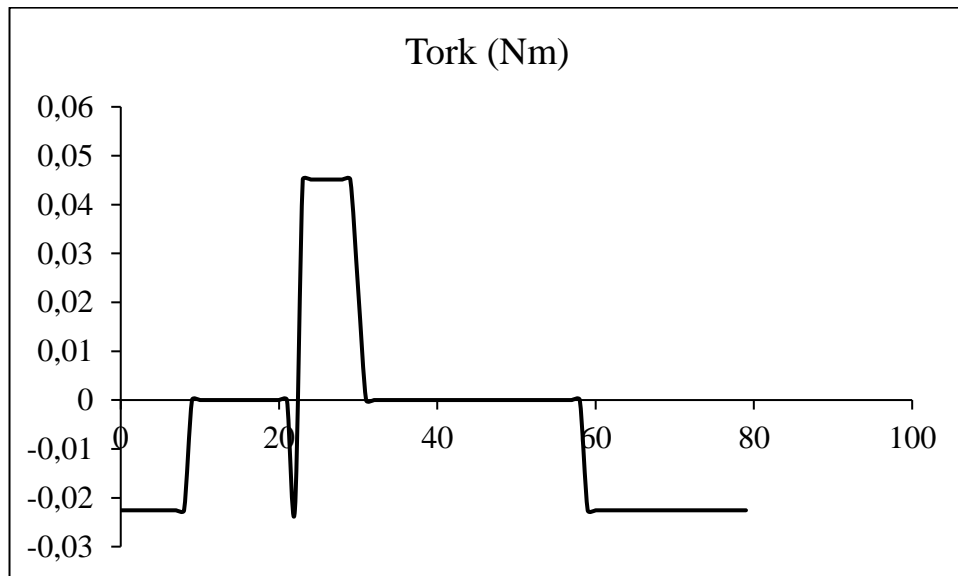


Şekil 6. 27. 138-0.075-1500 numaralı deliğin kuvvet grafiği

Şekil 6.27'ye göre 138-0.075-1500 numaralı deliğin maksimum kuvvet değeri 200 N hesaplanmıştır.

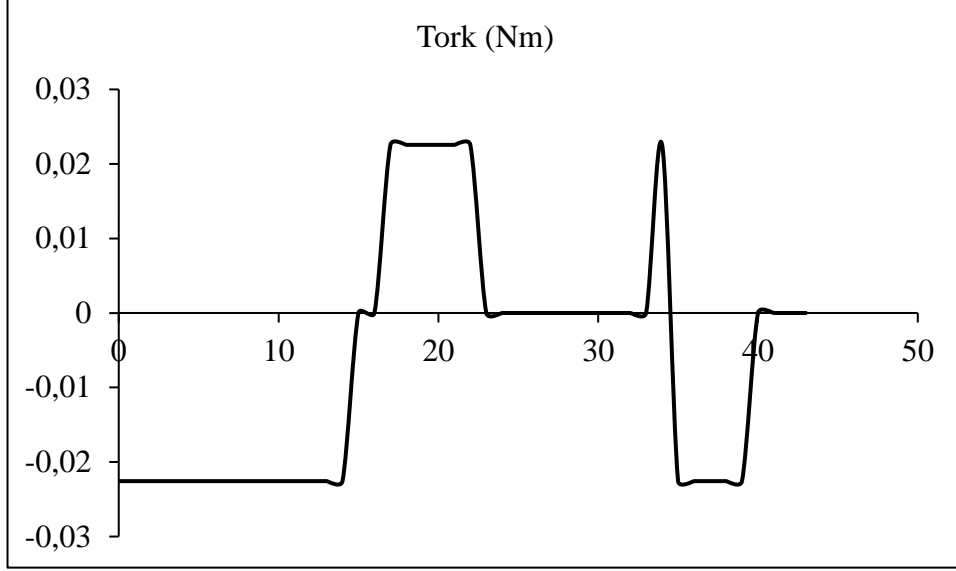
### 6.1.2. Delme Tork Ölçüm Sonuçları

Şekil 6.28–6.49'da 100°-120°-138° matkap ucuyla işlenen tüm delikler için hesaplanan tork ölçüm sonuçları gösterilmektedir.



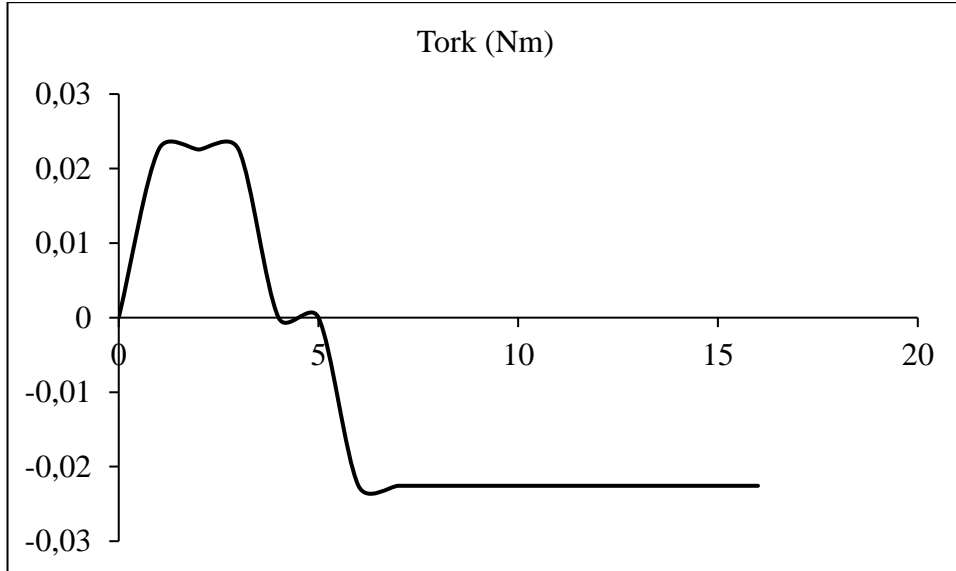
Şekil 6. 28. 100-0.1-1000 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.28'e göre 100-0.1-1000 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.046 Nm bulunmuştur.



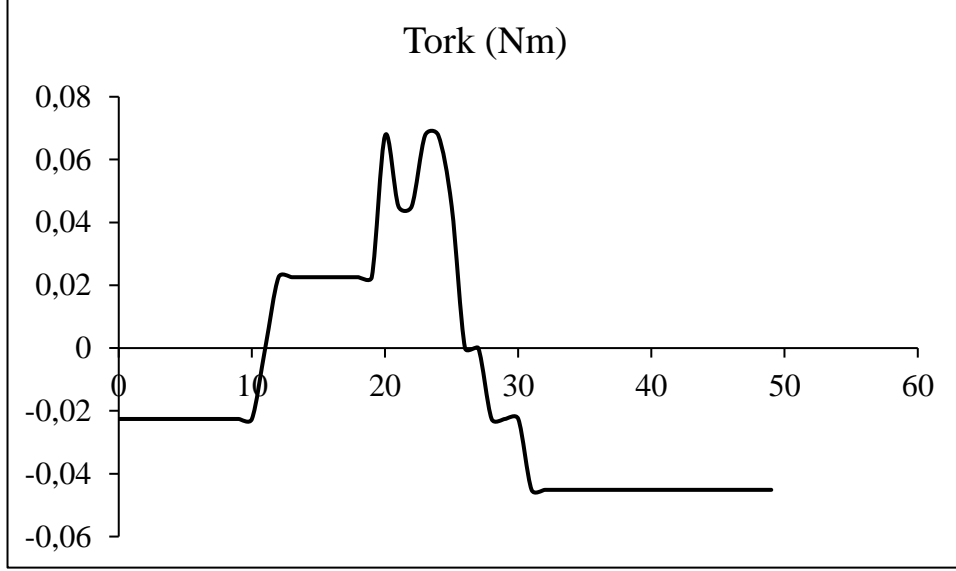
Şekil 6. 29. 100-0.1-1250 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.29'a göre 100-0.1-1250 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.023 Nm bulunmuştur.



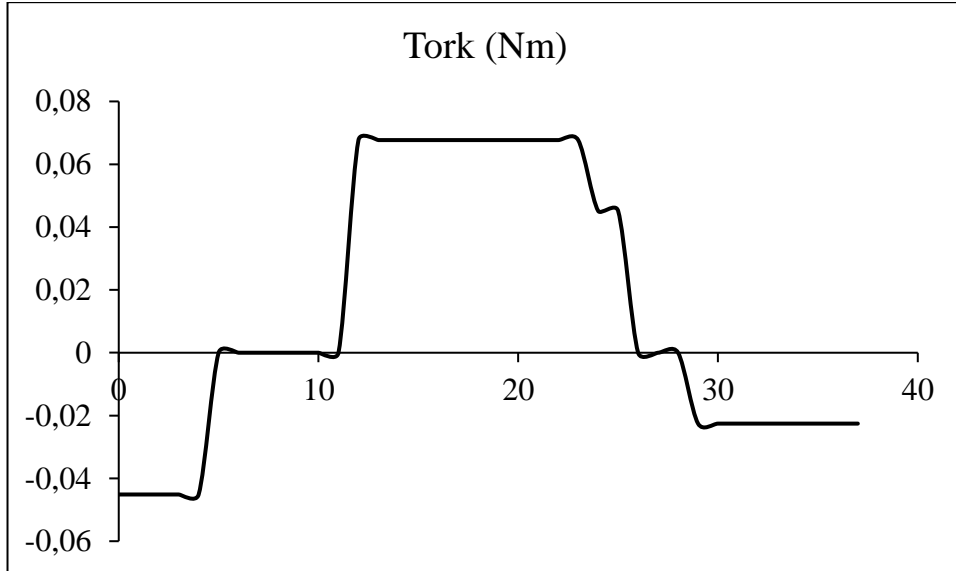
Şekil 6. 30. 100-0.1-1500 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.30'a göre 100-0.1-1500 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.024 Nm bulunmuştur.



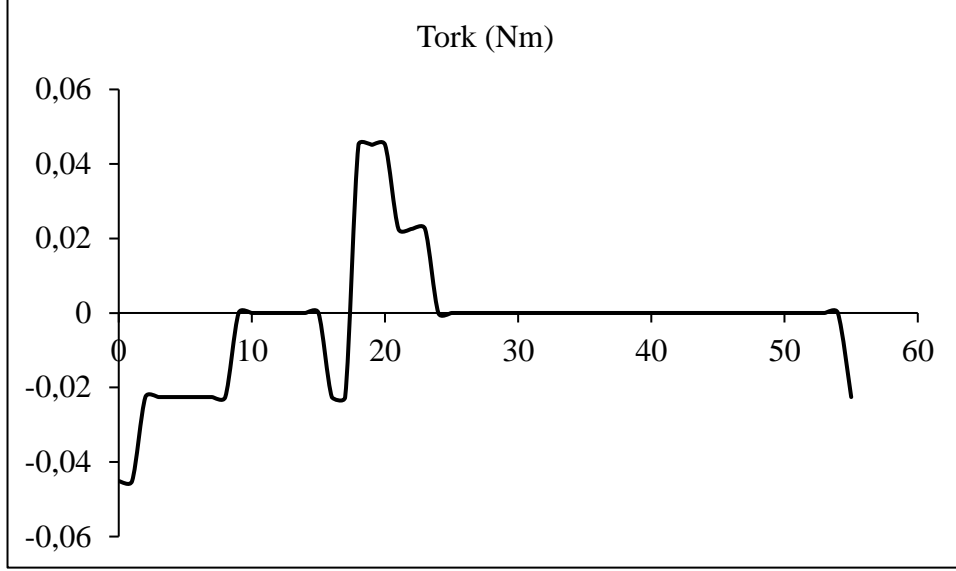
Şekil 6. 31. 100-0.15-1000 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.31'e göre 100-0.15-1000 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.069 Nm bulunmuştur.



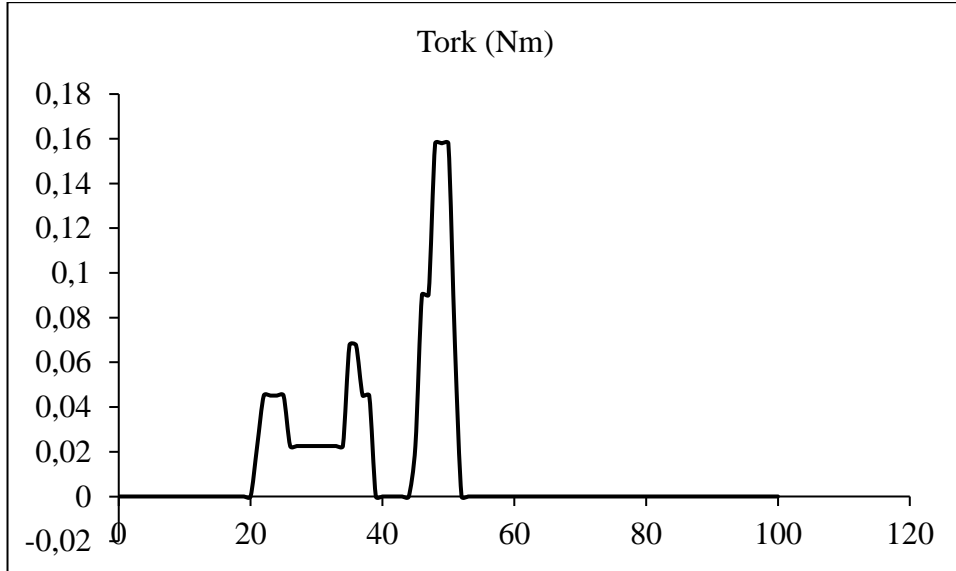
Şekil 6. 32. 100-0.15-1250 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.32'ye göre 100-0.15-1250 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.07 Nm bulunmuştur.



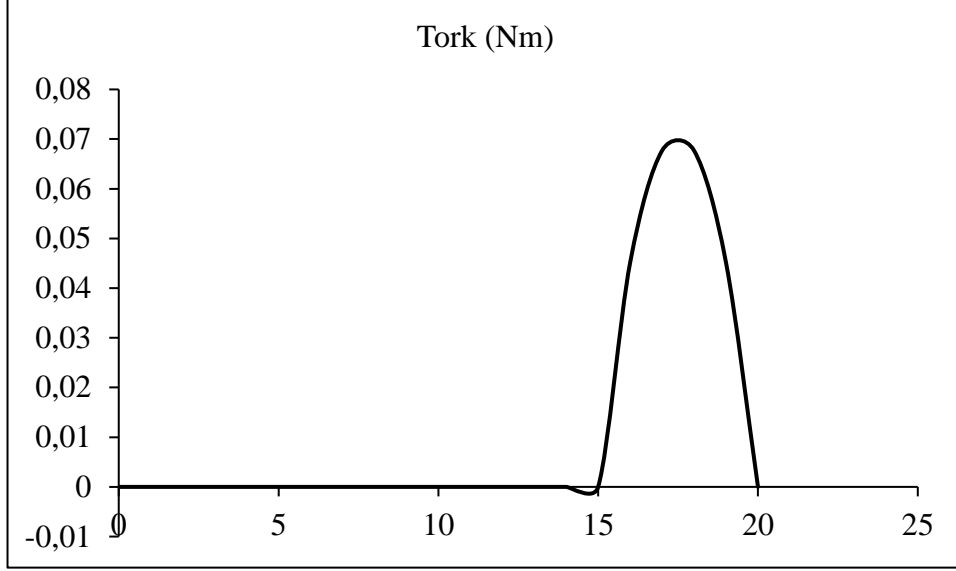
Şekil 6. 33. 100-0.15-1500 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.33'e göre 100-0.15-1500 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.046 Nm bulunmuştur.



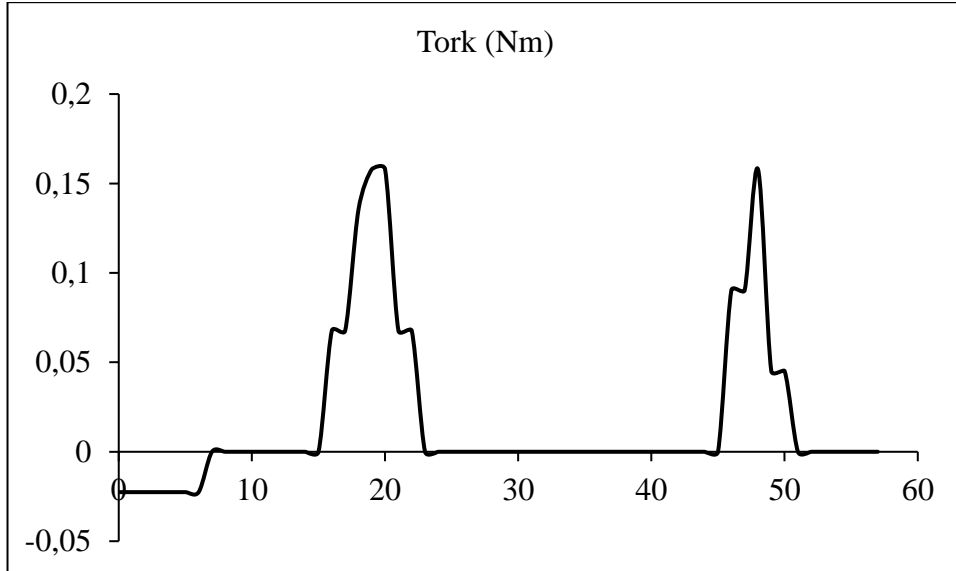
Şekil 6. 34. 100-0.075-1000 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.34'e göre 100-0.075-1000 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.16 Nm bulunmuştur.



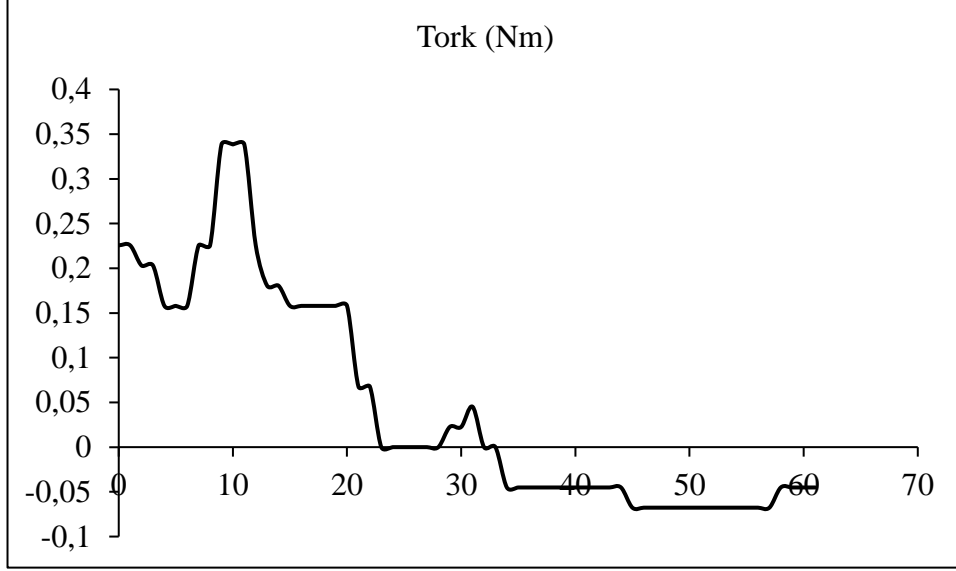
Şekil 6. 35. 100-0.075-1250 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.35'e göre 100-0.075-1250 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.07 Nm bulunmuştur.



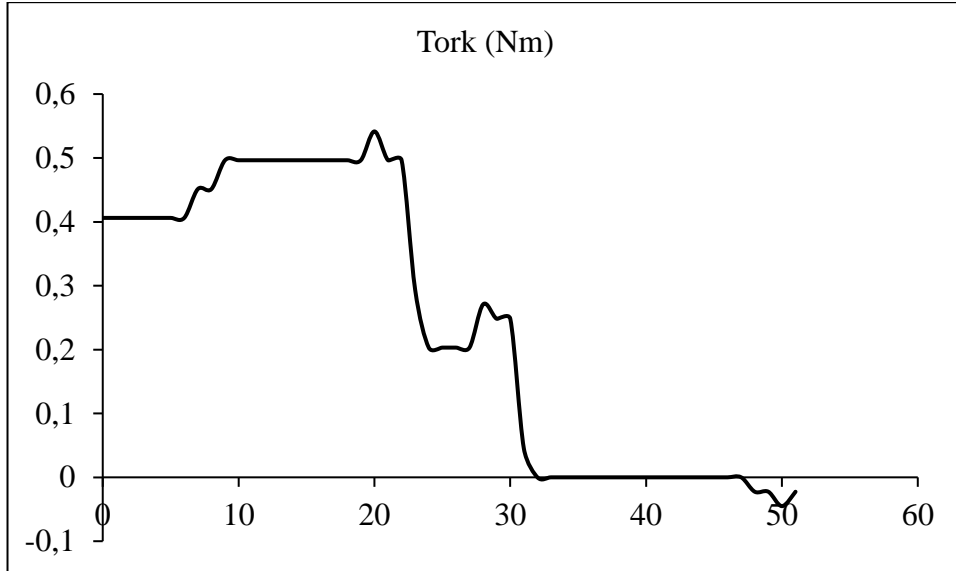
Şekil 6. 36. 100-0.075-1500 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.36'ya göre 100-0.075-1500 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.16 Nm bulunmuştur.



