

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

**ALÜMİNYUM DÖKÜM YÜZEY MİKROYAPISININ SÜRTÜNME  
KARIŞTIRMA İŞLEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Ebru TUNCER İPEK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2010**

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

**ALÜMİNYUM DÖKÜM YÜZEY MİKROYAPISININ SÜRTÜNME  
KARIŞTIRMA İŞLEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

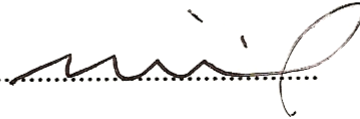
**Ebru TUNCER İPEK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

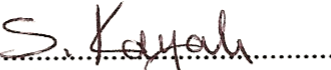
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 15./6./2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (**..85..**) takdir edilerek Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

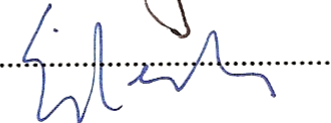
Prof. Dr. Narin ÜNAL  
(Danışman)

.....

Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

.....

Yrd. Doç. Dr. Erdem ÇAMURLU

.....

## ÖZET

### ALÜMİNYUM DÖKÜM YÜZEY MİKROYAPISININ SÜRTÜNME KARIŞTIRMA İŞLEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

**Ebru TUNCER İPEK**

**Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Narin ÜNAL**

**Haziran 2010, 137 Sayfa**

Sürtünme karıştırma ile işleme, ilerleyen teknoloji ile birlikte gelişimi sürekli devam eden ve özellikle alüminyum ve alaşımlarının kaynağı için yaygın bir şekilde kullanılmakta olan bir yöntemdir.

Bu çalışmada Etial 145 ve Etial 195 Alüminyum alaşımları ile elde edilen dökümlere, sürtünme karıştırma yöntemi uygulanmış ve sürtünme karıştırma yönteminin bu malzemeler üzerindeki etkileri sertlik, aşınma ve mikro yapı özellikleri olmak üzere çeşitli açılardan incelenmiştir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için karıştırıcı uç ve freze bağlama aparatı kullanılmıştır ve her dökümün freze ile işleme kriterleri sabit tutulmuştur.

Sonuç olarak, sürtünme karıştırma işleminin alüminyum döküm alaşımlarında sertlik ve aşınma dayanımını artırdığı tespit edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Sürtünme karıştırma yöntemi, alüminyum alaşım, ısıl işlem, sertlik, aşınma ve mikro yapı özellikler, Etial 145 ve Etial 195.

**JÜRİ:** Prof. Dr. Narin ÜNAL

Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

Yrd. Doç. Dr. Erdem ÇAMURLU

## **ABSTRACT**

### **IMPROVEMENT OF MICRO-STRUCTURE OF ALUMINIUM DIE CASTING ALLOYS BY FRICTION STIR PROCESSING**

**Ebru TUNCER İPEK**

**M.Sc. Thesis; Department of Mechanical Engineering**

**Adviser: Prof. Dr. Narin ÜNAL**

**June 2010, 137 Pages**

Friction stir processing, which is having continuous development with advances in technology, is one of the solutions for especially aluminum and its alloys.

In this study, friction stir processing is applied on samples which are casted Etial 145 and Etial 195 and its effects on hardness, wear resistance and microstructure are examined. To apply this method, stirring tool and milling connection apparatus are used and milling parameters are kept constant.

To conclude, Effect of friction stir processing on material hardness and wear resistance are observed.

**KEY WORDS:** friction stir processing, aluminum alloy, heat treatment, hardness, wear resistance, microstructure, Etial 145 and Etial 195.

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Narin ÜNAL

Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

Asst. Prof. Dr. Erdem ÇAMURLU

## ÖNSÖZ

Sürtünme karıştırma prosesi, malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için katı halde uygulanan termomekanik bir işlemdir. Günümüzde döküm hatalarını ortadan kaldırmak, metalik malzemelerde mikro yapıyı inceltmek, yüzey kompozitleri üretmek ve kaynak yüzeylerini modifiye etmek için uygulanmaktadır.

Bu çalışmada sürtünme karıştırma prosesi Etial 145 ve Etial 195 alüminyum döküm alaşımlarının mikro yapısını inceltmek ve sürtünme karıştırma prosesinin alüminyum döküm alaşımlarında sertlik ve aşınma yönünden nasıl bir etki oluştuğunu incelemek amacıyla uygulanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçların dayanıklı bir alüminyum döküm malzemesinin en ucuza nasıl elde edilebileceği hususunda bilgi vereceğinin ve çalışmamın bilim dünyasına faydalı olacağı kanısındayım.

Çalışmamın her aşamasında ilgi ve desteğini benden esirgemeyen, görüş ve önerileriyle bana rehberlik eden danışman hocam Sayın Prof. Dr. Narin Ünal'a (A.Ü Müh Fak.), deneysel çalışmalarım esnasında bana destek olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Erdem Çamurlu'ya, tezin deneysel kısmında yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Ozan Tamer ve yüksek lisans öğrencisi Ata Güner'e, çalışmam süresince her zaman yanımda olan, bugünlerimi borçlu olduğum aileme ve bana güç vererek destek olan sevgili eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	2-24
2.1. Alüminyum ve Alaşımları.....	2
2.1.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri.....	3
2.1.2. Alüminyumun mekanik özellikleri.....	4
2.1.3. Alüminyum ve alaşımları.....	5
2.1.4. Alüminyum alaşımlarının özellikleri.....	6
2.1.5. Alaşım elementleri ve özellikleri.....	7
2.1.5.1. Magnezyum (Mg).....	7
2.1.5.2. Silisyum (Si).....	8
2.1.5.3. Çinko (Zn).....	8
2.1.5.4. Bakır (Cu).....	8
2.1.5.5. Nikel (Ni).....	9
2.1.5.6. Titanyum (Ti).....	9
2.1.5.7. Zirkonyum (Zr).....	9
2.1.5.8. Krom (Cr).....	9
2.1.5.9. Demir (Fe).....	9
2.1.5.10. Lityum (Li).....	9
2.2. Alaşım Elementlerinin Etkileri.....	10
2.3. Alaşımların Sınıflandırılması.....	11
2.3.1. Alüminyum-bakır alaşımları (2xxx Serisi).....	12
2.3.2. Alüminyum-mangan alaşımları (3xxx Serisi).....	12
2.3.3. Alüminyum-magnezyum alaşımları (5xxx Serisi).....	13
2.3.4. Alüminyum-silisyum-magnezyum alaşımları (6xxx Serisi).....	13
2.3.5. Alüminyum-çinko alaşımları (7xxx Serisi).....	13
2.4. Isıl İşlem ve Özellikleri.....	14
2.4.1. Çözeltiye alma işlemi.....	15
2.4.2. Su verme işlemi.....	15
2.4.3. Yaşlandırma işlemi.....	16

2.5. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Temel İşlemlerin Simgesel Olarak Gösterimi.....	18
2.5.1. F Üretim .....	19
2.5.2. O Tavlama .....	19
2.5.3. H Mukavemet kazandırma .....	19
2.5.4. W Su verme .....	19
2.5.5. T Isıl işlem .....	20
2.6. Sürtünme Karıştırma Yöntemi .....	21
2.6.1. Sürtünme karıştırma yönteminin temel prensibi .....	21
2.6.2. İşlem karakteristiklerini etkileyen faktörler .....	22
2.6.3. Sürtünme karıştırma yönteminde metalürjik yapı .....	22
2.6.4. Karıştırıcı uç ve özellikleri .....	24
3. MATERYAL VE METOT .....	25-31
3.1. Materyal .....	25
3.2. Metot .....	26
3.2.1. Döküm yöntemi .....	26
3.2.2. Döküm sonrası numunelerin yüzeylerinin sürtünme karıştırma yöntemi ile işlenmesi.....	26
3.2.3. Sürtünme karıştırma yöntemi işlemi sonrası malzemelerin yüzeylerinin hazırlanılması .....	30
3.2.4. Uygulanan ısıl işlemler.....	31
3.2.5. Makro ve mikro sertlik ölçümleri .....	31
3.2.6. Aşınma parametreleri .....	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	32-39
4.1. Dökümler ve Sertlik Değerleri .....	32
4.1.1. Etial 145 .....	32
4.1.1.1. Tek paso ile işlenmiş yüzeyler .....	32
4.1.1.2. Çift paso ile işlenmiş yüzeyler .....	35
4.1.2. Etial 195 .....	35
4.1.2.1. Tek paso ile işlenmiş yüzeyler .....	35
4.1.2.2. Çift paso ile işlenmiş yüzeyler .....	38
4.2. Numunelerin Optik Mikroskopunda İncelenmesi .....	40
4.2.1. Etial 145.....	40
4.2.1.1. Tek paso ile işlenmiş yüzeyler .....	40
4.2.1.1.1. Isıl işlemsiz .....	40
4.2.1.1.2. Isıl işlemlili .....	46
4.2.1.2. Çift paso ile işlenmiş yüzeyler .....	52
4.2.1.2.1. Aynı yön ısıl işlemsiz .....	52
4.2.1.2.2. Aynı yön ısıl işlemlili .....	60
4.2.1.2.3. Zıt yön ısıl işlemsiz .....	66
4.2.2. Etial 195.....	72

4.2.2.1. Tek paso ile işlenmiş yüzeyler .....	72
4.2.2.1.1. Isıl işlemsiz .....	72
4.2.2.1.2. Isıl işlemlı .....	77
4.2.2.2. Çift paso ile işlenmiş yüzeyler .....	88
4.2.2.2.1. Aynı yön ısıl işlemsiz .....	88
4.2.2.2.2. Aynı yön ısıl işlemlı .....	97
4.2.2.2.3. Zıt yön ısıl işlemsiz .....	102
4.2.2.2.4. Zıt yön ısıl işlemlı .....	107
4.3. Aşınma Deneyleri .....	114
4.3.1. Aşınma Çizik Genişlikleri .....	115
4.3.1.1. Etial 145 .....	115
4.3.1.1.1. Tek paso .....	115
4.3.1.1.1.1. Isıl işlemsiz .....	115
4.3.1.1.1.2. Isıl işlemlı .....	116
4.3.1.1.2. Çift paso .....	117
4.3.1.1.2.1. Aynı yön ısıl işlemsiz .....	117
4.3.1.1.2.2. Aynı yön ısıl işlemlı .....	118
4.3.1.1.2.3. Zıt yön ısıl işlemsiz .....	118
4.3.1.1.2.4. Zıt yön ısıl işlemlı .....	119
4.3.1.2. Etial 195 .....	120
4.3.1.2.1. Tek paso .....	120
4.3.1.2.1.1. Isıl işlemsiz .....	120
4.3.1.2.1.2. Isıl işlemlı .....	121
4.3.1.2.2. Çift paso .....	122
4.3.1.2.2.1. Aynı yön ısıl işlemsiz .....	122
4.3.1.2.2.2. Aynı yön ısıl işlemlı .....	123
4.3.1.2.2.3. Zıt yön ısıl işlemlı .....	124
4.3.2 Aşınma çizgi profilleri .....	126
4.3.2.1. Etial 145 .....	126
4.3.2.1.1. Tek paso .....	126
4.3.2.1.1.1. Isıl işlemsiz .....	126
4.3.2.1.1.2. Isıl işlemlı .....	127
4.3.2.1.2. Çift paso .....	128
4.3.2.1.2.1. Aynı yön ısıl işlemsiz .....	128
4.3.2.1.2.2. Aynı yön ısıl işlemlı .....	129
4.3.2.1.2.3. Zıt yön ısıl işlemsiz .....	129
4.3.2.1.2.4. Zıt yön ısıl işlemlı .....	130
4.3.2.2. Etial 195 .....	130
4.3.2.2.1. Tek paso .....	130
4.3.2.2.1.1. Isıl işlemsiz .....	130
4.3.2.2.1.2. Isıl işlemlı .....	131
4.3.2.2.2. Çift Paso .....	132



4.3.2.2.1. Aynı yön ısıl işlemsiz .....	132
4.3.2.2.2. Aynı yön ısıl işlemli .....	133
4.3.2.2.3. Zıt yön ısıl işlemli .....	133
4.3.3 Aşınma çizgi profili değerlendirmeleri .....	134
5.SONUÇ .....	135
6.KAYNAKLAR .....	137
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

Al.	Alüminyum
Mn.	Mangan
Mg.	Magnezyum
Zn.	Kalay
Si.	Silisyum
Cu.	Bakır
Ni.	Nikel
Ti.	Titanyum
Zr.	Zirkonyum
Cr.	Krom
Pb.	Kurşun
K.	Kelvin
W.	Watt
N.	Newton

### Kısaltmalar

ABD.	Amerika Birleşik Devletleri
SKY.	Sürtünme Karıştırma Yöntemi
Ort.	Ortalama

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çözeltiye alma işlemi.....	15
Şekil 2.2. Alaşımında aşırı doymuş $\alpha$ çözeltisinin yaşlanmasıyla oluşan bozunma ürünleri .....	18
Şekil 2.3. Sürtünme karıştırma yönteminin prensibi .....	21
Şekil 2.4. Sürtünme karıştırma yapılmış bir alaşımın kesitinin şematik görünümü.....	23
Şekil 3.1. Freze ucu ve bağlama kalıbı .....	26
Şekil 3.2. Bağlama aparatı tablası teknik resmi, kesit ve üç boyutlu görünüşü.....	27
Şekil 3.3. Baskı plakası teknik resmi, kesit ve üç boyutlu görünüşü .....	28
Şekil 3.4. Karıştırıcı uç teknik resmi, kesit ve üç boyutlu görünüşü .....	29
Şekil 4.1. Döküm örneklerinin sürtünme karıştırma işleminden sonra incelenmek üzere alınan kesitleri .....	32
Şekil 4.2. 1.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	32
Şekil 4.3. 2.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	33
Şekil 4.4. 3.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	34
Şekil 4.5. 3.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	35
Şekil 4.6 1.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	35
Şekil 4.7. 2.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	36
Şekil 4.8. 3.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	37
Şekil 4.9. 3.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	38
Şekil 4.10. 3.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri .....	38
Şekil 4.11. 1 no'lu bölge A tabakası yok .....	40
Şekil 4.12. 2 no'lu bölge A ve B tabakası.....	41
Şekil 4.13. 4 no'lu bölge A, B tekrar A tekrar B tabakası .....	41
Şekil 4.14. 4 no'lu bölge B tabakası .....	42
Şekil 4.15. 4 no'lu bölge C tabakası .....	42
Şekil 4.16. 5 no'lu bölge A ve B tabakası.....	43
Şekil 4.17. 5 no'lu bölge C tabakası .....	43
Şekil 4.18. 6 no'lu bölge A ve B tabakası.....	44

Şekil 4.19. 6 no'lu bölge C tabakası .....	44
Şekil 4.20. 7 no'lu bölge A ve B tabakası.....	45
Şekil 4.21. 8 no'lu bölge C tabakası (A ve B tabakası yok) .....	45
Şekil 4.22. 1 no'lu bölge C tabakası (A ve B tabakası yok) .....	46
Şekil 4.23. 2 no'lu bölge A ve B tabakası .....	46
Şekil 4.24. 3 no'lu bölge A, B, tekrar A tekrar B tabakası .....	47
Şekil 4.25. 3 no'lu bölge C tabakası .....	47
Şekil 4.26. 4 no'lu bölge A, B tekrar A tekrar B tabakası .....	48
Şekil 4.27. 4 no'lu bölge C tabakası .....	48
Şekil 4.28. 5 no'lu bölge A ve B tabakası.....	49
Şekil 4.29. 5 no'lu bölge C tabakası .....	49
Şekil 4.30. 6 no'lu bölge A ve B tabakası.....	50
Şekil 4.31. 6 no'lu bölge C tabakası .....	50
Şekil 4.32. 7 no'lu bölge A ve B tabakası.....	51
Şekil 4.33. 7 no'lu bölge C tabakası .....	51
Şekil 4.34. 1 no'lu bölge A tabakası .....	52
Şekil 4.35. 1 no'lu bölge A ve B tabakası.....	52
Şekil 4.36. 1 no'lu bölge C tabakası .....	53
Şekil 4.37. 2 no'lu bölge A ve B tabakası.....	53
Şekil 4.38. 2 no'lu bölge B tabakası .....	54
Şekil 4.39. 2 no'lu bölge C tabakası .....	54
Şekil 4.40. 3 no'lu bölge A, B ve tekrar A tabakası.....	55
Şekil 4.41. 3 no'lu bölge C tabakası .....	55
Şekil 4.42. 4 no'lu bölge A ve B tabakası.....	56
Şekil 4.43. 4 no'lu bölge B tabakası .....	56
Şekil 4.44. 4 no'lu bölge C tabakası .....	57
Şekil 4.45. 5 no'lu bölge A tabakası .....	57
Şekil 4.46. 5 no'lu bölge B tabakası .....	58
Şekil 4.47. 5 no'lu bölge C tabakası .....	58
Şekil 4.48. 6 no'lu bölge A ve B tabakası.....	59
Şekil 4.49. 6 no'lu bölge C tabakası .....	59
Şekil 4.50. 7 no'lu bölge A ve C tabakası (B tabakası yok) .....	60

Şekil 4.51. 1 no'lu bölge A tabakası yok .....	60
Şekil 4.52. 2 no'lu bölge A tabakası .....	61
Şekil 4.53. 2 no'lu bölge C tabakası .....	61
Şekil 4.54. 3 no'lu bölge C tabakası (A ve B yok) .....	62
Şekil 4.55. 4 no'lu bölge A ve B tabakası (geçiş belirgin değil) .....	62
Şekil 4.56. 4 no'lu bölge C tabakası .....	63
Şekil 4.57. 5 no'lu bölge B tabakası .....	63
Şekil 4.58. 5 no'lu bölge C tabakası .....	64
Şekil 4.59. 6 no'lu bölge A ve B sınırı belirgin değil .....	64
Şekil 4.60. 6 no'lu bölge C tabakası .....	65
Şekil 4.61. 7 no'lu bölge C tabakası (A ve B yok) .....	65
Şekil 4.62. 1 no'lu bölge C tabakası (A ve B yok) .....	66
Şekil 4.63. 2 no'lu bölge C tabakası .....	66
Şekil 4.64. 3 no'lu bölge A tabakası .....	67
Şekil 4.65. 3 no'lu bölge B tabakası .....	67
Şekil 4.66. 3 no'lu bölge C tabakası .....	68
Şekil 4.67. 4 no'lu bölge A tabakası .....	68
Şekil 4.68. 4 no'lu bölge A tabakası (sağ üst köşede B tabakası görülmektedir.) .....	69
Şekil 4.69. 4 no'lu bölge C tabakası .....	69
Şekil 4.70. 5 no'lu bölge B ve C tabakası .....	70
Şekil 4.71. 5 no'lu bölge C tabakası .....	70
Şekil 4.72. 6 no'lu bölge B ve C tabakası .....	71
Şekil 4.73. 6 no'lu bölge C tabakası .....	71
Şekil 4.74. 1 no'lu bölge A ve C tabakası.....	72
Şekil 4.75. 1 no'lu bölge C tabakası .....	72
Şekil 4.76. 2 no'lu bölge A ve B tabakası.....	73
Şekil 4.77. 2 no'lu bölge C tabakası .....	73
Şekil 4.78. 3 no'lu bölge A ve B tabakası.....	74
Şekil 4.79. 3 no'lu bölge C tabakası .....	74
Şekil 4.80. 4 no'lu bölge A ve B tabakası.....	75
Şekil 4.81. 5 no'lu bölge A ve B tabakası.....	75
Şekil 4.82. 6 no'lu bölge A ve B tabakası.....	76

Şekil 4.83. 7 no'lu bölge A ve B tabakası.....	77
Şekil 4.84. 1 no'lu bölge A ve B tabakası.....	77
Şekil 4.85. 1 no'lu bölge C tabakası .....	78
Şekil 4.86. 2 no'lu bölge A ve B tabakası.....	78
Şekil 4.87. 2 no'lu bölge C tabakası .....	79
Şekil 4.88. 3 no'lu bölge A ve B tabakaları .....	79
Şekil 4.89. 3 no'lu bölge C tabakası .....	80
Şekil 4.90. 4 no'lu bölge A ve B tabakaları .....	80
Şekil 4.91. 4 no'lu bölge A ve B tabakası devam ediyor.....	81
Şekil 4.92. 4 no'lu bölge A ve B tabakası devam ediyor.....	81
Şekil 4.93. 4 no'lu bölge C tabakası .....	82
Şekil 4.94. 5 no'lu bölge A ve B tabakası.....	82
Şekil 4.95. 5 no'lu bölge B tabakası devam ediyor.....	83
Şekil 4.96. 5 no'lu bölge C tabakası .....	83
Şekil 4.97. 6 no'lu bölge A ve B tabakası.....	84
Şekil 4.98. 6 no'lu bölge A ve B tabakası devam ediyor.....	84
Şekil 4.99. 6 no'lu bölge C tabakası .....	85
Şekil 4.100. 7 no'lu bölge A ve B tabakası.....	85
Şekil 4.101. 7 no'lu C tabakası .....	86
Şekil 4.102. 8 no'lu A ve B tabakası.....	86
Şekil 4.103. 8 no'lu A ve B tabakası.....	87
Şekil 4.104. 1 no'lu bölge A-B tabakası .....	88
Şekil 4.105. 1 no'lu bölge C tabakası .....	88
Şekil 4.106. 2 no'lu bölge A ve B tabakası.....	89
Şekil 4.107. 2 no'lu bölge C tabakası .....	89
Şekil 4.108. 3 no'lu bölge A ve B tabakaları .....	90
Şekil 4.109. 3 no'lu bölge A ve B tabakaları devam ediyor .....	90
Şekil 4.110. 3 no'lu bölge C tabakası .....	91
Şekil 4.111. 4 no'lu bölge A ve B tabakası.....	91
Şekil 4.112. 4 no'lu bölge A ve B tabakası devam ediyor.....	92
Şekil 4.113. 4 no'lu bölge C tabakası .....	92
Şekil 4.114. 5 no'lu bölge A ve B tabakaları .....	93

Şekil 4.115. 5 no'lu bölge C tabakası .....	93
Şekil 4.116. 6 no'lu bölge A ve B tabakası.....	94
Şekil 4.117. 6 no'lu bölge C tabakası .....	94
Şekil 4.118. 7 no'lu bölge A ve B tabakası.....	95
Şekil 4.119. 7 no'lu bölge A ve B tabakaları devam ediyor .....	95
Şekil 4.120. 7 no'lu bölge C tabakası .....	96
Şekil 4.121. 8 no'lu bölge C tabakası (A ve B çok az) .....	96
Şekil 4.122. 1 no'lu bölge C tabakası (A ve B çok az) .....	97
Şekil 4.123. 1 no'lu bölge C tabakası .....	97
Şekil 4.124. 2 no'lu bölge A ve B tabakası.....	98
Şekil 4.125. 2 no'lu bölge C tabakası .....	98
Şekil 4.126. 3 no'lu bölge A ve B tabakası.....	99
Şekil 4.127. 4 no'lu bölge A ve B tabakası .....	99
Şekil 4.128. 5 no'lu bölge A ve B tabakaları .....	100
Şekil 4.129. 6 no'lu bölge A ve B tabakaları .....	100
Şekil 4.130. 7 no'lu bölge A ve B tabakası.....	101
Şekil 4.131. 8 no'lu bölge C tabakası (A ve B tabakası yok) .....	101
Şekil 4.132. 1 no'lu bölge C tabakası (A ve B tabakası yok) .....	102
Şekil 4.133. 2 no'lu bölge A, B ve C tabakası .....	102
Şekil 4.134. 3 no'lu bölge A ve B tabakası.....	103
Şekil 4.135. 3 no'lu bölge C tabakası .....	103
Şekil 4.136. 4 no'lu bölge A tabakası (A ve B sınırı yok) .....	104
Şekil 4.137. 4 no'lu bölge C tabakası .....	104
Şekil 4.138. 5 no'lu bölge A tabakası .....	105
Şekil 4.139. 5 no'lu bölge A ve B tabakası.....	105
Şekil 4.140. 5 no'lu bölge C tabakası .....	106
Şekil 4.141. 6 no'lu bölge C tabakası (A ve B yok) .....	106
Şekil 4.142. 6 no'lu bölge C tabakası .....	107
Şekil 4.143. 1 no'lu bölge A ve C tabakası.....	107
Şekil 4.144. 2 no'lu bölge A,B ve C tabakası .....	108
Şekil 4.145. 3 no'lu bölge A,B ve C tabakası .....	108
Şekil 4.146. 3 no'lu bölge B ve C tabakası .....	109

Şekil 4.147. 3 no'lu bölge C tabakası .....	109
Şekil 4.148. 4 no'lu bölge A ve B tabakası.....	110
Şekil 4.149. 4 no'lu bölge C tabakası .....	110
Şekil 4.150. 5 no'lu bölge A,B ve C tabakası .....	111
Şekil 4.151. 5 no'lu bölge C tabakası .....	111
Şekil 4.152. 6 no'lu bölge A,B ve C tabakası .....	112
Şekil 4.153. 6 no'lu bölge C tabakası .....	112
Şekil 4.154. 7 no'lu bölge A ve C tabakası ( B yok, A çok dar) .....	113
Şekil 4.155. Aşınma yerlerinin şematik görünümü.....	114
Şekil 4.156. Alt taraf.....	115
Şekil 4.157. Üst taraf.....	115
Şekil 4.158. Alt taraf.....	116
Şekil 4.159. Üst taraf.....	116
Şekil 4.160. Alt taraf.....	117
Şekil 4.161. Üst taraf.....	117
Şekil 4.162. Alt taraf.....	118
Şekil 4.163. Üst taraf.....	118
Şekil 4.164. Alt taraf.....	119
Şekil 4.165. Alt taraf.....	120
Şekil 4.166. Üst taraf.....	120
Şekil 4.167. Alt taraf.....	121
Şekil 4.168. Üst taraf.....	121
Şekil 4.169. Alt taraf.....	122
Şekil 4.170. Üst taraf.....	122
Şekil 4.171. Alt taraf.....	123
Şekil 4.172. Üst taraf.....	123
Şekil 4.173. Alt taraf.....	124
Şekil 4.174. Üst taraf.....	124
Şekil 4.175. Alt taraf.....	126
Şekil 4.176. Üst taraf.....	126
Şekil 4.177. Alt taraf.....	127
Şekil 4.178. Üst taraf.....	127



Şekil 4.179. Alt taraf.....	128
Şekil 4.180. Üst taraf.....	128
Şekil 4.181. Üst taraf.....	129
Şekil 4.182. Alt taraf.....	129
Şekil 4.183. Üst taraf.....	130
Şekil 4.184. Alt taraf.....	130
Şekil 4.185. Üst taraf.....	131
Şekil 4.186. Alt taraf.....	131
Şekil 4.187. Üst taraf.....	131
Şekil 4.188. Alt taraf.....	132
Şekil 4.189. Üst taraf.....	132
Şekil 4.190. Üst taraf.....	133
Şekil 4.191. Alt taraf.....	133
Şekil 4.192. Üst taraf.....	134

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Alaşım elementlerinin alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi .....	10
Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma uygunluğu.....	14
Çizelge 3.1. Etial 145 alaşımını oluşturan elementlerin kimyasal bileşim limitleri (% ağırlık) .....	25
Çizelge 3.2. Etial 195 alaşımını oluşturan elementlerin kimyasal bileşim limitleri (% ağırlık) .....	25
Çizelge 4.1. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerleri .....	33
Çizelge 4.2. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerleri .....	34
Çizelge 4.3. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler .....	35
Çizelge 4.4. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler .....	36
Çizelge 4.5. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler .....	37
Çizelge 4.6. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler .....	38
Çizelge 4.7. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler .....	39
Çizelge 4.8. Çizgi Genişliklerinin Ortalama Değerleri .....	125
Çizelge 4.9. Aşınma Çizgisi ve Genişliği .....	134
Çizelge 4.10. Profilometrede ölçülen Aşınma Değerleri .....	13

## 1. GİRİŞ

Sürtünme karıştırma yöntemi, geniş uygulama alanına sahip olup, özellikle kaynak yöntemi olarak kullanılan ve farklı geometrilerde kaynak olanağı sağlayan bir yöntemdir. 1991 yılında TWI kaynak enstitüsü tarafından icat edilmiş ve geliştirilmiştir. Literatürde, geniş olarak sürtünme karıştırma kaynağına yer verilmiştir; fakat sürtünme karıştırma yöntemi ile alaşımların yüzeylerinin işlenmesi hususu üzerinde araştırmalar kısıtlıdır. Bu nedenle bu çalışmada Etial 145 ve Etial 195 alüminyum döküm alaşımlarından elde edilen dökümler, yüzeyleri düzgünleştirilerek sürtünme karıştırma işlemine tabi tutulmuş, daha sonra numunelere ısı işlem de uygulanılarak bu yöntemin sertliğe ve aşınma davranışlarına olan etkisi incelenmiştir.

Sürtünme karıştırma yönteminde: İşlenecek olan numune, freze tezgâhı üzerinde altlık mengeneyle sabitlenir. Frezeye takılan çelikten üretilmiş bir karıştırma ucu numuneye belirli bir derinlikte daldırılarak sabit bir hız ile numune üzerinde ilerlemesi sağlanır. Bu işlem esnasında sürtünme sonucu ısı oluşur ve bu ısı malzemenin plastik deformasyona uğramasına neden olur. Burada yapılan işlem, yüksek sıcaklıkta katı halde bir karıştırma işlemidir ve bu yöntem alüminyum alaşımlarında oldukça iyi sonuçlar veren bir yöntemdir.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

### 2.1. Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum, demir-çelikten sonra dünyada en çok kullanılan metaldir. 1900'lü yılların başlarında dünya alüminyum üretimi 172.000 ton iken, 1977'de bu değer 14 milyon tona, 1980'lerde 17,5 milyon tona ve 2006 yılında 22 milyon tona ulaşmıştır. Diğer demir dışı metaller arasında alüminyum metal üretimi ve tüketimindeki yüksek artışın sebepleri ise:

- Alüminyumun düşük yoğunluğu,
- Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği,
- Sıcak ve soğuk şekillendirilebilme kolaylığı,
- Genel olarak korozyon dayanımlarının yüksek oluşu,
- Yaşlandırma sertleşmesine uygun oluşu,
- Özgül mukavemet değerinin yüksek oluşu,
- Dekoratif amaçlı yüzey işlenebilirliği
- Isıl işlemlerle ulaşılabilen değişik dayanım özellikleridir.

Alüminyum; altın, bakır veya demir gibi tarih öncesi zamanlardan beri tanınan bir metal değildir. Büyük insan kitlelerinin alüminyum metaliyle karşılaşmaları ve onu tanımaları ilk kez 1855 yılında Paris Dünya Sergisi'nde olmuştur. Dolayısıyla alüminyumun geçmişi, tüm insanlık için neredeyse iki insan ömründen öteye gitmemektedir. Buna rağmen, dünyadaki alüminyum kullanımı metal bazında demirden sonra ikinci sırada gelir. 1995 yılında ham çelik olarak bütün dünyada yaklaşık 750 milyon ton demir üretimi sağlanmışken; alüminyum 20 milyon tonlarda, bakır 10 milyon tonlarda, çinko ise 5 milyon tonlarda kalmıştır. Demir metallerle demir olmayan metaller arasındaki kullanım farkı da böylece ortaya çıkmış oluyor.

Yer kabuğunda bulunan demir dışı metallerin oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Hafif metaller sınıfından olan alüminyum, bileşikler halinde yer

kabuğunun yaklaşık %8'ini oluşturur. Çizelgeden de görülebildiği üzere yer kabuğunda en çok bulunan metal alüminyumdur.

Element	Al	Fe	Mg	Ti	Zn	Ni	Cu	Pb
%	7.5	4.7	1.9	0.58	0.02	0.018	0.01	0.002

Yukarıdaki yüzde (%) oranlarına rağmen alüminyumun kullanılma oranı demirin kullanılma oranına erişememiştir. Bu olayın sebeplerini şöyle sıralayabiliriz:

- 1) Alüminyum, parçalanması mümkün olmayan birçok mineralin bileşiminde vardır.
- 2) Alüminyum ilk olarak 100 sene önce teknik olarak üretilmeye başlanmıştır. Demir ise ilk çağlardan beri tanınmaktadır.
- 3) Alüminyum sertleştirilemez; sertleştirilse bile sertliği çeliklerde ulaşılan düzeye çıkarılamadığından takım malzemesi olarak kullanılamaz.

### 2.1.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Alüminyumun fiziksel özellikleri, büyük ölçüde alüminyumun saflığına ve sıcaklığına bağlıdır. Alüminyum periyodik cetvelin III A grubunda bulunur. Atom numarası 13, atom ağırlığı ise 26,981538 g/mol'dür. İyon çapı 0,86 Å olan alüminyumun, atom çapı ise 1,43 Å'dur. Alüminyum, kübik yüzey merkezli kristal kafeslerinden oluşmuştur ve -269 °C'den ergime noktası olan 658 °C'ye kadar kararlıdır. 25 °C'de saf alüminyum birim kafes küpünün kenar uzunluğu  $4,05 \times 10^{-10}$  metredir. Sıcaklık ve safsızlıktaki değişimle kafes parametreleri değişebilir. Alüminyum ne kadar saf ise, kristalleri de o derece büyüktür. Alüminyumun saflık derecesi arttıkça ergime derecesi de yükselir. Katı halden sıvı hale geçerken metal hacmi büyür. %99.65 alüminyum içeren metalde bu büyüme %6.25 civarında iken; %99.75 alüminyum içeren metalde ise %6.60 büyüme gözlenir. Hem sıvı ve hem de katı alüminyumun yoğunluğu, artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer. %99,25 Al içeren metalin yoğunluğu 2,727 g/cm<sup>3</sup> iken %99,40 Al içeren metalin yoğunluğu 2,706 g/cm<sup>3</sup> dür.

Alüminyumun saflık derecesi büyüdükçe, ısıl iletkenliği de buna paralel olarak artar. Fakat alüminyumun sıcaklığının artmasıyla ısıl iletkenliği arasında ne tür bir paralellik olduğu hususunda kesin bir şey söylemek zordur. Çünkü belli

bir sıcaklığa kadar ısı iletkenlik katsayısı artış gösterirken, diğ er sıcaklıklarda iniş çıkışlar göstermektedir. 0 °C’de Al ısı iletkenliğ i 236 W/m.K iken, 200 °C’de 238 W/m.K ve 600 °C’de 214 W/m.K’dir. Saf alüminyumun ısı genleşme katsayıları, artan sıcaklıklarla birlikte yükselme gösterir.

Alüminyum ısı iletkenlik katsayısı sıcaklık 100 °C iken  $23,9 \alpha 10^{-6}/K$ , sıcaklık 200 °C iken  $24,3 \alpha 10^{-6}/K$  ve sıcaklık 300 °C iken  $25,3 \alpha 10^{-6}/K$ ’dir. 930 ile 950 °C aralığında, yani elektroliz sıcaklığında alüminyum yeterince akışkan haldedir. Bu sebeple metalin karışması ve difüzyonu için yeterli şartlar sağlanmıştır. Metalin sıcaklığı arttıkça viskozitesi azalmaktadır. Buna karşılık metalin saflığı arttıkça, viskozitesi de buna paralel olarak artmaktadır. Saf alüminyumun oda sıcaklığındaki iletkenliğ i, aynı sıcaklıktaki bakırın iletkenliğ inin %64,94’üne eşittir. -223 °C’nin altındaki sıcaklıklarda alüminyumun elektriksel direnci, yine aynı sıcaklıklardaki saf bakır ve gümüşün direncinden çok daha düşüktür. -270 °C civarında ise alüminyum süper iletken hâle gelir (Yılmaz, 2003).

### **2.1.2. Alüminyumun mekanik özellikleri**

Mekanik özellikler büyük ölçüde saflık derecesine bağlıdır. Yüksek saflıktaki alüminyum, teknik saflıktaki alüminyuma nazaran çok daha yumuşaktır ve elastik bir yapı arz eder. Ayrıca mekanik mukavemeti de daha düşüktür. %99,25 alüminyum içeren bir metalin elastiklik modülü 71000 N/mm<sup>2</sup> iken, çok saf alüminyumun elastik modülü ancak 67000 N/mm<sup>2</sup>’dir.

Alüminyumun saflığı arttıkça, alaşımın sertliğ i düşer. Alüminyum oranı %99,2 iken sertliğ i 24-54 HB, alüminyum oranı %99,8 iken sertliğ i 19-41 HB arasında değ işmektedir. Yapılan deneyler, alüminyumun çekme mukavemetinin artan saflık derecesi ile azaldığını göstermiştir. Kopma anındaki kesit yüzeyinin küçülmesi ise yüksek saflıktaki alüminyumda (>%99,9) en fazladır. Yani alüminyumun yüzdesi arttıkça, numune daha esnek hale gelmektedir. Çok saf alüminyumun çekme dayanım değ eri, alüminyum soğuk haddeleme ile elde edilmişse 110-130 N/mm<sup>2</sup>, tavlama işleminde görmüşse 35-60 N/mm<sup>2</sup> aralığındadır. Bu değ erlerin üzerine çıkılamaz. Uzama miktarı ise %5,5’den %40-50 mertebelerine kadar olabilir (Yılmaz, 2003).

### 2.1.3. Alüminyum ve alaşımları

Alüminyumun iyi olan birçok özelliğinin (hafiflik, iyi haddelenebilme özelliği, yüksek elektriksel iletkenlik, manyetik olmayışı, korozyona karşı dayanıklılık vb.) yanında, döküm ve mekanik özellikleri çok kötüdür. İşte bu kötü olan özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla alüminyuma bazı alaşım elementleri katılır. Alüminyum işlem ve döküm alaşımları farklı şekilde gösterilir. ABD'ye ait IADS normuna göre alüminyum alaşımları dört rakamdan oluşturulan bir sınıflandırma ile gösterilir.

1XXX: Alaşımsız alüminyum

2XXX: Alüminyum Bakır alaşımı AlCu (Mg, Pb, Bi)

3XXX: Alüminyum Mangan alaşımı AlMn (Mg)

4XXX: Alüminyum Silisyum alaşımı AlSi

5XXX: Alüminyum Magnezyum alaşımı AlMg (Mn)

6XXX: Alüminyum-Silisyum-Magnezyum alaşımı AlMgSi

7XXX: Alüminyum Çinko alaşımı AlZn (Mg, Cu)

8XXX: Diğer elementler (lityum vs.) Al (Fe, Li vs.)

Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtir. 1XXX dizisi arı alüminyumu (%99.00) belirtir. Son iki rakam %99 değerinin noktadan sonraki rakamlarını belirtir. Son iki rakam ise özel olarak denetlenen katışık (empürite) elementlerin

sayısını belirtir ve 1'den 9'a kadar değişebilir. 2XXX'den 8XXX'e kadar olan alüminyum alaşımlarında, ilk rakam alaşım türünü, ikinci rakam değişimleri (modifikasyon) simgeler, son iki rakamın ise özel bir anlamı yoktur.

Genel olarak bir alüminyum-mangan alaşımı %1.25 manganez içerir. Manganın etkisi alüminyumun çekme mukavemetini artırmaktadır. Bu alaşım yüksek süneklik ve çok iyi korozyon özelliklerine sahiptir. Alüminyum-magnezyum alaşımları %7'ye kadar magnezyum içerirler. Alüminyum-magnezyum alaşımlarında, % magnezyum miktarı ne kadar büyük ise çekme mukavemeti de o nispette büyüktür. Bu alaşımda çok iyi bir süneklığe ve tam bir korozyon direncine sahip olduğundan deniz ortamında özellikle gemi ve bot yapı malzemeleri üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Oğuz, 1990).

#### **2.1.4. Alüminyum alaşımlarının özellikleri**

Alaşımlama ergimiş haldeki metale saf alaşım metallerinin ya da önceden hazırlanmış alaşımların ilavesi ile gerçekleştirilir.

İhtiyaç duyulan özelliklerin eldesi için yapılan bileşim değişiklikleri; ana metalin saflığını artırma ve alaşımlama ile gerçekleştirilir. Bazı durumlarda zararlı elementler uzaklaştırılır ve yararlı olanlar ilave edilir.

Alaşımlamanın ilk sebebi mekanik özellikleri (mukavemet, sertlik, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı gibi) artırmaktır. Bu özellikler üzerindeki etkiler farklı alaşım elementlerine göre değişir. Ve bunlar alaşım faz diyagramları, mikro yapı ve katılaşma, termomekanik geçmiş, ısı işlem ve/veya soğuk işleme sonucu oluşan yapı ile ilişkilidir. İşlenmiş ürünlerin (işlenmiş alaşım) üretimi için alaşımdaki maksimum alaşım elementleri toplamı yaklaşık %11'dir.

Yoğunluk, erime sıcaklığı aralığı, ısıl genleşme katsayısı, elektrik ve ısı iletkenlik bir ya da daha fazla alaşım elementinin ilavesiyle değiştirilebilir.

Yoğunluk, erime sıcaklığı aralığı, ısıl genleşme katsayısı, elektrik ve ısı iletkenlik bir ya da daha fazla alaşım elementinin ilavesi ile değiştirilebilir.

Her artan ilave için bu özelliklerdeki, değişim oranı elementlere özgüdür ve bazı durumlarda katı çözeltiler ya da ikinci bir fazın oluşumuna bağlıdır.

Malzeme özelliklerindeki esas farklılıklar, ilave edilen elementlerle ilişkili olmasına rağmen, birçok alaşım elementi %1 gibi çok küçük miktarlarda ilave



edilseler bile, özelliklerde önemli değişiklikler yaparlar. Mekanik özellikler açısından elementlerin doğru kombinasyonlarının sağlanması önemlidir. Etkileşimler oldukça karmaşıktır ve verilen element, ihtiyaç duyulan özelliklerin kombinasyonlarına veya özelliklerine bağlı olarak yararlı ya da zararlı olabilir (Boyer ve Gall 1992).

Yumuşak faz yapısına sahip ve bu nedenle kullanım alanı sınırlı olan saf alüminyum malzemenin özelliklerini iyileştirmek amacıyla en fazla Cu, Mg, Mn, Zn ve Si gibi alaşım elementleri kullanılmaktadır (Köksal 2004). Kullanılan bütün elementlerin çok az miktarı ya da kombinasyonları, birçok alaşım bileşiminde üretim ve ısıl işlem boyunca tane boyutu kontrolü, yeniden kristalleşme davranışlarını kapsar. Tane boyutu kontrolünün; kırılmalara karşı dayanıklılık ve iyi şekillendirme özelliklerini sağlama gibi amaçları vardır. Özel alaşımlarda, bu elementlerin ek olarak mukavemet, yorulma direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet gibi özellikler üzerinde etkileri vardır. Tane boyutu kontrolünün sağlanmasında elementler dispersoid olarak adlandırılan düzgün dağıtılmış partiküller halinde çöktürülmelidir. Elementlerin mukavemet üzerindeki etkileri; alaşım elementi atomlarının ve çözücü durumdaki alüminyumun atom çapları arasındaki farkın artmasıyla artma eğilimindedir (Boyer ve Gall 1992).

#### **2.1.5. Alaşım elementleri ve özellikleri**

Alaşımında kullanılan elementler Mg, Si, Zn, Cu ve Mn'dir. Nikel (Ni), kobalt (Co), krom (Cr), titanyum (Ti), ve zirkonyum (Zr) ilave elementler olarak kullanılır.

##### **2.1.5.1. Magnezyum (Mg)**

Magnezyumun alüminyum içindeki en yüksek çözünürlüğü %17,4'tür; fakat işlenmiş alaşımlardaki Mg içeriği %5,5'ten fazla değildir. Al-%10Mg döküm alaşımlarında Mg'nin çökmesi oda sıcaklığında gerçekleşir.

%7'den daha az miktarda magnezyum içeren alaşımlar oda sıcaklığında kararlıdır; fakat daha yüksek sıcaklıklarda bu özellik kaybolur. %5 Mg içerikli işlenmiş alaşımlar normal şartlarda kararlıdır. (Hatch 1984 ve Mazzolani 1985).

%75'in üzerindeki mangan (Mn) ilave edilen Al-Mg alaşımları, yüksek mukavemete ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Mn, daha düşük Mg içeriğine

izin verirken alaşımların kararlılığını iyileştirir (Hatch 1984). Mg yaşlandırma ısıl işlemine, katı çözelti sertleşmesi yaratarak, uygun bir yapı kazandırır (Yılmaz 2002).

#### **2.1.5.2. Silisyum (Si)**

Silisyum, alaşımın mukavemetini artırır. Mg ile birleştirildiğinde çökelme sertleşmesini sağlar ve ergime sıcaklığını düşürür. İşlenmiş alaşımlarda; Si, Mg ile birlikte, daha fazla miktarlarda  $Mg_2Si$  üretmek için 6xxx serisinde kullanılır. Si ilavesi (%0,5-4,0) Al-Cu-Mg alaşımlarında çatlak oluşturma eğilimini azaltır. Ayrıca Si korozyon direncini de artırmaktadır.

Si içerikli alaşımlara az miktarda Mg ilavesi, sistemi ısıl işlenebilir hale getirir. Fakat bu miktar  $Mg_2Si$ 'nin oluşumu için daha fazladır. Mg, bileşiğin katı çözünürlüğünü düşürür.

Al-Si alaşımlarının, kabaca yumuşak ve sünek alüminyum fazı ile sert ve kırılğan silisyum fazından meydana gelen karma bir malzeme olduğu söylenebilir.

#### **2.1.5.3. Çinko (Zn)**

Mukavemeti artırır. Bazı durumlarda gerilmeli korozyona karşı dayanıklılığı artırır. Al-Zn alaşımlarına Mg ilavesi, özellikle %3-7,5 Zn içeren sistemlerde mukavemeti geliştirir. Diğer taraftan; artan oranlarda ilave edilen Zn ve Mg korozyon direncini düşürür. Zn, dökülebilirliği düşürücü bir etki yapar. (Yılmaz 2002)

Al-Zn-Mg sistemine bakır ilavesi ile küçük fakat önemli miktarlardaki krom ve mangan ile birlikte, yüksek derecelerdeki mukavemete ulaşır.

Bu aşım sistemlerinde Zn ve Mg yaşlandırma işlemlerini kontrol eder. Cu ilavesi doyumluk derecesini artırarak yaşlandırma sonucu sağlayan özelliklerin gelişimini sağlar. (Hatch 1984)

#### **2.1.5.4. Bakır (Cu)**

Bakırın %12'ye kadar olan değeri dayanımı arttırır. %12'den fazlası ise gevreklik meydana getirir. Genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği arttırmaktadır.

#### **2.1.5.5. Nikel (Ni)**

Yüksek sıcaklık şartlarında mukavemeti artırır. Alüminyum içerisindeki çözünürlüğü %0,040'ten fazla değildir. Bu miktarın üstünde çözünmez halde kalır. Al-Cu ya da Al-Si alaşımlarına yüksek sıcaklıklardaki sertlik ve mukavemet gelişimi ve genleşme katsayısını düşürmek için ilave edilir (Hatch 1984) .

#### **2.1.5.6. Titanyum (Ti)**

Tane boyutunun küçülmesini sağlar.

#### **2.1.5.7. Zirkonyum (Zr)**

İşlenmiş alaşımlarda yeniden kristalleşme sıcaklığını artırmak ve tane yapısını kontrol etmek amacıyla kullanılır.

#### **2.1.5.8. Krom (Cr)**

Yenim direncini artırır. %35'i geçmeyen oranlarda birçok alaşımda kullanılır. Tane boyutunu kontrol etmek için, ısıtma işlemi süresince Al-Mg-Si ya da Al-Mg-Zn alaşımlarında yeniden kristalleşmeyi önlemek için, Al-Mg alaşımlarında ise tane büyümesini önlemek için kullanılır.

#### **2.1.5.9. Demir (Fe)**

Düşük yüzdelerde kullanılırsa sf alüminyumun mukavemetini artırıcı bir ilavedir. Dökümlerin sıcak çatlama eğilimini azaltır (Yılmaz, 2002).

#### **2.1.5.10. Lityum (Li)**

Lityum alüminyum içinde yüksek çözünürlüğe sahiptir. Ayrıca  $Al_3Li$  fazı sertlik ve dayanımı artırıcı bir etki yapmaktadır. Lityum en hafif metal olduğu için alüminyumla yaptığı alaşımlarda özgül ağırlık azalmakta ve özellikle uçak sanayinde kullanım üstünlüğüne sahip bulunmaktadır.

## 2.2. Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alaşım elementlerinin çeşitli karakteristikler üzerindeki etkileri Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir (Oğuz, 1990).

**Çizelge 2.1** Alaşım elementlerinin alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi

Nitelikler	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Co	Ti	Mn	Fe	Cr
Kopma mukavemeti	+	+	+	++	+	+	+			-
Elastiki sınır	+	+	-	+	-					
Sertlik	+		-	-	+			+	+	
Isıya dayanıklılık	+		++		+				+	
Kaynak kabiliyeti	-	++	+	-	-		+	+		+
Talaş kaldırma ile işlenebilirlik	+	-	+	+	+		++	+	++	+
Elastikiyet modülü	+	++	-	+	+	++		+	-	
Döküm kabiliyeti	+	++	-	+			+	-	-	
Süneklik	-	--	+				+		--	
Korozyon direnci	-	+	++	+				-	--	++
Anodizasyona elverişsizlik	-	+	++	+				-		
<b>++ : çok iyi</b>	<b>+</b> : iyi			<b>-</b> : ortanın altında				<b>--</b> : zararlı		

Uzun yıllar bakır, alüminyum içerisinde başlıca alaşım elementi olmuş, şekillendirilmiş alaşımlarda %4'e, dökme alaşımlarda da %8'e kadar kullanılmıştır. Etkisi Tablo 3.1'de belirtilenlerden başka çekme ve sıcaklık çatlama eğilimini azaltma ve birçok alüminyum alaşımında yaşlandırma sertleşmesi için temel hazırlamaktır. Çinko genellikle başka elementlerle birlikte %10'a kadar Mg<sub>2</sub>Zn gibi sert ara fazların oluşmasıyla mekanik nitelikleri iyileştirmek için kullanılabilir. Silisyumun bulunmaması halinde demir, katı eriyikten bakır götürmek suretiyle Al-Cu alaşımlarının sertleştirme kabiliyetini azaltır. Titanyum veya niyobyum, bazı alaşımlarda tane inceltici olarak kullanılır (Oğuz, 1990).

### 2.3. Alaşımların Sınıflandırılması

Alaşımlamada kullanılan elementlerin alüminyum içindeki çözünebilirlikleri iyidir ve artan sıcaklıkla çözünebilirlik artar. Döküm alaşımlarında, alaşım yapıcı metaller daha yüksek miktarlarda kullanıldığı zaman hadde alaşımları için bu metallerin toplam yüzdesi nadiren %10'un üstüne çıkar.

