



AL7075 LEVHA MALZEMELERİNİN DELMESİ

Jabir Mustafa Ali AHMOUDAH

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

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

DRILLING OF AL7075 SHEET MATERIALS

Jabir Mustafa Ali AHMOUDAH

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

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

**KARABÜK
Temmuz 2022**

Jabir Mustafa Ali AHMOUDAH tarafından hazırlanan “AL7075 LEVHA MALZEMELERİNİN 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.”

Jabir Mustafa Ali AHMOUDAH

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AL7075 LEVHA MALZEMELERİNİN DELMESİ

Jabir Mustafa Ali AHMOUDAH

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İsmail ESEN

Temmuz 2022, 82 sayfa

Bu çalışmada, endüstride sıklıkla kullanılan Al7075 levha malzemeler kullanılmıştır ve bu malzemelerin iç gerilmelerini gidererek daha dayanıklı hale gelmesi için T65 ısıtma işlemi uygulanmıştır. Al7075 levha malzemelerin talaşlı imalatta işlenebilirlik özelliklerinin artırılması adına delik delme işlemi yapılmıştır. Kesici takım ve kesme parametrelerinin etkili olduğu delme işlenebilirlik testlerinde üç farklı kesme hızı (1000 rpm, 1250 rpm, 1500 rpm), üç farklı ilerleme hızı (0.075 mm/rev, 0.1 mm/rev, 0.15 mm/rev), üç farklı kesici (100°, 120°, 138°) takım türü kullanılarak yapılmıştır. Delme işlemi sonrasında kuvvet ve tork ölçüm grafikleri çıkarılmış ve ardından delme sonucu meydana gelen delik çapının orjinal çapa kıyasla değişimi saptanılmıştır. Delme işleminde meydana gelen deformasyonu belirlemek için delik yüzeyleri, delme sonucu meydana gelen talaş parçaları ve kesici takım olan matkaptaki aşınmaların detaylı olarak incelemeleri yapılmıştır.

Al7075'te T65 ısıtılmasının neden olduğu tanelerel yönelmeler ve bu yönelmelerde meydana gelen elips formunda büyümeler gözlemlenmiştir. Delme işlemi sonrası A, B ve C kodları ile bahsedilen 100°, 120° ve 138° matkap uçlarının sırasıyla maksimum kuvvet değeri 469.1142 N, 676.6938 N ve 648.8334 N olarak bulunmuştur; Maksimum tork değeri ise sırasıyla 0.203067 Nm, 0.767142 Nm ve 0.361008 Nm'dir. Delme işlemi sonrasında A, B ve C kodları ile bahsedilen 100°, 120° ve 138° matkap uçlarında sırasıyla 1.084, 1.113 ve 1.124 kat çap oranlarında değişim mevcuttur. Delme işlemi sonrası artan kesme hızı ile orantılı olarak delik yüzeyinde deformasyon artmıştır ve talaş oluşumu daha konik helisel bir formda oluşmuştur. Delme sonrasında kesici takımında yer yer parça yapışması ve takımında parça kopmaları görülmektedir.

Anahtar Sözcükler : Al7075, T65, delik delme, işlenebilirlik.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DRILLING OF AL7075 SHEET MATERIALS

Jabir Mustafa Ali AHMOUDAH

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. İsmail ESEN

July 2022, 82 pages

In this study, Al7075 sheet materials, which are frequently used in the industry, were used and T65 heat treatment was applied to make these materials more durable by relieving internal stresses. Hole drilling was performed in order to increase the machinability properties of Al7075 sheet materials in machining. Three different cutting speeds (1000 rpm, 1250 rpm, 1500 rpm), three different feed rates (0.075 mm/rev, 0.1) were used in drilling machinability tests where cutting tool and cutting parameters were effective. mm/rev, 0.15 mm/rev) were made using three different cutter (100°, 120°, 138°) tool types. After the drilling process, force and torque measurement graphs were drawn, and then the change in the diameter of the hole resulting from the drilling compared to the original diameter was determined. In order to determine the deformation occurring in the drilling process, detailed examinations of the hole surfaces, the chip pieces resulting from drilling and the wear of the drill, which is the cutting tool, were made.

Grain orientations caused by T65 heat treatment and elliptical growths occurred in these orientations were observed in Al7075. After drilling, the maximum force values of 100°, 120° and 138° drill bits mentioned with A, B and C codes were found to be 469.1142 N, 676.6938 N and 648.8334 N, respectively; The maximum torque is 0.203067 Nm, 0.767142 Nm and 0.361008 Nm, respectively. After the drilling process, there is a maximum change in diameter ratios of 1.084, 1.113 and 1.124 times, respectively, in the 100°, 120° and 138° drill bits mentioned with A, B and C codes. Deformation on the hole surface increased in proportion to the increasing cutting speed after drilling and chip formation occurred in a more conical helical form. After drilling, some parts sticking to the cutting tool and part breaks are seen in the tool.

Key Word : Al7075, T65, drilling, machinability.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, 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.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	2
2.1. ALÜMİNYUM.....	2
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
2.3. DELME İŞLEMİ.....	8
2.3.1. Delik Delme Takımları	10
2.3.2. Delik Delme Kesme Kuvvetleri.....	11
BÖLÜM 3	13
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	13
3.1. ANA MALZEME.....	13
3.2. NUMUNE HAZIRLAMA	14
3.3. DELME İŞLEMİ.....	14
BÖLÜM 4	17
DENEYSEL SONUÇLAR	17

4.1. MİKROYAPISAL SONUÇLAR	17
4.2. DELME İŞLEMİ SONUÇLARI	18
4.2.1. A (100°), B (120°) ve C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Kuvvet Ölçüm Sonuçları.....	19
4.2.1.1. A ₁₁ (-5,5), B ₁₁ (-5,5) ve C ₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü.....	19
4.2.1.2. A ₁₂ (-5,13), B ₁₂ (-5,13) ve C ₁₂ (-5,13) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü	20
4.2.1.3. A ₁₃ (-5,21), B ₁₃ (-5,21) ve C ₁₃ (-5,21) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü	21
4.2.1.4. A ₂₁ (-13,5), B ₂₁ (-13,5) ve C ₂₁ (-13,5) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü	23
4.2.1.5. A ₂₂ (-13,13), B ₂₂ (-13,13) ve C ₂₂ (-13,13) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü	25
4.2.1.6. A ₂₃ (-13,21), B ₂₃ (-13,21) ve C ₂₃ (-13,21) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü	27
4.2.1.7. A ₃₁ (-21,5), B ₃₁ (-21,5) ve C ₃₁ (-21,5) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü	29
4.2.1.8. A ₃₂ (-21,13), B ₃₂ (-21,13) ve C ₃₂ (-21,13) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü	31
4.2.1.9. A ₃₃ (-21,21), B ₃₃ (-21,21) ve C ₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü	33
4.2.2. A (100°), B (120°) ve C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Tork Ölçüm Sonuçları.....	35
4.2.2.1. A ₁₁ (-5,5), B ₁₁ (-5,5) ve C ₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	35
4.2.2.2. A ₁₂ (-5,13), B ₁₂ (-5,13) ve C ₁₂ (-5,13) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	36
4.2.2.3. A ₁₃ (-5,21), B ₁₃ (-5,21) ve C ₁₃ (-5,21) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	37
4.2.2.4. A ₂₁ (-13,5), B ₂₁ (-13,5) ve C ₂₁ (-13,5) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	39

4.2.2.5. A ₂₂ (-13,13), B ₂₂ (-13,13) ve C ₂₂ (-13,13) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	40
4.2.2.6. A ₂₃ (-13,21), B ₂₃ (-13,21) ve C ₂₃ (-13,21) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	42
4.2.2.7. A ₃₁ (-21,5), B ₃₁ (-21,5) ve C ₃₁ (-21,5) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	43
4.2.2.8. A ₃₂ (-21,13), B ₃₂ (-21,13) ve C ₃₂ (-21,13) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	45
4.2.2.9. A ₃₃ (-21,21), B ₃₃ (-21,21) ve C ₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü	46
4.2.3. A (100°), B (120°) ve C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Delik Çapı Değişim Görüntüleri.....	48
4.2.3.1. A ₁₁ (-5,5), B ₁₁ (-5,5) ve C ₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	48
4.2.3.2. A ₁₂ (-5,13), B ₁₂ (-5,13) ve C ₁₂ (-5,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	50
4.2.3.3. A ₁₃ (-5,21), B ₁₃ (-5,21) ve C ₁₃ (-5,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	51
4.2.3.4. A ₂₁ (-13,5), B ₂₁ (-13,5) ve C ₂₁ (-13,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	52
4.2.3.5. A ₂₂ (-13,13), B ₂₂ (-13,13) ve C ₂₂ (-13,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	54
4.2.3.6. A ₂₃ (-13,21), B ₂₃ (-13,21) ve C ₂₃ (-13,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	55
4.2.3.7. A ₃₁ (-21,5), B ₃₁ (-21,5) ve C ₃₁ (-21,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	56
4.2.3.8. A ₃₂ (-21,13), B ₃₂ (-21,13) ve C ₃₂ (-21,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	58
4.2.3.9. A ₃₃ (-21,21), B ₃₃ (-21,21) ve C ₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri	59
4.2.4. C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Delik SEM Görüntüleri.....	60
4.2.4.1. C ₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	60

Sayfa

4.2.4.2. C ₁₂ (-5,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	61
4.2.4.3. C ₁₃ (-5,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	62
4.2.4.4. C ₂₁ (-13,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	63
4.2.4.5. C ₂₂ (-13,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	64
4.2.4.6. C ₂₃ (-13,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	66
4.2.4.7. C ₃₁ (-21,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	67
4.2.4.8. C ₃₂ (-21,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	68
4.2.4.9. C ₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri	69
4.2.5. C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Talaş SEM Görüntüleri.....	70
4.2.5.1. C ₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Talaş SEM Görüntüleri.....	70
4.2.5.2. C ₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Talaş SEM Görüntüleri	71
4.2.6. C (138°) Kodlu Delme İşleminin Matkap Ucu SEM Görüntüleri.....	72
BÖLÜM 5	75
GENEL SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Başlıca alüminyum alaşım türleri	4
Şekil 2.2. Delme işlemi	9
Şekil 2.3. Talaş kaldırma işleminin (a) işlem süresi ve (b) talaş kaldırma süreleri	9
Şekil 2.4. Matkap kısımları	10
Şekil 3.1. CNC Atölyesinde ETAMILL VL 1000 freze tezgahında delme işlemi	14
Şekil 3.2. Semente karbür çubuk malzemeden yapılmış (a) matkap ucu ve (b) matkap ucu teknik resmi.	15
Şekil 4.1. T65 ısıtılmış Al7075 levha malzemesinin SEM görüntüsü	18
Şekil 4.2. Delme İşlemi için kodlama.	18
Şekil 4.3. B ₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	19
Şekil 4.4. C ₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	20
Şekil 4.5. B ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	21
Şekil 4.6. C ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	21
Şekil 4.7. A ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	22
Şekil 4.8. B ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	22
Şekil 4.9. C ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	23
Şekil 4.10. A ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	24
Şekil 4.11. B ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	24
Şekil 4.12. C ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	25
Şekil 4.13. A ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	26
Şekil 4.14. B ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	26
Şekil 4.15. C ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	27
Şekil 4.16. A ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	28
Şekil 4.17. B ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	28
Şekil 4.18. C ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	29
Şekil 4.19. A ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	30
Şekil 4.20. B ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	30
Şekil 4.21. C ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	31
Şekil 4.22. A ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	32
Şekil 4.23. B ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	32

Sayfa

Şekil 4.24.C ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	33
Şekil 4.25.A ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	34
Şekil 4.26.B ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	34
Şekil 4.27.C ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.	35
Şekil 4.28.C ₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.	36
Şekil 4.29.B ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.	37
Şekil 4.30.C ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.	37
Şekil 4.31.A ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.	38
Şekil 4.32.C ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.	38
Şekil 4.33.A ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.	39
Şekil 4.34.B ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.	40
Şekil 4.35.C ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.	40
Şekil 4.36.B ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.	41
Şekil 4.37.C ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.	41
Şekil 4.38.A ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.	42
Şekil 4.39.B ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.	43
Şekil 4.40.C ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.	43
Şekil 4.41.B ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.	44
Şekil 4.42.C ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.	44
Şekil 4.43.B ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.	45
Şekil 4.44.C ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.	46
Şekil 4.45.A ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.	47
Şekil 4.46.B ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.	47
Şekil 4.47.C ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.	48
Şekil 4.48.A ₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin çapı.	49
Şekil 4.49.B ₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin çapı.	49
Şekil 4.50.C ₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin çapı.	49
Şekil 4.51.A ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin çapı.	50
Şekil 4.52.B ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin çapı.	50
Şekil 4.53.C ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin çapı.	51
Şekil 4.54.A ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin çapı.	51
Şekil 4.55.B ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin çapı.	52
Şekil 4.56.C ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin çapı.	52

Sayfa

Şekil 4.57.A ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin çapı.....	53
Şekil 4.58.B ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin çapı.....	53
Şekil 4.59.C ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin çapı.....	53
Şekil 4.60.A ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin çapı.....	54
Şekil 4.61.B ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin çapı.....	54
Şekil 4.62.C ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin çapı.....	55
Şekil 4.63.A ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin çapı.....	55
Şekil 4.64.B ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin çapı.....	56
Şekil 4.65.C ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin çapı.....	56
Şekil 4.66.A ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin çapı.....	57
Şekil 4.67.B ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin çapı.....	57
Şekil 4.68.C ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin çapı.....	57
Şekil 4.69.A ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin çapı.....	58
Şekil 4.70.B ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin çapı.....	58
Şekil 4.71.C ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin çapı.....	59
Şekil 4.72.A ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin çapı.....	59
Şekil 4.73.B ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin çapı.....	60
Şekil 4.74.C ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin çapı.....	60
Şekil 4.75.C ₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.76.C ₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.77.C ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.....	62
Şekil 4.78.C ₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.....	62
Şekil 4.79.C ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.....	63
Şekil 4.80.C ₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.....	63
Şekil 4.81.C ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.....	64
Şekil 4.82.C ₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.....	64
Şekil 4.83.C ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.....	65
Şekil 4.84.C ₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.....	65
Şekil 4.85.C ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.....	66
Şekil 4.86.C ₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.....	66
Şekil 4.87.C ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.....	67
Şekil 4.88.C ₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.....	67
Şekil 4.89.C ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.....	68

Sayfa

Şekil 4.90.C ₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.	68
Şekil 4.91.C ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.	69
Şekil 4.92.C ₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.	69
Şekil 4.93.C ₁₁ (-5,5) koordinatlı talaşın 44X SEM görüntüsü.	70
Şekil 4.94.C ₁₁ (-5,5) koordinatlı talaşın 500X SEM görüntüsü.	71
Şekil 4.95.C ₃₃ (-21,21) koordinatlı talaşın 44X SEM görüntüsü.	71
Şekil 4.96.C ₃₃ (-21,21) koordinatlı talaşın 500X SEM görüntüsü.	72
Şekil 4.97.C (138°) kodlu matkap ucunun 36X SEM görüntüsü.....	73
Şekil 4.98.C (138°) kodlu matkap ucunun 100X SEM görüntüsü.	73
Şekil 4.99.C (138°) kodlu matkap ucunun 500X SEM görüntüsü.	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.Saf alüminyumun bazı temel özellikleri.	2
Çizelge 2.2.ASA'ya göre Al alaşımlarına ait kodlama sistemi.....	4
Çizelge 3.1.Ana malzemenin- Al7075'in kimyasal bileşimi.....	13
Çizelge 3.2.Kesici takım iş parça malzemesi, kesici takım, ve uygulanan kesme parametreleri.....	15

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Zn	: Çinko
Mg	: Magnezyum
Cu	: Bakır
Si	: Silisyum
Mn	: Manganez
Sn	: Kalay
Å	: Ångström

KISALTMALAR

ASA	: American Standards Association (Amerikan Standartlar Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum, özel kalite kombinasyonuna sahip, uyarlanabilir yapı ve mühendislik malzemelerinden biridir ve endüstriyel sektördeki uygulaması son yıllarda hızla büyümüştür. Alüminyum, alaşımlarının çoğunda küçük ağırlığı ve mükemmel mukavemeti, elektriksel ve termal iletkenliği nedeniyle bilgisayar, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde önem kazanmıştır. Sağlık sektörü, korozyon direnci nedeniyle bu malzemenin öneminden yararlanmıştır. Çok çeşitli özellik kombinasyonları sergileyen bu malzemenin davranışı çok sayıda araştırmaya konu olmuş ve bu konudaki araştırmalar halen devam etmektedir [1–3].

Alüminyum serilerinden olan Al7075 (Al-Zn-Mg-Cu) uçak, uzay, otomobil ve ulaşım endüstrilerinde dayanıklı ve hafif yapısal bileşenler yapmak için kullanılır [4,5]. Yaşlandırma ısıl işlem görmüş alaşımlar temel olarak ince ve yoğun olarak dağılmış GP bölgelerinden oluşmak ile beraber taneler içindeki η çökeltilerinden ve tane sınırları boyunca sürekli çökeltilerden meydana gelmektedir. Böylece alaşımlar en yüksek sertlik ve mukavemeti yaşlandırma ile elde eder [6]. Delme, delik yüzeyinde malzemeyi yorulma hasarına karşı zayıflatan mikro çatlaklara neden olduğundan, yüzey bütünlüğü, özellikle havacılık endüstrisindeki bir uygulamada [7] yorulma hatası için kritik öneme sahiptir. Metalik malzemelerin işlenebilirliği etkileyen temel özellikleri sertlik, süneklik ve tokluktur. AA7075'te bulunan Zn ve Mg alaşım elementleri, $MgZn_2$ intermetalik fazını üretir ve bu da mukavemette bir artışa neden olan bir yaşlanma işlemine neden olur. Alüminyum alaşımları, delme işleminde belirli sorunları olan nispeten yumuşak malzemelerdir [8,9].

Alüminyum alaşımındaki sert intermetalik ve alüminyum matrisin yumuşak yapısından kaynaklanan yapılaşma eğilimi, delme işleminde takım ömrü üzerinde beklenenden daha fazla önemli bir etkiye sahiptir [10]. Delme işlemi sırasındaki

sıcaklık, işleme için sınırlayıcı bir faktördür çünkü daha yüksek sıcaklıklarla takım ömrü azalır [11]. Ayrıca sıcaklık artışı, takımlar ile iş parçası arasındaki elastiklik ve plastisite gibi karmaşık termo-mekanik etkileşim nedeniyle malzemenin ana mekanik özelliklerini etkilediğinden, delik yüzey kalitesi de dolaylı olarak etkilenir [12,13]. Kesme mekanizmasının neden olduğu yüzey mikro çatlakları, delme sırasında işlemede pürüzlülük ve yorulma ömrü etkilerinin ana nedenidir. Delme işleminde yüzey kalitesini etkileyen ana parametreler iş mili hızı, ilerleme hızı, takımın delinmiş yüzeye olan eğimi ve ilerleme yönüdür. İstatistiksel yöntemler olmadan yapılan çalışmalar, hangi parametrenin performans özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemede başarısız olur ve çok fazla deney ve veri gerektirir [14,15].

Tüm talaş kaldırma işlemlerinin yaklaşık üçte biri, önemli bir talaş kaldırma işlemi olan delmeyi içerir. Çoğu işleme operasyonunda bu yöntem bir bitirme adımı olarak uygulanır. İmalat sektöründe çağdaş işleme tekniklerinin gelişmesine rağmen, uygun fiyatı ve kullanım kolaylığı nedeniyle delme hala en popüler işleme tekniğidir. Kesici aletlerle bir iş parçasında silindirik delikler açma işlemine delme denir. Delme, havşa açma, kanal açma (kademeli delme), delikleri büyütme ve raybalama gibi adımlardan oluşan bir işleme tekniğidir. Bu prosedürlerin tümü, doğrusal bir ilerleme hareketinin yanı sıra birincil bir dönme hareketine sahip olma özelliğini paylaşır [16].

Bu çalışmada, alüminyum 7XXX serisine ait Al7075 alaşımının iç gerilmelerini gidererek daha dayanıklı hale getirilmesi için T65 ısıtım işlemi uygulanmıştır. Böylece T65 ısıtım işlemi ile mukavemeti artırılmış Al7075 alaşımının işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Al7075'in T65 işlemi sonrasında mikroyapısal karakterizasyonu ve delme işlenebilirliği üç farklı kesme hızı (1000 rpm, 1250 rpm, 1500 rpm), üç farklı ilerleme hızı (0.075 mm/rev, 0.1 mm/rev, 0.15 mm/rev), üç farklı kesici (100°, 120°, 138°) takım türü kullanılarak incelenmiştir. Böylece uyarlanabilir ve son zamanlarda özellikle havacılık ve savunma sektörlerinde artan uygulama gören mühendislik ve yapı malzemelerinden olan Al7075'in delme işlenebilirliği geliştirilerek bilimsel literature katkı sağlanacaktır.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. ALÜMİNYUM

Atom numarası 13 ve "Al" sembolü ile alüminyum, 2.70 g/cm^3 yoğunluğa sahip gri renkli hafif bir metaldir. Periyodik sistemin üçüncü grubuna ait olan bu metalin atom ağırlığı 26.97 g/mol , iyon çapı 0.86 Å ve atom çapı 1.43 Å 'dur. Alüminyum, demirden sonra en çok kullanılan ikinci metal ve dünyanın kabuğunda en sık üçüncü elementtir [17]. Doğada alüminyum, silikon ve oksijenden sonra en yaygın element olarak bulunması ile beraber yer kabuğunun %8'inin alüminyumdan oluştuğu tahmin edilmektedir. Demir (yaklaşık %5,0), magnezyum (yaklaşık %2,0), çinko ve kalay (her biri %0,004) gibi diğer elementler yer kabuğunun içeriğinde alüminyumu takip eder [18–20]. Fakat doğada, oksijene yüksek kimyasal afinitesi nedeniyle alüminyum bir metal olarak mevcut değildir. Alüminyum bileşikleri, özellikle çeşitli saflık ve hidrasyon formlarındaki oksit, doğada geniş bir şekilde dağılmıştır. Bu nedenle 19. yüzyılın ilk yarısında alüminyum metal olarak elde edilebilmiştir [21,22]. Tablo 2.1, saf alüminyumun temel özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1.Saf alüminyumun bazı temel özellikleri [23].

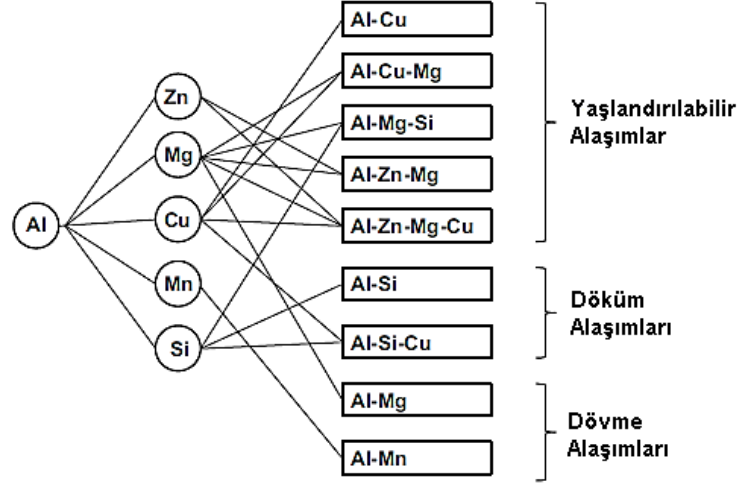
Özellik	Değer
Özgül Ağırlık	2.70 g/cm^3
Elektrik Direnci	$2.66 \text{ (Ohm.mm}^2/2).10^2$
Isı İletkenliği	$0.52 \text{ (cal/cm}^2)/ \text{ (cm}^\circ\text{C)}$
Isıl Genleşme Katsayısı	$24 \text{ (mm/mm}^\circ\text{C)}. 10^{-6}$
Ergime Sıcaklığı	$660 \text{ }^\circ\text{C}$
Yanma Isısı	6970 kcal/kg
Uzama	%43

Alüminyum, uyarlanabilir ve son zamanlarda özellikle havacılık ve savunma sektörlerinde artan uygulama gören mühendislik ve yapı malzemeleri arasında önemli bir konuma sahiptir. Yapısal çeliklere kıyasla alüminyum, ağırlık olarak önemli ölçüde daha hafiftir ve çok daha güçlü alaşımlara sahiptir. Alüminyum, kolay üretilmesi ve düşük bir erime noktasına sahip olmasının yanı sıra olağanüstü elektriksel ve termal iletkenliğe de sahiptir. Servis koşullarının çoğunda çok iyi korozyon direnci gösterir ve toksik değildir. Dökülebilir olan alüminyum ile çeşitli yüzey işlemleri gerçekleştirilebilir [24]. Düşük kesme gerilimine sahip olmasına rağmen, saf alüminyum, alaşımlı alüminyumdan önemli ölçüde daha yüksek kesme kuvvetlerine sahiptir, çünkü birçok saf metal gibi kesici takıma ve iş parçasına çok güçlü bir şekilde yapışır [25]. Alüminyumun işlenebilirliğini etkileyen değişkenlerin yerleştirilebileceği iki kategori vardır. Bunlar, işleme koşulları ve malzeme metalurjisi kategorilerine girer. Alüminyum alaşımlarıyla çalışırken kesici takımın şekli çok önemlidir. Bu alaşımlar, pozitif tırmık araçları kullanılarak işlenir. Malzemenin sertliğine bağlı olarak pozitif eğim açısının boyutu 0 ile 30 derece arasında değişir. Takım kuvvetleri tipik olarak düşüktür ve alüminyum alaşımları işlerken kesme hızı arttıkça azalma eğilimindedir. Ticari olarak saf metalin kesilmesi, özellikle düşük hızlarda yapıldığında güçlü kuvvetler üretir. Çoğu alaşım ilavesi veya saf alüminyum üzerinde yapılan soğuk işlem, özellikle düşük kesme hızlarında takım kuvvetlerini en aza indirir [18,26].

2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum alaşımları, çökeltme sertleşmesine ne kadar iyi tepki verdiklerine bağlı olarak, ısıtma işlemi görebilir veya ısıtma işlemi görmez olarak sınıflandırılır [27,28]. Isıtma işlemi görebilen alaşımlar, azalan sıcaklıkla katı çözünlüğünde ve oda sıcaklığında ve orta derecede yüksek sıcaklıklarda denge katı çözünlüğüne aşan konsantrasyonlarda azalan elementler içerir. Bu gruptaki en önemli alaşım elementleri bakır, lityum, magnezyum ve çinkodur [28]. Çok sayıda başka bileşim, bunun yerine, genellikle özellik geliştirmeleri için çeşitli tavlama prosedürleriyle birlikte mekanik indirmeye yoluyla işlem sertleştirmeye dayanır. Bu alaşımlar, ısıtma işlemi görmeyen veya işlenerek sertleşen alaşımlar (dövme alaşımları) olarak adlandırılır. Bazı döküm alaşımları esasen ısıtma işlemi görmez ve döküm olarak veya çözümlendirme veya

çökeltme etkilerinden etkilenmeyen termal olarak değiştirilmiş koşullarda kullanılır [27,29,30]. Şekil 2.1, başlıca alüminyum alaşım tiplerine genel bir bakış sunmaktadır.



Şekil 2.1. Başlıca alüminyum alaşım türleri [28].

