

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ – FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK ALAŞIMLI İKİ FARKLI ÇELİĞİN SÜRTÜNME KAYNAĞI İLE
BİRLEŞTİRİLMESİNDE OPTİMUM KAYNAK PARAMETRELERİNİN TESPİTİ VE BİRLEŞME
BÖLGESİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Makina Yüksek Mühendisi Mehmet UZKUT

90732

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği
Programı : Konstrüksiyon ve İmalat

MANİSA 1999

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ – FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK ALAŞIMLI İKİ FARKLI ÇELİĞİN SÜRTÜNME KAYNAĞI İLE
BİRLEŞTİRİLMESİNDE OPTİMUM KAYNAK PARAMETRELERİNİN TESPİTİ VE BİRLEŞME
BÖLGESİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Makina Yüksek Mühendisi Mehmet UZKUT

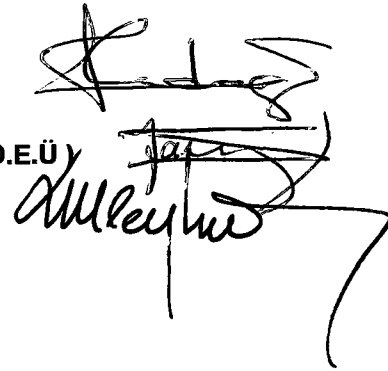
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19.07.1999

Tezin Savunulduğu Tarih : 15.12.1999

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa AKDAĞ (C.B.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Süleyman KARADENİZ (D.E.Ü)

Prof. Dr. Vural CEYHUN (C.B.Ü)



MANİSA 1999

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN İSTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

SEMBOL LİSTESİ	III
ŞEKİL LİSTESİ	IV
ÇİZELGE LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	IX
TEŞEKKÜR	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1 . GİRİŞ	1
2 . SÜRTÜNME KAYNAĞI	5
2 . 1 . Sürtünme Kaynağının Gelişimi ve Tanımlanması	5
2 . 2 . Sürtünme Kaynağının Çeşitleri	11
2 . 2 . 1 . Sürekli Tahrikle Sürtünme Kaynağı	11
2 . 2 . 2 . Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı	12
2 . 2 . 3 . Kombine Edilmiş (Hibrid) Sürtünme Kaynağı	14
2 . 3 . Sürtünme Kaynağı Makinesinden Beklenen Özellikler	15
2 . 4 . Sürtünme Kaynağında Uygunluk ve Malzemelerin Sürtünme Kaynağı Kabiliyeti	16
2 . 5 . Malzemelerin Sürtünme Kaynağına Hazırlanması ve Dizaynı	18
2 . 6 . Sürtünme Kaynağı Parametreleri	19
2 . 7 . Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları	21
2 . 8 . Sürtünme Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	21
3 . DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
3 . 1 . Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	24
3 . 2 . Deney Numunelerinin Hazırlanması	29
3 . 3 . Mekanik İncelemeler	32
3 . 3 . 1 . Çekme Deneyi	32
3 . 3 . 2 . Çentik Darbe Deneyi	33
3 . 4 . Metalografik İncelemeler	35
3 . 4 . 1 . Işık Mikroskobu İncelemesi	35
3 . 4 . 2 . Mikrosertlik İncelemesi	36
3 . 4 . 3 . Mikroprob İncelemesi	37
3 . 4 . 4 . X Işını Difraksiyon İncelemesi	40

4 . DENEY SONUÇLARI	42
4 . 1 . Çekme Deneyi Sonuçları	42
4 . 2 . Çentik Darbe Deneyi Sonuçları	47
4 . 3 . Işık Mikroskobu İncelemesi Sonuçları	48
4 . 4 . Mikrosertlik İncelemesi Sonuçları	55
4 . 5 . Boy Kısalması Ölçüm Sonuçları	83
4 . 6 . Mikroprob İncelemesi Sonuçları	90
4 . 7 . X Işını Difraksiyon İncelemesi Sonuçları	99
5 . SONUÇLAR ve İRDELEMELER	103
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	109



SEMBOL LİSTESİ

A	: Sürtünme basıncı 138 MPa olan numune grubu
B	: Sürtünme basıncı 207MPa olan numune grubu
C	: Sürtünme basıncı 276MPa olan numune grubu
J	: Kırılma enerjisi
JK	: Kalıntısız mikro temizlik
L	: Numune ile analiz kristali arasındaki uzaklık
R	: Rowland çemberi yarıçapı
P_1	: Sürtünme basıncı
P_2	: Dövme basıncı
d	: Kristal mesafesi
h	: Çekme deneyi numunesinin tutucu çenesi kavrama boyu
n	: Dönme hızı
d_0	: Çekme deneyi numunesinin çekilecek çubuk çapı
d_1	: Çekme deneyi numunesinin tutucu çenesi kavrama çapı
l_0	: Çekme deneyi numunesinin çekilecek kesit boyu
l_t	: Çekme deneyi numunesinin tüm boyu
l_v	: Çekme deneyi numunesinin radiüsler arası boyu
t_1	: Sürtünme süresi
t_2	: Dövme süresi
ΔL	: Boy kısalması
ε	: Uzama
$\cos\varphi$: Güç faktörü
λ	: Dalga boyu
θ	: X ışınları kırınım açısı
σ_A	: Akma gerilmesi
σ_{\checkmark}	: Çekme gerilmesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Sürtünme kaynağı kademelerinin şematik gösterimi	7
Şekil 2.2. Sürtünme kaynağı kademelerinin kaynak esnasındaki fiili görünüşü	8
Şekil 2.3. Sürtünme kaynağının uygulama şekilleri	9
Şekil 2.4. Yörüngesel hareketle sürtünme kaynağı	10
Şekil 2.5. Lineer titreşim hareketi ile sürtünme kaynağı	10
Şekil 2.6. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı makinesinin şematik gösterilişi	11
Şekil 2.7. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri	12
Şekil 2.8. Volan tahrikli sürtünme kaynağı makinesinin şematik gösterilişi	13
Şekil 2.9. Volan tahrikli sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri	14
Şekil 2.10. Kombine edilmiş sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri	15
Şekil 2.11. Kaynak esnasında gerekli güç ihtiyacının yöntemlere göre karşılaştırılması	22
Şekil 3.1. Çekme deneyi numunesi teknik resmi	33
Şekil 3.2. Izod vurma deneyinde vurucu çekiçle deney parçasının karşılıklı durumları	34
Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan Izod deney numunesi teknik resmi	35
Şekil 3.4. Metalografik muayene numunesinin şekli	35
Şekil 3.5. Numuneye gelen elektronlar tarafından oluşturulan parçacıklar	37
Şekil 3.6. Mikroprob cihazındaki X- ışını spektrometresinin şematik görünüşü	38
Şekil 3.7. Difraksiyon cihazının şematik görünüşü	40
Şekil 3.8. Difraksiyon incelemesine tabi tutulan numunenin şematik görünüşü	41
Şekil 4.1. A3 numunesinde 1.4871 malzemenin içyapısı	48
Şekil 4.2. A5 numunesinin merkezindeki ITAB görüntüsü	49
Şekil 4.3. C5 numunesine ait 1.4871 malzemede tanelerdeki mekanik yönlenme	50
Şekil 4.4. A8 numunesinde her iki malzemedeki içyapı ve tane yönlenmesi	50
Şekil 4.5. B1 numunesi kaynak bölgesi ve ITAB bölgesi genel görünüşü	51
Şekil 4.6. B5 numunesinde 1.4718 malzemenin kaynaktan uzak bölgedeki içyapısı	52
Şekil 4.7. B5 numunesinde 1.4871 malzemenin kaynaktan uzak bölgedeki içyapısı	52
Şekil 4.8. B5 numunesinin merkezinde mekanik yönlenme ve Fe ₂ C karbürleri	53
Şekil 4.9. B5 numunesinin dış tarafından 1.4871 malzemenin ITAB'ında tane yassılaştırılması ve tane küçülmesi	53
Şekil 4.10. B5 numunesinde 1.4871 malzemenin ITAB'ındaki tane yassılaştırılması	54
Şekil 4.11. A1 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	56
Şekil 4.12. A2 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	57
Şekil 4.13. A3 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	58
Şekil 4.14. A4 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	59

Şekil 4.15. A5 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	60
Şekil 4.16. A6 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	61
Şekil 4.17. A7 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	62
Şekil 4.18. A8 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	63
Şekil 4.19. A9 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	64
Şekil 4.20. B1 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	65
Şekil 4.21. B2 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	66
Şekil 4.22. B3 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	67
Şekil 4.23. B4 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	68
Şekil 4.24. B5 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	69
Şekil 4.25. B6 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	70
Şekil 4.26. B7 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	71
Şekil 4.27. B8 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	72
Şekil 4.28. B9 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	73
Şekil 4.29. C1 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	74
Şekil 4.30. C2 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	75
Şekil 4.31. C3 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	76
Şekil 4.32. C4 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	77
Şekil 4.33. C5 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	78
Şekil 4.34. C6 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	79
Şekil 4.35. C7 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	80
Şekil 4.36. C8 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	81
Şekil 4.37. C9 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı	82
Şekil 4.38. Değişen dövme basıncı değerleri için sürtünme süresine bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_1= 138$ MPa)	85
Şekil 4.39. Değişen dövme basıncı değerleri için sürtünme süresine bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_1= 207$ MPa)	85
Şekil 4.40. Değişen dövme basıncı değerleri için sürtünme süresine bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_1= 276$ MPa)	86
Şekil 4.41. Değişen sürtünme süresi değerleri için sürtünme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_2= 345$ MPa)	86
Şekil 4.42. Değişen sürtünme süresi değerleri için sürtünme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_2= 414$ MPa)	87
Şekil 4.43. Değişen sürtünme süresi değerleri için sürtünme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_2= 480$ MPa)	87
Şekil 4.44. Değişen sürtünme basıncı değerleri için dövme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($t_1=2,7s$)	88

Şekil 4.45. Değişen sürtünme basıncı değerleri için dövme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($t_1=3,7s$)	88
Şekil 4.46. Değişen sürtünme basıncı değerleri için dövme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($t_1=4,7s$)	89
Şekil 4.47. Analizin yapıldığı sabitlenen yüzey ve çizgisel analizin yapıldığı hat	90
Şekil 4.48. Belirlenen yüzey boyunca Cr elementinin noktasal dağılımı	91
Şekil 4.49. Belirlenen yüzey boyunca Ni elementinin noktasal dağılımı	91
Şekil 4.50. Belirlenen hat boyunca Cr ve Ni elementlerinin grafiksel dağılımı	92
Şekil 4.51. Belirlenen yüzey boyunca Mn elementinin noktasal dağılımı	93
Şekil 4.52. Belirlenen yüzey boyunca Si elementinin noktasal dağılımı	93
Şekil 4.53. Belirlenen hat boyunca Mn ve Si elementlerinin grafiksel dağılımı	94
Şekil 4.54. Belirlenen yüzey boyunca C elementinin noktasal dağılımı	95
Şekil 4.55. Belirlenen hat boyunca C elementinin grafiksel dağılımı	95
Şekil 4.56. Kaynaktan uzak bölgede 1.4871 malzemenin içyapısının SEM görüntüsü	97
Şekil 4.57. Kaynaktan uzak bölgede 1.4871 malzemenin içyapısının SEM görüntüsü	97
Şekil 4.58. Kaynaktan uzak bölgede 1.4718 malzemenin içyapısının SEM görüntüsü	98
Şekil 4.59. Her iki malzeme bir arada kaynak ara bölgesinin SEM görüntüsü	98
Şekil 4.60. 1.4718 malzemenin X ışını difraksiyon diyagramı ((Cr , Fe) ₇ C ₃ karbürü)	100
Şekil 4.61. 1.4871 malzemenin X ışını difraksiyon diyagramı (Fe ₂ C karbürü)	101
Şekil 4.62. Kaynak ara bölgesinin X ışını difraksiyon diyagramı ((Cr , Fe) ₇ C ₃ karbürü)	102

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Sürtünme kaynağının diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırılması	23
Çizelge 3.1. Kullanılan malzemelerin standart karşılıkları	24
Çizelge 3.2. 1.4871 malzemenin kimyasal bileşimi	24
Çizelge 3.3. 1.4718 malzemenin kimyasal bileşimi	25
Çizelge 3.4. 1.4871 malzemenin mekanik özellikleri	25
Çizelge 3.5. 1.4718 malzemenin mekanik özellikleri	25
Çizelge 3.6. 1.4871 malzemenin mikro yapı özellikleri	26
Çizelge 3.7. 1.4718 malzemenin mikro yapı özellikleri	26
Çizelge 3.8. 1.4871 malzemenin çekme deneyi sonuçları	27
Çizelge 3.9. 1.4718 malzemenin çekme deneyi sonuçları	27
Çizelge 3.10. 1.4871 çeliğinin ısı uygulaması	27
Çizelge 3.11. 1.4871 çeliğinin fiziksel özellikleri	28
Çizelge 3.12. 1.4718 çeliğinin ısı uygulaması	28
Çizelge 3.13. 1.4718 çeliğinin fiziksel özellikleri	29
Çizelge 3.14. Uygulanan kaynak parametreleri	31
Çizelge 3.15. Kaynaklı çekme çubuklarının standart ölçüleri	32
Çizelge 3.16. Analiz edilen elementler ile kullanılan kristaller ve özellikleri	39
Çizelge 4.1. A grubu numuneler çekme deneyi sonuçları	43
Çizelge 4.2. B grubu numuneler çekme deneyi sonuçları	44
Çizelge 4.3. C grubu numuneler çekme deneyi sonuçları	45
Çizelge 4.4. Izod deney numunelerini kırmak için harcanan enerji miktarları	47
Çizelge 4.5. A1 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	56
Çizelge 4.6. A2 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	57
Çizelge 4.7. A3 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	58
Çizelge 4.8. A4 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	59
Çizelge 4.9. A5 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	60
Çizelge 4.10. A6 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	61
Çizelge 4.11. A7 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	62
Çizelge 4.12. A8 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	63
Çizelge 4.13. A9 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	64
Çizelge 4.14. B1 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	65
Çizelge 4.15. B2 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	66
Çizelge 4.16. B3 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	67
Çizelge 4.17. B4 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	68

Çizelge 4.18. B5 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	69
Çizelge 4.19. B6 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	70
Çizelge 4.20. B7 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	71
Çizelge 4.21. B8 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	72
Çizelge 4.22. B9 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	73
Çizelge 4.23. C1 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	74
Çizelge 4.24. C2 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	75
Çizelge 4.25. C3 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	76
Çizelge 4.26. C4 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	77
Çizelge 4.27. C5 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	78
Çizelge 4.28. C6 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	79
Çizelge 4.29. C7 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	80
Çizelge 4.30. C8 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	81
Çizelge 4.31. C9 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri	82
Çizelge 4.32. Parametre gruplarına göre boy kısalması miktarları	84

KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	:American Society for Testing and Materials
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
SEM	: Scanning Electron Microscope



TEŞEKKÜR

Supap imalatı endüstrisine önemli katkılar sağlayacağına ümit ettiğim bu doktora çalışmasında, tezimin tamamlanmasına kadar tüm aşamalarda destek ve yardımlarını esirgemeyerek yönlendirmeleri ile ufkumu açan, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa AKDAĞ'a , deneylerin yapılmasında ve yorumlanmasında gerekli imkanları sağlayan ve katkılarından dolayı hakkını ödeyemeyeceğime inandığım, hocam Sayın Prof. Dr. Tevfik AKSOY'a teşekkürü bir borç bilmekteyim.

Malzeme temininde ve sürtünme kaynaklı parçaların imalatında, maddi manevi katkılarından dolayı SUPAR A.Ş'ye ve genel müdür Sayın Dr. Mustafa Şekip ALP ile, sorumlu mühendis Sayın Ahmet KART'a, sürtünme kaynaklı parçaların işlenmesinde hiçbir fedakarlıktan kaçınmadan firmanın tüm imkanlarını istifademe sunan, EMEK A.Ş'nin genel müdürü Sayın Metin UZKUT ve tüm çalışanlarına, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin ilgili tüm öğretim üyesi ve teknisyenlerine, maddi ve manevi yardımlarıyla her zaman yanımda olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa TOPARLI'ya, Sayın Arş. Gör. İsmail ÖZDEMİR'e ve Sayın Arş. Gör. Mehmet ÇEVİK'e, üzerimde emeği olan tüm saygıdeğer hocalarıma ve yıllardır dostluklarıyla gurur duyduğum kıymetli arkadaşlarıma en içten şükranlarımı sunarım

Varlığımın ve sahip olduğum maddi manevi tüm değerlerin sebebi anneme ve babama, her zaman ve her şartta yanımda bana destek olan müstesna eşime, varlıkları ile moral kaynağım olan canım çocuklarıma, en derin saygı ve sevgilerimle.

ÖZET

Supap imalatı endüstrisinde, teknolojik gelişme ile birlikte, benzinli ve diesel motorların egzost supaplarının, farklı iki çelikten imal edilmesi zorunluluğu ile karşılaşmıştır. Egzost supaplarının, "sap" kısımları sürtünmeden dolayı aşınmaya karşı mukavim, tok ve sünek bir malzeme olan 1.4718 (X45CrSi93) çeliğinden, "kafa" kısımları ise oksidasyona, kurşun oksit ve diğer yanma ürünlerinden kaynaklanan sıcak korozyona karşı çok iyi dayanım gösteren 1.4871 (X53CrMnNiN219) çeliğinden imal edilmektedir. Günümüz teknolojisinde bu çelik çifti sürtünme kaynağı ile birleştirilmektedir. Bağlantıyı oluşturan çeliklerin, birbirinden farklı alaşımda, yüksek karbonlu ve yüksek alaşımlı çelikler olması, bu çeliklerden oluşan bağlantının mekanik ve metalografik olarak incelenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bağlantının kalitesini belirleyecek olan, öncelikle optimum kaynak parametrelerinin uygulanmasıdır.

Bu çalışmada, yüksek alaşımlı farklı iki çeliğe gruplar halinde farklı kaynak parametreleri uygulanarak, bu grupların her birisine mekanik ve metalografik incelemeler tatbik edilmiştir. Böylece belirtilen malzemeler ve çalışma şartları için optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir. Deney malzemesi olarak 12.30 mm çapında 1.4871 ve 1.4718 malzemeden çelik çubuklar kullanılmıştır. Bu farklı malzemelerden çelik çubuklar, birbirlerine sürtünme kaynağı ile toplam 27 farklı parametre grubunda, her gruptan sekizer adet olmak üzere birleştirilmiştir. Tüm parametre gruplarındaki bağlantılar, kaynaktan sonra 600 °C'de bir saat süre ile gerilme giderme tavlmasına tabi tutulmuşlardır. Her gruptan üçer adet kaynaklı bağlantıya çekme deneyi, üçer adet kaynaklı bağlantıya çentik darbe deneyi, birer adet numuneye de metalografik ve mikrosertlik incelemeleri tatbik edilmiştir. Bu incelemeler sonucunda, belirlenen parametre grubundaki numunede, mikroprob ve X ışını difraksiyon incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, tüm parametre gruplarındaki kaynaklı bağlantılarda, kaynak sonrası oluşan malzeme kaybı ve boy kısaltmaları tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen tüm bu incelemeler sonucunda, adı geçen malzeme çifti için optimum kaynak parametreleri : Sürtünme süresi (t_s); 3.70 (s), Sürtünme basıncı (P_1); 207 (MPa). Dövme basıncı (P_2); 414 (MPa). Olarak belirlenmiştir. Bu değerler, birleştirilecek malzemelerin çapı ve kullanılan sürtünme kaynağı makinesinin itici pistonunun kesit alanı göz önüne alınarak supap endüstrisinde uygulanmalıdır. Kaynak sonrası malzeme kaybının büyük kısmı 1.4718 malzemede gerçekleşmiştir. En fazla malzeme kaybını artan sürtünme basıncı ve artan dövme basıncı değerlerinde yüksek sürtünme sürelerinde olduğu belirlenmiştir. Mekanik incelemelerde, adı geçen parametre grubuna ait numunelerde, kaynak bölgesinden kopma gözlenmemiştir ve en yüksek kırılma enerjisi de bu gruba ait numunelerde tespit edilmiştir. Mikrosertlik incelemesinde, sertlik profilinin, kaynak bölgesinde maksimum değere ulaştığı, kaynak bölgesinden uzaklaştıkça sertliğin azaldığı, ani sertlik değişimleri ile karşılaşmadığı sertlik profili eğrisinin eğiminin dik olmayıp daha geniş aralıkta az eğimle gerçekleştiği belirlenmiştir. Metalografik incelemelerde ise, plastik deformasyon sonucu tanelerde mekanik yönelme ve yönelme hatları boyunca da karbür dizilenmesi olduğu görülmüştür. Cr, Ni, Mn, Si elementlerinde malzemeler arasında difüzyon olayı gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde ise $(Cr, Fe)_7C_3$ karbürünün varlığından söz etmek mümkündür.

En az imalat hatasının hedeflendiği supap endüstrisinde, optimum kaynak parametrelerinin bilimsel olarak tespiti ve kaynak sonrası malzeme davranışlarının bilinmesi açısından, bu çalışmada önemli sonuçlar elde edilmiştir.

ABSTRACT

In the valve manufacturing industry, it has become a must to manufacture the exhaust valves of normal and diesel engines from two different types of steels. The "handling" parts of exhaust valves are manufactured from 1.4718 (X45CrSi93) steel which is resistant against wearing due to friction, tough & ductile while the "head" parts are manufactured from 1.4871 (X53CrMnNiN219) steel which shows a very good resistance against oxidation, and hot corrosion caused by lead oxide and other burning products. Today, this steel couple is joined by friction welding. Because, the steels producing the joining have different alloys, high carbon ratio and are high alloy steels it has been necessary to investigate these joinings mechanically and metallographically. What will determine the quality of the joining is to apply primarily the optimum welding parameters.

In this study, different welding parameters are applied in groups to two different steels with high alloys and mechanical and metallographical investigations are performed on each group. Thus, the optimum welding parameters are determined for these materials and working conditions. 12.30 diameter steel bars made up of 1.4871 & 1.4718 steel are used as experimental material. Steel bars of these different materials are joined by friction welding in a total of 27 different parameter groups, 8 from each group. After the welding all the joinings from each parameter group have been subjected to stress relief for one hour at 600 °C. From each group, tensile test has been applied three welded joinings, notch impact testing has been applied three welded joinings and metallographical and micro hardness investigations have been applied to one specimen. As a result of these investigations, on the specimen from the specified parameter group microprobe & X Ray diffraction investigations are, performed. Also in welded joinings from all parameter groups, the material loss after welding and the length reduction are determined.

As a result of all these investigations performed the optimum welding parameters for the mentioned material couple are determined as; friction pressure (P_1); 207 (MPa), forge pressure (P_2); 414 (MPa), friction time (t_1); 3.70 (s). These values should be used in the valve industry taking into consideration the diameters of the materials to be joined and the cross-sectional area of the pusher piston of the friction welding machine used. The larger part of material loss of welding has taken place in 1.4718 material. It has been observed that the material loss is maximum in increasing friction pressure and increasing rotating pressure values in long friction periods. In mechanical investigations, in specimens from the mentioned parameter groups no fracture from the welding region has been observed and the highest fracture energy has been identified in specimens from this group. In micro hardness investigation; it has been determined that the hardness profile reaches its minimum value in the welding region, that it decreases as the distance from the welding region increases, that rapid hardness variations are not encountered and that the slope of the hardness profile curve is not steep but exists with lower slope in a larger distance. In metallographical investigations; mechanical directionalizing in particles because of plastic deformation and carbide scattering along this directionalizing have occurred. Diffusion phenomenon observed between materials in Cr, Ni, Mn, Si elements. It is also possible to mention the existence of (Cr, Fe)₇C₃ carbide in the welding region

In valve industry where minimum manufacturing imperfections are aimed, significant results are obtained in this study from the points of determining in the optimum welding parameters scientifically and recognising the material behaviour after welding.

1 . GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, farklı malzemelerin birleştirilerek kullanılması gereksinimi ortaya çıkmıştır. İki farklı alaşımdaki çeliğin birleştirilmesinde en uygun yöntemin kaynaklı birleştirme olduğu bilinmektedir.(Anık,1983). Kaynak işleminin sonrasında, kaynak bölgesinin özelliklerinin, birleştirilen farklı alaşımdaki çeliklerin özelliklerinden, doğal olarak farklı olması önemli sorunları gündeme getirmiştir. Çok değişik kaynak yöntemleri içerisinde, ergitme kaynak yöntemlerinin kullanılması, bu sorunları daha da artırmaktadır.(Yılmaz,1993). Kaynak sonrası oluşan bağlantının özelliklerinin belirlenmesinde, birleştirilen malzemelerin çeşitli özellikleri ile, birlikte oluşturdukları faz diyagramları önemli etkenlerdir.(Bargel et al,1988). Bununla birlikte, birleştirilecek malzemelerin birbirinden farklı alaşımlar olması, hatta bunların çok sayıda bileşenden oluşması sonucunda, öngörülebilmesi imkansız unsurlarla karşılaşmaktadır. Birleşme bölgesinde, bağlantıyı oluşturan malzemelerin bileşimine ve bileşenlerine bağlı olarak, bileşim ve özellik bakımından çok farklı bölgeler ortaya çıkar.(Yılmaz,1993).

Ergitme kaynağı yöntemlerinin cüruf kalıntısı, porozite gibi kaynak hatalarına açık bir yöntem olması ve soğuma nedenli makro düzeyde iç gerilmelerin oluşması, bu yöntemlerin önemli dezavantajları olup, kaynağın mukavemetini düşürmektedir. Bu sebeple, farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde eğer boyutları ve şekilleri müsaade ediyorsa, bir ergitme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve minimum kaynak sonrası iç gerilmelere sahip olması nedenleriyle katı hal kaynak yöntemleri, ergitme kaynağı yöntemlerine büyük üstünlük sağlamaktadır.(Tülbentçi ve Yılmaz, 1989).

Bu katı hal kaynak yöntemlerinden en önemlisi ve uygulanabilirliği en fazla olan sürtünme kaynağı yöntemi ile ilgili çalışmalar, değişik malzemeler ve parametrelere göre, birçok bilim adamı tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar özetlendiğinde, aşağıda belirtilen sonuçlar ile karşılaşmıştır.

Vill (1962), sürtünme kaynağı parametrelerinin malzeme ve diğer şartlara göre belirlenmesi üzerine önemli çalışmalar yapmıştır. Kaynak parametrelerinden olan sürtünme basıncının büyük öneme sahip olduğu, dönen parçanın devir sayısının ise hassasiyeti en az parametre olduğu ve geniş bir aralıkta sabitlenebileceği sonuçlarını, malzemelere bağlı olarak belirlemiştir.

Sürtünme basıncının ara yüzeydeki sıcaklığı etkilediği ve gerekli momentini sağladığı, buna ilaveten dövme basıncı ve devir sayısının da en önemli parametrelerden olduğu sonuçları, Tylecote(1968) tarafından tespit edilmiştir.

Düşük karbonlu çeliklerde, bir saniye süre ile dövme basıncının uygulanmasının gerekli olduğu, yüksek dövme basıncının uygulanması ile birlikte, kısa kaynak sürelerinin en iyi kaynak bölgesini sağladığı söylenebilir.(Lucas,1971). Yine düşük karbonlu çelikler için, düşük kaynak

süreleri ve yüksek dövme basıncı değerleri, daha ince taneli bir yapı oluşturmaktadır.(Duffin and Crossland 1971).

Kaynak parametrelerinden olan, dönen malzemenin devir sayısı 1200 - 4200 d/dak arasında değiştirilip, diğer parametreler sabit tutularak yapılan deneysel çalışmada, yüksek devir sayılarında birleştirilmiş numunelerde, çentik darbe deneyinin daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur.(Voinov, 1972).

En genel anlamda, düşük karbonlu çelikler için ; sürtünme basıncı 30 - 65 MPa , dövme basıncı 75 -140 MPa, orta ve yüksek karbonlu çelikler için ; sürtünme basıncı 70 - 210 MPa , dövme basıncıda 100 - 420 MPa değerlerinde uygulanmalıdır.(Welding Handbook, 1980).

Paslanmaz çelikler için, dövme basıncı değerinin sürtünme basıncının iki katı olması gerektiği Ishibashi et al,(1983) tarafından deneysel bulgu olarak verilmiştir.

Takım çelikleri üzerine yapılan bir çalışmada, kaynak bölgelerinden kırılan takım çeliklerinin yüzeyinde görülen hata, parlak şerit olarak nitelendirilmiş ve bu hatanın oluşmaması için kaynak sıcaklığı dolayısıyla sürtünme basıncının yüksek olması gerekliliği tavsiye edilmiştir.(Tanicheva, et al 1989)

Vakum ortamında yapılan sürtünme kaynağının, birleştirilen malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirdiği Bol'shokov et al, (1972) tarafından belirlenmiştir.

A6061Al alaşımı ile SUS304 paslanmaz çeliğinin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesinde, yüksek dövme basınçlarının birleşmenin mukavemetini olumlu yönde etkilediği, çentikli numunelerin çekme mukavemetinin dövme basıncı ile arttığı ve birleşmenin maksimum verimliliğinin istatistiksel olarak %87 - %93 civarında olduğu sonuçları elde edilmiştir.(Ochi et al, 1996).

Normalize edilmiş sürtünme kaynaklı bağlantıların enstrümantal Charpy deney cihazı kullanılarak, çeşitli sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerinde şu sonuçlar elde edilmiştir : Normalize edilmiş kaynaklı bağlantının yutma enerjisi, normalize edilmemiş göre oldukça fazladır, normalize edilmiş bağlantıda enerji geçiş sıcaklığı yaklaşık 24 °C'dir, bu da kırılma yüzeyinde tahmin edilen sıcaklık ile tam uyum içerisindedir, normalize edilmiş bağlantının geçiş bölgesindeki çatlak ilerleme dayanımı, normalize edilmemiş bağlantıdakine göre çok fazla olmaktadır, normalize edilmiş kaynaklı bağlantının darbe eğilme mukavemeti, sıcak çekilmiş ana metalinki ile hemen hemen aynıdır.(Kato et al, 1996).

Al – Al, Al – çelik ve çelik – çelik çiftlerinin farklı parametrelerdeki sürtünme kaynaklı bağlantıların üzerine yapılan bir çalışmada ; kaynak bölgesi boyunca çekme deneyleri ve mikrosertlik ölçümleri, ITAB'daki metalurjik değişikliklerin tespiti için SEM incelemesi ve ısı incelemesi yapılmıştır. Kaynak parametrelerinin interaksiyonunun akma, çekme ve kırılma mukavemetini önemli ölçüde etkilediği, Al – çelik bağlantılarında ITAB'ın Al tarafında daha geniş olduğu sonuçları bulunmuştur.(Sahin et al,1996).

Kaynaklı bağlantılarda yüzey hazırlığı esnasında, boy kısılması göz önüne alınarak, hazırlık ölçüleri malzemeye göre, her kaynak dikişi için, 1ıla 10mm toleranslı alınmalıdır.(Anık, 1983).

Optimum kaynak parametreleri tespit edilerek yapılan S45C karbon çeliğinin sürtünme kaynağında, malzeme kaybının büyük miktarda olduğu, bu yüzden daha az yanma miktarı gibi ekonomik bir yönü de değerlendirmek gerektiği Ogawa et al, (1993) tarafından önerilmiştir. Aynı çalışmada, sürtünme kaynaklı bağlantılarda, kaliteli kaynağı sağlayan parametre gruplarına ait numunelerin birleşme bölgelerinin sertlik dağılımları incelendiğinde ; ITAB üzerinde nispeten düşük sertliklerin geniş bir dağılımına sahip ince taneli ferrit, perlit tabakasının varlığı ortaya çıkmaktadır ve birleşme bölgesindeki sertlik dağılımının eğiminin dik olmayıp, daha geniş aralıkta az eğimle gerçekleştiği belirlenmiştir.(Ogawa et al, 1993).

Paslanmaz çelikleri çeşitli endüstri sektörleri için uygulanabilir kılan, geniş bir yelpazedeki mekanik özelliklere ve korozyon mukavemetine sahip olmalıdır. Bu yüzden dünya çapında paslanmaz çelik üretimi yıllardır düzenli olarak artmaktadır. Ekipmanların imalinde ve tesislerin inşasında kaynaklama önemli bir role sahiptir. Paslanmaz çeliklere uygulanan kaynaklama proseslerinde, son zamanlarda kaydedilen gelişmeler gözden geçirildiğinde, önceleri konvansiyonel ark kaynağına ilgi yönelmiş, daha sonra güç kirışı metotlarına yoğunlaşmış ve son olarak katı hal birleştirme teknikleri uygulanmıştır.(Gooch et al 1996). Halen günümüzde katı hal birleşme tekniklerinden olan sürtünme kaynağı, paslanmaz çelikler için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde önemli bir yeri olan egzost supaplarının imalinde kullanılan, X53CrMnNiN219 ve X45CrSi93 DIN standartları ile ifade edilen, farklı alaşımdaki iki çeliğin, sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi, optimum kaynak parametrelerinin tespiti ve birleşme bölgesinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Egzost supapları, çalışma konumları itibarıyla oksidasyona, kurşun oksit ve diğer yanma ürünlerinden kaynaklanan sıcak korozyona maruz kalırlar. Bu yüzden egzost supaplarının "kafa" kısımlarının imalatında, oksidasyona ve sıcak korozyona dayanıklı X53CrMnNiN219 çeliği kullanılmaktadır. Bunun yanında egzost supaplarının "sap" kısımları ise, sürtünme, yorulma ve eğilmeye maruz kaldıklarından dolayı, X53CrMnNiN219 çeliğine göre daha tok ve sünek bir malzeme olan X45CrSi93 çeliğinden imal edilmektedirler. Bu çeliklerin yüksek alaşımlı çelikler olduğu göz önüne alındığında, ekonomiklik faktörü de, egzost supaplarının farklı iki çelikten imal edilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır.

Supap imalatında karşılaşılan hataların sebepleri ; kaynak bölgesinde aşırı termal ve mekanik gerilmelerin oluşması ve optimum parametreler kullanılmadan yapılan imalat olarak sıralanabilir. Bu hataların minimize edilebilmesi ise ; uygun malzeme seçimi, optimum kaynak parametrelerinin uygulanması ve uygun mikroyapı elde edilmesiyle mümkündür. Bu hataların

minimize edilmesini mümkün kılabilmek için, kaynaklı bağlantılarda optimum kaynak parametrelerinin tespiti ile birleşme bölgesinin incelenmesi gerekmektedir.

Bu sebeple : Sürtünme kaynağı ile, değişik parametre gruplarında birleştirilen bu çeliklerden oluşan kaynaklı bağlantılara, çekme ve çentik darbe testleri uygulanarak, metalografik ve mikrosertlik incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, optimum parametreler belirlenmiştir. Belirlenen parametre grubundaki numune, ITAB'daki metalurjik değişikliklerin tespiti ve malzemeler arasındaki element difüzyonunun belirlenmesi için, mikroprob incelemesine tabi tutulmuştur. X ışını difraksiyonu ile de birleşme bölgesindeki karbür oluşumları ve birleşme bölgesinin kristal yapısı belirlenmiştir.

Optimum kaynak parametrelerin uygulanması ve malzeme davranışlarının bilinmesi açısından elde edilen sonuçlar, supap imalatı endüstrisine ışık tutacak niteliktedir.

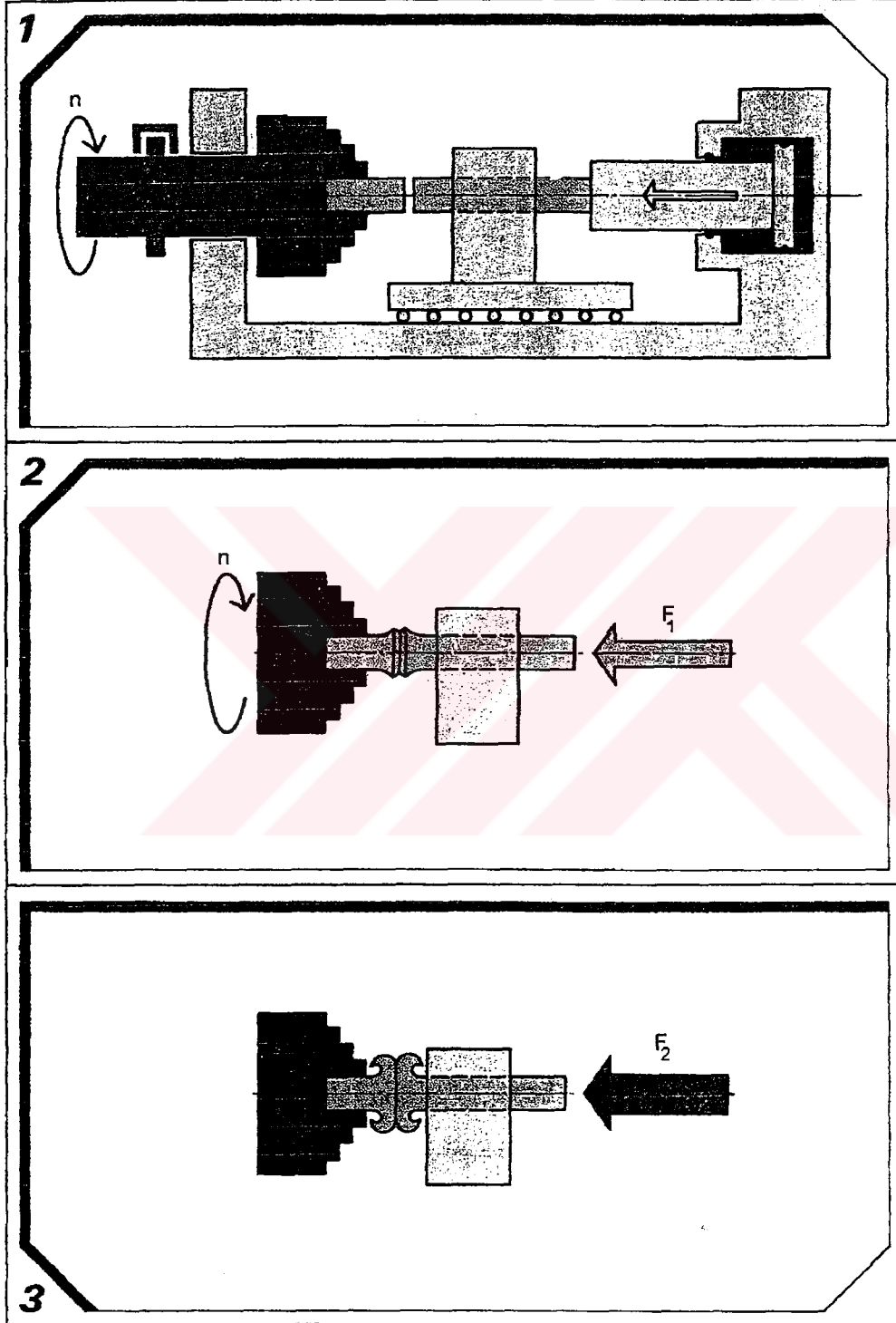


2 . SÜRTÜNME KAYNAĞI

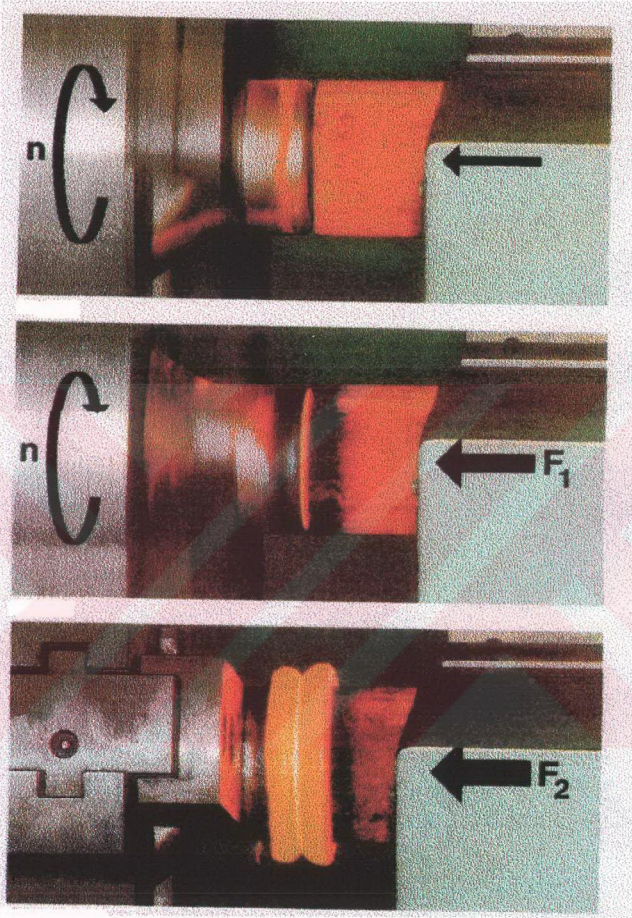
2 . 1 . Sürtünme Kaynağının Gelişimi ve Tanımlanması

Metallerin kaynağında ve şekillendirilmesinde sürtünme ile elde edilen ısının kullanılması düşüncesi yeni değildir. Sürtünme ısı ile gerçekleştirilen sürtünme kaynağı, gelişen teknoloji ile birlikte dünyada birçok ülkede ve endüstride geniş olarak uygulama alanı bulmuş, ticari bir prosestir. Başlangıçta torna tezgahı tipindeki basit cihazlar ile metal çubukların alın kaynağı denemeleri yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar, pratik önemi olmayan teknik meraklar olarak değerlendirilmiştir. Sürtünme kaynağının ilk denemeleri 15. yy'la kadar gitmekle birlikte, konuyla ilgili ilk patent, 1891 yılında, bir makinist olan J.H: Bevington tarafından alınmıştır. Bevington ilk olarak metal boruların kaynağında sürtünme kaynağını uygulamıştır. Önceleri metal işleme endüstrisinde, başta kesme takımlarının kaynağı olmak üzere, birçok uygulamalarda kullanılmaya başlayan sürtünme kaynağı, zamanla yaygınlaşmıştır. Daha sonraları sürtünme kaynağı ile ilgili patent çalışmalar, 1924 yılında İngiltere'de, 1929 yılında Almanya'da W. Richter tarafından, 1924 yılında da Sovyetler Birliği'nde H. Klopstock tarafından gerçekleştirilmiştir. H. Klopstock ve A.R. Neelands silindirik parçaların sürtünme kaynağı için 1941 yılında patent almışlardır. 1940'lı yıllarda Almanya ve Amerika'da plastik malzemelerin kaynağı üzerine çalışmalar yapılmıştır.(Bahrani and Crossland, 1976), (Duffin and Crossland, 1971). Sürtünme kaynağı ile ilgili bilimsel çalışmalar ve bu kaynak yönteminin endüstride ticari bir proses olarak kullanımının gelişimi, A.J. Chdikov isimli bir Rus makinisti tarafından gerçekleştirilmiştir. İki metal çubuk arasında başarılı bir kaynak gerçekleştiren A.J. Chdikov, 1956 yılında Sovyetler Birliği'nde bu çalışmasına patent almıştır. Sovyetler Birliği'ndeki daha sonraki çalışmalar Vill ve arkadaşları tarafından yoğunlaştırılarak sürdürülmüştür. Bu proses ABD'ye 1960 yılında transfer edilmiştir. American Machine and Foundry Co.'da, Holland ve Cheng adlı araştırmacılar, sürtünme kaynağının termal ve parametre analizleri üzerine çalışmışlardır.(Vill,1962). İngiltere'de ise sürtünme kaynağı ile ilgili ilk çalışmalar 1961 yılında kaynak enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir. 1962 yılında ABD'de Caterpillar Tractor Co. sürtünme kaynağını modifiye ederek, atalet kaynağı olarak adlandırılan yöntemi geliştirmiştir. Bu çalışmanın ardından konvansiyonel sürtünme kaynağı Rus tipi proses, atalet kaynağı ise Caterpillar tipi proses olarak adlandırılmışlardır. Bu gelişmelerden sonra sürtünme kaynağı uygulamaları bütün dünyaya yayılarak endüstride yaygın olarak kullanıla gelmiştir. Günümüzde sürtünme kaynağı modern kaynak yöntemleri arasında elektron ışın kaynağından sonra pratikte en çok kullanılan bir yöntemdir.(Wang et al, 1974).

