

**AISI 304L OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN SÜRTÜNME
KARIŞTIRMA KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNE ETKİ EDEN
FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Asil Gürcan ATİK

Danışman: Doç. Dr. Cemal MERAN

Ağustos, 2009

DENİZLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Asil Gürcan ATİK tarafından Doç. Dr. Cemal MERAN yönetiminde hazırlanan **“AISI 304L Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Sürtünme Karıştırma Kaynak Edilebilirliğine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ
Jüri Başkanı

Doç. Dr. Cemal MERAN
Jüri Üyesi (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU
Jüri Üyesi

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

Prof. Dr. Halil KARAHAN
Müdür

TEŞEKKÜR

İlk olarak yüksek lisans derslerinde ve bu çalışmanın başından sonuna kadar, hiçbir desteğini esirgemeyen, sabırla, özenle ve güler yüzle bana zaman ayıran ve yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Cemal MERAN'a teşekkür ederim.

Bu alışma, Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2008MHF006 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca bu çalışmada TÜBİTAK tarafından 106M504 nolu proje kapsamında kurulan Pamukkale Üniversitesi Sürtünme Karıştırma Kaynak Laboratuvarı altyapı imkânlarından yararlanılmıştır. Bu sebeple katkılarından dolayı Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi olarak sürekli destek ve moral veren, her zaman yanımda olan eşim ve aileme minnetlerimi sunarım.

Asil Gürcan ATİK

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırılmalarının 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 atfedildiğini beyan ederim.

İmza :
Öğrenci Adı Soyadı : Asil Gürcan ATİK

ÖZET

AISI 304L OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

Atik, Asil Gürcan

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Cemal MERAN

Ağustos 2009, 111 Sayfa

Bu çalışmada, piyasada birçok alanda kullanılan AISI 304L paslanmaz çeliğin sürtünme karıştırma kaynak edilebilirliği ve bu esnada kaynağa etki eden parametrelerin (takım devir hızı, ilerleme hızı, baskı kuvveti ve takım açısı) karşılaştırmalı deneyler sayesinde etkileri araştırılmıştır. Deneylerde, sürtünme karıştırma kaynağı, universal freze tezgâhı tablası üzerine bağlanan cıvatalı diğer bir tabla düzeneği ile yapılmıştır. Takım olarak WC-Co (parmak freze çakısı) malzemesinden yapılmış 16mm omuz çapında uçlar kullanılmıştır. Deneyler sırasında tablaya bağlanan termo-elemanlar sayesinde, sıcaklık değişimleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Üzerinde çalışılan parametreler, takım devir sayısı olarak 600, 750, 950, 1180 ve 1500 min^{-1} , ilerleme hızı olarak 37.5, 47.5, ve 60 mm/min, takım baskı kuvveti olarak 5, 7 ve 9 kN değerleri ile takım açısı olarak 0°, 1°, 1.5° ve 2° değerleri seçilmiştir. Karşılaştırması yapılacak olan parametrenin değiştirilerek diğer parametrelerin sabit tutulması yöntemiyle çok sayıda deneyler yapılmış en uygun parametreler belirlenmiştir. Bunlar 1180 min^{-1} , 47.5 mm/min, 7 kN ve 2° parametreleri olmuştur.

Kaynağı yapılan paslanmaz çelik levhalar, tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri ile incelenerek, kaynak parametreleri ve kaynak edilebilirlik hakkında daha belirleyici sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Yapılan deneyler ve sonuçları doğrultusunda anlaşılmıştır ki, günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan bir kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, uygun ortam ve şartlar içerisinde, doğru parametreler seçilerek, paslanmaz çelikler üzerinde de alternatif birleştirme yöntemi olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme Karıştırma Kaynağı, AISI 304, Paslanmaz Çelik

Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ

Doç. Dr. Cemal MERAN

Yrd. Doç. Dr. Özcan MUTLU

ABSTRACT**THE INVESTIGATION OF THE AFFECTED FACTORS ON FRICTION STIR
WELDABILITY OF AISI 304L AUSTENITIC STAINLESS STEEL**

Atik, Asil Gürcan

M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cemal MERAN

August 2009, 111 Pages

In this study, weldability of AISI 304L austenitic stainless steel that used in many areas and parameters (tool rotating rate, tool traverse speed, contact force of shoulder and tool angle) affecting on welding were investigated by comparative experiments. Friction stir welding experiments are done with a bolt fixed table placed on a universal milling machine. From WC-Co material tools which has 16mm shoulder diameter, were used. Temperature changes were measured by thermocouples fixed on table.

Worked on parameters with 600, 750, 950, 1180 and 1500 min^{-1} as tool rotating rate, 37.5, 47.5, ve 60 mm/min as tool traverse speed, 5, 7 ve 9 kN as contact force and 0° , 1° , 1.5° ve 2° as tool angle. In experiments parameters haven't been changed without parameters that will be compared and best conditions determined. These parameters 1180 min^{-1} , 47.5 mm/min, 7 kN and 2° .

Determining results about weldability and welding parameters were obtained by investigations of welded stainless steel plate sample by destructive and non-destructive testings.

It is understood that, friction stir welding that's using is becoming prevalent, can be used for stainless steels welding by correct parameters and on fair terms.