Dökülmüş ve tavllanmış şartlardaki alüminyum alaşımlarının çekme mukavemeti bileşimlerine bağlı olarak ticari alüminyumunkinin iki misline kadar yükselir. Soğuk işlem, hadde alaşımlarının çekme mukavemetini daha da yükseltir. Alaşımlandırma neticesi alüminyum metalinin mukavemetinde elde edilen yükseliş, diğer özelliklerdeki değişimlerle birlikte meydana gelir. Bu değişimler farklı alaşımlarda nadiren aynı olur zira birçok alaşımlar esas itibariyle aynı çekme mukavemetine sahip olmalarına rağmen süneklik, elektrik ve ısı iletkenliği ve imal kolaylığı bakımından geniş ölçüde farklı olurlar. Alaşımlandırmada hafiflik özelliği genellikle fazla önemli değildir ve bazı hallerde alaşımlar daha da hafif olurlar. Örneğin %10-13 nispetinde silisyum ihtiva eden alaşımların yoğunluğu  $2.65 \text{ g/cm}^3$  civarındadır.

Alüminyum esaslı malzemeleri iki ana grupta toplayabiliriz (Oğuz, 1990).

- 1) Hadde mamulü alüminyum alaşımları,
- 2) Dökme alüminyum alaşımları.

Birinci gruptaki hadde mamulü alüminyum alaşımlarını tekrar iki alt grupta toplamak mümkündür, bunlar:

- a) Isıl işlemle mekanik özellikleri değişmeyen alaşımlar
- b) Isıl işlemle mukavemet kazandırılan alaşımlardır.

Isıl işlemle mekanik özellikleri değişmeyen alaşımlar katı eriyik halinde homojen bir yapıdadırlar ve yüksek süneklik ve düşük mukavemete sahiptirler. Alüminyum-mangan ve alüminyum-magnezyum alaşımları bu gruptadırlar. Bu alaşımlar ancak soğuk şekillendirme ile mukavemet kazanırlar. Isıl işlemle mukavemet kazandırılan alaşımlar katı halde alüminyum içerisinde sınırlı ergimeye sahip metallerin alaşım elamanı olarak kullanılması ile elde edilirler. Bu

alaşım lar yüksek sıcaklıkta tamamen katı eriyik haline getirilmiş malzemenin aniden soğutulması ve daha sonra yaşlandırılması ile mukavemet kazanırlar. Bu alaşım lar geniş kullanım alanına sahiptirler. Duralumin (Al-Cu-Mg) ve avial (Al-Mg-Si) başlıca ısıl işlem sonucu mukavemet kazanan alaşım lardır. Bunlar levha, boru, profil ve dövme parçalar halinde kullanılırlar (Oğuz,1990).

### **2.3.1. Alüminyum-bakır alaşım ları (2xxx Serisi)**

Bu grup, farklı yüzdelerde magnezyum ve manganez ihtiva eden bakırın başlıca alaşım landırıcı element olduğu yüksek mukavemet alaşım larını içine alır. Bakır alaşıma %3 - %12 oranında katılır. %12'ye kadar olan değeri çekme dayanımı ve sertliği artırır fakat korozyon direnci ve çekilebilirliği azaltır.

Düralümin, alüminyum alaşım ları içinde en iyi bilinendir. Düralümin'in bileşimi, %3,5-4,5 bakır, %0,5 Mg, %0,5 Mn ve az miktarda silisyum ve demirden ibarettir. 1906 yılında Almanya'da keşfedilen alaşım ın ismi, ilk defa istihsal edilen şehrin adına (Düren) izafeten verilmiştir. Düralümin, ısıl işleme tabi tutulabilecek alaşım lar içinde keşfedilenlerin ilki olması ve yaşlanma sertleşmesi olayının (bir alaşım, normal oda sıcaklığında dört veya beş gün müddetle bırakılacak olursa mukavemet ve sertliğinde kendiliğinden önemli bir artış meydana gelir) ortaya çıkmasına ön ayak olması sebebiyle büyük önem kazanmıştır (Tulgar, 1987).

### **2.3.2. Alüminyum-mangan alaşım ları (3xxx Serisi)**

Bu alaşım lar, saf alüminyum ile yüksek mukavemetli alüminyum alaşım ları arasındaki boşluğu doldururlar. Zira %1,5 mertebesindeki bir mangan ilavesi, mukavemetin önemli miktarda (100 ila 170 N/mm<sup>2</sup>) artmasına, fakat sünekliğin ise cüzi miktarda azalmasına sebebiyet verir. Ticari alüminyum mukavemetinden daha yüksek bir mukavemete sahip ve işlem sırasında sertleşebilen bir alaşım ı gerektiren yerlerde bu cins alaşım lar kendilerine uygulama alanı bulurlar (Tulgar, 1987).

### **2.3.3. Alüminyum-magnezyum alaşımları (5xxx Serisi)**

Magnezyumun alüminyuma ilavesi, deniz suyu korozyonuna karşı yüksek mukavemet, çekme ve yorulma mukavemetlerinin ıslahı da dâhil olmak üzere arzu edilen birçok özellikleri kazandırır. Alüminyum-magnezyum alaşımları içinde 4 tanesi en fazla kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla %2, %3,5, %5 ve %7 mertebesinde magnezyum ile birlikte az miktarlarda manganez ve krom ihtiva eden alaşımlardır. Mukavemet, 155 N/mm<sup>2</sup>'den (%2 nispetinde magnezyum ihtiva eden tavlanmış alaşımda) 365 N/mm<sup>2</sup>'ye (%7'lik yumuşak alaşımda) kadar değişir. Bu alaşımlar işlem sırasında oldukça çabuk sertleşirler. Bu nedenle, yüksek magnezyum içeren alüminyum alaşımları sıcak veya soğuk olarak işlemek nispeten güçtür (Tulgar, 1987).

### **2.3.4. Alüminyum-silisyum-magnezyum alaşımları (6xxx Serisi)**

Düralümin tipi alaşımlarda elde edilebilen maksimum mekanik mukavemetin lüzumsuz olduğu hallerde, ısıtılabilir ve ısıtılabilen diğer bir alaşım kullanılabilir. Bu alaşımda sertleşme, Mg<sub>2</sub>Si metaller arası bileşiğinin sıcaklık ile değişen çözünürlüğünden ileri gelmektedir. En çok kullanılan bu tip alaşımlardan ikisi, yaklaşık olarak %0.5 nispetinde magnezyum ile birlikte nispeten daha büyük miktarda (%0.5-1) silisyum ihtiva ederler. Bu alaşımlar kararlı olmaları ve ergitme ısıtılma işlemi (solution heat treated) şartlarında çok iyi şekillenebilmeleri ile karakterize edilirler. Şekillendirme işlemi su vermeden sonra malzeme üzerinde yürütülebilir ve gerekli mukavemet, malzemeyi bilahare 160–180 °C'de çökelme ısıtılma işlemine tabii tutmak suretiyle temin edilir. Alaşımlar, ilave edilen elementlerin oranı nispetinde küçük olduğundan, ticari bakımdan saf olan alüminyumun arzu edilen özelliklerinden çoğuna sahip olurlar. Bu alaşımların korozyona karşı göstermiş oldukları direnç saf alüminyumunkinden daha azdır, mukavemetleri 250 ila 400 N/mm<sup>2</sup> arasında değişir (Tulgar,1987).

### **2.3.5. Alüminyum-çinko alaşımları (7xxx Serisi)**

Bu alaşımlar bütün alüminyum alaşımları içinde en mukavemetli olanlarıdır ve ikinci dünya savaşı esnasında hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere

geliştirilmiştir. Bileşim bakımından %8'e kadar çinko, %4 magnezyum, %3 bakır ve küçük miktarlarda krom, titan manganez veya nikel ihtiva ederler. Bu alaşımlar imal güçlükleri arz ederler ve şekillendirme işlemi, ergitme ısı işleminden hemen sonra yapılmalıdır. Bunu çökelme ısı işlemi takip eder (Tulgar, 1987).

## 2.4. Isıl İşlem ve Özellikleri

Isıl işlem, genel olarak mekanik ve fiziksel özellikleri değiştirmek amacıyla malzemelere uygulanan ısıtma ve soğutma işlemlerini kapsar. Bu ısıtma ve soğutma işlemleri temel olarak tavlama, çözeltiye alma, yaşlandırma işlemleridir. Alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenen özelliklerine göre uygulanılacak ısı işlem belirlenir.

Alüminyum alaşımlarında uygulanan işlemler genellikle yaşlandırma işlemine göre değerlendirilmekte ve sadece mekanik özellikler için değil elektriksel iletkenlik ve korozyon özelliklerini de belirleyici rol oynamaktadır.

Daha önce sınıflandırılması yapılan alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemi uygulanılabilirliği çizelge 2.2'de verilmiştir.

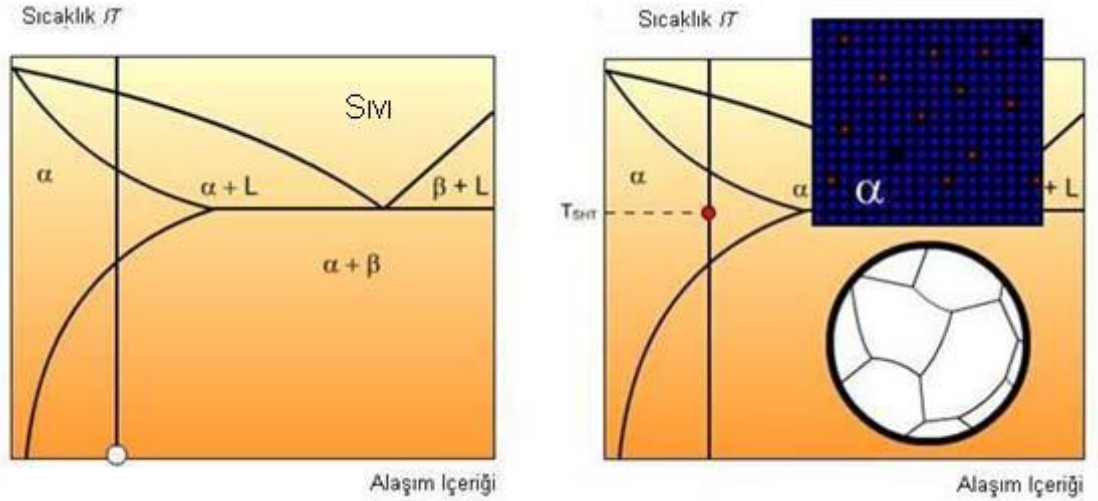
**Çizelge 2.2.** Alüminyum alaşımlarının yaşlandırma uygunluğu

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi	Isıl İşlem
1xxx	Alaşımlandırılmamış Alüminyum (% 99,0 veya daha yüksek safiyet)	Olmaz
2xxx	Bakır	Olur
3xxx	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır	Bazıları olur
4xxx	Silisyum	Olmaz
5xxx	Magnezyum	Olmaz
6xxx	Alüminyum, Magnezyum, Silisyum	Olur
7xxx	Çinko	Olur
8xxx	Lityum	Olur
9xxx	Kullanılmıyor	-



### 2.4.1. Çözeltiye alma işlemi

Çözeltiye alma işleminin amacı, tek fazlı katı çözelti elde etmektir. İlk sıcaklıkta  $\beta$  ve  $\alpha$  fazı denge halinde değildir. Alaşım solvüs eğrisinin üzerindeki sıcaklığa çıkarılır ve bu sıcaklıkta  $\beta$  fazı,  $\alpha$  fazı içerisinde tamamen çözününceye kadar işleme tabi tutulur. Yapının tümü tamamen  $\alpha$  fazına dönüştükten sonra ani olarak soğutulur. Çözeltiye alma sıcaklığı alaşımın ergimesine sebep olmayacak şekilde seçilmelidir. Alüminyumun ergime sıcaklığının  $560\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarında olmasından ötürü ısıtılma işlem sıcaklığı  $525 - 545\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında olmalıdır. Bu sıcaklık şekil 4.2'de  $T_{\text{SHT}}$  ile ifade edilmektedir.  $T_{\text{SHT}}$  sıcaklığında bütün bileşenler katı çözeltide tek bir faz halindedirler



Şekil 2.1. Çözeltiye alma işlemi

### 2.4.2. Su verme işlemi

Alüminyum alaşımlarında su verme işlemi çökelme yaşanması ısıtılma işleminin ikinci basamağıdır. Amaç alaşımın çözeltiye alma sıcaklığından hızlı bir şekilde soğutulmasıdır. Eğer alaşım kendiliğinden soğumaya bırakılırsa,  $\beta$  fazı çekirdeklenerek denge halinde bir  $\alpha+\beta$  fazı oluşturmak için heterojen olarak çöker. Ani soğuma  $\alpha$  içerisindeki  $\beta$  fazının çökmesine imkân vermez ve bu nedenle  $\alpha$  fazı artık denge halinden daha fazla katı (aşırı doymuş) içermektedir.

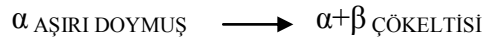
Su verme işleminde parçalar genellikle soğuk suya daldırılır. Bu durumda dövme ve döküm parçaların su verilmesi hariç su verme işleminden sonra suyun sıcaklığının 38 °C'nin üzerine çıkmaması için önlem alınır. Suda su verme halinde soğuma hızı, 25 mm kalınlığındaki alüminyum alaşımı plaka için yaklaşık olarak 200 °C/sn'dir. (Yaman, 2004)

Soğuk su ile ani soğutma ince ve kalın bölgeleri bulunan parçalarda deformasyona neden olur. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliği yüksek olduğundan parçaların ince kısımlarında ısı kaybı fazladır ve bu nedenle parçaların ince ve kalın kısımlarında meydana gelen sıcaklık gradyanı parçanın deformasyonuna neden olur (Yaman, 2004).

### 2.4.3. Yaşlandırma işlemi

Bu aşama yaşlandırma ısı işlemi üçüncü ve son aşamasıdır. İnce dağıtılmış çökeltilerin oluşabilmesi için çözeltiye alma ısı işlemi uygulanmış ve su verilmiş alaşım numunesini yaşlandırmak gerekir. Oluşan ince ve dağılmış çökelti, biçim değiştirme sırasında dislokasyonların ya çökeltileri kesmek ya da etrafından dolanmak zorunda bırakarak hareketini engeller. Dislokasyon hareketlerinin biçim değiştirme sırasında engellenmiş olması da dayanımı artırır (Smith, 2001).

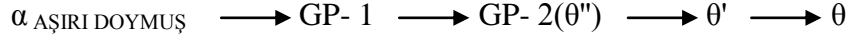
Aşırı doymuş katı çözelti içerisinde çözünmüş halde bulunan  $\beta$  fazı, denklem 3.1'de gösterildiği gibi sıcaklık ve zamanın etkisi ile kararlı bir faz olarak çökler.



Bu dönüşüm için, önce  $\beta$  fazının çekirdeklenmesi ve sonra difüzyon ile büyümesi gereklidir. Alaşım eğer ani soğutmadan sonra oda sıcaklığında tutulursa, difüzyon hızı çok yavaş olduğundan  $\beta$  fazı genellikle oluşmaz veya çok uzun sürede oluşur (Geçkinli, 2002). Çökme eğer oda sıcaklığında meydana geliyorsa yaşlanma işlemi “doğal”, eğer alaşım yayınma hızını arttırmak için oda sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa tabi tutuluyorsa “yapay” yaşlandırma olarak adlandırılır.

Çökelti fazının oluşumunun anlaşılabilmesi için, 1938'de Guinier ve Preston isimli iki araştırmacı tarafından keşfedilen ve isimlerinin baş harfleri ile

adlandırılan GP bölgeleri incelenmelidir. Kompleks reaksiyonlar olan alüminyum alaşımlarında yer alan çökeltme reaksiyonları ve GP bölgeleri dönüşümleri teorik olarak denklem 3.2'deki gibi ifade edilebilir.



Bu teorik dönüşüm formülüne göre, yaşlanma sırasında aşırı doymuş katı çözültiden çökelti fazının oluşum aşamaları özetlenecek olursa sırasıyla;

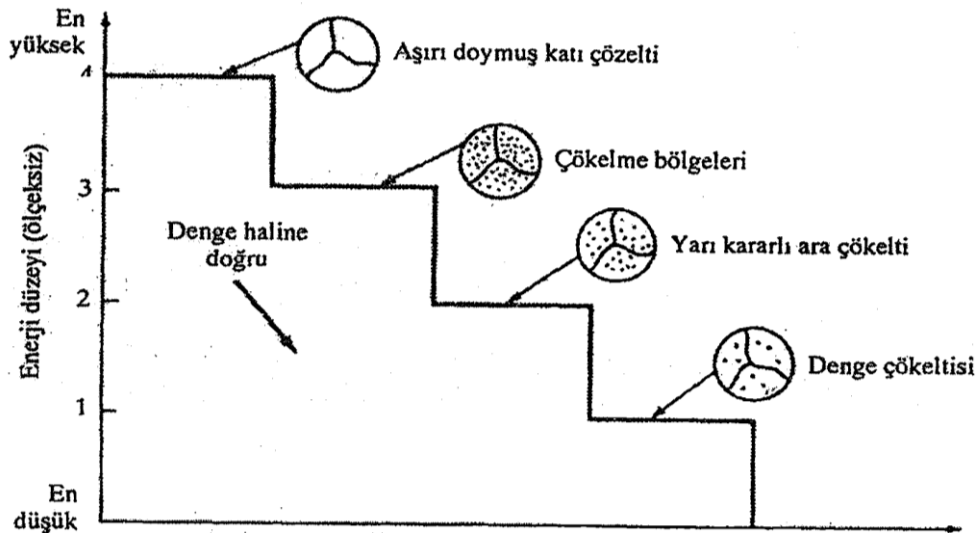
Çekirdek  $\longrightarrow$  Ara Çökelti  $\longrightarrow$  Kararlı Çökelti  
şeklindedir. Çökelti oluşumunun ara kademeleri temel olarak alaşımın bileşimine, su verme ve yaşlandırma koşullarına bağlıdır.

Birçok kristal katıda birçok kafes noktası atomlarla dolu değildir, bu boş kafes noktaları boşluklar olarak adlandırılır. Atom boşlukları, GP bölgesinin oluşumunda önemli role sahiptirler. GP bölgesinin oluşumu homojen çekirdeklenme işlemi ile kristal kafesinde meydana gelir. Yapılan araştırmalar, bu işlem için kritik bir boşluk konsantrasyonunun gerektiğini ve çökeltmenin çekirdeklenme modelinin içerdiği boşlukta, çözünen atom demetlerinin, çözünme sıcaklığı ve soğutma oranının etkileri ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Boşluk konsantrasyonu çözünme sıcaklığı ile artar ve hızlı soğuma ile oda sıcaklığına kadar korunur. Soğuma yavaşsa oda sıcaklığına ininceye kadar difüzyonla boşluk konsantrasyonunda azalma olur (Yaman, 2002).

Yeni fazın çekirdeklenmesi; tane sınırları, dislokasyonlar ve ara faz sınırları gibi boşluktaki devamsızlıklardan etkilenir. Çünkü bu bölgeler katı çözülti matrisinden daha fazla düzensiz ve daha yüksek enerjiye sahiptir, hem geçiş hem de denge çökeltileri olarak çekirdeklenirler. Soğutma süresince bu kontrolsüz durumda çökelen çözünenler, oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıkta, sonuç elde edilmek istenen çökeltme için uygun değildir. Bu nedenle soğutma süresince meydana gelen çökeltme, özelliklerin gelişimini etkiler. İşlemin ilk aşamalarında yüksek sıcaklık çökeltmesiyle meydana gelen çökeltmenin ince dağıtılmış taneler üzerine etkisi, soğutma oranına göre değişir. Şayet yeterince hızlı bir soğutma yapılmazsa büyüme olabilir (Yaman, 2002).

Aşırı doymuş katı çözülti durumundaki alaşım, yüksek enerjili konumdadır. Bu enerji durumu nispeten kararsızdır ve istemli bozulmayla daha

düşük enerji konumundaki yarı kararlı duruma veya denge fazlarına geçmek isteyecektir. GP zonlarının oluşma nedeni de budur. Yarı kararlı fazların veya denge fazlarının çökmesi için itici güç, bu fazların oluşması sonucu, sistemin enerjisinin azalmasıdır. Şekildeki A-B alaşımında bölgeler A atomlarının çoğunlukla olduğu ana faz içinde B atomlarıyla zengin bölgeler olacaktır (Yaman, 2002).



**Şekil 2.2.** Alaşımında aşırı doymuş  $\alpha$  çözeltisinin yaşlanmasıyla oluşan bozunma ürünleri (Smith, 2001)

## 2.5. Alüminyum Alaşımına Uygulanan Temel İşlemlerin Simgesel Olarak Gösterimi

Alaşımın ısı işlem durumu, kimyasal kompozisyon sembolünü izleyen birtakım sembollerle ifade edilir. Bu sembol, ulusal adlandırmaya göre farklılıkları olan, harfler ve rakamlarla belirlenir.

Aşağıdaki semboller Alüminyum Birliği (AA) tarafından hazırlanmıştır.

### **2.5.1. F Üretim**

Bu sembol, soğuk işlem oranı ve ısıtma işlem kontrolü olmaksızın soğuk işleme, sıcak işlem ve döküm süreci ile şekillendirilmiş ürünleri kapsar. Yani fabrika imalat şartlarını gösterir.

### **2.5.2. O Tavlama**

Yalnız hadde ürünleri için geçerli olup, bu ürünlerin en yumuşak temperlerine tekabül eder. İşlenmiş ürünlere ve döküm ürünlerine boyutsal kararlılığı sağlamak için uygulanır. Mukavemet düşüktür.

### **2.5.3. H Mukavemet kazandırma**

Soğuk işlem ile mukavemeti artırılabilen alaşımları ve hafif tavlama işlemlerinin izlendiği durumları belirtir. Isıtma işlemle ya da ısıtma işlem olmaksızın mukavemeti artırılmış ürünleri içerir. Genellikle yassı ürünler için kullanılır (levha/sac). ‘H’ harfinden sonra ana işlemleri ifade eden art arda gelen rakamlar yer alır.

H1: Sadece sertleştirme işlemi yapılmıştır. Isıtma işlem yapılmaksızın istenilen mukavemetin elde edildiği ürünleri içerir. H1’den sonra gelen rakam sertleştirme işleminin derecesini ifade eder. 1 en yumuşak, 8 en sert durumu belirler. Buna göre 2 çeyrek sert, 4 yarı sert, 6 üççeyrek sert, 8 en sert durumdur (Yılmaz,2002).

H2: Sertleştirme işlemi yapılmış ve kısmen tavlama yapılmıştır. Son hali istenilenden daha fazla sertleştirilmiş olan ve daha sonra tavlama işleminden sonraki sertlik derecesini belirler.

H3: Sertleştirme işlemi yapılmış ve stabilize edilmiştir. Sertleştirme işlemi yapılmış ve mekanik özellikleri düşük sıcaklık işlemi ile kararlılık kazanmış ürünleri kapsar. H3’ten sonraki rakamlar kararlılık kazandırma işleminden sonraki mukavemet derecesini ifade eder (Boyer ve Gall 1992, Hatch 1984).

### **2.5.4. W Su verme**

Çözeltiye alma işleminden sonra oda sıcaklığında soğutulan ve yaşlandırılan alaşımların kararsız (kalıcı olmayan) halidir. Bu sembolün ardından

doğal yaşlandırma süresini içeren rakam gelir. Örneğin; 2246-W-8 simgesi 8 saatlik yaşlanma sonucu bu alaşımın taşıyacağı özellikleri gösterir.

### **2.5.5. T Isıl işlem**

T' harfinden sonra 1'den 10'a kadar numaralar yer alır.

T1: Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış kararlı hal. Döküm ya da ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden sonra soğuk işleme yapılamayan ve mekanik özellikleri oda sıcaklığında yaşlandırma işlemiyle kararlılık kazandırılmış ürünleri kapsar.

T2: Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden soğutulmuş, soğuk işlenmiş, doğal yaşlandırılmış kararlı halidir. Ekstrüzyon işlemi gibi bir sıcak işlemden sonra yapılan soğutma işleminin ardından, mukavemeti sağlamak için soğuk işlenen ve oda sıcaklığı yaşlandırılmasıyla mekanik özellikler açısından kararlılık kazandırılan ürünleri içerir.

T3: Kararlı hal için, çözelti ısıl işlemi uygulanmış, soğuk işlem yapılmış ve doğal yaşlandırılmış sistemlerdir. Çözelti ısıl işleminden sonra mukavemeti sağlamak için soğuk işlenmiş ve oda sıcaklığında yaşlandırma ile mekanik özellikler açısından kararlılığı sağlanmış ürünleri içerir.

T4: Kararlılık sağlanması için, çözelti ısıl işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış sistemdir. Çözelti ısıl işleminden sonra soğuk işlenmiş ve oda sıcaklığı yaşlandırılmasıyla mekanik özellikler açısından kararlılık kazandırılmış ürünleri kapsar.

T5: Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden sonra soğutulan ve yapay yaşlandırılan sistemdir. Döküm ya da ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden sonra çözeltiye alınmadan ve çökelti ısıl işlemi mekanik özellikleri ve/veya boyutsal kararlılığı sağlanan ürünlerdir.

T6: Çözelti ısıl işlemi ve yapay yaşlandırılmış sistemdir. Çözelti ısıl işleminden sonra soğuk işlem yapılmamış ve çökelti ısıl işlemiyle mekanik özellikleri ve/veya boyutsal kararlılığı sağlanan ürünleri içerir.

T7: Çözelti ısıl işlemi ve kararlılık işlemi yapılmış sistemlerdir. Yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış, aşırı yaşlandırılmış ürünleri içerir.

T8: Çözelti ısıl işlemi, soğuk çalışma ve yapay yaşlandırılma işlemleri yapılmış sistemlerdir. Çözelti ısıl işleminden sonra mukavemet sağlamak için

soğuk işlem yapılmış ve çözelti ısıl işlemi ile mekanik özellikleri ve/veya boyutsal kararlılığı sağlanmış sistemlerdir.

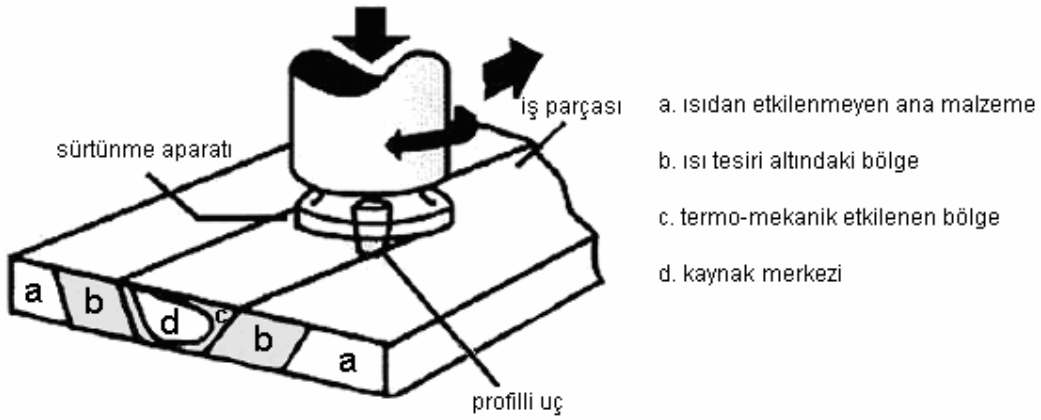
T9: Çözelti ısıl işlemi, yapay yaşlandırma ve soğuk işlem yapılmış sistemlerdir. Yaşlandırma ısıl işleminden sonra mukavemet sağlamak için soğuk işlem yapılmış ürünleri kapsar.

T10: Yüksek sıcaklık şekillendirme işleminden sonra soğutulan, soğuk işlem yapılan ve yapay yaşlandırılan sistemlerdir. Ekstrüzyon işlemi gibi sıcak çalışma işleminden soğutulduktan sonra mukavemet sağlamak için soğuk işlem yapılan ve çökelti ısıl işlemi ile mekanik özellikleri ve/veya boyutsal kararlılığı sağlanan ürünleri içerir (Hatch 1984 ve Mazzolani 1985).

## 2.6. Sürtünme Karıştırma Yöntemi

### 2.6.1. Sürtünme karıştırma yönteminin temel prensibi

Aşağıdaki şekilde sürtünme karıştırma metodunun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.3. Sürtünme karıştırma yönteminin prensibi (Şık, 2003).

Sürtünme karıştırma yönteminin uygulanabilmesi için, yüzeyi bu yöntem ile işlenecek parçanın yana, ileriye ve yukarıya hareket etmesini önlemek gerekir. Bu nedenle işlenecek parça bir destek parçasının üzerine hareket etmeyecek şekilde bağlanmalı ve sabitlenmelidir. Bu sabitleme işlemi çeşitli hidrolik baskı pabuçları kullanılarak da yapılabilir. Geniş silindirik omuzlu, delme yapabilecek şekilde bir pim (karıştırıcı uç), freze tezgâhı ekipmanları ve tutucular

kullanılarak yüksek devirde döndürülerek işlenecek parçaya daldırılır ve işlenmek istenen yüzey uzunluğu kadar ilerletilir. Pim malzemelere temas ettiğinde sürtünme kaynağına benzer bir durum oluşarak temas noktasında ısı, sürtünmenin etkisiyle hızla artar ve malzemenin plastik değişimine neden olur. Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan sürtünme ısı, gömülmüş olan karıştırıcının çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği temas yüzeyinde yumuşamış bir metal oluşturur. İşlenecek parçanın veya karıştırıcının ileriye ve geriye hareket etmesi halinde yumuşamış olan metal karıştırıcı ucun ön yüzü tarafından kaldırılır ve karıştırıcı ucun mekaniksel dönüşü yönünde ve bastırma hareketi ile karıştırıcı ucun arkasından dönerek sürüklenir. Sonuç olarak karıştırıcı uç metali ısıtarak yumuşak hale çevirmekte, yumuşak metali karıştırarak işlemektedir. Tüm bunlar alaşımın ergime noktası altındaki bir sıcaklıkta meydana gelir (Özdemir, 2003).

### **2.6.2. İşlem karakteristiklerini etkileyen faktörler**

Belirli bir uç geometrisi kullanılarak yapılan sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen birleştirme karakteristiklerini belirleyen üç faktör vardır. Bunlar sırasıyla karıştırıcı ucun devir hızı, karıştırıcı ucun ilerleme hızı ve karıştırıcı ucun batma derinliğidir. Bunlardan ilk ikisi rahatlıkla kontrol edilebilir. Fakat ucun batma derinliği kritik bir faktör olup, kontrol edilmesi güçtür. Batma derinliğinin kaynak süresince sabit kalması gerekmektedir. Fakat özellikle uzun levhaların işlenmesi işlemlerinde yüzeylerin çok düzgün olmaması durumunda bunu sağlamak mümkün olmayabilir. Bu nedenle kaynak öncesi yüzey hazırlama oldukça kritik olup bu hususta özen gösterilmesi gerekmektedir (Çam, 2002).

### **2.6.3. Sürtünme karıştırma yönteminde metalürjik yapı**

Sürtünme karıştırma yönteminde yüksek ısı olmadığından dolayı, ısıdan etkilenen bölge oldukça dardır. Isıdan etkilenmeyen ana metalden, ısıdan en fazla etkilenen bölgeye doğru bir sıralama yapacak olursak oluşan bölgeler; ana malzeme, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB), termomekanik etkilenen bölge (TEB), dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TKB)'dir.

**Ana Malzeme:** Karıştırma esnasında oluşan, ısıdan etkilenmeyen bölgedir. Bu bölgede plastik deformasyon meydana gelmez ve malzemenin mikro

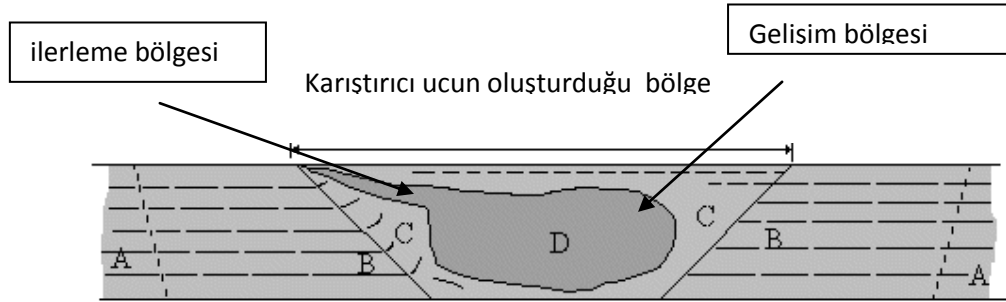


yapı ve özelliklerinde değişim olmaz.

**ITAB:** Ana malzemeye komşu olan bölgedir. Bu bölgedeki malzeme karıştırma esnasında meydana gelen ısıdan etkilenir ve malzemenin yapı ve özellikleri değişir. Bu bölgede plastik deformasyon meydana gelmez.

**TEB:** Hem ısıdan etkilenen hem de plastik deformasyonun olduğu ITAB'ye komşu olan bölgedir. Bu bölgede karıştırmanın etkisiyle hem plastik deformasyon meydana gelmekte hem de oluşan ısının tesiri ile kısmî ince taneli bir yapı meydana gelmektedir. Karıştırma esnasında oluşan ısı bu bölgenin mikro yapı ve mekanik özelliklerini değiştirir. Bu bölgede yeniden kristalleşme görülmez.

**DKB:** Aşırı plastik deformasyonun olduğu ve oluşan ısı ile mikro yapı ve özelliklerinin değiştii bölgedir. Alüminyum alaşımlarında bu bölgede yeniden kristalleşme olur. Çok dar aralıklarla birbirini takip eden halkaların dizilişii şeklindeki bir kesite sahiptir.



**Şekil 2.4** Sürtünme karıştırma yapılmış bir alaşımın kesitinin şematik görünümü  
A: Ana malzeme, B: Isıdan etkilenen bölge (ITAB), C: Termomekanik etkilenen bölge (TEB), D: Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB). (Özdemir, 2006).

#### 2.6.4. Karıştırıcı uç ve özellikleri

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde kullanılan karıştırıcı ucun iki bölgesi vardır. Birincisi karıştırma işleminin yapıldığı uç kısmı, ikincisi ise bu uç kısmın üstünde bulunan geniş yüzey çıkıntısıdır. Sürtünme karıştırma yöntemini etkileyen en önemli faktör karıştırıcı ucun dizaynı ve diş formudur. Karıştırıcı ucun dizaynı metal akış yolunu kolaylaştıracak şekilde yapılmalıdır. Karıştırıcı uç genellikle helisel diş formuna sahip olup uç profil kesiti değişik formlarda tasarlanabilmektedir. Örneğin oval, üç kenarlı, iki kenarlı ve dairesel helisel diş profiline sahip karıştırıcı uçlar tasarlanmıştır. Karıştırıcı ucun üst kısmındaki geniş yüzey çıkıntısının şekli karıştırıcı uç ile parçayı en iyi sıkıştırabilecek şekilde seçilmelidir. Bu geniş yüzey çıkıntısı iş parçası ile öyle temas etmeli ki karıştırma sonucu hamurumsu hale gelen ve dışarıya doğru çıkmak isteyen metalin kaçışını önleyebilsin. Karıştırıcı uç bu işlem sırasında ergimemeli ve aşınmamalıdır. Bu karıştırıcı uç birleştirme esnasında deforme olmamalı ve diş formu bozulmamalıdır. Dolayısıyla karıştırıcı uç, yüksek sıcaklıklarda dinamik ve statik özelliklere sahip, aşınmaya dayanıklı çelik malzemelerden yapılmalıdır (Özdemir, 2003).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Yüksek lisans tezi kapsamında deneysel çalışmalarda Etial-145 ve Etial-195 alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Etial 145 ve Etial 195'i oluşturan elementlerin kimyasal bileşim limitleri (% ağırlık) çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Etial 145 alaşımını oluşturan elementlerin kimyasal bileşim limitleri (% ağırlık)

<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>
0.60	11.00-13.00	0.80-1.50	0.20	0.80-1.40
<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	<b>Ti</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>
0.20	0.80-1.30	0.10	0.10	0.05

**Çizelge 3.2.** Etial 195 alaşımını oluşturan elementlerin kimyasal bileşim limitleri (% ağırlık)

<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Mg</b>
0.6	17.00-19.00	0.80-1.5	0.20	0.80-1.30
<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	<b>Ti</b>	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>
0.20	0.80-1.30	0.10	0.10	0.05

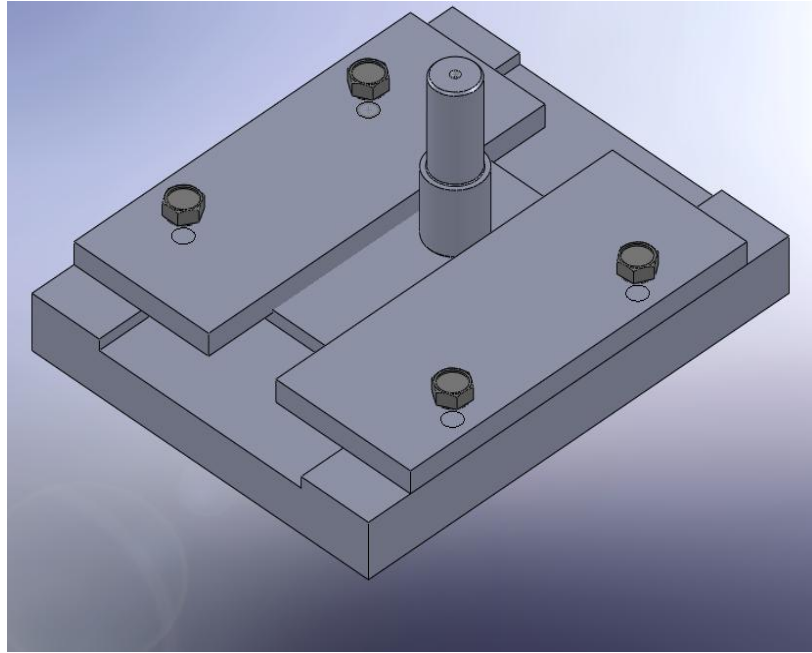
## 3.2. Metot

### 3.2.1. Döküm yöntemi

Bütün numuneler için aynı döküm yöntemi uygulanmıştır. Elektrikli direnç fırınının sıcaklığı 740 °C' ye ayarlanmıştır. 740 °C'de malzemeler fırında eritildikten sonra yarım saat daha fırında bekletilmiştir. Malzemeler fırından çıkarıldıktan sonra hemen dikdörtgen şeklindeki 60x100x6 mm ölçüsündeki paslanmaz çelik kalıplara dökülmüştür ve havada soğutulmaya bırakılmıştır. Her döküm 200 g'dır.

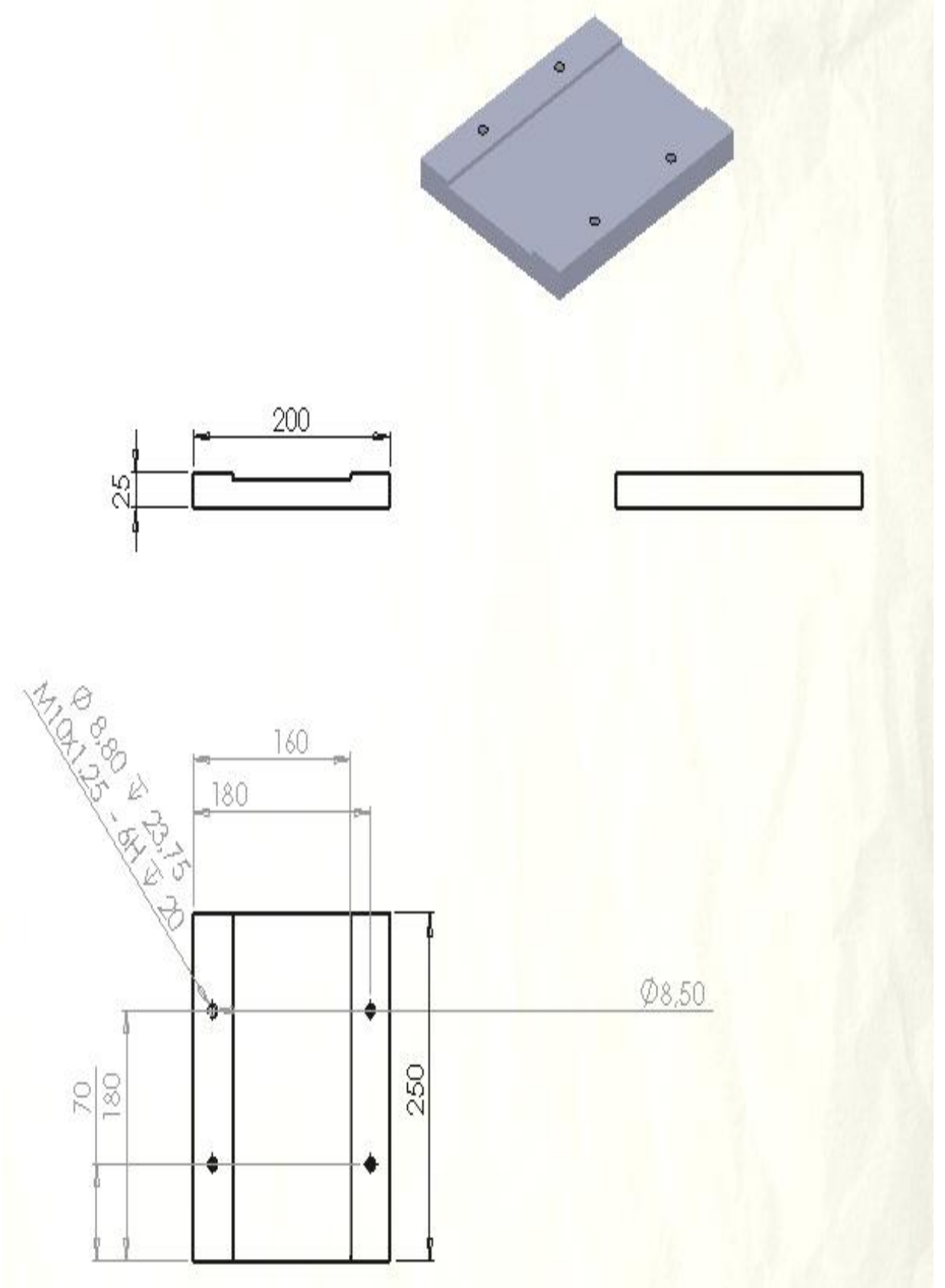
### 3.2.2. Döküm sonrası numunelerin yüzeylerinin sürtünme karıştırma yöntemi ile işlenmesi

Dikdörtgen şeklindeki dökümler frezeye bağlanmak üzere hazırlanılmıştır. Bunun için döküm yüzeyleri zımparalama yöntemi ile düzgünleştirilmiştir. Bu işlemin yapılma nedeni dökümün düzgün bir şekilde freze bağlama aparatına yerleştirilmesinin sağlanmasıdır.

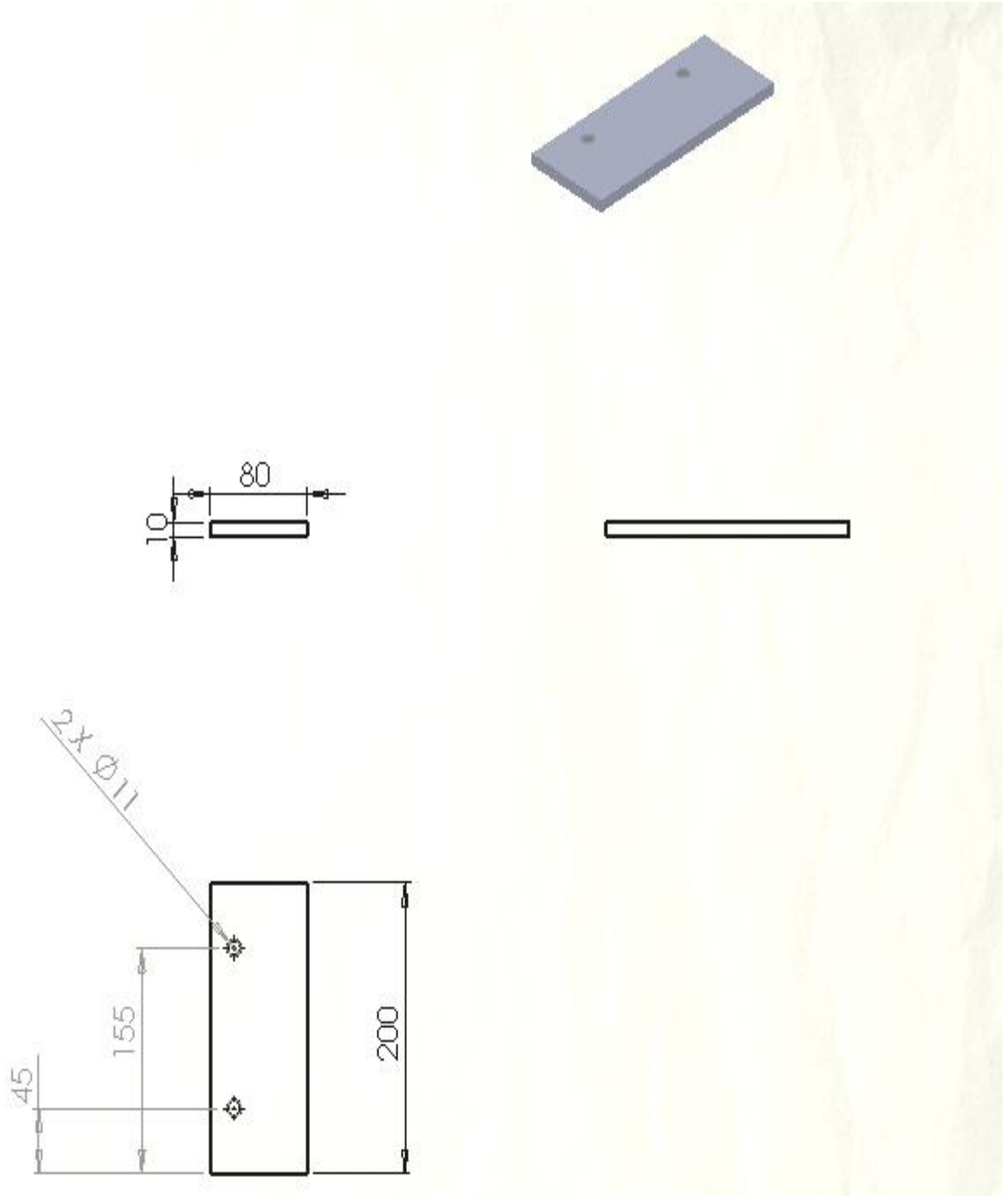


**Şekil 3.1.** Freze ucu ve bağlama kalıbı

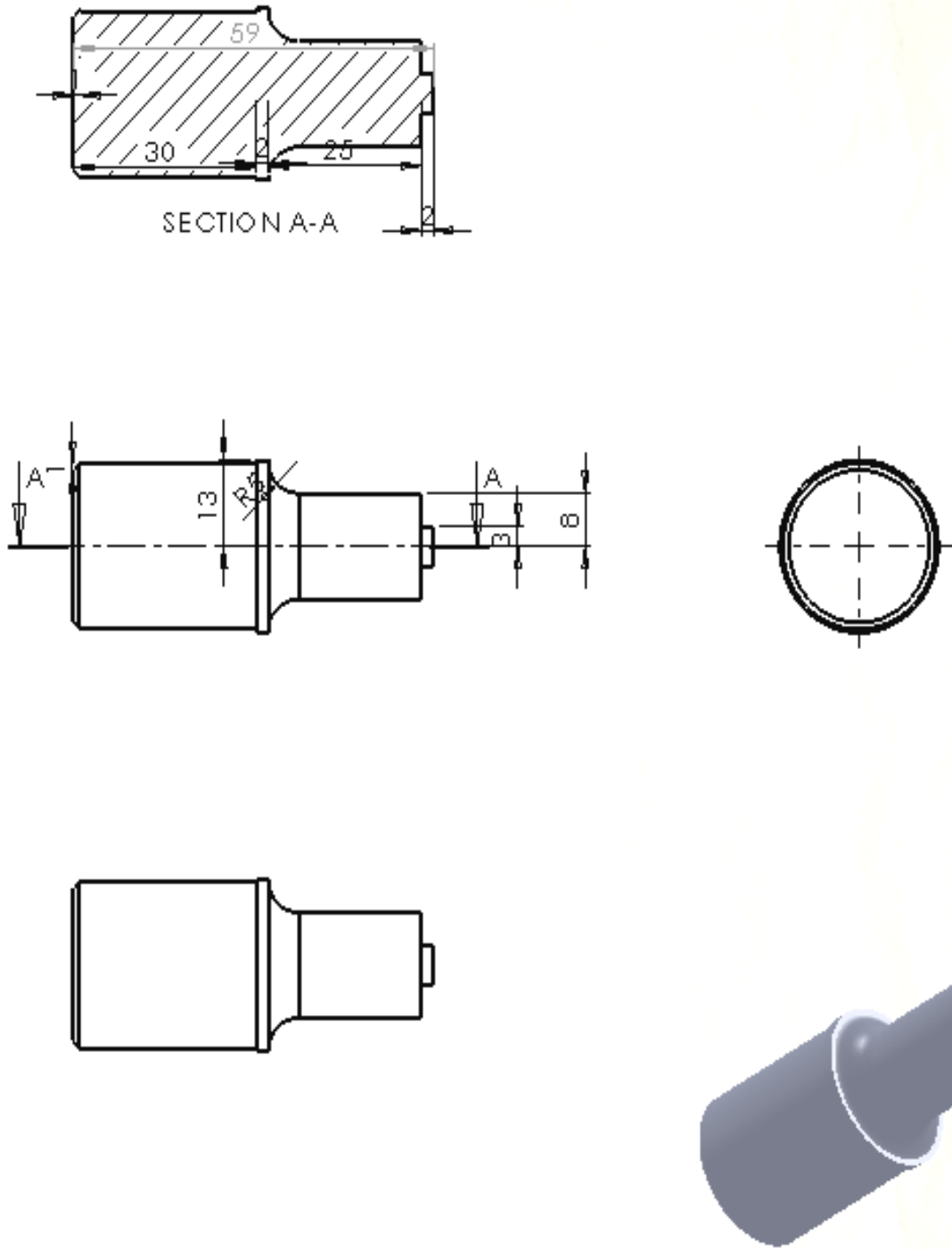
Döküm sonrasında numuneler şekil 3.1'de görüldüğü gibi frezeye, hareket etmeyecek şekilde bağlanmıştır.