Bilindiği üzere, bütün mevcut kaynak yöntemleri ;Ergitme ve basınç kaynağı olarak, iki temel tipte incelenebilir. Sürtünme kaynağı da basınç kaynağı tipinde bir yöntemdir. Sürtünme kaynağı, elektriksel enerji veya diğer enerji kaynaklarından faydalanmaksızın, kaynatılacak parçaların ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan, sürtünme ile üretilen mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilen, ısının kullanılması ile uygulanan bir katı hal kaynak tekniğidir. Diğer bir deyişle sürtünme kaynağı, gerekli olan ısıyı, belli bir basınç altında sürtünen parçaların, sürtünen yüzeylerinden temin eden bir sıcak basınç kaynağı yöntemidir. Kaynak bölgesinde üretilen ısının verimli ve ekonomik kullanımı, kaynak edilecek yüzeyler üzerinde ısının çok iyi lokalize edilebilmesi ile mümkündür. Diğer bir deyişle, sürtünme kaynağında, sadece parçaların kaynak edilecek kısımlarında ısı üretmek mümkündür. Kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler basınç altındadır ve ısıtma fazı olarak adlandırılan bu süreç yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar devam eder. Genel olarak, çelikler için kaynak bölgesinde oluşan sıcaklık 900 – 1300 °C arasındadır. Çoğu durumda ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ara yüzeydeki ısıtılmış metal yığılır. Böylelikle kaynak bölgesi, bir çeşit termomekanik işleme tabi tutulmuş olur ve dolayısıyla bu bölge iyi bir tane yapısı gösterir. Bu sebeple, diğer kaynak yöntemleri ile kaynatılamayan metaller ve alaşımlar sürtünme kaynağı ile rahatlıkla kaynatılabilir. Parçalar arasında kaynak bağının oluşabilmesi için ham yüzeylerin temas haline gelmesi gerekir. Sürtünme kaynağında bütün temassızlıklar sürtünme yoluyla giderildiği için bu temas çok iyi gerçekleşir. Normal şartlar altında sürtünen yüzeylerde bir ergime olayı oluşmaz. Eğer çok küçük miktarlarda bir erime olmuşsa da, kaynak sonu uygulanan yığıma işleminden dolayı ergimiş metale ait bir bulguya rastlanılmamaktadır. Sürtünme kaynağının uygulama kademeleri şematik olarak Şekil 2.1'de verilmiştir. Başlangıçta parçalardan biri dönerken diğeri sabittir (Şekil 2.1₁). Dönme hızı belirli bir hıza ulaştığında, iki parça bir araya getirilip eksenel bir basınç uygulanır ve ara yüzeydeki parçalar bölgesel olarak ısınır (Şekil 2.1₂). Son olarak, dönme hareketi durdurulur, eksenel basınç artırılarak parçalar arasındaki ısınmış malzeme yığılır (Şekil 2.1₃). (Welding Handbook., 1980), (Nicholas, 1983). Kaynak esnasında görüntülenmiş sürtünme kaynağının uygulama kademeleri ise Şekil 2.2'de verilmiştir.(Kuka Ürün Katalogu).

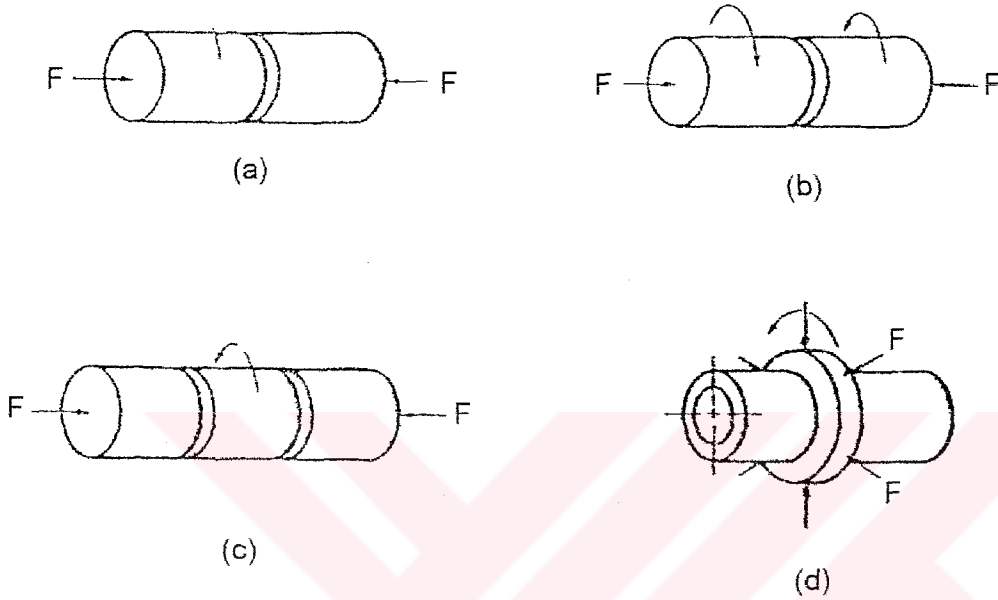


Şekil 2.1. Sürtünme kaynağı kademelerinin şematik gösterimi



Şekil 2.2. Sürtünme kaynağı kademelerinin kaynak esnasındaki fiili görünüşü

Sürtünme kaynağı uygulamaları, büyük çoğunlukla dairesel kesitli çubukların ve boruların kaynağında gerçekleştirilmektedir. Bu tür uygulamalarda sürtünmeyi oluşturan temel hareket dönme hareketidir.(Anık, 1983). Belirli boyuttaki çubukların ve boruların birleştirilmesinde kullanılan alışlagelmiş sürtünme kaynağı metotları Şekil 2.3'de verilmiştir.



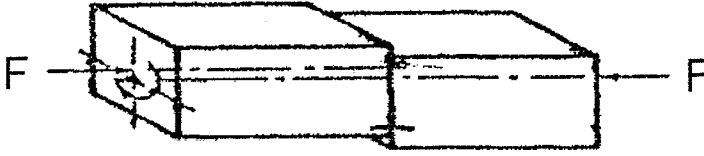
Şekil 2.3. Sürtünme kaynağının uygulama şekilleri

Şekil 2.3.a, en çok kullanılan ve en basit olan uygulama şeklidir. Bu metot da kaynak edilecek parçaların eksenleri aynıdır ve bu parçalardan birisi sabit, diğeri müşterek eksenleri etrafında dönmektedir. Uygulanan aksenal basınç altında, temas yüzeylerinde sürtünme kuvvetleri oluşur. Şekil 2.3.b ise, yüksek dönme hızlarının gerekli olduğu küçük çaplı numuneler için uygundur. Parçalar arası yüksek bağıl dönme hızları gerektiği durumlarda kullanılır. Şekil 2.3.c, fazla detaylı olmayan, dönmesi güç veya imkansız ve çok uzun olan parçaların birleştirilmesi için kullanılır. Şekil 2.3.d ise, pek uygulama alanı bulamamış olmakla birlikte boruların kaynağı için geliştirilmiştir ve radyal kuvvet etkisi altında dönel bir bilezikten yararlanılarak uygulanmaktadır. (Tylecote,1968), (Yılmaz, 1993).

Sürtünme kaynağı metotlarının tümü için bilinmelidir ki ; parçalar arasında kuvvetli bağların oluşumu ve kaliteli bir kaynak bağlantısı ancak kaynatılacak parçaların temiz ve düzgün yüzeylerinin bir araya getirilmesi ile mümkündür. Muhtelif inklüzyonlar, yüzeyde oluşan oksitler ve yüzeye absorbe olmuş filmler daima mevcut olup, kuvvetli bağların oluşumuna ve

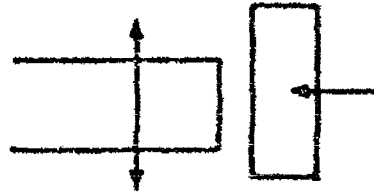
kaynağın kalitesine olumsuz etkide bulunurlar. Bu olumsuz oluşumlar, sürtünme esnasında yüzeylerin aşındırılması ile kaynak bağlantısından tahrip edilip uzaklaştırılırlar.(Anık, 1983).

Sürtünme kaynağında, sürtünme için kullanılan dönme hareketine ilaveten yörüngesel hareket, lineer titreşim hareketi ve açısal titreşim hareketi de uygulanabilir. Yörüngesel hareket silindirik olmayan parçaların kaynağı içindir. Şekil 2.4'te görülen uygulamada, sabit duran parça üzerinde diğer parça, bir köşesi dairesel bir yörünge çizecek şekilde hareket eder.(Welding Handbook, 1980).



Şekil 2.4. Yörüngesel hareketle sürtünme kaynağı

Şekil 2.5'te şematik olarak verilen lineer titreşim hareketinde, parçalardan biri uygulanan basınç altında ileri geri titreşim hareketi yapar. Bu yöntem ilk defa Vill tarafından önerilmiştir. Açısal titreşim hareketinde ise parçalardan biri uygulanan basınç altında belli bir açıyı gören yay parçası yörüngesinde hareket eder. (Vill, 1962).



Şekil 2.5. Lineer titreşim hareketi ile sürtünme kaynağı

2 . 2 . Sürtünme Kaynağının Çeşitleri

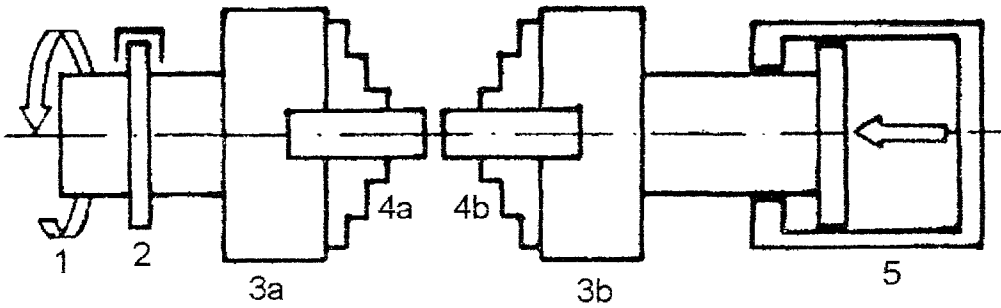
Sürtünme kaynağı, gerekli mekanik enerjiyi sağlayan kaynağa göre iki ayrı yöntemle uygulanabilir. Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde, bu iki yöntemin bir arada uygulanması ile gerçekleştirilen kombine kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar,sürekli tahrikle sürtünme kaynağı, volan tahrikli sürtünme kaynağı ve kombine edilmiş (hibrid) sürtünme kaynağı şeklinde adlandırılabilirler.(Bahrani and Crossland, 1976), (Welding Handbook, 1980).

2 . 2 . 1 . Sürekli Tahrikle Sürtünme Kaynağı

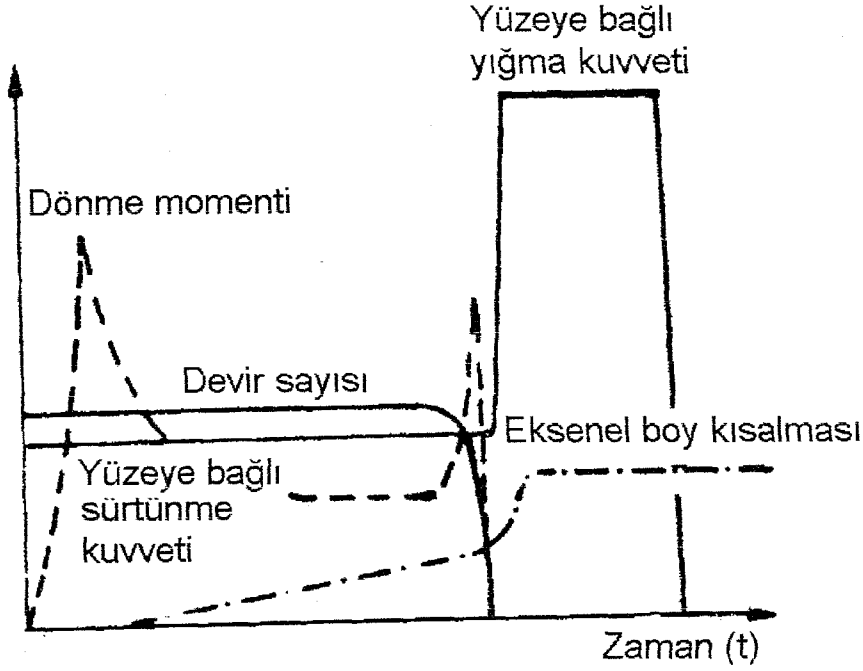
Bu yöntemde dönme enerjisi sürekli bir tahrik grubu ile sağlanır. Mekanik enerji, dönen iş parçasından dönmeyen iş parçasına basınç uygulamak sureti ile ısı enerjisine dönüştürülür. Genelde literatürde sürtünme kaynağı olarak bu kaynak yöntemi bahsedilir. Parçalardan birisi bir motor tahrik ünitesine bağlıdır ve sabit bir hız altında döner, aynı zamanda sabit aksenal kuvvet parçalara uygulanır. Çalışma parçaları, daha önceden belirlenen kaynak süresince veya belirlenen aksenal kısılma oluşuncaya kadar birbirlerine sürtünür ve daha sonra dışarıdan frenleme işlemi ile durdurulur. Kaynak esnasında uygulanan basınç, yığılma amacıyla artırılır ve kaynak soğuyuncaya dek tutulur.(Bahrani and Crossland, 1976), (Welding Handbook, 1980).

Temel kaynak parametreleri : Devir sayısı, yüzeye bağlı sürtünme kuvveti, sürtünme süresi, yüzeye bağlı dövme kuvveti ve dövme süresidir.

Sürekli tahrikli bir sürtünme kaynağı makinasının şematik yapısı Şekil 2.6'da,zamana bağlı olarak işlem büyüklükleri ise Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.6. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı makinesinin şematik gösterilişi



Şekil 2.7. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri

Şekil 2.6'da verilen numaralandırmaya göre,

- 1- Tahrik motoru
 - 2- Fren
 - 3a- Dönen iş parçasının bağlandığı ayna
 - 3b- Sabit iş parçasının bağlandığı ayna
 - 4a- Dönen iş parçası
 - 4b- Sabit iş parçası
 - 5- Yığma silindiri
- olarak şematik gösterimi verilmiş parçaları ifade etmektedir.

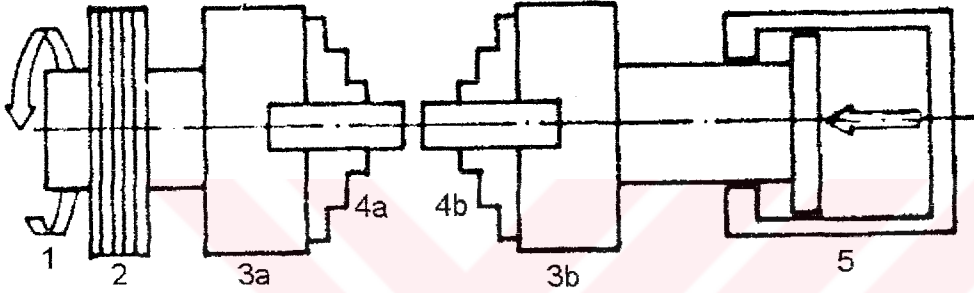
2 . 2 . 2 . Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Bu kaynak yönteminde, tahrik motoru volan sistemi sürekli döner ve dönen iş parçasını uygun bir hıza getirmek için volan-mil sistemine birleştirilir. Arzu edilen hıza ulaşıldıktan sonra motor volanı, mil volanından kurtarılır. Düşük bir atalet momentine sahip olan mil volanı, kaynağı tamamlamak için fren yapmaksızın hızlı bir şekilde durur. Bu sebepten dolayı literatürde bu kaynak yöntemi atalet kaynağı olarak geçmektedir. Parçalardan biri bir volana bağlıdır ve belirlenen bir hıza ivmelendirilir, böylelikle mekanik enerji bir volana depolanmış olur. Daha sonra iki parça temas ettirilir ve bir kaynak basıncı uygulanır. Parçalar bu basınç altında

sürtünür ve volan enerjisi ara yüzdeki sürtünmeye harcanır. Volanın hızı azalırken kaynak bölgesi ısınır. Bazı durumlarda, volan tamamen durmadan basınç artırılır ve volan durduktan sonra da bir müddet etki devam ettirilir. Volan tahrikli sürtünme kaynağının, sürekli tahrikle sürtünme kaynağına olan üstünlükleri; kaliteli bir kaynak dikişi, daha dar bir ITAB bölgesi, daha seri üretim, daha düşük güç ihtiyacı, daha basit düzenek şeklinde sıralanabilir.

Temel kaynak parametreleri : Devir sayısı, yüzeye bağlı dövme kuvveti, dövme süresi ve volanın kütlesidir.(Bahrani and Crossland, 1976), (Welding Handbook., 1980).

Volan tahrikli bir sürtünme kaynağı makinesinin şematik yapısı Şekil 2.8'de, zamana bağlı işlem büyüklükleri ise Şekil 2.9'da verilmiştir.

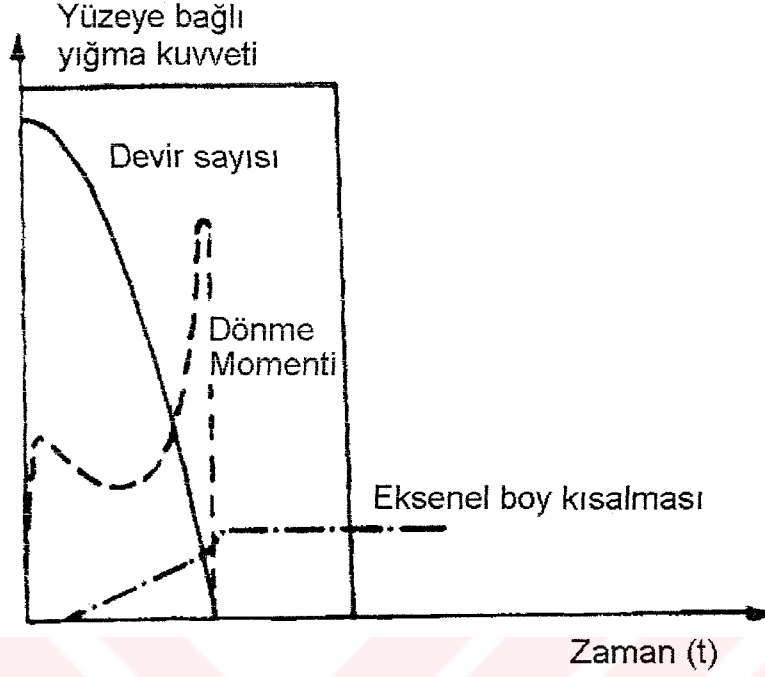


Şekil 2.8. Volan tahrikli sürtünme kaynağı makinesinin şematik gösterilişi

Şekil 2.8'de verilen numaralandırmaya göre,

- 1- Tahrik motoru
- 2- Değiştirilebilir volan
- 3a- Dönen iş parçasının bağlı olduğu ayna
- 3b- Sabit iş parçasının bağlı olduğu ayna
- 4a- Dönen iş parçası
- 4b- Sabit iş parçası
- 5- Yığılma silindiri

olarak şematik gösterimi verilmiş parçaları ifade etmektedir.



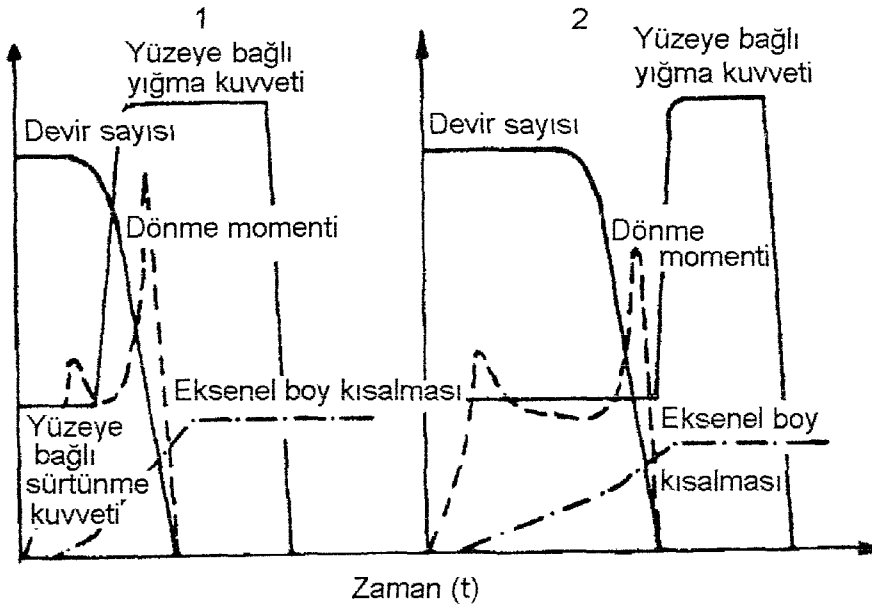
Şekil 2.9. Volan tahrikli sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri

2.2.3. Kombine Edilmiş (Hibrid) Sürtünme Kaynağı

Bu yöntem sürekli tahrikle sürtünme kaynağı ile volan tahrikli sürtünme kaynağının bir kombinasyonudur. Büyük kapasiteli parçaların birleştirilmesinde avantajlı olduğu söylenebilir. Bu yöntem bazı literatürde volan kaynağı olarak da ifade edilmektedir.

Temel kaynak parametreleri : Devir sayısı, yüzeye bağlı sürtünme kuvveti, sürtünme süresi, yüzeye bağlı dövme kuvveti, dövme süresi, frenlemeye başlama zamanıdır.

Kombine edilmiş sürtünme kaynağı makinesinin şematik şekli, Şekil 2.6'da verilen ile aynı olmakla birlikte, zamana bağlı işlem büyüklükleri Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Kombine edilmiş sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri

Şekil 2.7, Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da verilen işlem büyüklükleri irdelendiğinde ; Kaynak işlemi, ana başlıklar ile sürtünme ve yığma safhalarını içermektedir. Hem sürekli tahrikli hem de volan tahrikli sürtünme kaynağı için moment eğrilerinin değişimi, işlemin anlaşılması açısından önemli anlamlar taşımaktadır. İşlemin başlangıcında, parçalar arasında kuru sürtünme vardır ve bu sürtünmenin etkisiyle moment eğrisi bir üst değer yaptıktan sonra denge konumuna ulaşır.

Bölüm 2.1'de de ifade edildiği üzere, parçaların sürtünen yüzeyleri üzerindeki oksit tabakalarının parçalanması sonucu, çıplak yüzey temasları artar ve bu temaslar esnasında kuvvetli atomsal bağlar oluşmaya başlar. Sürtünme ile bu bağlar kopmaya zorlanır. Nihayetinde bu temas noktalarında şiddetli adhezyon kuvvetleri oluşur, moment artar ve sıcaklık istenilen düzeye ulaşır. Frenleme sonrası hız süratle azalırken moment de sıfıra düşer.(Welding Handbook, 1980), (Bahrani and Crossland, 1976).

2.3. Sürtünme Kaynağı Makinesinden Beklenen Özellikler

Sürtünme kaynağı makineleri, genel olarak metal işleme makinelerinden olan torna, matkap gibi tezgahlara benzerlik göstermektedirler. İlk sürtünme kaynağı makineleri, bu tezgahların modifiye edilmiş şekilleridir. Şekil 2.6 ve 2.8'de, sürtünme kaynağı makinesi şematik olarak verilmiştir. Şekiller incelendiğinde de görüleceği üzere bir sürtünme kaynağı makinesinde, ana gövde ve buna bağlı bağlantı elemanları, dönme ve yığma mekanizmaları,

fren sistemi, güç ünitesi, kontrol üniteleri ve kumanda tablosu bulunmaktadır. Sürtünme kaynağı makineleri tam mekanize makinelerdir. Parçaların bağlanması, bırakılması, kaynak sonrası yığımdan dolayı oluşan çapakların tornalanması otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Sürtünme kaynağındaki temel fonksiyonlar, parçaların bağlanması, sıkıştırılması ve bırakılması, basınç altında dönme ve sürtünme, frenleme, yığıma ve işlem için gerekli sürelerin hassasiyetle ayarlanmasıdır.

Numune bağlama aparatları gerekli rijitliğe sahip olmalı, üzerine gelecek momentleri karşılamalı, radyal kaçıklıklar ve titreşimler elimine edilebilmelidir. Özellikle kaynak işlemi boyunca oluşabilecek titreşimler, gerekli incelemeler ve araştırmalar yapılarak, sönmümlenebilecek şekilde sürtünme kaynağı makinesinin dizayn edilmesi gerekmektedir. Titreşimler yanında oluşacak radyal ve aksenal kuvvetlerden dolayı parçaların sabitlenmesi ve aksenal kaçıklıkların önlenmesi güçtür. Bu sebeple, bağlama aparatları gereken miktarda sıkıştırarak dizayna sahip olmalıdır. Bu işlem için genellikle V şekilli iki çene veya özel çeneler kullanılır.(Nicholas,1983).

Kaynak ekipmanlarını tutmak için kullanılan bütün durdurma aparatları güvenilir olmalıdır. Bağlantısı yapılacak parçalarda oluşabilecek küçük bir kayma, hem kalitesiz bir kaynak bağlantısına, hem de frenleme sisteminin zarar görmesine sebep olur. Uygulamaların çoğunda otomatik olarak merkezleyen frenleme düzenekleri kullanılır.

Sürtünme kaynağı makineleri, normal olarak belirli parça büyüklükleri ve malzemeler arasında çalışmaktadır. Örneğin, 120 KN basma kuvvetinde, 15 KW elektrik motoruyla tahrik edilen bir makine, kesit alanı 130-800 mm² olan çelikleri kaynak edebilir.

Bütün makineler, kaynak edilecek parçaya uygulanacak ana işlemin değişkenlerinin gerekli değerlerine ayarlanabilir ve her işlem kaynak işleminin başlamasından sonra otomatik olarak denetlenir. Bazen bu işlem, elle şalterin kapatılması ya da koruyucuların kapatılması ile yapılır.

2 . 4 . Sürtünme Kaynağında Uygunluk ve Malzemelerin Sürtünme Kaynağı Kabiliyeti

Malzeme karakteristikleri hakkındaki bilgiler, metalik malzemenin ve malzeme kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygun olup olmadığı için çok net değildir. Metalik malzemelerin veya kombinasyonlarının, sürtünme kaynağına uygunluğu hakkındaki değerler, deneysel çalışmalar ve pratik uygulamalar sonucu elde edilmiştir. Her yeni malzeme ve malzeme kombinasyonlarında sürtünme kaynağına uygunluk, birleştirilecek parçalar için optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi amacıyla ön deneyler ile belirlenebilmektedir. Bu uygunluk durumları deneysel sonuçlar olduğundan dolayı değişmez sonuçlar değildir. Yeni bilgiler söz konusu olduğunda, yeniden tanımlanabilir ve düzeltilebilirler.(Ganowski, 1973), (Metals Handbook, 1983).

Başka kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi mümkün olmayan malzemeler ve kombinasyonlarının, sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi söz konusu olduğundan dolayı, diğer kaynak yöntemleri için geçerli olan " kaynağa uygunluğun belirlenmesindeki kriterler" sürtünme kaynağı için geçerli değildir.(Yılmaz, 1993).

Birleştirilecek malzemelerin sürtünme kaynağına uygunluğu için, malzemenin mukavemeti ve sıcak şekil değiştirme kabiliyeti önemli iki faktördür. Malzemenin mukavemeti, sürtünme kaynağı esnasında aksenal basınç ve dönme momenti ile aşırı bir deformasyonun oluşumunu önleyecek miktarda yüksek olmalıdır. Bununla birlikte, birleşmenin kalitesi açısından, birleştirilecek malzemelerin sıcak şekil değiştirme kabiliyetleri yeterli düzeyde olmalıdır.(Ganowski, 1973).

Birleştirilecek malzemelerin kaynak karakteristikleri üzerine etkisi incelendiğinde; Malzeme ve kombinasyonları iki grup altında irdelenebilir. Bunlardan ilki, hemen hemen aynı ısıl davranış gösteren malzemeler, diğeri ise çok farklı sıcak mukavemet değerlerine ve ergime sıcaklığı noktalarına sahip malzemelerdir. Birinci tip malzemeler, aynı cins malzemeler olarak kabul edilip doğrudan kaynak işlemine tabi tutulurlar. İkinci tip malzemelerde ise uygunluk araştırması için ön deneyler uygulanır, bundan sonra kaynak işlemi uygulanır.(Yılmaz, 1993). Bir çok demir esaslı ve demir dışı metaller sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilir. Ayrıca sürtünme kaynağı, farklı ısıl ve mekanik özelliklere sahip metallerin kaynağında da kullanılır. Çoğunlukla bu malzemelerin diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Metallerin ergime sıcaklıkları altındaki kaynak sıcaklıkları ve kısa kaynak süreleri, sürtünme kaynağının üstünlüğünü sağlayan unsurlardır. Farklı ısıl ve mekanik özelliklere sahip metallerin sürtünme kaynağı simetrik olmayan deformasyon miktarlarına sebep olur. Yüksek bir kaynak mukavemeti ise göreceli olarak simetrik plastik deformasyon veren farklı malzemelerin kaynağında elde edilebilir. Bu durumun gerçekleşmesi için Vill (1962), kaynağı oluşturan parçalardan daha düktil olanının çapının %15 - %25 oranında daha büyük yapılmasını önermiştir.

Sürtünme kaynağı ile, dövülebilen, iyi kuru sürtünme özellikleri olmayan bütün malzemeler kolaylıkla kaynak edilebilir. Kuru yağlama sağlayan alaşım elementleri, bağlantı bölgesinin kaynak sıcaklığına erişmesine engel olur.

Demir esaslı malzemeler, yumuşak çelikten, yüksek alaşımli çeliklere kadar sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirler. Düşük mukavemetli çelikler göreceli olarak daha kolay kaynak edilebilmekte ve hassas olmayan parametre aralığında birleşebilmektedirler. Yüksek alaşımli çelikler ise daha hassas parametre aralığında ve daha yüksek aksenal kuvvetlerde kaynak edilebilmektedir. Isıl işlem görmüş paslanmaz çelikler, yüksek alaşımli çeliklerde olduğu gibi hassas parametre aralığında kaynak edilebilirler. Yüksek alaşımli çelikler için, düşük deformasyon kabiliyetlerinden dolayı yüzeye bağlı büyük kuvvetler ve uzun sürtünme süreleri gerekir. Özellikle "havada su alan çelikler" de, kaynak bölgesinin soğuma hızını mümkün olduğu

kadar küçük tutmak amacıyla, yeter genişlikte ITAB temin edilmelidir. Yüksek mukavemetli malzemelerde çatlak ilerlemesi hızlı geliştiğinden dolayı, birleşen yüzeyler çatlak etkisi yapabilecek unsurlardan arındırılmalıdır.

Sinterlenmiş malzemeler, Al, Cu, Ti, Zr, Mg alaşımları, ısıl dirençli Ni ve Co alaşımları, refrakter metaller olan Ta, Mo alaşımları da sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirler.(Metals Handbook, 1983).

-Ostenitik çelikler, yüksek süneklilik ve üstün sıcak deformasyon kabiliyetine sahip olduklarından düşük sürtünme süresi ve sürtünme basıncı değerlerinde,

-Yüksek sıcaklıkta mukavemetli alaşımlar, uygun olmayan ısıl iletkenlik ve yüksek sıcaklık mukavemetlerinden dolayı yüksek sürtünme süresi ve düşük sürtünme basıncı değerlerinde,

-Cu, Al, Ti ve alaşımları yüksek devir sayılarında, düşük sürtünme basınçlarında, sürtünme kaynağına tabi tutulurlar.

Bazı metal ve alaşımlarında kendilerine has metalurjik içeriklerinden dolayı başarılı sürtünme kaynağı uygulamaları gerçekleştirilememektedir. Bunlar;

-Serbest grafitin sürtünme sıcaklığını sınırlamasından dolayı, bütün dökme demirler,

-Sürtünme sıcaklığının sınırlanmasından dolayı, %0.3 'ün üzerinde kurşun içeren bronz ve pirinçler ile %0.13 'ün üzerinde S, Pb içeren otomat çelikleri,

- Geçiş bölgesi kırılganlığından dolayı, yüksek derecede anizotropik malzemeler,

-Yapısında hazır olarak grafit, Mn, S, serbest Pb gibi zayıflatıcı faz içeren malzemelerdir.(Metals Handbook, 1983), (Yılmaz, 1993).

2 . 5 . Malzemelerin Sürtünme Kaynağına Hazırlanması ve Dizaynı

Sürtünme kaynağında, kaynak edilecek parçaların dizaynı diğer kaynak yöntemlerine göre farklılık arz etmektedir. Umumiyetle boya, yağ ve diğer olumsuzluk oluşturan unsurlar herhangi bir sorun oluşturmazlar. Tavsiye edilmemekle birlikte, oksijen ile kesilmiş yüzeylerin kaynağı dahi mümkündür. Ayrıca, yüzeylerin korozyon tabakası ile yada farklı bir tabaka ile kaplı olması kaynak işlemini etkilemez. Bunun yanında, kalın oksit tabakalarından, yüzeylerdeki karıncalanmadan, derin çizik ve deliklerden sakınılmalıdır. Yüzeylerdeki çok fazla girinti ve çıkıntılar, yüksek ısı merkezlerinin meydana gelmesine, dolayısıyla kötü ısı dağılımına neden olur. Yüzey pürüzlülüğünün çok fazla olduğu durumlarda, çıkıntılar konsol kiriş şeklinde çalışırlar. Konsol kiriş şeklinde çalışan çıkıntılar, deformasyon, esnasında iç katmanların oluşumuna ve deforme olsalar dahi, kök kısımlarının soğuk olmasından dolayı yine katman oluşumuna neden olurlar. Kaynak bölgesindeki deformasyon bahsedilen unsurları dışarıya atabilecek şekilde olmalıdır. Bunların dışında farklı özelliklere sahip metal ve alaşımlarının yüzey hazırlığına daha çok önem verilmelidir. Kaynak yapılacak parçaların yüzeylerinin, diğer

kaynak yöntemlerinde olduğu gibi özel bir şekle sokulması gerekmez. Ancak büyük çaplı parçalarda, sürtünmeye yardımcı olmak için küresel veya kesik koni şeklinde ağız oluşturulabilir. Kaynak yapılacak parçalar, en az eksen kaçıklığı verecek şekilde dizayn edilmelilerdir. Kaynak toleransı, çalışma parçalarındaki hatalar kadar, kaynak makinesine de bağlıdır.(Kuruzar, 1979). F.Ganovski (1973), uzunluk toleransı ve kabul edilebilir eksen kaçıklığı için 0.203 mm değerini önermiştir. G.H.C. Begg ve B.A. Humphreys çalışmalarında, 0.2 mm'lik aksenal kaçıklık toleransı ve 0.001 Rad'lık açısal tolerans önermişlerdir.(Begg and Humphreys, 1981).

Sürtünme kaynağı ile ilgili temel dizayn şekilleri, çubuk-çubuk, boru-boru, çubuk-boru, çubuk-levha, boru-levha ve boru-disk kombinasyonları şeklindedir. Sürtünme kaynağının teorisi gereği, özel sürtünme hareketi durumları hariç, parçaların en az bir tanesinin dönele olması istenir. Karışık şekilli parçalar ve dövülmesi zor parçalar için, dövülerek şekillendirilmiş iki veya üç parça sürtünme kaynağı ile bir araya getirilerek üretilebilir. Sürtünme kaynağı ile yapılacak açılı bağlantılarda eksenle olacak açının, genel olarak 30-45⁰ ve 45-60⁰ arasında olması önerilmiştir. D.L. Kuruzar ise bu açının 30⁰'den büyük olmasını tavsiye etmiştir. Bazı dizayn şekillerinde kaynak esnasında oluşan metal yığılmasının alınması çok zor yada imkansız olduğundan, dizaynda kaynak bağlantısına bitişik yığılma araklıkları bırakılır.(Kuruzar, 1979).

2 . 6 . Sürtünme Kaynağı Parametreleri

Sürtünme kaynağının diğer kaynak yöntemlerinden en önemli farkı, oldukça fazla sayıda kaynak parametresi ile kontrol edilebilir olmasıdır. Deney çubuğu çapı, kaynak işlemi esnasında dönen parçanın devir sayısı, tornalama işlemi esnasında dönen parçanın devir sayısı, sürtünme temas süresi, fren geciktirme süresi, dövme geciktirme süresi, dövme süresi, sürtünme basıncı yükselme süresi, dövme basıncı yükselme süresi, dövme sonu bekleme zamanı, sürtünme süresi, sürtünme basıncı, dövme basıncı sürtünme kaynağının belli başlı parametreleri olarak sayılabilir. Bunun dışında kaynatılacak parçaların, geometrisi ve malzemesinden kaynaklanan diğer parametrelerde söz konusudur. Sürtünme kaynağı parametreleri ile ilgili temel literatürler incelendiğinde, yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gereken parametrelerin dönen parçanın devir sayısı, sürtünme süresi, sürtünme basıncı, dövme basıncı ve dövme süresi olduğu görülmektedir. Her parametrenin etkin olduğu alanın çok geniş olduğu bilinmektedir. Parametre sınırları bir kere belirlendiğinde son derece güvenilir kaynak yapmak mümkündür.(Anık,1983).

- Dönen parçanın devir sayısının düşük tutulması, çalışmayı durduracak kadar büyük momentlerin oluşumuna ve düzensiz ısıtmadan dolayı üniform olmayan yığılmaya neden olur. Bununla birlikte farklı metal bağlantıları için düşük devir sayıları, gevrek bir intermetalik bileşiğin oluşmasını en aza indirebilir. Dönen parçanın devir sayısının yüksek tutulması durumunda ise ITAB genişler ve kaynak zamanı uzar, bunun yanında güç girdisinde büyük bir değişiklik

olmaz. Bu durumda kaynak bölgesindeki aşırı ısınmayı önlemek için sürtünme basıncı ve sürtünme süresi çok dikkatli kontrol edilmelidir. Yüzeyde meydana gelen ısınma, düşük devir sayılarında daha yüksek olmaktadır. Kesitteki çevreden merkeze teğetsel hızların azalması herhangi bir sakınca meydana getirmemektedir. Isınma merkezden çevreye doğru yayılmaktadır.

- Kaynakta uygulanan basınç değerleri, malzemedeki sıcaklık gradyentini denetlediği ve döndürme momentini, dolayısıyla gücü etkilediği için oldukça önem arz etmektedir. Sürtünme basıncı ve dövme basıncı, kaynatılacak parçaların geometrisi ve malzemesi ile doğrudan ilgilidir, değişimi dar bir aralıkta değildir. Gereğinden fazla uygulanan basınç değerleri orantılı olarak güç gereksinimini artırır. Daha hızlı enerji girişinden dolayı daha yüksek basınçlar, ITAB'ın genişliğini azaltır, metal yer değiştirme oranını hızlandırır ve böylece kaynak zamanı kısalarak paralel olmayan kenar ısı bandı oluşur. Basınç değişkeni, kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve eksenel boy kısalması miktarı ile kontrol altında tutulabilir. Yüzeylerdeki girinti ve çıkıntılar düzgün deformasyonu ve üniform ısı dağılımını mümkün kılacak optimum basınç, malzemelere uygulanmalıdır. (Welding Handbook, 1980).

Sürtünme basıncı, temas eden yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, yüzeylerin hava ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeylerde üniform bir ısıtma sağlayabilecek değerde olmalıdır. Sürtünme işlemi esnasında, özellikle çelikler için, dövme basıncının uygulanması kaynak kalitesini artırır.

Dövme basıncı, malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır. Aşırı kaynak yığılmasına neden olacak kadar yüksek, elverişsiz sıcak şekillendirmeye, dolayısıyla yetersiz kaynaklanmaya neden olacak kadar da düşük olmamalıdır. Farklı malzemelerin kaynağında ise düşük mukavemetli malzeme esas alınarak dövme basıncı belirlenir. Yüzeyden yüzeye, makro boyutta parçacıkların difüzyonu dövme esnasında meydana gelir. Yüzeyler arasında, sürtünme esnasında sürekli olarak bağlar meydana gelir ve bozulur. Dövme başlangıcında yüzeyde maksimum miktarda bağ meydana gelmelidir. Zira kaynak kesitinde kalıcı bağ, bu en son teşekkül etmiş bağlardır. Difüzyon için parçalar birbirine küçük bir itme ile bastırılmalı ve baskı kuvveti hemen geri alınmamalıdır, hatta yükseltilerek bir süre kaynak ısı nisbeten soğuyana kadar kalmalıdır.