Keywords: Friction Stir Welding, AISI 304L, Stainless Steel

Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ

Assoc. Prof. Dr. Cemal MERAN

Asst. Prof. Dr. Özcan MUTLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU	i
TEŞEKKÜR.....	ii
BİLİMSEL ETİK SAYFASI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
1.1 Literatür Bilgisi	2
1.2 Çalışmanın Amacı	9
2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI HAKKINDA GENEL BİLGİLER	10
3.GEREÇ VE YÖNTEM	13
3.1 Deney Malzemesi ve Boyutları	13
3.2 Deney Düzeneginin Kurulması	14
3.3 Deneysel Çalışmalar	17
3.4 Tahribatlı – Tahribatsız Deney Numuneleri ve Boyutları	17
3.5 Deney Parametreleri	19
3.6 Deney Düzenegi İle İlgili Karşılaşılan Sorunlar ve Yaşanan Gelişmeler..	19
4.BULGULAR	22
4.1 Birinci Aşama Ön Deneyler	22
4.2 İkinci Aşama Ön Deneyler	26
4.3 Üçüncü Aşama Ön Deneyler	37
4.4 Asıl Deneyler.....	45
5. DENEY SONUÇLARI.....	76
5.1 Zamana Bağlı Olarak Yük ve Sıcaklık Değişimleri.....	77
5.1.1 Takım Devri Değişimi Esnasında Yük ve Sıcaklık Değişimleri....	77
5.1.2 İlerleme Hızı Değişimi Esnasında Yük ve Sıcaklık Değişimleri...	78
5.1.3 Baskı Kuvveti Değişimi Esnasında Yük ve Sıcaklık Değişimleri..	79
5.1.4 Takım Açısı Değişimi Esnasında Yük ve Sıcaklık Değişimleri....	80
5.2 Kaynaklı Bağlantılara Yapılan Tahribatlı ve Tahribatsız Malzeme Muayeneleri.....	81
5.2.1 Kaynaklı Bağlantıların İçyapı ve Mikrosertlik İncelemeleri.....	82
5.2.2 Kaynaklı Bağlantıların Darbe ve Çekme Deneyi İncelemeleri.....	101
5.2.2.1 Devir Sayısının Çentik Darbe İşi ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi.....	102
5.2.2.2 İlerleme Hızının Çentik Darbe İşi ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi.....	103
5.2.2.3 Baskı Kuvvetinin Çentik Darbe İşi ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi.....	104

	Sayfa
5.2.2.4 Takım Açısının Çentik Darbe İşi ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi.....	105
6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	107
KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Sürtünme karıştırma kaynağı aşamalarının şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.2 Farklı takım pimi geometrileri	11
Şekil 2.3 Farklı omuz geometrileri dizaynları	11
Şekil 2.4 SKK ile çeşitli birleştirme şekilleri	12
Şekil 2.5 SKK ve ark kaynak yöntemi ile kaynatılmış bakır plaka numunelerinin çarpılmalarının karşılaştırılması	12
Şekil 3.1 Deney numunesi boyutları	14
Şekil 3.2 Deney düzeneği.....	15
Şekil 3.3 Deney öncesi deney numunesi üzerinden zımpara ile oksit tabakasının kaldırılması.....	16
Şekil 3.4 Kaynaklı bağlantıdan deney numunelerinin çıkarılması	18
Şekil 3.5 Çekme deneyi numunesi ve boyutları	18
Şekil 3.6 Çentik darbe deneyi numunesi ve boyutları	18
Şekil 3.7 Deneylerde kullanılan soğutma sistemi.....	20
Şekil 3.8 Deforme olan sac levhanın görüntüsü	21
Şekil 3.9 Değiştirilen sac levhanın görüntüsü	21
Şekil 4.1 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 5,75 kN, 1,5° ve 0,45 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst görünümü.....	23
Şekil 4.2 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 6 kN, 1,5° ve 2 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst görünümü.....	24
Şekil 4.3 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 8 kN, 1,5° ve 0,6 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst görünümü.....	26
Şekil 4.4 600 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 5kN, 0° ve 0,6 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	27
Şekil 4.5 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,25 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	29
Şekil 4.6 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	30
Şekil 4.7 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 0,5 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	31
Şekil 4.8 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7 kN, 1,5° ve 0,85 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	33

	Sayfa
Şekil 4.9 950 min ⁻¹ , 60 mm/min, 6,5 kN, 0,5° ve 0,1 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	34
Şekil 4.10 1500 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 5 kN, 0° ve 0,765 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	36
Şekil 4.11 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 0,655 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	38
Şekil 4.12 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7,8 kN, 1,5° ve 0,6 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	39
Şekil 4.13 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 6,55 kN, 0° ve 0,35 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	40
Şekil 4.14 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7,8 kN, 1° ve 0,465 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	41
Şekil 4.15 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7 kN, 1° ve 0,72 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	43
Şekil 4.16 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7,4 kN, 0° ve 1,45 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	44
Şekil 4.17 600 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 7 kN, 0° ve 0,955 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	47
Şekil 4.18 600 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 1mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	48
Şekil 4.19 600 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,2mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	49
Şekil 4.20 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 5 kN, 0° ve 0,555 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	50
Şekil 4.21 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7 kN, 2° ve 1mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	51
Şekil 4.22 750 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 1,255mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	52

Sayfa

Şekil 4.23 750 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,25 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	53
Şekil 4.24 750 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,78 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	54
Şekil 4.25 950 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 5 kN, 0° ve 0,625 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	55
Şekil 4.26 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7 kN, 1° ve 0,78 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	56
Şekil 4.27 1180 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 5 kN, 2° ve 1,05 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	57
Şekil 4.28 1180 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 9 kN, 0° ve 0,96 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	58
Şekil 4.29 1180 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 7 kN, 2° ve 0,8 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	59
Şekil 4.30 1500 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 7 kN, 1° ve 0,86 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	60
Şekil 4.31 1500 min ⁻¹ , 60 mm/min, 5 kN, 1° ve 1,25 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	61
Şekil 4.32 1500 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7 kN, 0° ve 1,06 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	62
Şekil 4.33 1500 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 2° ve 0,835 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst, kök kısmı ve parlatılmış üst görünümü.....	63
Şekil 4.34 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,985 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	64
Şekil 4.35 750 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,915 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	65
Şekil 4.36 950 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,255 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	66