Şekil 3.2. Bağlama aparatı tablası teknik resmi, kesit ve üç boyutlu görünüşü



**Şekil 3.3.** Baskı plakası teknik resmi, kesit ve üç boyutlu görünüşü



Şekil 3.4. Karıştırıcı uç teknik resmi, kesit ve üç boyutlu görünüşü

Sürtünme karıştırma yönteminin uygulanması esnasında sırası ile freze ve kesici uç için kullanılan veriler aşağıdaki gibidir;

**Frezenin ilerleme hızı:** 16 mm/dak

**Frezenin dönme hızı:** 1400 dev/dak

**Kesici ucunun malzeme içine batma derinliği:** 2.2 mm

Dökümlere uygulanan sürtünme karıştırma yöntemi ile yapılan deneyler;

- 1) Tek paso ısıl işlemsiz
- 2) Tek paso ısıl işlemlili
- 3) Çift paso aynı yön ısıl işlemsiz
- 4) Çift paso aynı yön ısıl işlemlili
- 5) Çift paso zıt yön ısıl işlemsiz
- 6) Çift paso zıt yön ısıl işlemlili

### **3.2.3. Sürtünme karıştırma yöntemi işlemi sonrası malzemelerin yüzeylerinin hazırlanılması**

Dikdörtgen şeklindeki dökümler freze ile yüzeyleri işlendikten sonra dikdörtgenin boyuna doğru malzemeler kesilmiş ve 4,3 cm uzunluğunda frezelenmiş bölgeyi de kapsayan kesitler el testeresi yardımı ile alınmıştır. Her bir dökümden işlenmiş yüzeyi içeren 2 kesit alınmıştır. Bunun nedeni daha sonra bu kesitlerden birine ısıl işlem uygulanacak olması ve böylece ısıl işlem uygulanmış işlenmiş yüzey ile ısıl işlem uygulanmamış işlenmiş yüzey arasındaki farklılıkların tespit edilmek istenmesidir. 2. Kesit ısıl işlem görmeksizin, 3. Kesit ise ısıl işlem gördükten sonra soğuk kalıba alınmıştır(Isıl işlem ile ilgili verilen daha sonra verilecektir) ve daha sonra numunelerin yüzeyleri sırasıyla 120 meş'lik sulu zımparadan başlanmak üzere 2000 meş'lik SiC zımparaya kadar yüzey düzgünlüğü için zımparalanmıştır. Dağlama yapılmadan parlatılma işleminden sonra malzemelerin mikro yapıları incelenmiştir.



### **3.2.4. Uygulanan ısıt işlemler**

Bir önceki bölümde bahsedildiği üzere sürtünme karıştırma yöntemi ile işlenmiş olan dökümlerin yüzeylerinden 2 adet kesit alınmıştır. Bu kesitlerden ısıt işlem uygulanan kesitler ise 2 no'lu kesitlerdir. 2 no'lu kesitler önce 520 °C 'de homojenleştirme tavlaması ısıt işlemine 4 saat süre ile tabi tutulmuştur ve oda sıcaklığındaki suda soğutulmuştur. Daha sonra numunelere 180 °C'de 8 saat olmak üzere yapay yaşlandırma uygulanmıştır.

### **3.2.5. Makro ve mikro sertlik ölçümleri**

Makro sertlik ölçümleri Brinell (HB) ucu ile mikro sertlik ölçümü ise Vickers (HV) sertlik ölçme ucu ile yapılmıştır.

### **3.2.6. Aşınma parametreleri**

Aşınma testinde kullanılan veriler;

Uygulanan Yük: 1N

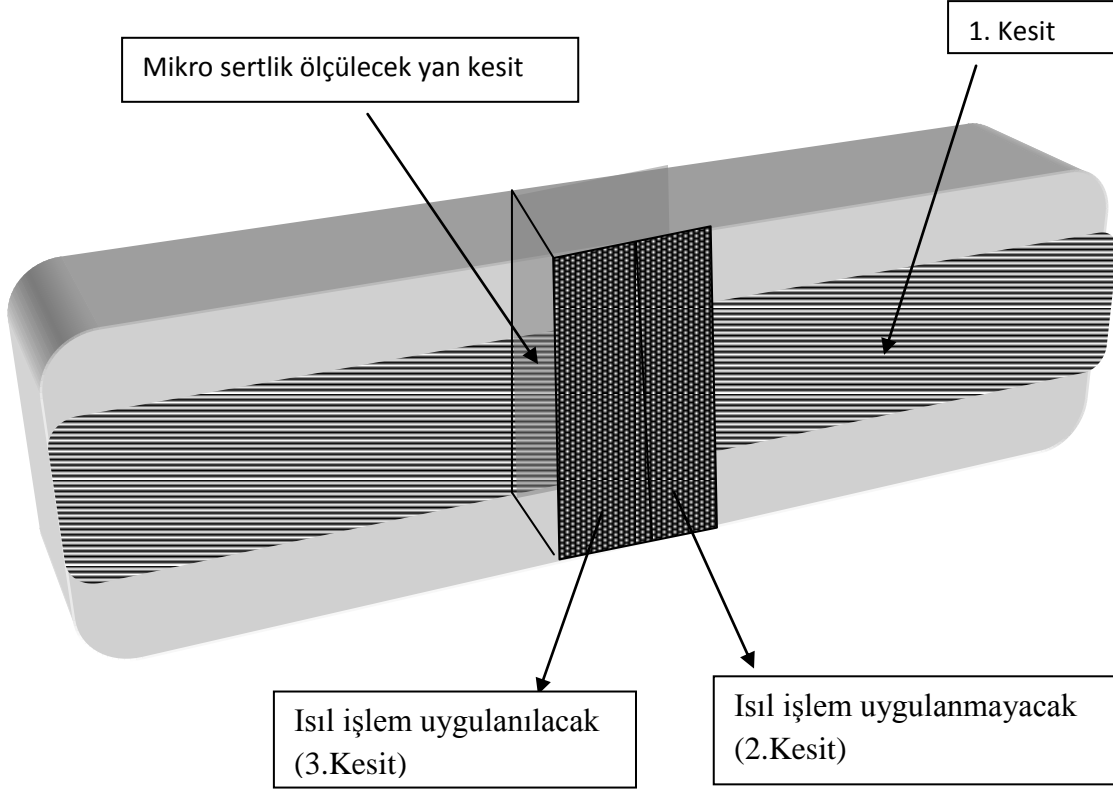
Aşınma cihazının ucunun malzeme yüzeyinde ilerleme Hızı: 5 mm/sn

Aşınma grafikleri ve çizik profilleri bulgular kısmında verilecektir.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. Dökümler ve Sertlik Değerleri

Bütün dökümler için işlenen yüzeyler şekil 4.1’de verilmiştir.

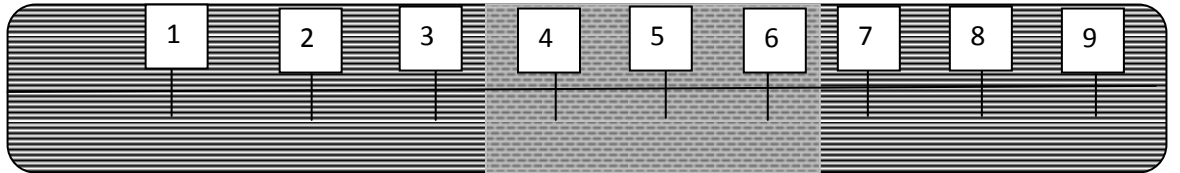


**Şekil 4.1.** Döküm örneklerinin sürtünme karıştırma işleminden sonra incelenmek üzere alınan kesitleri.

#### 4.1.1. Etial 145

##### 4.1.1.1. Tek paso ile işlenmiş yüzeyler

1.Kesitten alınan sertlik değerleri (HB)



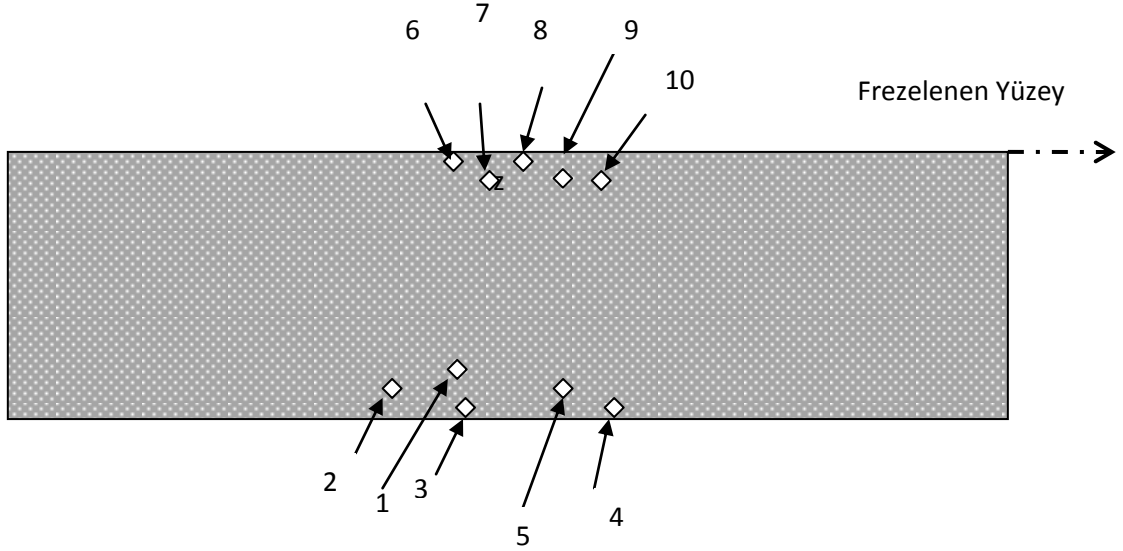
**Şekil 4.2.** 1.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri

Her bölgeden iki ölçüm alınmıştır.

1) 75 -75,8 2)76.2-70,4 3) 73-70,8 4) 77-70,8 5) 86 6) 82 7) 74 -77,4 8) 67.5-70 9) 72,2-76,6

2. ve 3. kesitlerden alınan yan yüzey mikro sertlik değerleri

a) Isıl işlemsiz kesit (2.Kesit)

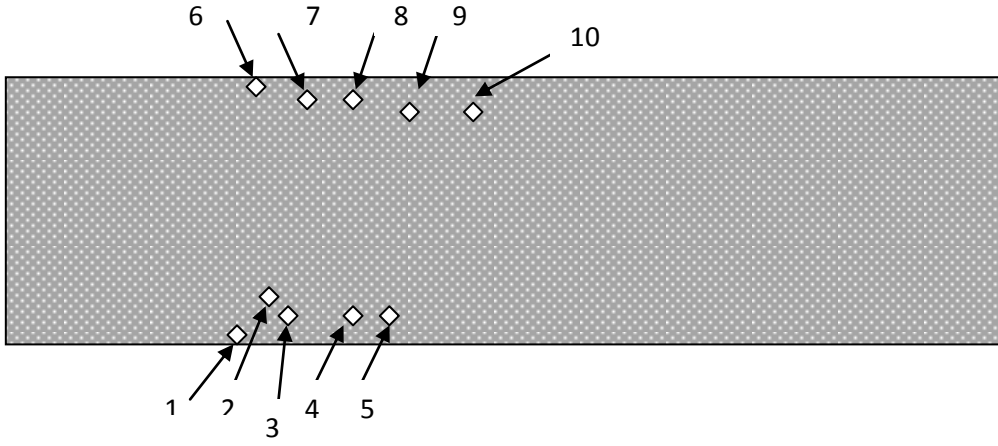


Şekil 4.3. 2.Kesitte (yan yüzey) sertlik ölçüm bölgeleri

Çizelge 4.1. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerleri

Kesit Üzerindeki Numaralar	Numaralara Göre Sertlik Değerleri (HV)
1	61,9
2	52,8
3	61,4
4	55,8
5	52,3
6	87,1
7	85
8	77,8
9	67,9
10	76,7

b) Isıl işlemlı kesıt (3.Kesıt)



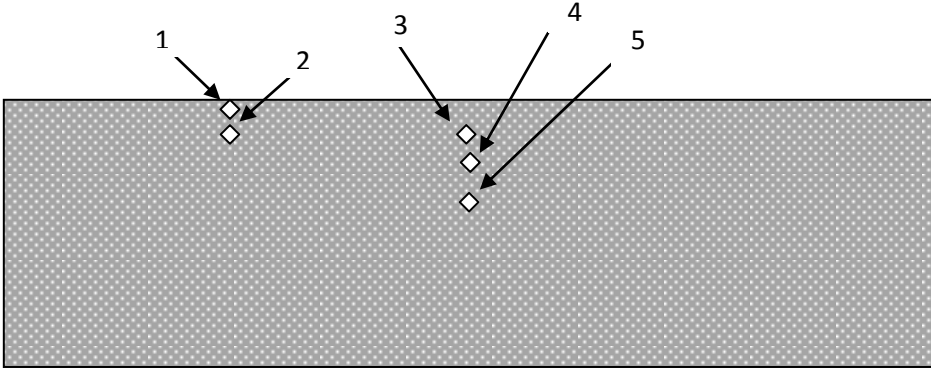
Şekıl 4.4. 3.Kesıtte (yan yüzey) sertlık ölçüm bölgeleri

Çizelge 4.2. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlık değeri

Kesıt Üzerindeki Numaralar	Numaralara Göre Sertlık Değeri (HV)
1	87,6
2	107
3	114,7
4	113,2
5	105,5
6	104,6
7	106,7
8	124,9
9	155,5
10	184,9

#### 4.1.1.2. Çift paso ile işlenmiş yüzeyler

a) Aynı yön ısıl işlemlili



Şekil 4.5. 3.Kesitte (yan yüzey) sertlik ölçüm bölgeleri

Çizelge 4.3. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler

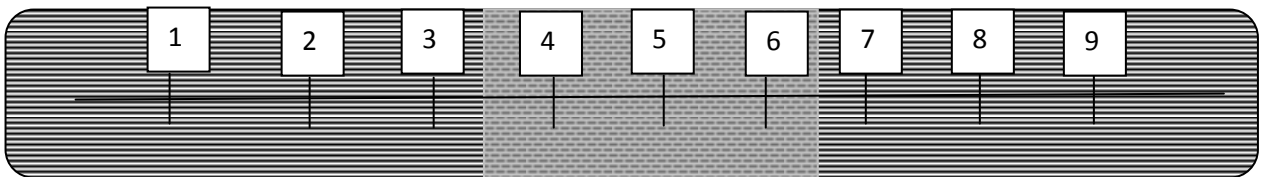
Kesit Üzerindeki Numaralar	Numaralara göre Sertlik Değerleri (HV)
1	106,2
2	105,4
3	106,5
4	103,5
5	129

**Tartışma:** 5 no'lu sertlik değerinin ucun Si kristaline denk gelmesi neden ile bu kadar yüksek olduğu düşünülmektedir.

#### 4.1.2. Etial 195

##### 4.1.2.1. Tek paso ile işlenmiş yüzeyler

1.Kesitten alınan sertlik değerleri (HB)

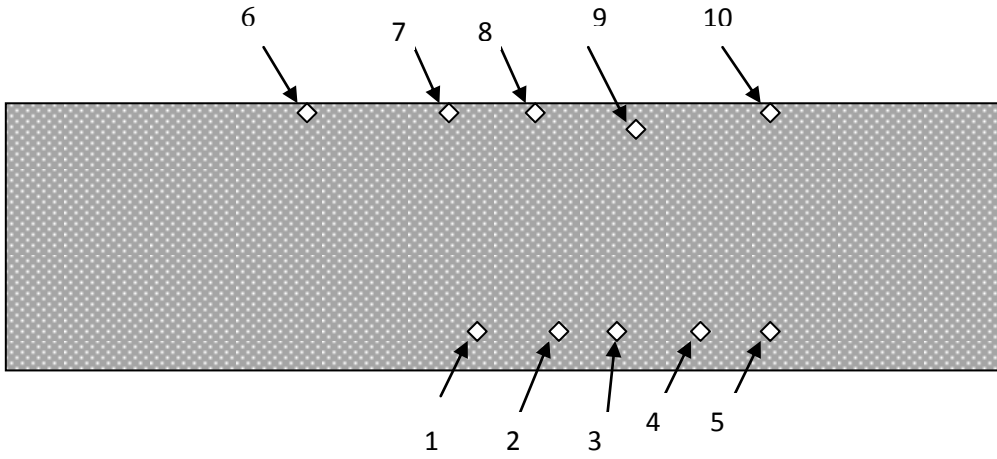


Şekil 4.6 1.Kesitte sertlik ölçüm bölgeleri

1) 74,4-83,6 2) 79,2-84,4 3) 84,4-98,3 4) 86-90 5) 95,7-86,4 6) 88-74,4 7) 78,4 8) 74-80,6 9) 72,6 -86,4

2. ve 3. kesitlerden alınan yan yüzey mikro sertlik değerleri

a) Isıl işlemsiz kesit (2.kesit)

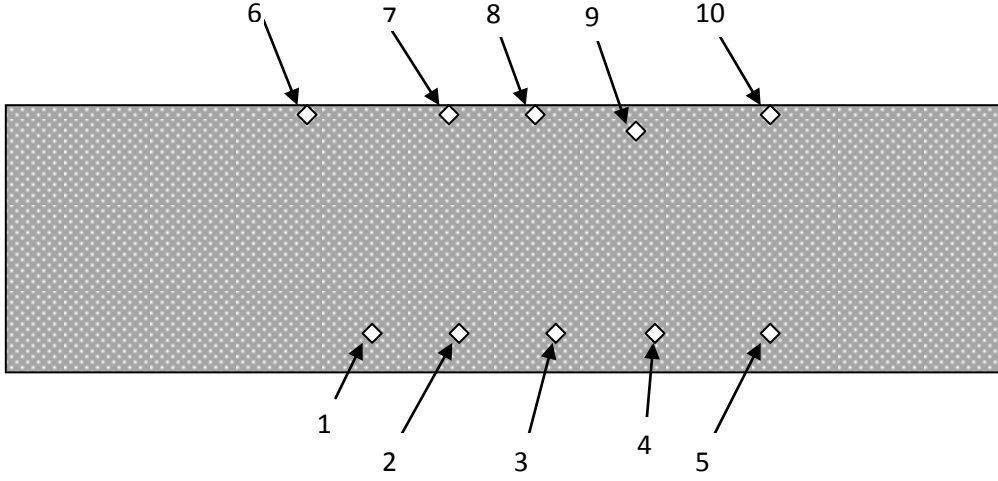


Şekil 4.7. 2.Kesitte (yan yüzey) sertlik ölçüm bölgeleri

Çizelge 4.4. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler

Kesit Üzerindeki Numaralar	Numaralara Göre Sertlik Değerleri (HV)
1	67,2
2	56,8
3	69,6
4	69,6
5	68,9
6	79,6
7	78,9
8	77,2
9	96,5
10	78,6

b) Isıl işlemlili kesit (3.kesit yan yüzey)



Şekil 4.8. 3.Kesitte (yan yüzey) sertlik ölçüm bölgeleri

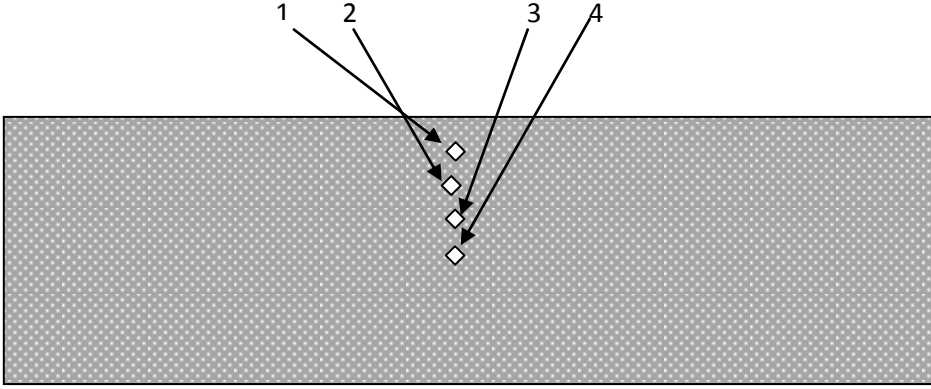
Çizelge 4.5. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler

Kesit Üzerindeki Numaralar	Numaralara göre Sertlik Değerleri (HV)
1	91,8
2	115,8
3	106,2
4	108,4
5	102,6
6	120,4
7	123,1
8	111,3
9	122,4
10	106,8

**Tartışma:** Sertlik değerleri sürtünme karıştırma yapılan yüzeyde artış göstermektedir.(6, 7, 8, 9, ve 10)

#### 4.1.2.2. Çift paso ile işlenmiş yüzeyler

a) Aynı yön ısıl işlemlili

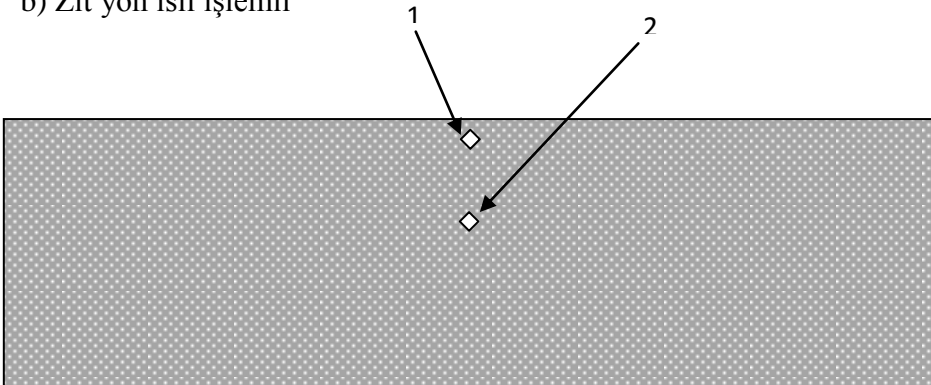


Şekil 4.9. 3.Kesitte (yan yüzey) sertlik ölçüm bölgeleri

Çizelge 4.6. Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler

Kesit Üzerindeki Numaralar	Numaralara Göre Sertlik Değerleri (HV)
1	117,4
2	131,2
3	143,1
4	127,4

b) Zıt yön ısıl işlemlili



Şekil 4.10. 3.Kesitte (yan yüzey) sertlik ölçüm bölgeleri



**Çizelge 4.7.** Yan yüzeyde ölçülen mikro sertlik değerler

Kesit Üzerindeki Numaralar	Numaralara Göre Sertlik Değerleri (HV)
1	131,8
2	124,4

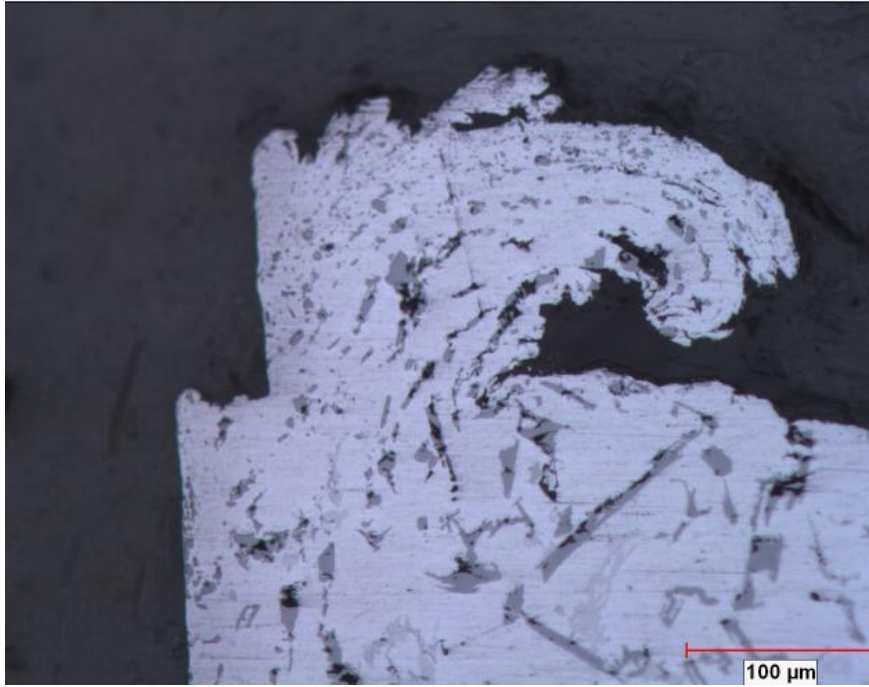
## 4.2. Numunelerin Optik Mikroskobunda İncelenmesi

Kalıba alınmış numunelerin optik mikroskobunda incelenmesi için yukarıda belirtilen şekilde hazırlanmıştır. İnceleme numunenin boyu boyunca (20 mm) yaklaşık 2,5 mm aralıklarla (1.....8 bölge) bölgesel olarak yapılmıştır. Numune enine olarak sürtünme karıştırma yüzeyinden başlamak üzere taranmıştır. Sürtünme karıştırma etkisi altındaki en üst bölgeye A tabakası adı verilmiştir. Bundan sonra sürtünme karıştırmadan etkilenen fakat farklı tane iriliğindeki bölge B olarak adlandırılmıştır. Freze ucu ile temas etmeyen en alt bölgeye C bölgesi denilmiştir.1 gelişim bölgesi (Advancing side),8 ilerleme bölgesini (retreating side) göstermektedir.

### 4.2.1. Etial 145

#### 4.2.1.1. Tek paso ile işlenmiş yüzeyler

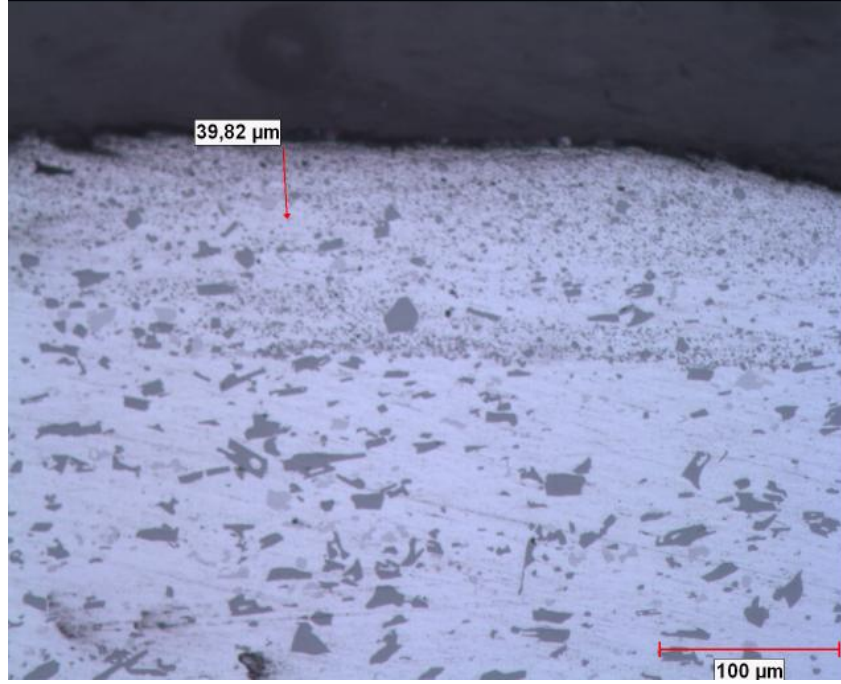
##### 4.2.2.1.1. Isıl işlemsiz



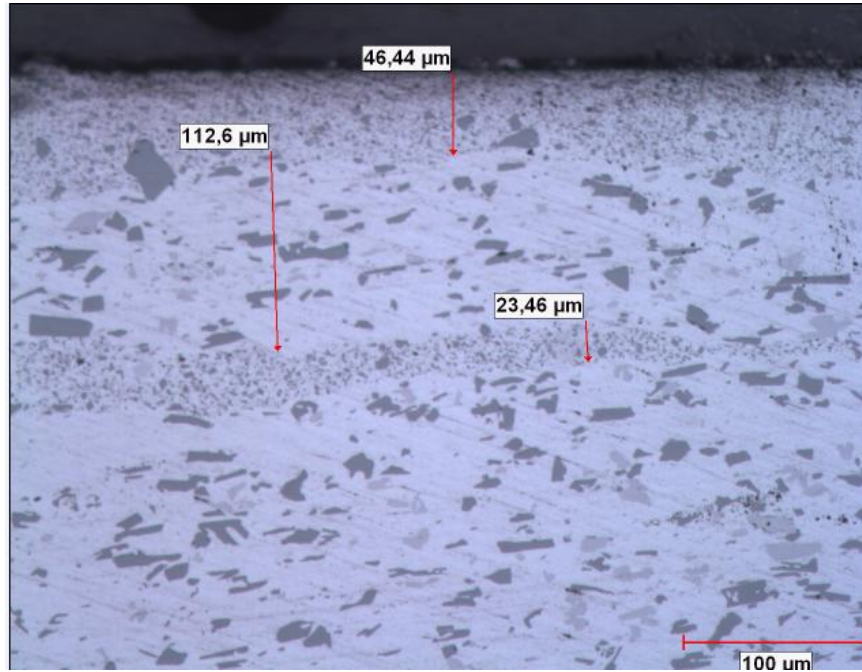
Şekil 4.11. 1 no'lu bölge A tabakası yok

#### Tartışma:

Frezenin geçtiği 5 no'lu bölgeye, 1 no'lu bölgenin uzak olması ve ısıdan etkilenmemesi sebebiyle bu bölgede A tabakasına hiç rastlanılmamıştır.

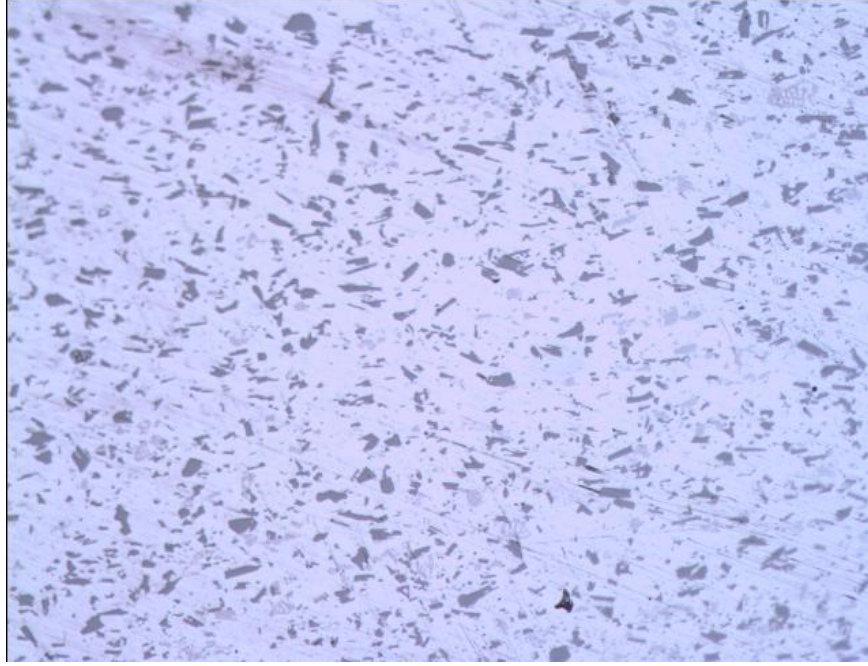


Şekil 4.12. 2 no'lu bölge A ve B tabakası

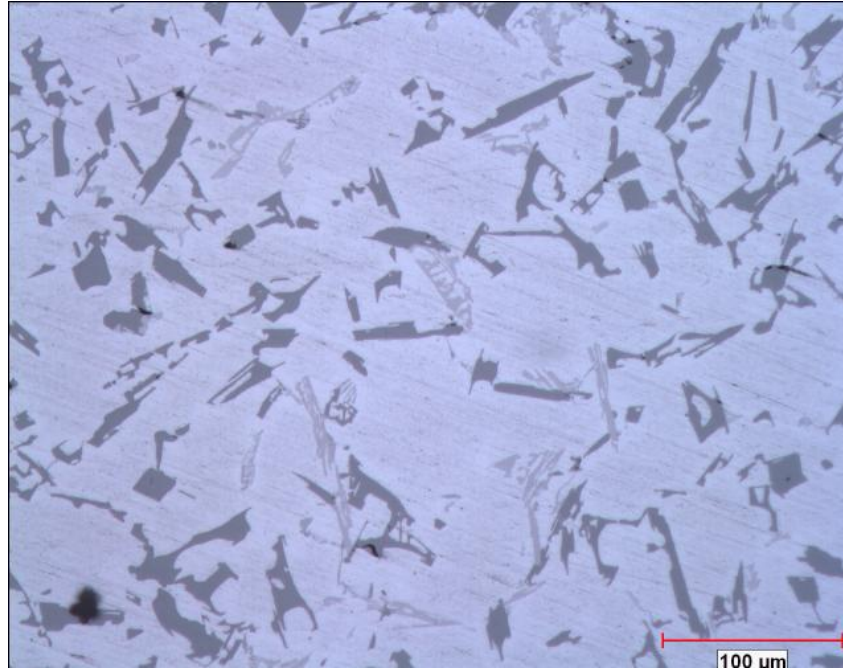


Şekil 4.13. 4 no'lu bölge A, B tekrar A tekrar B tabakası

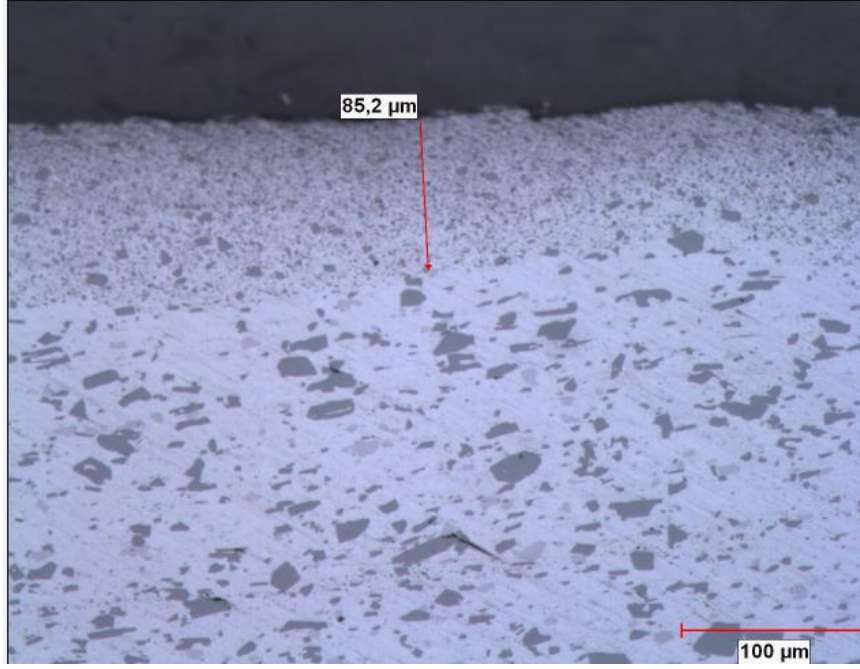
**Tartışma:** 4 no'lu bölgede A tabakasına iki defa rastlanılmaktadır. Bunun nedeni tam olarak literatürde de tespit edilememiştir.



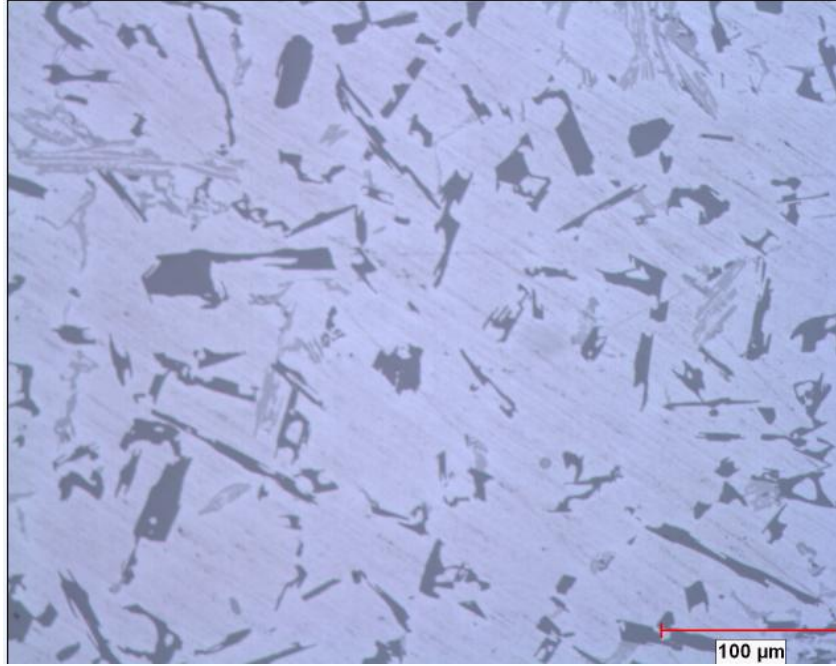
Şekil 4.14. 4 no'lu bölge B tabakası



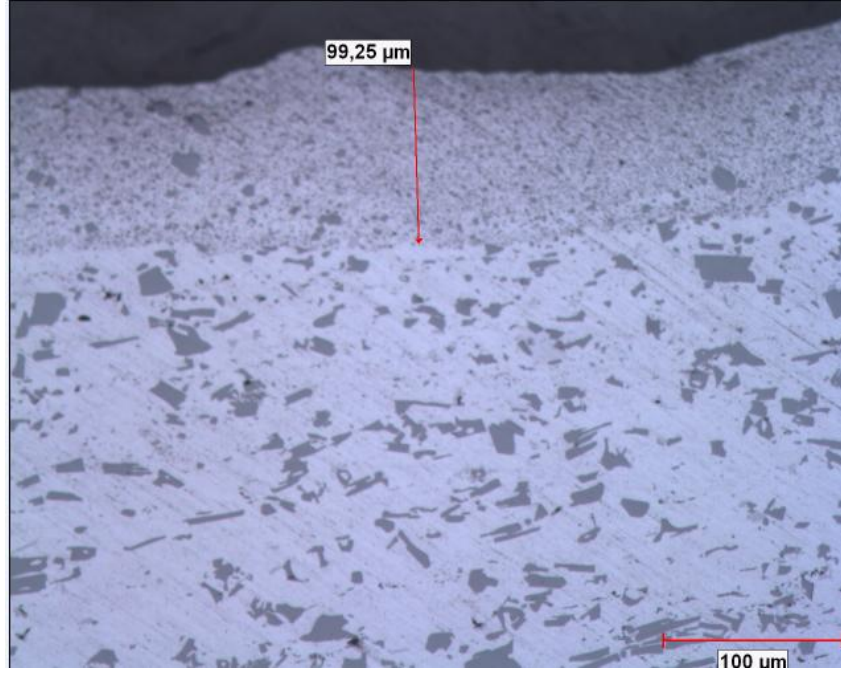
Şekil 4.15. 4 no'lu bölge C tabakası



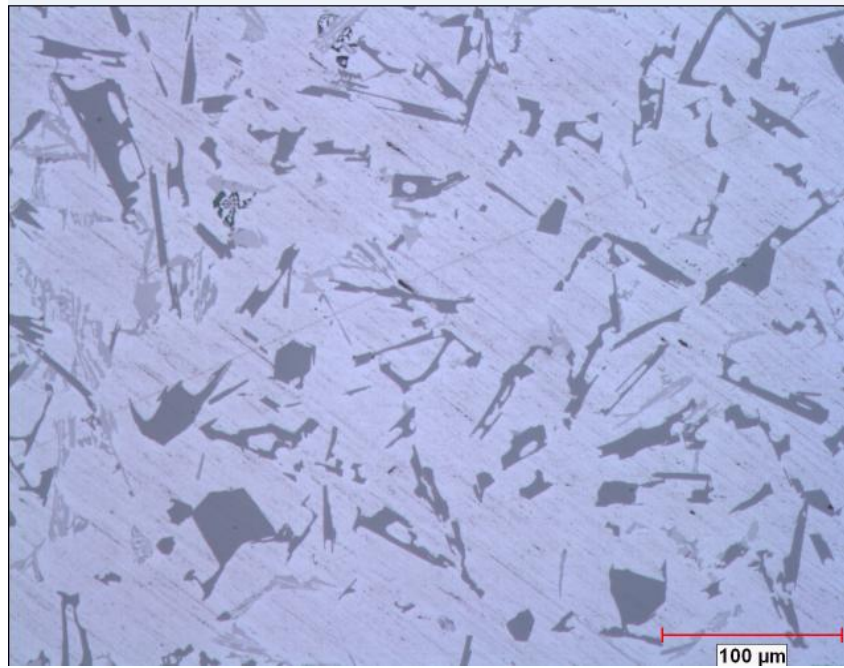
Şekil 4.16. 5 no'lu bölge A ve B tabakası



Şekil 4.17. 5 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.18. 6 no'lu bölge A ve B tabakası

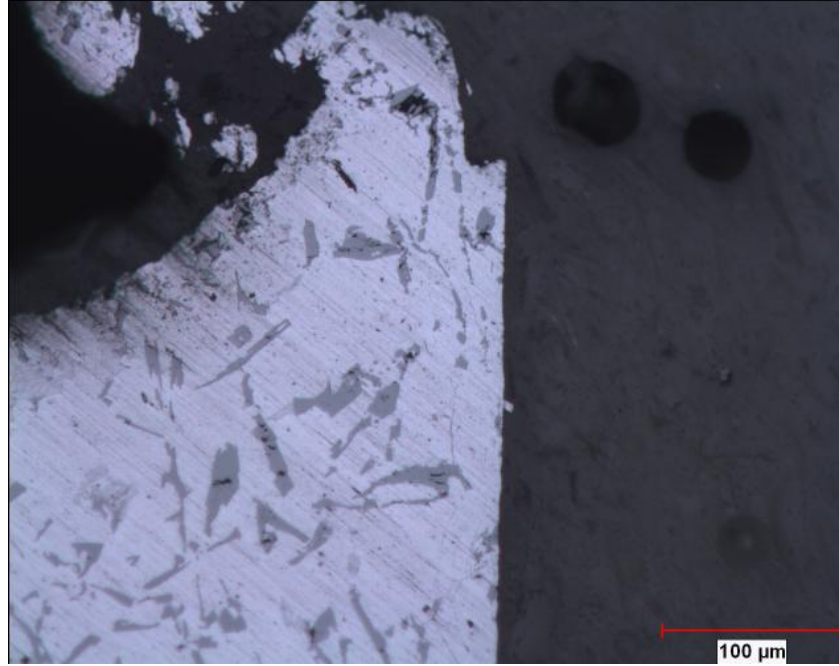


Şekil 4.19. 6 no'lu bölge C tabakası

**Tartışma:** C tabakası sürtünme karışırma yönteminden etkilenmeyen bölge olduğundan ötürü C tabakalarında döküm yapısı hâkimdir.



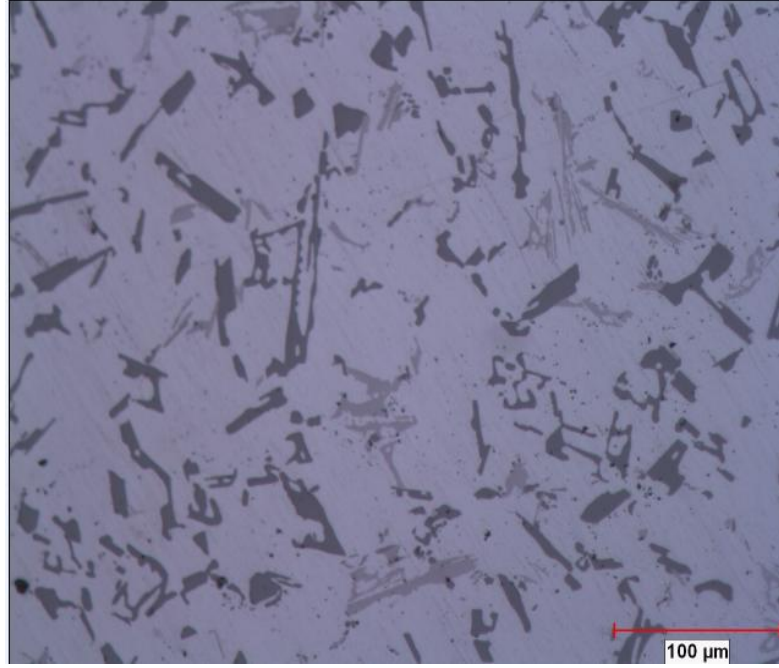
Şekil 4.20. 7 no'lu bölge A ve B tabakası



Şekil 4.21. 8 no'lu bölge C tabakası (A ve B tabakası yok)

**Tartışma:** 8 no'lu bölge de 1 no'lu bölge gibi ısıdan etkilenmediği için 1 no'lu bölge ile mikroyapılar benzerlik göstermektedir.

#### 4.2.2.1.2. Isıl işlemler



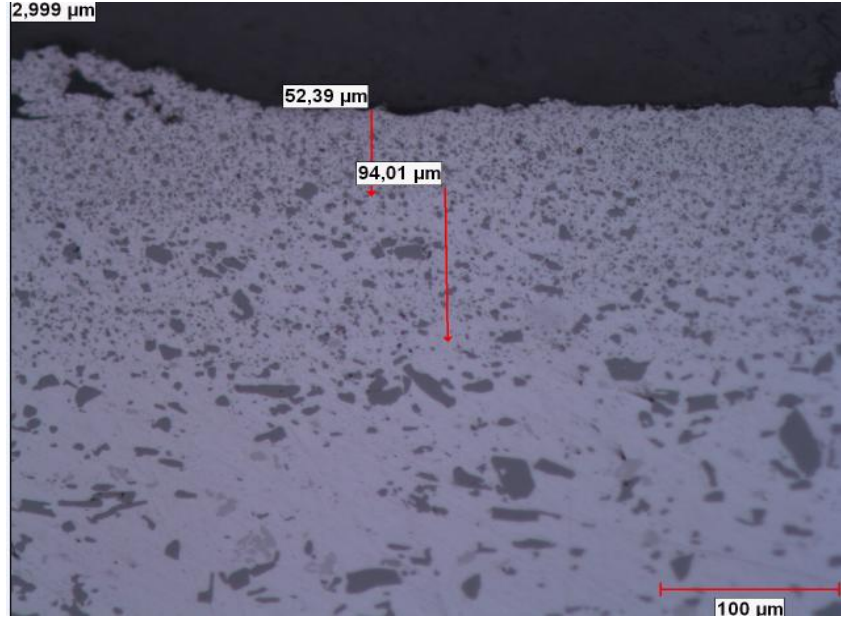
Şekil 4.22. 1 no'lu bölge C tabakası (A ve B tabakası yok)



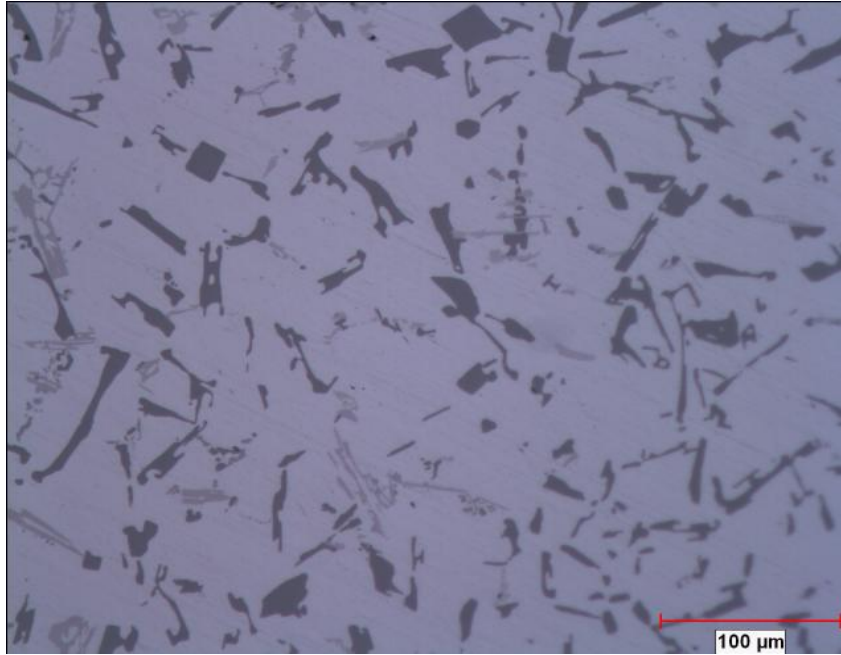
Şekil 4.23. 2 no'lu bölge A ve B tabakası

**Tartışma:** Numuneler el testeresiyle kesildiğinden, bütün numuneler eşit ölçülerde ayarlanılamamıştır. Bu nedenle eşit aralıklarla mikroskop incelemeleri yapılmasına rağmen, 2 no'lu bölgede diğer numunelere nazaran daha geniş bir A tabakası mevcuttur.

