

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FERİT K PASLANMAZ ÇELİKLERİN SÜRTÜNME KARIŞIRMA  
KAYNAK YAPILABİLİRLİĞİNİN ETKİLİYEN  
FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZ  
Mehmet Burak BİLGEN**

**Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği**

**Programı : Konstrüksiyon ve Malzeme**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cemal MERAN**

**İN SAN 2011**

## DOKTORA TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 007012121 nolu öğrencisi Mehmet Burak BİLGİN tarafından hazırlanan “FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YAPILABİLİRLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cemal MERAN (PAÜ)



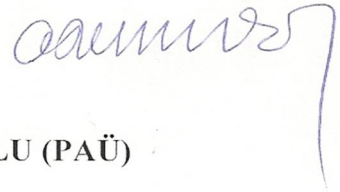
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ (PAÜ)  
(Jüri Başkanı)



Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER (YTÜ)



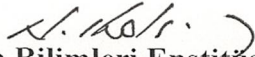
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Adem KURT (GÜ)



Jüri Üyesi: Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU (PAÜ)

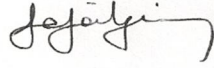


Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 29.04.2011 tarih ve 12/01... sayılı kararıyla onaylanmıştır. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Mehmet Burak BİLGİN

## ÖNSÖZ

Bu çalı mada AISI 430 ferritik paslanmaz çeliklerin klasik ergitme kaynak yöntemleri ile kayna ında kar ıla ılan a ırı tane büyümesi, sigma fazı ( -fazı) oluşumu gibi kaynak mukavemetini olumsuz etkileyen ve çatlamalara neden olan bazı problemlerin yeni bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karı tırma kayna ı yöntemi ile giderilmesine çalı ılmı tır.

Bu tez çalı masında ilk ve herkesten önce yıllardır birlikte geçirebilece im güzel vakitlerinden çalmak zorunda kaldı ım o lum Atahan, kızım Cansu ve e im Emel'e, anneme, babama ve karde lerime, doktora çalı malarım da her türlü desteklerini aldı ım Kara Harp Okulu Teknik Bilimler Bölüm Ba kanı Müh.Alb. Mahmut GÖK ve Müh.Alb. Haluk ÖZKÖK'e, tezimin mimarı danı manım sayın Doç.Dr. Cemal MERAN'a, hem yüksek lisans hem de doktora çalı malarım da danı manlı ını esirgemeyen hocam sayın Prof.Dr.Alper GÜLSÖZ'e, tez izleme komitesi üyesi olarak tecrübe ve yardımlarından ötürü sayın Prof.Dr. Ay egül Akdo an EKER'e ve e leri sayın Prof.Dr. Bülent EKER'e, gayriresmi danı manlı ımı üstlenen sayın Doç.Dr. Olcay Ersel CANYURT'a, tezimin finansal deste ini sa layarak çalı malarımı tamamlamamı sa layan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Ara tırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne, deneyleri yapmam için her türlü laboratuvar, tezgah ve malzemeyi gözü kapalı emanet ederek gerçek bir bilim adamının payla ımcılı ını ispatlayan Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi ö retim üyesi sayın Prof.Dr. Mahmut GÜLES N'e ve kaynak i lemlerinde adeta sa kolum olan teknisyen sayın şeref ALDIRMAZ'a, imalat bölümünün ilgili ö retim üyelerine, metalurji ve malzeme bölümünde her türlü metalografik çalı malar için bölüm imkanlarını sunan sayın Prof.Dr. Mehmet ERDO AN'a ve Prof.Dr. Süleyman TEKEL 'ye, kimyasal da lama solüsyonlarını titizlikle hazırlayan teknisyen smail GEZEN'e, metalurji ve malzeme bölümünde tecrübesinden azami derecede istifade etti im çok de erli karde im smail OVALI'ya, Kara Harp Okulu Teknik Bilimler Bölümünde birlikte görev yaptı ım ve askeri fabrikaların kapısını aralayarak yükümü hafifleten Yük.Müh.Yb. Mustafa ÜSTÜN'e, akademik i lerimde yardıma ko turan Dr.Ö .Alb. Özgür TEKASLAN ve Ziya SÖ ÜT ile Dr.Ö .Yb. smail ERSÖZLÜ'ye, çekme deneylerini yapmamda kolaylık sa layan 5'inci Ana Bakım Merkez Komutanlı ı malzeme test laboratuvarı personeline, SEM ve EDX analizlerinde kendisini bezdirdi imi dü ündü üm zmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Ara tırma Merkezi personeli Gökhan ERDO AN'a, paslanmaz çelik tedarikçisi ve di er kaynak faaliyetlerinde OST M esnafıyla irtibatımı sa layan Tasarım Paslanmaz firmasına ve büyük küçük her türlü katkıda bulunan ancak adını metin içerisinde yer kalmadı ından yazamadı ım herkese te ekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Nisan 2011

Mehmet Burak B LG N

## Ç NDEK LER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>xvi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. G R</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Özeti.....	3
<b>2. GENEL B LG LER</b> .....	<b>19</b>
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM</b> .....	<b>28</b>
3.1 Deney Düzene inin Kurulması.....	28
3.2 Deney Malzemesi ve Boyutları.....	36
3.3 Tahribatlı-Tahribatsız Deney Numuneleri ve Boyutları.....	37
3.4 Karı tırıcı Uç.....	43
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>Hata! Yer i areti tanımlanmamı .</b>
4.1 Ön Deneyler .....	45
4.2 Esas Deneyler.....	50
<b>5. SONUÇLAR</b> .....	<b>109</b>
5.1 Zamana Ba lı Olarak Yük ve Sıcaklık De i imleri.....	109
5.1.1 Farklı devir sayılarında zamana ba lı takım baskı kuvveti ve sıcaklık de i imleri.....	109
5.1.2 Farklı ilerleme hızlarında zamana ba lı takım baskı kuvveti ve sıcaklık de i imleri.....	111
5.1.3 Farklı takım baskı kuvvetlerinde zamana ba lı yük ve sıcaklık de i imleri.....	113
5.1.4 Farklı takım açılarında zamana ba lı takım baskı kuvveti ve sıcaklık de i imleri.....	115
5.2 Kaynaklı Ba lantılara Yapılan Tahribatsız Malzeme Muayeneleri.....	117
5.3 Kaynaklı Ba lantıların Çekme Deneyi ncelemeleri.....	121
5.3.1 Çekme dayanımı üzerine takım devir sayısının etkisi.....	122
5.3.2 Çekme dayanımı üzerine ilerleme hızının etkisi.....	123
5.3.3 Çekme dayanımı üzerine takım baskı kuvvetinin etkisi.....	125
5.3.4 Çekme dayanımı üzerine takım açısının etkisi.....	<b>Hata! Yer i areti tanımlanmamı .</b>
5.3.5 Çekme deneyi sonucu olu an kırık yüzeyin incelenmesi.....	128
5.4 Kaynaklı Ba lantıların Çentik Darbe Deneyi ncelemeleri.....	131
5.4.1 Çentik darbe enerjisi üzerine takım devir sayısının etkisi.....	131
5.4.2 Çentik darbe enerjisi üzerine ilerleme hızının etkisi.....	132
5.4.3 Çentik darbe enerjisi üzerine takım baskı kuvvetinin etkisi.....	134
5.4.4 Çentik darbe enerjisi üzerine takım açısının etkisi.....	135
5.4.5 Çentik darbe deneyi sonucu olu an kırık yüzeyin incelenmesi.....	137
5.5 Kaynaklı Ba lantıların çyapı ve Mikrosertlik ncelemeleri.....	140
5.5.1 Kaynaklı ba lantıların içyapı incelemeleri.....	140
5.5.2 Kaynaklı ba lantıların mikrosertlik incelemeleri.....	148

5.5.2.1 Takım devir sayısının mikrosertli e etkisi .....	148
5.5.2.2 lerleme hızının mikrosertli e etkisi .....	150
5.5.2.3 Takım baskı kuvvetinin mikrosertli e etkisi .....	150
5.5.2.4 Takım açısının mikrosertli e etkisi.....	151
5.6 SKK Yönteminin Klasik Ergitme Kaynak Yöntemleri olan WIG ve MIG Yöntemleri ile Kar ıla tırılması.....	152
5.6.1 Tane boyutu konusunda SKK yönteminin WIG ve MIG yöntemleri ile kar ıla tırılması.....	153
5.6.2 Sigma fazı ( -faz) olu umu konusunda SKK yönteminin WIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kar ıla tırılması .....	156
5.6.3 Kaynak i lem süresi konusunda SKK yönteminin TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kar ıla tırılması .....	156
5.6.4 Maliyet konusunda SKK yönteminin TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kar ıla tırılması.....	157
<b>6. TARTI MA VE ÖNER LER.....</b>	<b>158</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>159</b>
<b>ÖZGEÇM .....</b>	<b>163</b>

## **KISALTMALAR**

<b>EDX</b>	: Energy dispersive X-ray spectroscopy (Enerji açılımlı X ışını spektrometresi)
<b>FSW</b>	: Friction Stir Welding (Sürtünme Karı tırma Kaynağı)
<b>ITAB</b>	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
<b>MIG</b>	: Metal Inert Gas
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
<b>SKK</b>	: Sürtünme Karı tırma Kaynağı
<b>PCBN</b>	: Polycrystalline Cubic Boron Nitride (Çok kristalli kübik bor nitrid)
<b>WIG</b>	: Wolfram Inert Gas

## TABLO LİSTESİ

### Tablolar

<b>3.1</b> : AISI 430'un kimyasal bileşimi (%).....	36
<b>3.2</b> : AISI 430'un oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri .....	36
<b>4.1</b> : Ön deneylerde çalışılan parametreler.....	46
<b>4.2</b> : Esas deneylerde çalışılan parametreler .....	50
<b>4.3</b> : Her bir esas deneyde kullanılan parametreler.....	51
<b>5.1</b> : Farklı takım devir sayılarının incelendiği deneyler .....	110
<b>5.2</b> : Farklı ilerleme hızlarının incelendiği deneyler.....	112
<b>5.3</b> : Farklı takım baskı kuvvetlerinin incelendiği deneyler.....	114
<b>5.4</b> : Farklı takım açılarının incelendiği deneyler.....	116
<b>5.5</b> : Deney sonuçları .....	121
<b>5.6</b> : Farklı takım devir sayılarında elde edilen çekme dayanım değerleri .....	122
<b>5.7</b> : Farklı ilerleme hızlarında elde edilen çekme dayanım değerleri.....	124
<b>5.8</b> : Farklı takım baskı kuvvetlerinde elde edilen çekme dayanım değerleri...	125
<b>5.9</b> : Farklı takım açılarında elde edilen çekme dayanım değerleri.....	127
<b>5.10</b> : Farklı devir sayılarında elde edilen çentik darbe enerjisi değerleri .....	131
<b>5.11</b> : Farklı ilerleme hızlarında elde edilen çentik darbe enerjisi değerleri.....	133
<b>5.12</b> : Farklı takım baskı kuvvetlerinde elde edilen çentik darbe enerjisi değerleri .....	134
<b>5.13</b> : Farklı takım açılarında elde edilen çentik darbe enerjisi değerleri.....	136



## EK L L STES

### ekiller

<b>2.1</b> : Sürtünme karı tırma kayna nın ematik gösterimi. ....	19
<b>2.2</b> : SKK a amaları; takıma ilk dönü ün verilmesi (a), takımın malzemeye daldırılması (b), takım omuzunun plakaları ön ısıtması (c), yeterli ön ısıtma sonrası takıma ilerleme verilmesi (d) .....	20
<b>2.3</b> : Karı tırıcı takım omzunun dönerek levhalara sürtünmeye ba laması. ....	21
<b>2.4</b> : Karı tırıcı takım omzunun istenilen baskı kuvvetinde istikrarlı olarak levhalara sürtünmeye devam etmesi .....	22
<b>2.5</b> : Takım omzunun sıcaklık etkisiyle kızarmaya ba laması. ....	22
<b>2.6</b> : Karı tırıcı takımın yeterli derecede kızarması.....	23
<b>2.7</b> : Karı tırıcı takıma ilerleme verilmesi.....	23
<b>2.8</b> : Aynı takım baskı kuvvetinde ilerleyen kaynak görünümü.....	24
<b>2.9</b> : Kayna ın sonuna yakla ılması. ....	24
<b>2.10</b> : Kaynaklı bir levhaya ait üst görünüm.....	25
<b>2.11</b> : Karı tırıcı uç saat istikametinin tersi yönünde dönerek ilerlerken (a), makro resim üzerinde (b) ilerleme tarafı ( T) ve y1 ma tarafının (YT) gösterilmesi.....	26
<b>3.1</b> : TAKSAN FU 400x1600 V/2 dik ba lı freze. ....	29
<b>3.2</b> : Yük hücrelerini frezeye ba layan alt tabla.....	29
<b>3.3</b> : Yük hücrelerinin üzerine konan ara tabla .....	30
<b>3.4</b> : Üzerinde ısı ölçme kanalları bulunan ana tabla.....	30
<b>3.5</b> : Numuneleri tablaya sabitlemede kullanılan tabla.....	31
<b>3.6</b> : CAS marka 5 tonluk yük hücresi (loadcell) .....	31
<b>3.7</b> : CAS marka yük hücresi indikatörü.....	31
<b>3.8</b> : Alt tablanın frezeye sabitlenmesi.....	32
<b>3.9</b> : Yük hücrelerinin alt tablaya sabitlenmesi .....	32
<b>3.10</b> : Yük hücrelerinin üzerine konulan pullar.....	32
<b>3.11</b> : Yük hücrelerinin ara tabladan sabitlenmesi .....	33
<b>3.12</b> : Tablalara sabitlenen yük hücrelerinin yandan görünümü .....	33
<b>3.13</b> : TESTO marka sıcaklık ölçüm cihazı .....	34
<b>3.14</b> : Kanallara yerle tirilen termo-elemanlar .....	35
<b>3.15</b> : Deney düzene i.....	35
<b>3.16</b> : Deney numunesi plakaları .....	35
<b>3.17</b> : Deney numunesi boyutları.....	37
<b>3.18</b> : Çekme deneyi numunesi ve boyutları.....	37
<b>3.19</b> : Çentik Darbe deneyi numunesi ve boyutları .....	38
<b>3.20</b> : Mikroyapı ve SEM numunesi.....	38
<b>3.21</b> : Çekme deneylerinin yapıldı ı Zwick-Roell marka deney cihazı .....	39
<b>3.22</b> : Lazer kesim ile hazırlanmı çekme deney numuneleri ve deney sonrası numunelerin görünümleri.....	39
<b>3.23</b> : Instron Wolpert PW30 çentik darbe deney cihazı ve deney sonrası numunelerin görünümleri.....	40

<b>3.24:</b> Bakalite alınımı numuneler .....	40
<b>3.25:</b> Numunelerin zımparalanmasında kullanılan Metkon marka sulu zımpara makinesi .....	41
<b>3.26:</b> Numunelerin parlatılmasında kullanılan Metkon marka parlatma makinesi .....	41
<b>3.27:</b> Makroyapı incelemede kullanılan Nikon SMZ 1500 marka stereo mikroskop.....	42
<b>3.28:</b> Mikroyapı incelemede kullanılan Leica marka 1 ık mikroskobu .....	42
<b>3.29:</b> Shimadzu HVM mikrosertlik ölçme cihazı.....	43
<b>3.30 :</b> K10F ( %94 WC ve %6 Co ala ımı) karı tırıcı uç .....	44
<b>3.31 :</b> K10F karı tırıcı ucun boyutları.....	44
<b>4.1 :</b> 450 min <sup>-1</sup> , 50 mm/min, 1 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c), kök kısmı (d) ve kaynak sonrası karı tırıcı ucun görünümü (e) .....	47
<b>4.2 :</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	49
<b>4.3 :</b> 900 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	52
<b>4.4 :</b> 900 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 4.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	53
<b>4.5 :</b> 900 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	54
<b>4.6 :</b> 900 min <sup>-1</sup> , 100 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	55
<b>4.7 :</b> 900 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	56
<b>4.8 :</b> 900 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 4.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	57
<b>4.9 :</b> 900 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 5.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	59
<b>4.10:</b> 900 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 3 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	60
<b>4.11:</b> 900 min <sup>-1</sup> , 100 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	61
<b>4.12:</b> 900 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 5.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	62

<b>4.13:</b> 900 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	64
<b>4.14:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	65
<b>4.15:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	66
<b>4.16:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 3 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	67
<b>4.17:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 4.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	68
<b>4.18:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 4.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	69
<b>4.19:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 5.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	70
<b>4.20:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 5.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	71
<b>4.21:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 100 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	73
<b>4.22:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 100 mm/min, 5.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	74
<b>4.23:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	75
<b>4.24:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 5.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	77
<b>4.25:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 100 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	78
<b>4.26:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	79
<b>4.27:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 7.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	80
<b>4.28:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 160 mm/min, 2.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	81

<b>4.29:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 160 mm/min, 3 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	82
<b>4.30:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 160 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	83
<b>4.31:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 200 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	84
<b>4.32:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 2 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	85
<b>4.33:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 2.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	86
<b>4.34:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 1 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	88
<b>4.35:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 1.5 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	89
<b>4.36:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 2.5 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	90
<b>4.37:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 3.5 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	91
<b>4.38:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 4 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	92
<b>4.39:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 5 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	93
<b>4.40:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 4.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	94
<b>4.41:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 5.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	95
<b>4.42:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	96
<b>4.43:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	97
<b>4.44:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3.5 kN, 3 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	98

<b>4.45:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 100 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	99
<b>4.46:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 100 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	100
<b>4.47:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	101
<b>4.48:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 2 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	102
<b>4.49:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 200 mm/min, 2.5 kN, 0 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	103
<b>4.50:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 200 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	104
<b>4.51:</b> 1400 min <sup>-1</sup> , 200 mm/min, 4.5 kN, 0 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	105
<b>4.52:</b> 560 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	106
<b>4.53:</b> 710 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık (b) de i mi ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü .....	107
<b>5.1:</b> Farklı devir sayılarında takım baskı kuvvetinin zamana bağımlı de i mi....	110
<b>5.2:</b> Farklı takım devir sayılarında sıcaklı ın zamana bağımlı de i mi .....	111
<b>5.3:</b> Farklı ilerleme hızlarında takım baskı kuvvetinin zamana bağımlı de i mi	112
<b>5.4:</b> Farklı ilerleme hızlarında sıcaklı ın zamana bağımlı de i mi.....	113
<b>5.5:</b> Farklı takım baskı kuvvetlerinin zamana bağımlı yük de i mi.....	114
<b>5.6:</b> Farklı takım baskı kuvvetlerinde sıcaklı ın zamana bağımlı de i mi .....	115
<b>5.7:</b> Farklı açılarda takım baskı kuvvetinin zamana bağımlı de i mi .....	116
<b>5.8:</b> Farklı açılarda sıcaklı ın zamana bağımlı de i mi.....	117
<b>5.9:</b> Radyografik inceleme yapmak amacıyla çekilen örnek bir numuneye ait röntgen filmi (1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, ve 1.5 ) .....	118
<b>5.10:</b> Radyografik inceleme raporu .....	119
<b>5.11:</b> Takım devir sayısına bağımlı olarak çekme dayanımı de i mi .....	123
<b>5.12:</b> ilerleme hızına bağımlı olarak çekme dayanımı de i mi.....	124
<b>5.13:</b> Takım baskı kuvvetine bağımlı olarak çekme dayanımı de i mi .....	126
<b>5.14:</b> Takım açısına bağımlı olarak çekme dayanımı de i mi .....	127
<b>5.15:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 parametrelerindeki numunenin çekme deneyi sonucu kırılma makro ve SEM görüntüleri (a-g) .....	129
<b>5.16:</b> 900 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 parametrelerindeki numunenin çekme deneyi sonucu kırılma makro ve SEM görüntüleri (a-g) .....	130
<b>5.17:</b> Takım devir sayısına bağımlı olarak çentik darbe enerjisi de i mi.....	132
<b>5.18:</b> ilerleme hızına bağımlı olarak çentik darbe enerjisi de i mi.....	133
<b>5.19:</b> Takım baskı kuvvetine bağımlı olarak çentik darbe enerjisi de i mi.....	135

<b>5.20:</b> Takım açısına ba lı olarak çentik darbe enerjisi de i imi .....	136
<b>5.21:</b> 1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3.5 kN, 0 parametrelerindeki numunenin çentik darbe deneyi sonucu kırılmasının makro ve SEM görüntüleri (a-g).	138
<b>5.22:</b> 900 min <sup>-1</sup> , 160 mm/min, 3.5 kN, 0 parametrelerindeki numunenin çentik darbe deneyi sonucu kırılmasının makro ve SEM görüntüleri (a-g).	139
<b>5.23:</b> Taneboyunun esas malzemeden (a), ITAB (b) ve karışım bölgesine (c) geçerken gittikçe azalması.....	140
<b>5.24:</b> 101 no'lu deney (900 min <sup>-1</sup> , 80 mm/min, 3,5 kN, 0 ) numunesine ait esas malzeme (a), ITAB (b) ve kaynak bölgesi (c) makro ve mikro içyapıları.....	141
<b>5.25:</b> Esas malzemenin EDX analizi.....	142
<b>5.26:</b> 105 numaralı deney (900 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3,5 kN, 0 ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizi .....	142
<b>5.27:</b> 105 numaralı deney (900 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3,5 kN, 0 ) numunesine ait kaynak bölgesinin EDX analizi .....	143
<b>5.28:</b> 213 numaralı deney (1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3,5 kN, 2 ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizi .....	143
<b>5.29:</b> 213 numaralı deney (1120 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3,5 kN, 2 ) numunesine ait kaynak bölgesinin EDX analizi .....	144
<b>5.30:</b> 306 numaralı deney (1400 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3,5 kN, 0 ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizi .....	144
<b>5.31:</b> 306 numaralı deney (1400 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3,5 kN, 0 ) numunesine ait kaynak bölgesinin EDX analizi .....	145
<b>5.32:</b> 306 numaralı deney (1400 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3,5 kN, 0 ) numunesine ait tane sınırında görülen yükseltinin EDX analizi.....	145
<b>5.33:</b> 306 numaralı deney (1400 min <sup>-1</sup> , 125 mm/min, 3,5 kN, 0 ) numunesine ait tane üzerinde görülen matris yapının EDX analizi .....	146
<b>5.34:</b> Mikroyapıda görülen siyah noktalar .....	147
<b>5.35:</b> Mikroyapıda görülen siyah noktaların SEM görüntüleri .....	147
<b>5.36:</b> Bir numune için yapılan örnek mikrosertlik incelemesi .....	148
<b>5.37:</b> Farklı takım devir sayılarında mikrosertlik de erinin de i imi .....	149
<b>5.38:</b> Farklı ilerleme hızlarında mikrosertlik de erinin de i imi.....	150
<b>5.39:</b> Farklı takım baskı kuvvetlerinde mikrosertlik de erinin de i imi.....	151
<b>5.40:</b> Farklı takım açılarının mikrosertlik de erinin de i imi.....	152
<b>5.41:</b> WIG kaynağı ile kaynak edilen deney numunesine ait esas malzeme (a), kaynak bölgesi (b) ve ITAB (c) makro ve mikro içyapıları.....	153
<b>5.42:</b> WIG kaynağı ile kaynak edilen deney numunesine ait esas malzeme, kaynak bölgesi ve ITAB'deki tane boyutlarının görünümü.....	154
<b>5.43:</b> MIG kaynağı ile kaynak edilen deney numunesine ait esas malzeme (a), kaynak bölgesi (b) ve ITAB (c) makro ve mikro içyapıları.....	155
<b>5.44:</b> MIG kaynağı ile kaynak edilen deney numunesine ait esas malzeme, kaynak bölgesi ve ITAB'deki tane boyutlarının görünümü.....	155

## **SEMBO L STES**

-faz      Sigma fazı

## ÖZET

### **FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN SÜRTÜNME KARŞI TIRMA KAYNAK YAPILABİLİRLİĞİNİN ETKİLEYEN FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ**

Sürtünme karşı tırma kaynağı (SKK) bir katı hal birleştirme işlemidir. SKK’da dönen bir silindirik takımın ucu kaynaklanacak levhalara dalar, takım omzu parça yüzeylerine sürtünerek parçaları ısıtır, ısınma sonucu takım omzu altında kalan metal yumuşar ve takıma ilerleme hareketi verilmesiyle birlikte takım ucu hamurumsu metali karıştırarak kaynak gerçekleştirir. SKK yönteminde kaynak bölgesinde meydana gelen sıcaklık, malzemenin ergime sıcaklığından çok daha düşüktür.

Klasik ergitme kaynak metodları ile ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında birtakım problemler mevcuttur. Klasik ergitme kaynak yöntemleriyle yapılan kaynak esnasında karlılaşma en yaygın problem olarak tane büyümesidir. Ergitme kaynağında kaynak bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB)’da kaba tane problemi ile karşılaşmakta ve bu nedenle düşük dayanım ortaya çıkmaktadır.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağındaki diğer önemli bir problem ise  $\sigma$ -fazı (sigma-fazı) oluşumudur. Paslanmaz çelikler belirli bir süre boyunca 650-850 C sıcaklığa maruz bırakıldıklarında  $\sigma$ -faz gibi istenmeyen birtakım metallere fazlar oluşabilmektedir.  $\sigma$ -fazı yaklaşık 700-800 HV gibi yüksek bir sertliğe sahip gevrek bir yapıdır.  $\sigma$ -fazı, mekanik özelliklere olumsuz etkisi ve korozyon dayanımını kötüleştirmesinden dolayı paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliğini açısından ortaya çıkan ikincil fazlar arasında en tehlikelidir.

Tez çalışması kapsamında AISI 430 (X6Cr17, malzeme numarası 1.4016) ferritik paslanmaz çeliklerin sürtünme karşı tırma kaynağı ile kaynak edilebilirliğini etkileyen faktörler incelenmiştir. 3x100x200 mm uzunluğuna sahip iki adet levha alın kaynağı ile birleştirilmiştir. Sürtünme karşı tırma kaynağını etkileyen parametreler olarak takım devir sayısı, ilerleme hızı, takım baskı kuvveti ve takım açısı olmak üzere dört parametre incelenmiştir. Deneylerde diğer üç parametre sabit tutularak sırasıyla her bir parametre değiştiler ve kaynak üzerindeki etkileri incelenmiştir. Takım malzemesi olarak kenar üçgen uç profiline sahip sert metal karbür (WC-Co, K10 olarak tanımlanan sert metal) kullanılmıştır.

Sürtünme karşı tırma kaynağında ulaşılan sıcaklıkların geleneksel yöntemlere göre çok daha düşük olmasından dolayı yukarıda sözü edilen tane büyümesi ve  $\sigma$ -faz oluşumlarının önlenmesi öngörülmektedir.



## **SUMMARY**

### **THE RESEARCH OF THE FACTORS AFFECTING THE FRICTION STIR WELDABILITY OF FERRITIC STAINLESS STEELS**

Friction stir welding is a new solid state joining process. In a typical FSW a rotating cylindrical pin tool is forced to plunge into the plates to be welded and moved along their contact line. During this operation heat is produced by friction between tool and workpiece. The material is stirred by tool and forced to flow to other side. Because of the highest temperature is lower than the melting temperature of the material, FSW yields fine microstructure.

There are several problems about welding of ferritic stainless steels with classic methods. One of the problems is about excessive grain growth. It is possible to have the problem of coarse grains in the weld zone and heat-affected zone of fusion welds and consequent low toughness and ductility due to the absence of phase transformation during which grain refinement can occur.

Another problem in welding of ferritic stainless steels is about formation of  $\sigma$ -phase (sigma-phase). Several undesirable intermetallic phases such as  $\sigma$ -phase may occur when stainless steels are exposed to 650-850 C for a period of time.  $\sigma$ -phase has a great hardness, approximately 700-800 HV, and a tough structure. The  $\sigma$ -phase is the most serious of these secondary phases due to its impact on the mechanical properties, corrosion resistance or weldability of stainless steels among other properties.

In this study, the effects of tool rotational speed and traverse speed on welding of AISI 430 (X6Cr17, material number 1.4016) ferritic stainless steels by friction stir welding method are examined. Two specimens with dimension of 3x100 x200 mm were joined in butt position. Four parameters about Friction Stir Welding were investigated which are tool rotational speed, traverse speed, tool pressure strength and tool angle. Only one parameter was changed and searched the effect on welding while others were kept constant during the experiments. Hard metal carbide (WC-Co hard metal identified as K10) with equilateral triangle tip profile was used as the tool material.

$\sigma$ -phase formation and grain growth mentioned above must be avoided because FSW can reach much lower temperatures than traditional methods.

## **1. G R**

Tüm sektörlerde olduğu gibi makine imalat sektöründe de rekabet edebilmek için en az maliyetle ürünü ortaya çıkarmak önem verilmesi gereken konulardan biridir. Üzerinde çok fazla de i iklik yapılamayan i çilik ve hammadde maliyetlerinin yanı sıra sürtünme karı tırma kayna ı (SKK) ile farklı yöntemlere göre di er imalat maliyetlerinde (elektrik, gaz, su, elektrot, dolgu malzemesi v.b.) büyük avantaj sağlanacağından rekabet gücünün artması beklenmektedir. Ayrıca sürtünme karı tırma kayna ının gerçekleştirilme prensibi gere i paslanmaz çeliklerde çıkması dü ünülen kaynak esnasındaki ve kaynak sonrasındaki problemlerin de bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulanması ile ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Yöntemin ferritik paslanmaz çeliklere başarılı bir şekilde uygulanması ile ürün maliyetinin düşmesi, ürün kalitesinin artması ve sonuçta ülke ekonomisine katkı sağlanması beklenmektedir.

### **1.1 Tezin Amacı**

Bu çalışmanın amacı birçok sektörde yaygın olarak kullanılan ferritik paslanmaz çelikleri, sürtünme karı tırma kayna ı ile hem mekanik özellikler hem de dış görünüm bakımından başarılı bir şekilde birleştirebilmektir. Bu amaçla kaynak yapılabirlik üzerinde etkili olduğu dü ünülen parametreleri sistematik bir şekilde deneyerek, uygun kaynak parametrelerini tespit edebilmektir.

malat sanayinde kullanılan 3 mm kalınlıktaki ferritik paslanmaz çelikler bir freze tezgahı kullanılarak sürtünme karı tırma kayna ı ile birleştirilmeye çalışılmı tır. Birleştirme esnasında, literatür ara tırmalarında belirtilen ve kaynak yapılabirlik üzerine büyük etkisi olduğu bilinen faktörler (takım malzemesi, uç profili, omuz profili, baskı kuvveti, takım devir sayısı, ilerleme hızı, takım açısı, ön ısıtma süresi, kaynak bölgesi sıcaklığı, koruyucu gaz) üzerinde durularak, her bir faktörün kaynağa en uygun değeri belirlenerek optimum kaynak diki i elde edilmeye çalışılmı tır.

Literatür çalı malarında tespit edildi i üzere paslanmaz çeliklerin sürtünme karı tırma kayna ında bugüne kadar a ırlıklı olarak ostenitik paslanmaz çeliklerin özellikle de 304 paslanmaz çelik grubunun üzerinde çalı malar yapıldı ı görülmektedir. Bu çalı maların ostenitik paslanmaz çeliklere yönelik olmasının temelinde sanayide en çok kullanım alanının ostenitik paslanmaz çeliklere ait olmasından dolayı gerçeikle tirildi i de erlendirilmektedir. Ancak önümüzdeki yıllarda ferritik paslanmaz çeliklerin hızla ostenitik paslanmaz çeliklerin yerini alaca ı görülmektedir. Çünkü ferritik paslanmaz çelikler pahalı bir ala ım olan nikel içermedi inden ostenitiklere göre daha ucuzdurlar. Ferritik paslanmaz çelikler iyi ekillendirme ve süneklik özellikleri ile birlikte daha iyi korozyon dayanımına sahiptirler. Manyetikli e ve dü ük ısı genle meye sahiptirler.

Ferritik paslanmaz çeliklerin hali hazırda bazı kullanım alanlarını sıralayacak olursak;

Hırdavat-pencere mente eleri ve tespit elemanları, oluk, baca kanalı, çatı yapısı, bina, üst geçit için gürültü emici levha, köprü yapı çeli i i leri, tünel iç duvarı, platform perde kapısı, enerji santrali, bina cephe giydirmesi, yürüyen merdiven basamakları, asansör panelleri, çatı, sokak lambası dire i, posta kutuları, fırın, gazlı piirme ekipmanları, kahve servis makinesi, ısıtmalı ürün vitrini, tost makinesi, mikrodalga fırın, set üstü ocak, buzdolabı, lokanta servis arabası, kahve makinesi, endüksiyonlu piirme araçları, düdüklü tencere, tavalar, bula ık makinesi, mikser, elektrikli su ısıtıcısı, raflar, çöp tenekesi, merdiven trabzanları, mutfak davlumbazı, buzdolabı, dondurucu, çama ır makinesi tamburu, çatal-bıçak-ka ık, sıvı tankı, brulör, kazan iç borusu, kazan, sıcak su tankı, besleme suyu ısıtıcısı kaynaklı boruları, güne su ısıtıcısı, ısı esanjör boruları, egzoz, karoser, konteyner, kömür vagonu, tramvay ekinde belirtilebilir.

Görülece i üzere aslında ferritik paslanmaz çeliklerin günlük hayatımızın her alanında ne kadar çok alan i gal etti i ve kullanım alanının ileride daha da artaca ı açıktır. Ancak ferritik paslanmaz çeliklerin genel kullanım alanları ile sayılan avantajları yanında geleneksel (ergitme) kaynak yöntemleri ile kayna ında birtakım problemler mevcuttur. Geleneksel yöntemlerle yapılan kaynak esnasında kar ıla ılan en yaygın problem a ır tane büyümesidir (Pickering, 1976). Ergitme kayna ında

kaynak bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB)'da a ırı tane büyümesi problemi ile kar ıla ılmakta ve bu nedenle dü ük dayanım ortaya çıkmaktadır (Kou, 1987). A ırı tane büyümesinin kaynak bölgesine dü ük ısı girdisi ile veya B, Al, V ve Zr gibi nitrür ve karbür yapıcıların ferritik paslanmaz çeliklere eklenmesi ile engellenebilece i önerilmektedir (Folkhard, 1988).

Ferritik paslanmaz çeliklerin kayna ındaki di er önemli bir problem ise -fazı (sigma-fazı) olu umudur. Paslanmaz çelikler belirli bir süre boyunca 650-850 C sıcaklı a maruz bırakıldıklarında -fazı gibi istenmeyen birtakım metallerearası fazlar olu abilmektedir (Smith, 1950). -fazı yakla ık 700-800 HV gibi yüksek bir sertli e sahip gevrek bir yapıdır. -fazı, mekanik özelliklere olumsuz etkisi ve korozyon dayanımını kötüle tirmesinden dolayı paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirli i açısından ortaya çıkan ikincil fazlar arasında en tehlikelidir. Geleneksel yöntemlerle yapılan kaynaklarda, -fazı önlemek için, paslanmaz çeliklerin 400 C sıcaklı ın üzerinde ön ısıtmaya tabi tutulması veya kaynak sonrasında derhal so utma i lemine tabi tutulması önerilmektedir (ASM, 1993).

Sürtünme karı tırma kayna ında ula ılan sıcaklıkların geleneksel yöntemlere göre çok daha dü ük olmasından dolayı yukarıda açıklanan klasik ergitme kaynak yöntemlerinde kar ıla ılan a ırı tane büyümesi ve -fazı gibi istenmeyen olu umlarının önlenece i öngörülmektedir.

## **1.2 Literatür Özeti**

Thomas (1999) yapımı oldu u çalı mada 12 mm kalınlıkta %12 krom ihtiva eden dü ük karbonlu çeliklerin sürtünme karı tırma kayna ı ile çift taraflı olarak, kaynak takımını de i tirmeden 4 metre uzunlu a kadar ba arılı bir ekilde kaynak etmi tir. Kayna ın yapısal ve mekanik özelliklerinin ana metale yakın oldu unu ve bunun di er kaynak yöntemlerine emsal te kil edece ini ileri sürmü tür.

Çam (2003) yapımı oldu u çalı mada farklı türde iki malzeme olan 6013-T4 alüminyum ala ımı ile X5CrNi18-10 paslanmaz çeli in ba arılı bir ekilde sürtünme karı tırma kayna ı ile birle tirilebildi ini vurgulamı tır.

Lienert ve di . (2003) 6,35 mm kalınlı ındaki AISI 1018 çeli in 0,42-1,68 mm/s ilerleme hızlarında ve 450-650 min<sup>-1</sup> devir sayılarında kaynak edilebilirli ini incelemi tir. Çalı mada wolfram ve molibden ala ımlı takımlar kullanılmı tir. Yapılan denemelerde kaynak metalinin ve takımın ula tı ı sıcaklık de eri 990°C, kaynak merkezinin ula tı ı sıcaklık de eri ise yakla ık 1100°C -1200°C ölçülmü tür. Kaynak sırasında takımın kızıl turuncu renge ula tı ını belirlemi lerdir. Takım üzerindeki a ınma izlenmi ve en büyük a ınmanın ilk dalı esnasında yük altında tam ısınmama so uk metalin hareketi sırasında olu tu u belirtilmi tir. Takım a ınmasının önüne, ön ısıtma, dü ük dalı de eri, ön delik uygulamaları ile geçilece i belirtilmi tir. Takım sıcaklı ı 180 saniyelik dalma periyodunun sonunda sabit bir sıcaklıkta kalmı , ilerleme ile birlikte sıcaklı ı artmı tir.

Park ve di . (2003) 6 mm kalınlı ında AISI 304L kalitesindeki paslanmaz çeli in 550 min<sup>-1</sup> devir sayısı ve 1,3 mm/s ilerleme hızı, 3,5° dalma açısı ile kayna ını gerçekte tirmi lerdir. Bu kaynak yönteminde PBCN takım kullanılmı tir. Bu çalı ma ile kaynak diki inin mikroyapısı ve sigma fazı olu umu incelenmi tir. Çalı ma sonucunda paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesindeki içyapının alüminyumda elde edilen yapıya benzedi i gözlemlenmi tir. Kaynak merkezinden pimin ayrılı kısmında sigma fazı olu umuna rastlanmamı tir.

Reynolds ve di . (2003) çalı malarında 3,2 mm kalınlı ındaki 304 kalitesindeki paslanmaz çeli i, wolfram ala ımlı, 19 mm omuz çapına sahip takımla 1,7 mm/s ilerleme hızında 300 ve 500 min<sup>-1</sup> dönü hızlarında elde edilen kaynak yapısını kar ıla tırmalı olarak incelenmi tir. Dü ük devir sayısı ile yapılan kayna ın -ilerleme sabit- mm ba ına ısı girdisinin daha dü ük oldu u bulunmu tur. Isı girdisinin dü üklü ü beraberinde dü ük sıcaklıkta kaynak, kaynak merkezinde daha küçük tanecikli yapı elde edilmesine neden olmu tur. Uygulamalarda taneler daha küçüktür, çekme dayanımı daha yüksektir. Kaynaklı parçanın artık gerilmesinin ergitme kayna ında ula ılan gerilmelere e de er oldu u tespit edilmi tir.

Zhu ve Chao (2004), 304L paslanmaz çeli in sürtünme kar ıtırma kayna ı ile kayna ındaki geçici sıcaklık ve artık gerilmelerin nümerik simülasyonu üzerine ara tırma yapmı lardır. Prosesten kaynaklanan bilinmeyen ısı enerji giri lerinin

tespitinde termal analize dayalı ters analiz metotları kullanmanın etkili oldu unu belirtmi lerdir. 300 min<sup>-1</sup> devir hızı ile 500 min<sup>-1</sup> devir hızı arasında aynı bölgedeki sıcaklık farkının 100°C'den daha az oldu unu ve simülasyon sırasında maksimum sıcaklı ın 900-1000 °C civarında oldu unu bunun da 304L paslanmaz çeli inin ergime sıcaklı ı olan 1450 °C'tan dü ük oldu unu tespit etmi lerdir. Her iki farklı dönme hızındaki artık gerilmelerin arasında küçük bir fark oldu unu gözlemleni lerdir.

Boz ve Kurt (2004) yapımı oldukları çalı mada sürtünme karı tırma kayna ında uç formunun kaynaklı ba lantının mekanik özelliklerine etkilerini incelemi lerdir. En iyi mekanik özellikleri kare uçlu takımlarda elde etmi lerdir. Deney numuneleri incelendi inde kare uçlu takım ile yapılan deneme hariç di er denemelerde kırılan bölgelerin ana metal bölgesinde oldu unu tespit etmi lerdir. Ayrıca numuneler ve ba lama aparatı arasında yalıtkan malzemeler (seramik v.b.) kullanılmı lar ve olumlu sonuç almı larıdır.

Song ve Kovacevic (2004) yapımı oldukları çalı mada sürtünme karı tırma kayna ı ile Al 6016 ile AISI 1018 çeli inin katı hal ve birle tirme etkilerini incelemi lerdir. Kaynak bölgesinde Al<sub>13</sub>Fe<sub>4</sub> ve Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub> iç metalik fazlarını tespit etmi lerdir. Takımın 917 min<sup>-1</sup>'de ilerlerken 100 mm sonra a narak kırıldı nı gözlemleni lerdir. Takım kırılmasını, Al6016 ile AISI 1018 çeli inin heterojen iç yapısını akustik emisyon sensörü ile incelemi lerdir.

Kimapogon ve di . (2004) sürtünme karı tırma kayna ı özelliklerine takım pim ucu çapı ve uzunlu unun etkisini çalı mı larıdır. Yapımı oldukları çalı malarda en iyi dayanımı sahip di ki leri, pimin tabandan 0,2 mm mesafede oldu u pim uzunlu unda elde etmi lerdir. Yapılan çalı malarda pim çapının minimum seçilmesi gerekti ini ve en iyi sonuçların pimin çapının 2-4 mm oldu u denemelerde elde etmi lerdir.

Sorensen (2004) yaptı ı bir çalı mada yüksek ergime sıcaklı ına sahip malzemelerin sürtünme karı tırma kayna ı sırasında tezgahın yataklarının maruz kalaca ı yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilenmesini önlemek için so utmalı tutucular

kullanılabilece ini belirtmi ve bu amaçla Tecnara firması tarafından geli tirilen bir tutucuyu çalı malarında kullanarak olumlu sonuçlar aldı nı belirtmi tir. Ayrıca bu tutucu ile kaynak bölgesine korozyon direncini arttırmak için koruyucu gaz akı ı da sa lanabilece ini belirtmi tir.

Sterling ve di . (2004) çalı malarında 6 mm kalınlı ındaki AISI 304 kalite paslanmaz çeli i 15 mm çapında omuza, 2 mm pim uzunlu una sahip PBCN takımı yardımıyla 800-900-1000-1100 min<sup>-1</sup> dönü , 50-75-100-130 mm/min ilerleme hızlarında kaynak yapılabilirli ini incelenmi ler ve uygulama parametrelerini tespit etmi lerdir. Bununla birlikte PCBN takımların çok dü ük a ınmaya u raması göz önüne alınarak bu yöntem için en uygun takım malzemesi oldu u belirlenmi tir.

Odaba (2004) yapımı oldukları çalı mada ostenitik paslanmaz çeliklerin kayna ında ba lıca üç kaynak problemi ile kar ıla ıldı nı tespit etmi lerdir. Bunlar sırası ile ısının etkisi altında kalan bölgede "krom karbür" olu ması sonucu meydana gelen hassas yapı, kaynak diki inde görülen "sıcak çatlak" olu umu ve yüksek çalı ma sıcaklıklarında kar ıla ılan "sigma fazı" olu umudur.

Ozekcin ve di . (2004), 550 min<sup>-1</sup> ve 4 inç/min ilerleme hızında kaynak edilen 20 mm kalınlıktaki X80 karbon çeli i ile 8 mm kalınlıktaki L80 karbon çeli inin mikro yapısal analizlerini yapımı lardır. Farklı karbon oranlarına ve i lemelerine sahip her iki çeli in de sürtünme karı tırma kayna ı ile ba arılı bir ekilde kaynak edilebildi ini, ancak termomekanik olarak etkilenen bölgenin sertli inin ITAB ve ana metal sertlik de erinden çok daha fazla oldu unu, sertli i gidermek için kaynak parametrelerinin de i tirilmesi gerekti ini belirlemi lerdir.

Park ve di . (2004), sürtünme karı tırma kayna ı ile 1,33 mm/s ilerleme hızında 550 min<sup>-1</sup> hızında kaynak edilmi ve 6 mm kalınlıktaki 304 paslanmaz çeli in korozyon dayanımını ara tırmı lardır. Çalı mada sürtünme bölgesinin ilerleme tarafında tane sınırlarında a ınmanın dikkat çekici oldu unu ve korozyon dayanımının kötü oldu unu; sürtünme bölgesi korozyon dayanımının ana metalden daha iyi oldu unu tespit etmi lerdir. ITAB'daki dü ük dereceli hassasiyetin kısa

sürekli sıcaklık hassasiyeti ile açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Yoğun olarak tespit edilen korozyon dayanımının sürtünme karı tırma kaynağı boyunca oluşan sigma fazı oluşumuna bağlıdır.

Sato ve diğeri (2004), 304L paslanmaz çeliğinin sürtünme karı tırma kaynağında yeniden kristalleşmesi üzerine inceleme yapmışlardır. Başlangıçta 304L paslanmaz çeliğinin sürtünme karı tırma kaynağının ısı ve yoğun deformasyonu nedeniyle dinamik yeniden kristalleşmeye maruz kaldığını, takım omzunun sonradan ısınması nedeniyle statik yeniden kristalleşmeye maruz kaldığını tespit etmişlerdir.

Uzun (2004) çalışmasında Al 6013-T4 ve X5CrNi18-10 levhalarının sürtünme karı tırma kaynak yöntemi ile birleştirilmesini incelemiştir. 4 mm kalınlığındaki malzemeler  $800 \text{ min}^{-1}$  devir sayısında ve 80 mm/min ilerleme hızında kaynak yapılmıştır. Bu birleştirmenin mikroyapısı incelendiğinde kaynak bölgesinin yedi bölgeden oluştuğu gözlemlenmiştir (Paslanmaz çelik esas metal, paslanmaz çelik ısı tesiri altındaki bölge, paslanmaz çelik termomekanik etki altındaki bölge, kaynak merkezi, alüminyum termomekanik etki altındaki bölge, alüminyum ısı tesiri altındaki bölge, alüminyum esas metal). Kaynak bölgesinin sertliği gözlemlendiğinde; paslanmaz çelik kısmındaki termomekanik etki altındaki bölgeden alüminyum esas metale doğru gidilirken kaynak merkezinde sertlikte büyük düşüş olduğu bulunmuştur. Kaynak merkezi bölgesinde ise sertlikte görülen büyük düşüşün nedeni olarak bu bölgedeki paslanmaz çelik taneciklerinin düzensiz dağılımı gösterilmiştir. Kaynaklı birleştirmenin yorulma özellikleri incelendiğinde Al 6013-T4 birleştirmelerine göre %30 daha düşük değerler elde edilmiştir.

Cho ve diğeri (2005), paslanmaz çeliklerin sürtünme karı tırma kaynağında doku evrimi ve uzama sertleşmesinin modellenmesi üzerinde çalışmışlardır. Sıcaklıkların, takımın akı istikameti karısında soğuk uç yakınında hızla arttığını, ilerleme yönündeki sıcaklıkların çekilme yönünden 100 K civarında daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Kaynak bölgesindeki gerilmenin ana metalden fazla olduğunu, çukurlukta çekilme yönündeki malzemenin ilerleme yönündeki malzemedan daha fazla gerilme değerlerine sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Levhanın orta ve ana bölümlerinde çekilme yönündeki sertlik dağılımlarının ilerleme yönünden daha fazla



oldu unu tespit etmişlerdir. En yüksek gerilmenin sürtünme bölgesinde bulundu unu, ilerleme yönünde çekilme yönünden daha fazla gerilme oldu unu; takım önünde sıkı tırma, arkasında ise çekme gerilmesi oldu unu iddia etmişlerdir.

Feng ve di . (2005a) yapmış oldukları çalı mada sürtünme karşı tırma kayna ının önemli dezavantajlarından biri olan kaynak bitiminde delik kalması problemini önlemek için özel bir uygulama ile kayna ın devam etmesini sağlamışlardır. Söz konusu delik kaynak bitimine ilave edilen parçada olu turulmu tur. Bu parça daha sonra kaynak bitim yerinden spiralle kesilerek uzakla tırılmıştır.

Feng ve di . (2005b) 25 mm çapında ve 5,5 mm uzunlu unda PCBN takımlar kullanarak çelik boruların sürtünme karşı tırma kayna ını yapmışlardır. Çalı malarında  $500 - 600 \text{ min}^{-1}$  devir sayısı ve  $100 - 150 \text{ mm/min}$  ilerleme hızında kaynaklar yapmışlardır. Diğer çalı malardan farklı olarak sürtünme karşı tırma kayna ında çok etkili bir parametre olan baskı kuvvetini  $10 \text{ kN}$  ile sabit tutarak birleştirme gerçekleştirilmiştir. Çalı malarında boruyu sabitleme ve birleştirme için özel aparatlar kullanılmıştır. Kaynak bölgesini oksidasyondan korumak için ise kaynak diki i üzerine argon gazı verilmiştir. Birleştirilen numunelere uygulanan çekme deneylerinde kopma esas metal bölgesinde meydana gelmiştir.

Feng ve di . (2005c) yüksek mukavemetli çeliklerin sürtünme karşı tırma nokta kayna ı üzerinde çalı mışlardır. DP600 çift faz çeli i ile M190 martenzitik çeli in metalurjik yapı tırması için 3 saniye kaynak süresinin altında sabit uç kullanılabilmesi, PCBN takım malzemesi ile a ınma ve bozulma olmadan yüzlerce kaynak yapmanın mümkün oldu unu tespit etmişlerdir. Termomekanik etki altındaki bölgede, çalı ılan her iki ana metalinkine benzer mikroyapı ve sertlik elde etmişlerdir. M190 çeli inde önemli bir yumu ama tespit etmişlerdir. Yapı tırma bölgesinin dışında M190 çeli indeki bu yumu ama bölgesinde mekanik test esnasında hata meydana geldi i gözlenmiştir. Çalı mada uygulanan kaynak ko ulları küçük ba genilikleri meydana getirdi inden, ba lantının gerilme kuvvetini sınırladı ı; takım geometrilerindeki geli meler ile bunun ortadan kaldırılabilmesi ileri sürmü lerdir.

Mandal ve Williamson (2005), yüksek sertli e sahip malzemelerin sürtünme karı tırma kayna ında takımların çabuk elden çıkmasını önlemek için termomekaniksel sıcak kanal yakla ımı üzerinde çalı mı lardır. Ön ısıtma kaynakları ile termomekaniksel sıcak kanal uygulaması sonucunda takımların daha az efor sarf etmesi nedeniyle ömürlerinin uzadı ını belirlemi lerdir.

Mishra ve Ma (2005), sürtünme karı tırma kayna ı ve prosesi üzerinde genel olarak yaptıkları incelemede, sürtünme karı tırma kayna ının geldi i seviyeyi, di er klasik kaynak yöntemlerine olan üstünlüklerini, takım geometrisi, daldırma açısı ve ilerleme hızları ile uç profillerinin önemine de inmi lerdir.

Park ve di . (2005), sürtünme karı tırma kayna ı ile kaynak edilmi AISI 430 paslanmaz çeli inin mikro yapısı ve mekanik özelliklerini ara tırmı lardır. Çalı mada kaynak bölgesi ile ana malzeme arasında sertlik, dubleks mikro yapı, martenzit ve ferrit yapı kar ıla tırmaları yapılmı tır. Karı ım bölgesindeki sertli in martenzit olu umu nedeni ile ana malzeme sertli inden çok daha fazla oldu unu tespit etmi lerdir.

Sato ve di . (2005), sürtünme karı tırma kayna ı ile kaynak edilmi SAF 2507 süper dubleks paslanmaz çeli in mikro yapısal ve mekanik özelliklerini incelemi lerdir. PCBN takım malzemesi ile yüksek kalitede derin nüfuziyetli kaynaklar elde etmi lerdir. Dinamik yeniden kristalle tirme boyunca sürtünme karı tırma kayna ının ferrit ve ostenit fazları önemli derecede safla tırdı ını, sürtünme bölgesinde küçük ferrit ve ostenit tanelerinin yüksek mukavemet ve sertlik olu turdu unu tespit etmi lerdir. Kaynak yatay gerilme hatalarının sürekli olarak kaynak bölgesi ve termomekanik etki altındaki bölge sınırı yakınında meydana geldi ini ve akma ve kopma mukavemet gerilmelerinin ana malzeme ile kabaca aynı oldu unu ileri sürmü lerdir.

Alptekin (2006) paslanmaz çeliklerin sürtünme karı tırma kayna ı üzerine yapımı oldu u çalı mada 20 mm çapa sahip wolfram karbür takımlar kullanımı ve takım

dalı açısının  $1^{\circ}45''$ ,  $1000 \text{ min}^{-1}$  takım devir sayısı ve ilerleme hızının  $63 \text{ mm/min}$  oldu u durumda en iyi kaynak diki lerini elde etmi tir.

Boyce ve di . (2006), sürtünme karı tırma kayna ı ile kaynak edilmi paslanmaz çeli e uygulanan deformasyon modeli için çok ölçekli bir metodoloji üzerine ara tırma yapmı lardır. Sonlu elemanlar metodu ile sertlik haritası, deformasyon ekil profili ve model çe itlendirmesi olarak üç çe it simülasyon deneyi ile ana metal ve kaynaklı metalin kafes gerilme de i ikliklerini ve yo unluk de i ikliklerini incelemi lerdir.

Fujii ve di . (2006a), dü ük karbonlu çeliklerin sürtünme karı tırma kayna mını incelemi lerdir.  $2,3 \text{ mm}$  kalınlıkta martenzit i lemi ile olu turulmu çok ince taneli saf dü ük karbonlu çeliklerin sürtünme karı tırma kayna nda, aynı dönme hızında kar ıla tırma yapıldı nda su verilmi çeliklerin ısı geni lik bölgelerinin, so uk çekilmi ve tavlannı çeliklere nazaran daha geni oldu unu tespit etmi lerdir. Aynı ana metalde farklı dönme hızları kar ıla tırıldı nda dönme hızı artı ı ile birlikte en dü ük sertlik ve geni ısı alanı olu umunu tespit etmi lerdir. Takım ucu dönme hızını azaltarak sürtünme bölgesindeki tane yapısının küçülece ini ilave olarak dönme hızının tane sınır karakterini etkiledi ini tespit etmi lerdir. Martenzit i lemi ile SKK kombinasyonu olarak birinci adımda su verme, ikinci adımda so uk çekme, üçüncü adımda SKK ve dördüncü adımda tavlama yapmanın sürtünme bölgesi ile ana metal arasında mukavemet dengesi elde etmede tercih edilmesi gerekti ini ileri sürmü lerdir.

Fujii ve di . (2006b), yüksek karbonlu çeliklerin sürtünme karı tırma kayna mını da incelemi ler ve ilave bir ön veya sonradan ısıtmaya gerek kalmadan ba arılı bir ekilde kaynak edilebildi ini tespit etmi lerdir. Di er klasik kaynak metotları ile imkânsız olmasına ra men sürtünme karı tırma kayna ı ile so uma hızı ve maksimum sıcaklı ın kontrol altına alınabildi ini tespit etmi lerdir.

Fujii ve di . (2006c), farklı karbon oranları içeren çeliklerin sürtünme karı tırma kayna mını da incelemi ler ve sürtünme karı tırma kayna mının ferrit-ostenit iki faz

bölgesinde yapıldı ında mikro yapının daha safla tırılmı ve en yüksek mukavemetin elde edilebilece ini tespit etmi lerdir.

Lee ve di . (2006), sürtünme karı tırma kayna ı ile birle tirilen 304 ostenitik paslanmaz çelik ile 6056 alüminyum ala ımının ara yüzeyinde meydana gelen reaksiyonu incelemi lerdir. Yapılan çalı mada 250 nm kalınlı ında hegzagonal sıkı paket yapısı ile  $Al_4Fe$  fazı olarak adlandırılan bir iç metalik bile im tabakası; ç metalik bile im tabakasının yakınında ultra ince tane yapısı ile genle mi tane yapısı tespit etmi lerdir. Genle mi tane yapısının ferrit fazından dolayı meydana geldi ini, sürtünme sonrası paslanmaz çelik tarafında kısmen ostenit fazından ferrit fazına dönü ümün meydana geldi ini tespit etmi lerdir.

Nandan ve di . (2006), yumu ak çeli in sürtünme karı tırma kayna ı esnasında üç boyutlu ısı ve malzeme akı ı üzerine çalı ma yapmı lardır. Isıya ba lı termal iletkenlik, belirli ısı ve akma gerilmesi tespit etmi lerdir. Takım yüzeyine yakın belirli viskoplastik akı ve malzemenin ço unlukla çekilen tarafa do ru transfer edildi ini tespit etmi lerdir.

Orhan (2006), AISI 430 ferritik paslanmaz çeli in sürtünme karı tırma kaynak yapılabılırli ini incelemi tir. AISI 430 paslanmaz çelik levhalar 50 mm/min ilerleme hızı ve  $450 \text{ min}^{-1}$  devir sayılarında yapılan kaynak ba lantılarında üç farklı bölgenin olu tu unu, ince taneli bölgede sertli in yükseldi ini, güzel görünümlü ve dayanımı yüksek bir kayna ın meydana geldi ini tespit etmi tir. Yapılan çekme deneyi sonucunda kopmanın tamamen kaynak bölgesi dı ından gerçekleşti i görülmü tür. Bu durum, diki in mukavemetinin ana metalinkinden daha yüksek oldu unu göstermi tir. Bu sonuç elde edilen kaynaklı birle tirmenin istenen mekanik özelliklerde oldu unu göstermektedir. Bu malzemenin sürtünme karı tırma kayna ı ile güvenle birle tirilebilece i belirlenmi tir.