İmalat süreçlerine açısından, döküm ve dövme, alüminyum alaşımalarının iki ana alt grubudur. Plastik deformasyon yoluyla oluşan döküm alaşımaları ve dövme alaşımaları oldukça çeşitli mikro yapılara ve bileşimlere sahiptir. [31]. Bununla beraber Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından oluşturulan semboloji, işlenilebilir alüminyum ve alaşımaları için dünya çapında en yaygın olarak kullanılan semboldür ve 1957'de Amerikan Alüminyum Derneği bu sembolojiyi standart olarak kullanmaya başlamıştır. Bu sınıflandırmada dövme alüminyum alaşımaları için kullanılan dört basamaklı sayısal sembolün ilk basamağı, bir alüminyum alaşımının hangi birincil alaşım elementini içerdiğini gösterirken, döküm alüminyum alaşımalarında ise bir nokta, dört basamaklı sayı işaretindeki dördüncü basamağı diğer üçünden ayırır ve sembolün ilk basamağı dövme alaşımındaki gibi birincil alaşım elementini, son basamaktaki sıfır değeri ise malzemenin parça döküm olduğunu belirtmektedir [17,32]. Tablo 2.2'de gösterilen döküm ve dövme alüminyum alaşımalarının ısı işleme karşı olan davranışı verilmiştir.

Çizelge 2.2. ASA'ya göre Al alaşımalarına ait kodlama sistemi [31].

Dövme Alaşımaları	
1XXX	Ticari Arılığa Sahip Alüminyum (>%99 Al)

2XXX	Al- Cu
3XXX	Al- Mn
4XXX	Al- Si ya da Al- Mg- Si
5XXX	Al-Mg
6XXX	Al-Mg-Si
7XXX	Al-Zn-Mg
Döküm Alaşımları	
1XX.X	Ticari Arılığa Sahip Alüminyum (>%99 Al)
2XX.X	Al-Cu
3XX.X	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si
4XX.X	Al-Si
5XX.X	Al-Mg
6XX.X	Al-Mg-Si
7XX.X	Al-Zn-Mg
8XX.X	Al-Sn

Mekanik özelliklerini, metalurjik yapısını veya artık gerilim durumunu değiştirmek için bir şeyin ısıtılması ve soğutulması işlemi "ısıl işlem" olarak bilinir. Alüminyum alaşımları bağlamında "ısıl işlem" ifadesi, çözelti ısıl işlemi, su verme ve çökeltme (yaş) sertleştirme dahil olmak üzere çökeltme ile sertleştirilebilir dövme ve döküm alaşımlarının mukavemetini ve sertliğini geliştirmek için kullanılan çeşitli işlemleri ifade eder. Dövme ve döküm alaşımlarının hem ısıl işlem görmeyen hem de ısıl işlem gören dereceleri tavlanabilir; bu, sünekliği artırırken mukavemeti ve sertliği azaltan bir prosedürdür. Çökeltme ile sertleşebilen döküm ve dövme alaşımlar, faz çözünürlüklerine bağlı olarak ısıl işleme tepki vermelerinden dolayı, sıklıkla "ısıl işlem görebilen" alaşımlar olarak anılırlar [33].

Alüminyum alaşımlarında temper tanımlama sistemi, külçeler hariç tüm ürün formları (hem dövme hem de döküm) için kullanılır. Sistem, çeşitli temperleri üretmek için kullanılan mekanik veya ısıl işlemlerin veya her ikisinin dizilerine dayanmaktadır. Temper ataması, alaşım tanımını takip eder ve ondan bir tire ile ayrılır. Temel temper tanımlamaları ayrı büyük harflerden oluşur. Ortak temper tanımlamalarda F

fabrikasyon; O tavllanmış; H yalnızca dövme ürünlerinde sertleştirilmiş; W çözüldürülmüş; T ise çözültü ısıt işlemlerini temsil ederler. "T" ile gösterilen çözültü ısıt işlemlerine odaklandığımızda, T işlemlerinin spesifik sırasının, T'nin yanında yazılan bir sayı ile birbirinden ayrıldığını görüyoruz. Temel sıcaklıkların ana alt bölümleri, gerektiğinde, harften sonra bir veya daha fazla rakamla belirtilir. Bu rakamlar, üründe spesifik özellik kombinasyonları üreten işlemler dizilerini belirtir. Ana alt bölümler içindeki işlemler koşullarındaki değişiklikler, ek rakamlarla tanımlanır.

T1—Yüksek sıcaklıkta şekillendirme prosedüründen sonra soğutulur, ardından doğal olarak büyük ölçüde stabil bir duruma yaşılandırılır. Bu etiket, döküm veya ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıkta şekillendirme prosedürünü takiben soğuk işlenmemiş ve oda sıcaklığında yaşılandırılarak mekanik nitelikleri stabilize edilmiş ürünler için kullanılır. Bu tanımlama aynı zamanda şekillendirme işlemlerinden soğuduktan sonra düzleştirilmiş veya doğrultulmuş ürünler için de geçerlidir, burada düzleştirme veya doğrultma ile sağlanan soğuk işlemler etkileri belirtilen özellik sınırları içinde hesaba katılmaz.

T2—Yüksek sıcaklıkta şekillendirme işlemlerinden sonra soğutulur, soğuk işlenir ve doğal olarak büyük ölçüde kararlı bir duruma gelmesine izin verilir. Bir ürüne bu isim verildiğinde, haddeleme veya ekstrüzyon gibi sıcak bir işlemden soğutulduktan sonra mukavemetini artırmak için açıkça soğuk işleme tabi tutulduğu ve oda sıcaklığında yaşılandırılarak mekanik niteliklerinin stabilize edildiği anlamına gelir. Bu atama aynı zamanda, tanımlanan özellik kısıtlamalarının, düzleştirme veya doğrultma gibi soğuk işlemler ürün üzerindeki etkilerini dikkate aldığı ürünler için de geçerlidir.

T3—Çözültü ısıt işlemlerini görür, soğuk işlenir ve doğal olarak büyük ölçüde stabil bir duruma yaşılandırılır. T3, oda sıcaklığında yaşılandırılarak mekanik nitelikleri stabilize edilmiş ve çözültü ısıt işlemlerinden sonra mukavemeti artırmak için açıkça soğuk işlenmiş öğeleri ifade eder. Bu adlandırma ayrıca, düzleştirme veya doğrultma yoluyla verilen soğuk işlemler etkilerinin belirtilen özellik sınırları içinde hesaba katıldığı ürünler için de geçerlidir.

T4—Çözültü ısıt işlemlerini görür ve doğal olarak büyük ölçüde stabil bir duruma yaşılandırılır. Bu kategorideki ürünler, oda sıcaklığında yaşılandırılarak stabilize

edilmiş ve çözelti ısıl işlemi sonrası soğuk işlenmeyen mekanik niteliklere sahiptir. Malların düzleştirilmesi veya doğrutulması durumunda, düzleştirme veya doğrultma yoluyla verilen soğuk işlemin etkileri, öngörülen mülkiyet sınırları içinde dikkate alınmaz.

T5—Yüksek sıcaklıkta şekillendirme prosedüründen geçtikten sonra soğutulur, ardından yapay olarak yaşlandırılır. T5, döküm veya ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıkta şekillendirme prosedürünü takiben soğuk işlenmeyen ve çökeltme ısıl işleminin mekanik nitelikleri önemli ölçüde iyileştirdiği malları ifade eder. Ürünlerin şekillendirme işleminden soğuduktan sonra düzleştirilmesi veya doğrutulması durumunda, düzleştirme veya doğrultma ile verilen soğuk işlemin etkileri belirtilen özellik sınırları içinde dikkate alınmaz.

T6— Çözeltiye alınır ve suni olarak yaşlandırılır. Alaşımın, önemli ölçüde soğuk işleme olmaksızın çökeltme sertleşmesi elde etmek için çözelti ısıl işlemine ve yapay yaşlandırmaya tabi tutulduğunu gösterir. Daha yüksek mekanik özellik kısıtlamaları ile boyutsal toleransları karşılamak için herhangi bir doğrultma veya düzleştirmeyi tanımak yetersizdir. Çökeltme ısıl işlemi, su verme ve yapay yaşlandırmayı gösteren T6'ya üründe meydana gelen gerilim gidermeyi arttırarak T65 temper sistemini meydana getirir.

T7—Çözelti ısıl işlem görür ve aşırı yaşlandırılır veya stabilize edilir. T7, stres korozyonu çatlamasına veya pul pul dökülme korozyonuna karşı artan direnç gibi benzersiz özellikler sağlamak için optimum mukavemetini aşan çökeltme ısıl işlemine tabi tutulan dövme ürünleri ifade eder. Çözelti ısıl işleminden sonra boyut ve mukavemet stabilitesini garanti etmek için yapay olarak yaşlandırılmış döküm parçalar da bu kategoriye girer.

T8—Soğuk işlenir, çözeltiyle ısıtılır ve yapay olarak yaşlandırılır. Bu sınıflandırma, çökeltme ısıl işlemine tabi tutulmuş ve mekanik veya boyutsal olarak stabilize edilmiş veya her ikisi de, çözelti ısıl işleminden sonra mukavemeti arttırmak için soğuk işleme tabi tutulmadan önce önemli ölçüde iyileştirilmiş öğelerle ilgilidir. Tanımlanan özellik

sınırları, düzleştirme veya doğrultma yoluyla yapılan her türlü soğuk çalışma dahil olmak üzere soğuk çalışmanın etkilerini hesaba katar.

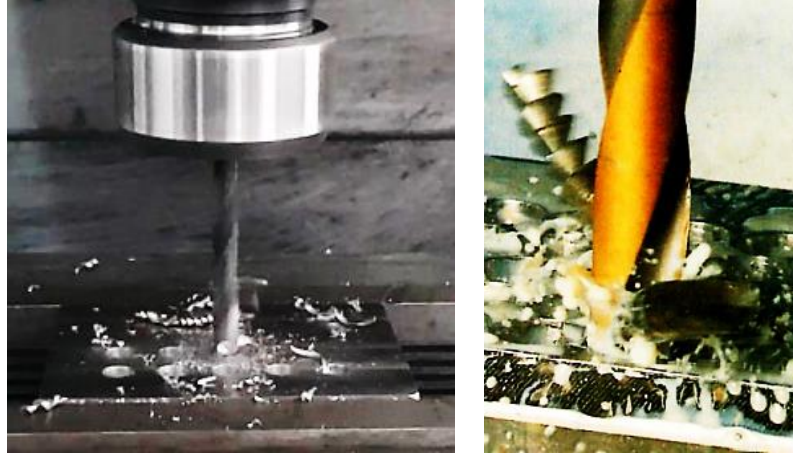
T9—Çözelti soğuk işlenir, ısıl işlem görür ve yapay olarak yaşlandırılır. Bu grup, çökeltme ısıl işlemine tabi tutulduktan sonra mukavemeti artırmak için özel olarak soğuk işlenmiş ürünlerden oluşur.

T10—Yüksek sıcaklıkta şekillendirildikten sonra soğutulur, soğukta işlenir ve yapay olarak yaşlandırılır. T10 olarak sınıflandırılan ürünler, çökeltme ısıl işlemine tabi tutulmuş ve özellikle haddeleme veya ekstrüzyon gibi sıcak bir işlemin ardından soğumadan sonra mukavemeti artırmak için soğuk işlenmiş ürünlerdir. Tanımlanan özellik sınırları, düzleştirme veya doğrultma yoluyla yapılan her türlü soğuk çalışma dahil olmak üzere soğuk çalışmanın etkilerini hesaba katar [27,34–36].

2.3. DELME İŞLEMİ

Talaş kaldırma, iş parçasını istenen standartlarda şekillendirmek, büyütme ve bitirmek için iş parçasından kuvvet ve iş parçasından daha sert ve keskin bir kesici alet kullanarak malzeme çıkarma işlemidir ve bu prosedürdeki talaş, iş parçasından ayrılan malzeme tabakasıdır. Bu işlemin gerçekleşmesi için takım ve iş parçasının birbirini baz alarak ona göre hareket etmesi gerekir. Elastik ve plastik deformasyon, sürtünme, ısı üretimi, talaş kırılması ve büzülme, iş parçası yüzeyinin sertleşmesi ve takım ucu aşınması, fiziksel işleme sırasında meydana gelebilecek karmaşık fiziksel olaylardır. Bu günlerde, talaş kaldırma işleminde delme prosedürleri önemli bir rol oynamaktadır. Birçok delme işleminin temel prensibi, kesici takım kendi eksenini etrafında döndüğünde hareket eksenini yönünde ilerleme sağlanmasıdır [37–39]. İş parçasından talaşları kaldıran bir aletle silindirik delikler oluşturmaya yönelik tüm teknikler birlikte delme olarak adlandırılır. İş parçası üzerinde silindirik boşluklar oluşturmak için matkap, aksenal olarak hareket eden ve dönen iki bıçağı olan bir kesicidir (Şekil 2.2) [40]. Kesici takım ömrü, yüzey kalitesi, deliklerde boyut-şekil hassasiyeti ve talaş kaldırma etkinliği, delme performansını tanımlamak için kullanılabilir. Matkapın özellikleri, işlenen malzeme, kullanılan takım tezgahı ve kesme hızı, ilerleme ve kullanılıyorsa soğutma sıvısının kullanılıp kullanılmadığı gibi delme koşulları

kriterlerinin ve bunlar üzerinde etkisi olan değişkenlerden bazılarıdır. Yani matkabin ömrü, delik yüzeyi, delik boyutu ve doğruluğu gibi kriterler soğutma sıvısı, tezgah, delik delme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme), iş parçası ve matkaba bağlıdır [38].



Şekil 2.2.Delme işleminin [40].

"Delik delme" kelimesi sadece kısa ve derin delik delmeyi değil, aynı zamanda broşlama, raybalama, havşa açma ve ovalama (parlatma) gibi işlemleri de kapsar[41]. Bu uygulamalardaki birleştirici unsur, talaş kaldırma takımının kesici takım veya parça etrafında dönerken bu eksen boyunca hareket etmesidir [42]. Derin delik delme, delik çapının delik çapına göre aşırı büyük olduğu durumlarda kullanılır ve bu nedenle özel bilgi gerektirir. Delik derinliği için 150 kat delik çapı mümkündür [43]. Ana işleme teknikleri tornalama, frezeleme ve delmeyi içerir. İşleme uygulamalarının %33 delmeyi içerirken, ayrıca sürelerle bağlı olarak bu miktar %25'tir (Şekil 2.3) [44].

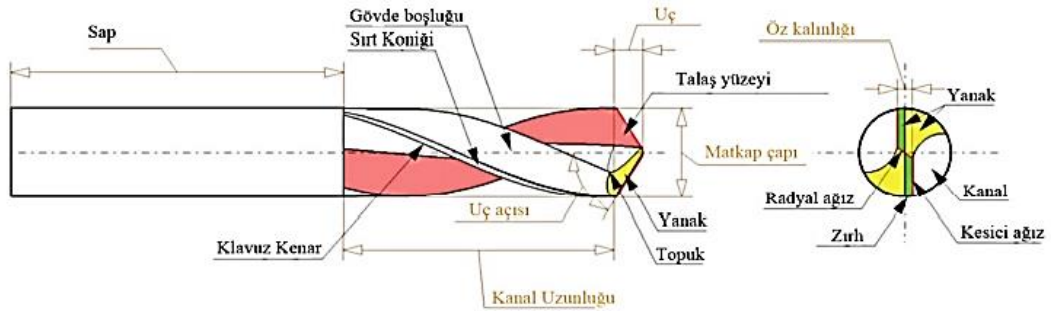


Şekil 2.3.Talaş kaldırma işleminin (a) işlem süresi ve (b) talaş kaldırma süreleri[44].

Delme ve işleme için çeşitli iş parçaları ve malzemeler kullanılabilir. Bazen cıvatalar, vidalar ve diğer bileşenler için delinmesi gereken delik, yüksek derecede tolerans doğruluğu gerektirmez. Ancak, kama yuvası veya pafta pimleri gibi hassas delikler için toleransın doğruluğu çok önemlidir [45].

2.3.1. Delik Delme Takımları

Genel olarak matkaplar, delme işlemlerinde kullanılan kesici aletlerdir. Talaşlı imalatta en çok kullanılan kesici takımlardan biri matkaptır. Tipik olarak, bir matkap, aynı anda kendi eksenini etrafında ve boyunca dönerken kesmek için iki bıçak kullanır. Metaller çeşitli matkap türleri kullanılarak işlenir. Her türlü matkap bir ihtiyaca cevap olarak yapılmıştır. Matkaplar imalat sektöründe sıklıkla kullanılır ve tipik olarak üç bileşeni vardır: uç, gövde ve sap (Şekil 2.4) [46,47].



Şekil 2.4. Matkap kısımları [48].

Uç: Matkabın kesici kenarların (ağızların) yerleştirildiği, deliklerin açılmasını ve malzemeden kesilerek talaşların çıkarılmasını sağlayan kısmı. Matkaplar genellikle iki kesme bıçağıyla üretilir. Yine de 3 uçlu matkaplar da var. Tipik olarak, matkap ucu şeklini oluşturmak için taşlama kullanılır.

Gövde: Bu, kesicinin ucundan sapına kadar uzanan helisel kanalların yerleştirildiği matkapların alanıdır. Helisel oluklar; Matkabın ucundaki kesici bıçaklar tarafından delik delme sırasında oluşan talaşları dışarı atma işlevini yerine getirir. Kesici kenarların veya kenarların sayısı, helisel olukların sayısıyla aynıdır. Olukların sarmal açısı değişen derecelerde oluşturulur [49].

2.3.2. Delik Delme Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırmanın önemli bir kısmı kesme aletine uygulanan kuvvetlerdir. Takım tasarımını optimize etmek için, takım tezgahının rijitliği ve kesme kabiliyeti dikkate alınarak kesme kuvvetleri ölçülmelidir. Bu, kesme işlemine dahil olan kuvvetlerin tam olarak anlaşılmasını gerektirir. Takım ve talaş arasındaki temas uzunluğu, işleme süreci boyunca kesme kuvvetlerini etkiler. Temas alanı arttıkça kesme kuvvetleri azalır. Daha ince talaşlara neden olduğu, kayma açısını arttırdığı ve temas uzunluğunu kısalttığı için kesme hızı arttıkça kesme basınçları da önemli ölçüde azalır. Takım-talaş temas uzunluğunu kısıtlayarak, takımlar kullanılırken kesme kuvvetlerinde belirli azalmalar sağlanabilir. Uç geometrisi de kesme kuvvetlerini etkiler. Eğim açısı maksimum bir değere sahiptir ve bunu daha da artırmak, ucun dayanıklılığını zayıflatacak ve aşınmayı hızlandıracaktır. Takım daha fazla aşındıkça, daha fazla yüzey alanı kavite ile temas halinde olacağından kesme kuvvetleri artacaktır [50].

Delme işlemi boyunca takıma uygulanan kuvvet ve moment miktarı bir dizi değişkene göre değişir ve bunlar şu şekilde sıralanır:

- İşlenen malzemenin özelliği
- Talaş şekli
- Tezgah özellikleri
- Soğutma sıvısı
- Talaş-takım temas boyu
- Delik derinliği
- Matkap geometrisi
 - Çapı
 - Ağız sayısı
 - Uç açıları (ψ , γ , α ...)
 - Relatif kesici kenar yüksekliği
 - Helis açısı (β)
 - Öz kalınlığı
- Kesme hızı
- Delik derinliği

- İlerleme miktarı

Kesme kuvvetleri, kesme işlemi boyunca meydana gelen titreşimlerden önemli ölçüde etkilenir. Bu durumda, kesme kuvvetlerinin gelişmesinde makine rijitliği önemli bir rol oynar. Kesme momentlerinin oluşumu, özellikle matkap çapı ve maça kalınlığı için dikkate değerdir [51–53]. Kesme açısı, yaklaşma açısı ve uç açısı gibi kesici uç geometrisi bileşenleri kesme kuvvetlerini doğrudan etkiler çünkü kesmenin çoğu takım ucunun yakınında gerçekleşir. Kesim, enine matkabın dönüşüne bağlı olarak takım ucunun birincil kesme kenarlarında ve matkabın ilerlemesine (penetrasyon) bağlı olarak enine kesme kenarlarında gerçekleşir. Ek olarak, enine ve birincil kesme kenarları farklı kesme açılara sahip olduğundan, toplam kuvvet ve moment, iki farklı kesme kenarına etki eden kuvvetler ve momentler bağımsız olarak karşılaştırılarak belirlenir [52,54–59].

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, mükemmel nitelikleri nedeniyle endüstride sıklıkla kullanılan 7000 ailesinden Al7075 levha malzemeleri için delik delme işlemleri incelenmiştir. Delik delme işlemi için dayanıklı hale gelmesi adına T65 ısıl işlemi uygulanan Al7075 levha malzemeler temin edilmiştir. Bu levha malzemelerin bir kısmı 10x10x8 mm detaylı mikroyapısal incelemeleri için SEM analizde, bir kısmı da 26x26x8 mm şeklinde işlenerek delik delme işlemi için kullanılmıştır. Delme işlemi sonrasında kuvvet ve tork ölçüm grafikleri ve delme sonucu meydana gelen delik çapının orjinal çapa kıyasla değişimi gösterilmiştir. Değişken matkap uçları (100°, 120°, 138°) ilerleme hızları (0.075, 0.1, 0.15) ve kesme hızları (1000, 1250, 1500) ile yapılan delik delme işleminde T65 ısıl işlemlili Al7075'in işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir.

3.1. ANA MALZEME

Deneysel çalışmalarımızın ilk adımı olarak 7xxx serisi alaşımlarda gelişmiş özellikleri nedeniyle en önemli alaşımlardan biri olan T65 ısıl işlem görmüş Al7075 alaşımımız temin edilmiştir ve çalışma kapsamında tedarik edilen Al7075 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1.Ana malzemenin- Al7075'in kimyasal bileşimi.

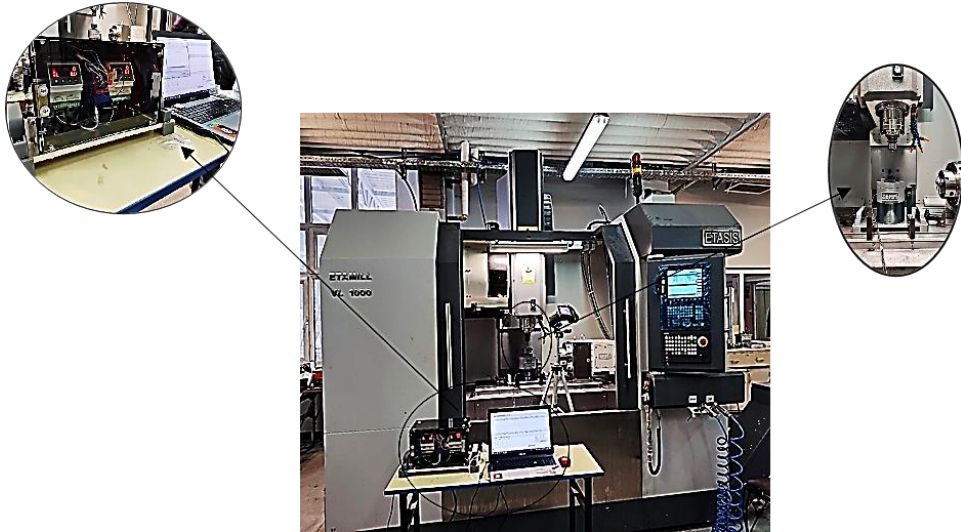
Kimyasal Bileşim (ağ.%)									
Alaşım	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al
Al7075	5.1-	2.1-	1.2-	Max.	Max.	Max.	0.18-	Max.	Kal.
	6.1	2.9	2.0	0.5	0.4	0.3	0.28	0.2	

3.2. NUMUNE HAZIRLAMA

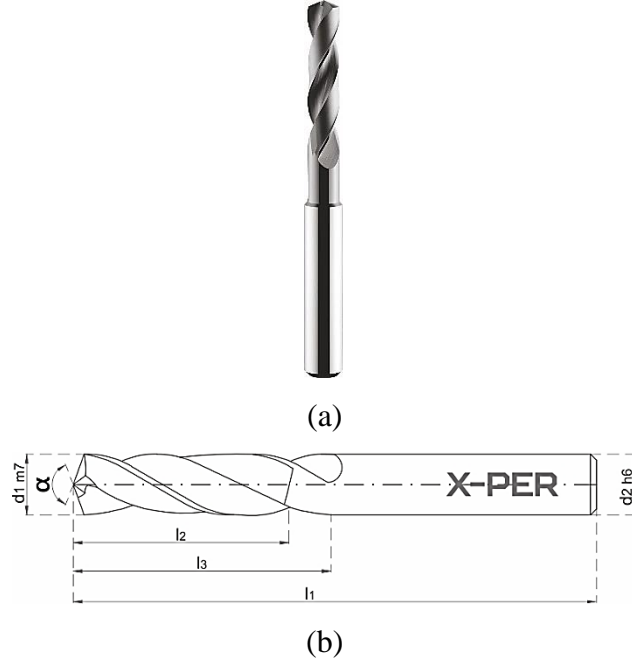
Al7075 levha numunesi zımparalama işlemi için 10x10x8 mm boyutunda numuneler hazırlanmıştır. 240-2500 mesh'lik silisyum karbür içeren zımpara kağıtları kullanılarak sulu zımparalama yapılmış olup her zımpara kağıdından diğerine geçişte numunede bir önceki zımparadan iz kalmaması adına 90° olarak çevrilmiştir. Zımparalama bitiminde parlatma için solüsyon olarak 3 µm alümina pasta kullanılarak döner diskte en son kademedeki zımparalama yönünde numune ayna görünümüne sahip olana dek parlatılmıştır. Dağlama ayracı olarak 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃ ve 190 ml Saf Su karışımının oluşturduğu keller ayracı kullanılmıştır. Al7075 levha numunesinin mikroskop görüntüleri Carl Zeiss şirketine ait olan SEM cihazları ile alınmıştır.

3.3. DELME İŞLEMİ

Delme işlemi Şekil 3.1'de verilen CNC Atölyesinde ETAMILL VL 1000 freze tezgahında yapılmıştır. Malzemede delik delmek için 6 mm çapında 100° (A), 120° (B) ve 138° (C) matkap uçları (Şekil 3.2) kullanılmış ve bu matkaplar KARCAN A.Ş. (Eskişehir/Türkiye) tarafından sement karbür çubuk malzemeden üretilmiştir.



Şekil 3.1.CNC Atölyesinde ETAMILL VL 1000 freze tezgahında delme işlemi.



Şekil 3.2.Semente karbür çubuk malzemeden yapılmış (a) matkap ucu ve (b) matkap ucu teknik resmi.

Çizelge 3.2.Kesici takım iş parça malzemesi, kesici takım, ve uygulanan kesme parametreleri.