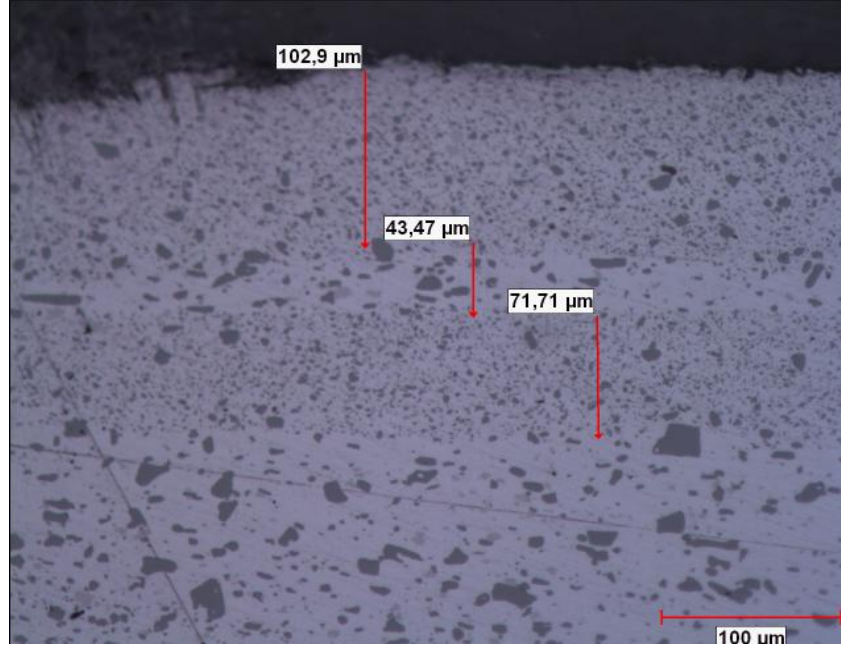




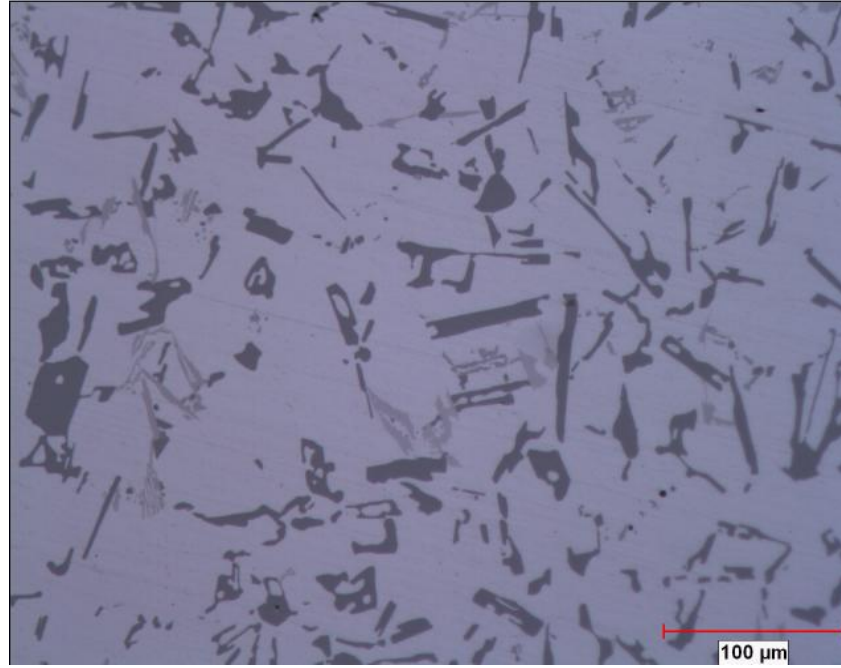
Şekil 4.24. 3 no'lu bölge A, B, tekrar A tekrar B tabakası



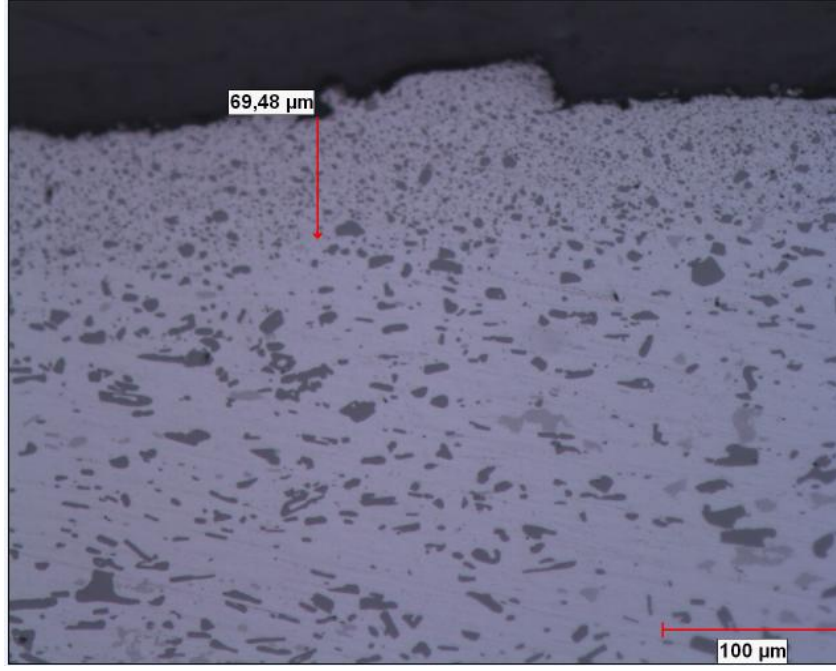
Şekil 4.25. 3 no'lu bölge C tabakası



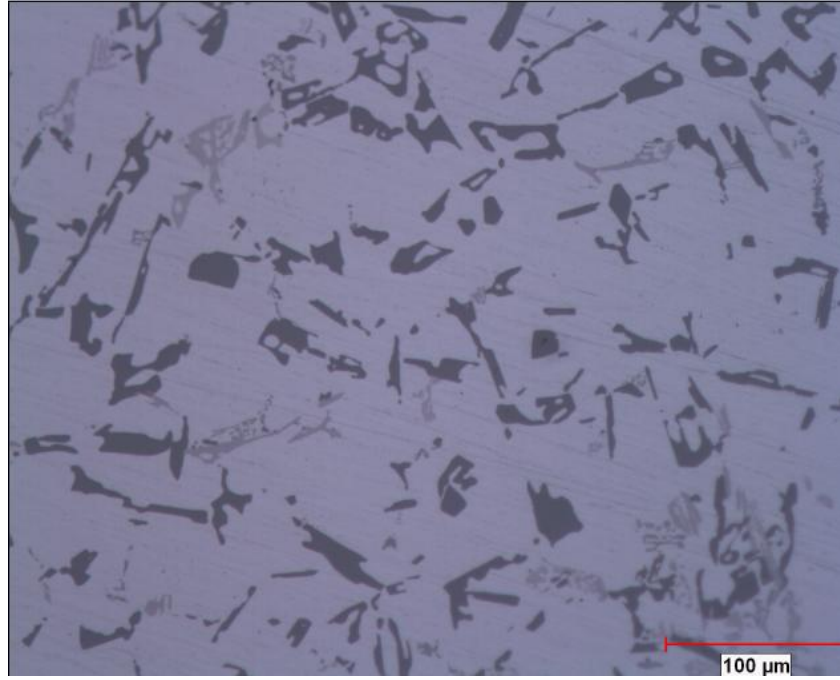
Şekil 4.26. 4 no'lu bölge A, B tekrar A tekrar B tabakası



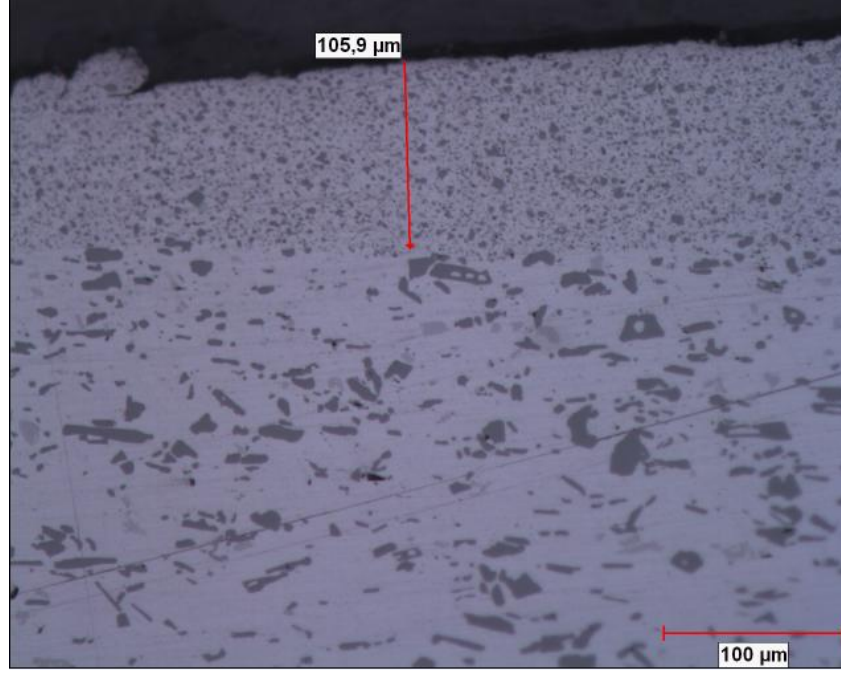
Şekil 4.27. 4 no'lu bölge C tabakası



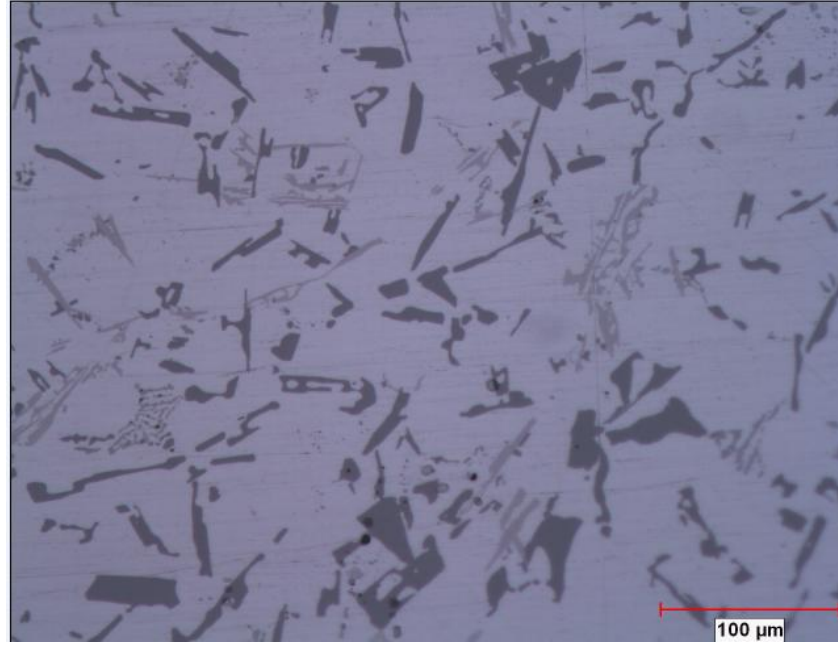
Şekil 4.28. 5 no'lu bölge A ve B tabakası



Şekil 4.29. 5 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.30. 6 no'lu bölge A ve B tabakası

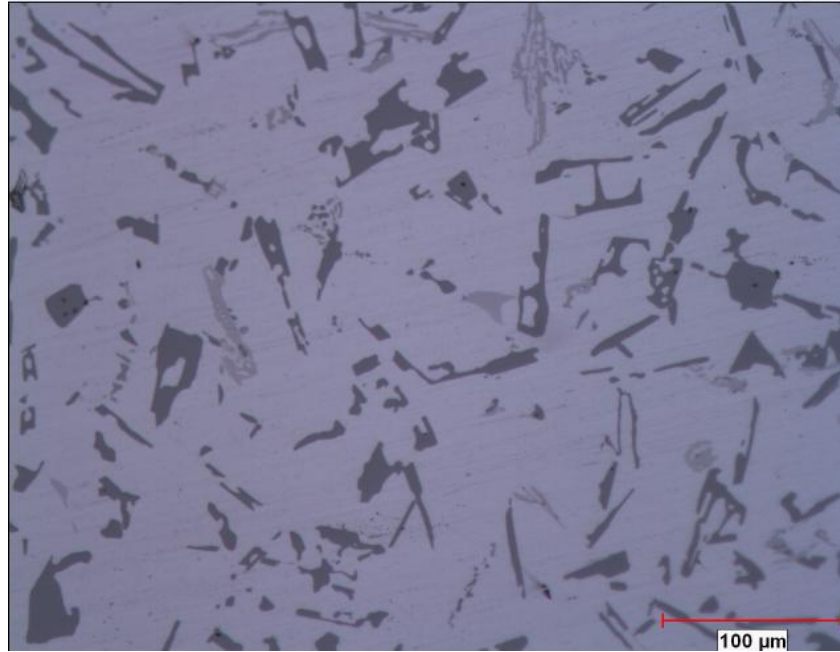


Şekil 4.31. 6 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.32. 7 no'lu bölge A ve B tabakası

**Tartışma:** Sayısal ölçüm yapılmamasına rağmen sürtünme karıştırma bölgesindeki Si kristallerinin ısı işleminin sonrası biraz irileştiği görülmüştür.



Şekil 4.33. 7 no'lu bölge C tabakası

#### 4.2.1.2. Çift paso ile işlenmiş yüzeyler

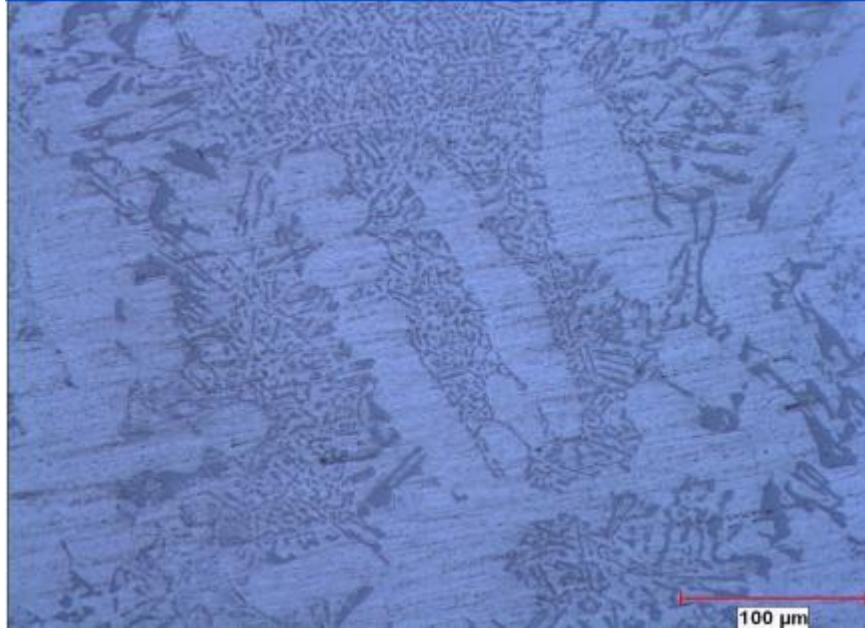
##### 4.2.1.2.1. Aynı yn ısıl işlemsiz



Şekil 4.34. 1 no'lu bölge A tabakası



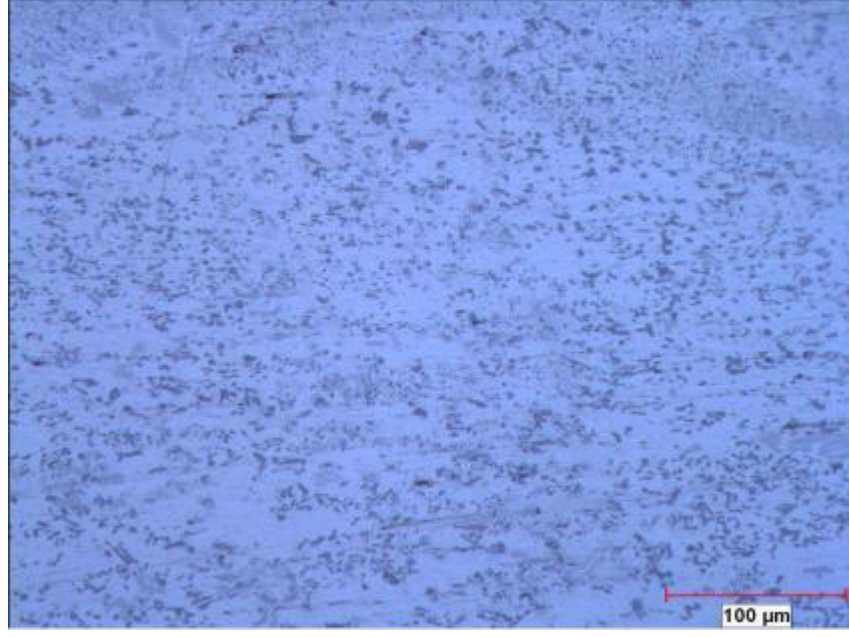
Şekil 4.35. 1 no'lu bölge A ve B tabakası



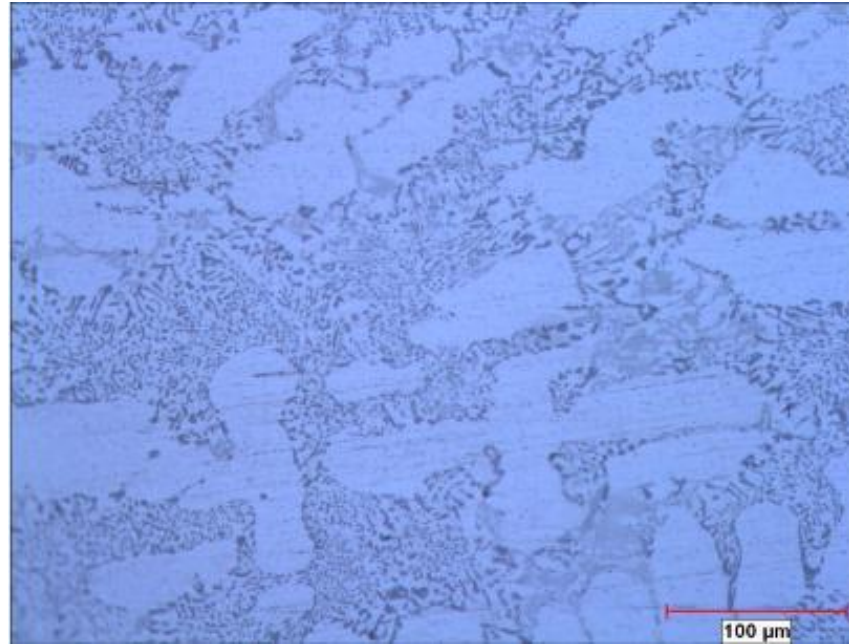
Şekil 4.36. 1 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.37. 2 no'lu bölge A ve B tabakası

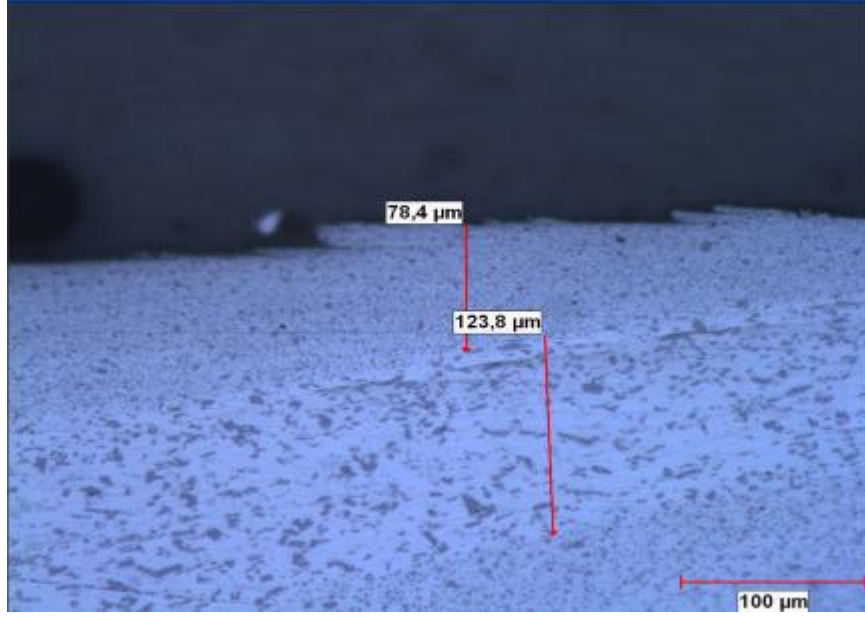


**Şekil 4.38.** 2 no'lu bölge B tabakası

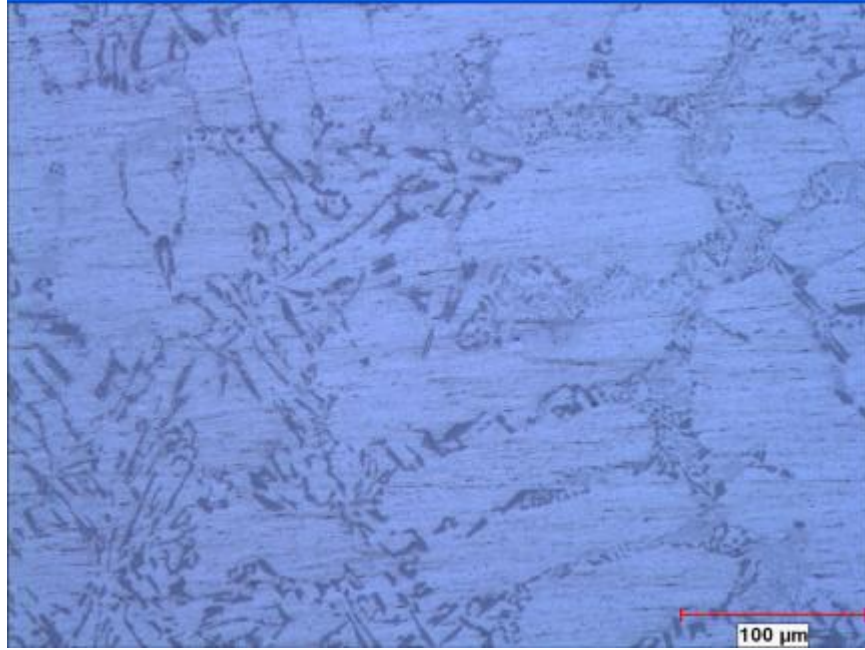


**Şekil 4.39.** 2 no'lu bölge C tabakası





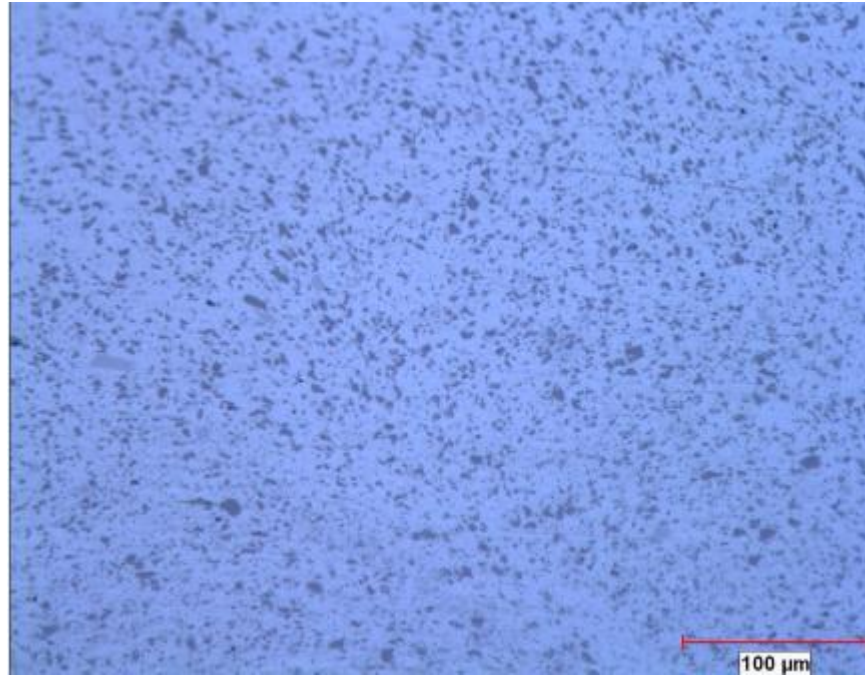
Şekil 4.40. 3 no'lu bölge A, B ve tekrar A tabakası



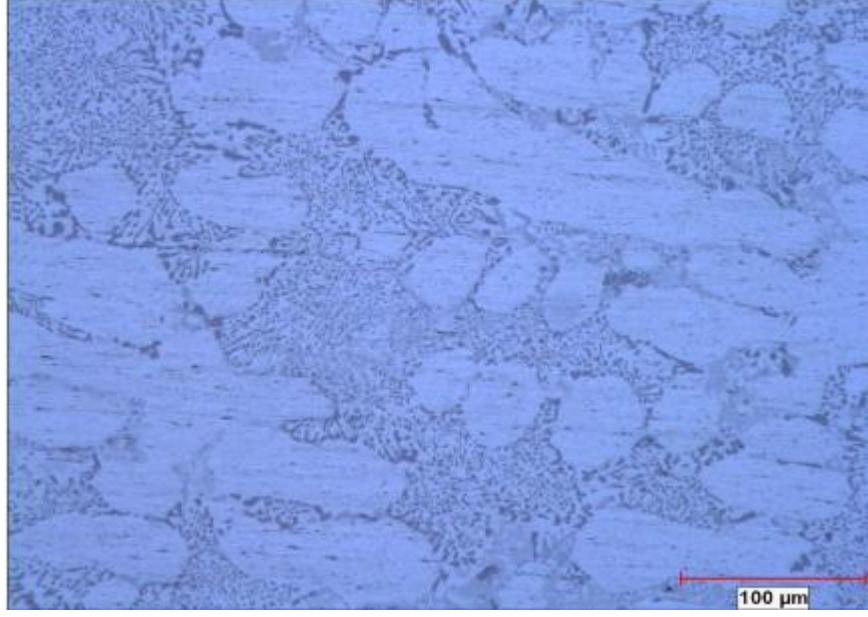
Şekil 4.41. 3 no'lu bölge C tabakası



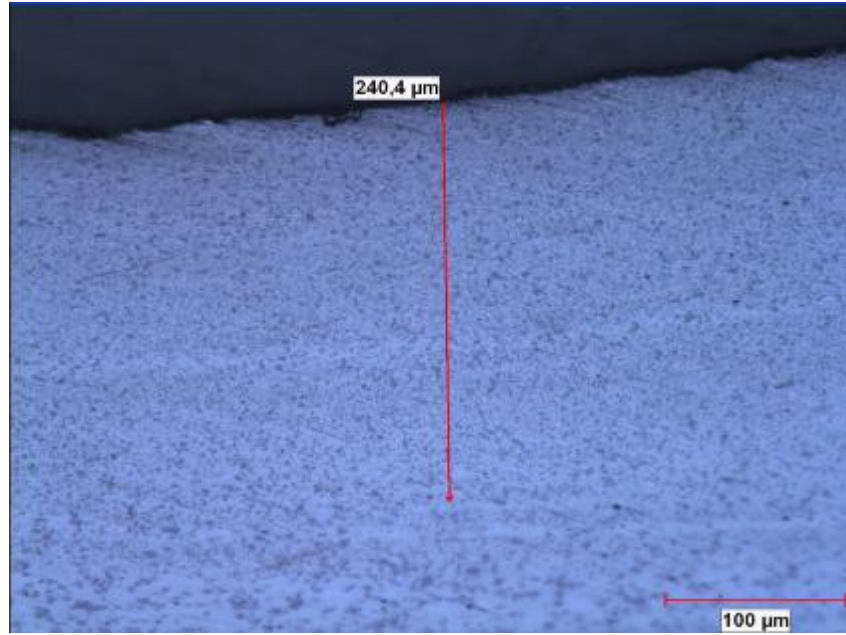
Şekil 4.42. 4 no'lu bölge A ve B tabakası



Şekil 4.43. 4 no'lu bölge B tabakası



Şekil 4.44. 4 no'lu bölge C tabakası

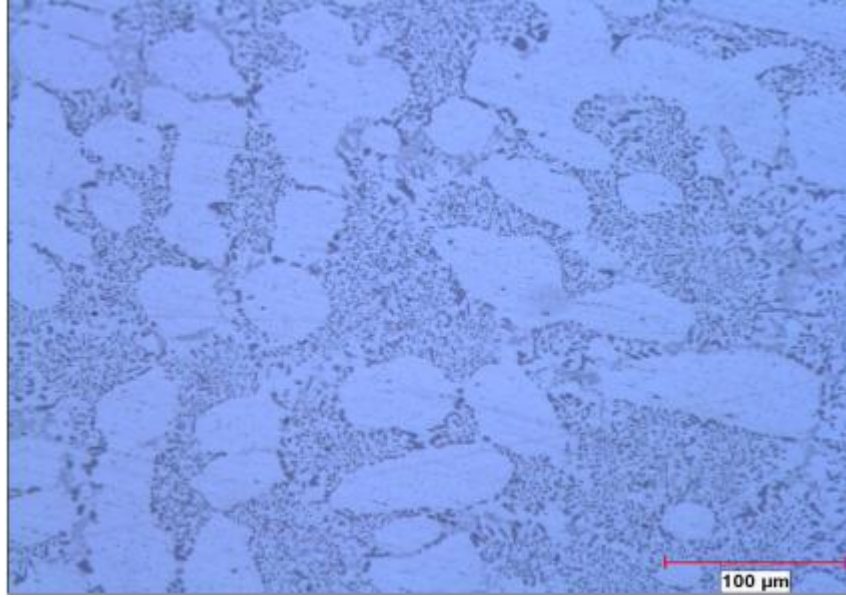


Şekil 4.45. 5 no'lu bölge A tabakası

**Tartışma:** Çift pasolularda parça daha fazla ısındığı için A ve B tabaka kalınlıkları tek pasoya nazaran daha fazladır.



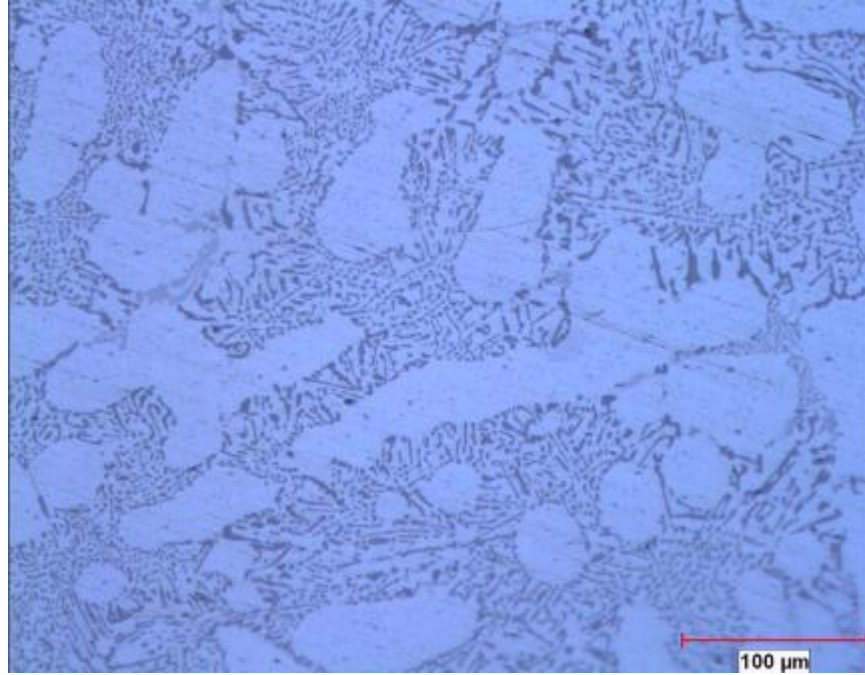
**Şekil 4.46.** 5 no'lu bölge B tabakası



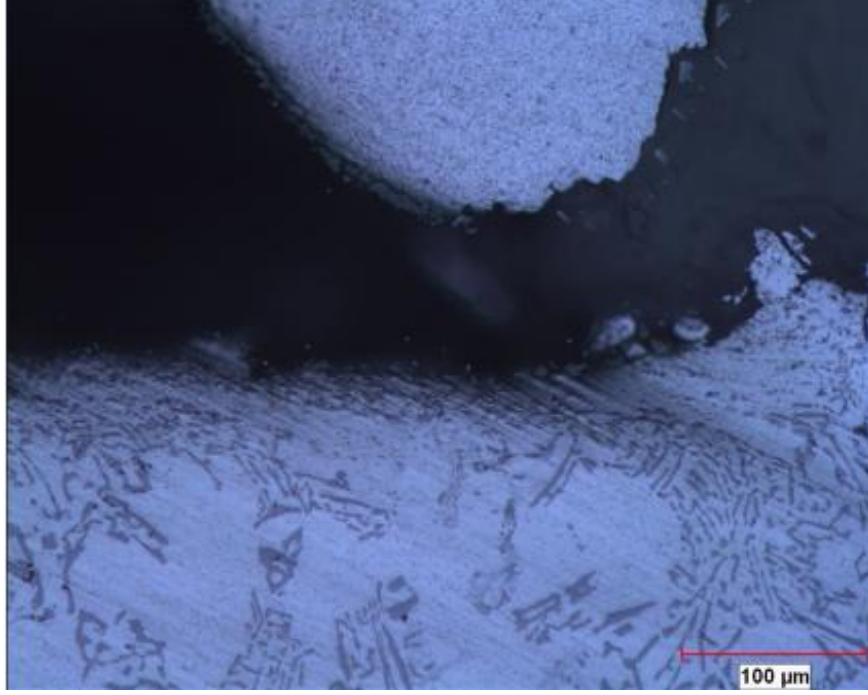
**Şekil 4.47.** 5 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.48. 6 no'lu bölge A ve B tabakası

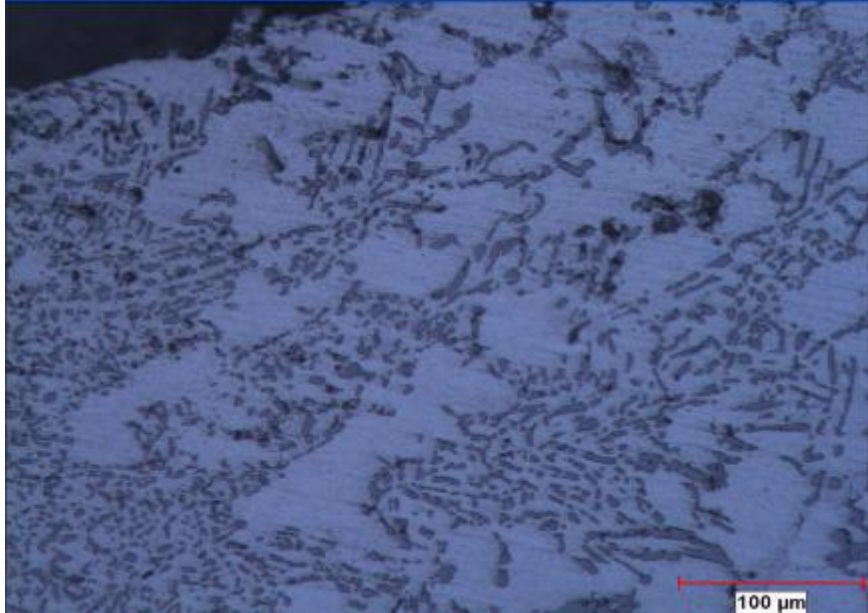


Şekil 4.49. 6 no'lu bölge C tabakası



**Şekil 4.50.** 7 no'lu bölge A ve C tabakası (B tabakası yok)

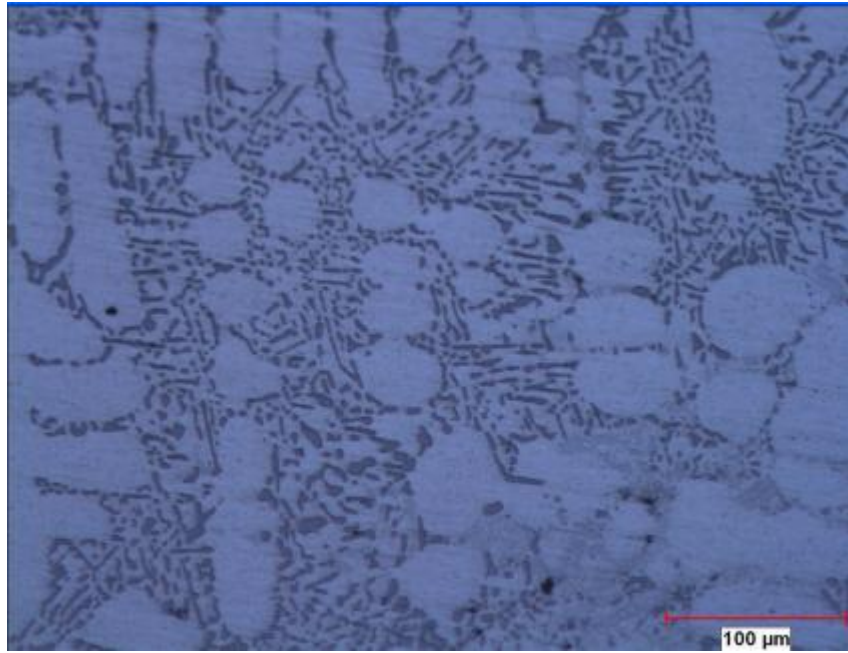
#### 4.2.1.2.2 Aynı yön ısıl işlemlili



**Şekil 4.51.** 1 no'lu bölge A tabakası yok



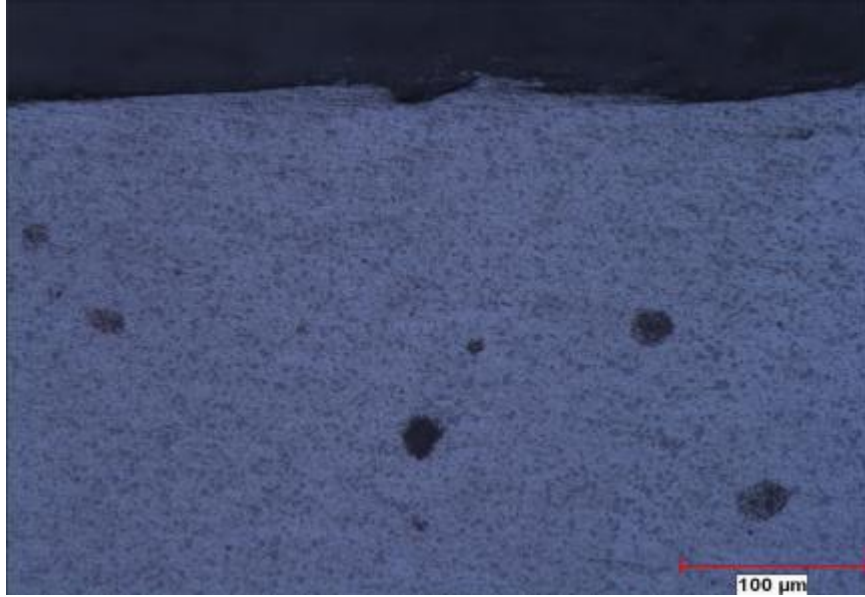
Şekil 4.52. 2 no'lu bölge A tabakası



Şekil 4.53. 2 no'lu bölge C tabakası



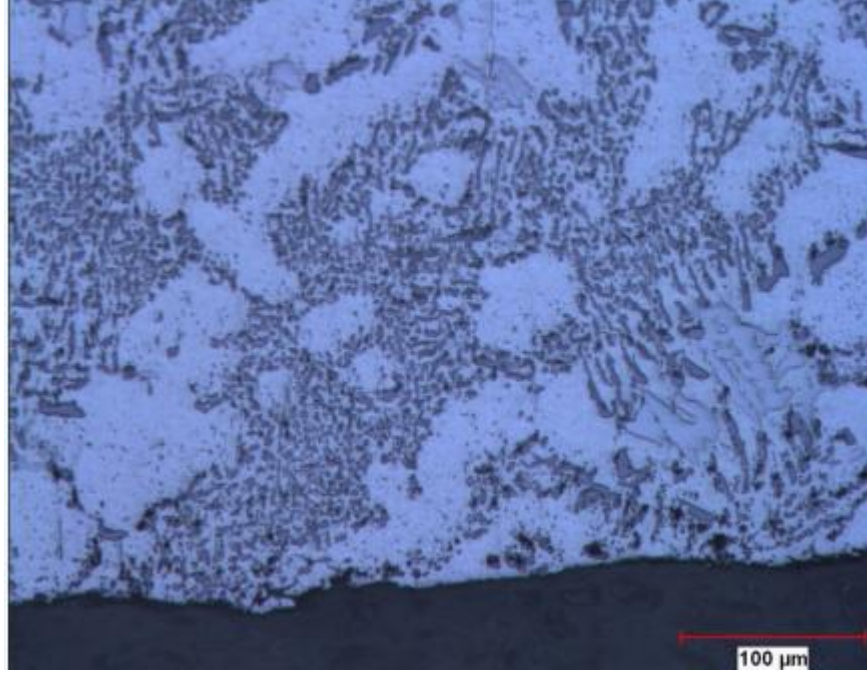
Şekil 4.54. 3 no'lu bölge C tabakası (A ve B yok)



Şekil 4.55. 4 no'lu bölge A ve B tabakası (geçiş belirgin değil)

**Tartışma:** Çift pasolularda bantlaşmanın ortadan kalktığı zaman zaman görülmektedir.



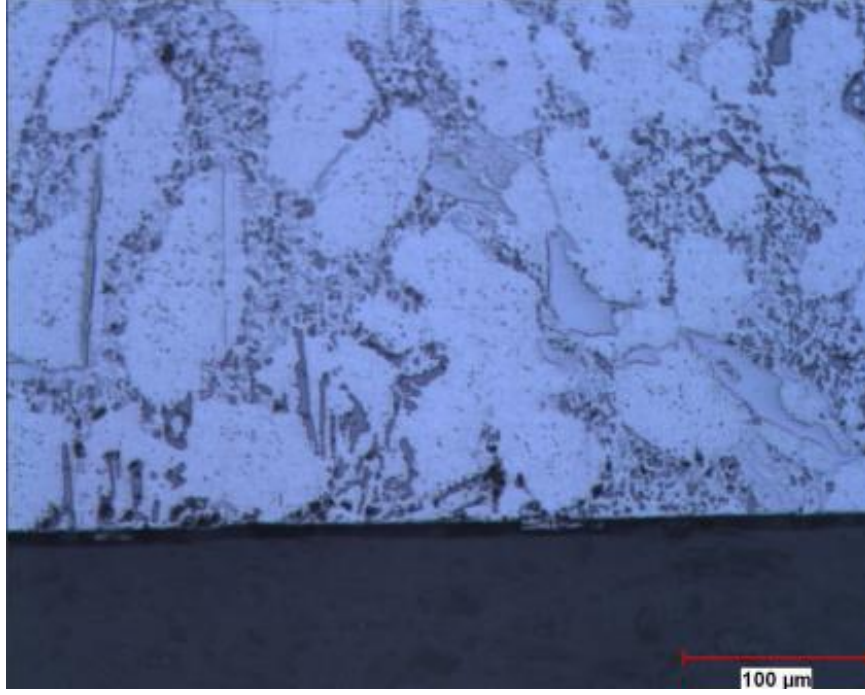


Şekil 4.56. 4 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.57. 5 no'lu bölge B tabakası

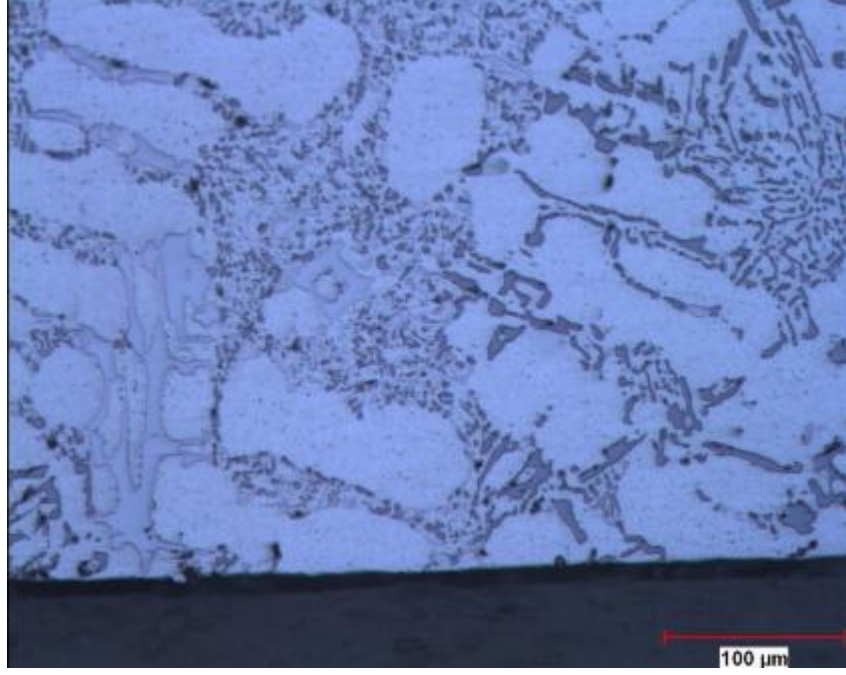
**Tartışma:**  $Mg_2Si$ 'ler çift pasolularda tek pasoya oranla daha fazla irileşmiştir.



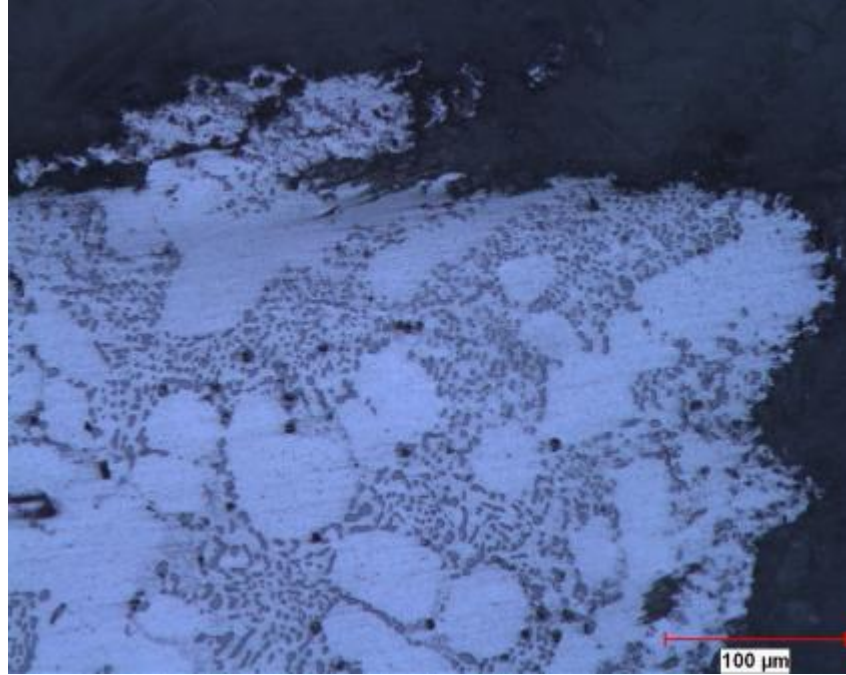
Şekil 4.58. 5 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.59. 6 no'lu bölge A ve B sınırı belirgin değil

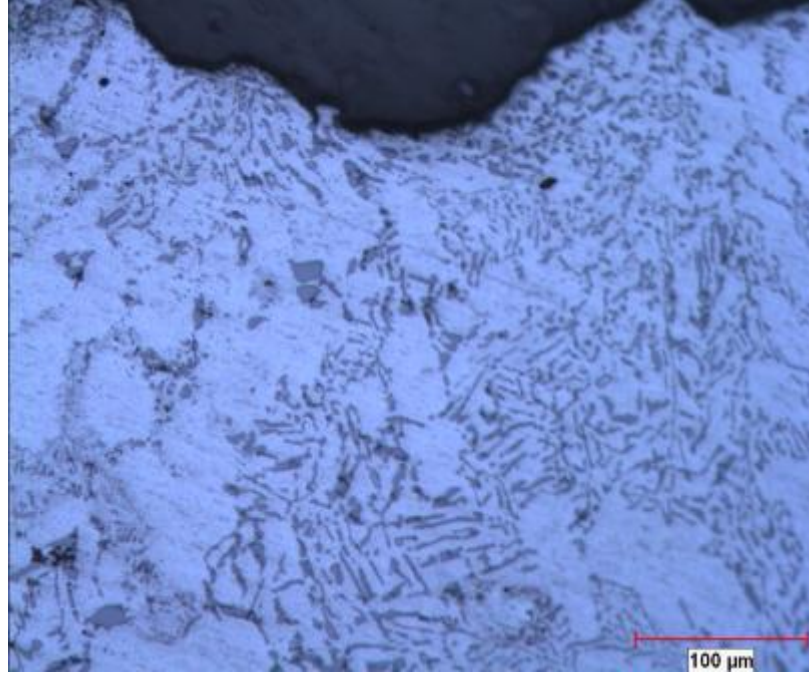


Şekil 4.60. 6 no'lu bölge C tabakası

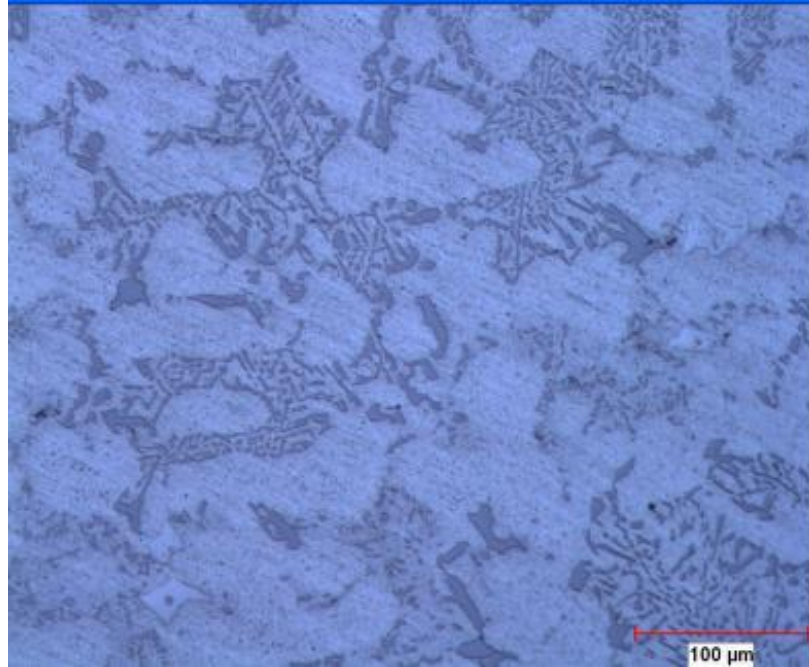


Şekil 4.61. 7 no'lu bölge C tabakası (A ve B yok)

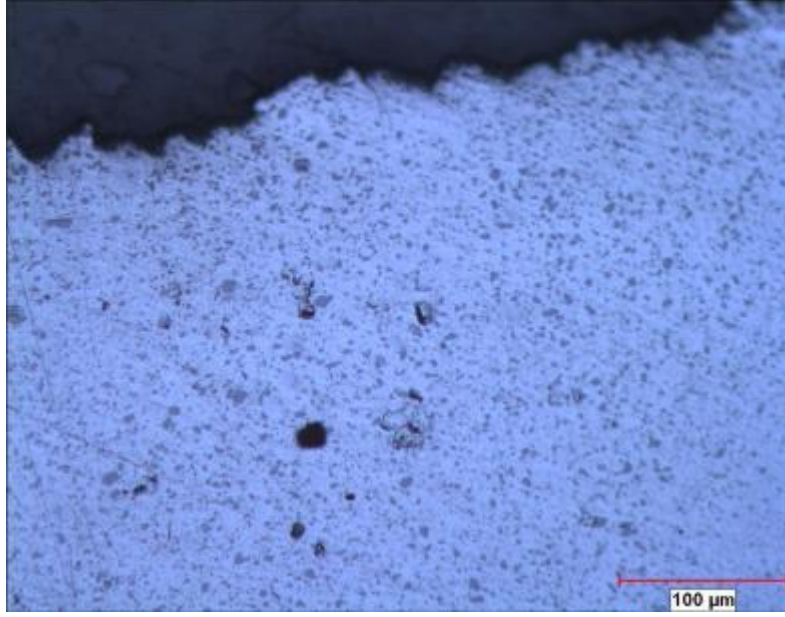
#### 4.2.1.2.3 Zıt yön ısıl işlemsiz



Şekil 4.62. 1 no'lu bölge C tabakası (A ve B yok)