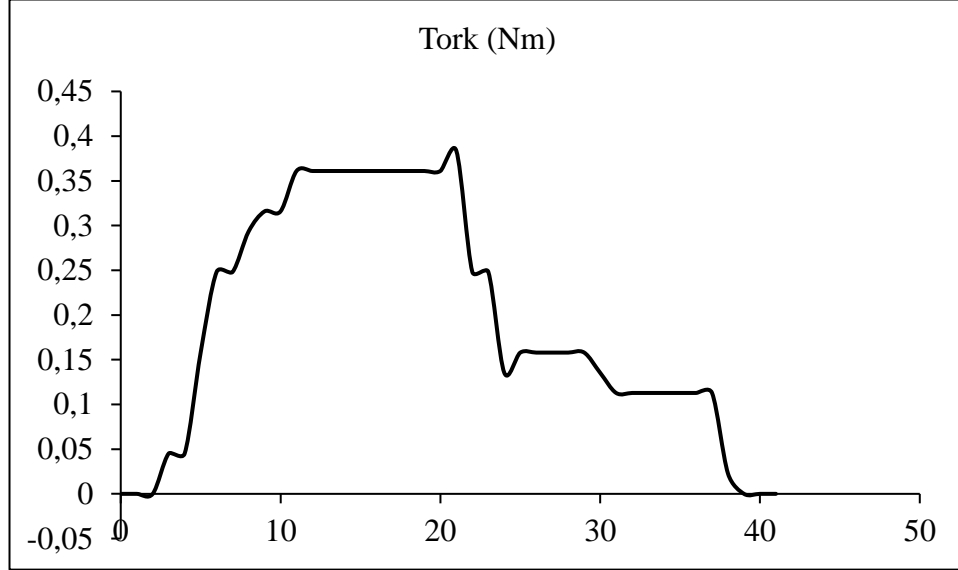
Şekil 6. 37. 120-0.1-1500 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.37'ye göre 120-0.1-1500 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.34 Nm bulunmuştur.



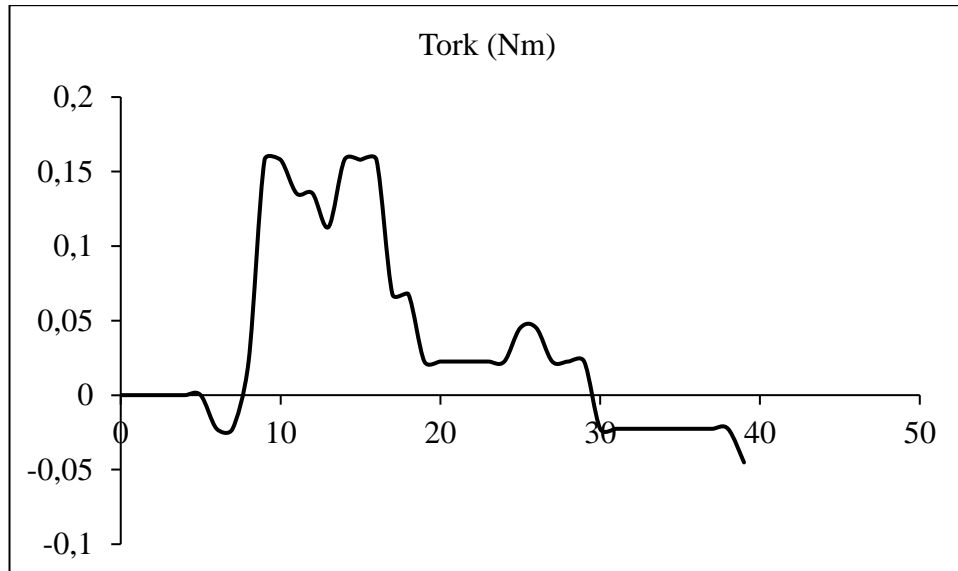
Şekil 6. 38. 120-0.15-1000 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.38'e göre 120-0.15-1000 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.54 Nm bulunmuştur.



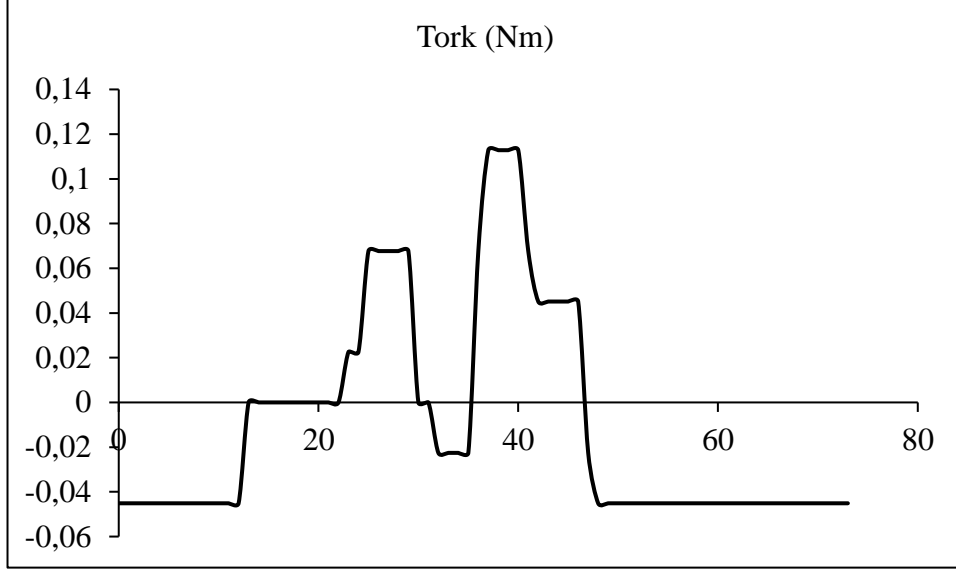
Şekil 6. 39. 120-0.15-1250 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.39'a göre 120-0.15-1250 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.39 Nm bulunmuştur.



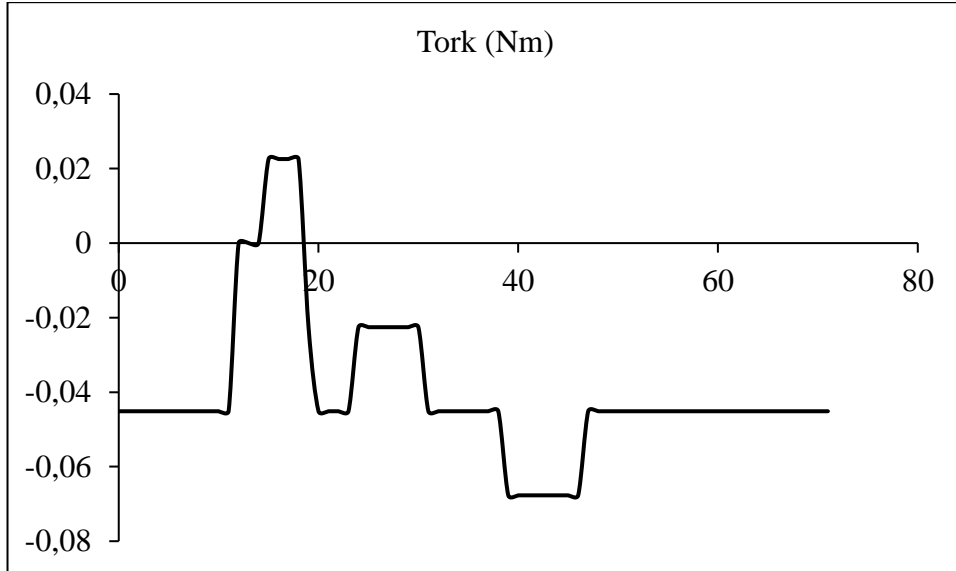
Şekil 6. 40. 120-0.15-1500 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.40'a göre 120-0.15-1500 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.16 Nm bulunmuştur.



Şekil 6. 41. 120-0.075-1000 numaralı deliğin tork grafiği

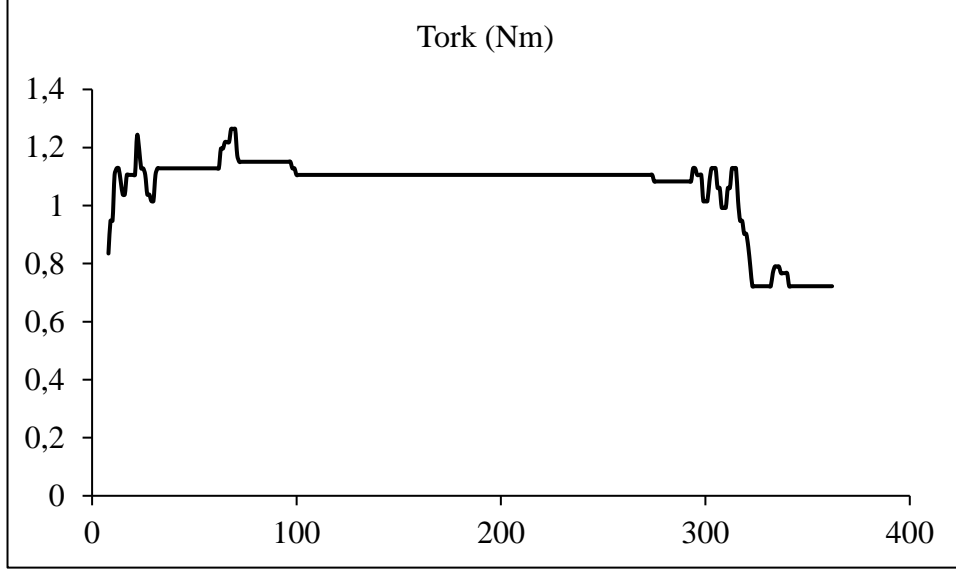
Şekil 6.41'e göre 120-0.075-1000 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.17 Nm bulunmuştur.



Şekil 6. 42. 120-0.075-1250 numaralı deliğin tork grafiği

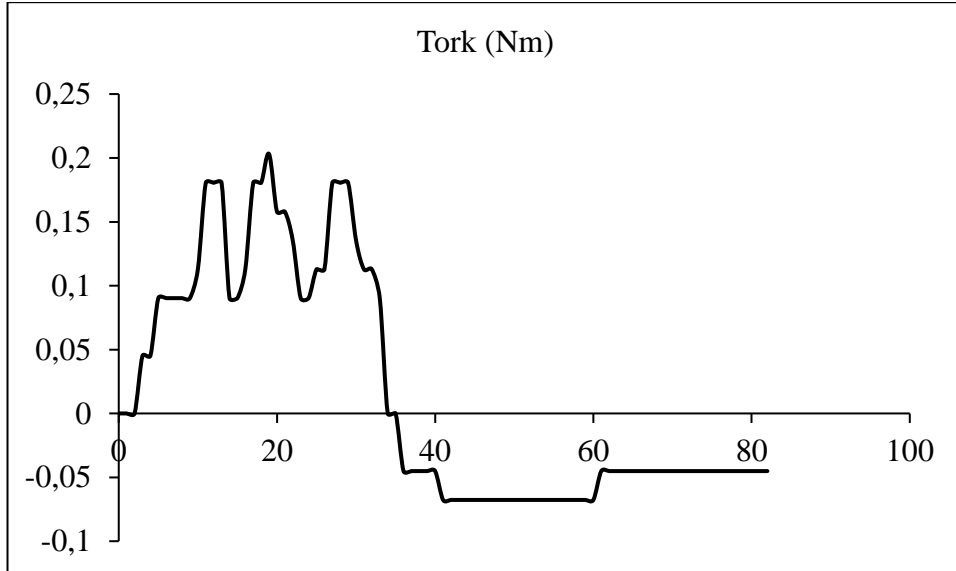


Şekil 6.42'ye göre 120-0.075-1250 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.023 Nm bulunmuştur.



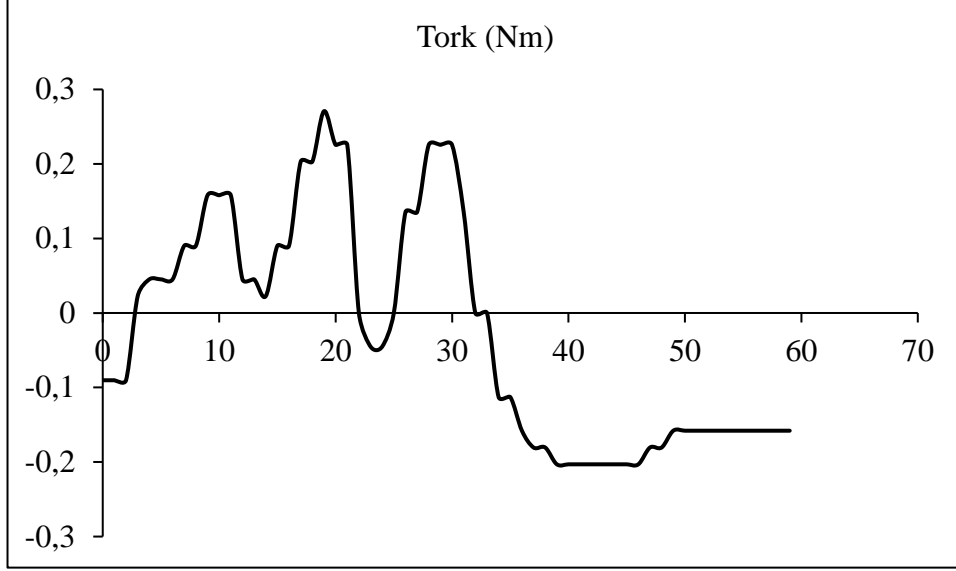
Şekil 6. 43. 138-0.1-1000 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.43'e göre 138-0.1-1000 numaralı deliğin maksimum tork değeri ise 1.26 Nm bulunmuştur.



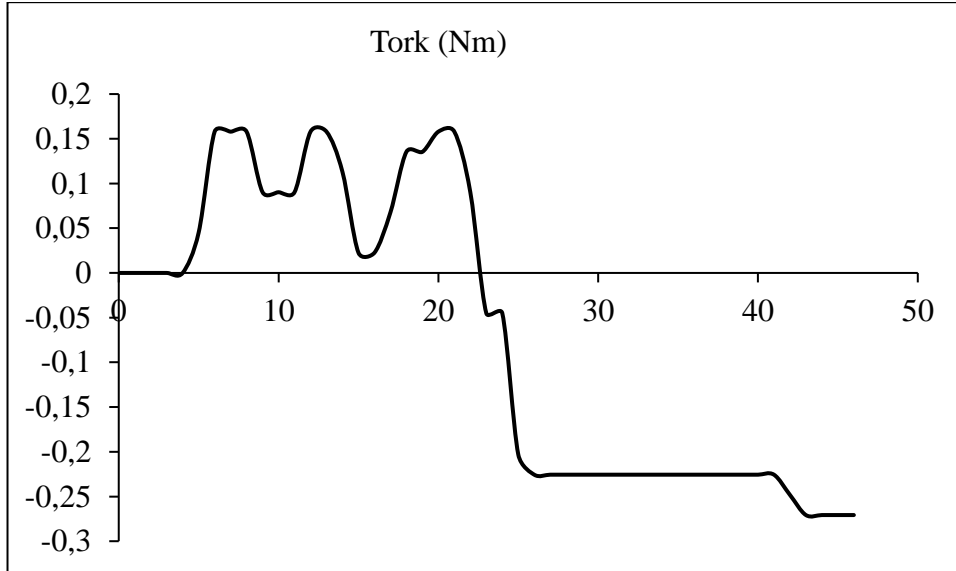
Şekil 6. 44. 138-0.1-1250 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.44'e göre 138-0.1-1250 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.21 Nm bulunmuştur.



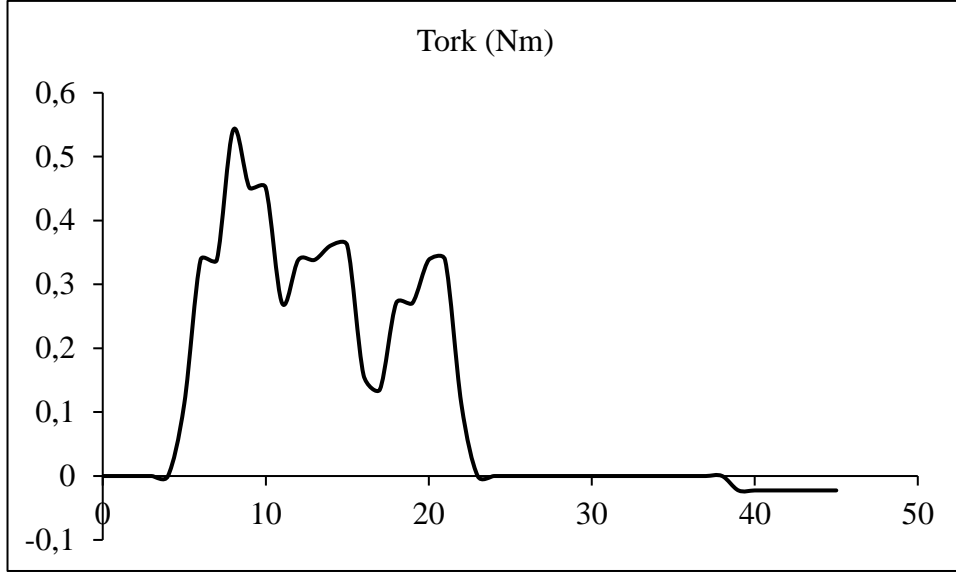
Şekil 6. 45. 138-0.1-1500 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.45'e göre 138-0.1-1500 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.27 Nm bulunmuştur.



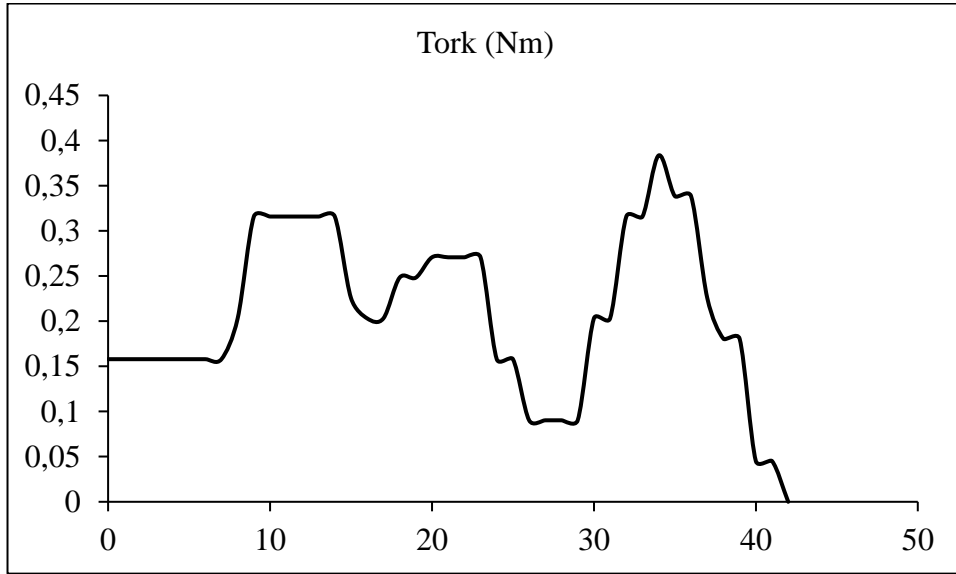
Şekil 6. 46. 138-0.15-1250 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.46'ya göre 138-0.15-1250 numaralı deliğin tork değeri 0.16 Nm bulunmuştur.