	Sayfa
Şekil 4.37 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,45 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	67
Şekil 4.38 1500 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	68
Şekil 4.39 1180 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,05 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	69
Şekil 4.40 1180 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,955 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	70
Şekil 4.41 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 1,12 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	71
Şekil 4.42 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7 kN, 1,5° ve 1,215 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	72
Şekil 4.43 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 0° ve 0,985 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	73
Şekil 4.44 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1° ve 1,323 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	74
Şekil 4.45 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 2° ve 0,93 mm takım daldırma için zamana bağlı yük ve sıcaklık değişimi ile kaynak dikişinin üst ve kök kısmı görünümü.....	75
Şekil 5.1 Takım devri değişimine bağlı yük değişimi	77
Şekil 5.2 Takım devri değişimine bağlı sıcaklık değişimi	77
Şekil 5.3 İlerleme hızı değişimine bağlı yük değişimi	78
Şekil 5.4 İlerleme hızı değişimine bağlı sıcaklık değişimi	78
Şekil 5.5 Baskı kuvveti değişimine bağlı yük değişimi.....	79
Şekil 5.6 Baskı kuvveti değişimine bağlı sıcaklık değişimi.....	79
Şekil 5.7 Takım açısı değişimine bağlı yük değişimi	80
Şekil 5.8 Takım açısı değişimine bağlı sıcaklık değişimi	80
Şekil 5.9 Bakalite alınmış kaynaklı bağlantı bölgesi.....	82
Şekil 5.10 Örnek numunenin mikroskop görüntüsü ve kaynak bölgelerinin gösterilmesi.....	82
Şekil 5.11 600 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 5 kN, 0° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	83

Sayfa

Şekil 5.12 600 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 9 kN, 1° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	84
Şekil 5.13 600 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7 kN, 2° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	85
Şekil 5.14 750 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 5 kN, 1,5° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	86
Şekil 5.15 750 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 9 kN, 1,5° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	87
Şekil 5.16 750 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 9 kN, 1,5° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	88
Şekil 5.17 950 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 5 kN, 0° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	89
Şekil 5.18 1180 min ⁻¹ , 37,5 mm/min, 5 kN, 2° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	90
Şekil 5.19 1180 min ⁻¹ , 47,5 mm/min, 7 kN, 2° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	91
Şekil 5.20 1500 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 2° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	92
Şekil 5.21 750 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	93
Şekil 5.22 950 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	94
Şekil 5.23 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1,5° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	95
Şekil 5.24 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 7 kN, 1,5° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	96
Şekil 5.25 1180 min ⁻¹ , 60 mm/min, 9 kN, 1° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	97

	Sayfa
Şekil 5.26 1180 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , 2° parametreleri için esas metal, ITAB, kaynak bölgesi ve kaynaktan esasa metale geçiş bölgesinin makro ve mikro içyapıları.....	98
Şekil 5.27 Esas malzemenin (EM) içyapısının metal mikroskobunda görünümü.	99
Şekil 5.28 Isıdan etkilenen bölgenin (ITAB) içyapısının metal mikroskobunda görünümü.	99
Şekil 5.29 Kaynak bölgesinin (KB) içyapısının metal mikroskobunda görünümü.	99
Şekil 5.30 Mikrosertlik deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	100
Şekil 5.31 Devir sayısının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi	102
Şekil 5.32 İlerleme hızının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi	103
Şekil 5.33 Baskı kuvvetinin çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi	104
Şekil 5.34 Takım açısının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi	105

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Deney numuneleri kimyasal özellikleri (%).....	14
Tablo 4.1 Deneylerde çalışılan parametreler.....	45
Tablo 4.2 Deneylere ait numaralar ve parametreler.....	46
Tablo 5.1 Deney parametreleri ve verilen değerlendirme notları.....	76
Tablo 5.2 Deney parametreleri ve muayeneler için seçilen numune numaraları	82
Tablo 5.3 Çekme ve darbe deneyleri sonuçlarının karşılaştırılması.....	102
Tablo 5.4 Devir sayısının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi ...	103
Tablo 5.5 İlerleme hızının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi ...	104
Tablo 5.6 Baskı kuvvetinin çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi...	105
Tablo 5.7 Takım açısının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi....	106
Tablo 5.8 Deneylerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.....	107

1. GİRİŞ

1991 yılında TWI (The Welding Institute) tarafından keşfedilen ve bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak için koruyucu gaz, ilave metal kullanılmaması ve düşük elektrik harcanarak yapılabilmesi gibi ekonomik ve çevresel yararlarının yanı sıra, yüzey düzgünlüğü, kaynak yapılan malzemelerin mekanik özelliklerini kaybetmemesi ve farklı özellikteki malzemelerin kaynatılabilmesi bakımından diğer kaynak yöntemlerine alternatif olmuştur. Sürtünme karıştırma kaynağı, günümüzde, otomotiv, uçak, askeri savunma araçları ve uzay araçlarında kullanımı giderek artmakta olan bir birleştirme yöntemi olmuştur. Bu nedenle farklı malzemeler ve alaşımlar üzerinde çok sayıda çalışmalar yapılarak bu kaynağın yaygınlaşması sağlanmıştır.