Watanabe ve di . (2006), Al ile yumu ak çeli in sürtünme karı tırma kayna ı ile kaynak edilmesi üzerinde çalı mı lardır. Çalı mada uç dönme hızının etkileri, uç açısının pozisyonunun kayna ın mikro yapısına ve gerilme kuvvetine etkisi, kaynak

esnasında temas yüzeyi üzerinde oksit tabakasının davranışı incelenmiştir. Alüminyum alaşımı tabakasının çelik tabakaya alın kaynağının başarılı bir şekilde gerçekleştirilebildiği tespit edilmiştir. Maksimum çekme mukavemetinin Alüminyum alaşım ana metalinin %86'sı kadar olduğu tespit edilmiştir. Küçük miktarda iç metalik bileşimin alüminyum/çelik yüzeyde olduğu, ancak orta ve alt kısımlarda olduğu tespit edilmiştir. İç metalik bileşimleri alanında çatlak meyilli olduğu gözlemlenmiştir. Birçok çelik parçanın alüminyum içine dağıldığını, dönen ucun sürtünme hareketi nedeniyle temas yüzeyinde bulunan oksit tabakanın uzaklaştırılması tespit edilmiştir. Düşük dönme hızında yetersiz sıcaklık nedeniyle uçta aşınma olduğu, yüksek dönme hızında Alüminyum alaşımındaki magnezyumun yanması nedeniyle istenilen kaynağın gerçekleştirilmeyeceğini, dolayısıyla en uygun dönme hızının kullanılması gerektiğini tespit edilmiştir. Ayrıca ucun saat istikametinin tersine döndürülmesi suretiyle alüminyum ile çeliğin kaynak edilmesinin imkânsız olduğu ileri sürülmüştür.

Hovanski ve diğeri (2007) 1,4 mm kalınlığında sıcak preslenmiş bor çeliğinin PCBN takım malzemesi ile sürtünme karşı tırma nokta kaynağı üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonrasında yapılan mikroyapı incelemesinde kaynak külçesi içerisinde dar ferritik bant boyunca çatlak ilerlemesi tespit edilmiştir. Bu yumuşak zigzaglı ferritik alanın neden kaynaklandığını tam olarak tespit edememekle birlikte, Al-Si yüzey oksitlerinin çözünmesinden dolayı kararlı hale gelen ferrit nedeniyle tabaka yüzeylerinin ısı davranışı ve işlem sırasında az miktarda karbonsuzlaştırılması sebebinden olabileceğini ileri sürmüştür. Sonuç olarak Sürtünme karşı tırma nokta kaynağının sıcak preslenmiş bor çeliğine başarı ile uygulanabildiğini belirlemiştir.

Sato ve diğeri (2007), ferrit-sementit dubleks yapısını içeren ultra yüksek karbon çeliklerinin sürtünme karşı tırma kaynağı boyunca mikro yapısal evrimini incelemiştir. PCBN takım malzemesi ile başarılı bir şekilde hatasız bir kaynak elde edilmiştir.

Sorensen ve Nelson (2007), takım malzemeleri ve uç profilleri üzerine ara tırma yapmışlardır. PCBN takım malzemesinin 1018 çeliğini 80 metreye kadar, 316L

paslanmaz çeli ini 1-4 metreye kadar kullanılabilen ve PCBN takım malzemelerinin çok iyi sonuçlar aldığını tespit etmişlerdir.

Nandan ve diğeri (2008), sürtünme karı tırma kaynağındaki en son gelişmeleri inceleyerek, kaynak yapısı ve özellikleri açısından incelemi ve yapılan çalışmaları birleştirmişlerdir.

Saeid ve diğeri (2008) SAF 2205 dubleks paslanmaz çeliklerin SKK'nda karı tırma bölgesinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine kaynak hızının etkisini incelemiştir. 2 mm kalınlığında levhaları sabit 600 takım devir sayısında ve 50–200 mm/min arasındaki farklı ilerleme hızları kaynak etmişlerdir. İlerleme hızının artırılmasının ve tane boyutlarını azalttığını, bundan dolayı karı tırma bölgesinin çekme dayanımı ve sertlik değerini arttırdığını belirlemiştir. Sürtünme karı tırma kaynağında ilerleme hızı ve ulaşılan maksimum sıcaklık arasında bir ilişki olduğunu iddia etmişlerdir.

Meran ve Canyurt (2008) AISI 304 austenitik paslanmaz çeliklerin sürtünme karı tırma kaynağında takım devir sayısı ve ilerleme hızının etkisini incelemiştir. 750 min<sup>-1</sup> devir sayısı, 9 kN'luk baskı kuvveti ve 1,5° lik takım açısında en iyi mukavemete sahip kaynaklı bağlantıların 47,5 mm/min ilerleme hızında olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte, 60 mm/min ilerleme hızı, 9 kN'luk baskı kuvveti ve 1,5° lik takım açısında ise en iyi mukavemete sahip kaynaklı bağlantıların 950 min<sup>-1</sup> devir sayısında elde edildiğini belirlemiştir.

Meran ve diğeri (2007), AISI 304 austenitik paslanmaz çeliklerin sürtünme karı tırma kaynağını incelemiştir. Wolfram karbür takım kullanarak 40-100 mm/min ilerleme hızında 1000 min<sup>-1</sup> devir hızında hatasız kaynaklar elde etmişlerdir.

Ericsson ve Sandström (2003), sürtünme karı tırma kaynağında ilerleme hızının yorulma ömrü üzerine etkisini incelemişler, WIG ve MIG kaynakları ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre, test aralığındaki ilerleme hızının, düşük ve yüksek ilerleme hızlarını temsilen, SKK yorulma ve mekanik özellikleri üzerinde belirli bir etkisi olmadığını belirlemiştir. Buna rağmen, düşük ilerleme hızında birim kaynak uzunluğuna karşın ısınma girdisi artışına bağlı olarak

yorulma performansında iyileme sağlanabileceğini ileri sürmüşlerdir. MIG ve WIG kaynaklarının statik ve dinamik mukavemetlerinin SKK'dan daha düşük olduğunu belirlemiştir. Yaptıkları çalışmanın literatürde daha önce yapılmış olan karırtımalı ergitme (MIG) kaynağı ve SKK yorulma dayanımları ile uyumlu olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Elangovan ve Balasubramanian (2008), AA2219 alüminyum alaımının FSW ile kaynaında ilerleme hızı ve takım uç profilinin etkisini incelemiştir. 0,76 mm/s ilerleme hızında kare uç profil kullanarak SKK bölgesinde maksimum çekme dayanımı, daha yüksek sertlik ve daha iyi tane yapıları elde edilebileceğini ileri sürmüştür.

Peel ve diğeri (2003), AA5083 alüminyum SKK'nda ilerleme hızının bir fonksiyonu olarak mikroyapı, mekanik özellikler ve artık gerilmeler üzerine ara tırma yapmışlardır. ilerleme hızını artırmanın (bu sırada ısı giriğini azaltarak) kaynak bölgesini daralttığını ileri sürmüştür. ilerleme hızları arttığında uzunlamasına en yüksek gerilmelerinin de arttığını belirlemiştir. ilerleme hızının artmasıyla, gerilme sahasının daralması neticesinde yumuşamış kaynak bölgesine doğru çekme dayanımlarının sınırlandırıldığını tespit etmiştir.

Cavaliere ve diğeri (2008), sürtünme karırtıma kaynağı ile birleştirilmiş AA6082 alüminyumun mekanik ve mikroyapısal özelliklerine kaynak parametrelerinin etkisini ara tırmışlardır. ilerleme hızı 40 mm/min'den 165 mm/min'e artırıldığında kaynak külçesinde tane yapısı anlamında kuvvetli farklılıkların oluştuğunu ancak ilerleme hızı 460 mm/min yükseltildiğinde artık gerilmelerin meydana gelmediğini ileri sürmüştür. Akma sınırının 115 mm/min ilerleme hızına kadar olan düşük ilerleme hızlarında kuvvetle arttığını ancak ilerleme hızı daha da arttırıldığında düşmeye başladığını; malzeme sünekliğinin de aynı davranışı gösterdiğini ancak 165 mm/min ilerleme hızından sonra tekrar artmaya başladığını kaydetmiştir. ilerleme hızı 115 mm/min olan kaynaklı malzemenin en iyi yorulma dayanımı özelliklerini ve yorulma limitinden daha yüksek bir değer sergilediğini, tüm konfigürasyonlarda düşük devir sisteminde çok dar olarak benzer davranışı, yorulma limitine kadar genlik gerilme azalmaları ile kuvvetli farklılık vardır, gözlemlenmiştir. 115 mm/min ilerleme hızında kaynak edilen yorulma numunelerinin SEM incelemelerinde, yüksek

gerilme genlik seviyelerinde kırıkların kaynak yüzeyinde ba ladı nı tespit etmi lerdir.

Chao ve Jahazi (2009), ilerleme hızının bir magnezyum ala ımının sürtünme karı tırma kaynaklı alın birle tirme kalitesine etkisini ara tırmı lardır. ilerleme oranının (ilerleme hızı/takım devir sayısı) her bir devir ba ına 0,6 mm'den daha az oldu u durumlarda tane büyümesi görüldü ünü tespit etmi lerdir. Yüksek ilerleme hızının kaynak bölgesinde daha yüksek sertlik de erleri üretti ini, ilerleme hızı artı ı ile akma sınırının arttı nı, ilerleme hızının 15 mm/s'ye yükseltilmesi ile çekme dayanımının artaca nı fakat 15 mm/s'den 30 mm/s'ye çıkarıldı nda sabit kalaca nı ileri sürmü lerdir.

Rajakumar ve di . (2011), sürtünme karı tırma kaynak i lemi ve takım parametrelerinin AA7075-T6 alüminyum ala ımı birle imleri üzerine etkisini incelemi lerdir. 1400 min<sup>-1</sup> devir sayısında, 60 mm/min ilerleme hızında, 8 kN baskı kuvvetinde, 5 mm çapında uç, 45 HRC sertli e sahip 15 mm omuz çapında takım kullanarak üretilmi ba lantının di er ba lantılarla kar ıla tırıldı nda daha yüksek mukavemet özelliklerine sahip olduklarını tespit etmi lerdir.

Kim ve di . (2006), alüminyum pres döküm ala ımının SKK ba lantılarının mikroyapısı üzerinde kaynak parametrelerinin etkisi konusunu incelemi lerdir. Karı tırma bölgesindeki mikroyapı üzerinde ilerleme hızı ve devir sayısı etkisini ADC12 ala ımındaki Si taneciklerinin da ılımını ölçerek ara tırmı lardır. Her ne kadar Si tanecikleri esas metal içerisinde her bölgede aynı ise de, Si taneciklerinin di er bölgelerden ziyade daha çok tabana yakın olduklarını tespit etmi lerdir. ilerleme hızı arttıkça Si parçalarının boyutunun azaldı nı buna kar ın devir sayısından belirgin bir etkilenmeden söz edilemeyece ini belirtmi lerdir.

Song ve di . (2009), sürtünme karı tırma kaynaklı Inconel 600'ın mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine ilerleme hızının etkisini ara tırmı lardır. Tüm durumlarda dinamik yeniden kristalle me (rekristalizasyon) gözlemler ve ilerleme hızının artırılması ile birlikte esas metalde 19 µm olan ortalama tane boyutunun karı tırma bölgesinde ortalama 3,4 µm boyutuna dü mesi ile tane incelmesinin ba arıldı nı ileri sürmü lerdir. Ayrıca, bunun sürtünme karı tırma



kaynak bölgesi üzerinde esas metale nazaran % 20 daha yüksek mikro sertlik ile % 10 daha yüksek çekme dayanımı etkisine sahip oldu unu bildirmi lerdir.

Elangovan ve Balasubramanian (2007), AA2219 alüminyum ala ımının sürtünme karı tırma kaynak bölgesi olu umu üzerine devir sayısı ile takım uç profili etkisini incelemi lerdir. Kare uç profiline sahip takım ile 1600 min<sup>-1</sup> devir sayısında imal edilen kaynaklı ba lantının üstün çekme özellikleri gösterdi ini belirlemi lerdir.

Zhou ve di . (2010), sürtünme karı tırma ile kaynak edilmi Ti-6Al-4V'un mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine devir sayısının etkisini incelemi lerdir. Birle tirmeler, 75 mm/min sabit ilerleme hızında, 400 ile 600 min<sup>-1</sup> devir sayılarında meydana getirilmi tir. Birle tirmelerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde devir sayısının önemli etkisi oldu unu belirlemi lerdir. ITAB'de mikroyapı devir sayısından tam olarak hiç etkilenmezken, kaynak bölgesinde devir sayısına dayanan çift görünümlü (bimodal) mikroyapı veya tamamen lamelli katmanlardan olu an mikroyapının geli tirilebilece ini ileri sürmü lerdir. Kaynak bölgesindeki sertli in esas metaldeki sertlikten dü ük oldu unu ve devir sayısının artması ile daha da azaldı nı iddia etmi lerdir. Enine çekme deney sonuçlarına göre tüm birle melerin esas metalden daha dü ük çekme dayanımı sergiledi ini ve devir sayısı artırılınca birle melerin çekme dayanımlarının azaldı nı ileri sürmü lerdir.

Liu ve di . (2011), su altı sürtünme karı tırma kayna ı edilmi 2219 alüminyum ala ımlarının mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine ilerleme hızının etkisini ara tırmı lardır. ilerleme hızının artırılarak termomekanik olarak etkilenmi bölge (TMAZ) ile ITAB'de meydana gelen çökme bozulmasının azaltıldı nı, sonuçta yumu ayan bölgenin daralmasına ve en dü ük sertli in artmasına yol açtı nı ileri sürmü lerdir. Çekme dayanımının ba langıçta ilerleme hızı ile birlikte arttı nı fakat 200 mm/min ilerleme hızında oluk kusur olu umuna ba lı olarak önemli ölçüde dü tü ünü ileri sürmü lerdir. Çekme testi boyunca, dü ük ilerleme hızında kaynak edilen birle me geri çekilme tarafındaki ITAB bölgesinden kırıldı nı, bu arada yüksek ilerleme hızında, hatasız birle menin ilerleme tarafındaki termomekanik olarak etkilenmi bölgeden kırıldı nı tespit etmi lerdir.

Shen ve di . (2010), sürtünme karı tırma ile kaynak edilmi bakırın mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine ilerleme hızının etkisini ara tırmı lardır. ilerleme hızını artırınca, kaynak külçesi bölgesinde tane boyunun önce arttı ını, sonra azaldı ını, termomekanik olarak etkilenmi bölgenin daraldı ını ve bu iki bölge sınırının belirginle ti ini, fakat ITAB'ın hemen hemen hiç de i medi ini tespit etmi lerdir. Birle melerdeki çekme dayanımı ve uzamanın ilerleme hızı artırıldı ında önce arttı ını sonunda azaldı ını, fakat 25-150 mm/min aralı ındaki ilerleme hızlarında etkinin çok azaldı ını tespit etmi lerdir. Hatasız birle melerin çok küçük ilerleme hızlarında meydana geldi ini ve kırılma yerinin geri çekilme tarafında kaynak külçesi bölgesi dı ında meydana geldi ini ileri sürmü lerdir. ilerleme hızını artırmakla önce kaynak külçesi bölgesinde sertli in azaldı ını sonra arttı ını, fakat birle melerin içinde di er bölgelerdeki sertli e çok az etki etti ini ileri sürmü lerdir.

Chao ve Jahazi (2011), sürtünme karı tırma ile kaynak edilmi magnezyum ala ımının birle me kalitesi üzerine devir sayısı ile uç uzunlu unun etkisini ara tırmı lardır. Devir sayısının artırılması ile birlikte çekme kesme yükünün ba langıçta arttı ını, fakat müteakip devir artı larında azaldı ını tespit etmi lerdir.

James ve di . (2003), 5083 alüminyumunun sürtünme karı tırma kayna ının yorulma ömrü üzerine kaynak takımı ilerleme hızının etkisini incelemi lerdir. hem kaynaklı ve parlatılmı numunelerde hem de ilerleme hızının 80 mm/mindan 200 mm/min çıkarıldı ı durumda dayanım limiti gerilmesinde (107 devirde) bir dü me oldu unu ve tüm ilerleme hızlarında döverek ekil verme hatalarından kaynaklanan so an zarı olu umunu tespit etmi lerdir.

Azizieh ve di . (2010), sürtünme karı tırma kayna ı ile imal edilmi AZ31/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano kompozitlerinin mikroyapısı ve sertli i üzerine devir sayısı ve uç profilinin etkisini ara tırmı lardır. Her bir sürtünme karı tırma prosesindeki pasoda matrisin tane saflı ı ve nano parçaların iyile tirilmi da ılımını elde etmi lerdir. Devir sayısını artırarak, bunun sonucunda daha fazla ısı girdisi elde ederek, esas ala ımın tane boyutunun artırıldı ını ve aynı zamanda devirin daha fazla parçalıyıcı etkisi ile daha iyi bir nano parça da ılımına sebebiyet verdi ini ileri sürmü lerdir. Kompozitlerin matris yapısındaki tane boyutlarının ortalama 1-5 µm aralı ında de i ti ini ve mikrosertli in 85-92 HV oldu unu tespit etmi lerdir.

Gharacheh ve di . (2006), AZ31 magnezyum ala ımının s ürt ¨nme kar ı tırma kayna ımının mekanik özellikleri üzerine “devir sayısı/ilerleme hız ı” ( / ) oranının etkisini ara t ırma lardır. Oranı art ır ırıldıklarında kaynak b lgesi ile ge i b lgesinde akma sınırı ile çekme dayanımının keskin bir ekilde azald ı ını tespit etmi lerdir. Ayrıca, devir sayısı/ilerleme hız ı oranını art ır ırıldıklarında kaynak k l esi boyutunun arttı ını ve eksik k k n fuziyetinin azald ı ını tespit etmi lerdir.

Lakshminarayanan ve Balasubramanian (2010), s ürt ¨nme kar ı tırma kaynaklı ferritik paslanmaz elik birle imlerinin mikroyapısı, sertli i, çekme ve çentik mukavemeti üzerine bir ara tırma yapm ı lardır. 1000 min<sup>-1</sup> devir sayısında ve 50 mm/min ilerleme hız ında s ürt ¨nme kar ı tırma kayna ı ile kaynak edilmi ferritik AISI 409 paslanmaz eli in mikroyapısı ve mekanik karakteri üzerinde ara tırma yapm ı lardır. Esas metaldeki kaba ferrit tanelerinin, s ürt ¨nme kar ı tırmasının sebep oldu u keskin plastik deformasyonun ortaya ıkard ı ı hızlı so uma ve y ksek gerilme oranına ba lı olarak ferrit ve martenzit dubleks yapısını i eren çok ince tane yapısına d n  t n  tespit etmi lerdir. Esas metale nazaran kaynak b lgesinin çekme test sonu larının kar ıla t ırılmayacak kadar y ksek ıkt ı ını belirlemi lerdir. Birle melerin s neklik ve çentik dayanımlarının kabul edilebilir olduklarını tespit etmi lerdir.

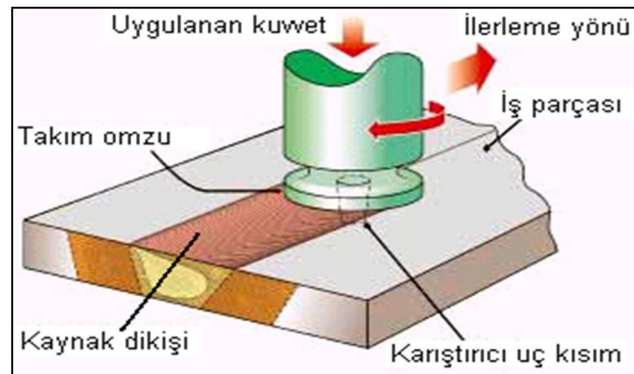
Sathiya ve di . (2008), s ürt ¨nme kar ı tırma ile kaynak edilmi paslanmaz elik birle tirmeler üzerine çalı ma yapm ı lardır. End striyel olarak önemli iki e it paslanmaz elik t r  olarak ostenitik (304) ve ferritik (430) paslanmaz çeliklerinin birle imleri üzerinde çalı m ı lardır. Ergitme kaynak y ntemleri ile kıyaslandıklarında, birle melerin s ürt ¨nme kar ı tırma kaynak y ntemi ile daha iyi sonu lar verdi ini tespit etmi lerdir.

## 2. GENEL B LG LER

Sürtünme karı tırma kaynak (SKK) yöntemi 1991 yılında İngiliz Kaynak Enstitüsü (TWI:The Welding Institute)'de Wayne Thomas tarafından icat edilen bir yöntemdir.

İlemler, kaynak yapılacak parçadan daha sert bir malzemeden üretilmiş takımın dönen ucu ile birleştirilecek parçaların birleştirme bölgesinde sürtünme ile ısı meydana getirilmesi prensibine dayanır. Karı tırıcı uç, sürtünerek ana metali viskoz hale getirir ve ilerledikçe malzemeyi geriye doğru iterek arkada kalan kısımda birleştirmeyi sağlar. Bu esnada malzeme erimez; yani sürtünme karı tırma kaynağı bir katı hal kaynak yöntemidir. Bu yöntemde ilave metal, koruyucu gaz ve kaynak ağızı hazırlanması gerekmez. 1991 yılından beri üzerinde çalışılan bu kaynak yöntemi geçmişte eriterek kaynağı mümkün olmayan materyallerin kaynağında kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem Al alaşımları, bakır, titan, paslanmaz çelik ve diğer çelik türlerinin kaynaklı birleştirilmeleri için elverişli bir yöntemdir. SKK yönteminde kaynak bölgesinde meydana gelen sıcaklık, malzemenin erime sıcaklığından çok daha düşüktür. Bu sebeple kaynak sonrası çarpılma olmamaktadır.

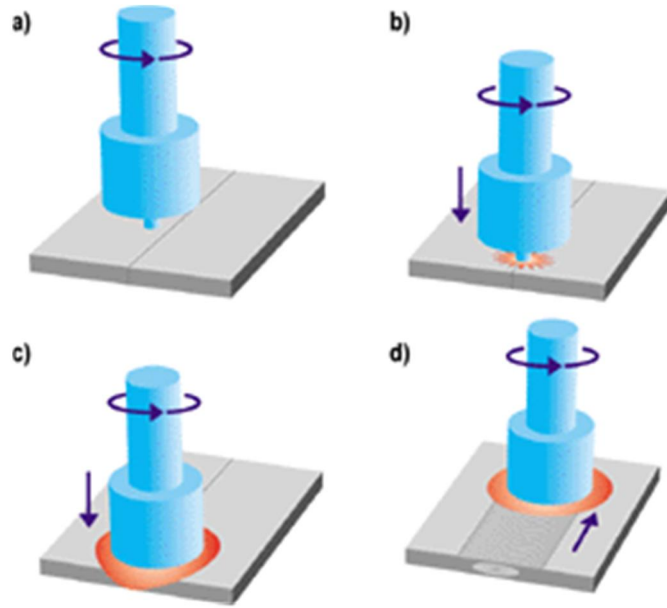
SKK yöntemi, alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen omuzlu bir pim (karı tırıcı uç) daldırılması ve kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir. Sürtünme karı tırma kaynağı ematik olarak ekil 2.1'de gösterilmiştir.



ekil 2.1: Sürtünme karı tırma kaynağının ematik gösterimi

Sürtünme karı tırma kayna ının yapılı nını a ama a ama incelemeye ba lamadan önce birle tirilecek levhaların düz bir altlık üzerinde sabitlendi inden ve kaynak esnasında karı tırıcı takımın uygulayaca ı baskı kar ısında birbirinden ayrılmayaca ından emin olunmalıdır. Di er türlü karı tırıcı uç gev ek ba lanmı levhaları hızla ayırabilmekte hatta çok gev ek ba lanma durumunda levhaları savurarak tehlikelere neden olabilmektedir. Di er önemli bir husus ise karı tırıcı ucun levhalara dalma uygulayaca ı ba langıç deli inin uç profiline uygun olarak önceden açılmı olmasıdır. Ön hazırlıkların tamamlanmasından sonra takım ba langıç deli ini ortalayacak ekilde deli in hemen üzerine getirilir.

Sürtünme karı tırma kayna ının a amaları ekil 2.2’de gösterilmı tir.



ekil 2.2: SKK a amaları; takıma ilk dönü ün verilmesi (a), takımın malzemeye daldırılması (b), takım omuzunun plakaları ön ısıtması (c), yeterli ön ısıtma sonrası takıma ilerleme verilmesi (d).

İlk a ama olarak takım bo ta oldu u halde istenilen devir sayısına ayarlanarak sadece dönme hareketi verilir, ekil 2.2a.

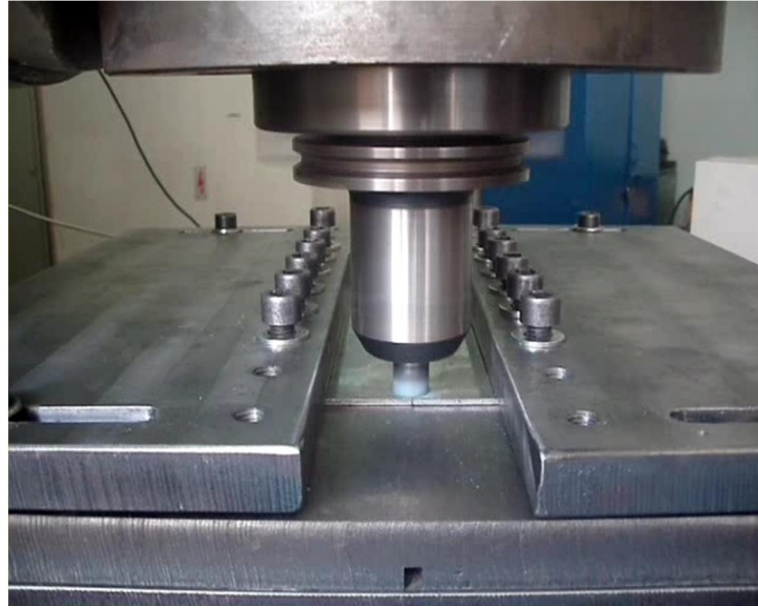
İkinci a amada takım bir taraftan dönmeye devam ederken di er taraftan levhaların içine daldırılır, ekil 2.2b.

Üçüncü a amada takımın dönerek levhalara sürtünmesinden dolayı ısı oluşur. Bu ısı, takım ucunun daldırıldığı yerde ve i parçası ile takımın omuz kısmının arasında kalan ara yüzeyde plastik ekil de i tirmeye yatkın yumuşak bir bölge oluşur, ekil 2.2c.

Son a amada ise dönen takıma kaynak diki boyunca kaynaklanacak uzunluğun sonuna gelinceye kadar ilerleme verilir ve takım yolu boyunca iki malzeme birleşir, ekil 2.2d. ilerleme esnasında özel ekil verilmiş pim yumuşak malzemeyi parçanın tabanına doğru sıvamaktadır. Daha sonra genellikle takım dönmeye devam ederken geri çekilir dönü durdurularak kaynaklanan parçalar tespit edildiği yerden sökülür. Takımın geri çekildiği noktanın kaynağı yapılması istenen noktayı geçmesine dikkat edilmelidir, çünkü takım çekildiği yerde yuvarlak bir çukurluk oluşmaktadır.

Deneylerde uygulanan sürtünme karı tırma kaynağı a amalarına ait foto raflar aşağıda sırasıyla gösterilmektedir.

Karı tırcı uç başlangıç deliğinden içeri doğru daldırılarak takım omzunun levhalara sürtünmesi sağlanır, ekil 2.3.



ekil 2.3: Karı tırcı takım omzunun dönerek levhalara sürtünmeye başlaması

Bir taraftan takım omzunun levhalara sürtünmesine devam edilirken di er taraftan yk cihazının indikatöründen kontrol edilen takım baskı kuvvetinin istenilen iddette istikrarlı uygulanması sa lanır, ekil 2.4.



ekil 2.4: Karı tırıcı takım omzunun istenilen baskı kuvvetinde istikrarlı olarak levhalara sürtünmeye devam etmesi

Kısa bir süre içerisinde takım omzu ile levhalar arasında sürtünme sebebiyle olu an ısı etkisiyle takım omzunun kızarmaya ba ladı ı görülür, ekil 2.5.



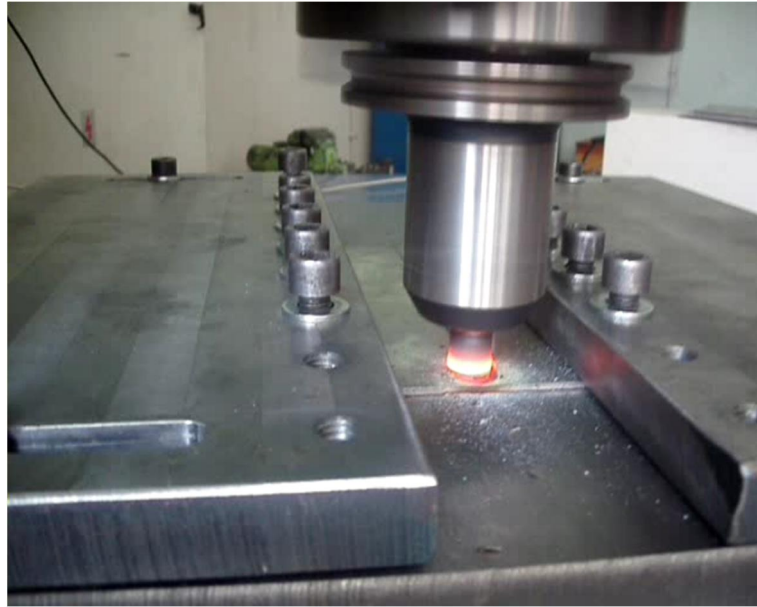
ekil 2.5: Takım omzunun sıcaklık etkisiyle kızarmaya ba laması

Kızarmaya başlayan takıma hemen ilerleme verildiğinde çok kolay kırıldı. Bu tespit edildiğinden çok kısa bir süre için yeterli derecede kızarması beklenir, ekil 2.6.



ekil 2.6: Karı tıricı takımın yeterli derecede kızarması

Artık iyice kızaran takıma ilerleme verilmektedir, ekil 2.7.



ekil 2.7: Karı tıricı takıma ilerleme verilmesi



lerleme esnasında takım baskı kuvvetinin azalıp artmaması için tezgahın manuel olarak kontrol edilmesine dikkat edilmi tir. Aynı takım baskı kuvvetinde ilerleyen kaynak görünümü ekil 2.8’de verilmi tir.



ekil 2.8: Aynı takım baskı kuvvetinde ilerleyen kaynak görünümü

Kayna ın sonuna yakla ıldı ında takımı levhalardan çıkarmak için uygun noktaya gelmesi beklenmektedir, ekil 2.9.



ekil 2.9: Kayna ın sonuna yakla ılması

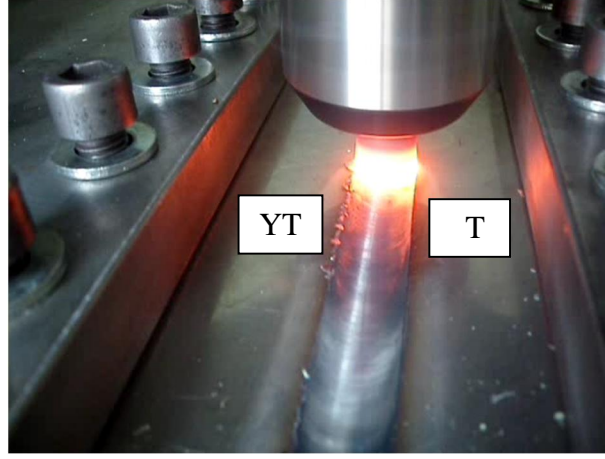
Artık kaynak bitimine gelindi i zaman karı tırıcı ucun levhalardan çıkarılması sa lanarak ana tablaya zarar vermesi önlenir.

Yüksek sıcaklık nedeniyle tablaya yapı ıp kalmasını önlemek maksadıyla kaynak tamamlanır tamamlanmaz kaynaklı levha önceden sabitlendi i ana tabla üzerinden hemen alınmalıdır. Kaynak bitiminde tabladan çıkarılan bir levhaya ait örnek bir üst görünüm ekil 2.11’de gösterilmi tir.



ekil 2.10: Kaynaklı bir levhaya ait üst görünüm

Kaynak esnasında karı tırıcı ucun kaynak istikameti boyunca karı tırmaya ba ladı ı levha yönüne ilerleme Tarafı ( T) ve döndü ü zaman y1 ma yaptı ı levha yönüne de Y1 ma Tarafı (YT) denmektedir. Yabancı kaynaklarda ilerleme tarafı Advancing Side (AS), y1 ma tarafı da Retreating Side (RS) olarak ifade edilmektedir. Kaynak üst görünümüne ait resimde karı tırıcı ucun dönme istikameti bilindi i zaman ilerleme tarafı ve y1 ma tarafı belirlenebilirken, makroda lama ile keskin ve dik kaynak çizgisinin bulundu u tarafın ilerleme tarafı oldu u belirlenebilmektedir, ekil 2.11. Makro resimde görülece i üzere kaynak sınırını belirleyen keskin çizginin bulundu u taraf ilerleme tarafı ( T), kaynak çizgisinin belirginli inin iyice azaldı ı taraf y1 ma tarafı (YT) olarak dikkati çekmektedir, ekil 2.11b.



(a)



(b)

ekil 2.11: Karı tırıcı uç saat istikametinin tersi yönünde dönerek ilerlerken (a), makro resim üzerinde (b) ilerleme tarafı ( T) ve yı ma tarafının (YT) gösterilmesi

Sürtünme karı tırma kayna ının avantajları;

Bütün pozisyonlarda kaynak yapmaya uygundur. Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde batıcı pimin e ik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi mümkündür. Kaynak yapılan malzemelerde dü ük çarpılma ve çekme gözlenir. Ala ımın metalürjik özelliklerini saklamasına olanak tanır. Esas metal içyapısı kaynak bölgesinde korunur. Ergitme kayna ı zor olan ala ımlar kaynak edilebilir. Kaynak esnasındaki toplam ısı girdisinin dü ük olması sebebiyle mekanik özelliklerdeki kayıp minimumdur. Onarım amaçlı kullanımlarda yüksek kaynak kalitesine sahiptir. Özellikle ince levhalarda büzülme, distorsiyon ve kalıntı gerilmeleri çok dü üktür. Dolgu malzemesine gereksinim yoktur. Kaynak sonrası kaynak yüzeyi tala alını gibi düzgündür ve yüzey i leme gerektirmez. Alın ve bindirme kayna ı yapılabilir. Aynı takım ile uzun mesafeli kaynak yapılabilir. Yöntemin do ası gere i ark, kıvılcım, gaz ve toz söz konusu olmadığından çok temiz ve çevreci bir kaynak yöntemidir. Enerji verimlili i yüksektir. Otomasyona ve robotik uygulamaya çok uygundur.

Sürtünme karı tırma kayna mın dezavantajları ise unlardır;

Levhanın bir ucundan di erine kaynak isteniyor ise, ileri geri hareket eden tablolara yada hareketli robotik kafalara gereksinim vardır. Özellikle kalın parçalarda %100 nüfuziyet isteniyorsa parçalar ters çevrilip arka tarafından da kaynak yapılması gerekebilir. Her kaynak sonunda takımın pimin çıktığı yerde pim delik kalmaktadır. Bu dezavantaj pratikte pimin; kaynak yapılacak son bölgeyi geçtikten sonra kaldırılması ile a ılabilir. Kaynak yapılacak malzemenin kalınlığına göre omuz üzerindeki pimin uzunluğu verilmelidir. Her malzemenin kayna ı mümkün değildir. Yalnızca mukavemeti düşük ve özellikle düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerin kayna ına uygundur. Kaynaklanacak parçaların çok sıkı tespit edilmesi arttır. Kaynak hızı bazı ergitme kaynaklarından düşüktür. Özellikle kalın levhaların kayna ı için çok güçlü tezgâhlara ihtiyaç vardır.

### **3. GEREÇ VE YÖNTEM**

#### **3.1 Deney Düzeninin Kurulması**

Sürtünme Karı tırma Kaynakları Taksan FU 400x1600 V/2 marka 13.5 kW gücündeki dik ba lı freze ile gerçekleştirilmiştir. Freze tezgahına numuneyi sabitlemek ve baskı ve ısı ölçüm sistemlerini ba lamak maksadı ile tabla sistemi imal edilmiştir. Takım baskı kuvvetini ölçmek maksadı ile yük hücresi, indikatör ve bilgisayar ba lantısı oluşturulmuştur. Yine sıcaklık ölçümleri yapabilmek ve kayıt altına alabilmek maksadı ile ısı ölçüm sistemi alınmış ve ba lantısı yapılmıştır.

Deney düzeni i;

- a. Taksan FU 400x1600 V/2 dik ba lı freze,
- b. Numune tutucu aparat,
- c. Yük ölçüm sistemi,
- d. Sıcaklık ölçüm sistemi,
- e. Bilgisayarlı veri toplama sistemlerinden oluşturulmuştur.

Deneilerde kullanılan cihaz ve sistemlere ait bilgiler a a da verilmiştir:

Kaynak çalışmaları 13,5 kW gücünde Taksan FU 400x1600 V/2 dik ba lı otomatik freze tezgahında gerçekleştirilmiştir, ekil 3.1. Tezgah gövdesi sa lam ve a ır oldu undan sürtünme karı tırma kayna ı esnasında rijit ve kararlı bir davranış göstermiştir.

Deney düzeni i numunelerin freze tezgahına tutturulmasını ve yük hücrelerinin tablaya ba lanmasını sa layan çelik levhalar ile üzerinde ısı kanalları ve deliklerinin açılmış oldu u çelik tablalardan yapılmıştır, ekil 3.2.



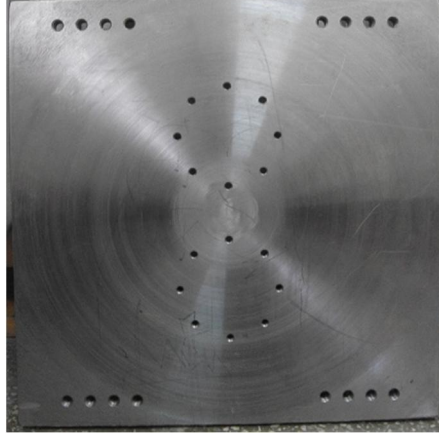
ekil 3.1: Taksan FU 400x1600 V/2 dik ba lı freze

Yük hücrelerini frezeyle ba layan alt tabla aparatın en altına monte edilmi tir, ekil 3.2.



ekil 3.2: Yük hücrelerini frezeyle ba layan alt tabla

Alt tabla tezgaha ilk monte edilen parçadır. Bunun üzerine yük hücreleri monte edilir ve yük hücrelerinin üzerine de ara tabla yerle tirilmi tir, ekil 3.3.



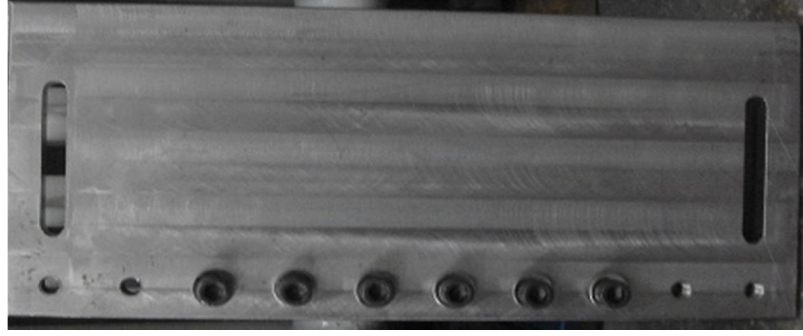
ekil 3.3: Yük hücrelerinin üzerine konan ara tabla

Ara tabla yk hücrelerinin üzerine konarak esas ölümlerin yapıldı ı üzerinde ısı kanallarının ve deliklerinin açıldı ı ana tablayı tutmaktadır, ekil 3.4.



ekil 3.4: zerinde ısı lme kanalları bulunan ana tabla

Ana tablanın üzerine numuneler yerle tirilebilir duruma getirildikten sonra numuneleri sabit tutmak maksadıyla kar ılıklı iki adet olmak üzere sabitleme tablaları en üst tarafa konulmu tur, ekil 3.5.



ekil 3.5: Numuneleri tablaya sabitlemede kullanılan tabla

Yük ölçüm sistemi sayesinde karı tırıcı takımın numune yüzeyine ne kadar bir baskı kuvveti uyguladı ı görülebilm ve kayıt altına alınabilm tir. 5 tonluk iki adet CAS marka yük hücresi ekil 3.6 'da ve indikatörü ekil 3.7'de alınmı ve tablaya monte edilmi tir.



ekil 3.6: CAS marka 5 tonluk yük hücresi (loadcell)



ekil 3.7: CAS marka yük hücresi indikatörü

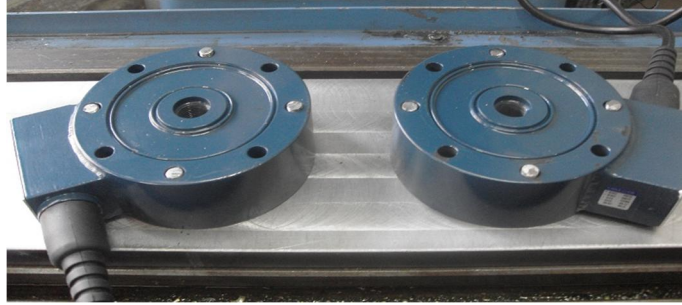


Tezgaha montaj esnasında önce alt tabla frezeyle sabitlenmiştir, ekil 3.8.



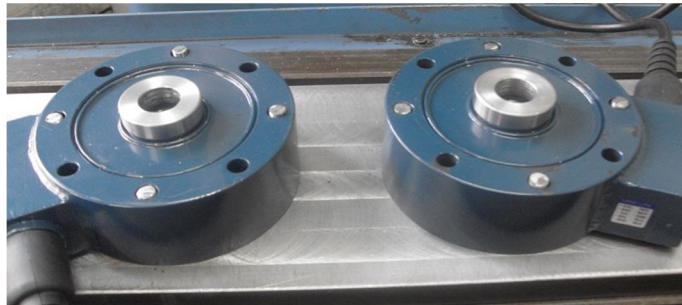
ekil 3.8: Alt tablanın frezeyle sabitlenmesi

Daha sonra alt tabla gövdesine açılan deliklerden geçirilen vidalar yük hücresinin deliklerinden geçirilmiştir, ekil 3.9.



ekil 3.9: Yük hücrelerinin alt tablaya sabitlenmesi

Yük hücrelerinin üstündeki tabladan gelen yükü ölçebilmesi amacıyla araya özel olarak yaptırılan pulların ölçüm noktası üzerine tam oturması sağlanmıştır, ekil 3.10.



ekil 3.10: Yük hücrelerinin üzerine konulan pullar

Pulların yerle tirilmesiyle birlikte özel olarak yaptırılan ince di li civatalar ara tabladan a a 1 yük hücrelerinin ortasındaki vidalı deli e sabitlenmi tir, ekil 3.11 ve ekil 3.12.



ekil 3.11: Yük hücrelerinin ara tablaya sabitlenmesi



ekil 3.12: Tablalara sabitlenen yük hücrelerinin yandan görünümü

Karı tırıcı ucun parçaya daldırıldı ı anda ilerleme hareketinin verilmesi için sıcaklı ın önceden bilinmesi bir avantaj olarak görülmektedir. Ayrıca sıcaklık tüm kaynak boyunca kontrol altına tutulabildi i ölçüde iyi bir kaynak elde edilecektir.

Bu nedenle karı tırıcı ucun numuneye dalmasından, kayna ın bitim noktasına kadarki toplam 20 cm uzunlu undaki numunenin 5'er cm aralıklarla toplam dört noktadan sıcaklık ölçümü yapılması dü ünülmü tür. Ana tablada toplam dört adet kanal ve tabla üstüne çıkmak maksadı ile dört delik açılmı tır. Kanallardan termo-eleman geçerek delikten dı arı çıkmakta ve numuneye temas etmektedir. Sıcaklık de erleri kaynak esnasında numunelerin altından probların temas etmesi yoluyla ölçülmektedir.

Ölçülen sıcaklık de erleri probların ba landı ı TESTO marka ölçüm cihazına oradan da kablo yardımı ile özel program sayesinde bilgisayara aktarılmaktadır. Sıcaklık ölçüm sistemi vasıtasıyla saniyede bir alınan veri aktarımı renkli grafik ekinde kaydedilmektedir.

Sıcaklık ölçüm sisteminde kullanılan TESTO marka Datalogger cihazı 4 kanaldan veri toplayabilmektedir. K tipi Termo eleman 1000 C'ye kadar ölçüm yapılabilmektedir, ekil 3.13.



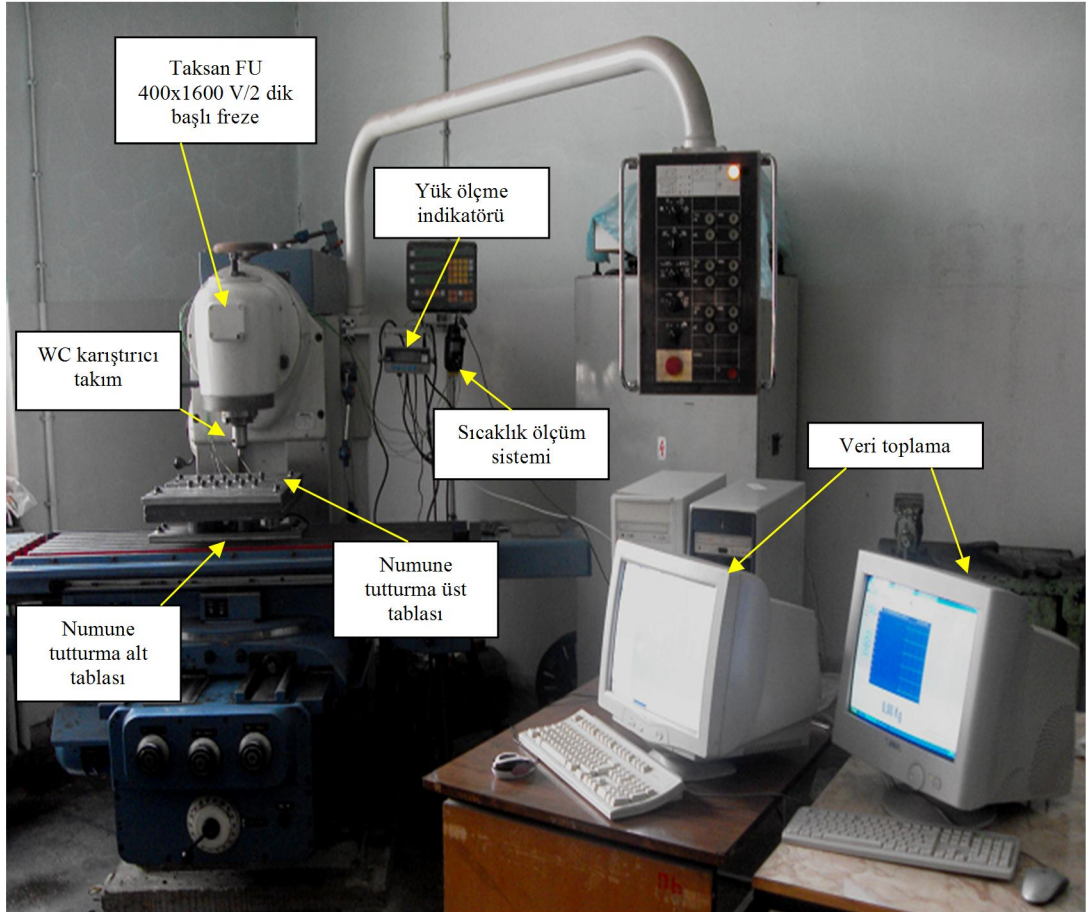
ekil 3.13: TESTO marka sıcaklık ölçüm cihazı

Termo-elemanların i lemler esnasında zarar görmemesi için ana tabla altında gizli kanallardan numuneye ula tırılması sa lanmı tır, ekil 3.14.



Şekil 3.14: Kanallara yerleştirilen termo-elemanlar

Hem sıcaklık hem de yük ölçüm sistemlerinden toplanan veriler iki ayrı bilgisayarda özel kurulmuş olan programlar sayesinde veri olarak kayıt altına alınmakta ve grafiklere dönüştürülebilmektedir. Çalışmalarda kullanılan deney düzeneği Şekil 3.15’de gösterilmektedir.



Şekil 3.15: Deney düzeneği

### 3.2 Deney Malzemesi ve Boyutları

Deney malzemeleri olarak kimyasal bileşimi Tablo 3.1 ve mekanik özellikleri Tablo 3.2’de verilen AISI 430 (X6Cr17, malzeme numarası 1.4016) ferritik paslanmaz çelikler kullanılmıştır.

Tablo 3.1: AISI 430’un kimyasal bileşimi (%)

<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
0,1	16-18	1	1	0,04	0,03

Tablo 3.2: AISI 430’un oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri

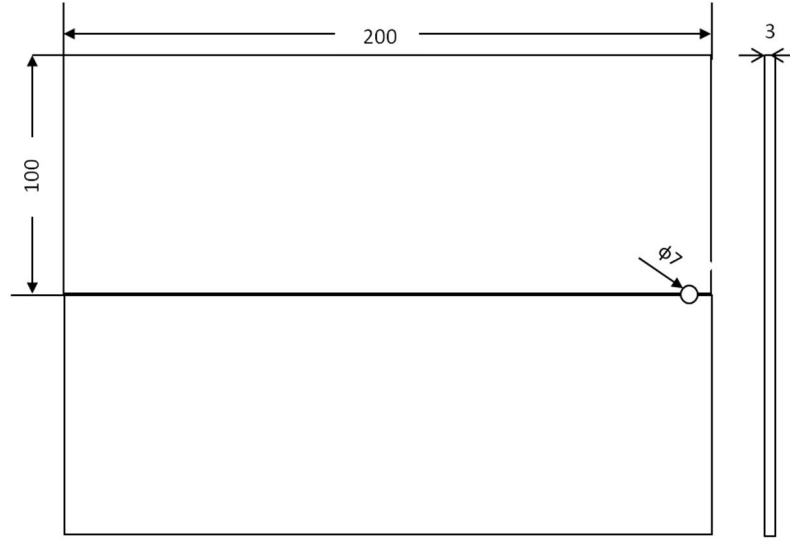
<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Elastisite Modülü (GPa)</b>	<b>Çekme Dayanımı (MPa)</b>	<b>Akma Sınırı (MPa)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kopma Büzülmesi (%)</b>	<b>Sertlik (HRB)</b>
7,8	200	459	323	22	60	85

Ön deneylere başlandı. Önce 3x75x150 mm boyutlarında iki adet deney numunesi alınmaya başlanarak kaynak yapılmaya başlanmıştır. Ancak birkaç deney sonrasında dört ısı kanalından gelen problemleri daha etkin kullanmak ve mekanik deneyler için daha fazla numune hazırlamak maksatları için numunelerin boyutu 3x100x200 mm ebatına çıkarılmıştır, ekil 3.16.



ekil 3.16: Deney numunesi plakaları

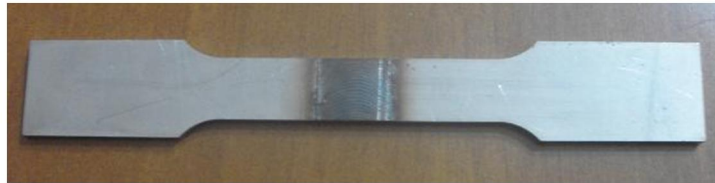
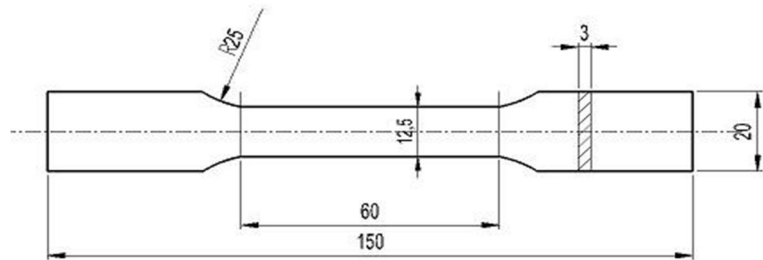
Deney numunesi plakaları alın altına getirilerek ba langıç deli i için iki plaka birle me noktasını tam ortalayacak ekilde 7 mm çapında delik açılmı tır, ekil 3.17.



ekil 3.17: Deney numunesi boyutları

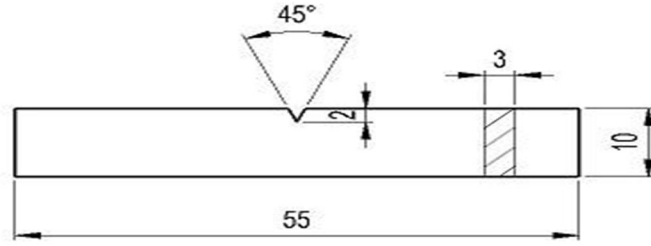
### 3.3 Tahribath-Tahribatsız Deney Numuneleri ve Boyutları

Kaynaklı ba lantılardan lazer ile kesilerek hazırlanan çekme deney numunesi ve boyutları ekil 3.18'de, çentik darbe deneyi numunesi ve boyutları ekil 3.19'de, mikroyapı ve SEM numunesi de ekil 3.20'de gösterilmi tir.

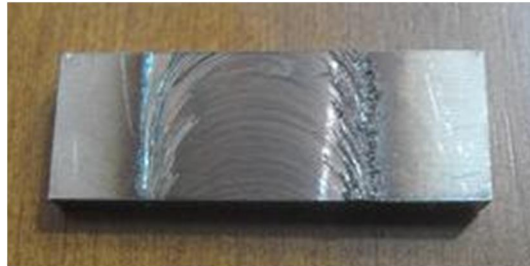


ekil 3.18: Çekme deneyi numunesi ve boyutları

Çekme deneyleri 5'inci Ana Bakım Merkez Komutanlı 1 laboratuvarlarında, çentik darbe deneyleri de Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarlarında hazırlanmıştır.

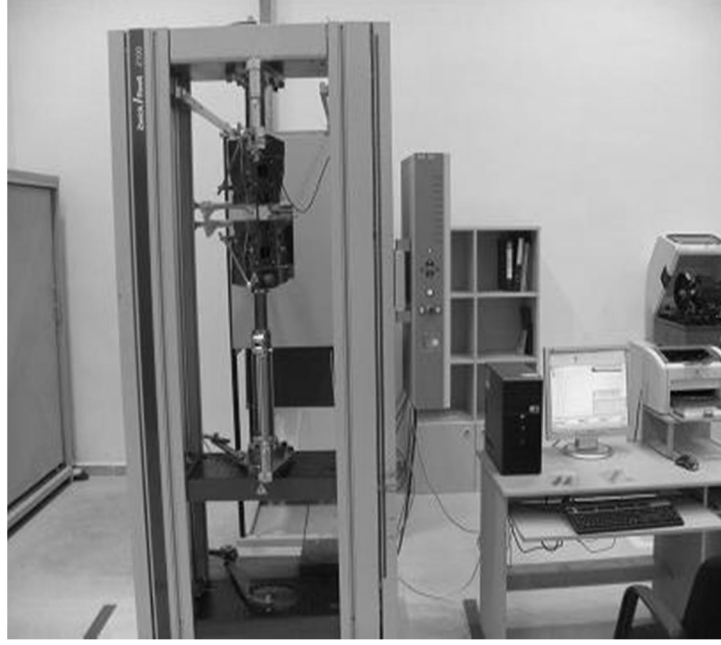


ekil 3.19: Çentik darbe deneyi numunesi ve boyutları

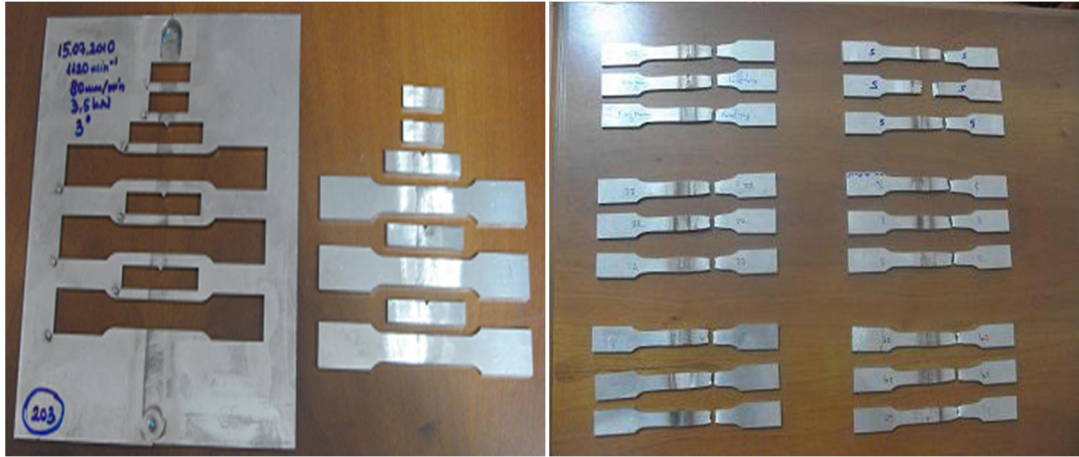


ekil 3.20: Mikroyapı ve SEM numunesi

Çekme deneyleri 100 kN kapasiteli Zwick/Roell Z100 çekme deney cihazında TS EN 10002 standardına uygun olarak oda sıcaklığında ve 10 MPa/s çekme hızında yapılmıştır, ekil 3.21. Her kaynaklı deney levhasından üçer adet çekme deney numunesi lazer kesim ile kesilerek hazırlanmıştır. Çekme deneyi için hazırlanan numuneler ile çekme deneyi sonrası görünümleri ekil 3.22'de görülmektedir.



**ekil 3.21:** Çekme deneylerinin yapıldığı Zwick-Roell marka deney cihazı



**ekil 3.22:** Lazer kesim ile hazırlanmış çekme deney numuneleri ve deney sonrası numunelerin görünüşleri

Her kaynaklı deney levhasından üçer adet çentik darbe deney numunesi lazer kesim ile kesilerek hazırlanmıştır, ekil 3.22. Çentik darbe deneyleri 300 J kapasiteli Instron Wolpert PW30 çentik darbe deney cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır. Çentik darbe deney cihazı ve deney sonrası numunelerin görünüşleri ekil 3.23’de görülmektedir.





ekil 3.23: Instron Wolpert PW30 çentik darbe deney cihazı ve deney sonrası numunelerin görünüşleri

Çekme ve çentik darbe deneylerinden sonra mikroyapı ve SEM incelemeleri için kaynaklı levhalardan kesilerek çıkarılan numuneler ekil 3.20’de gösterilmiştir. 3x10x25 mm boyutunda hazırlanan numuneler soğuk bakalite alınmıştır, ekil 3.24.



ekil 3.24: Bakalite alınmış numuneler

Bakalite alınan numuneler sırasıyla 200-1200 SiC zımparalar ile sulu zımparalamaya tabi tutulmuştur, ekil 3.25.



ekil 3.25: Numunelerin zımparalanmasında kullanılan Metkon marka sulu zımpara makinesi

Zımparalama sonrasında parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işleminde sırasıyla önce 6 µluk daha sonra da 3 µ' luk solüsyon ile parlatma yapılmıştır, ekil 3.26.



ekil 3.26: Numunelerin parlatılmasında kullanılan Metkon marka parlatma makinesi

Parlatma işlemi sonrasında numuneler önce makro inceleme için makro da lama , daha sonra mikro inceleme için mikro da lama yapılmıştır.