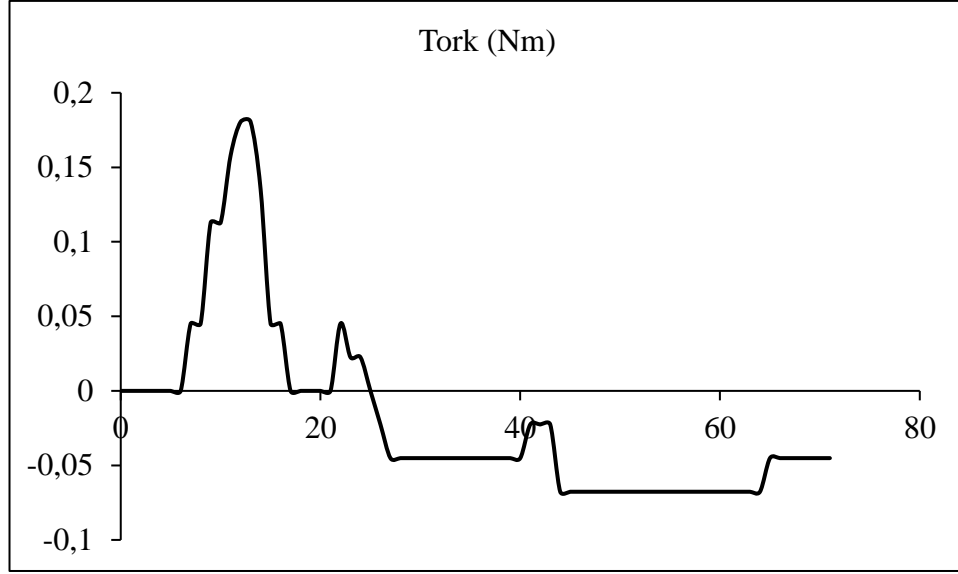
Şekil 6. 47. 138-0.15-1500 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.47'ye göre 138-0.15-1500 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.54 Nm bulunmuştur.



Şekil 6. 48. 138-0.075-1000 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.48'e göre 138-0.075-1000 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.38 Nm bulunmuştur.

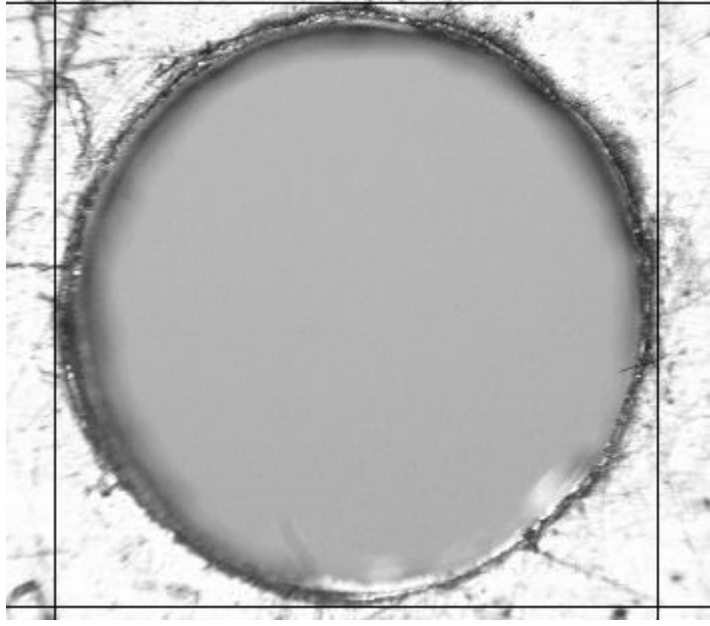


Şekil 6. 49. 138-0.075-1250 numaralı deliğin tork grafiği

Şekil 6.49'a göre 138-0.075-1250 numaralı deliğin maksimum tork değeri 0.18 Nm bulunmuştur.

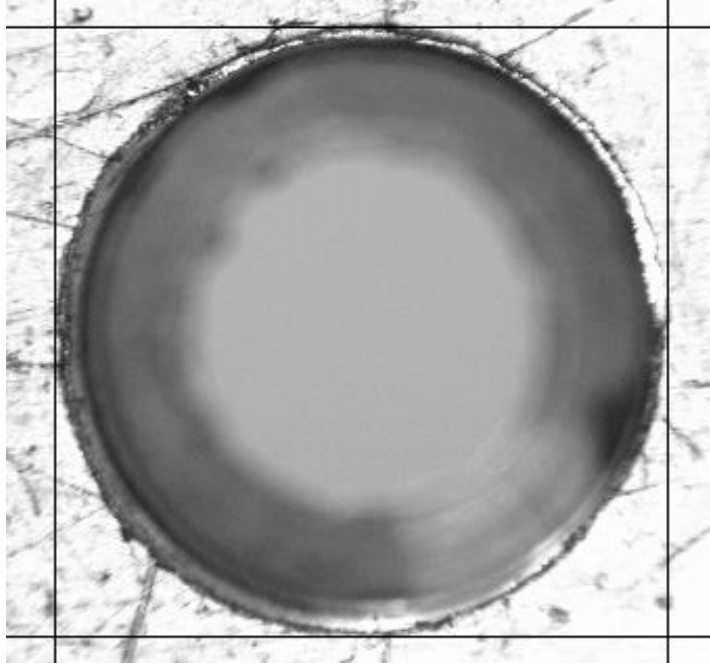
## 6.2. DELAMİNASYON ÖLÇÜM SONUÇLARI

Delme prosedürü tamamlandığında, her delinmiş deliğin etrafındaki delamine bölge, optik mikroskop ile incelenmiştir. Şekil 6.50-6.76 düşük büyütme optik görüntüleri ve bunun delikler etrafındaki dağılımını göstermektedir. Delaminasyonun, delinmiş deliklerin tüm kenarlarına dağıldığı, ancak farklı dış hat ve eşitsizlik içinde olduğu görüntülerden fark edilir.



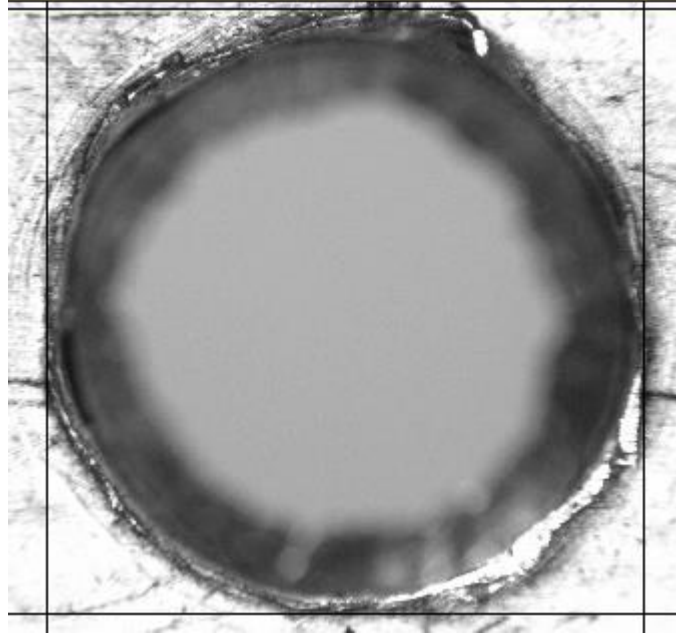
Şekil 6. 50. 100-0.075-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.50'de 100-0.075-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.570 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.095 olarak bulundu.



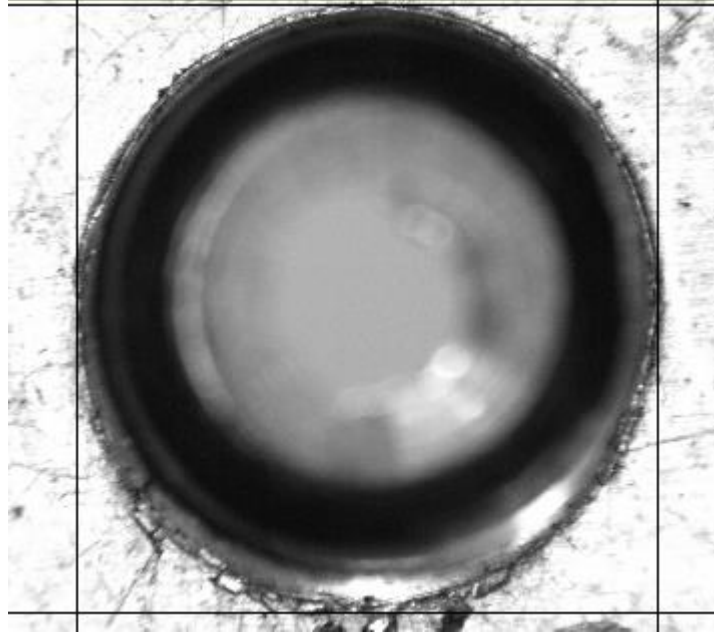
Şekil 6. 51. 100-0.075-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.51'de 100-0.075-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.351 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.058 olarak bulundu.



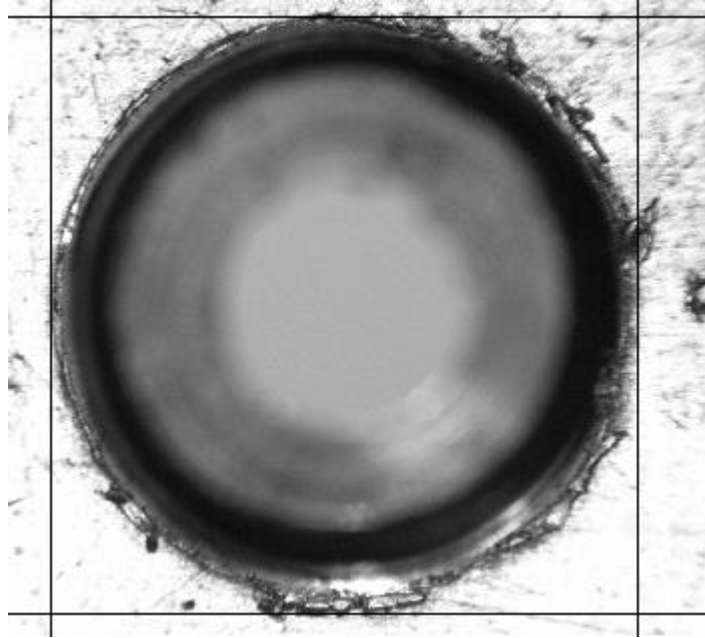
Şekil 6. 52. 100-0.075-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.52'de 100-0.075-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.591 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.098 olarak bulundu.



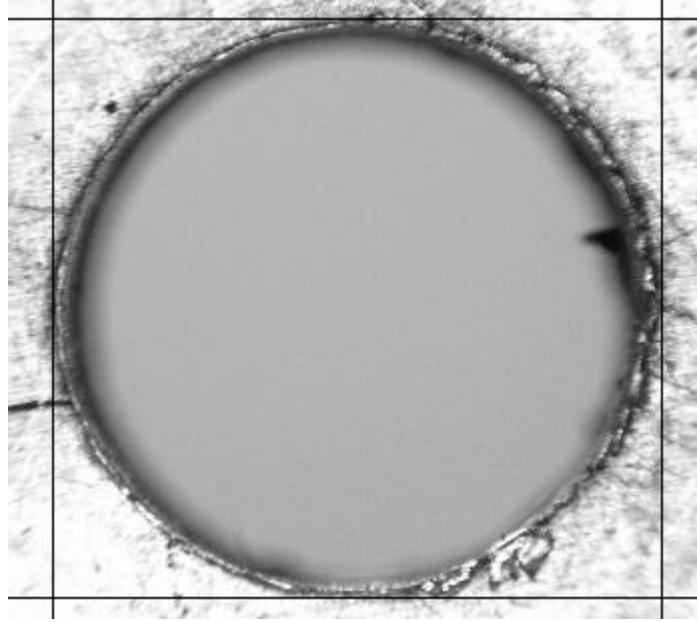
Şekil 6. 53. 100-0.1-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.53’de 100-0.1-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.613 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.102 olarak bulundu.



Şekil 6. 54. 100-0.1-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

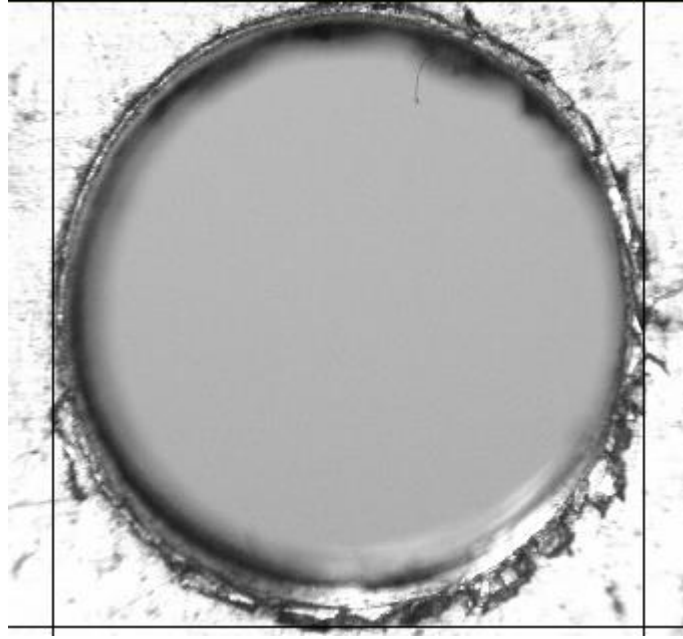
Şekil 6.54’de 100-0.1-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.504 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.084 olarak bulundu.



Şekil 6. 55. 100-0.1-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

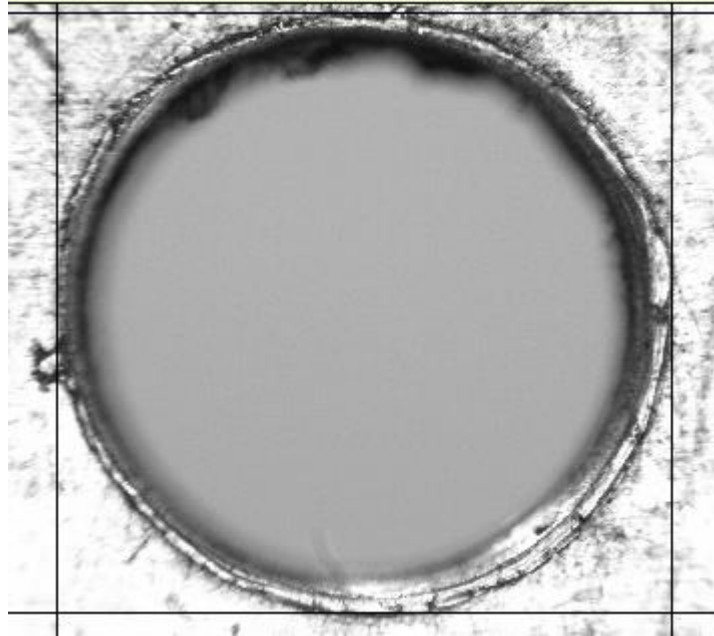
Şekil 6.55’de 100-0.1-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.308 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.051 olarak bulundu.





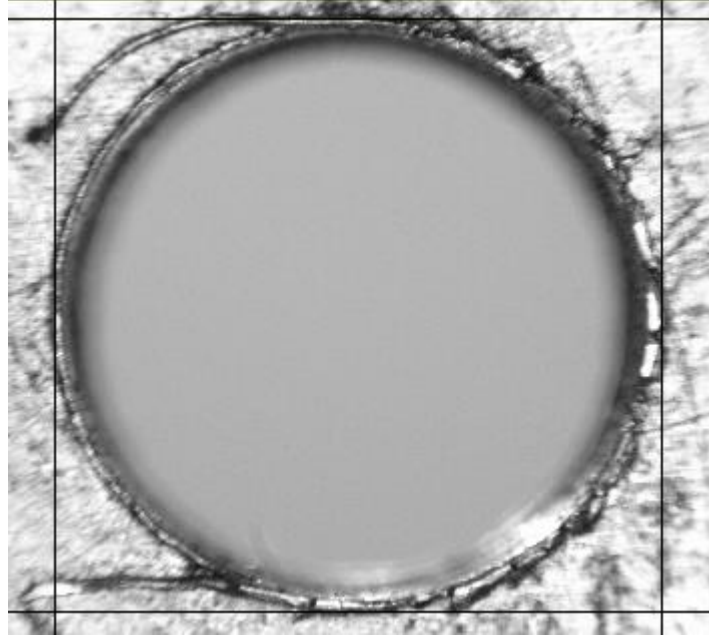
Şekil 6. 56. 100-0.15-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.56'da 100-0.15-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.810 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.135 olarak bulundu.



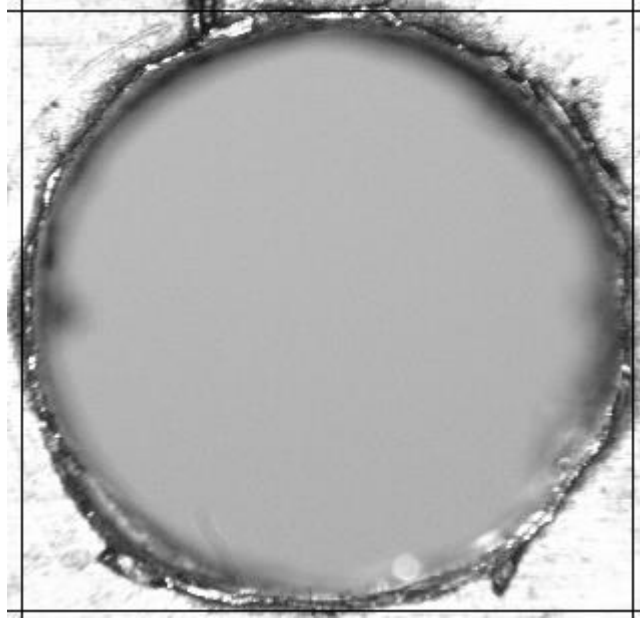
Şekil 6. 57. 100-0.15-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.57’de 100-0.15-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.526 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.087 olarak bulundu.



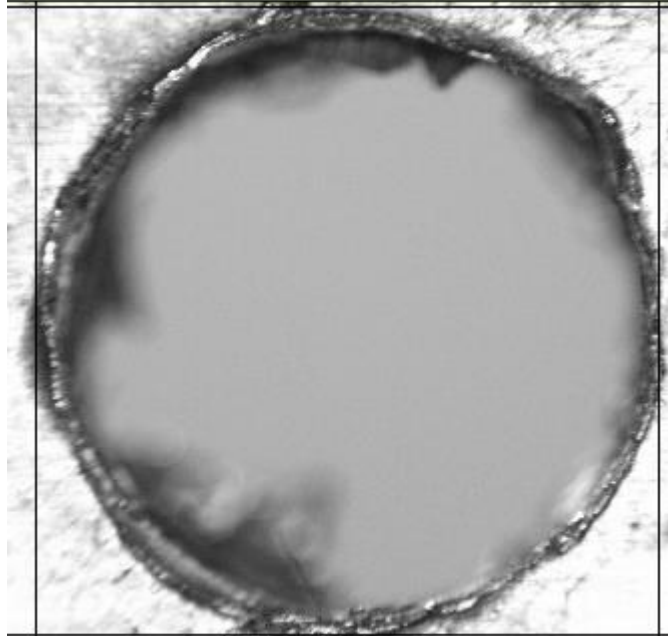
Şekil 6. 58. 100-0.15-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.58’de 100-0.15-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.460 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.076 olarak bulundu.



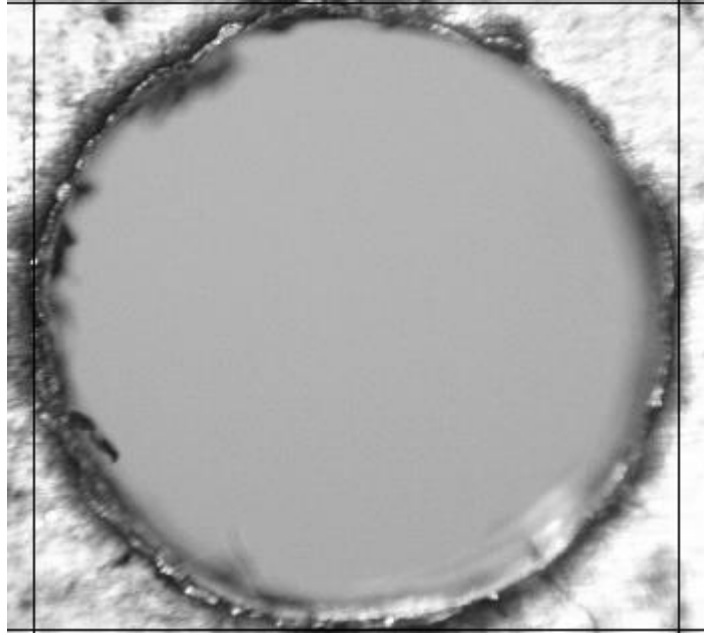
Şekil 6. 59. 120-0.075-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.59’da 120-0.075-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.526 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.087 olarak bulundu.