Sürtünme ve dövme süreleri malzeme ile doğrudan ilgili parametrelerdir. Sürtünme süresi, sürtünen yüzeyler arasındaki muhtemel kalıntı ve parçacıkların uzaklaştırılmasına yada plastik deformasyonu mümkün kılacak düzeyde olmalıdır. Kaliteli bir kaynak bağlantısı için minimum sürtünme süresi değerinin aşılması gerekmektedir. Düşük sürtünme süreleri, düzensiz ısıtma ile birlikte ara yüzeyde birleşmemiş bölgelerin oluşumuna ve yetersiz plastik deformasyona neden olur, bu da kalitesiz kaynak anlamına gelmektedir. Yüksek sürtünme süreleri ise, kabalaşmış yapıyla birlikte geniş bir ITAB oluşumuna neden olur. Bu farklı metallerin kaynağında önemlidir, çünkü yüzeyler arası geçiş tabakasında, düşük biçim alma

özelliğine sahip metaller arası bileşiklerin fazlaca oluşması nedeniyle, kötü mekanik özellikler doğurabilir. Aynı zamanda aşırı derinlikte bir ısıtmaya ve malzeme sarfiyatına neden olur.(Welding Handbook, 1980).

2 . 7 . Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları

Sürtünme kaynağı özellikle seri üretim için uygun bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, göreceli olarak yüksek olan donatım maliyeti, işlenen malzemenin fazla ve kullanılan iş gücünün az olmasıyla dengelenmektedir. İşlem çok yönlüdür ve donanım kolayca ayarlanabilir. Böylelikle, işletme masraflarında önemli miktarlarda azalma olduğu ve malzeme tasarrufu sağlandığından dolayı, küçük grupların kaynak edilmesinde avantajlı bir kaynak yöntemi olarak kabul edilebilir. Bu avantajlarından dolayı, günümüzde sürtünme kaynağı endüstrinin bir çok sahasında uygulama alanı bulmuş bir kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağının endüstride en çok kullanılan uygulama alanları şu başlıklarla sıralanabilir.

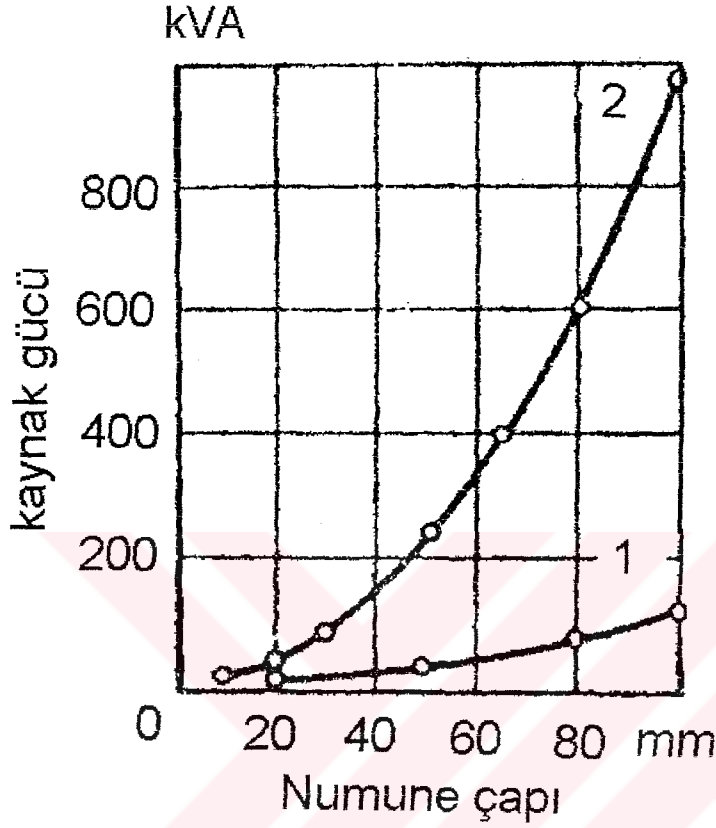
- Makine imalatı ve yedek parça endüstrisi : Dişli çarklar, piston kolları, hidrolik silindirler, radyal pompa pistonları, piston kolları, sonsuz vidalı miller, krank milleri, matkap uçları, valfler.
- Otomotiv endüstrisi : Supaplar, supap yuvaları, kardan milleri, vites kolları, aks bağlantıları, fren milleri, şanzıman parçaları, ön ısıtma odaları, boru miller, taşıyıcı aks milleri...
- Havacılık ve uzay endüstrisi : İtme jetleri, yanma odaları, miller, türbinler, rotorlar, borular, fittingsler, flanşlar...
- İş takımları endüstrisi : Spiral matkaplar, freze bıçakları, delik zımbaları, raybalar, çelik kalemler...
- Elektrik, elektroteknik ve kimya endüstrisi : Gaz analizleri için alıcı kameraları, kromatograflar için ayırma sütunları, röntgen cihazı tüpleri için döner anot milleri, sürekli lehim uçları, devre kontakları, geçiş parçaları, boru tesisatı bağlantıları.(Ellis, 1976).

2 . 8 . Sürtünme Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Sürtünme kaynağı, teknik ve ekonomik açıdan diğer kaynak yöntemlerinden belirgin bir üstünlüğe sahiptir. Genelde sürtünme kaynağı, elektrik direnç kaynağı yöntemi ile karşılaştırılmaktadır. Fakat bazı kullanma alanlarında sürtünme kaynağı elektron ışını kullanılan ve elektrik arkı manyetik hareketli olan kaynak yöntemleri ile de karşılaştırılabilir.

- Sürtünme kaynağının temel avantajlarından en önemlisi, enerjinin rantabil kullanılabilmesidir. İşlem, alışılmışın dışında yüksek verime, buna karşılık daha düşük bir enerji ve güç ihtiyacına sahiptir. Bununla birlikte, aynı kaynak neticeleri için sürtünme kaynağında kullanılan güç miktarı, elektrik direnç kaynağına göre % 80 - 90 oranında daha azdır (Şekil 2.11). Sürtünme kaynağı

motorda üç fazlı bir yükleme ile gerçekleştirilir ve güç faktörü $\text{Cos } \varphi = 0.80-0.85$ değerindedir. Elektrik direnç kaynağı ise tek fazla yapılır ve güç faktörü $\text{Cos } \varphi = 0.40-0.60$ dır.



Şekil 2.11. Kaynak esnasında gerekli güç ihtiyacının yöntemlere göre karşılaştırılması
(1.Sürtünme kaynağı, 2.Elektrik direnç kaynağı)

- Sürtünme kaynağı işlemi süresince ısıtılan metal miktarı çok küçük olduğundan, soğuma süresi de çok küçük bir zaman aralığını kapsar. Bu süre, birkaç saniye ile bir dakika aralığında değişebilmektedir. Sürtünme kaynağı bu özelliği sebebiyle, yalnızca elektrik direnç kaynağı ile karşılaştırılabilen çok yüksek hızlarda yapılabilir.
- Sürtünme kaynağında ısı, kaynak bölgesinde ve doğrudan kaynak edilecek parçaların yüzeyinde dağılır. Halbuki diğer kaynak yöntemlerinde, ısının önemli bir kısmı, kaynak yapımı için gerekli olandan daha geniş bir hacmin ısıtılmasının sonucu olarak kaybolur.
- Sürtünme kaynağında, sürtünme ve dövme safhalarında malzeme kaybı minimum seviyededir ve sürtünme kaynağı malzeme tasarrufu açısından en ekonomik yöntem olarak kabul edilebilir.
- Sürtünme kaynağında yüzey hazırlığı çok özel bir hazırlık gerektirmez ve işlem temiz olarak gerçekleşir, kaliteli bir kaynak dikişi elde edilir.

- İşlem çok hızlı gerçekleştiğinden sürtünme kaynağı seri bir yöntem olarak kabul edilebilir.
- Sürtünme kaynağında, kaynağın kalitesi üzerinde etkili olan kaynak parametrelerinin kontrolü kolaydır, malzemenin cinsine ve boyutlarına göre belirlenip sapma olmadan uygulanabilir.
- Sürtünme kaynağı, parçaların otomatik yüklenmesi, boşaltılması, diğer operasyonlara transferi gibi otomatik işlem kademelerine kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir.
- Sürtünme kaynağı bir katı hal kaynak yöntemi olduğundan, kaynak bölgesinde herhangi bir cüruf ve kalıntı benzeri unsurlara rastlanmamaktadır.
- İşlemin veriminin yüksek olmasının en önemli nedeni, aksenal yük, dönme hızı ve yığma miktarının kolaylıkla kontrol edilebilmesidir.
- Bütün bu avantajların yanında sürtünme kaynağı, kaynak edilecek parçaların geometrisinin sınırlılığı, kaynak esnasında oluşan malzeme yığılmasının giderilmesi için fazladan işlem kademesinin gerekliliği ve yatırım maliyetinin yüksek oluşu gibi dezavantajlara sahip olmakla birlikte, üstün bir kaynak yöntemi olarak uygulama alanı bulmakta olan bir yöntemdir. Sürtünme kaynağının diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir.(Metals Handbook, 1983).

Çizelge 2.1. Sürtünme kaynağının diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırılması

KARŞILAŞTIRMA KONUSU	Sürtünme Kaynağı	Elektron Işın Kaynağı	Elektrik Direnç Kaynağı	Elektrik Arkı Manyetik Hareketli Kaynak
Kaynak yapılabilir malzeme	✓	-	-	-
Kaynak yapılabilir kesit	✓	-	-	-
Kaynak geometrisi	-	✓	✓	-
Parçanın hazırlanması	✓	-	-	-
Kaynak metali yığılması	-	✓	-	-
Malzemenin katkısı	-	✓	-	✓
Kaynak dikişine kesitin uyg.	✓	-	-	-
İşlemin kontrolü	✓	-	-	-
Yatırım maliyeti	-	-	✓	-

3 . DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

3 . 1 . Deneyslerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deneyslerde X53CrMnNiN219 ve X45CrSi93 DIN standartları ile verilen yüksek alaşımlı çelikler kullanılmıştır. Kullanılan bu çelikler COGNE (ILVA) firmasından SUPAR A.Ş tarafından ithal edilmiş olup, ithalat sonrası çeliklerin spektral analizleri KONYA KOSGEB tarafından gerçekleştirilmiştir. Spektral analiz adı geçen kuruluşun hazırladığı parça üzerinden SPEKTROLAB marka sabit spektrometre cihazında yapılmıştır. Çizelge 3.1'de, kullanılan malzemelerin standart karşılıkları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan malzemelerin standart karşılıkları

	DIN	W.Nr	AFNOR	BS	EURONORM
MALZEME	X53CrMnNiN219	1,4871	Z52CMN21-09	~349S52	X53CrMnNiN219
	X45CrSi93	1,4718	Z45CSi10	~401S45	X45CrSi8

Çizelge 3.2'de 1.4871 malzemenin, Çizelge 3.3'de ise 1.4718 malzemenin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 3.2. 1.4871 malzemenin kimyasal bileşimi

DENEY MALZEMESİ	KİMYASAL BİLEŞİM (%)							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	N	P	S
1.4871Teorik	0.48-0.58	≤ 0.30	7-10	20 - 22	3.25 - 4.5	0.38 - 0.5	max0.050	max0.030
1.4871Analiz	0.50	0.27	8.19	20.11	3.90	0.4	0.025	0.001

Çizelge 3.3. 1.4718 malzemenin kimyasal bileşimi

DENEY MALZEMESİ	KİMYASAL BİLEŞİM (%)					
	C	Si	Mn	Cr	P	S
1.4718Teorik	0.40 - 0.50	2.70 - 3.30	≤ 0.80	8 - 10	max0.040	max0.030
1.4718Analiz	0.42	2.73	0.47	8.71	0.017	0.001

Çizelge 3.4'de 1.4871 malzemenin, Çizelge 3.5'de ise 1.4718 malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. 1.4871 malzemenin mekanik özellikleri

DENEY MALZEMESİ	MEKANİK ÖZELLİKLER					
	Çap (mm)	Boy (m)	Dairesellik (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Sertlik (HRC)	Çekme Mukavemeti (MPa)
1.4871 standart	12.258-12.300	3.5-4.0	Max0.03	max 0.8	max40	950-1250
1.4871 bulunan	12.280-12.290	4.0	0.005-0.02	0.3-0.8	37-40	1120

Çizelge 3.5. 1.4718 malzemenin mekanik özellikleri

DENEY MALZEMESİ	MEKANİK ÖZELLİKLER					
	Çap (mm)	Boy (m)	Dairesellik (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Sertlik (HRC)	Çekme Mukavemeti (MPa)
1.4718 standart	12.258-12.300	3.5-4.0	Max0.03	max 0.8	29-35	950-1125
1.4718 bulunan	12.280-12.290	4.0	0.005-0.01	0.6-0.8	29-32	1030

Çizelge 3.6'da, 1.4871 malzemenin, Çizelge 3.7'de ise 1.4718 malzemenin mikro yapılarında istenen ve bulunan özellikler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.6. 1.4871 malzemenin mikro yapı özellikleri

1.4871 MALZEMENİN MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİ	
İSTENEN	BULUNAN
<ul style="list-style-type: none"> -Tane boyutu ASTM ve daha incesi olan ostenitik yapı olacak. -Max.40HRC'ye uyacak şekilde solüsyon tavllanmış yapı olacak. -Aşırı karbür dizilenmesi, bantlaşması ve haddeme izi olmayacak. -Kalıntısız mikro temizlik JK=max3 olacak 	<ul style="list-style-type: none"> -Tane boyutu ASTM 8-9 ostenitik yapı. -Max 37-40 HRC 'ye uyacak şekilde solüsyon tavllanmış yapı bulunmuş. -Karbür dizilenmesi, haddeme izleri tespit edilmemiştir. -Kalıntısız mikro temizlik JK=1.

Çizelge 3.7. 1.4718 malzemenin mikro yapı özellikleri

1.4718 MALZEMENİN MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİ	
İSTENEN	BULUNAN
<ul style="list-style-type: none"> -İslah edilmiş ,sertleşmiş ve menevişlenmiş yapı. -Tane boyutu max. ASTM 8 ve daha ince yapı. -Aşırı karbür dizilenmesi, bantlaşması ve haddeme izi olmayacak. -Kalıntısız mikro temizlik JK=max3 olacak 	<ul style="list-style-type: none"> -Tane boyutu ASTM 8 ve incesi karbürü yapı. -Sertleşmiş ve menevişlenmiş yapı. -Karbür dizilenmesi, haddeme izleri tespit edilmemiştir. -Kalıntısız mikro temizlik JK=1.

Her iki malzeme grubuna ait numunelere, tahribatsız muayene usullerinden olan sıvı penetrent muayenesi uygulanmış, çubuklar üzerinde herhangi bir çatlak ve malzeme hatası tespit edilmemiştir.

Her iki malzeme için hazırlanan numunelere uygulanan çekme deneyi sonuçları, 1.4871 malzeme için Çizelge 3.8'de, 1.4718 malzeme için de Çizelge 3.9'da verilmiştir. Bu deneyler, KONYA KOSGEB laboratuvarlarında 60 tonluk DARTEC cihazında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.8. 1.4871 malzemenin çekme deneyi sonuçları

MALZEME	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Toplam Boy Uzaması(%)	Kesit Daralması(%)
1.4871	1120	858	15.5	12.6

Çizelge 3.9. 1.4718 malzemenin çekme deneyi sonuçları

MALZEME	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Toplam Boy Uzaması(%)	Kesit Daralması(%)
1.4718	1031	853	10.5	52.5

1.4871 Malzeme ; Çökeltme sertleşmesine tabi tutulmuş ostenitik CrMnNi çeliğidir. Bu çelik benzinli ve diesel motorların egzost supaplarında, egzost gazı ile temas eden "kafa" kısmında kullanılır. Normal çalışma şartları altında orta ve ağır motorların egzost supaplarında, oksidasyona, kurşun oksit ve diğer yanma ürünlerinden kaynaklanan sıcak korozyona karşı 1.4871 çeliği çok iyi dayanım göstermektedir. Bu yüzden egzost supaplarının imalatında "kafa" kısmı tabir edilen kısım 1.4871 malzemeden imal edilmektedir. Maksimum çalışma sıcaklığı 750 °C civarındır. Çizelge 3.10'da 1.4871 çeliğinin ısı uygulaması, Çizelge 3.11'de ise fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.10. 1.4871 çeliğinin ısı uygulamaları

MALZEME	Tavlama (°C)	Isıl İşlem(°C)	Çökeltme Sertleşmesi(°C)	Dövme(°C)	Ekstrüzyon(°C)
1.4871	1000-1050 1-2 saat/suda	1150-1180 suda	730-780 6-16 saat/hava	1150-950	1200-1050

Çizelge 3.11. 1.4871 çeliğinin fiziksel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	1.4871 MALZEME	
	DEĞERLER	
Yoğunluk	7.7 g/cm ³	20 °C
Elastisite Modülü	211000 MPa	20 °C
Isıl İletkenlik	18 W/m.K	20 °C
Özgül Isı	0.5 J/g . K	20 °C
Özgül Elektrik Direnci	0.75 Ω mm ² /m	20 °C
Manyetiklik	Manyetik Değil	
Isıl Genleşme Katsayısı	17.3 x 10 ⁻⁶ m/m	20 °C→200 °C
	18.7 x 10 ⁻⁶ m/m	20 °C→400 °C
	19.1 x 10 ⁻⁶ m/m	20 °C→600 °C
	20.0 x 10 ⁻⁶ m/m	20 °C→800 °C

1.4718 çeliği ; Isıya dayanıklı sertleşebilir, martensitik Cr-Si çeliğidir. 550 °C aşmayan çalışma sıcaklıklarında kullanılır. Emme supaplarının tamamı bu malzemeden imal edilmektedir. Benzin ve diesel motorlarında, 550 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, yanma ürünlerinden kaynaklanan sıcak korozyon ve oksidasyona karşı iyi dayanım gösterir. 1150-900 °C sıcaklık aralığında ekstrüzyon ve dövme usulleri ile imal edilebilir. Malzeme dövme sıcaklığına ulaştıktan sonra yavaş soğutulmalıdır. Oda sıcaklığında tavllanmış 1.4718 çeliğinin sertliği, 30 HRC'den düşük iken 180 °C'de temperlenmiş haldeki sertliği 56 HRC'ye eşit ve büyük olduğu tespit edilmiştir. 1.4718 çeliği sürtünmeye karşı dayanıklı, 1.4871 çeliğine göre daha tok ve sünek bir malzemedir. Egzost ve emme supaplarının sap kısmı sürtünmeli çalıştığından dolayı, bazı çeşitlerinde sap kısmı 4-7µm kalınlığında Cr ile kaplanmaktadır. Bu işlemten sonra sap kısmının yüzey sertliğinin 65 HRC'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Çizelge 3.12'de, 1.4718 çeliğinin ısı uygulaması, Çizelge 3.13'de ise fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.12. 1.4718 çeliğinin ısı uygulamaları

MALZEME	Tavlama (°C)	Sertleştirme (°C)	Temperleme (°C)
1.4718	750-820 havada	1010-1030 yağda	700-800 havada

Çizelge 3.13. 1.4718 çeliğinin fiziksel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	1.4718 MALZEME	
	DEĞERLER	
Yoğunluk	7.7 g/cm ³	20 °C
Elastisite Modülü	211000 Mpa	20 °C
Isıl İletkenlik	17 W/m.K	20 °C
Özgül Isı	0.5 J/g . K	20 °C
Özgül Elektrik Direnci	0.9 Ω mm ² /m	20 °C
Manyetiklik	Manyetik Değil	
Isıl Genleşme Katsayısı	12.6 x 10 ⁻⁶ m/m	20 °C → 200 °C
	12.9 x 10 ⁻⁶ m/m	20 °C → 400 °C
	13.4 x 10 ⁻⁶ m/m	20 °C → 600 °C
	14.2 x 10 ⁻⁶ m/m	20 °C → 800 °C

3 . 2 . Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneylerde, 12.30 mm çapında 100 mm boyda kesilmiş çelik çubuklar kullanılmıştır. Deney numuneleri, 4 m boyunda sıcak haddelenmiş ve tavllanmış çubuklardan, elektrikli testere ile 100 mm boyunda kesilip uçları taşlanmış ve kaynağa hazır hale getirilmişlerdir.

Her iki çelikten, 100'er mm kesilmiş çubukların ilk boy ölçümleri hassas kumpas ile yapılarak ölçüler virgülden sonra iki hane olacak şekilde tespit edilmiştir. Farklı iki malzemeden oluşturulan kaynaklı parçalar, sürtünme kaynağı ile birleştirilmişlerdir. Bu kaynak işlemleri, halen SUPAR A.Ş.'de üretim amaçlı kullanılan, maksimum düzensiz yükü 120 KN olan, malzemeye bağlı olarak, 70 - 1000 mm² arasındaki kesitlerde sürtünme kaynağı yapabilen, RS 12 kodlu KUKA marka sürtünme kaynağı makinesinde gerçekleştirildi. Kullanılan sürtünme kaynağı makinesinin basıncı sağlayan itici pistonunun kesit alanı, 8150 mm² olarak hesaplandı. 1.4718 çelik çubuk döner aynaya bağlanırken, 1.4871 çelik çubuk sabit aynaya bağlandı. Daha sonra farklı malzemeden çelik çubuklara sürtünme kaynağı tatbik edildi. Sürtünme kaynağında kaynak kalitesi üzerinde en etkili parametrelerin; Sürtünme süresi (t₁), sürtünme basıncı (P₁), dövme süresi (t₂), dövme basıncı (P₂), ve dönme hızı (n), olduğu Bölüm 2.6'da belirtilmişti. Çalışmada, deneyleri karmaşık hale getirmemek için kaynak işlemi devir sayısı ve dövme süresi sabit alındı. Deneylerde kullanılan sabit parametreler ve değerleri 12.30 mm çap için, aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

1 . Sabit Parametreler ve Değerleri

- a . Deney çubuğu çapı (mm).....; 12.30 (H9)
- b . Kaynak işlemi esnasında dönen parçanın devir sayısı (devir/ dakika).....; 3000
- c . Tornalama işlemi esnasında dönen parçanın devir sayısı (devir/ dakika).....; 1500
- d . Sürtünme temas süresi (s).....; 0.40
- e . Fren geciktirme süresi (s); 0.10

- f . Dövme geciktirme süresi (s); 0.80
g . Dövme süresi (s); 2.00
h . Sürtünme basıncı yükselme süresi (s); 1.00
ı . Dövme basıncı yükselme süresi (s); 1.00
i . Dövme sonu bekleme süresi (s); 1.00

Bu sabit parametrelerin dışındaki, sürtünme süresi (t_1), sürtünme basıncı (P_1) ve dövme basıncı (P_2), değerleri, Bölüm 1'de ve Bölüm 2.6' da verilen literatürlerin ışığında belirlenen bir aralıkta değiştirildi. Numunelere ön deneyler uygulandı, ayrıca SUPAR A.Ş'nin bugüne kadar kullandığı parametrelerden de faydalanıldı. Sabit tutulan çubuk devir sayısı ve çubuk çapı değiştirildiğinde, sabit tutulan diğer parametrelerin tamamının değiştiği belirlenmiştir. Bu parametreler sabitlendiği takdirde optimum çözümlere daha kolay ulaşıldığı görülmektedir.(Vill, 1962). Özellikle devir sayısı artırıldığında ideal kaynak kalitesini yakalayabilmek için, beraberinde sürtünme süresi ve sürtünme basıncının artırıldığı görülmektedir.(Voinov et al,1972). Numunelere uygulanan ön deneyler, birbirinden uzak değerler alınarak gerçekleştirildi ve çubuklara basit eğme testleri uygulandı. Bu ön deneylerde; bazı parametre gruplarındaki numunelerde birleşmenin olmadığı, bazılarında da düşük eğme yüklerinde,numunelerin kaynak bölgelerinden ayrıldığı belirlendi. KUKA marka sürtünme kaynak cihazının önerdiği parametre aralıklarının, SUPAR A.Ş tarafından uygulanan kaynak parametreleri ile ön deneylerde belirlenen parametre aralıklarının yaklaşık değerler olduğu tespit edildi. Optimum kaynak parametrelerini bulmak için, bütün bu verilerin ışığında belirlenen parametre aralığında ara değerler alınarak gruplar oluşturuldu. Buna göre, daha önce ifade edilen sabit parametrelere ilaveten, değişken parametreler ve değerleri şu şekilde belirlendi.

2 . Değişken Parametreler ve Değerleri

- a . Sürtünme süresi (s); 2.70 - 3.70 - 4.70
b . Sürtünme basıncı (MPa); 138 - 207 - 276
c . Dövme basıncı (MPa); 345 - 414 - 480

Çizelge 3.14'te uygulanan kaynak parametreleri, bunlara karşılık gelen harf – rakam kombinasyonları verilmiştir. Her bir parametre grubundan sekiz adet kaynaklı parça oluşturuldu. Her parametre grubundan sekiz adet numunenin üçü çekme deneyinde, üçü çentik darbe deneyinde, biri de metalografik ve mikrosertlik incelemesinde kullanıldı. Birer adet numune de yedek olarak bulunduruldu.

Çizelge 3.14. Uygulanan kaynak parametreleri

GRUP NO	PARAMETRELER		
	P ₁ (MPa)	P ₂ (MPa)	t ₁ (s)
A1	138	345	2.70
A2	138	345	3.70
A3	138	345	4.70
A4	138	414	2.70
A5	138	414	3.70
A6	138	414	4.70
A7	138	480	2.70
A8	138	480	3.70
A9	138	480	4.70
B1	207	345	2.70
B2	207	345	3.70
B3	207	345	4.70
B4	207	414	2.70
B5	207	414	3.70
B6	207	414	4.70
B7	207	480	2.70
B8	207	480	3.70
B9	207	480	4.70
C1	276	345	2.70
C2	276	345	3.70
C3	276	345	4.70
C4	276	414	2.70
C5	276	414	3.70
C6	276	414	4.70
C7	276	480	2.70
C8	276	480	3.70
C9	276	480	4.70

Sürtünme kaynağı gerçekleştirildikten sonra, birleşme bölgesinde oluşan malzeme yığılması sürtünme kaynağı cihazı tarafından kaba şekilde tomalanmaktadır. Boy kısaltmalarının hassas şekilde ölçülebilmesi için, birleşme bölgesi soğutulmak suretiyle yüzey taşlama işlemine tabi tutuldu. Daha sonra kaynaklı parçalar, kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesinde meydana gelen iç gerilmeleri ortadan kaldırmak için, gruplar halinde 600 °C'de 1 saat gerilme giderme tavlmasına tabi tutularak havada soğutuldu.

3.3. Mekanik İncelemeler

3.3.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklere göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılan bir deneydir. Çekme deneyi, standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesi olarak tanımlanabilir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir.(TS 138).

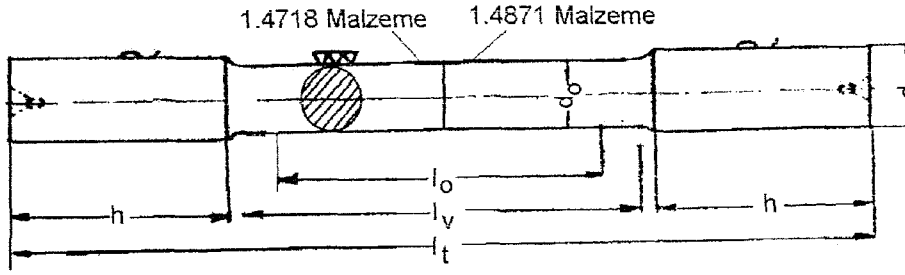
Çekme deneyine tabi tutulacak numunelerin şekli ve boyutları standartlarda belirtilmektedir. Deney sonuçlarının belirli bir standarda uyma zorunluluğu vardır ve sonuçlar numune boyut ve biçimine göre değişiklik arz edebilir. (Kayalı ve diğerleri, 1996).

Bu çalışmada, kaynaklı bağlantılarda kaynak işleminin sağlamlığını test etmek için, kaynak dikişine dikey olarak çekme yapılabilmesini mümkün kılan deney numuneleri hazırlandı. TS 138'e göre, kaynaklı deney çubukları çekme çubuğu şekline getirildi. Çizelge 3.15'de hazırlanan kaynaklı çekme çubuklarının, standartlara uygun ölçüleri verilmiştir.

Çizelge 3.15. Kaynaklı çekme çubuklarının standart ölçüleri

d_0 (mm)	$\approx d_1$ (mm)	h (mm) (minimum)	Uzun Çubuk ($l_0 = 10 d_0$)		
			l_0 (mm)	l_v (mm)	l_t (mm)
6	8	25	60	66	125

Toplam 81 adet kaynaklı parça, her gruptan üçer adet olmak üzere Çizelge 3.15'de verilen ölçülerde çekme çubuğu şekline getirildi. Her iki malzemedен 100'er mm olacak şekilde birleştirilen parçalar, kaynak bölgesi tam ortada kalacak şekilde, toplam 200 mm'den 125 mm'ye indirildi. Hazırlanan 27 ayrı parametre grubundaki numunelere, EMEK A.Ş atölyelerinde TOS TRENCIN marka seri ve hassas işlem yapabilen torna tezgahında, Çizelge 3.16'da verilen ölçüler tatbik edildi. Tornalama işleminde, herhangi bir işlem hatasının çentik etkisi yaparak, numunelerin çekme ve akma mukavemeti değerlerine olumsuz yönde etki edeceği bilindiğinden, numunelerin yüzey pürüzlülüğüne ve ölçülerin hassasiyetine özen gösterildi. Şekil 3.1'de, çekme deneyi numunelerinin teknik resmi verilerek malzemeler belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Çekme deneyi numunesi teknik resmi

Çekme deneyleri, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında 5 tonluk, universal, 1114 model, INSTRON marka, çekme cihazında gerçekleştirildi. Deney esnasında tatbik edilen yük ve uzama miktarı otomatik olarak cihazdan, uzama miktarı ordinatta, yük miktarı da apsis de olacak şekilde grafikler ile elde edildi.

Çekme deneyi sonucunda bulunan yük ve uzama miktarı, numunenin boyutlarına bağlı olarak, aynı malzemeden farklı sonuçların elde edilmesine sebep olacağından, gerilme - % uzama değerlerine çevrilerek kullanılması, malzemelerin sınıflandırılması, kullanma yerlerinin seçimi v.s hakkında tam fikir elde edilmesini sağlar. (Kayalı ve diğerleri, 1996). Bu sebeple, akma ve çekme gerilmesi değerleri, bulunan yük – uzama miktarı grafiklerinden hesaplanmıştır.

Çekme deneyinde, çekme hızı 1 mm/dak olarak alınmıştır. Her numunenin çekme deneyinden önce, boy ve çap ilk ölçüleri tespit edilmiştir.

3.3.2. Çentik Darbe Deneyi

Darbe deneyi, metallerin, özellikle gevrek kırılmaya müsait şartlardaki, mekanik özellikleri hakkında sağlam bir fikir elde etmek amacıyla uygulanır. Darbe deneyinden elde edilen sonuçlar, o numune için bir mukayese değeridir. Bu sonuçlar, çekme deneyi sonuçları gibi mühendislik hesaplarında kullanılmazlar. (Kayalı ve diğerleri, 1996).

Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlanma altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe mukavemeti olarak tanımlanır.

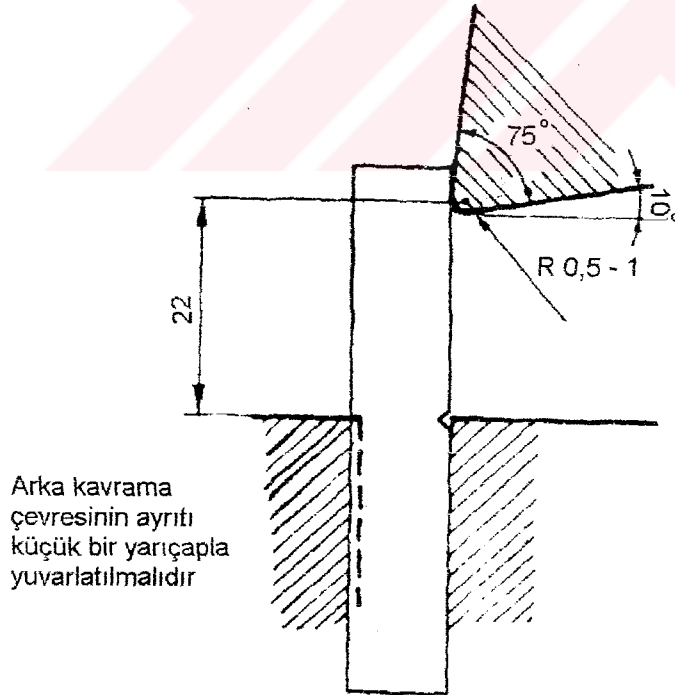
Darbe deneylerinde kullanılan numunelere genellikle çentik açılmaktadır. Çentikli bir numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanına dik bir gerilim meydana gelir. Kırılmanın başlaması bu gerilimin etkisi ile olur. Çentikli darbe deneyleri genellikle Charpy ve Izod olarak adlandırılan iki türde yapılmaktadır. Charpy darbe deneyinde numune yatay ve basit kiriş halinde iki mesnede dayanır. Izod darbe deneyinde ise dikey ve konsol kiriş halinde bir kavrama çenesine tespit edilir. Bu deney, tamamen amprik olduğu ve şartlar değiştiğçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi, doğru sonuç alma açısından önemlidir. Deneylerde kullanılan kaynaklı parçaların daire kesitli olması sebebiyle numunelerin

deney cihazına uygun ve sabit şartlarda yerleştirilememe endişesi, uygun ve sabit şartların Charpy tipi yerine Izod tipi darbe deneyi uygulaması yapılması sonucunu ortaya çıkarmıştır.

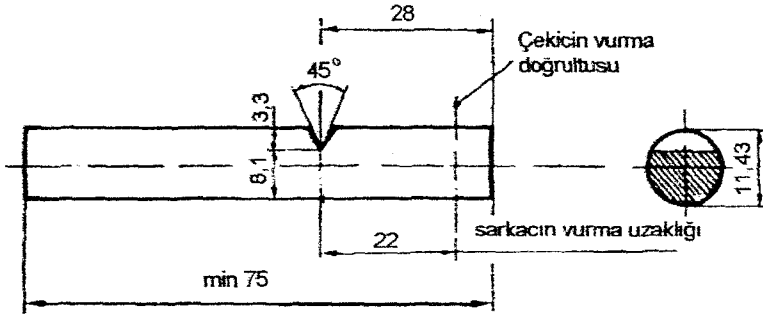
Deney parçasının uzun eksenini vurucu çekicinin ağırlık merkezinin salınım düzlemi içinde bulunmalıdır. Çentiğin simetri düzlemi ile, kavrama çenelerinin üst yüzeyi çakışacak şekilde deney parçası yerleştirilir. Çentiğin simetri düzlemi vurucu çekicinin ağırlık merkezinin salınım düzlemine dik olmalıdır. Daire kesitli bir deney parçasının çentik uçlarını birleştiren doğru, çekicinin vurucu kenarına paralel olmalıdır. Bu şartı yerine getirmek için bir yerleştirme mastarı kullanılır. Deney parçası sağlam bir mesnet bloğu ile çentiğin arka tarafından desteklenir. Deney parçası cihaza uygun olarak tespit edildikten sonra gösterge başlangıç konumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. (Kayalı ve diğerleri, 1996), (TS 269).

Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deney parçalarının sıcaklığına herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır.

Şekil 3.2'de Izod vurma deneyinde vurucu çekiçle deney parçasının karşılıklı konumu, Şekil 3.3'de ise bir çentikli, daire kesitli deney parçasının teknik resmi verilerek standart ölçüleri belirtilmiştir. Deney numuneleri bu standart ölçülere uygun olarak hazırlanıp, standartlara uygun şekilde deney cihazına bağlanmışlardır.



Şekil 3.2. Izod vurma deneyinde vurucu çekiçle deney parçasının karşılıklı durumları



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan Izod deney numunesi teknik resmi

Izod deneyi için hazırlanan numunelerde çentik, kaynak çizgisinin tam üzerinde olacak şekilde açılmıştır. Buna uygun standart ölçüler numuneye uygulanmıştır. Çentiğin kaynak çizgisinin üzerinde açılmasındaki amaç; Kaynak bölgesinin darbeye karşı gösterdiği mukavemeti belirlemek, buna bağlı olarak da kaynağın parametreler açısından mukayesesi yapılarak optimum parametreleri tespit etmektir.

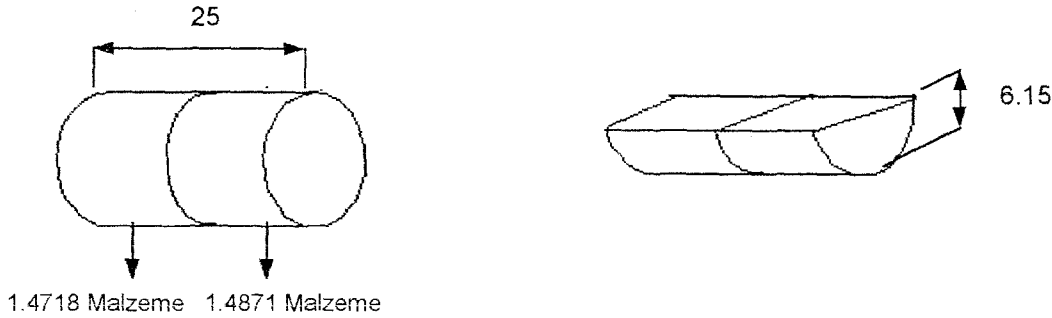
Her parametre grubundan üçer adet numune yukarıda belirtilen ölçülerde hazırlanarak, gruplar halinde DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında Izod deneyine tabi tutulmuşlardır.

3.4. Metalografik İncelemeler

3.4.1. Işık Mikroskobu İncelemesi

Işık mikroskobu incelemesinin yapılabilmesi için; Her parametre grubundan birer adet 200mm toplam boy uzunluğuna sahip kaynaklı deney numuneleri, kaynak bölgeleri tam ortada kalacak şekilde, 25'er mm boy uzunluğuna indirildi. 25'er mm'lik parçalar, dairesel kesitin orta ekseninden frezelenerek, merkezdeki yapıya ulaşılabilecek düz zemin oluşturuldu.

Şekil 3.4'te kullanılan metalografik muayene numunesinin şekli ve ölçüleri verilmiştir.



Şekil 3.4. Metalografik muayene numunesinin şekli

Bu işlemler EMEK A.Ş atölyelerinde TOS marka üniversal freze tezgahında gerçekleştirildi. Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşabilecek ısınma sonucu kaynak bölgesindeki iç yapının etkilenmemesi için numuneler, düşük devirde ve soğutulmuş frezeleme işlemine tabi tutuldu. Bu parçalar, gruplar halinde sıcak monte uygulanarak bakalite alındı. Numunelerin frezelenmiş kesitleri, zımparalanarak dağlama işlemi uygulanabilecek şekilde parlatıldı. Her iki malzeme için ayrı ayrı dağlama sıvıları hazırlandı. Grup sırasına göre dağlanan numune hemen ışık mikroskopunda incelemeye alınarak bölgesel görüntüler fotoğraflandı.

1.4871 malzeme için MARBLE reaktifi olarak adlandırılan, bileşiminde

- 4 g CuSO₄
- 20 ml HCl
- 20 ml su

olan dağlama sıvısı kullanıldı. Bu dağlama sıvısı 1.4871 malzemeye oda sıcaklığında 10 saniye süre ile tatbik edildi. Dağlama işleminde, öncelikle 1.4871 malzeme dağlandı. Bu dağlama sıvısının 1.4718 malzemenin yüzeyini etkilemediği belirlendi. Daha sonra 1.4718 malzeme

- % 5 Nital

ile dağlandı. Bu dağlama sıvısı da oda sıcaklığında 3 saniye süre ile tatbik edildi. 3 saniyeden fazla süre ile tatbikinde Nital'in, 1.4871 malzemenin dağlanmış yüzeyini bozduğu belirlendi. Böylece kaynaklı, farklı iki malzemenin birlikte iç yapısını görme imkanı elde edilmiş oldu.

Metalografik muayeneler, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında CARL ZEISS JENA marka maksimum 450 büyütme oranında hassas görüntü elde edebilen ışık mikroskopunda gerçekleştirildi.

3 . 4 . 2 . Mikrosertlik İncelemesi

Genel olarak bu inceleme çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini tespit için kullanılır. Metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların, cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılgan malzemelerin sertliklerinin bulunması bu inceleme ile gerçekleştirilir. Numunenin sertliğine göre, seçilen uygun yükler için batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik hiçbir zaman bir mikronu geçmez. (Kayalı ve diğerleri, 1996).

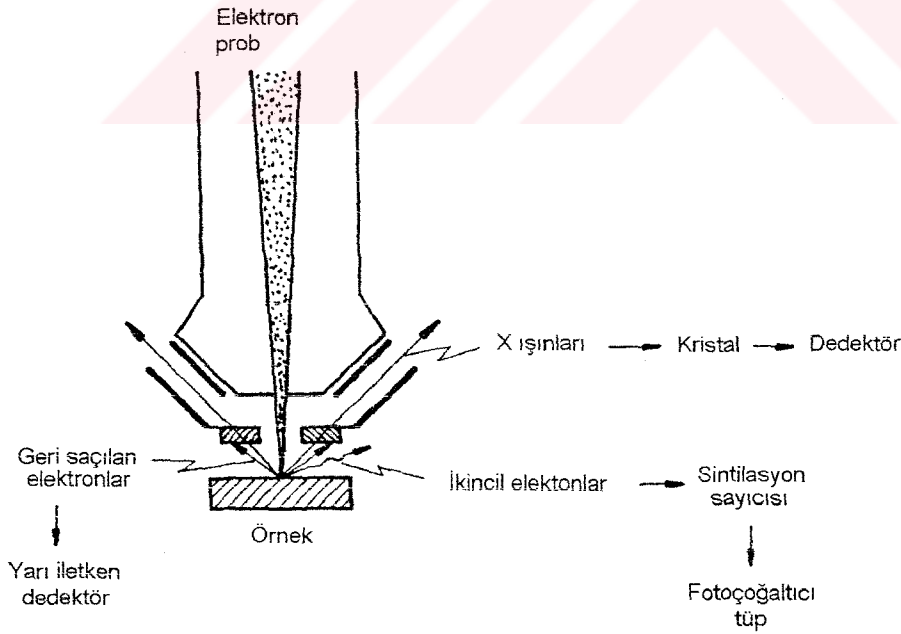
Mikrosertlik incelemesi için iki standart uçtan biri olan 136⁰ 'lik, tabanı kare olan piramit uç, yani Vickers ucu kullanıldı. Mikrosertlik cihazında 25 g'dan 10000 g'a kadar yük tatbik etmek mümkün olmakla birlikte bu çalışmada 80 g yük kullanıldı. Mikrosertlik ölçümleri, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında CARL ZEISS JENA marka mikrosertlik cihazı ile gerçekleştirildi.