Makro da lamada da layıcı olarak 50 ml hidroklorik asit ve 50 ml saf su karışımı kullanılmıştır. Numuneler 20 dakika kadar da layıcı içerisinde tutulmuştur. Makro resimler Nikon SMZ 1500 stereo mikroskopta çekilmiştir, ekil 3.27.



ekil 3.27: Makroyapı incelemede kullanılan Nikon SMZ 1500 marka stereo mikroskop

Mikro da lamada ise da layıcı olarak paslanmaz çeliklerde sigma-fazı belirlemede kullanılan ve Vilella da layıcısı olarak bilinen 1 g pikrik asit, 5 ml hidroklorik asit, 95 ml etil alkol kullanılmı tır. Numuneler 60 saniye kadar da layıcı içersinde tutulmu tur. Mikro resimler 6 farklı büyütmeli (25x, 50x, 100x, 200x, 500x, 1000x büyütmeli) Leica marka 1 ık mikroskobunda çekilmi tir, ekil 3.28. Mikro resimler her numunenin esas bölgesinden, ITAB'dan ve karı ım bölgesinden olmak üzere 3 farklı noktadan çekilerek kayıt altına alınmı tır.



ekil 3.28: Mikroyapı incelemede kullanılan Leica marka 1 ık mikroskobu

Mikroyapı incelemeleri için makro ve mikroda lamalar yapılarak içyapıların incelenmesi ve foto raflarının çekilmesini müteakip Shimadzu HMV marka mikrosertlik ölçme cihazında numunelerin mikrosertlikleri ölçülmü tür, ekil 3.29.



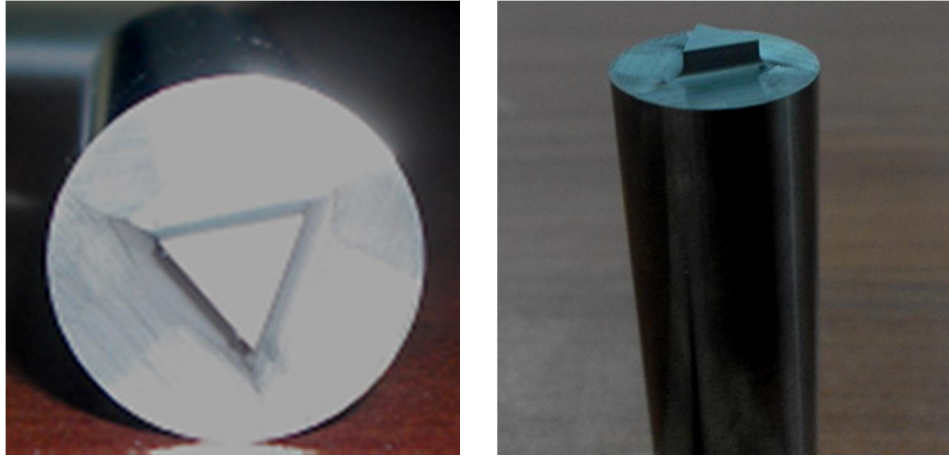
ekil 3.29: Shimadzu HMV mikrosertlik ölçme cihazı

### 3.4 Karı tırıcı Uç

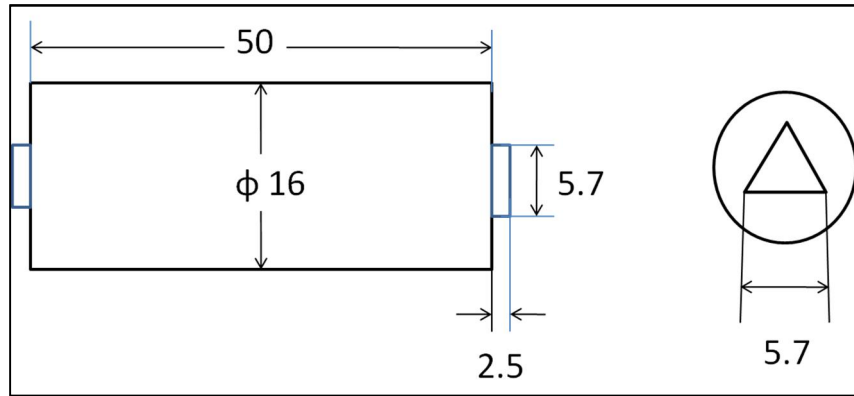
Parmak freze çakısından özel olarak yaptırılan sert metal K10F ( %94 WC ve %6 Co ala ımı) uçlar kullanılmı tır, ekil 3.30. Çıkma freze çakı kullanmak ekonomiklik açısından ve daha fazla deney yapma avantajından dolayı tercih edilmi tir. Her ne kadar PCBN (Polycrystalline Cubic Boron Nitride, Çok kristalli kübik bor nitür) uçlar çok daha dayanıklı ve tercih edilebilir görünse de çok yüksek maliyet gerektirdi inden, deney ko ullarında PCBN uç kullanılmamı tır.

Karı tırıcı uç imalinde 16 mm çapında olmasına; e kenar üçgen uç profili olmasına dikkat edilmi tir. Burada çapın 16 mm olmasının nedeni freze tezgahına takılan pensin çapının 16 mm olmasındandır. E kenar üçgen uç tercih edilmesinin nedeni yapılan literatür ara tırmalarında di er uçlara nazaran daha fazla performans göstermesidir (Meran, 2007).

Ba langıçta karı tırıcı ucun takım omuzu ile arasındaki derinlik 2,7 mm olarak imal edilmiştir. Ancak ön deneyler esnasında takım omuzu sürtünme esnasında numuneye 0.3 mm'den daha fazla daldığından numune kaynak esnasında levha kalınlığını taşıyamamış ve ana tablaya yapışmıştır. Bu da sürekli olarak deney sonrasında numunenin ana tabladan sökülerek çıkarılmasına neden olmuştur. Uç derinliği 2,5 mm'ye düşürülerek deneylere devam edildiğinde bu problem ortadan kalkmış ve deneylere 2,5 mm derinlikteki uçlar ile devam kararı verilmiştir, ekil 3.31.



ekil 3.30: K10F (%94 WC ve %6 Co alaımı) karı tırıcı uç



ekil 3.31: K10F karı tırıcı ucun boyutları

## 4. BULGULAR

Literatür çalı malarında da tespit edildi i ekilde yapılan deneylerde sürtünme karı tırma kaynak parametreleri olarak devir sayısı, ilerleme hızı, takım baskı kuvveti ve takım açısı belirlenmi tir. Her bir parametre ayrı ayrı etki yaratsa da gerçekte tüm parametrelerin birbirleri ile bir senkronazasyon olu turdu u ve optimum noktada bulu tukları gözlemlenmektedir. Her bir parametrenin deneysel olarak de i tirildi inde kaynakta ne tür etki yarattı ı ölçülmeye çalı ılmı tir. Tüm deney i lemleri sonunda ve muayene neticeleri birle tirildi inde tüm parametreler için ortak bir yorum yapmak mümkün olabilmektedir.

Parametreler üzerinde her ne kadar de i iklikler yapmak mümkün olsa da, parametrelerde ba langıç açısından olmazsa olmazlar da mevcuttur. Örnek olarak baskı kuvvetini ba langıçta 2 kN'lara ula tırmadan ve uç kızarmadan ilerleme verildi inde ucun ba langıçta kırılması verilebilir.

Deneyler ön deneyler ve esas deneyler olarak iki bölümde incelenmi tir. Ön deneylerde tecrübe kazanmanın yanısıra, ilk a amada hangi parametrenin ne tür bir etki yarattı ının anla ılmasına ve optimum de erlere ula ılmaya çalı ılmı tir. Esas deneylerde ise parametrelerin de i ikli i üzerinde çalı malar yapılmı tir.

### 4.1. Ön Deneyler

Toplam 16 adet ön deney yapılmı tir. Ön deneylerde çalı ılan parametreler Tablo 3.1'de görülmektedir. İlk deneylerde elde edilen veriler ve görünümeler incelenerek parametrelerde de i iklikler yapılmı ve en iyi görünümelerin elde edilmesine kadar deneylere devam edilmi tir. Ön deneylere ili kin bilgiler a a ıda sırası ile verilmi tir:

Tablo 4.1: Ön deneylerde çalışılan parametreler

Ön Deney No.	Takım Devir Sayısı ( $\text{min}^{-1}$ )	Takım ilerleme Hızı ( $\text{mm}/\text{min}$ )	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı ( $^{\circ}$ )
1	450	50	1	0
2	1120	50	1,2	0
3	1120	50	1,5	0
4	1120	50	3	0
5	1120	63	3	0
6	1120	80	3,5	0
7	1120	100	3	0
8	1120	80	3,5	3
9	1120	80	2,5	2
10	1120	80	2,5	0
11	1120	80	2,5	2
12	1120	100	2,5	0
13	1120	100	2,5	2
14	1120	100	3,5	3
15	1120	100	4,5	0
16	1120	125	4,5	2

Tüm deneylerde kaynak için hazırlanan numuneler tablaya tutturulmuştur. Ba langıç deliğine sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek numuneye kontrollü olarak daldırılmıştır. Takım omuzunun sürtünmeye başlaması ile birlikte ucun kızarmaya başlaması üzerine takıma ilerleme hareketi verilmiştir.

Tüm ön deneylerde elde edilen takım baskı kuvveti ve sıcaklık değerleri ile kaynak diki görünümlerine tez metni içerisinde yer verilmesinin uygun olmayacağı değerlendirildiğinden sadece ilk ön deney ile son ön deneye yer verilmiştir.

### **Ön Deney 1:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:**  $450 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

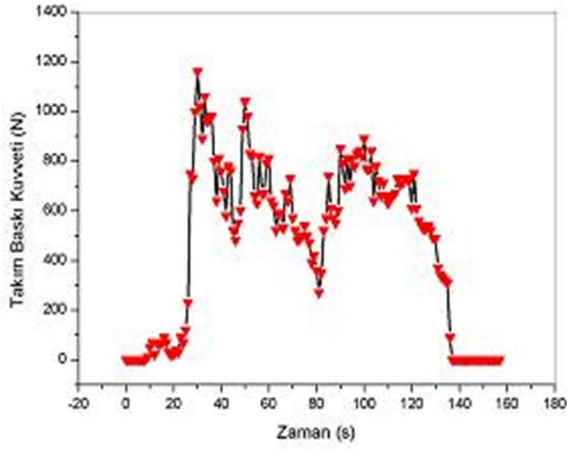
**ilerleme hızı:**  $50 \text{ mm}/\text{min}$

**Baskı kuvveti:** 1 kN

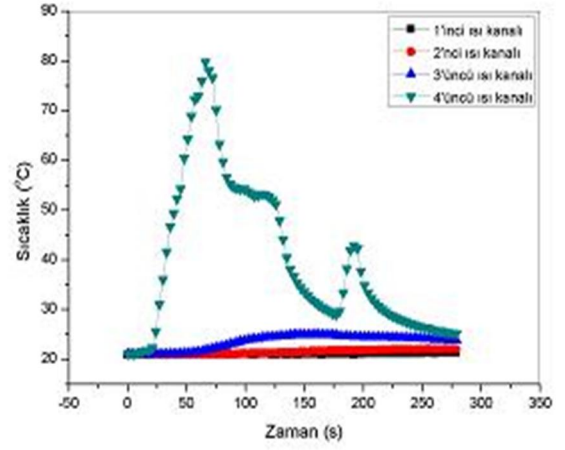
**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. Sıc.:** 80 C

Kaynak sırasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.1a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.1b'de görülmektedir. Kaynak diki üst görünümü ekil 4.1c'de, kaynak diki kök kısmı görünümü ekil 4.1d'de görülmektedir. Karı tırcı ucun kaynak sonrası görünümü ekil 4.1e'de görülmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

ekil 4.1: 450 min<sup>-1</sup>, 50 mm/min, 1 kN, 0 için zamana bağlı yük değişimi (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak diki üst (c), kök kısmı (d) ve kaynak sonrası karı tırcı ucun görünümü (e)



Sıcaklıklar örnek olarak ekil 4.1b’de de görüldü ü üzere tüm deneylerde dört farklı kanaldan ölçülmü tür. 1’inci ısı kanalından kaynak ba langıcındaki sıcaklık ölçülmektedir. 1’inci ısı kanalından itibaren her 5 cm de bir kaynak diki i boyunca sıralanan 2, 3 ve 4’üncü ısı kanallarından da sıcaklıklar ölçülmü tür. Isı kanallarından paslanmaz çelik levhaların sadece tabanındaki sıcaklık ölçülebildi i için gerçekte kaynak bölgesi sıcaklı ı daha fazladır.

Literatür incelemesinde daha önce üzerinde çalı ılan  $450 \text{ min}^{-1}$ ,  $50 \text{ mm/min}$  parametreleri esas alınarak gerçekte tirilen ilk ön deneyde kaynak yüzeyinin kötü bir görünüme sahip olması nedeni ile takım devrinin  $1120 \text{ min}^{-1}$ ’e çıkarılmasına karar verilmi tir. Kaynak esnasında takım baskı kuvvetinin kontrol edilemedi i görülmü tür, ekil 4.1a. Takım baskı kuvvetinin kaynak ba langıcında  $1,2 \text{ kN}$  iken kaynak esnasında  $0,2 \text{ kN}$  de erine kadar azaldı ı görülmektedir. Baskı kuvvetindeki bu düzensizli e kaynak esnasında istenilen sıcaklıklara ula ılamamı olmasının neden oldu u dü ünülmektedir.. Birinci ön deney esnasında kaynak ba langıcında en fazla  $80 \text{ C}$  sıcaklı a ula ılabilmı tir, ekil 4.1b.

Ön deneyler ile kaynak parametrelerinde yapılacak de i ikliklerin genel etkileri gözlenmeye çalı ılmı tir. Kaynak parametrelerinin belirli bir seviyede tutulup tutulmaması gerekti i bu deneylerin sonucunda elde edilmi tir. İlk deneylerde kötü kaynak görünümleri elde edilmi tir. Karı tırıcı ucun henüz ilerleme verilmeden önce kırılılabildi i tespit edilmi tir. Ön deneylerin ilerleyen a amalarında artık parametreler hakkında genel bir fikir edinilmeye ba lanmı tir.

### **Ön Deney 16:**

**Kullanılan takım:** K10F

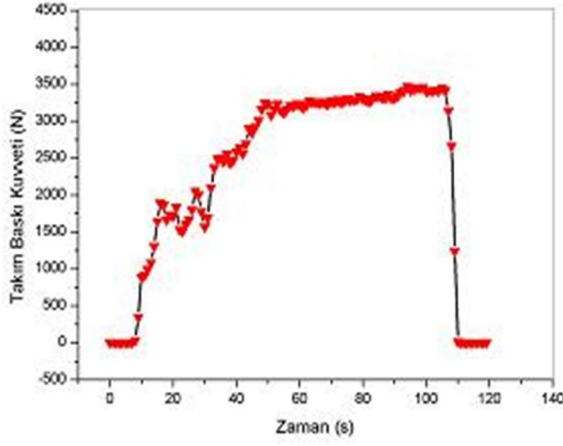
**Dönme hızı, yönü:**  $1120 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

**ilerleme hızı:**  $125 \text{ mm/min}$

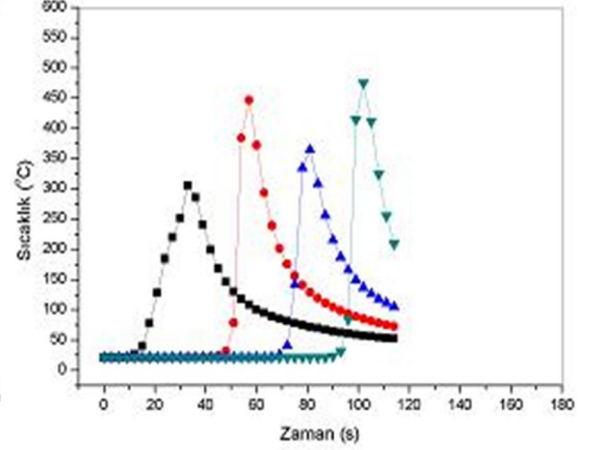
**Baskı kuvveti:**  $3,5 \text{ kN}$

**Takım açısı:**  $0$

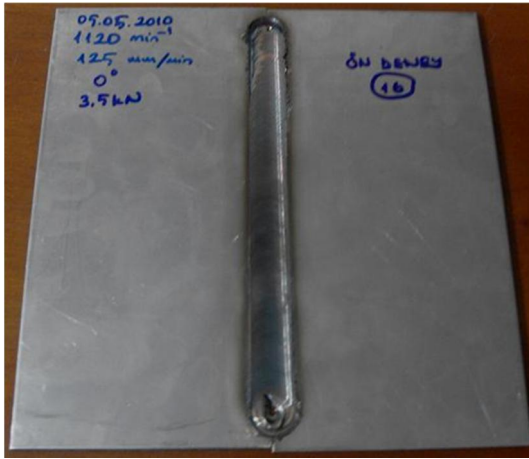
**Ölçülen maks. sic.:**  $474 \text{ C}$



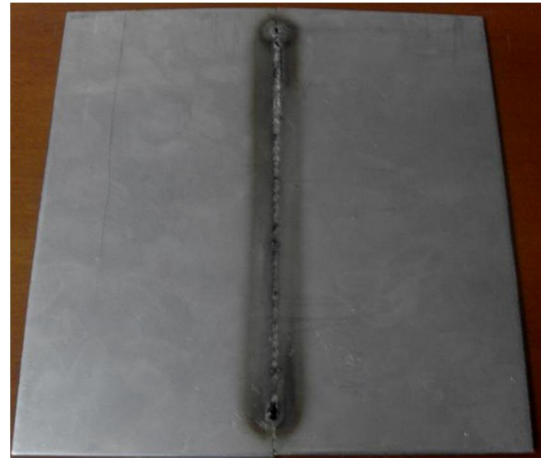
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.2:  $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$  için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i mi (b) ile kaynak diki i üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Kaynak esnasında olu an baskı yükünün zamanla de i mi ekil 4.2a'da, sıcaklı ın zamanla de i mi ekil 4.2b'de görölmektedir. Kaynak diki i üst görünümü ekil 4.2c'de, kaynak diki i kök kısmı görünümü ekil 4.2d'de görölmektedir.

Kayna ın ba arılı oldu u ve üst görünümünün pürüzsüz sayılabilecek derecede olu tu u görölmü tür, ekil 4.2c. Kök nüfuziyeti de iyi görünmektedir, ekil 4.2b.  $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$  parametreleri ile yapılan deneyde en iyi kaynak diki i üst görünümü ve kök nüfuziyetine ula ıldı ı tespit edilmi tir. Ön deneylerin sonunda düzgün bir yüzey görünümü ile iyi bir kök diki inin elde edildi i görölmü tür.

## 4.2. Esas Deneyler

Farklı parametrelere sahip toplam 51 adet esas deney yapılmı tır. Esas deneylerin herbiri en az iki defa tekrarlanmı , uyumlu olmayan bazı deneylerde ise daha fazla tekrar deneyi yapılarak mukavemet de erlerinin uyumlulu u kontrol edilmi tir. Tekrar edilen deneylerde de erlerin ortalaması esas alınmı tır. Deneylerde çalı ılan parametreler Tablo 4.2'de, her bir esas deneyde kullanılan parametreler Tablo 4.3'de gösterilmi tir.

Tablo 4.2: Esas deneylerde çalı ılan parametreler

<b>Takım Devir Sayısı (<math>\text{min}^{-1}</math>)</b>	<b>Takım lerleme Hızı (<math>\text{mm}/\text{min}</math>)</b>	<b>Takım Baskı Kuvveti (kN)</b>	<b>Takım Açısı (°)</b>
560	80	2.5	0
710	100	3	1
900	125	3.5	1.5
1120	160	4.5	2
1400	200	5.5	2.5
		7.5	3
			4
			5

Esas deneylerde her bir deneyin numarası belirlenirken kullanım ve kontrol kolaylı ı sa laması maksadıyla takım devir sayısına göre gruplandırma yapılmı tır.  $900 \text{ min}^{-1}$  devir sayısında yapılan deneyler 100 sayı grubunda,  $1120 \text{ min}^{-1}$  devir sayısında yapılan deneyler 200 sayı grubunda,  $1400 \text{ min}^{-1}$  devir sayısında yapılan deneyler 300 sayı grubunda, 560 ve  $710 \text{ min}^{-1}$  devir sayılarında yapılan deneyler de 400 sayı grubunda toplanmı tır. Bu sayı gruplarında ilave yapılabilecek deneyler için kolaylıkla rakam verilebilmesi de bir avantaj olarak de erlendirilmektedir.

Tablo 4.3: Her bir esas deneyde kullanılan parametreler

S.Nu.	Deney Nu.	Takım Devir Sayısı (min <sup>-1</sup> )	Takım lerleme Hızı (mm/min)	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)
1	101	900	80	3,5	0
2	102	900	80	4,5	0
3	103	900	80	3,5	2
4	104	900	100	3,5	0
5	105	900	125	3,5	0
6	106	900	125	4,5	0
7	107	900	80	5,5	0
8	108	900	80	3,5	3
9	109	900	100	3,5	2
10	110	900	125	5,5	0
11	111	900	125	3,5	2
12	201	1120	80	3,5	0
13	202	1120	80	3,5	2
14	203	1120	80	3,5	3
15	204	1120	80	4,5	0
16	205	1120	80	4,5	2
17	206	1120	80	5,5	0
18	207	1120	80	5,5	2
19	208	1120	100	3,5	0
20	209	1120	100	5,5	2
21	210	1120	125	3,5	0
22	211	1120	125	5,5	2
23	212	1120	100	3,5	2
24	213	1120	125	3,5	2
25	214	1120	125	7,5	0
26	215	1120	160	2,5	0
27	216	1120	160	3	0
28	217	1120	160	3,5	0
29	218	1120	200	3,5	0
30	219	1120	125	2	0
31	220	1120	125	2,5	0
32	221	1120	125	3,5	1
33	222	1120	125	3,5	1,5
34	223	1120	125	3,5	2,5
35	224	1120	125	3,5	3
36	225	1120	125	3,5	4
37	226	1120	125	3,5	5
38	227	1120	125	4,5	0
39	228	1120	125	5,5	0
40	301	1400	80	3,5	0
41	302	1400	80	3,5	2
42	303	1400	80	3,5	3
43	304	1400	100	3,5	0
44	305	1400	100	3,5	2
45	306	1400	125	3,5	0
46	307	1400	125	3,5	2
47	308	1400	200	2,5	0
48	309	1400	200	3,5	0
49	310	1400	200	4,5	0
50	401	560	125	3,5	0
51	402	710	125	3,5	0

## Esas Deney 101:

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:**  $900 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

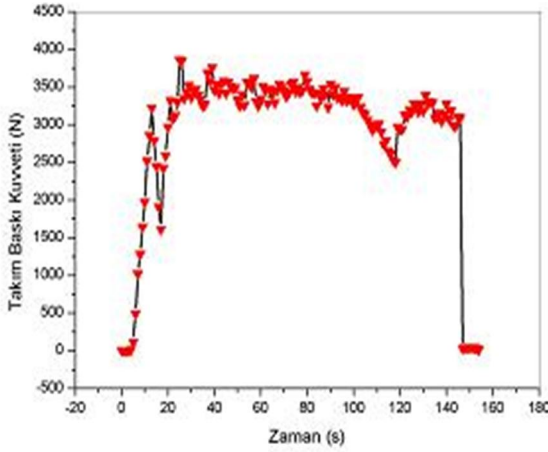
**İlerleme hızı:** 80 mm/min

**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

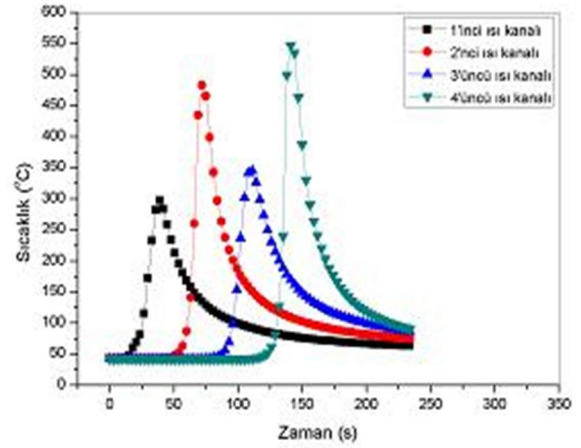
**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıcaklık:** 547 C

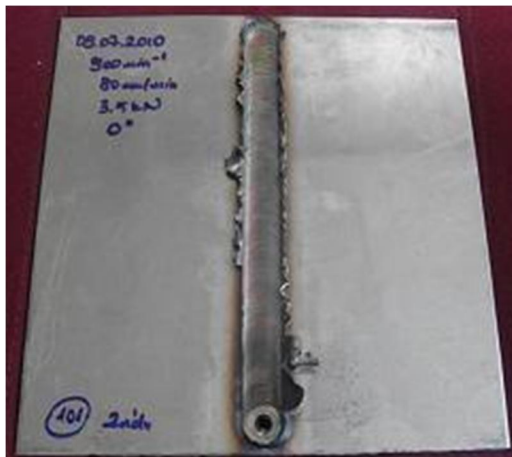
ekil 4.3a'da görüldüğü üzere takım baskı kuvvetini 3,5 kN'da sabit tutmanın düzgün bir yüzey elde etmede etkili olduğu görülmüştür, ekil 4.3c. Sıcaklığın 547 C'ye ulaştığı ve uygun olduğu değerlendirilmiştir, ekil 4.3b. Kök diki nüfuziyeti sağlanmıştır, ekil 4.3d.



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.3:  $900 \text{ min}^{-1}$ , 80 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak diki üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

## Esas Deney 102:

**Kullanılan takım:** K10F

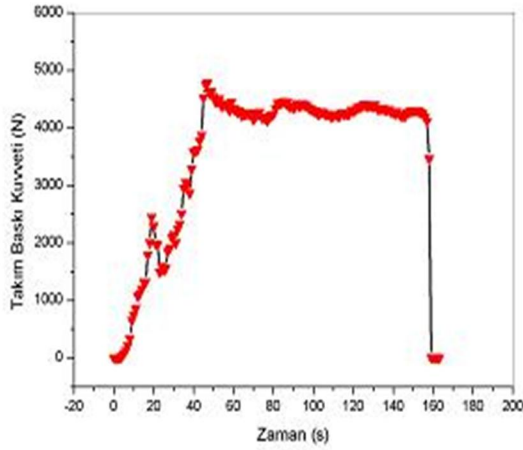
**Dönme hızı, yönü:**  $900 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 80 mm/min

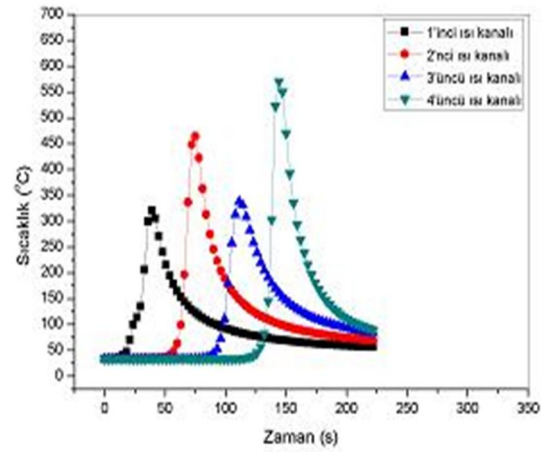
**Baskı kuvveti:** 4,5 kN

**Takım açısı:** 0

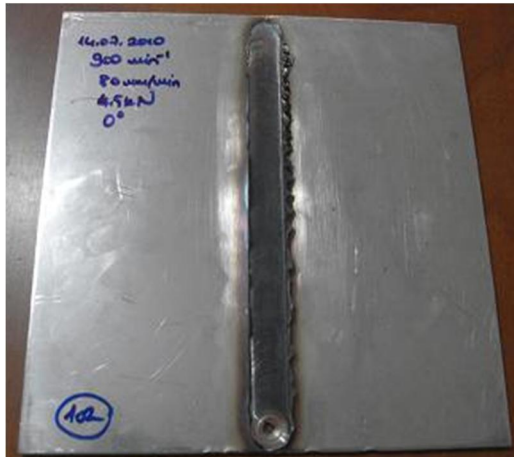
**Ölçülen maks. sıc.:** 570 C



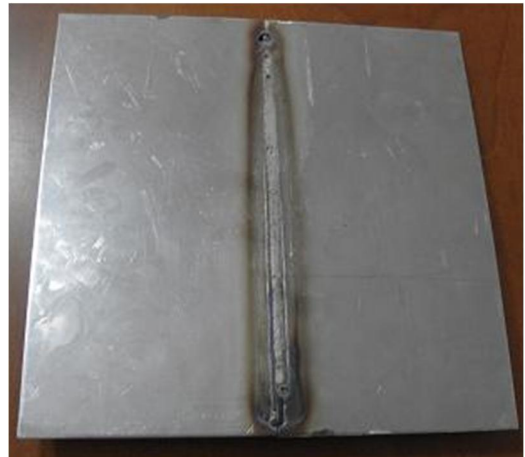
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.4:  $900 \text{ min}^{-1}$ , 80 mm/min, 4,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.4a'da da görüldü ü üzere 4,5 kN'a yükseltildi tir, ekil 4.4c. Sıcaklı ın 570 C'ye ula tı ı görülmektedir, ekil 4.4b. yi bir kaynak için

alttan ölçülen bu sıcaklığın uygun olduğu da değerlendirilmiştir. Kök diki i nüfuziyetinin sağlandığı görülmektedir, ekil 4.4d.

### **Esas Deney 103:**

**Kullanılan takım:** K10F

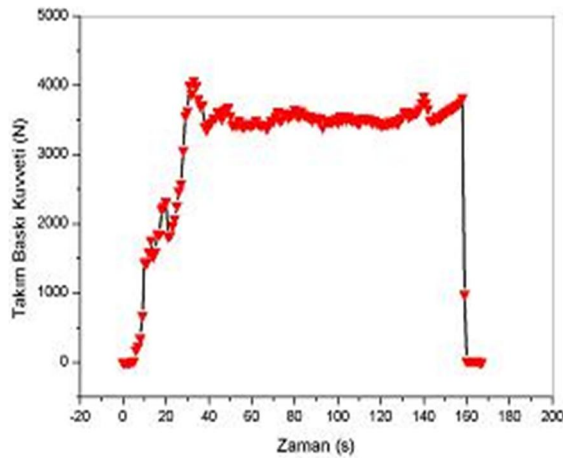
**Dönme hızı, yönü:** 900 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 80 mm/min

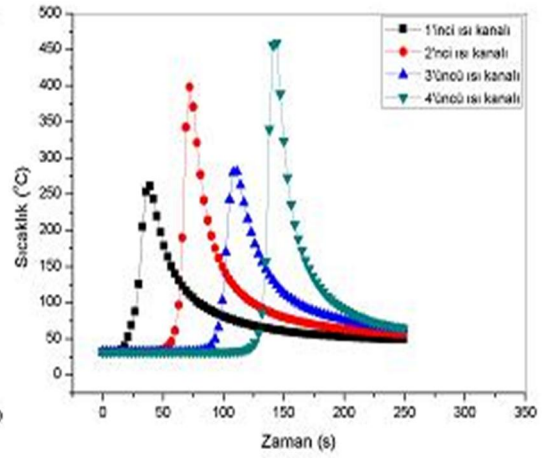
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 2°

**Ölçülen maks. sic.:** 459 C



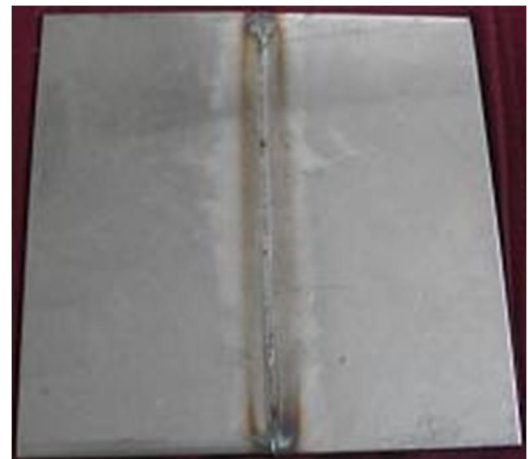
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.5: 900 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 3,5 kN, 2° için zamana bağılı yük (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak dikiinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.5a'da da görüldü ü üzere 3,5 kN'da tutulmu tur. Takıma 2 lik açı verilmesi sonucu sıcaklık biraz azalarak 459 C'ye gerilemi tir, ekil 4.5b. Kaynak üst yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.5c. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.5d.

### **Esas Deney 104:**

**Kullanılan takım:** K10F

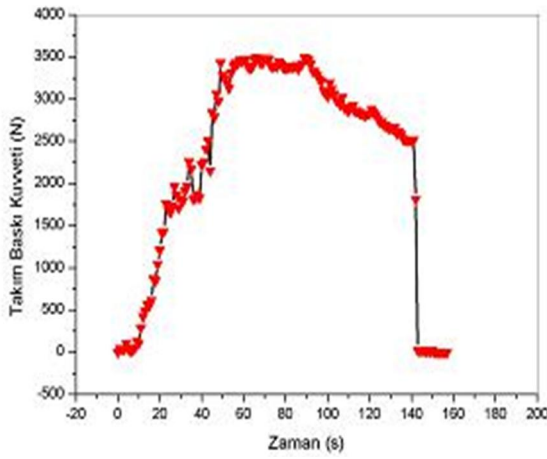
**Dönme hızı, yönü:** 900 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 100 mm/min

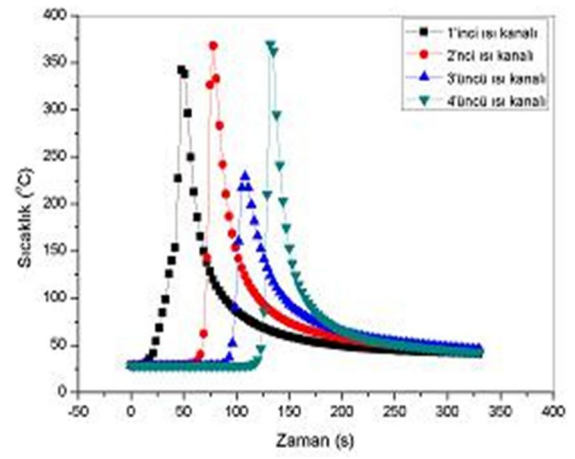
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 369 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.6: 900 min<sup>-1</sup>, 100 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük(a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü



Takım baskı kuvveti ekil 4.6a da görüldü ü üzere ba langıçta 3,5 kN'da tutulmu tur. Ancak ekil 4.6c de görüldü ü üzere zamanla çapak olu maya ba layınca takım baskı kuvveti azaltılmı tır. Takım baskı kuvveti azaltılınca sıcaklık 369 C'ye gerilemi tir, ekil 4.6b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.6d.

### **Esas Deney 105:**

**Kullanılan takım:** K10F

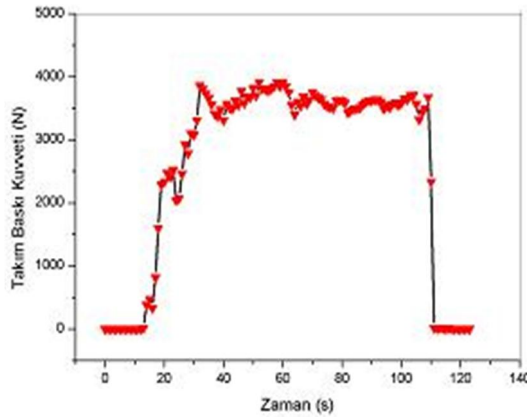
**Dönme hızı, yönü:** 900 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

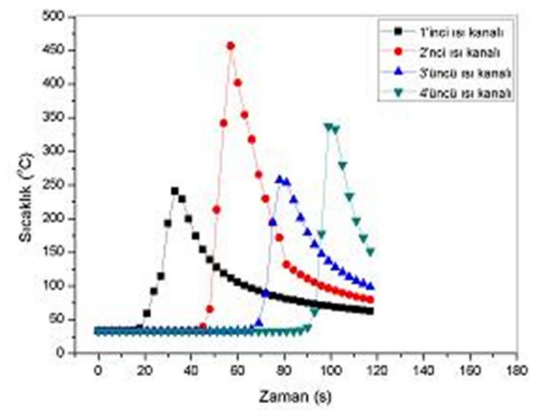
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıc. :** 456 C



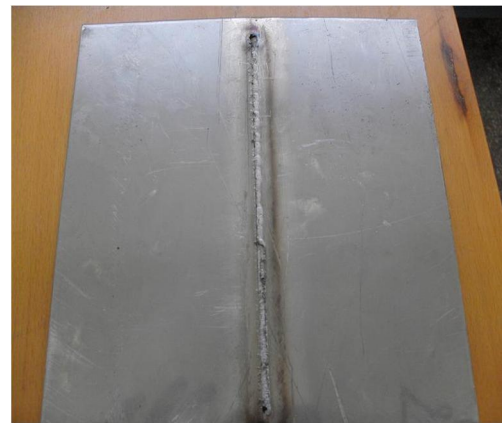
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.7: 900 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük(a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.7a'da görüldü ü üzere 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.7c. ilerleme hızı bir önceki deneyde uygulanan 100 mm/min ilerleme hızından 125 mm/min hıza çıkarılınca daha kısa sürede sürtünme yaparak ilerleyen karı tırcı ucun 369 C gibi daha dü ük sıcaklı a ula tı ı görülmektedir, ekil 4.7b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.7d.

### **Esas Deney 106:**

**Kullanılan takım:** K10F

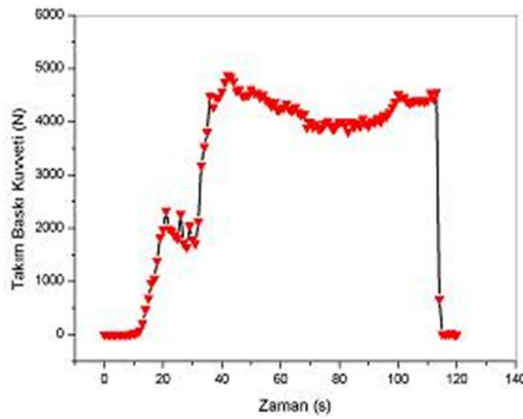
**Dönme hızı, yönü:** 900 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**ilerleme hızı:** 125 mm/min

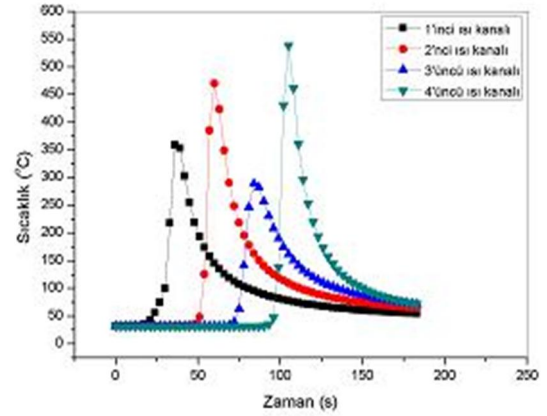
**Baskı kuvveti:** 4,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıc. :** 538 C



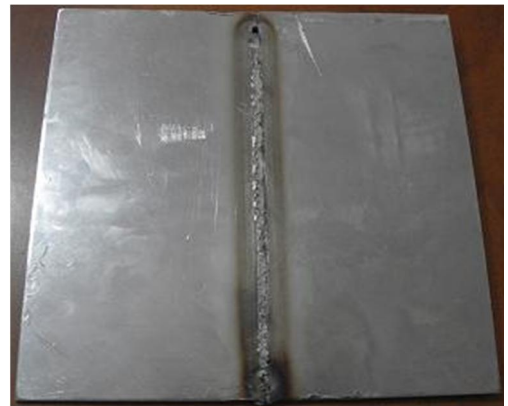
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.8: 900 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 4,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Kaynak esnasında olu an baskı yükünün zamanla de i imi ekil 4.8a'da, sıcaklı ın zamanla de i imi ekil 4.8b'de görölmektedir. Kaynak diki i üst görünümü ekil 4.8c'de, kaynak diki i kök kısmı görünümü ekil 4.8d'de görölmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.8a'da göröldü ü üzere 4,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyinde çapak olu mu tur, ekil 4.8c. Takım baskı kuvvetinin 4,5 kN'a çıkarılması sonucu takım omzunun numuneye daha fazla dalması sonucu çapak olu tu u de erlendirilmi tir. Daha fazla takım baskı kuvveti uygulanmasına ba lı olarak sıcaklı ın da arttı ı ve 538 C'ye ula tı ı görölmektedir, ekil 4.8b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görölmektedir, ekil 4.8d.

### **Esas Deney 107:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 900 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 80 mm/min

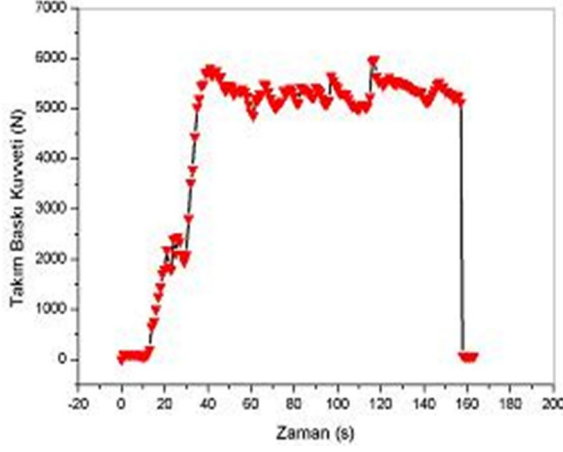
**Baskı kuvveti:** 5,5 kN

**Takım açısı:** 0

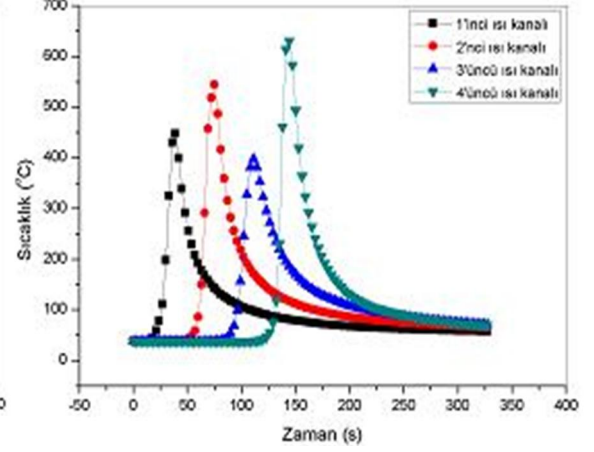
**Ölçülen maks. sic. :** 630 C

Kaynak esnasında olu an baskı yükünün zamanla de i imi ekil 4.9a'da, sıcaklı ın zamanla de i imi ekil 4.9b'de görölmektedir. Kaynak diki i üst görünümü ekil 4.9c'de, kaynak diki i kök kısmı görünümü ekil 4.9d'de görölmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.9a'da göröldü ü üzere 5,5 kN'a çıkarılmı tır. Kaynak yüzeyindeki çapak olu umunda artı görölmektedir, ekil 4.9c. Takım baskı kuvvetinin 5,5 kN'a çıkarılması sonucu takım omzunun numuneye daha da fazla dalması sebebiyle çapak olu umunun arttı ı de erlendirilmi tir. Yine daha fazla takım baskı kuvveti uygulanmasına ba lı olarak sıcaklı ın da arttı ı ve 630 C'ye ula tı ı görölmektedir, ekil 4.9b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görölmektedir, ekil 4.9d.



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.9:  $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $80 \text{ mm/min}$ ,  $5,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$  için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi ile (b) kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

### **Esas Deney 108:**

**Kullanılan takım:** K10F

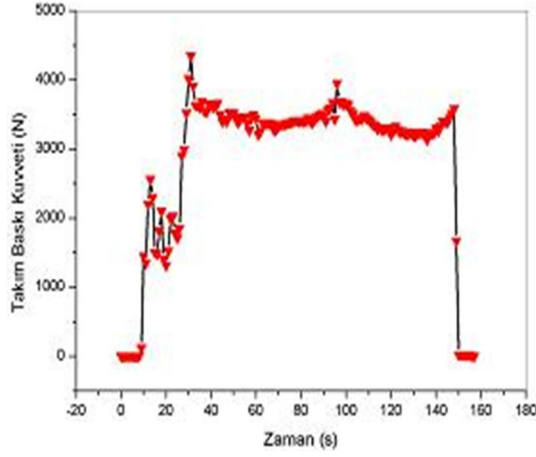
**Dönme hızı, yönü:**  $900 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:**  $80 \text{ mm/min}$

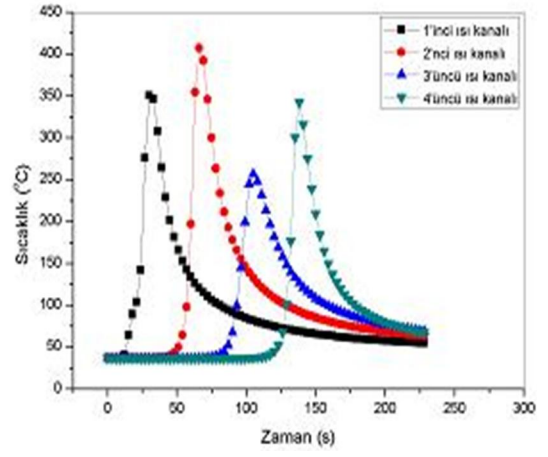
**Baskı kuvveti:**  $3,5 \text{ kN}$

**Takım açısı:**  $3^\circ$

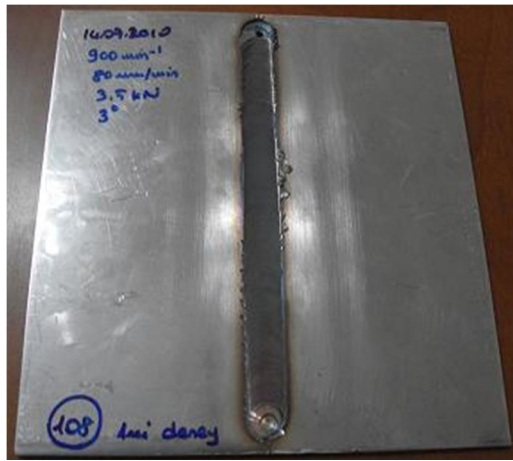
**Ölçülen maks. sic.:**  $407 \text{ C}$



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.10:  $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $80 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $3^\circ$  için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i mi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Kaynak esnasında olu an baskı yükünün zamanla de i mi ekil 4.10a'da, sıcaklı ın zamanla de i mi ekil 4.10b'de görölmektedir. Kaynak diki i üst görünümü ekil 4.10c'de, kaynak diki i kök kısmı görünümü ekil 4.10d'de görölmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.10a'da göröldü ü üzere  $3,5 \text{ kN}$ 'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.10c. Takıma  $3^\circ$  lik açı verilmesi sonucu karı tırıcı uç daha az sürtünmeye maruz kaldı ndan sıcaklık biraz azalarak  $407 \text{ C}^\circ$ 'ye gerilemi tir, ekil 4.10b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görölmektedir, ekil 4.10d.

## **Esas Deney 109:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:**  $900 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

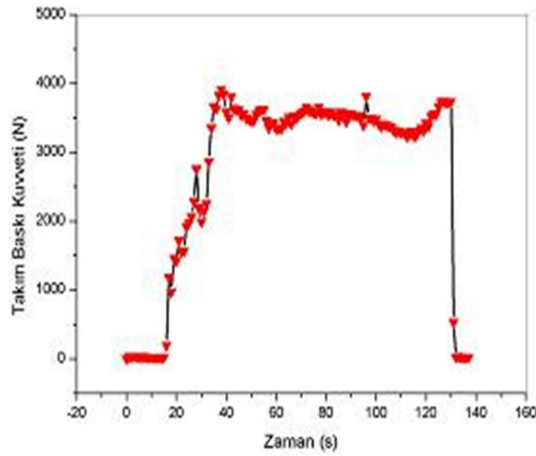
**İlerleme hızı:** 100 mm/min

**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

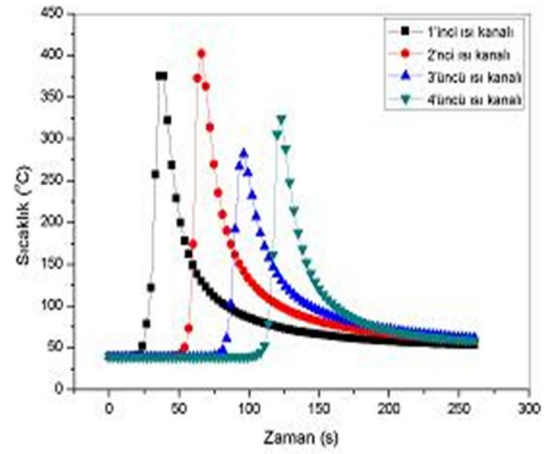
**Takım açısı:** 2

**Ölçülen maks. sic.:** 402 C

Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.11a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.11b'de görülmektedir. Kaynak diğinin üst görünümü ekil 4.11c'de, kaynak diğinin kök kısmı görünümü ekil 4.11d'de görülmektedir.



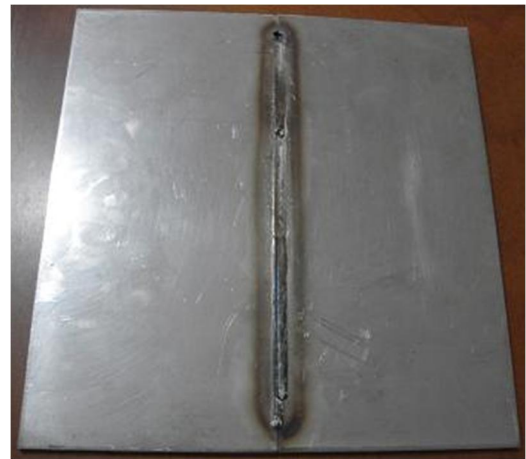
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.11:  $900 \text{ min}^{-1}$ , 100 mm/min, 3,5 kN, 2 için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak diğinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.11a'da görüldü ü üzere 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.11c. Takıma 2 lik aç ı verilmesine ilave olarak ilerleme hızının da 80 mm/min'den 100 mm/min'e çıkarılması sonucu kar ı tırıcı uç daha az sürtünmeye maruz kaldı ından sıcaklık biraz daha azalarak 402 C'ye gerilemi tir, ekil 4.11b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.11d.

### **Esas Deney 110:**

**Kullanılan takım:** K10F

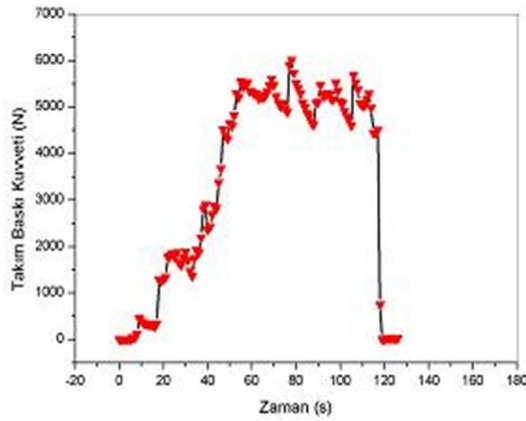
**Dönme hızı, yönü:** 900 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**ilerleme hızı:** 125 mm/min

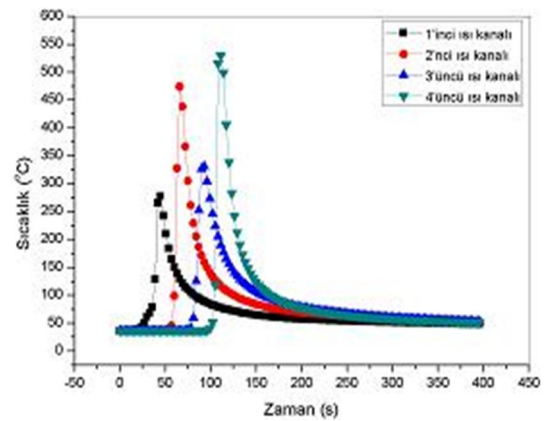
**Baskı kuvveti:** 5,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 529 C



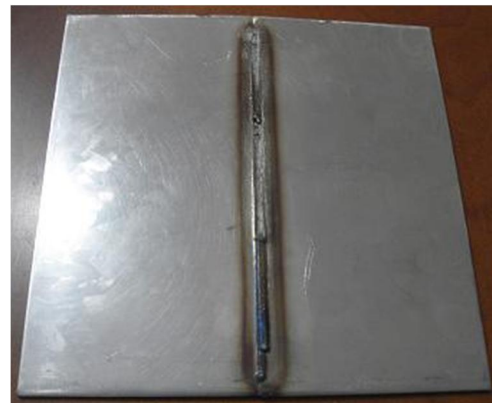
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.12: 900 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 5,5 kN, 0 için zamana ba ılı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.12a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.12b'de görülmektedir. Kaynak diki üst görünümü ekil 4.12c'de, kaynak diki kök kısmı görünümü ekil 4.12d'de görülmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.12a'da görüldüğü üzere 5,5 kN'a çıkarılmıştır. Ancak baskı kuvveti istikrarsız olarak artıp azalmasına bağlı olarak kaynak yüzeyinde çapak oluşumu meydana gelmiş görülmektedir, ekil 4.12c. Takım baskı kuvvetinin 5,5 kN'a çıkarılması sonucu takım omzunun numuneye daha fazla dalması sebebiyle sıcaklığın 529 C'ye ulaştığı görülmektedir, ekil 4.12b. Kök diki nüfuziyetinin sağlandı görülmektedir, ekil 4.12d.

### **Esas Deney 111:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 900 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 125 mm/min

**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

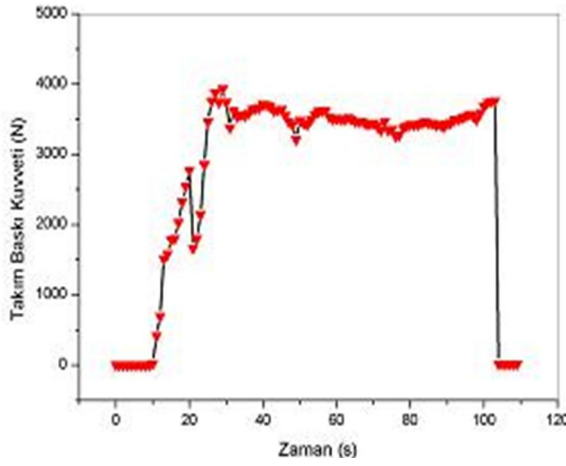
**Takım açısı:** 2

**Ölçülen maks. sic.:** 346 C

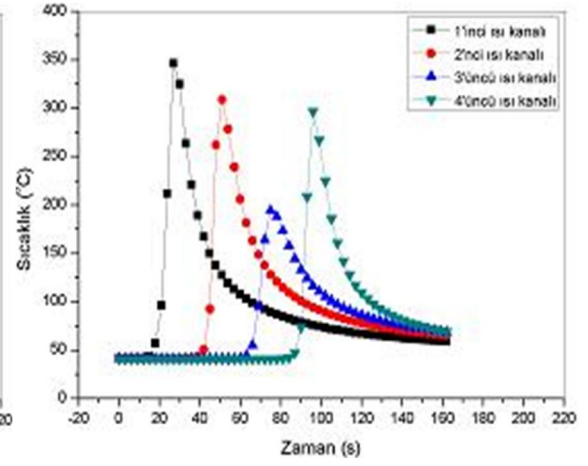
Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.13a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.13b'de görülmektedir. Kaynak diki üst görünümü ekil 4.13c'de, kaynak diki kök kısmı görünümü ekil 4.13d'de görülmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.13a'da görüldüğü üzere 3,5 kN'da tutulmuştur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.13c. Takıma 2 lik açı verilmesine ilave olarak ilerleme hızının da 100 mm/min'den 125 mm/min'e çıkarılması sonucu karı tırcı uç daha az sürtünmeye maruz kaldığından sıcaklık azalarak 346 C'ye gerilemiştir, ekil 4.13b. Kök diki nüfuziyetinin sağlandı görülmektedir, ekil 4.13d.





(a)



(b)



(c)



(d)

**ekil 4.13:**  $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ , 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i mi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

### **Esas Deney 201:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:**  $1120 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

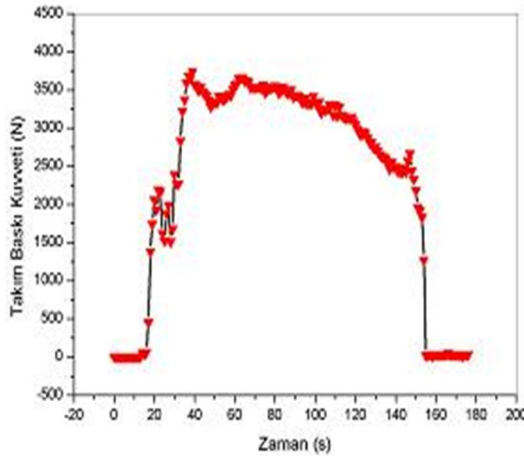
**lerleme hızı:**  $80 \text{ mm/min}$

**Baskı kuvveti:**  $3,5 \text{ kN}$

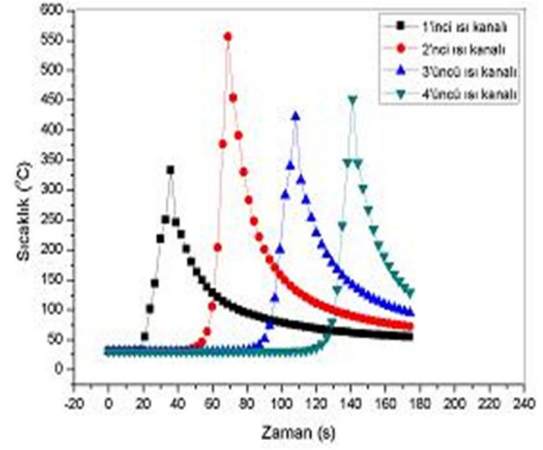
**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıc.:**  $556 \text{ C}$

Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.14a'da, sıcaklığının zamanla değişimi ekil 4.14b'de görülmektedir. Kaynak dikiinin üst görünümü ekil 4.14c'de, kaynak dikiinin kök kısmı görünümü ekil 4.14d'de görülmektedir.