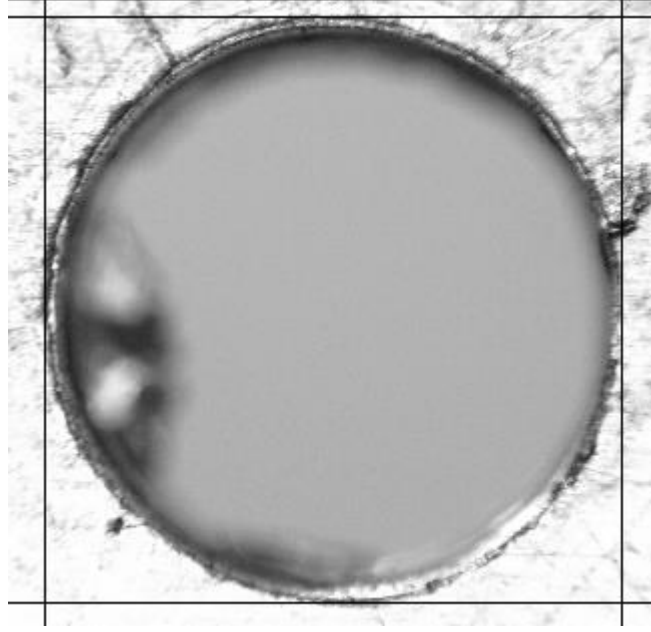
Şekil 6. 60. 120-0.075-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.60'da 120-0.075-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.832 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.138 olarak bulundu.



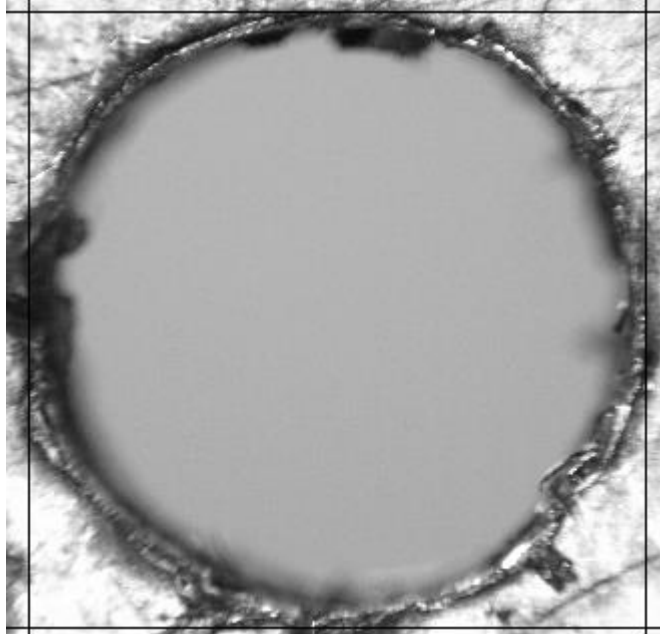
Şekil 6. 61. 120-0.075-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.61'de 120-0.075-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.832 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.138 olarak bulundu.



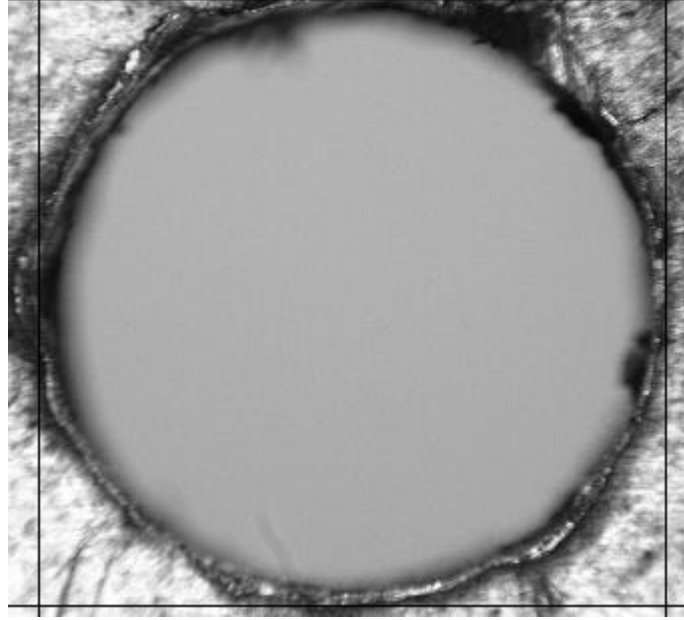
Şekil 6. 62. 120-0.1-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.62’de 120-0.1-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.373 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.062 olarak bulundu.



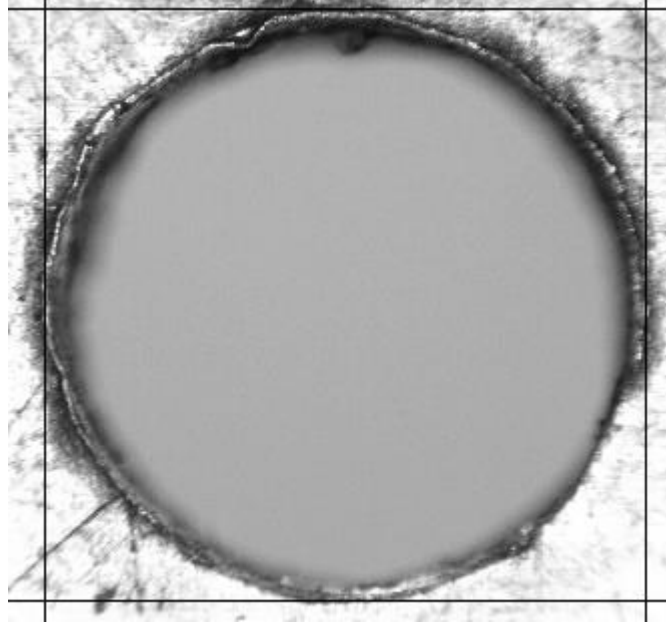
Şekil 6. 63. 120-0.1-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.63’de 120-0.1-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.701 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.116 olarak bulundu.



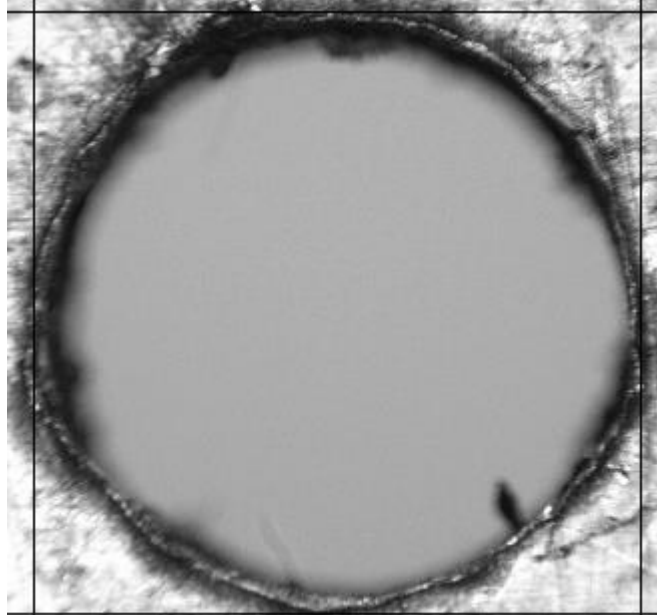
Şekil 6. 64. 120-0.1-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.64’de 120-0.1-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.613 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.102 olarak bulundu.



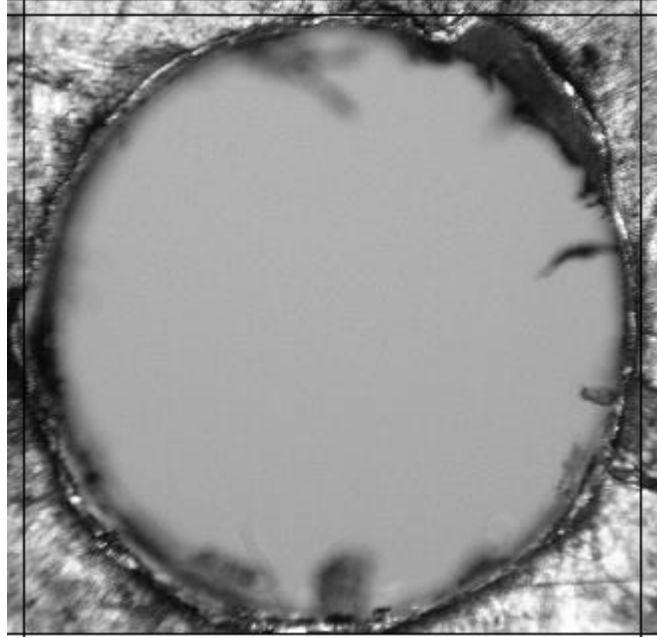
Şekil 6. 65. 120-0.15-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.65’de 120-0.15-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.439 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.073 olarak bulundu.



Şekil 6. 66. 120-0.15-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

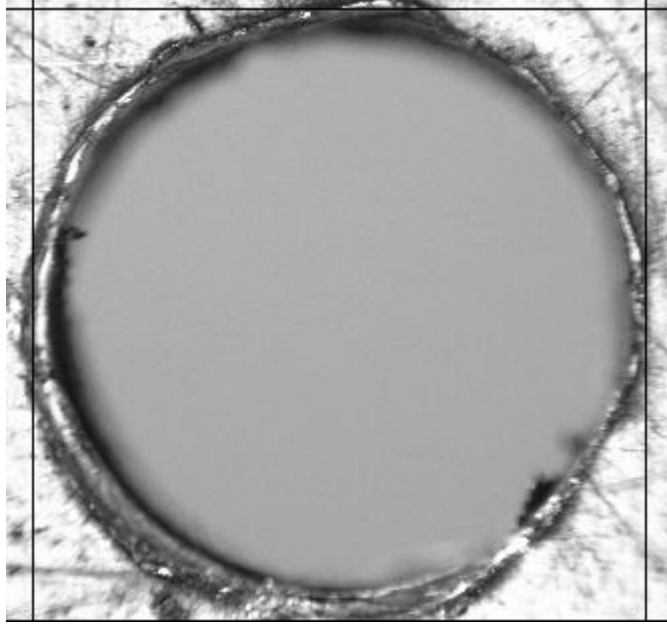
Şekil 6.66'da 120-0.15-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.548 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.091 olarak bulundu.



Şekil 6. 67. 120-0.15-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

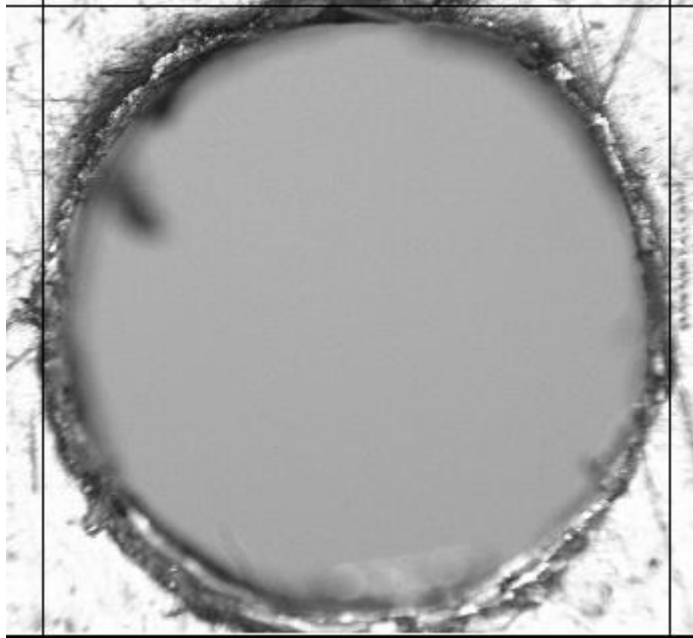
Şekil 6.67'de 120-0.15-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.744 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.124 olarak bulundu.





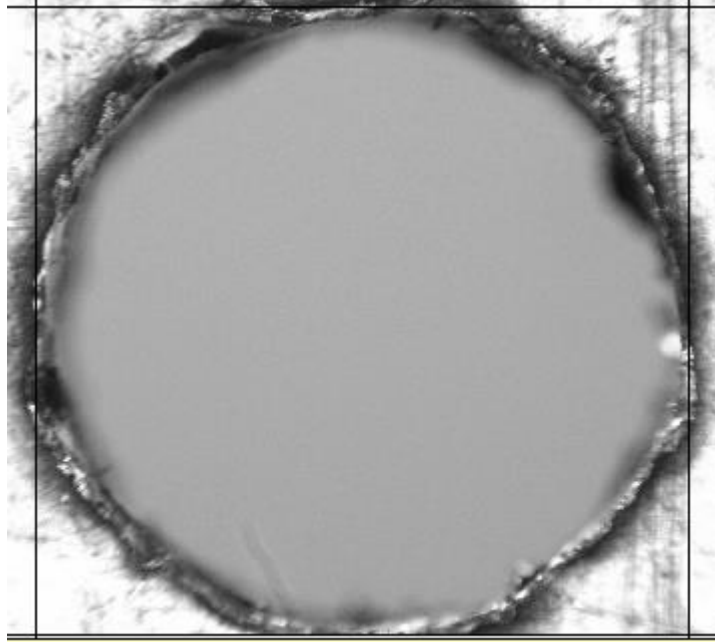
Şekil 6. 68. 138-0.075-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.68'de 138-0.075-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm'dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.657 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.109 olarak bulundu.



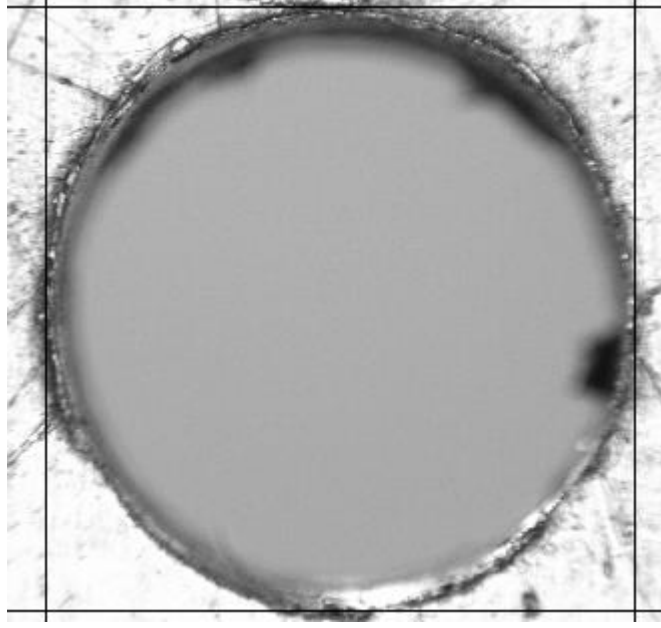
Şekil 6. 69. 138-0.075-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.69’da 138-0.075-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.853 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.142 olarak bulundu.



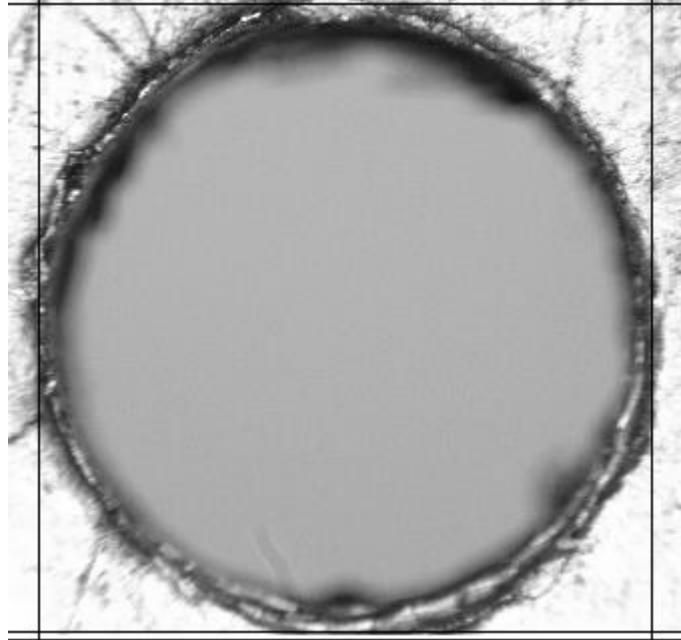
Şekil 6. 70. 138-0.075-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.70’de 138-0.075-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.832 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.138 olarak bulundu.



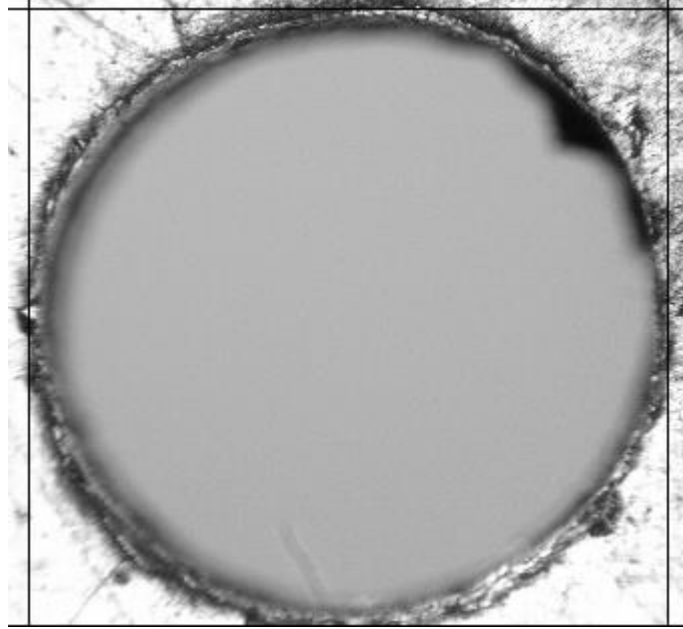
Şekil 6. 71. 138-0.1-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.71’de 138-0.1-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.570 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.095 olarak bulundu.



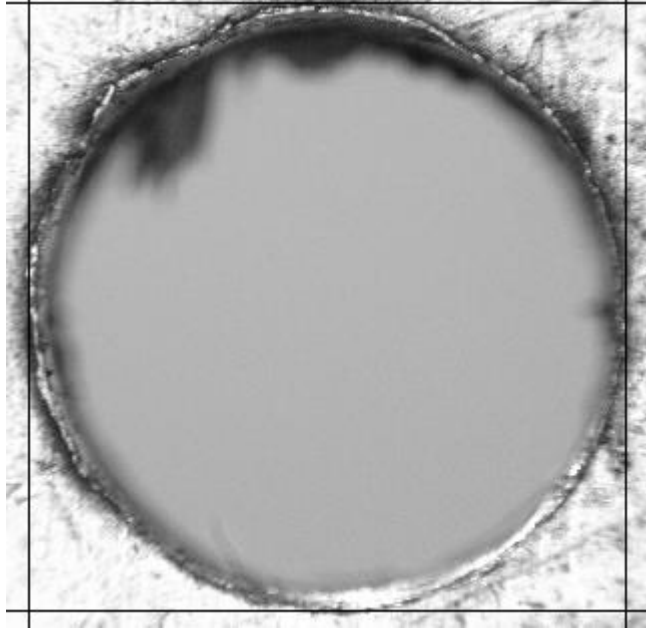
Şekil 6. 72. 138-0.1-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.72’de 138-0.1-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.832 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.138 olarak bulundu.