Kaynaklı bağlantılarda iki farklı malzeme arasındaki geçiş bölgesindeki sertlik değişimleri her parametre grubu için tespit edildi. Ölçümler, numunelerin orta eksenlerinden ve kaynak dikişine dik kesitlerinden gerçekleştirildi. Mikrosertlik ölçümü yapılacak numunelerin yüzeylerinin metalografik olarak hazırlanması gerektiğinden, daha önce ışık mikroskobu incelemesi için bakalite alınan, parlatılıp dağlanan numuneler ölçümlerde kullanıldı.

3.4.3. Mikroprob İncelemesi

ITAB'daki metalurjik değişikliklerin tespiti ve malzemeler arasındaki element difüzyonunun belirlenebilmesi için, tespit edilen parametre grubundaki numune, mikroprob incelemesine tabi tutuldu. Metalografik inceleme için parlatılıp dağlanan, belirlenen parametre grubundaki numune, bakalitten çıkarılarak, mikroprob cihazının inceleme haznesine uygun kalıba alındı. Mikroprob incelemesi, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında, JEOL marka JXA 733 Superprobe cihazında gerçekleştirildi.

Genel olarak, mikroprob incelemesinin teorisi incelendiğinde : Şekil 3.5'de görüldüğü üzere, tungsten bir flamandan çıkan elektronlar ince bir demet haline getirilerek, bir numune üzerine düşürülürler. Numuneye çarpan elektronlar, X ışınlarının, ikincil elektronların, geri saçılan elektronların ve diğer bazı parçacıkların, numuneden yayılmasına neden olurlar. Bu parçacıkları algılayacak uygun dedektörler kullanılarak, numunenin değişik özelliklerini ortaya koyan görüntüler elde edilir.

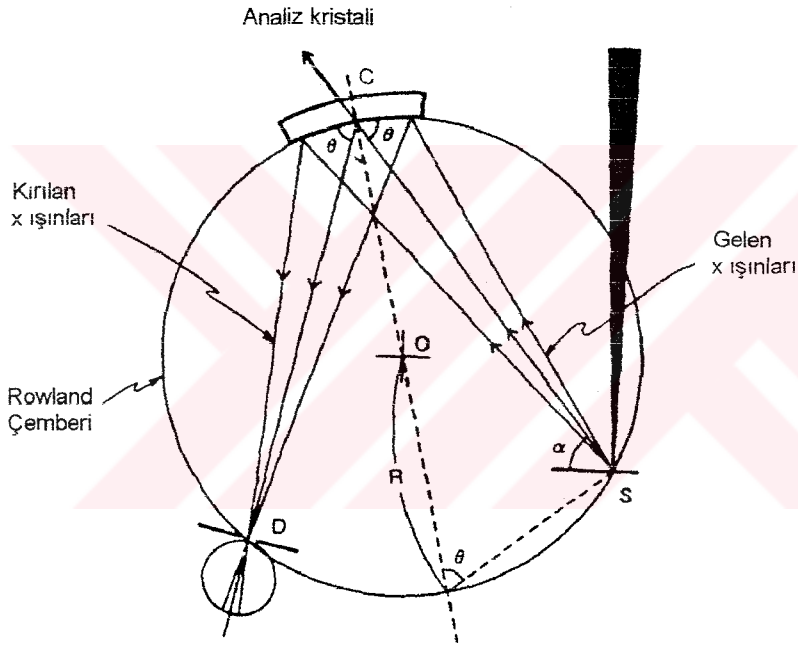


Şekil 3.5. Numuneye gelen elektronlar tarafından oluşturulan parçacıklar

İkincil elektronlar bir ışıldaama sayacı (sintilasyon sayacı) ile algılandığında, numunenin yüzey özellikleri hakkında bilgi veren ikincil elektron görüntüleri elde edilir.

Geri saçılan elektronlar, yarı iletken detektörler aracılığı ile algılandığında, detektör çıkışlarının toplamına veya farkına bağlı olarak, numuneden kompozisyon veya topoğrafik görüntüler alınır. Bunlardan kompozisyon görüntüsünde, yüzeyi oluşturan elementlerin atom numaralarına bağlı olarak, siyah ve beyaz tonlarında görüntüler elde edilir. Topoğrafik görüntüde ise, yüzey topoğrafisini gösteren yapılar elde edilir.

Mikroprob'da numune yüzeyinden yayılan birincil X ışınlarını analiz etmek için, Bragg kırınım koşulunun sağlanması gerekir. Ancak Bragg kırınım koşulu, X ışınlarının yansıma açısı cinsinden değil, numune ile analiz kristali arasındaki uzaklık cinsinden ifade edilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Mikroprob cihazındaki X-ışını spektrometresinin şematik görünüşü

L : Numune ile analiz kristali arasındaki uzaklık (mm),

R : Analiz kristali ve detektörün ISCI ve ICDI uzaklıkları eşit olacak şekilde hareket ettikleri çemberin (Rowland çemberi) yarıçapı (240 mm),
olmak üzere Bragg kırınım koşulu,

$$L = R \sin \theta$$

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

$$L / n\lambda = R \sin \theta / 2d \sin \theta$$

$$n\lambda = 2d / R \cdot L$$

şeklini alır.

Burada L deteksiyon pozisyonu olarak adlandırılır. Görüldüğü üzere belirlenecek dalga boyu, kristalin "d" mesafesine ve deteksiyon pozisyonuna bağlı olarak sınırlanmaktadır. Bu amaçla, düzlem mesafeleri farklı dört kristal kullanılarak, bu sınırlama aşılmaktadır. Hangi elementin hangi kristaller ile analiz edilebileceği tablolar halinde verilmektedir.

Bu çalışmada, kullanılan malzemelerin alaşımları dikkate alınarak Cr, Mn, Ni, Si ve C elementleri analiz edilmiştir. Çizelge 3.16'da, adı geçen elementlerin hangi kristaller ile analiz edildiği, bu kristallerin 2d mesafeleri ve detekte edebildiği dalga boyu aralıkları verilmiştir.

Çizelge 3.16. Analiz edilen elementler ile kullanılan kristaller ve özellikleri

Analiz edilen elementler	C	Si	Cr,Mn,Ni
Analiz kristali	STE	TAP	LIF
Bragg kırınım indisleri	Film	(100)	(200)
2d (Å°)	100.4	25.757	4.0267

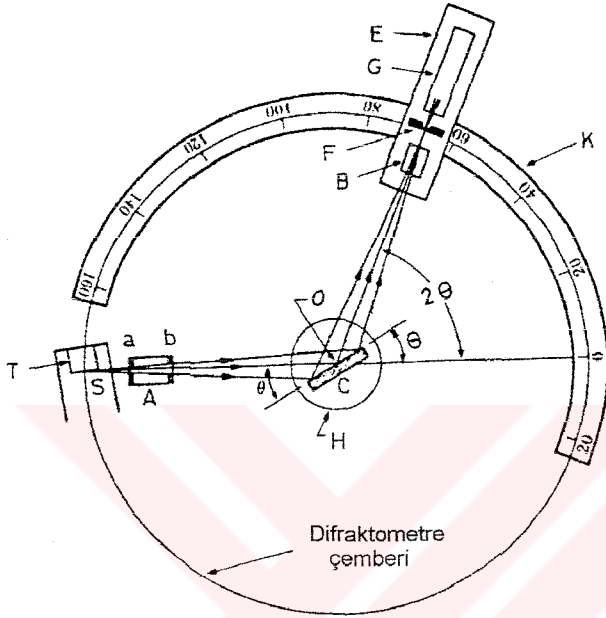
İncelenen numunede hangi elementler analiz edilecekse, o elementin analiz edilebildiği kristal uygun deteksiyon pozisyonuna ayarlanır ve ekranda görülen yüzey üzerinde o elementin dağılımı belirlenir. İstenirse o yüzeyin herhangi bir yatay çizgisi boyunca, elementin çizgisel değişimleri de belirlenebilir (JEOL JXA 733 Superprobe Instruction).

Adı geçen elementlerin analizi, hem ekranda görülen yüzey üzerinde yüzeysel olarak hem de belirlenen bir çizgi boyunca çizgisel olarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu analizler tamamen kalitatifdir. Ancak uygun standartlar kullanılarak flüoresans spektrometresinde olduğu gibi kantitatif analiz yapmak da mümkündür.

3.4.4. X Işını Difraksiyon İncelemesi

λ dalgaboyunda bilinen bir X ışını kullanarak, herhangi bir kristalin "d" mesafesini belirleme işlemine difraksiyon, bu işi yapan cihaza da difraktometre denir. Şekil 3.7'de kullanılan difraksiyon cihazının şematik görünüşü verilmiştir.

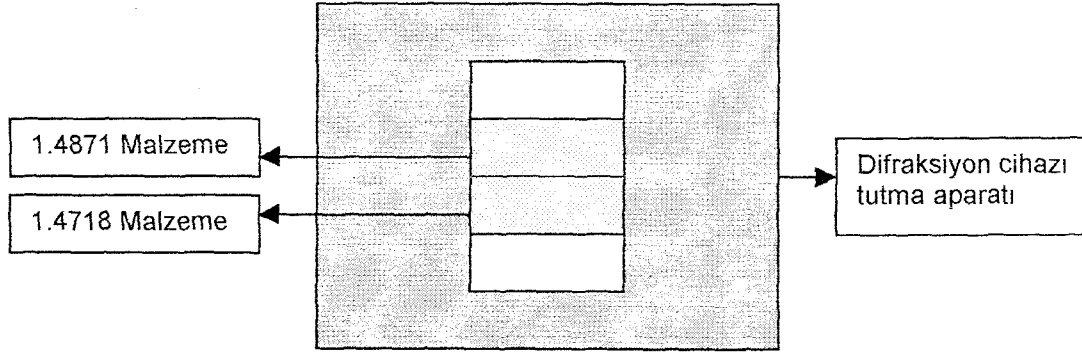


Şekil 3.7. Difraksiyon cihazının şematik görünüşü

Kristal yapısı belirlenecek numune, dalgaboyu bilinen bir X ışını demeti içerisinde yerleştirildiği zaman, X ışınlarının kristal tarafından difraksiyona uğratılabilmesi için, Bragg kırınım koşulunun sağlanması gerekmektedir. Bu koşulu gerçekleştirmek için ya λ 'yı yada θ 'yı değiştirmek gerekmektedir. λ 'nın yada θ 'nın değiştirilmesine göre, üç değişik difraksiyon metodu olmakla birlikte, bu çalışmada kullanılan difraktometre cihazında, toz metodu uygulanmıştır. Yaygın olarak kullanılan toz metodunun özelliği, λ 'nın sabit θ 'nın ise değişken olmasıdır. (JEOL JSDX-100S Difraktometer Instruction)

X ışını difraksiyon incelemesi, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında, JEOL marka JSDX-100S difraktometre cihazında gerçekleştirildi.

Belirlenen parametre grubundaki numunenin, difraktometre cihazının tutucusuna yerleştirilebilmesi için, özel bir bağlama aparatı hazırlanarak numune difraksiyon incelemesine tabi tutuldu. Şekil 3.8'de, incelemeye tabi tutulan numunenin şematik görünüşü verilerek inceleme bölgeleri belirtilmiştir.



Şekil 3.8. Difraksiyon incelemesine tabi tutulan numunenin şematik görünüşü

Numunenin üç ayrı bölgesinde inceleme gerçekleştirildi. X ışını demeti ; ilk olarak tam kaynak bölgesinin üzerine, daha sonra 1.4871 malzemenin ITAB'ına, en son olarak da 1.4718 malzemenin ITAB'ına, düşürülerek üç ayrı grafik elde edildi. Elde edilen grafikteki piklerin hangi açılara karşılık geldiği belirlendi. Daha sonra, bu açılardan hangi "d" mesafelerine karşılık geldiği, kullanılan X ışını kaynağının tipine uygun bir katalog yardımıyla bulundu. Bulunan "d" mesafelerinin hangi element ya da elementlere ait olduğu, ASTM'nin (American Society for Testing and Materials) " Powder Diffraction " tabloları kullanılarak tespit edildi.

4 . DENEY SONUÇLARI

4 . 1 . Çekme Deneyi Sonuçları

Toplam 27 grupta incelenen kaynaklı numunelerden, her gruptan üçer adet olmak üzere toplam 81 adet numune çekme deneyine tabi tutuldu. Sürtünme basıncının 138 MPa olarak sabit tutularak diğer parametrelerin değiştirildiği numunelere A grubu, sürtünme basıncı 207 MPa olarak sabit tutulup diğer parametrelerin değiştirildiği numunelere B grubu ve yine sürtünme basıncının 276 MPa olarak sabitlenip diğer parametrelerin değiştirildiği numuneler de C grubu olarak ifade edilmiştir. Böylece 81 adet numune, 3 ana grupta çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Akma ve çekme gerilmesi değerleri ile % uzama miktarları, çekme cihazından elde edilen grafiklerden hesaplanmıştır. Akma ve çekme gerilmesi değerleri ile % uzama miktarları ve hangi numunenin nereden koptuğu, Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de gruplara göre ayrı ayrı verilmiştir.



Çizelge 4.1. A grubu numuneler çekme deneyi sonuçları

NUMUNE NO	Akma Gerilmesi σ_A (MPa)	Çekme Gerilmesi σ_C (MPa)	Uzama ε (%)	Kopma Bölgesi
ÇA1 (1)	890	1091	9.7	1.4871 Malzemedden
ÇA1 (2)	805	1076	10.3	1.4871 Malzemedden
ÇA1 (3)	810	1085	10.1	Kaynak Bölgesinden
ÇA2 (1)	816	1095	10.3	Kaynak Bölgesinden
ÇA2 (2)	770	1095	12.2	1.4871 Malzemedden
ÇA2 (3)	805	1090	11.5	Kaynak Bölgesinden
ÇA3 (1)	715	1010	10.1	Kaynak Bölgesinden
ÇA3 (2)	781	1076	14.2	Kaynak Bölgesinden
ÇA3 (3)	745	1045	13.5	Kaynak Bölgesinden
ÇA4 (1)	797	1068	14.4	1.4718 Malzemedden
ÇA4 (2)	755	935	9.2	Kaynak Bölgesinden
ÇA4 (3)	750	1015	12.5	Kaynak Bölgesinden
ÇA5 (1)	832	1092	11	Kaynak Bölgesinden
ÇA5 (2)	868	1114	11.2	1.4871 Malzemedden
ÇA5 (3)	825	1085	10.5	Kaynak Bölgesinden
ÇA6 (1)	874	1091	10.6	1.4871 Malzemedden
ÇA6 (2)	774	952	13.1	1.4718 Malzemedden
ÇA6 (3)	816	1015	11.5	Kaynak Bölgesinden
ÇA7 (1)	843	1084	10	Kaynak Bölgesinden
ÇA7 (2)	830	1114	11.5	1.4871 Malzemedden
ÇA7 (3)	845	1095	11.8	Kaynak Bölgesinden
ÇA8 (1)	760	1070	10.9	1.4871 Malzemedden
ÇA8 (2)	585	880	6.4	Kaynak Bölgesinden
ÇA8 (3)	715	985	9.8	Kaynak Bölgesinden
ÇA9 (1)	844	1045	8.8	Kaynak Bölgesinden
ÇA9 (2)	890	1130	10.9	1.4871 Malzemedden
ÇA9 (3)	865	1085	9.8	Kaynak Bölgesinden

Çizelge 4.2. B grubu numuneler çekme deneyi sonuçları

NUMUNE NO	Akma Gerilmesi σ_A (MPa)	Çekme Gerilmesi σ_C (MPa)	Uzama ε (%)	Kopma Bölgesi
ÇB1 (1)	816	1107	14	1.4871 Malzemedden
ÇB1 (2)	786	-	4.5	Kaynak Bölgesinden
ÇB1 (3)	795	1095	12.5	Kaynak Bölgesinden
ÇB2 (1)	743	1036	8.5	Kaynak Bölgesinden
ÇB2 (2)	760	1100	11.5	Kaynak Bölgesinden
ÇB2 (3)	775	1145	12	Kaynak Bölgesinden
ÇB3 (1)	833	1086	9.4	Kaynak Bölgesinden
ÇB3 (2)	873	1122	9.7	1.4871 Malzemedden
ÇB3 (3)	825	1065	8.9	Kaynak Bölgesinden
ÇB4 (1)	853	1084	12.9	1.4871 Malzemedden
ÇB4 (2)	748	995	8.3	1.4871 Malzemedden
ÇB4 (3)	865	1065	11.7	1.4871 Malzemedden
ÇB5 (1)	808	1070	10.9	1.4871 Malzemedden
ÇB5 (2)	860	1077	8.8	1.4871 Malzemedden
ÇB5 (3)	895	1095	9.8	1.4871 Malzemedden
ÇB6 (1)	795	1006	8.3	1.4871 Malzemedden
ÇB6 (2)	765	1000	10.8	1.4871 Malzemedden
ÇB6 (3)	748	985	8.9	1.4871 Malzemedden
ÇB7 (1)	813	1022	7.4	1.4871 Malzemedden
ÇB7 (2)	823	1062	14.9	1.4718 Malzemedden
ÇB7 (3)	805	1015	12.5	1.4871 Malzemedden
ÇB8 (1)	760	1020	10.9	Kaynak Bölgesinden
ÇB8 (2)	847	1114	13.8	1.4871 Malzemedden
ÇB8 (3)	795	1055	12.8	Kaynak Bölgesinden
ÇB9 (1)	874	1122	9.4	Kaynak Bölgesinden
ÇB9 (2)	844	1122	12.6	1.4718 Malzemedden
ÇB9 (3)	855	1145	13.8	1.4718 Malzemedden

Çizelge 4.3. C grubu numuneler çekme deneyi sonuçları

NUMUNE NO	Akma Gerilmesi σ_A (MPa)	Çekme Gerilmesi σ_C (MPa)	Uzama ϵ (%)	Kopma Bölgesi
ÇC1 (1)	844	1076	9.4	Kaynak Bölgesinden
ÇC1 (2)	874	1107	10.1	Kaynak Bölgesinden
ÇC1 (3)	855	1095	9.8	Kaynak Bölgesinden
ÇC2 (1)	790	1036	8.9	Kaynak Bölgesinden
ÇC2 (2)	785	1035	8.8	1.4871 Malzemedden
ÇC2 (3)	765	1023	8.3	Kaynak Bölgesinden
ÇC3 (1)	813	1060	7.1	Kaynak Bölgesinden
ÇC3 (2)	772	1063	10.1	Kaynak Bölgesinden
ÇC3 (3)	825	1075	10.5	Kaynak Bölgesinden
ÇC4 (1)	817	1005	7.5	1.4871 Malzemedden
ÇC4 (2)	868	1143	13.8	1.4871 Malzemedden
ÇC4 (3)	835	1095	9.8	Kaynak Bölgesinden
ÇC5 (1)	940	1215	14.7	Kaynak Bölgesinden
ÇC5 (2)	808	1041	10.2	1.4871 Malzemedden
ÇC5 (3)	855	1095	12.5	Kaynak Bölgesinden
ÇC6 (1)	795	1041	13.1	Kaynak Bölgesinden
ÇC6 (2)	815	1070	10.6	Kaynak Bölgesinden
ÇC6 (3)	880	1090	11.5	Kaynak Bölgesinden
ÇC7 (1)	823	1092	9.2	1.4871 Malzemedden
ÇC7 (2)	808	1084	8.1	1.4871 Malzemedden
ÇC7 (3)	835	1095	9.3	Kaynak Bölgesinden
ÇC8 (1)	850	1122	13.3	1.4871 Malzemedden
ÇC8 (2)	854	1156	14.2	Kaynak Bölgesinden
ÇC8 (3)	845	1130	12.5	Kaynak Bölgesinden
ÇC9 (1)	875	1152	16.2	1.4871 Malzemedden
ÇC9 (2)	845	1136	12.9	Kaynak Bölgesinden
ÇC9 (3)	860	1143	13.5	Kaynak Bölgesinden

Elde edilen çekme deneyleri sonuçları incelendiğinde ; B grubu parametrelerin A ve C grubu parametrelere göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. B grubunun belirleyici temel özelliği sürtünme basıncının (P_1) 207 MPa olmasıdır. B grubu sonuçları incelendiğinde ise, B4, B5, B6 grupları ile verilen numunelerde kaynak bölgesinden kopma olmadığı görülmektedir. Bu grupların ortak belirleyici özelliği de, sürtünme basıncı (P_1) ve dövme basıncı (P_2) değerlerinin sabit, sürtünme süresinin (t_1) değişken olmasıdır. Belirtilen bu üç grup arasındaki akma ve çekme gerilmesi değerleri incelendiğinde, her grubun akma ve çekme gerilmesi değerlerinin birbirine yakın olduğu, aynı zamanda 1.4871 malzemenin kabul edilebilir çekme gerilmesi değeri sınırları içerisinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak sürtünme süresinin bu üç parametre grubu içerisinde belirleyici parametre olduğu söylenebilir. Optimum kaynak parametrelerin belirlenmesinde, çekme sonrasında çekme çubuğunun kopma yeri, akma ve çekme mukavemeti değerlerinin malzemelerin kabul edilebilir değerlerine uygunluğu, % uzama miktarı kriterleri belirleyici olmaktadır. Bu kriterlerin ışığında B5 grubu diğer gruplara göre farklılık arz etmektedir. B5 parametre grubuna ait üç numuneye yapılan deneyler sonucunda, bütün numunelerin kaynak bölgesinin uzağından, 1.4871 malzemenin koptuğu görülmüştür. Üç numunenin ortalama akma gerilmesi değeri 854 MPa, ortalama çekme gerilmesi değeri de 1081 MPa olarak bulunmuştur.

4.2. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Her parametre grubundan üçer adet numune Bölüm 3.3.2'de belirtilen ölçülerde hazırlanarak, gruplar halinde Izod çentik darbe deneyine tabi tutulmuşlardır. Her bir numuneyi kırmak için harcanan enerji miktarı, optimum kaynak parametrelerini belirlemekte kriter olarak değerlendirilmiştir. Her bir grup için üçer adet numunenin ortalama değerleri alınmıştır. Çizelge 3.4'te, Izod deney numunelerini kırmak için harcanan enerji miktarları gruplar halinde belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Izod deney numunelerini kırmak için harcanan enerji miktarları

GRUP NO	KIRILMA ENERJİSİ (J)
A1	2.0
A2	3.9
A3	6.4
A4	2.4
A5	4.3
A6	7.1
A7	1.5
A8	3.5
A9	2.5
B1	6.9
B2	6.9
B3	10.8
B4	6.9
B5	14.1
B6	6.9
B7	6.5
B8	9.0
B9	6.8
C1	1.8
C2	4.9
C3	0.5
C4	5.9
C5	4.7
C6	6.4
C7	1.8
C8	1.1
C9	4.8

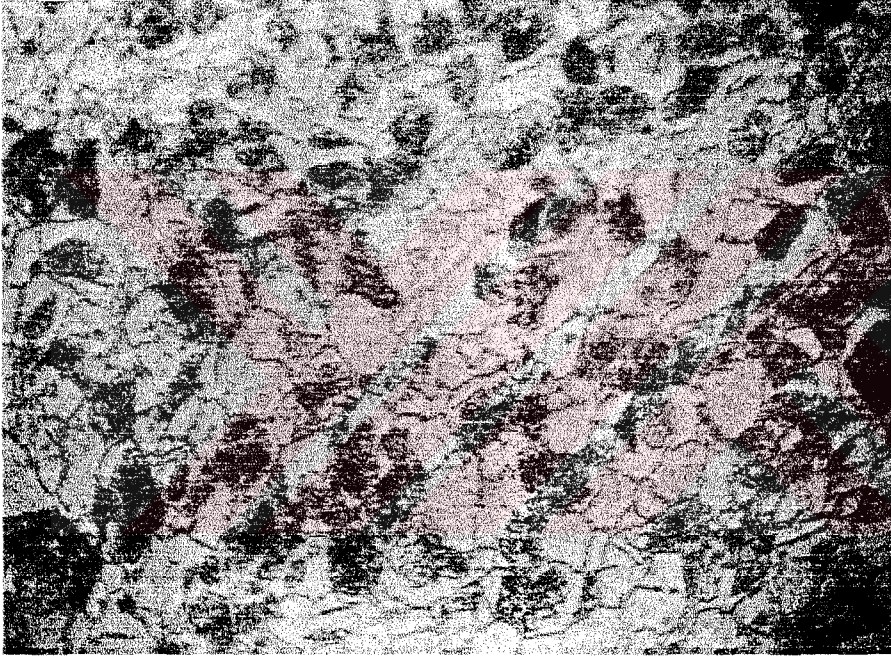
Izod darbe deneyi sonuçları incelendiğinde ; B grubu numuneleri kırmak için harcanan enerji miktarının diğer iki grup numuneyi kırmak için harcanan enerji miktarından daha fazla olduğu ve B grubu numuneler içinde de B5 grubu numunelerin en yüksek enerjiyi harcadıkları belirlenmiştir.

4.3. Işık Mikroskobu İncelemesi Sonuçları

Bölüm 3.4.1'de belirtilen ölçüler ve özelliklerde hazırlanan toplam 27 gruptaki, birer adet numune, Bölüm 3.4.1'de belirtildiği şekliyle parlatma ve dağlama işlemi uygulandıktan sonra, ışık mikroskobu incelemesine tabi tutulmuşlardır.

Her grup için yapılan metalografik incelemelerde :

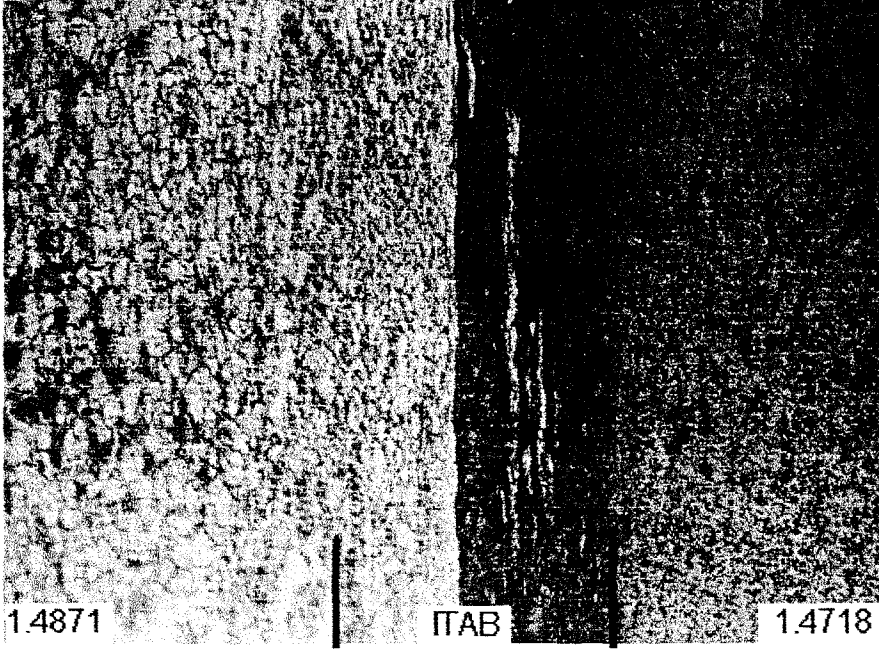
A grubu numunelerde, dövme basıncının artan değerlerindeki gruplarda, düşük dövme basıncı değerlerindeki numunelere göre, mekanik yönlenmenin daha belirgin olduğu ve bu yönlenme hatlarında Fe_2C karbürlerinin yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. A3 numunesinde 1.4871 malzemenin içyapısı (x450)

Bununla birlikte, genel olarak kaynak kalitesini önemli ölçüde belirleyen parametrelerden olan sürtünme süresinin, A grubu numunelerde sürtünme basıncının düşük olmasından dolayı, değişmesinin içyapıda kayda değer farklılıklar oluşturmadığı izlenmiştir.

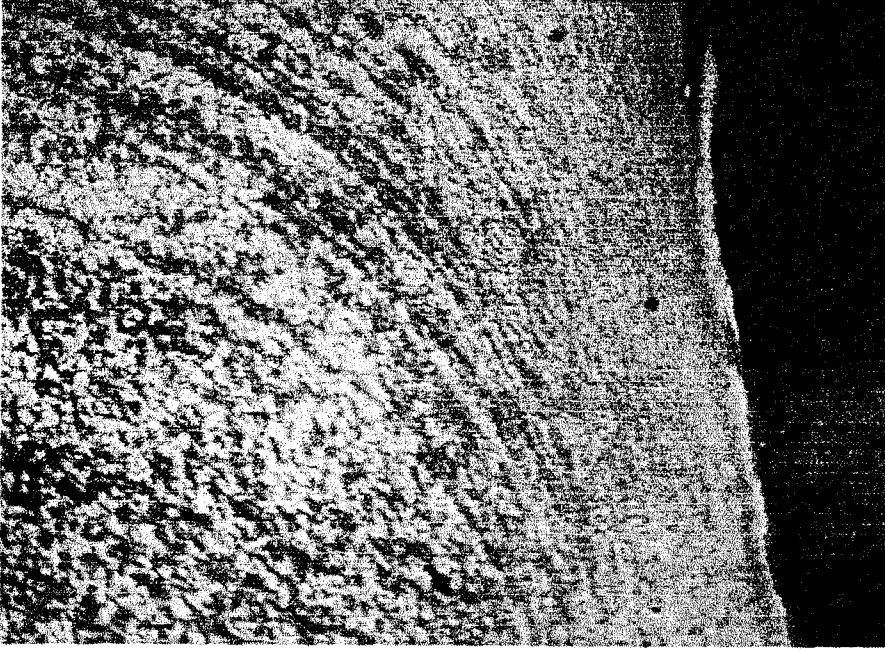
Şekil 4.2'de, A5 grubuna ait numunenin, her iki malzeme için ITAB görüntüsü verilmiştir. 1.4718 malzemedeki koyu bölge, daha küçük taneli martensitik yapının tane sınırlarındaki $(Cr, Fe)_7C_3$ karbürlerinin yoğunlaştığı ITAB bölgesidir.



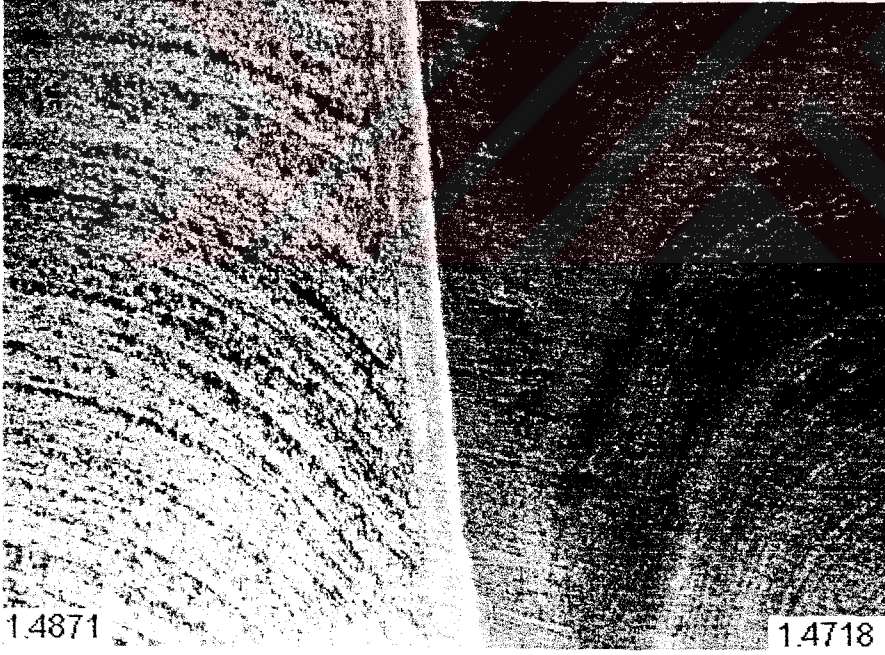
Şekil 4.2. A5 numunesinin merkezindeki ITAB görüntüsü (x180)

C grubu numunelerde ; ITAB'ın kalın olduğu izlenmektedir. Bilhassa artan dövme basıncı ve sürtünme süresi değerlerine ait gruplarda, bu bölgelerin daha geniş olduğu görülmektedir. Şekil 4.3'de, C5 grubuna ait numunede, 1.4871 malzemedeki mekanik yönlenme ve daha geniş ITAB bölgesi görülmektedir.

Dövme basıncı açısından her üç grup incelendiğinde; yüksek dövme basıncı değerlerine ait grupların iç yapılarında, merkezden dışarıya doğru, kaynak esnasında deformasyon sonucu oluşan, tanelerdeki mekanik yönlenme belirgin bir şekilde izlenmektedir (Şekil 4.4). Bu yönlenme her iki malzeme için de söz konusudur.

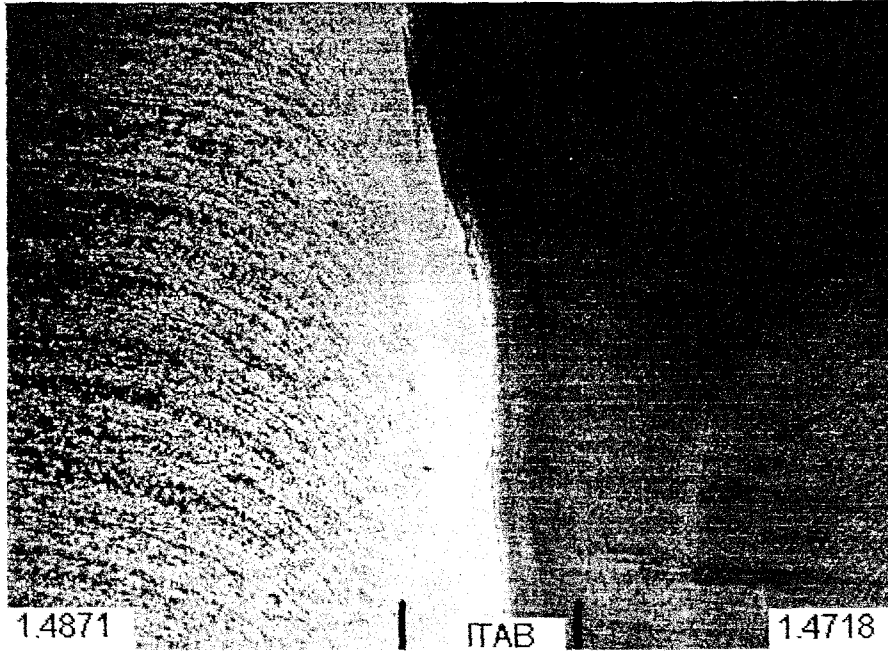


Şekil 4.3. C5 numunesine ait 1.4871 malzemede tanelerdeki mekanik yönlenme (x90)



Şekil 4.4. A8 numunesinde her iki malzemede içyapı ve tane yönlenmesi (x45)

B grubu numunelerde ; diğer iki gruba göre daha belirgin içyapı ve hemen hemen kendi içerisinde, standart kalınlıkta ITAB bölgesinin olduğu görülmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. B1 numunesi kaynak bölgesi ve ITAB bölgesi genel görünüşü (x45)

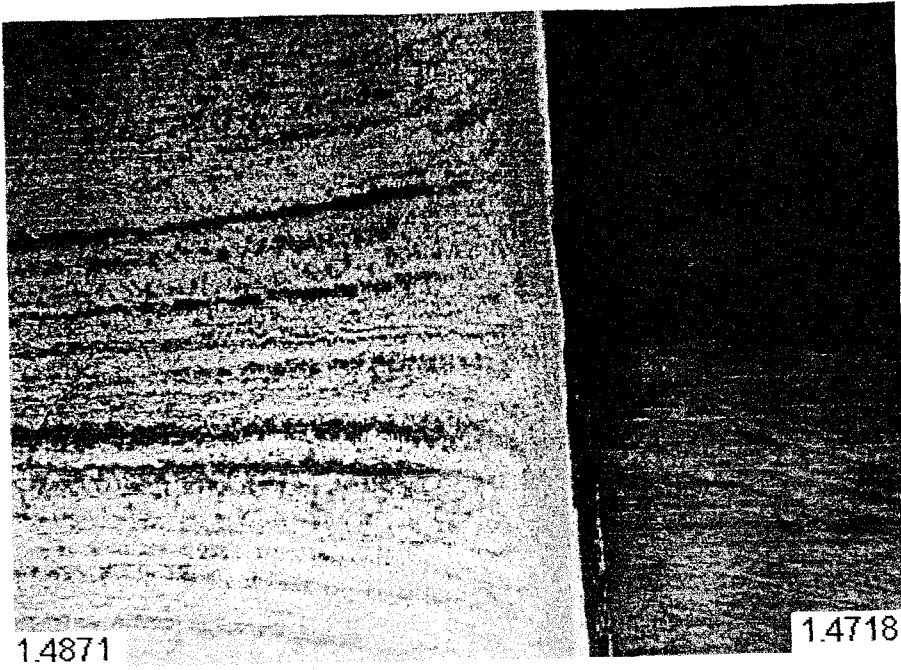
Daha önce yorumlanan çekme ve çentik darbe deneyleri sonuçlarından da görüleceği üzere, B5 grubu diğer gruplara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. B5 grubunun, ışık mikroskobu görüntüleri incelendiğinde; 1.4718 malzemenin martenzitik içyapısı kaynaktan uzak bölgede net olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6). Şekil 4.7'de ise, yine kaynaktan uzak bölgede 1.4871 malzemenin ostenitik içyapısı açık şekilde görülmektedir. İçyapıdaki siyah bölgeler ostenit taneleri sınırlarında ve bazı ostenit taneleri içerisinde teşekkül etmiş Fe_2C karbürleridir. Bölüm 4.7'de görüldüğü üzere, bu karbürler X ışını difraksiyonu ile belirlenmiştir ve Şekil 4.56'da 1000 büyütme oranı ile, Şekil 4.57'de ise 4000 büyütme oranı ile SEM görüntüleri verilmiştir. Yine B5 numunesinin, merkezindeki ITAB ve mekanik yönlenme ile bu yönlenme hatları boyunca yoğunlaşan 1.4871 malzemedeki Fe_2C karbürleri, Şekil 4.8'de görülmektedir. B5 numunesinin merkezden uzak, dışa yakın bölgedeki ITAB görüntüsü Şekil 4.9'da verilmiştir. Bununla birlikte, Şekil 4.9'da B5 numunesinin ITAB'ındaki içyapıda, kaynak çizgisine doğru belirginleşen tane yassılaşması ve tane ufalması izlenmektedir. Bu tane yassılaşması daha büyük bir büyütme ile Şekil 4.10'da verilmiştir. Tane yassılaşması, kaynak esnasında oluşan deformasyona dik istikamette tanelerin yönlenmesi şeklinde gelişmiştir.