Sürtünme karıştırma kaynağı çalışmalarının, yaygın olarak plastik, alüminyum ve alaşımları, bakır, pirinç ve düşük karbon içeren çelikler üzerine yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden AISI 304L paslanmaz çelik seçilerek, bu malzeme üzerinde deneyler yapılmış, doğru parametrelerin bulunması ve etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney kapsamında 304 ve 304L malzemeleri ile farklı kalınlıklarda ön deneyler yapılmış olup, daha sonra 3mm kalınlıkta 304L paslanmaz çeliği ile asıl deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde devir hızı olarak 600-750-950-1180 ve 1500 min⁻¹, takım ilerleme hızı olarak 37,5-47,5 ve 60 mm/min, baskı kuvveti olarak 5-7 ve 9 kN, ile takım açısı olarak 0-1-1,5 ve 2 derece parametreleri seçilerek, 29 farklı deney yapılmıştır.

Deneyler 7,5 kW güce sahip freze tezgâhının tablasına bağlanan, cıvata bağlantılı deney düzeneği üzerinde yapılmıştır. Devir sayısı, ilerleme hızı ve takım açısı, frezenin mekanik özellikleri kullanılarak, sıcaklık, deney düzeneği üzerine bağlanan termo-elemanlar kullanılarak ve baskı kuvveti ise yine deney düzeneği altına bağlanan yük hücresi ile kontrol edilip kayıt altına alınmıştır. Deneylerde parametrelerin sabit tutulması ve sadece bir parametrenin değiştirilip sonuçların karşılaştırılması yöntemiyle kaynağa etkisi gözlemlenmiştir. Gözle muayene yöntemi ile kaynağın ve yüzeyin düzgünlüğü ile çatlak ve aşınma kontrolü yapılmış olup, tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri ile sonuçları karşılaştırma olanağı olmuştur.

1.1 Literatür Bilgisi

Saeded vd (2008), 2 mm kalınlığındaki SAF 2205 dubleks paslanmaz çelik levhaları, WC takım kullanarak sabit 600 min^{-1} devir sayısında ve 50-200 mm/min aralığındaki farklı ilerleme hızlarında sürtünme karıştırma kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirmişlerdir. Çalışmalarında, kaynak ilerleme hızı arttıkça kaynak bölgesinde α ve γ tanelerinin boyutunun küçüldüğünü, bu sebeple de kaynak bölgesinin sertlik ve çekme dayanımının arttığını tespit etmişlerdir. Aynı şekilde, ilerleme hızı ile sürtünme karıştırma kaynağında ulaşılan uç sıcaklığın arasında karşılıklı bir etkilenmenin olduğunu öne sürmüşlerdir.

Liechty ve Webb (2008), yapmış oldukları çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sürtünme ısısını ve malzeme akışını üç boyutlu modellemişlerdir. Çalışmaları esnasında farklı sınır koşullarını modellemeye uygulayarak sonuçlar elde etmişlerdir.

Ishikawa vd (2008), 304 ostenitik paslanmaz çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağının yeni uygulamalarından olan yüksek hızda sürtünme karıştırma kaynağı yapabilirliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında takım devir sayısı 600 min^{-1} olarak sabit tutulmuş ve 1200 mm/min gibi yüksek ilerleme hızlarına kadar başarılı bir şekilde kaynak yapmayı başarabilmişlerdir. 1150 mm/min ilerleme hızlarına kadar da ana metalin sahip olduğu çekme dayanımına eşit dayanıma sahip kaynaklı birleştirmeler yapabilmişlerdir. Çalışmalarında aynı zamanda kaynak hızının artmasının bağlantının korozyon dayanımını da arttırdığını tespit etmişlerdir.

Zhang vd (2008), sürtünme karıştırma kaynağında malzeme deformasyonu ve sıcaklık değişimlerini tahmin etmek için bir termomekanik model geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda takım devir sayısının artmasıyla kaynak işlemi boyunca elde edilen maksimum sıcaklıkta artmakta, kaynak hızının artmasıyla da sürtünme karıştırma kaynağı sisteminin verimli giriş gücü de artmaktadır. Devir sayısının artması ve kaynak hızının azalması kaynak takımının karıştırma etkisini arttırmakta bu da kaynak kalitesini iyileştirmektedir. Kaynak ilerleme hızı arttırıldığında dönme devri de eşzamanlı olarak

boşluk oluşumundan kaçınmak için arttırılmalıdır. Kaynak takımının dönme devri ve ilerleme hızının eşzamanlı arttırılması artık gerilmenin artmasına yol açar.

Zhang vd (2007), çalışmalarında ön ısıtma süresinin sürtünme karıştırma kaynağına etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak hatasız bir sürtünme karıştırma kaynağı için ön ısıtma süresinin çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çok kısa ön ısıtma süresinin yetersiz sıcaklık artışı ve yetersiz plastik deformasyon sonucu başarısız kaynağa neden olacağını rapor etmişlerdir. Bunun yanı sıra aşırı ön ısıtma süresinin de uç malzemesinin malzemeye karışmasına neden olduğunu da belirtmişlerdir.

Ke vd (2007), çalışmalarında karıştırıcı uç şeklinin kaynak makro yapısına etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, sol vidalı karıştırıcı ucun metali aşağı doğru ittiği ve kaynak merkezinin metalin alt bölümünde oluştuğunu, sağ vidalı karıştırıcı ucun metali yukarı doğru çektiği ve kaynak merkezinin metalin üst bölümünde oluştuğunu rapor etmişlerdir. Düz silindirik pim kullanılarak yapılan kaynakta soğan halkalarının oluştuğu, konik silindirik pimde ise soğan halkalarının daha belirsiz olduğu çalışmada ayrıca rapor edilmiştir.