Malzeme	Takım	İlerleme Hızı (mm/rev)	Kesme Hızı (rpm)
Al7075 Levha	Ø 6mm 100° Matkap	0.075 mm/rev	1000 rpm
		0.1 mm/rev	1250 rpm
		0.15 mm/rev	1500 rpm
	Ø 6mm 120° Matkap	0.075 mm/rev	1000 rpm
		0.1 mm/rev	1250 rpm
		0.15 mm/rev	1500 rpm
	Ø 6mm 138° Matkap	0.075 mm/rev	1000 rpm
		0.1 mm/rev	1250 rpm
		0.15 mm/rev	1500 rpm

Çalışmada öncelikle deney numunesi olarak 26x26x8 mm boyutlarında üç adet alüminyum malzemeler işlenmiştir. Her numune üzerinde üçer sıra halinde (A₁, A₂,

A₃) totalde 9 deliğin konumlandığı ve her bir delik arasında eşit mesafelerin olduğu x ve y konumları girilerek delme işlemi yapılmıştır. Her matkap ucunun gerçekleştirildiği delme işleminin her numune üzerindeki sırada ilerleme hızı sabit tutularak kesme hızları değiştirilmiştir. Örneğin 100° matkap ucunda delme işlemi birinci delik dizisinde 0.075 mm/rev ilerleme hızı sabit tutularak, A₁(-5,5) koordinatlarında 1000 rpm, A₁(-5,13) koordinatlarında 1250 rpm ve A₁(-5,21) koordinatlarında 1500 rpm kesme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takım iş parça malzemesi ve kesme parametreleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Bu tabloya göre Al7075’e üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme hızı, üç farklı kesici takım türü kullanımına bağlı olarak 27 adet delik delme deneyi gerçekleştirilmiştir.

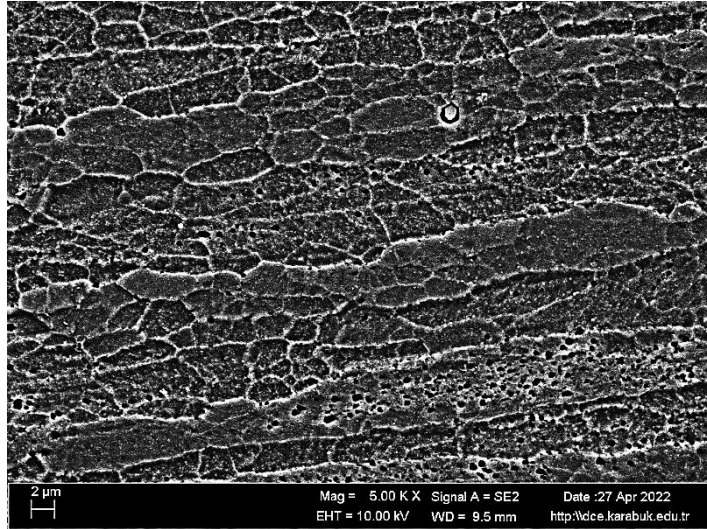
BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

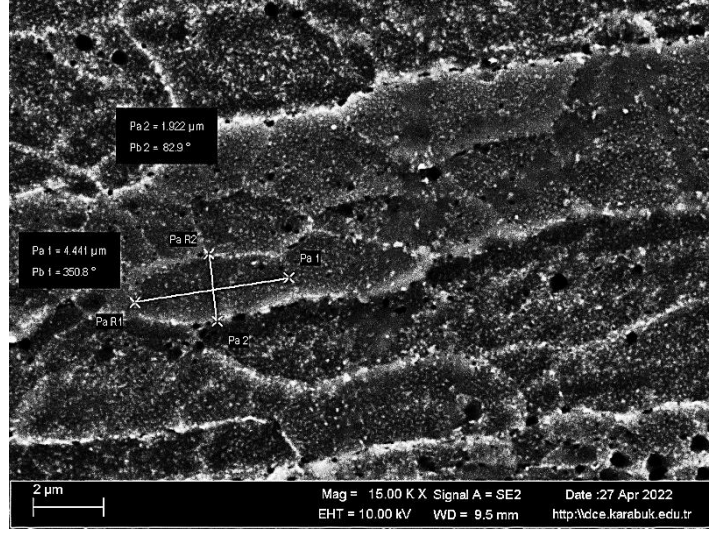
4.1. MİKROYAPISAL SONUÇLAR

Delme işlemi için temin edilen T65 ısıl işlem görmüş olan Al7075 levha malzemenin SEM analizinde incelenen mikroyapısal sonuçları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

SEM analiz sonuçlarında ASTM standartına göre yapılan T65 ısıl işleminin neden olduğu taneseli yönelmeler ve bu yönelmelerde meydana gelen büyümeler dikkat çekmektedir. Elips benzeri kararlı bir çökelti ve çok miktarda ince çökeltinin mevcut olduğu bu yapıda elips formunda bir taneden alınan ölçüler $4.441\ \mu\text{m}$ ve $1.922\ \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir.



(a)

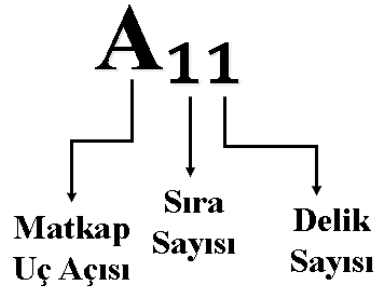


(b)

Şekil 4.1. T65 ısıt işlem görmüş Al7075 levha malzemesinin SEM görüntüsü.

4.2. DELME İŞLEMİ SONUÇLARI

A, B ve C kodlarının verilmiş olduğu 100° , 120° ve 138° açılara sahip matkap uçları ile açılmış olan (-5,5) koordinatının ifade ettiği birinci sıra birinci delik ile (-21,21) koordinatının ifade ettiği üçüncü sıra üçüncü delik arası tüm deliklerin kodlanmış bir şekilde verilmiş bulunmaktadır. Delme işlemi için yapılan kodlama Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

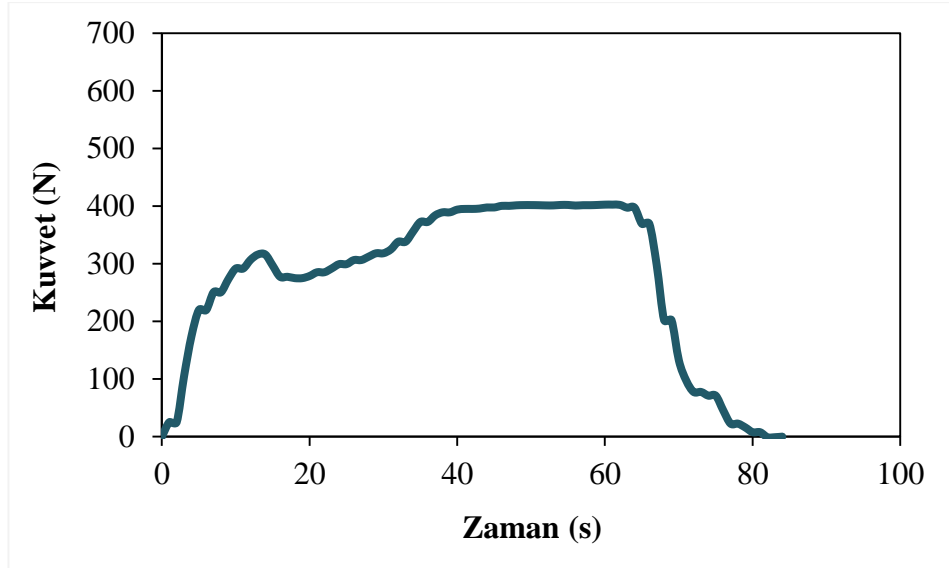


Şekil 4.2.Delme İşlemi için kodlama.

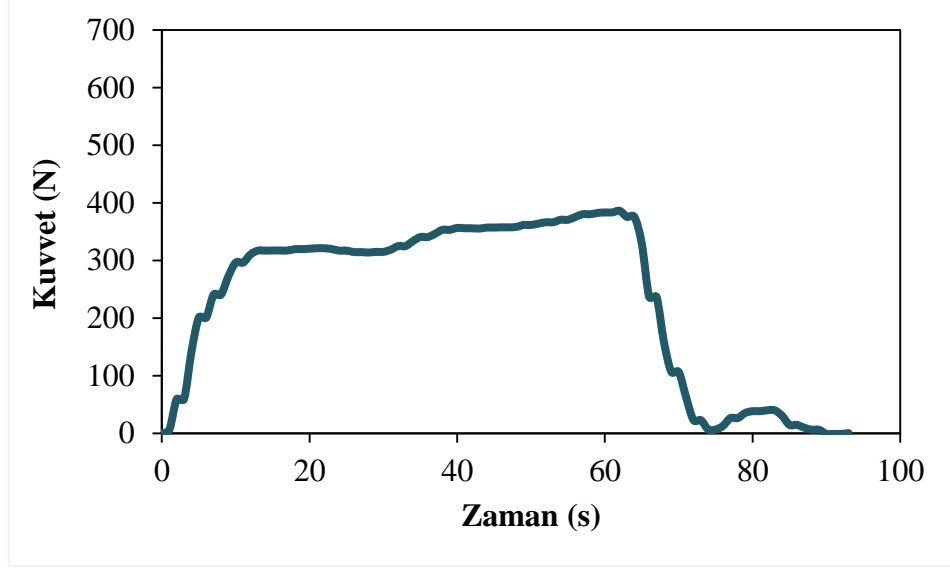
4.2.1. A (100°), B (120°) ve C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Kuvvet Ölçüm Sonuçları

4.2.1.1. A₁₁ (-5,5), B₁₁ (-5,5) ve C₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

B₁₁ (-5,5) ve C₁₁ (-5,5) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. B₁₁ (-5,5) koordinatında 402.2100 N ve C₁₁ (-5,5) koordinatında ise 385.9254 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



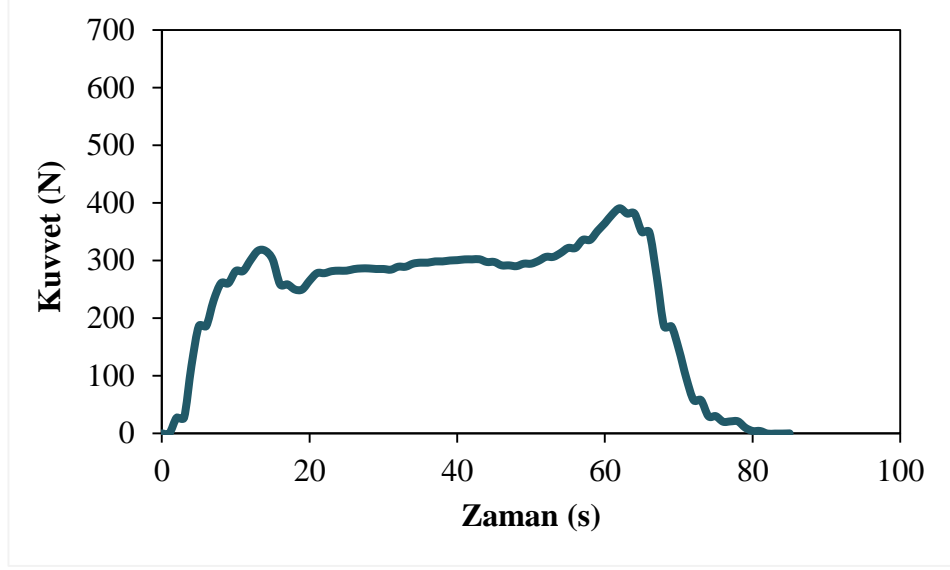
Şekil 4.3. B₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



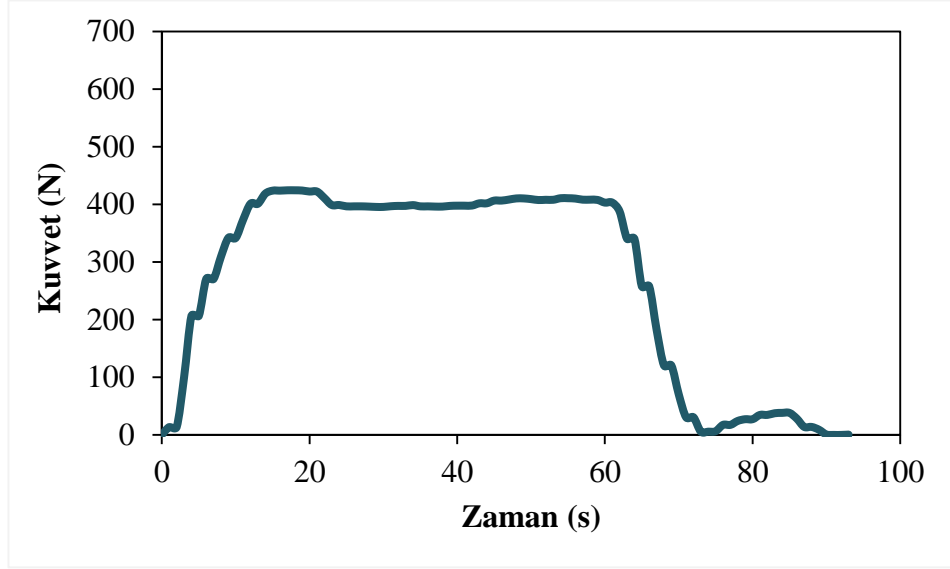
Şekil 4.4.C₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

4.2.1.2. A₁₂ (-5,13), B₁₂ (-5,13) ve C₁₂ (-5,13) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

B₁₂ (-5,13) ve C₁₂ (-5,13) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1250 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. B₁₂ (-5,13) koordinatında 390.6342 N ve C₁₂ (-5,13) koordinatında ise 423.9882 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5.B₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

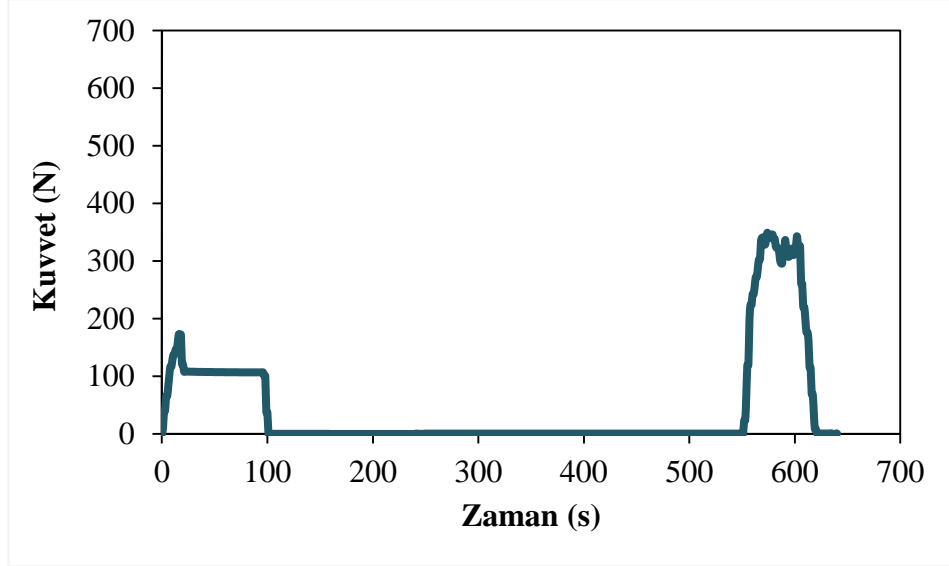


Şekil 4.6.C₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

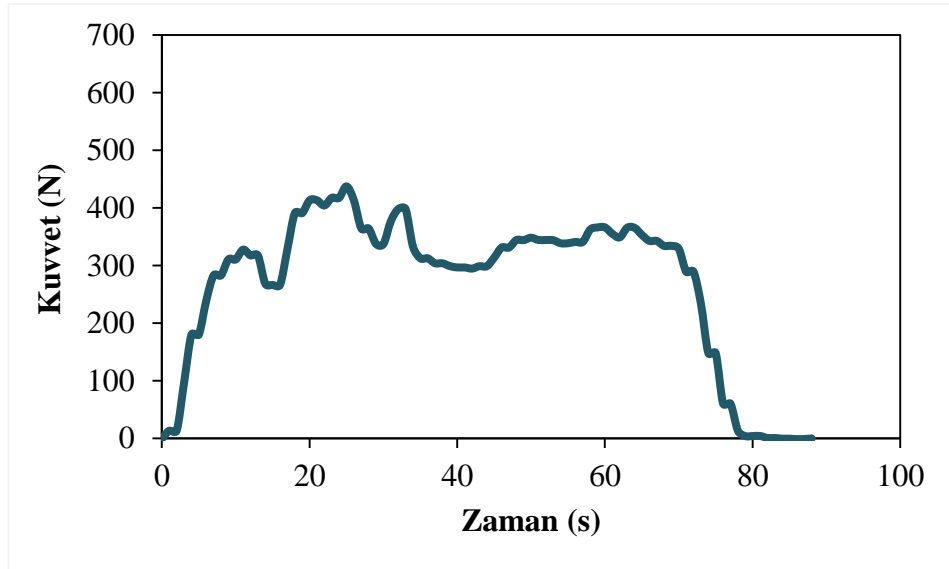
4.2.1.3. A₁₃ (-5,21), B₁₃ (-5,21) ve C₁₃ (-5,21) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

A₁₃ (-5,21), B₁₃ (-5,21) ve C₁₃ (-5,21) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.7-4.9 arasında verilmiştir. A₁₃ (-5,21) koordinatında 349.2360 N, B₁₃ (-5,21) koordinatında 437.3298

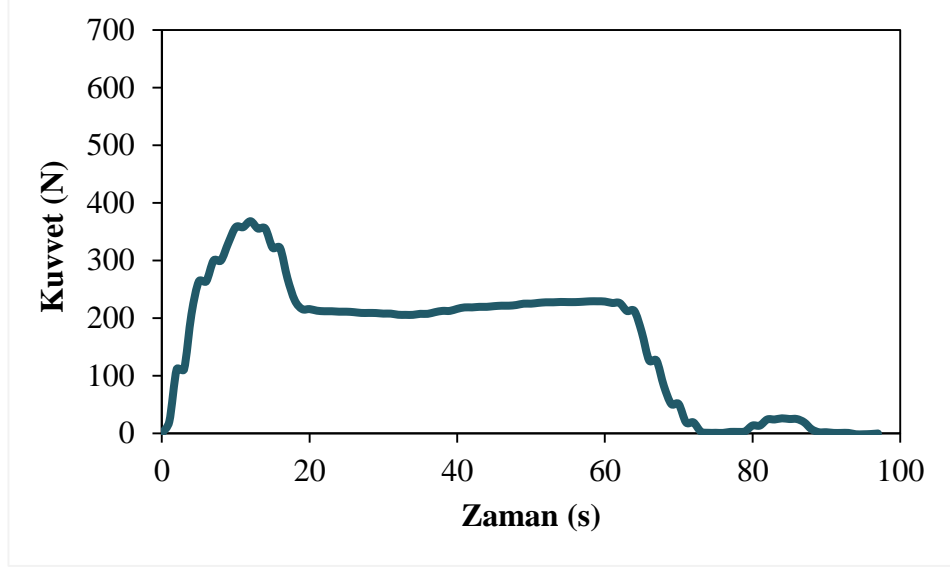
N ve C₁₃ (-5,21) koordinatında ise 368.0712 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7.A₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



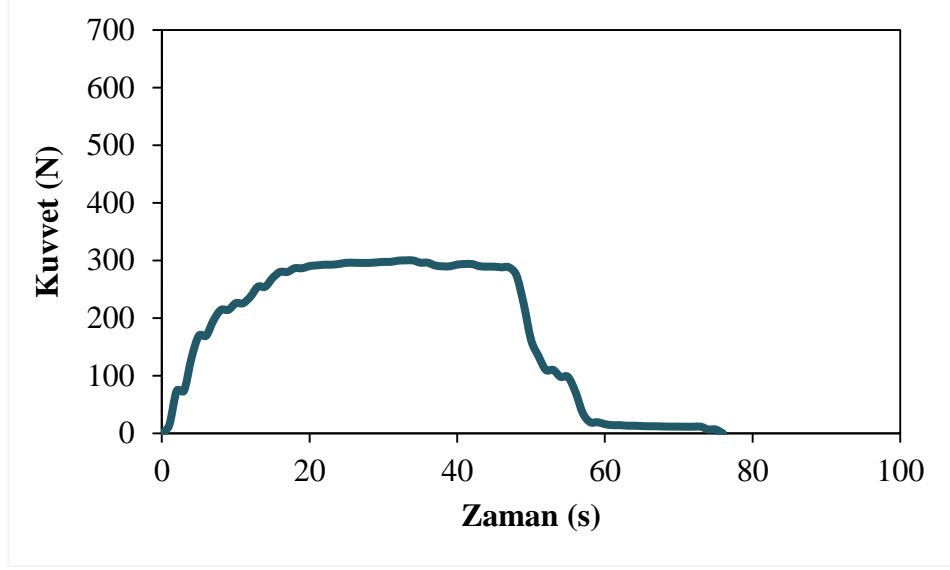
Şekil 4.8.B₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



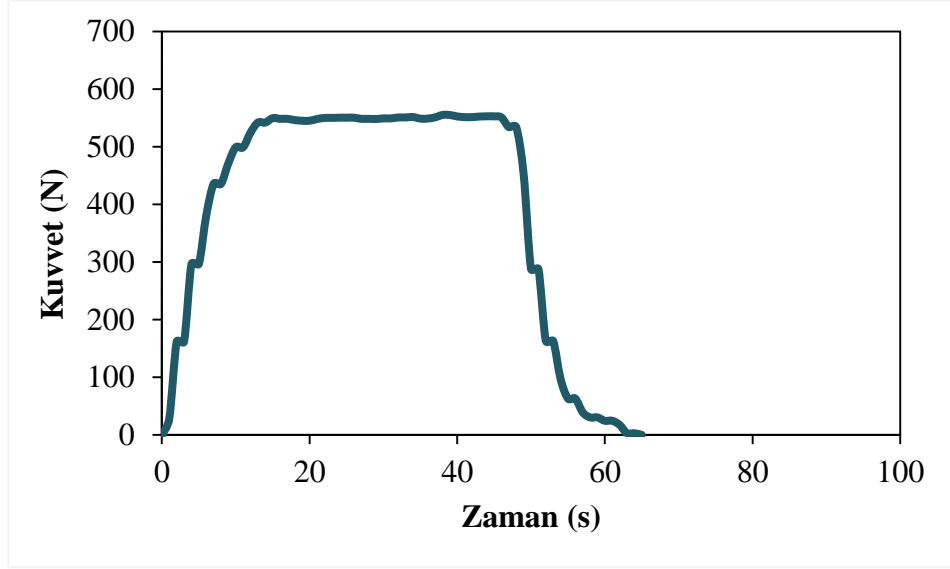
Şekil 4.9.C₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

4.2.1.4. A₂₁ (-13,5), B₂₁ (-13,5) ve C₂₁ (-13,5) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

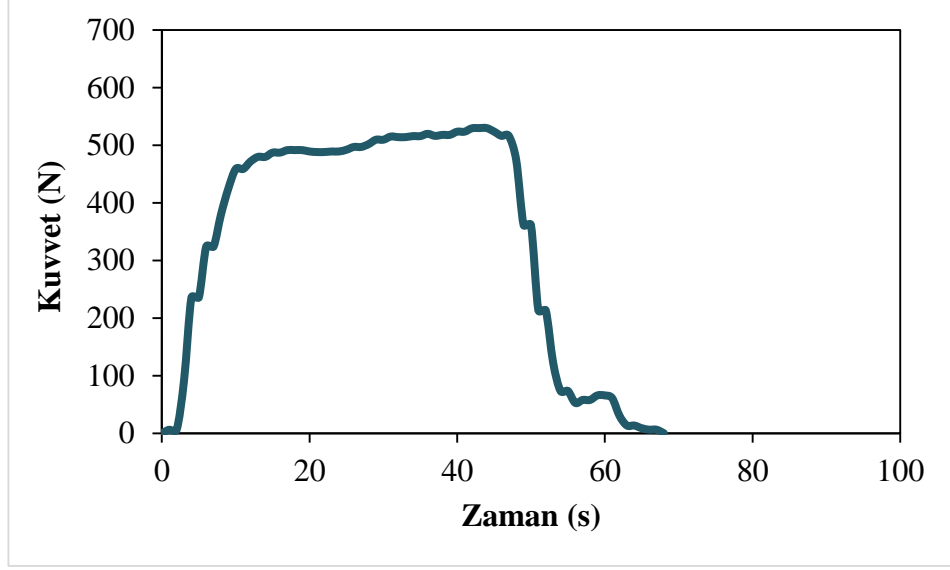
A₂₁ (-13,5), B₂₁ (-13,5) ve C₂₁ (-13,5) koordinatlarındaki 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.10-4.12 arasında verilmiştir. A₂₁ (-13,5) koordinatında 299.7936 N, B₂₁ (-13,5) koordinatında 555.0498 N ve C₂₁ (-13,5) koordinatında ise 529.5438 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10.A₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



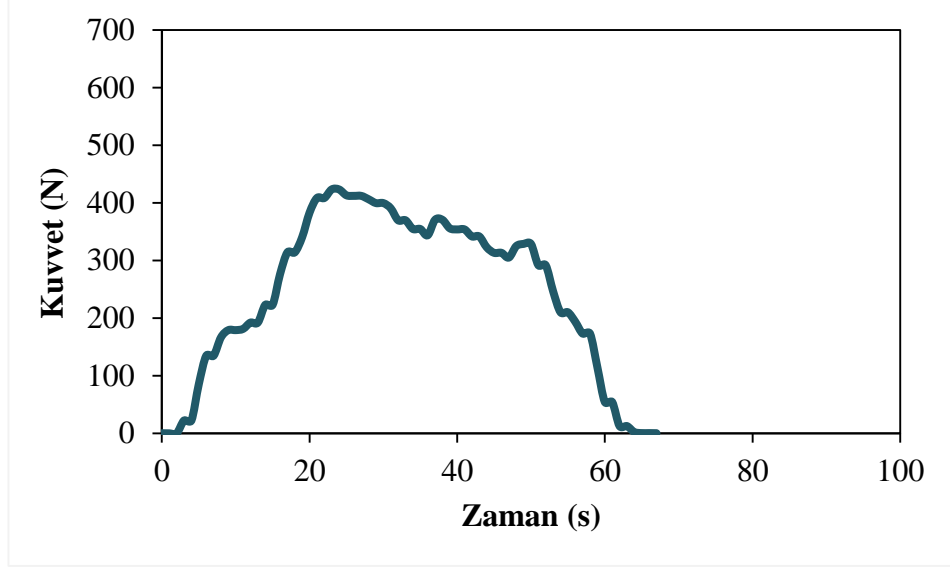
Şekil 4.11.B₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



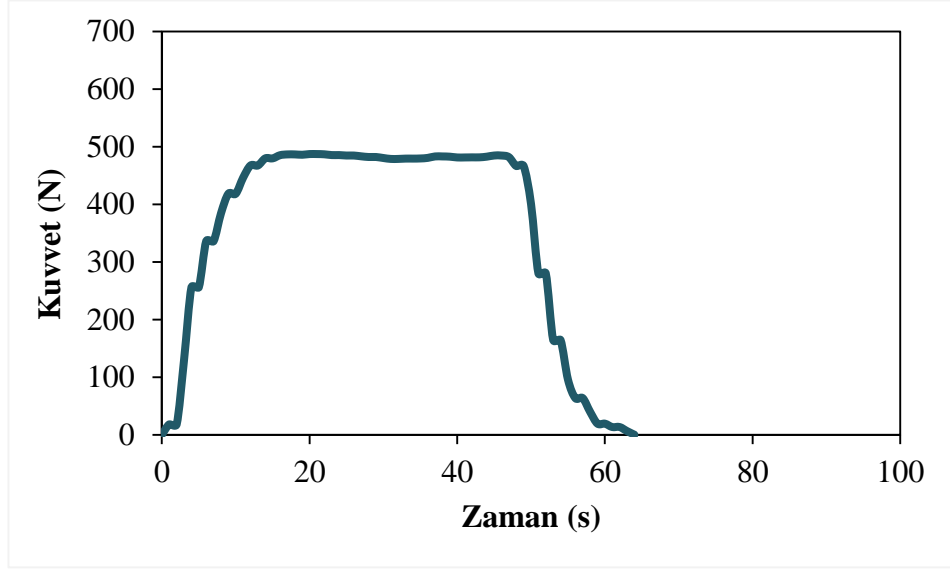
Şekil 4.12.C₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