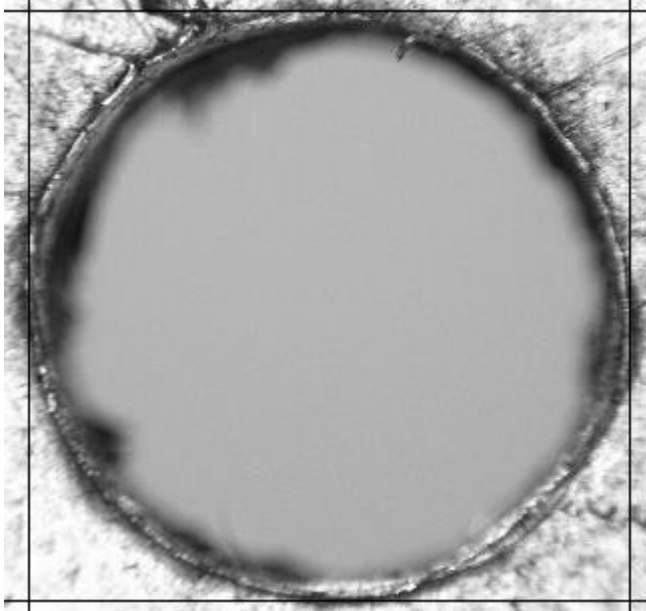
Şekil 6. 73. 138-0.1-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.73’de 138-0.1-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.722 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.120 olarak bulundu.



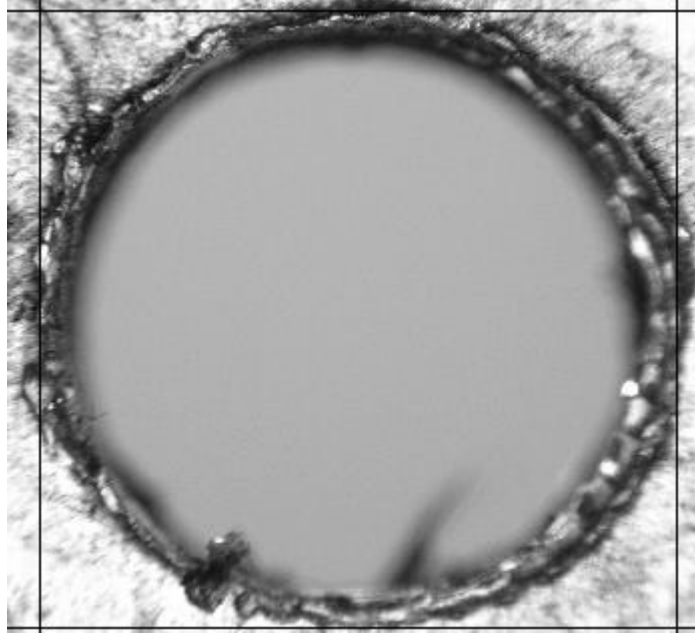
Şekil 6. 74. 138-0.15-1000 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.74’de 138-0.15-1000 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.613 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.102 olarak bulundu.



Şekil 6. 75. 138-0.15-1250 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.75’de 138-0.15-1250 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.417 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.069 olarak bulundu.



Şekil 6. 76. 138-0.15-1500 numaralı deliğin delaminasyonu

Şekil 6.76’da 138-0.15-1500 numaralı deliğin delamine görüntüsü verilmiştir. Normal delik çapı 6 mm’dir ve delme işlemi sonrası delamine çapın çapı 6.722 olarak ölçülmüştür. Buradan hesaplanan delaminasyon faktörü 1.120 olarak bulundu.

### 6.3. İŞLENMİŞ YÜZEYLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

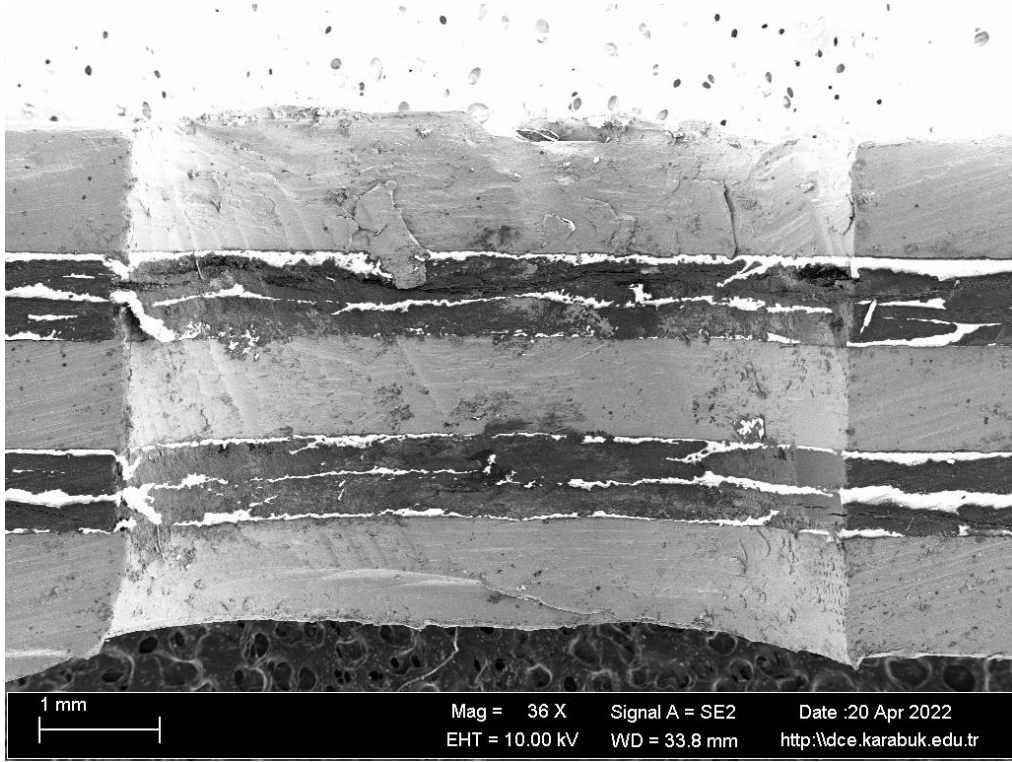
Delme işlemi sonucunda deliğin yüzey yapısının ve yüzey kusurlarının belirlenmesi önemlidir. Kademeli kompozitlerin delinmesinde yaşanan en büyük problemlerden biri katmanlar arası ayrılmalarıdır [61]. Çalışmanın bu kısmında 100° delme açısı, 0.075-0.100-0.150 ilerleme ve 1000-1250-1500 kesme hızına ait delik yüzeyleri Şekil 6.77-6.93’de incelenmiştir.

Şekil 6.77-6.82’ye göre 100° delme açısı, 0.075 ilerleme ve 1000-1250-1500 kesme hızına sahip numunelerde tabakalar arasında herhangi bir delaminasyon gözlemlenmemiştir. Ayrıca yüksek büyütme SEM görüntülerinde takım izlerinin

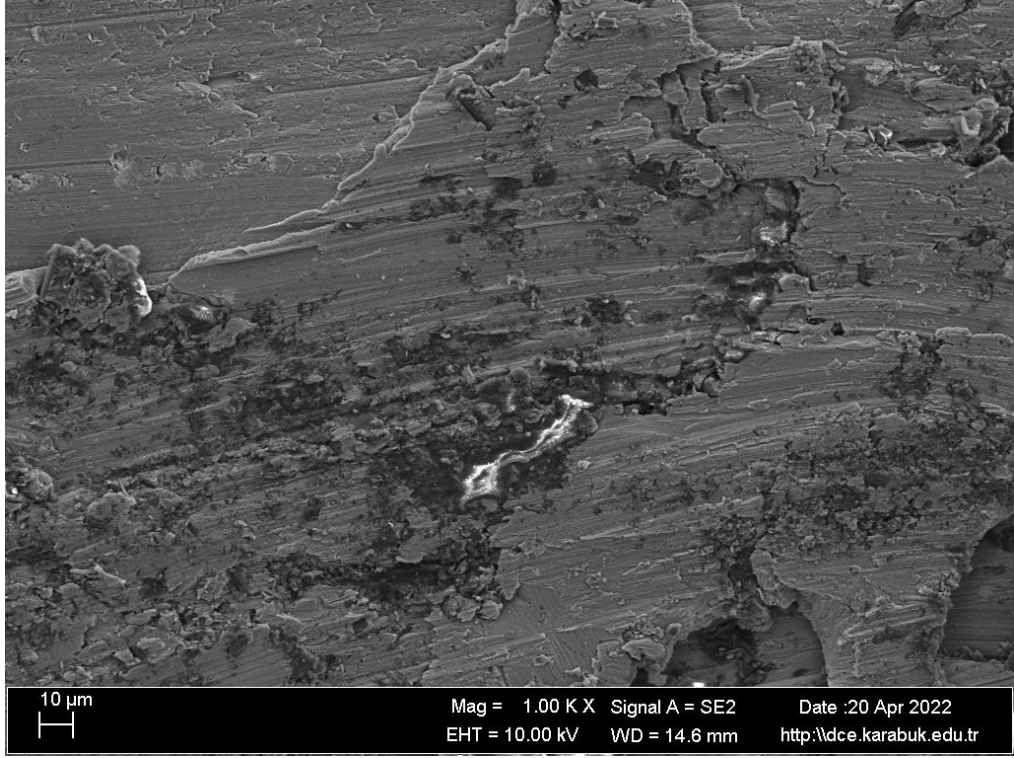
oluştugu fark edilmiştir. Bu duruma artan ilerleme kuvvetinin ve kopan takviye elemanlarının oluşturduğu izlerin sebep olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.83-6.88'e göre 100° delme açısına, 0.10 ilerleme hızına ve 1000-1250-1500 kesme hızına sahip numunelerde kütleli kırılma şeklinde malzeme kayıplarının olduğu ve yapıda mikro çatlakların oluştuğu görülmüştür. Bu örnekte kesme hızındaki artış tabakaların ayrılmasına neden olmuştur.

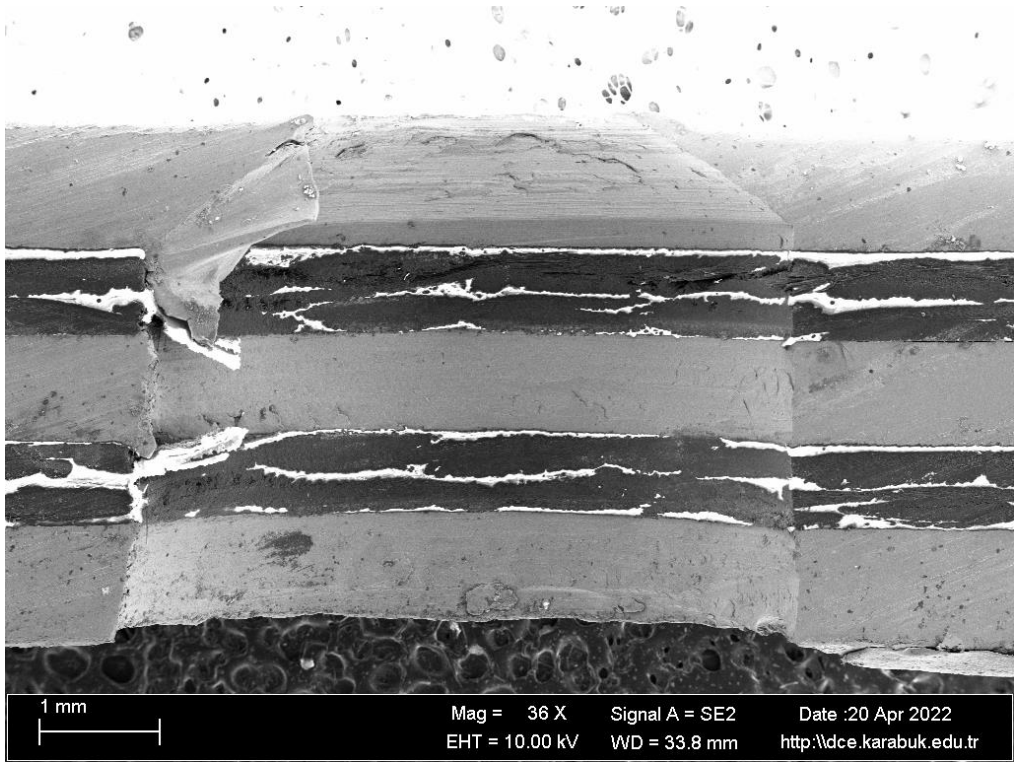
Şekil 6.89-6.93'e göre 100° delme açısına, 0.15 ilerleme hızına ve 1000-1250-1500 kesme hızına sahip numunelerde diğer parametrelere göre daha fazla tabakanın ayrıldığı görülmüştür. Takviyeler bu ilerleme hızında deforme olur ve yüzeyde hasara neden olur.



Şekil 6. 77. 100-0.075-1000 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.

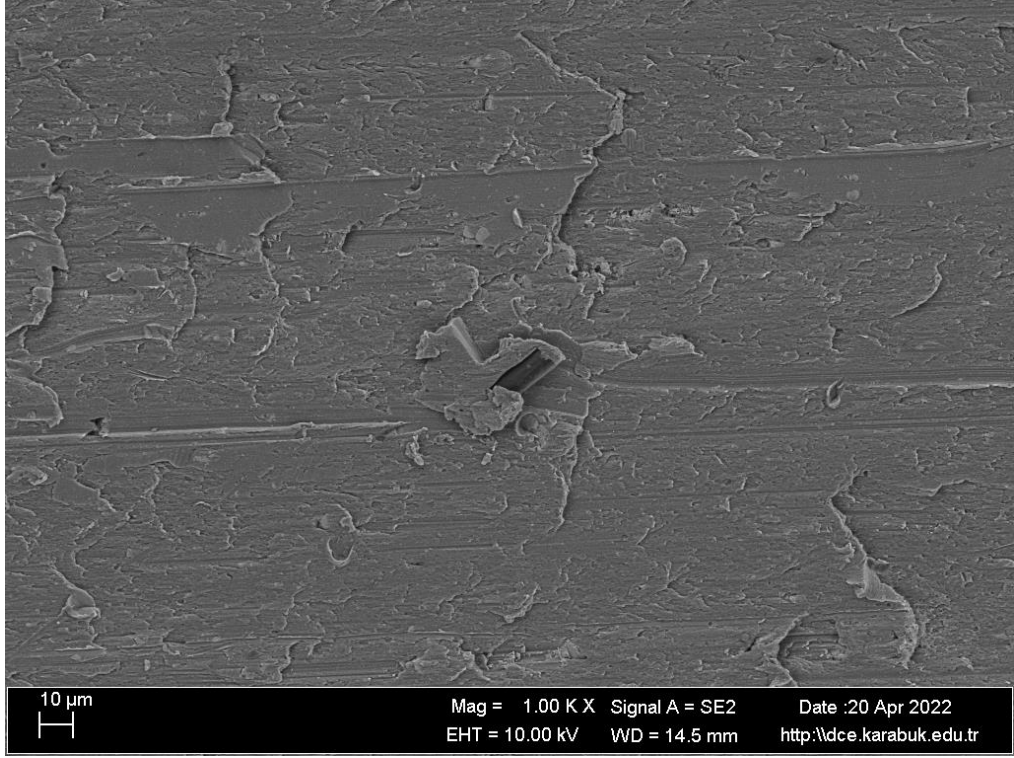


Şekil 6. 78. 100-0.075-1000 numaralı deliğin 1KX büyütmede SEM görüntüsü.

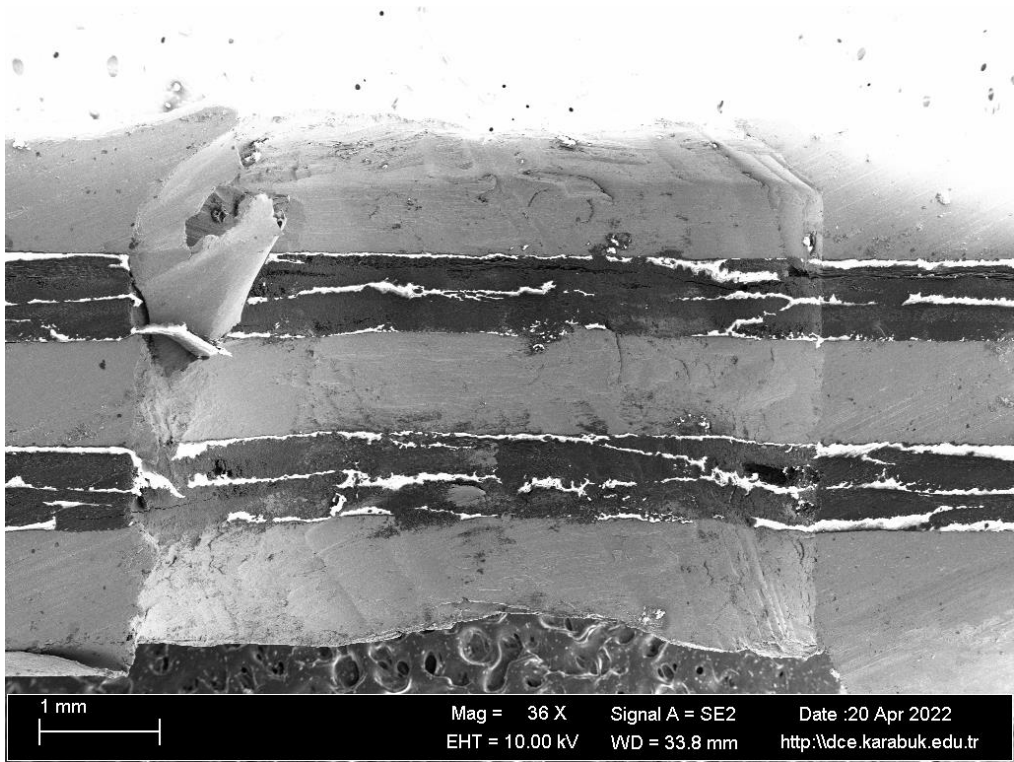


Şekil 6. 79. 100-0.075-1250 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.

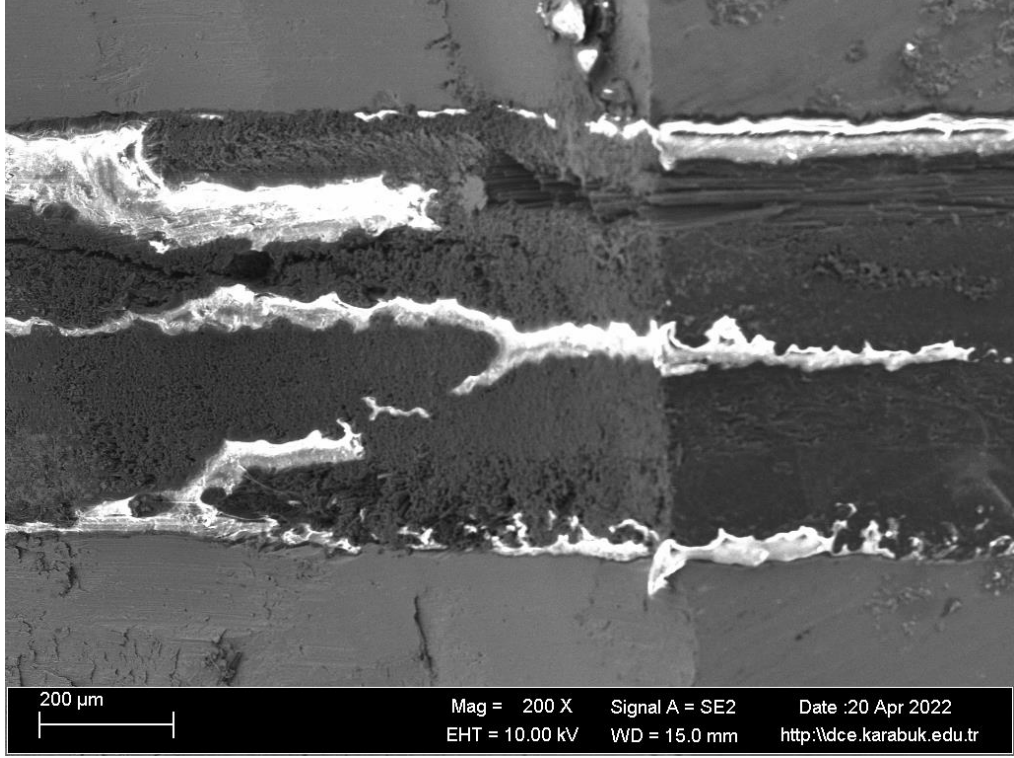




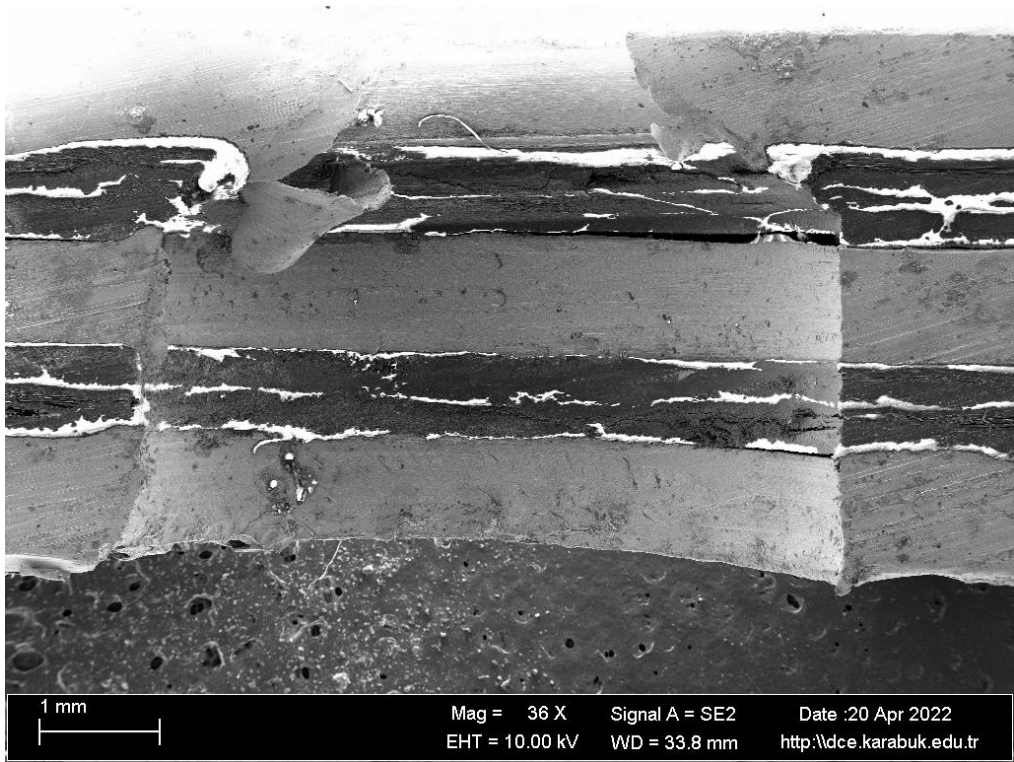
Şekil 6. 80. 100-0.075-1250 numaralı deliğin 1KX büyütmede SEM görüntüsü.