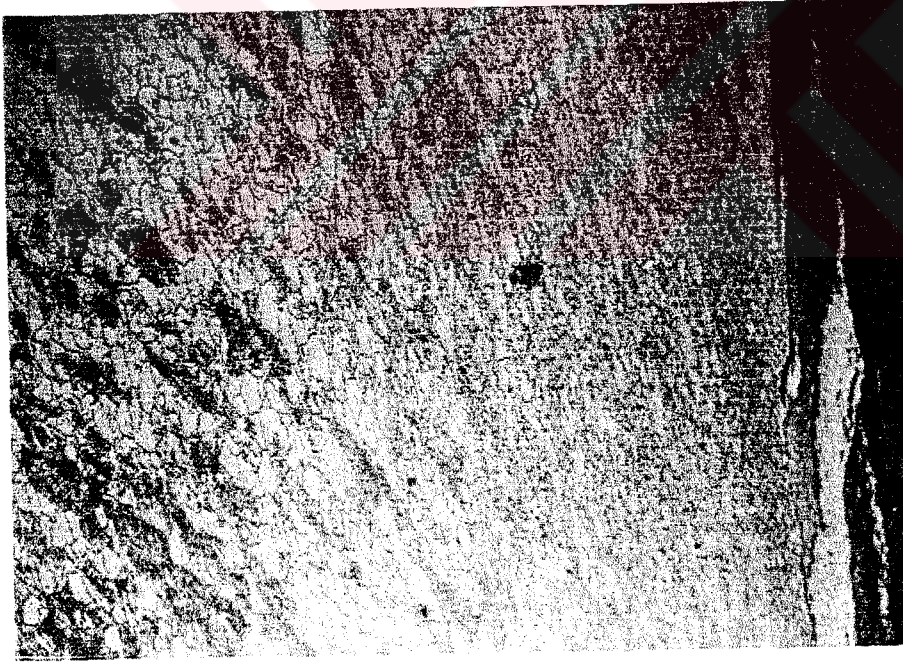
Şekil 4.6. B5 numunesinde 1.4718 malzemenin kaynaktan uzak bölgedeki içyapısı (x450)



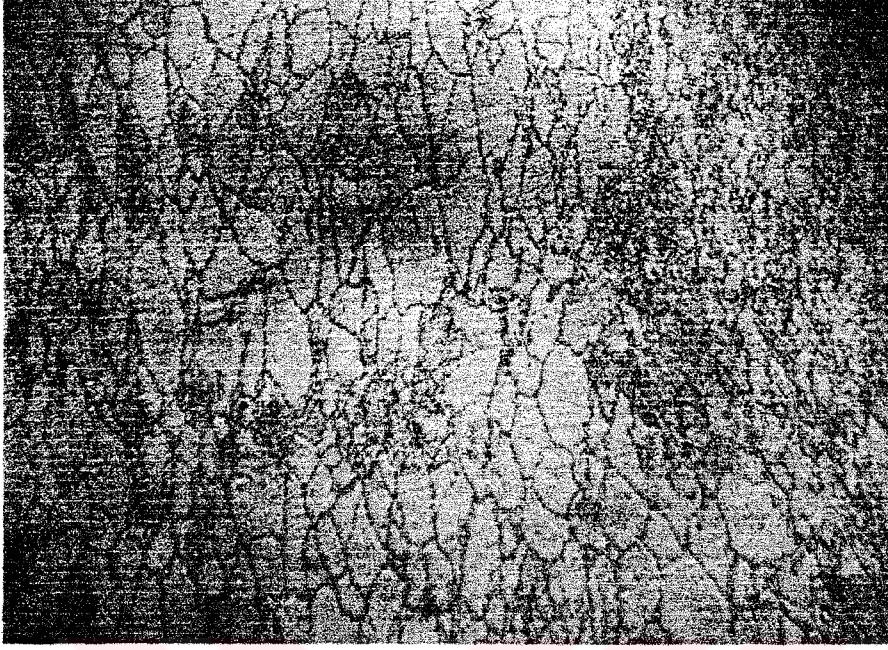
Şekil 4.7. B5 numunesinde 1.4871 malzemenin kaynaktan uzak bölgedeki içyapısı (x180),



Şekil 4.8. B5 numunesinin merkezinde mekanik yönlenme ve Fe_2C karbürleri (x45)



Şekil 4.9. B5 numunesinin dış tarafından 1.4871 malzemenin ITAB'ında tane yassılaştırması ve tane küçülmesi (x180)



şekil 4.10. B5 numunesinde 1.4871 malzemenin ITAB'ındaki tane yassılaşması (x450)

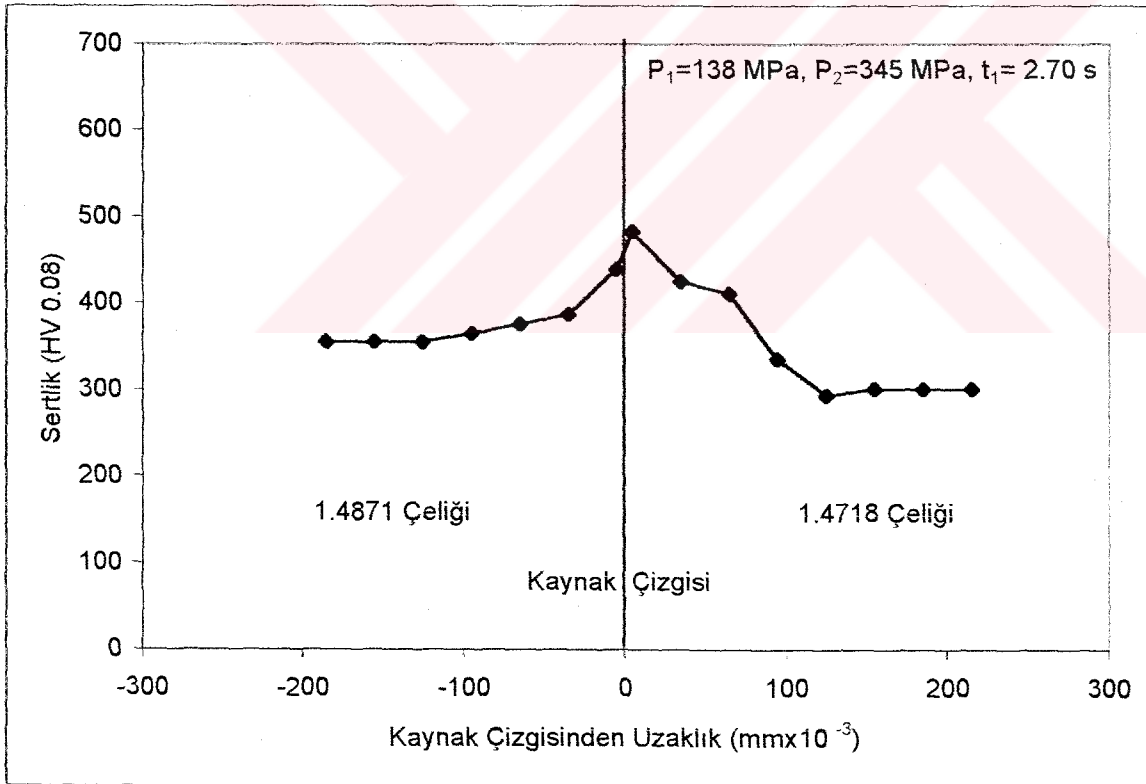
4 . 4 . Mikrosertlik İncelemesi Sonuçları

Mikrosertlik ölçümleri, numunelerin orta eksenlerinden ve kaynak dikişine dik kesitlerinden otuzar mikron aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Mesafenin artması ile birlikte, sertlik değerlerinin düşme eğilimini kaybettiği noktadan sonra, ölçümlere sabit üç değer bulununcaya kadar devam edilmiştir. Her parametre grubuna ait mesafeye bağlı mikrosertlik değerleri, Çizelge 4.5 ila Çizelge 4.31'de ayrı ayrı tablolar halinde verilmiştir. Bu değerlerin mesafeye bağlı grafiksel değişimleri de Şekil 4.11 ila Şekil 4.37'de gösterilmiştir.

Bu parametre grupları içerisinde, önceki deneylerde farklılık gösteren B5 grubuna ait numunede, diğer gruplar için gerçekleştirilen sertlik ölçümlerine ilaveten, kaynak dikişine on mikron uzaklıkta kaynak dikişine paralel olarak kesit boyunca mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir malzemede ayrı ayrı 14'er adet 900 mikron aralıklar ile kesit boyunca yapılan ölçümler sonucunda; kesitin dışından içeriye doğru, her iki taraftan dörder milimetre olmak üzere mikrosertlik değerlerinde artma olmadığı, merkezde kalan dört milimetre mesafede ise mikrosertlik değerlerinin arttığı belirlenmiştir. 1.4871 malzeme için, kesitin dışındaki mikrosertlik değeri 400 HV, merkezindeki ise 439 HV olarak bulunmuştur. 1.4718 malzeme için ise bu değerler dışında 439 HV, merkezde ise 483 HV' dir. En geç soğuma malzemenin merkezinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla malzemenin merkezinde element difüzyonu, daha uzun sürede oluşmaktadır. Ayrıca, deformasyon sonucu malzeme hareketinin ve mekanik yönelmenin en az görüldüğü yer de malzemenin merkezidir. Bu sebeplerden dolayı en yüksek mikrosertlik değerini malzemenin merkezinde belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. A1 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

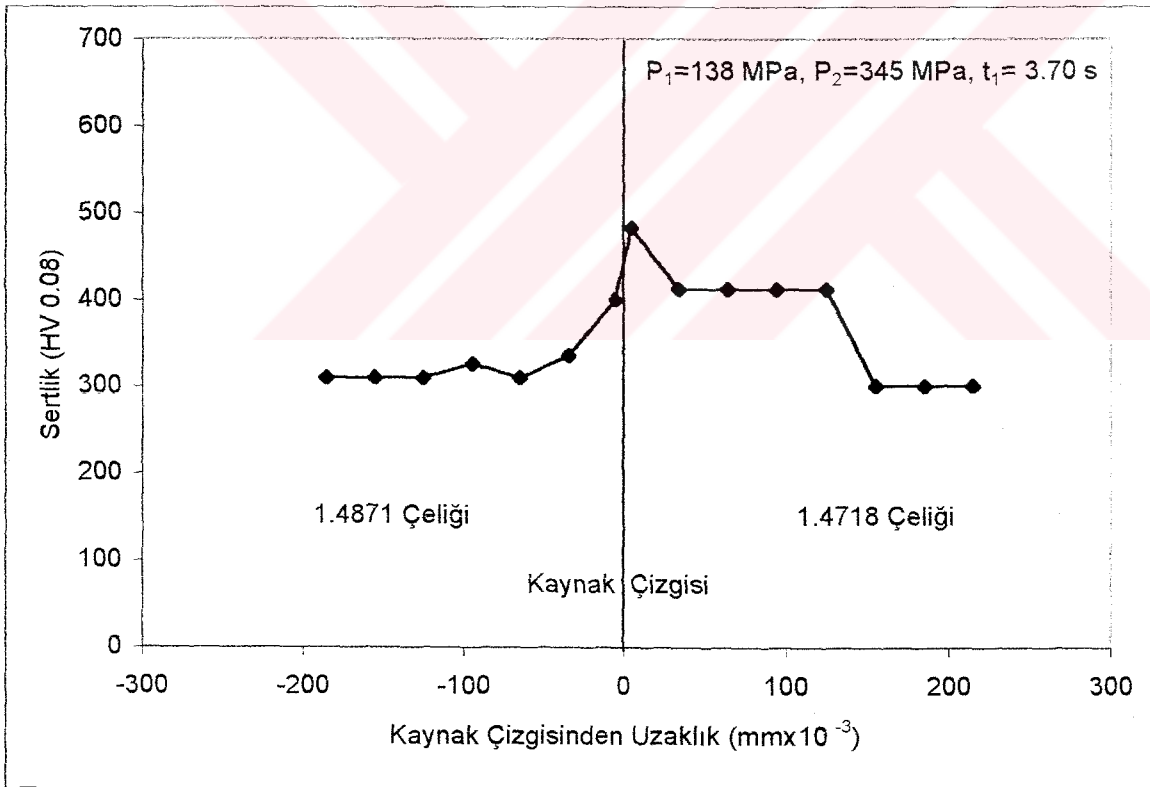
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	439	5	483
2	35	387	35	425
3	65	376	65	411
4	95	365	95	336
5	125	355	125	294
6	155	355	155	301
7	185	355	185	301
8	215	-	215	301
9	245	-	245	-
10	275	-	275	-



Şekil 4.11. A1 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.6. A2 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

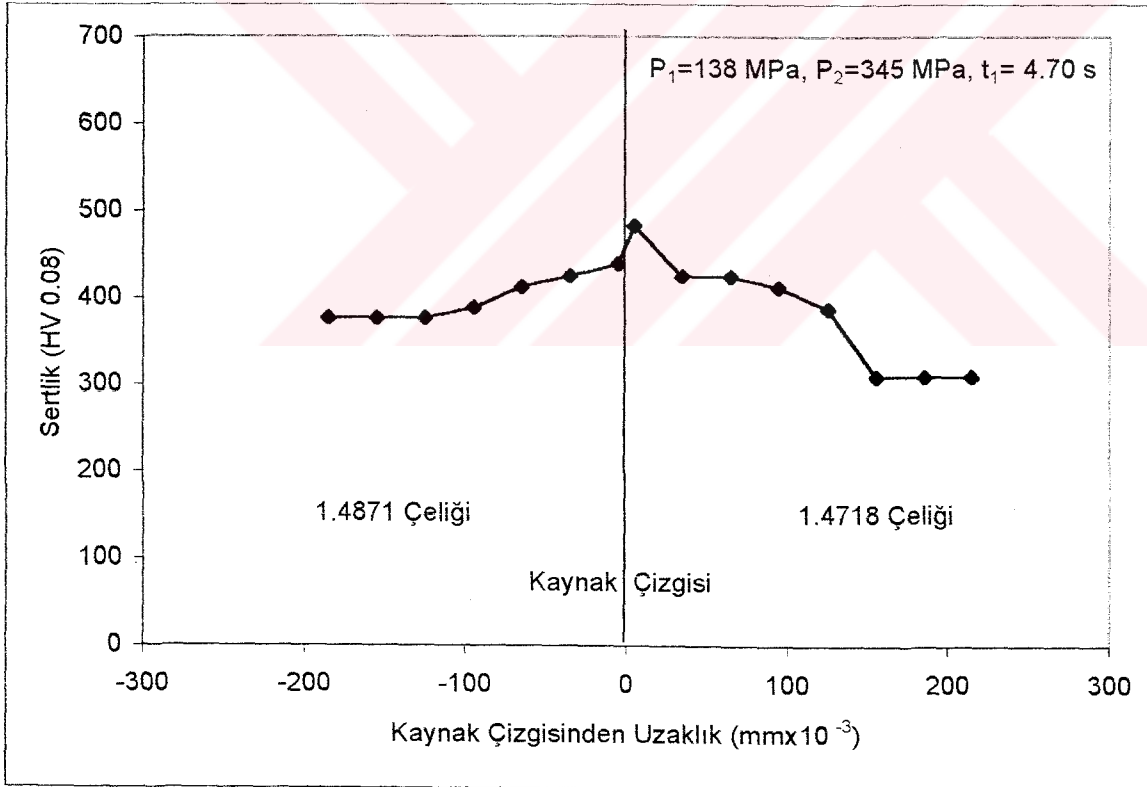
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	400	5	483
2	35	336	35	412
3	65	310	65	412
4	95	326	95	412
5	125	310	125	412
6	155	310	155	301
7	185	310	185	301
8	215	-	215	301
9	245	-	245	-
10	275	-	275	-



Şekil 4.12. A2 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.7. A3 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

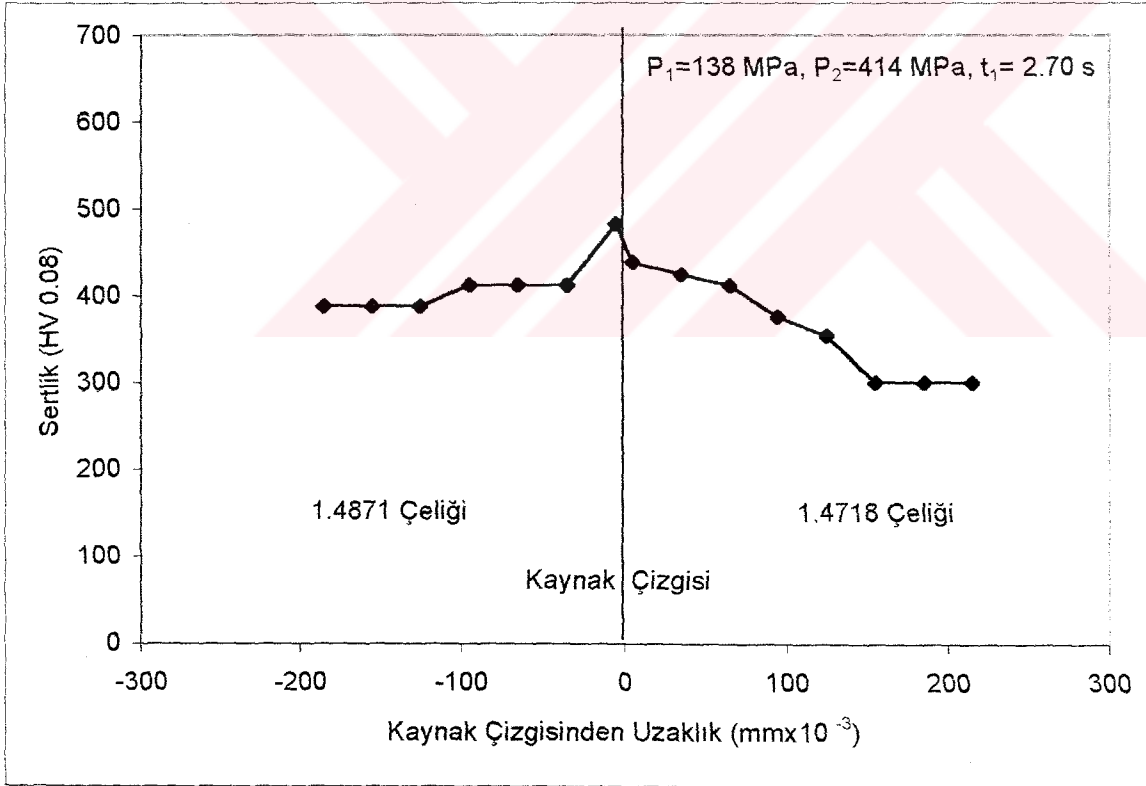
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (µm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (µm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	439	5	483
2	35	425	35	425
3	65	412	65	425
4	95	388	95	412
5	125	376	125	387
6	155	376	155	310
7	185	376	185	310
8	215	-	215	310
9	245	-	245	-
10	275	-	275	-



Şekil 4.13. A3 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.8. A4 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

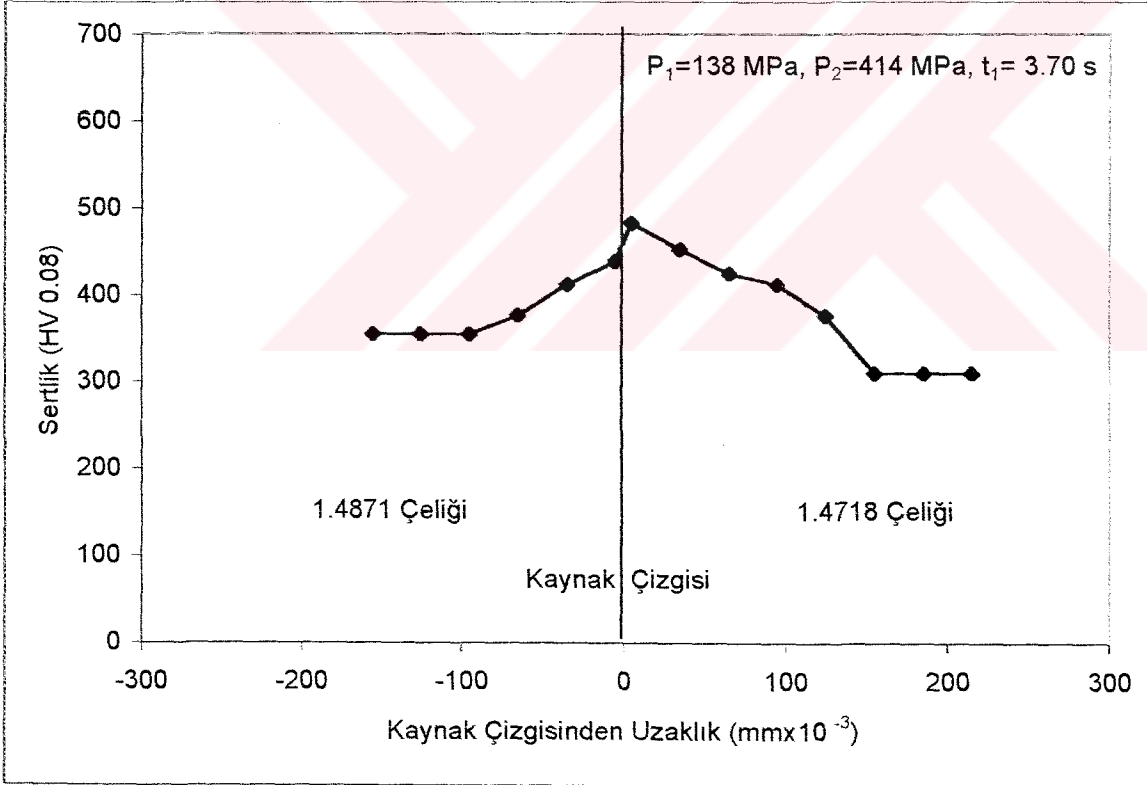
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	483	5	439
2	35	412	35	425
3	65	412	65	412
4	95	412	95	376
5	125	388	125	355
6	155	388	155	301
7	185	388	185	301
8	215	-	215	301
9	245	-	245	-
10	275	-	275	-



Şekil 4.14. A4 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.9. A5 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

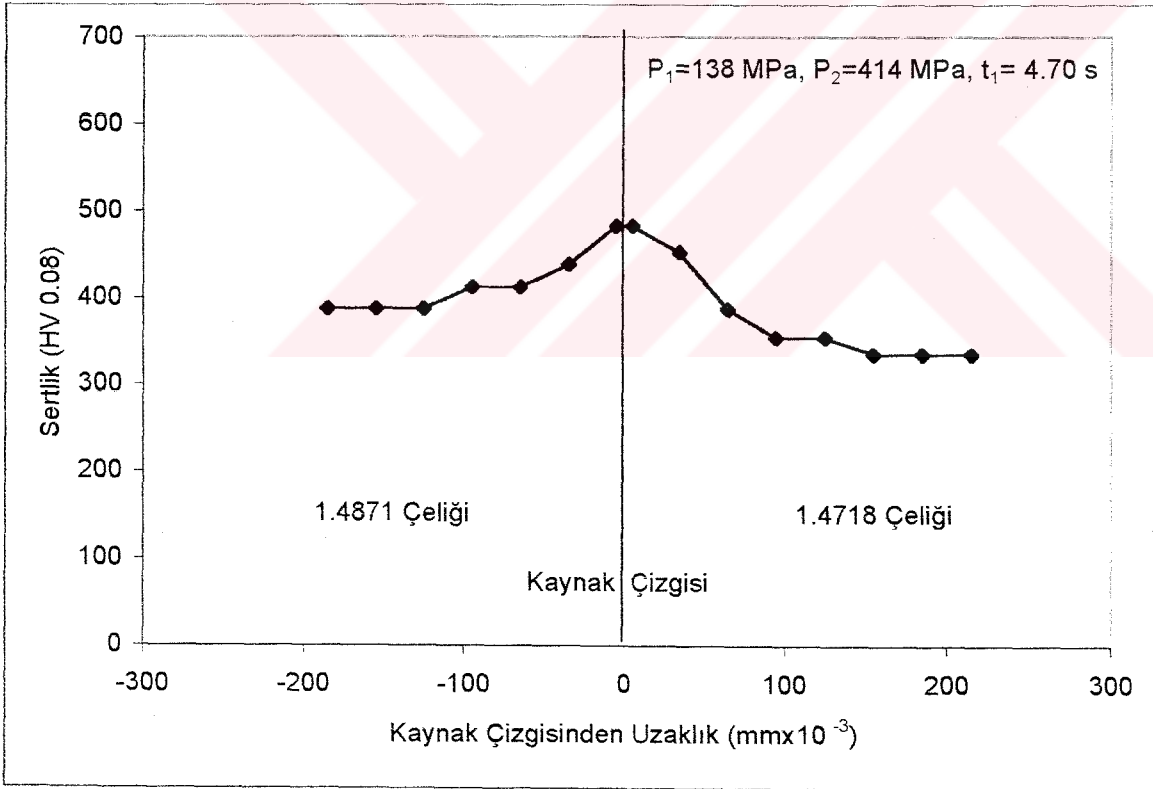
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	439	5	483
2	35	412	35	453
3	65	376	65	425
4	95	355	95	412
5	125	355	125	376
6	155	355	155	310
7	185	-	185	310
8	215	-	215	310
9	245	-	245	-
10	275	-	275	-



Şekil 4.15. A5 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.10. A6 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

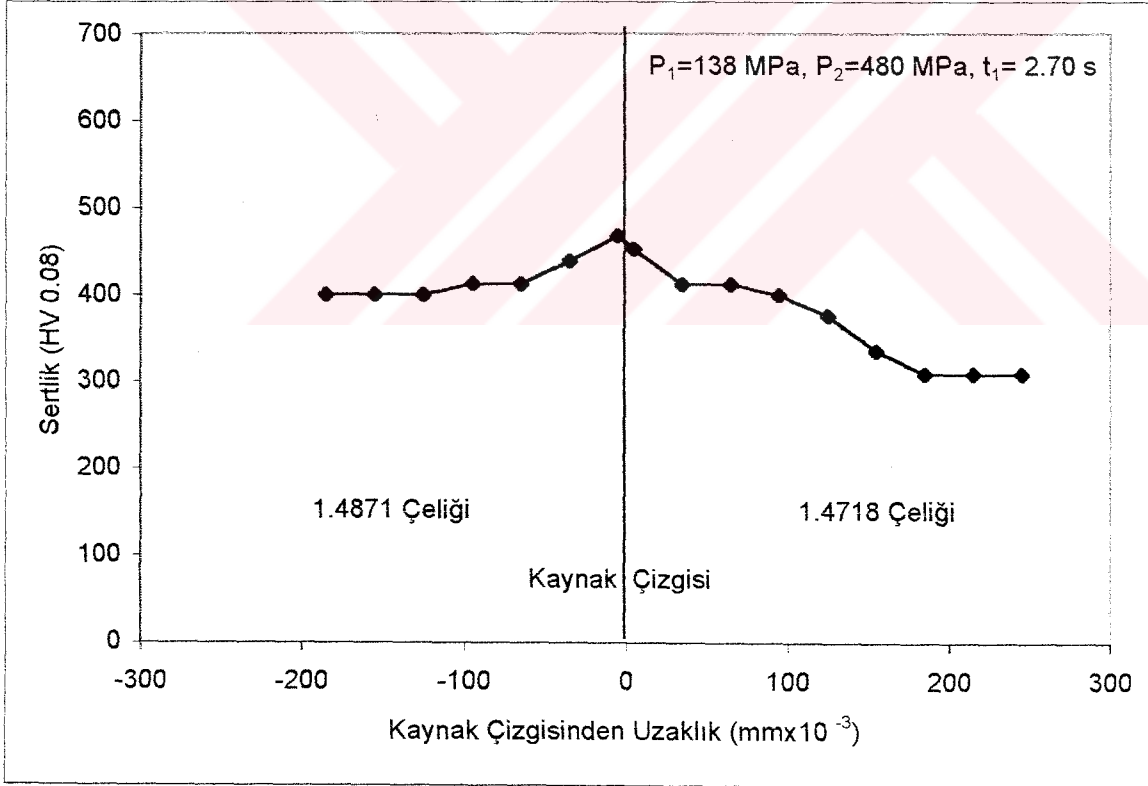
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	483	5	483
2	35	439	35	453
3	65	412	65	387
4	95	412	95	355
5	125	387	125	355
6	155	387	155	336
7	185	387	185	336
8	215	-	215	336
9	245	-	245	-
10	275	-	275	-



Şekil 4.16. A6 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.11. A7 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

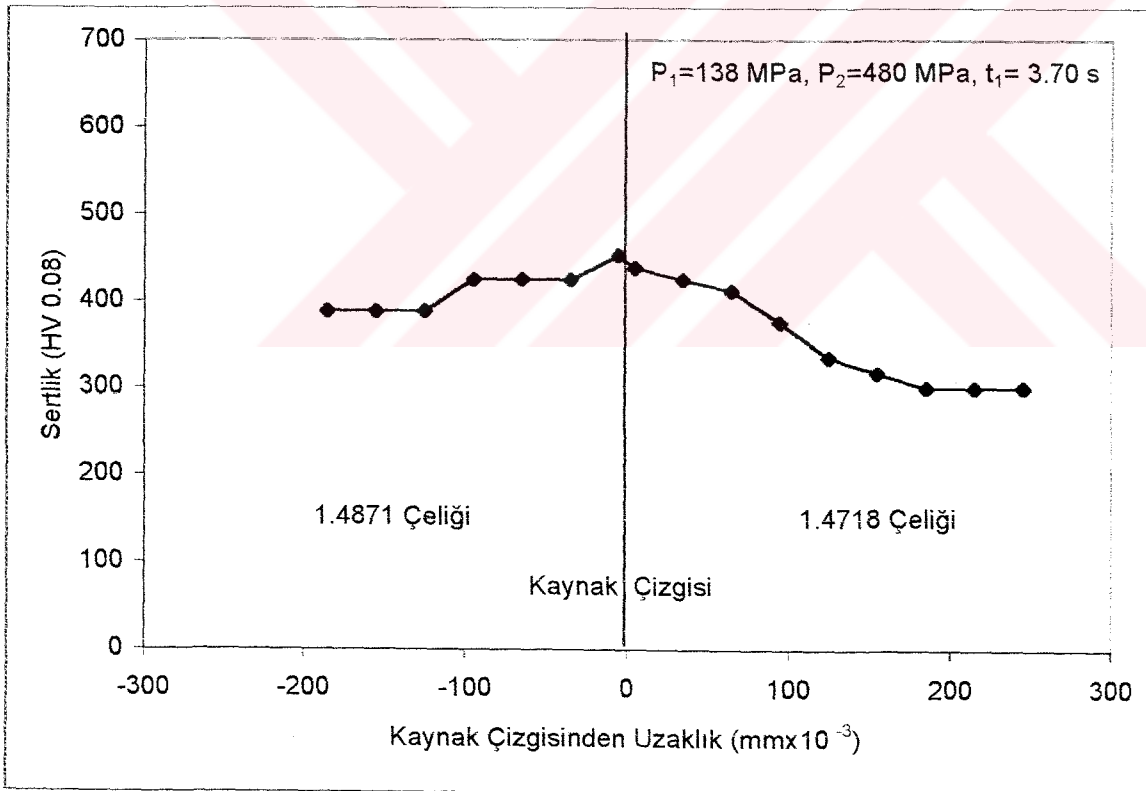
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	468	5	453
2	35	439	35	412
3	65	412	65	412
4	95	412	95	400
5	125	400	125	376
6	155	400	155	336
7	185	400	185	309
8	215	-	215	309
9	245	-	245	309
10	275	-	275	-



Şekil 4.17. A7 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.12. A8 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

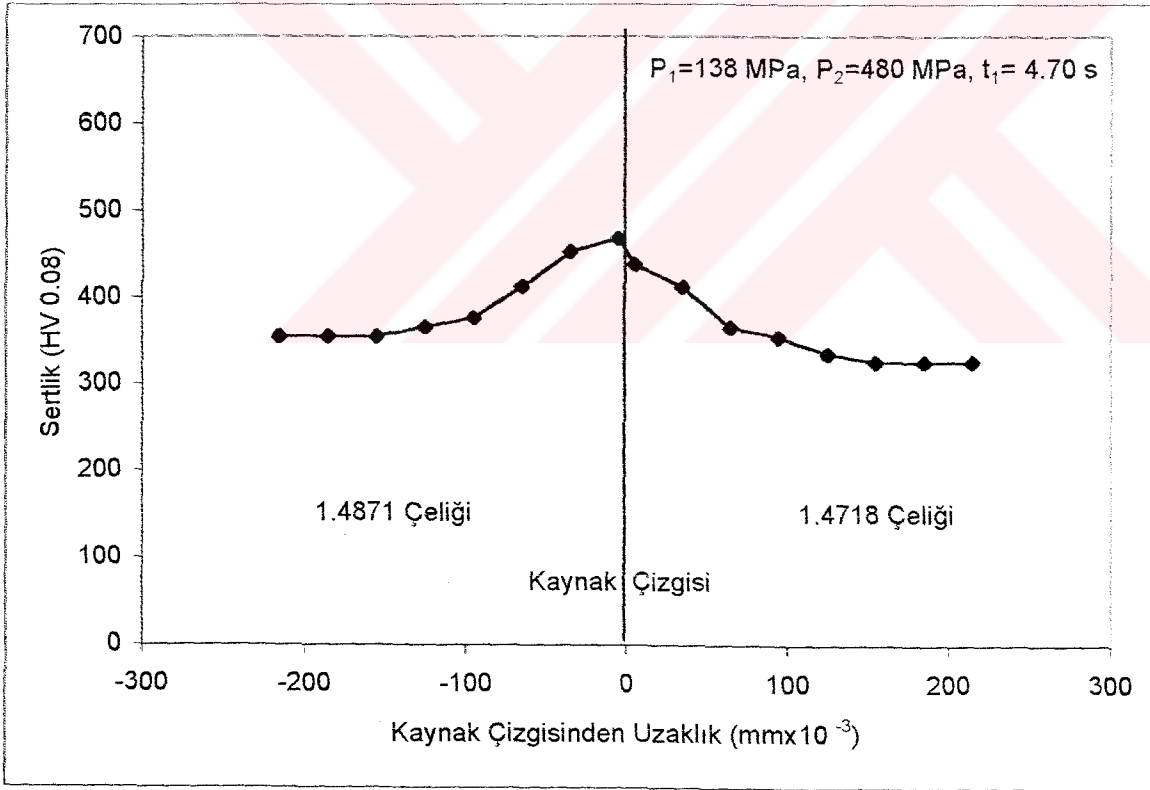
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	453	5	439
2	35	425	35	425
3	65	425	65	412
4	95	425	95	376
5	125	388	125	336
6	155	388	155	318
7	185	388	185	301
8	215	-	215	301
9	245	-	245	301
10	275	-	275	-



Şekil 4.18. A8 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.13. A9 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

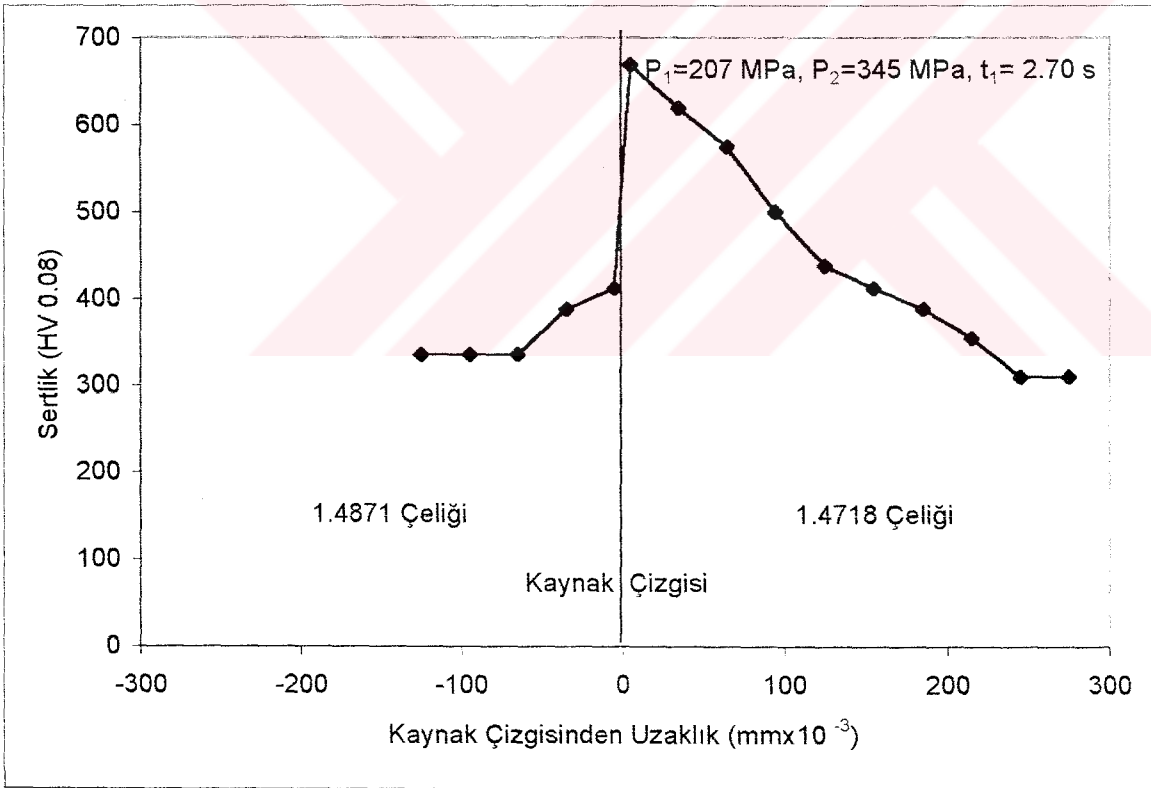
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	468	5	438
2	35	453	35	412
3	65	412	65	366
4	95	376	95	355
5	125	366	125	336
6	155	355	155	326
7	185	355	185	326
8	215	355	215	326
9	245	-	245	-
10	275	-	275	-



Şekil 4.19. A9 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.14. B1 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

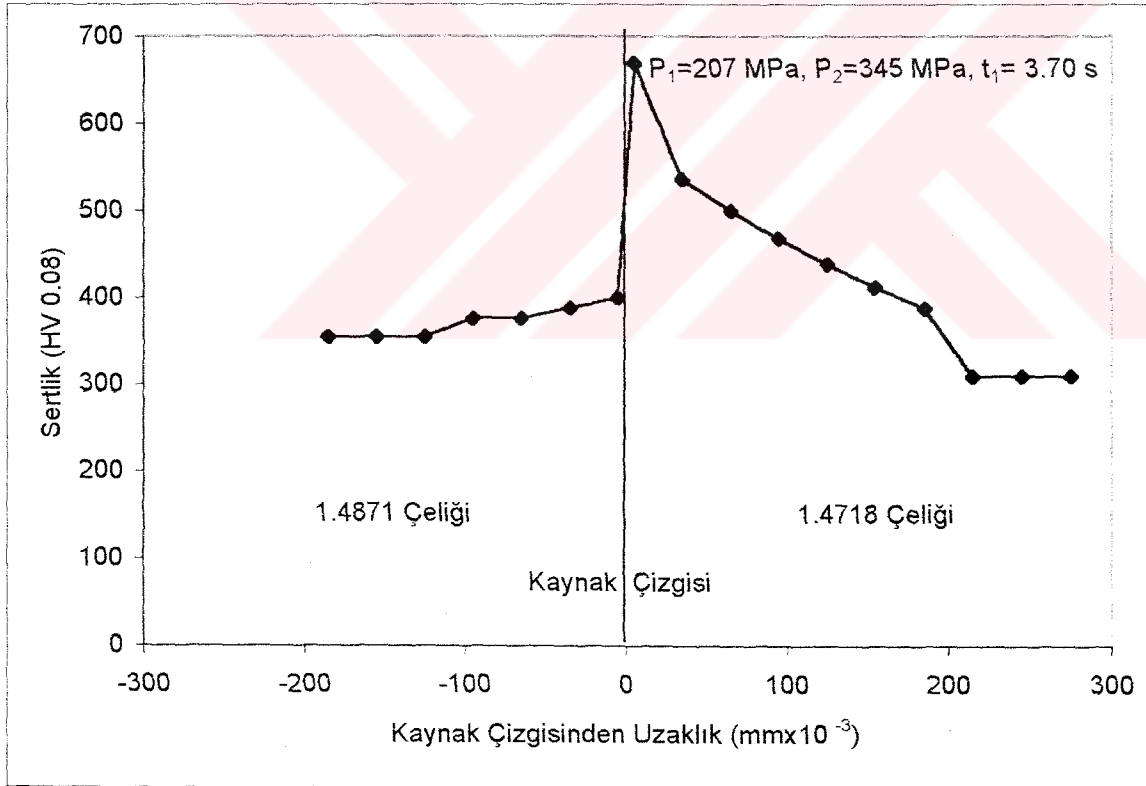
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	412	5	669
2	35	388	35	620
3	65	336	65	575
4	95	336	95	500
5	125	336	125	438
6	155	-	155	412
7	185	-	185	388
8	215	-	215	355
9	245	-	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.20. B1 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.15. B2 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

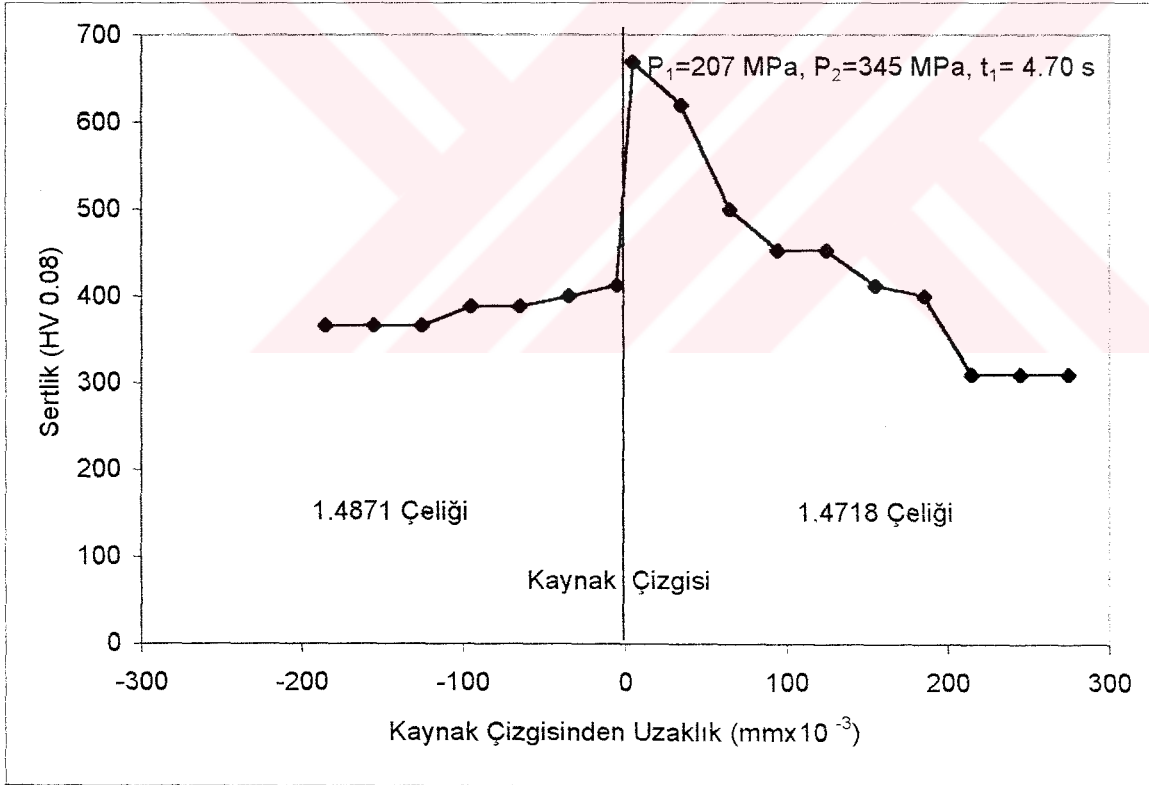
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	400	5	669
2	35	388	35	536
3	65	376	65	500
4	95	376	95	468
5	125	355	125	439
6	155	355	155	412
7	185	355	185	388
8	215	-	215	310
9	245	-	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.21. B2 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.16. B3 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

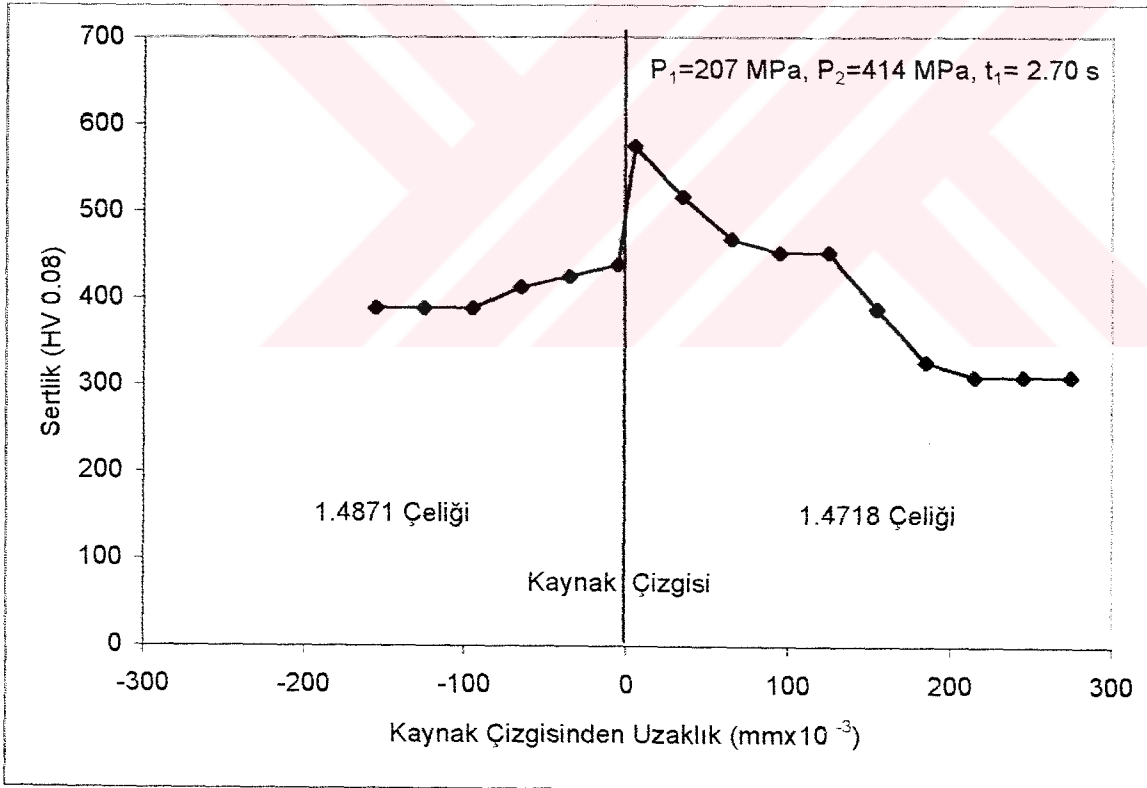
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	412	5	669
2	35	400	35	620
3	65	388	65	500
4	95	388	95	453
5	125	366	125	453
6	155	366	155	412
7	185	366	185	400
8	215	-	215	310
9	245	-	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.22. B3 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.17. B4 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