4.2.1.5. A₂₂ (-13,13), B₂₂ (-13,13) ve C₂₂ (-13,13) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

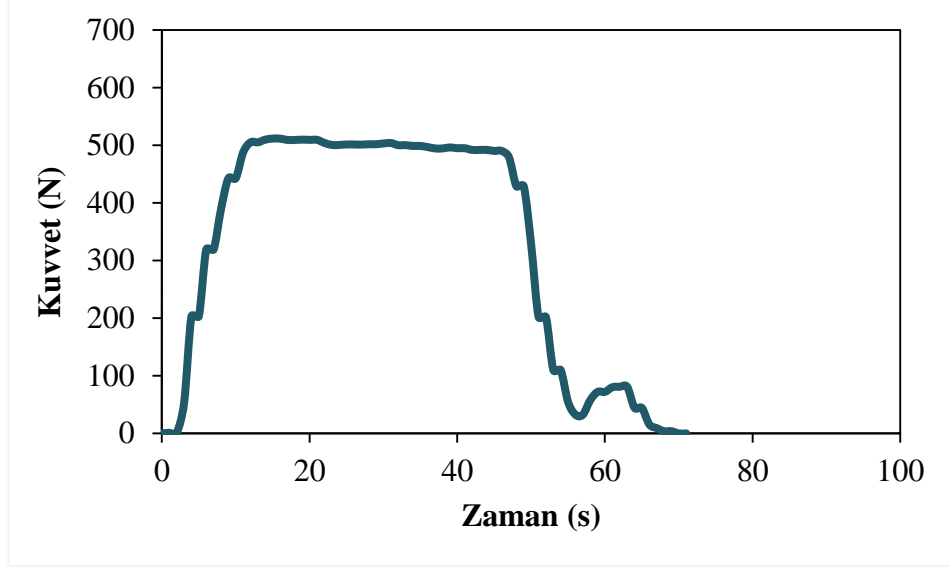
A₂₂ (-13,13), B₂₂ (-13,13) ve C₂₂ (-13,13) koordinatlarındaki 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1250 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.13-4.15 arasında verilmiştir. A₂₂ (-13,13) koordinatında 423.2034 N, B₂₂ (-13,13) koordinatında 487.1646 N ve C₂₂ (-13,13) koordinatında ise 511.4934 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13.A₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



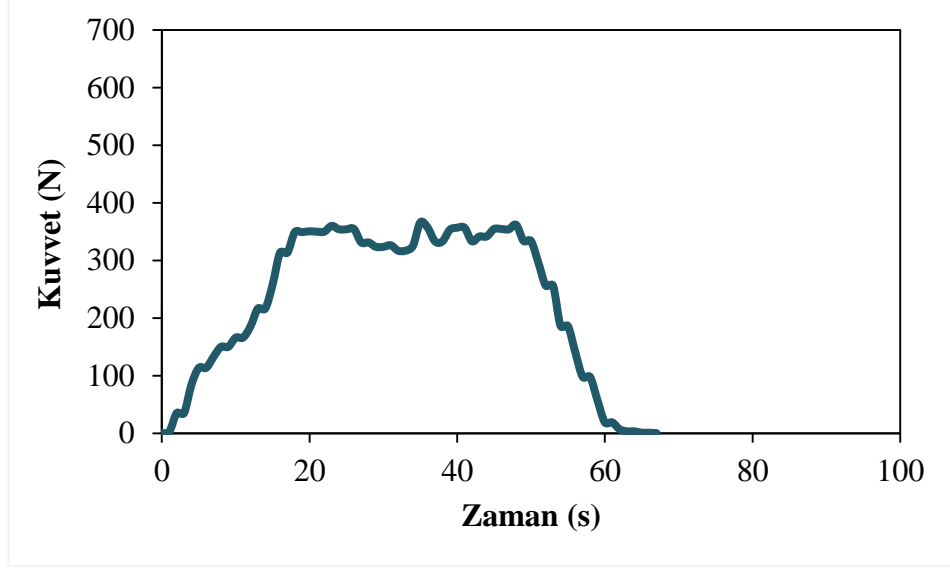
Şekil 4.14.B₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



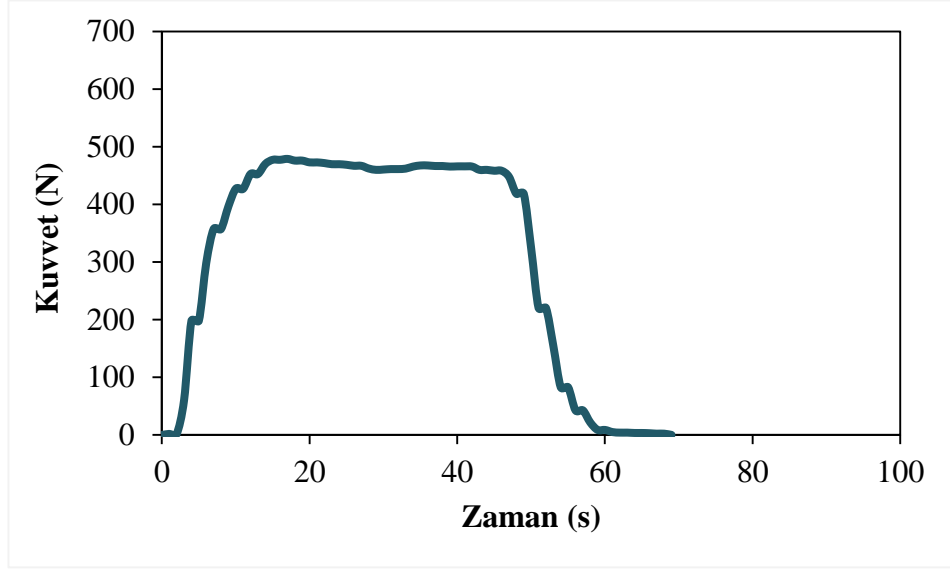
Şekil 4. 15.C₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

4.2.1.6. A₂₃ (-13,21), B₂₃ (-13,21) ve C₂₃ (-13,21) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

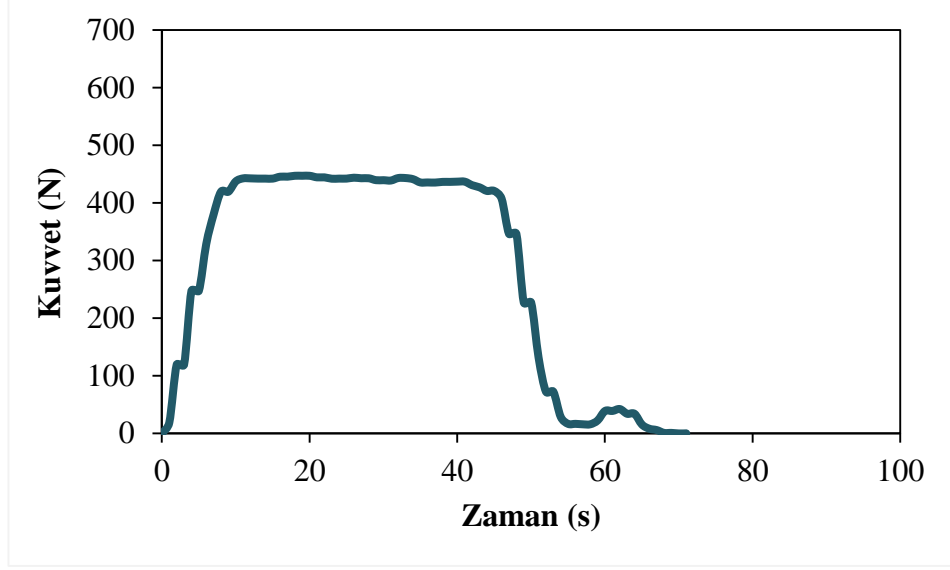
A₂₃ (-13,21), B₂₃ (-13,21) ve C₂₃ (-13,21) koordinatlarındaki 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.16-4.18 arasında verilmiştir. A₂₃ (-13,21) koordinatında 365.9130 N, B₂₃ (-13,21) koordinatında 478.5318 N ve C₂₃ (-13,21) koordinatında ise 446.9436 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.16.A₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



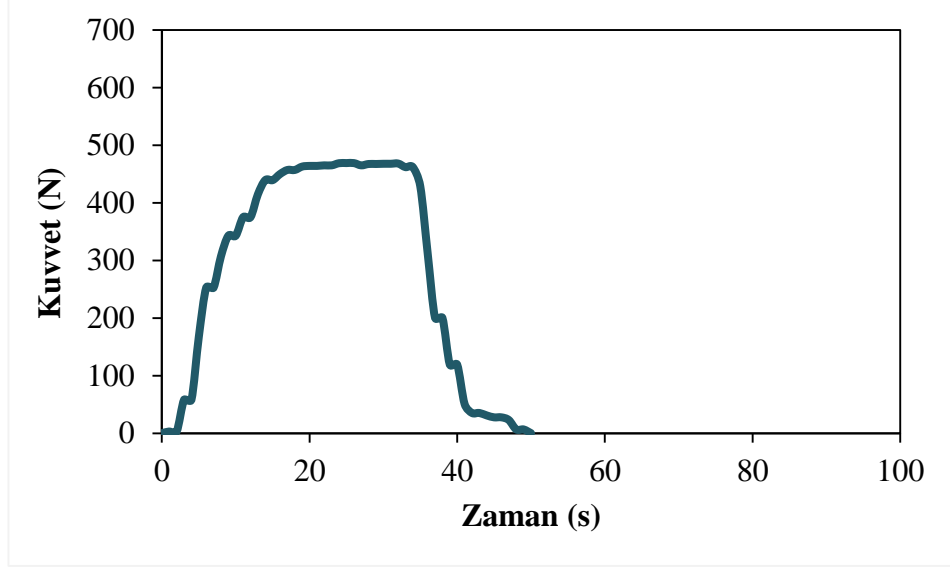
Şekil 4.17.B₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



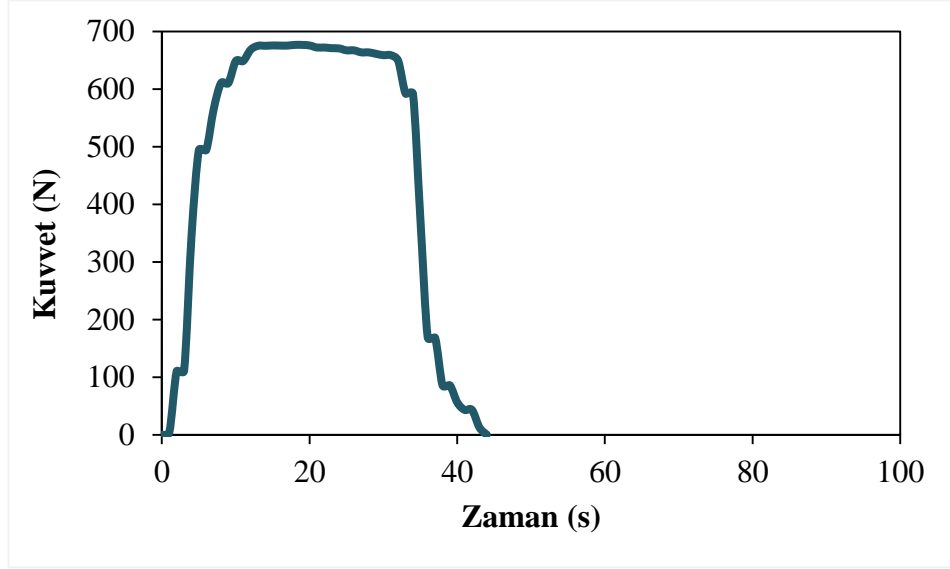
Şekil 4.18.C₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

4.2.1.7. A₃₁ (-21,5), B₃₁ (-21,5) ve C₃₁ (-21,5) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

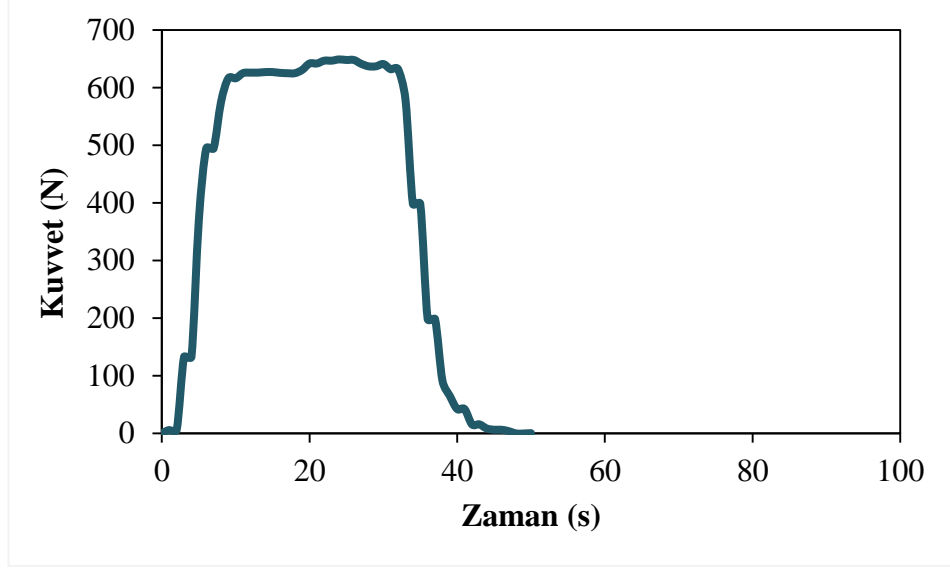
A₃₁ (-21,5), B₃₁ (-21,5) ve C₃₁ (-21,5) koordinatlarındaki 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.19-4.21 arasında verilmiştir. A₃₁ (-21,5) koordinatında 469.1142 N, B₃₁ (-21,5) koordinatında 676.6938 N ve C₃₁ (-21,5) koordinatında ise 648.8334 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.19.A₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği



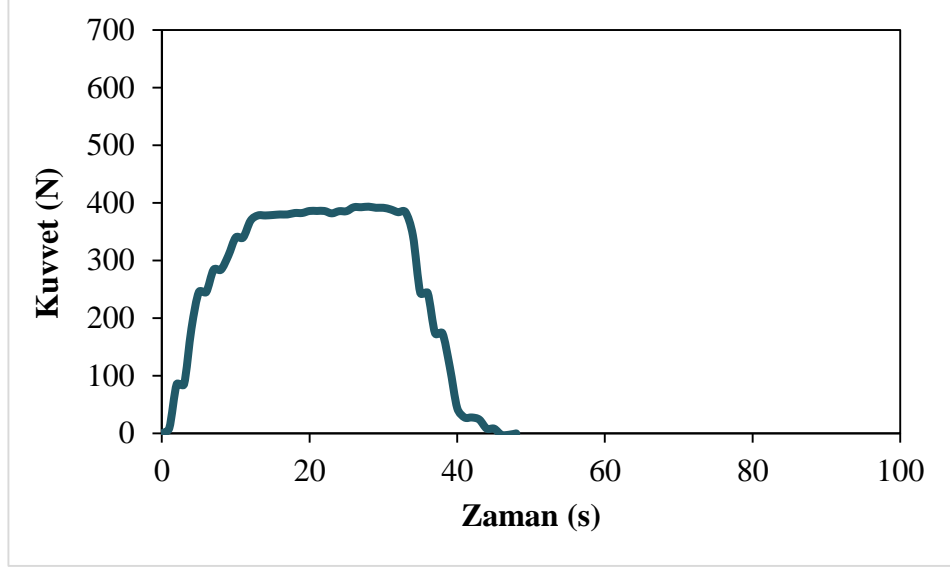
Şekil 4.20.B₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



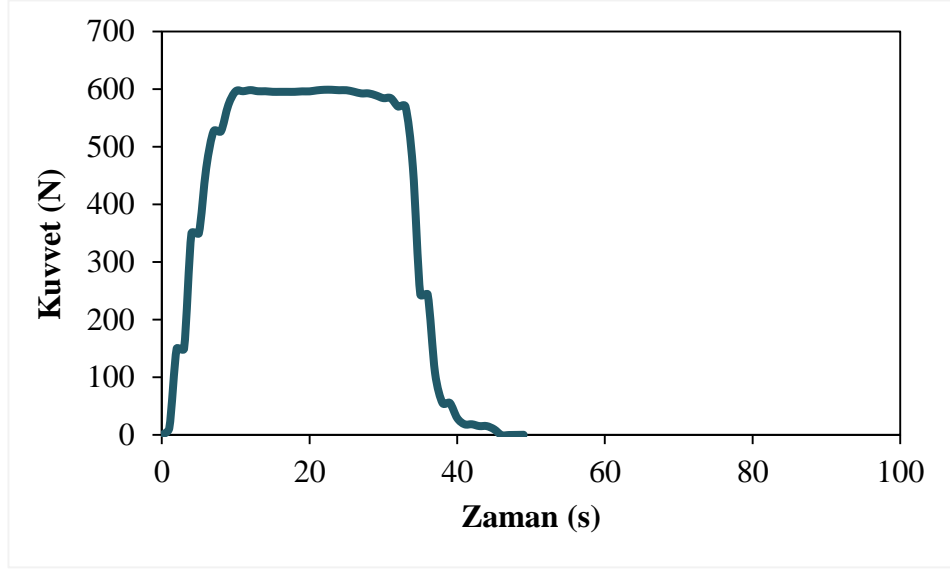
Şekil 4.21.C₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

4.2.1.8. A₃₂ (-21,13), B₃₂ (-21,13) ve C₃₂ (-21,13) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

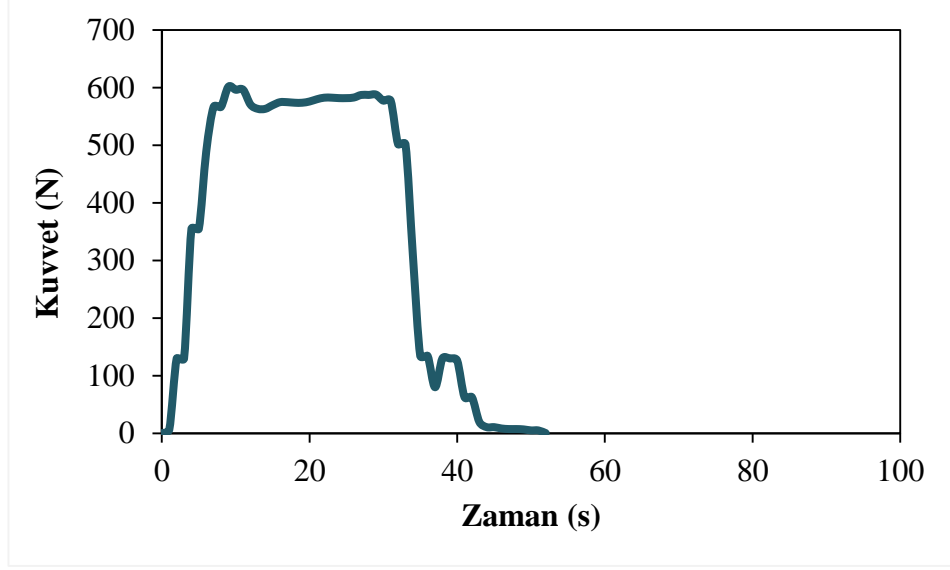
A₃₂ (-21,13), B₃₂ (-21,13) ve C₃₂ (-21,13) koordinatlarındaki 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1250 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.22-4.24 arasında verilmiştir. A₃₂ (-21,13) koordinatında 393.5772 N, B₃₂ (-21,13) koordinatında 598.6062 N ve C₃₂ (-21,13) koordinatında ise 601.5492 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.22.A₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



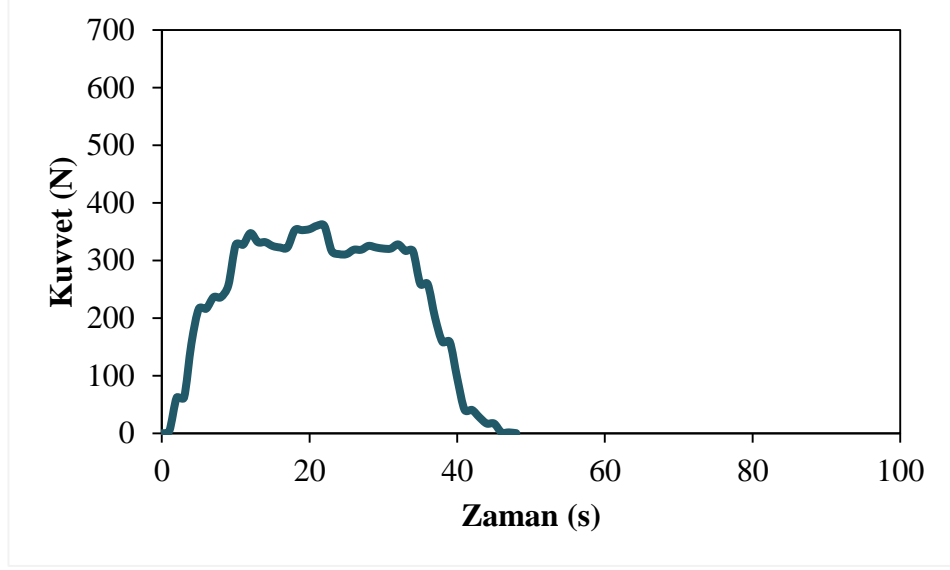
Şekil 4.23.B₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



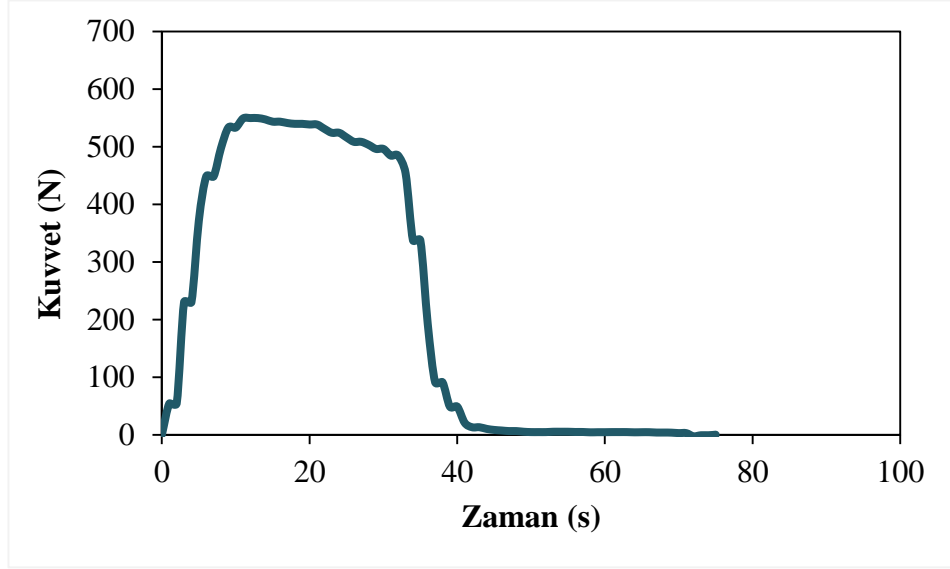
Şekil 4.24.C₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

4.2.1.9. A₃₃ (-21,21), B₃₃ (-21,21) ve C₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Kuvvet Ölçümü

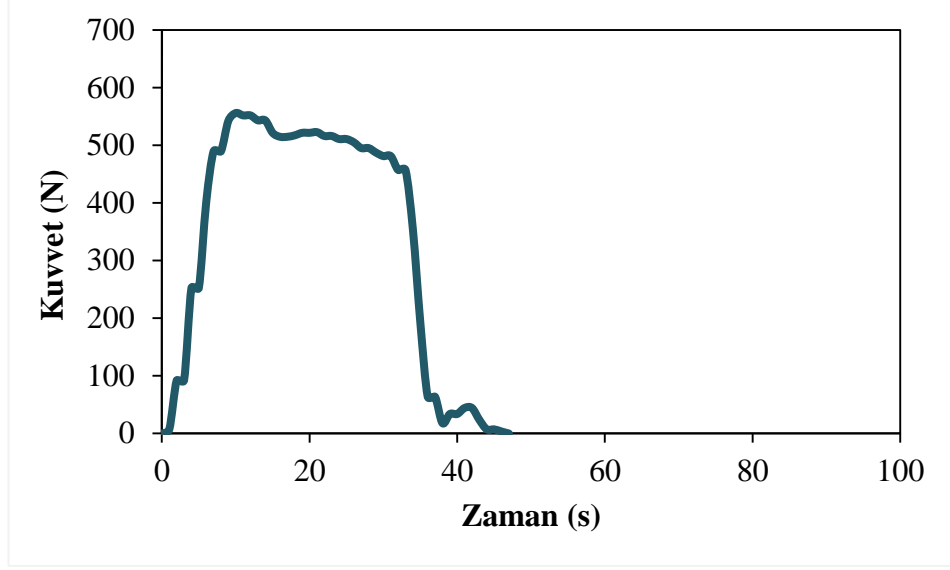
A₃₃ (-21,21), B₃₃ (-21,21) ve C₃₃ (-21,21) koordinatlarındaki 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin kuvvet grafikleri Şekil 4.25-4.27 arasında verilmiştir. A₃₃ (-21,21) koordinatında 360.027 N, B₃₃ (-21,21) koordinatında 549.360 N ve C₃₃ (-21,21) koordinatında ise 555.8346 N olarak kuvvette pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.25.A₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.



Şekil 4.26.B₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

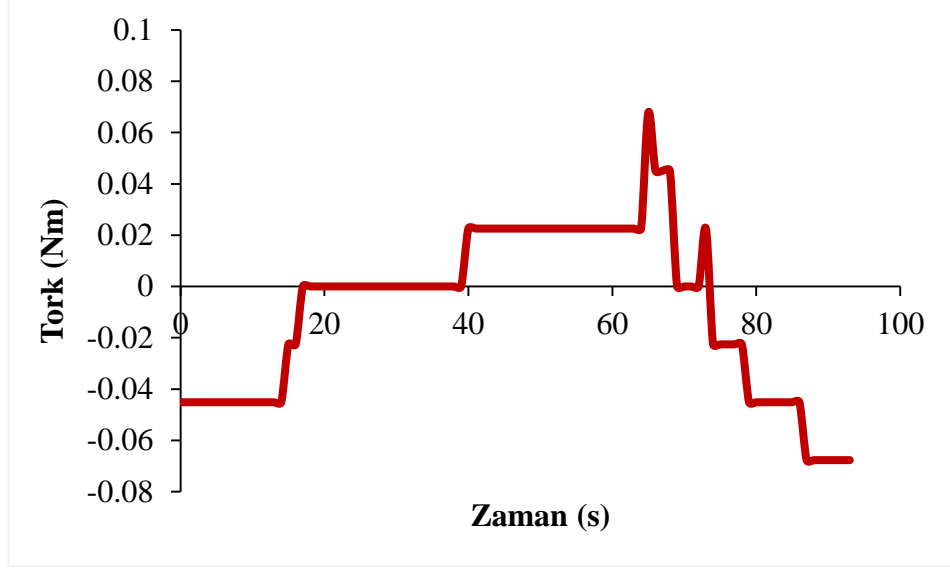


Şekil 4.27.C₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin kuvvet grafiği.