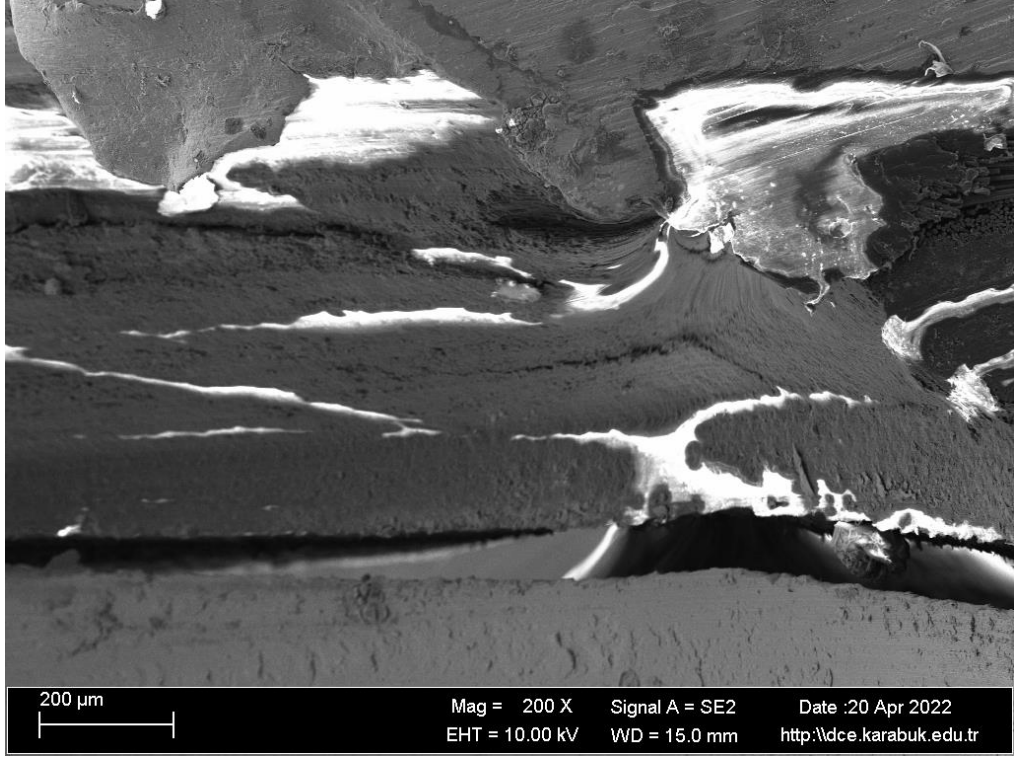
Şekil 6. 81. 100-0.075-1500 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.



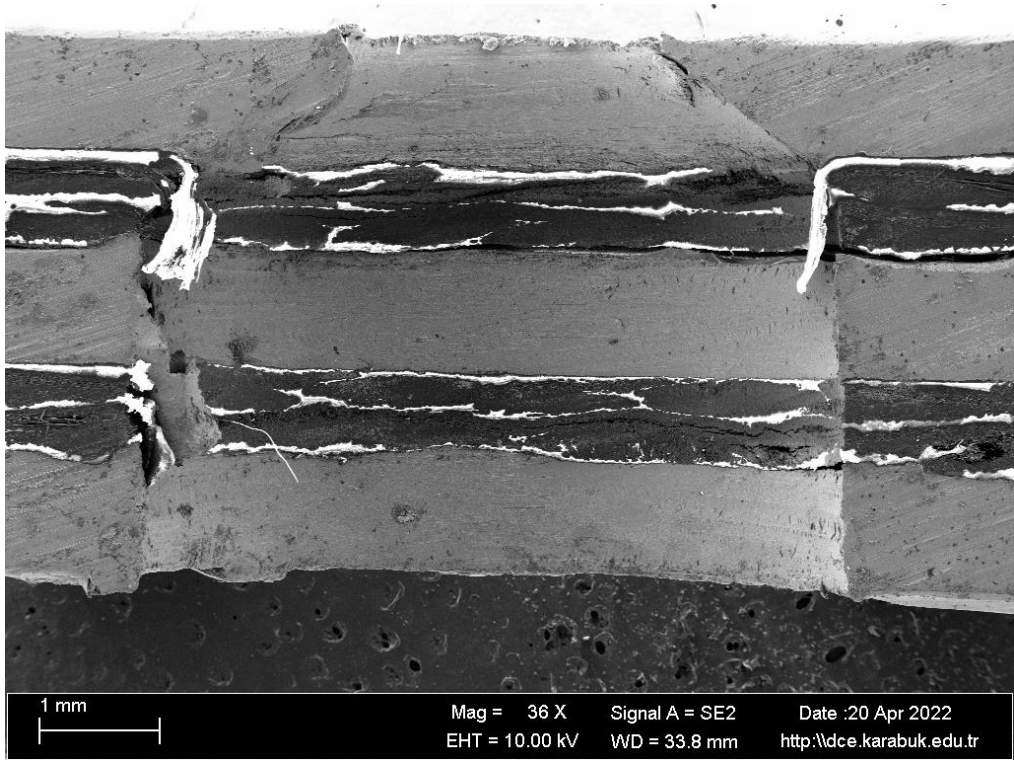
Şekil 6. 82. 100-0.075-1500 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.



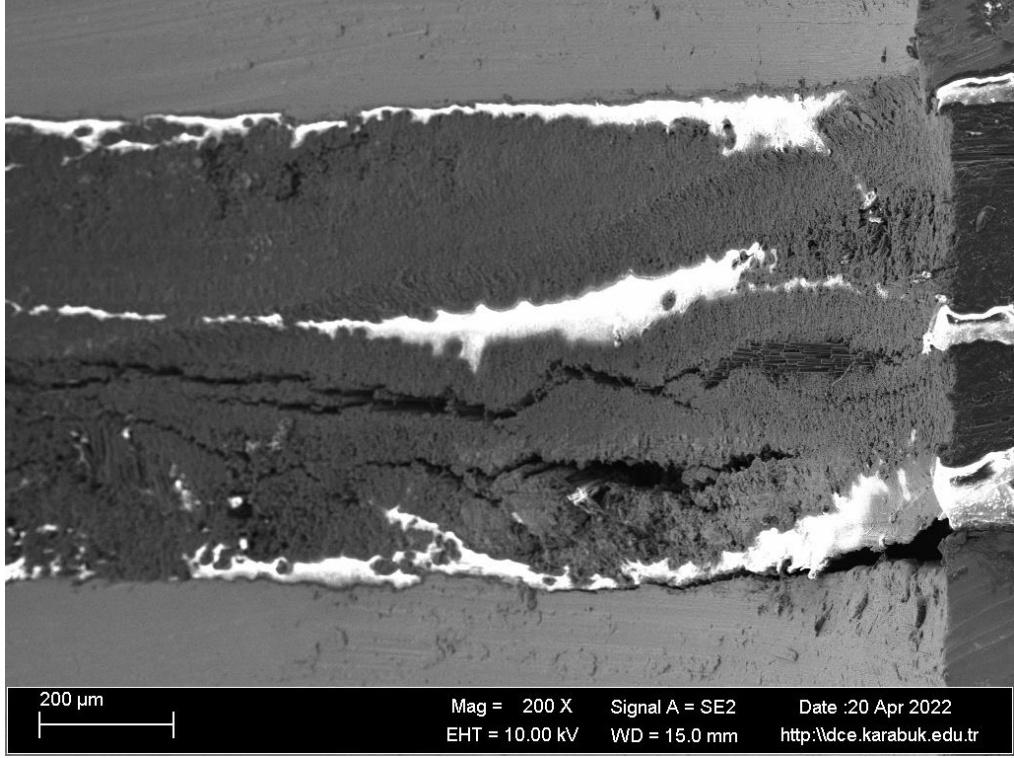
Şekil 6. 83. 100-0.100-1000 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.



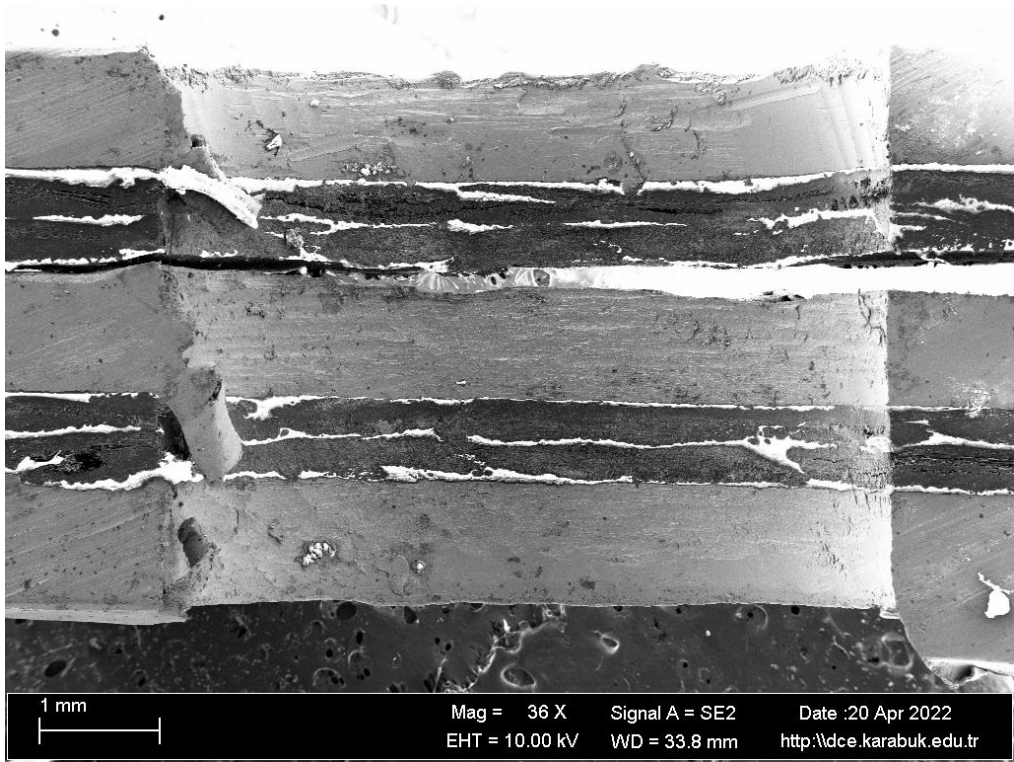
Şekil 6. 84. 100-0.100-1000 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.



Şekil 6. 85. 100-0.100-1250 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.

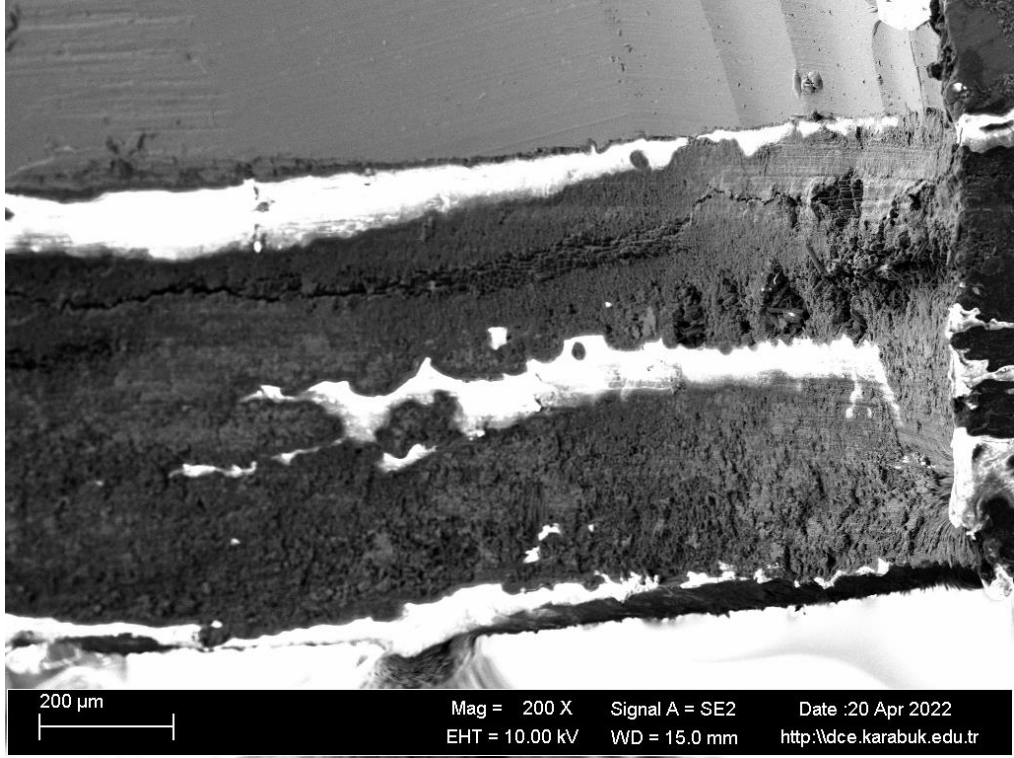


Şekil 6. 86. 100-0.100-1250 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.

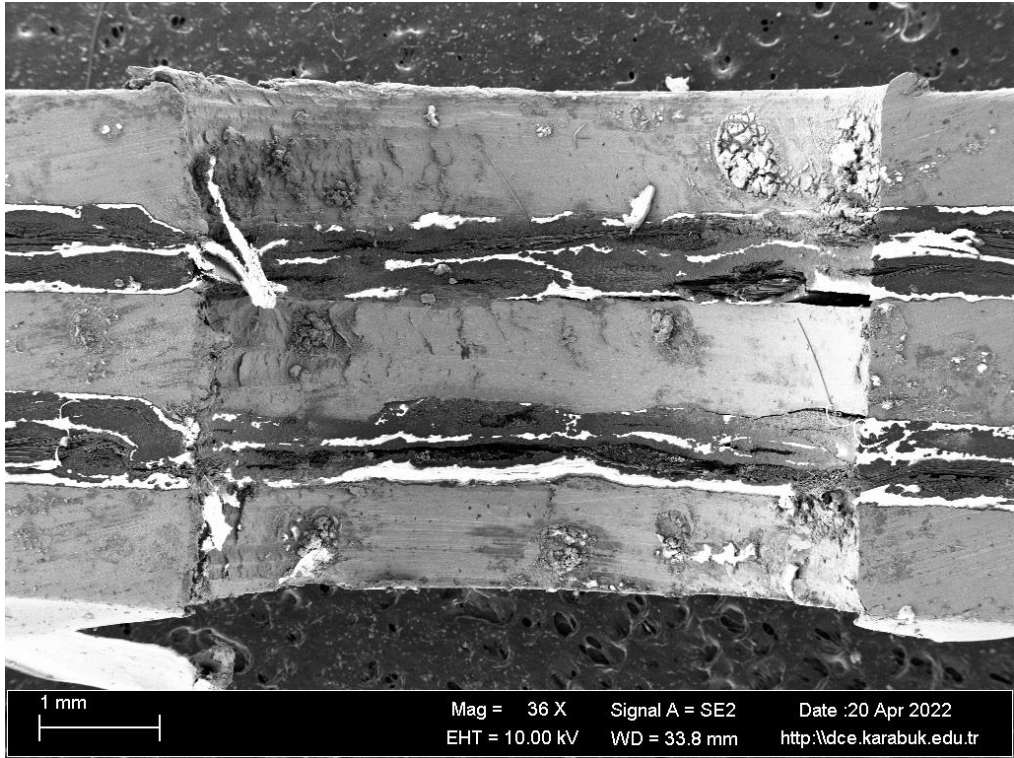


Şekil 6. 87. 100-0.100-1500 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.

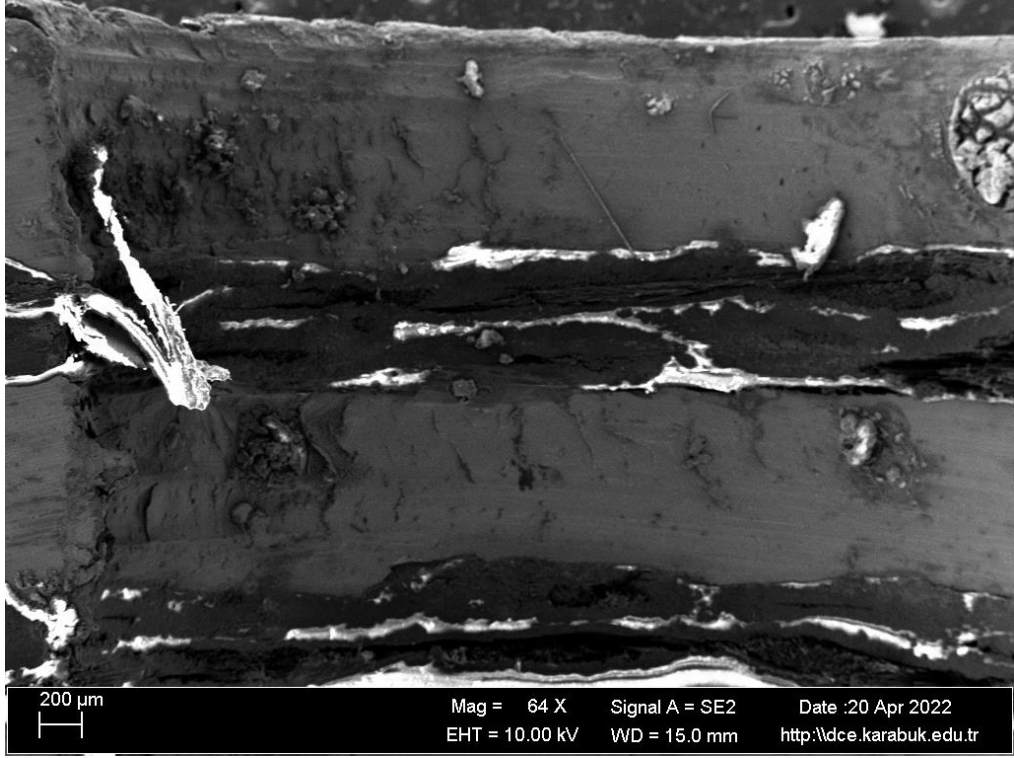




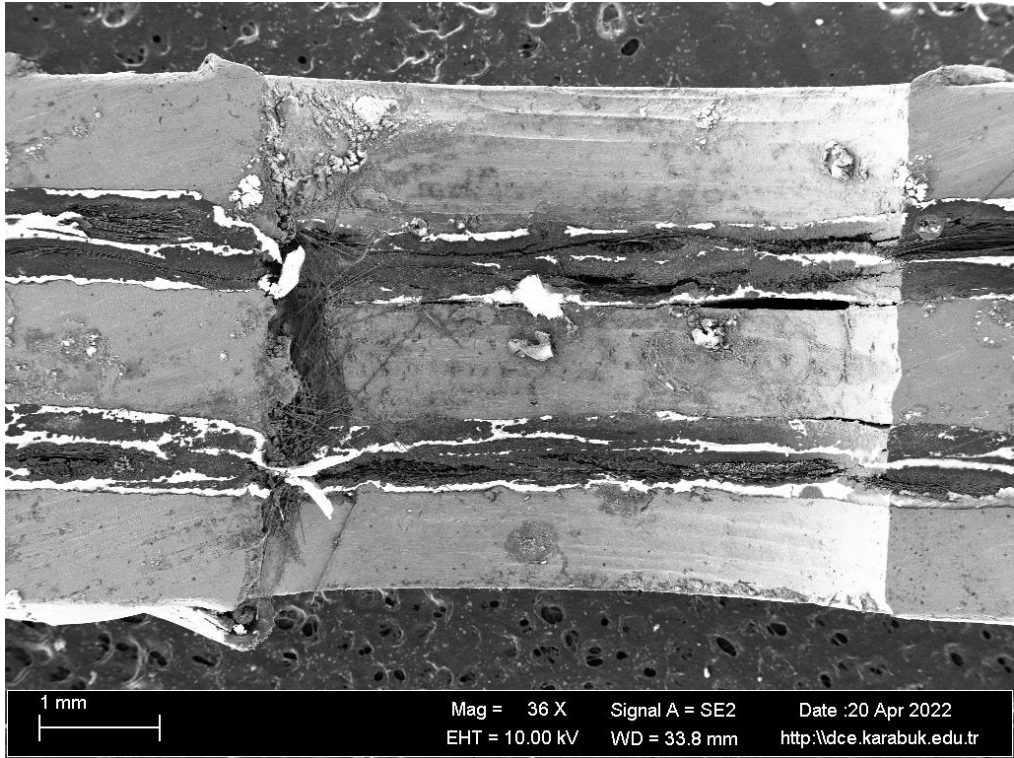
Şekil 6. 88. 100-0.100-1500 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.