Gan vd (2007), çalışmalarında L80 çeliğinin sürtünme karıştırma kaynağını gerçekleştirebilmek için uygun bir uç malzemesini araştırmışlardır. Sonuç olarak bu kaynağı gerçekleştirebilecek karıştırıcı takım malzemesi için uygun malzemenin W-Re alaşımı olduğunu rapor etmişlerdir.

Liu vd (2007), çalışmalarında yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında W-Re alaşımı veya PCBN karıştırıcı uçlar kullanmışlardır. Sonuç olarak uygun takım geometrisi ve malzemesi kullanılırsa, bu tür malzemelerin yüksek dayanımlı kaynağını gerçekleştirebilmek için W-Re alaşımı veya PCBN karıştırıcı uçların gerektiğini belirtmişlerdir.

Meran vd (2007), çalışmalarında AISI 304 paslanmaz çeliğinin sürtünme karıştırma kaynağını gerçekleştirmişlerdir. Volfram esaslı takım malzemesi kullandıkları

çalışmalarında, 40-100 mm/min ilerleme hızında ve 1000 min⁻¹ devir sayısında; 2,5 mm AISI 304 paslanmaz çeliğini hatasız olarak kaynak edebilmişlerdir.

Sato vd (2007), çalışmalarında 2,3 mm kalınlığındaki yüksek karbon oranına sahip çeliğin (SUJ2, % 1,02 C) sürtünme karıştırma kaynağı esnasındaki mikro yapı değişimlerini incelemişlerdir. Ferrit – sementit fazlarına sahip bu çeliği PCBN karıştırıcı uç kullanarak 1,27 mm/s ilerleme hızı ve 400 min⁻¹ devir sayısında başarılı bir şekilde kaynak etmişlerdir. Yaptıkları sürtünme karıştırma kaynağı sonucu, içyapının ferrit+sementitten, martenzite dönüştüğünü de çalışmalarında rapor etmişlerdir.

Konkol vd (2007), çalışmalarında 6 mm kalınlığındaki HSLA-65 çeliğinin sürtünme karıştırma kaynağını ve ark kaynağını gerçekleştirmişlerdir. Sürtünme karıştırma kaynağı için PCBN ve % 25 renyum içeren volfram alaşımli uçlar kullanmışlardır. Her iki kaynağın enine çekme dayanımları yaklaşık eşit olmasına rağmen, sürtünme karıştırma kaynağının Charpy darbe mukavemetinin oldukça yüksek olduğunu çalışmalarında rapor etmişlerdir.

Fujii vd (2007), çalışmalarında S70C (% 0,72 C) çeliğinin sürtünme karıştırma kaynağını başarılı bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri kaynağın çekme dayanımının 1214 MPa, akma sınırının 700 MPa ve kopma uzamasının % 40 olduğunu çalışmalarında rapor etmişlerdir.

Cui vd (2007), çalışmalarında 5 farklı (IF çeliği, S12C, S20C, S35C, 550C) ferritik-perlitik karbon çeliğinin sürtünme karıştırma kaynaklarını gerçekleştirmişlerdir. Karbon oranının % 0,12'den az olduğu durumlarda SKK sonucu ferritik-perlitik yapının korunduğu, ve mukavemetin biraz arttığı çalışmada rapor edilmiştir. Karbon oranının %0,2'yi geçtiği durumlarda ise SKK sonucu ferritik-perlitik yapıya ilave olarak martenzit ve beynit oluştuğu, ve mukavemetin önemli derece arttığı çalışmada ayrıca belirtilmiştir.

Sato vd (2007), yüksek karbona sahip çelik malzeme üzerinde sürtünme karıştırma kaynağını uygulamış ve sürtünme karıştırma kaynağının mikro yapısı ve dayanımı üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu kaynak şeklinde ergime noktasına ulaşılmadığı için

çelik içerisinde bulunan karbon ve diğer malzemelerde bozulma oluşmamakta olduğu vurgulanmış ve sürtünme kaynağı ile yapılan dikişlerin başarılı olduğu belirtilmiştir.

Alptekin (2006), paslanmaz çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı üzerine yapmış olduğu çalışmada 20 mm çapa sahip volfram karbür takımlar kullanmış ve takım dalış açısının $1^{\circ}45''$, 1000 min^{-1} takım devir sayısı ve ilerleme hızının 63 mm/min olduğu durumda en iyi kaynak dikişlerini elde etmiştir.

Meran (2006), CuZn30 pirincinin sürtünme karıştırma kaynağı üzerine yaptığı çalışmada kaynaklanacak plakaların üzerine konduğu yüzeyin düzgünlüğünün kaynak kök dikişinin iyi olması açısından önemli olduğunu tespit etmiştir. Söz konusu yüzeyde delik, kanal vs. olması durumunda hamur haline gelen metalin karıştırıcı uç tarafından bu bozuk kısımlara doğru ötelendiği, bunun sonucunda ise kök dikişinde bozukluklar ve nüfuziyette eksiklikler oluştuğunu tespit etmiştir.

Orhan vd (2006), AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin sürtünme karıştırma kaynak yapılabilişliğini incelemiştir. AISI 430 paslanmaz çelik levhalar 50 mm/min ilerleme hızı ve 450 min^{-1} devir sayılarında yapılan kaynak bağlantılarında üç farklı bölgenin oluştuğunu, ince taneli bölgede sertliğin yükseldiğini, güzel görünümlü ve dayanımı yüksek bir kaynağın meydana geldiğini tespit etmiştir. Yapılan çekme deneyi sonucunda kopmanın tamamen kaynak bölgesi dışından gerçekleştiği görülmüştür. Bu durum, dikişin mukavemetinin ana metalinkinden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sonuç elde edilen kaynaklı birleştirmenin istenen mekanik özelliklerde olduğunu göstermektedir. Bu malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile güvenle birleştirilebileceği belirlenmiştir.