4.2.2. A (100°), B (120°) ve C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Tork Ölçüm Sonuçları

4.2.2.1. A₁₁ (-5,5), B₁₁ (-5,5) ve C₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

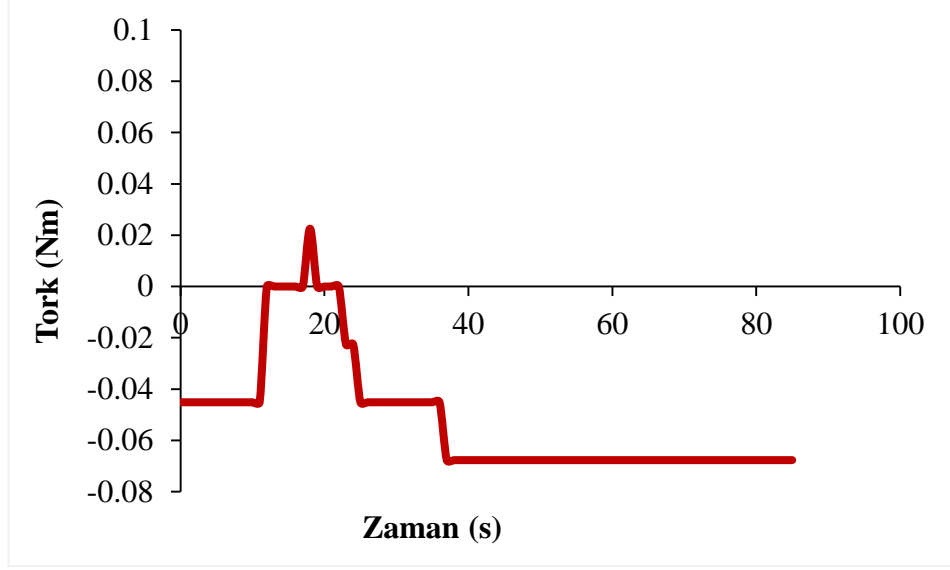
C₁₁ (-5,5) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliğin tork grafiği Şekil 4.28'de verilmiştir. C₁₁ (-5,5) koordinatında ise 0.067689 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



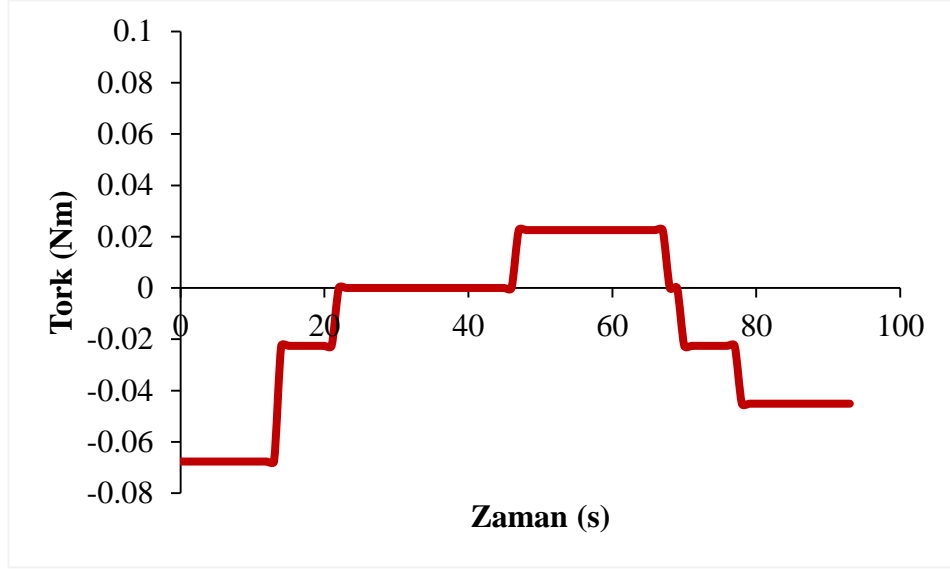
Şekil 4.28.C₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.

4.2.2.2. A₁₂ (-5,13), B₁₂ (-5,13) ve C₁₂ (-5,13) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

B₁₂ (-5,13) ve C₁₂ (-5,13) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1250 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin tork grafikleri Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmiştir. B₁₂ (-5,13) koordinatında 0.022563 Nm ve C₁₂ (-5,13) koordinatında ise 0.022563 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.29.B₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.

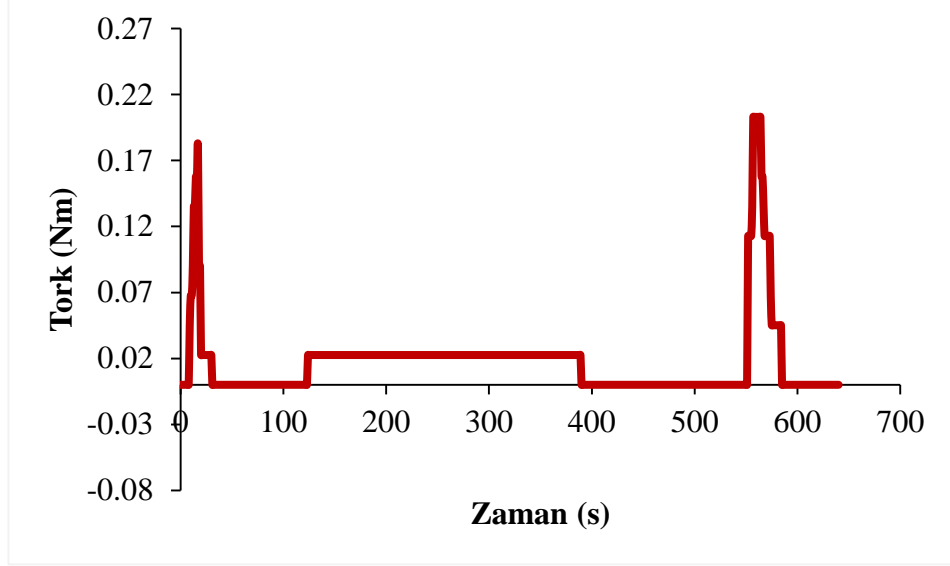


Şekil 4.30.C₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.

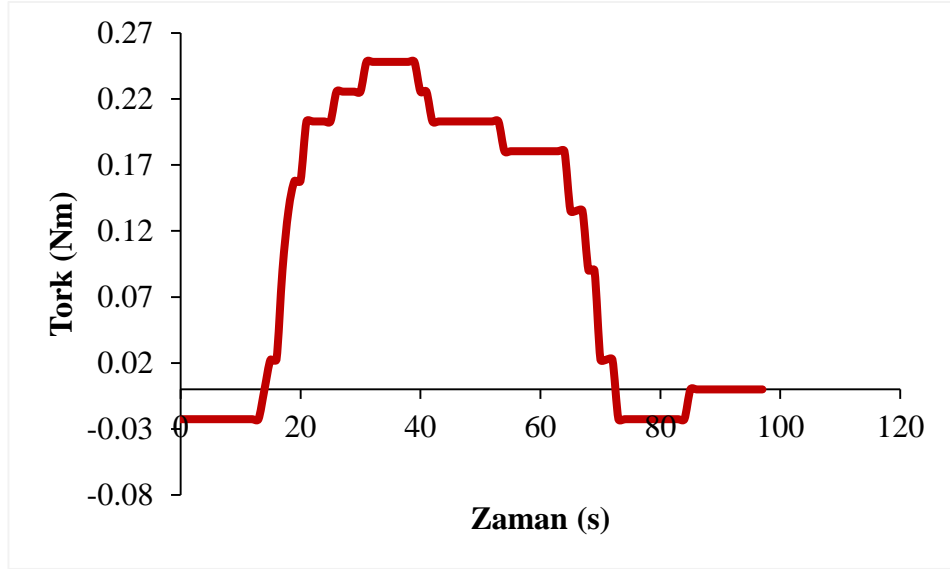
4.2.2.3. A₁₃ (-5,21), B₁₃ (-5,21) ve C₁₃ (-5,21) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

A₁₃ (-5,21) ve C₁₃ (-5,21) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin tork grafikleri Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de

verilmiştir. A_{13} (-5,21) koordinatlarında 0.203067 Nm ve C_{13} (-5,21) koordinatında ise 0.248193 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



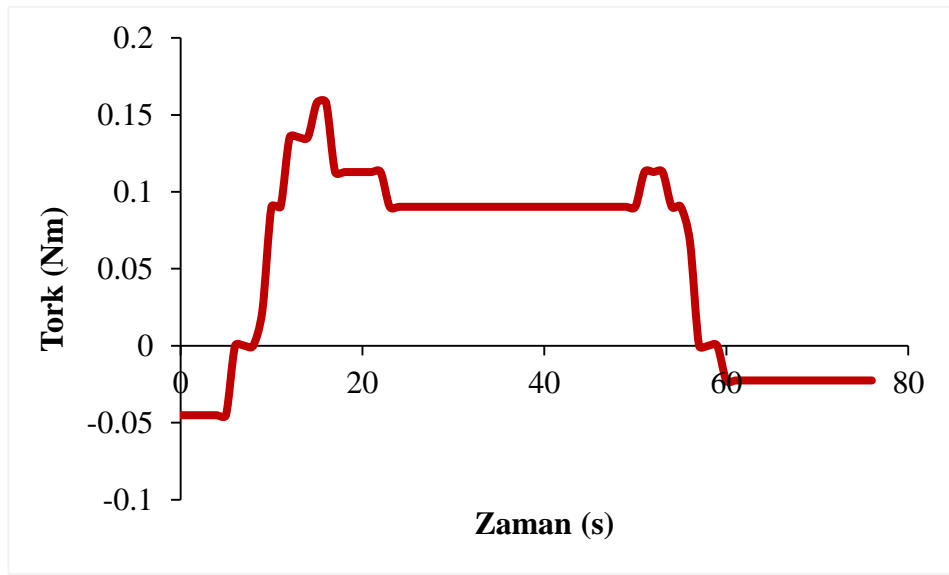
Şekil 4.31. A_{13} (-5,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.



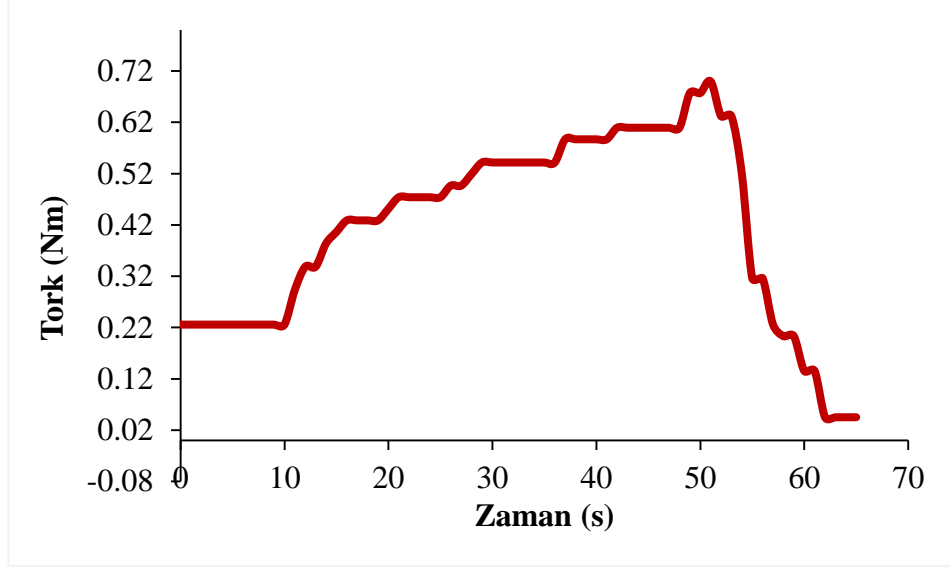
Şekil 4.32. C_{13} (-5,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.

4.2.2.4. A₂₁ (-13,5), B₂₁ (-13,5) ve C₂₁ (-13,5) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

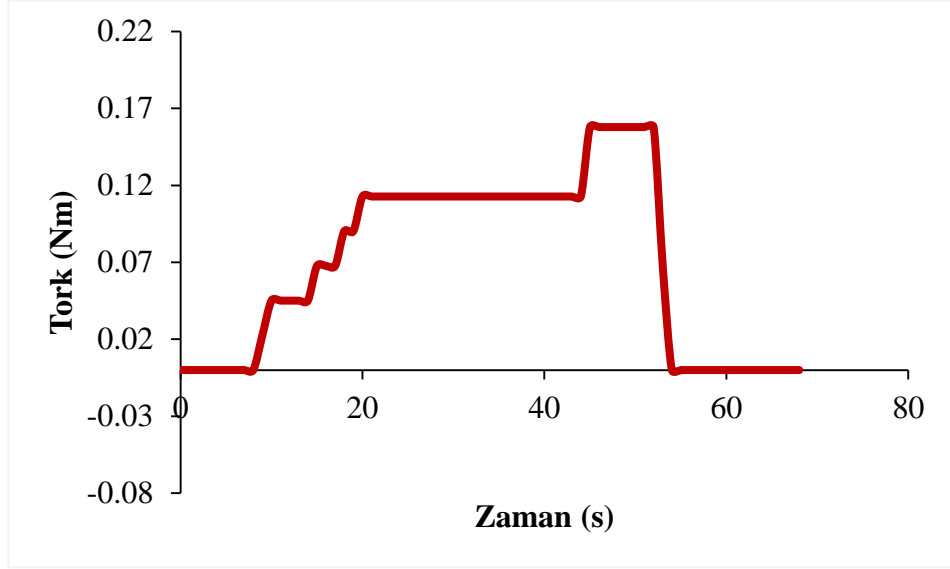
A₂₁ (-13,5), B₂₁ (-13,5) ve C₂₁ (-13,5) koordinatlarındaki 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin tork grafikleri Şekil 4.33- 4.35 arasında verilmiştir. A₂₁ (-13,5) koordinatlarında 0.157941 Nm, B₂₁ (-13,5) koordinatında 0.699453 Nm ve C₂₁ (-13,5) koordinatında ise 0.157941 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.33.A₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.



Şekil 4.34.B₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.

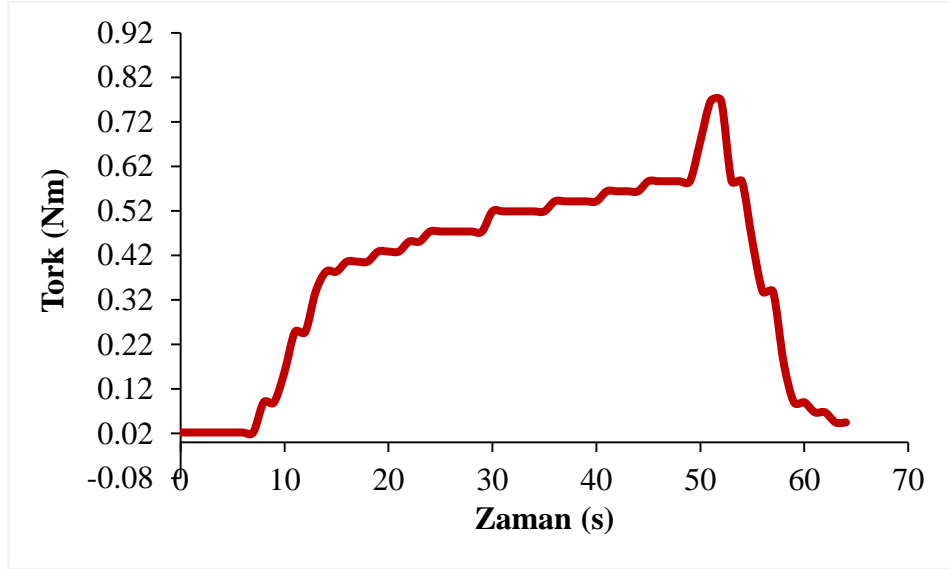


Şekil 4.35.C₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.

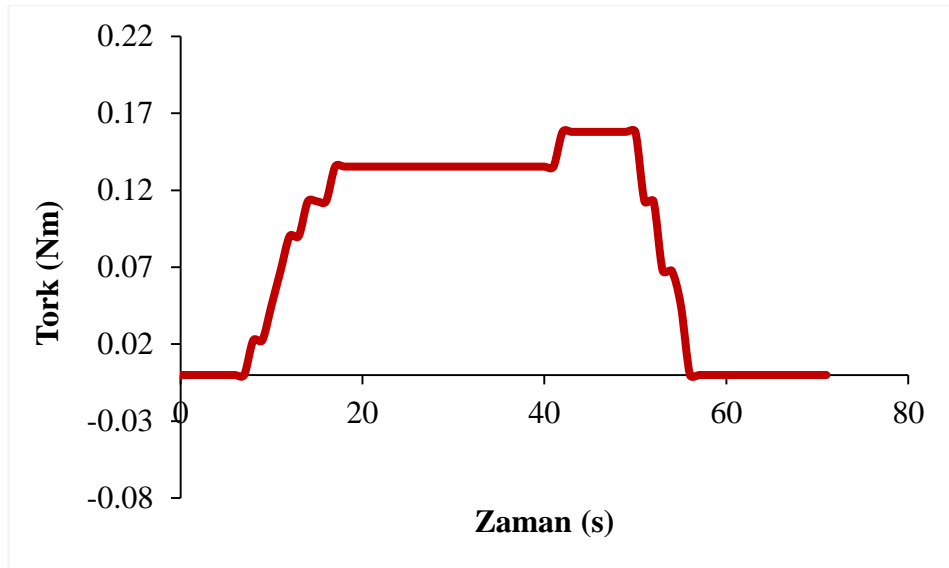
4.2.2.5. A₂₂ (-13,13), B₂₂ (-13,13) ve C₂₂ (-13,13) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

B₂₂ (-13,13) ve C₂₂ (-13,13) koordinatlarındaki 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1250 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin tork grafikleri Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'de

verilmiştir. B₂₂ (-13,13) koordinatında 0.767142 Nm ve C₂₂ (-13,13) koordinatında ise 0.157941 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



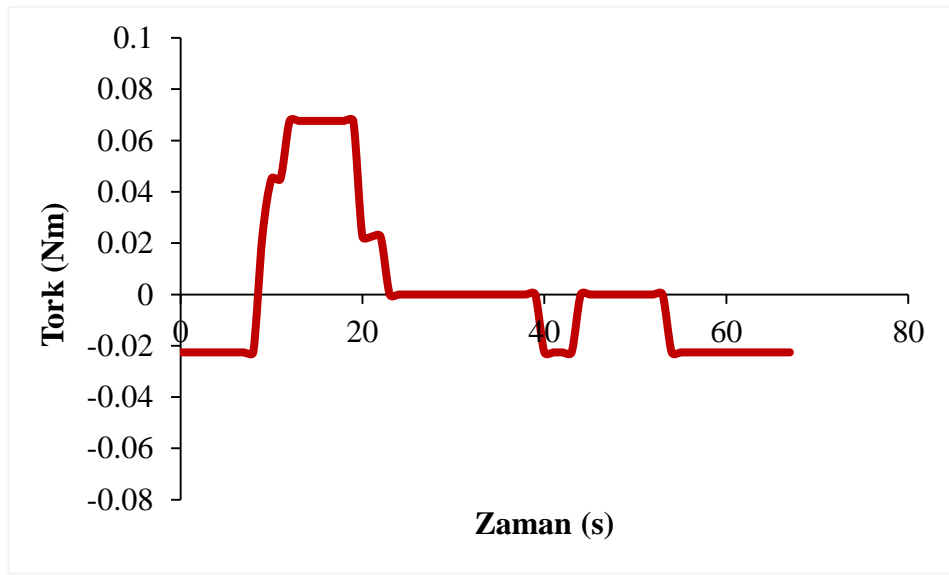
Şekil 4.36.B₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.



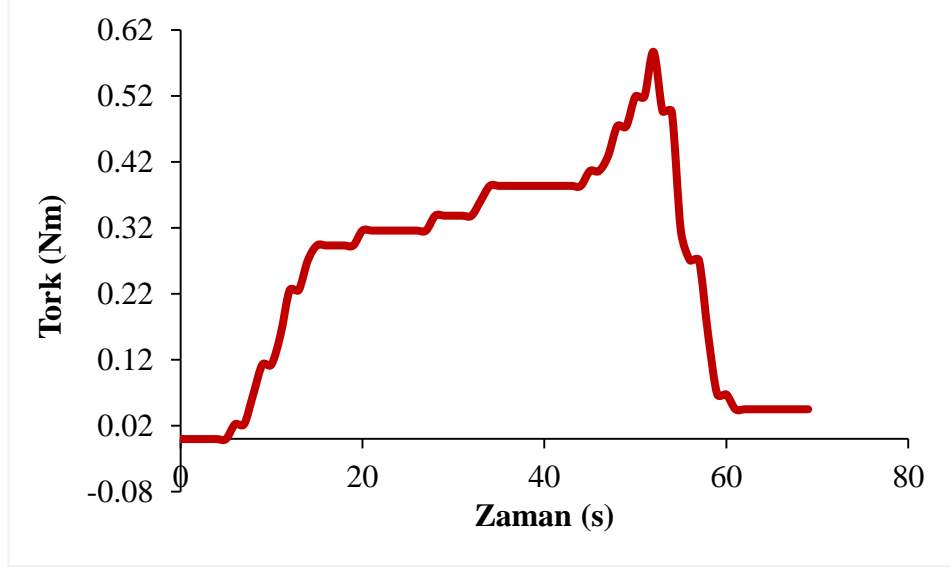
Şekil 4.37.C₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.

4.2.2.6. A₂₃ (-13,21), B₂₃ (-13,21) ve C₂₃ (-13,21) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

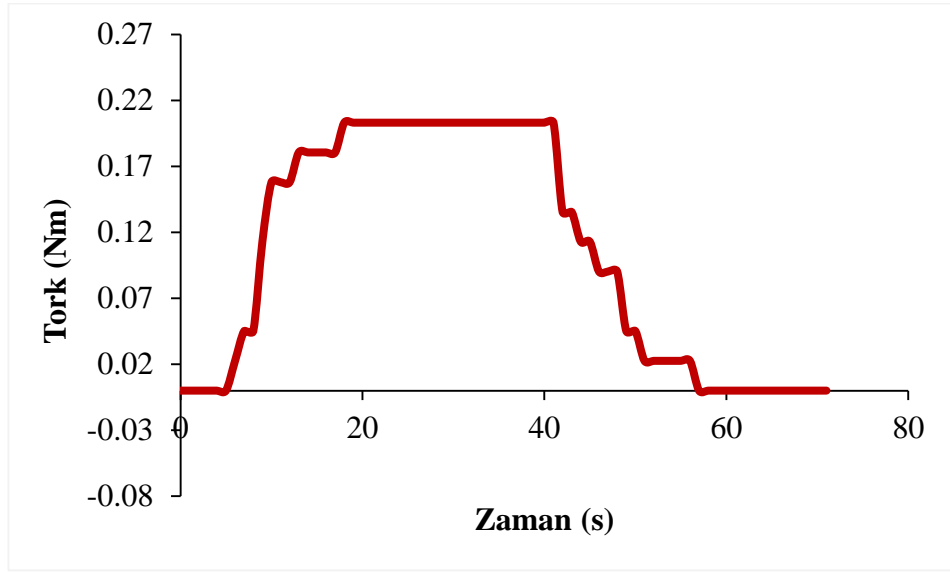
A₂₃ (-13,21), B₂₃ (-13,21) ve C₂₃ (-13,21) koordinatlarındaki 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin tork grafikleri Şekil 4.38- 4.40 arasında verilmiştir. A₂₃ (-13,21) koordinatlarında 0.067689 Nm, B₂₃ (-13,21) koordinatında 0.586638 Nm ve C₂₃ (-13,21) koordinatında ise 0.203067 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.38.A₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.



Şekil 4.39.B₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.

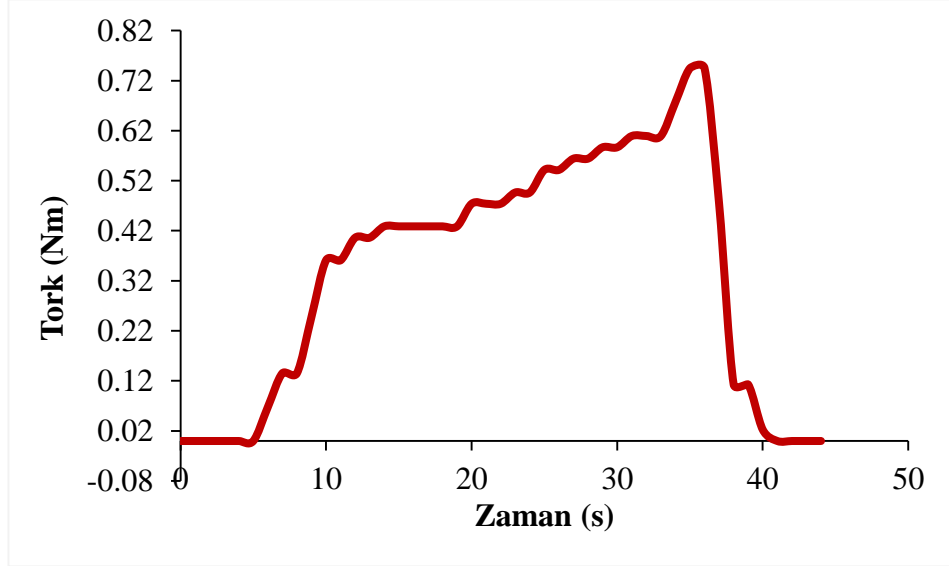


Şekil 4.40.C₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.