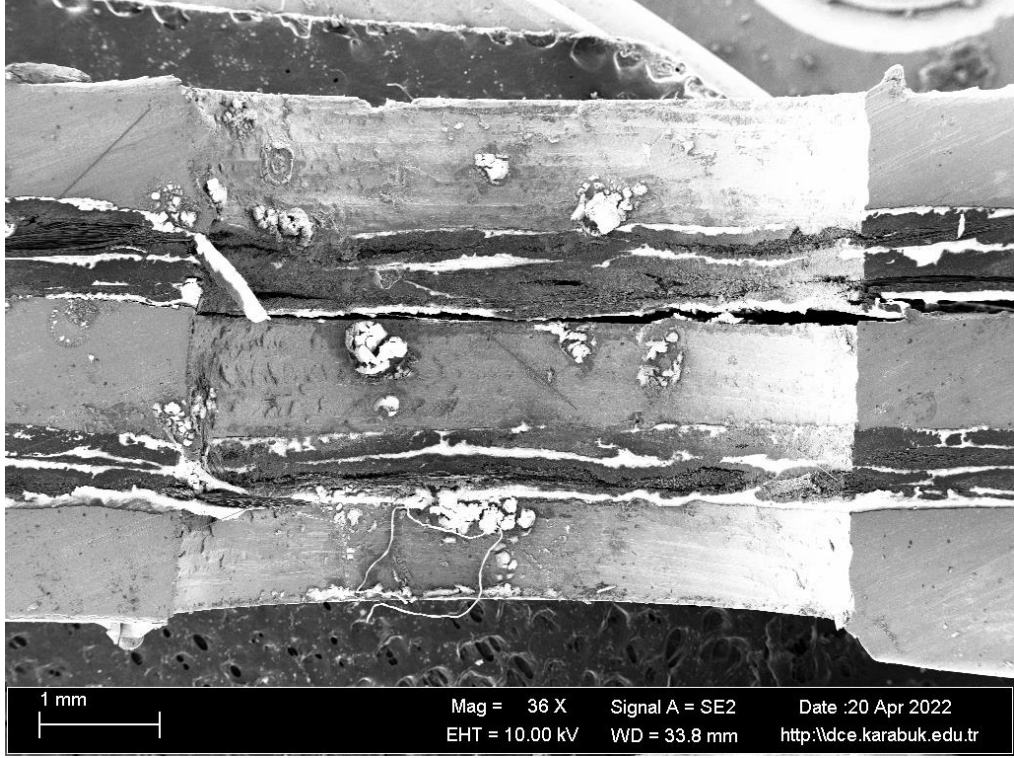
Şekil 6. 89. 100-0.150-1000 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.



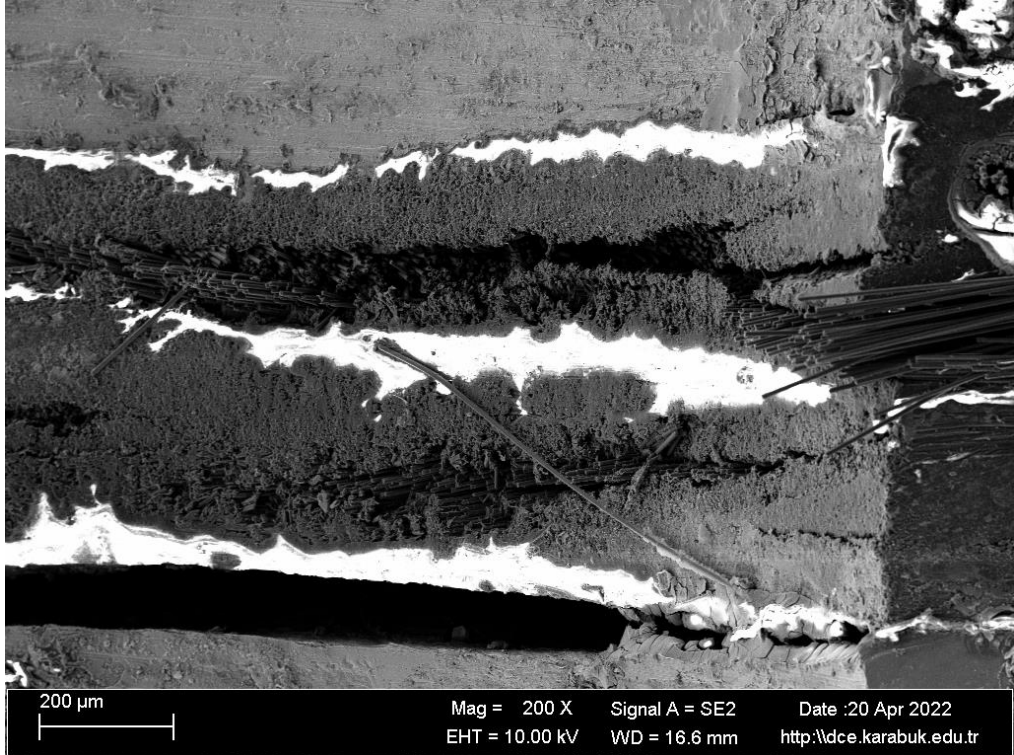
Şekil 6. 90. 100-0.150-1000 numaralı deliğin 64X büyütmede SEM görüntüsü.



Şekil 6. 91. 100-0.150-1250 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.



Şekil 6. 92. 100-0.150-1500 numaralı deliğin makro (36X) büyütmede SEM görüntüsü.

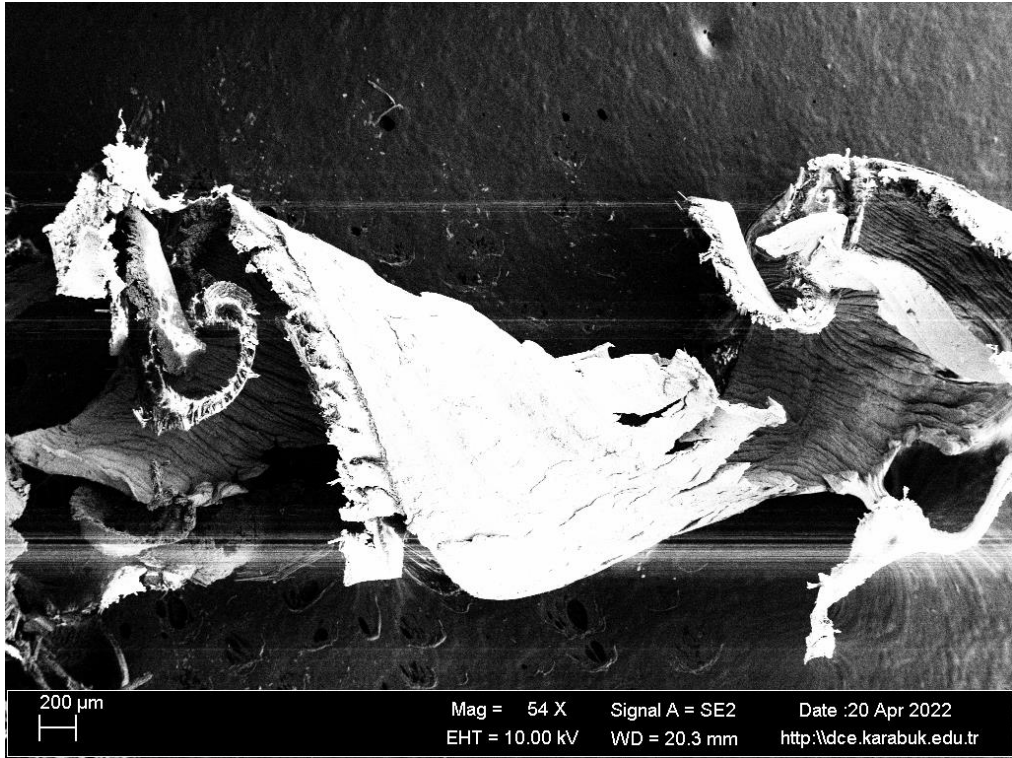


Şekil 6. 93. 100-0.150-1500 numaralı deliğin 200X büyütmede SEM görüntüsü.

#### 6.4. TALAŞ YAPILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

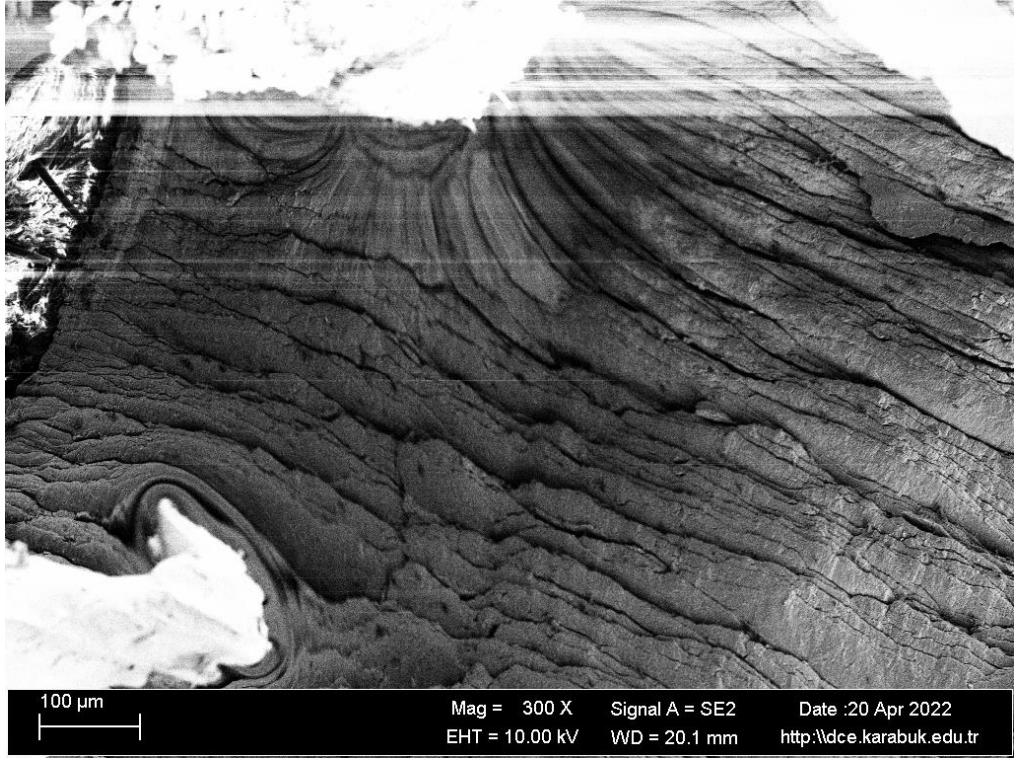
Delme işleminin geride bıraktığı deliklerin yüzey kalitesinin değerlendirilmesi ve matkaplardaki aşınma, büyük ölçüde talaş formlarına bağlıdır. Talaş şekilleri, iş parçasının malzemesine, işleme parametrelerine, kullanılan takımın türüne ve takım geometrilerine bağlı olarak değişir.

Bu kısımda 0.075 ilerleme-1000 kesme hızı ve 0.150 ilerleme-1500 kesme hızı ile yapılan delik delme deneyleri sonucunda oluşan talaş formları incelenmiştir. Delik delme deneyleri sonucunda elde edilen genel talaş formuna ait SEM görüntüleri Şekil 6.94-6.97'de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan tüm deneylerde testere dişli ve kısa talaş formunda talaşlar elde edilmiştir. Talaşlar aynı zamanda kıvrımlı talaş formundadır.

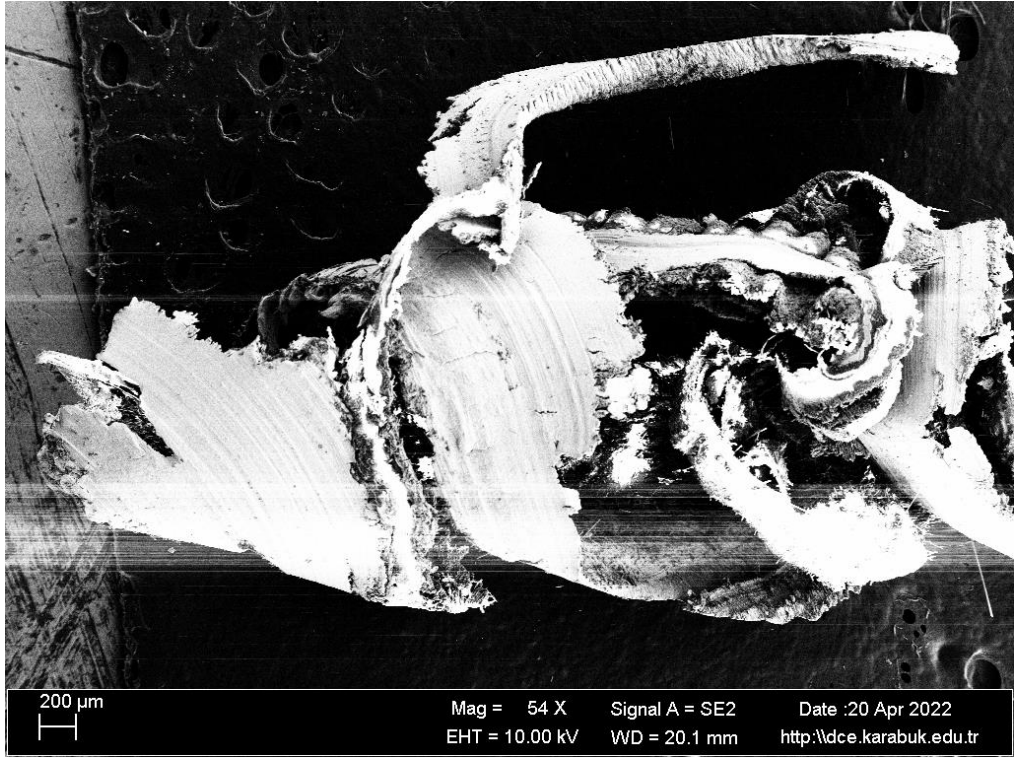


Şekil 6. 94. 100-0.075-1000 numaralı deliğin talaş formununa ait 54X büyütme SEM görüntüsü

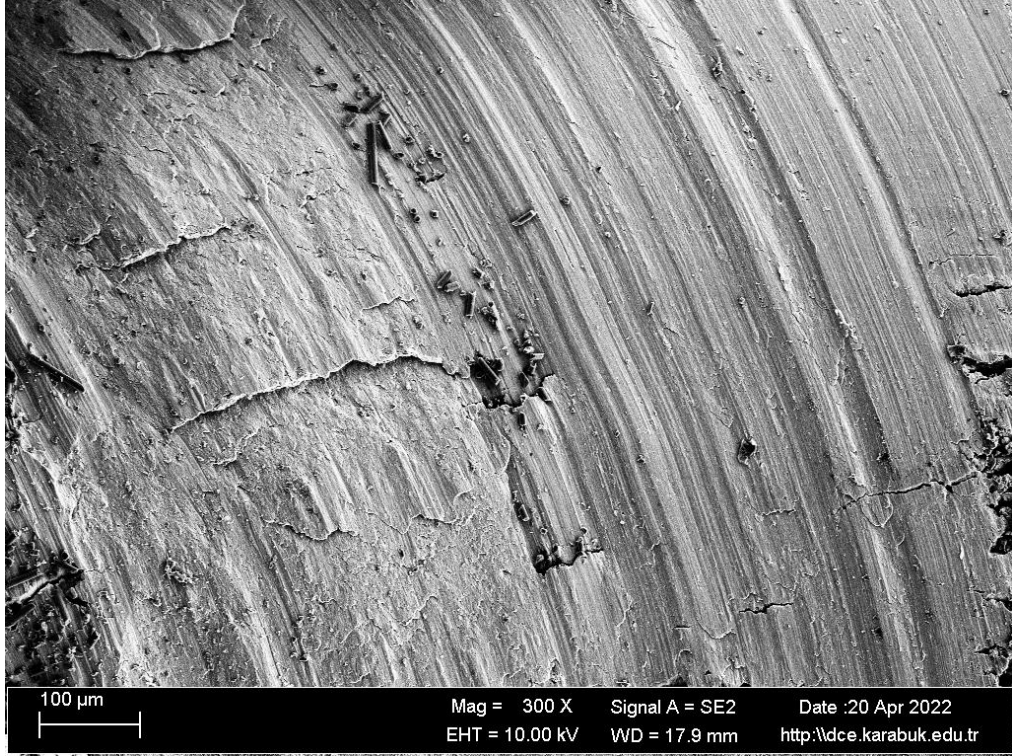




Şekil 6. 95. 100-0.075-1000 numaralı deliğin talaş formununa ait 300X büyütme SEM görüntüsü



Şekil 6. 96. 100-0.150-1500 numaralı deliğin talaş formununa ait 54X büyütme SEM görüntüsü



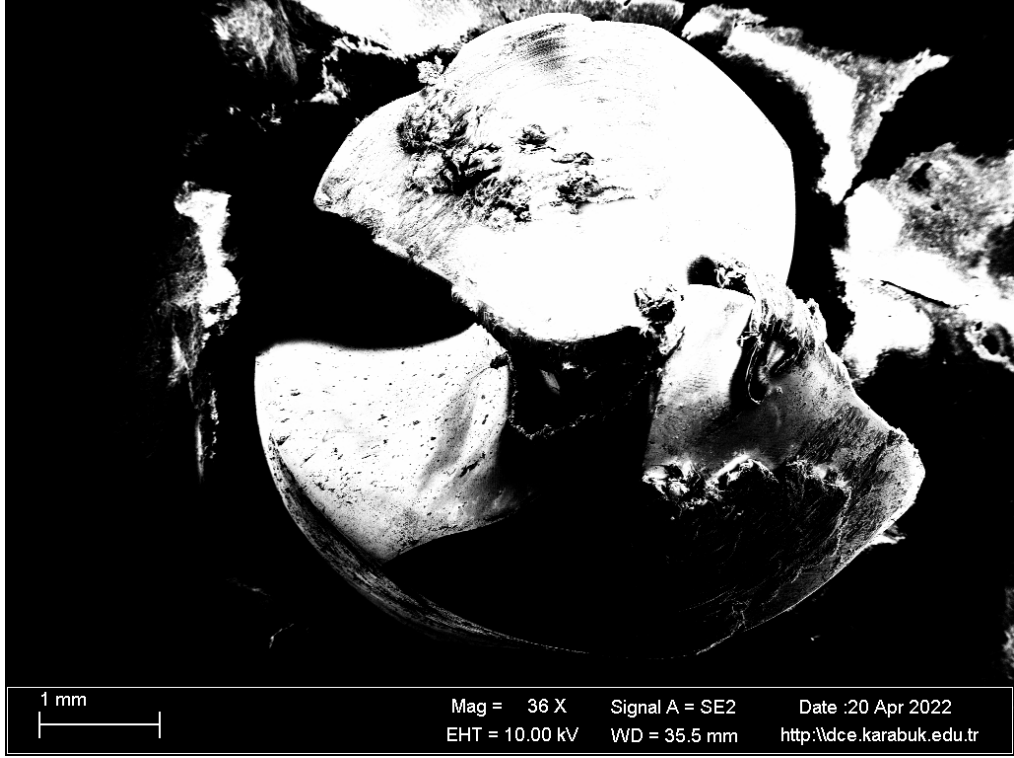
Şekil 6. 97. 100-0.150-1500 numaralı deliğin talaş formuna ait 300X büyütme SEM görüntüsü

## 6.5. TAKIM AŞINMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde kompozit malzemelerin delinmesinde, 100° matkap ucu üzerinde oluşan aşınma mekanizmaları Şekil 6.98-6.100’de incelenmiştir.