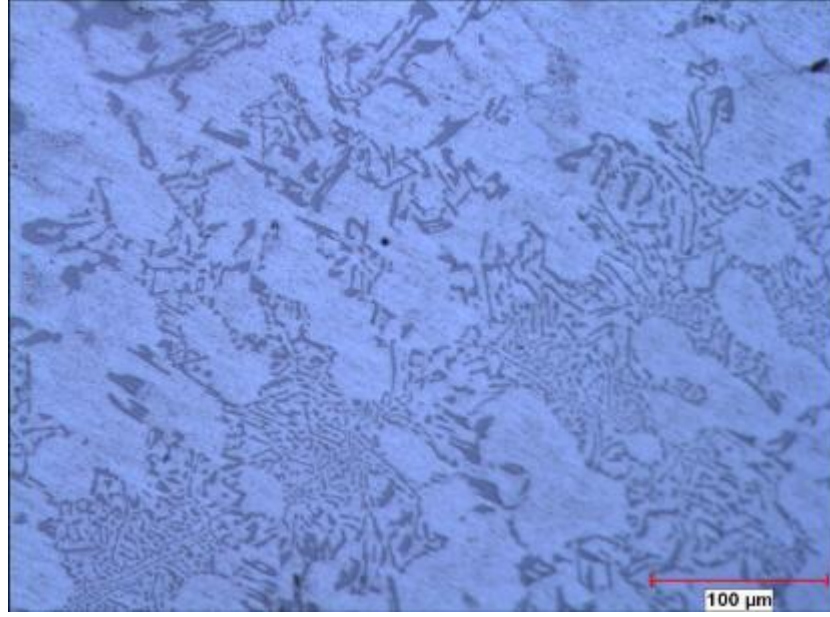
Şekil 4.63. 2 no'lu bölge C tabakası



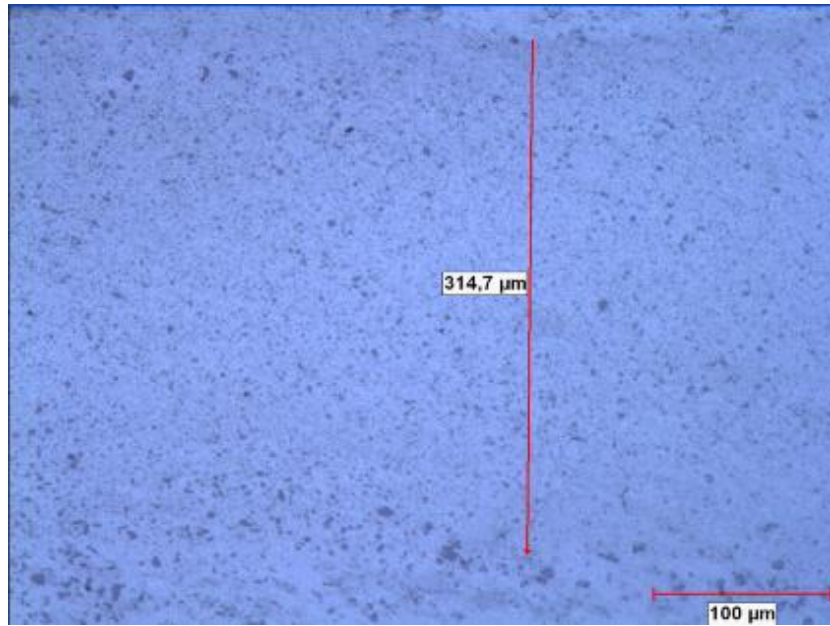
Şekil 4.64. 3 no'lu bölge A tabakası



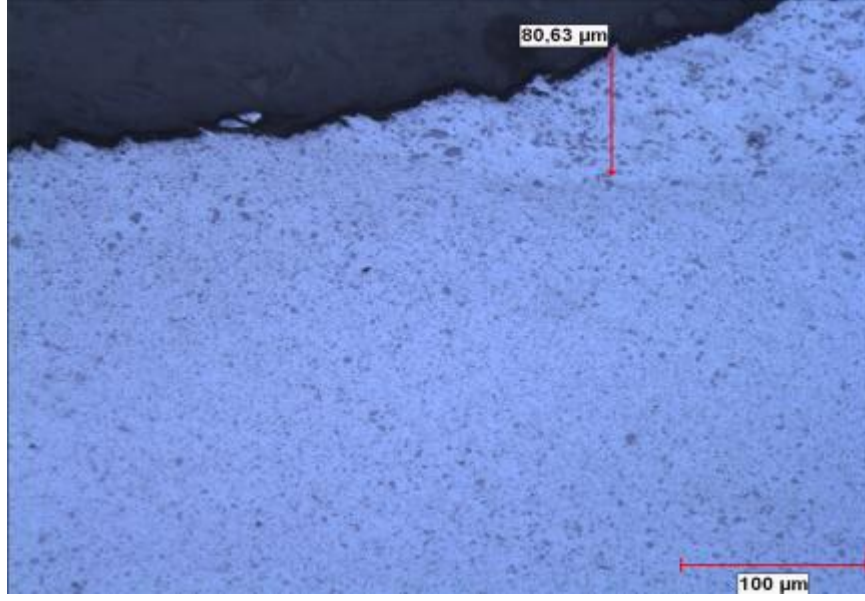
Şekil 4.65. 3 no'lu bölge B tabakası



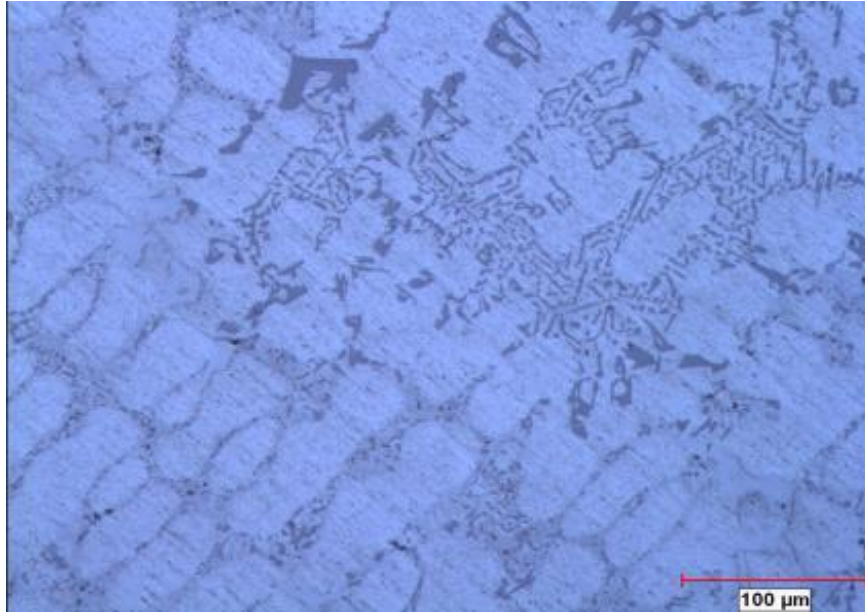
Şekil 4.66. 3 no'lu bölge C tabakası



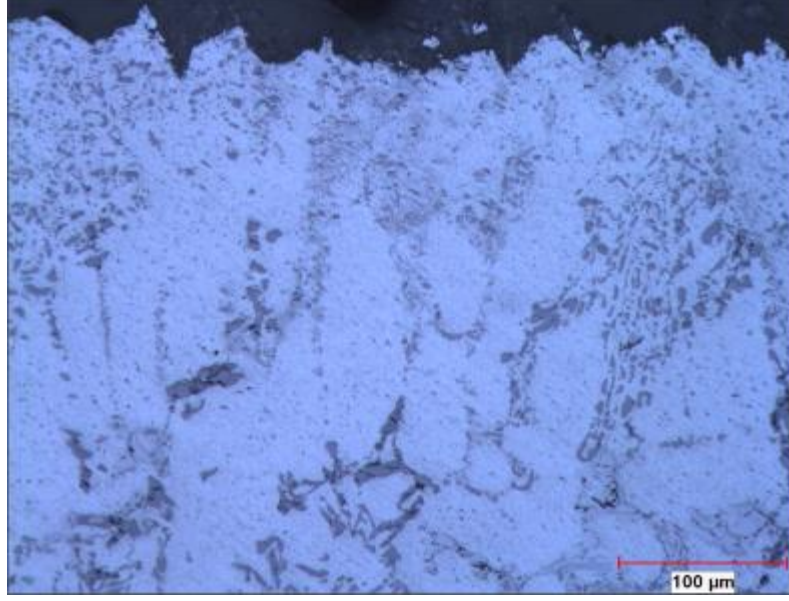
Şekil 4.67. 4 no'lu bölge A tabakası



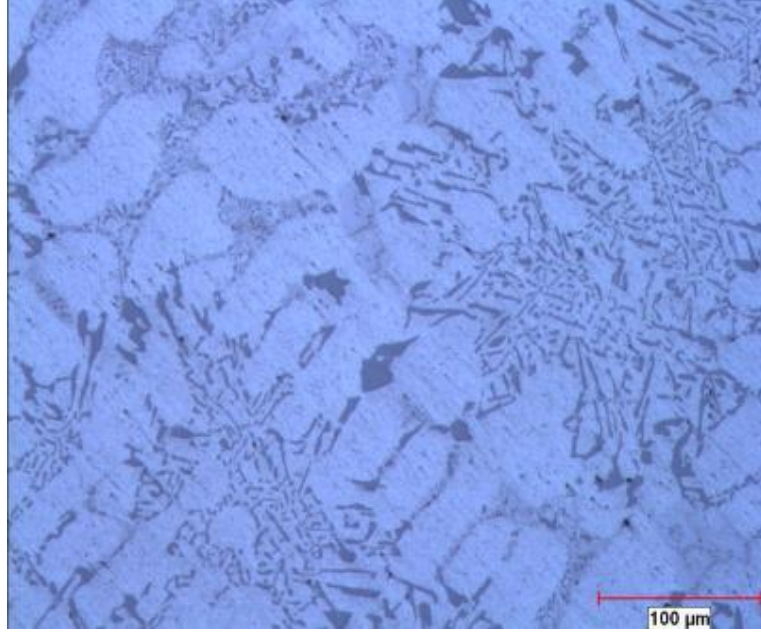
**Şekil 4.68.** 4 no'lu bölge A tabakası (sağ üst köşede B tabakası görülmektedir.)



**Şekil 4.69.** 4 no'lu bölge C tabakası

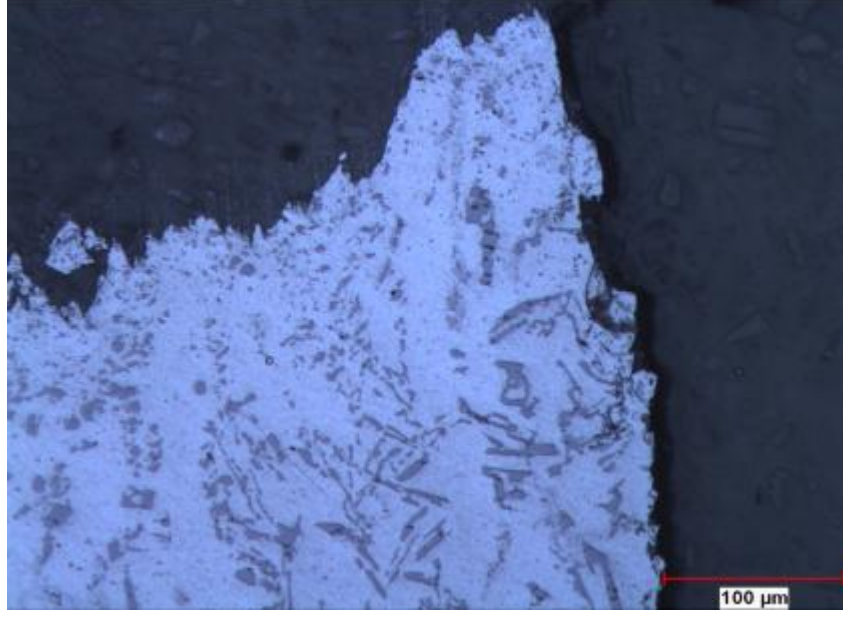


Şekil 4.70. 5 no'lu bölge B ve C tabakası

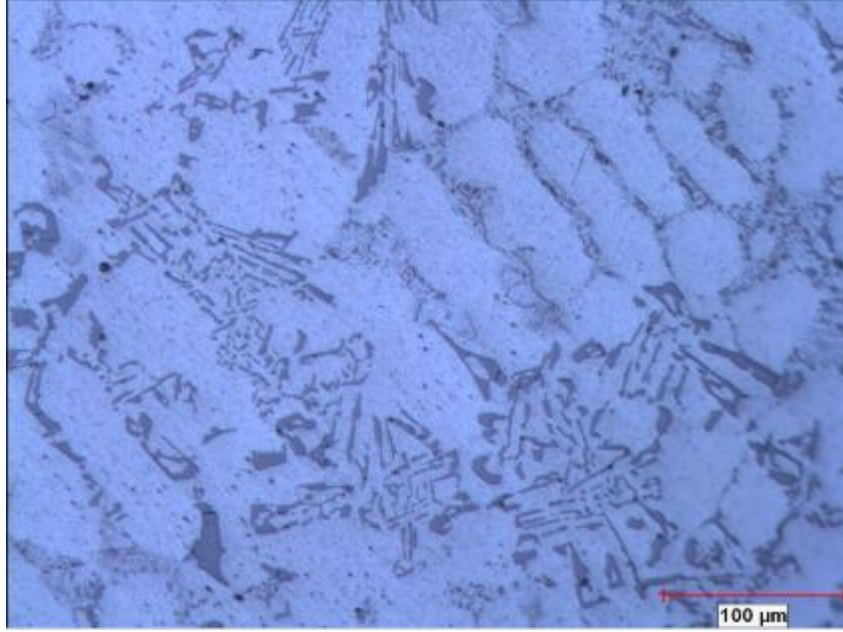


Şekil 4.71. 5 no'lu bölge C tabakası





Şekil 4.72. 6 no'lu bölge B ve C tabakası

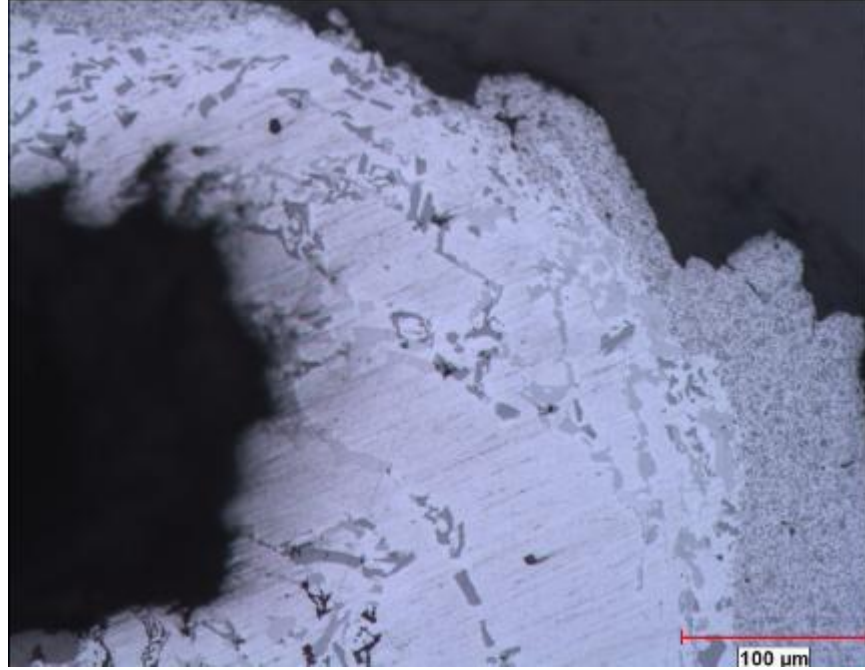


Şekil 4.73. 6 no'lu bölge C tabakası

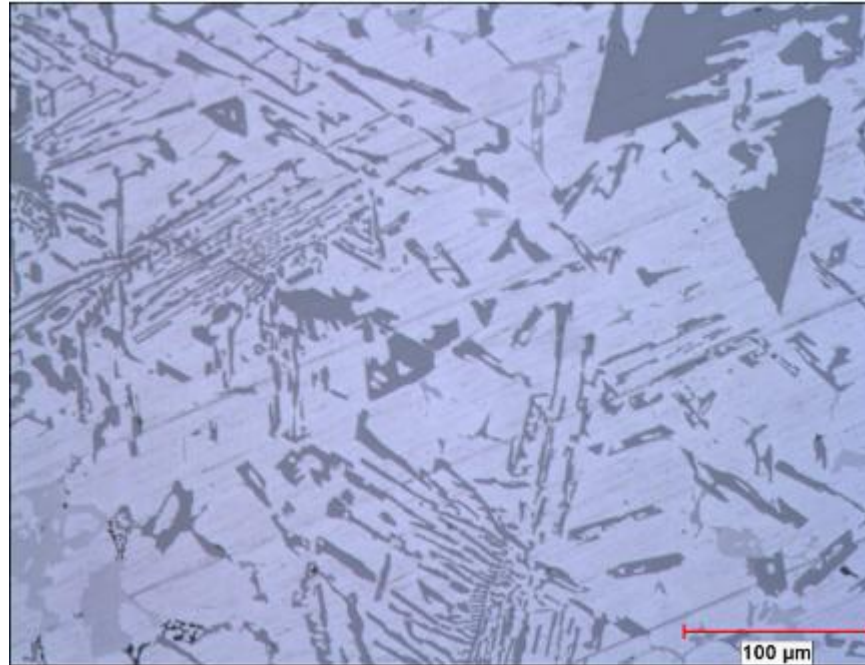
## 4.2.2. Etial 195

### 4.2.2.1. Tek paso ile işlenmiş yüzeyler

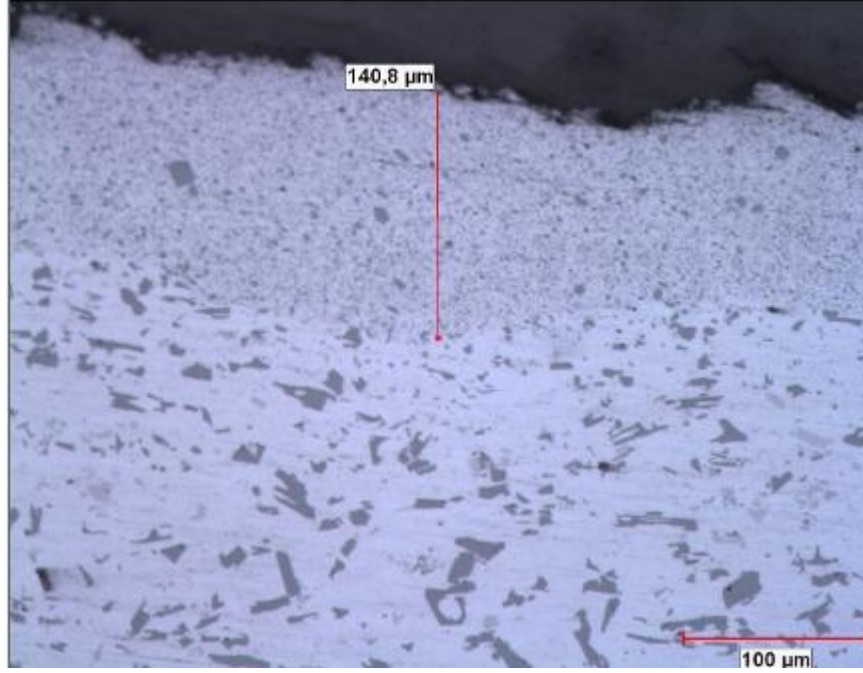
#### 4.2.2.1.1. Isıl işlemsiz



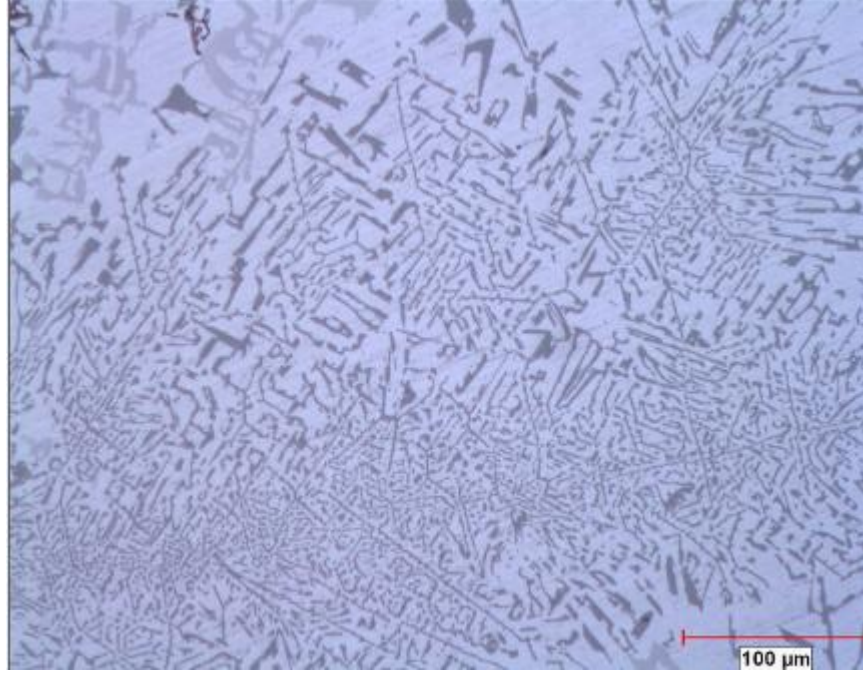
Şekil 4.74. 1 no'lu bölge A ve C tabakası



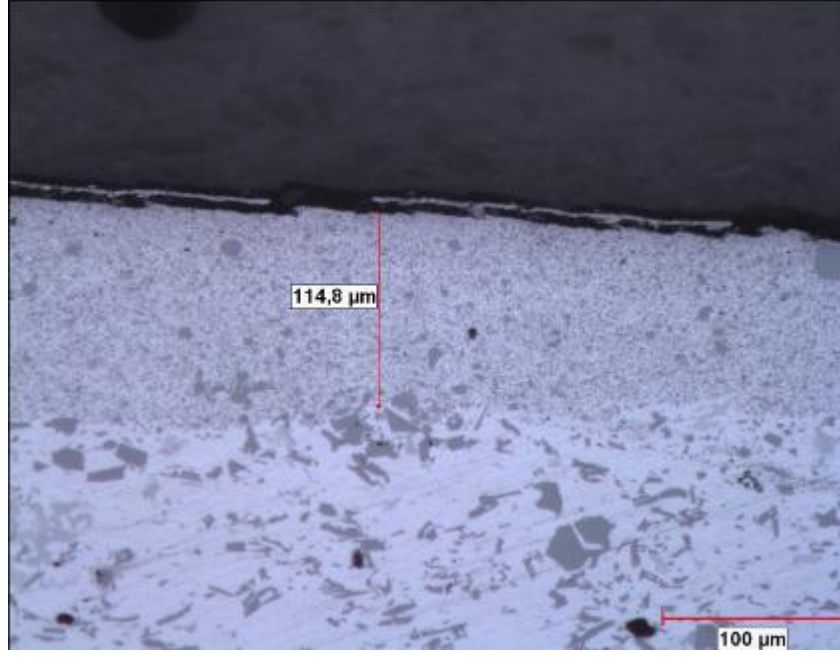
Şekil 4.75. 1 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.76. 2 no'lu bölge A ve B tabakası



Şekil 4.77. 2 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.78. 3 no'lu bölge A ve B tabakası

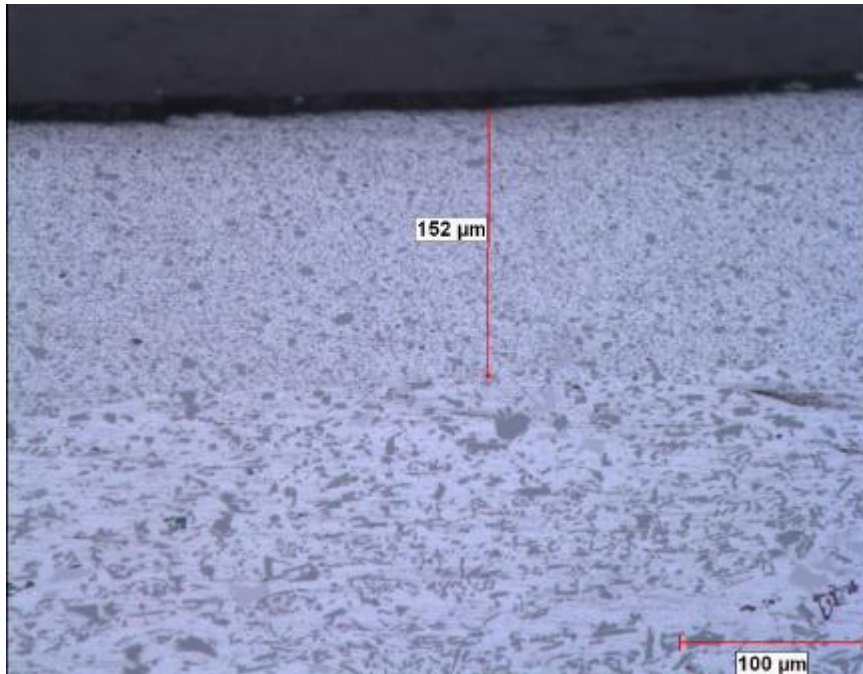


Şekil 4.79. 3 no'lu bölge C tabakası



**Şekil 4.80.** 4 no'lu bölge A ve B tabakası

**Tartışma:** Çok iri Si kristalleri çift paso ile işlenmeye rağmen sadece çatlamıştır. Paso sayısı arttırılırsa bu tanelerin küçüleceği düşünülmektedir.



**Şekil 4.81.** 5 no'lu bölge A ve B tabakası



**Şekil 4.82.** 6 no'lu bölge A ve B tabakası



**Şekil 4.83.** 7 no'lu bölge A ve B tabakası

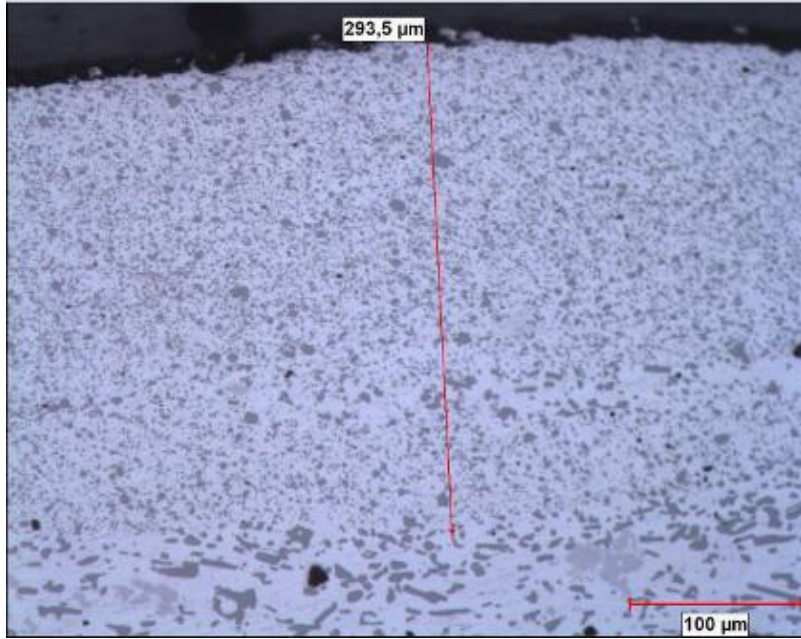
#### 4.2.2.1.2 Isıl işlemler



**Şekil 4.84.** 1 no'lu bölge A ve B tabakası

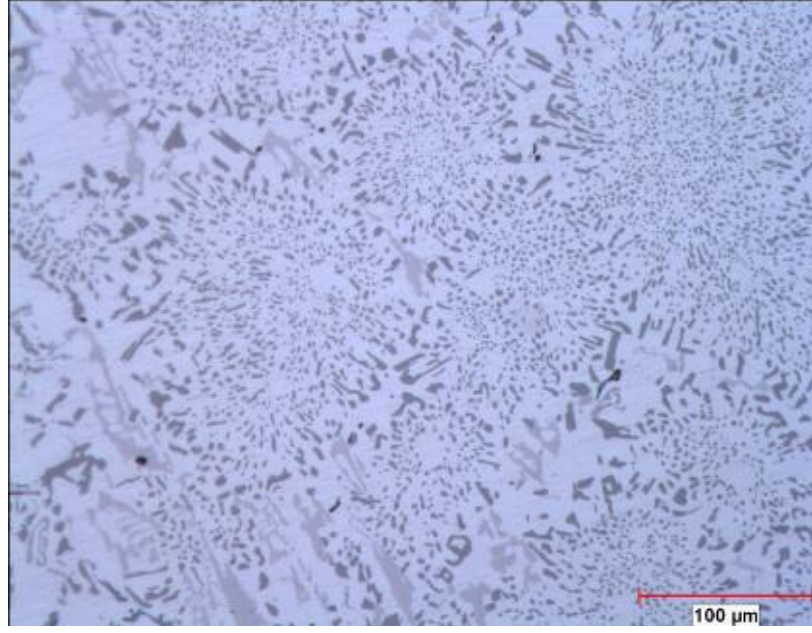


Şekil 4.85. 1 no'lu bölge C tabakası

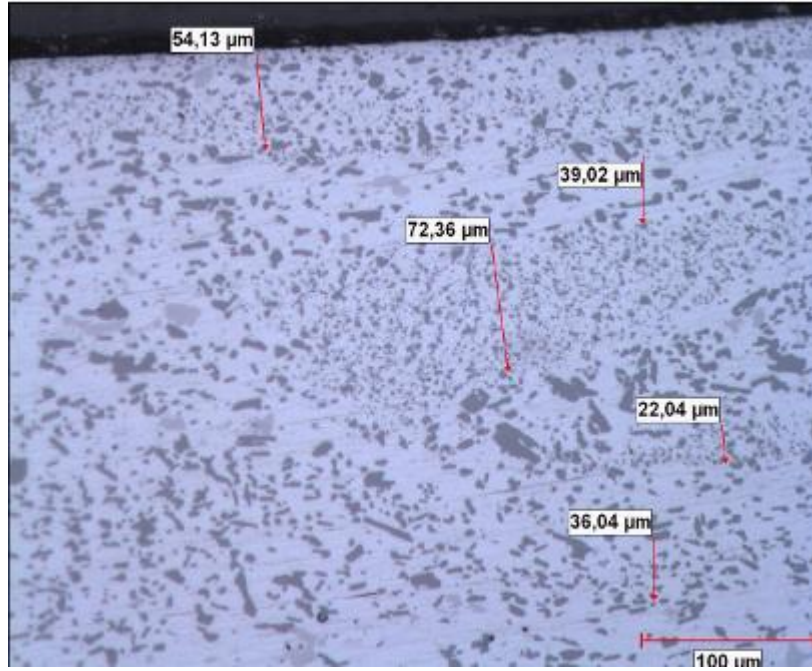


Şekil 4.86. 2 no'lu bölge A ve B tabakası



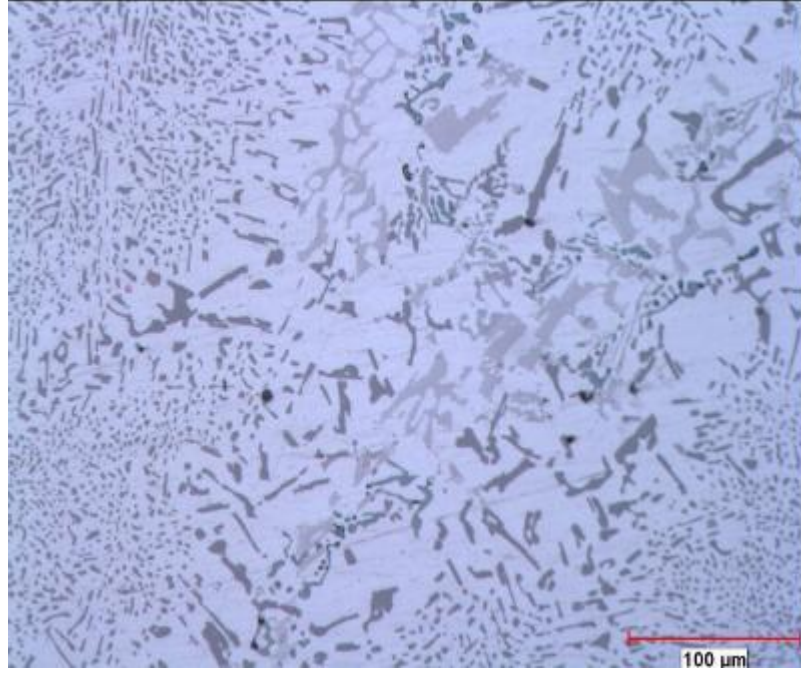


Şekil 4.87. 2 no'lu bölge C tabakası

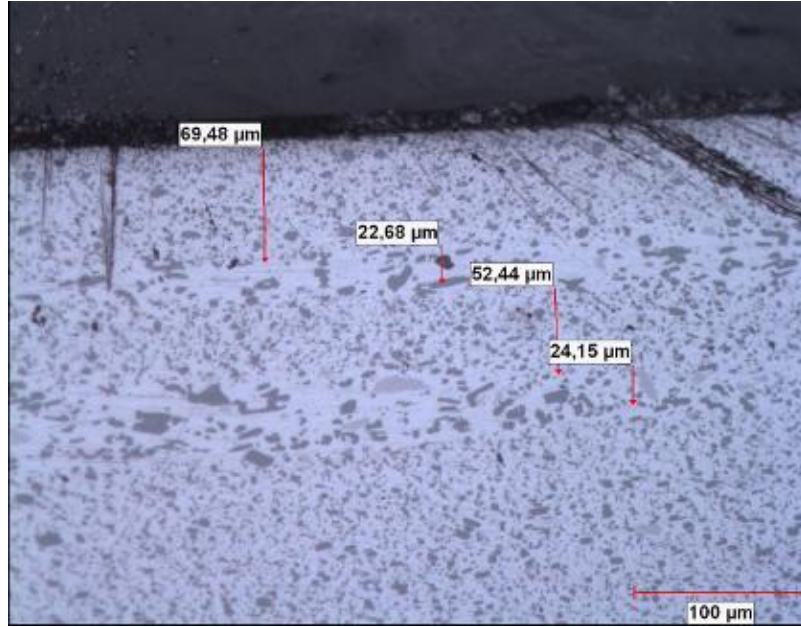


Şekil 4.88. 3 no'lu bölge A ve B tabakaları

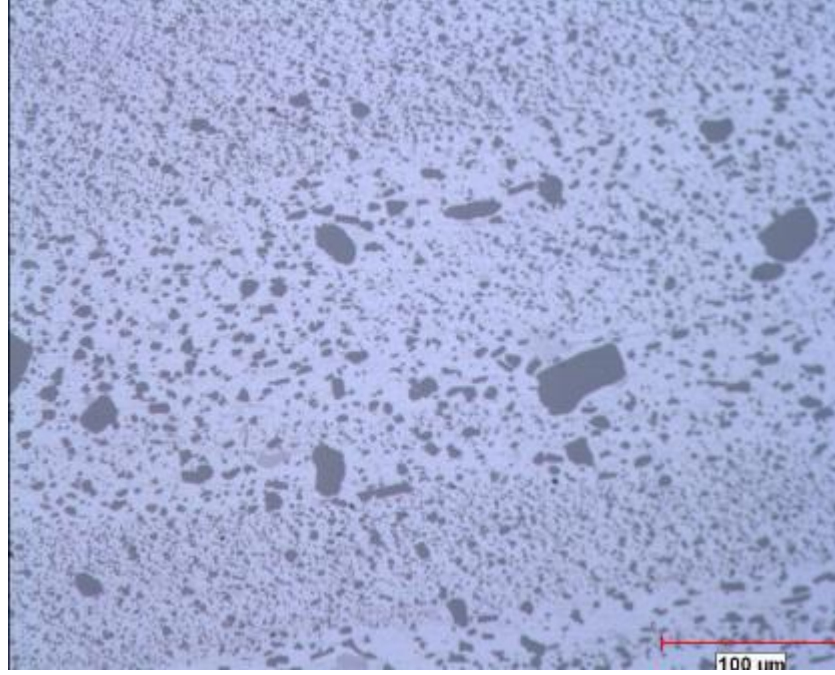
**Tartışma:** Bu şekilde tabaka oluşumu özellikle çift pasoda görülmektedir. Sürekli tabakalar arası geçiş söz konusudur.



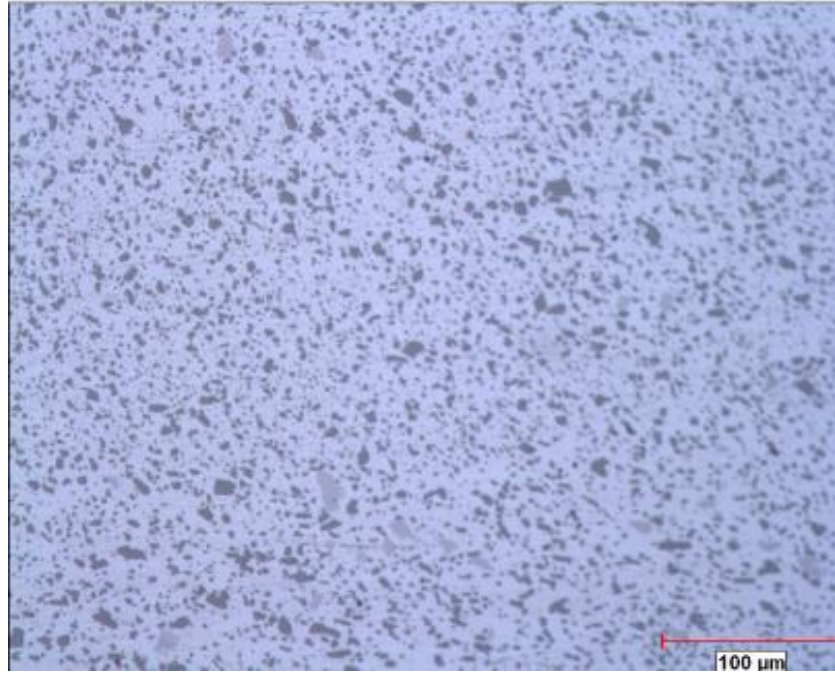
Şekil 4.89. 3 no'lu bölge C tabakası



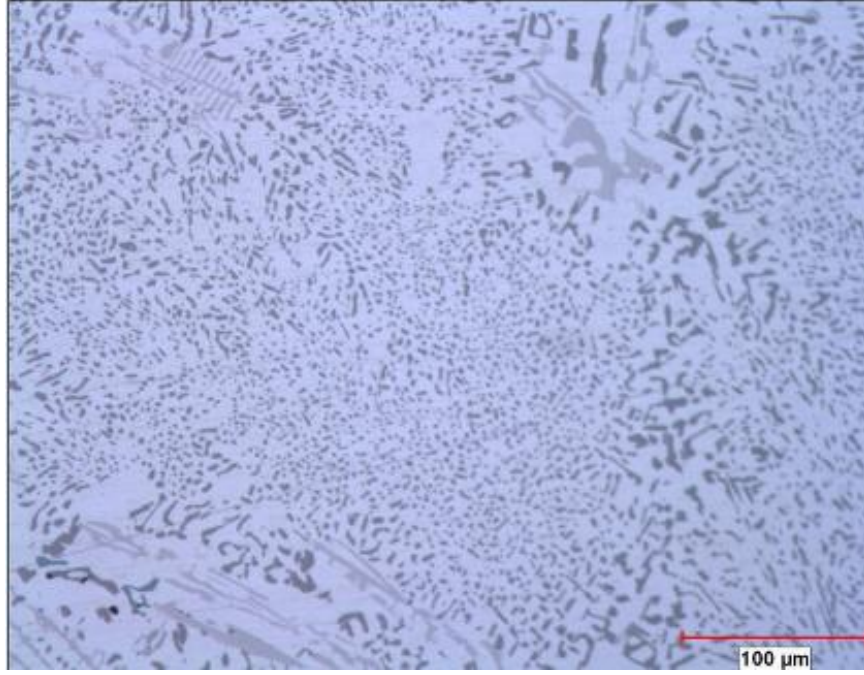
Şekil 4.90. 4 no'lu bölge A ve B tabakaları



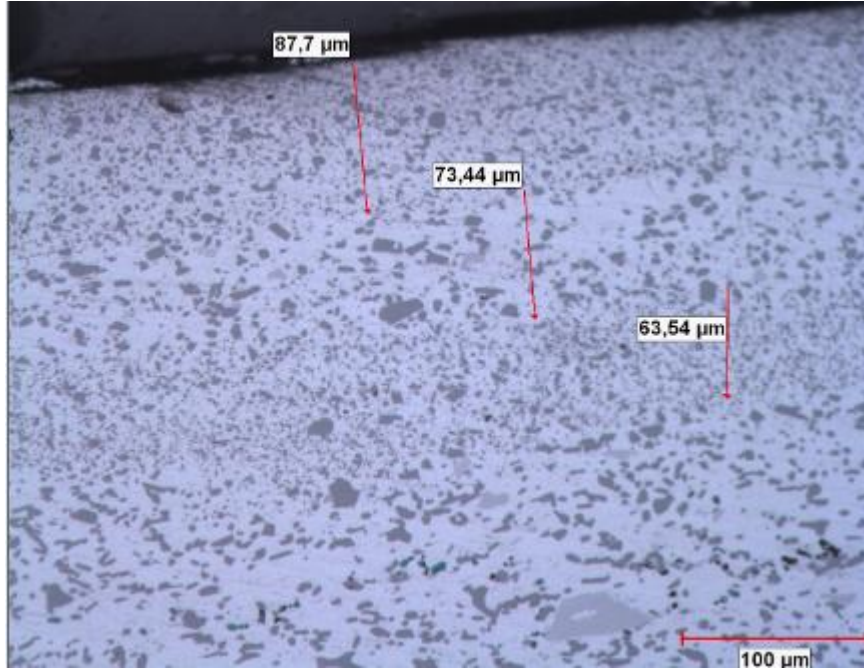
**Şekil 4.91.** 4 no'lu bölge A ve B tabakası devam ediyor



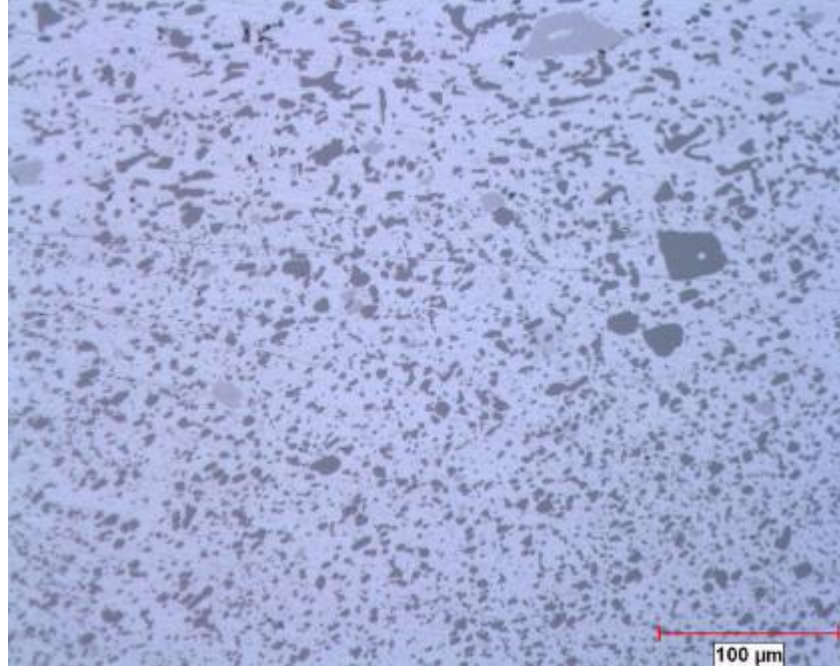
**Şekil 4.92.** 4 no'lu bölge A ve B tabakası devam ediyor



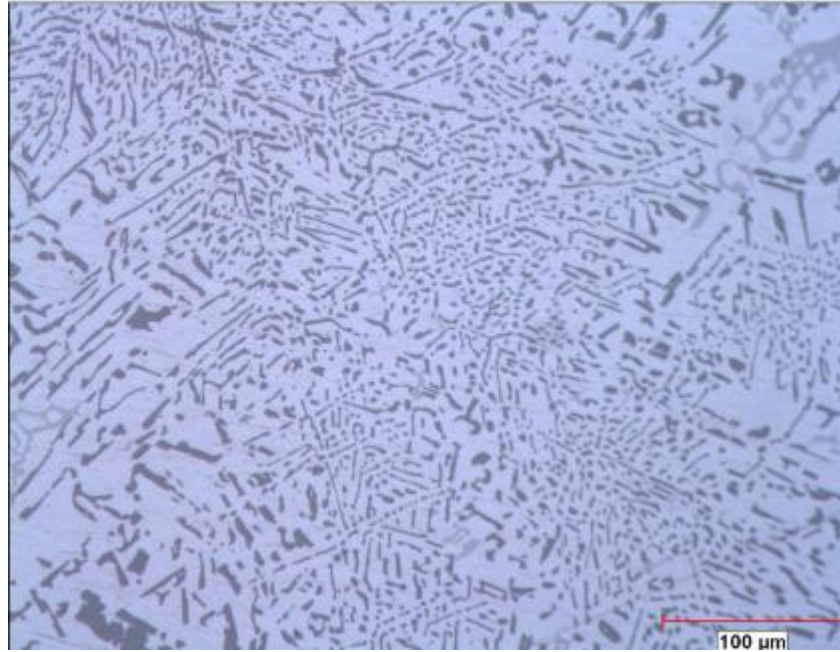
Şekil 4.93. 4 no'lu bölge C tabakası



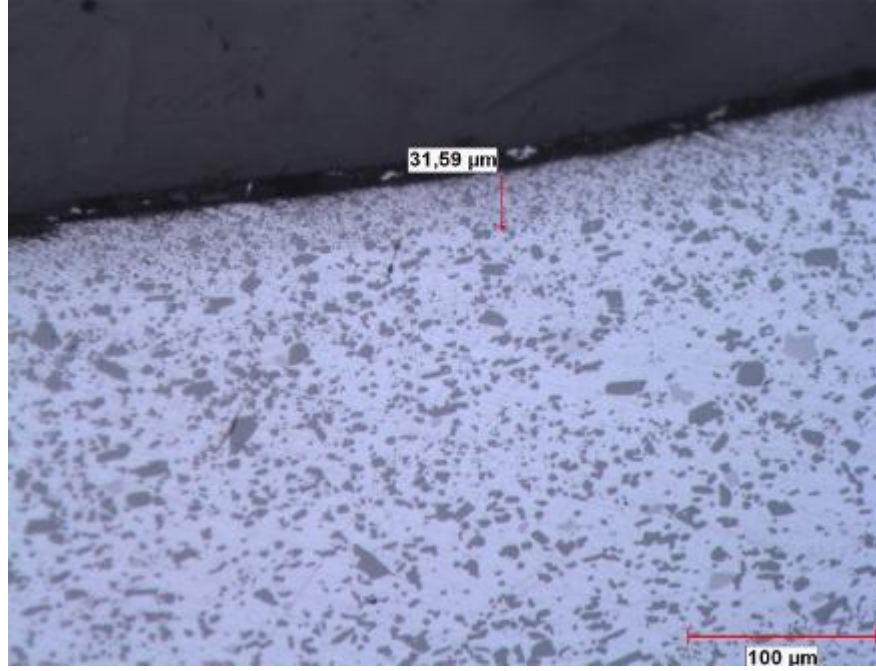
Şekil 4.94. 5 no'lu bölge A ve B tabakası



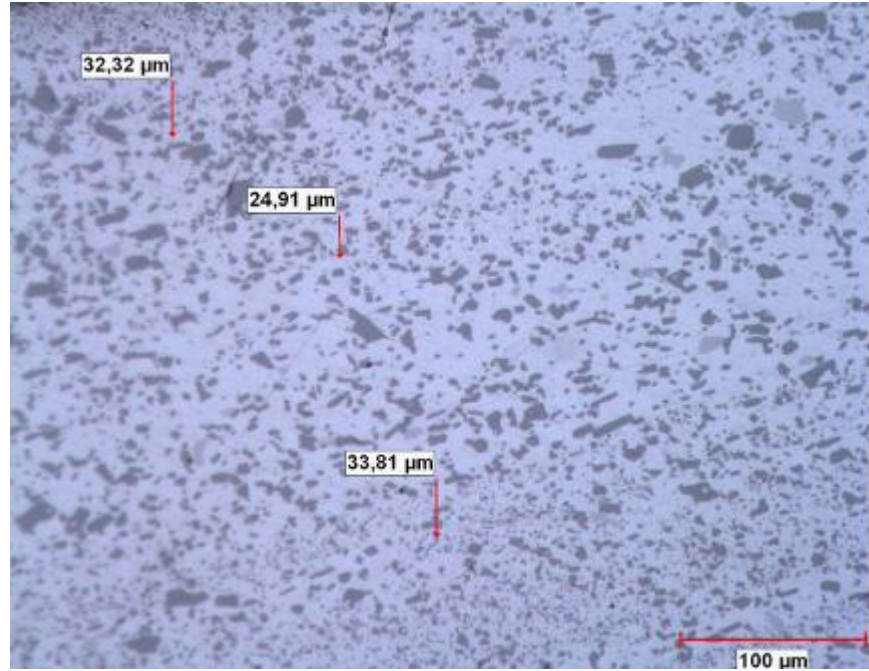
Şekil 4.95. 5 no'lu bölge B tabakası devam ediyor