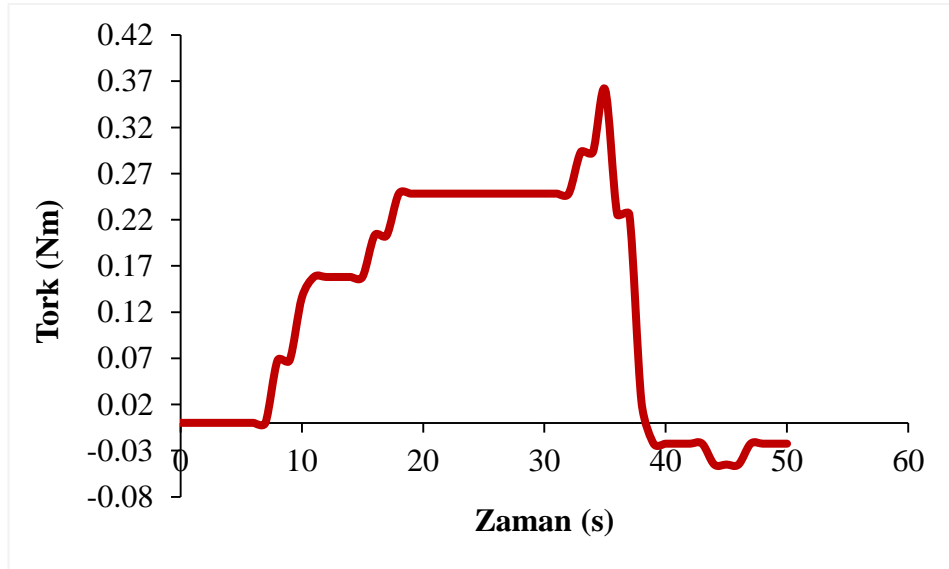
4.2.2.7. A₃₁ (-21,5), B₃₁ (-21,5) ve C₃₁ (-21,5) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

B₃₁ (-21,5) ve C₃₁ (-21,5) koordinatlarındaki 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin tork grafikleri Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de

verilmiştir. B₃₁ (-21,5) koordinatında 0.744579 Nm ve C₃₁ (-21,5) koordinatında ise 0.361008 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



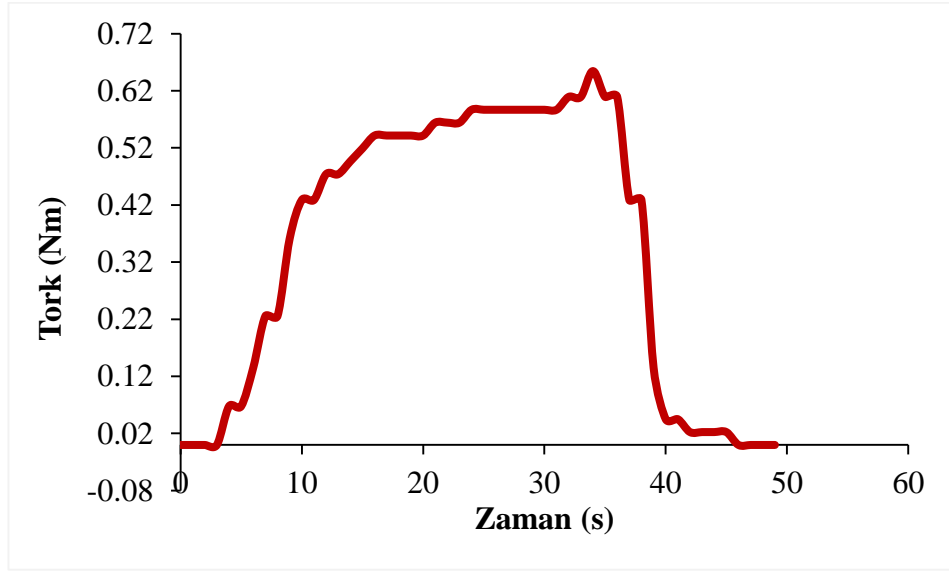
Şekil 4.41.B₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.



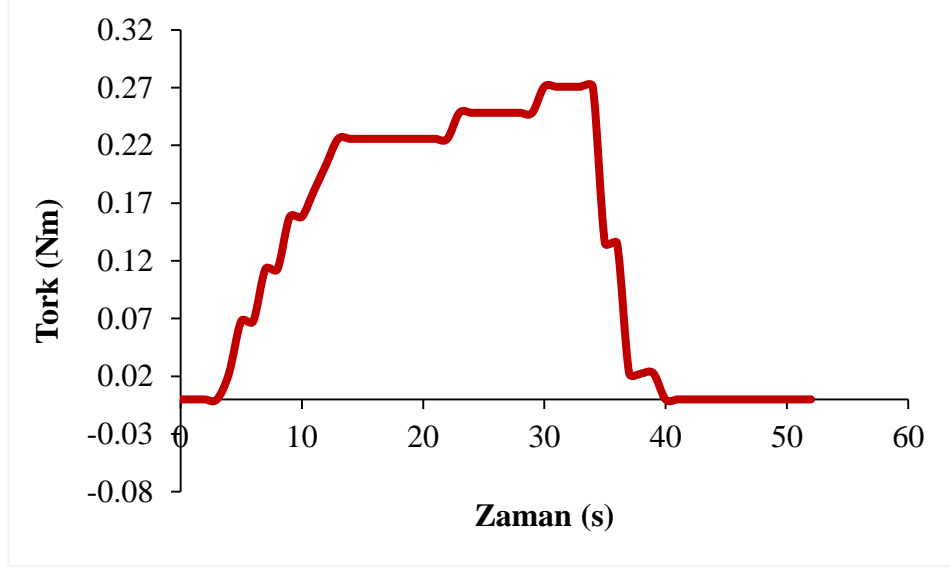
Şekil 4.42.C₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin tork grafiği.

4.2.2.8. A₃₂ (-21,13), B₃₂ (-21,13) ve C₃₂ (-21,13) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

B₃₂ (-21,13) ve C₃₂ (-21,13) koordinatlarındaki 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin tork grafikleri Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te verilmiştir. B₃₂ (-21,13) koordinatında 0.654327 Nm ve C₃₂ (-21,13) koordinatında ise 0.270756 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



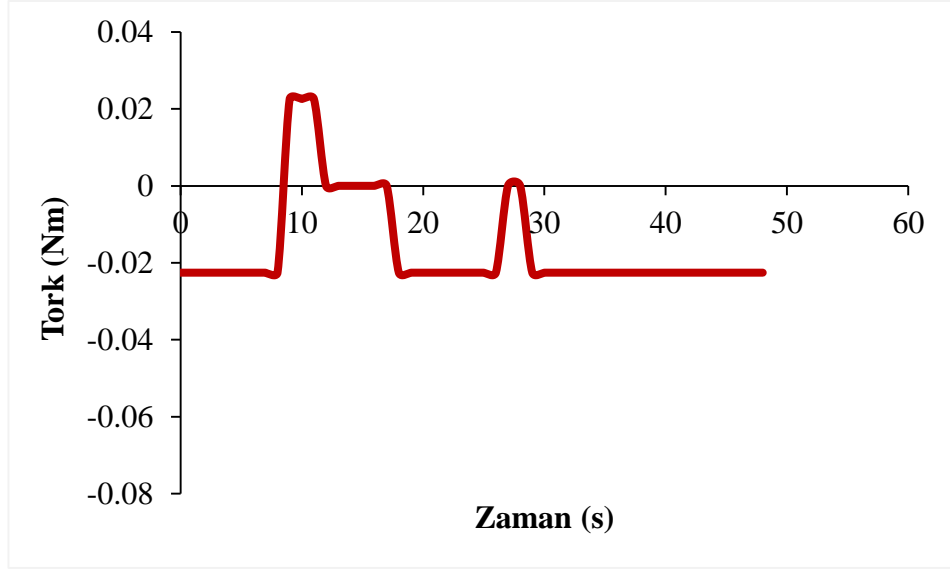
Şekil 4.43. B₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.



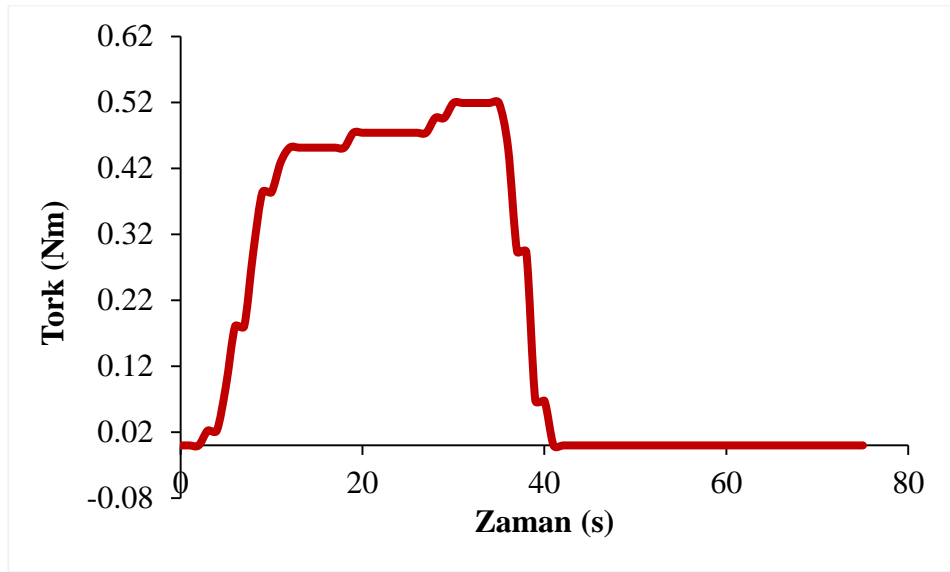
Şekil 4.44.C₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin tork grafiği.

4.2.2.9. A₃₃ (-21,21), B₃₃ (-21,21) ve C₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Tork Ölçümü

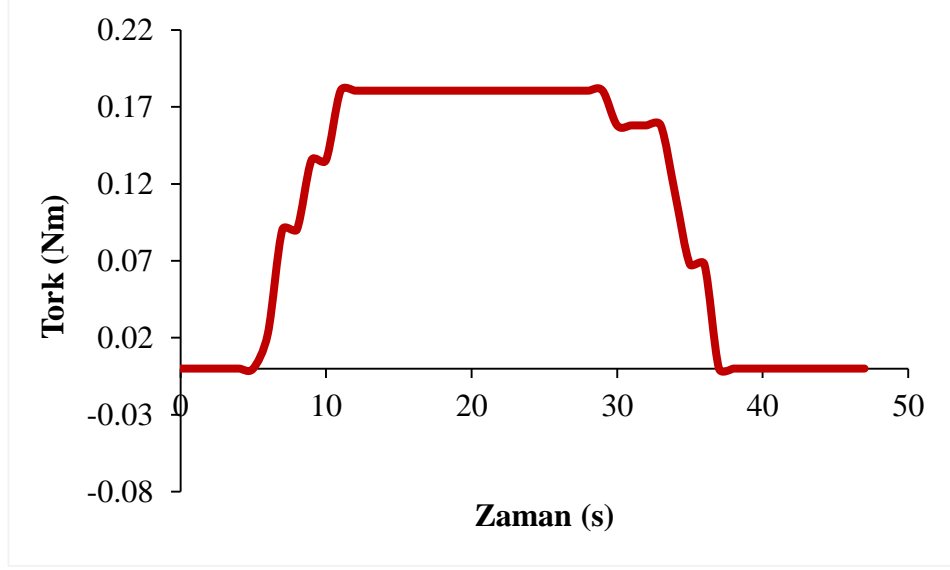
A₃₃ (-21,21), B₃₃ (-21,21) ve C₃₃ (-21,21) koordinatlarındaki 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin tork grafikleri Şekil 4.45- 4.47 arasında verilmiştir. A₃₃ (-21,21) koordinatlarında 0.022563 Nm, B₃₃ (-21,21) koordinatında 0.518949 Nm ve C₃₃ (-21,21) koordinatında ise 0.180504 Nm olarak torkta pik değerler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.45.A₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.



Şekil 4.46.B₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.

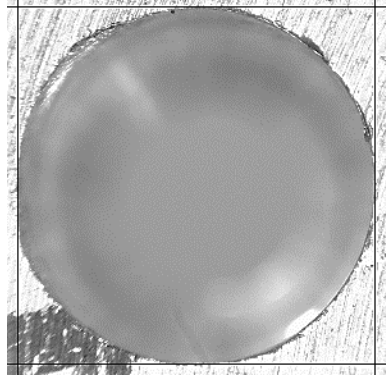


Şekil 4.47.C33 (-21,21) koordinatlı deliğin tork grafiği.

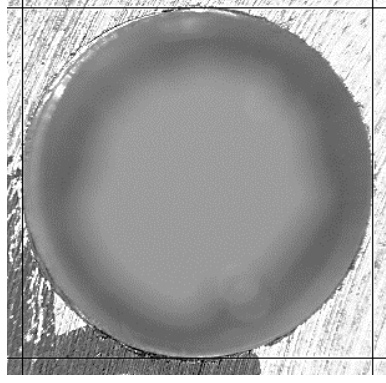
4.2.3. A (100°), B (120°) ve C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Delik Çapı Değişim Görüntüleri

4.2.3.1. A₁₁ (-5,5), B₁₁ (-5,5) ve C₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

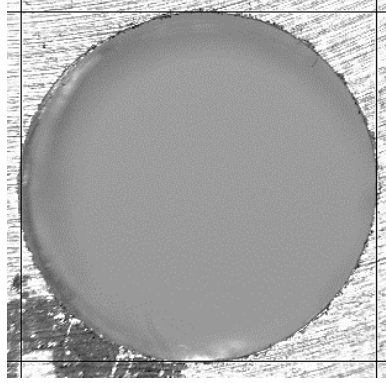
A₁₁ (-5,5), B₁₁ (-5,5) ve C₁₁ (-5,5) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.48- 4.50 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap Ø 6mm olması gerekirken bu değer A₁₁ (-5,5) koordinatında 1.014, B₁₁ (-5,5) koordinatında 1.022 ve C₁₁ (-5,5) koordinatında ise 1.038 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.48.A₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin çapı.



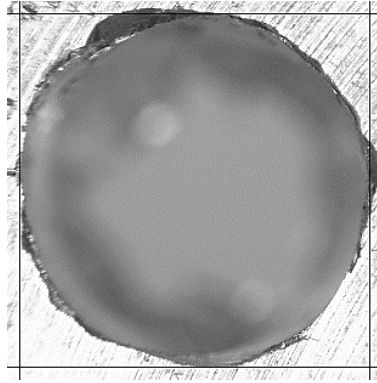
Şekil 4.49.B₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin çapı.



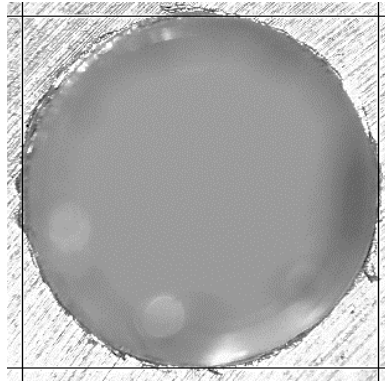
Şekil 4.50.C₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin çapı.

4.2.3.2. A₁₂ (-5,13), B₁₂ (-5,13) ve C₁₂ (-5,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

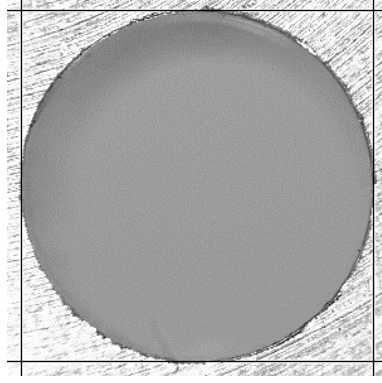
A₁₂ (-5,13), B₁₂ (-5,13) ve C₁₂ (-5,13) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.51- 4.53 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap Ø 6mm olması gerekirken bu değer A₁₂ (-5,13) koordinatında 1.053, B₁₂ (-5,13) koordinatında 1.038 ve C₁₂ (-5,13) koordinatında ise 1.014 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.51.A₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin çapı.



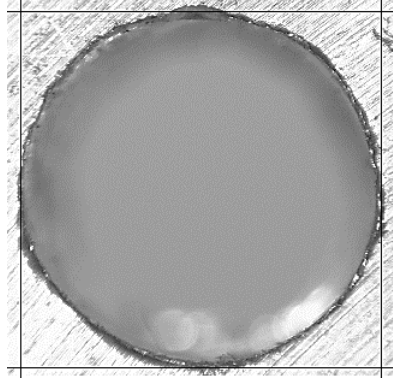
Şekil 4.52.B₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin çapı.



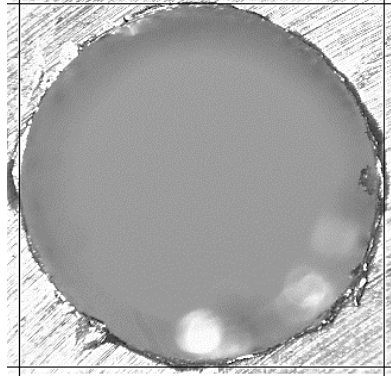
Şekil 4.53.C₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin çapı.

4.2.3.3. A₁₃ (-5,21), B₁₃ (-5,21) ve C₁₃ (-5,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

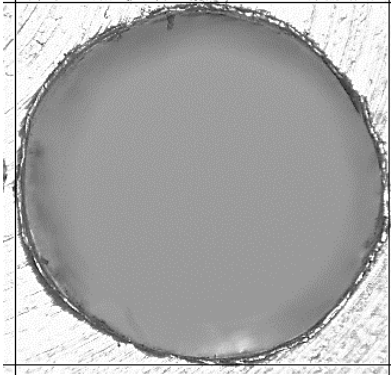
A₁₃ (-5,21), B₁₃ (-5,21) ve C₁₃ (-5,21) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.54- 4.56 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap Ø 6mm olması gerekirken bu değer A₁₃ (-5,21) koordinatında 1.084, B₁₃ (-5,21) koordinatında 1.113 ve C₁₃ (-5,21) koordinatında ise 1.124 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.54.A₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin çapı.



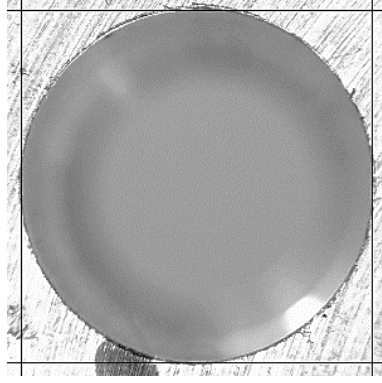
Şekil 4.55.B₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin çapı.



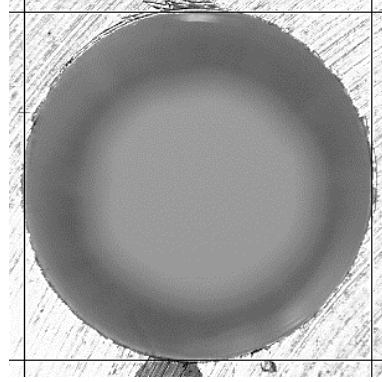
Şekil 4.56.C₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin çapı.

4.2.3.4. A₂₁ (-13,5), B₂₁ (-13,5) ve C₂₁ (-13,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

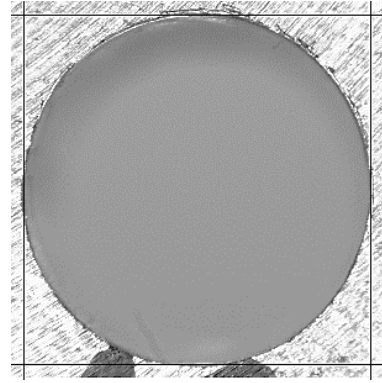
A₂₁ (-13,5), B₂₁ (-13,5) ve C₂₁ (-13,5) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.57- 4.59 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap Ø 6mm olması gerekirken bu değer A₂₁ (-13,5) koordinatında 1.014, B₂₁ (-13,5) koordinatında 1.020 ve C₂₁ (-13,5) koordinatında ise 1.025 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.57.A₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin çapı



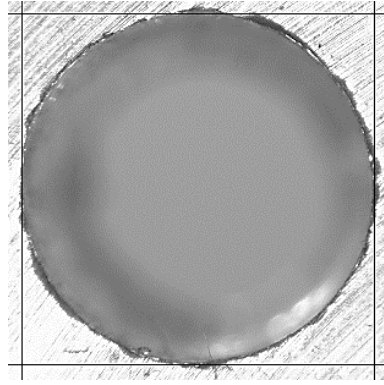
Şekil 4.58.B₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin çapı.



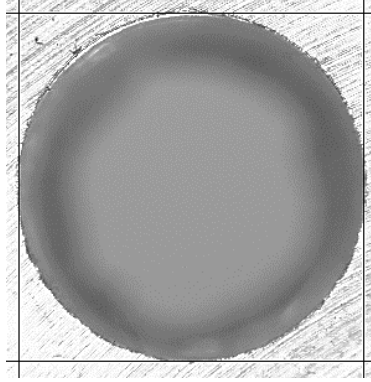
Şekil 4.59.C₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin çapı.

4.2.3.5. A₂₂ (-13,13), B₂₂ (-13,13) ve C₂₂ (-13,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

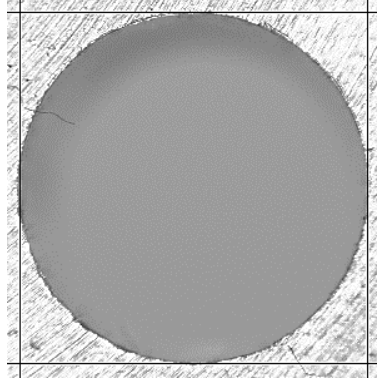
A₂₂ (-13,13), B₂₂ (-13,13) ve C₂₂ (-13,13) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.60-4.62 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap Ø 6mm olması gerekirken bu değer A₂₂ (-13,13) koordinatında 1.045, B₂₂ (-13,13) koordinatında 1.016 ve C₂₂ (-13,13) koordinatında ise 1.014 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.60.A₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin çapı.



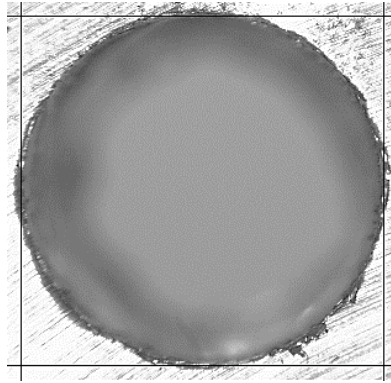
Şekil 4.61.B₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin çapı.



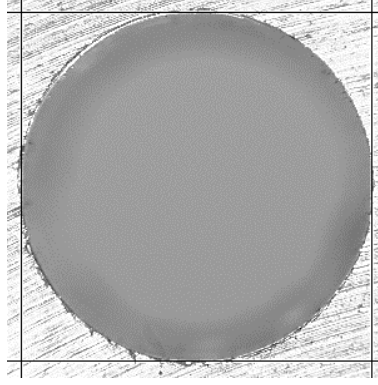
Şekil 4.62.C₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin çapı.

4.2.3.6. A₂₃ (-13,21), B₂₃ (-13,21) ve C₂₃ (-13,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

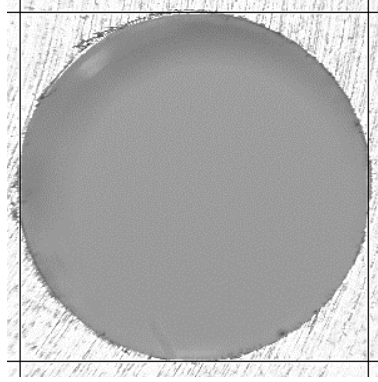
A₂₃ (-13,21), B₂₃ (-13,21) ve C₂₃ (-13,21) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.63-4.65 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap \varnothing 6mm olması gerekirken bu değer A₂₃ (-13,21) koordinatında 1.049, B₂₃ (-13,21) koordinatında 1.014 ve C₂₃ (-13,21) koordinatında ise 1.013 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.63.A₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin çapı.



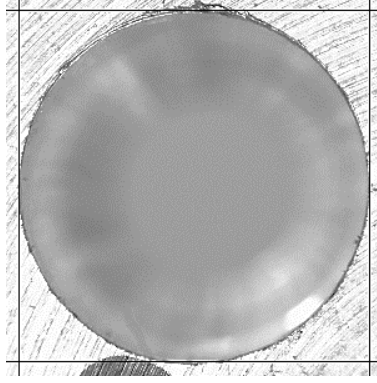
Şekil 4.64. B_{23} (-13,21) koordinatlı deliğin çapı.



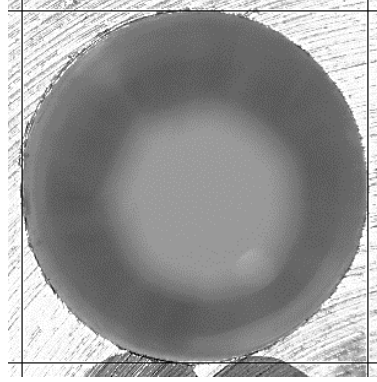
Şekil 4.65. C_{23} (-13,21) koordinatlı deliğin çapı.

4.2.3.7. A_{31} (-21,5), B_{31} (-21,5) ve C_{31} (-21,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

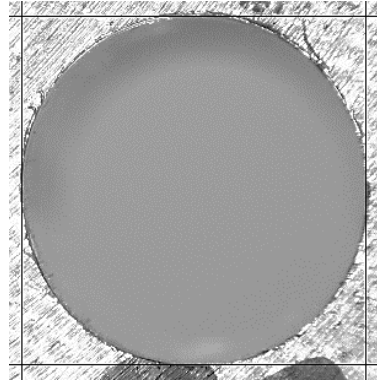
A_{31} (-21,5), B_{31} (-21,5) ve C_{31} (-21,5) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.66- 4.68 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap \varnothing 6mm olması gerekirken bu değer A_{31} (-21,5) koordinatında 1.022, B_{31} (-21,5) koordinatında 1.034 ve C_{31} (-21,5) koordinatında ise 1.025 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.66.A₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin çapı.



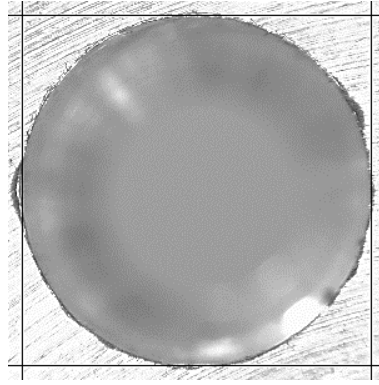
Şekil 4.67.B₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin çapı.



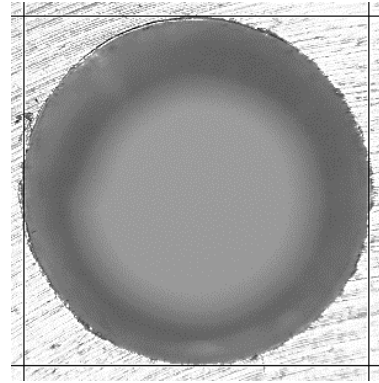
Şekil 4.68.C₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin çapı.

4.2.3.8. A₃₂ (-21,13), B₃₂ (-21,13) ve C₃₂ (-21,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

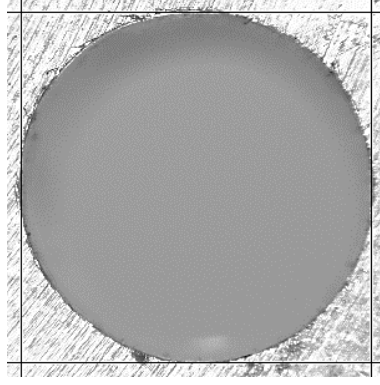
A₃₂ (-21,13), B₃₂ (-21,13) ve C₃₂ (-21,13) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.69-4.71 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap Ø 6mm olması gerekirken bu değer A₃₂ (-21,13) koordinatında 1.016, B₃₂ (-21,13) koordinatında 1.025 ve C₃₂ (-21,13) koordinatında ise 1.022 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.69.A₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin çapı.



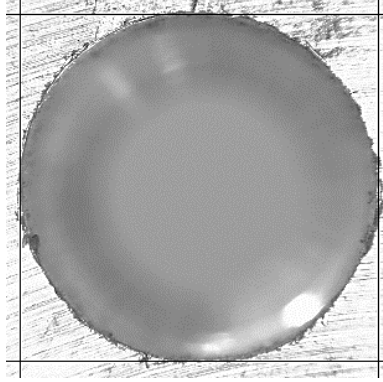
Şekil 4.70.B₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin çapı.



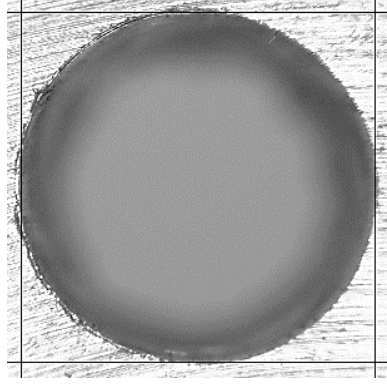
Şekil 4.71.C₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin çapı.