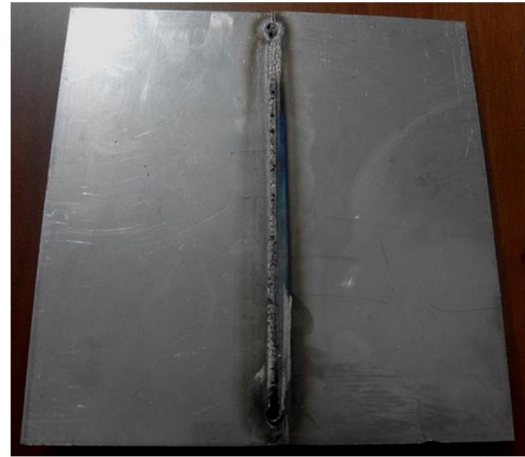
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.14:  $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $80 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$  için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak dikiinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.14a'da görüldüğü üzere  $3,5 \text{ kN}$ 'da tutulmuştur. Kaynak yüzeyinde çapaklanma artışı görülmektedir, ekil 4.14c. Çapak artışının levhaların dengeli sabitlenememesi sebebiyle olduğu değerlendirilmiştir. Sıcaklık  $467 \text{ C}$  ölçülmüştü ve normal görünmektedir, ekil 4.14b. Kök dikiinin nüfuziyetinin sağlandığı görülmektedir, ekil 4.14d.

## Esas Deney 202:

**Kullanılan takım:** K10F

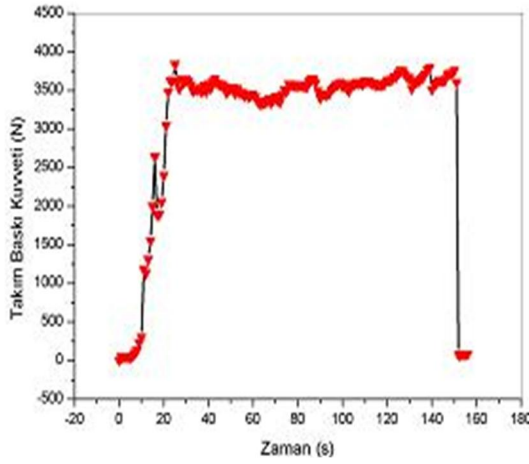
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 80 mm/min

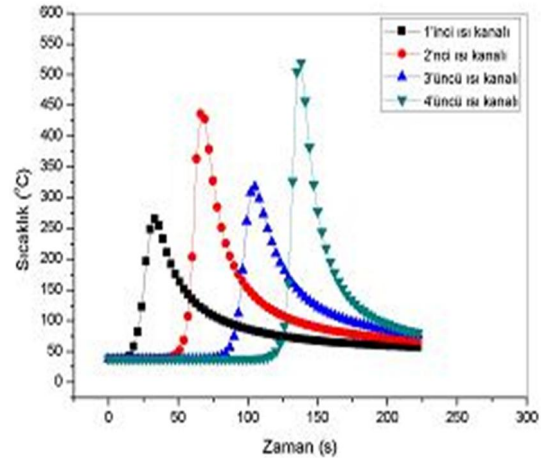
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 2

**Ölçülen maks. sıc. :** 519 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.15: 1120 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 3,5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.15a'da görüldü ü üzere 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.15c. Takıma 2 lik açı verilmesinin normal olarak

sıcaklığı düürmesi beklenirken, 80 mm/min gibi düük bir ilerleme hızına baılı olarak karı tırıcı ucun daha uzun süreli sürtünmeye maruz kalması sonucu sıcaklık 519 C'ye yükselmiştir, ekil 4.15b. Kök diki nüfuziyetinin salandı ı görülmektedir, ekil 4.15d.

### **Esas Deney 203:**

**Kullanılan takım:** K10F

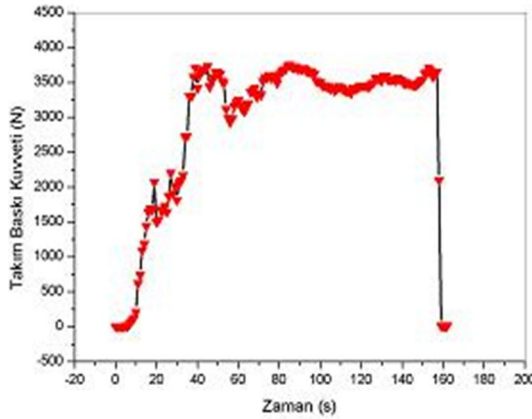
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 80 mm/min

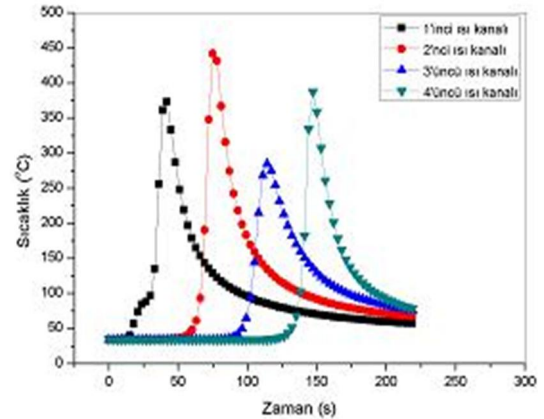
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 3

**Ölçülen maks. sic.:** 441 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.16: 1120 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 3,5 kN, 3 için zamana baılı yük (a) ve sıcaklık de i mi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.16a’da görüldü ü üzere 3,5 kN’da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.16c. Bir önceki deneyle kıyaslandı ında ilerleme hızı yine 80 mm/min olarak alınmasına kar ın takım açısı artırılarak 3 ’ye çıkarıldı ından sıcaklık 441 C’ye dü mü tür, ekil 4.16b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.16d.

### **Esas Deney 204:**

**Kullanılan takım:** K10F

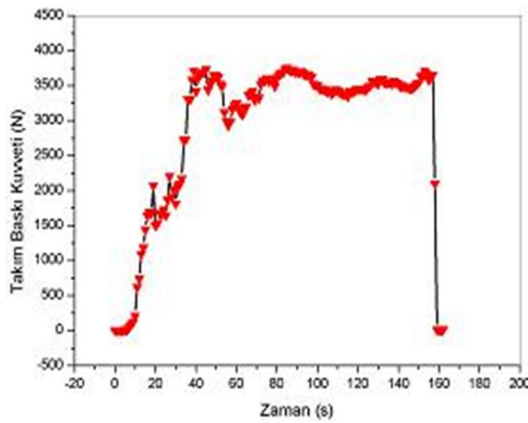
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**ilerleme hızı:** 80 mm/min

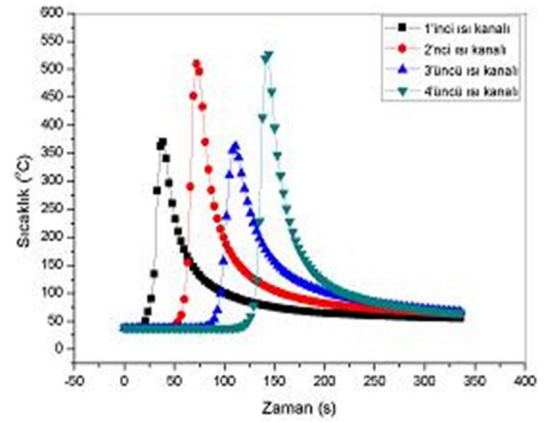
**Baskı kuvveti:** 4,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıc.:** 526 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.17: 1120 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 4,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.17a'da görüldü ü üzere 4,5 kN'a çıkarılmı tır. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.17c. Takım baskı kuvvetinin 4,5 kN'a çıkarılması sonucu takım omzunun numuneye daha fazla dalması sebebiyle sıcaklı ın 526 C'ye ula tı ı görülmektedir, ekil 4.17b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.17d.

### **Esas Deney 205:**

**Kullanılan takım:** K10F

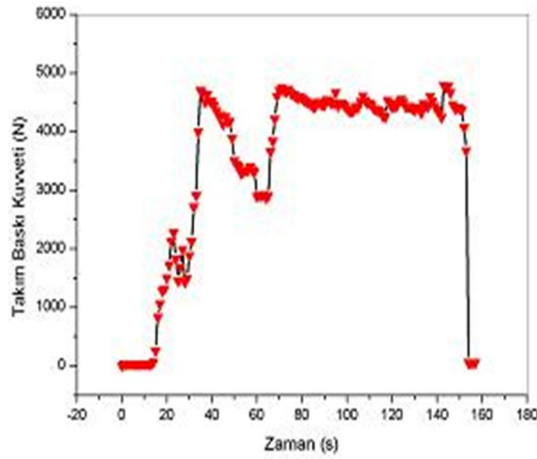
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 80 mm/min

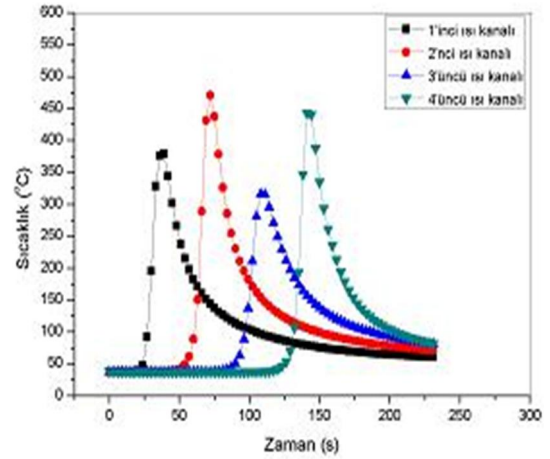
**Baskı kuvveti:** 4,5 kN

**Takım açısı:** 2

**Ölçülen maks. sıc.:** 471 C



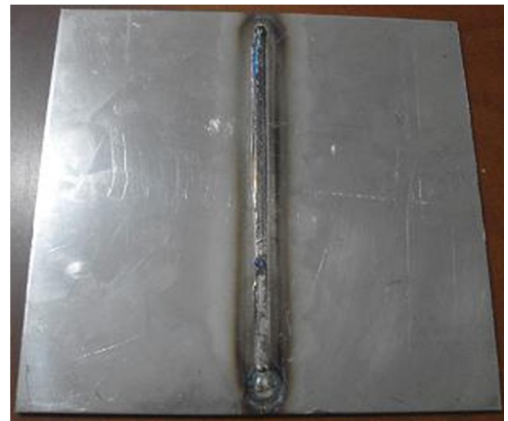
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.18: 1120 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 4,5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.18a'da görüldü ü üzere 4,5 kN'a çıkarılmı tır. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.18c. Takım baskı kuvvetinin 4,5 kN'a çıkarılması sonucu takım omzunun numuneye daha fazla dalmasıyla sıcaklı ı artıracakı beklenirken takım açısının 2 verilmesi sebebiyle sıcaklık 471 C olarak biraz daha dü ük ölçülmü tür, ekil 4.18b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.18d.

### **Esas Deney 206:**

**Kullanılan takım:** K10F

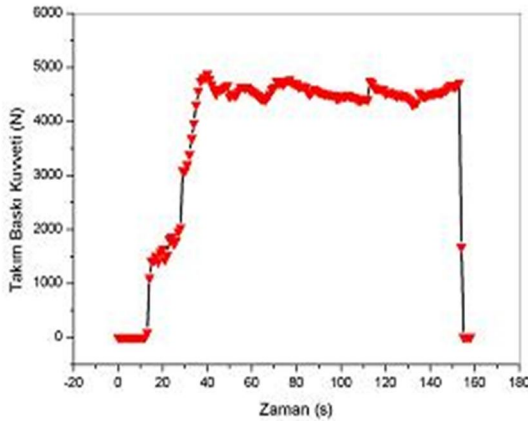
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 80 mm/min

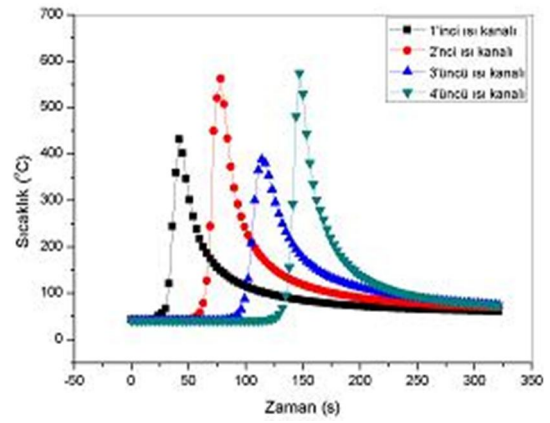
**Baskı kuvveti:** 5,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 574 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.19: 1120 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 5,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.19a'da görüldü ü üzere 5,5 kN'a çıkarılmıştır. Takım baskı kuvvetindeki artışı ile birlikte düğüm ilerleme hızının çapak oluşumunu artırdığı görülmektedir, ekil 4.19c. Takım baskı kuvvetinin 5,5 kN'a çıkarılması sonucu takım omzunun numuneye daha fazla dalması sebebiyle sıcaklık artmış ve 471 C ölçülmüştür, ekil 4.19b. Kök diki nüfuziyetinin sağlandı ı görülmektedir, ekil 4.19d.

### **Esas Deney 207:**

**Kullanılan takım:** K10F

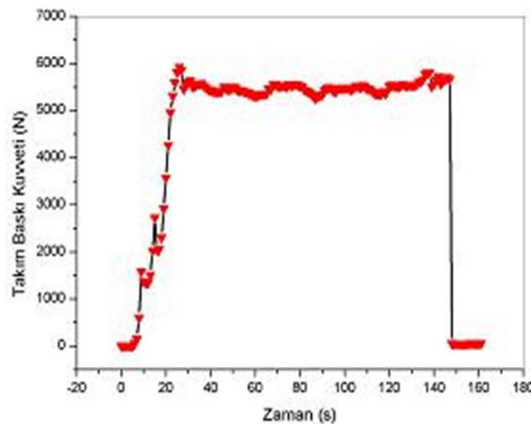
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 80 mm/min

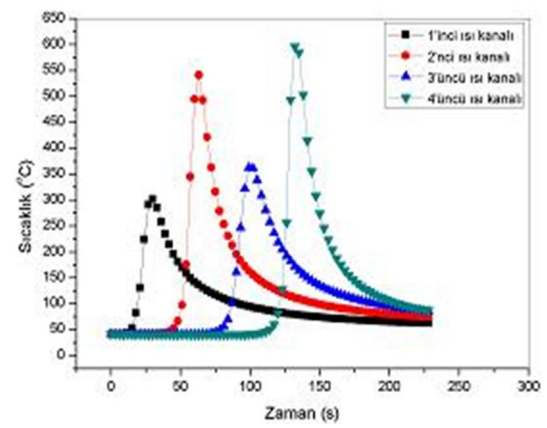
**Baskı kuvveti:** 5,5 kN

**Takım açısı:** 2°

**Ölçülen maks. sıc.:** 596 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.20: 1120 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 5,5 kN, 2° için zamana bağımlı yük (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak dikiinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü



Takım baskı kuvveti ekil 4.20a'da görüldü ü üzere 5,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.20c. Takım açısı olarak 2 verilmesinin sıcaklığı bir miktar azaltacağı beklentisine rağmen aksine bir miktar artarak 596 C ölçülmü tür, ekil 4.20b. Bir önceki deneye nazaran sıcaklıkta meydana gelen bu küçük miktardaki artışın açıdan kaynaklanmadığı değerlendirilmiştir. Bir önceki deneyde gerçek sıcaklık değerinin daha fazla ölçülebileceği ancak çapaklanma karısında takım baskı kuvvetinin kontrollü olarak azaltılması sonucu daha düşük sıcaklık değeri ölçüldü ü sonucuna varılmıştır. Kök dikisi nüfuziyetinin sağlandı ı görülmektedir, ekil 4.20d.

### **Esas Deney 208:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 100 mm/min

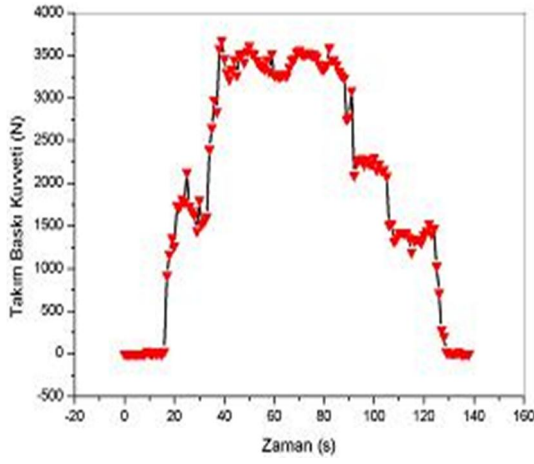
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

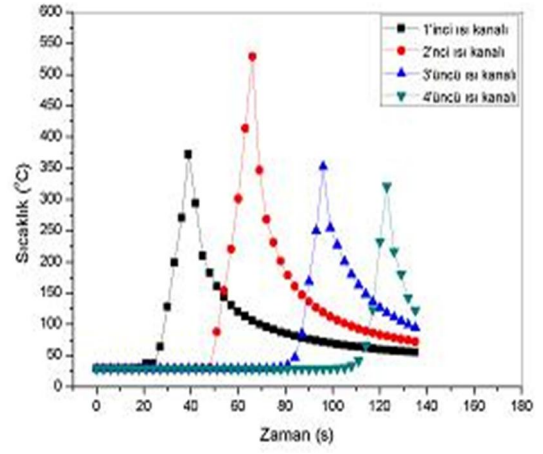
**Ölçülen maks. sıc.:** 528,8 C

Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.21a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.21b'de görülmektedir. Kaynak dikisi üst görünümü ekil 4.21c'de, kaynak dikisi kök kısmı görünümü ekil 4.21d'de görülmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.21a'da görüldü ü üzere 3,5 kN'da tutulmaya çalışılmış ancak kontrolsüz olarak azalıp artmıştır. Kaynak yüzeyinde çapaklanmalar görülmektedir, ekil 4.21c. Yine kaynak yüzeyinde görülen mavi yanma izlerinin düzensiz takım baskı kuvvetleri sebebiyle meydana geldiği değerlendirilmiştir. Takım baskı kuvvetinde meydana gelen düzensizliklerin etkisiyle sıcaklık 309 C ölçülmü tür, ekil 4.21b. Kök dikisi nüfuziyetinin sağlandı ı görülmektedir, ekil 4.21d.



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.21: 1120 min<sup>-1</sup>, 100 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de ğ i mi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

### **Esas Deney 209:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

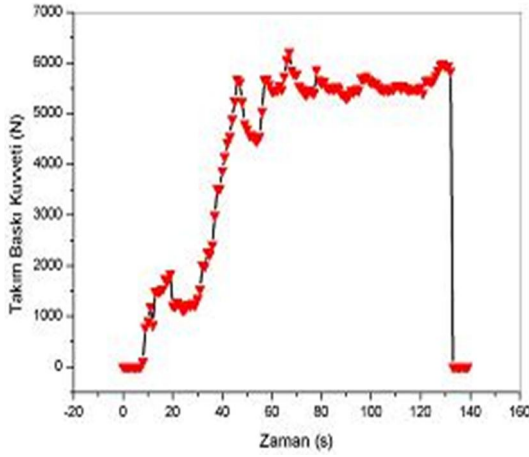
**lerleme hızı:** 100 mm/min

**Baskı kuvveti:** 5,5 kN

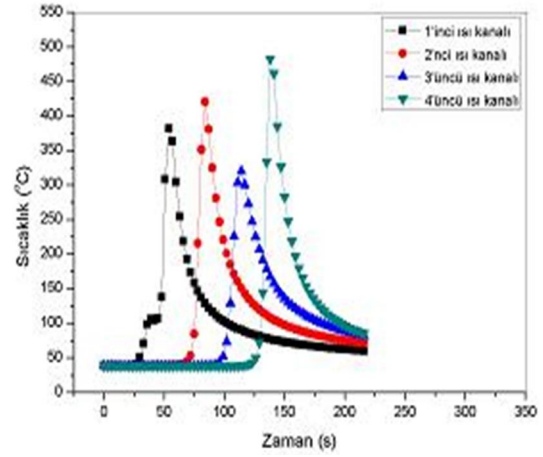
**Takım açısı:** 2

**Ölçülen maks. sic.:** 482 C

Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.22a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.22b'de görülmektedir. Kaynak diki üst görünümü ekil 4.22c'de, kaynak diki kök kısmı görünümü ekil 4.22d'de görülmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.22: 1120 min<sup>-1</sup>, 100 mm/min, 5,5 kN, 2 için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.22a'da görüldüğü üzere 5,5 kN'a çıkarılmıştır. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.22c. Takım baskı kuvvetinin 5,5 kN'a çıkarılmasıyla sıcaklığın da artması beklenirken takıma 2° lik açı verilmesi sebebiyle sıcaklık 482 C olarak ölçülmüştür, ekil 4.22b. Kök diki nüfuziyetinin sağlandığı görülmektedir, ekil 4.22d.

## Esas Deney 210:

**Kullanılan takım:** K10F

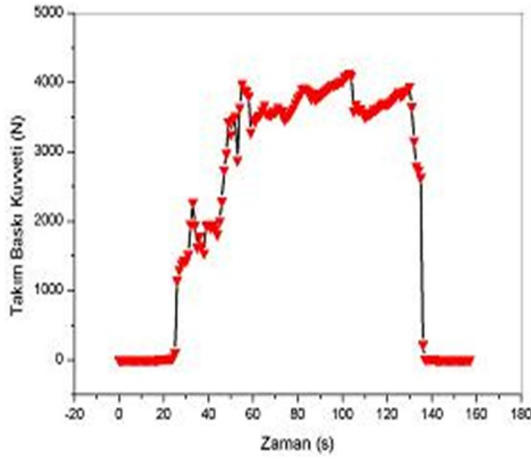
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 125 mm/min

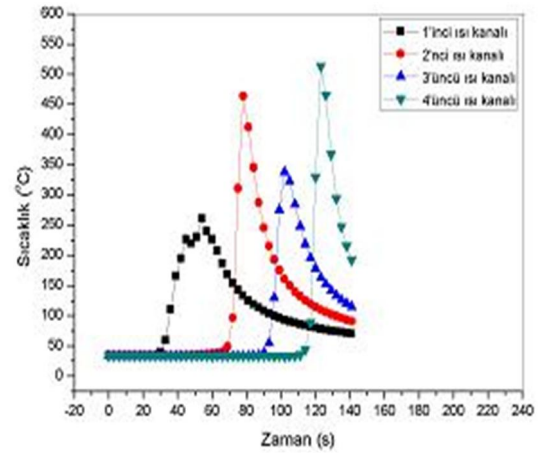
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıc.:** 513 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.23: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de ğeri mi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.23a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.23b'de görülmektedir. Kaynak diki üst görünümü ekil 4.23c'de, kaynak diki kök kısmı görünümü ekil 4.23d'de görülmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.23a'da görüldüğü üzere 3,5 kN'da tutulmuştur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.23c. Aynı deney parametreleri ile yapılan diğer üç deneyin sıcaklık ölçümleri ortalama 450 C iken bu deney için sıcaklık 513 C olarak ölçülmüştür, ekil 4.23b. Bunun nedeni bazen ısı kanallarının bulunduğu ana tablanın kaynak esnasında bozulan yüzeyi talandıktan hemen sonra yapılan deneylerde ısı kanallarından daha fazla sıcaklık ölçülmesidir. Kök diki nüfuziyetinin sağlandığı görülmektedir, ekil 4.23d.

### **Esas Deney 211:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 125 mm/min

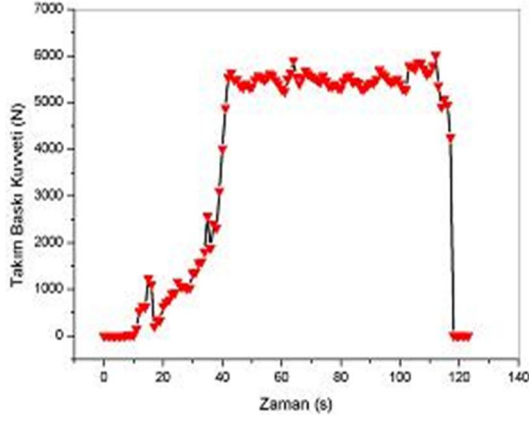
**Baskı kuvveti:** 5,5 kN

**Takım açısı:** 2

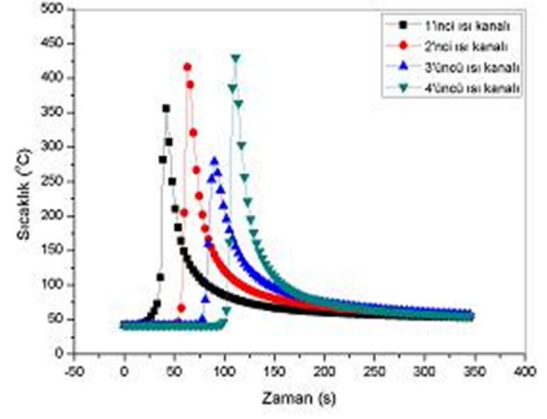
**Ölçülen maks. sıc.:** 430 C

Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.24a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.24b'de görülmektedir. Kaynak diki üst görünümü ekil 4.24c'de, kaynak diki kök kısmı görünümü ekil 4.24d'de görülmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.24a'da görüldüğü üzere 5,5 kN'a çıkarılmıştır. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.24c. Takım baskı kuvvetinin 5,5 kN'a çıkarılmasıyla sıcaklığın da artması beklenirken takıma 2 lik açı verilmesi sebebiyle sıcaklık 430 C olarak ölçülmüştür, ekil 4.24b. Kök diki nüfuziyetinin sağlandığı görülmektedir, ekil 4.24d.



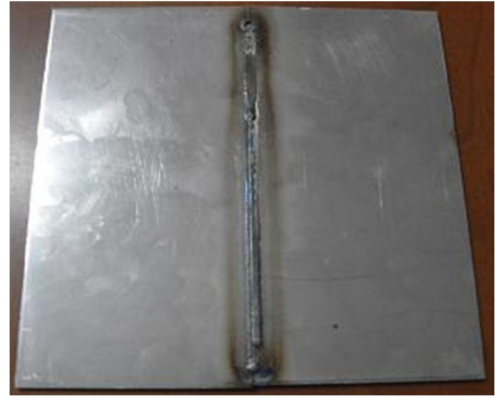
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.24:  $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $5,5 \text{ kN}$ , 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

### **Esas Deney 212:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:**  $1120 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

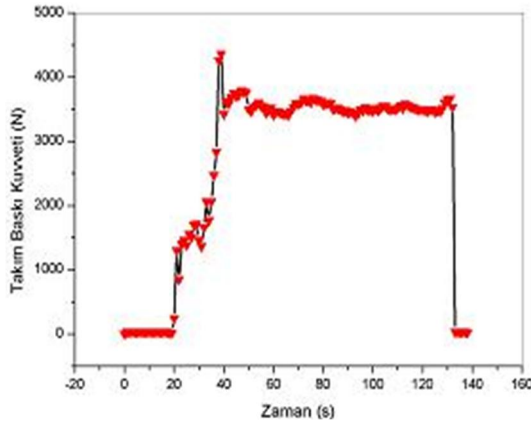
**lerleme hızı:**  $100 \text{ mm/min}$

**Baskı kuvveti:**  $3,5 \text{ kN}$

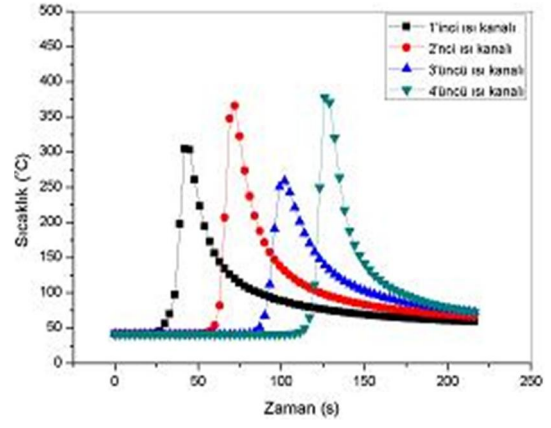
**Takım açısı:** 2

**Ölçülen maks. sic.:**  $377 \text{ C}$

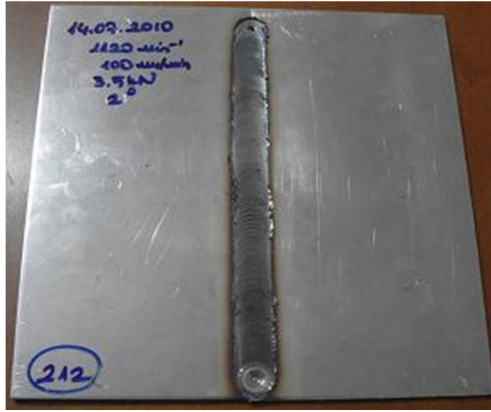
Kaynak esnasında olu an baskı yükünün zamanla de i imi ekil 4.25a'da, sıcaklı ın zamanla de i imi ekil 4.25b'de görölmektedir. Kaynak diki i üst görünümü ekil 4.25c'de, kaynak diki i kök kısmı görünümü ekil 4.25d'de görölmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.25:  $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $100 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $2^\circ$  için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de ği ğimi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.25a'da görüldü ü üzere  $3,5 \text{ kN}$ 'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.25c. Takıma  $2^\circ$  lik aç vermesi sebebiyle sıcaklık dü mü ve  $377 \text{ C}$  olarak ölçülmü tür, ekil 4.25b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.25d.

### **Esas Deney 213:**

**Kullanılan takım:** K10F

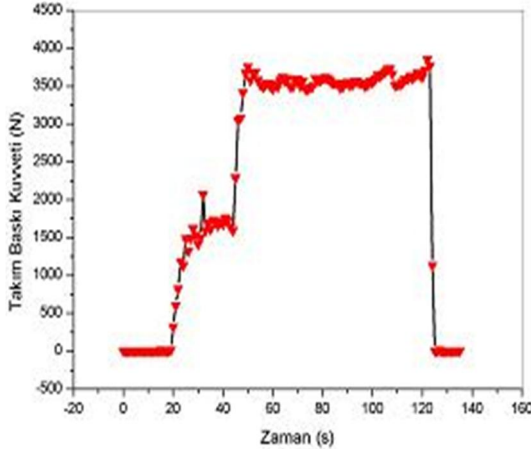
**Dönme hızı, yönü:**  $1120 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:**  $125 \text{ mm/min}$

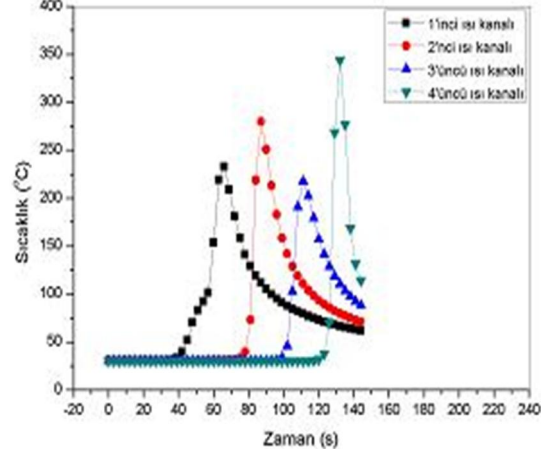
**Baskı kuvveti:**  $3,5 \text{ kN}$

**Takım açısı:**  $2^\circ$

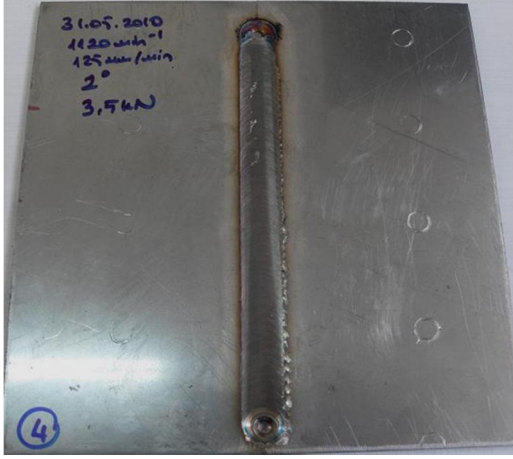
**Ölçülen maks. sic.:**  $344 \text{ C}$



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.26:  $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $2^\circ$  için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i mi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Kaynak esnasında olu an baskı yükünün zamanla de i mi ekil 4.26a'da, sıcaklı ın zamanla de i mi ekil 4.26b'de görölmektedir. Kaynak diki i üst görünümü ekil 4.26c'de, kaynak diki i kök kısmı görünümü ekil 4.26d'de görölmektedir.

Takım baskı kuvveti ekil 4.26a'da göröldü ü üzere  $3,5 \text{ kN}$ 'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.26c. Bir önceki deneyden farklı olarak ilerleme hızının  $125 \text{ mm/min}$ 'e artırılması sebebiyle sıcaklık biraz daha azalmı ve  $344 \text{ C}$  olarak ölçölmü tür, ekil 4.26b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görölmektedir, ekil 4.26d.



## Esas Deney 214:

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

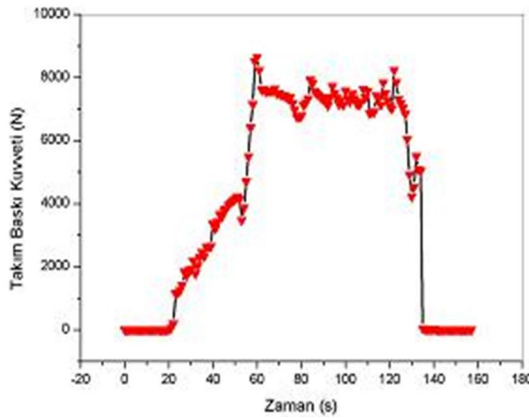
**İlerleme hızı:** 125 mm/min

**Baskı kuvveti:** 7,5 kN

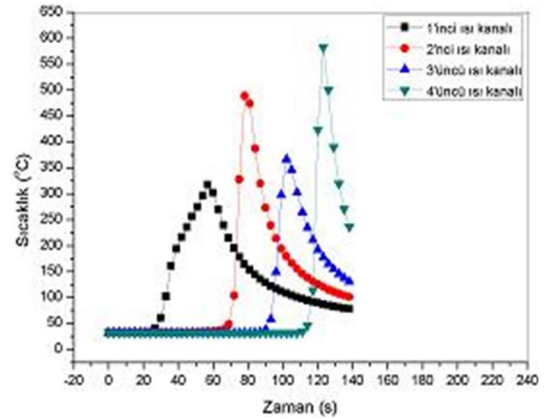
**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıcaklık:** 582 C

Takım baskı kuvveti ekil 4.27a'da görüldüğü üzere 7,5 kN'a çıkarılmıştır. Kaynak yüzeyinde hafif ve tek taraflı bir çapaklanma görülmektedir, ekil 4.27c. Takım baskı kuvvetinin 7,5 kN'a çıkarılması sebebiyle sıcaklık artmış ve 582 C olarak ölçülmüştür, ekil 4.27b. Kök dikini nüfuziyetinin sağlandığı görülmektedir, ekil 4.27d.



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.27: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 7,5 kN, 0 için zamana bağılı yük (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak dikinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

## **Esas Deney 215:**

**Kullanılan takım:** K10F

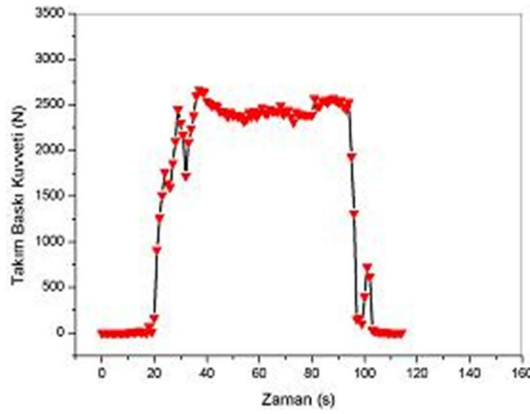
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 160 mm/min

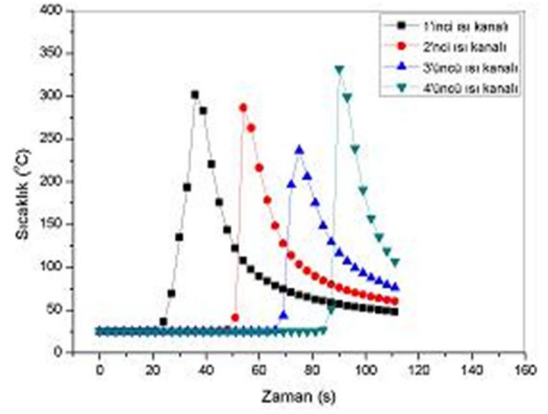
**Baskı kuvveti:** 2,5 kN

**Takım açısı:** 0

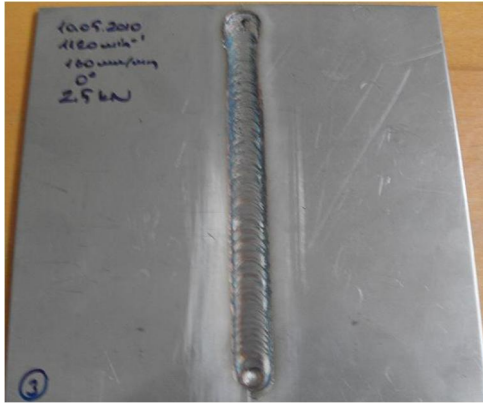
**Ölçülen maks. sıc.:** 331 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.28: 1120 min<sup>-1</sup>, 160 mm/min, 2,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de ği ğimi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Takım baskı kuvveti ekil 4.28a'da görüldü ü üzere 2,5 kN'a azaltılmı tır. Takım baskı kuvvetinin azaltılması sonucunda kaynak yüzeyinde mavi yanıklar görülmektedir, ekil 4.28c. Ayrıca takım baskı kuvvetinin 2,5 kN'a azaltılması ve ilerleme hızının da 160 mm/min'e yükseltilmesi sebebiyle sıcaklık iyice azalmı ve

331 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.28b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı 1 görülmektedir, ekil 4.28d.

### **Esas Deney 216:**

**Kullanılan takım:** K10F

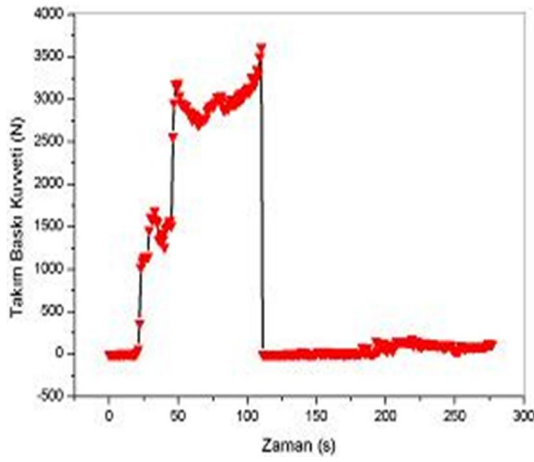
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 160 mm/min

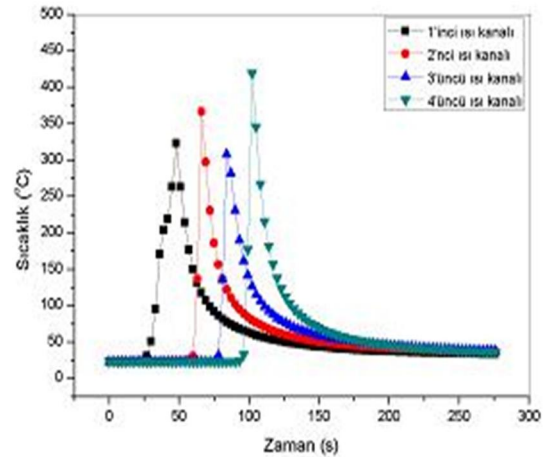
**Baskı kuvveti:** 3 kN

**Takım açısı:** 0

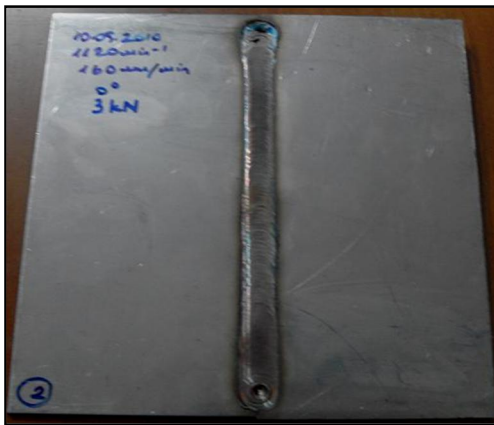
**Ölçülen maks. sic.:** 418 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.29: 1120 min<sup>-1</sup>, 160 mm/min, 3 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Bir önceki deneye nazaran takım baskı kuvveti ekil 4.29a'da görüldü ü üzere 3 kN'a çıkarılmıştır. Takım baskı kuvvetinin bir miktar artırılması bile kaynak yüzeyindeki mavi yanıkları azalmıştır, ekil 4.29c. Yine takım baskı kuvvetinin artırılması sebebiyle sıcaklık da artmış ve 418 C olarak ölçülmüştür, ekil 4.29b. Kök diki nüfuziyetinin sağlandı ı görülmektedir, ekil 4.29d.

### **Esas Deney 217:**

**Kullanılan takım:** K10F

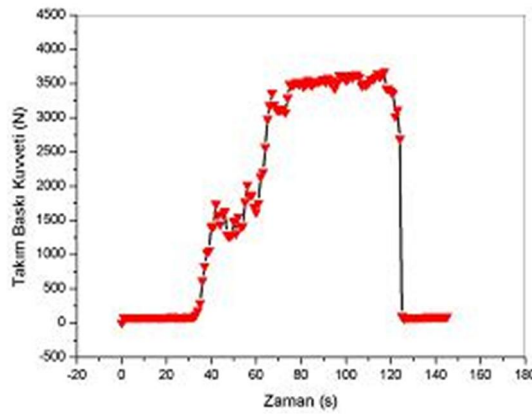
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 160 mm/min

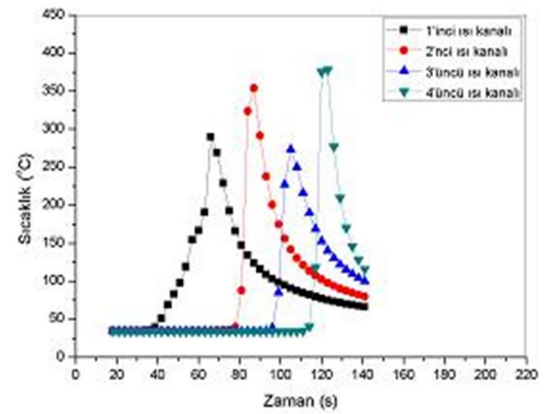
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıc.:** 378 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.30: 1120 min<sup>-1</sup>, 160 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de ği şimi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.30a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.30c. Bir önceki deneyde kaynak yapılan levhanın ana tablaya yapı masından dolayı ısı kanallarının çıkı ları kısmen tıkanı ndan sıcaklık beklenen de erin biraz altında 378 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.30b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.30d.

### **Esas Deney 218:**

**Kullanılan takım:** K10F

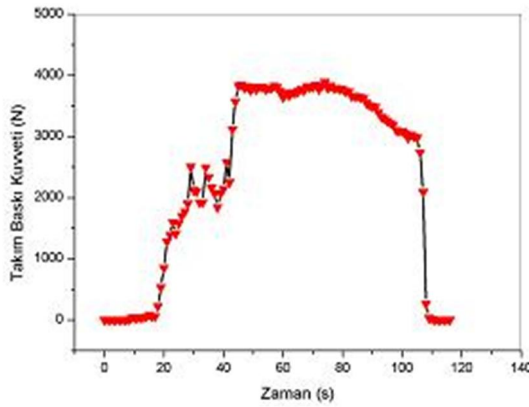
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 200 mm/min

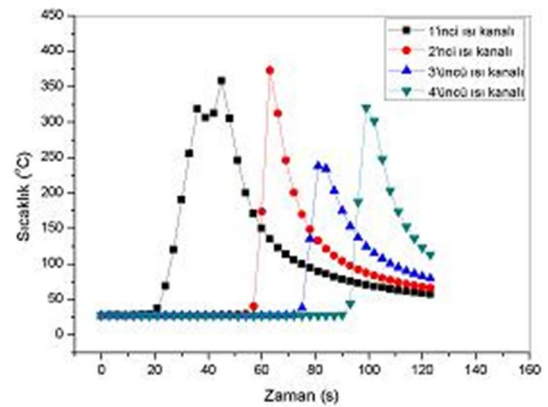
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

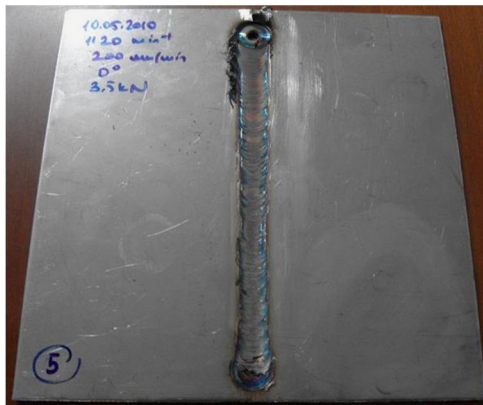
**Ölçülen maks. sıc. :** 372 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.31: 1120 min<sup>-1</sup>, 200 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.31a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Takım baskı kuvvetinin düzensiz olu u nedeniyle kaynak yüzeyi bir miktar çapaklı ve pürüzlü görünmektedir, ekil 4.31c. lerleme hızının artmasından dolayı sıcaklık azalmı ve 378 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.31b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.31d.

### **Esas Deney 219:**

**Kullanılan takım:** K10F

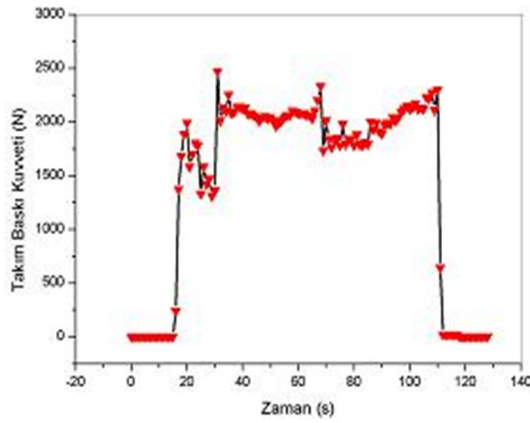
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

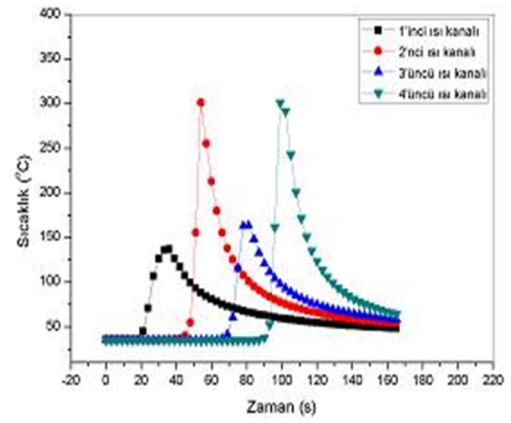
**Baskı kuvveti:** 2 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 300 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.32: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 2 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.32a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 2 kN'a azaltılmıştır. Takım baskı kuvvetinin düşük ve düzensiz olması nedeniyle kaynak yüzeyi bir önceki deneye nazaran biraz daha pürüzlü ve yanık bir şekilde görünmektedir, ekil 4.32c. ilerleme hızının artmasından dolayı sıcaklık azalmış ve 300 C olarak ölçülmüştür, ekil 4.32b. Kök diki nüfuziyetinin sağlandı ı görülmektedir, ekil 4.32d.

### **Esas Deney 220:**

**Kullanılan takım:** K10F

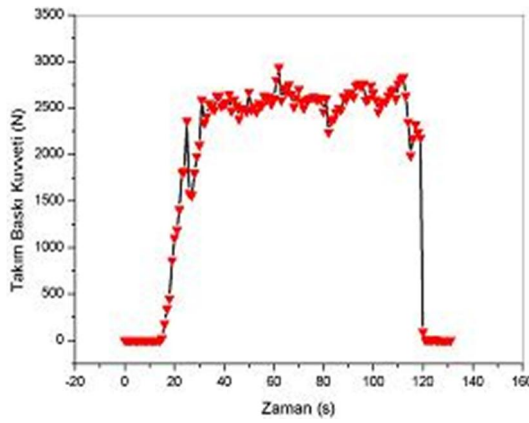
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**ilerleme hızı:** 125 mm/min

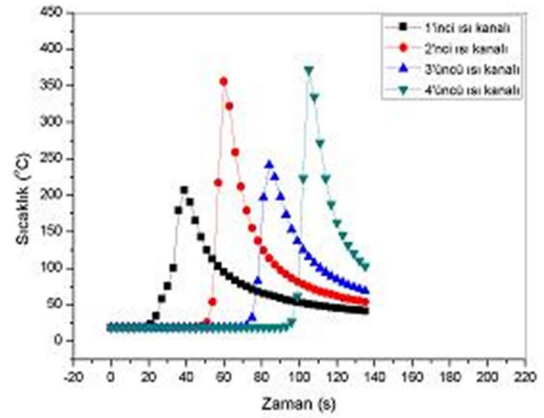
**Baskı kuvveti:** 2,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıc.:** 371 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.33: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 2,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de ği şimi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.33a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti bir önceki deneye nazaran 2,5 kN'a yükseltildi. Takım baskı kuvvetinin bir miktar artırılması olması ve sabit tutulması nedeniyle daha düzgün kaynak yüzeyi elde edildi. ekil 4.33c. Takım baskı kuvvetinin bir miktar artması bile sıcaklığı artırmı ve 371 C olarak ölçüldü. ekil 4.33b. Kök diki nüfuziyetinin sağlandı ı görülmektedir, ekil 4.33d.

### **Esas Deney 221:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 125 mm/min

**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

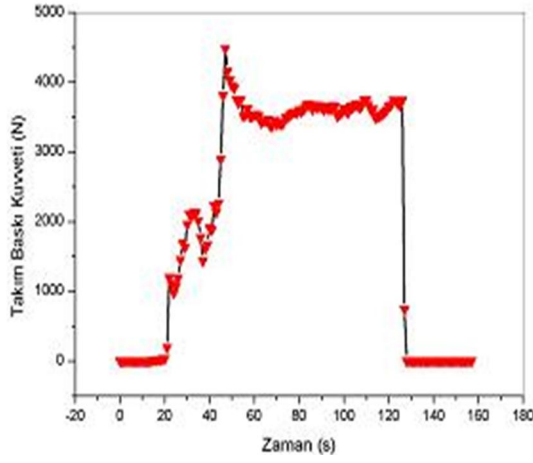
**Takım açısı:** 1

**Ölçülen maks. sic.:** 496 C

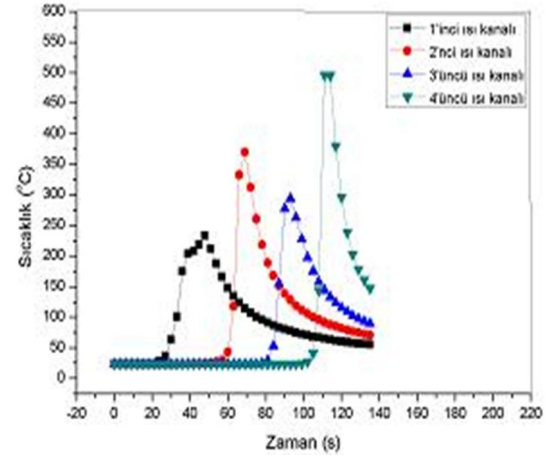
Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.34a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.34b'de görülmektedir. Kaynak diki üst görünümü ekil 4.34c'de, kaynak diki kök kısmı görünümü ekil 4.34d'de görülmektedir.

ekil 4.34a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Takım baskı kuvvetinin sabit tutulması nedeniyle kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.34c. Karı tırcı uca kaynak ilerleme yönüne doğru 1 lik açı verildi inden kar ıla tırma yapabilmek maksadıyla 0 lik takım açısı kullanılan esas deney 210 (1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN) ile kar ıla tırıldı. Esas deney 210'da sıcaklık değeri 513 C iken bu deneyde azaldı ve 496 C ölçüldü. ekil 4.34b. Daha önceki deneylerde belirtildi i gibi takım açısı arttıkça sıcaklığın genel olarak azaldı ı burada da görülmektedir. Kök diki nüfuziyetinin sağlandı ı görülmektedir, ekil 4.34d.

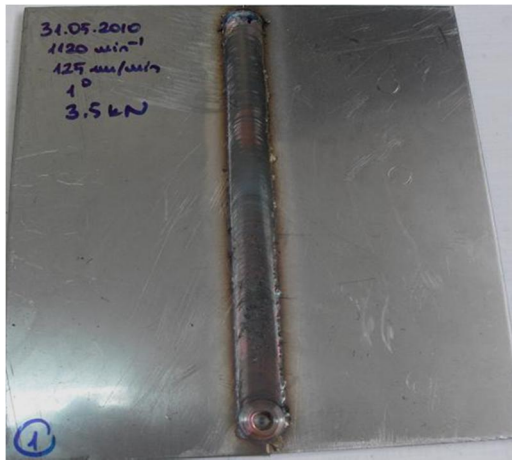




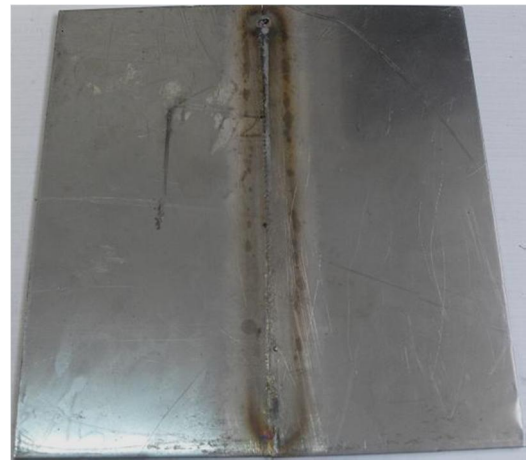
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.34: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 1 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de ği ği mi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

### **Esas Deney 222:**

**Kullanılan takım:** K10F

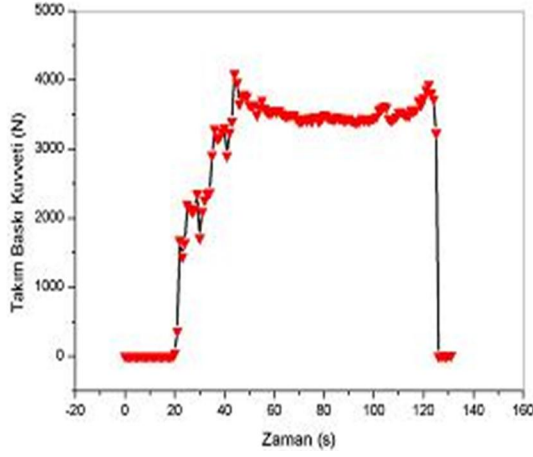
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

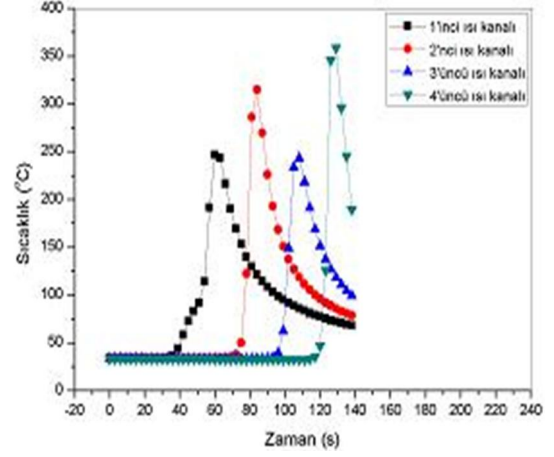
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 1.5

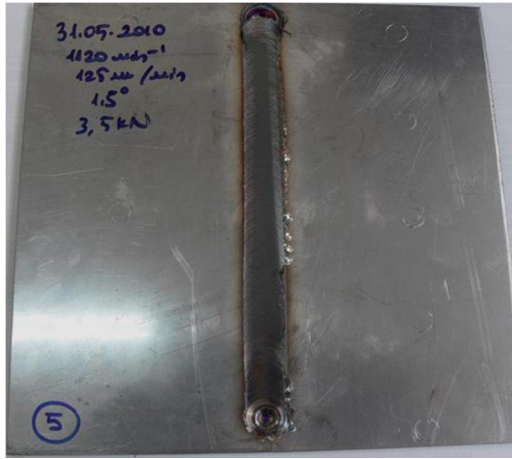
**Ölçülen maks. sıc.:** 358 C



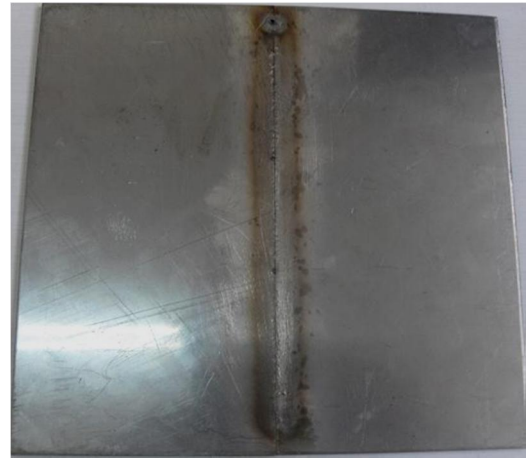
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.35: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 1,5 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.35a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.35c. Takıma 1,5 lik açı verildi inden sıcaklık azalmı ve 358 C ölçülmü tür, ekil 4.35b. Takım açısı arttı ı için sıcaklı ın azalması beklenen bir sonuç olsa da burada fazla azalmı tır. Bunu ısı kanallarının bir miktar tıkanmasından meydana geldi i dü ünülmektedir. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.35d.