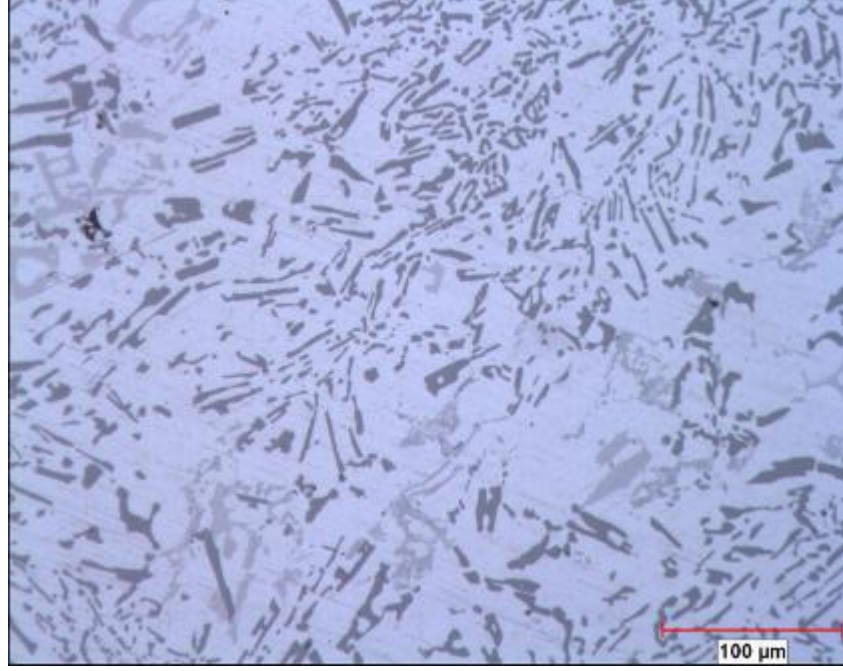
Şekil 4.96. 5 no'lu bölge C tabakası



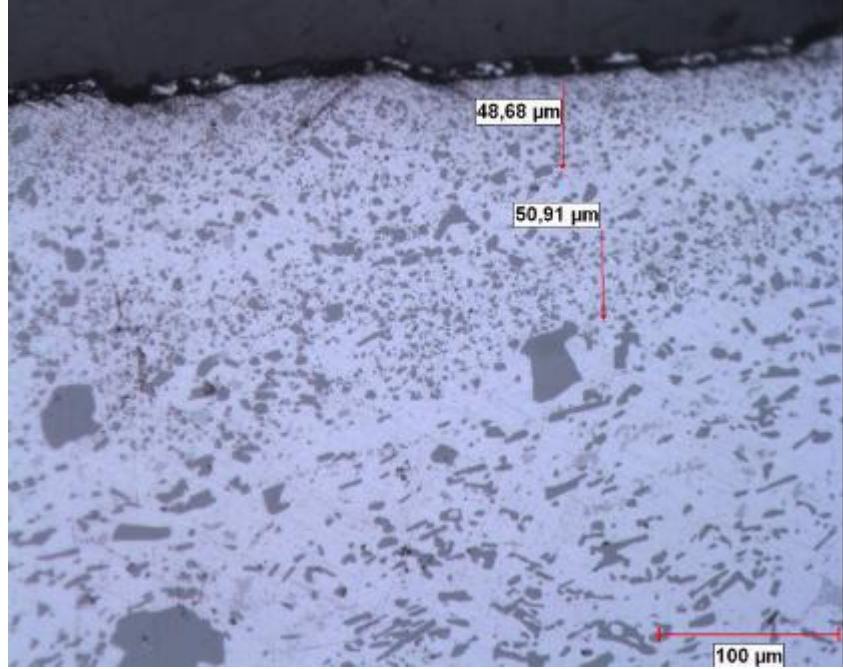
Şekil 4.97. 6 no'lu bölge A ve B tabakası



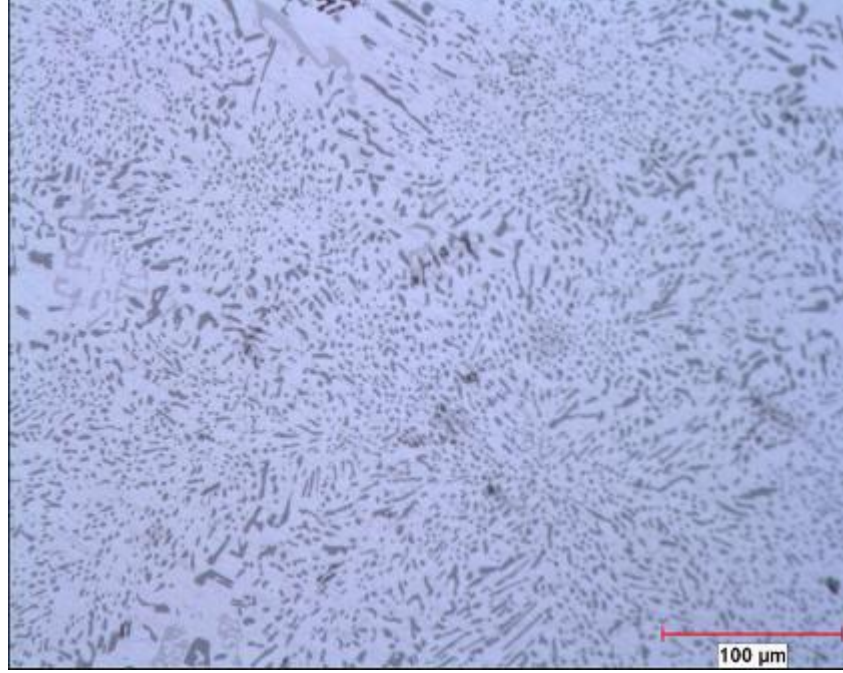
Şekil 4.98. 6 no'lu bölge A ve B tabakası devam ediyor



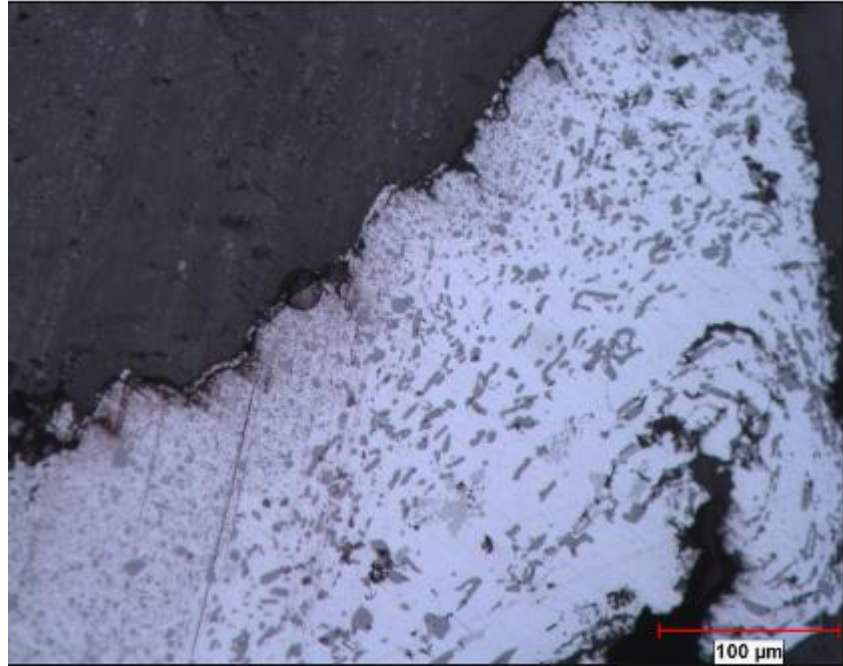
Şekil 4.99. 6 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.100. 7 no'lu bölge A ve B tabakası

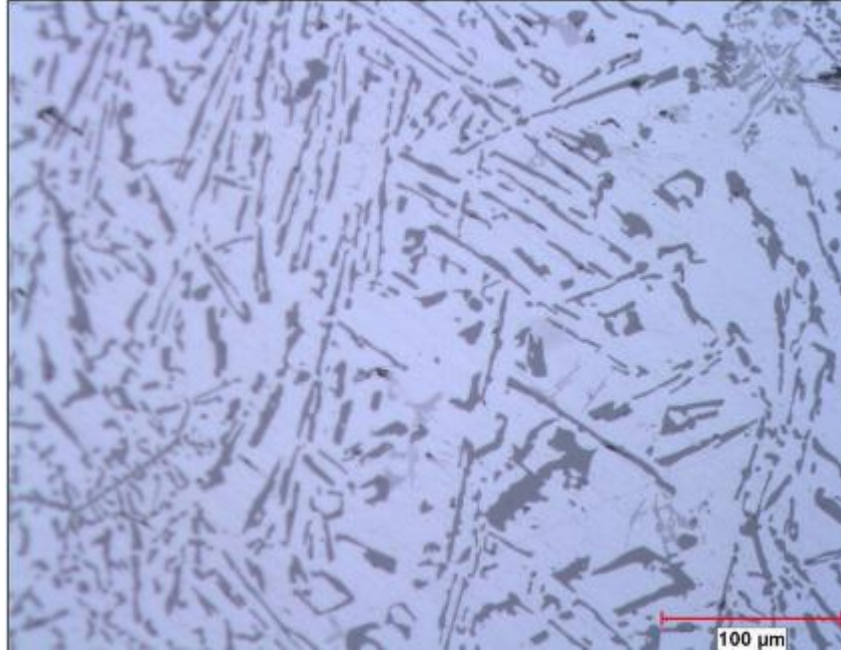


Şekil 4.101. 7 no'lu C tabakası



Şekil 4.102. 8 no'lu A ve B tabakası

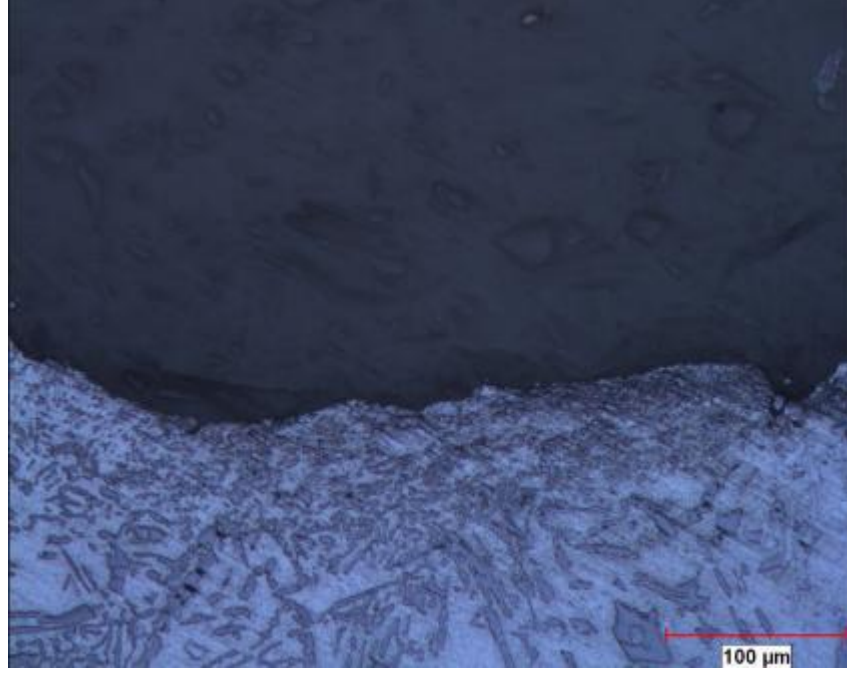




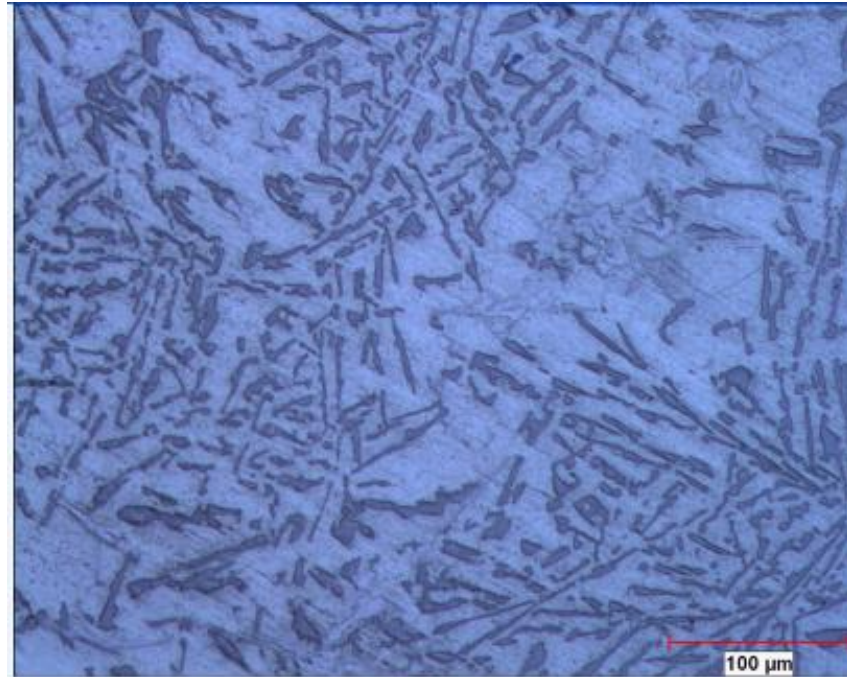
**Şekil 4.103.** 8 no'lu A ve B tabakası

#### 4.2.2.2. ift paso ile işlenmiş yüzeyler

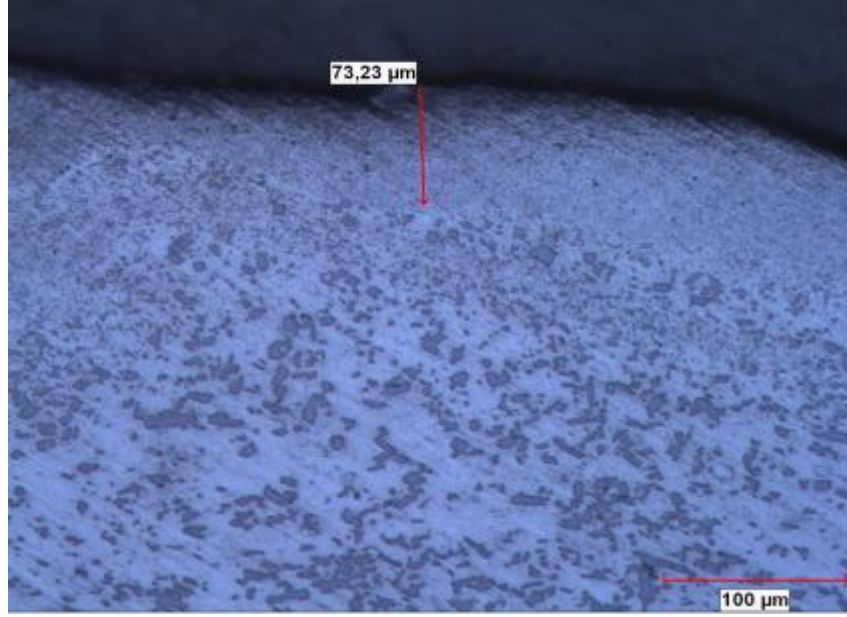
##### 4.2.2.2.1. Aynı yn ışıl işlemsiz



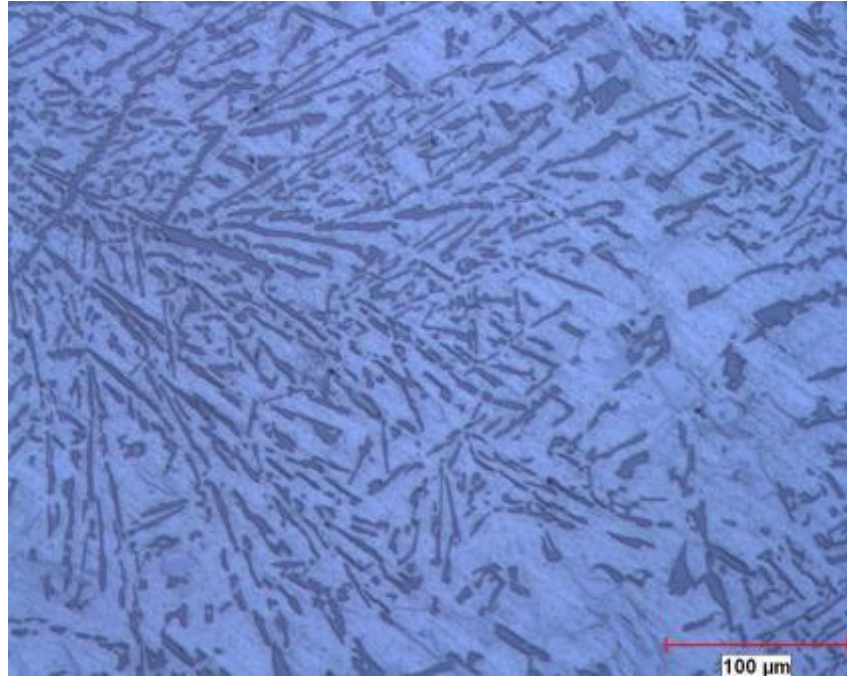
şekil 4.104. 1 no'lu blge A-B tabakası



şekil 4.105. 1 no'lu blge C tabakası



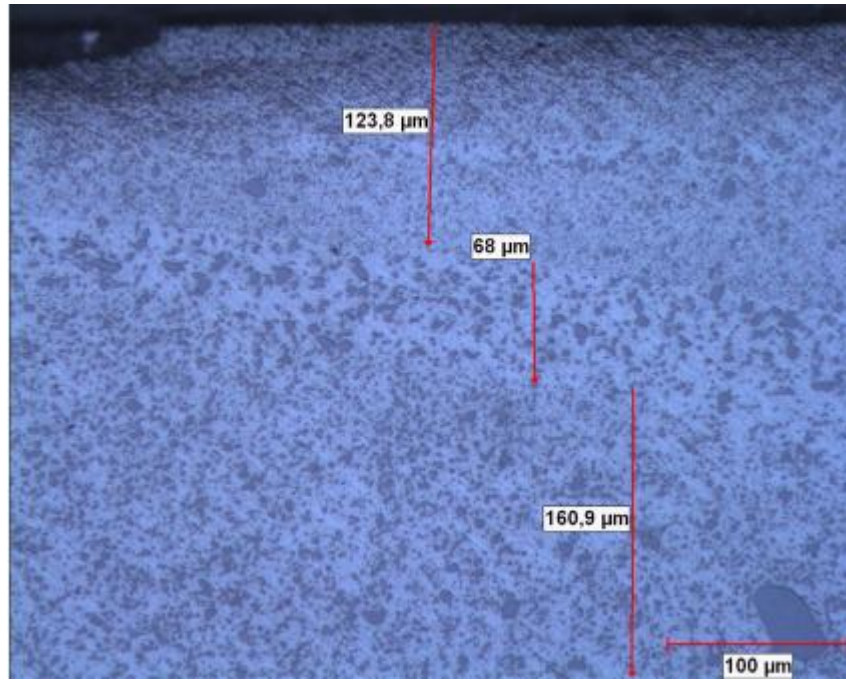
Şekil 4.106. 2 no'lu bölge A ve B tabakası



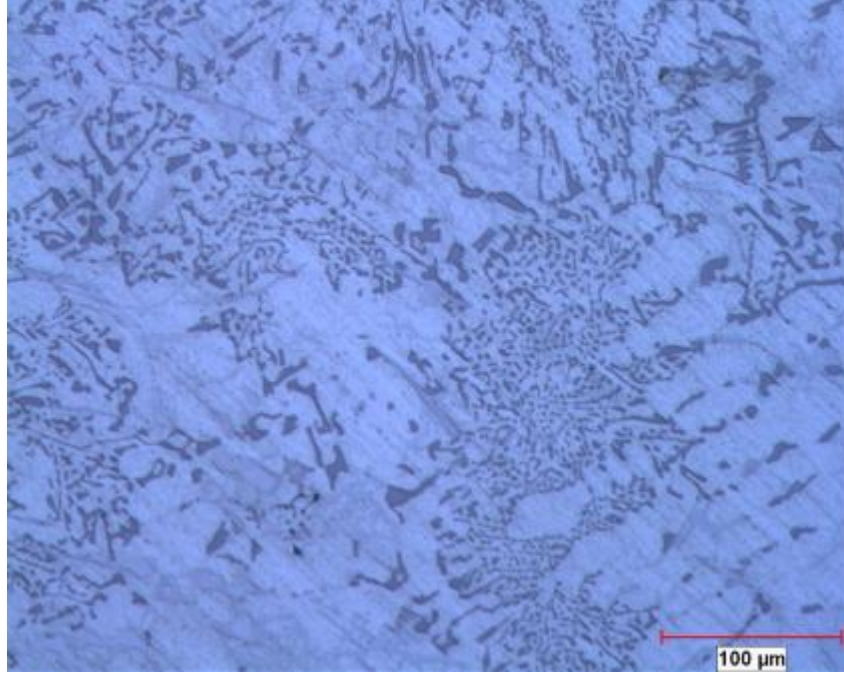
Şekil 4.107. 2 no'lu bölge C tabakası



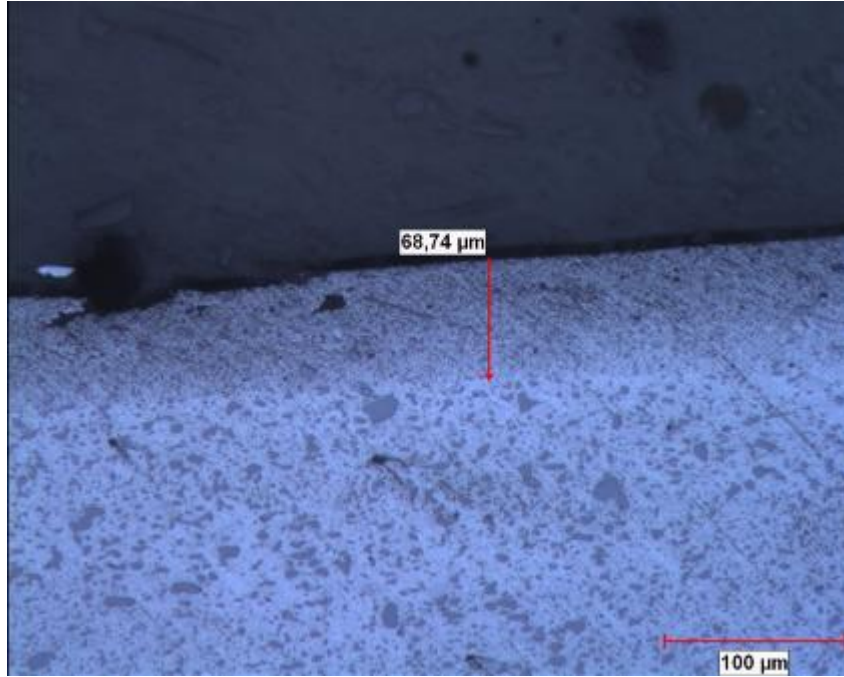
Şekil 4.108. 3 no'lu bölge A ve B tabakaları



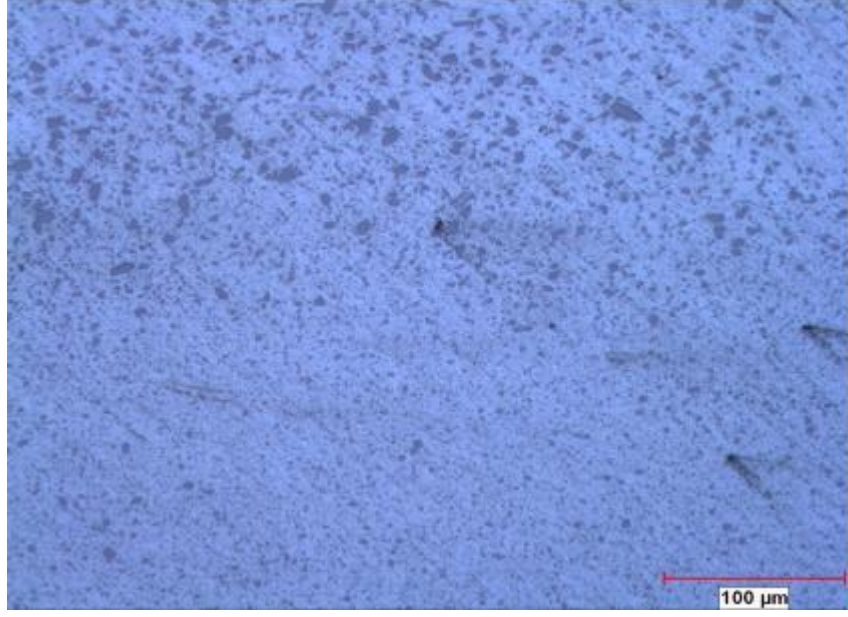
Şekil 4.109. 3 no'lu bölge A ve B tabakaları devam ediyor



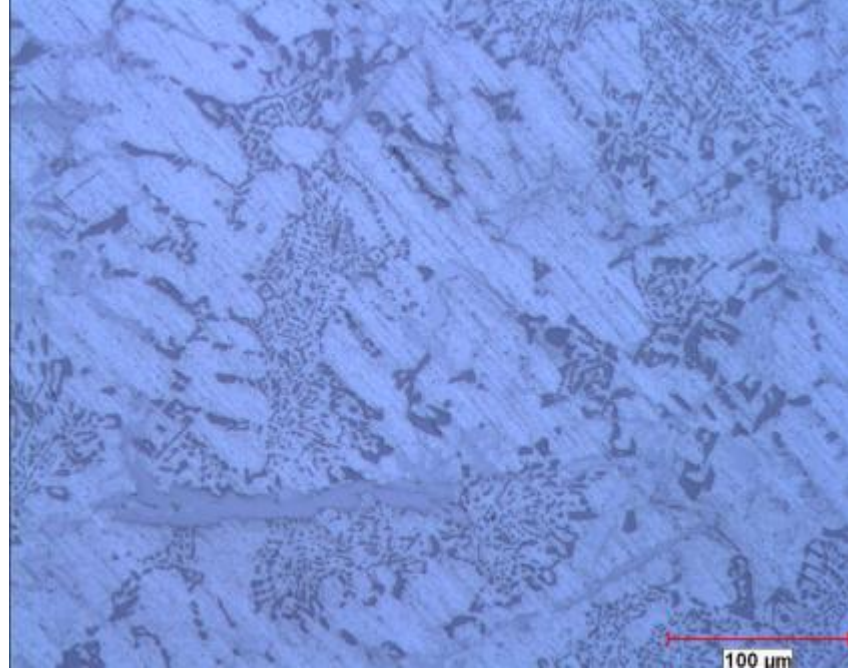
Şekil 4.110. 3 no'lu bölge C tabakası



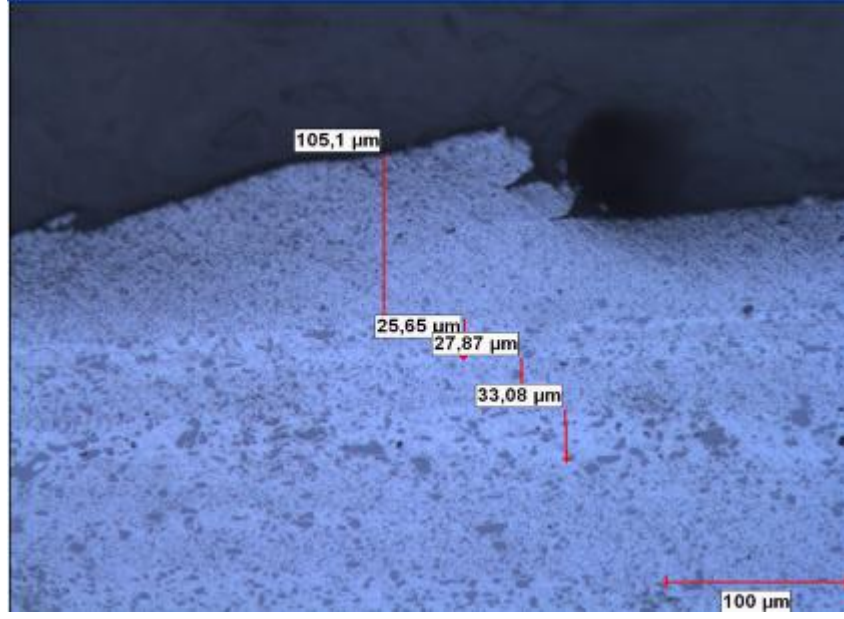
Şekil 4.111. 4 no'lu bölge A ve B tabakası



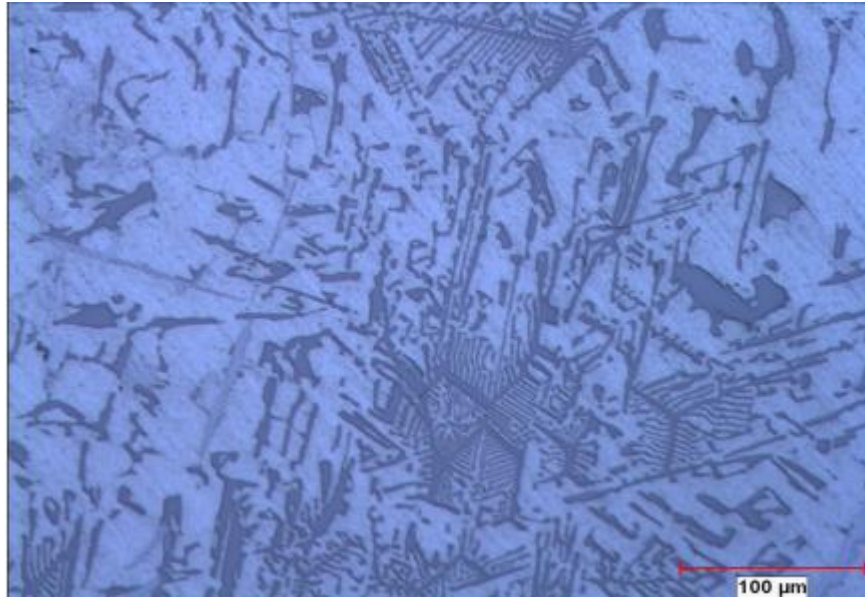
**Şekil 4.112.** 4 no'lu bölge A ve B tabakası devam ediyor



**Şekil 4.113.** 4 no'lu bölge C tabakası



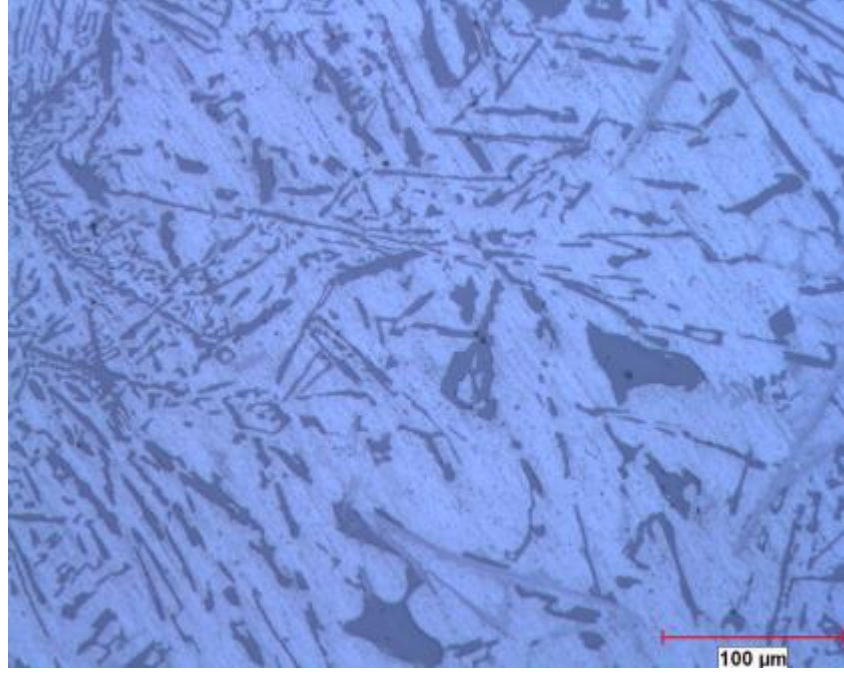
Şekil 4.114. 5 no'lu bölge A ve B tabakaları



Şekil 4.115. 5 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.116. 6 no'lu bölge A ve B tabakası



Şekil 4.117. 6 no'lu bölge C tabakası

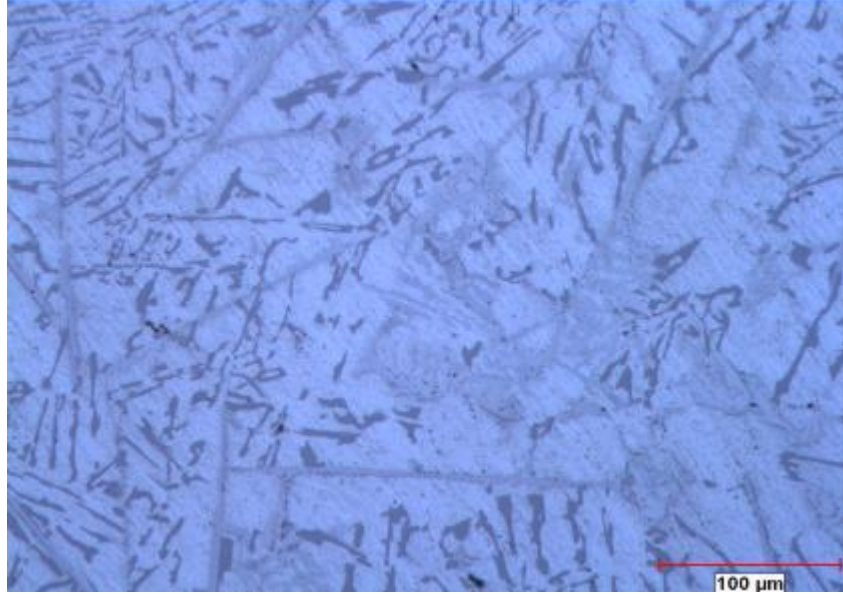




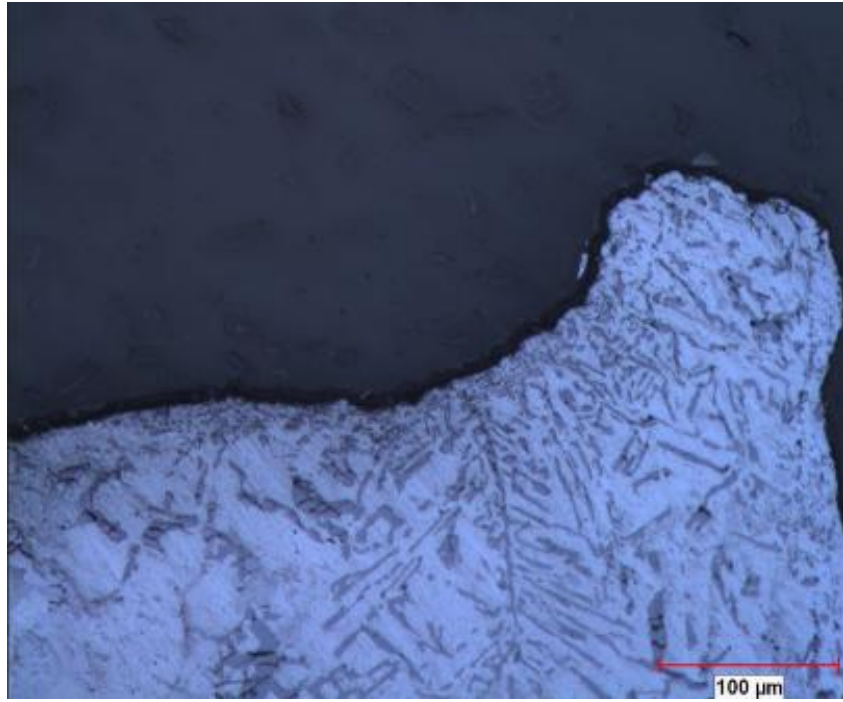
Şekil 4.118. 7 no'lu bölge A ve B tabakası



Şekil 4.119. 7 no'lu bölge A ve B tabakaları devam ediyor

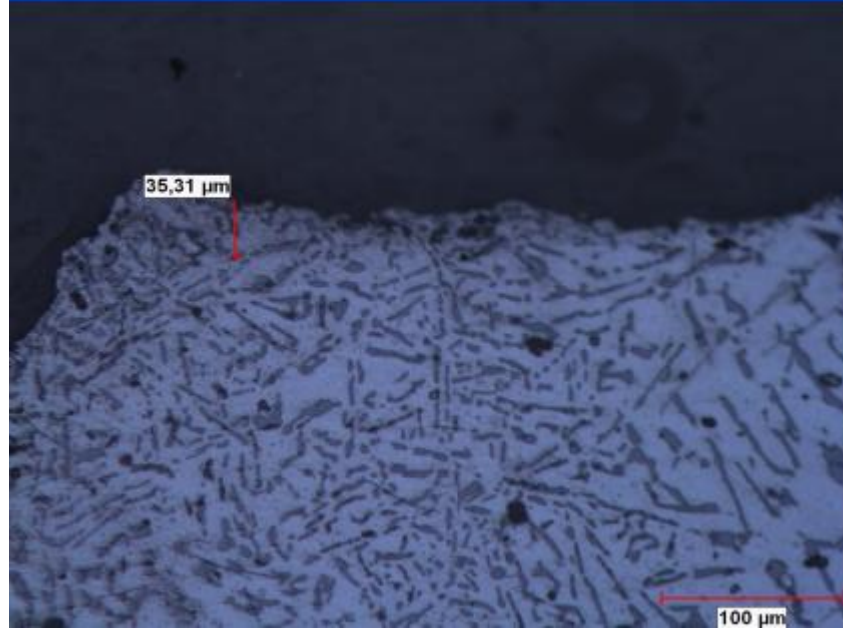


Şekil 4.120. 7 no'lu bölge C tabakası

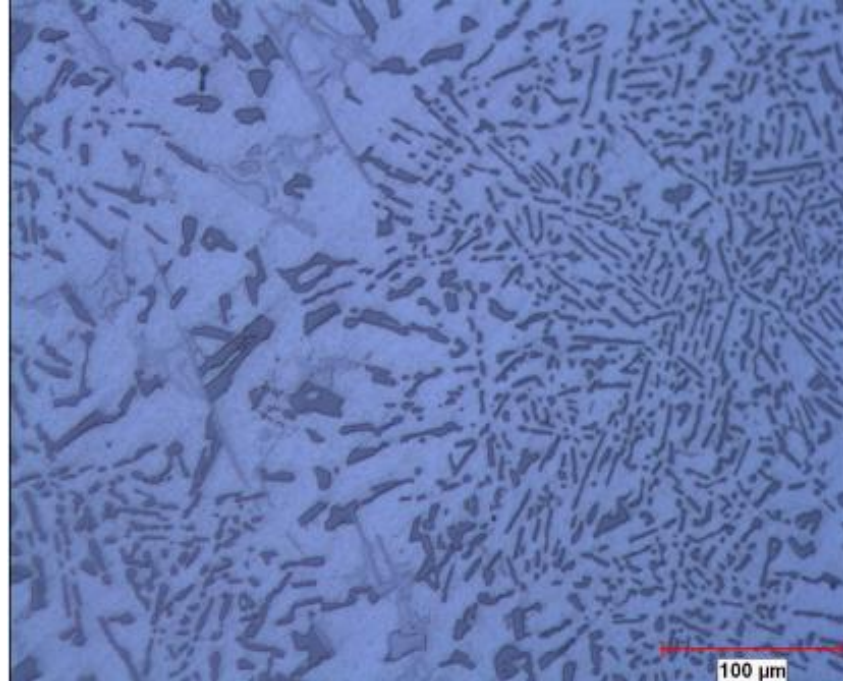


Şekil 4.121. 8 no'lu bölge C tabakası (A ve B çok az)

#### 4.2.2.2. Aynı yön ısıl işlemleri



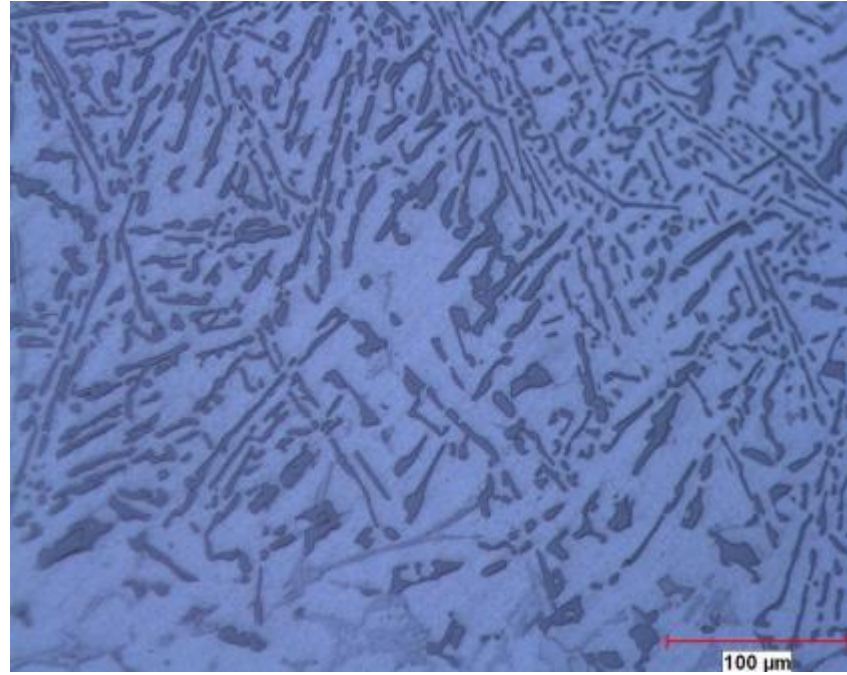
Şekil 4.122. 1 no'lu bölge C tabakası (A ve B çok az)



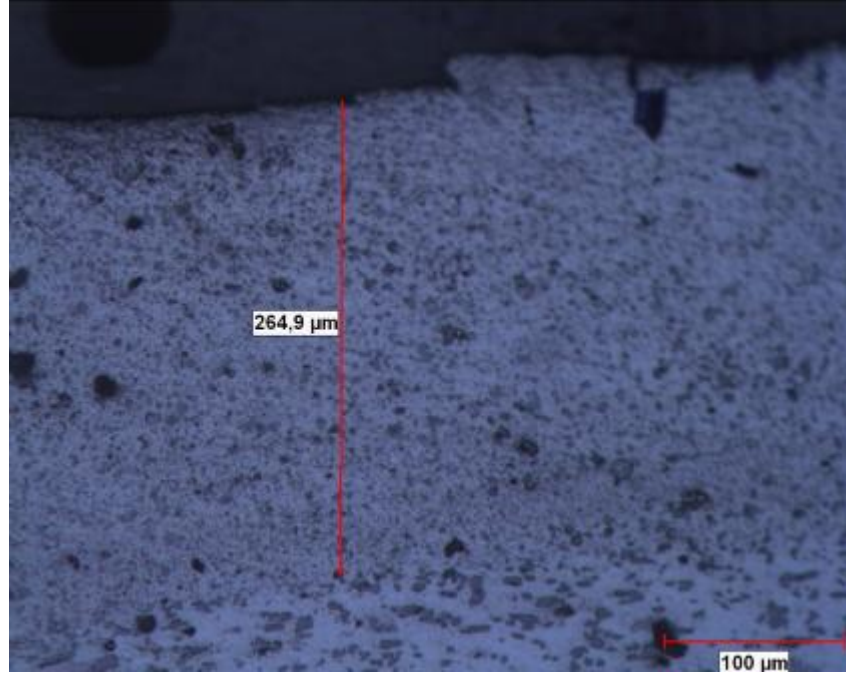
Şekil 4.123. 1 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.124. 2 no'lu bölge A ve B tabakası



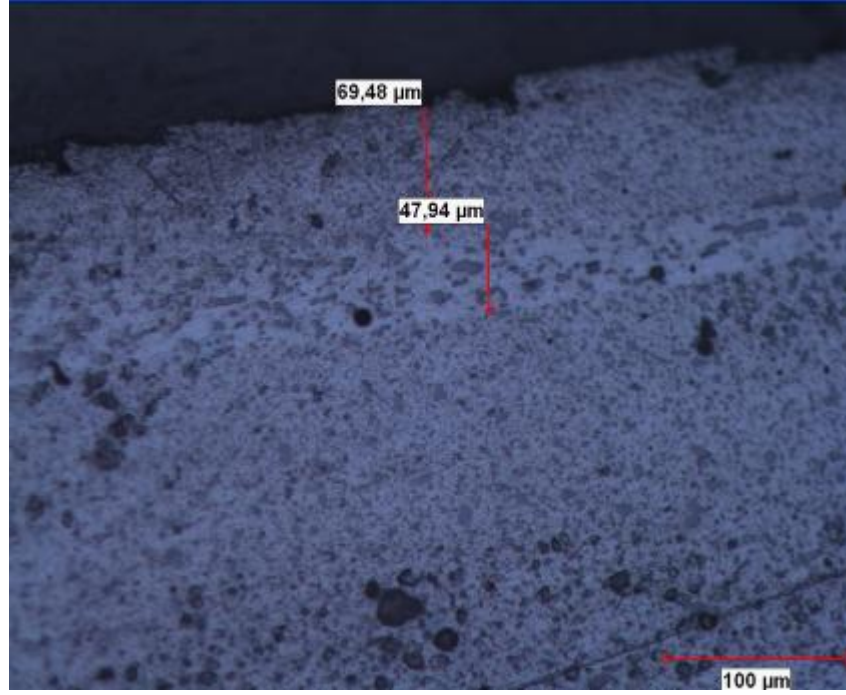
Şekil 4.125. 2 no'lu bölge C tabakası



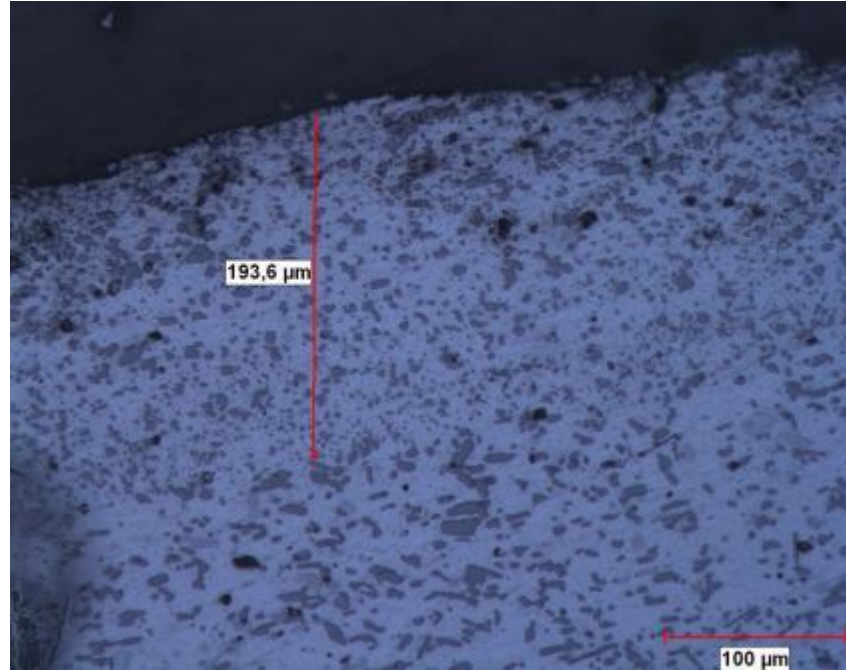
Şekil 4.126. 3 no'lu bölge A ve B tabakası



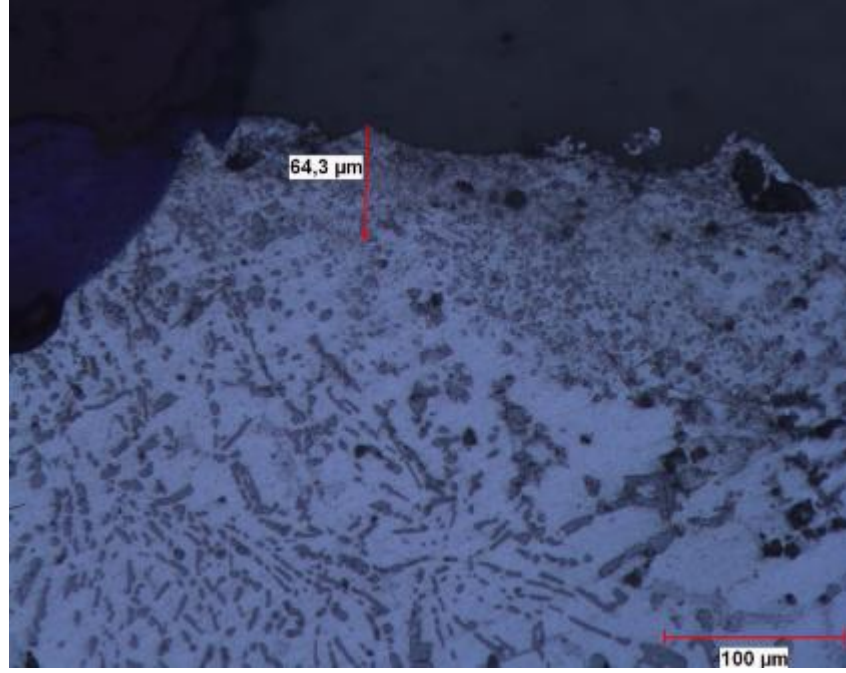
Şekil 4.127. 4 no'lu bölge A ve B tabakası



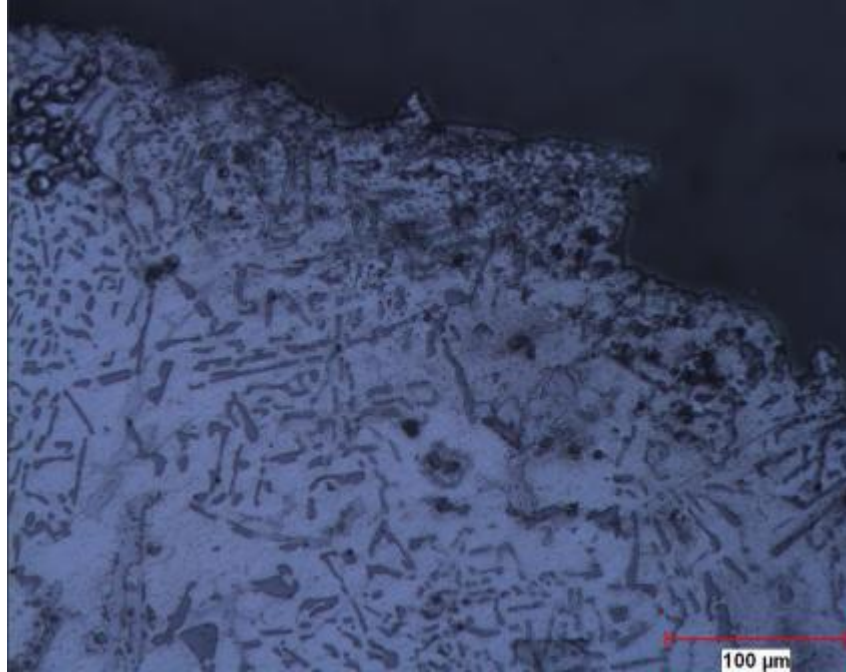
Şekil 4.128. 5 no'lu bölge A ve B tabakaları