4.2.3.9. A₃₃ (-21,21), B₃₃ (-21,21) ve C₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik Çapı Değişim Görüntüleri

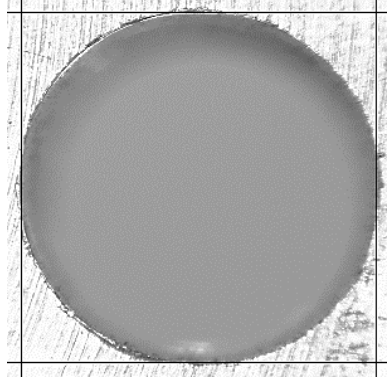
A₃₃ (-21,21), B₃₃ (-21,21) ve C₃₃ (-21,21) koordinatlarındaki 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliklerin delik çapı değişimleri Şekil 4.72-4.74 arasında verilmiştir. Matkap çapına göre bakıldığında normal çap \varnothing 6mm olması gerekirken bu değer A₃₃ (-21,21) koordinatında 1.034, B₃₃ (-21,21) koordinatında 1.022 ve C₃₃ (-21,21) koordinatında ise 1.018 kat olarak artmış olduğu görülmüştür.



Şekil 4.72.A₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin çapı.



Şekil 4.73.B₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin çapı.

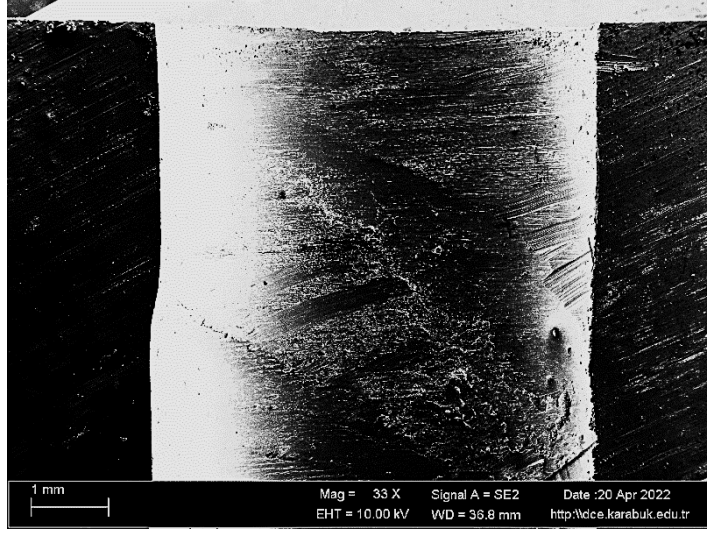


Şekil 4.74.C₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin çapı.

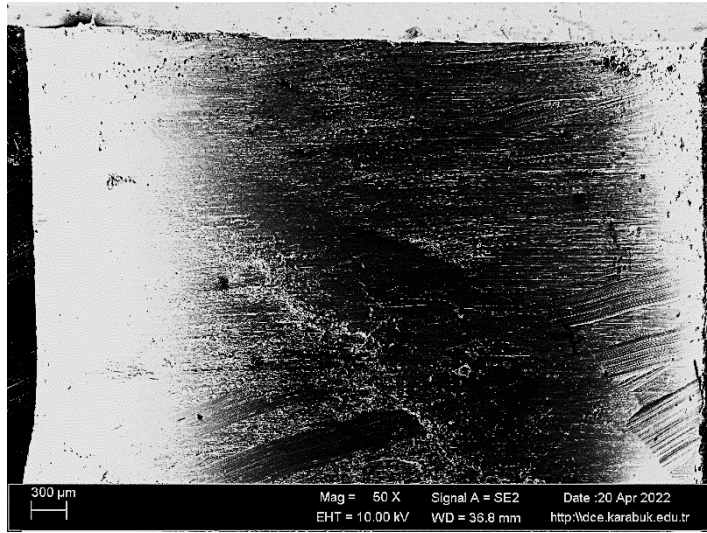
4.2.4. C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Delik SEM Görüntüleri

4.2.4.1. C₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₁₁ (-5,5) koordinatında 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.75'te 33X küçük büyütme ve Şekil 4.76'da ise 50X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere delik yüzeyinde parça kopması ve yer yer bu kopan parçaların adezyonu hakimdir.



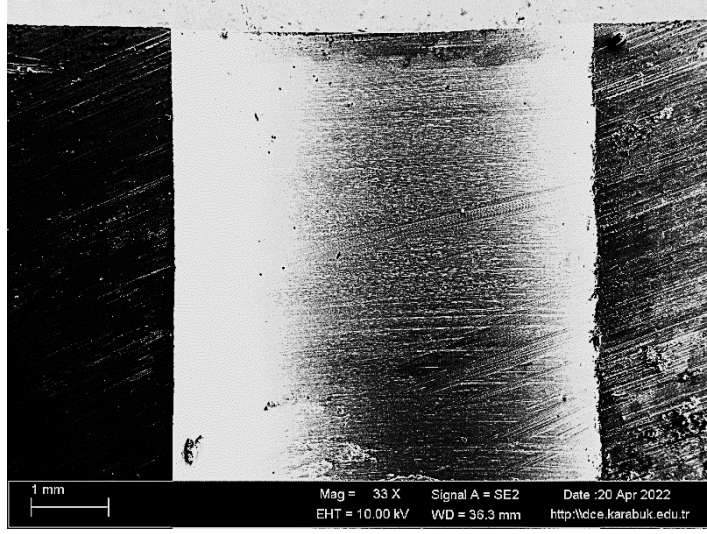
Şekil 4.75.C₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.



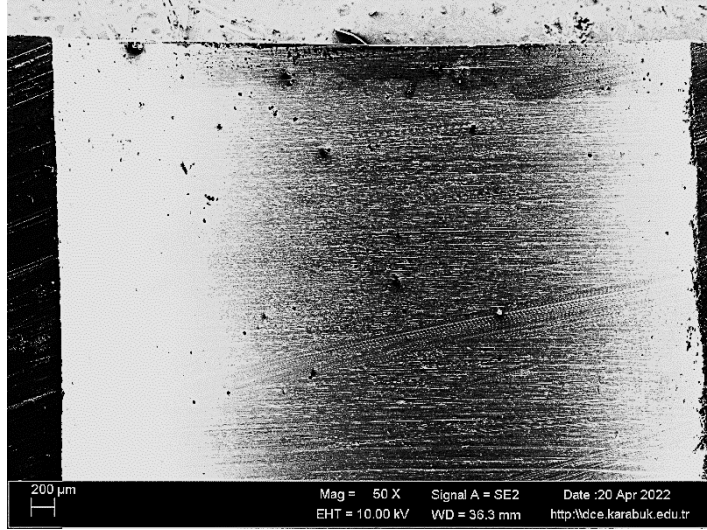
Şekil 4.76.C₁₁ (-5,5) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

4.2.4.2. C₁₂ (-5,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₁₂ (-5,13) koordinatında 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1250 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.77’de 33X küçük büyütme ve Şekil 4.78’de ise 50X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere C₁₁ (-5,5) koordinatına kıyasla daha az deforme olan bir delik yüzeyi mevcuttur.



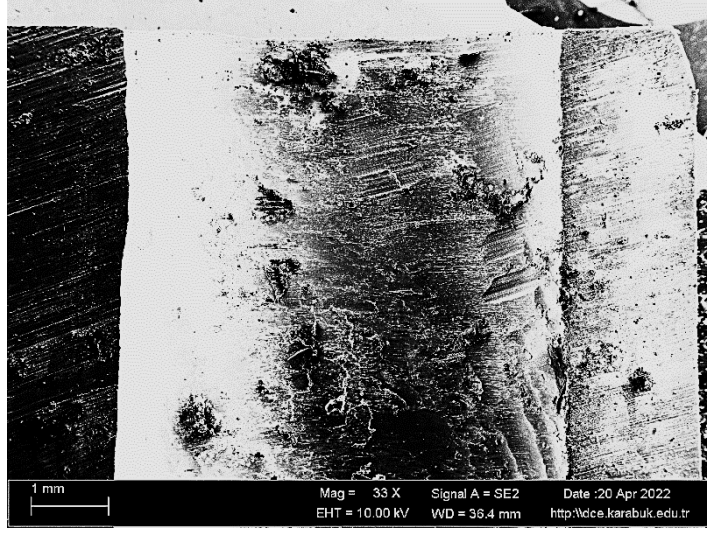
Şekil 4.77.C₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.



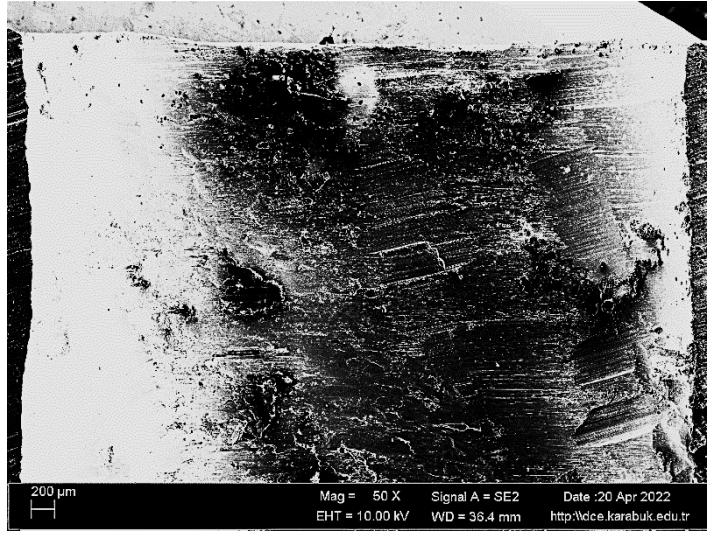
Şekil 4.78.C₁₂ (-5,13) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

4.2.4.3. C₁₃ (-5,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₁₃ (-5,21) koordinatında 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.79'da 33X küçük büyütme ve Şekil 4.80'de ise 50X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere C₁₁ (-5,5) ve C₁₂ (-5,13) koordinatlarına kıyasla delik yüzeyinde çok fazla bir parça kaybına meydana gelmiştir.



Şekil 4.79.C₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.

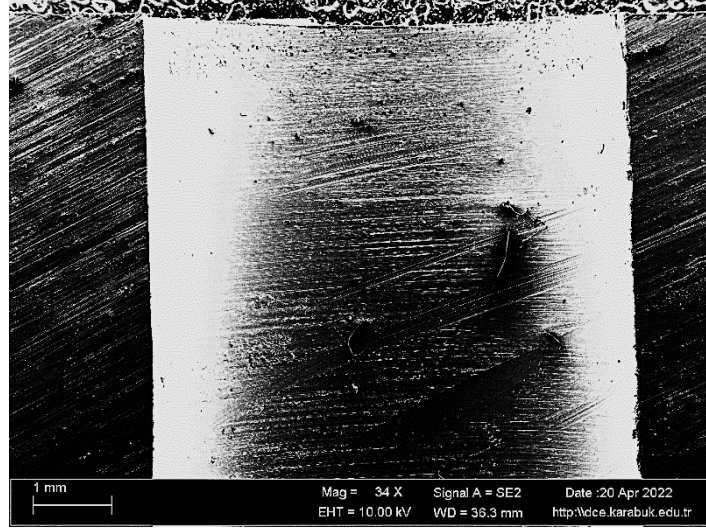


Şekil 4.80.C₁₃ (-5,21) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

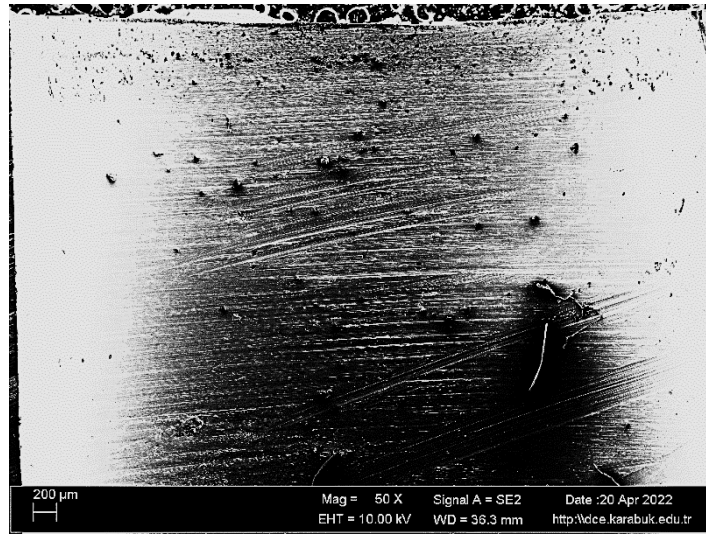
4.2.4.4. C₂₁ (-13,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₂₁ (-13,5) koordinatında 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.81’de 33X küçük büyütme ve Şekil 4.82’de ise 50X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere

delik yüzeyinde delme etkisi ile talaş formunda adezyon az da olsa kendini göstermiştir.



Şekil 4.81.C₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.

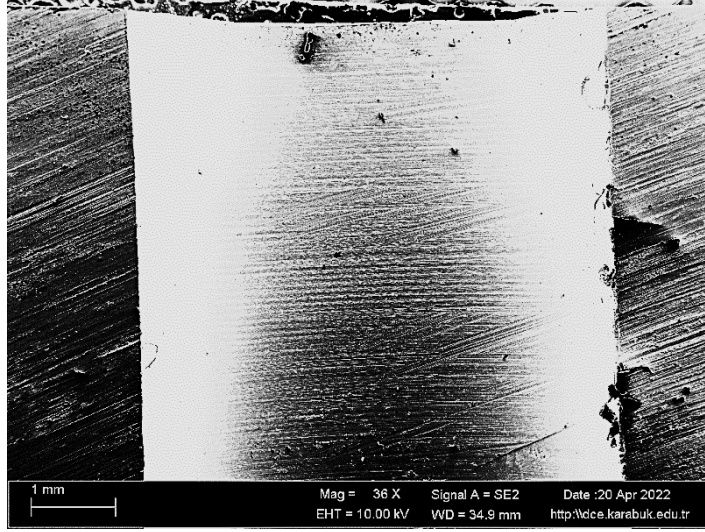


Şekil 4.82.C₂₁ (-13,5) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

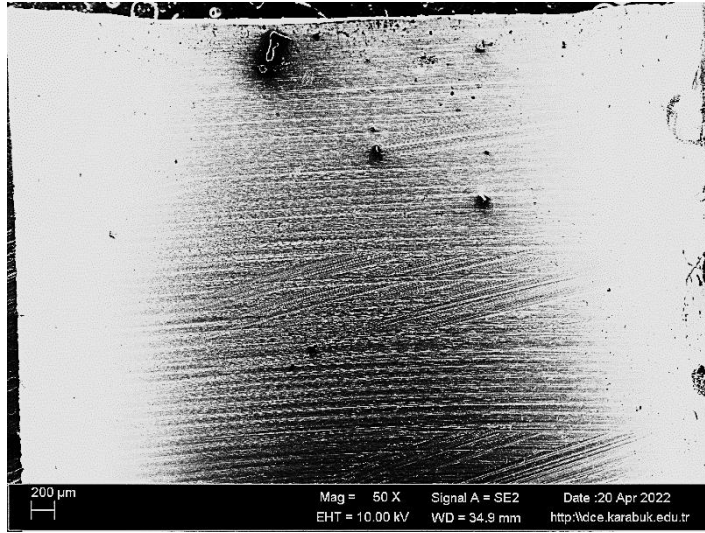
4.2.4.5. C₂₂ (-13,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₂₂ (-13,13) koordinatında 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1250 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.83'te 33X küçük büyütme ve Şekil 4.84'te ise 50X büyük büyütme

olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere C₂₁ (-13,5) koordinatı ile mukayese edildiğinde delik yüzeyinde kopan parçalar mevcut olmasına rağmen talaş formunda adezyon yoktur.



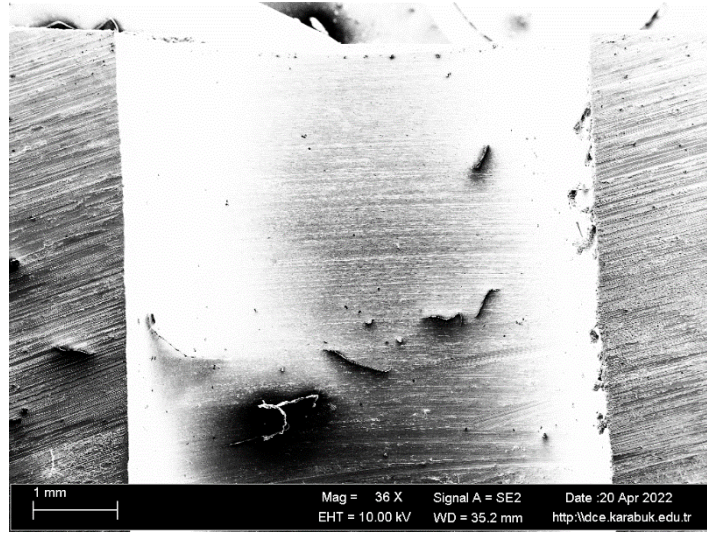
Şekil 4.83.C₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.



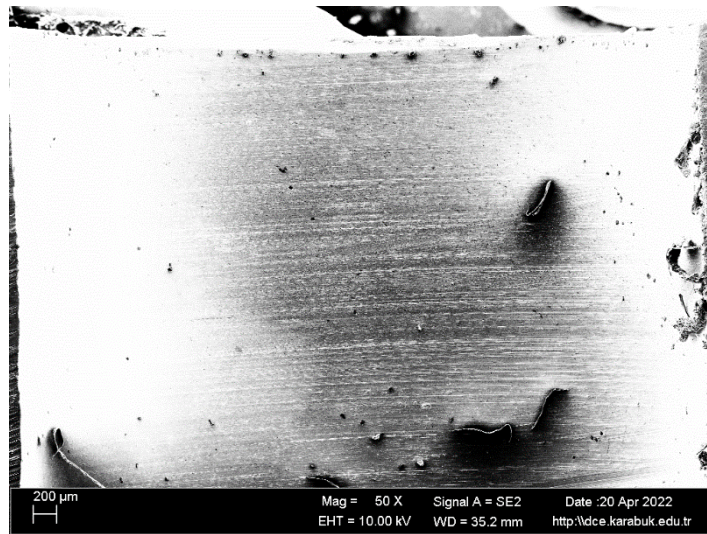
Şekil 4. 84. C₂₂ (-13,13) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

4.2.4.6. C₂₃ (-13,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₂₃ (-13,21) koordinatında 0.1 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.85'te 33X küçük büyütme ve Şekil 4.86'da ise 50X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere C₂₁ (-13,5) ve C₂₂ (-13,13) koordinatlarına kıyasla delik yüzeyinde talaş formunda adezyon daha fazla görülmüştür.



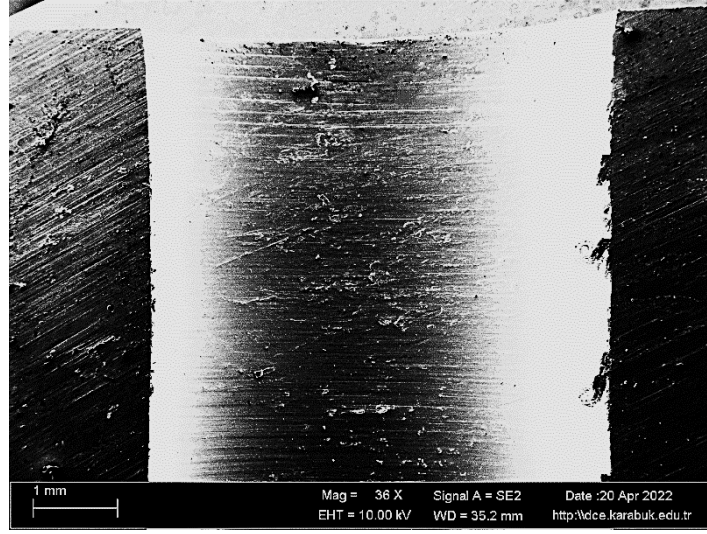
Şekil 4.85.C₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.



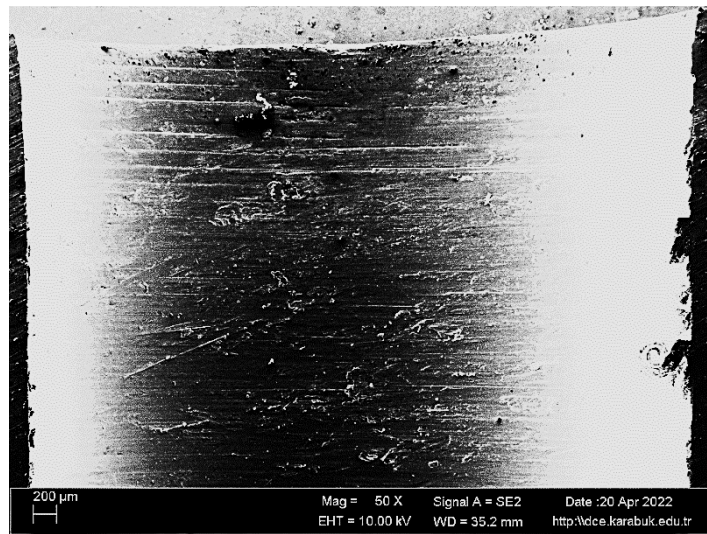
Şekil 4.86.C₂₃ (-13,21) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

4.2.4.7. C₃₁ (-21,5) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₃₁ (-21,5) koordinatında 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.87’de 33X küçük büyütme ve Şekil 4.88’de ise 50X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere delik yüzeyinde dağılmış durumda küçük küçük parça kopmalarından kaynaklı pürüzler gözlemlenmiştir.



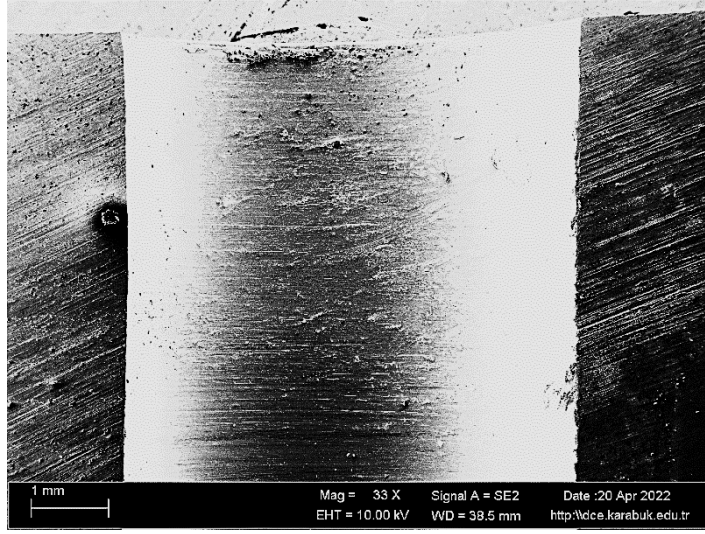
Şekil 4.87.C₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.



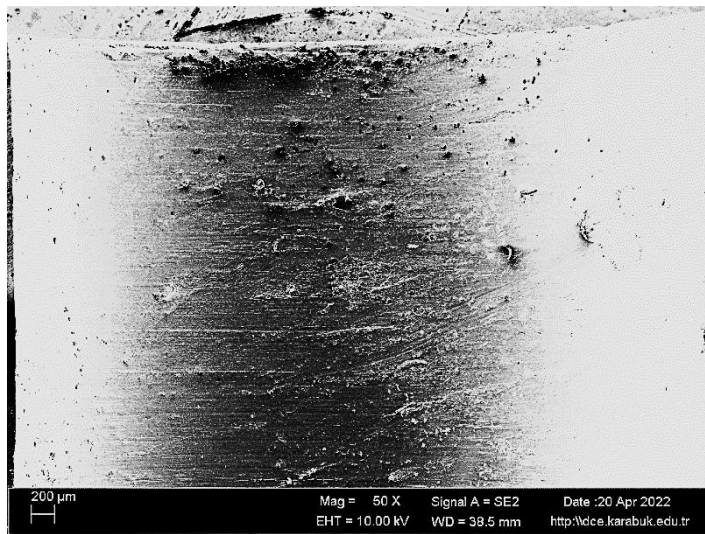
Şekil 4.88.C₃₁ (-21,5) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

4.2.4.8. C₃₂ (-21,13) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₃₂ (-21,13) koordinatında 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1250 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.89’da 33X küçük büyütme ve Şekil 4.90’da ise 50X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere delik yüzeyinde C₃₁ (-21,5) koordinatında gözlemlenen küçük küçük parça kopmalarından kaynaklı pürüzler delik çıkışında daha fazla kendini göstermiştir.



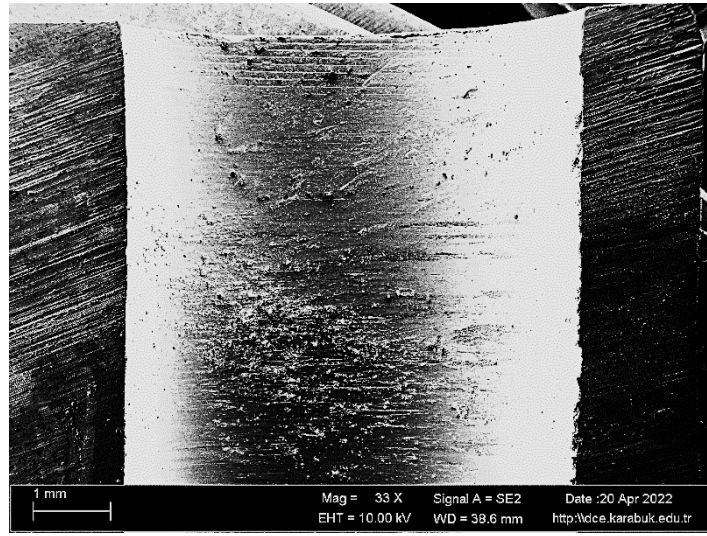
Şekil 4.89.C₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.



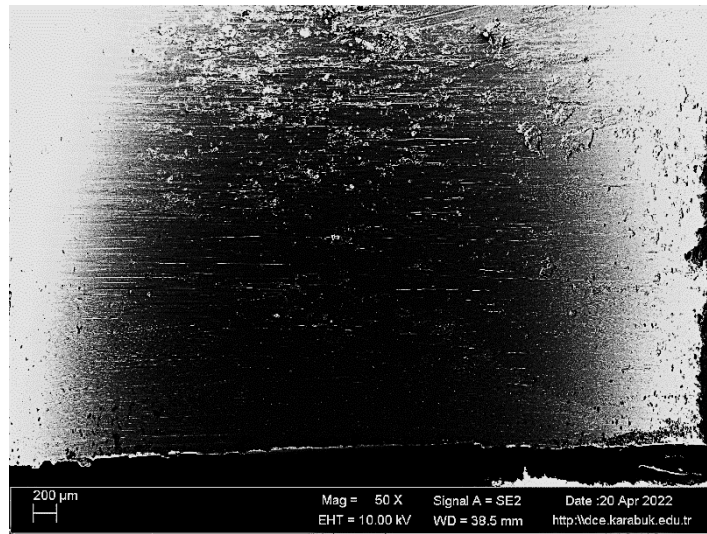
Şekil 4.90.C₃₂ (-21,13) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

4.2.4.9. C₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Delik SEM Görüntüleri

C₃₃ (-21,21) koordinatında 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızına sahip olan deliğin Şekil 4.91’de 33X küçük büyütme ve Şekil 4.92’de ise 50X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere delik yüzeyinde C₃₁ (-21,5) ve C₃₂ (-21,13) koordinatlarına kıyasla deliğin gövde kısmında yoğunlukta ve delik çıkışında seyrek biçimde görülen küçük küçük parça kopmalarından kaynaklı pürüzler mevcuttur.