### **Esas Deney 223:**

**Kullanılan takım:** K10F

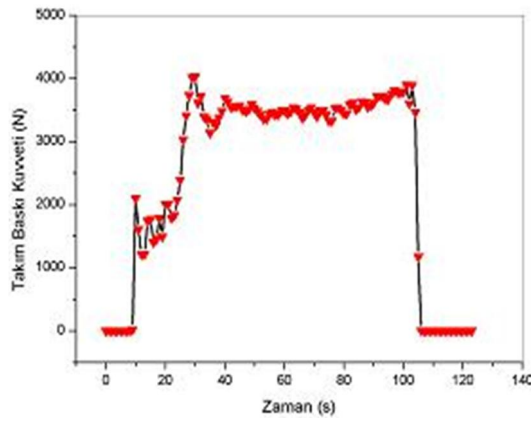
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 125 mm/min

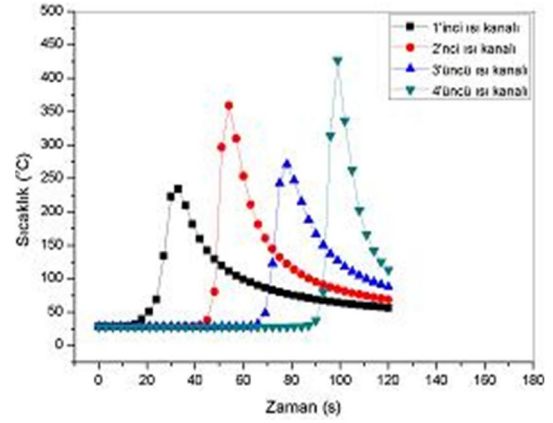
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 2.5

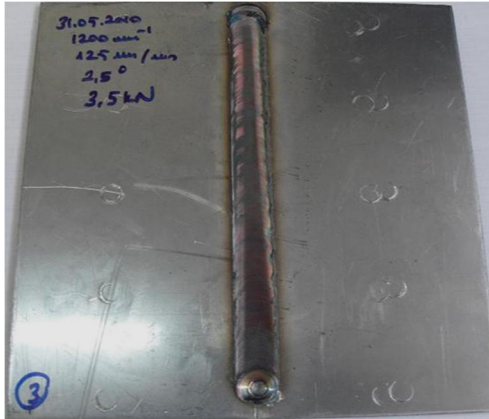
**Ölçülen maks. sıc.:** 426 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.36: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 2.5 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de ğerimleri ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.36a'da görüldü ğü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.36c. Takıma 2.5 lik açı verildi inden sıcaklık azalmı ve 426 C ölçülmü tür, ekil 4.36b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.36d.

## Esas Deney 224:

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

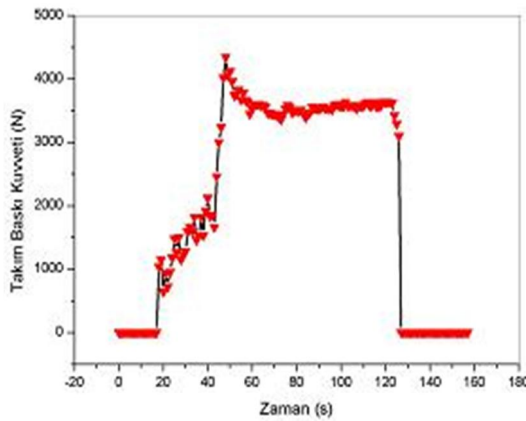
**İlerleme hızı:** 125 mm/min

**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

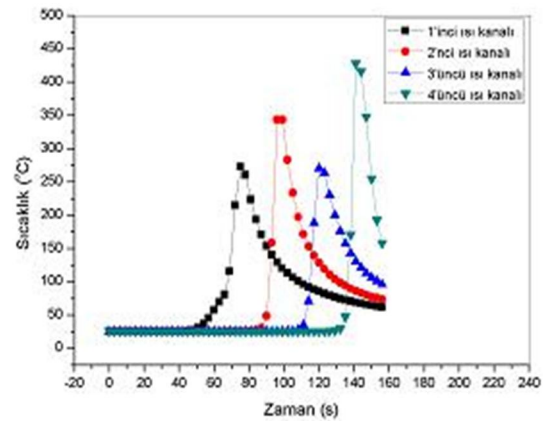
**Takım açısı:** 3

**Ölçülen maks. sıc.:** 428 C

ekil 4.37a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.37c. Takıma 3 lik açı verildi inden sıcaklık azalmı ve 428 C ölçülmü tür, ekil 4.37b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.37d.



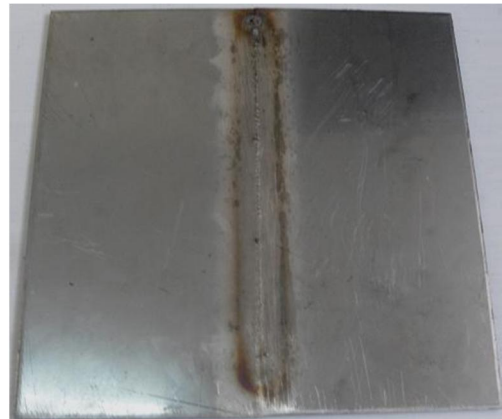
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.37: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 3.5 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık (b) de i imi ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

### **Esas Deney 225:**

**Kullanılan takım:** K10F

**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

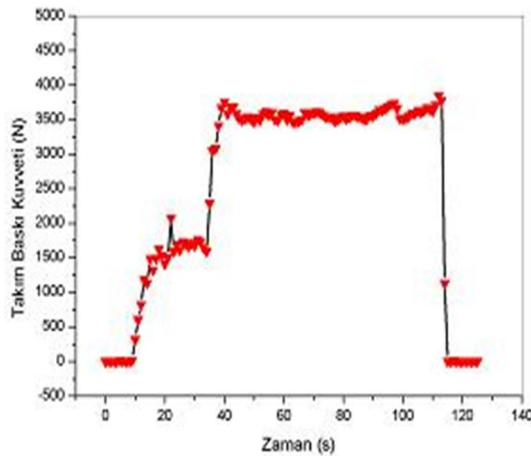
**İlerleme hızı:** 125 mm/min

**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

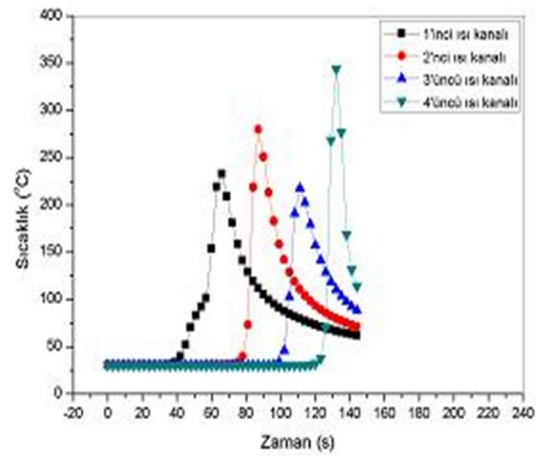
**Takım açısı:** 4

**Ölçülen maks. sıc.:** 344 C

Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ekil 4.38a'da, sıcaklığın zamanla değişimi ekil 4.38b'de görülmektedir. Kaynak diki için üst görünümü ekil 4.38c'de, kaynak diki için kök kısmı görünümü ekil 4.38d'de görülmektedir.



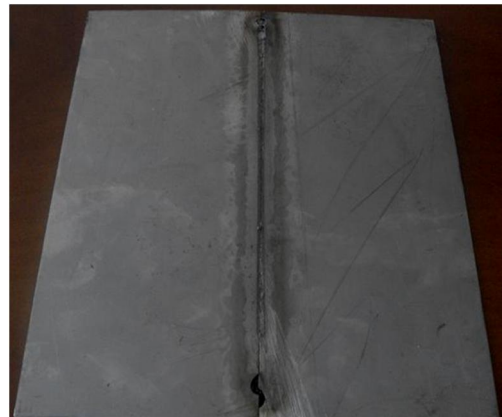
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.38: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 4 için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık değişimi (b) ile kaynak diki için üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.38a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi pürüzsüz görünmekle birlikte kolayca temizlenebilecek metal tüylenmeler olu mu tur, ekil 4.38c. Takıma 4 lik açı verildi inden sıcaklık azalmı ve 344 C ölçülmü tür, ekil 4.38b. Kök diki i nüfuziyetinin azalmakla birlikte sa landı 1 görülmektedir, ekil 4.38d.

### **Esas Deney 226:**

**Kullanılan takım:** K10F

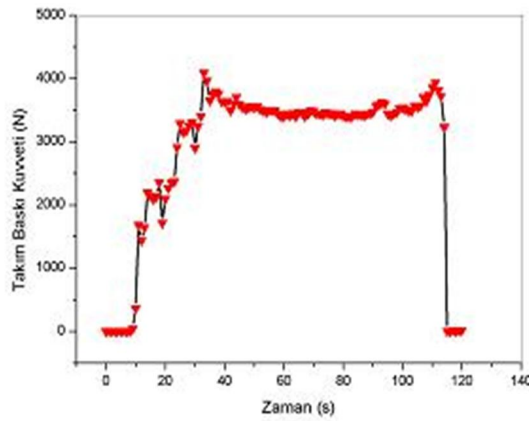
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

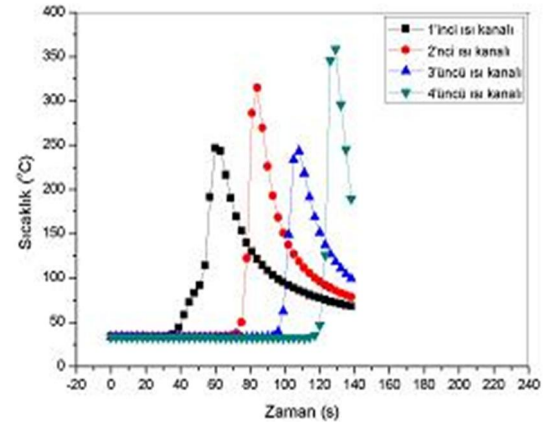
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 5

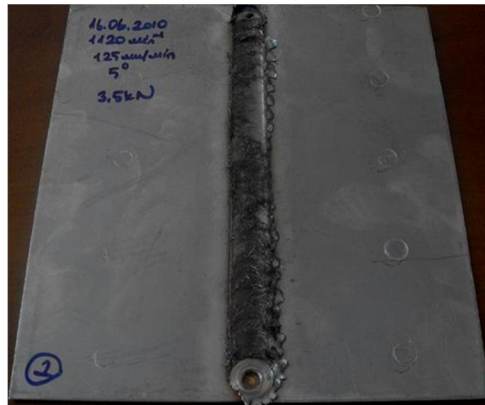
**Ölçülen maks. sıc.:** 358 C



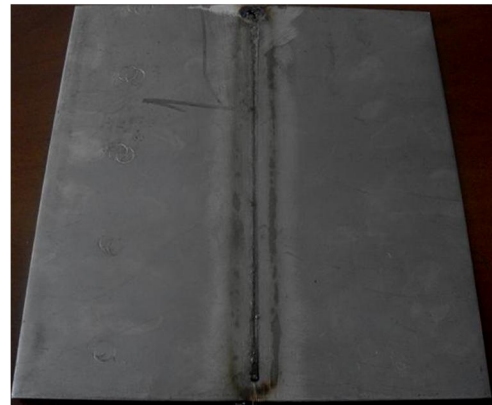
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.39: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 5 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.39a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Bir önceki deneyde oldu u gibi kaynak yüzeyi yine pürüzsüz olmakla birlikte metal tüylenmeler artmı tır, ekil 4.39c. Takıma 5 lik açı verildi inden sıcaklık azalmı ve 358 C ölçülmü tür, ekil 4.39b. Kök diki i nüfuziyetinin azalmakla birlikte sa landı ı görülmektedir, ekil 4.39d.

### **Esas Deney 227:**

**Kullanılan takım:** K10F

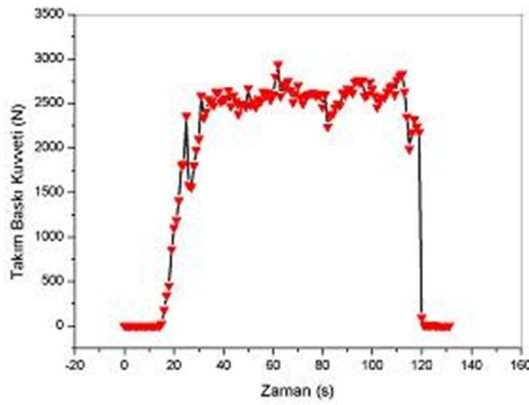
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

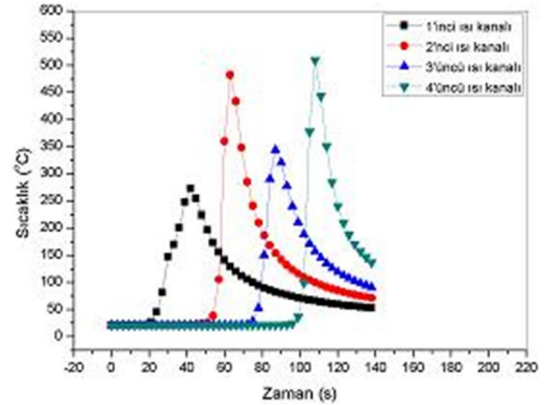
**Baskı kuvveti:** 4,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. Sıc.:** 509 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.40: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 4,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de ğ i mi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.40a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 4,5 kN'da tutulmu tur. Bir miktar çapak olu umu ile birlikte kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.40c. Takım baskı kuvveti artırıldı ndan sıcaklık artımı ve 509 C ölçülmü tür, ekil 4.40b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.40d.

### **Esas Deney 228:**

**Kullanılan takım:** K10F

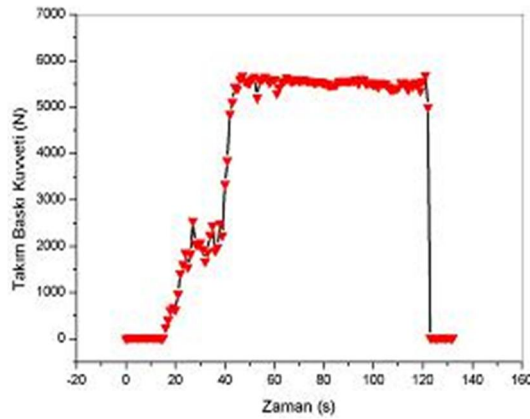
**Dönme hızı, yönü:** 1120 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

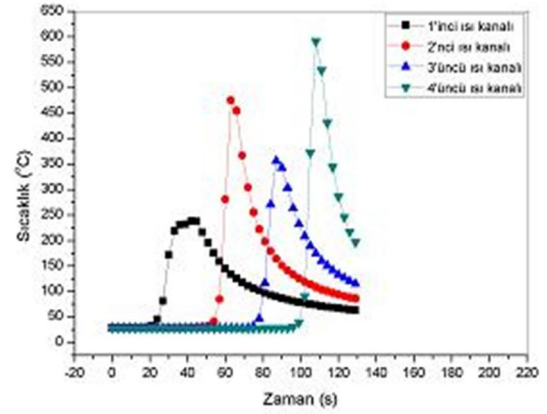
**Baskı kuvveti:** 5,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 590 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.41: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 5,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü



ekil 4.41a'da görüldü ü üzere bir önceki deneye nazaran takım baskı kuvveti 5,5 kN'a çıkarılmıştır. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.41c. Takım baskı kuvvetinin artırılması sebebiyle sıcaklık iyice artmış ve 590 C ölçülmüştür, ekil 4.41b. Kök diki i nüfuziyetinin sağlandı ı görülmektedir, ekil 4.41d.

### **Esas Deney 301:**

**Kullanılan takım:** K10F

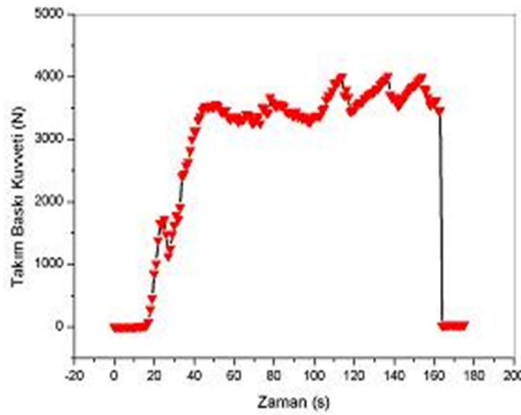
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 80 mm/min

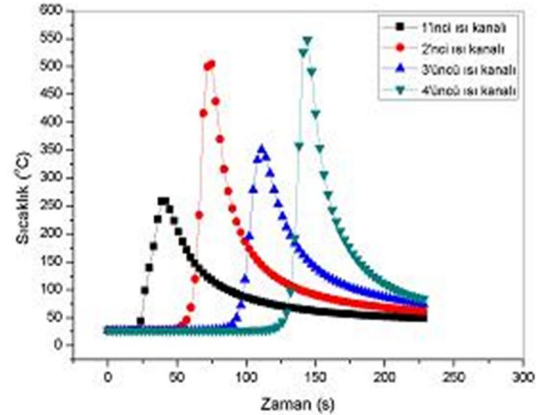
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 547 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.42: 1400 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.42a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.42c. Takım devir sayısının artması ilave olarak ilerleme hızının da dü ük olmasından dolayı karı tırıcı uç daha fazla sürtünme uyguladı ndan sıcaklık artmı ve 547 C ölçülmü tür, ekil 4.42b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.42d.

### **Esas Deney 302:**

**Kullanılan takım:** K10F

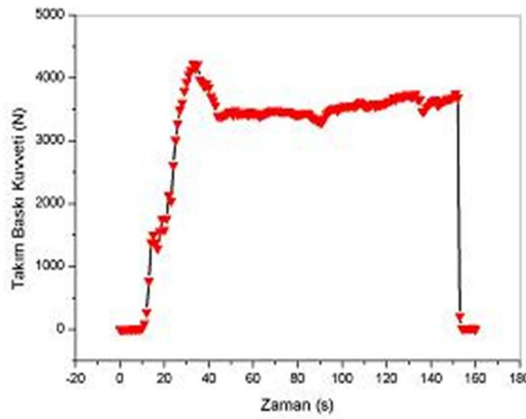
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**İlerleme hızı:** 80 mm/min

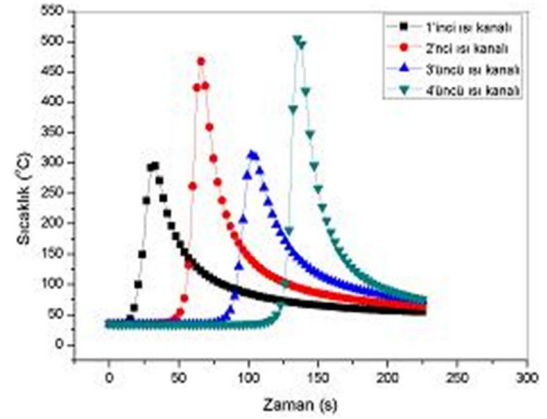
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 2

**Ölçülen maks. sıc.:** 504 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.43: 1400 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 3,5 kN, 2 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.43a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.43c. Bir önceki deneyden farklı olarak takıma 2 lik açı verildi inden sıcaklıkta bir azalma meydana gelmi tir ve 504 C ölçülmü tür, ekil 4.43b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.43d.

### **Esas Deney 303:**

**Kullanılan takım:** K10F

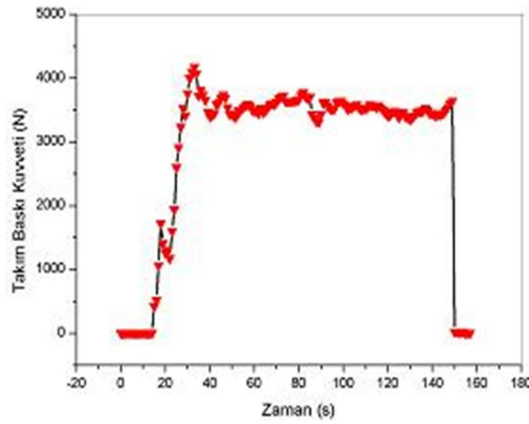
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 80 mm/min

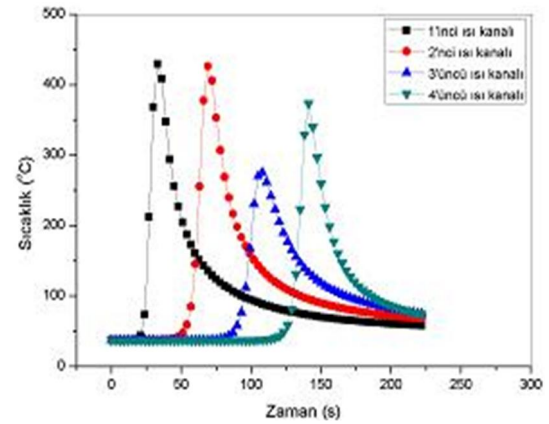
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 3

**Ölçülen maks. sıc.:** 429 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.44: 1400 min<sup>-1</sup>, 80 mm/min, 3,5 kN, 3 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.44a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.44c. Bir önceki deneyden farklı olarak takıma 3 lik açı verildi inden sıcaklık daha da azalmı ve 429 C ölçülmü tür, ekil 4.44b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.44d.

### **Esas Deney 304:**

**Kullanılan takım:** K10F

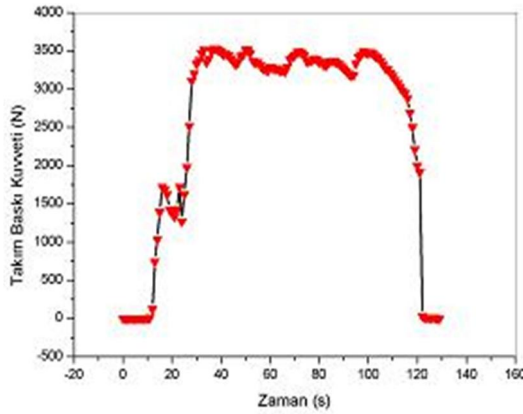
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 100 mm/min

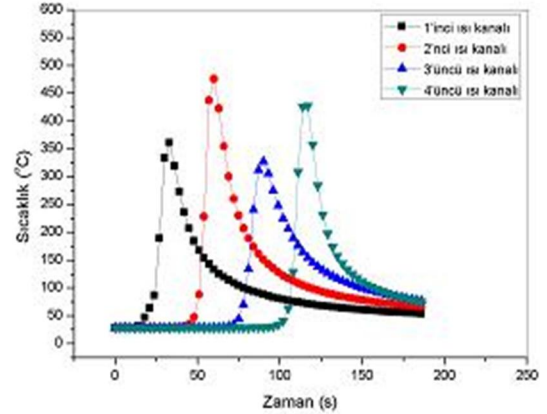
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 476 C



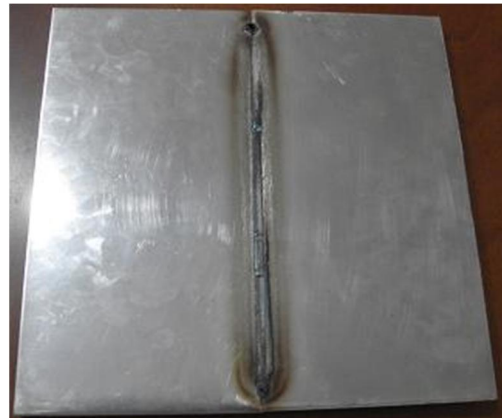
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.45: 1400 min<sup>-1</sup>, 100 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.45a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.45c. ilerleme hızı 80 mm/min'den 100 mm/min'e artırıldı ında sıcaklı ın 547 C'den 476 C'ye geriledi i tespit edilmi tir, ekil 4.45b. Bu durumun di er parametreler sabit tutularak sadece ilerleme hızı artırıldı ı zaman karı tırıcı ucun levhalara daha kısa süre sürtünme uygulamasından meydana geldi i de erlendirilmi tir. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.45d.

### **Esas Deney 305:**

**Kullanılan takım:** K10F

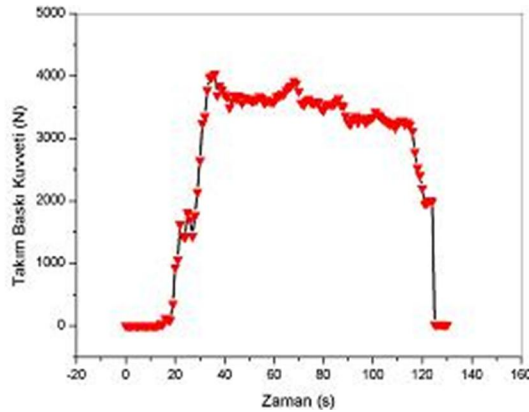
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**ilerleme hızı:** 100 mm/min

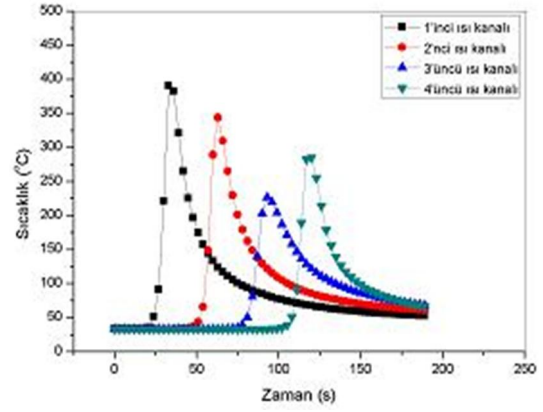
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 2

**Ölçülen maks. sic.:** 391 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.46: 1400 min<sup>-1</sup>, 100 mm/min, 3,5 kN, 2 için zamana ba ılı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.46a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.46c. Bir önceki deneyden farklı olarak takıma 2 lik açı verilmesinden dolayı sıcaklıkta azalma meydana gelmi ve 391 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.46b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.46d.

### **Esas Deney 306:**

**Kullanılan takım:** K10F

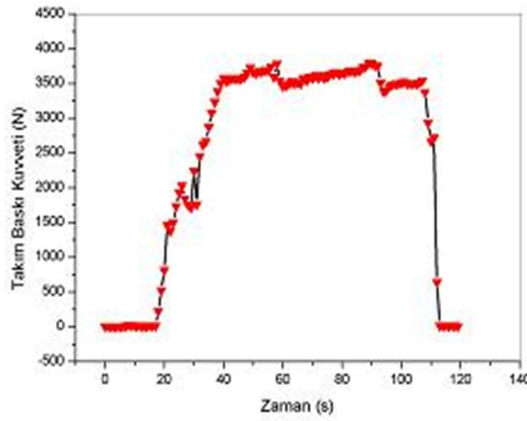
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

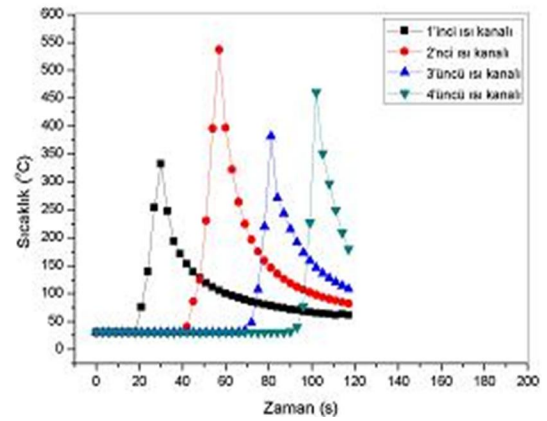
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 537 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.47: 1400 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.47a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.47c. Esas deney 304'ten ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $100 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0$ ) farklı olarak ilerleme hızı  $100 \text{ mm/min}$ 'den  $125 \text{ mm/min}$ 'e artırıldı ndan sıcaklık  $476 \text{ C}$  den gerileyerek  $444 \text{ C}$  olarak ölçülmü tür, ekil 4.47b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.47d.

### **Esas Deney 307:**

**Kullanılan takım:** K10F

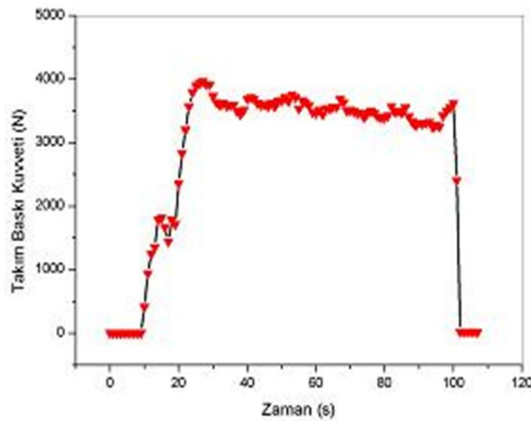
**Dönme hızı, yönü:**  $1400 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

**ilerleme hızı:**  $125 \text{ mm/min}$

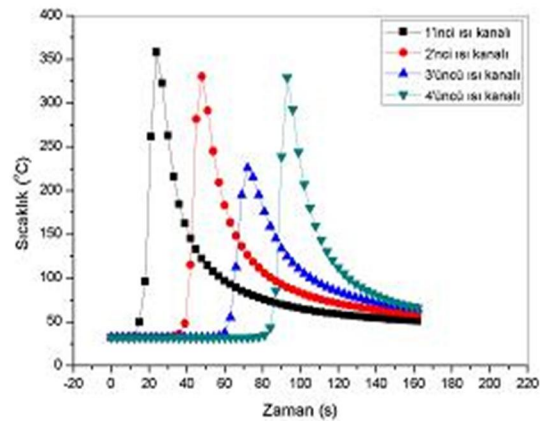
**Baskı kuvveti:**  $3,5 \text{ kN}$

**Takım açısı:**  $2$

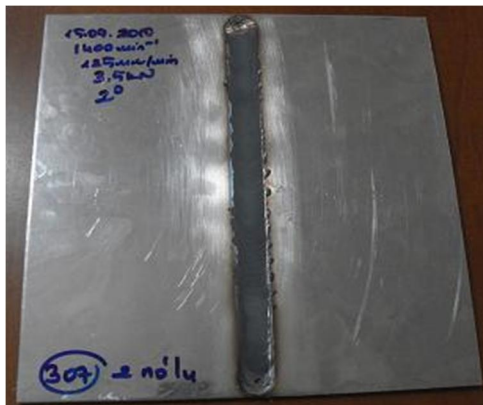
**Ölçülen maks. sıc.:**  $358 \text{ C}$



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.48:  $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $2$  için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i mi (b) ile kaynak diki nin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.48a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.48c. Bir önceki deneye nazaran takıma 2 lik aç verildi inden sıcaklık azalmı ve 358 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.48b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.48d.

### **Esas Deney 308:**

**Kullanılan takım:** K10F

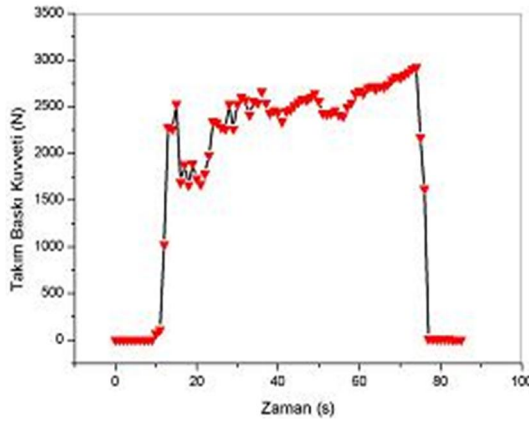
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 200 mm/min

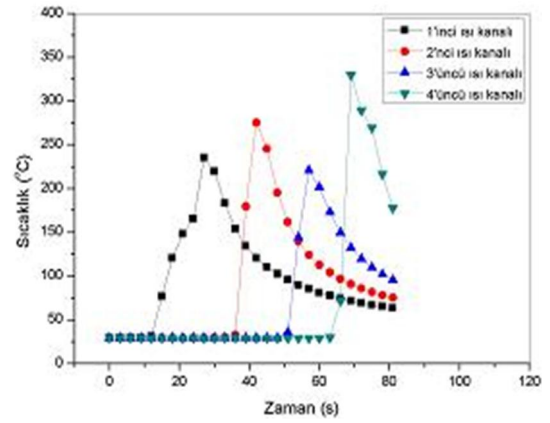
**Baskı kuvveti:** 2,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 358 C



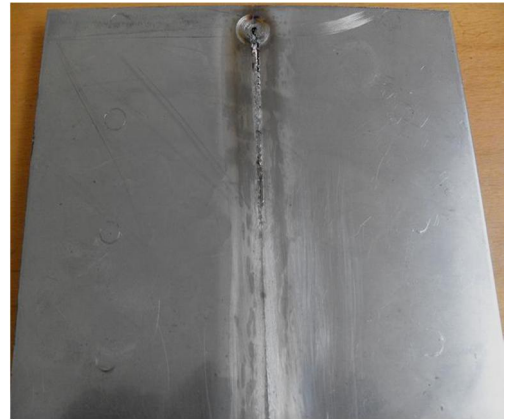
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.49: 1400 min<sup>-1</sup>, 200 mm/min, 2,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü



ekil 4.49a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 2,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.49c. Sıcaklık 358 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.49b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.49d.

### **Esas Deney 309:**

**Kullanılan takım:** K10F

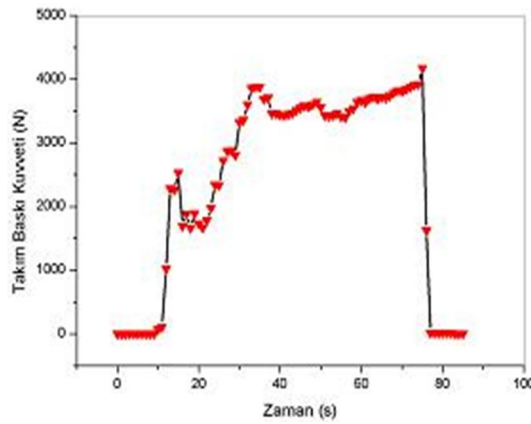
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 200 mm/min

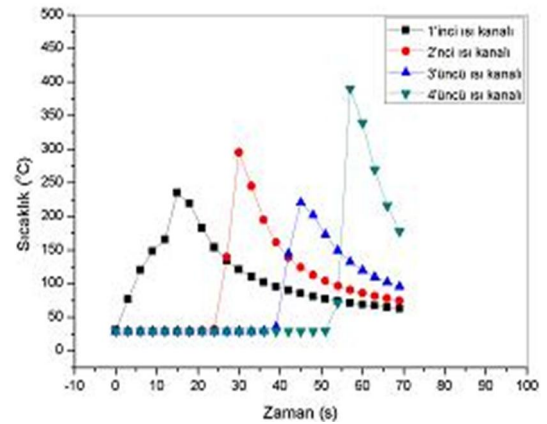
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

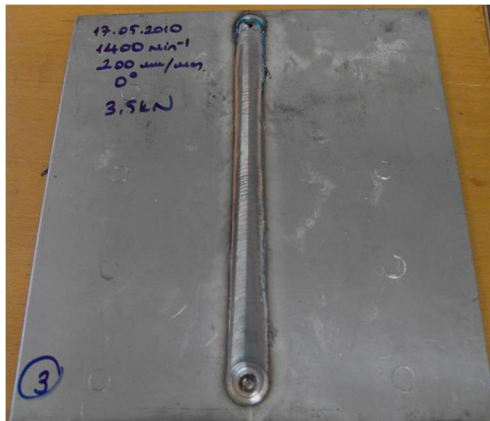
**Ölçülen maks. sıc.:** 389 C



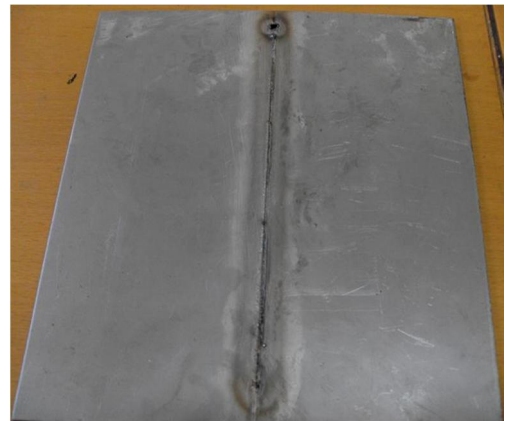
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.50: 1400 min<sup>-1</sup>, 200 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.50a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.50c. Bir önceki deneye nazaran takım baskı kuvveti 3,5 kN'a çıkarıldı ndan sıcaklıkta artı meydana gelmi ve 389 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.50b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.50d.

### **Esas Deney 310:**

**Kullanılan takım:** K10F

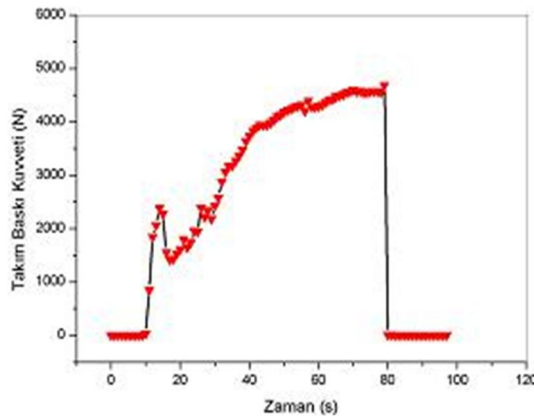
**Dönme hızı, yönü:** 1400 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 200 mm/min

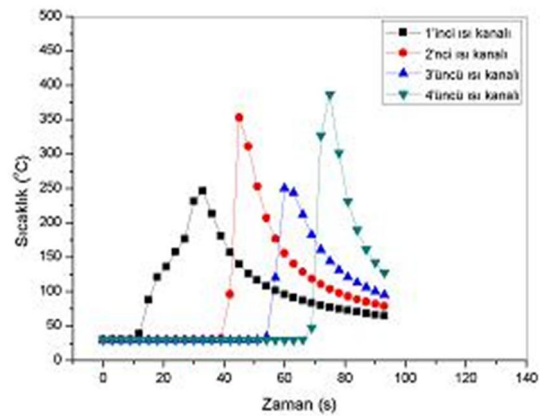
**Baskı kuvveti:** 4,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sıc.:** 386 C



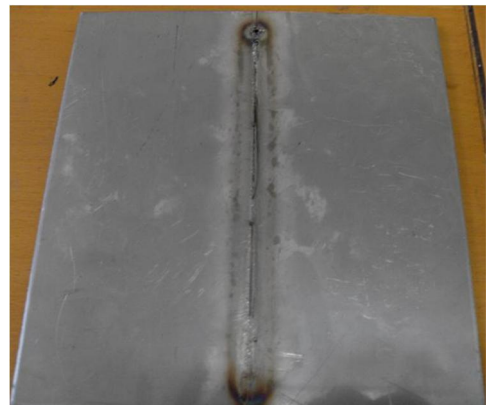
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.51: 1400 min<sup>-1</sup>, 200 mm/min, 4,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.51a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 4,5 kN'da tutulmu tur. Kaynak yüzeyi iyi görünmektedir, ekil 4.51c. Bir önceki deneye nazaran takım baskı kuvveti 4,5 kN'a çıkarılmasına ra men takım baskı kuvvetinde görülen dengesizlikler sıcaklı ı de i tirmemi ve 386 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.51b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.51d.

### **Esas Deney 401:**

**Kullanılan takım:** K10F

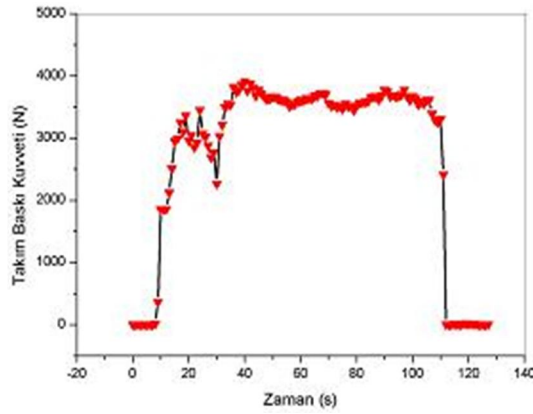
**Dönme hızı, yönü:** 560 min<sup>-1</sup>, saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

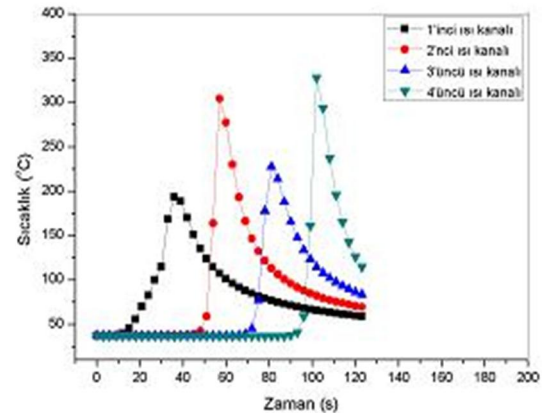
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

**Ölçülen maks. sic.:** 327 C



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.52: 560 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.52a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Takım devir sayısının  $560 \text{ min}^{-1}$  gibi dü ük tutulması nedeniyle kaynak yüzeyinde ba tan sona kadar mavi renkli yanık görüntüler meydana gelmi tir, ekil 4.52c. Aynı ekilde takım devir sayısının dü ük tutulmasına ba lı olarak sıcaklık da beklendi i üzere azalmı ve  $327 \text{ C}$  olarak ölçülmü tür, ekil 4.52b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.52d.

### **Esas Deney 402:**

**Kullanılan takım:** K10F

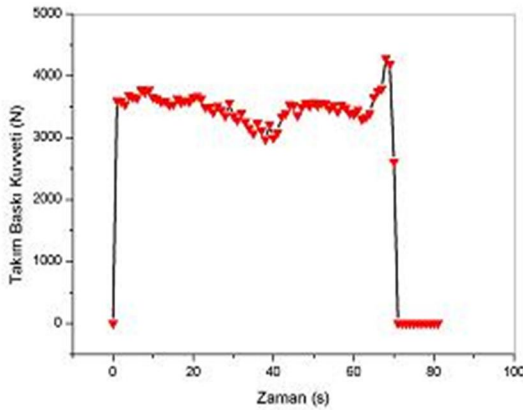
**Dönme hızı, yönü:**  $710 \text{ min}^{-1}$ , saat istikametinin tersi yönde

**lerleme hızı:** 125 mm/min

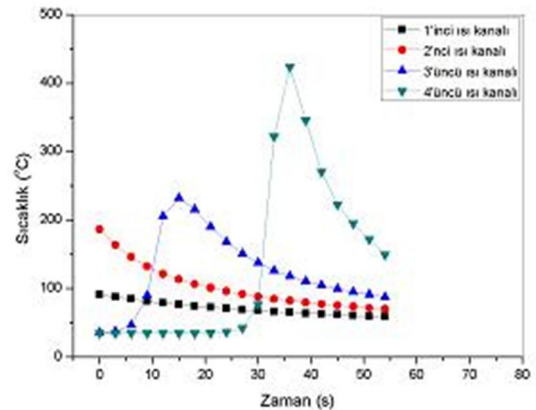
**Baskı kuvveti:** 3,5 kN

**Takım açısı:** 0

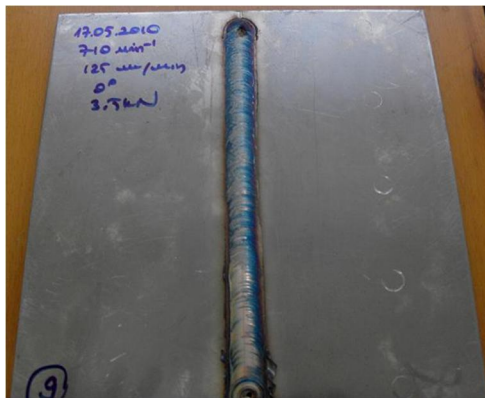
**Ölçülen maks. sic.:** 423 C



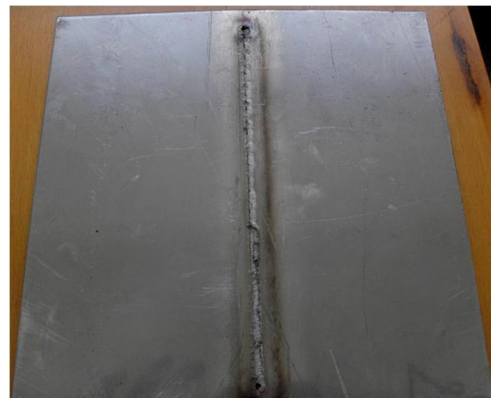
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 4.53:  $710 \text{ min}^{-1}$ , 125 mm/min, 3,5 kN, 0 için zamana ba lı yük (a) ve sıcaklık de i imi (b) ile kaynak diki inin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

ekil 4.53a'da görüldü ü üzere takım baskı kuvveti 3,5 kN'da tutulmu tur. Bir önceki deneye nazaran takım devir sayısının artırılması nedeniyle kaynak yüzeyindeki mavi renkli yanıkların azaldı ı görülmektedir, ekil 4.53c. Aynı ekilde takım devir sayısının artmasına ba lı olarak sıcaklık da artmı ve 423 C olarak ölçülmü tür, ekil 4.53b. Kök diki i nüfuziyetinin sa landı ı görülmektedir, ekil 4.53d.

Yapılan tüm deneylerde sıcaklıkların ölçüldü ü ısı kanallarından ölçülen sıcaklıkların kayna ın ba langıç noktasında bulunan birinci ısı kanalından kayna ın bitim noktası olan dördüncü ısı kanalına kadar her 5 cm de bir ölçülmü tür. Kayna ın ba langıcından itibaren sonuna do ru ölçülen sıcaklı ın artması beklenen bir durum olmasına ra men beklendi i ekilde birinci kanaldan itibaren ikinci kanal ve dördüncü kanaldan sırasıyla daha yüksek sıcaklık ölçümleri alınmı fakat üçüncü kanaldan genel olarak di erlerinden daha dü ük sıcaklık de erleri ölçülmü tür. Bunun nedenlerinden birisi üçüncü ısı kanalı deli inin ana tabla üzerinde açılması sırasında matkap ucunun kırılarak içeride kalması neticesinde yeni deli in kaynak istikametinden 2 mm kadar dı arıda açılmak zorunda kalınmasıdır. Isı kanalı deli i kaynak istikametinin az da olsa dı nda açıldı ı için sıcaklık ölçümleri daha dü ük çıkmı tır. Di er bir neden de üçüncü ısı kanalının alttan temas etti i tezgah blo unun kütle etkisi nedeniyle sıcaklı ın daha dü ük ölçülmesidir.

## 5. SONUÇLAR

Yapılan 51 adet deneyde takım devir sayısının, ilerleme hızının, takım baskı kuvvetinin ve takım açısının AISI 430 ferritik paslanmaz çeli in sürtünme karı tırma kaynak yöntemi ile birle tirilebilirli i üzerine etkileri ayrı ayrı incelenmi tir.

Deneyle esnasında takım baskı kuvveti çalı ma tezgahının yükseltip alçaltılması ile sabit tutulmu tur. Bu metot plakaların ana tablaya yapı masını ve çapak olu umunu engelleme tir. Plakalar ana tablaya yapı tı nda plaka ve ana tablanın her ikisini de zarar görmeden birbirinden ayırmak mümkün olmamaktadır. Tablanın zarar görmesine paralel olarak sıcaklık ölçüm problemleri da zarar görmektedir. Bu nedenlerden dolayı deneyle esnasında kontrol altında tutulan bir takım baskı kuvveti tercih edilmi tir. Yine deneyle esnasında sıcaklık kaynak boyunca dört noktadan problemlerle ölçülmü tür, fakat her deney için sadece en yüksek sıcaklı ın tespit edildi i proba ait veriler grafik olu turmada kullanılmı tir. Sırası ile a a ıda belirtilen sonuçlara ula ılmı tir.

### 5.1 Zamana Ba lı Olarak Takım Baskı Kuvveti ve Sıcaklık De iimleri

Deneylede takım baskı kuvvetleri saniyede bir, sıcaklıklar ise üç saniyede bir alınacak ekilde programlanmı olan ölçüm cihazlarından bilgisayara aktarılmı tir. Grafikler olu turulurken ölçümlerin alındı ı süreç zaman skalasında gösterilmi tir.

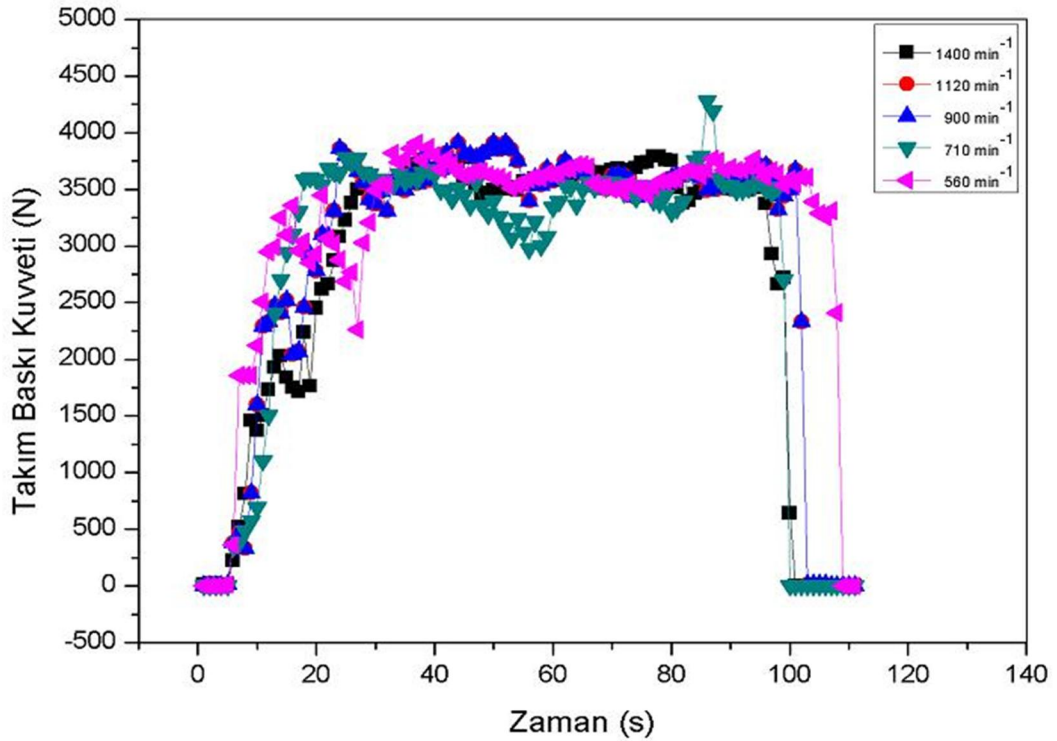
#### 5.1.1 Farklı takım devir sayılarında zamana ba lı takım baskı kuvveti ve sıcaklık de iimleri

Takım devir sayısının etkisini incelemek maksadıyla di er parametreler (ilerleme hızı 125 mm/min, takım baskı kuvveti 3,5 kN ve takım açısı 0 ) sabit tutularak takım devir sayıları 560 min<sup>-1</sup> ile 1400 min<sup>-1</sup> arasında (560, 710, 900, 1120, 1400 min<sup>-1</sup>) de i tirilmi tir. Di er parametrelerin sabit tutularak sadece takım devir sayısının de i tirildi i deney parametreleri Tablo 5.1'de görölmektedir.

Tablo 5.1: Farklı takım devir sayılarının incelendi i deneyler

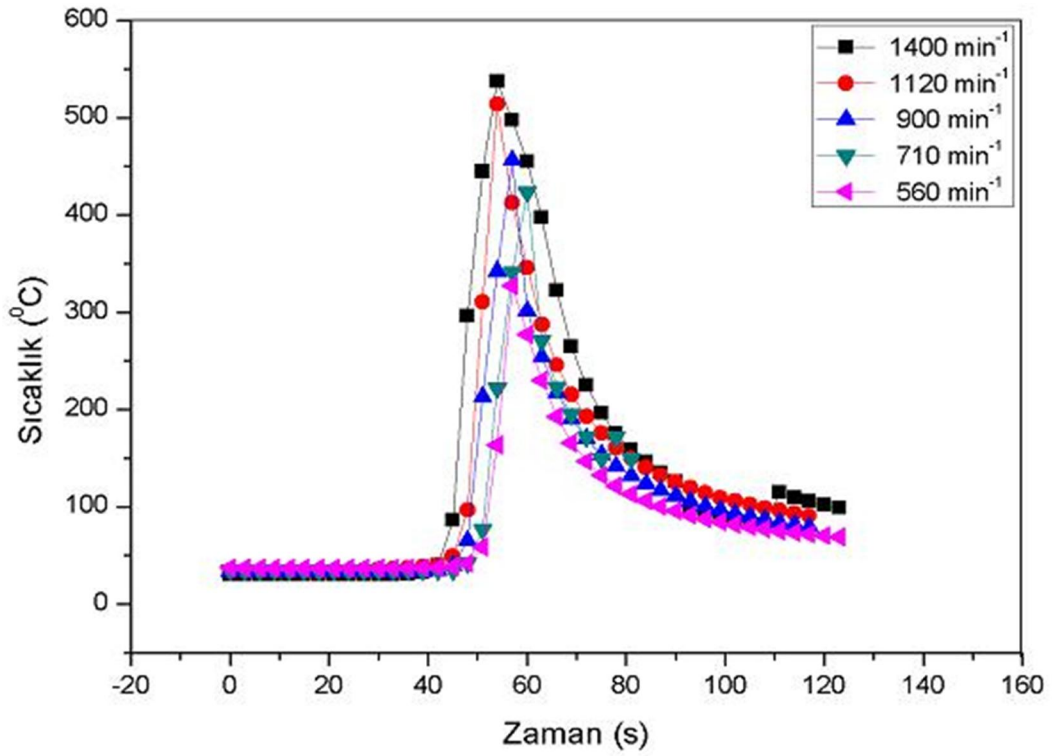
Deney Numarası	Devir Sayısı ( $\text{min}^{-1}$ )	ilerleme Hızı ( $\text{mm/min}$ )	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı ( )
401	560	125	3,5	0
402	710	125	3,5	0
105	900	125	3,5	0
210	1120	125	3,5	0
306	1400	125	3,5	0

Tablo 5.1’de belirtilen deneylerde ilerleme hızı 125 mm/min, takım baskı kuvveti 3,5 kN, takım açısı 0 olmak üzere takım devir sayısının  $560 \text{ min}^{-1}$ ,  $710 \text{ min}^{-1}$ ,  $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $1120 \text{ min}^{-1}$  ve  $1400 \text{ min}^{-1}$  olması durumunda kuvvetin zamanla de i mi ekil 5.1’de, sıcaklı ın zamanla de i mi ekil 5.2’de görülmektedir.



ekil 5.1: Farklı takım devir sayılarında takım baskı kuvvetinin zamana ba lı de i mi (125 mm/min; 3,5 kN; 0 )

De i en takım devir sayılarında takım baskı kuvvetinin sabit tutuldu u görülmektedir, ekil 5.1. Kaynak i leminin sona ermesi ile birlikte karı tırıcı takım daldırıldı ı plakalardan geri çekilmektedir. Artık takım omzu levhalara baskı uygulamadı ı için takım baskı kuvvetinin aniden sıfıra dü tü ü görülmektedir.



ekil 5.2: Farklı takım devir sayılarında sıcaklı ın zamana ba lı de i imi (125 mm/min; 3,5 kN; 0 )

Sıcaklık de i imlerine göre, takım devir sayısı artırıldı nda sıcaklık da düzenli olarak artmaktadır. Bu durumu artan devir sayısı ile birlikte takım omzu ile levhalar arasında kalan ara yüzeyde olu an sıcaklı ın da artması ile açıklamak mümkündür.

### 5.1.2 Farklı ilerleme hızlarında zamana ba lı takım baskı kuvveti ve sıcaklık de i imleri

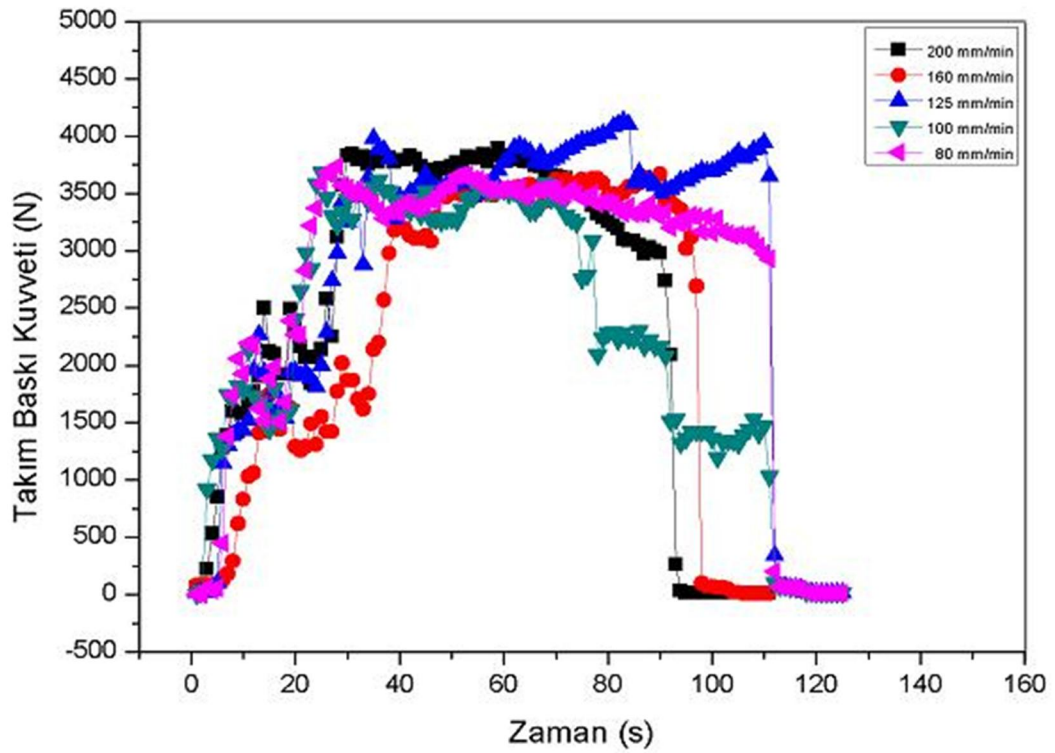
ilerleme hızının etkisini incelemek amacıyla di er parametreler (devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, takım baskı kuvveti 3,5 kN ve takım açısı 0 ) sabit tutularak ilerleme hızları 80, 100, 125, 160 ve 200 mm/min olarak de i tirilmi tir. Di er parametrelerin sabit tutularak sadece ilerleme hızının de i tirildi i deney parametreleri Tablo 5.2’de görölmektedir.

Farklı ilerleme hızlarında takım baskı kuvvetinin zamanla de i imi ekil 5.3’de, sıcaklı ın zamanla de i imi ekil 5.4’de görölmektedir.