SEM görüntülerine bakıldığında matkap ucunun deforme olduğu ve kompozitten kopan parçaların matkap ucuna yapıştığı görüldü. Kelly ve Cottarel (2002); Aydın (2019) [62,63] bu durumu kesme sıvısı kullanılmadığı için talaşların yoğun ısı sebebiyle matkap yüzeyine olan difüzyonundan kaynaklandığı şeklinde açıklamışlardır.

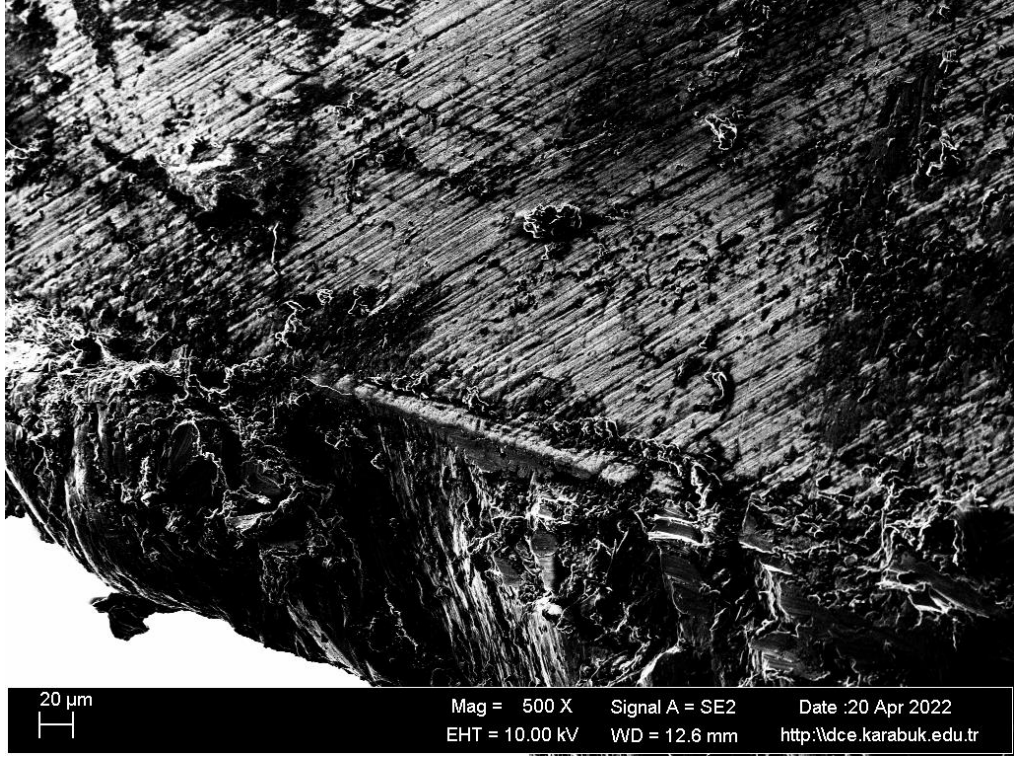
Matkapla delik delme işleminde en etkin aşınma türü dış köşe aşınmasıdır. Özellikle yüksek kesme hızıyla delik delme işleminde, matkabın en dış köşe noktasında aşınma fazla olmaktadır. Matkabın uç açısı azaldıkça dış köşe açısı artmaktadır. Artan dış köşe açısı matkaba daha iyi aşınma direnci sağlamaktadır.



Şekil 6. 98. 100° matkap ucunun 36X büyütme SEM görüntüsü



Şekil 6. 99. 100° matkap ucunun 300X büyütme SEM görüntüsü



Şekil 6. 100. 100° matkap ucunun 500X büyütme SEM görüntüsü

## BÖLÜM 7

### GENEL SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında 0,8 mm kalınlığında 2024-T3 alüminyum levha arasına PEEK matrisli karbon fiberler takviye edilerek 3/2 istif sırasına sahip FML' ler üretilmiştir. Metal levhaların adhezif özelliklerini geliştirmek açısından yüzeylerine zımparalama ve shot peening işlemleri uygulanmıştır. Metal levhaların yüzey pürüzlendirme işlemlerinden sonra itme kuvveti ve tork değerleri bulunmuştur. Ardından delaminasyon makro görüntüleri alınarak delaminasyon faktörü hesaplanmıştır. Son olarak işlenmiş yüzeylerin, talaş yapılarının ve takım aşınmalarının SEM incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bütün bu çalışmalar neticesinde elde edilen bulgular maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- 100 ° matkap ucuyla işlenen tüm delikler için maksimum kuvvet değeri 855 N ile 100-0.15-1250 numaralı delikte elde edilirken, maksimum tork değeri ise 0.070 Nm ile 100-0.15-1250 ve 100-0.075-1250 numaralı delikte ölçülmüştür.
- 120 ° matkap ucuyla işlenen tüm delikler için ise maksimum kuvvet değeri 440 N ile 120-0.15-1000 numaralı delikte elde edilirken, maksimum tork değeri ise 0.54 Nm ile 120-0.15-1000 numaralı delikte ölçülmüştür.
- 138 ° matkap ucuyla işlenen tüm delikler için ise maksimum kuvvet değeri 370 N ile 138-0.1-1000 numaralı delikte elde edilirken, maksimum tork değeri ise 1.26 Nm ile 138-0.1-1000 numaralı delikte ölçülmüştür.
- Delaminasyon ölçüm sonuçlarına göre 100 ° matkap ucunda en yüksek delaminasyon faktörü 1.135 ile 100-0.15-1000 numaralı delikte en düşük delaminasyon faktörü ise 1.051 ile 100-0.1-1500 numaralı delikte ölçülmüştür. 120 ° matkap ucunda ise en yüksek delaminasyon faktörü 1.138 ile 120-0.075-1500 ve 120-0.075-1250 numaralı delikte en düşük delaminasyon faktörü ise 1.062 ile 120-0.1-1000 numaralı delikte ölçülmüştür. 138 ° matkap ucunda ise

en yüksek delaminasyon faktörü 1.142 ile 138-0.075-1250 numaralı delikte en düşük delaminasyon faktörü ise 1.069 ile 138-0.15-1250 numaralı delikte ölçülmüştür.

- İşlenmiş yüzeylerin değerlendirme sonucunda ise 100° delme açısı, 0.075 ilerleme ve 1000-1250-1500 kesme hızına sahip numunelerde tabakalar arasında herhangi bir delaminasyon gözlemlenmemiştir. 100° delme açısına, 0.10 ilerleme hızına ve 1000-1250-1500 kesme hızına sahip numunelerde kütleli kırılma şeklinde malzeme kayıplarının olduğu ve yapıda mikro çatlakların oluştuğu görülmüştür. 100° delme açısına, 0.15 ilerleme hızına ve 1000-1250-1500 kesme hızına sahip numunelerde diğer parametrelere göre daha fazla tabakanın ayrıldığı görülmüştür.
- 0.075 ilerleme-1000 kesme hızı ve 0.150 ilerleme-1500 kesme hızı ile yapılan delik delme deneyleri sonucunda oluşan talaş formları incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan tüm deneylerde testere dişli ve kısa talaş formunda talaşlar elde edilmiştir. Talaşlar aynı zamanda kıvrımlı talaş formundadır.
- 100° matkap ucu üzerinde oluşan aşınma mekanizmaları incelenmiştir. SEM görüntülerine bakıldığında matkap ucunun deforme olduğu ve kompozitten kopan parçaların matkap ucuna yapıştığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Onaran, K., "Malzeme Bilimi Problemleri ve Çözümleri", *Bilim Teknik Yayınevi*, İstanbul, 167 (2000).
- [2] Onat, A., "Kompozit Malzemeler Ders Notu", *Sakarya Meslek Yüksekokulu Makina Ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı*, Sakarya, 78-93 (2015).
- [3] Botelho, E. C., Silva, R. A., Pardini, L. C., and Rezende, M. C., "A review on the development and properties of continuous fiber/epoxy/aluminum hybrid composites for aircraft structures", *Materials Research*, 9 (3): 247–256 (2006).
- [4] Bernhardt, S., Ramulu, M., and Kobayashi, A. S., "Low-velocity impact response characterization of a hybrid titanium composite laminate" *Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME*, 129(2):220-226 (2007).
- [5] Cortés, P. and Cantwell, W. J., "The prediction of tensile failure in titanium-based thermoplastic fibre–metal laminates", *Composites Science And Technology*, 66 (13): 2306–2316 (2006).
- [6] İnternet: "A Review of Using Conductive Composite Materials in Solving Lightning Strike and Ice Accumulation Problems in Aviation", [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S217591462019000100200&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S217591462019000100200&script=sci_arttext) (2020).
- [7] Saleh, H. E.-D. M. and Koller, M., "Characterizations of Some Composite Materials", *IntechOpen*, London, 166 (2019).
- [8] Hahn, H. T. and Tsai, S. W., "Introduction to Composite Materials", *CRC Press*, Boca Raton, 486 (1980).
- [9] Kaya, A.İ., "Atık Kâğıtlardan Geri Kazanılmış Liflerden Kompozit Malzeme Üretim Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (1995).
- [10] Mazumdar, S.K. "Composites Manufacturing, Materials, Product and Process engineering", *CRC Press LLC: Boca Raton*, USA, 417 (2002).
- [11] Asi, D., "MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI", 174.
- [12] Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", *Gazi Kitabevi*, Ankara (2000).
- [13] Jo, H. S. and Lee, G. W., "Investigation of Mechanical and Thermal Properties of Silica-Reinforced Epoxy Composites by Using Experiment and Empirical Model", *Materials Today: Proceedings*, 4 (5, Part 2): 6178–6187 (2017).

- [14] Sudheer, M., Hemanth, K., Raju, K., and Bhat, T., "Enhanced Mechanical and Wear Performance of Epoxy/glass Composites with PTW/Graphite Hybrid Fillers", *Procedia Materials Science*, 6: 975–987 (2014).
- [15] DEMİREL, A., "Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu" Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
- [16] Gupta, N., Singh Brar, B., and Woldesenbet, E., "Effect of filler addition on the compressive and impact properties of glass fibre reinforced epoxy", *Bulletin Of Materials Science*, 24 (2): 219–223 (2001).
- [17] Askeland, D. R. and Wright, W. J., "Science and Engineering of Materials, SI Edition", *Cengage Learning*, 898 (2015).
- [18] Salve, A., Kulkarni, R., and Mache, A., "A review: Fiber metal laminates (FML's)—Manufacturing, test methods and numerical modeling", *International Journal Of Engineering Technology And Sciences (IJETS)*, 6 (1): 71–84 (2016).
- [19] İnternet: "Download Citation of Tensile Strength and Thermal Residual Stress of CARALL and UACS/ALLaminates", [https://www.researchgate.net/publication/327249687\\_Tensile\\_strength\\_and\\_thermal\\_residual\\_stress\\_of\\_CARALL\\_and\\_UACSAL\\_laminates](https://www.researchgate.net/publication/327249687_Tensile_strength_and_thermal_residual_stress_of_CARALL_and_UACSAL_laminates) (2020).
- [20] Thomas, J., "The A380 programme — the big task for Europe's aerospace industry", *Air & Space Europe*, 3 (3): 35–39 (2001).
- [21] Marissen, R. and Vogelesang, L. B., "Development of a new hybrid material: Aramid reinforced aluminium laminate (ARALL)", *SAMPE conference*, Cannes (1981).
- [22] Sadighi, M., Alderliesten, R. C., and Benedictus, R., "Impact resistance of fibermetal laminates: A review", *International Journal Of Impact Engineering*, 49: 77–90 (2012).
- [23] Alderliesten, R. C. and Benedictus, R., "Fiber/Metal Composite Technology for Future Primary Aircraft Structures", *Journal Of Aircraft*, 45 (4): 1182–1189 (2008).
- [24] Vlot, A., "Impact loading on fibre metal laminates", *International Journal Of Impact Engineering*, 18 (3): 291–307 (1996).
- [25] Beumler, T., Pellenkoff, F., Tillich, A., Wohlers, W., and Smart, C., "Airbus costumer benefit from fiber metal laminates", *Airbus Deutschland GmbH*, 1: 1– 18 (2006).
- [26] Vogelesang, L. B. and Vlot, A., "Development of fibre metal laminates for advanced aerospace structures", *Journal Of Materials Processing Technology*,



103 (1): 1–5 (2000).

- [27] Vogelesang, L. B., Gunnink, J. W., Roebroeks, G., and Muller, R. P. G., "Towards the supportable and durable aircraft fuselage structure", *Chameleon Press Ltd*, Estimation, Enhancement And Control Of Aircraft Fatigue Performance. ICAF 95(UK), 1: 257–271 (1995).
- [28] Sinmazçelik, T., Avcu, E., Bora, M. Ö., and Çoban, O., "A review: Fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods", *Materials & Design*, 32 (7): 3671–3685 (2011).
- [29] Asundi, A. and Choi, A. Y. N., "Fiber metal laminates: An advanced material for future aircraft", *Journal Of Materials Processing Technology*, 63 (1): 384–394 (1997).
- [30] Wilk, M. S. and Śliwa, R. E., "The Influence of Features of Aluminium Alloys 2024, 6061 and 7075 on the Properties of GLARE-Type Composites", *Archives Of Metallurgy And Materials*, 60(4): (2015).
- [31] Snoo, D. and Henry, R., "Assessing Composite and Fibre Metal Laminate Materials for Automotive Applications Through Impact and Quasi-Static Indentation Testing", Master Thesis, *Carleton University*, (2015).
- [32] Yang, Y. X., Zhu, G. L., and Xiao, Y. P., "Recycling of Fiber-Metal Laminates", *Advanced Materials Research*, 295-297:2329-2332, (2020).
- [33] Dalmijn, W.L., Vogelesang, L.B., and Tempelman, E., "Sustainable Transport and Advanced Materials", *OAI* (1999).
- [34] Kalyanasundaram, S., DharMalingam, S., Venkatesan, S., and Sexton, A., "Effect of process parameters during forming of self reinforced – PP based Fiber Metal Laminate", *Composite Structures*, 97: 332–337 (2013).
- [35] Bied-Charreton, A. D., "Friction Stir Welding effects of defects in Glare", *Woodhead Publishing*, (2016).
- [36] Lin, Y. C., Xia, Y.-C., Jiang, Y.-Q., Zhou, H.-M., and Li, L.-T., "Precipitation hardening of 2024-T3 aluminum alloy during creep aging", *Materials Science And Engineering: A*, 565: 420–429, (2013).
- [37] Roy, M. J., Maijer, D. M., and Dancoine, L., "Constitutive behavior of as-cast A356", *Materials Science And Engineering: A*, 548: 195–205, (2012).
- [38] Marceau, R. K. W., Qiu, C., Ringer, S. P., and Hutchinson, C. R., "A study of the composition dependence of the rapid hardening phenomenon in Al–Cu–Mg alloys using diffusion couples", *Materials Science And Engineering: A*, 546: 153–161, (2012).
- [39] Kloc, L., Spigarelli, S., Cerri, E., Evangelista, E., and Langdon, T. G., "Creep

- behavior of an aluminum 2024 alloy produced by powder metallurgy", *Acta Materialia*, 45 (2): 529–540, (1997).
- [40] Baltacı, A., Sarıkanat, M., and Yıldız, H., "Static stability of laminated composite circular plates with holes using shear deformation theory", *Finite Elements In Analysis And Design*, 43 (11): 839–846, (2007).
- [41] Alcoa Mill Products, "Alloy 2024 Sheet and Plate", *Wayback Machine*, (2006).
- [42] Johnson, S. B., "The United States Air Force and the Culture of Innovation 1945- 1965", *Diane Publishing Co.*, 32 (2002).
- [43] Avallone, E. A., "Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers", *The McGraw-Hill Companies, Inc.*, (2007).
- [44] İnternet:"Continuous Casting in Traveling Mold [SubsTech]", [https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=continuous\\_casting\\_in\\_traveling\\_mold](https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=continuous_casting_in_traveling_mold), (2020).
- [45] Bhatt, P. and Goe, A., "Carbon Fibres: Production, Properties and Potential Use", *Material Science Research India*, 14 (1): 52–57 (2017).
- [46] Park, S.-J. and Seo, M.-K., "Chapter 6 - Element and Processing", *Interface Science and Technology, Elsevier*, 431–499 (2011).
- [47] Kalaycı, E., Avcı, O., and Yavaş, A., "Polyether Ether Ketone (Peek) Fibers", *Cumhuriyet Science Journal*, 38 (2): 168–168 (2017).
- [48] Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1996).
- [49] Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri 1", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 2000.
- [50] M. P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing", 4. baskı, Hoboken-New Jersey, USA: *Prentice-Hall Inc.*, 251-639 (1996).
- [51] L. R. D. L. Garcia, "Residual Stress and Part Distortion in Milled Aerospace Aluminium", 1. baskı, *Hannover*, Germany, 1-139,(2010).
- [52] O. Kurt, "Alaşımli alüminyum köpüklerin talaşlı imalat yöntemiyle işlenebilirliğinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa (2019).
- [53] Tufan, M., "AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıl işleminin işlenebilirliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2011).
- [54] Balcı, B., "AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi", Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi*

*Fen Bilimleri Enstitüsü*, 15-16, Karabük, (2008).

- [55] Sandvik Coromant, “Modern metal cutting – a practical handbook”, *Sandvik Coromant*, Sweden, 1-3: 434-457, (1997)
- [56] Çakır, M.C., “Modern talaşlı imalat yöntemleri”, *Vipaş Yayınevi*, 536, Bursa, (2000).
- [57] Özyurt, V., “AlMg<sub>3</sub>/SiCp kompozitlerin işlenebilirliğinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 56 s, Edirne, (2010).
- [58] Çakır, M.C., “Modern metal cutting”, *Sandvik Coromant Technical Editorial Department*, Sweden, (2006).
- [59] Chen, W., “Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composite laminates”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 37(8): 1097-1108, (1997).
- [60] Abdulgadir, M.M., “Drilling Of Hybrid Reinforced Magnesium Matrix Composites” Doctoral Thesis, *Karabük University The Institute Of Natural And Applied Sciences*, Karabük, (2018).
- [61] Aydın, E. and Nalbant, M., "The effect of drill point angles on drillability in CFRP/Al-7075 stacking drilling", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2): 917-931,(2020).
- [62] Kelly, J. F., & Cotterell, M. G., “Minimal lubrication machining of aluminium alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 120(1-3), 327-334, (2002).
- [63] Aydın, E., “Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit (CFRP) İle Alüminyum Alaşımının (Al 7075) İstiflenmiş Halde Delinebilirlik Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,(2019).

## ÖZGEÇMİŞ

Wahid Salem El-Mabrouk DAKHEEL ilk ve orta öğrenimini Libya'da tamamladı. Redemption Falcons Lisesi'nden mezun oldu. Çalışmalarına 1999 yılında Tajoura Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde başlamış ve 2004 yılında bölümden ortalama 3.65 ile mezun olmuştur. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına 2020 yılında başlamıştır.