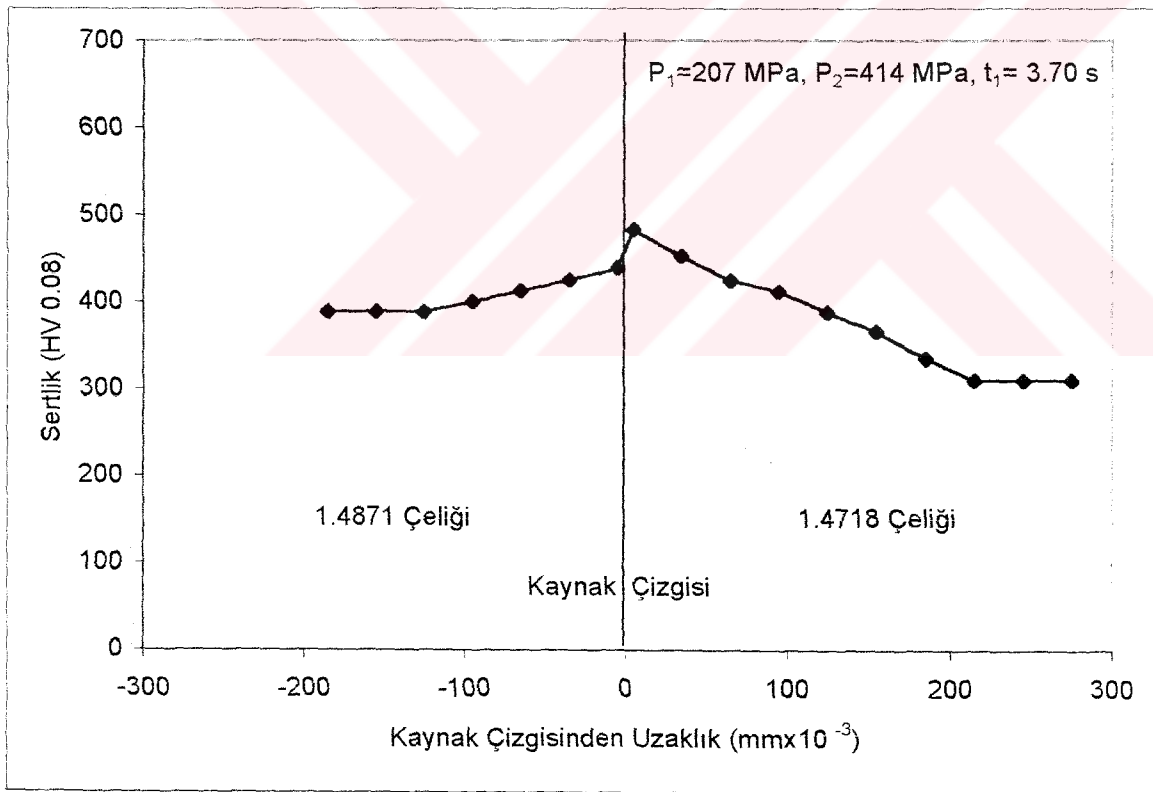
NO	1.4871 TARAFI		1.4718 TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	439	5	575
2	35	425	35	517
3	65	412	65	468
4	95	388	95	453
5	125	388	125	453
6	155	388	155	388
7	185	-	185	327
8	215	-	215	310
9	245	-	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.23. B4 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.18.B5 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

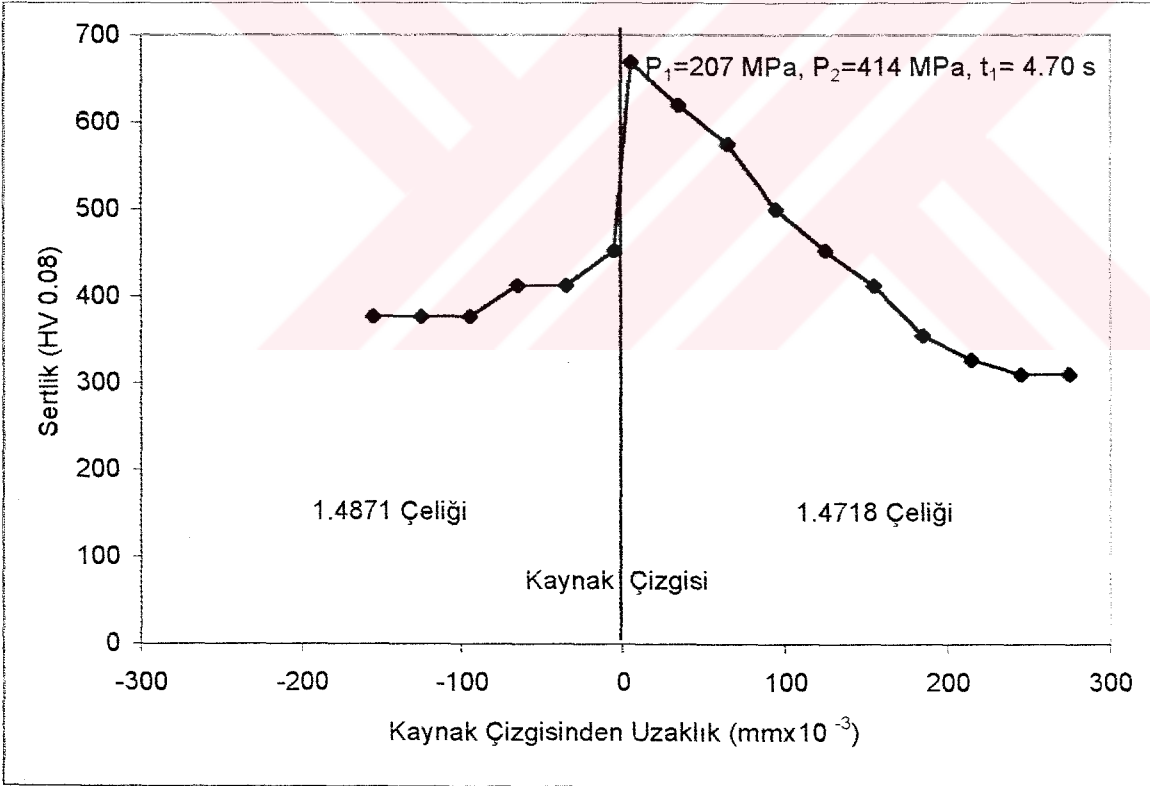
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	439	5	483
2	35	425	35	453
3	65	412	65	425
4	95	400	95	412
5	125	388	125	388
6	155	388	155	366
7	185	388	185	335
8	215	-	215	310
9	245	-	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.24. B5 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.19. B6 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

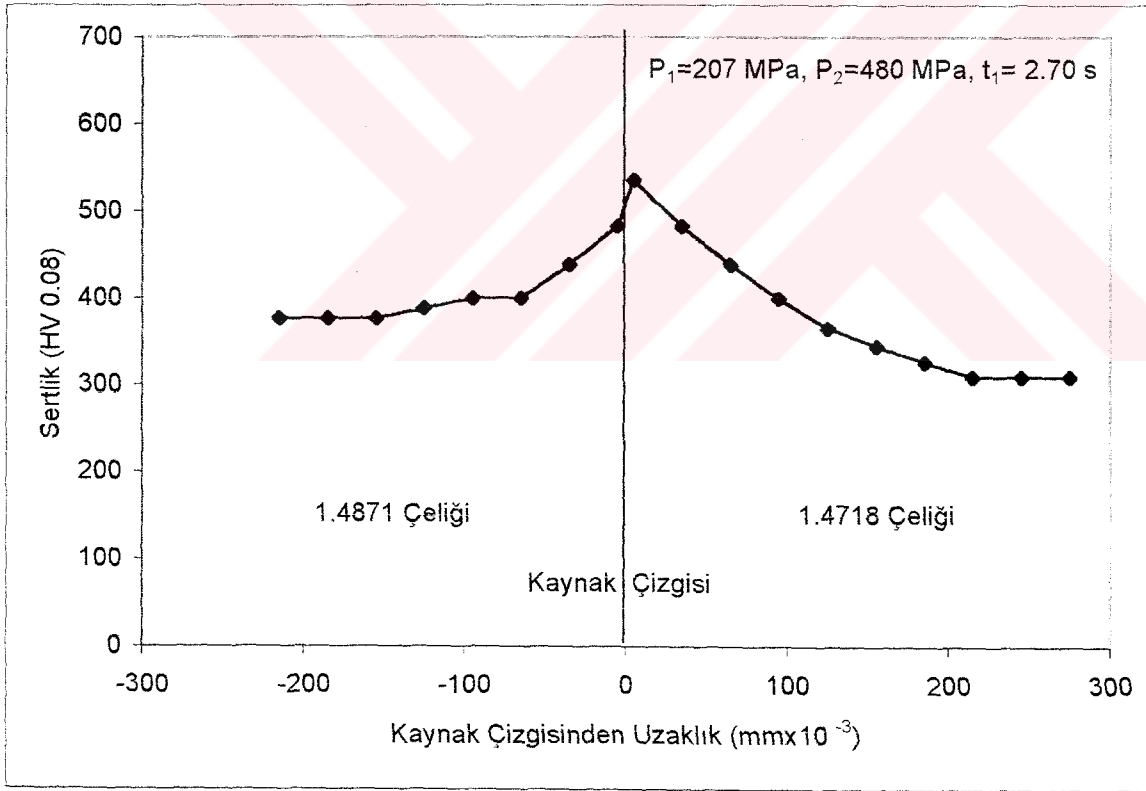
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	453	5	669
2	35	412	35	620
3	65	412	65	575
4	95	376	95	500
5	125	376	125	453
6	155	376	155	412
7	185	-	185	355
8	215	-	215	327
9	245	-	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.25. B6 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.20. B7 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

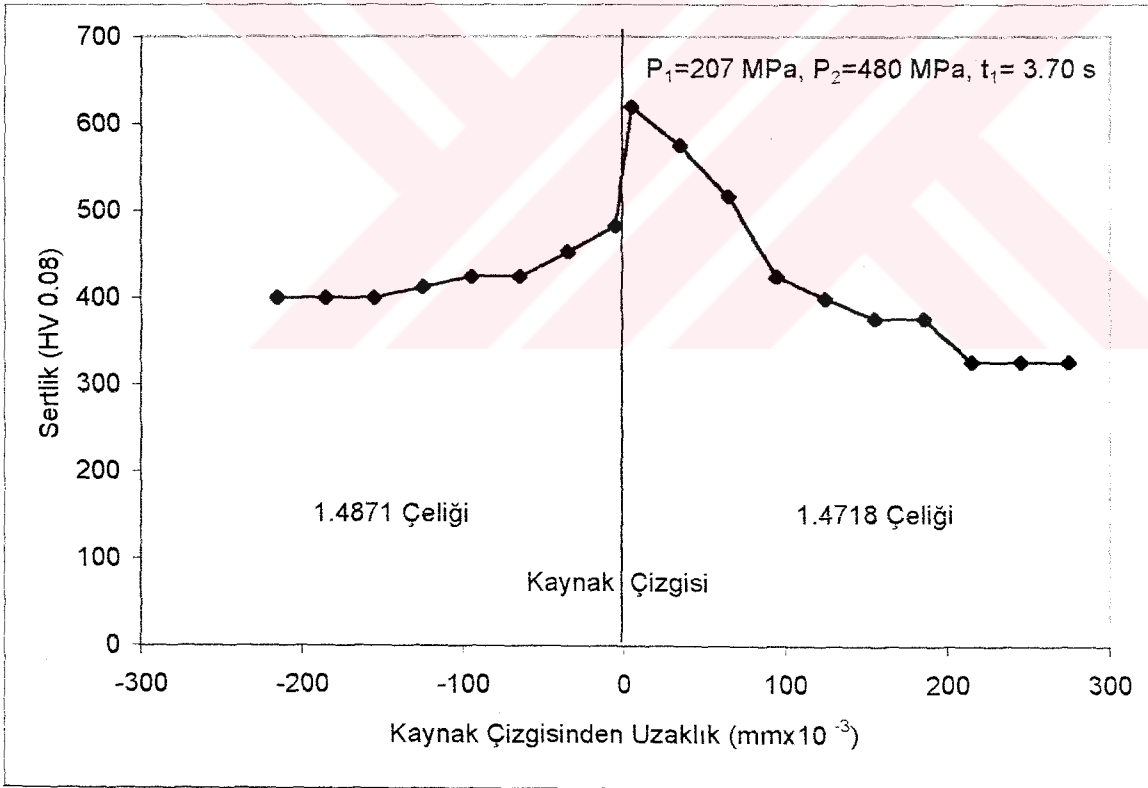
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	483	5	536
2	35	439	35	483
3	65	400	65	439
4	95	400	95	400
5	125	388	125	366
6	155	376	155	345
7	185	376	185	327
8	215	376	215	310
9	245	-	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.26. B7 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.21. B8 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

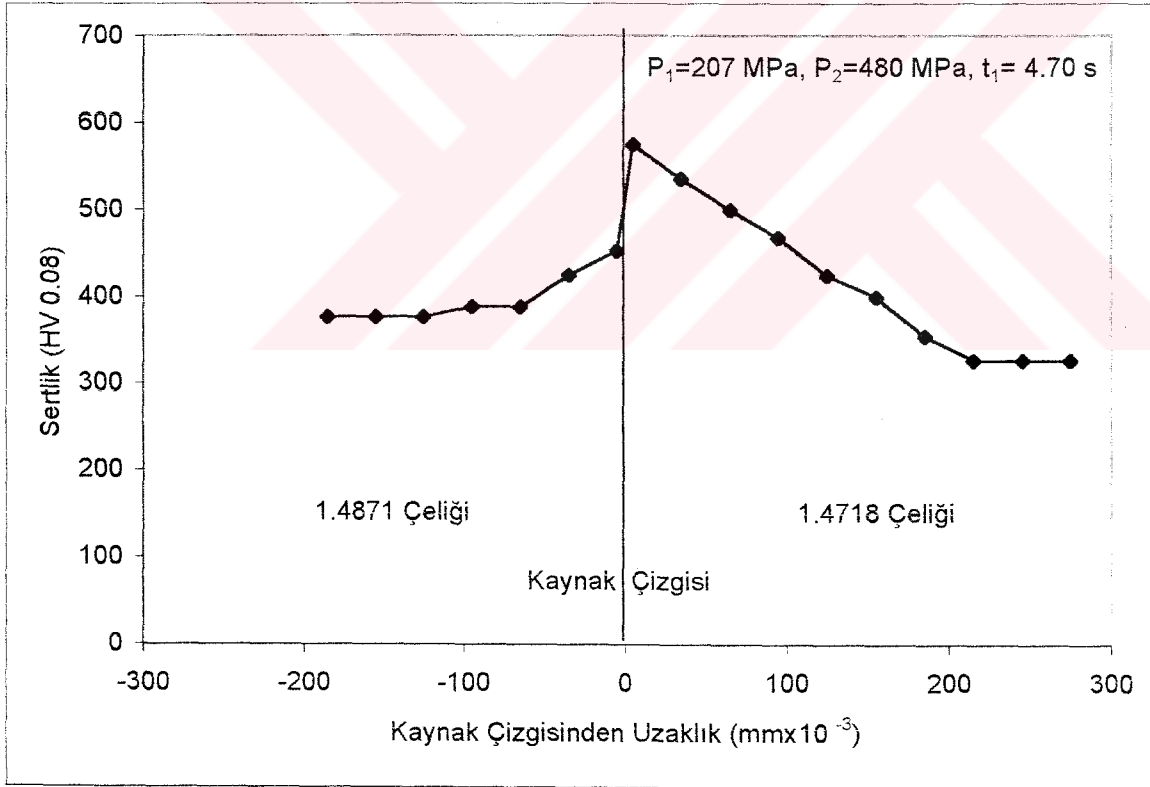
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	483	5	620
2	35	453	35	575
3	65	425	65	517
4	95	425	95	425
5	125	412	125	400
6	155	400	155	376
7	185	400	185	376
8	215	400	215	327
9	245	-	245	327
10	275	-	275	327



Şekil 4.27. B8 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.22. B9 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

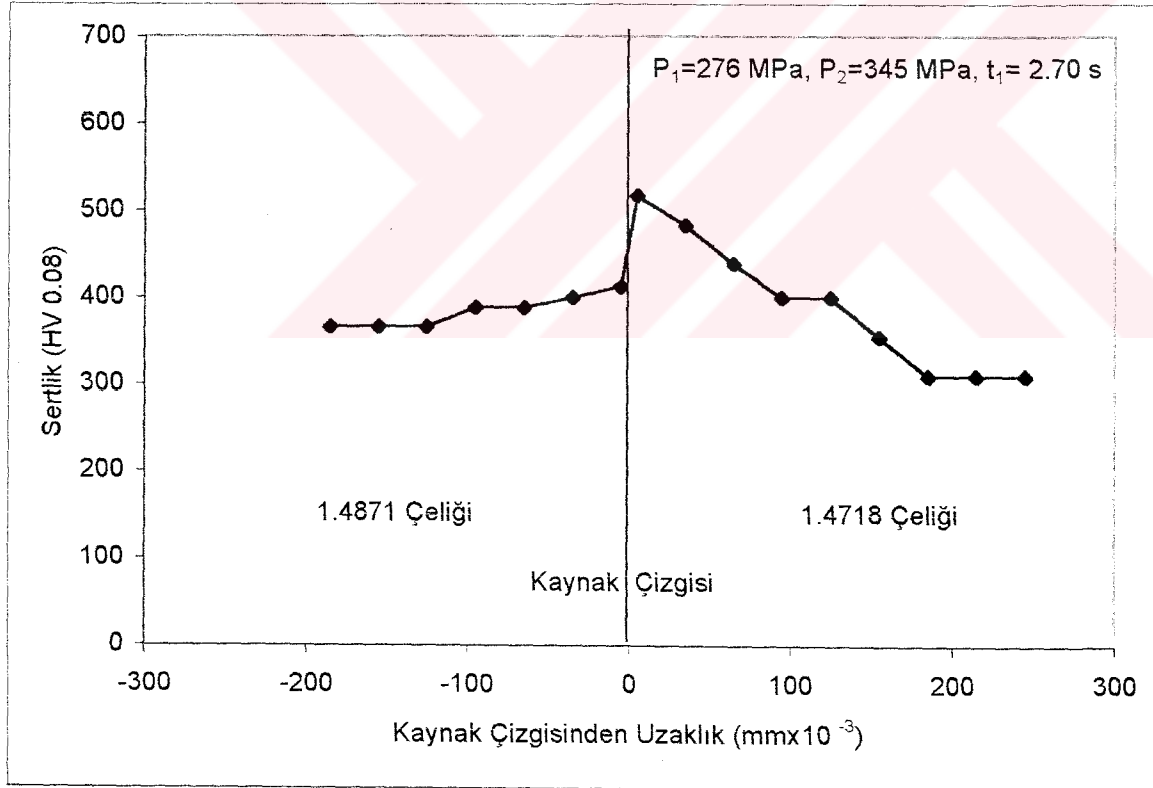
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	453	5	575
2	35	425	35	536
3	65	388	65	500
4	95	388	95	468
5	125	376	125	425
6	155	376	155	400
7	185	376	185	355
8	215	-	215	327
9	245	-	245	327
10	275	-	275	327



Şekil 4.28. B9 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.23. C1 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

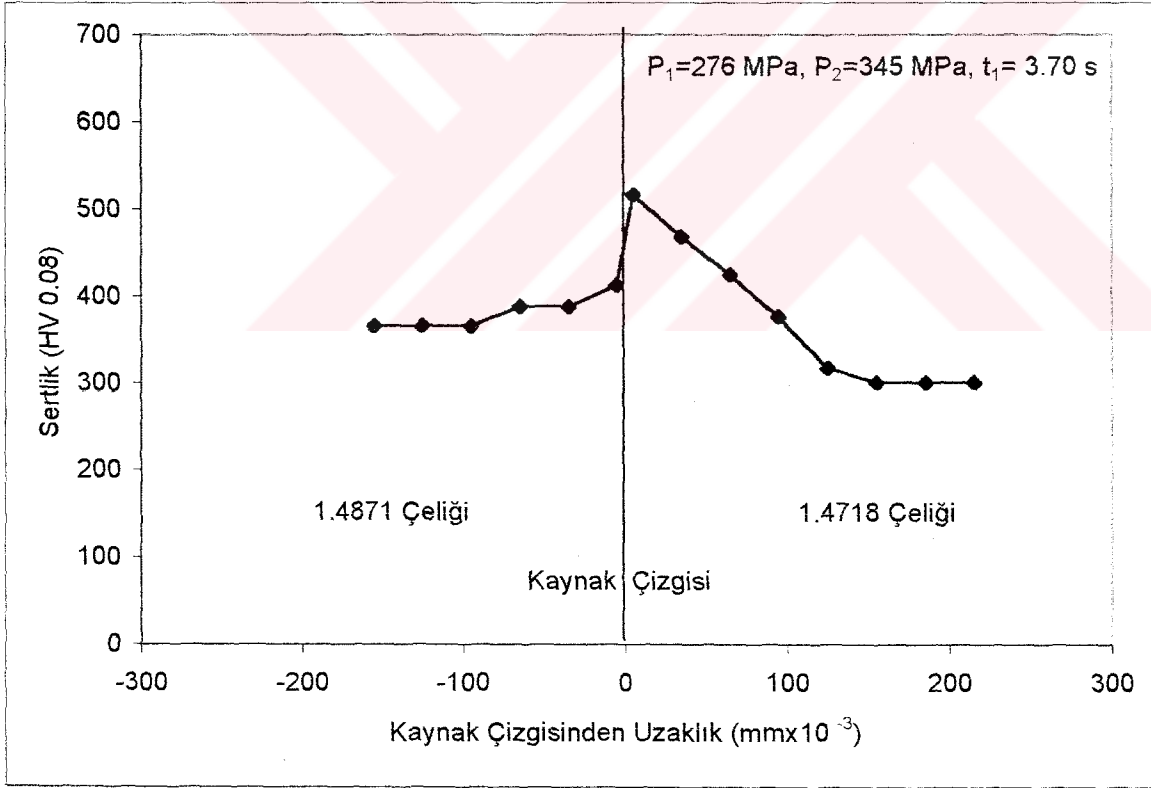
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	412	5	517
2	35	400	35	483
3	65	388	65	439
4	95	388	95	400
5	125	366	125	400
6	155	366	155	355
7	185	366	185	310
8	215	-	215	310
9	245	-	245	310
10	275	-	275	-



Şekil 4.29. C1 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.24. C2 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

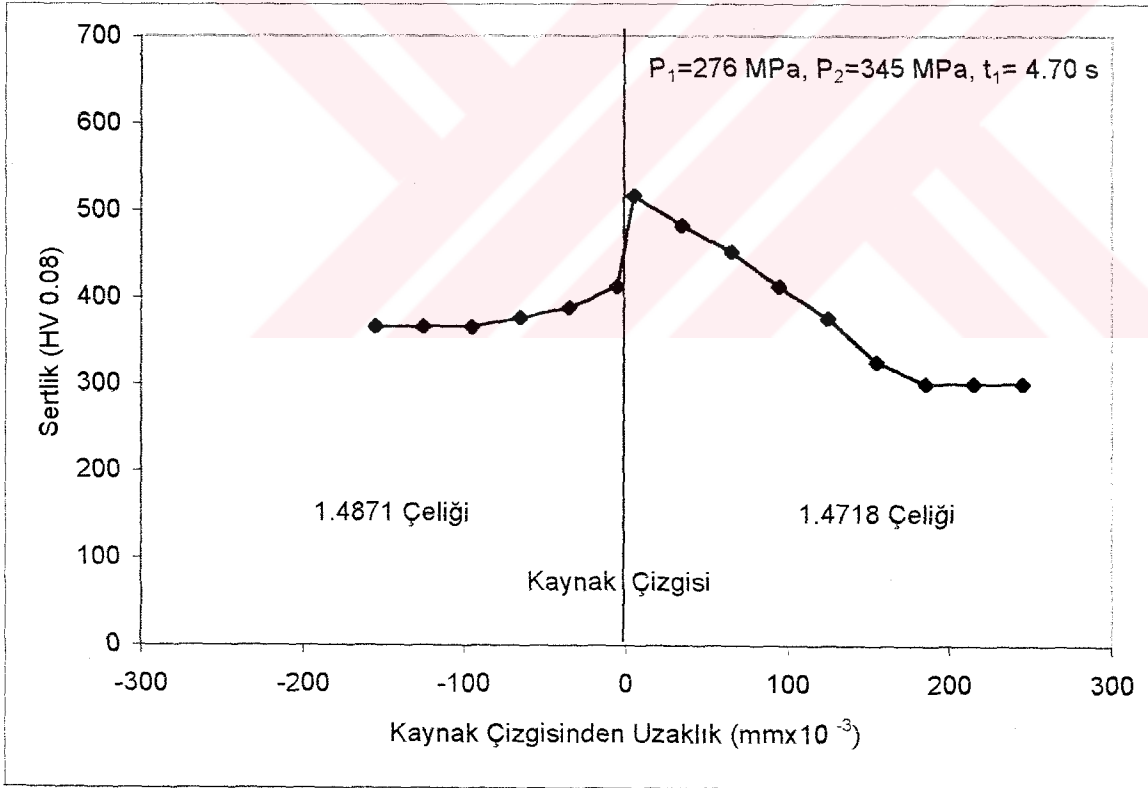
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	412	5	517
2	35	388	35	468
3	65	388	65	425
4	95	366	95	376
5	125	366	125	318
6	155	366	155	301
7	185	-	185	301
8	215	-	215	301
9	245	-	245	-
10	275	-	275	-



Şekil 4.30. C2 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.25. C3 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

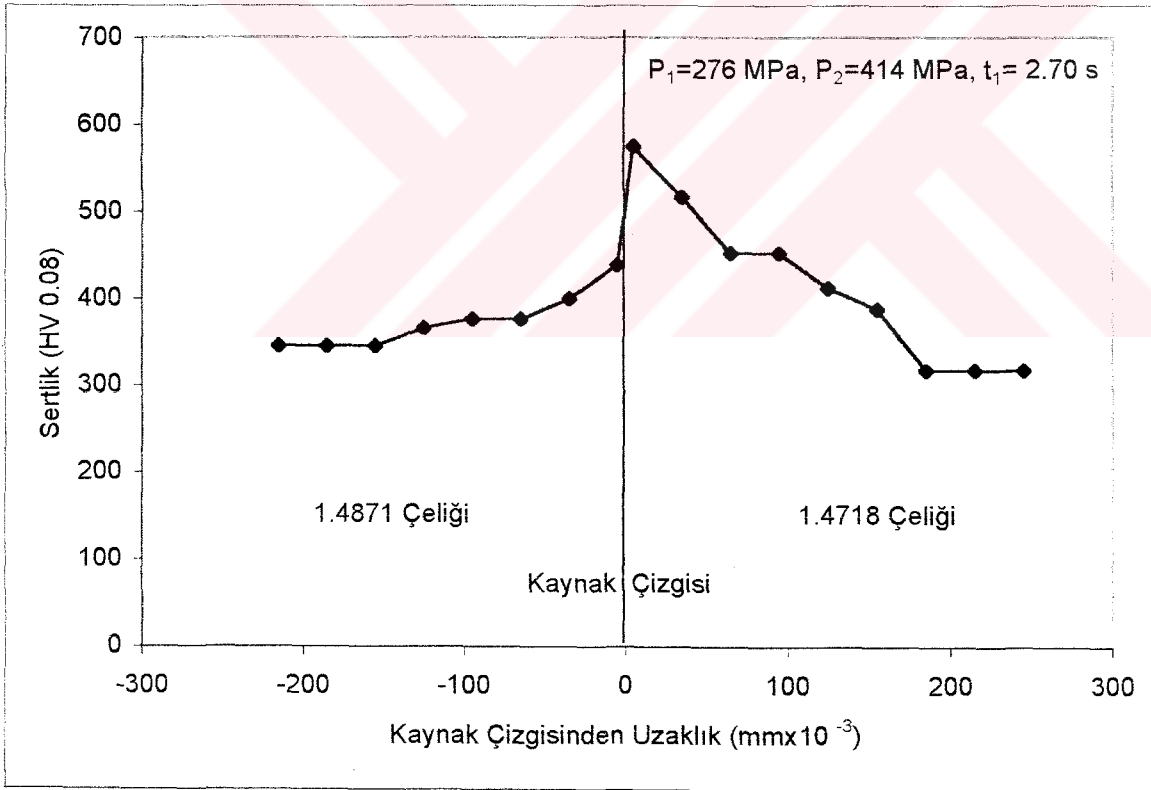
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	412	5	517
2	35	388	35	483
3	65	376	65	453
4	95	366	95	412
5	125	366	125	376
6	155	366	155	326
7	185	-	185	301
8	215	-	215	301
9	245	-	245	301
10	275	-	275	-



Şekil 4.31. C3 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.26. C4 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

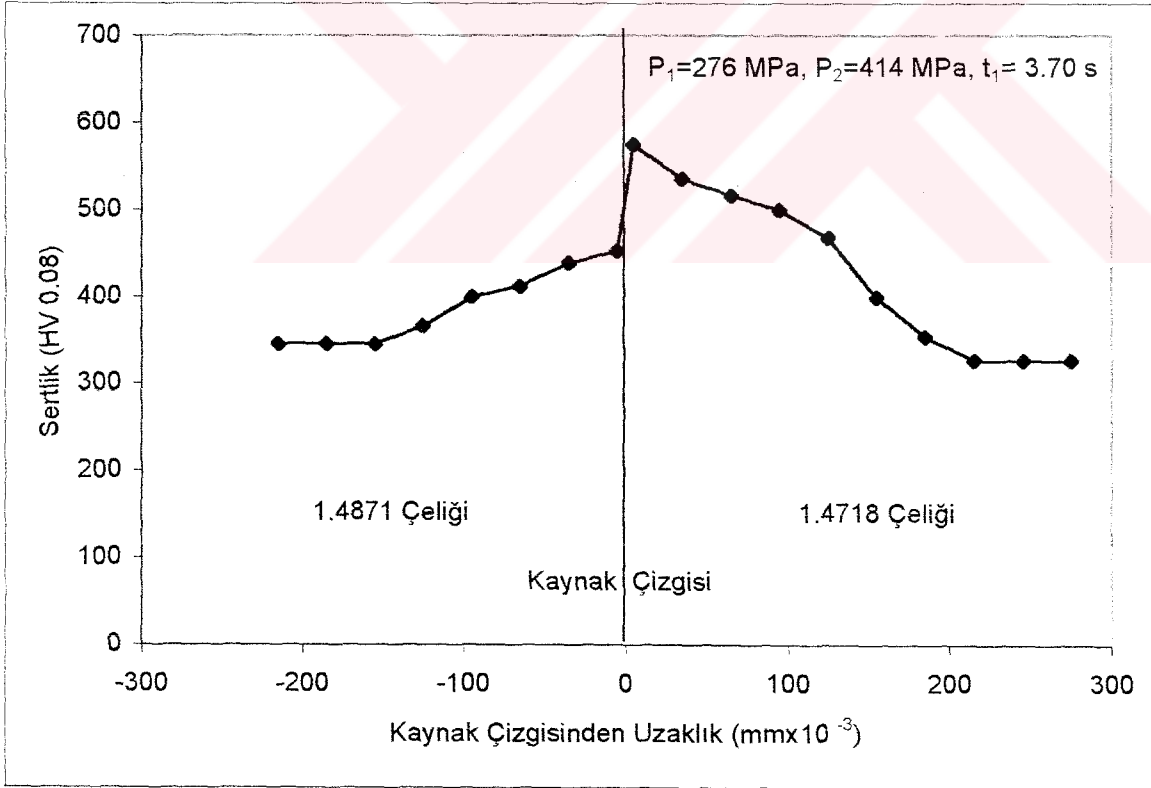
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	439	5	575
2	35	400	35	517
3	65	376	65	453
4	95	376	95	453
5	125	366	125	412
6	155	345	155	388
7	185	345	185	318
8	215	345	215	318
9	245	-	245	318
10	275	-	275	-



Şekil 4.32. C4 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.27. C5 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

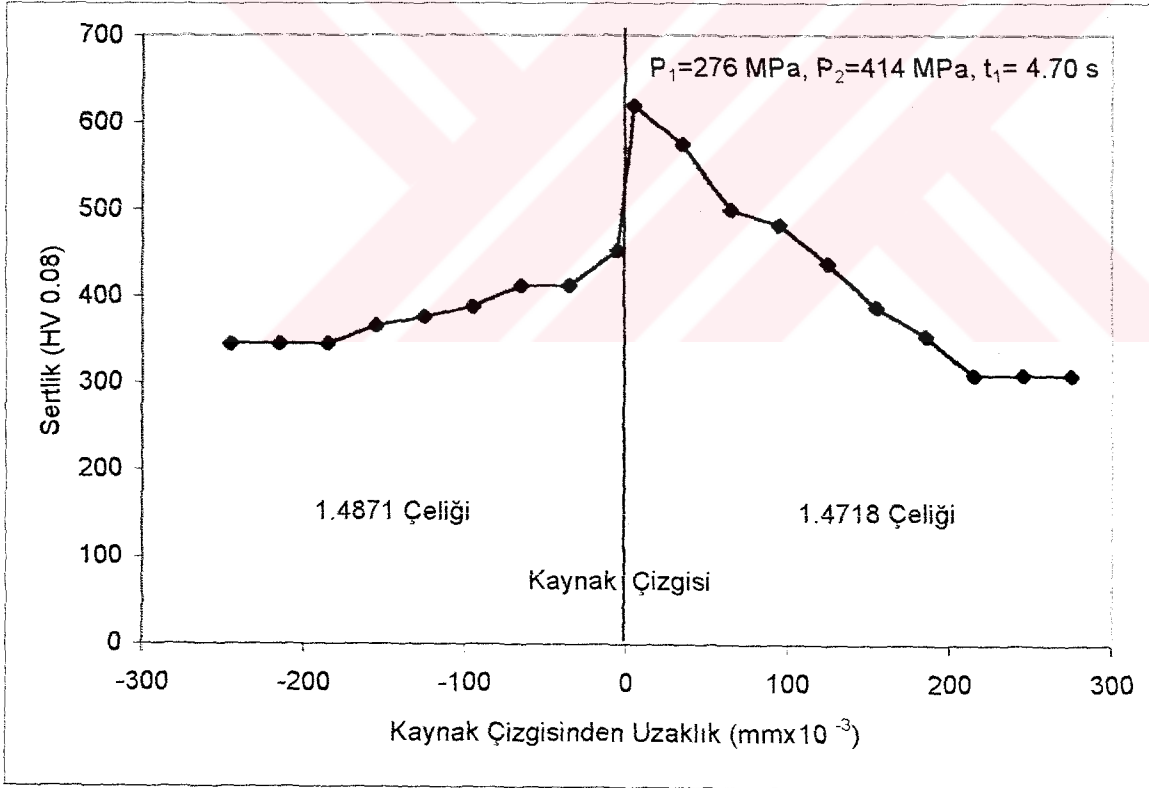
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	453	5	575
2	35	439	35	536
3	65	412	65	517
4	95	400	95	500
5	125	366	125	468
6	155	345	155	400
7	185	345	185	355
8	215	345	215	327
9	245	-	245	327
10	275	-	275	327



Şekil 4.33. C5 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.28. C6 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

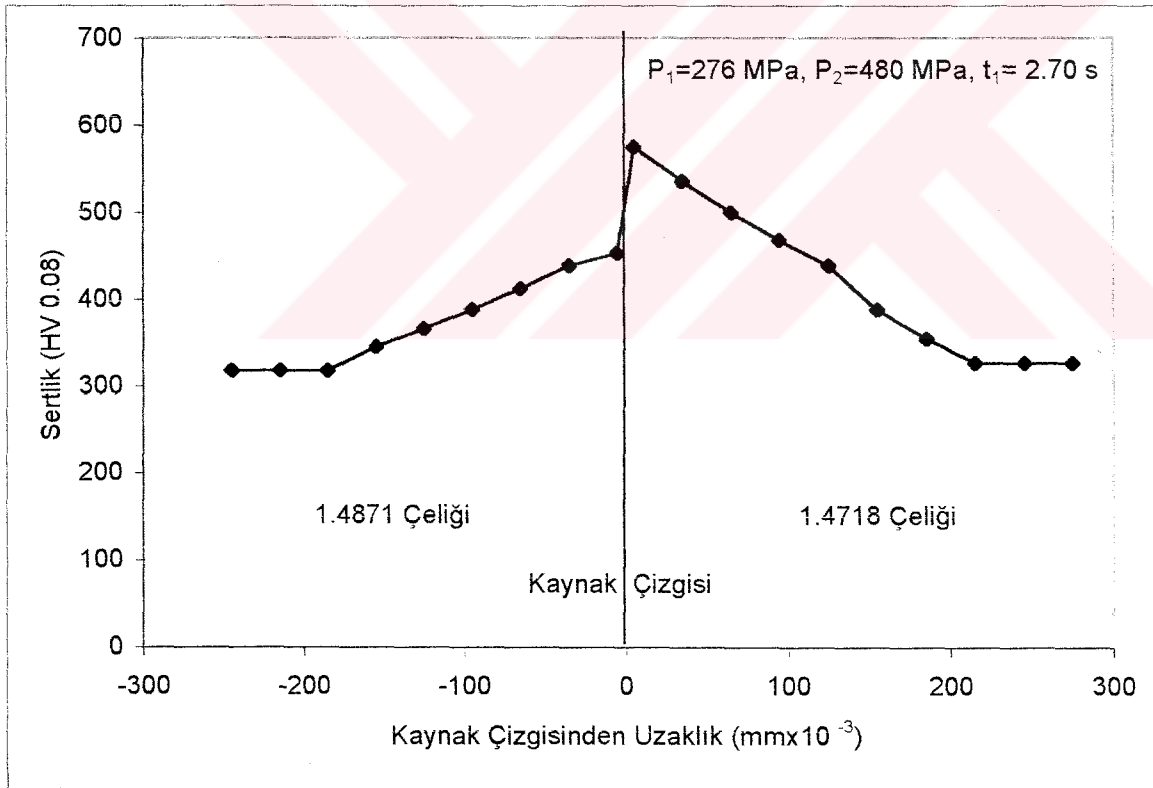
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	453	5	620
2	35	412	35	575
3	65	412	65	500
4	95	388	95	483
5	125	376	125	439
6	155	366	155	388
7	185	345	185	355
8	215	345	215	310
9	245	345	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.34. C6 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.29. C7 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

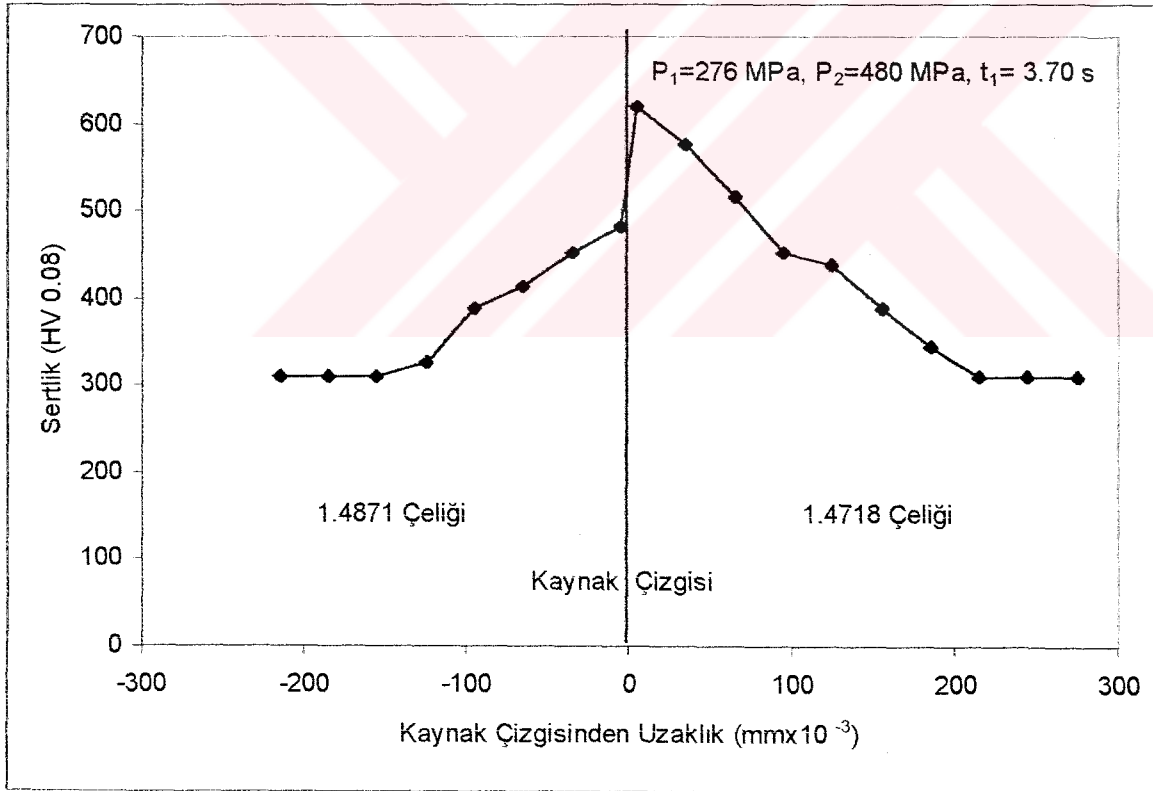
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	453	5	575
2	35	439	35	536
3	65	412	65	500
4	95	388	95	468
5	125	366	125	439
6	155	345	155	388
7	185	318	185	355
8	215	318	215	327
9	245	318	245	327
10	275	-	275	327



Şekil 4.35. C7 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.30. C8 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

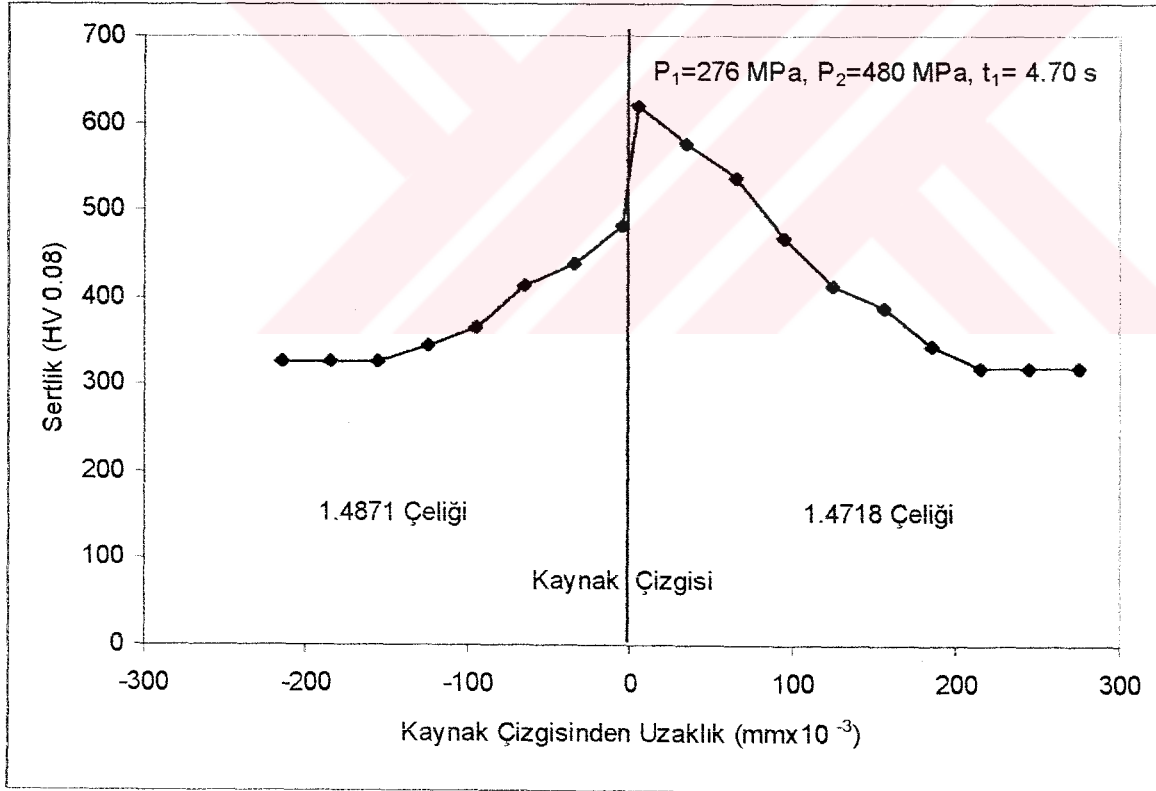
NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	483	5	620
2	35	453	35	575
3	65	412	65	517
4	95	388	95	453
5	125	327	125	439
6	155	310	155	388
7	185	310	185	345
8	215	310	215	310
9	245	-	245	310
10	275	-	275	310



Şekil 4.36. C8 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

Çizelge 4.31. C9 numunesinin kaynak bölgesindeki mesafeye bağlı sertlik değerleri

NO	1.4871TARAFI		1.4718TARAFI	
	Mesafe (μm)	Sertlik (HV 0.08)	Mesafe (μ)	Sertlik (HV 0.08)
1	5	483	5	620
2	35	439	35	575
3	65	412	65	536
4	95	366	95	468
5	125	345	125	412
6	155	327	155	388
7	185	327	185	345
8	215	327	215	318
9	245	-	245	318
10	275	-	275	318



Şekil 4.37. C9 numunesinin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı

4.5. Boy Kısılması Ölçüm Sonuçları

Numunelerin sürtünme kaynağı sonrasında oluşan boy kısılması miktarları, parametre gruplarına göre, Çizelge 4.32'de her iki malzeme için ayrı ayrı ve toplam olarak verilmiştir. Şekil 4.38 – Şekil 4.46'da ise uygulanan parametrelerin boy kısalmaları üzerindeki etkileri grafikler ile belirtilmiştir.