Şekil 4.129. 6 no'lu bölge A ve B tabakaları



Şekil 4.130. 7 no'lu bölge A ve B tabakası

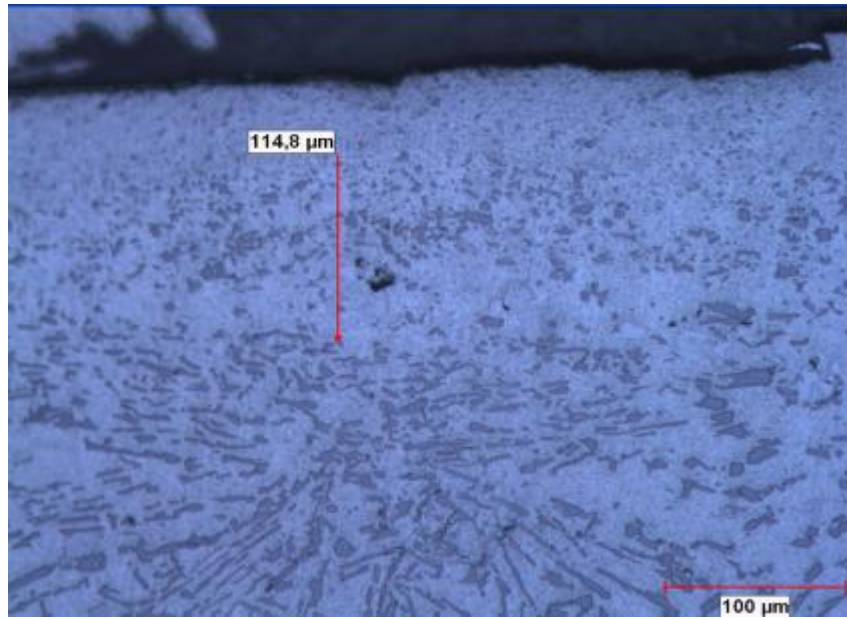


Şekil 4.131. 8 no'lu bölge C tabakası (A ve B tabakası yok)

#### 4.2.2.2.3. Zıt yön ısıl işlemsiz



Şekil 4.132. 1 no'lu bölge C tabakası (A ve B tabakası yok)

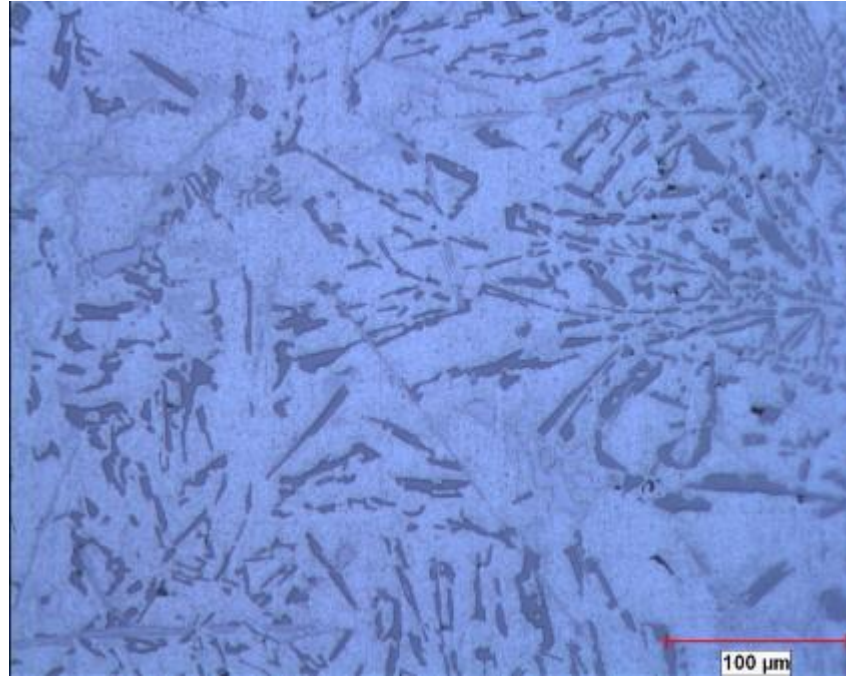


Şekil 4.133. 2 no'lu bölge A, B ve C tabakası

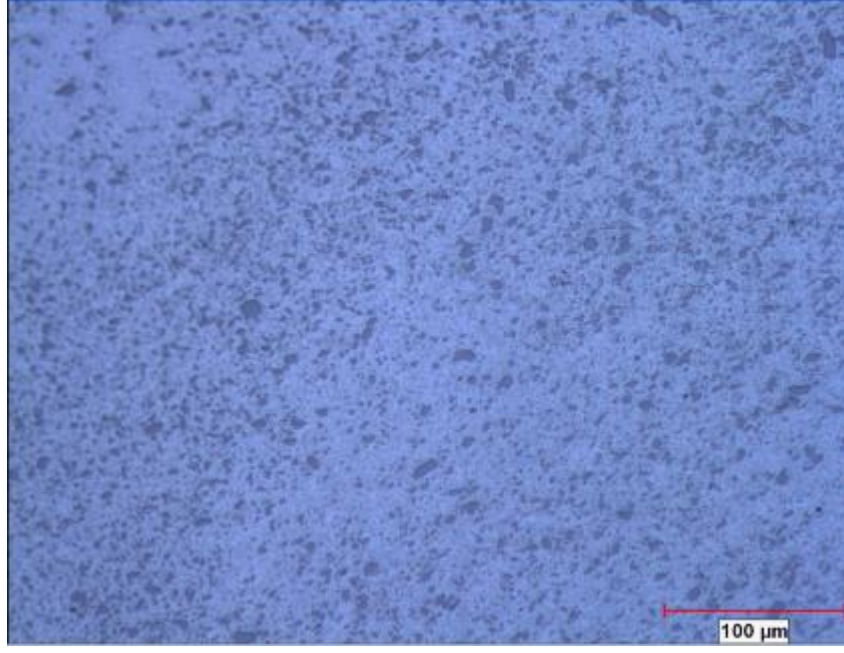




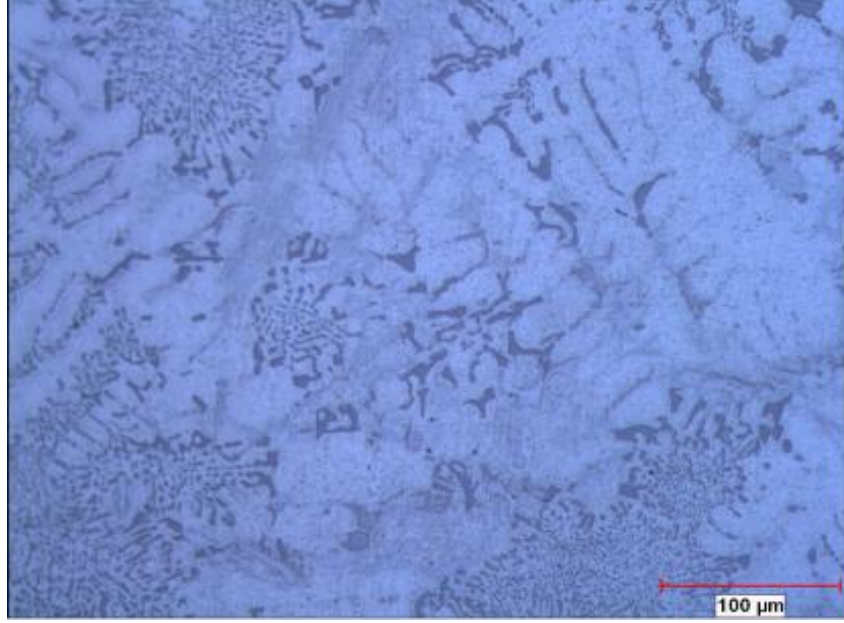
Şekil 4.134. 3 no'lu bölge A ve B tabakası



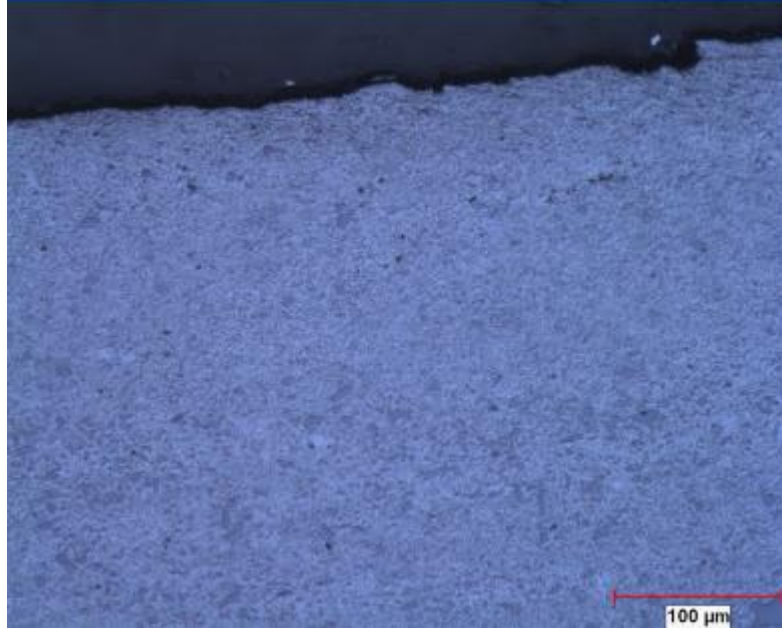
Şekil 4.135. 3 no'lu bölge C tabakası



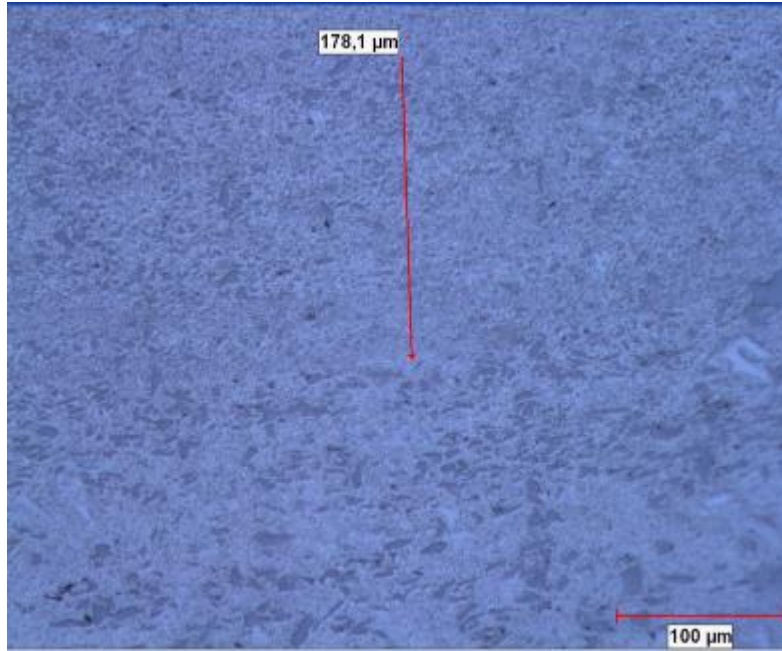
**Şekil 4.136.** 4 no'lu bölge A tabakası (A ve B sınırı yok)



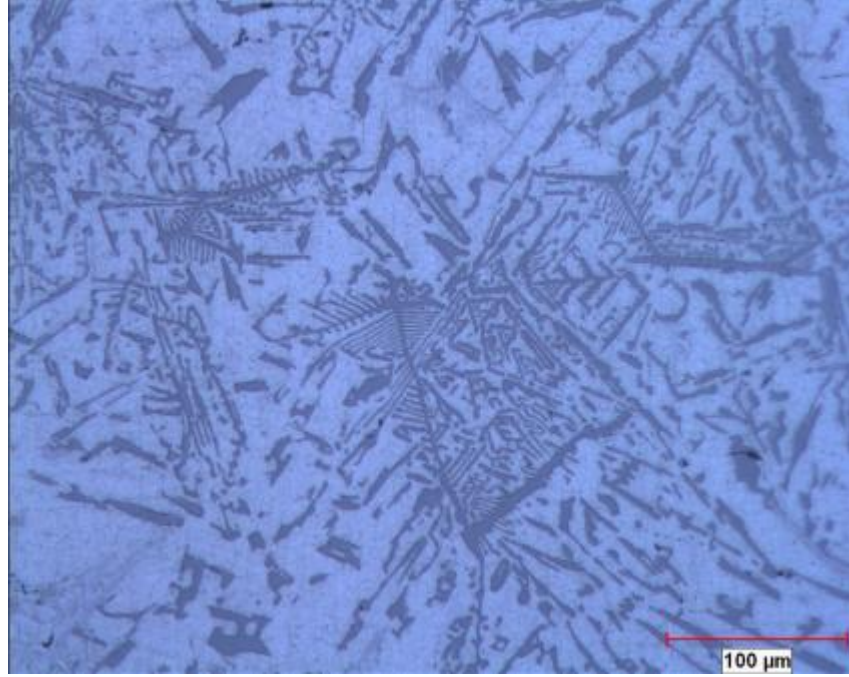
**Şekil 4.137.** 4 no'lu bölge C tabakası



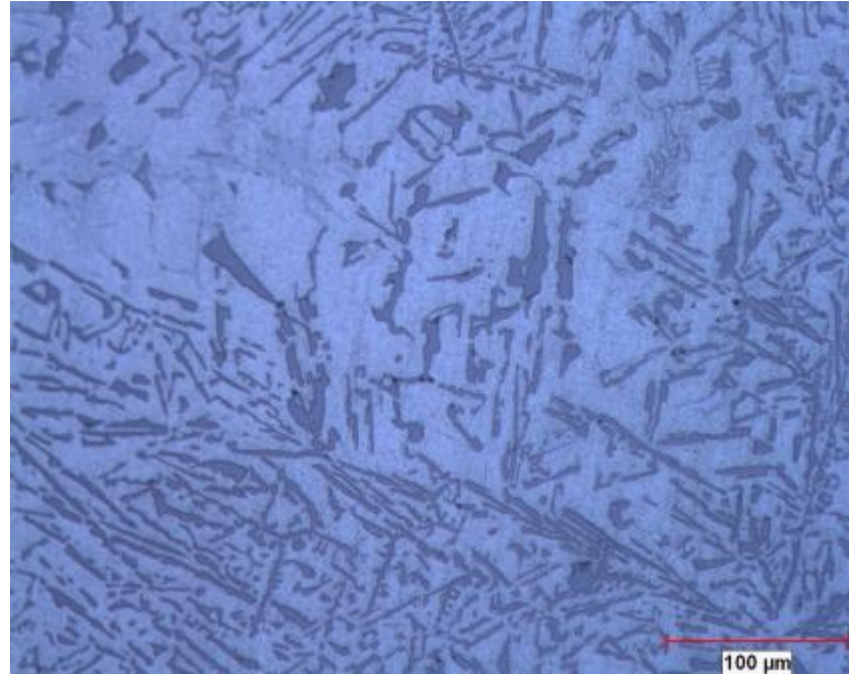
**Şekil 4.138.** 5 no'lu bölge A tabakası



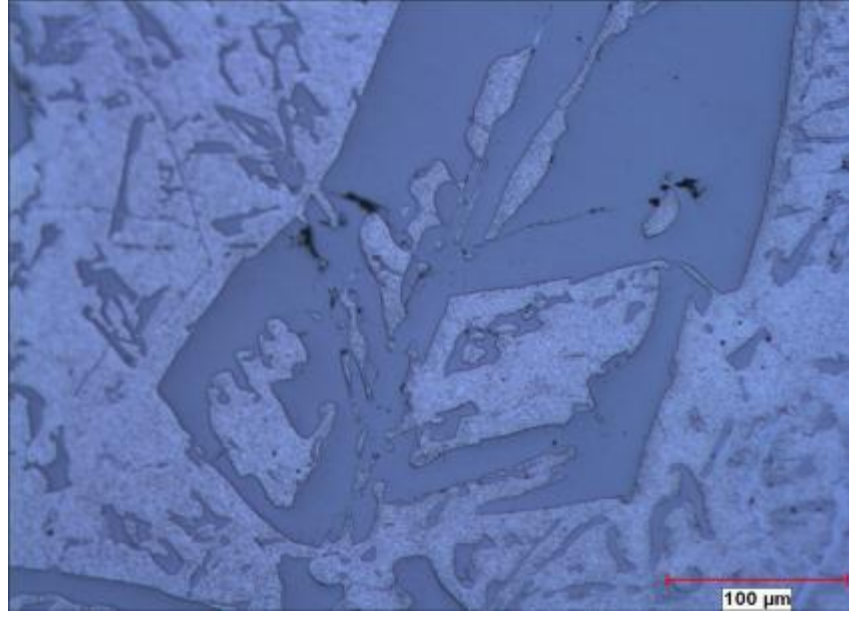
**Şekil 4.139.** 5 no'lu bölge A ve B tabakası



Şekil 4.140. 5 no'lu bölge C tabakası

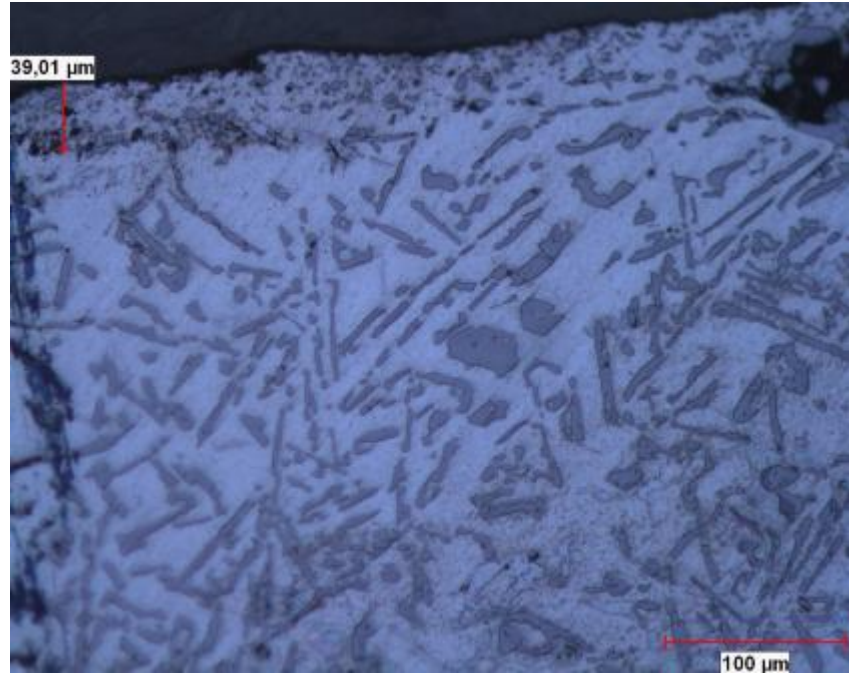


Şekil 4.141. 6 no'lu bölge C tabakası (A ve B yok)

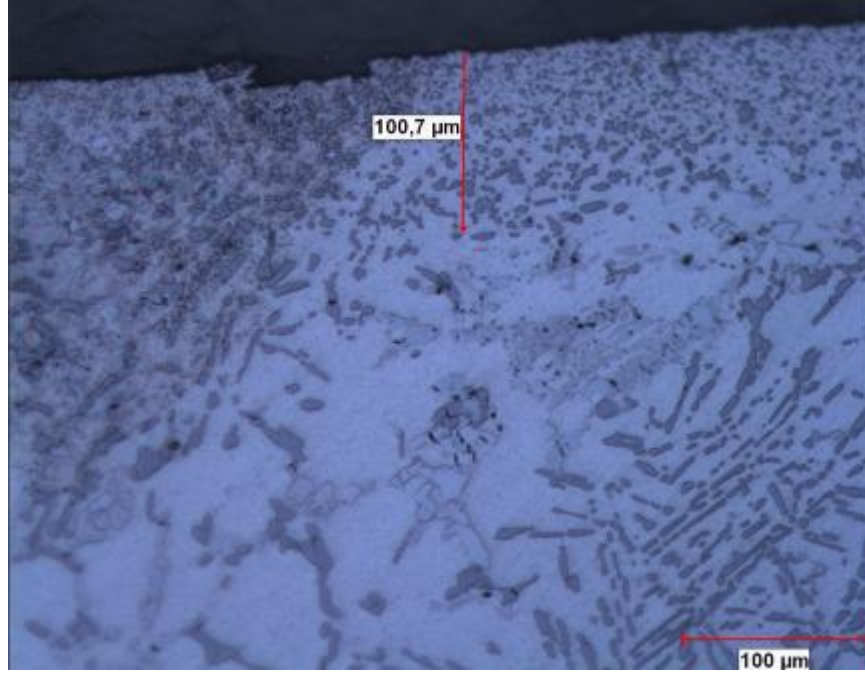


Şekil 4.142. 6 no'lu bölge C tabakası

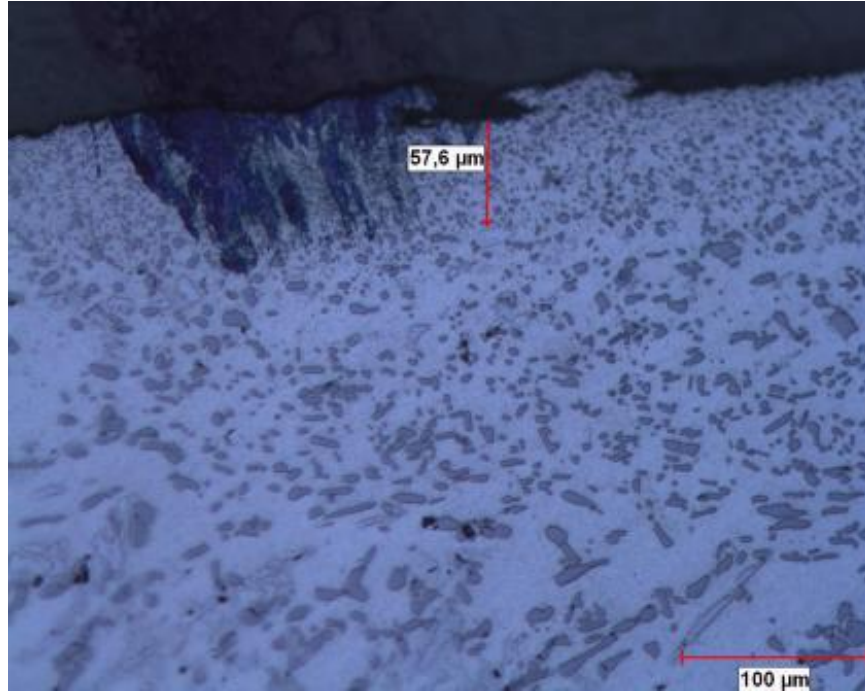
#### 4.2.2.2.4. Zıt yön ısıl işlemler



Şekil 4.143. 1 no'lu bölge A ve C tabakası



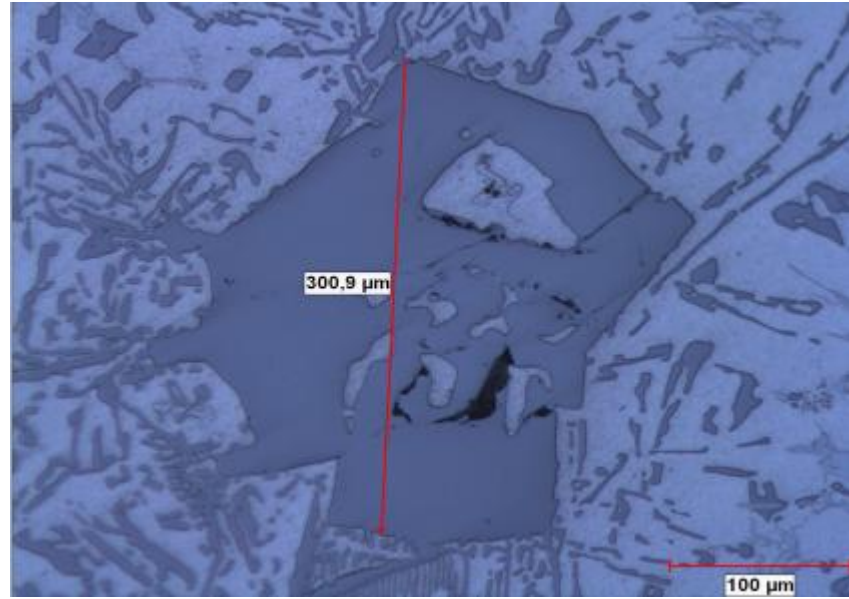
Şekil 4.144. 2 no'lu bölge A, B ve C tabakası



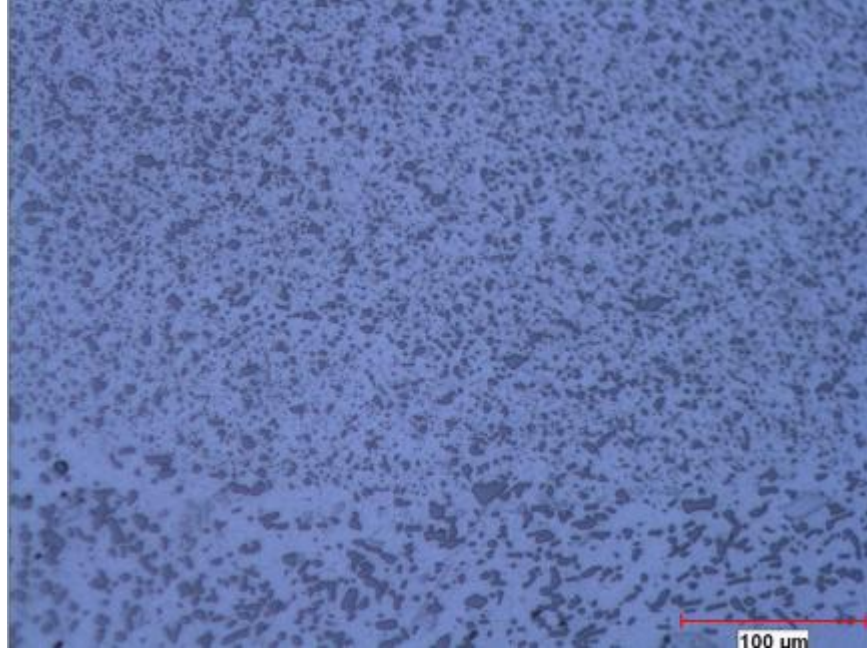
Şekil 4.145. 3 no'lu bölge A, B ve C tabakası



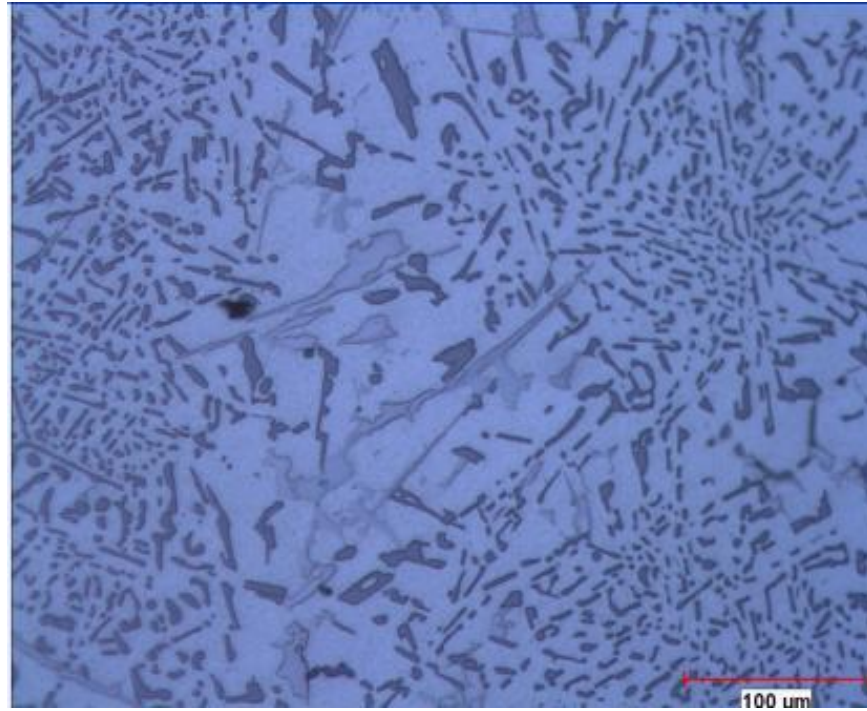
Şekil 4.146. 3 no'lu bölge B ve C tabakası



Şekil 4.147. 3 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.148. 4 no'lu bölge A ve B tabakası

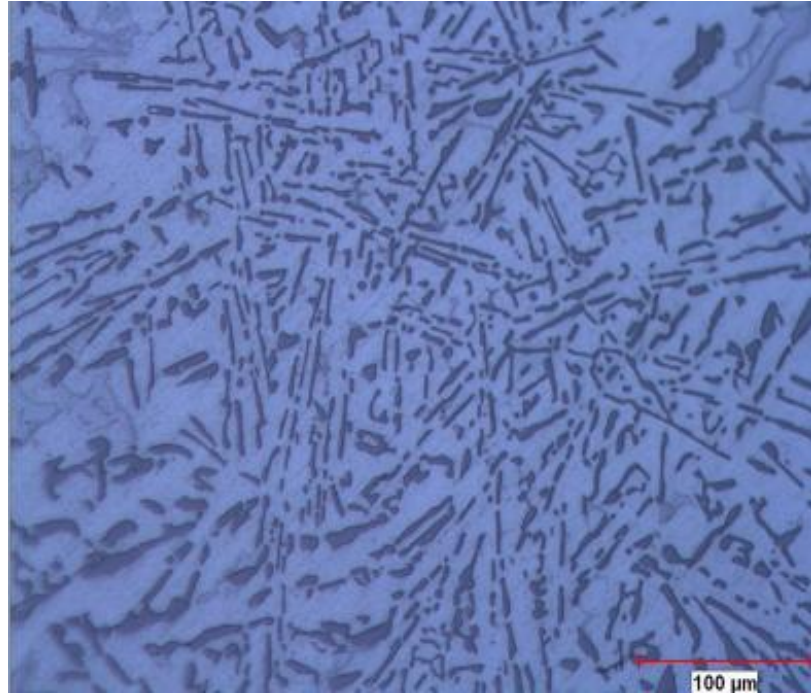


Şekil 4.149. 4 no'lu bölge C tabakası





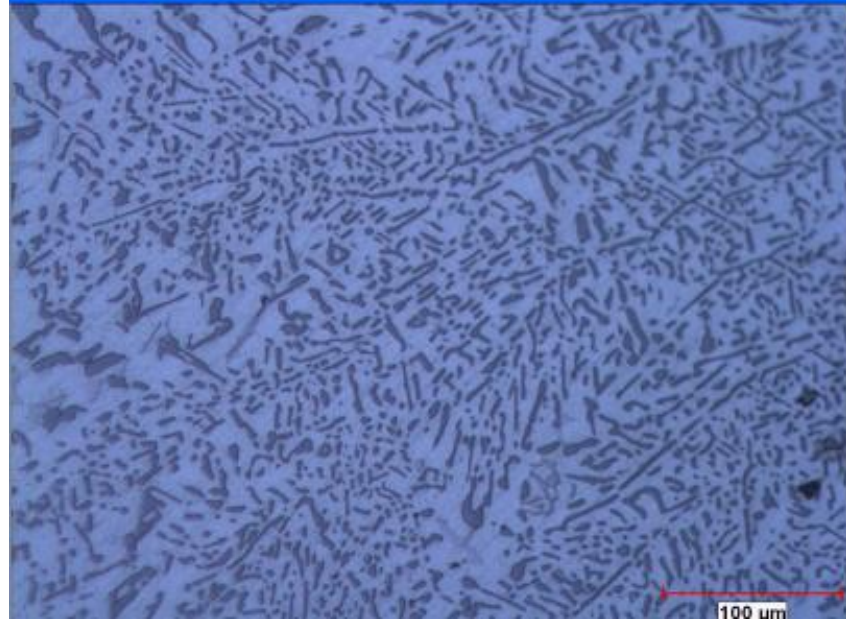
Şekil 4.150. 5 no'lu bölge A, B ve C tabakası



Şekil 4.151. 5 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.152. 6 no'lu bölge A, B ve C tabakası



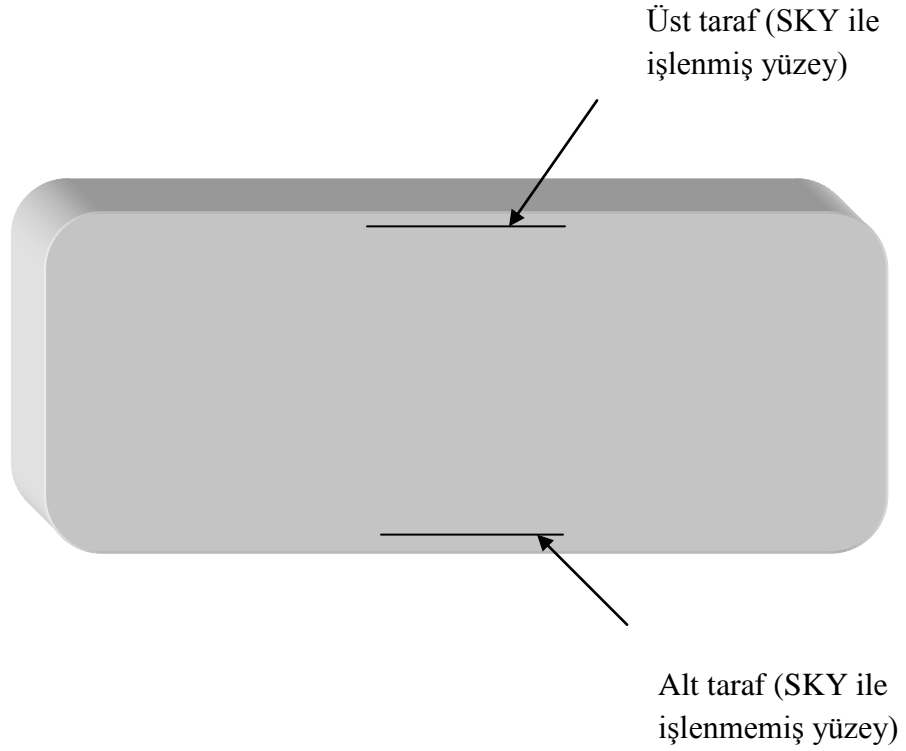
Şekil 4.153. 6 no'lu bölge C tabakası



Şekil 4.154. 7 no'lu bölge A ve C tabakası ( B yok, A çok dar)

### 4.3. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri sürtünme karıştırma yöntemi ile işlenen deney örneklerinin yan yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. Her kesitin alt ve üst kenar ortalarında (4 no'lu bölge) ve kenarlara mümkün olduğunca yakın kısımlarda yapılmıştır. Aşınma yerlerinin şematik görünümü şekil 4.146'da görülmektedir.



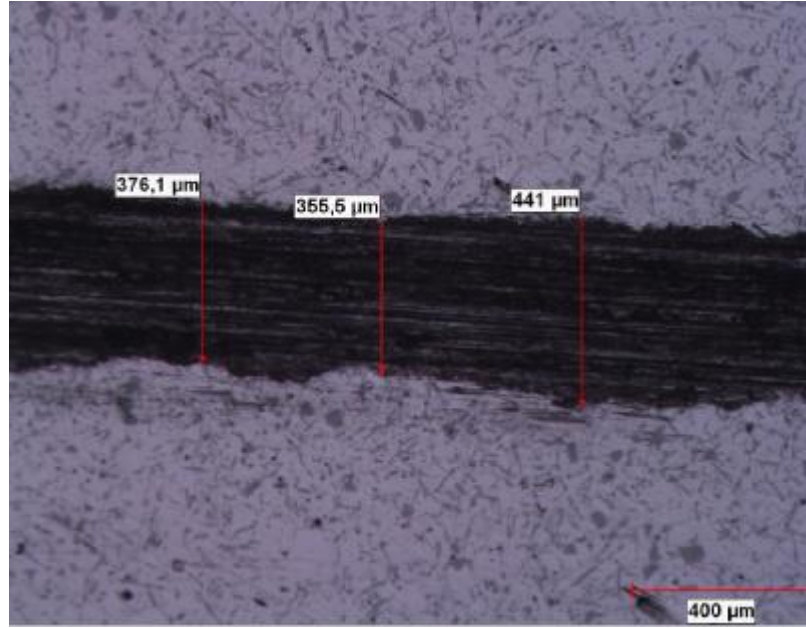
Şekil 4.155. Aşınma yerlerinin şematik görünümü