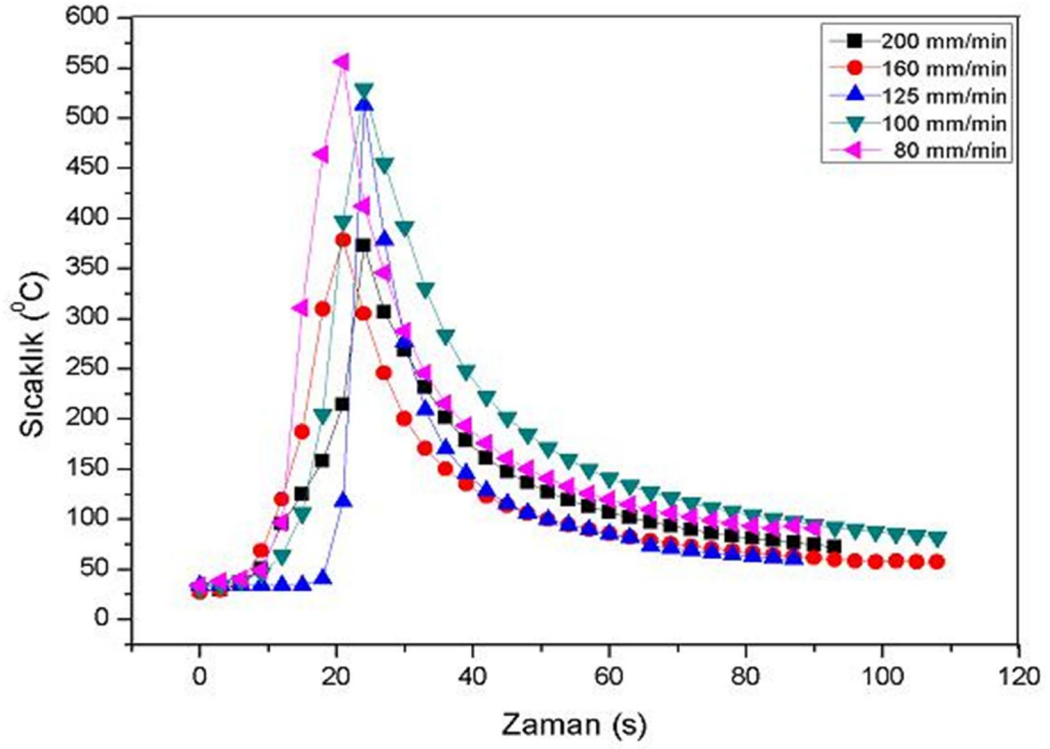
Tablo 5.2: Farklı ilerleme hızlarının incelendiği deneyler

Deney Numarası	Devir Sayısı ( $\text{min}^{-1}$ )	İlerleme Hızı ( $\text{mm}/\text{min}$ )	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı ( $^{\circ}$ )
201	1120	80	3,5	0
208	1120	100	3,5	0
210	1120	125	3,5	0
217	1120	160	3,5	0
218	1120	200	3,5	0



ekil 5.3: Farklı ilerleme hızlarında takım baskı kuvvetinin zamana bağlı değişimi ( $1120 \text{ min}^{-1}$ ;  $3,5 \text{ kN}$ ;  $0^{\circ}$ )

Be farklı ilerleme hızının incelendiği ekil 5.3’de takım baskı kuvvetlerinin zamanla küçük dalgalanmalar göstermekle birlikte  $3,5 \text{ kN}$ ’da istikrarlı olarak sabit tutulabildiği görülmektedir.



ekil 5.4: Farklı ilerleme hızlarında sıcaklığın zamana bağlı değişimi (1120 min<sup>-1</sup>; 3,5 kN; 0 )

Farklı ilerleme hızlarında kaynak bölgesinde sürtünmeye bağlı olarak açığa çıkan sıcaklığın değişimi ekil 5.4'de gösterilmektedir. Burada görüldüğü üzere en yüksek sıcaklık değeri 570 C olarak en düşük ilerleme hızı olan 80 mm/min ilerleme hızında ölçülmüştür. İlerleme hızı artırıldıkça sıcaklık değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kaynakta ısı girdisi bilindiği üzere artan kaynak hızıyla azalma göstermektedir. Ergitmeli kaynak yöntemleri için geçerli olan bu durum sürtünme karı tırma kaynağı ve ısı girdisi formülünde kaynak hızı bölen konumunda olduğundan devir sayısı, baskı kuvveti, sürtünme katsayısının bir fonksiyonu olarak hesaplanabilen ısı girdisinde kaynak/ilerleme hızı birim alanda sıcaklık azalmasına neden olur ki bu çalı mada da bu teori bir kez daha doğrulanmaktadır.

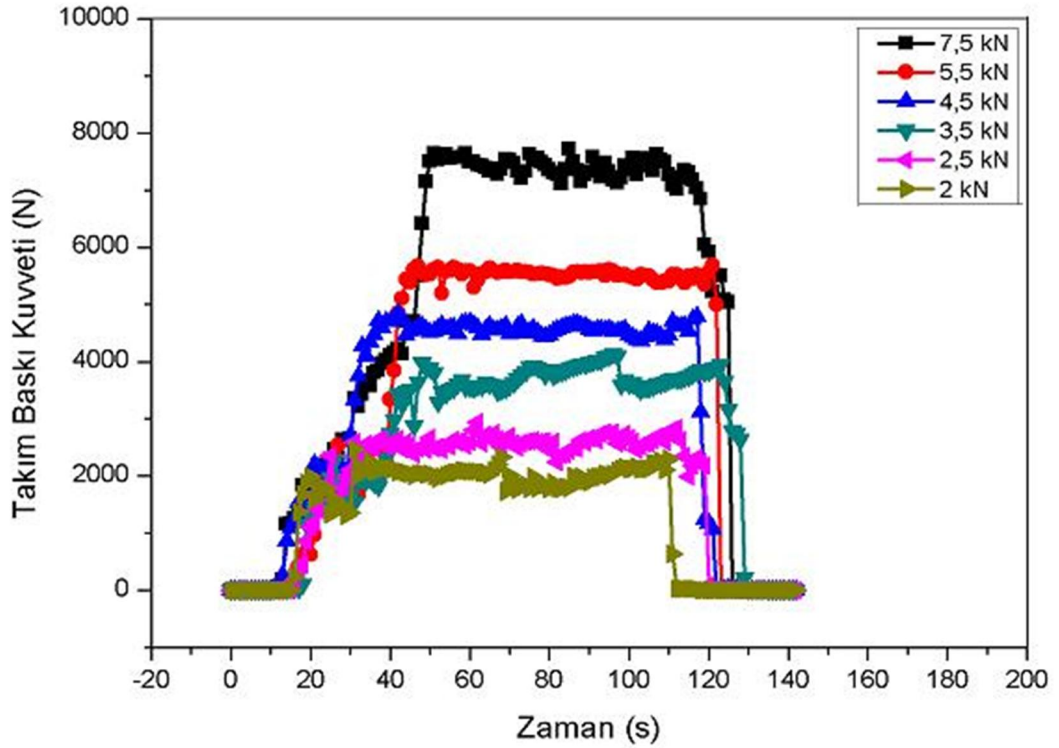
### 5.1.3 Farklı takım baskı kuvvetlerinin zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimleri

Takım baskı kuvvetinin etkisini incelemek amacıyla diğer parametreler (devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, ilerleme hızı 125 mm/min ve takım açısı 0 ) sabit tutularak takım baskı kuvvetleri 2; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5 ve 7,5 kN olarak değiştirilmiştir. Diğer parametrelerin sabit tutularak takım baskı kuvvetinin değiştirildiği deneysel parametreler Tablo 5.3'de görülmektedir.

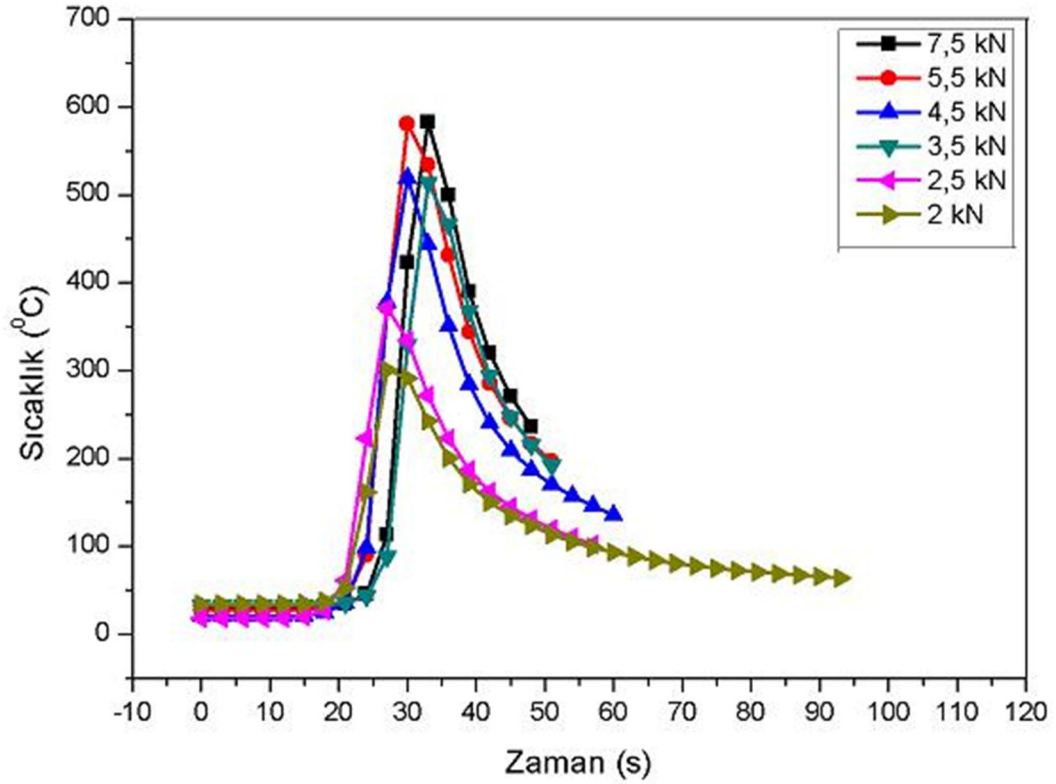
Tablo 5.3: Farklı takım baskı kuvvetlerinin incelendi i deneyler

Deney Numarası	Devir Sayısı ( $\text{min}^{-1}$ )	İlerleme Hızı ( $\text{mm/min}$ )	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı ( $^{\circ}$ )
219	1120	125	2	0
220	1120	125	2,5	0
210	1120	125	3,5	0
227	1120	125	4,5	0
228	1120	125	5,5	0
214	1120	125	7,5	0

Tablo 5.3’de belirtilen deneylerde takım devir sayısı  $1120 \text{ min}^{-1}$ , ilerleme hızı  $125 \text{ mm/min}$ , takım açısı  $0^{\circ}$  olmak üzere takım baskı kuvvetlerinin  $2 \text{ kN}$ ,  $2,5 \text{ kN}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $4,5 \text{ kN}$ ,  $5,5 \text{ kN}$  ve  $7,5 \text{ kN}$  olması durumunda takım baskı kuvvetinin zamanla değişimi Şekil 5.5’de, sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 5.6’da görülmektedir.



Şekil 5.5: Farklı takım baskı kuvvetlerinin zamana bağlı yük değişimi ( $1120 \text{ min}^{-1}$ ;  $125 \text{ mm/min}$ ;  $0^{\circ}$ )



ekil 5.6: Farklı takım baskı kuvvetlerinde sıcaklı ın zamana ba lı de i imi (1120 min<sup>-1</sup>; 125 mm/min; 0 )

Takım baskı kuvveti artırıldı ında ekil 5.6'da da görüldü ü gibi sıcaklı ın da arttı ı tespit edilmi tir. Artan takım baskı kuvveti sürtünme yüzey alanını artırdı ı gibi plastik deformasyonla kenarlara yı ılan sıcak metal altında yeni so uk yüzeylerle temas etmesiyle birlikte sürtünme yüzeylerinin süreklili ine sebep olaca ından kaynak bölgesinde sıcaklı ın artı ı do al bir sonuç olarak görülmektedir.

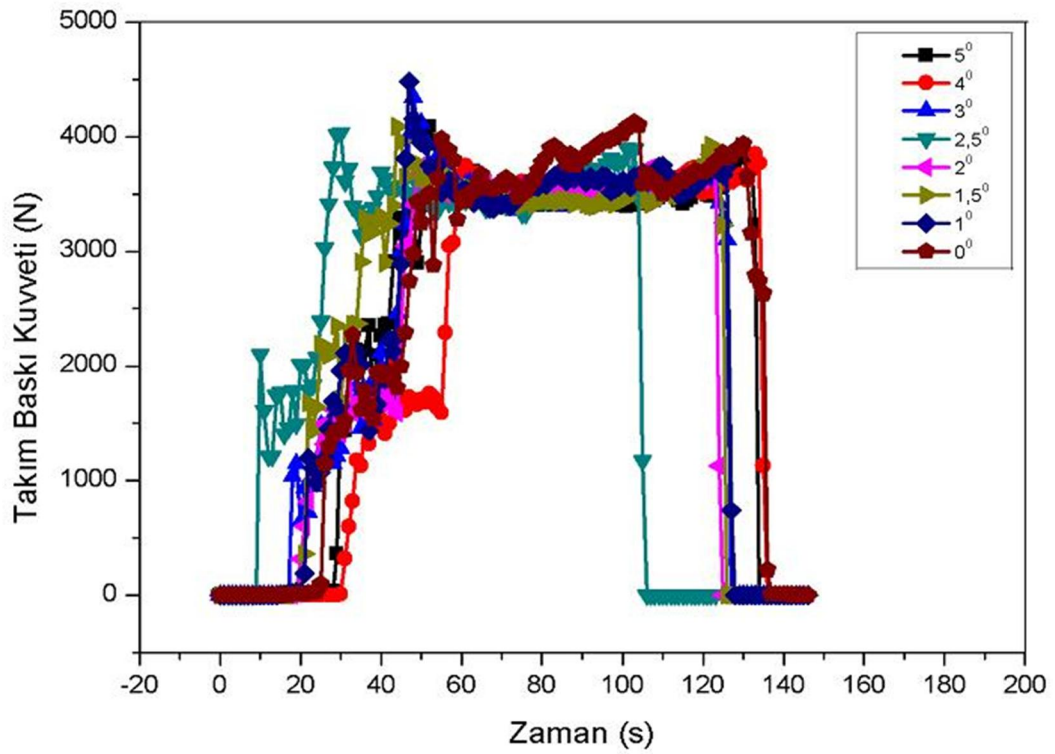
#### 5.1.4 Farklı takım açılarının zamana ba lı takım baskı kuvveti ve sıcaklık de iimleri

Takım açısının etkisini incelemek maksadıyla di er parametreler (devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, ilerleme hızı 125 mm/min ve takım baskı kuvveti 3,5 kN) sabit tutularak takım açıları 0 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 4 ve 5 olarak de i tirilmi tir. Di er parametrelerin sabit tutularak takım açısının de i tirildi i deneysel parametreler Tablo 5.4'de görülmektedir. Deneylerde karı tırıcı uca farklı takım açıları verilirken takım omzunun kaynak ilerleme istikametine dönük olacak ekilde gelmesine dikkat edilmi tir. Ters aç ı verilmesi halinde takımın sadece levhaya temas eden dik kö esinin sürterek ilerleyece i ve ucun karı tırma yapmayaca ı de erlendirilmi tir.

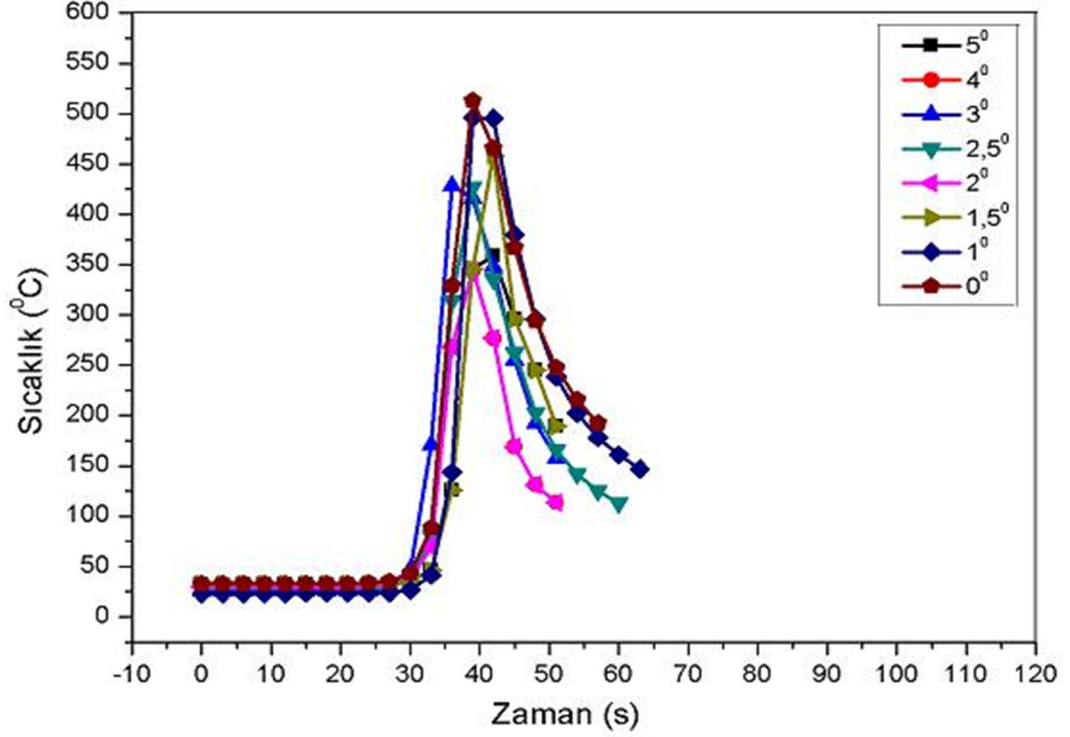
Tablo 5.4: Farklı takım açılarının incelendi i deneyler

Deney Numarası	Devir Sayısı ( $\text{min}^{-1}$ )	İlerleme Hızı ( $\text{mm}/\text{min}$ )	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı ( $^{\circ}$ )
210	1120	125	3,5	0
221	1120	125	3,5	1
222	1120	125	3,5	1,5
213	1120	125	3,5	2
223	1120	125	3,5	2,5
224	1120	125	3,5	3
225	1120	125	3,5	4
226	1120	125	3,5	5

Tablo 5.4’de belirtilen deneylerde takım devir sayısı  $1120 \text{ min}^{-1}$ , ilerleme hızı  $125 \text{ mm}/\text{min}$ , takım baskı kuvveti  $3,5 \text{ kN}$  olmak üzere takım açıları  $0^{\circ}$  ;  $1^{\circ}$  ;  $1,5^{\circ}$  ;  $2^{\circ}$  ;  $2,5^{\circ}$  ;  $3^{\circ}$  ;  $4^{\circ}$  ve  $5^{\circ}$  olması durumunda takım baskı kuvvetinin zamanla değişimi Şekil 5.7’de, sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.7: Farklı açılarda takım baskı kuvvetinin zamana bağlı değişimi ( $1120 \text{ min}^{-1}$ ;  $125 \text{ mm}/\text{min}$ ;  $3,5 \text{ kN}$ )



ekil 5.8: Farklı açılarda sıcaklı ın zamana ba lı de i imi  
(1120 min<sup>-1</sup>; 125 mm/min; 3,5 kN)

Takım açısı artırıldı nda ölçülen sıcaklı ın ters orantılı olarak azaldı ı tespit edilmi tir, ekil 5.8. Sürtünme karı tırma kayna ında karı tırıcı takıma verilen farklı açılar takım önündeki esas metal oranını azaltmak ve ilerlemeyi kolayla tırmak amacıyla verilir. Ancak bu açının de eri arttıkça takım ile esas metal arasında sürtünme yüzey alanı azalmaktadır. Bunun sonucunda sıcaklık da azalmaktadır. ekil 3.8'de de görüldü ü üzere sıcaklık de eri 0 ve 1 takım açılarında yakla ık 500 C iken 5 takım açısında ise 350 C'ye dü mektedir.

## 5.2 Kaynaklı Ba lantılara Yapılan Tahribatsız Malzeme Muayeneleri

Radyografik incelemelerin sonucunda kaynak diki i kök kısmında 0,5 mm yüksekli inde nüfuziyet noksanlı ı tespit edilmi tir. Bu noksanlık levha kalınlı ının 3 mm olmasına kar ın numunenin tablaya yapı masını önlemek maksadıyla karı tırıcı uç pin boyunun 2,5 mm olarak kullanılması sebebiyle ortaya çıkmı tır. Deneylerde ba langıçta pin boyu 2,7 mm alınmasına ra men takım baskı kuvveti ile takım omuzu levhalara dalmakta ve 3 mm'lik levhayı ana tablaya yapı tırmaktadır. Kaynak sonrasında yapı ma sebebiyle levha ana tabladan sökülerek ayrılmak

durumunda kalınmaktadır. Buna ilave olarak sıcaklık ölçen termo-eleman problemleri de zarar görmekte ve prob çıkışı delikleri kapanmaktadır. Bu şekilde zarar gören tabla yeni kaynak işlemi için sürekli tablaya tabi tutulmakta ve ısı ölçüm delikleri de tekrar açılmaya çalışılmaktadır. Kaynağın otomasyonunda ana tablanın zarar görmesini önlemek için ana tablaya kaynak çizgisi boyunca ince bir kanal açılması veya ana tablanın ortasında ince bir boşluk bırakarak iki parçalı imal edilmesi ile bu problemin giderilebileceği değerlendirilmektedir.

Deney numunelerinin radyografik incelemelerini yapmak için röntgenleri çekilmiştir. Radyografik inceleme yapmak amacıyla röntgeni çekilen numunelere ait örnek bir fotoğraf ekil 5.9'da görülmektedir.



ekil 5.9: Radyografik inceleme yapmak amacıyla çekilen örnek bir numuneye ait röntgen filmi (1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, ve 1,5 )




İlk etapta yapılan 35 adet deney için İzmir'de bulunan Erma teknik malzeme limited şirketine yaptırılan radyografik incelemelere ait raporlar ekil 5.10'da görülmektedir. Tüm deneylerde kaynak ile ilgili sadece nüfuziyet eksikliği belirlenmiş olup yukarıda da açıklandığı üzere bu durum kaynak işleminden kaynaklanan bir kusur olmayıp, ana tabla ve termo-eleman problemlerini korumak için alınan koruyucu ucun boyunu kısaltmakla ilgili tedbir sonucunda olması beklenen bir durumdur.

ERMA TEKNİK MALZEME LTD.ŞTİ.		RADYOGRAFİK TEST RAPORU Radiographic Test Report				Rapor No Report No		ER10-282-RT-01							
4. Sanayi Sitesi 129/8 Sok. No.2 BORNOVA/İZMİR Tel:232.375.5283 Fax:232.375.27.79 E-Mail: k.uzuno@ermateknik.com.tr						İş Emri No Job No		1506-08							
						Sayfa No Page No		1/2							
Müşteri Customer	PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ		Proje No / Adı Project No / Name	2009-FBE022		Parça No Part Code	-								
Parça Tanımı Objekt	Plaka Alın Kaynağı		Resim No Drawing No	-		Malzeme Material	430								
Test Zamanı Test Time	Kaynaktan Minimum 24 saat Sonra Minimum 24 Hours After Welding		Test Standartı/Prosedürü Test Standard/Procedure	EN 1435 - B		Değer. Standartı Evaluation Standard	EN 12517 Level 1								
Yüzey Durumu Surface Condition	Kaynatıldığı gibi As welded	Kaynak Yöntemi Welding process	Sürtünme/Karıştırma Kaynağı	Kaynak Geometrisi Weld Joint Design	-	Isıl İşlem Durumu Heat Treat. Status	YOK N/A								
Test Oranı Ratio Tested	100% (FULL)	Işın Kaynağı/ Radiation Source	X-RAY	Enerji / Aktivite Energy/Activity	130 Kv - 1,2 Ma	Muayene Kapsamı Test Scope	Kaynak+ ITAB Weld+HAZ								
Çekim Düzenlem. Exposure arrangement	EN 1435 Fig.1	Penetretrite IQI	10 FE EN	Penetretrite Konumu IQI Placement	Kaynak Tarafı Source Side	İzotopi/Odak Boyutu Isotope/Focus size	2,5x2,5 mm								
Kaynak Cisim Mes. Source to Obj. Dist.	697 mm.	Cisim - Film Mes. Obj to Film Dist.	3 mm.	Film-Fokus Mesafe. FFD	700 mm.	Banyo Metodu Film Processing	Otomatik Automatic								
Ekran Kalınlığı Tipi Screen thickness type	0,13mm Ön ve Arka Pb 0,13mm Front and Rear Pb	Film Tipi Film type	KODAK T200	Poz Süresi Exposure time	2,30 min.	Kasetteki Film Say. Nr of film in each Cass.	1								
RADYOGRAFİK İNCELEME SONUÇLARI (RADIOGRAPHIC INSPECTION RESULTS)															
Item No	Kaynak Dikiş Tanımı Weld joint designation	Kaynak No Weld no	Çekim Bölgesi Test area	Kaynakçı No Welder	Tel No IQI no	Yoğunluk Density	Nominal/ Nominal+ Reinforc. Thickness (mm)	Film Boyutu / Size				Hata Cinsi Defect	Hata Bölgesi Defect area	Ön Değer Pre ev.	Kesim Değ Eval
								10*48	10*36	10*24	10*16				
1	P1	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc			R
2	P2	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc			R
3	P3	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc			R
4	P4	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc			R
5	P5	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc			R
6	P6	-	0-20	-	16	2,4	3 mm.		X			Dc			R
7	P7	-	0-20	-	16	2,9	3 mm.		X			Dc			R
8	P8	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc			R
9	P9	-	0-20	-	16	2,9	3 mm.		X			Dc			R
10	P10	-	0-20	-	16	2,4	3 mm.		X			Dc			R
11	P11	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc			R
12	P12	-	0-20	-	16	2,4	3 mm.		X			Dc			R
13	P13	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc			R
14	P14	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc			R
15	P15	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc			R
AÇIKLAMALAR / Remarks: Filmlerin fotoğrafları ekteki CD'dedir.										Markalama System of Identificat. Kurşun Harf Lead Letters		Toplam Film Total film			
EN ISO 6520-1'e göre Hata Tanımları ve Kısaltmalar / Defects Codes acc. to EN ISO 6520-1 and Abbreviations															
Aa/2011	Gözenek/Porosity	C401	Birleşme noksanlığı/Lack of fusion	Fb/602	Kaynak yüzeyi kütü/Bad surface	A	Kabul/Accept			10*48	0				
Ab/2016	Gözenek Kanalı/Worm Holes	Da/515	Kökte konkavlık/Root concavity	Fc/501	Yanma Oluşu/Undercut	R	Tamir/Repair			10*36	0				
Ac/2014	Gözenek Zinciri/Porosity Line	Db/4013	Tek taraflı kök hatası/Single side root defect	Ff	Film hatası/Film defect	RS	Çekim hatası/Reshoot			10*24	15				
Ad/2013	Gözenek Toplu/Group Porosity	Dc/402	Nüfuziyet noksanlığı/Incomplete penetration	H/304	Metallik kalıntı/Metallic inclusion	C/O	Kes / Cutout			10*16	0				
Ba/3012	Curuf Kalıntısı/Slag Inclusion	E/100	Çatlak/Crack	K/202	Çekme boşluğu/Shrinkage cavity					10*12	0				
Bb/3011	Curuf Hattı/Linear Slag Line	Fa/504	Kökte aşırı nüfuziyet/Excessive root penetration								0				
Test Eden Examiner	Melih AYAN	Kontrol Eden Inspected	Bilge AYAN	Firma Company			Onay Approved By								
Level	I	Level	II												
Tarih Date	16.06.2010	Tarih Date	18.06.2010	Tarih Date			Tarih Date								
İmza Signature		İmza Signature		İmza Signature			İmza Signature								

FR - 048 / 3

ekil 5.10: Radyografik inceleme raporu



 <b>ERMA TEKNİK MALZEME LTD.ŞTİ.</b> 4. Sanayi Sitesi 129/8 Sok. No.2 BORNova/İZMİR Tel.232 375 5283 Fax.232 375 27 79 E-Mail: <a href="mailto:kontrol@ermateknik.com.tr">kontrol@ermateknik.com.tr</a>		<b>RADYOGRAFİK TEST RAPORU</b> <i>Radiographic Test Report</i>		Rapor No <i>Report No</i> ER10-282-RT-01 İş Emri No <i>Job No</i> 1506-08 Sayfa No <i>Page No</i> 2/2											
Müşteri <i>Customer</i>	PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ	Proje No / Adı <i>Project No / Name</i>	2009-FBE022	Parça No <i>Part Code</i>	-										
Parça Tanımı <i>Object</i>	Plaka Alın Kaynağı	Resim No <i>Drawing No</i>	-	Malzeme <i>Material</i>	430										
Test Zamanı <i>Test Time</i>	Kaynaktan Minimum 24 saat Sonra Minimum 24 Hours After Welding	Test Standartı/Prosedürü <i>Test Standard/Procedure</i>	EN 1435 - B	Değer. Standartı <i>Evaluation Standard</i>	EN 12517 Level 1										
<b>RADYOGRAFİK İNCELEME SONUÇLARI (RADIOGRAPHIC INSPECTION RESULTS)</b>															
Item No	Kaynak Dikiş Tanımı <i>Weld joint designation</i>	Kaynak No <i>Weld no</i>	Çekim Bölgesi <i>Test area</i>	Kaynakçı No <i>Welder</i>	Tel No <i>IQI no</i>	Yoğunluk <i>Density</i>	Nominal/ Nominal+ Reinforc. Thickness (mm)	Film Boyutu / Size				Hata Cinsi <i>Defect</i>	Hata Bölgesi <i>Defect area</i>	Ön Değer <i>Pre ev.</i>	Kesin Değer <i>Eval</i>
								10*48	10*36	10*24	10*12				
16	P16	-	0-20	-	16	2,4	3 mm.		X			Dc		R	
17	P17	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
18	P18	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
19	P19	-	0-20	-	16	2,7	3 mm.		X			Dc		R	
20	P20	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
21	P21	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
22	P22	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
23	P23	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc		R	
24	P24	-	0-20	-	16	2,4	3 mm.		X			Dc		R	
25	P25	-	0-20	-	16	2,4	3 mm.		X			Dc		R	
26	P26	-	0-20	-	16	2,4	3 mm.		X			Dc		R	
27	P27	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
28	P28	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
29	P29	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
30	P30	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc		R	
31	P31	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc		R	
32	P32	-	0-20	-	16	2,7	3 mm.		X			Dc		R	
33	P33	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
34	P1 (17.06.2010)	-	0-20	-	16	2,5	3 mm.		X			Dc		R	
35	P2 (17.06.2010)	-	0-20	-	16	2,6	3 mm.		X			Dc		R	
AÇIKLAMALAR / Remarks:											Markalama <i>System of Identificat.</i>		Toplam Film <i>Total film</i>		
											Kurşun Harf <i>Lead Letters</i>				
EN ISO 6520-1'e göre Hata Tanımları ve Kısaltmalar / Defects Codes acc. to EN ISO 6520-1 and Abbreviations															
Aa/2011 Gözenek/Porosity	C/401 Birleşme noksanlığı/Lack of fusion	Fb/602 Kaynak yüzeyi kolu/Bad surface	A Kabul/Accept	10*48	0										
Ab/2016 Gözenek Kanalı/Worm Holes	Da/515 Kökte konkavlık/Root concavity	Fc/501 Yanma Oluşu/Undercut	R Tamir/Repair	10*36	0										
Ac/2014 Gözenek Zinciri/Porosity Line	Db/4013 Tek taraflı kök hatası/Single side root defect	Ff Film hatası/Film defect	RS Çekim hatası/Reshoot	10*24	20										
Ad/2013 Gözenek Topluluğu/Porosity Group	Dc/402 Nüfuziyet noksanlığı/Incomplete penetration	H/304 Metalik kalıntı/Metalic inclusion	C/O Kes / Cutout	10*16	0										
Ba/3012 Cıvaf Kalıntısı/Slag Inclusion	E/100 Çatlak/Crack	K/202 Çekme boşluğu/Shrinkage cavity		10*12	0										
Bb/3011 Cıvaf Hattı/Linear Slag Line	Fa/504 Kökte aşırı nüfuziyet/Excessive root penetration				0										
Test Eden <i>Examiner</i>	Melih AYAN	Kontrol Eden <i>Inspected</i>	Bilge AYAN	Firma <i>Company</i>	Onay <i>Approved By</i>										
Level		Level	II												
Tarih <i>Date</i>	16.06.2010	Tarih <i>Date</i>	19.06.2010	Tarih <i>Date</i>											
İmza <i>Signature</i>		İmza <i>Signature</i>		İmza <i>Signature</i>	İmza <i>Signature</i>										

FR - 046 / 3

ekil 5.10: (devam) Radyografik inceleme raporu

### 5.3 Kaynaklı Ba lantuların Çekme Deneyi ncelemeleri

Çekme deneyleri sonucunda her kaynaklı levhaya ait üç numunenin çekme dayanımı de erlerinin ortalaması esas alınmıştır. Çekme deneylerinin sonuçları Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5: Deney sonuçları

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı (min <sup>-1</sup> )	Takım lerleme Hızı (mm/min)	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Çentik Darbe Enerjisi (J)
101	900	80	3,5	0	437	347	23,8
102	900	80	4,5	0	435	324	12
103	900	80	3,5	2	438	341	23
104	900	100	3,5	0	442	320	20,5
105	900	125	3,5	0	442	358	20
106	900	125	4,5	0	439	321	18,1
107	900	80	5,5	0	440	357	9
108	900	80	3,5	3	390	333	13,6
109	900	100	3,5	2	433	336	17,7
110	900	125	5,5	0	442	341	17,9
111	900	125	3,5	2	400	293	13,8
201	1120	80	3,5	0	437	332	15,4
202	1120	80	3,5	2	440	343	20,4
203	1120	80	3,5	3	396	328	12,8
204	1120	80	4,5	0	455	337	14,8
205	1120	80	4,5	2	441	343	18,5
206	1120	80	5,5	0	445	347	13,2
207	1120	80	5,5	2	438	351	16,3
208	1120	100	3,5	0	439	323	16
209	1120	100	5,5	2	362	267	9,6
210	1120	125	3,5	0	474	371	18,3
211	1120	125	5,5	2	274	267	9,2
212	1120	100	3,5	2	440	328	15,4
213	1120	125	3,5	2	404	357	13,5
214	1120	125	7,5	0	339	320	4,7
215	1120	160	2,5	0	446	347	20,3
216	1120	160	3	0	446	355	24
217	1120	160	3,5	0	445	341	25,8
218	1120	200	3,5	0	435	333	21,3
219	1120	125	2	0	286	283	10,8
220	1120	125	2,5	0	370	352	14,7
221	1120	125	3,5	1	474	376	16,2
222	1120	125	3,5	1,5	441	368	15
223	1120	125	3,5	2,5	379	357	10,5
224	1120	125	3,5	3	344	326	9
225	1120	125	3,5	4	267	253	8
226	1120	125	3,5	5	230	219	4
227	1120	125	4,5	0	476	384	17,9
228	1120	125	5,5	0	476	386	13,5
301	1400	80	3,5	0	439	325	14,4
302	1400	80	3,5	2	432	315	19,8
303	1400	80	3,5	3	249	219	7,3

Tablo 5.5: (devam) Deney sonuçları

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı (min <sup>-1</sup> )	Takım ilerleme Hızı (mm/min)	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)	Çentik Darbe Enerjisi (J)
304	1400	100	3,5	0	438	325	11,3
305	1400	100	3,5	2	331	283	8,6
306	1400	125	3,5	0	388	305	6,8
307	1400	125	3,5	2	297	267	6,5
308	1400	200	2,5	0	259	227	5,8
309	1400	200	3,5	0	382	348	21,1
310	1400	200	4,5	0	461	360	18
401	560	125	3,5	0	423	367	24,5
402	710	125	3,5	0	439	379	22,5

### 5.3.1 Çekme dayanımı üzerine takım devir sayısının etkisi

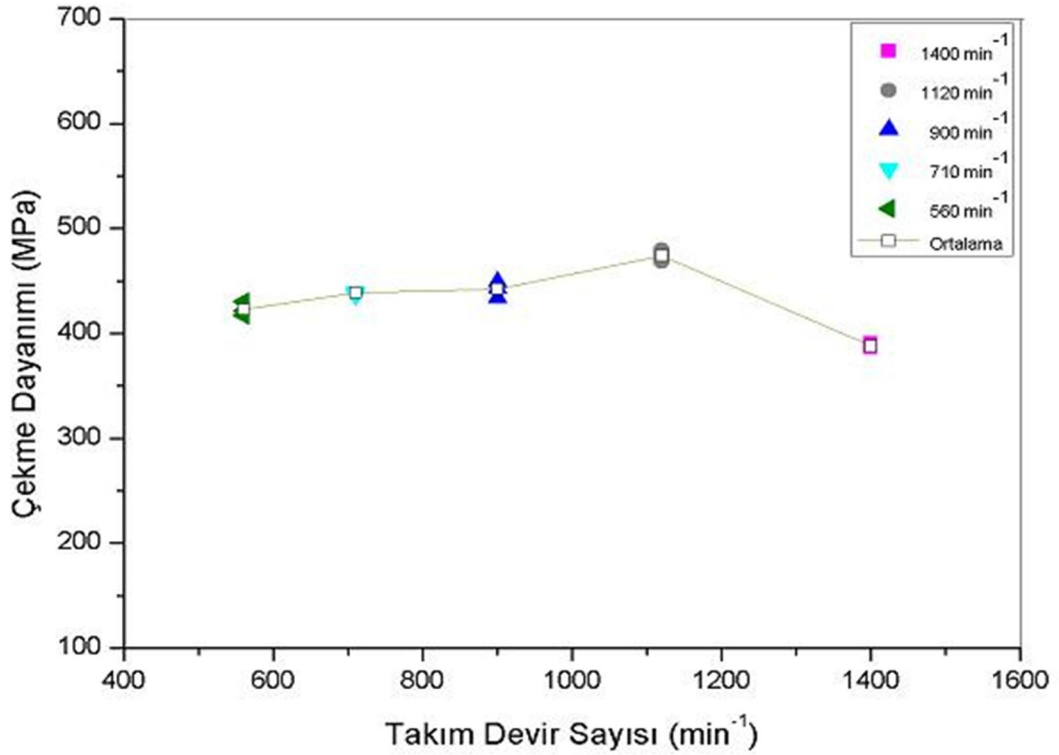
Farklı takım devir sayılarında (takım ilerleme hızı 125 mm/min, takım baskı kuvveti 3,5 kN ve takım açısı 0 olarak sabit tutulmak kaydıyla) elde edilen çekme deneyi sonuçları Tablo 5.6'da, takım devir sayısına ba lı olarak çekme deneyi sonuçları ekil 5.11'de görülmektedir.

Tablo 5.6: Farklı takım devir sayılarında elde edilen çekme deneyi sonuçları

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı (min <sup>-1</sup> )	ilerleme Hızı (mm/min)	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)
Esas Metal					459	373
401	560	125	3,5	0	423	367
402	710	125	3,5	0	439	379
105	900	125	3,5	0	442	358
210	1120	125	3,5	0	474	371
306	1400	125	3,5	0	388	305

Takım ilerleme hızı 125 mm/min, takım baskı kuvveti 3,5 kN ve takım açısı 0 olarak sabit tutularak sadece takım devir sayıları de i tirildi inde takım devir sayısı arttıkça çekme dayanımının da artı gösterdi i ve en yüksek çekme dayanım de erinin

1120 min<sup>-1</sup> devir sayısında elde edildi i görülmektedir. Fakat 1120 min<sup>-1</sup> devir sayısından sonra devir sayısı artırıldı ında çekme dayanımın dü tü ü görülmektedir. Artan devir sayısı ile esas metalden karı tırıcı ucun karı tırdı ı metal yı nını arasında yo unla ma olmadan karı tırma i lemi gerçekte mektedir. Dolayısıyla bu çalı mada kullanılan parametreler için 1120 min<sup>-1</sup> kritik takım devir sayısını olu turmaktadır. Bu devir sayısının üzerine çıkıldı ında çekme dayanımı azalmaktadır. Bunu artan devir sayısı ile arayüzeyde olu an sıcaklı ın artı ı ile izah etmek mümkündür. Nitekim 1120 min<sup>-1</sup> devir sayısında sıcaklık 513 C iken 1400 min<sup>-1</sup> devir sayısında sıcaklık 537 C'ye yükselmi tir. Artan sıcaklık tane irile mesine dolayısıyla gevrekle meye neden olaca ından çekme dayanımı de eri azalma göstermi tir.



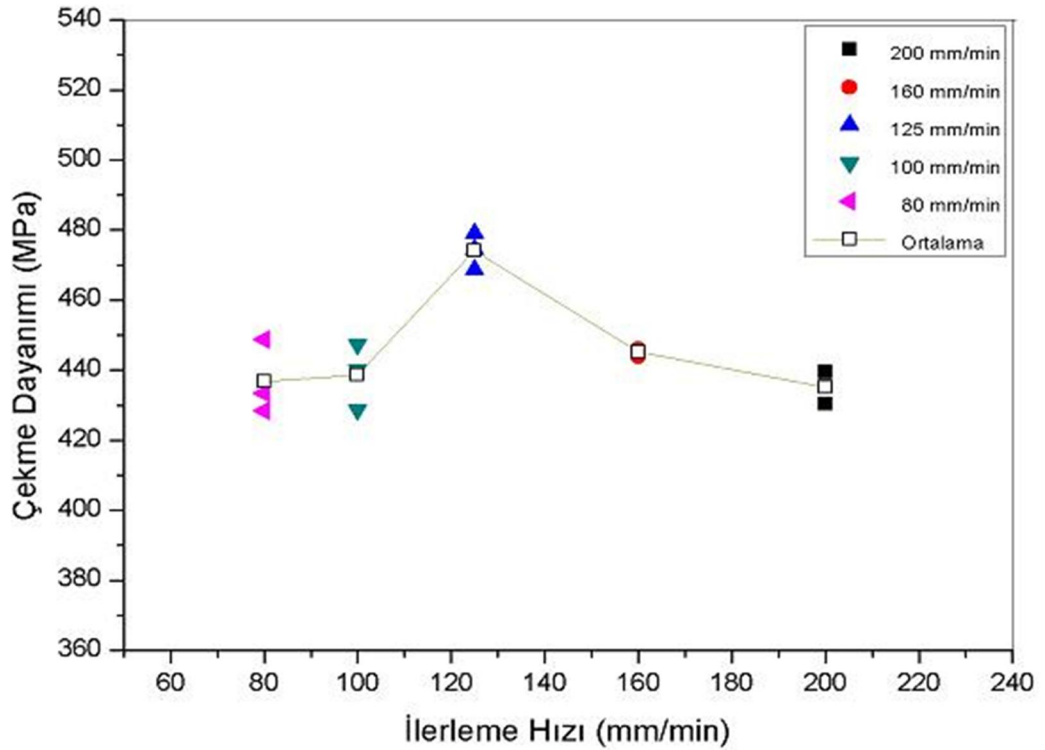
ekil 5.11: Takım devir sayısına ba lı olarak çekme dayanımı de i imi

### 5.3.2 Çekme dayanımı üzerine ilerleme hızının etkisi

Farklı ilerleme hızlarında (takım devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, takım baskı kuvveti 3,5 kN ve takım açısı 0 olarak sabit tutulmak kaydıyla) elde edilen çekme dayanım de erleri Tablo 5.7'de, ilerleme hızına ba lı olarak çekme dayanımı de i imi ekil 5.12'de görülmektedir.

Tablo 5.7: Farklı ilerleme hızlarında elde edilen çekme dayanım değerleri

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı ( $\text{min}^{-1}$ )	İlerleme Hızı ( $\text{mm/min}$ )	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı ( $^{\circ}$ )	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)
Esas Metal					459	373
218	1120	80	3,5	0	437	332
208	1120	100	3,5	0	439	323
201	1120	125	3,5	0	474	371
217	1120	160	3,5	0	445	341
210	1120	200	3,5	0	435	333



Şekil 5.12: İlerleme hızına bağlı olarak çekme dayanımının değişimi

Takım devir sayısı  $1120 \text{ min}^{-1}$ , takım baskı kuvveti  $3,5 \text{ kN}$  ve takım açısı  $0$  sabit tutularak sadece takım ilerleme hızları değiştirildiğinde ilerleme hızı artırıldıkça çekme dayanımının da arttığı ve en iyi çekme dayanımı değerinin  $125 \text{ mm/min}$

ilerleme hızında elde edildiği görülmektedir. Ancak 125 mm/min ilerleme hızından sonra ilerleme hızı artırıldığında çekme dayanımının azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada 125 mm/min ilerleme hızı kritik ilerleme hızını oluşturmaktadır. 125 mm/min ilerleme hızından sonra ilerleme hızı arttırıldığında kaynak bölgesine ısı girişi azaldığından malzemenin plastik akması zorlanmaktadır. Böylece homojen bir kaynak bölgesi karışımı sağlanamadığından çekme dayanımını azalmaktadır.

### 5.3.3 Çekme dayanımı üzerine takım baskı kuvvetinin etkisi

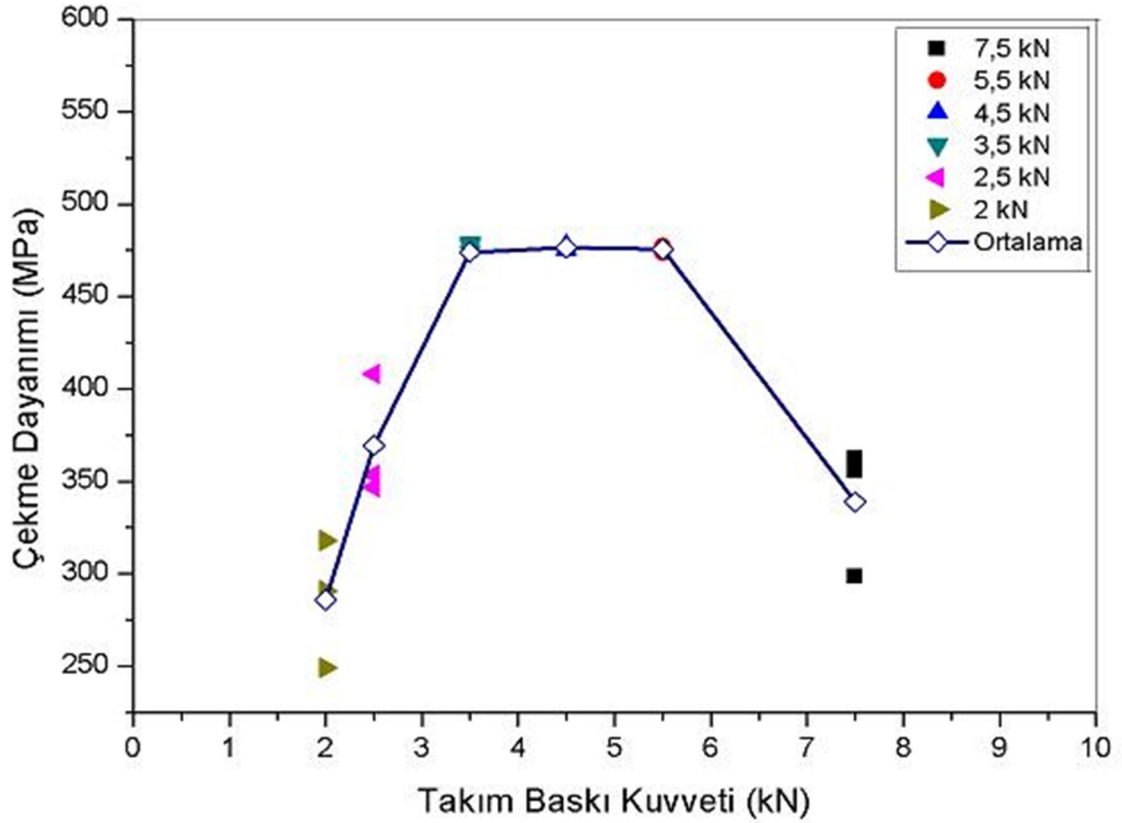
Farklı takım baskı kuvvetlerinde (takım devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, ilerleme hızı 125 mm/min ve takım açısı 0 olarak sabit tutulmuş kaydıyla) elde edilen çekme dayanım değerleri Tablo 5.8’de, takım baskı kuvvetine bağlı olarak çekme dayanımını gösteren şekil 5.13’de görülmektedir.

Tablo 5.8: Farklı takım baskı kuvvetlerinde elde edilen çekme dayanım değerleri

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı (min <sup>-1</sup> )	ilerleme Hızı (mm/min)	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)
Esas Metal					459	373
219	1120	125	2	0	286	283
220	1120	125	2,5	0	370	352
210	1120	125	3,5	0	474	371
227	1120	125	4,5	0	476	384
228	1120	125	5,5	0	476	386
214	1120	125	7,5	0	339	320

Takım devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, ilerleme hızı 125 mm/min ve takım açısı 0 olarak sabit tutularak sadece takım baskı kuvvetleri değiştirildiğinde artan takım baskı kuvveti ile

çekme dayanımının arttığı ve 3,5 kN ile 5,5 kN baskı kuvvetleri arasında sabit kaldığı, fakat 5,5 kN baskı kuvvetinden sonra çekme dayanımının düştüğü görülmektedir. 5,5 kN'ü aşan takım baskı kuvvetlerinde plastik akılla çapak olarak kenarlara taşınan metal oranının artmasından ve takım baskı kuvvetinin kaynak metalini plastik deformasyona uğratarak sertlik artışına neden olmasından dolayı çekme dayanımının düştüğü görülmektedir.



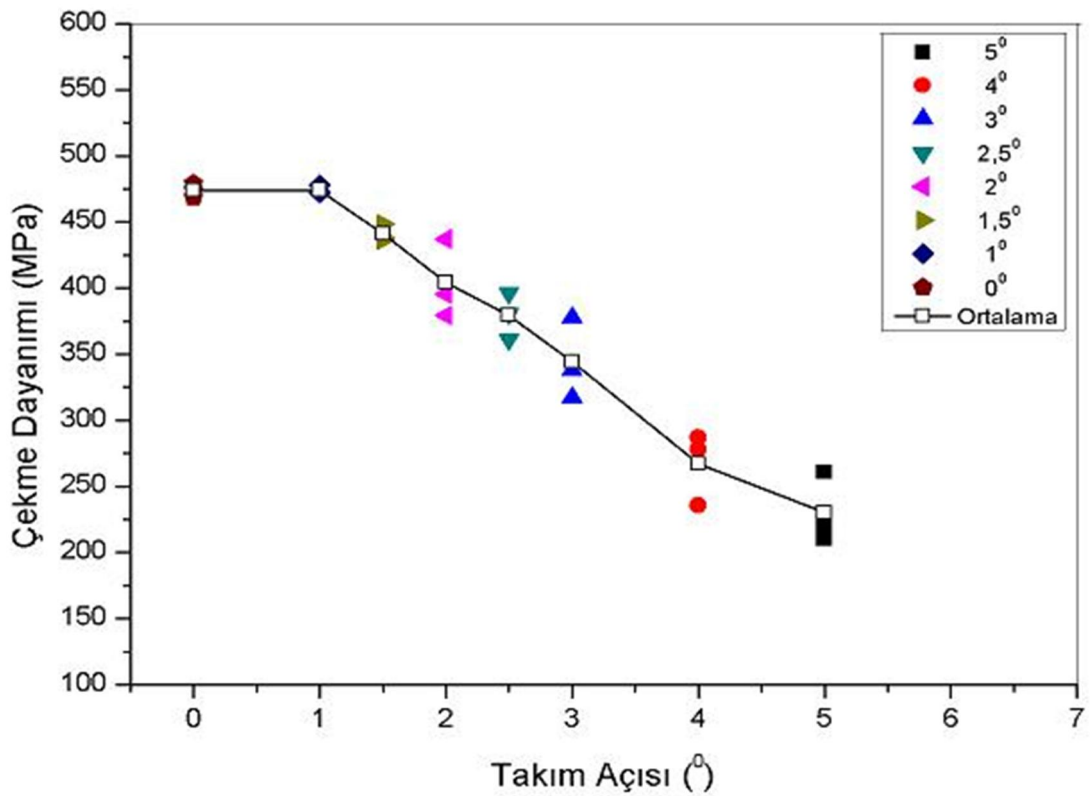
ekil 5.13: Takım baskı kuvvetine bağlı olarak çekme dayanımı değişimi

### 5.3.4 Çekme dayanımı üzerine takım açısının etkisi

Farklı takım açılarında (takım devir sayısı  $1120 \text{ min}^{-1}$ , ilerleme hızı  $125 \text{ mm/min}$  ve takım baskı kuvveti  $3,5 \text{ kN}$  olarak sabit tutulmuş kaydıyla) elde edilen çekme dayanım değerleri Tablo 5.9'de, takım açısına bağlı olarak çekme dayanımı değişimi ekil 5.14'de görülmektedir.

Tablo 5.9: Farklı takım açılarında elde edilen çekme dayanım değerleri

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı (min <sup>-1</sup> )	İlerleme Hızı (mm/min)	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Sınırı (MPa)
Esas Metal					459	373
210	1120	125	3,5	0	474	371
221	1120	125	3,5	0	474	376
222	1120	125	3,5	0	441	368
213	1120	125	3,5	0	404	357
223	1120	125	3,5	0	379	357
224	1120	125	3,5	0	344	326
225	1120	125	3,5	0	267	253
226	1120	125	3,5	0	230	219



Şekil 5.14: Takım açısına bağlı olarak çekme dayanımı değişimi



Takım devir sayısı  $1120 \text{ min}^{-1}$ , ilerleme hızı  $125 \text{ mm/min}$  ve takım baskı kuvveti  $3,5 \text{ kN}$  sabit tutularak, takım açıları de i tirildi inde en iyi çekme dayanımı de erinin  $0$  ile  $1$  takım açılarında elde edildi i ve her iki takım açısının birbiri ile hemen hemen aynı çekme dayanımı sonucunu verdi i görülmektedir.  $1$  lik açıdan itibaren takım açısı artırıldı ında çekme dayanımının gittikçe azaldı ı tespit edilmi tir. Takım açısı arttıkça ara yüzeyde olu an sıcaklık azaldı ı için takım omuzu esas metalin karı ım bölgesinde çentik etkisi olu turucu bantla malara yol açmaktadır. Bu nedenle çekme dayanımında azalma görülmektedir.

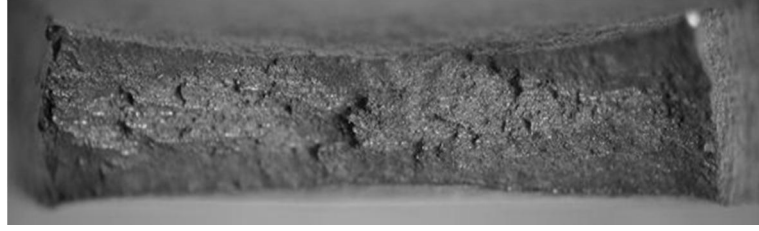
### **5.3.5 Çekme deneyi sonucu olu an kırık yüzeyin incelenmesi**

$1120 \text{ min}^{-1}$  takım devir sayısı ,  $125 \text{ mm/min}$  ilerleme hızı,  $3,5 \text{ kN}$  takım baskı kuvveti ve  $0$  takım açısında kaynak edilen ve  $474 \text{ MPa}$  çekme dayanımı gösteren kaynaklı ba lantının çekme deneyi sonucunda meydana gelen kırıkların SEM görüntüleri ekil 5.15 a-g'de; aynı ekilde  $900 \text{ min}^{-1}$  takım devir sayısı ,  $125 \text{ mm/min}$  ilerleme hızı,  $3,5 \text{ kN}$  takım baskı kuvveti ve  $0$  takım açısında kaynak edilen ve  $442 \text{ MPa}$  çekme dayanımı gösteren kaynaklı ba lantının çekme deneyi sonucunda meydana gelen kırıkların SEM görüntüleri de ekil 5.16 a-g'de görülmektedir.

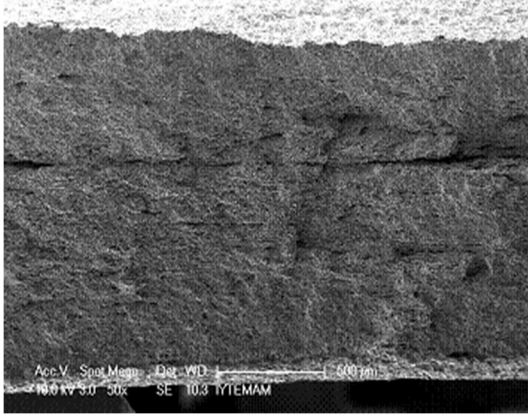
$1120 \text{ min}^{-1}$  takım devir sayısı ,  $125 \text{ mm/min}$  ilerleme hızı,  $3,5 \text{ kN}$  takım baskı kuvveti ve  $0$  takım açısında kaynak edilen ve  $474 \text{ MPa}$  çekme dayanımı gösteren kaynaklı ba lantının çekme deneyi sonucunda meydana gelen kırıkların SEM görüntüleri incelendi inde gevrek bir yapıya sahip oldu u görülmektedir. Kırık yüzeyinin düz ve bıçakla kesilmi gibi görüntüsü gevrek kırılmanın meydana geldi ini göstermektedir.

$900 \text{ min}^{-1}$  takım devir sayısı ,  $125 \text{ mm/min}$  ilerleme hızı,  $3,5 \text{ kN}$  takım baskı kuvveti ve  $0$  takım açısında kaynak edilen ve  $442 \text{ MPa}$  çekme dayanımı gösteren kaynaklı ba lantının çekme deneyi sonucunda meydana gelen kırıkların SEM görüntüleri incelendi inde ise süngerimsi sünek yapının dikkat çekti i görülmektedir.

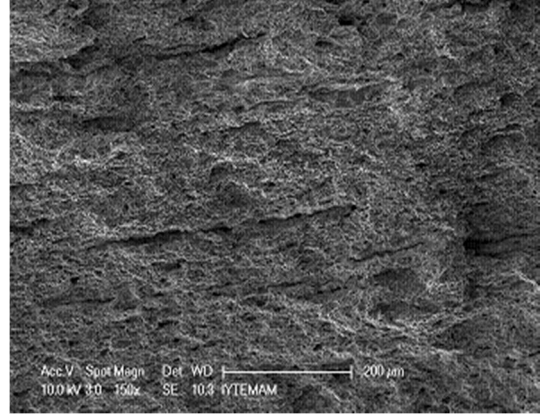
ki deney numunesi arasında çekme dayanımları kar ıla tırıldı ında sünek olan deney numunesinin çekme dayanımının gevrek olan deney numunesine nazaran daha dü ük olmasının gayet normal oldu u de erlendirilmi tir.