Sato vd (2005), sürtünme karıştırma kaynağı SAF 2507 süper dubleks paslanmaz çeliği üzerinde denemişlerdir. Yüksek kalitede tam nüfuziyetli dikişler mümkün olmuştur. Bu çalışmada polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) takımı başarı ile uygulanmıştır.

Yutaka vd (2005), 304L paslanmaz çeliğin sürtünme karıştırma kaynağı sonrası rekristalizasyon olayının gelişimi üzerine bir çalışma yapmıştır. 304L paslanmaz çeliğin kaynağı esnasında aşırı ısınma ve deformasyondan dolayı başlangıçta dinamik bir rekristalizasyona uğradığını tespit etmişlerdir. Deformasyonun düzensiz olmasından

dolayı içyapıda dislokasyon yoğunluğu dağılımının farklı farklı oluştuğunu tespit etmişlerdir. Takım omzunda sonradan ortaya çıkan ısınmanın olduğu bölgenin altında statik rekristalizasyonun ortaya çıktığını tespit etmişlerdir.

Feng vd (2005), yapmış oldukları çalışmada sürtünme karıştırma kaynağının önemli dezavantajlarından biri olan kaynak bitiminde delik kalması problemini önlemek için özel bir uygulama ile kaynağın devam etmesini sağlamışlardır. Söz konusu delik kaynak bitimine ilave edilen parçada oluşturulmuştur. Bu parça daha sonra kaynak bitim yerinden spiralle kesilerek uzaklaştırılmıştır.

Feng vd (2005), 25 mm çapında ve 5,5 mm uzunluğunda PCBN takımlar kullanarak çelik boruların sürtünme karıştırma kaynağını yapmışlardır. Çalışmalarında 500 - 600 min^{-1} devir sayısı ve 100-150 mm/min ilerleme hızında kaynaklar yapmışlardır. Diğer çalışmalardan farklı olarak sürtünme karıştırma kaynağında çok etkili bir parametre olan baskı kuvvetini 10 kN ile sabit tutarak birleştirme gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında boruyu sabitleme ve birleştirme için özel aparatlar kullanılmıştır. Kaynak bölgesini oksidasyondan korumak için ise kaynak dikişi üzerine argon gazı vermişlerdir. Birleştirilen numunelere uygulanan çekme deneylerinde kopma esas metal bölgesinde meydana gelmiştir.

Sorensen (2004), tarafından yapılan bir çalışmada 6 mm kalınlığındaki 304 paslanmaz çelik sürtünme karıştırma kaynağına uygunluğu incelenmiştir. 15 mm çapında PCBN takım kullanılarak yapılan çalışmada karıştırıcı uç boyu 2 mm olarak alınmıştır. Takım dönme devri olarak 800-900-1000-1100 mm^{-1} ve ilerleme hızı olarak ta 50-75-100-130 mm/min alınmıştır. Çalışmalar sonucunda başarılı kaynak dikişleri elde edilmiş olup PCBN takımın düşük aşınmasıyla 304 paslanmaz çeliğin kaynağında en uygun takım malzemesi olduğu ileri sürülmüştür.

Sorensen (2004), yaptığı bir çalışmada yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı sırasında tezgahın yataklarının maruz kalacağı yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilenmesini önlemek için soğutmalı tutucular kullanılabileceğini belirtmiş ve bu amaçla Tecnara firması tarafından geliştirilen bir tutucuyu çalışmalarında kullanarak olumlu sonuçlar aldığını belirtmiştir. Ayrıca bu tutucu ile

kaynak bölgesine korozyon direncini arttırmak için koruyucu gaz akışı da sağlanabileceğini belirtmiştir.

Odabaş (2004), yapmış oldukları çalışmada ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca üç kaynak problemi ile karşılaşıldığını tespit etmişlerdir. Bunlar sırası ile; ısının etkisi altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı, kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu ve yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumudur.

Chu vd (2004), 304L paslanmaz çelikleri üzerinde, sürtünme karıştırma kaynağının üç boyutlu nonlineer ısı, ısı-mekanik nümerik modellemelerini yapmıştır. Bu çalışmada, 300 ve 500 min^{-1} devir sayısına bağlı olarak; ısı dağılımı ve artık gerilmeleri araştırılmıştır. Üç boyutlu elastik-plastik, termomekanik simülasyonlar başarı ile gerçekleştirilmiş ve deneysel verilerle doğruluğu gösterilmiştir.

Hyung vd (2004), paslanmaz çelikleri üzerinde, sürtünme karıştırma kaynağının visko plastik davranışları çerçevesinde nümerik modellemelerini yapmıştır. Burada kaynak bölgesinde oluşan ısı dağılımları ve akış doğrultuları incelenmeye çalışılmıştır.

Boz vd (2004), yapmış oldukları çalışmada sürtünme karıştırma kaynağında uç formunun kaynaklı bağlantının mekanik özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. En iyi mekanik özellikleri kare uçlu takımlarda elde etmişlerdir. Deney numuneleri incelendiğinde kare uçlu takımla yapılan deneme hariç diğer denemelerde kırılan bölgelerin ana metal bölgesinde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca numuneler ve bağlama aparatı arasında yalıtkan malzemeler (seramik v.b.) kullanmışlar ve olumlu sonuç almışlardır.