Şekil 4.91.C₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin 33X SEM görüntüsü.



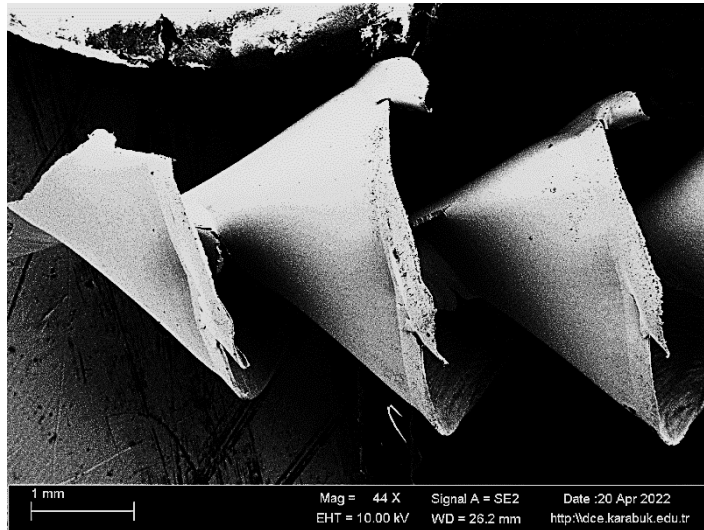
Şekil 4. 92.C₃₃ (-21,21) koordinatlı deliğin 50X SEM görüntüsü.

4.2.5. C (138°) Kodlu Delme İşlemlerinin Talaş SEM Görüntüleri

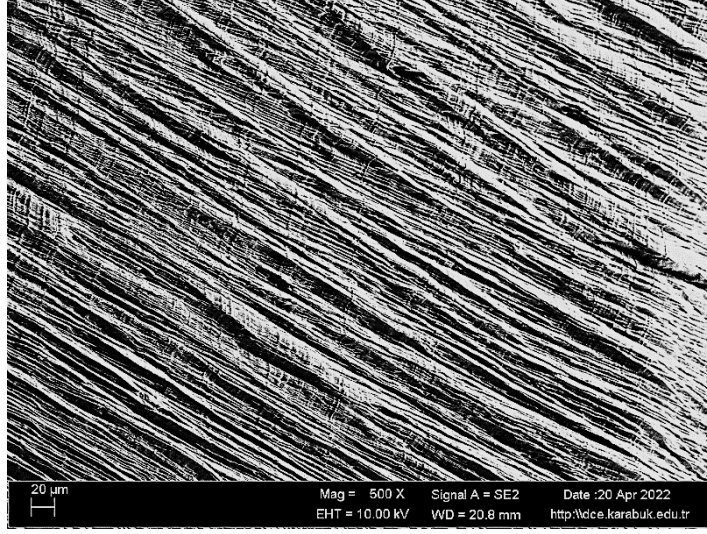
Talaşın türü, işlenen malzeme, kullanılan takım türü, kesme ayarları, makinenin sertliği ve soğutma sıvısından etkilenir. Bu çalışma kuru kesme koşullarında ve aynı takım tezgahı ile yapıldığından, kesme sıvısı ve makine faktörleri göz ardı edilmiştir. Bir delik delme işleminde, birden fazla talaş türünün oluşması da mümkündür. Bunun nedenlerine baktığımızda şunu görüyoruz: Matkap talaşı şekli üniform değildir, çünkü matkaplardaki eğim açıları matkabın merkezinden kesici kenarın köşelerine kadar değişiyor. Talaş akışı bunun için bir başka açıklamadır. Talaş ilk önce delme işlemi boyunca düzgün bir konik sarmal olarak görünür, ancak matkap delinmiş malzeme boyunca hareket ettikçe talaş akışı gerilir ve talaş kırık talaşlar olarak ortaya çıkar.

4.2.5.1. C₁₁ (-5,5) Koordinatlı Delme İşlemi Talaş SEM Görüntüleri

C₁₁ (-5,5) koordinatında 0.075 mm/rev ilerleme hızı ve 1000 rpm kesme hızında çıkan talaşın Şekil 4.93'te 44X küçük büyütme ve Şekil 4.94'te ise 500X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere testere ağzı görünümlü yarı sürekli ve uzun talaş oluşumu mevcuttur.



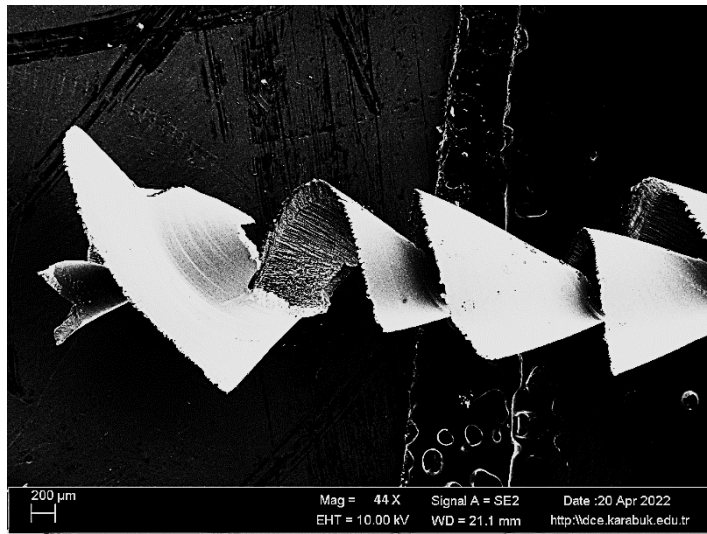
Şekil 4.93.C₁₁ (-5,5) koordinatlı talaşın 44X SEM görüntüsü.



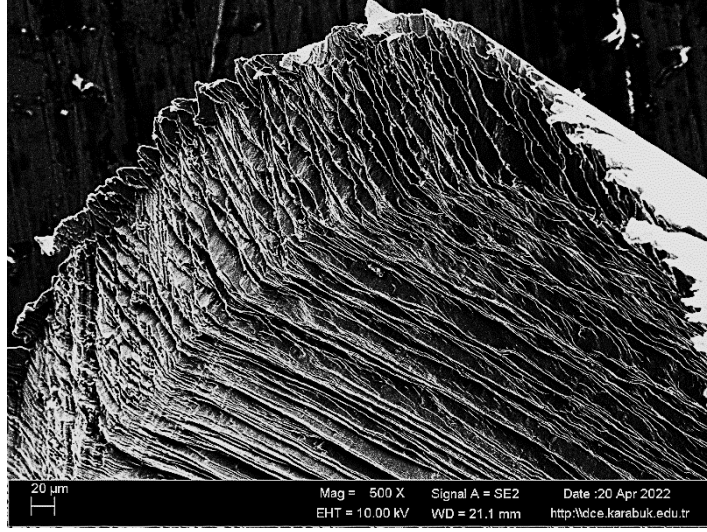
Şekil 4.94.C₁₁ (-5,5) koordinatlı talaşın 500X SEM görüntüsü.

4.2.5.2. C₃₃ (-21,21) Koordinatlı Delme İşlemi Talaş SEM Görüntüleri

C₃₃ (-21,21) koordinatında 0.15 mm/rev ilerleme hızı ve 1500 rpm kesme hızında çıkan talaşın Şekil 4.95'te 44X küçük büyütme ve Şekil 4.96'da ise 500X büyük büyütme olarak SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere testere ağzı görümlü yarı sürekli talaş oluşumu olmasının yanı sıra kesme hızında mevcut artış ile C₁₁ (-5,5) koordinatına kıyasla daha sarmal bir formda talaş söz konusu olmuştur.



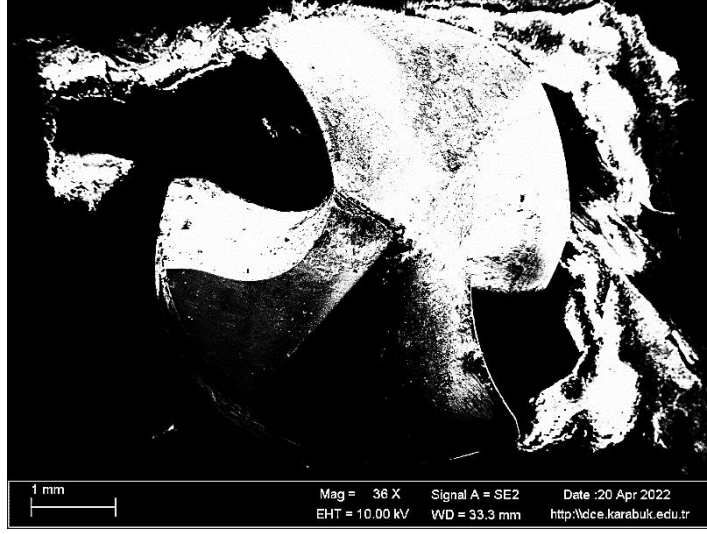
Şekil 4.95.C₃₃ (-21,21) koordinatlı talaşın 44X SEM görüntüsü.



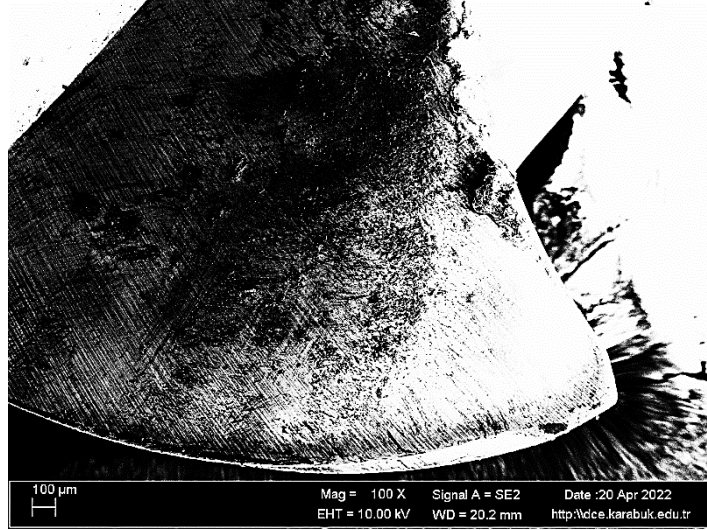
Şekil 4.96.C₃₃ (-21,21) koordinatlı talaşın 500X SEM görüntüsü.

4.2.6. C (138°) Kodlu Delme İşleminin Matkap Ucu SEM Görüntüleri

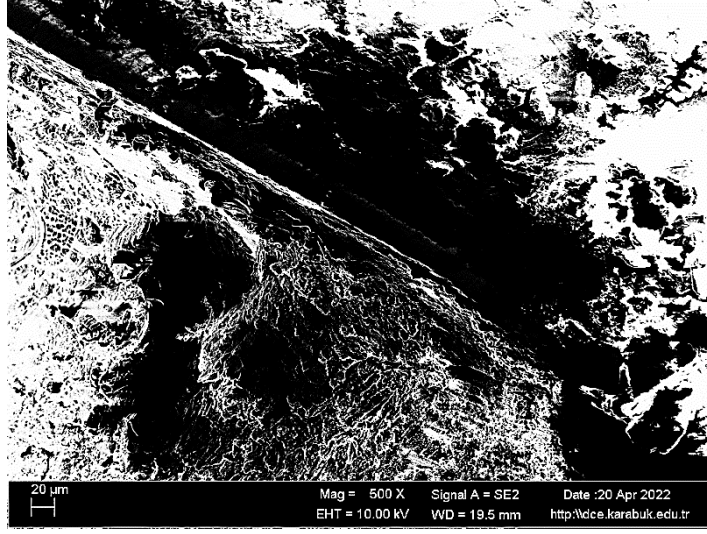
Matkap aşınması, zamanla hızlanan kademeli bir süreç olarak başlar. Matkap delme işlemine başlar başlamaz aşınma süreci başlar. Aşınma ilerledikçe kesme kuvvetleri güçlenir, daha fazla ısı üretilir ve sonuç olarak aşınma hızlanır. Aşınma sonucu matkap uçları bozular. Alüminyum gibi sünek bir malzeme, işlenirken daha yüksek yapışma ve takım aşınması gerektirir. BUE, yapışma-aşınma mekanizmasının bir sonucu olarak sıklıkla talaş ve kesme kenarı arasında gelişir. Talaş malzemenin kesme kenarına yapışması olarak da bilinen BUE, tipik olarak yumuşak malzemeler yavaş kesme hızlarında işlenirken meydana gelir [60]. Şekil 4.97- 4.99’da verilmiş olan matkap ucu SEM görüntülerinde görüldüğü gibi delme tesiri ile Al7075’ten kopan parçacıklar takım malzemesine yapıştığı ve bu yapışan malzemenin kararsız bir şekilde davranarak takım malzemesinden ayrılması sonucunda yer yer takımında deformeye neden olduğu görülmüştür.



Şekil 4.97.C (138°) kodlu matkap ucunun 36X SEM görüntüsü



Şekil 4.98.C (138°) kodlu matkap ucunun 100X SEM görüntüsü.



Şekil 4.99.C (138°) kodlu matkap ucunun 500X SEM görüntüsü.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, endüstride sıklıkla kullanılan Al7075 levha malzemelerinin iç gerilmelerini gidererek daha dayanıklı hale getirilmesi için T65 ısıtma işlemi uygulanmıştır. T65 işlemi sonrasında mikroyapısal karakterizasyonu belirlenen Al7075 levha malzemelerin talaşlı imalatta işlenebilirlik özelliklerinin artırılması adına delik delme işlemi yapılmıştır. Kesici takım ve kesme parametrelerinin etkili olduğu delme işlenebilirlikte üç farklı kesme hızı (1000 rpm, 1250 rpm, 1500 rpm), üç farklı ilerleme hızı (0.075 mm/rev, 0.1 mm/rev, 0.15 mm/rev), üç farklı kesici (100°, 120°, 138°) takım türü kullanılarak kuvvet ve tork ölçüm grafikleri çıkartılmış ve ardından delme sonucu meydana gelen delik çapının orjinal çapa kıyasla değişimi gösterilmiştir. Delme işlemine maruz kalan T65 ısıtma işlemi uygulanmış Al7075 levha malzemesinin delik yüzeyleri, delme sonucu meydana gelen talaş parçaları ve kesici takım olan matkaptaki aşınmaların detaylı olarak incelemeleri için SEM analizi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen bulgular şu şekildedir:

1. Al7075'te T65 ısıtma işleminin neden olduğu taneseller ve bu yönelmelerde meydana gelen elips formunda büyümeler gözlemlenmiştir. Elips benzeri kararlı bir çökeltiden alınan boyutlar 4.441 mikrometre ve 1.922 mikrometredir.
2. Delme işlemi sonrası A, B ve C kodları ile bahsedilen 100°, 120° ve 138° matkap uçlarının sırasıyla maksimum kuvvet değeri 469.1142 N, 676.6938 N ve 648.8334 N olarak bulunmuştur.
3. Delme işlemi sonrası A, B ve C kodları ile bahsedilen 100°, 120° ve 138° matkap uçlarının sırasıyla maksimum tork değeri ise sırasıyla 0.203067 Nm, 0.767142 Nm ve 0.361008 Nm'dir.

4. Delme işlemi sonrasında A, B ve C kodları ile bahsedilen 100°, 120° ve 138° matkap uçlarında sırasıyla maksimum 1.084, 1.113 ve 1.124 kat çap oranlarında değişim mevcuttur.
5. Delme işlemi sonrası delik yüzey görüntüleri artan kesme hızından olumsuz etkilenerek daha fazla bir deformasyon uğramıştır.
6. Delme işlemi sonrası testere ağzı görünümlü yarı sürekli talaş oluşumu görülmüş olup kesme hızı artması ile daha sarmal formda bir talaş oluşumu mevcuttur.
7. Delme tesiri ile Al7075'ten kopan parçacıklar takım malzemesine yapıştığı ve bu yapışan malzemenin kararsız bir şekilde davranarak takım malzemesinden ayrılması sonucunda yer yer takımında deformeye neden olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Brown, K., Venie, M., and Woods, R., "The increasing use of aluminum in automotive applications", *JOM*, 47: 20–23 (1995).
2. Stojanovic, B., Bukvic, M., and Epler, I., "Application of Aluminum and Aluminum Alloys in Engineering", 3: (2018).
3. Santos Junior, M., Machado, A., Falco Sales, W., Barrozo, M., and Ezugwu, E., "Machining of aluminum alloys: a review", *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 86: (2016).
4. Köklü, U., "INFLUENCE OF THE PROCESS PARAMETERS AND THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS ON THE BURR HEIGHT AND THE SURFACE ROUGHNESS IN DRY DRILLING", *Materials And Technologies*, 46: 103–108 (2012).
5. Yarar, E., Erturk, A., and Karabay, S., "Dynamic Finite Element Analysis on Single Impact Plastic Deformation Behavior Induced by SMAT Process in 7075-T6 Aluminum Alloy", *Metals And Materials International*, 27: (2021).
6. Jiang, F., Zurob, H., Purdy, G., and Zhang, H., "Characterizing precipitate evolution of an Al–Zn–Mg–Cu-based commercial alloy during artificial aging and non-isothermal heat treatments by in situ electrical resistivity monitoring", *Materials Characterization*, 117: 47–56 (2016).
7. Ding, W., Xu, J., Chen, Z., Su, H., and Fu, Y., "Grindability and Surface Integrity of Cast Nickel-based Superalloy in Creep Feed Grinding with Brazed CBN Abrasive Wheels", *Chinese Journal Of Aeronautics*, 23: 501–510 (2010).
8. Kao, J.-Y., Hsu, C.-Y., and Tsao, C.-C., "Experimental study of inverted drilling Al-7075 alloy", *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 102: (2019).
9. Bahçe, E. and Özdemir, B., "Investigation of the burr formation during the drilling of free-form surfaces in al 7075 alloy", *Journal Of Materials Research And Technology*, 8: (2019).
10. Ascroft, H., Dewes, R. C., Aspinwall, D. K., Renevier, N., and Teer, D. G., "The use of soft/lubricating coatings when dry drilling BS L168 aluminium alloy", *Surface And Coatings Technology*, 177–178: 716–726 (2004).
11. Cao, Y., Zhu, Y., Ding, W., Qiu, Y., Wang, L., and Xu, J., "Vibration coupling effects and machining behavior of ultrasonic vibration plate device for creep-feed grinding of Inconel 718 nickel-based superalloy", *Chinese Journal Of Aeronautics*, (2021).

12. Miao, Q., Ding, W., Xu, J., Cao, L., Wang, H., Yin, Z., Dai, C., and Kuang, W., "Creep feed grinding induced gradient microstructures in the superficial layer of turbine blade root of single crystal nickel-based superalloy", *International Journal Of Extreme Manufacturing*, 3: (2021).
13. Ding, W., Dai, C., Yu, T., Xu, J., and Fu, Y., "Grinding performance of textured monolayer CBN wheels: Undeformed chip thickness nonuniformity modeling and ground surface topography prediction", *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 122: 66–80 (2017).
14. Sedighi, M., Nasrollahi, M., and Joudaki, J., "Surface integrity in broaching of AA 7075-T651 aluminum alloys", *Machining Science And Technology*, 23: 1–16 (2018).
15. Sivarao, I., Castilo, W. J. G., and Tajul, A. A., "Surface roughness prediction in deep drilling by fuzzy expert system", *International Journal Of Mechanical And Mechatronics Engineering*, 9: 331–335 (2009).
16. Tönshoff, H. K., Spintig, W., König, W., and Neises, A., "Machining of Holes Developments in Drilling Technology", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 43: 551–561 (1994).
17. Sigli, C., Deschamps, A., Dumont, D., Bréchet, Y., and Dubost, B., "Process modeling of age-hardening aluminum alloys: From microstructure evolution to mechanical and fracture properties", (2001).
18. Van Horn, K. R., "Aluminum: Properties, Physical Metallurgy and Phase Diagrams", *American Society For Metals, Metals Park*, Ohio, United States, 530 (1967).
19. "Aluminium-Taschenbuch", *Aluminium- Verlag, GMBH*, Düsseldorf, 663al (1974).
20. Fridlyander, I. N., "Physical Metallurgy of Aluminium and Its Alloys", Moscow, (1983).
21. Weißbach, W., "Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung", *Viewegs Fachbücher Der Technik*, 412 (2004).
22. Brewis, D. M., "Handbook of aluminium bonding technology and data", *International Journal Of Adhesion And Adhesives*, 14: (1994).
23. Burgucu, S., "7075 Alüminyum Alaşımlarının Üretimi ve Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2011).
24. Smith, W. F., "Structure and Properties of Engineering Alloys", 2. Ed., *McGraw-Hill Science/Engineering/Math*, New York, 672 (1993).
25. Mills, B. and Redford, A. H., "The Machinability of Engineering Materials", *Applied Science*, London ; New York, 174 (1983).

26. Çakır Şencan, A., Yağmur, S., Anaç, N., Küçüktürk, G., and Şeker, U., "The effect of minimum quantity lubrication under different parameters in the turning of AA7075 and AA2024 aluminium alloys", *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 84: (2016).
27. Davis, J. R., "ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys", *ASM International*, Materials Park, USA, (1994).
28. Vasudevan, A. K. and Doherty, R. D., "Aluminum Alloys—Contemporary Research and Applications", 1. Ed., *Academic Press, Inc.*, Cambridge, USA, (1989).
29. Rambabu, P., Prasad, N., Kutumbarao, V., and Wanhill, R., "Aluminium Alloys for Aerospace Applications", 29–52 (2017).
30. Tan, E., "Severe Plastic Deformation of Age Hardenable Aluminum Alloys", *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, (2012).
31. Askeland, D. R., "Science and Engineering of Materials", 4. Ed., *Brooks/Cole Publishing Company*, USA, 1003 (2002).
32. Durmuş, S., Akgün, S., and Şahin, S., "Çökeltme Sertleştirilmesi Uygulanmış AA 7012 Alüminyum Alaşımlarında Sertliğin Mikroyapı ile Değişiminin İncelenmesi", Karabük, (2009).
33. Campbell Jr, F. C., "Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials", *Elsevier Science Ltd.*, USA, 616 (2006).
34. Polmear, I., "Light Alloys", 4. Ed., *Elsevier Science Ltd.*, USA, 416 (2005).
35. Alat, E., "Analysis of Magnesium Addition, Hydrogen Porosity and T6 Heat Treatment Effects on Mechanical and Microstructural Properties of Pressure Die Cast 7075 Aluminum Alloy", Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, (2012).
36. Kaufman, J. G., "Introduction to Aluminum Alloys and Tempers", *ASM International*, USA, 250 (2000).
37. Şahin, Y., "İmal Usulleri", 1. Ed., *Gazi Kitapevi*, Ankara, 378 (2003).
38. Akkurt, M., "Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 350 (1999).
39. Gökçe, H., "AL 5083 Alüminyum Malzemeye Vida Açma İşleminde Kılavuz Geometrisinin Etkisinin İncelenmesi", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (3): 242–247 (2020).
40. "Talaşlı İmalat İşlemleri ve Makineleri Tesviyecilik", *EMO-Makine Market Dergisi*, (2006).
41. Çakır, M. C., "Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri", *Dora*, Bursa, 525 (2018).

42. Özdemir, H., "Tornalama İşleminde Kesme Kuvveti Ölçümünde Kullanılacak Dinamometre Tasarımı ve Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*, Sakarya, (2006).
43. Coromant, S., "Modern Metal Cutting: A Practical Handbook", *Sandvik Coromant*, USA, 960 (1994).
44. Bayraktar, Ş., Sıyambaş, Y., and Turgut, Y., "Drilling process: a review", *Sakarya University Journal Of Science*, 21 (2): 120–130 (2017).
45. Bilge, T., Motorcu, A. R., and Ivanov, A., "KOMPAKT LAMİNATIN DELİNMESİNDE BOYUTSAL TAMLIK İÇİN DELME PARAMETRELERİNİN GRİ İLİŞKİSEL ANALİZ İLE OPTİMİZASYONU", *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9 (2): 1–22 (2017).
46. Gürbüz, H., Şeker, U., and Kafkas, F., "AISI 316L çeliğinin tornalanmasında kesici takım formlarının yüzey bütünlüğü üzerine etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (1): 225–240 (2019).
47. Yağmur, S., "Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, (2011).
48. Lazar, M.-B., "Cutting Force Modelling for Drilling of Fiber-Reinforced Composites", PhD Thesis, *École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Swiss Federal Institute of Technology Lausanne)*, İsviçre, (2012).
49. Şeker, U., "Takım Tasarımı Ders Notları", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Ankara, (1997).
50. Mıstıkoğlu, S., "Torna Tezgahlarında Kesici Kaleme Gelen Kuvvet ve Gerilmelerin Bilgisayar Desteğiyle Ölçülerek Denetimi, Simülasyonu Ve HSS Kalemlerinin Optimum Profilinin Belirlenmesi", PhD Thesis, *Çukurova Üniversitesi*, Adana, (1995).
51. Shaw, M. C. and Oxford, C. J., "On the drilling of metals 2 - The torque and thrust in drilling", *Trans. ASME*, 79: 139–148 (1957).
52. Galloway, D., "Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance", *Trans. ASME*, 79: 191–231 (1957).
53. Contantinides, N. and Bennett, S., "An investigation of methods for the on-line estimation of tool wear", *International Journal Of Machine Tools & Manufacture - INT J MACH TOOL MANUF*, 27: 225–237 (1987).
54. Haggerty, W. A., "Effect of point geometry and dimensional symmetry on drill performance", *International Journal Of Machine Tool Design And Research*, 1: 41–58 (1961).

55. Williams, R., "DYNAMTC GEOMETRY OF A TWIST DRILL", *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 7: 253–267 (1968).
56. Saito, Y., Sato, K., Ogawa, M., and Saga, T., "Drilling machinability of wrought pure aluminum for industrial use", *Journal Of Japan Institute Of Light Metals*, 23: 72–77 (1973).
57. Subramanian, K., "Sensing of drill wear and prediction of drill life", (2005).
58. Kaldor, S. and Lenz, E., "Drill Point Geometry and Optimization", *Journal Of Engineering For Industry*, 104: (1982).
59. Thangaraj, A., Wright, P. K., and Nissle, M., "New Experiments on the Temperature Distribution in Drilling", *Journal Of Engineering Materials And Technology, Transactions Of The ASME*, 106: 242–247 (1984).
60. Lee, E. and Shaffer, B., "The Theory of Plasticity Applied to a Problem of Machining", *Journal Of Applied Mechanics*, 18: 405–413 (1951).

ÖZGEÇMİŞ

Jabir Mustafa Ali Ahmoudah, ilk ve orta öğrenimini Libya'nın Gharyan kentinde tamamladı. Eğitimine 2003 yılında Mühendislik Teknolojileri Yüksek Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünde başlamış ve 2006 yılında çok iyi bir derece ile mezun olmuş ve bölüm birincisi olmuştur. 2010 yılında Libya hükümetinde devlet memuru olarak Libya devletinde çalışmaya başlamış ve halen aynı yerde çalışmaktadır. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde başladığı yüksek lisans programına kayıt oldu.