Şekillerden de izleneceği üzere, kaynak parametrelerine göre boy kısalmalarındaki değişim doğrusal bir karakteristik çizmektedir. Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, yanmadan dolayı oluşan malzeme kaybının büyük kısmı 1.4718 malzemede gerçekleşmiştir. Sürtünme süresinin en yüksek olduğu parametre gruplarında, toplam malzeme kaybı en yüksek değerlere ulaşmıştır. Dolayısıyla artan sürtünme süreleri eğimi en büyük doğruları vererek, kaynaklı bağlantının 1.4718 tarafındaki malzeme kaybını en çok artıran parametre olmuştur.

Anık (1983)'e göre, kaynak numunelerinin hazırlanması esnasında, boy ölçümleri kaynak sonrası oluşacak malzeme kaybı göz önünde tutularak 1-10 mm toleranslı alınmalıdır. Bununla birlikte, supap çeliklerinin kaliteli kaynağı için KUKA kaynak makinesinin önerdiği her iki malzemedeki toplam boy kısılması miktarı ise 7-10 mm olmalıdır.

Bu kriterler göz önüne alındığında ; A9, B3, B5, B6, B8, B9, C4, C7 ve C8 parametre grupları boy kısılması miktarı açısından diğer gruplardan farklılık arz etmektedir.

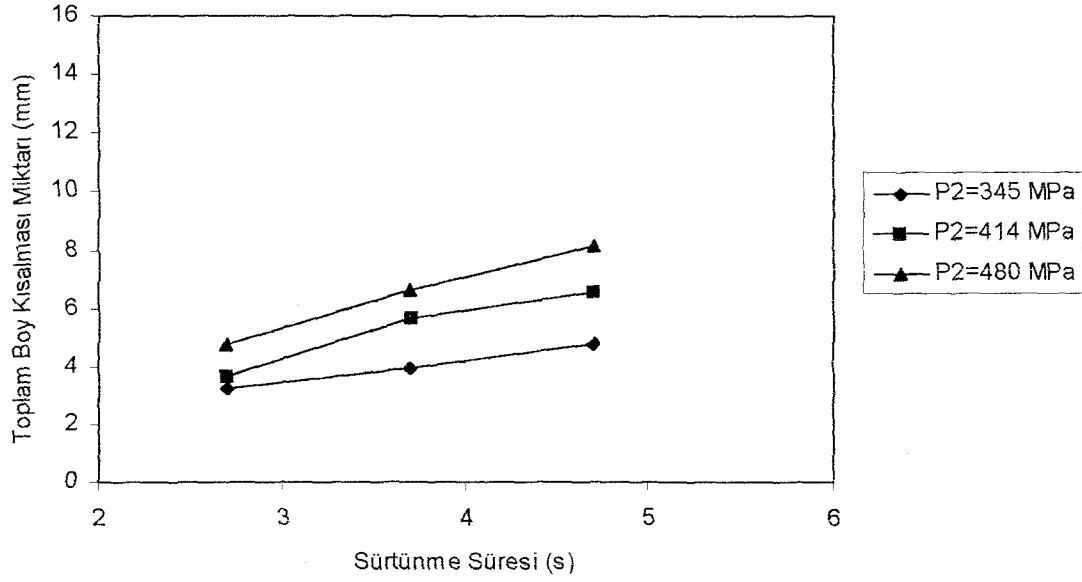
Sürtünme süresinin 2.70 (s) olarak uygulandığı gruplarda yeterli boy kısılması miktarlarına ulaşamamıştır. Sürtünme süresinin 4.70 (s) uygulandığı gruplarda ise, artan sürtünme basıncı ve artan dövme basıncı değerlerinde fazla malzeme kaybı tespit edilmiştir.

B grubu numunelerin düşük sürtünme süresi uygulamalarında da önerilen miktarlardaki boy kısalmalarına ulaşamamıştır.

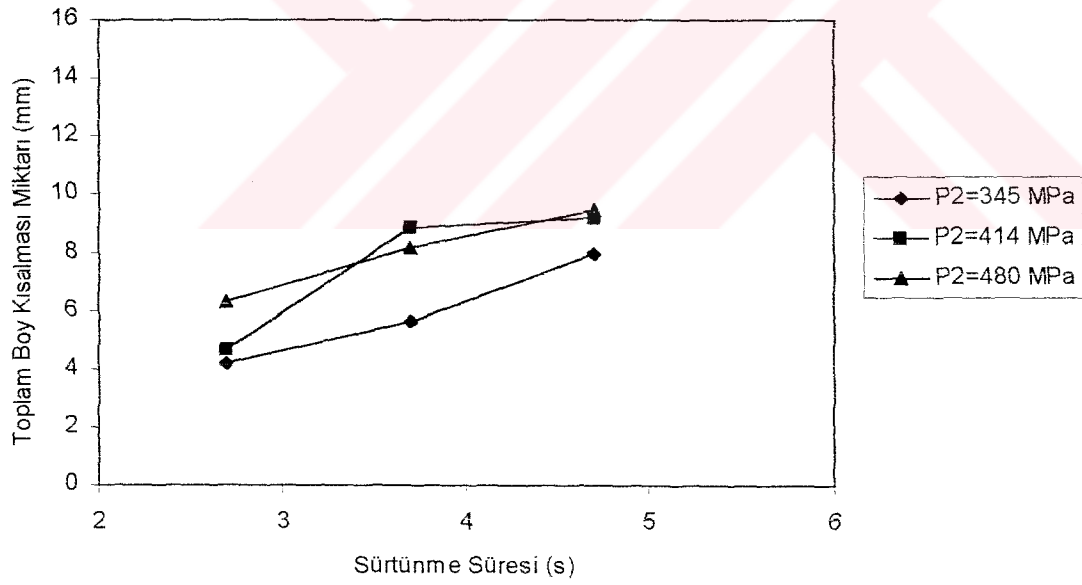
Çekme deneyi sonuçlarında öne çıkan B5 grubunun, ideal boy kısılması standartları içerisinde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.32. Parametre gruplarına göre boy kısalması miktarları

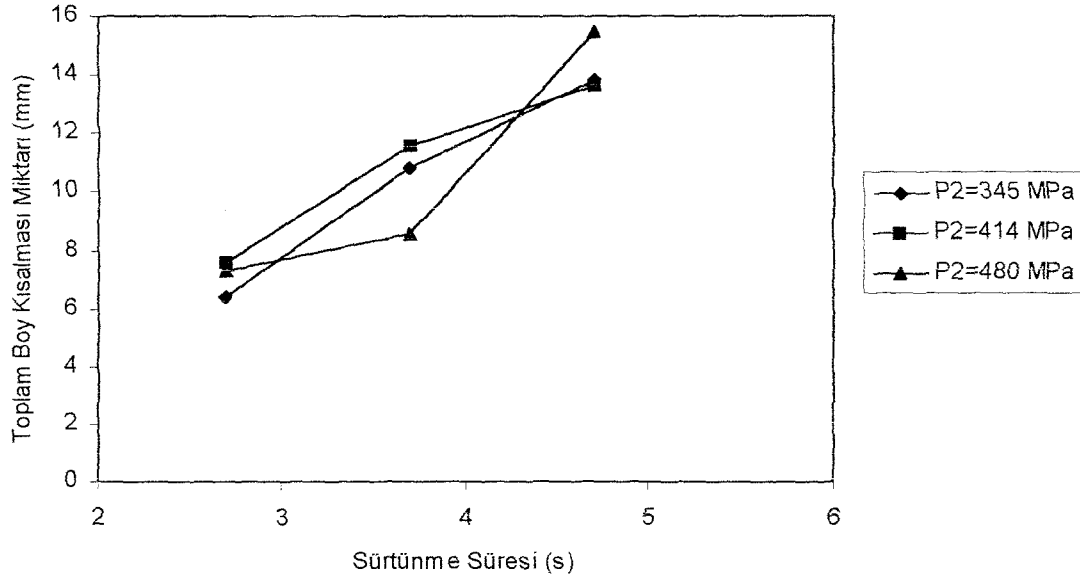
GRUP NO	BOY KISALMALARI		
	$\Delta L_{1.4718}$ (mm)	$\Delta L_{1.4871}$ (mm)	ΔL_{TOPLAM} (mm)
A1	2.56	0.68	3.24
A2	3.12	0.78	3.90
A3	3.46	1.28	4.74
A4	3.03	0.62	3.65
A5	4.00	1.62	5.62
A6	4.23	2.28	6.51
A7	3.62	1.12	4.74
A8	4.56	2.00	6.56
A9	5.68	2.43	8.11
B1	3.14	1.08	4.22
B2	4.16	1.50	5.66
B3	6.38	1.61	7.99
B4	3.20	1.48	4.68
B5	6.36	2.49	8.85
B6	6.41	2.78	9.19
B7	4.16	2.15	6.31
B8	5.89	2.26	8.15
B9	7.06	2.42	9.48
C1	5.01	1.40	6.41
C2	7.94	2.84	10.78
C3	9.85	3.93	13.78
C4	5.20	2.34	7.54
C5	8.56	3.00	11.56
C6	9.98	3.65	13.63
C7	5.42	1.87	7.29
C8	5.62	2.90	8.52
C9	10.02	5.41	15.43



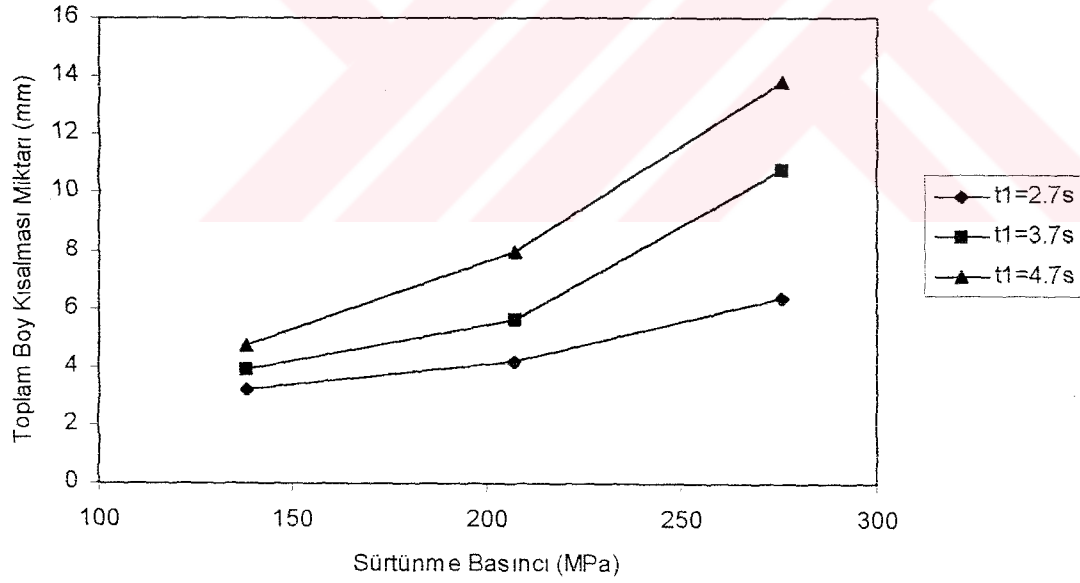
Şekil 4.38. Değişen dövme basıncı değerleri için sürtünme süresine bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_1=138$ MPa)



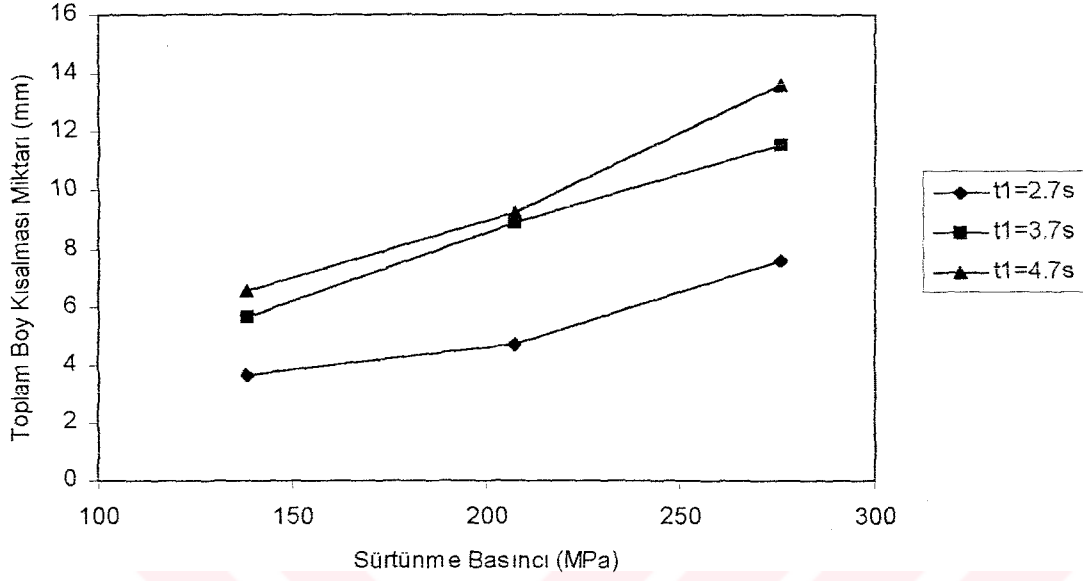
Şekil 4.39. Değişen dövme basıncı değerleri için sürtünme süresine bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_1=207$ MPa)



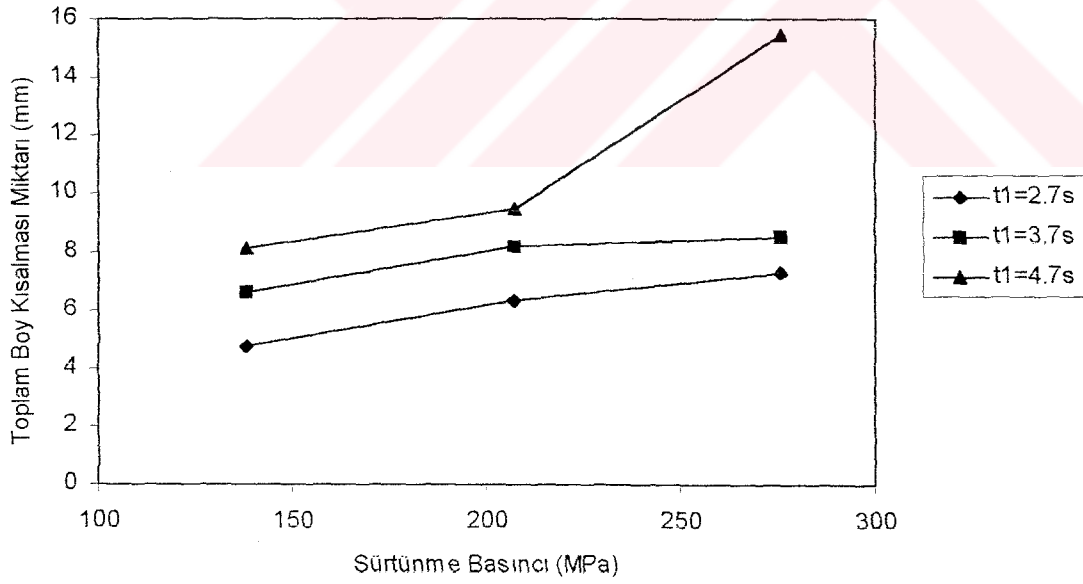
Şekil 4.40. Değişen dövme basıncı değerleri için sürtünme süresine bağlı toplam boy kısalması miktarları (P₁= 276 MPa)



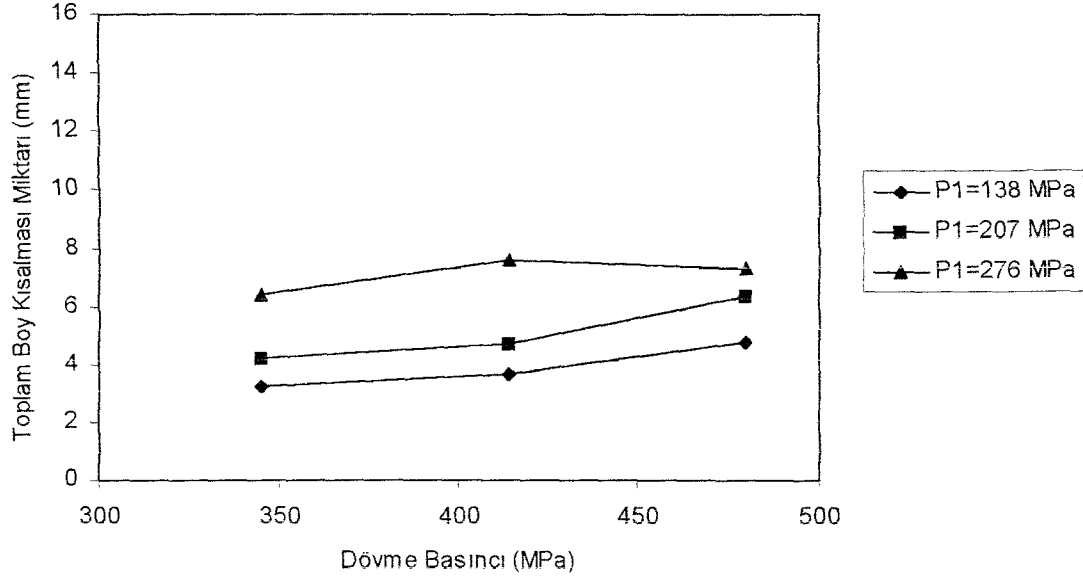
Şekil 4.41. Değişen sürtünme süresi değerleri için sürtünme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları (P₂= 345 MPa)



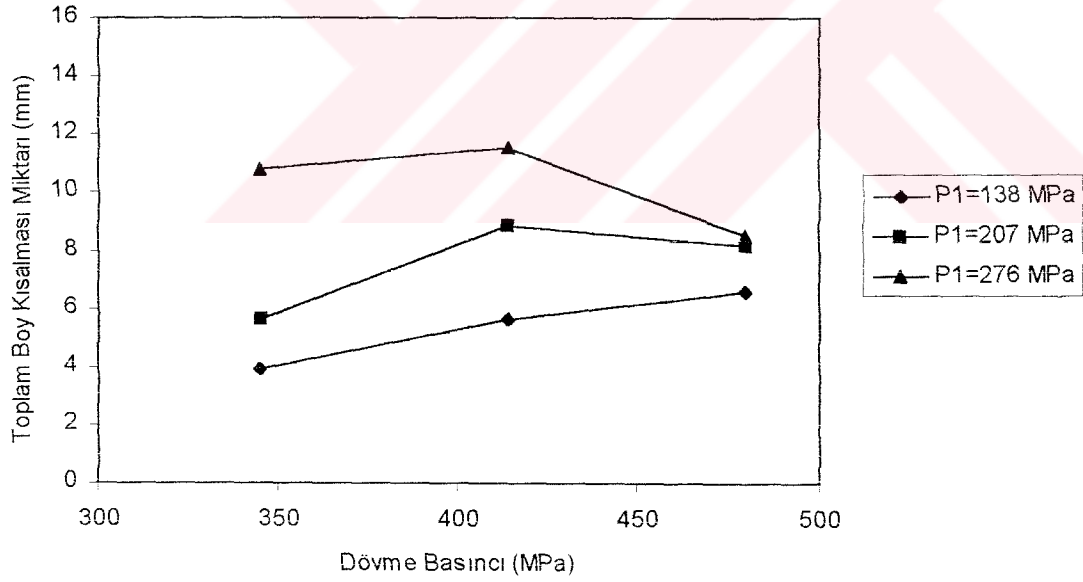
Şekil 4.42. Değişen sürtünme süresi değerleri için sürtünme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_2=414$ MPa)



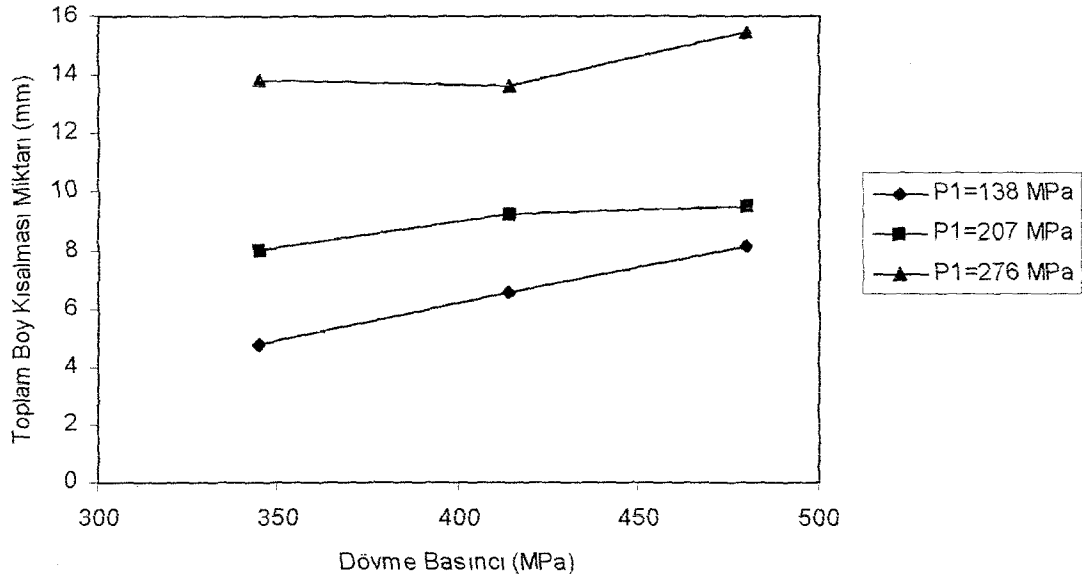
Şekil 4.43. Değişen sürtünme süresi değerleri için sürtünme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($P_2=480$ MPa)



Şekil 4.44. Değişen sürtünme basıncı değerleri için dövme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($t_1=2,7s$)



Şekil 4.45. Değişen sürtünme basıncı değerleri için dövme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($t_1=3,7s$)



Şekil 4.46. Değişen sürtünme basıncı değerleri için dövme basıncına bağlı toplam boy kısalması miktarları ($t_1=4,7s$)

4 . 6 . Mikroprob İncelemesi Sonuçları

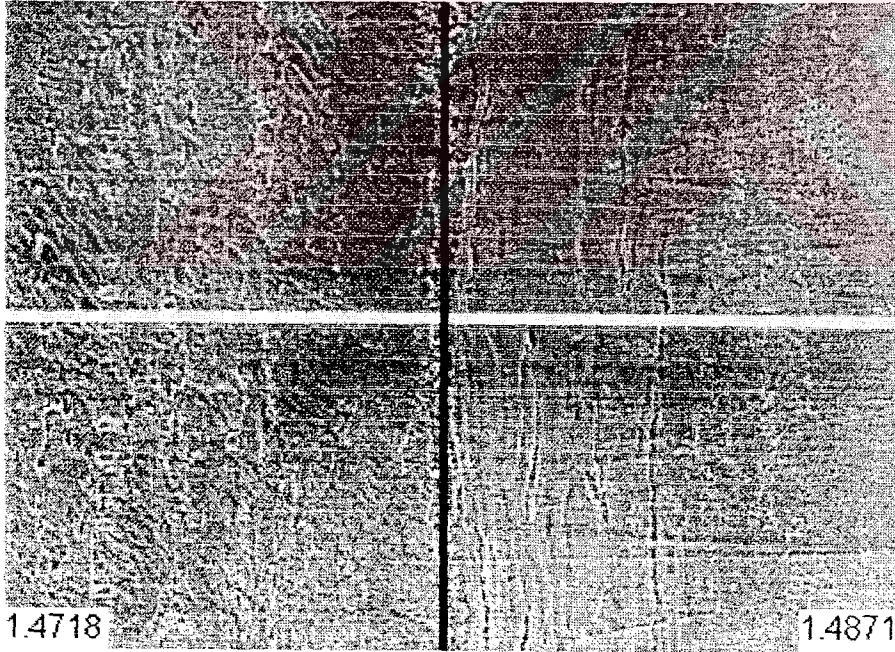
Daha önce yapılan deney ve incelemelerin sonucunda, diğer gruplardan daha iyi sonuçlar elde edilen B5 grubuna ait numunenin, ITAB'ındaki metalurjik değişikliklerin tespiti ve malzemeler arasındaki element difüzyonunun belirlenebilmesi için, numune, mikroprob incelemesine tabi tutuldu.

Bu incelemede, hem ekranda görülen yüzey üzerinde yüzeysel olarak, hem de belirlenen bir çizgi boyunca çizgisel olarak, Cr, Si, Mn, Ni ve C elementlerin analizi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu analizlerden elde edilen sonuçlar, tamamen kalitatif sonuçlar olmakla birlikte, mukayeseli değerlendirmelerdir.

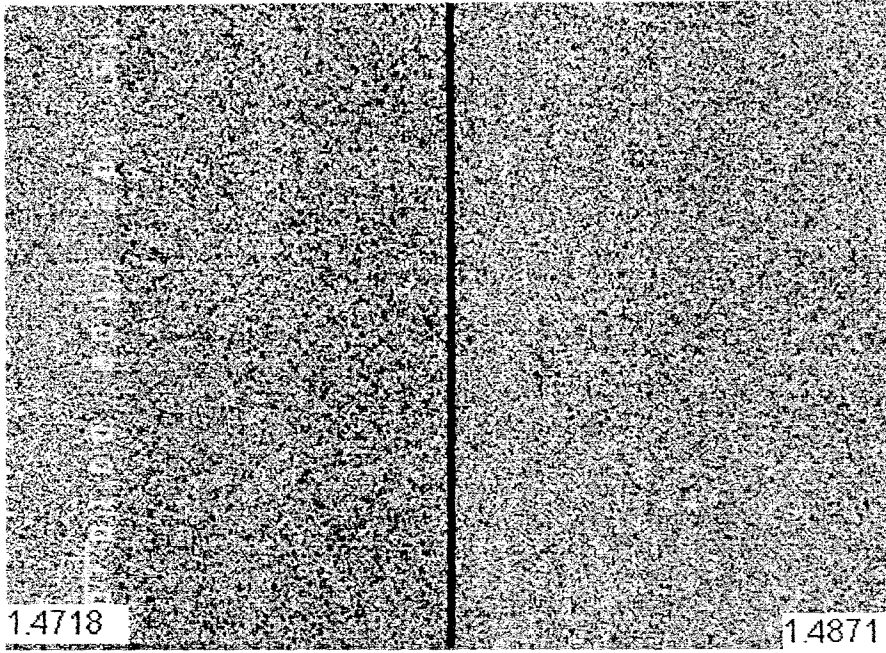
Ayrıca, her iki malzemenin ve kaynak ara bölgesinin SEM görüntüleri değişik büyütme oranlarında belirlenmiştir.

Şekil 4.47'de, ekranda sabit olarak tutulan ve üzerinde yüzeysel incelemenin yapıldığı kesit ile çizgisel incelemenin yapıldığı hat görülmektedir. Belirlenen bu kesitte her iki malzeme ile kaynak ara bölgesi bir arada izlenmektedir.

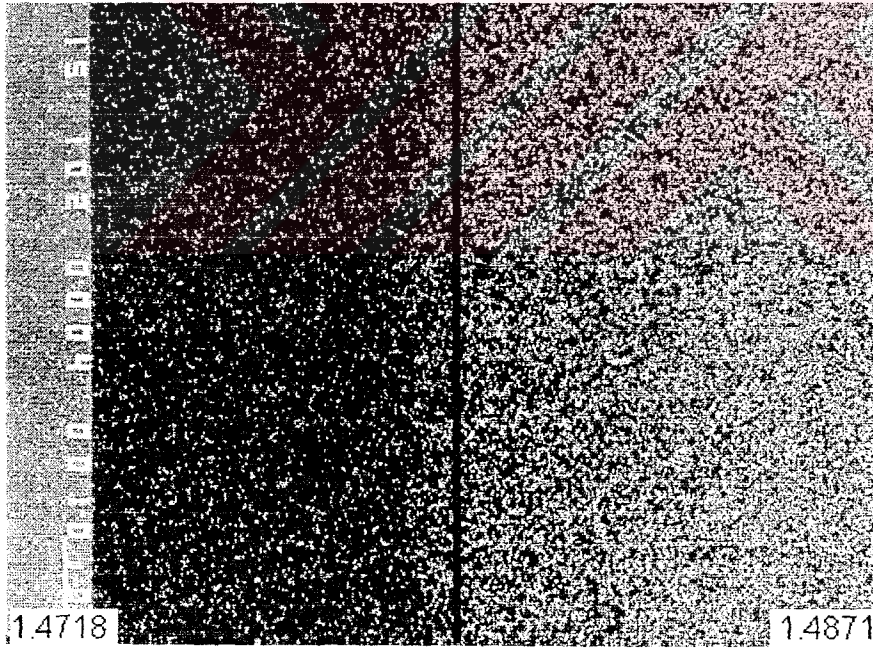


Şekil 4.47. Analizin yapıldığı sabitlenen yüzey ve çizgisel analizin yapıldığı hat (x1000)

Şekil 4.48'de Cr elementinin, Şekil 4.49'da Ni elementinin, Şekil 4.47'de gösterilen yüzey üzerindeki noktasal dağılımı, verilmiştir.



Şekil 4.48. Belirlenen yüzey boyunca Cr elementinin noktasal dağılımı (x1000)



Şekil 4.49. Belirlenen yüzey boyunca Ni elementinin noktasal dağılımı (x1000)

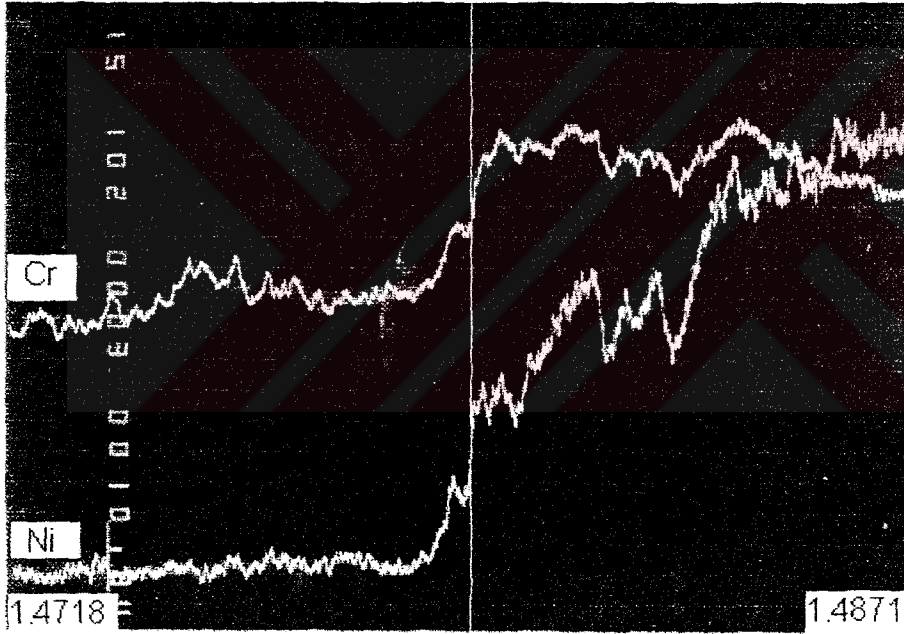
Şekil 4.48 ve 4.49 incelendiğinde; noktaların görsel yoğunluğunun incelenen elementlerin malzeme içerisindeki kütleli yüzdeleri ile orantılı olmadığı izlenmektedir. Örneğin,

Cr elementi 1.4871 malzemede % 20.11, 1.4718 malzemede ise % 8.71 oranında yer almaktadır. Şekil 4.48'de verilen Cr elementinin noktasal dağılımında, yaklaşık bire iki olan bu yüzdesel oranın dışında görüntü elde edilmiştir. Bu da kaynak esnasında 1.4871 malzemeden, 1.4718 malzemeye Cr elementi difüzyonunun varlığını ortaya koymaktadır.

Ni elementinin 1.4718 malzemede kütsel olarak bulunmadığı bilinmekle birlikte, Şekil 4.49'daki görüntü ile 1.4718 malzemeye, Ni elementinin difüzyonundan söz edilebilir.

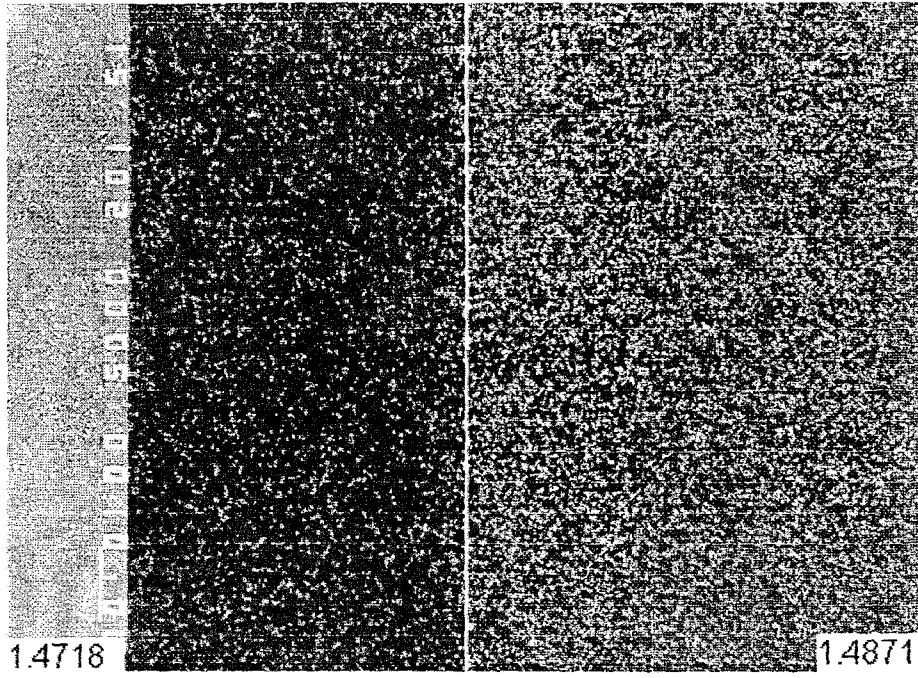
Malzemelerin sertliğini artırdığı bilinen Cr ve Ni elementlerinin, 1.4718 malzemeye gerçekleşen bu difüzyonları, kaynak bölgesinin 1.4718 malzeme tarafındaki sertlik artışına neden olduğu söylenebilir.

Şekil 4.50'de ise krom ve nikelin, Şekil 4.47'de gösterilen hat boyunca grafiksel dağılımı verilmiştir. Üstteki grafik Cr elementinin, alttaki grafikte Ni elementinin kaynak ara bölgesindeki difüzyonunu ifade etmektedir. 1.4871 malzemeden, 1.4718 malzemeye doğru hem krom hem de nikel geçişi, ara bölgedeki grafiğin eğiminden anlaşılmaktadır.

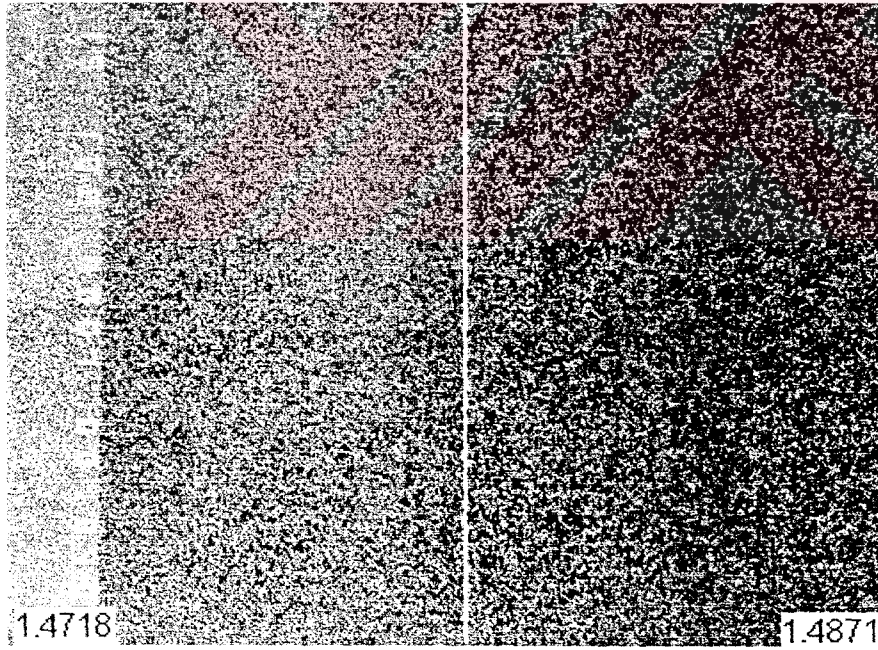


Şekil 4.50. Belirlenen hat boyunca Cr ve Ni elementlerinin grafiksel dağılımı (x1000)

Şekil 4.51'de Mn elementinin, Şekil 4.52'de ise Si elementinin, Şekil 4.47'de gösterilen yüzey üzerindeki noktasal dağılımı, verilmiştir.