Reynolds vd (2003), çalışmalarında 3,2 mm kalınlığındaki 304 kalitesindeki paslanmaz çeliği, volfram alaşımli, 19 mm omuz çapına sahip takımla 1,7 mm/s ilerleme hızında 300 ve 500 min^{-1} dönüş hızlarında elde edilen kaynak yapısını karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Düşük devir sayısı ile yapılan kaynağın -ilerleme sabit- mm başına ısı girdisinin daha düşük olduğu bulunmuştur. Isı girdisinin düşüklüğü beraberinde düşük sıcaklıkta kaynak, kaynak merkezinde daha küçük tanecikli yapı eldesine neden

olmuştur. Uygulamalarda taneler daha küçüktür, bağlantının çekme dayanımı daha yüksektir. Kaynaklı parçanın artık gerilmesinin ergitme kaynağında ulaşılan gerilmelere eşdeğer olduğu tespit edilmiştir.

Park vd (2003), 6 mm kalınlığında AISI 304L kalitesindeki paslanmaz çeliğin 550 min⁻¹ devir sayısı ve 1,3 mm/s ilerleme hızı, 3,5° dalma açısı ile kaynağını gerçekleştirmişlerdir. Bu kaynak yönteminde PBCN takım kullanılmıştır. Bu çalışma ile kaynak dikişinin mikroyapısı ve sigma fazı oluşumu incelenmiştir. Çalışma sonucunda paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesindeki içyapının alüminyumda elde edilen yapıya benzediği gözlemlenmiştir. Kaynak merkezinden pimin ayrılış kısmında sigma fazı oluşumuna rastlanmamıştır.

Lienert vd (2003), 6,35 mm kalınlığındaki AISI 1018 çeliğin 0,42-1,68 mm/s ilerleme hızlarında ve 450-650 min⁻¹ devir sayılarında kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Çalışmada volfram ve molibden alaşımlı takımlar kullanılmıştır. Yapılan denemelerde kaynak metalinin ve takımın ulaştığı sıcaklık değeri 990°C, kaynak merkezinin ulaştığı sıcaklık değeri ise yaklaşık 1100°C -1200°C ölçülmüştür. Kaynak sırasında takımın kızıl turuncu renge ulaştığını belirlemişlerdir. Takım üzerindeki aşınma izlenmiş ve en büyük aşınmanın ilk dalış esnasında yük altında tam ısınmamış soğuk metalin hareketi sırasında olduğu belirtilmiştir. Takım aşınmasının önüne, ön ısıtma, düşük dalış değeri, ön delik uygulamaları ile geçileceği belirtilmiştir. Takım sıcaklığı 180 saniyelik dalma periyodunun sonunda sabit bir sıcaklıkta kalmış, ilerleme ile birlikte sıcaklığı artmıştır.

Kurt vd (2002), yapmış oldukları sürtünme karıştırma kaynağı üzerine yapmış oldukları bir çalışmada alın altına yapılan birleştirmelerde tam bir nüfuziyetin ortaya çıkabilmesi için kaynak esnasında takım ucunun parçanın altındaki destek plakasına (sacına) çok yakın geçmesi gerektiğini tespit etmişlerdir.

Thomas vd (2001), yeni jenerasyon farklı omuz geometrisine sahip Whorl™ ve MX Triflute™ takımlarla sürtünme karıştırma kaynağı yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda omuz profillerinin, omuz ile iş parçası arasında daha iyi bir temas yüzeyi sağlamak ve kaynak dikişi dış görünüşünü belirlemekte önemli bir faktör olduğunu tespit etmişlerdir.

Reynold vd (2001), yaptıkları çalışmalarda 6,4 mm kalınlığa kadar 304L paslanmaz çeliklerin tek pasoda kaynak edilebileceği bunun üzerindeki kalınlıklarda ise çift pasoda kaynağın yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Bunun sebebi olarak ta takımın kaynak esnasındaki etkisinin alüminyum alaşımlarına nazaran çok az olmasını göstermişlerdir.

Thomas vd (1999), yapmış oldukları çalışmada kaynak öncesi ön ısıtma yaparak ilerleme hızının artırılabilirliğini ve takımdaki aşınmanın da azaltılmasında büyük fayda sağlayacağını tespit etmişlerdir.