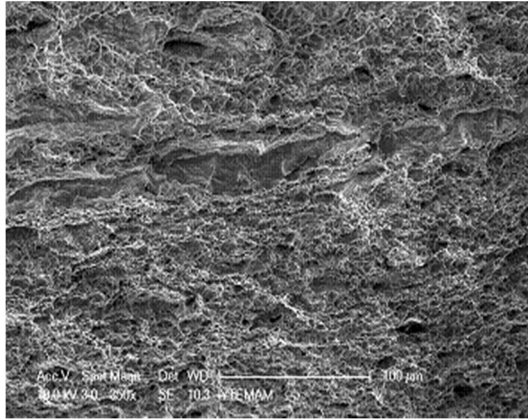
(a) Makro görünüm



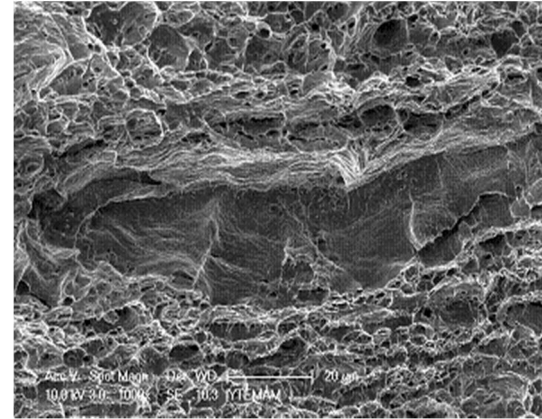
(b) 50 X



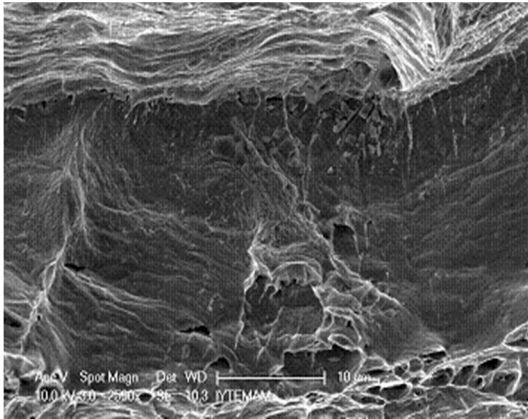
(c) 150 X



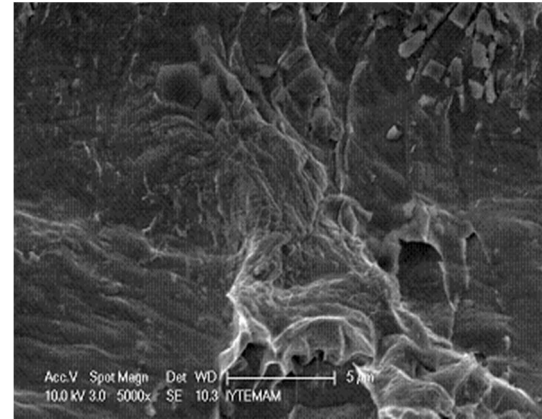
(d) 350 X



(e) 1000 X

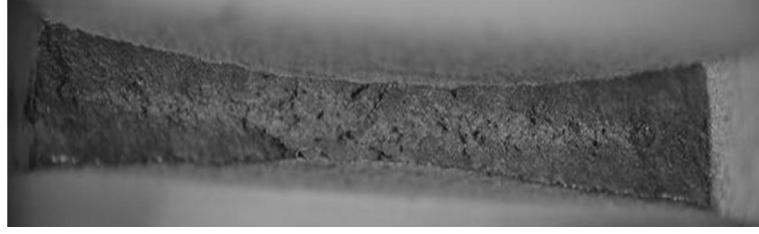


(f) 2500 X

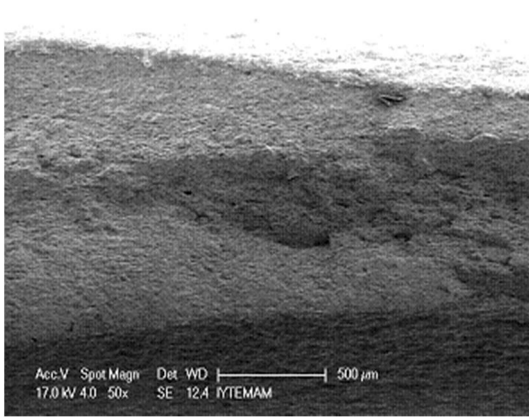


(g) 5000 X

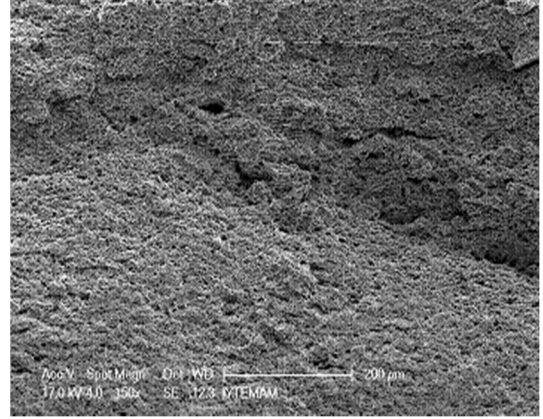
ekil 5.15:  $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0$  parametrelerindeki numunenin çekme deneyi sonucu kırık yüzeyinin makro ve SEM görüntüleri (a-g)



(a) Makro görünüm



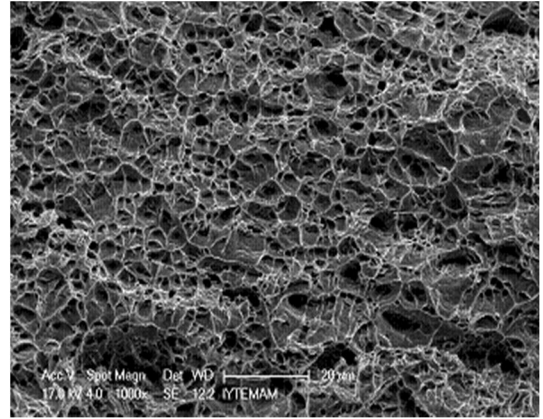
(b) 50 X



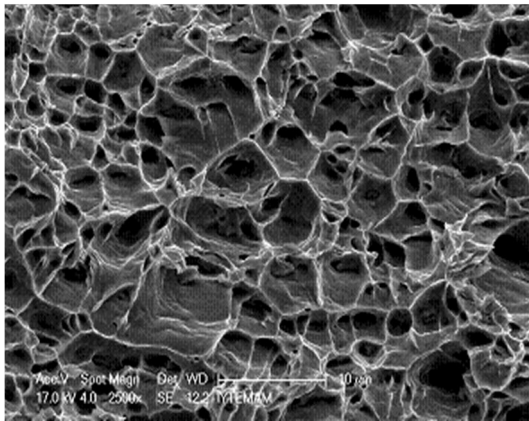
(c) 150 X



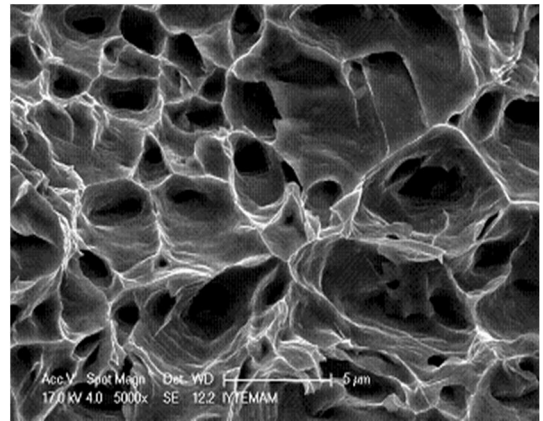
(d) 350 X



(e) 1000 X



(f) 2500 X



(g) 5000 X

ekil 5.16:  $900 \text{ min}^{-1}$ , 125 mm/min, 3,5 kN, 0 parametrelerindeki numunenin çekme deneyi sonucu kırık yüzeyinin makro ve SEM görüntüleri (a-g)

## 5.4 Kaynaklı Ba lantuların Çentik Darbe Deneyi ncelemeleri

Çentik darbe deneyleri sonucunda her kaynaklı levhaya ait üç numunenin çentik darbe enerjisi de erlerinin ortalaması esas alınmıştır. Çentik darbe deneylerinin sonuçları Tablo 5.5’de verilmiştir.

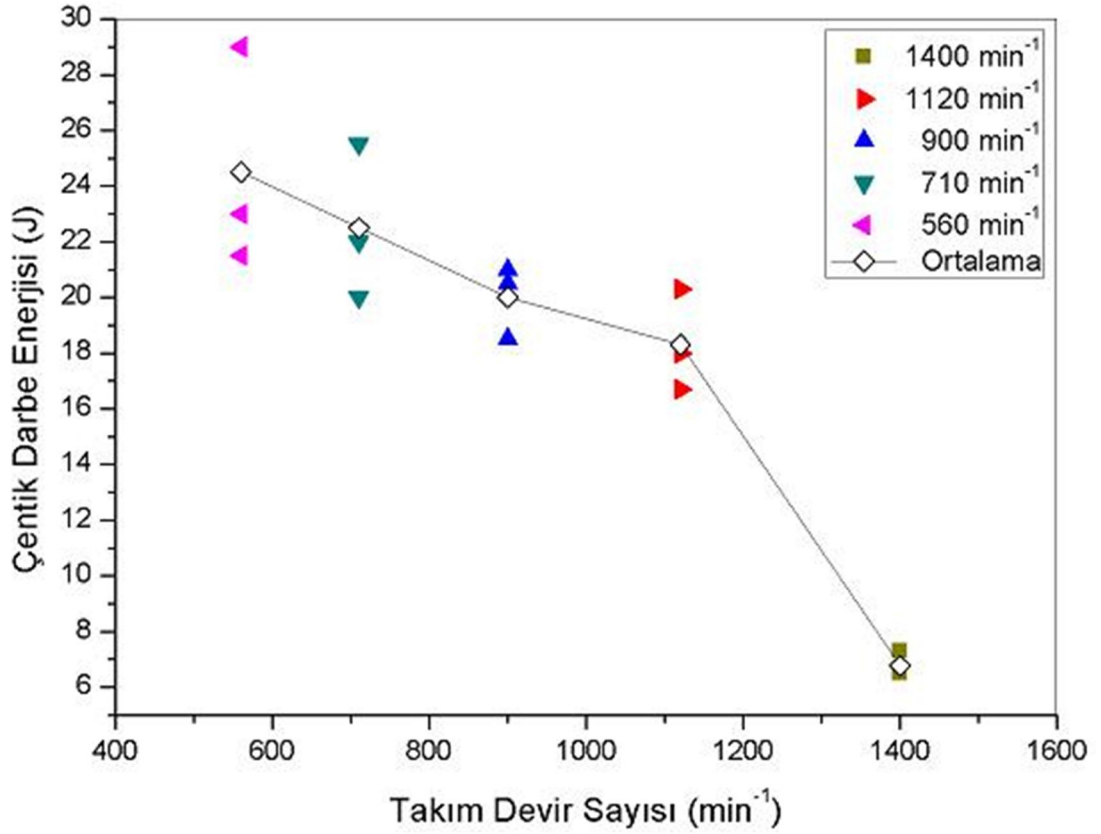
### 5.4.1 Çentik darbe enerjisi üzerine takım devir sayısının etkisi

Farklı takım devir sayılarında (takım ilerleme hızı 125 mm/min, takım baskı kuvveti 3,5 kN ve takım açısı 0 olarak sabit tutulmuş kaydıyla) elde edilen çentik darbe enerjisi de erleri Tablo 5.10’da, takım devir sayısına ba lı olarak çentik darbe enerjisi de i imi ekil 5.17’de görülmektedir.

Takım ilerleme hızı 125 mm/min, takım baskı kuvveti 3,5 kN ve takım açısı 0 olarak sabit tutularak, takım devir sayıları de i tirildi inde en yüksek çentik darbe enerjisi de erinin 560 min<sup>-1</sup> devir sayısında elde edildi i görülmektedir. Devir sayısı artırıldı nda çentik darbe enerjisinin azalmaya ba ladı ı görülmektedir. Devir sayısının artması ile kaynak bölgesinde ısı girdisi arttı ndan tane irile mesine meydana gelmektedir. Bu durum gevreklemeye neden oldu undan çentik darbe enerjisi azalmaktadır.

Tablo 5.10: Farklı devir sayılarında elde edilen çentik darbe enerjisi de erleri

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı (min <sup>-1</sup> )	İlerleme Hızı (mm/min)	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Çentik Darbe Enerjisi (J)
Esas Metal					25
401	560	125	3,5	0	24,5
402	710	125	3,5	0	22,5
105	900	125	3,5	0	20
210	1120	125	3,5	0	18,3
306	1400	125	3,5	0	6,77



ekil 5.17: Takım devir sayısına ba lı olarak çentik darbe enerjisi de i imi

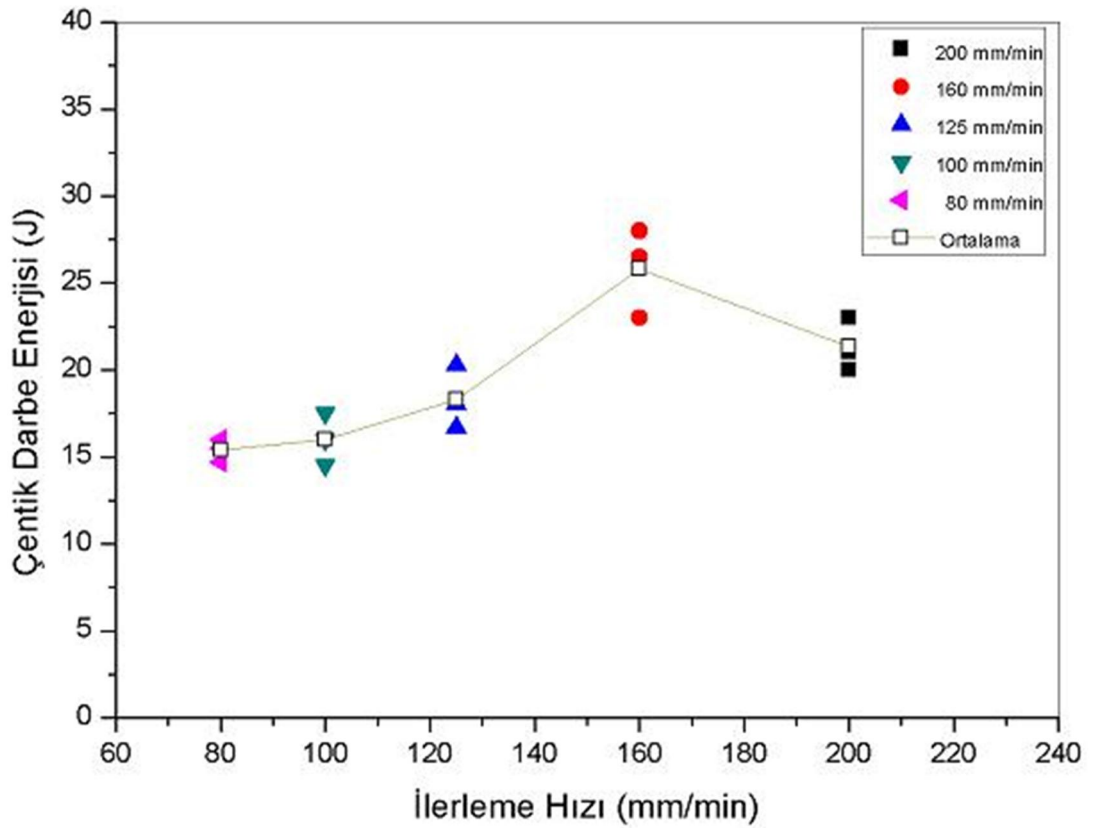
#### 5.4.2 Çentik darbe enerjisi üzerine ilerleme hızının etkisi

Farklı ilerleme hızlarında (takım devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, takım baskı kuvveti 3,5 kN ve takım açısı 0 olarak sabit tutulmak kaydıyla) elde edilen çentik darbe enerjisi de erleri Tablo 5.11’de, ilerleme hızına ba lı olarak çentik darbe enerjisi de i imi ekil 5.18’de görülmektedir.

Çentik darbe de erleri incelendi inde takım ilerleme hızı arttıkça çentik darbe enerjisinin de arttı ı tespit edilmi tir. ilerleme hızı 160 mm/min’de iken en yüksek çentik darbe enerjisine ula ılmı tır. Ancak ilerleme hızı 200 mm/min’e artırıldı ında çentik darbe enerjisinin azalmaya ba ladı ı görülmektedir. ilerleme hızının artırılmasına ba lı olarak ısı girdisi azaldı ından malzemenin plastik akı ı zorla makta ve homojen bir kaynak bölgesi karı ımı sa lanamadı ından çentik darbe enerjisi artmaktadır.

Tablo 5.11: Farklı ilerleme hızlarında elde edilen çentik darbe enerjisi değerleri

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı ( $\text{min}^{-1}$ )	İlerleme Hızı ( $\text{mm}/\text{min}$ )	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı ( $^{\circ}$ )	Çentik Darbe Enerjisi (J)
Esas Metal					25
218	1120	80	3,5	0	15,4
208	1120	100	3,5	0	16
201	1120	125	3,5	0	18,3
217	1120	160	3,5	0	25,8
210	1120	200	3,5	0	21,3



Şekil 5.18: İlerleme hızına bağlı olarak çentik darbe enerjisi değişimi

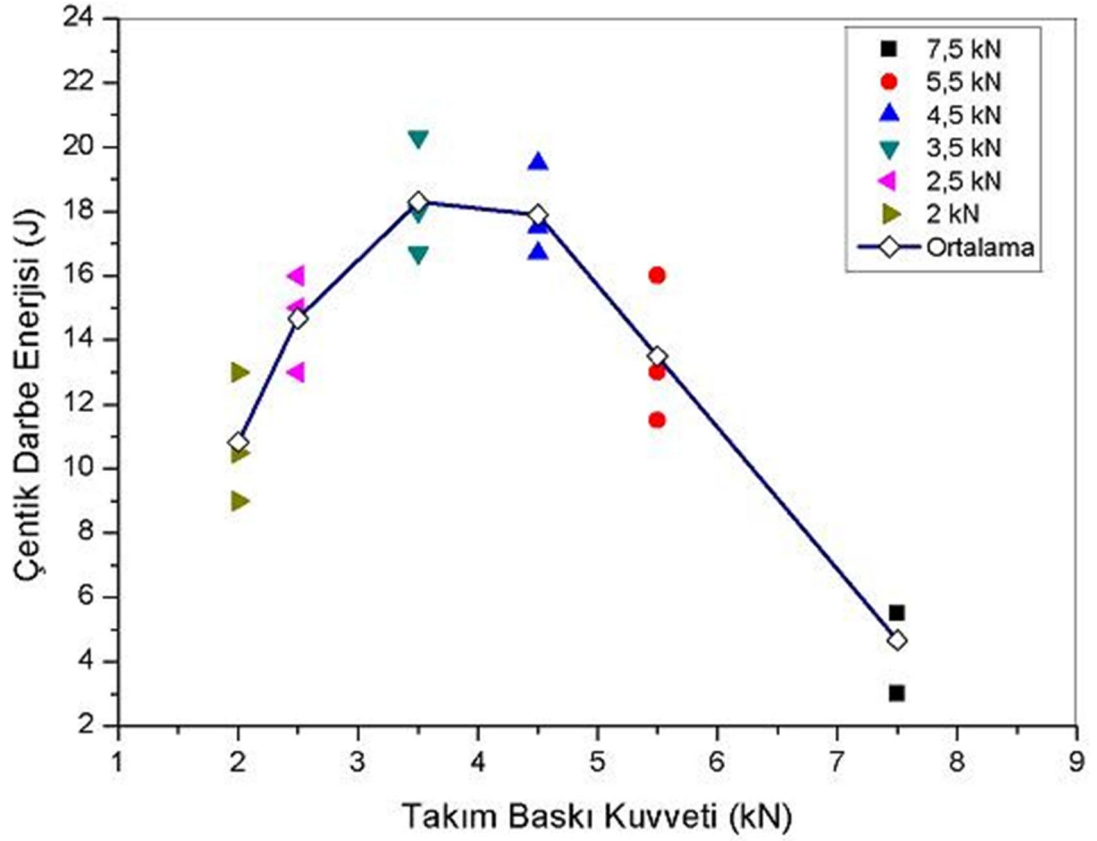
### 5.4.3 Çentik darbe enerjisi üzerine takım baskı kuvvetinin etkisi

Farklı takım baskı kuvvetlerinde (takım devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, ilerleme hızı 125 mm/min ve takım açısı 0 olarak sabit tutulmak kaydıyla) elde edilen çentik darbe enerjisi değerleri Tablo 5.12’de, takım baskı kuvvetine bağlı olarak çentik darbe enerjisi deimi ekil 5.19’da görülmektedir.

Takım devir sayısı 1120 min<sup>-1</sup>, ilerleme hızı 125 mm/min ve takım açısı 0 sabit tutularak, takım baskı kuvvetleri deitirildi inde en iyi çentik darbe enerjisi değerinin 3,5 kN baskı kuvvetinde elde edildi i ayrıca 3,5 kN ile 4,5 kN baskı kuvvetlerinin birbirine yakın sonuçlar verdi i görülmektedir. Fakat 3,5 kN baskı kuvvetinden sonra takım baskı kuvveti artırıldı nda çentik darbe enerjisinin dü tü ü görülmektedir. 3,5 kN’dan daha yüksek takım baskı kuvveti uygulandı nda plastik akı la çapak olarak kenarlara yı lanan metal oranı arttı ı ve takım baskı kuvvetinin kaynak metalini plastik deformasyona u ratması nedeniyle sertlik artmakta ve çentik darbe enerjisi deeri dü mektedir.

Tablo 5.12: Farklı takım baskı kuvvetlerinde elde edilen çentik darbe enerjisi değerleri

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı (min <sup>-1</sup> )	ilerleme Hızı (mm/min)	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Çentik Darbe Enerjisi (J)
Esas Metal					25
219	1120	125	2	0	10,8
220	1120	125	2,5	0	14,7
210	1120	125	3,5	0	18,3
227	1120	125	4,5	0	17,9
228	1120	125	5,5	0	13,5
214	1120	125	7,5	0	4,7



ekil 5.19: Takım baskı kuvvetine ba lı olarak çentik darbe enerjisi de i imi

#### 5.4.4 Çentik darbe enerjisi üzerine takım açısının etkisi

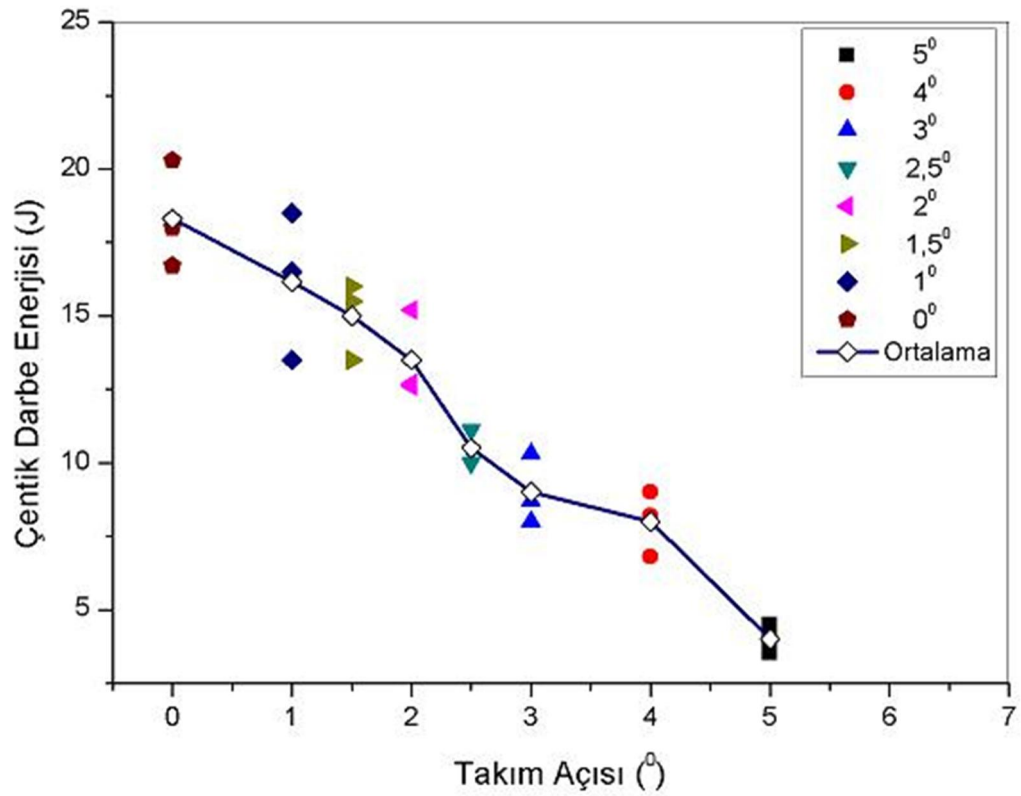
Farklı takım açılarında (takım devir sayısı  $1120 \text{ min}^{-1}$ , ilerleme hızı  $125 \text{ mm/min}$  ve takım baskı kuvveti olarak  $3,5 \text{ kN}$  sabit tutulmak kaydıyla) elde edilen çentik darbe enerjisi de erleri Tablo 5.13'de, takım açısına ba lı olarak çentik darbe enerjisi de i imi ekil 5.20'de görülmektedir.

Takım devir sayısı  $1120 \text{ min}^{-1}$ , ilerleme hızı  $125 \text{ mm/min}$  ve takım baskı kuvveti  $3,5 \text{ kN}$  sabit tutularak, takım açıları de i tirildi inde en iyi çentik darbe enerjisi de erinin  $0^\circ$  takım açısında elde edildi i görülmektedir. Takım açısı artırıldı nda çentik darbe enerjisinin azaldı ı tespit edilmi tir. Açı arttıkça ısı girdisi azaldı ndan takım omzu karı m bölgesinde çentik etkisi olu turucu bantla malar neden olmakta ve çentik darbe enerjisini dü ürmektedir.



Tablo 5.13: Farklı takım açılarında elde edilen çentik darbe enerjisi değerleri

Deney Nu.	Takım Devir Sayısı ( $\text{min}^{-1}$ )	İlerleme Hızı ( $\text{mm}/\text{min}$ )	Takım Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı ( $^{\circ}$ )	Çentik Darbe Enerjisi (J)
Esas Metal					25
210	1120	125	3,5	0	18,3
221	1120	125	3,5	1	16,2
222	1120	125	3,5	1,5	15
213	1120	125	3,5	2	13,5
223	1120	125	3,5	2,5	10,5
224	1120	125	3,5	3	9
225	1120	125	3,5	4	8
226	1120	125	3,5	5	4



Şekil 5.20: Takım açısına bağlı olarak çentik darbe enerjisi değişimi

#### 5.4.5 Çentik darbe deneyi sonucu olu an kırık yüzeyin incelenmesi

Çentik darbe deneyi kırılmasının incelenmesi zmir Yüksek Teknolojisi Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezinde yapılmıştır.

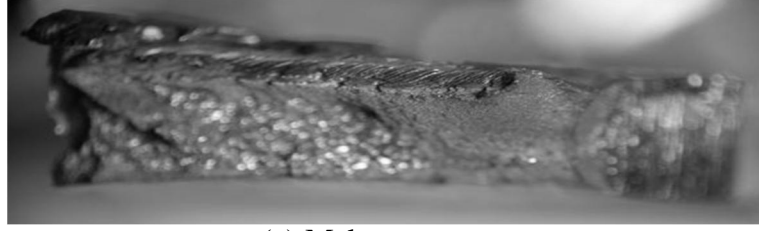
Sadece ilerleme hızları farklı olan iki adet deneye ait çentik darbe deney numunelerinin kırık yüzey analizi yapılmıştır.

1120 min<sup>-1</sup> takım devir sayısı, 125 mm/min ilerleme hızı, 3,5 kN takım baskı kuvveti ve 0 takım açısında kaynak edilen ve 18,3 J çentik darbe enerjisine sahip kaynaklı balantının çentik darbe deneyi sonucunda meydana gelen kırık yüzeylerin SEM görüntüleri ekil 5.21 a-g'de; aynı ekilde 1120 min<sup>-1</sup> takım devir sayısı, 160 mm/min ilerleme hızı, 3,5 kN takım baskı kuvveti ve 0 takım açısında kaynak edilen ve 25,8 J çentik darbe enerjisine sahip kaynaklı balantının çentik darbe deneyi sonucunda meydana gelen kırıkların SEM görüntüleri de ekil 5.22 a-g'de görülmektedir.

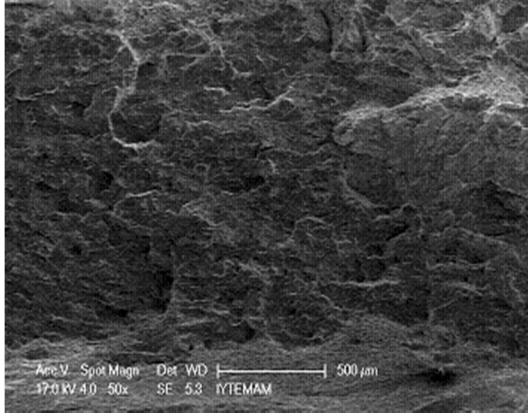
1120 min<sup>-1</sup> takım devir sayısı, 125 mm/min ilerleme hızı, 3,5 kN takım baskı kuvveti ve 0 takım açısında kaynak edilen ve 18,3 J çentik darbe enerjisine sahip kaynaklı balantının çentik darbe deneyi sonucunda meydana gelen kırık yüzeylerin SEM görüntüleri incelendi inde numunenin sünek davranış gösterdiği bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

1120 min<sup>-1</sup> takım devir sayısı, 160 mm/min ilerleme hızı, 3,5 kN takım baskı kuvveti ve 0 takım açısında kaynak edilen ve 25,8 J çentik darbe enerjisine sahip kaynaklı balantının çentik darbe deneyi sonucunda meydana gelen kırık yüzeylerin SEM görüntüleri incelendi inde ise gevrek bir yapı görülmektedir.

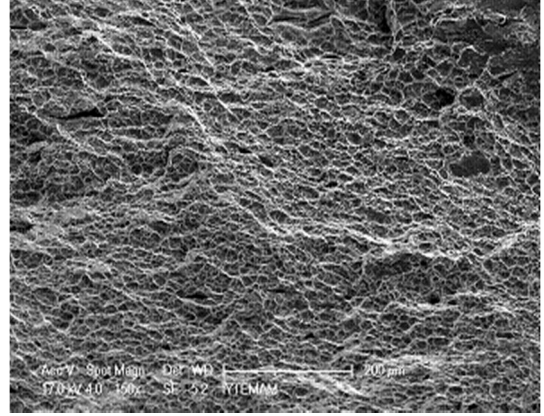
Her iki numunenin tokluk değerleri incelendi inde yüksek tokluğa sahip numunenin gevrek kırılma özelliğini göstermesinin normal bir sonuç olduğu değerlendirilmiştir.



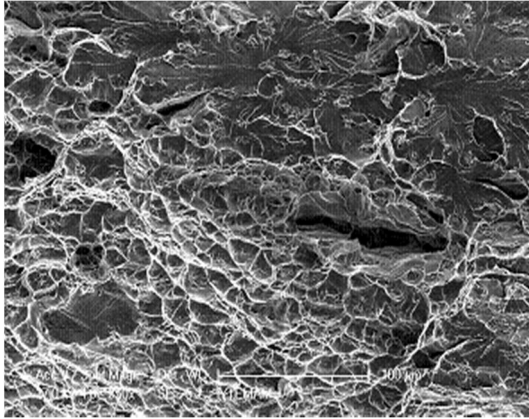
(a) Makro görünüm



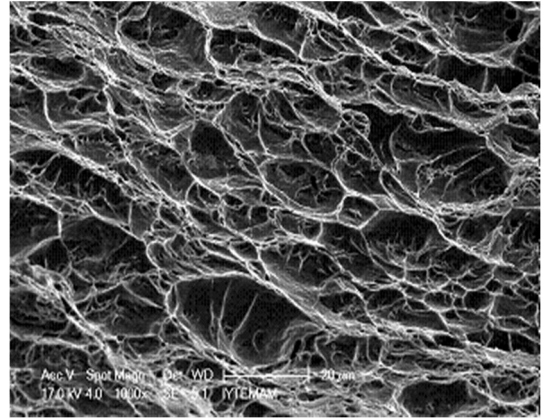
(b) 50 X



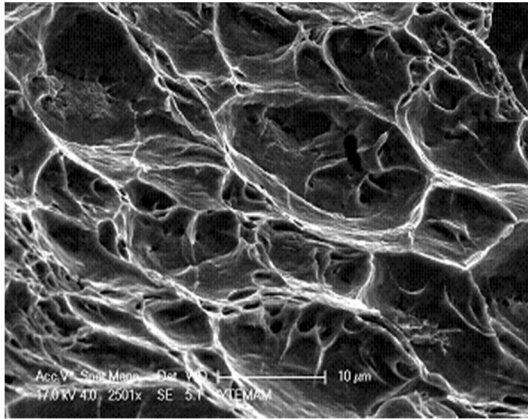
(c) 150 X



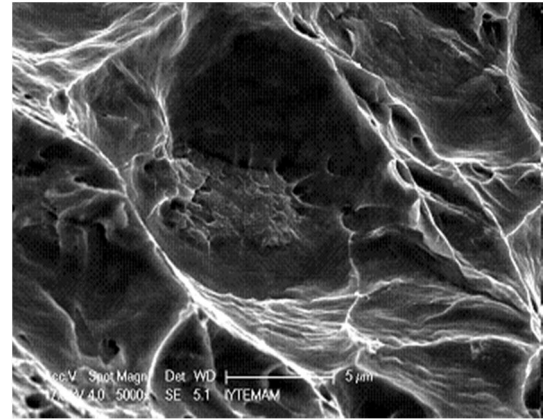
(d) 350 X



(e) 1000 X

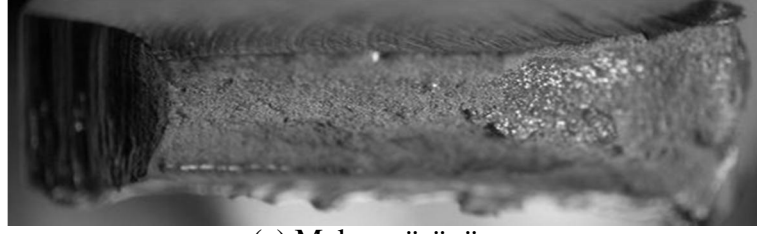


(f) 2500 X

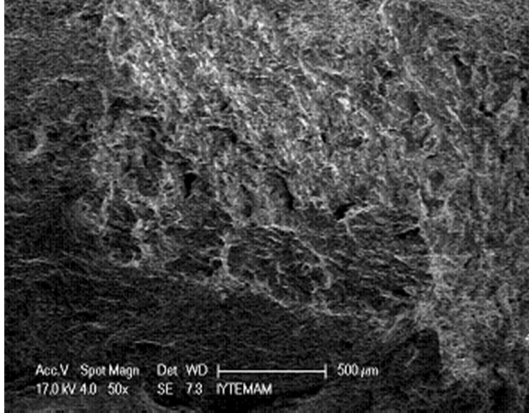


(g) 5000 X

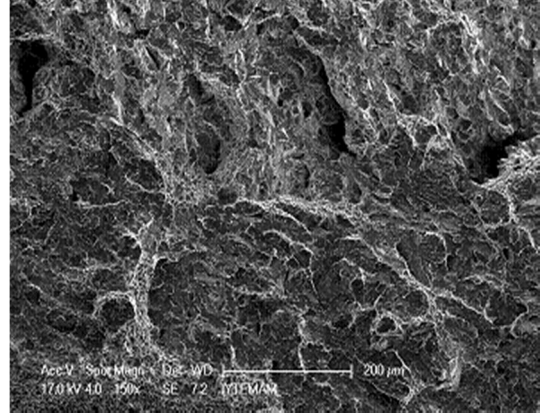
ekil 5.21: 1120 min<sup>-1</sup>, 125 mm/min, 3,5 kN, 0 parametrelerindeki numunenin çentik darbe deneyi sonucu kırık yüzeyinin makro ve SEM görüntüleri (a-g)



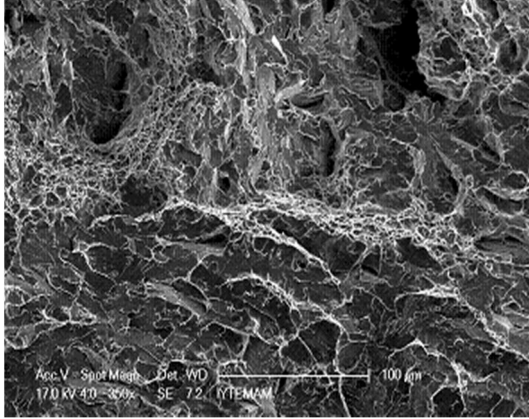
(a) Makro görünüm



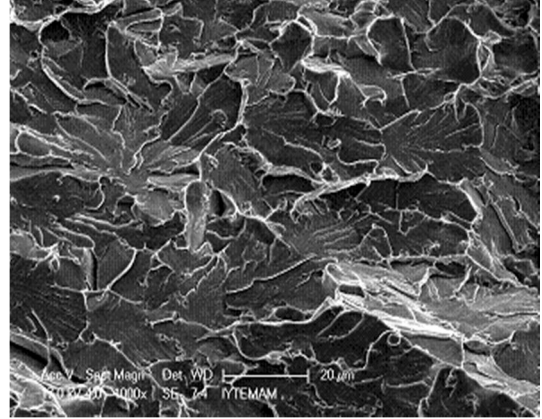
(b) 50 X



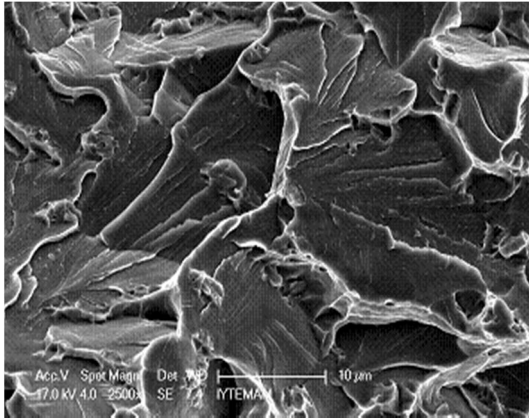
(c) 150 X



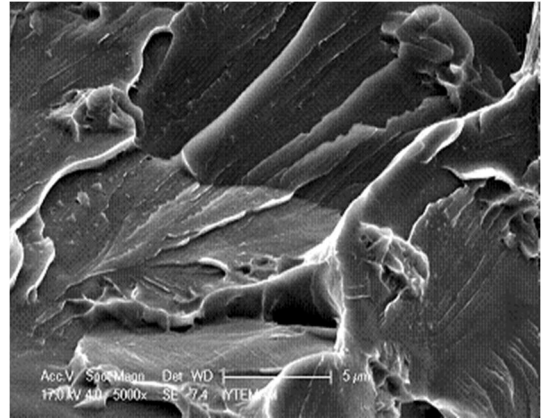
(d) 350 X



(e) 1000 X



(f) 2500 X



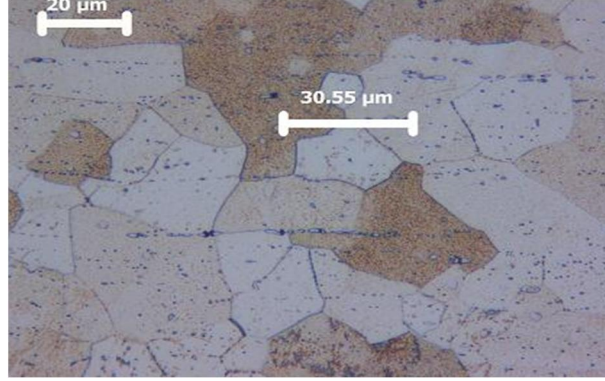
(g) 5000 X

ekil 5.22: 1120 min<sup>-1</sup>, 160 mm/min, 3,5 kN, 0 parametrelerindeki numunenin çentik darbe deneyi sonucu kırık yüzeyinin makro ve SEM görüntüleri (a-g)

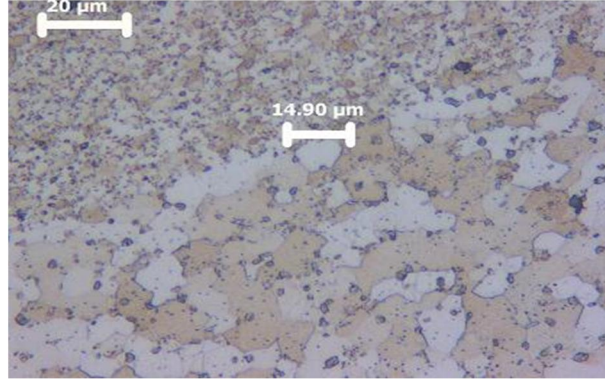
## 5.5 Kaynaklı Ba lantuların yapı ve Mikrosertlik ncelemeleri

### 5.5.1 Kaynaklı ba lantuların içyapı incelemeleri

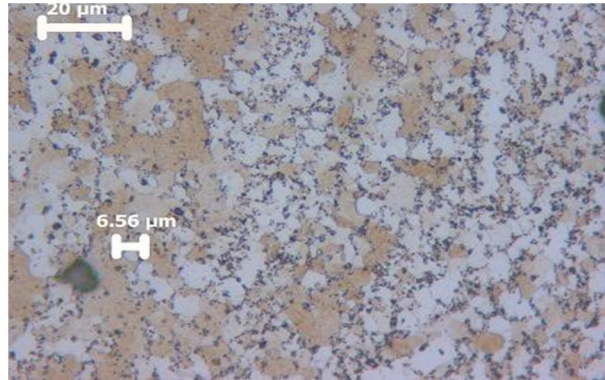
 yapı incelemesi ile kaynak diki inde gözenek, nüfuziyet eksikli i olup olmadı ı, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve karı ım bölgesindeki tane yapısının incelenmesi ve esas malzeme ile kar ıla tırılması yapılmı tır.



(a)



(b)



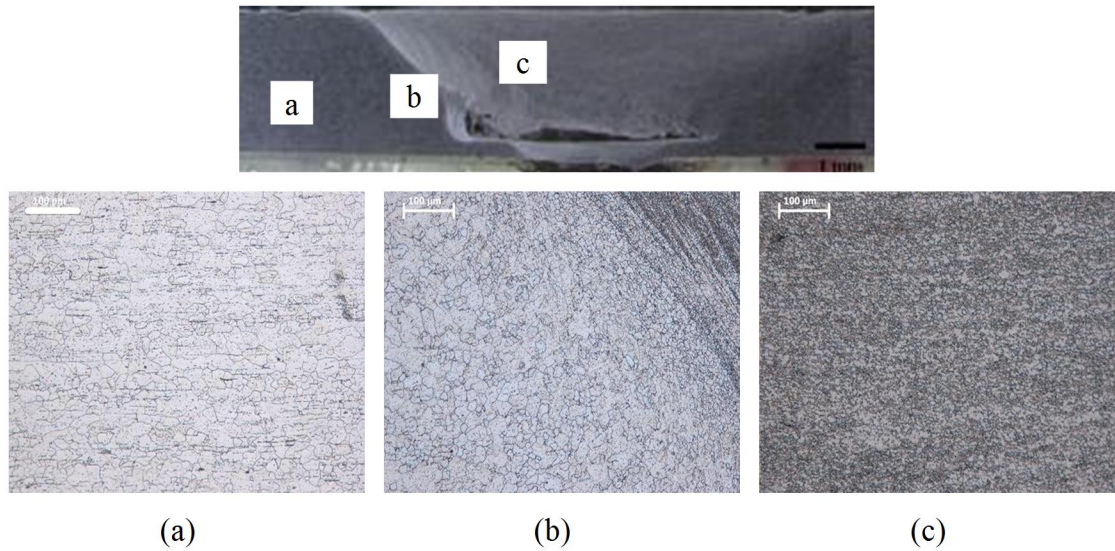
(c)

ekil 5.23: Taneboyunun esas malzemedan (a), ITAB (b) ve karı ım bölgesine (c) geçerken gittikçe azalması

Mikroyapı incelemelerinde sık sık tane boyu ölçümleri de kayıt altına alınmıştır. Esas malzemeden ITAB'a, ITAB'dan da karışım bölgesine geçişte tane boyları bariz biçimde (yaklaşık ½ oranında) küçülmüştür. Tane boyunun esas malzemeden karışım bölgesine doğru kademeli olarak azaldığı Şekil 5.23 a-c'de görülmektedir. Esas malzemede ortalama tane boyu 30 µm iken, bu değer ITAB'da 15 µm, karışım bölgesinde ise 5 µm'lere düşmektedir. Klasik ergitme kaynak yöntemlerinde ITAB ve kaynak bölgesinde tane büyümesi oluşmakta iken sürtünme karıştırma kaynak yönteminde ise ITAB ve kaynak bölgesinde esas metale nazaran daha ince taneli yapıların görülmesinin nedeni soğuk haddelenmiş ve düşük ısı iletkenliğine sahip ferritik paslanmaz levhalarla yapılan sürtünme karıştırma kaynağında artan soğuk deformasyon oranı ile birlikte yeniden kristalleşme (rekristalizasyon) oluşumudur.

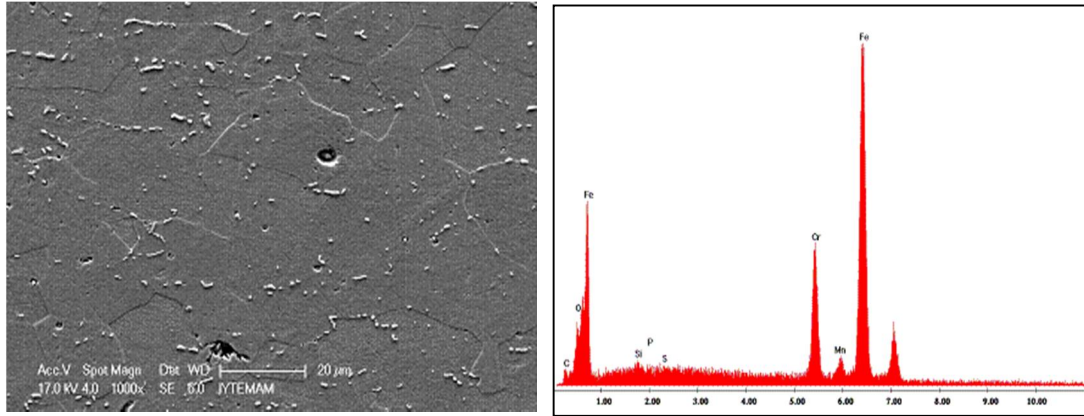
Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile kaynaklanan parçalardaki tane boyu geçişinin esas malzemeden karışım bölgesine doğru gittikçe azalması, klasik ergitme kaynak yöntemlerinde karşılaşılan aşırı tane büyümesi probleminin ortadan kalktığını göstermektedir. Sürtünme karıştırma kaynağı ile diğer klasik ergitme kaynak yöntemlerinin karşılaştırılması bölüm 5.6'da detaylı olarak incelenmiştir.

Deneylere ait içyapı görünümleri için örnek bir çalışma aşağıda Şekil 5.24'de gösterilmiştir. Diğer deneylere ait içyapılar Ek-B'de gösterilmektedir. İç yapılar genel olarak incelendiğinde, esas malzemedeki tanelerin kaynak bölgesinde oldukça ince tanelere dönüştüğü görülmektedir.



Şekil 5.24: Bir numuneye ait esas malzeme (a), ITAB (b) ve kaynak bölgesi (c) makro ve mikro içyapıların gösterildiği örnek çalışma

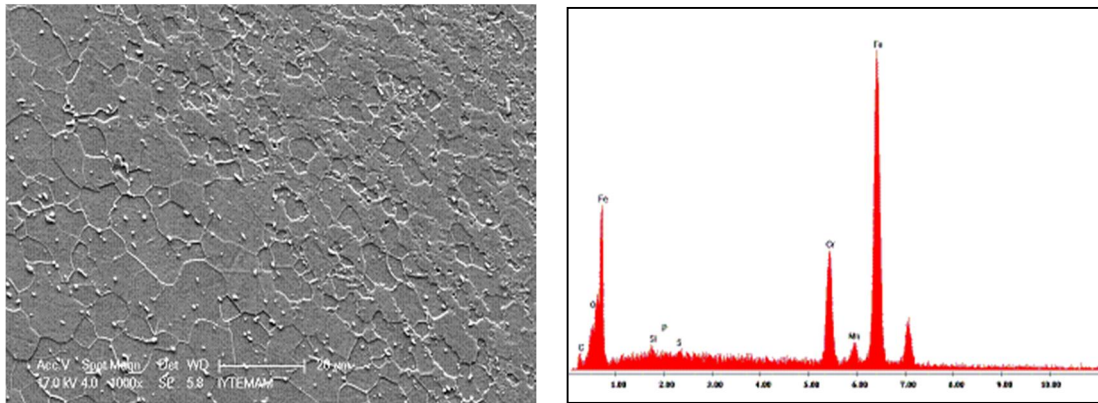
Kaynaklı parçaların SEM ve EDX analizi Philips XL305 cihazı vasıtasıyla zmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Ara tırma Merkezi (IYTE-MAM) tarafından yapılmı tır. Esas malzemenin EDX analizinden % 16,25 Cr, % 2,94 C, % 2,43 O, % 0,62 Si, % 1,14 Mn, % 0,32 P, % 0,32 S ve % 75,98 Fe ölçülmü tür, ekil 5.25. Bu oranlar X6Cr17 ferritik paslanmaz çelik için uygundur. Ancak C oranının % 0.08 civarında olması gerekirken çok yüksek çıkma nedeni numune üzerindeki en küçük toz parçasının bile karbon olarak ölçülmesinden kaynaklanmaktadır.



ekil 5.25: Esas malzemenin EDX analizi

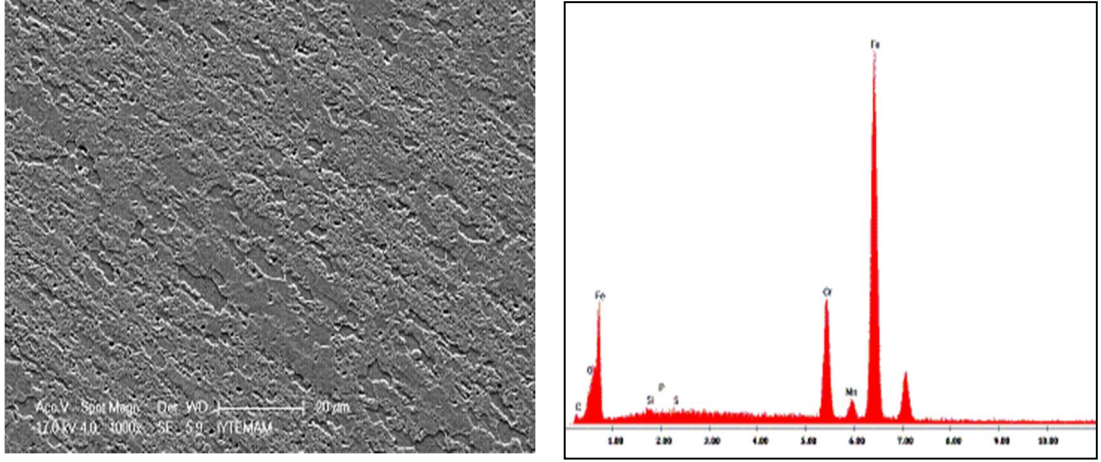
A a ıda farklı parametrelere sahip olan 105, 213 ve 306 numaralı deneylere ait numunelerin ITAB ve kaynak bölgelerinin EDX analizi yapılarak genel bir fikir edinilmeye çalı ılmı tır.

105 numaralı deney ( $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0$ ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizinden % 15,67 Cr, % 2,71 C, % 2,01 O, % 0,59 Si, % 1,62 Mn, % 0,31 P, % 0,36 S ve % 76,73 Fe ölçülmü tür, ekil 5.26.



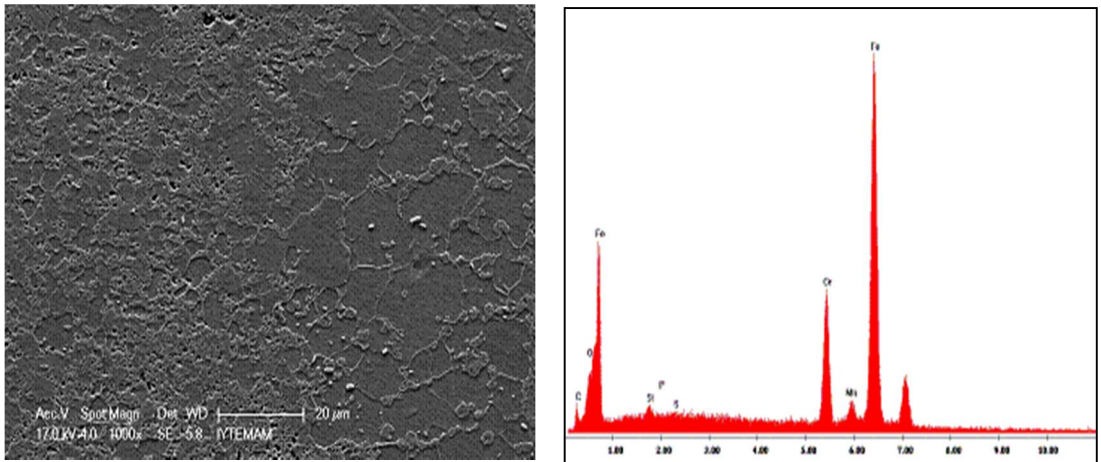
ekil 5.26: 105 numaralı deney ( $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0$ ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizi

105 numaralı deney ( $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0$ ) numunesine ait kaynak bölgesinin EDX analizinden % 15,12 Cr, % 2,71 C, % 3,17 O, % 0,50 Si, % 0,67 Mn, % 0,28 P, % 0,24 S ve % 77,30 Fe ölçülmü tür, ekil 5.27.



ekil 5.27: 105 numaralı deney ( $900 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0$ ) numunesine ait kaynak bölgesinin EDX analizi

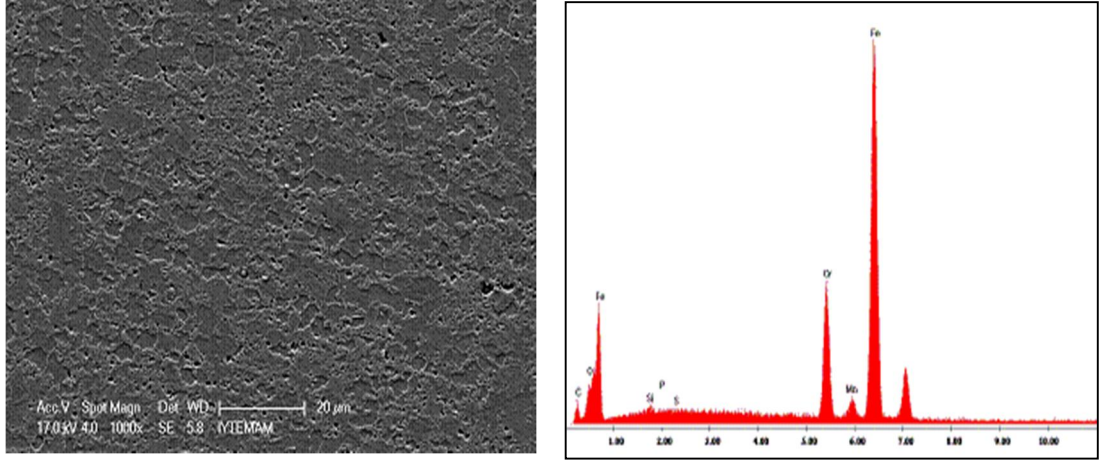
213 numaralı deney ( $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $2$ ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizinden % 14,94 Cr, % 3,75 C, % 2,38 O, % 0,57 Si, % 1,45 Mn, % 0,12 P, % 0,15 S ve % 76,63 Fe ölçülmü tür, ekil 5.28.



ekil 5.28: 213 numaralı deney ( $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $2$ ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizi

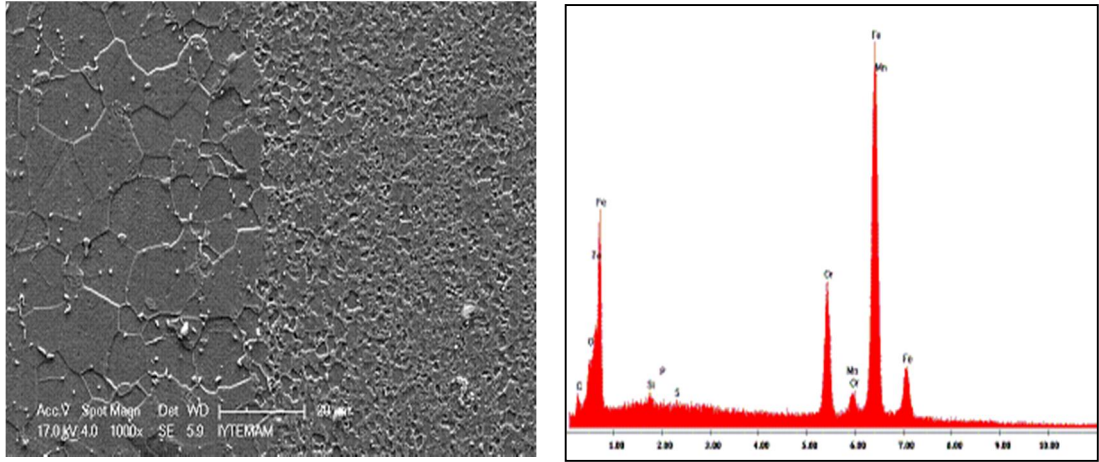


213 numaralı deney ( $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $2$ ) numunesine ait kaynak bölgesine ait EDX analizinden % 14,90 Cr, % 5,89 C, % 3,17 O, % 0,41 Si, % 0,65 Mn, % 0,18 P, % 0,18 S ve % 74,62 Fe ölçülmü tür, ekil 5.29.



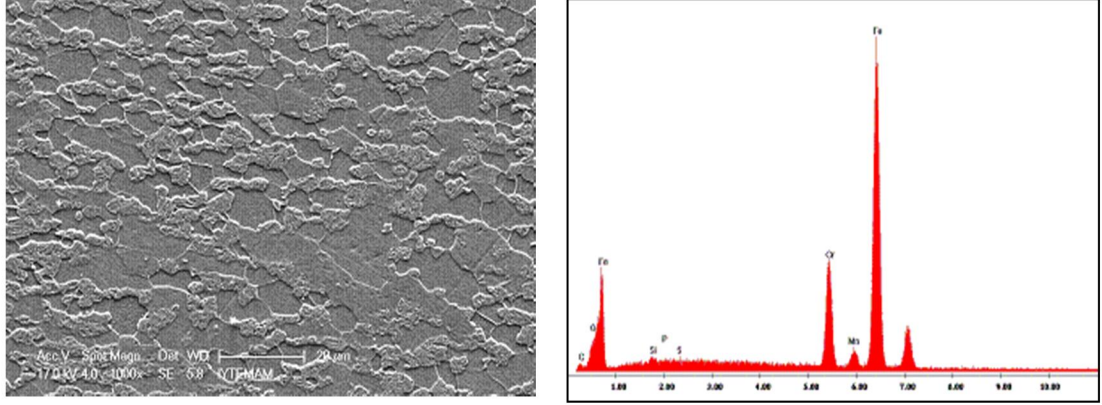
ekil 5.29: 213 numaralı deney ( $1120 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $2$ ) numunesine ait kaynak bölgesinin EDX analizi

306 numaralı deney ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0$ ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizinden % 15,27 Cr, % 2,77 C, % 2,22 O, % 0,51 Si, % 1,46 Mn, % 0,11 P, % 0,19 S ve % 77,46 Fe ölçülmü tür, ekil 5.30.