### 4.3.1. Aşınma Çizik Genişlikleri

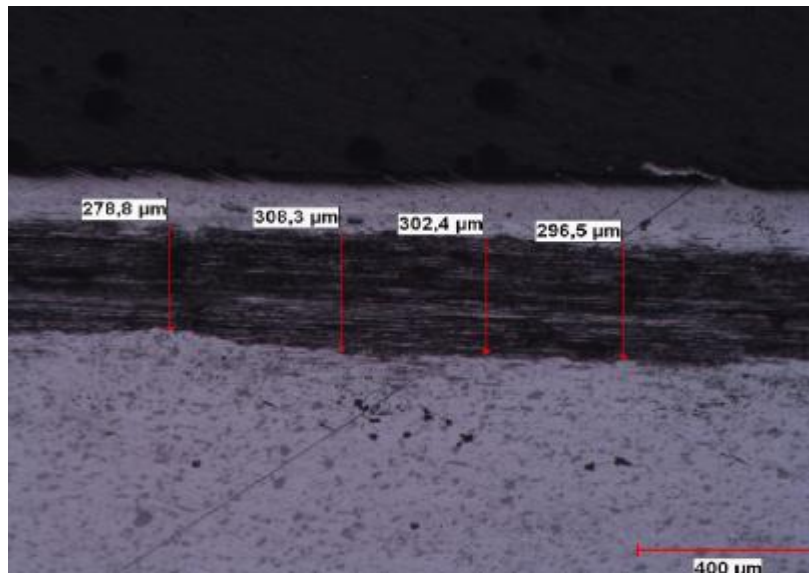
#### 4.3.1.1. Etial 145

##### 4.3.1.1.1. Tek paso

##### 4.3.1.1.1.1. Isıl işlemsiz

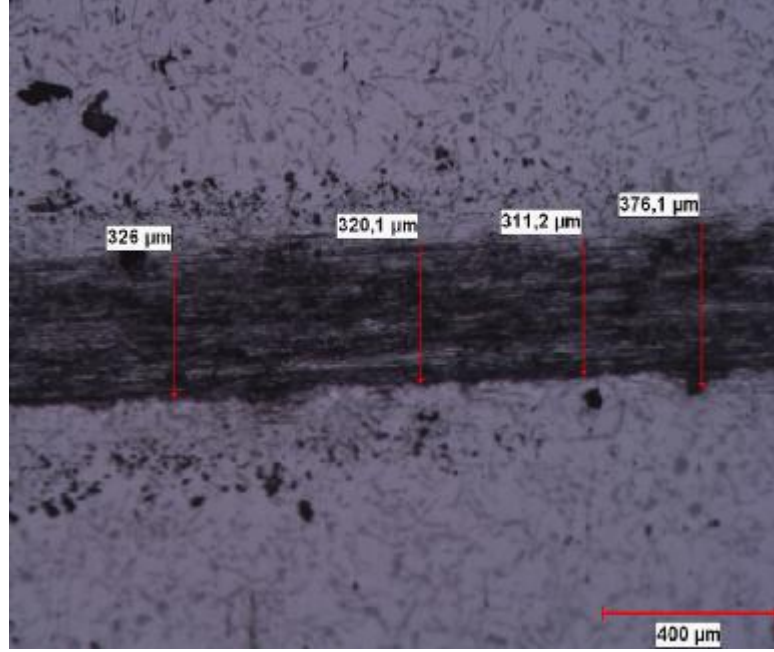


Şekil 4.156. Alt taraf

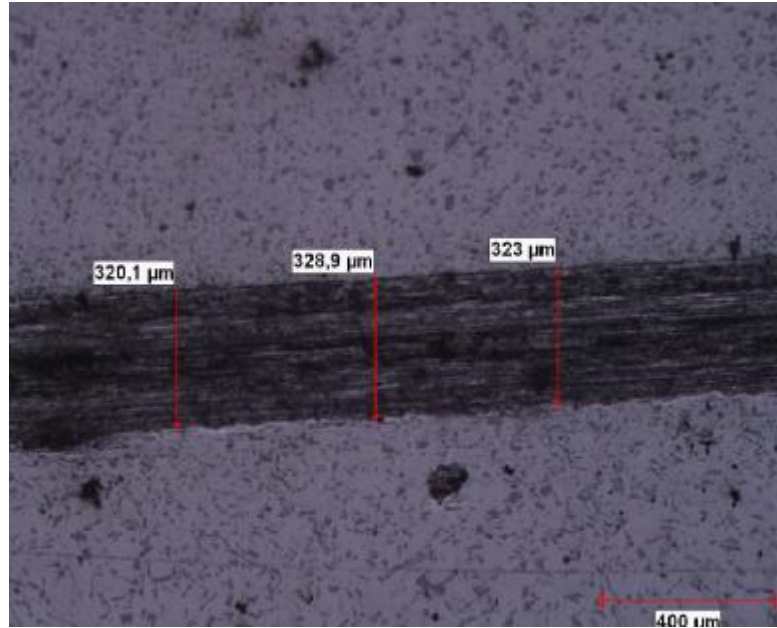


Şekil 4.157. Üst taraf

#### 4.3.1.1.1.2. Isıl işlemlili



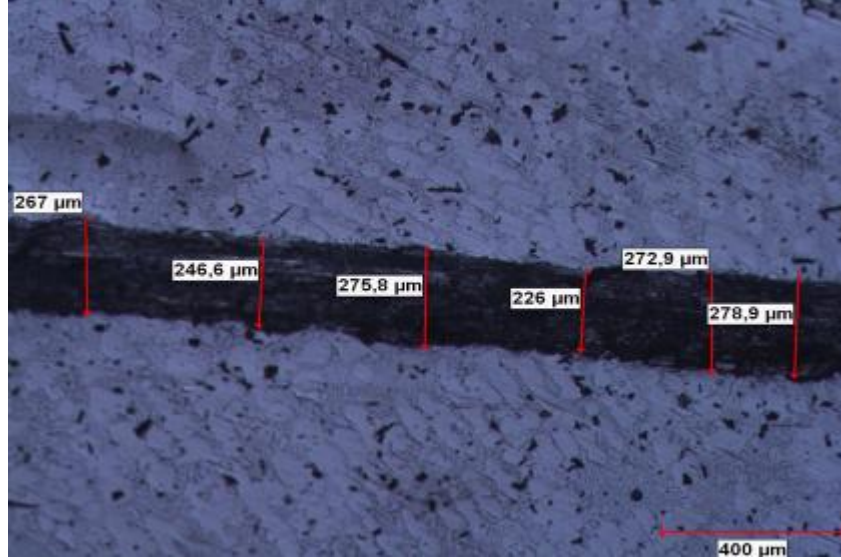
Şekil 4.158. Alt taraf



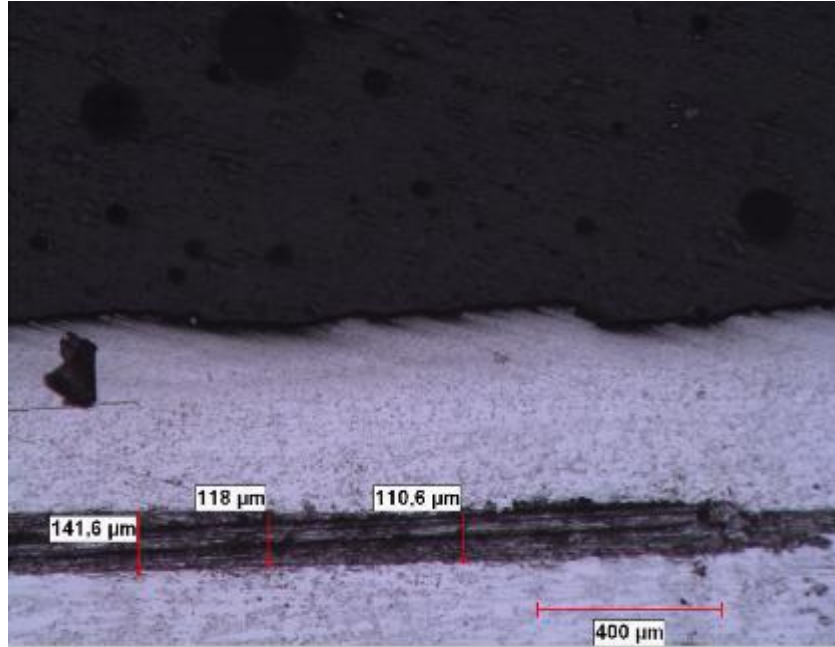
Şekil 4.159 Üst taraf

#### 4.3.1.1.2. Çift paso

##### 4.3.1.1.2.1. Aynı yn ısıl işlemsiz

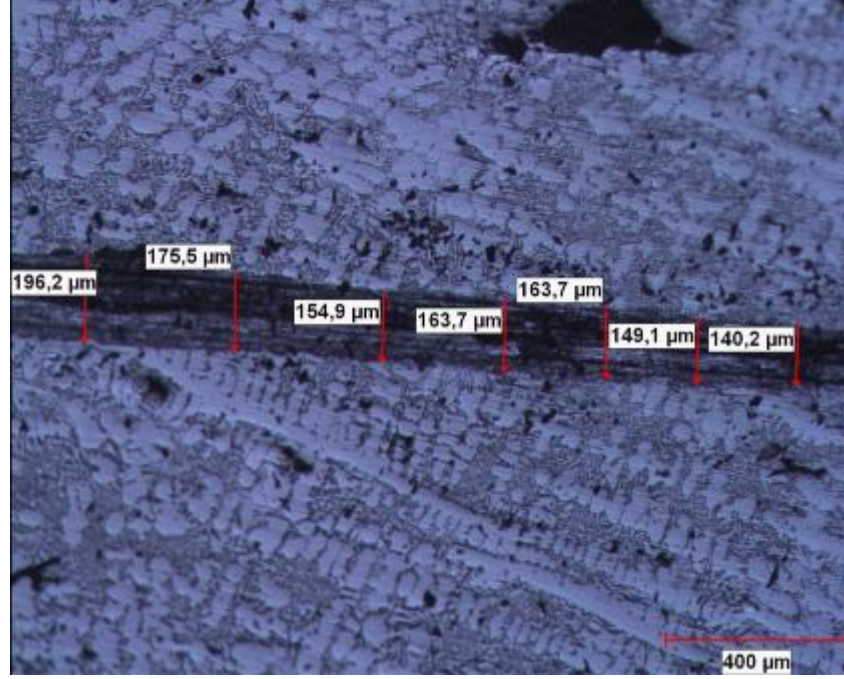


şekil 4.160. Alt taraf



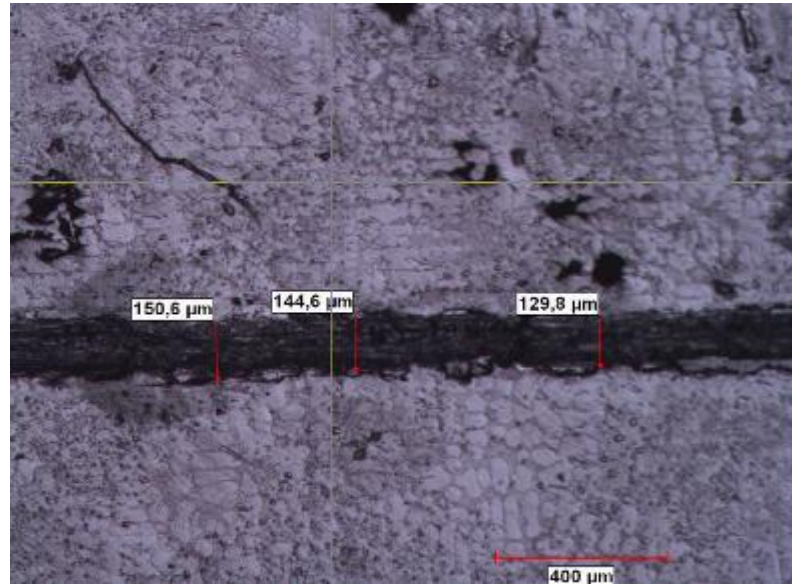
şekil 4.161. Üst taraf

#### 4.3.1.1.2.2. Aynı yön ısıt işlemleri



Şekil 4.162. Alt taraf

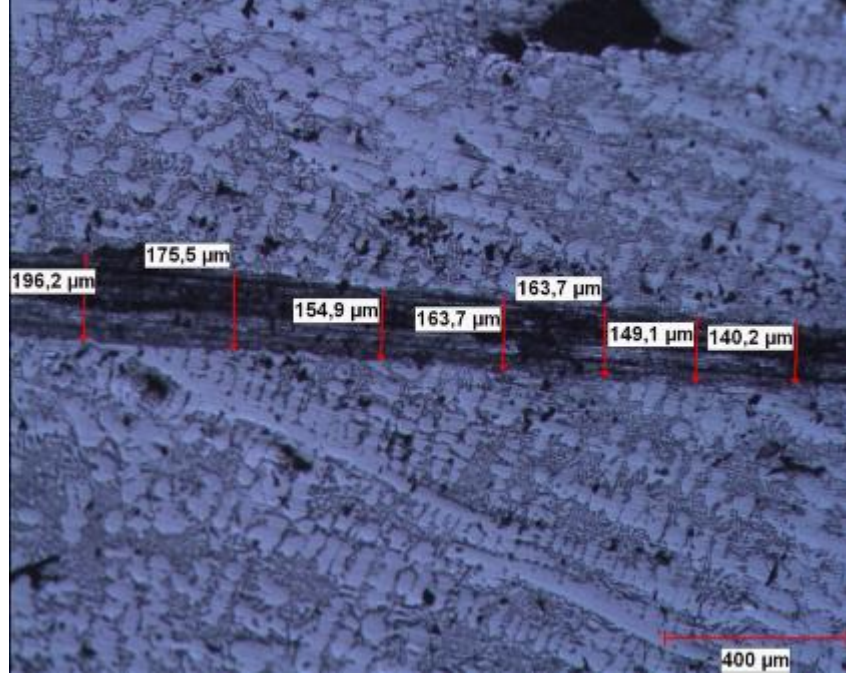
#### 4.3.1.1.2.3. Zıt yön ısıt işlemsiz



Şekil 4.163. Üst taraf



#### 4.3.1.1.2.4. Zıt yön ısıl işlemler

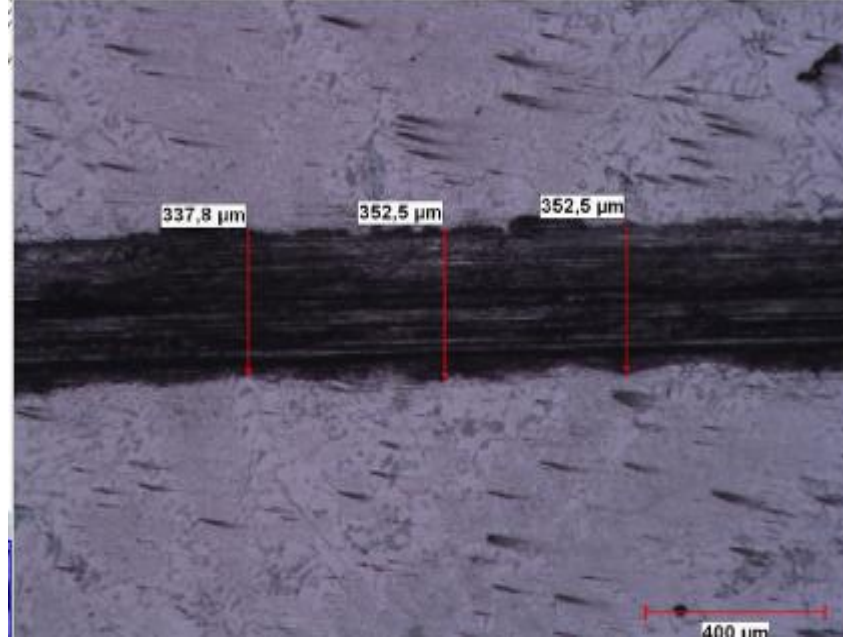


Şekil 4.164. Alt taraf

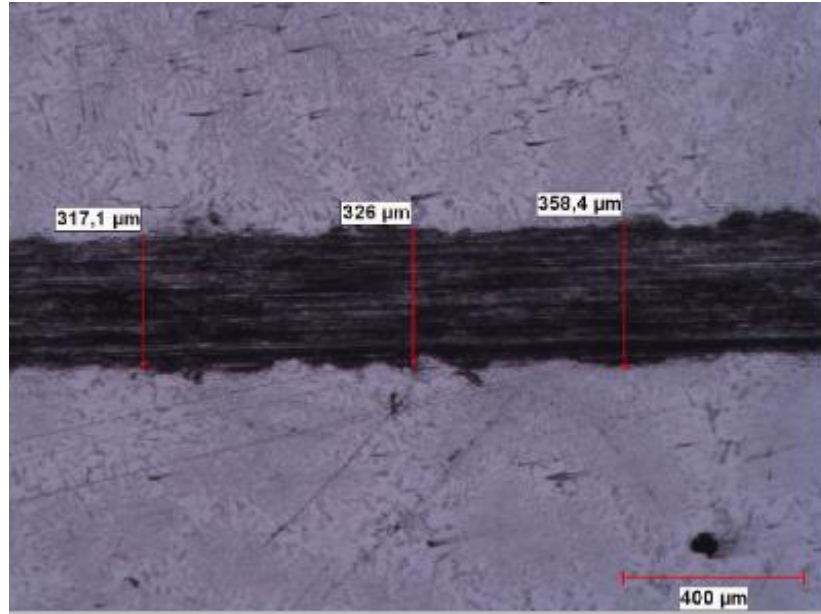
#### 4.3.1.2. Etial 195

##### 4.3.1.2.1. Tek paso

##### 4.3.1.2.1.1. Isıl işlemsiz

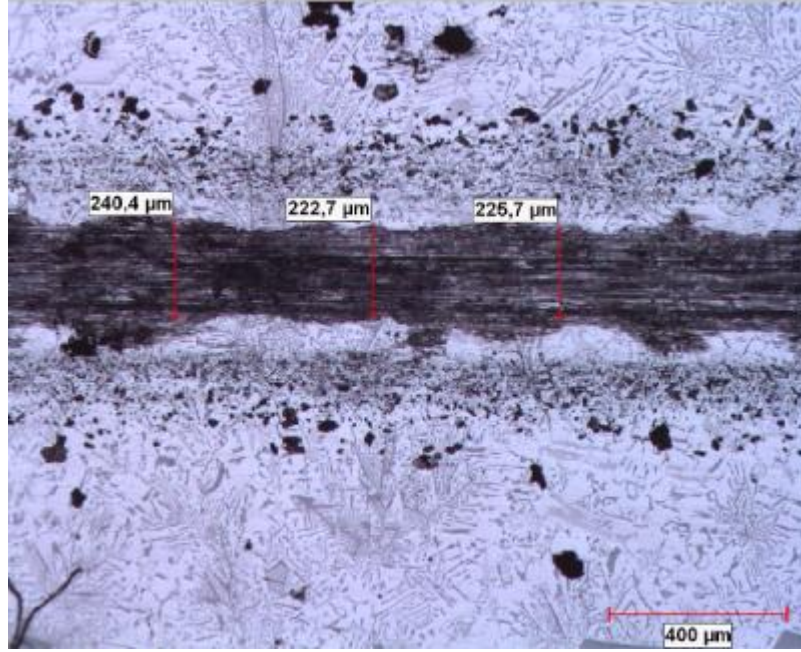


Şekil 4.165. Alt taraf

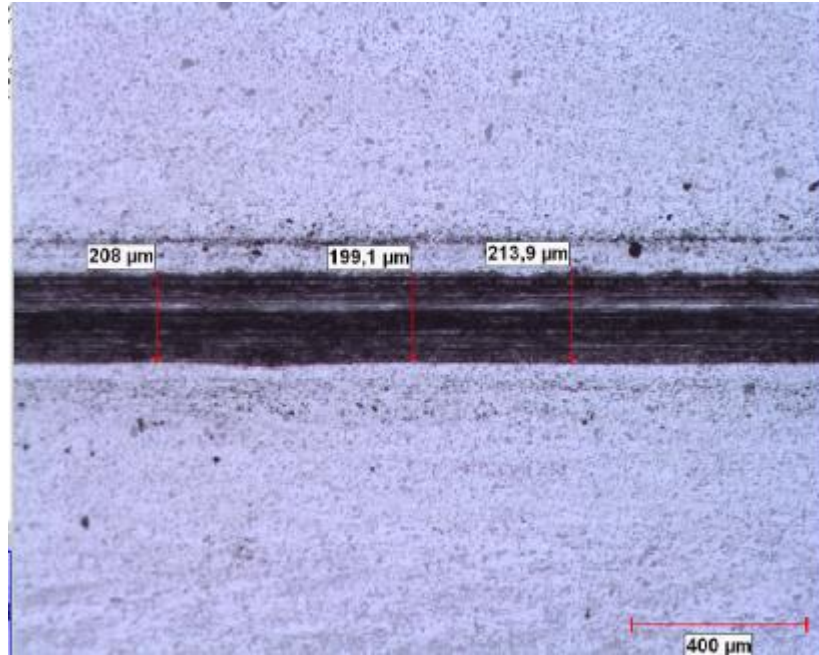


Şekil 4.166. Üst taraf

#### 4.3.1.2.1.2. Isıl işlemlili



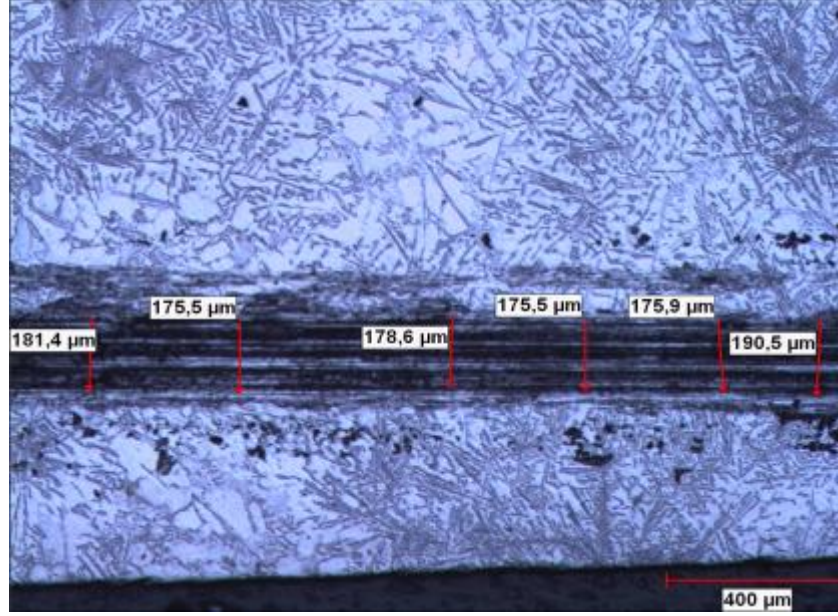
Şekil 4.167. Alt taraf



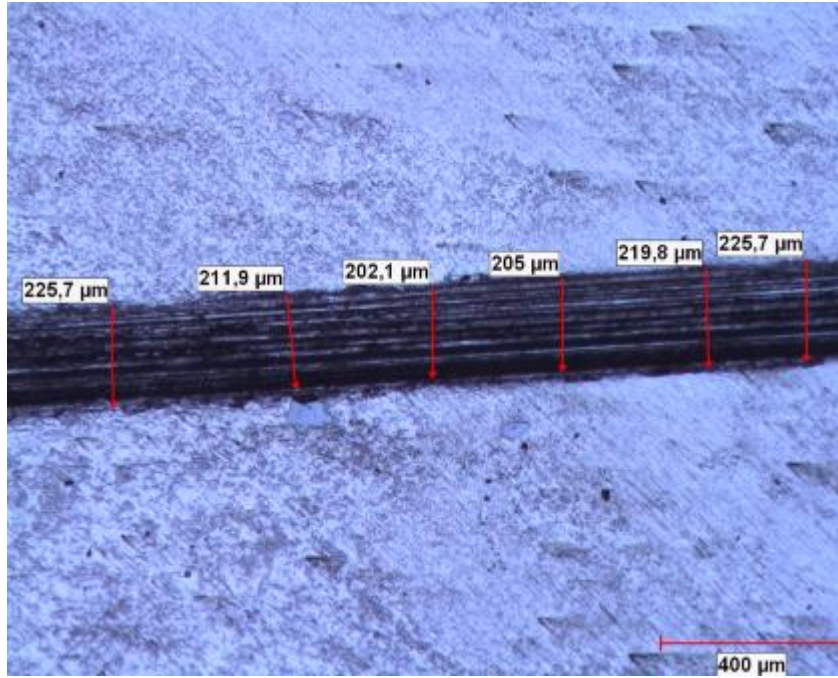
Şekil 4.168. Üst taraf

#### 4.3.1.2.2 Çift paso

##### 4.3.1.2.2.1 Aynı yön ısıl işlemsiz

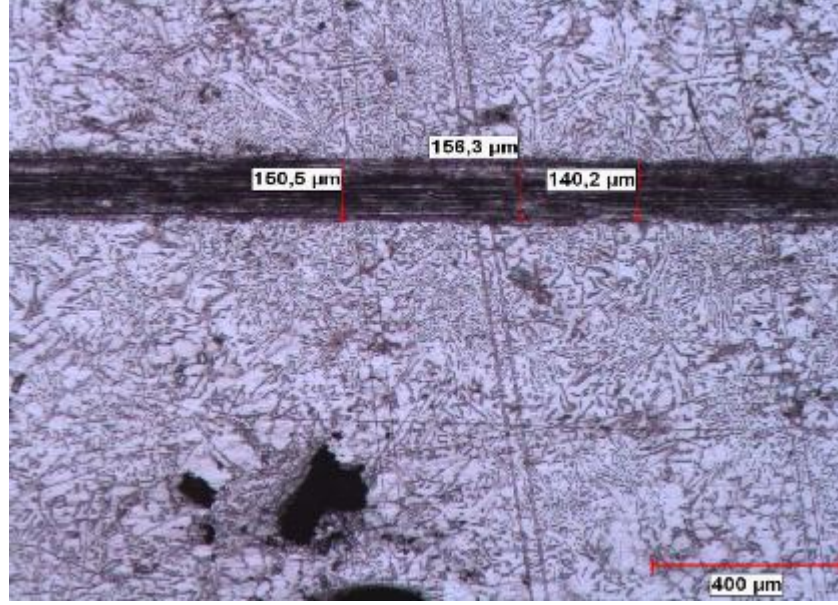


Şekil 4.169. Alt taraf

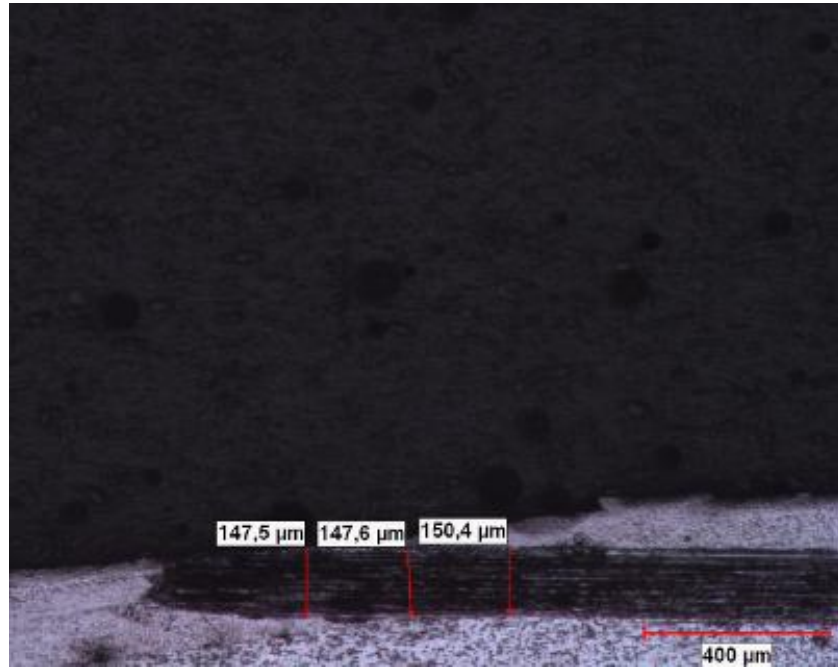


Şekil 4.170. Üst taraf

#### 4.3.1.2.2 Aynı yön ısıl işlemlili

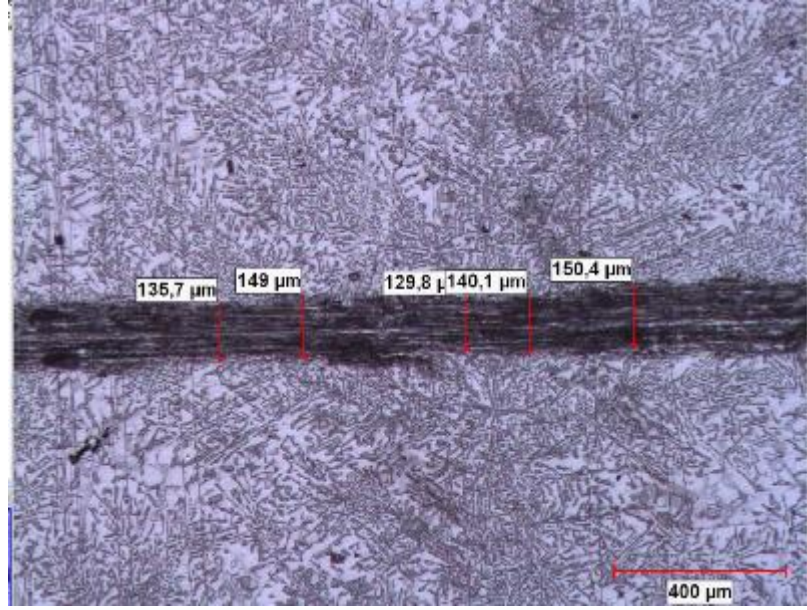


Şekil 4.171. Alt taraf

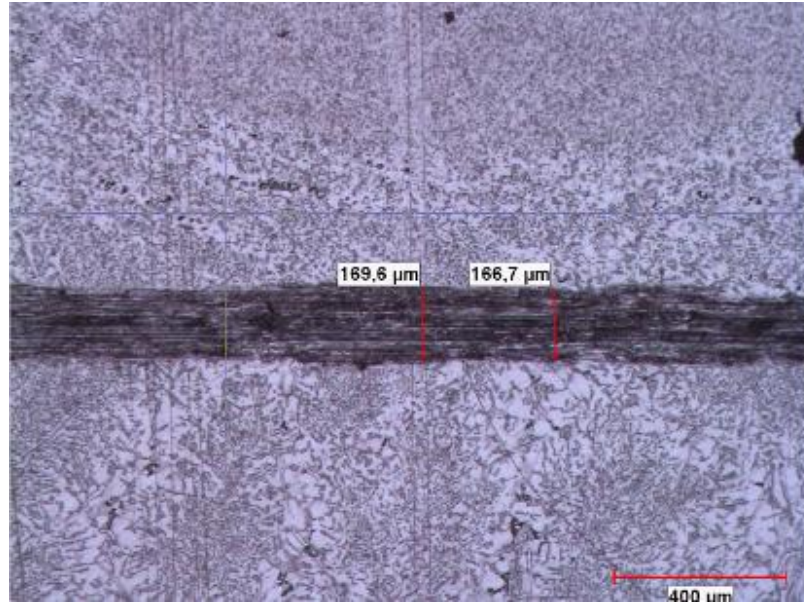


Şekil 4.172. Üst taraf

#### 4.3.1.2.2.3. Zıt yön ısıl işlemlili



Şekil 4.173. Alt taraf



Şekil 4.174. Üst taraf

**Çizelge 4.8** Optik Mikroskopta Çizgi Genişliklerinin Ortalama Değerleri

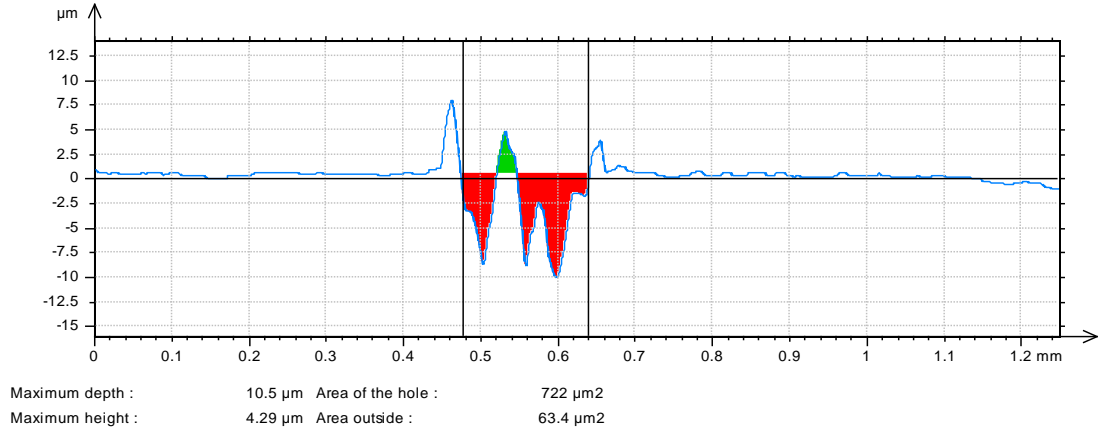
İşlem		Alaşım			
		Etial 145 (µm)		Etial 195 (µm)	
		Alt	Üst	Alt	Üst
Tek Paso	Isıl İşlemsiz	391	296	348	334
	Isıl İşlemlı	333	324	230	207
Çift Paso Aynı Yön	Isıl İşlemsiz	261	123	367	215
	Isıl İşlemlı	Ölçülemedi	163	149	148

## 4.3.2. Aşınma Çizgi Profilleri

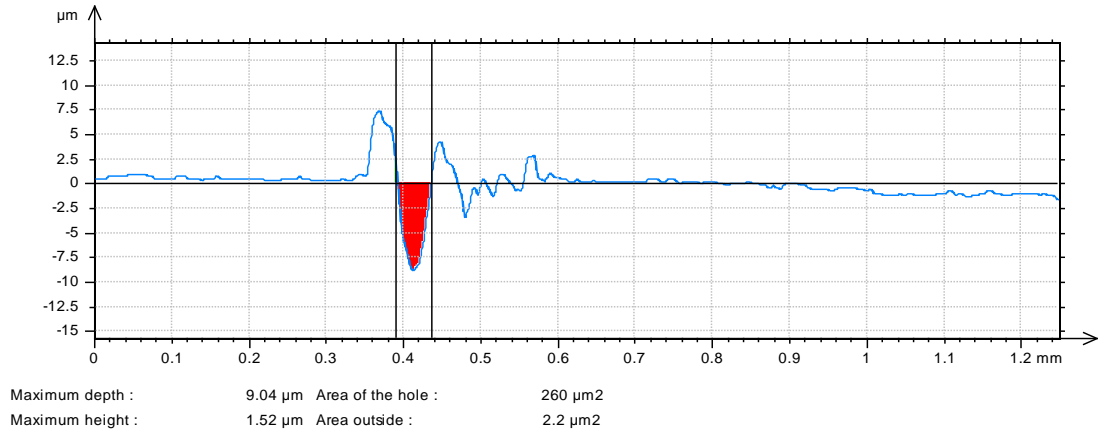
### 4.3.2.1. Etial 145

#### 4.3.2.1.1. Tek paso

##### 4.3.2.1.1.1. Isıl işlemsiz



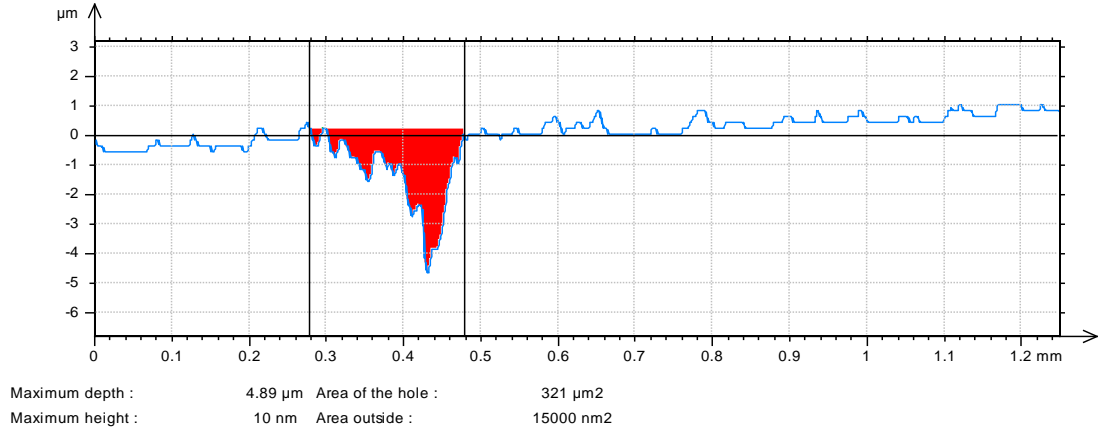
Şekil 4.175. Alt taraf



Şekil 4.176. Üst taraf



#### 4.3.2.1.1.2. Isıl işlemlı



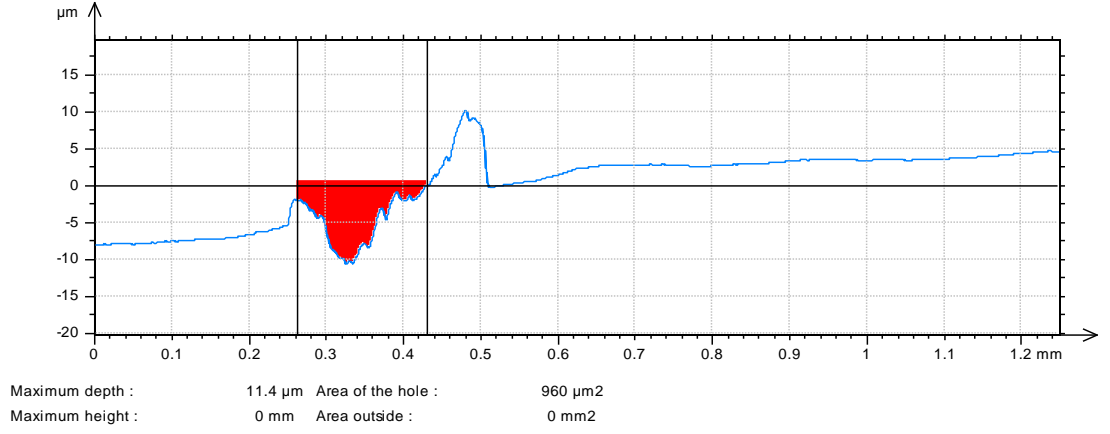
Şekil 4.177. Alt taraf



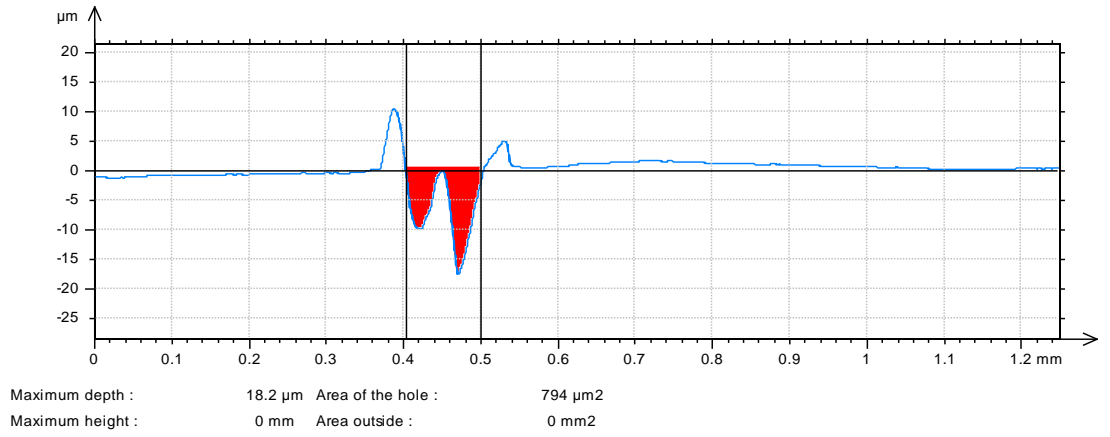
Şekil 4.178. Üst taraf

### 4.3.2.1.2. Çift paso

#### 4.3.2.1.2.1. Aynı yön ısıl işlemsiz

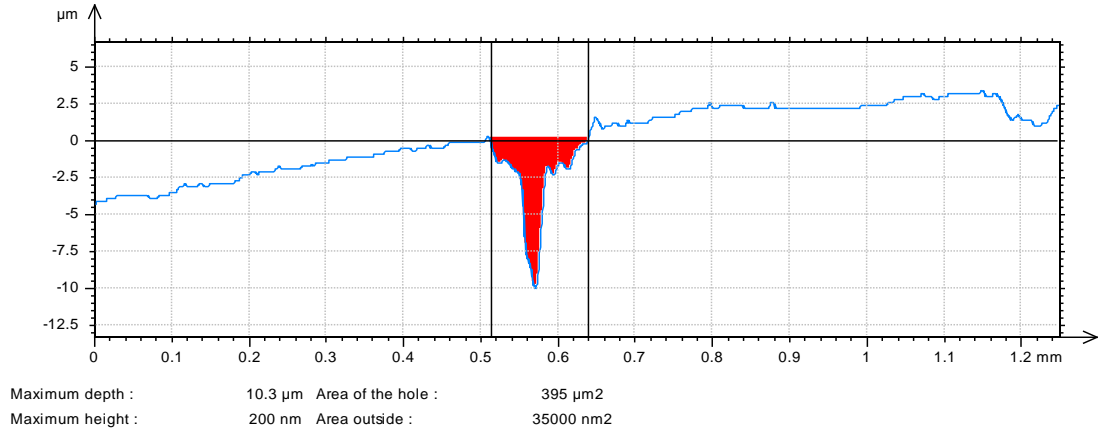


Şekil 4.179. Alt taraf



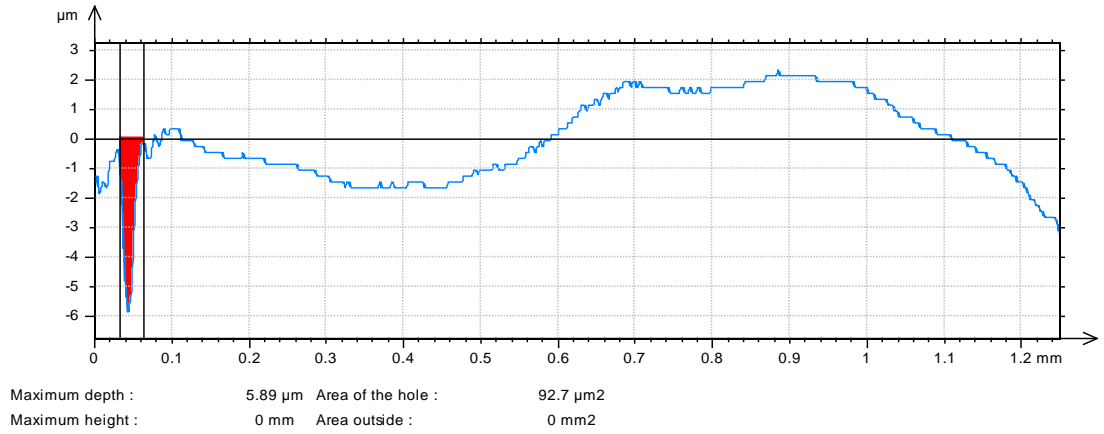
Şekil 4.180. Üst taraf

#### 4.3.2.1.2.2. Aynı yön ısıl işlemlili



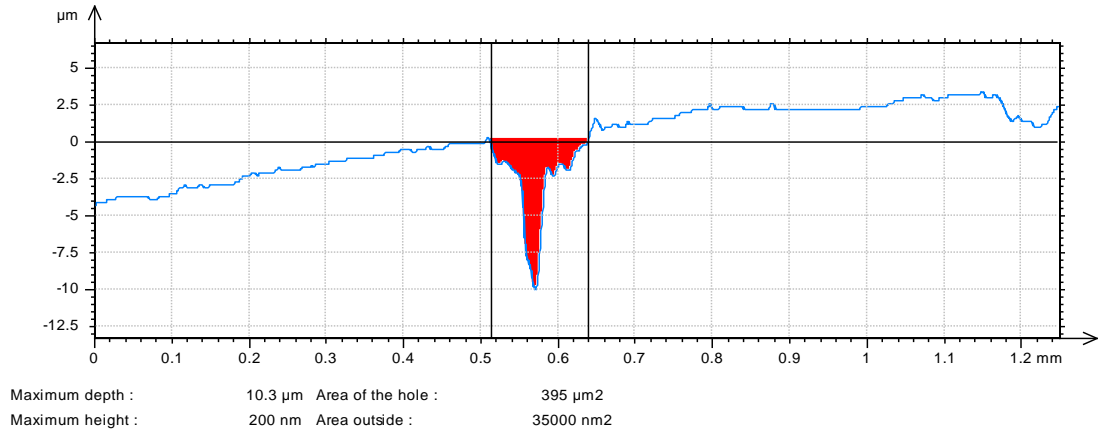
Şekil 4.181. Üst taraf

#### 4.3.2.1.2.3. Zıt yön ısıl işlemsiz



Şekil 4.182. Üst taraf

#### 4.3.2.1.2.4. Zıt yön ısıl işlemler

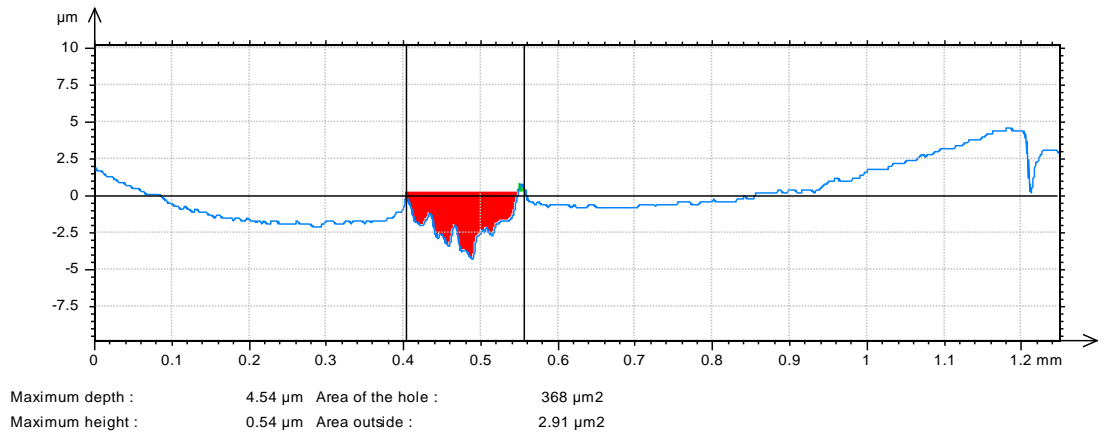


Şekil 4.183.Üst taraf

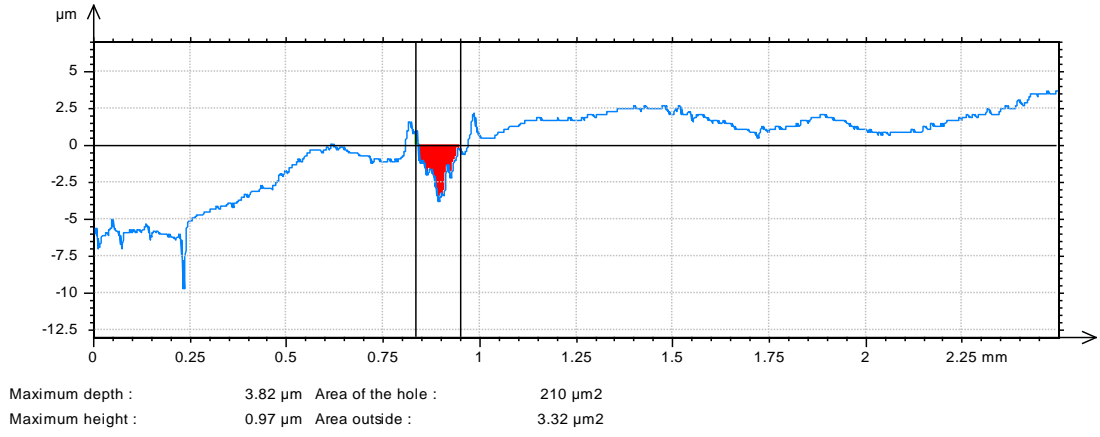
#### 4.3.2.2. Etial 195

##### 4.3.2.2.1. Tek paso

##### 4.3.2.2.1.1. Isıl işlemsiz

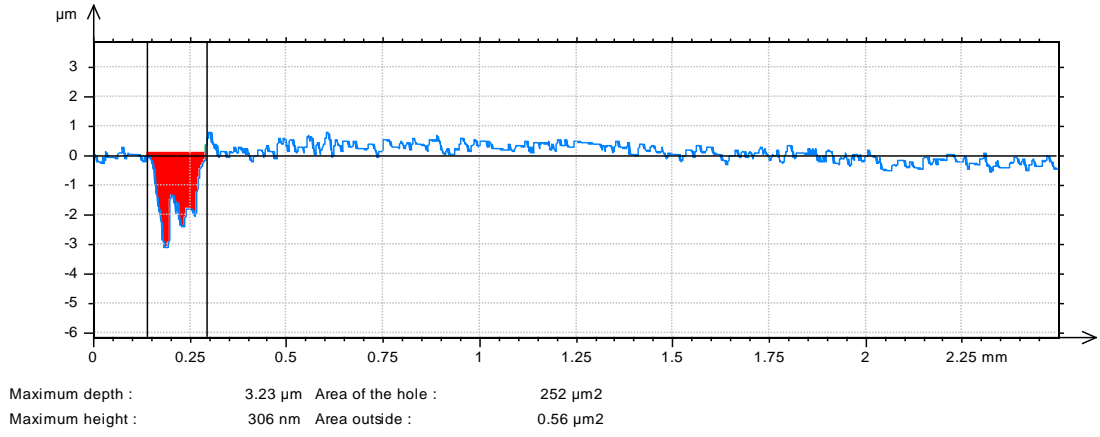


Şekil 4.184. Alt taraf

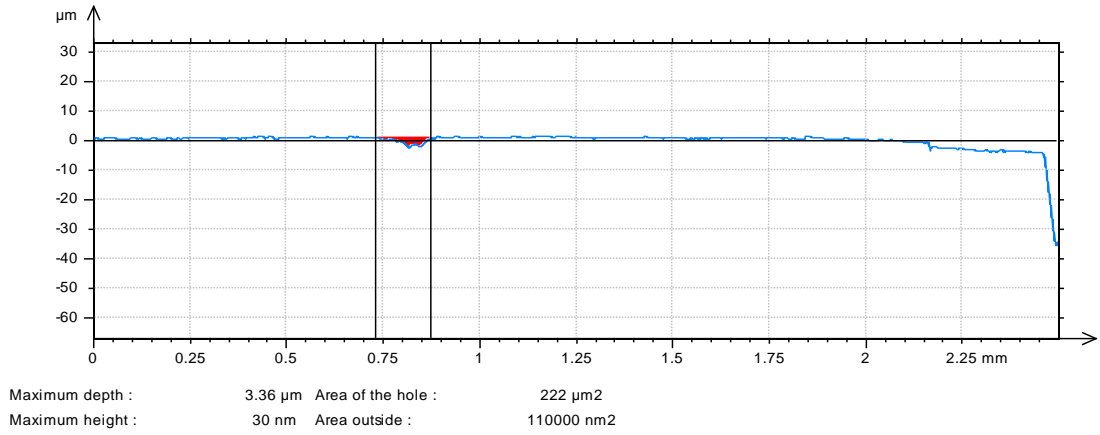


Şekil 4.185. Üst taraf

#### 4.3.2.2.1.1. Isıl işlemlili



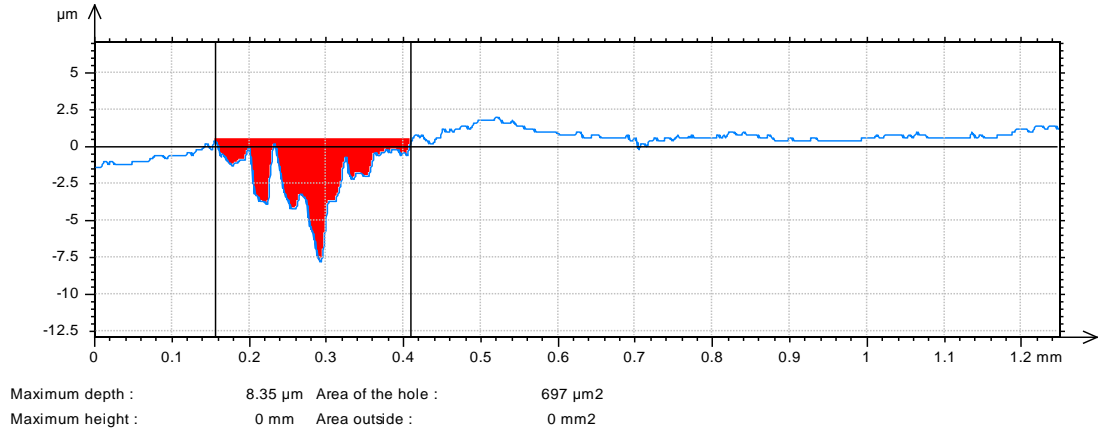
Şekil 4.186. Alt taraf



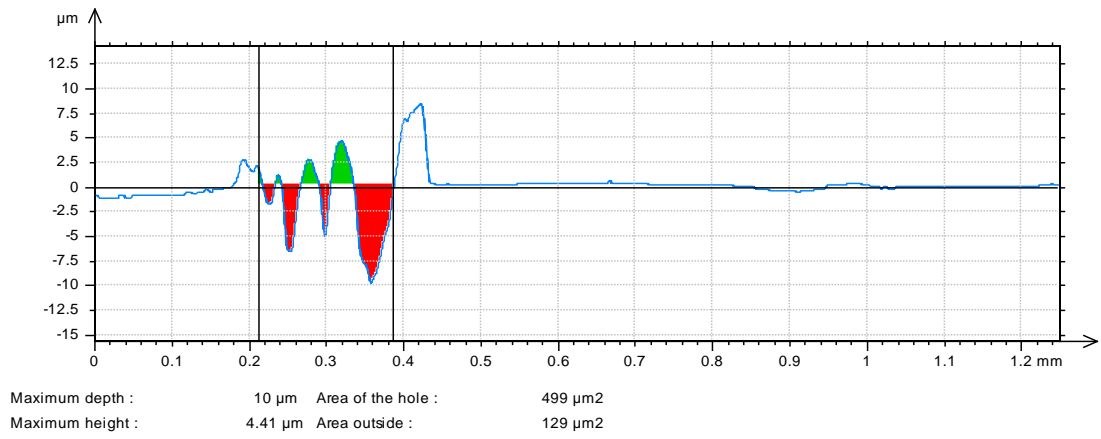
Şekil 4.187. Üst taraf

### 4.3.2.2.2. Çift Paso

#### 4.3.2.2.2.1. Aynı yön ısıl işlemsiz

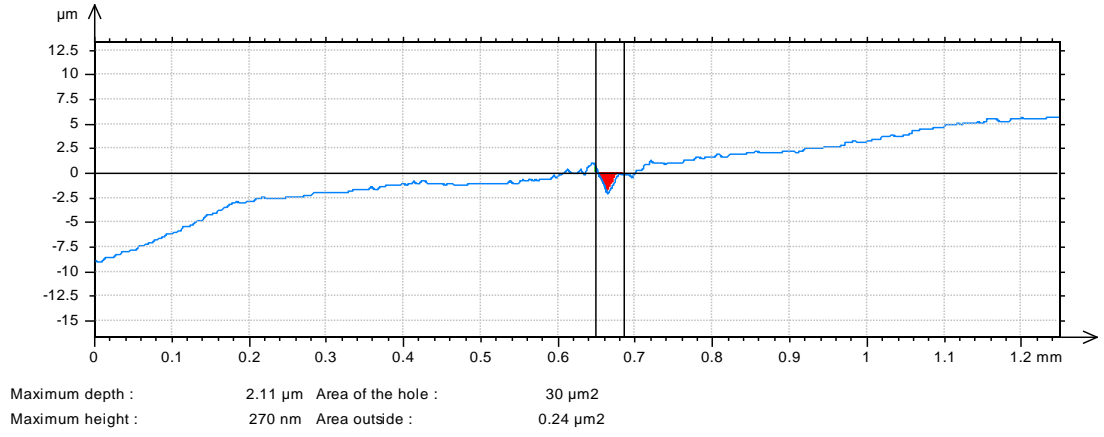


Şekil 4.188. Alt taraf



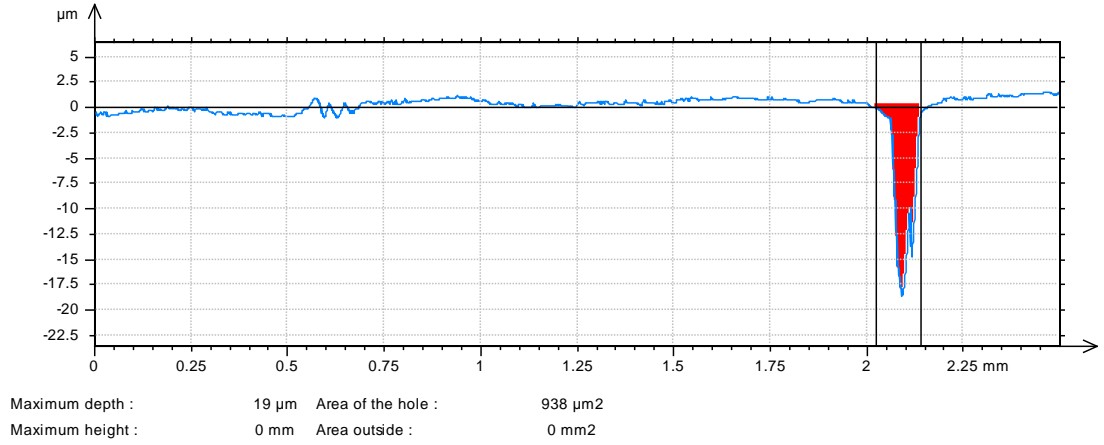
Şekil 4.189. Üst taraf

#### 4.3.2.2.2 Aynı yön ısıl işlemlili

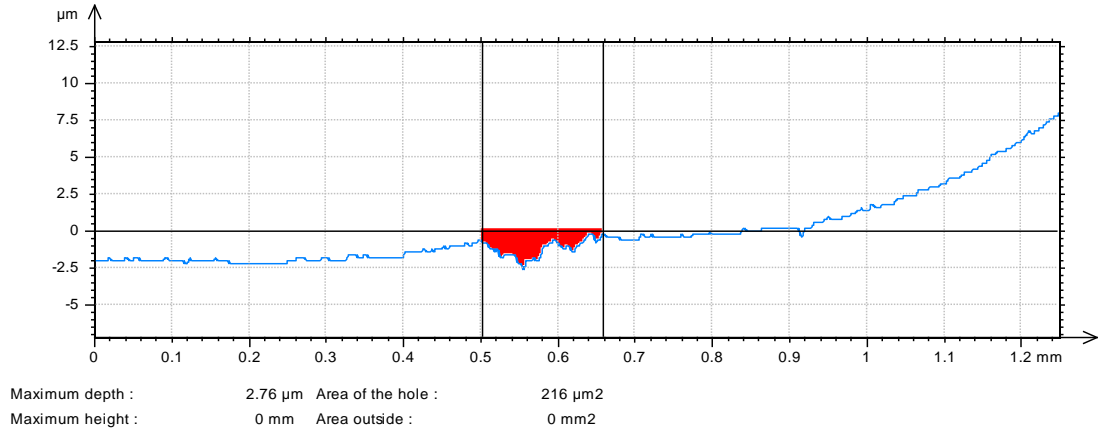


Şekil 4.190. Üst taraf

#### 4.3.2.2.3. Zıt yön ısıl işlemlili



Şekil 4.191. Alt taraf



**Şekil 4.192. Üst taraf**

### 4.3.3 Aşınma Çizgi Profili Değerlendirmeleri

**Çizelge 4.9. Aşınma Çizgisi Genişliği**

		Etial 145 (µm)		Etial 195 (µm)	
		Alt	Üst	Alt	Üst
Tek Paso	Isıl İşlemsiz	0,16.10 <sup>-3</sup>	0,05. 10 <sup>-3</sup>	0,16.10 <sup>-3</sup>	0,06.10 <sup>-3</sup>
	Isıl İşlemlı	0,2. 10 <sup>-3</sup>	0,08. 10 <sup>-3</sup>	0,15.10 <sup>-3</sup>	0,15.10 <sup>-3</sup>
Çift Paso Aynı Yön	Isıl İşlemsiz	0,17. 10 <sup>-3</sup>	0,1. 10 <sup>-3</sup>	0,25.10 <sup>-3</sup>	0,18.10 <sup>-3</sup>
	Isıl İşlemlı	-	0,12. 10 <sup>-3</sup>	-	0,04.10 <sup>-3</sup>

**Çizelge 4.10. Profilometrede Ölçülen Aşınma Değerleri**

		Etial 145(mm <sup>3</sup> .10 <sup>-3</sup> / N.m)		Etial 195 (mm <sup>3</sup> .10 <sup>-3</sup> / N.m)	
		Alt Ort.	Üst Ort.	Alt Ort.	Üst Ort.
Tek Paso	Isıl İşlemsiz	1,7	0,517	0,877	0,302
	Isıl İşlemlı	1,117	0,21	0,782	0,572
Çift Paso Aynı Yön	Isıl İşlemsiz	3,292	1,622	1,225	0,977
	Isıl İşlemlı	-	0,845	-	0,201
Çift Paso Zıt Yön	Isıl İşlemsiz	-	0,3	-	0,845
	Isıl İşlemlı	-	-	1,312	0,632



## 5. SONUÇ

Etial 195 hem işlenmiş, hem işlenmemiş durumda Etial 145'ten daha serttir.

Sürtünme karıştırma yöntemi ile yüzey işleme yöntemi gerek ötektik gerek primer silisyum kristallerinin kırılarak ileri derecede küçülmelerine neden olmuştur.

Mikroyapıda bulunan  $Mg_2Si$  kristalleri de kırılarak küçülmüştür.

Dentritik yapının sürtünme karıştırma bölgesinde dağıldığı tespit edilmiştir.

Tane incelmesinin freze ucunun tam ortasında (4 no'lu bölge) en derin tabakaya ulaştığı görülmüştür.

Isıl işlem her iki alaşımda da sürtünme karıştırma yapılmayan ve yapılan kısımlarda sertliği arttırmıştır.

Isıl işlemden sonra sürtünme karıştırma yapılan bölgede daha fazla sertlik artışı olmuştur.

Sayısal ölçüm yapılmamasına rağmen sürtünme karıştırma bölgesindeki Si kristallerinin ısıl işlem sonrası biraz irileştiği görsel olarak belirlenmiştir.

Çift paso yapılanlarda tek pasoya göre incelen tabaka kalınlığının (A tabakası) arttığı görülmüştür.

Çift pasolularda ısıdan dolayı sürtünme karıştırma yapılmayan yüzeyde dahi ısıl işlem görmüş gibi ötektik Si kristallerinin yuvarlaklaştığı görülmüştür.

Aşınma deneylerinde Etial 145, Etial 195'e göre daha fazla aşınma göstermiştir.

Her iki alaşında da sürtünme karıştırma bölgesi daha az aşınmıştır.

Isıl işlem aşınmayı olumlu yönde etkilemiştir.

Etial 145 ve 195 alaşımında çift paso aşınmaya olumlu etki yapmıştır.

Sürtünme karıştırma ısıl işlem durumunda da aşınmaya olumlu etki göstermiştir; ancak fark ısıl işlemsiz duruma göre daha düşüktür.

Çift paso aynı yn ve zıt yn arasında ısıl işlemliler durum için fark belirlenememiştir.

Çift pasoda dağılım daha homojen olmuş ve bantlaşma hemen hemen ortadan kalkmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

BOYER, E. H. ve GALL, L. 1992, Metals Handbook, Desk Edition, Aluminium Society for Metals Park, 6.1-6.11, Ohio.

BÜYÜKARSLAN, S. 2006, Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmiş Alüminyum Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması.

HATCH, E. J. 1984, Aluminium Alloys, Aluminium, American Society for Metals, Metals Park. 283 pp. Ohio.

<http://www.bilesim.com.tr/dergi.php?git=yazi&id=153&sn=1>

KALUÇ, E., Taban E., “Mechanical and Microstructural Properties of Friction Stir Welded EN AW-5083 and AW-5086 Dissimilar Aluminium Alloy Joints”, Metal Dünyası, 140 (2005) 84-89.

MAZZOLANI, M. F. 1985, Classification of Alloys, Aluminium Alloy Structure Institute of Konstruktion Technology, University of Naples. p.p. 4-25, Boston.

OĞUZ, B., 1990, Demir dışı Metallerin Kaynağı Metalurji-Uygulama, Oerlikon Yayınları, İstanbul.

ÖZDEMİR, M., 2003, Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Alüminyum Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

SMITH, W. F. 2001, Çeviren ve Uyarlayan: KINIKOĞLU, N. Malzeme Bilimi, 383 s. Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.

ŞIK, A., Kayabaş, Ö., 2003, Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyum Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, Y.11, S.12, s.30-43.

YAMAN, K. 2004, Etial 145 Alaşımın Dökümünde Ultrason Uygulamalarının Etkilerinin İncelenmesi ve Klasik Dökümle Karşılaştırılması, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

YILMAZ, C., 2003, Al-Si alaşımı dökümlerde kalıp türü ve basınç değişiminin mekanik özelliklere etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

## ÖZGEÇMİŞ

Ebru TUNCER İPEK 1984 yılında Konya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Samsun’da tamamladı. 2002 yılında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başladı ve 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2008 yılının mart ayında Mercedes-Benz Türk A.Ş firmasında konstrüksiyon mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen görevine devam etmektedir.