Şekil 4.51. Belirlenen yüzey boyunca Mn elementinin noktasal dağılımı (x1000)

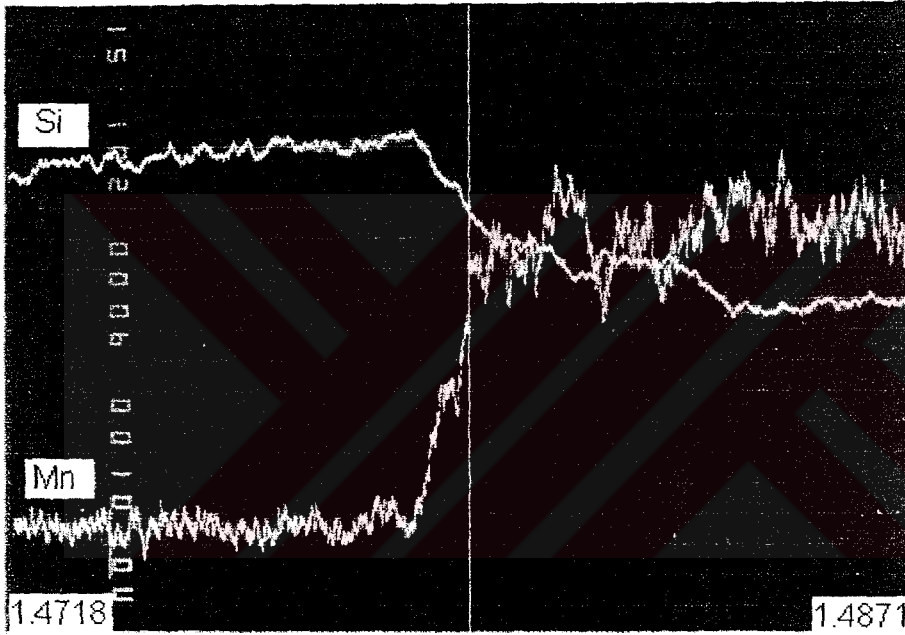


Şekil 4.52. Belirlenen yüzey boyunca Si elementinin noktasal dağılımı (x1000)

Mn elementi, 1.4871 malzemede % 8,19, 1.4718 malzemede ise % 0.47 oranında yer almaktadır. Şekil 4.51'de elde edilen görüntüde ise her iki malzemedeki Mn dağılımının bu

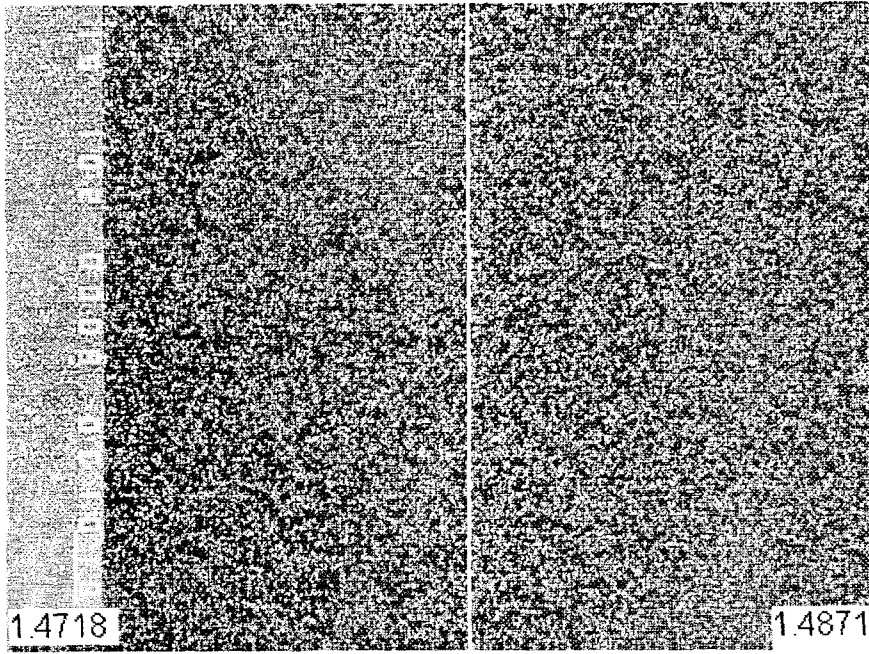
oranda oluşmadığı net bir şekilde izlenmektedir. Bununla birlikte Si elementi, 1.4871 malzemede % 0.27 oranında bulunmakla birlikte, 1.4718 malzemede ise % 2.73 oranında yer almaktadır. Şekil 4.52'de verilen Si elementinin noktasal dağılımında, bu oranın gerçekleşmediği görülmektedir. Bu da kaynak esnasında 1.4871 malzemeden 1.4718 malzemeye Mn elementinin, 1.4718 malzemeden 1.4871 malzemeye de Si elementinin difüze olduğunu mukayeseli olarak açık şekilde ifade etmektedir.

Şekil 4.53'de, Mn ve Si elementlerinin, Şekil 4.47'de gösterilen hat boyunca grafiksel dağılımı verilmiştir. Üstteki grafik Si elementinin, alttaki grafikte Mn elementinin kaynak ara bölgesindeki difüzyonunu ifade etmektedir. Hem Mn hem de Si geçişi, ara bölgedeki grafiğin eğiminden, nereden nereye doğru gerçekleştiği de eğimin doğrultusundan anlaşılmaktadır.

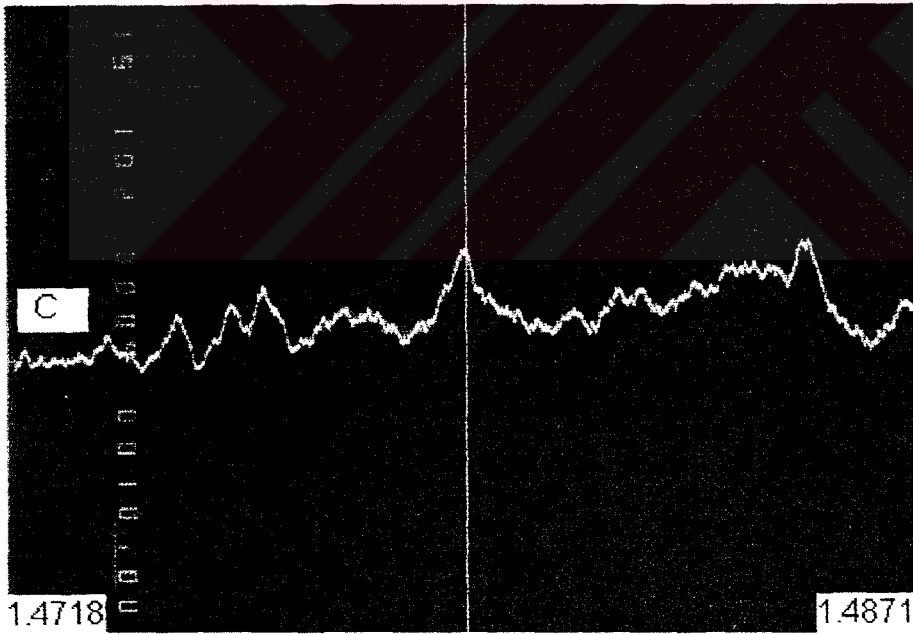


Şekil 4.53. Belirlenen hat boyunca Mn ve Si elementlerinin grafiksel dağılımı (x1000)

Şekil 4.54'de C elementinin, Şekil 4.47'de gösterilen yüzey üzerindeki noktasal dağılımı, Şekil 4.55'de ise C elementinin, Şekil 4.47'de gösterilen hat boyunca grafiksel dağılımı verilmiştir. %C miktarları birbirine çok yakın olan her iki malzemenin arasında C elementinin difüzyonu hakkında net bir şey söylemek mümkün değildir. Ancak Şekil 4.55'de görüldüğü üzere, tam kaynak çizgisinin üzerinde C birikiminden söz edilebilir.



Şekil 4.54. Belirlenen yüzey boyunca C elementinin noktasal dağılımı (x1000)



Şekil 4.55. Belirlenen hat boyunca C elementinin grafiksel dağılımı (x1000)

Yapılan bu incelemelerde, artan sürtünme basıncı ve dövme basıncı değerlerinde, difüzyon bölgesinin büyüklüğünün arttığı söylenebilir. Difüzyon bölgesinin toplam büyüklüğü, A

grubu numuneler için ortalama 235 μm , B grubu numuneler için ortalama 330 μm ve C grubu numuneler için ise ortalama 370 μm olarak hesaplanmıştır. Genel olarak, 1.4718 malzemedeki difüzyon bölgesinin büyüklüğü, 1.4871 malzemeye göre yaklaşık iki kattır.

Karbonun iki malzeme arasında difüzyonunun belirgin olarak belirlenmemesi, her iki malzemede kaynak sonrasında da eşit oranlarda karbonun bulunması, kaynaklı bağlantının mukavemeti açısından önemli bir sonuç olarak belirlenmiştir. B5 grubunun sertlik profili de bu sonucu doğrulamaktadır.

Karbon elementinin herhangi bir malzemeye doğru belirgin bir difüzyonunun söz konusu olması, kaynak ara bölgesinde dekarbürize bölgenin oluşumuna, dolayısıyla kaynak mukavemetinin bundan olumsuz etkilenmesine sebep olacaktır.

Belirgin bir karbon difüzyonunun oluşmaması, kaynak ara bölgesinde oluşabilecek muhtemel karbür çökeltilerinin oluşturacağı dengesiz sertlik profillerinin oluşumuna imkan vermemiştir. Kaynak ara bölgesinde her iki malzeme arasındaki sertlik farkının artması, çentik etkisini oluşturmak sureti ile birleşmenin mukavemetine özellikle tokluğuna olumsuz etki edecektir.

Difüzyonu incelenen elementlerin ve demirin atom yarıçapları aşağıda verildiği şekildedir. (Callester, 1996).

$$\text{Fe} = 1.24 \text{ \AA}$$

$$\text{Cr} = 1.25 \text{ \AA}$$

$$\text{Si} = 1.18 \text{ \AA}$$

$$\text{Ni} = 1.25 \text{ \AA}$$

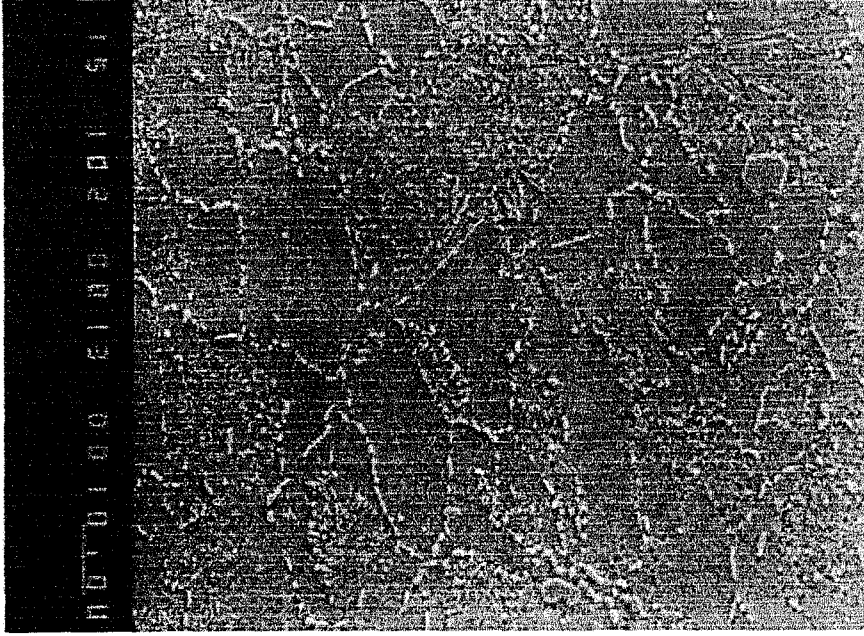
$$\text{Mn} = 1.12 \text{ \AA}$$

Bu elementlerin, demir içerisinde eriyebilen elementler olması ve atom yarıçapları demire çok yakın yada demirden küçük olmaları, demir içerisinde bu elementlerin difüzyonunu kolaylaştırmıştır. Difüze olan bu elementler, kafes yapıda yer alan atomlar şeklinde bulunur. Bu yüzden atom yarıçaplarının demirden küçük yada demire yakın olması difüzyonun gerçekleşmesi için önemli bir etkidir.

Şekil 4.56 ve Şekil 4.57'de, 1.4871 malzemenin kaynaktan uzak bölgedeki içyapısının SEM görüntüleri verilmiştir. Ostenit tane sınırlarında ve bazı ostenit tanelerinin içerisinde ikinci faz olarak Fe_2C karbürü teşekkülü değişik büyütme oranlarında belirlenmiştir.

Şekil 4.58'de ise 1.4718 malzemenin kaynaktan uzak bölgedeki içyapısının SEM görüntüsü verilmiştir. Belirgin olmayan tane sınırlarına sahip, martensitik yapıda olan bu malzemenin SEM görüntüsü, 4000 büyütme ile kırçılı bir yapının varlığını ortaya koymaktadır.

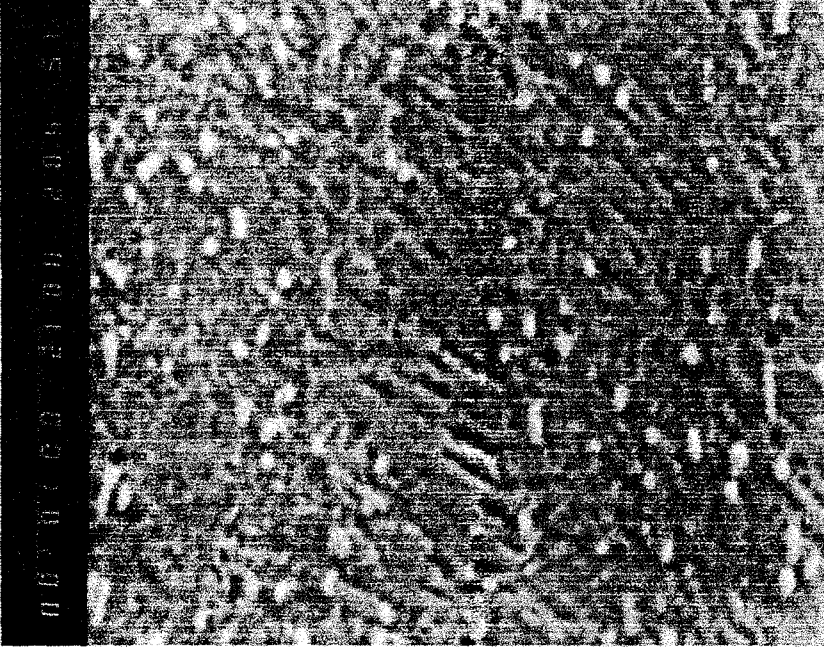
Şekil 4.59'da ise her iki malzeme bir arada olmak üzere kaynak ara bölgesinin içyapısının SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.56. Kaynaktan uzak bölgede 1.4871 malzemenin içyapısının SEM görüntüsü (x1000)



Şekil 4.57. Kaynaktan uzak bölgede 1.4871 malzemenin içyapısının SEM görüntüsü (x4000)



Şekil 4.58. Kaynaktan uzak bölgede 1.4718 malzemenin içyapısının SEM görüntüsü (x4000)



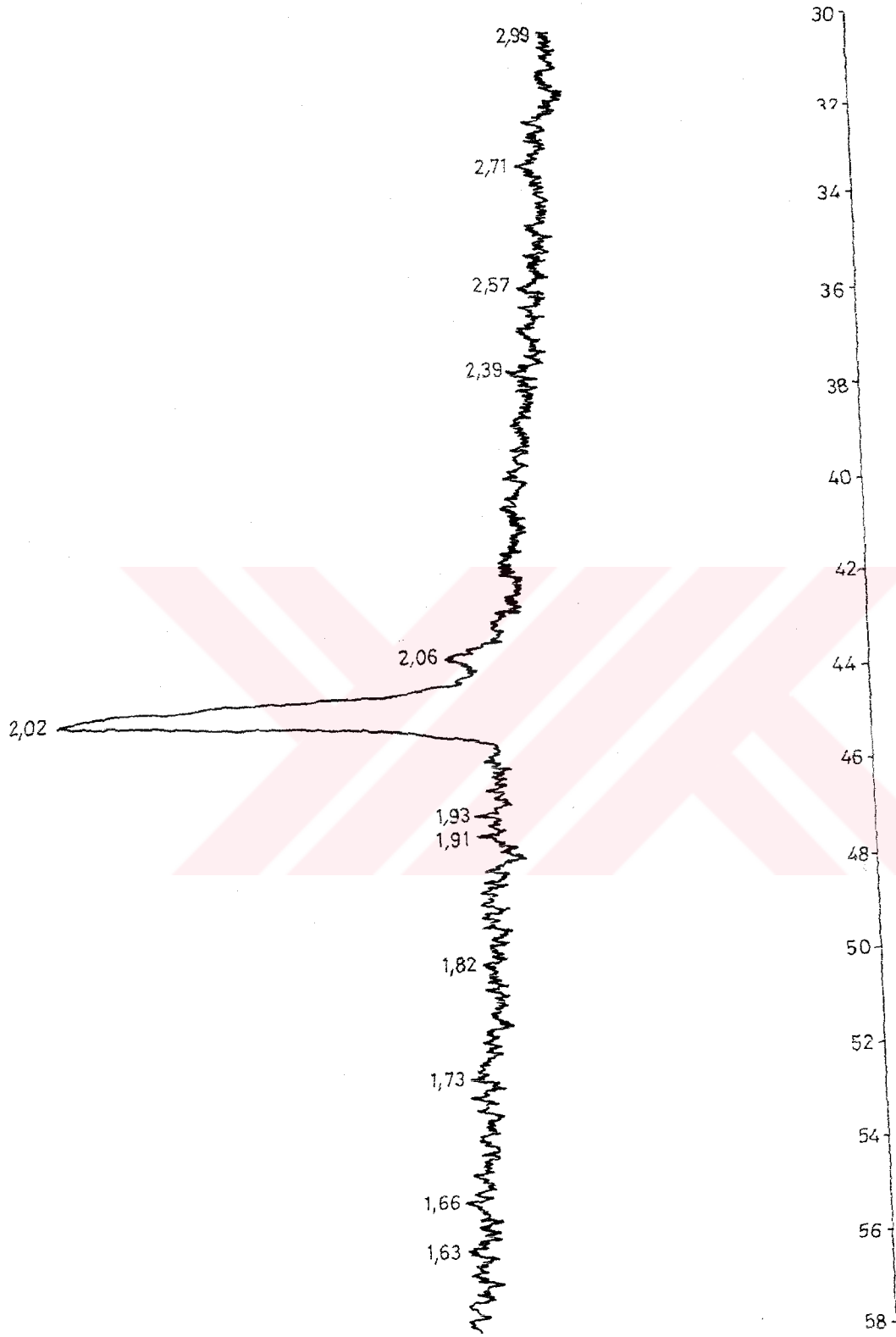
Şekil 4.59. Her iki malzeme bir arada kaynak ara bölgesinin SEM görüntüsü (x4000)

4 . 7 . X Işını Difraksiyon İncelemesi Sonuçları

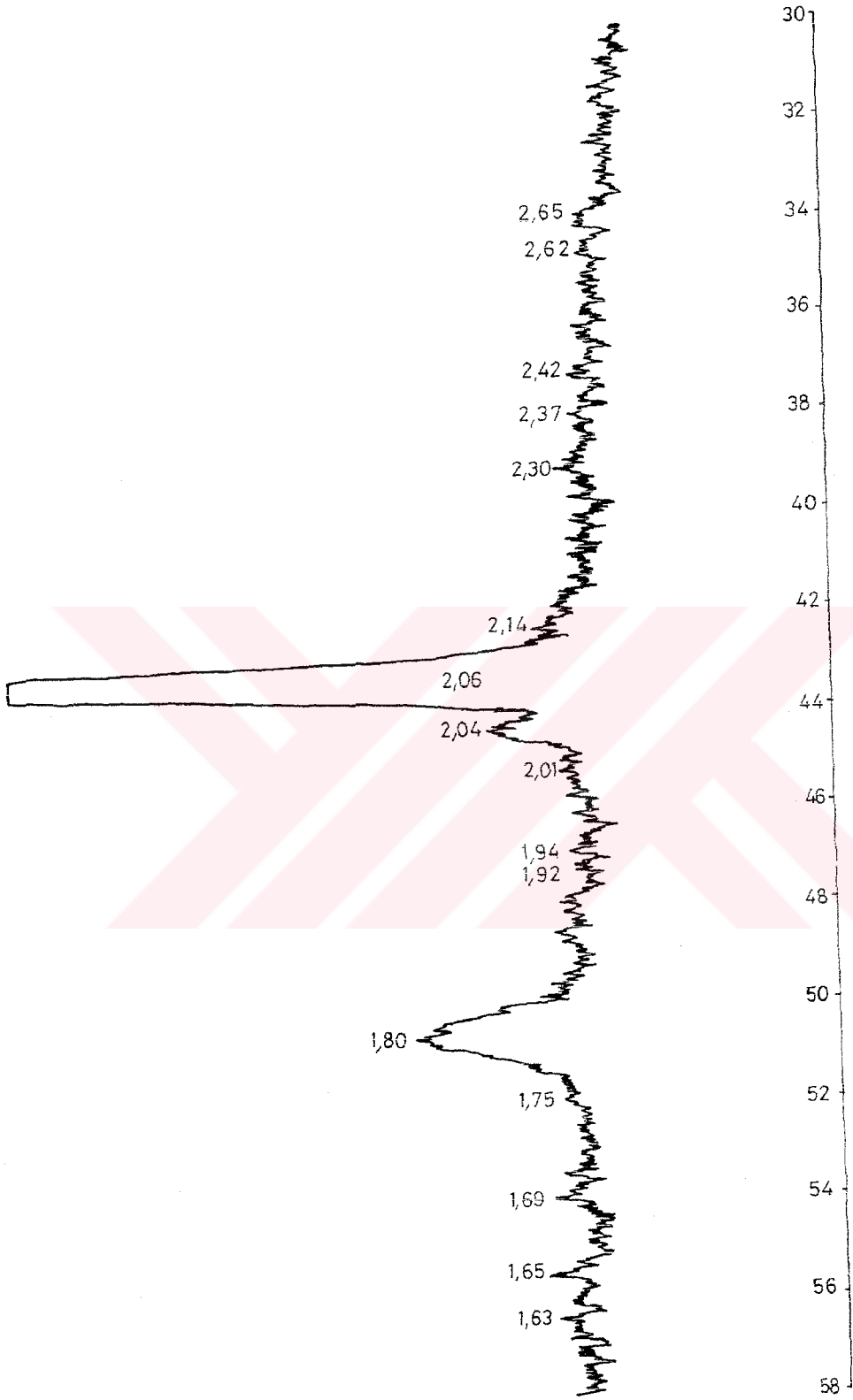
Numunenin üç ayrı bölgesinde inceleme gerçekleştirildi. X ışını demeti ; ilk olarak tam kaynak bölgesinin üzerine, daha sonra 1.4871 malzemenin ITAB'ına, en son olarak da 1.4718 malzemenin ITAB'ına, düşürülerek üç ayrı grafik elde edildi. Elde edilen grafiklerdeki piklerin, ASTM'nin (American Society for Testing and Materials) " Powder Diffraction " tabloları kullanılarak gerçekleştirilen değerlendirmeleri sonucunda :

- 1.4718 malzemede, (5 - 720) difraksiyon diyagramı yardımı ile (Cr , Fe)₇ C₃ karbürü tespit edilmiştir (Şekil 4.60).
- 1.4871 malzemede, (20 – 508) difraksiyon diyagramı yardımı ile Fe₂C karbürünün varlığı belirlenmiştir (Şekil 4.61).
- Kaynak ara bölgesinde ise, yoğun şekilde (Cr , Fe)₇ C₃ karbürünün varlığından söz edilebilir (Şekil 4.62).

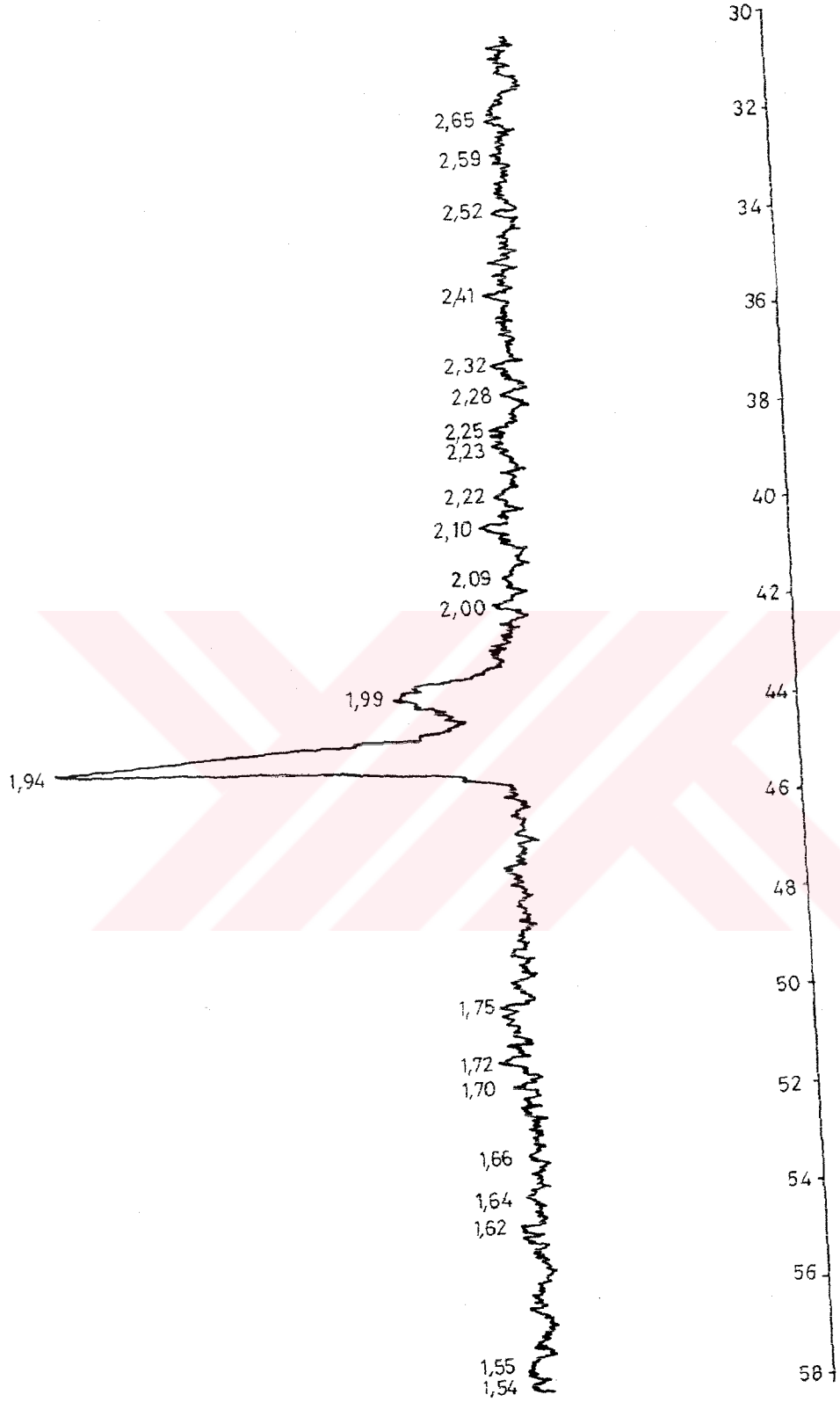




Şekil 4.60. 1.4718 malzemenin X ışını difraksiyon diyagramı ((Cr, Fe)₇C₃ karbürü)



Şekil 4.61. 1.4871 malzemenin X ışını difraksiyon diyagramı (Fe₂C karbürü)



Şekil 4.62. Kaynak ara bölgesinin X ışını difraksiyon diyagramı ($(Cr, Fe)_7C_3$ karbürü)

5 . SONUÇLAR ve İRDELEMELER

1 . Kaynak sonrası ölçülen, malzemelerdeki boy kısalması değerleri incelendiğinde :

Kaynaklı parçalarda kaynak parametrelerine göre boy kısaltmalarındaki değişim doğrusal bir karakteristik çizmektedir. Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, yanmadan dolayı oluşan malzeme kaybının büyük kısmı 1.4718 malzemede gerçekleşmiştir. Sürtünme süresinin en yüksek olduğu parametre gruplarında, toplam malzeme kaybı en yüksek değerlere ulaşmıştır. Dolayısıyla artan sürtünme süreleri eğimi en büyük doğruları vererek, kaynaklı bağlantının 1.4718 tarafındaki malzeme kaybını en çok artıran parametre olmuştur.

Sürtünme süresinin 2.70 (s) olarak uygulandığı gruplarda yeterli boy kısalması miktarlarına ulaşamamıştır. Sürtünme süresinin 4.70 (s) uygulandığı gruplarda ise, artan sürtünme basıncı ve artan dövme basıncı değerlerinde fazla malzeme kaybı tespit edilmiştir.

Supap çeliklerinin sürtünme kaynaklı bağlantılarında, kaliteli kaynak dikişi için gerekli boy kısalması miktarı toplam en az 7 mm olarak önerilmektedir (KUKA ürün katalogu). Malzeme kaybı açısından ekonomiklik göz önüne alındığında ise toplam boy kısalması miktarı 10 mm ile sınırlandırılmıştır. Bu değerlendirmeler ile, diğer deney sonuçlarında öne çıkan B5 grubu, 8.85 mm toplam boy kısalması ile kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

2 . Elde edilen çekme deneyleri sonuçları incelendiğinde :

B grubu parametrelerin A ve C grubu parametrelere göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. B grubunun belirleyici temel özelliği sürtünme basıncının (P_1) 207 MPa olmasıdır. B grubu sonuçları irdelendiğinde ise, B4, B5, B6 grupları ile verilen numunelerde kaynak bölgesinden kopma olmadığı görülmektedir. Bu grupların ortak belirleyici özelliği de, sürtünme basıncı (P_1) ve dövme basıncı (P_2) değerlerinin sabit, sürtünme süresinin (t_1) değişken olmasıdır. Sonuç olarak sürtünme süresinin bu üç parametre grubu içerisinde belirleyici parametre olduğu söylenebilir. Optimum kaynak parametrelerin belirlenmesinde, çekme sonrasında çekme çubuğunun kopma yeri, akma ve çekme mukavemeti değerlerinin malzemelerin kabul edilebilir değerlerine uygunluğu, % uzama miktarı kriterleri belirleyici olmaktadır. B5 parametre grubu çekme deneyi sonuçları açısından, ideal parametre grubu olarak belirlenmiştir.

3 . Izod darbe deneyi sonuçları incelendiğinde :

B grubu numuneleri kırmak için harcanan enerji miktarının diğer iki grup numuneyi kırmak için harcanan enerji miktarından daha fazla olduğu ve B grubu numuneler içinde de B5 grubu numunelerin en yüksek enerjiyi harcadıkları belirlenmiştir. B grubu numunelerin ortak belirleyici özelliği, sürtünme basıncının (P_1) 207 MPa olmasıdır.

4 . Mikrosertlik sonuçları incelendiğinde :

Her parametre grubuna ait numunelerin sertlik profilleri genel olarak, benzer bir karakteristik göstermektedir. A grubu numunelerin sertlik profilleri, çoğunlukla kaynak bölgesinin 1.4871 malzeme tarafında, maksimumdan geçmektedir. Diğer gruplara ait tüm numunelerde, sertlik profilinin maksimum değeri, 1.4718 malzeme tarafında gerçekleşmiştir. Kaynak bölgesinde, sertlik profilinin eğimi B ve C grubu parametrelerde, A grubuna göre daha fazladır. Kaynak bölgesinde malzemelerin sertlik değerleri arasında yüksek miktarlardaki fark sonucu, sertlik profilinin eğiminde artış gözlenmiştir. Kaynaklı bağlantılarda, maksimum kaynak kalitesi için, malzemeler arasındaki sertlik farkının fazla olmaması gerekmektedir. Sertlik profilinin, kaynak bölgesinde maksimum değere ulaşması, kaynak bölgesinden uzaklaştıkça azalması ve sertlik profili eğrisinin eğiminin dik olmayıp daha geniş aralıkta az eğimle gerçekleşmesi, ani sertlik değişimleri ile karşılaşılmasının, kaynak kalitesi açısından istenen özelliklerdir. Parametre grupları içerisinde B5 grubuna ait sertlik profilinin bu özellikleri en çok sağladığı belirlenmiştir. Kaynak bölgesindeki maksimum sertlik değerinin sebebinin, kaynak esnasındaki plastik deformasyon, kaynak esnasında gerçekleşen element difüzyonları ile karbürler olduğu söylenebilir. Artan süre ve basınçların kaynaktan etkilenmiş bölgeyi deformasyon sonucu dışarı sürerek daraltmasından dolayı, bu gruplara ait sertlik profilinin maksimum değerinin, diğer gruplara nazaran yüksek olduğu tespit edilmiştir. B5 grubuna ait numunenin, kaynak çizgisine paralel olarak, dışarıdan merkeze doğru gerçekleştirilen sertlik incelemesinde, maksimum değer merkezde belirlenmiştir. Bunun sebebi olarak, en geç soğumanın merkezde olduğu dolayısıyla element difüzyonunun daha uzun sürede gerçekleşmesi sonucu sertlik değerinin merkezde maksimum değere ulaştığı söylenebilir.

5 . Işık mikroskobu incelemesinde;

Kaynak kalitesini önemli ölçüde belirleyen parametrelerden olan sürtünme süresinin, A grubu numunelerde sürtünme basıncının düşük olmasından dolayı, değişmesinin kayda değer içyapı farklılıkları oluşturmadığı izlenmiştir.

Genelde, A grubu numunelerde izlenen, ITAB'ın ya çok ince olması ya da belirlenemeyişidir. C grubu numunelerde ise, ITAB'ın kalın olduğu belirlenmiştir. Bilhassa artan dövme basıncı ve sürtünme süresi değerlerine ait gruplarda, bu bölgelerin daha geniş olduğu görülmektedir. B grubu numunelerde, hemen hemen kendi içerisinde, standart kalınlıkta ITAB bölgesinin olduğu belirlenmiştir.

Dövme basıncı açısından her üç grup incelendiğinde; yüksek dövme basıncı değerlerine ait grupların iç yapılarında, merkezden dışarıya doğru, kaynak esnasında deformasyon sonucu oluşan, tanelerdeki mekanik yönlenme belirgin bir şekilde izlenmektedir. Bu yönlenme her iki malzeme için de söz konusudur.

B5 grubuna ait numunede, 1.4871 malzemenin kaynaktan uzak bölgedeki içyapısında tipik ostenitik yapı, 1.4718 malzemenin kaynaktan uzak bölgedeki içyapısında ise tipik martenzitik yapı belirlenmiştir. 1.4871 malzemede kaynak bölgesine yaklaştıkça, tane ufalması ve tane yassılaştırması ile karşılaşmıştır. Tane yassılaştırması, kaynak esnasında oluşan deformasyona dik istikamette tanelerin yönlenmesi şeklinde gelişmiştir.

1.4871 malzemenin içyapısındaki siyah bölgeler ostenit taneleri sınırlarında ve bazı ostenit taneleri içerisinde teşekkül etmiş Fe_2C karbürleridir. B5 numunesinde, 1.4871 malzemede mekanik yönlenme ile bu yönlenme hatları boyunca yoğunlaşan Fe_2C karbürlerinden söz edilebilir.

6 . Mikroprob incelemesinde:

B5 grubuna ait numunede, hem ekranda görülen yüzey üzerinde yüzeysel olarak, hem de belirlenen bir çizgi boyunca çizgisel olarak gerçekleştirilen Cr, Si, Mn, Ni ve C elementlerin analizi sonucunda, 1.4871 malzemeden 1.4718 malzemeye Cr, Mn, Ni elementlerinin difüze olduğu, 1.4718 malzemeden de 1.4871 malzemeye Si elementinin difüze olduğu belirlenmiştir. Kaynak kalitesi açısından, bu elementlerin difüzyonu oldukça önem arz etmektedir. Kaynaklı bağlantının sertlik profili de bu elementlerin difüzyonu sonucunda gerçekleşmiştir.

7 . X Işını difraksiyon incelemesinde;

B5 grubuna ait numunede 1.4718 malzemede, $(Cr, Fe)_7C_3$ karbürü, 1.4871 malzemede, Fe_2C karbürü belirlenmiştir. Kaynak ara bölgesinde ise, yoğun şekilde $(Cr, Fe)_7C_3$ karbürünün varlığından söz edilebilir.

8 . Bütün bu deneylerin ve incelemeleri sonucunda; supap imalatında kullanılan 1.4871 ve 1.4718 malzemelerin sürtünme kaynaklı bağlantılarında optimum kaynak parametreleri şu şekilde belirlenmiştir (B5 grubu):

Sürtünme süresi (t_1).....; 3.70 (s)

Sürtünme basıncı (P_1).....; 207 (MPa)

Dövme basıncı (P_2).....; 414 (MPa)

Bu değerler, birleştirilecek malzemelerin çapı ve kullanılan sürtünme kaynağı makinesinin itici pistonunun kesit alanı göz önüne alınarak supap endüstrisinde uygulanmalıdır.

Bu parametrelerin optimum kaynak parametreleri olarak seçilmesi irdelendiğinde;

- Kabul edilebilir toplam boy kısalması 7-10 mm iken (KUKA ürün katalogu), B5 grubunda ölçülen 8.85 mm'dir.
- Paslanmaz çelikler için dövme basıncının, sürtünme basıncının iki katı olması önerilirken (Ishibashi et al,1983), B5 grubunda sürtünme basıncı 207 (MPa), dövme basıncı ise 414 (MPa) olarak uygulanmıştır.

- Orta ve yüksek karbonlu çelikler için ; sürtünme basıncının 70 - 210 MPa, dövme basıncının da 100 - 420 MPa olarak uygulanması tavsiye edilmiştir (Welding Handbook, 1980), B5 grubunun basınç değerleri bu sınırlar içerisindedir.
- Kaliteli kaynağı sağlayan parametre gruplarına ait numunelerin birleşme bölgelerinin sertlik dağılımları incelendiğinde, birleşme bölgesindeki sertlik dağılımının eğiminin dik olmayıp, daha geniş aralıkta az eğimle gerçekleşmesi gerektiği Ogawa et al, (1993), tarafından önerilirken, B5 grubunun sertlik profilinin bu özellikleri taşıdığı belirlenmiştir.
- Kaynak parametrelerinden olan sürtünme basıncının büyük öneme sahip olduğu Vill (1962), çalışmaları sonucu belirlenirken, sürtünme basıncı ile birlikte sürtünme süresinin de kaynak kalitesini etkileyen önemli parametrelerden olduğu deneysel çalışmalar neticesinde söylenebilir.
- Bütün parametre gruplarına uygulanan çekme deneylerinde, B5 grubuna ait hiçbir numunede kaynak bölgesinden kopma gözlenmemiştir.
- Bütün parametre gruplarına uygulanan çentik darbe deneylerinde, ortalama olarak en yüksek kırılma enerjisi (tokluk), B5 grubunda belirlenmiştir.
- B5 grubuna ait ışık mikroskobu görüntülerinde ITAB ve mekanik yönelmeler ile bu yönelme hatları boyunca karbür teşekkülleri net olarak belirlenmiştir.
- B5 grubuna ait numunede, ölçülen difüzyon bölgesi kalınlığı yaklaşık 350 μm olarak tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Anık, S., 1983, Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul, 259-269.
2. Bahrani, A.S., Crossland, B., 1976, Friction welding, CME, 61-66.
3. Bargel, H.J., Schulze, G., Çev.: Güleç, Ş., Aran, A., 1988, Malzeme Bilgisi 1, MBEAE Matbaası, Gebze, 110-121.
4. Begg, G.H.C., Humphreys, B.A., 1981, Rotational – friction welding, Engineering, Tech. File no 91, 1-4.
5. Bol'shokov, M.V., et al, 1972, The vacuum friction welding of high – melting and high – temperature alloys, Automatic Welding, 60-62.
6. Callester, W.D., 1996, Materials Science and Engineering an Introduction, John Wilay & Sons Inc, U.K.
7. Duffin, F.D., Crossland, B., 1971, Friction welding with sudden release of the fixed component, Advances in welding processes, Solid phase joining processes, proceeding of the conference, The welding Institute, Abington Hall, Cambridge, 25-33.
8. Ellis, C., R.G., 1976, Friction welding : where industry uses it, Welding Design and fab., 78-81.
9. Ganowski, F.N., 1973, Practical considerations for friction welding, Welding Engineering, 40-44.
10. Gooch, T.G., Jones, R.L., Woolin, P., 1996, Welding processes for stainless steels, Sheet Metal Industries n Suppl, 5pp.
11. Ishibashi, A., et al, 1983, Studies on friction welding of carbon and alloy steels, Bulletin of the JSME, 1080-1087.
12. JEOL JSDX-100S Difraktometer Instruction, 1973.
13. JEOL JXA 733 Superprobe Instruction, 1973.
14. Kato, M., Kagaya, C., Kawaguchi, Y., Tokisue, H., 1996, Influence of normalization on impact fracture behavior of friction welded joints, Society of mechanical engineers, V62 n602 p 2236.
15. Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., 1996, Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İ.T.Ü. Kimya –Metalurji Fakültesi.
16. KUKA kaynak makinesi ürün kataloğu, 1990.
17. Kuruzar, D.L., 1979, Joint design for the friction welding process, Welding Journal, 31-35.
18. Lucas, W., 1971, Process parameters and friction welds, Met. Const. and British, Welding Journal, 293-297.
19. Metals Handbook, 1983, Welding and brazing, ASM, Metals Park, Ohio, 557-580, 719-728.
20. Nicholas, E.D., 1983, Radial friction welding, Welding Journal, 17-29.

21. Ochi,H., Ogawa, K., Yamamoto, Y., Hashinaga, S., Suga, Y., Ohnishi,T., 1996, Static strength of friction welded joint of 6061 aluminium alloy to SUS 304 stainless stell, Journal of Japan Institute of Light Metals, V46 n10 p 500-504.
22. Ogawa, K., Yamaguchi, H., Kaga, S., Sakaguchi, K., 1993, Optimization of friction welding condition for S45C carbon stell using a statistical technique, Transactions of the Japan Welding Society, V24 n2 p 47-53.
23. Sahin, A.Z., Yilbas, B.S., Al-Garni, A.Z., 1996, Friction welding of Al-Al, Al-stell, and stell samples, Journal of Materials Engineering and Performance, V5 n1 p 89-99.
24. Tanicheva, O.N., et al, 1989, Nature of the defect "bright ring" forming in friction welding of tool stell, Metarial Science and Heat Treatment, 200-202.
25. Tlbenti, K., Yılmaz, M., Kasım 1989, Farklı takım çeliklerinin katı hal kaynağı, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, İT, 303-314.
26. Tylecote, R.Y., 1968, The solid phase welding of metals, Edward Arnold (Publisher) Ltd., London, 1-150.
27. Vill, V. I., 1962, Friction Welding of Metals, AWS, Newyork.
28. Voinov, V.P., et al, 1972, Fatigue strength of friction – welded joints between steels 20 and 40Kh, Welding Prod., 62-64.
29. Voinov, V.P.,1973, Impact bend strength of friction – welded joints in stell 20 and 40 Kh, Welding Prod., 62-64.
30. Wang, K.K., Lin, W., 1974, Flywheel friction welding research, Welding Journal, 233-241.
31. Welding Handbook, 1980, Resistance and solid state welding and other joining processes, AWS, Miami, 58-76, 239-262.
32. Yılmaz, M., 1993, Farklı takım çeliklerinin sürtünme kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi, Doktora Tezi, Y.T.., 1-55, İstanbul.