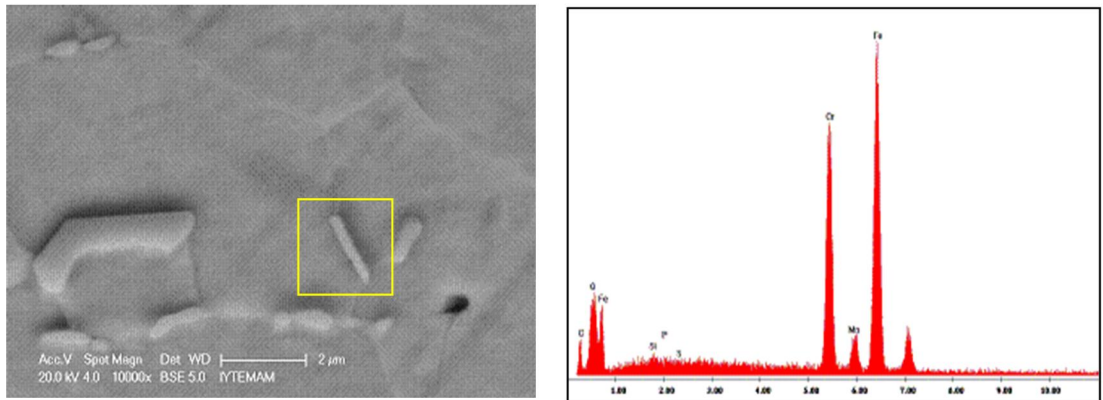
ekil 5.30: 306 numaralı deney ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0$ ) numunesine ait ITAB'nin EDX analizi

306 numaralı deney ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$ ) numunesine ait kaynak bölgesinin EDX analizinden % 15,13 Cr, % 3,04 C, % 2,94 O, % 0,52 Si, % 0,83 Mn, % 0,30 P, % 0,21 S ve % 77,04 Fe ölçülmüştür, Şekil 5.31.



Şekil 5.31: 306 numaralı deney ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$ ) numunesine ait kaynak bölgesinin EDX analizi

ITAB ve kaynak bölgelerine ilave olarak 306 numaralı deney numunesinin SEM analizinde tane sınırı üzerinde dikkat çeken yükselti ve tane yapısı üzerinde görülen matris yapının EDX analizleri de yapılmıştır. 306 numaralı deney ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$ ) numunesine ait tane sınırında görülen yükseltinin EDX analizinden % 27,84 Cr, % 8,37 C, % 4,57 O, % 0,59 Si, % 0,46 Mn, % 0,32 P, % 0,24 S ve % 57,61 Fe ölçülmüştür, Şekil 5.32.

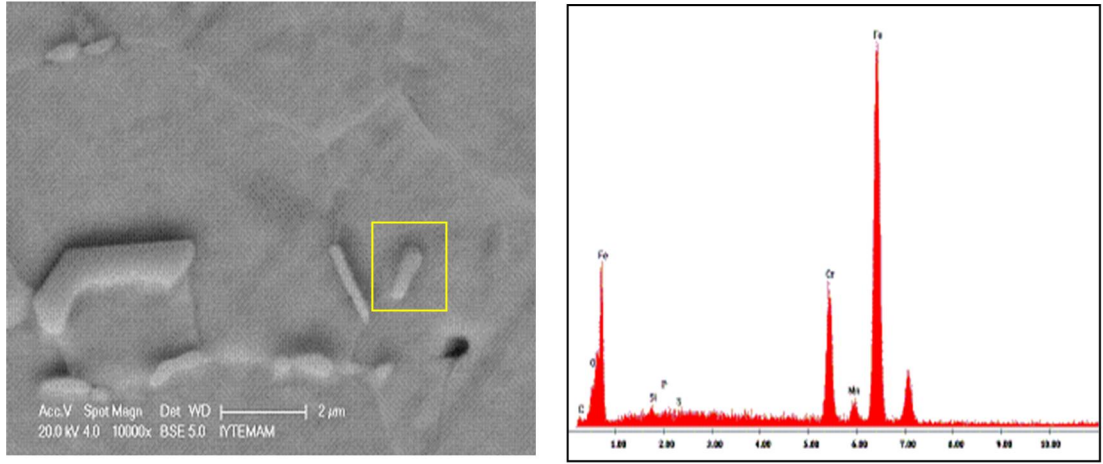


Şekil 5.32: 306 numaralı deney ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$ ) numunesine ait tane sınırında görülen yükseltinin EDX analizi

Tane sınırında görülen yükseltinin EDX analizinde elde edilen oranlara bakıldığında Cr ve C oranında ciddi artışlar olduğu görülmektedir. Burada muhtemel bir krom

karbür (CrC) çökmesi olabileceği değerlendirilmiştir. Ancak SEM analizi yapılan 105 ve 203 numaralı diğer numuneler ile 306 numaralı numunenin diğer tane sınırlarında bu durum görülmediği gibi şekilde görüldüğü gibi tane sınırının çok küçük bir bölümünde mevcuttur. Dolayısıyla ITAB bölgesinde tanelerarası korozyonu olumsuz derecede etkileyecek bir krom karbür çökmesinden bahsetmenin uygun olmayacağı değerlendirilmektedir.

306 numaralı deney ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$ ) numunesine ait tane yapısı üzerinde görülen matris yapının EDX analizinden % 15,46 Cr, % 2,58 C, % 2,40 O, % 0,69 Si, % 0,74 Mn, % 0,44 P, % 0,28 S ve % 77,44 Fe ölçülmüştür, Şekil 5.33.



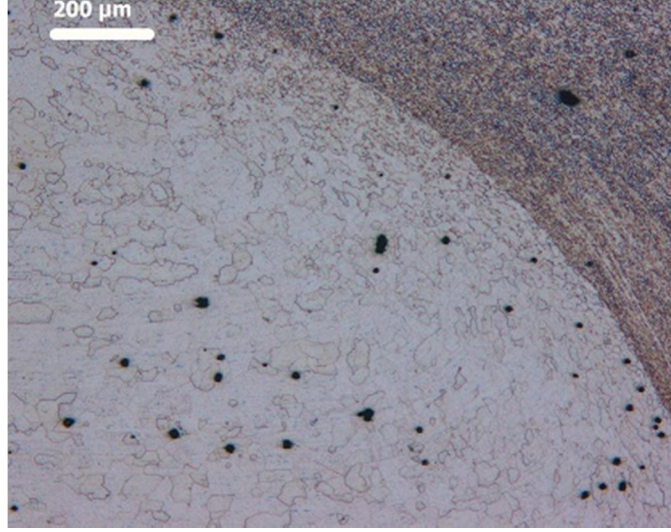
Şekil 5.33: 306 numaralı deney ( $1400 \text{ min}^{-1}$ ,  $125 \text{ mm/min}$ ,  $3,5 \text{ kN}$ ,  $0^\circ$ ) numunesine ait tane üzerinde görülen matris yapının EDX analizi

Tane üzerinde görülen matris yapının EDX analizi incelendiğinde esas malzeme, ITAB veya kaynak bölgesindeki oranlardan bir farkı olmadığı, değerlerinin normal olduğu görülmektedir.

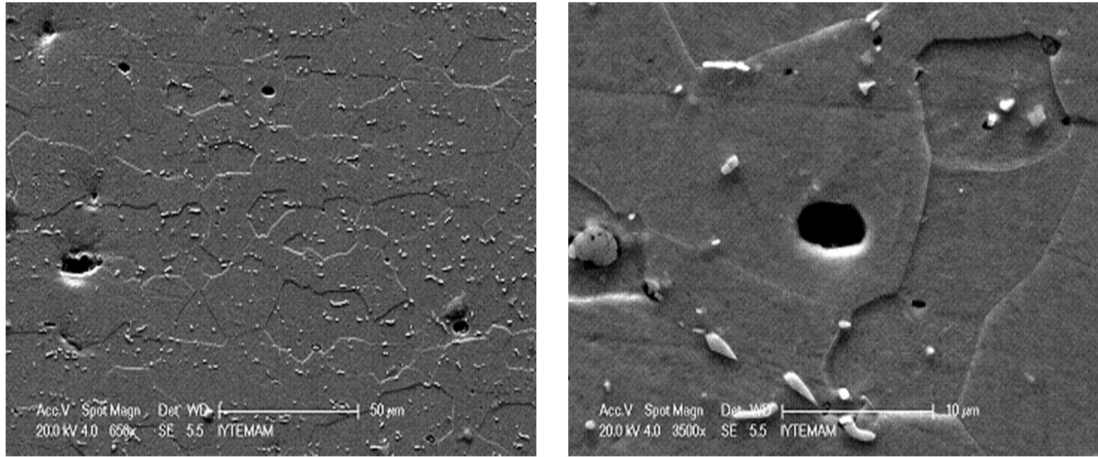
Her üç deney numunesinde de benzer EDX analizi sonuçlarına ulaşılmıştır. Genel olarak karıştırma sırasında malzemenin plastik akışı sonucu bazı alaşım elementlerinin bazı noktalarda yoğunlaşmasına bağlı olarak küçük oranlarda değişiklik gösterebilen veriler alındığı görülmektedir.

ITAB ve kaynak bölgelerinin EDX analizi yapılmasının maksadı faz ve çökelti oluşumu tespit edilmeye çalışılmasıdır. Ancak sonuç olarak yapılan incelemelerde faz veya çökelti oluşumuna işaret eden herhangi bir bulguya rastlanılmamıştır.

Mikroda lama sonrası çekilen foto raflarda mikroyapıda görülen siyah noktaların boşluk mu yoksa bileşik mi olduğunu konusunda tereddüt olmuştur, ekil 5.34. Kesin bir yargıya varmak için bu noktaların SEM ve EDX analizleri yapılmıştır, ekil 5.35.



ekil 5.34: Mikroyapıda görülen siyah noktalar

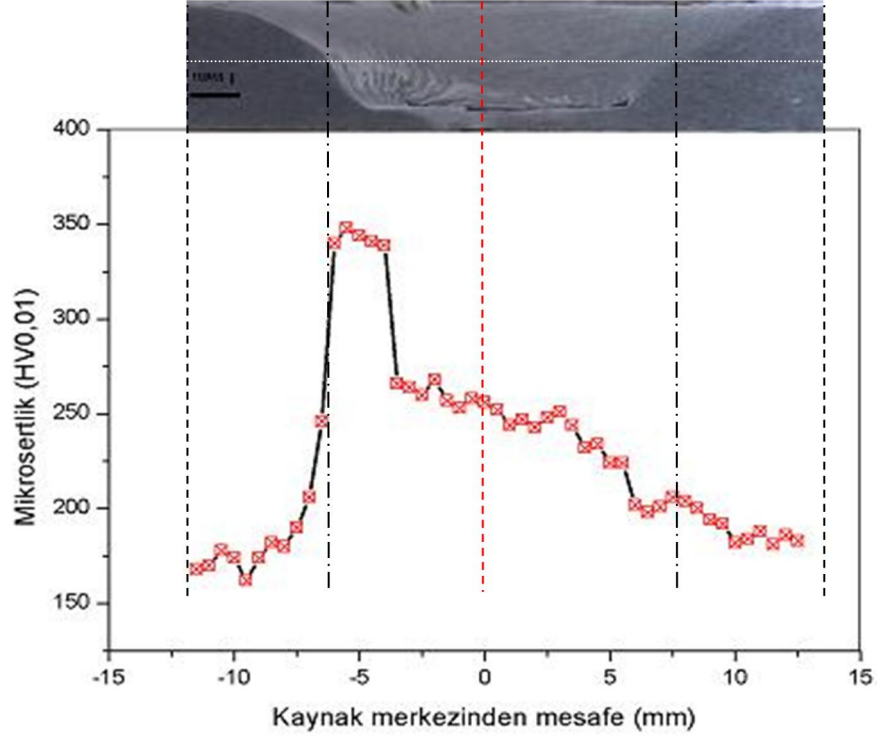


ekil 5.35: Mikroyapıda görülen siyah noktaların SEM görüntüleri

IYTE-MAM tarafından yapılan ara tırmalarda siyah noktalar üzerinde noktasal EDX yapılmaya çalışıldı. İnceleme sırasında sinyallerin sönükleme ve resimlerinden de anlaşılacağı üzere boşluk oldukları rapor edilmiştir. Ferritik paslanmaz çeliklerin ana matris yapısında karıştırılan bu boşlukların da yayıcıdan kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

## 5.5.2 Kaynaklı ba lantuların mikrosertlik incelemeleri

Yapılan incelemelerde mikrosertli in esas malzemede 160-180 HV0,01 oldu u, ITAB bölgesinde 180-220 HV0,01 ve kaynak bölgesinde ise 220-400 HV0,01 arasında de i ti i tespit edilmi tir. ekil 5.36’da bir numune için yapılan örnek bir mikrosertlik analizi görölmektedir.



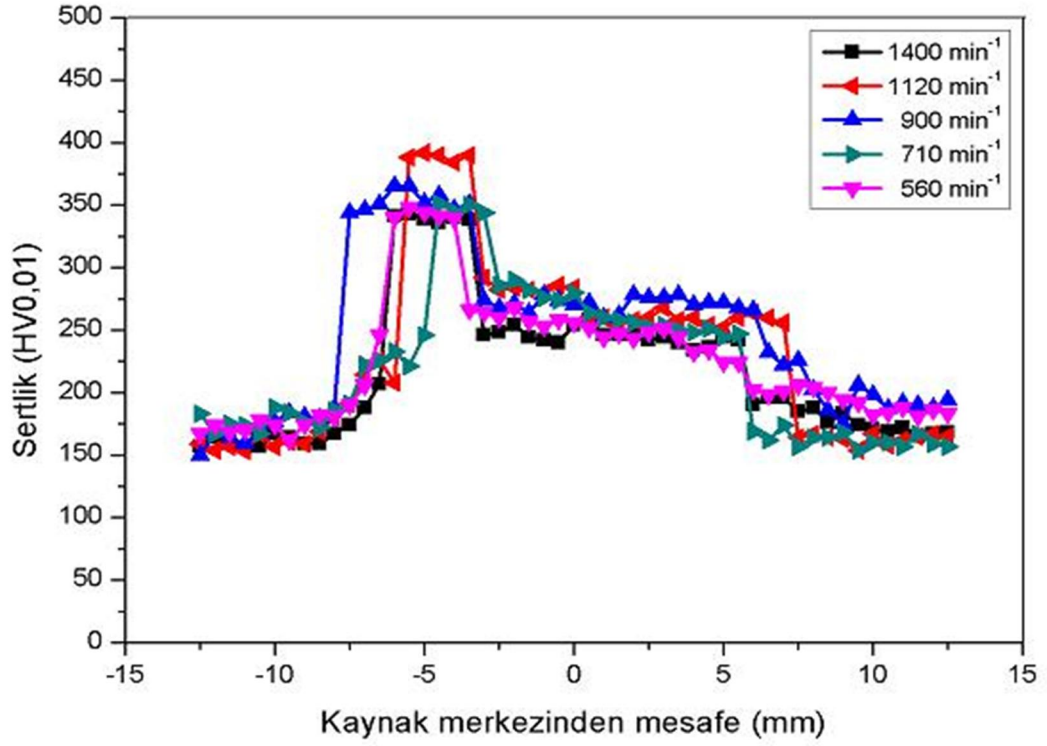
ekil 5.36: Bir numune için yapılan örnek mikrosertlik incelemesi

Burada “0” noktası kaynak merkezini, 0’dan her iki yöne uzakla malar ise karı tırıcı takım ve takım omuz bölgesini içermektedir.

Genel olarak incelendi inde kaynak bölgesinde ölçülen sertlik de erinin esas malzemeye nazaran oldukça arttı ı görölmektedir. Kaynak parametreleri olan takım devir sayısı, ilerleme hızı, takım baskı kuvveti ve takım açısının mikrosertli e etkisi a a ıda sıra ile incelenmi tir.

### 5.5.2.1 Takım devir sayısının mikrosertli e etkisi

Farklı takım devir sayılarının incelendi i be deneyin (560, 710, 900, 1120, 1400 min<sup>-1</sup>) mikrosertlikleri ölçülerek birbirleri ile ili kisi incelenmi tir, ekil 5.37.



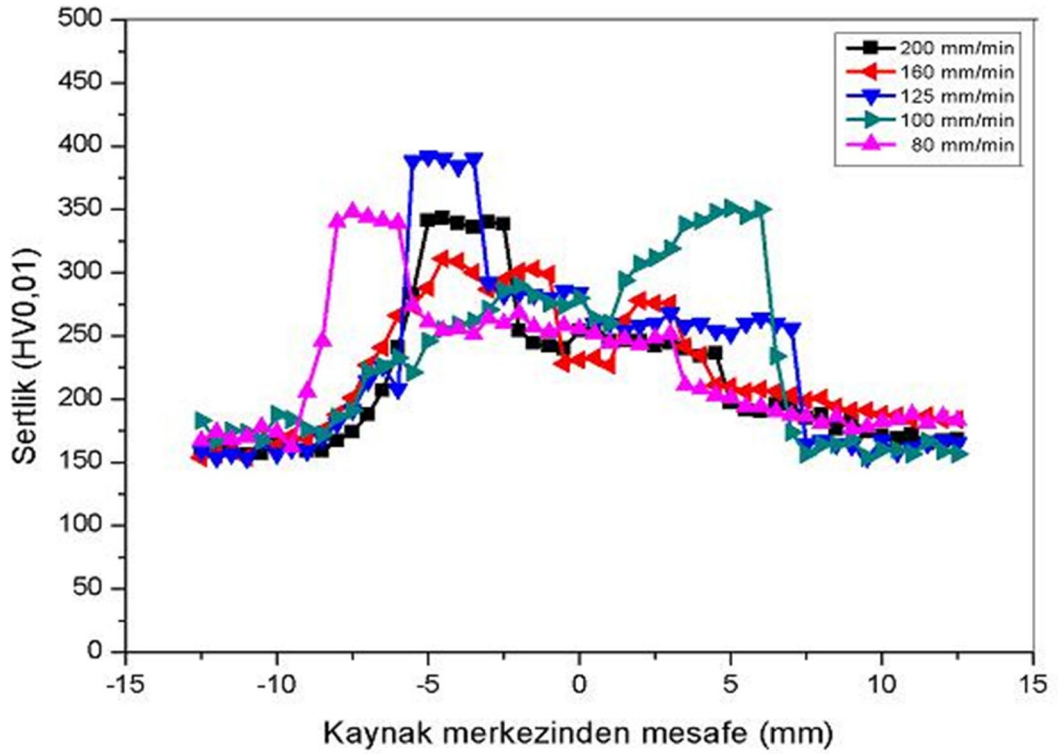
ekil 5.37: Farklı takım devir sayılarında mikrosertlik de erinin de i imi

ekil 5.37’de de görüldü ü üzere kaynak merkezinden yaklaşık - 5 mm uzaklıkta mikrosertlik de erleri maksimum de erleri göstermektedir. Burada 1120 min<sup>-1</sup> devir sayısı yaklaşık 400 HV sertlik de erini verirken kaynak karı m bölgesinde 270 HV sertlik de erlerine dü mektedir. Karı m bölgesinde sertlik dü me de erleri bütün devir sayıları için dü ü olarak ölçülmü tür. Bunun nedeni karı tırma sırasında karı tırıcı ucun ana metal yapısını bozdu u ve ilerlemeye ba lı olarak bozulan metalin karı ma yo unlu u ve ana metal yo unlu unda olmadı ndan karı ma bölgesi sertli inde ana metale ve ITAB’a göre bir dü ü görülmü ştür. Beklenen karı m bölgesi sertli inin ana metal sertli inden daha dü ük olmasıdır. Ancak takım baskı kuvvetleri karı m bölgesinde plastik deformasyona sebep oldu undan karı m bölgesi esas metalden daha yüksek sertlik de erleri vermi tir. Takım devir sayıları arttıkça mikrosertli in de attı ı ancak en yüksek mikrosertlik de erine ula tı ı 1120 min<sup>-1</sup> devir sayısından sonra 1400 min<sup>-1</sup> devir sayısında mikrosertli in azaldı ı görülmektedir. Kaynak bölgesine fazla ısı girdisinden dolayı tanelerin irile mesi dolayısıyla gevrekle mesi mikrosertlik de erinde azalmanın meydana gelmesine neden olmu tur.

### 5.5.2.2 İlerleme hızının mikrosertlik üzerine etkisi

Farklı ilerleme hızlarının incelendiği beş deneyin (80, 100, 125, 160, 200 mm/min) mikrosertlikleri ölçülerek birbirleriyle ilişkilisi incelenmiştir, ekil 5.38.

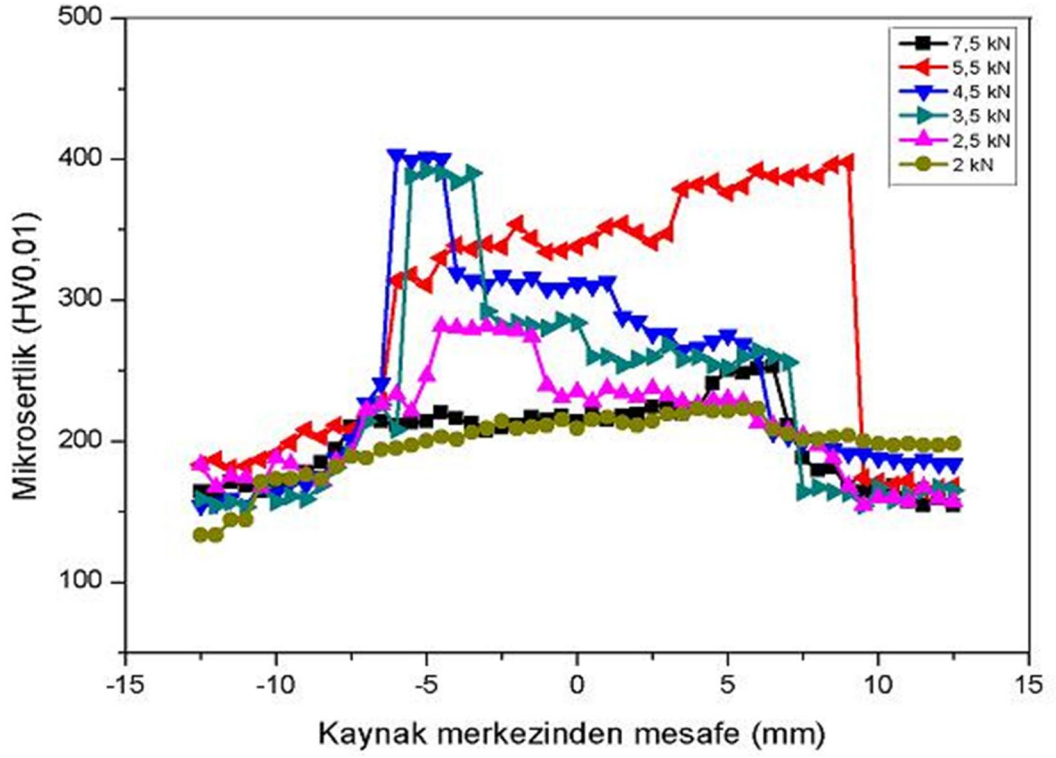
İlerleme hızı arttıkça mikrosertliğin de arttığı ancak en yüksek mikrosertlik değerine ulaştığı 125 mm/min ilerleme hızından sonra 160 ve 200 mm/min ilerleme hızlarında mikrosertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu değerlerden sonra mikrosertliğin azalmasının nedeni kaynak bölgesine aktarılan ısı girdisinin azalmasına paralel olarak malzemenin plastik akımının zorlanması ve böylece homojen bir kaynak bölgesi karışımını sağlamadığından mikrosertlik değerinin azalmasıdır.



ekil 5.38: Farklı ilerleme hızlarında mikrosertlik değerlerinin değişimi

### 5.5.2.3 Takım baskı kuvvetinin mikrosertlik üzerine etkisi

Farklı takım baskı kuvvetlerinin incelendiği altı deneyin (2;2,5;3,5;4,5;5,5;7,5 kN) mikrosertlikleri ölçülerek birbirleriyle ilişkilisi incelenmiştir, ekil 5.39.



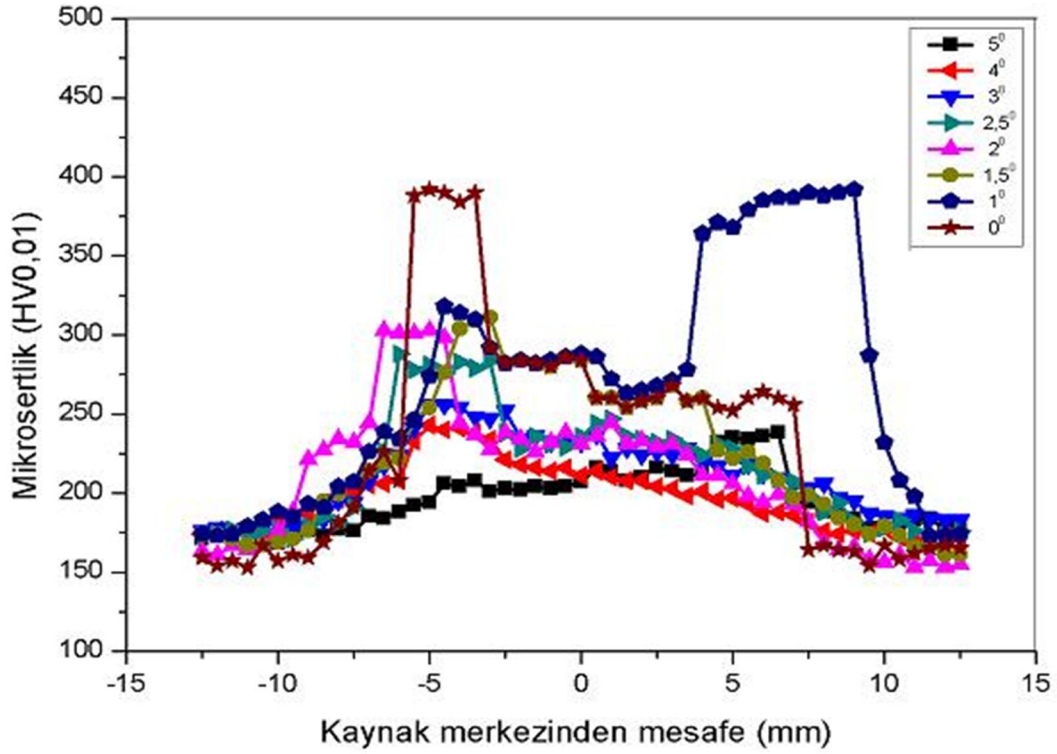
ekil 5.39: Farklı takım baskı kuvvetlerinde mikrosertlik de erinin de i imi

Takım baskı kuvveti arttıkça mikrosertli in de arttı 1, 4,5 kN baskı kuvvetinde en yüksek mikrosertlik de erine ula tı 1 ancak 3,5 ve 5,5 kN baskı kuvvetlerinde de benzer mikrosertlik de erlerine ula ıldı 1, 7,5 kN baskı kuvvetinde ise mikrosertli in dü tü ü görülmektedir. Artan takım baskı kuvveti esas metalde plastik deformasyon sertle mesine sebep oldu undan sertlik de erleri de artmı tır. Ancak 5,5 kN baskı kuvvetini a an takım baskı kuvvetlerinde artan sıcaklık tane irile mesine ve gevrekle meye neden oldu undan mikrosertlik de erinde azalma meydana gelmektedir.

#### 5.5.2.4 Takım açısının mikrosertli e etkisi

Farklı takım açılarının incelendi i sekiz deneyin (0;1;1,5;2;2,5;3;4;5 ) mikrosertlikleri ölçülerek birbirleri ile ili kisi incelenmi tir, ekil 5.40. Takım açısı arttıkça mikrosertli in azaldı 1, 0 ve 1 lik takım açılarında birbirine yakın yüksek mikrosertlik de erlerine ula ıldı 1 açılı arttıkça mikrosertli in dü tü ü görülmektedir.





ekil 5.40: Farklı takım açılarının mikrosertlik de erinin de i mi

Takım açısı arttıkça mikrosertlik de erinin dü mesinin nedeni artan takım açısı ile birlikte ısı girdisinin azalması ve karı tırıcı takım omzunun esas metalin karı ım bölgesinde çentik etkisi olu turucu bantla malara yol açması sonucunda mikrosertlik de erinin azalmasıdır.

## 5.6 SKK Yönteminin Klasik Ergitme Kaynak Yöntemleri olan WIG ve MIG Yöntemleri ile Kar ıla tırılması

Literatür ara tırmalarında belirtilen sürtünme karı tırma kayna ının di er ergitme kaynak yöntemlerine nazaran sa ladı ı genel avantajlara ilave olarak tez çalı ması kapsamında ferritik paslanmaz çeliklerin sürtünme karı tırma kaynak yöntemi ile kayna ının di er ergitme kaynak yöntemleri olan WIG ve MIG kaynak yöntemlerine göre bazı avantajları tespit edilmi tir. Literatür bilgilerine ilave olarak tez çalı malarındaki deneylerde kullanılan AISI430 ferritik paslanmaz çelik levhalar Ankara Ostim sanayi bölgesinde paslanmaz çelik kayna ında uzman olan Öz-san firmasında WIG kayna ı ile, Bayraktaro lu firmasında da MIG kayna ı ile birle tirilmi lerdir. A a ıda sırası ile bu kar ıla tırma ve avantajlar açıklanmı tir.

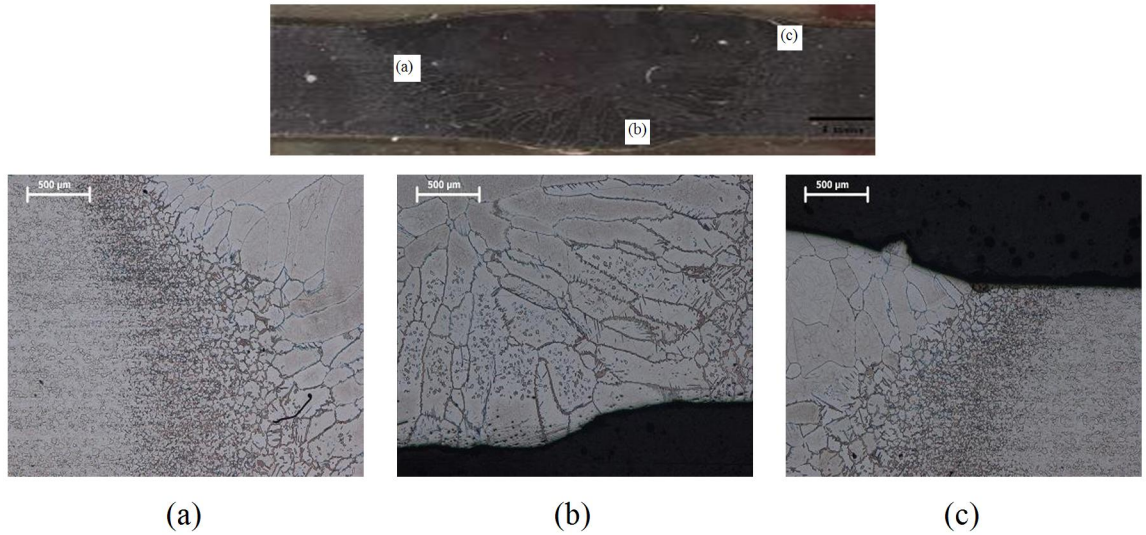
### 5.6.1 Tane boyutu konusunda SKK yönteminin WIG ve MIG kaynak yöntemleri ile karşılaştırılması

Bu çalışmada ergitmeli kaynak ile sürtünme karıştırma kaynağının farkını görebilmek amacıyla WIG ve MIG kaynağı ile kaynak yapılmış ve mikroyapıları incelenmiştir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin klasik ergitme kaynak yöntemleri olan WIG ve MIG kaynakları ile kaynağında kaynak bölgesinde aşırı tane büyümesi tehlikesi literatür çalışmalarında da sık olarak geçmektedir (Pickering, 1976).

Ergitmeli kaynaklarda ferritik paslanmaz çeliklerin düşük ısıl iletkenliği ve yüksek genleşme katsayısı sebebiyle çarpılma ve metalurjik çökelti meydana gelmektedir. Ayrıca kaynak bölgesi etrafında renk değişimli bölgeler oluşmaktadır.

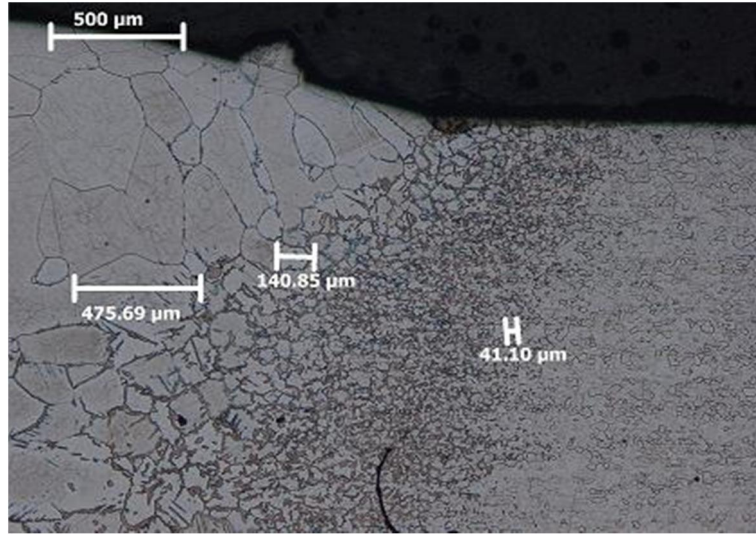
Ergitmeli kaynakların diğer bir problemi de esas metal ile kaynak metali olarak kullanılan dolgu metalinin uyumsuzluğudur. Her ikisinin de aynı kimyasal kompozisyonda olması istenir ancak pratikte bu pek mümkün olmamaktadır. Bunun sonucunda geçiş bölgesinden itibaren kaynak metalinde esas metal ile uyumsuzluklar ortaya çıkar. Bunlar tane yapısı farklılıkları, katılaşma sırasında soğuma hızına bağlı olarak dentritler arası mesafelerin farklılıkları gibi durumlardır.



Şekil 5.41: WIG kaynağı ile kaynak edilen deney numunesine ait esas malzeme (a), kaynak metali (b) ve ITAB (c) makro ve mikro içyapıları

ekil 5.41’de WIG kayna ı ile yapılan kayna ın mikroyapısı görülmektedir. Esas metalden kaynak metaline geçi te tane yapısının bozularak bir geçi bölgesi ve geçi bölgesindeki tanelerden kaynak metaline katıla maya ba ladı ı, katıla an tanelerin kaynak merkezine do ru yönlendi i görülmektedir, ekil 5.41a.

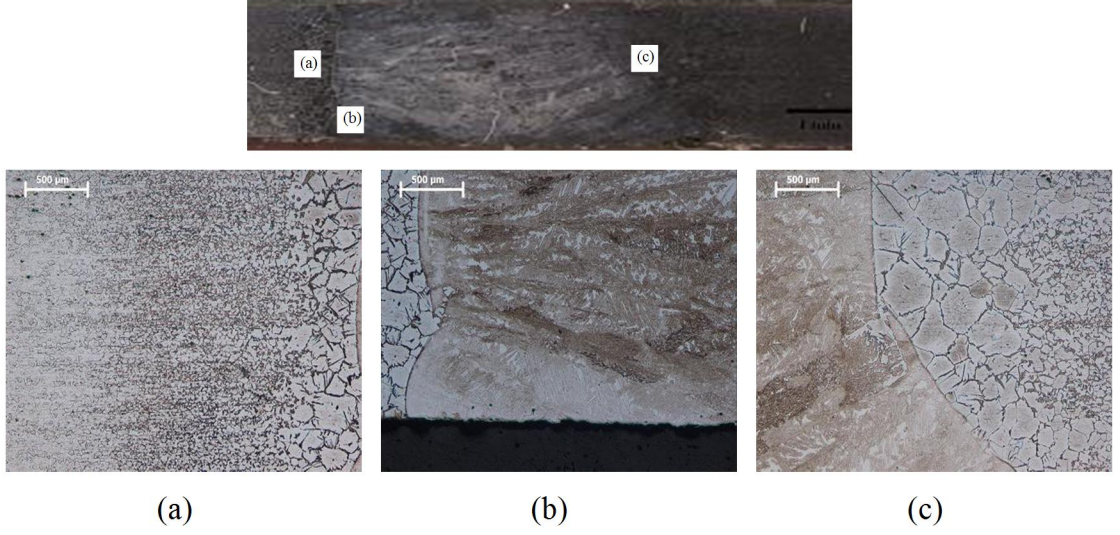
Resimlerden de açıkça görülece i üzere WIG kayna ında esas malzemeden ITAB ve kaynak bölgesine geçerken a ırı tane büyümesi meydana gelmi tir. Her üç bölgedeki tanelerin boyutları ekil 5.42’de görülmektedir.



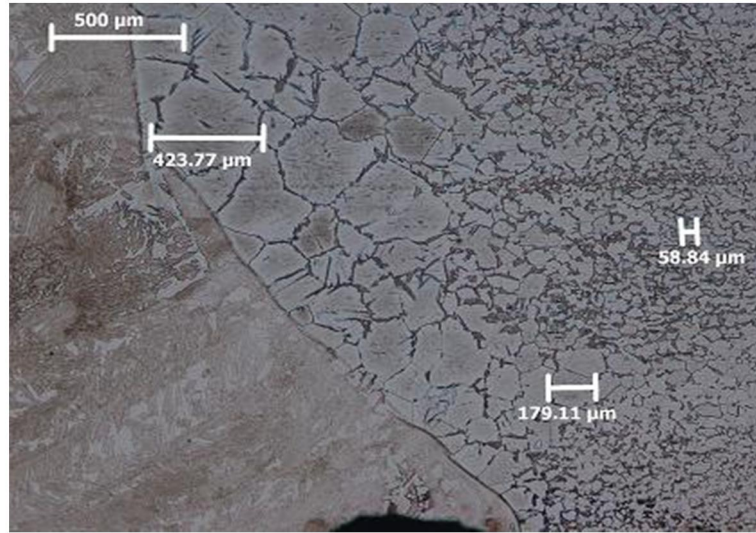
ekil 5.42: WIG kayna ı ile kaynak edilen deney numunesine ait esas malzeme, kaynak metal ve ITAB’daki tane boyutlarının görünümü

Yukarıda WIG kayna ında açıklanan durum benzer olarak MIG kayna ında da görülmektedir. Ancak MIG kayna ında esas metalin kaynak metaline geçi bölgesinde iri taneli bölgenin olu tu u ve ve katıla manın iri tanelerden ba layarak kaynak metaline do ru yönlendi i görülmektedir. Buradaki tane irile mesinin nedeni MIG kayna ındaki ısı girdisinin WIG kayna ına göre daha yüksek olmasıdır.

MIG kayna ı ile kaynak edilen parçanın makro ve mikroyapı foto rafları ekil 5.43’de gösterilmi tir.



Şekil 5.43: MIG kaynağı ile kaynak edilen deney numunesine ait esas malzeme (a), kaynak metali (b) ve ITAB (c) makro ve mikro içyapıları



Şekil 5.44: MIG kaynağı ile kaynak edilen deney numunesine ait esas malzeme, kaynak metali ve ITAB'daki tane boyutlarının görünümü

MIG kaynağına ait her üç bölgedeki tanelerin boyutları Şekil 5.44'de görülmektedir. WIG ve MIG kaynaklarına ait resimlerden de açıkça görüleceği üzere esas malzemeden ITAB ve kaynak metaline geçerken aşırı tane büyümesi meydana gelmiştir. WIG kaynağından farklı olarak MIG kaynağında kaynak bölgesinde dentritik bir yapının ortaya çıktığı görülmektedir.

### **5.6.2 Sigma fazı ( -fazı) olu umu konusunda SKK yönteminin WIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kar ıla tırılması**

Literatür incelemelerinde klasik ergitme yöntemleri ile ferritik paslanmaz çeliklerin kayna ında ortaya çıkan en önemli sorunlardan bir di erinin -fazı olu umu oldu u görülmektedir. WIG ve MIG kaynak yöntemlerinde -fazı olu umu ile kar ıla ma riski mevcut iken sürtünme karı tırma kaynak yönteminde -fazı ile kar ıla ılmamı tır. Bunun ba lıca nedeni olarak WIG ve MIG kaynaklarına nazaran sürtünme karı tırma kaynak yönteminde çok yüksek sıcaklıklara ula ılmasına gerek kalmadan kaynak yapılabilmesidir. Yapılan mikrosertlik incelemelerinde sürtünme karı tırma kaynaklı numunelerin hiçbirisinde 400 Vickers mikrosertlik de erinin üzerinde bir de ere ula ılmamı tır. -fazı için gerekli mikrosertli in 700-800 Vickers oldu u dü ünülürse sigma-fazı olu madı ı de erlendirilebilir. Yine tez çalı malarında mikro da lama için kullanılan Vilella da layıcısı metalurjik ara tırmalarda paslanmaz çeliklerin -fazı tespitinde kullanıldı ı için tercih edilmi tir. Yapılan mikroyapı incelemelerinde -faza rastlanılmamı tır.

### **5.6.3 Kaynak i lem süresi konusunda SKK yönteminin WIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kar ıla tırılması**

Sürtünme karı tırma kayna ı ile WIG ve MIG kaynaklarının fiili i lem süreleri zaman tutulmak suretiyle ölçülmü tür.

200 mm uzunlu undaki iki adet levhanın sürtünme karı tırma kayna ı ilerleme hızına ba lı olarak 60-150 sn arasında icra edilirken, aynı levhalar WIG kayna ı tek pasoda ortalama 80 sn iki pasoda 160 saniyede, MIG kayna ında ise ortalama 30 saniyede icra edilmi tir.

Kaynakların i lem süreleri önemli olmakla beraber, tek ölçüt olarak dü ünülmemelidir. Klasik ergitme kaynak yöntemlerinde kaynak edilecek parçaların ve i lemde kullanılan malzeme hazırlı ı ile sürtünme karı tırma kaynak yönteminin hazırlıkları da üzerinde durulması gereken hususlardandır. Klasik ergitme kaynak yöntemlerinde kaynak edilecek parçalara kaynak a zı açmak için ilave i lemler gerekirken sürtünme karı tırma kayna ında parçalar do rudan alın alına kaynak edilebilmektedir. Yine ilave kaynak teli ve koruyucu gaz üfleç vs hazırlıkları klasik

ergitme kaynak yöntemlerinde zaman alırken, sürtünme karı tırma kaynak i leminde bu tür zaman kayıpları olmamaktadır. Tüm kaynak i lemleri dü ünüldü ünde sürtünme karı tırma kaynak yönteminin birçok açıdan avantajlı oldu u görülmektedir.

#### **5.6.4 Maliyet konusunda SKK yönteminin WIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kar ıla tırılması**

Maliyet analizleri itibariyle ideal artlar altında bir kar ıla tırma yapıldı ında sürtünme karı tırma kaynak yöntemi nihai olarak avantajlı görünmektedir. Klasik ergitme kaynak yöntemlerinde hazırlık süresi dolayısıyla i çilik süresinin uzunlu u, ilave kaynak hazırlı ında kullanılan takımların masrafı ve a ınma maliyeti, ilave olarak kaynak teli, koruyucu gaz ve toz malzeme kullanımları gözönüne alındı ında sürtünme karı tırma kaynak yöntemine nazaran daha maliyetli oldukları görülmektedir. Sürtünme karı tırma kayna ında ise maliyetin en önemli kalemini karı tırıcı uç olu turmaktadır. Ferritik paslanmaz çelikler gibi sert sayılan bir metal için bile hurda freze çakıları kullanılarak ba arılı sonuçlar alındı ı dü ünüldü ünde daha yumu ak metaller için çok daha ucuza mal edilebilecek karı tırıcı uçlar ciddi bir avantaj sa layaca ı de erlendirilmektedir.

## 5. TARTI MA VE ÖNER LER

Literatür incelemesinde sıcaklı ın kaynak dik kesitinde ölçüldü ü görülmektedir. Ancak deneyler esnasında kaynak diki i boyunca sıcaklık ölçümü yapılarak ilerleme esnasında sıcaklı ın de i imi incelenmeye çalı ılmı tır. Müteakip çalı malarda kaynak iç yapı de i imini daha iyi inceleyebilmek maksadıyla kaynak diki i boyunca de il de kaynak dik kesitinde sıcaklık ölçümü yapmanın daha faydalı olaca ı de erlendirilmi tir.

Deneylerde takım omuz çapı 16 mm olarak kullanılmı tır. Müteakip çalı malarda takım omuz çapının de i tirilmesinin etkilerinin incelenmesinin faydalı olabilece i de erlendirilmi tir.

Kök nüfuziyetinin tam gerçekleşmesi ve kaynaklanan levhaların ana tablaya yapı malarını önlemek maksadıyla bundan sonra yapılacak çalı malarda ana tablanın kaynak istikameti boyunca ince bir kanal açılmasının uygun olaca ı, böylece karı tırıcı uç pin boyunu kısaltmaya gerek kalmayaca ı de erlendirilmi tir.

Müteakip çalı malarda hurda freze çakısı ile yapılacak sürekli bir sürtünme karı tırma kayna ı ile en fazla ne kadar uzunlukta bir levhanın kaynak edilebilece inin denenmesinin ve bunun PCBN uç ile kıyaslanarak fayda-zarar ili kisinin incelenmesinin yararlı olaca ı dü ünülmektedir.

Numuneleri ana tablaya sabitlemede kullanılan üst tablaların çok daha pratik bir eilde ve en az emek harcanarak sabitlenmesi yönünde birtakım geli tirmeler yapılmasının faydalı olaca ı dü ünülmektedir.

De i ik takım ucu profillerinin kullanılmasının çalı malara zenginlik kataca ı de erlendirilmi tir.

## KAYNAKLAR

- Alptekin, A.**, 2006. “Sürtünme Karı tırma Yönteminin AISI 304 Paslanmaz Çeli ine Uygulanabilirli inin Ara tırılması”. Pamukkale Üniversitesi FBE.
- ASM International Handbook Committee**, 1993. Sigma phase embrittlement. ASM Handbook- properties and selection irons steels and high performance alloy. Vol. 1, 1657.
- Azizieh, M., Kokabi, A.H., Abachi, P.**, 2010. Effect of rotational speed and probe profile on microstructure and hardness of AZ31/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites fabricated by friction stir processing, Materials and Design, (Accepted Manuscript).
- Boyce, D.E, Dawson, P.R., Sidle, B., Gnaüpel-Herold, T.**, 2006. A multiscale methodology for deformation modeling applied to friction stir welded steel, Computational Materials Science 38, 158–175.
- Boz, M., Kurt, A.**, 2004. The Influence of Stirrer Geometry on Bonding and Mechanical Properties in Friction Stir Welding Process, Institute of Science an d Technology, Materials and Design 25, 343-347.
- Cavalierea, P., Squillaceb, A., Panellaa, F.**, 2008. Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of AA6082 joints produced by friction stir welding. Journal of materials processing technology. 200, 364–372.
- Chao, X., Jahazi, M.**, 2009. Effect of welding speed on the quality of friction stir welded butt joints of a magnesium alloy. Materials and Design. 30, 2033–2042.
- Chao, X., Jahazi, M.**, 2011. Effect of tool rotational speed and probe length on lap joint quality of a friction stir welded magnesium alloy, Materials and Design 32, 1-11.
- Cho, J. H., Boyce, D. E. and Dawson, P. R.**, 2005. Modeling strain hardening and texture evolution in friction stir welding of stainless steel. Materials Science and Engineering A, 398, 146-163.
- Çam, G.**, 2003. Sürtünme Karı tırma Kayna ındaki Geli meler, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, Kocaeli.
- Elangovan, K., Balasubramanian, V.**, 2007. Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy. Materials Science and Engineering. A 459, 7–18.
- Elangovan, K. and Balasubramanian, V.**, 2008. Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy, journal of materials processing technology 200, 163-175.
- Ericsson, M. and Sandström, R.**, 2003. Influence of welding speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG, International Journal of Fatigue 25, 1379-1387.



- Feng, J.C., Liu, H.J., Fujii, H., Nogi, K.,** 2005a. Wear characteristics of a WC–Co tool in friction stir welding of AC4AC30 vol%SiCp composite, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45, 1635–1639.
- Feng, Z., Steel, R., Packer, S., and David, S.A.,** 2005b. Friction Stir Welding of API Grade X65 Steel Pipe. Annual AWS Conference, Dallas, American Welding Society.
- Feng, Z., Santella, M.L., David, S.A., Steel, R.J., Packer, S.M., Pan, T., Kuo, M. Bhatnagar, R.S.,** 2005c. Friction Stir Spot Welding of Advanced High-Strength Steels – A Feasibility Study, SAE Technical Paper No 2005-01-1248, Society of Automotive Engineers.
- Folkhard E.,** 1988. *Welding metallurgy of stainless steels*. New York: Springer-Verlag Wien.
- Fujii, H., Ueji, R., Cuib, L., Nishioka, A., Kunishige, K., Nogi, K.,** 2006a. Friction stir welding of ultrafine grained plain low-carbon steel formed by the martensite process, *Materials Science and Engineering A* 423, 324–330.
- Fujii, H., Cui, F., Tsujib, N., Nogia, K.,** 2006b. Friction stir welding of a high carbon steel, *Scripta Materialia* 56, 637–640.
- Fujii, H., Cui, L., Tsuji, N., Maeda, M., Nakata, K. and Nogi, K.,** 2006c. Friction stir welding of carbon steels, *Materials Science & Engineering A*, A429, 50-57.
- Gharacheh, M.Abbasi, Kokabi, A.H., Daneshi, G.H., Shalchi, B., Sarrafi, R.,** 2006. The influence of the ratio of “rotational speed/traverse speed” ( / ) on mechanical properties of AZ31 friction stir welds. *International Journal of Machine Tools&Manufacture*. 46, 1983-1987.
- Hovanski, Y., Santellab, M.L., Granta, G.J.,** 2007. Friction stir spot welding of hot-stamped boron steel. *Scripta Materialia* 57, 873–876.
- James, M.N., Hattingh, D.G., Bradley, G.R.,** 2003. Weld tool travel speed effects on fatigue life of friction stir welds in 5083 aluminium, *International Journal of Fatigue* 25, 1389–1398.
- Kim, Y.G., Fujii, H., Tsumura, T., Komazaki, T., Nakata, K.,** 2006. Effect of welding parameters on microstructure in the stir zone of FSW joints of aluminum die casting alloy, *Materials Letters* 60, 3830-3837.
- Kimapogon, K., Watanabe, T.,** 2004. Friction Stir Welding of Aluminum Alloy to Steel, *Welding Journal*, 277-282.
- Kou S.,** 1987. *Welding metallurgy*. Wiley. 383–6.
- Lakshminarayanan, A.K., Balasubramanian, V.,** 2010. An assessment of microstructure, hardness, tensile and impact strength of friction stir welded ferritic stainless steel joints, *Materials and Design* 31, 4592–4600.
- Lee, C.J., Huang, J.C., Hsieh, P.J.,** 2006. Mg based nano-composites fabricated by friction stir processing, *Scripta Materialia* 54, 1415–1420.
- Lienert, T. J., Stellwag, W.L., Grimmitt Jr., And Warke R.W.,** 2003. Friction Stir Welding Studies on Mild Steel, *Welding Journal*, 82 (1), 1-7.
- Liu, H.J., Zhang, H.J., Yu, L.,** 2011. Effect of welding speed on microstructures and mechanical properties of underwater friction stir welded 2219 aluminum alloy. *Materials and Design*. 32, 1548–1553.

- Mandal, S., Williamson, K.,** 2005. A thermomechanical hot channel approach for friction stir welding *Journal of Materials Processing Technology* 174, 190–194.
- Meran, C., Canyurt, O.E.,** 2008. The effect of tool rotational speed and traverse speed on welding of AISI 304 austenitic stainless steels by friction stir welding method. VII'nci Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi. 157-170.
- Meran, C., Kovan, V., Alptekin, A.,** 2007. Friction stir welding of AISI 304 austenitic stainless steel *Material- wissencchaft und Werkstofftechnik*. 38 (10), 829-835.
- Mishra, R.S., and Ma, Z.Y.,** 2005. *Materials Science Engineering R*, 50 (1-2), 1-78.
- Nandan, R., DebRoy, T., Bhadeshia, H.K.D.H.,** 2008. Recent advances in friction stir welding- Process, weldment structure and properties, *Progress in Materials Science*, Volume 53, Issue 6, 980-1023.
- Nandan, R., Roy, G.G., Lienert, T. J. and DebRoy, T.,** 2006. Numerical modelling of 3d plastic flow and heat transfer during friction stir welding of stainless steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, 11, 526–537.
- Odaba , C.,** 2004. Paslanmaz Çelikler: Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, *Kaynak Tekni i San. ve Tic. A. ., stanbul*, 76.
- Orhan, N., Kurt, B., Ertu rul,E.,** 2006. AISI 430 Ferritic paslanmaz çeli in sürtünme karı tırma kayna ina devir sayısının etkisi, 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu. 12-15.
- Ozekcin, A., Jin, H., Koo, J.Y., Banguru, N.V., Ayer, R., Packer, S.,** 2004. “A microstructural study on friction stir welded joints of carbon steels” ISOPE 2004, Toulon, France, International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Park, S.H.C., Kumagai, T., Sato, Y.S., Kokawa, H., Okamoto, K., Hirano, S., Inagaki, M.,** 2005. Proceedings of the fifteenth (2005) International Offshore and Polar Engineering Conference, Seoul, Korea, 6-7.
- Park, S.H.C., Sato, Y.S., Kokowa, H., Okamoto, K., Hirano, S., and Inagaki, M.,** 2004. International Institute of Welding Pre-Assembly Meeting on Friction Stir Welding, Nagoya University, Nagoya, Japan.
- Park, S.H.C., Yutaka, S., Kokowa, H., Okamoto, K., Hirano, S., and Inagaki, M.,** 2003. Rapid Formation of the Sigma Phase in 304 Stainless Steel During Friction Stir Welding, *Scripta Materialia* 49, 1175-1180.
- Peel, M., Steuwer, A., Preuss, M., Withers, P.J.,** 2003. Microstructure, mechanical properties and residual stresses as a function of welding speed in aluminium AA5083 friction stir welds, *Acta Materialia* 51, 4791-4801.
- Pickering FB.,** 1976. Physical metallurgy of stainless steel developments. *International Metals Reviews*. 21, 227–68.
- Rajakumar, S., Muralidharan, C., Balasubramanian, V.,** 2011. Influence of friction stir welding process and tool parameters on strength properties of AA7075-T6 aluminium alloy joints. *Materials and Design*. 32, 535–549.
- Reynolds, A.P., Tang, W., Posada, M., Deloach, J.,** 2003. *Sci. Tech. Weld. Joining* 8, 455.

- Saeida, T., Abdollah-zadeh, A., Assadia, H., Malek Ghainia, F.,** 2008. Effect of friction stir welding speed on the microstructure and mechanical properties of a duplex stainless steel, *Materials Science and Engineering: A*. Volume 496, Issues 1-2, Pages 262-268.
- Sathiya, P., Aravindan, S., Noorul Haq, A.,** 2008. Some experimental investigations on friction welded stainless steel joints. *Materials and Design*. 29, 1099–1109.
- Sato, Y.S., Nelson, T.W., Sterling, C.J., Steel, R.J., Pettersson, C.O.,** 2005. Microstructure and mechanical properties of friction stir welded SAF 2507 super duplex stainless steel, *Materials Science and Engineering A*, Volume 397, 376-384.
- Shen, J.J., Liu, H.J., Cui, F.,** 2010. Effect of welding speed on microstructure and mechanical properties of friction stir welded copper. *Materials and Design*. 31, 3937–3942.
- Smith G.V.,** 1950. Sigma Phase in Stainless – Iron Age. 63–68.
- Song, K.H., Fujii, H., Nakata, K.,** (2009). Effect of welding speed on microstructural and mechanical properties of friction stir welded Inconel 600. *Materials and Design*. 30, 3972–3978.
- Song, M., and Kovacevic, R.,** 2004. Heat transfer modelling for both workpiece and tool in the friction stir welding process: A coupled model. *Journal of Engineering Manufacture*, 218, 17-33.
- Sorensen, C.D.,** 2004. Progress in friction stir welding high temperature materials, Brigham Young University.
- Sorensen, C. D., Stahl, A. L.,** 2007. “Experimental Measurements of Load Distributions in Friction Stir Weld Pin Tools”, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 38:3, 451-459.
- Sterling, C.J., Nelson, T.W., Sorensen, C.D., and Posada, M.,** 2004. Effects of Friction Stir Processing on the Microstructure and Mechanical Properties of Fusion Welded 304L Stainless Steel, Brigham Young University.
- Thomas, W.M., Threadgill, P.L., Nicholas, E.D.,** 1999. *Sci. Tech. Weld. Joining* 4, 365.
- Uzun, H.,** 2004. Friction Stir Welding of Dissimilar Al 6013-T4 to X5CrNi18-10 Stainless Steel, *Materials and Design* 26, 41–46.
- Watanabe, T., Takayama, H., Yanagisawa, A.,** 2006. Joining of aluminum alloy to steel by friction stir welding. *Journal of Materials Processing Technology* 178, 342-349.
- Zhou, L., Liu, H.J., Liu, Q.W.,** 2010. Effect of rotation speed on microstructure and mechanical properties of Ti–6Al–4V friction stir welded joints. *Materials and Design*. 31, 2631–2636.
- Zhu, X.K., Chao, Y.J.,** 2004. Numerical simulation of transient temperature and residual stresses in friction stir welding of 304L stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology* 146, 263–272.

## ÖZGEÇM



**Ad Soyad:** Mehmet Burak B LG N

**Do um Yeri ve Tarihi:** Bartın, 1973

**Adres:** Kara Harp Okulu Dekanlık Teknik Bilimler Bölüm Ba kanlı 1

**Lisans Üniversite:** Kara Harp Okulu

### **Yayın Listesi:**

Ş Bilgin, M.B., Meran, C., 2011. The effect of tool rotational and traverse speed on friction stir weldability of AISI 430 ferritic stainless steels. Materials and Design, Accepted Manuscript.