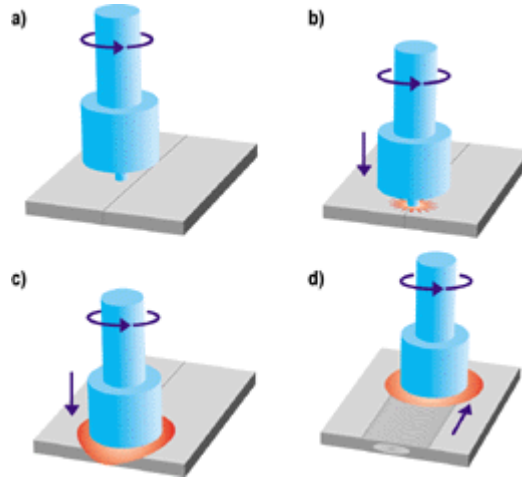
1.2 Çalışmanın Amacı

Sürtünme karıştırma kaynağı özellikle alüminyum ve alaşımları gibi düşük ergime sıcaklığı olan metallerde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin ergime sıcaklıkları yükseldikçe bu yöntemle kaynağın yapılabilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenden dolayı, özellikle paslanmaz çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı yapılabilmesi ile ilgili az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilmesi nedeniyle, kaynak işleminin yapılabilmesi için güçlü tezgâhlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu yöntemin paslanmaz çelikler üzerinde uygulanmasının bir amacı da, alüminyum üzerinde oksit tabakasının oluşması gibi, diğer kaynaklı birleştirmeler esnasında paslanmaz çelikler ile ilgili ortaya çıkan sorunların (krom karbür oluşumu, sıcak çatlama oluşumu, sigma fazı oluşumu) SKK yöntemi ile oluşması engellenerek daha iyi mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişinin gerçekleştirilebilmesidir.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı, sürtünme karıştırma kaynağının diğer malzemelerin kaynağında kullanılarak ortaya çıkartılan avantajlarını, paslanmaz çelikler için de belirleyerek, kullanım alanının yaygınlaşmasını sağlamak ve başta imalatçılar olmak üzere ülke ekonomisine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Sürtünme karıştırma kaynağı, İngiltere’de The Welding Institute tarafından keşfedilen bir katı hal kaynak yöntemidir. Genel olarak sürtünme ile kaynak yöntemlerinde, kaynaklanacak parçalar birbiri üzerinde hareket ettirilirken, bu yöntemde prensip olarak farklılıklar vardır. Bu yöntem, takım uç olarak adlandırılan, ucunda karıştırıcı bir pime ve sürtünme işlemini sağlayan omuz profiline sahip malzemeler ile yapılmaktadır. Daha çok alın kaynağında kullanılan bu yöntemde, kaynağı yapılacak malzemeler alın altına getirilip sabitlendikten sonra, takım uç piminin iki malzeme arasına daldırılarak, omuz profilinin alın çizgisi üzerinde her iki malzemeye sürtünmesi ve sürtünmeden dolayı ortaya çıkan ısının parçaları yumuşatarak, omuz profilin karıştırması prensibi ile kaynak gerçekleşmektedir. Karıştırma ile birlikte takım ucun ilerlemesi sayesinde, birleşme çizgisi boyunca kaynatma işlemi yapılmaktadır (Şekil 2.1).

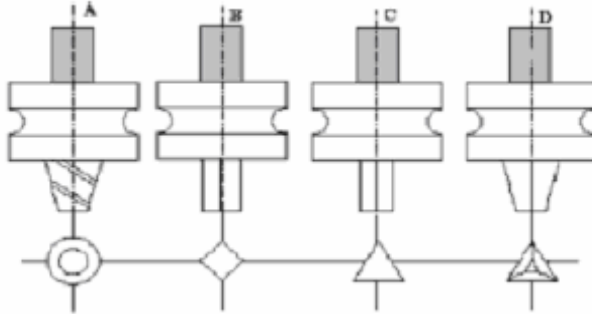


a) SKK takımına ilk dönüş verilmesi, b) SKK takımının malzemeye daldırılışı, c) SKK takımının omuz kısmının plakaları ön ısıtması, d) Yeterli ön ısıtmanın ardından SKK takımına ilerleme verilmesi

Şekil 2.1 Sürtünme karıştırma kaynağı aşamalarının şematik gösterimi

İdeal kaynağın yapılabilmesi için dikkat edilmesi gereken konulardan biri, kaynak yapılacak malzemelerin iyi sabitlenmesidir. Parçaların bir tabla üzerinde alın altına getirilmesinden sonra, kaynak dışında kalan bölgeden iyice sıkılması gerekir. Kaynak esnasında takım uç dönme ve ilerleme hareketi yapacağından, parçaların dönme ve öteleme hareketlerine maruz kalarak hareket etmesi önlenmelidir.

Kullanılan takım uçların malzemesi, boyutları ve geometrileri de kaynağa önemli derecede etki etmektedir. Tokluk, yüksek ısıya dayanıklılık ve işlenebilirlik takım uçta olması gereken özelliklerdir. Farklı geometrilere sahip pim (Şekil 2.2) ve omuz profil şekilleri kullanılabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.2 Farklı takım pimi geometrileri

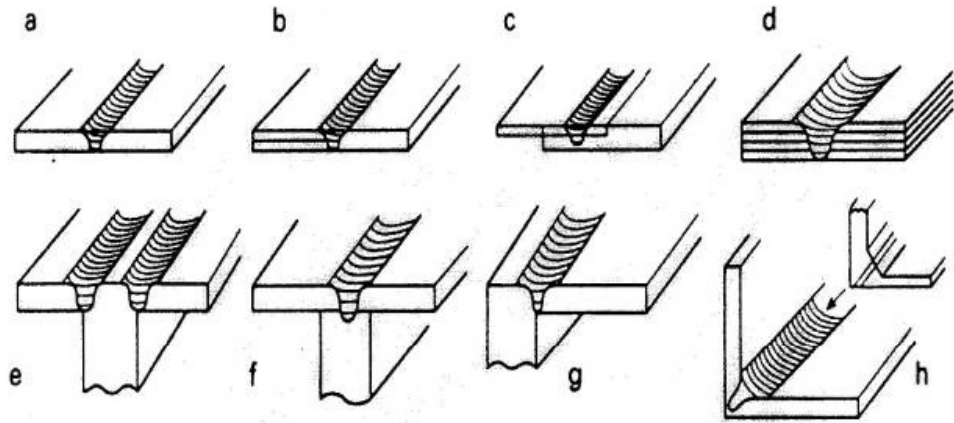


Şekil 2.3 Farklı omuz geometrileri dizaynları (THOMAS, W. M., NICHOLAS, E. D., SMITH, S. D., 2001)

Kaynağın düzgün oluşmasını etkileyen diğer faktörler ise, takım ucu devir sayısı, ilerleme hızı, omuz baskı kuvveti, takım açısı ve sıcaklık değerleridir. Karışımın ve istenilen kalite ile mukavemetin sağlanabilmesi için gerekli olan bu parametrelerin doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yapılan deneylerde, bahsedilen parametrelerin farklı değerleri kullanılarak karşılaştırmaları yapılmıştır.

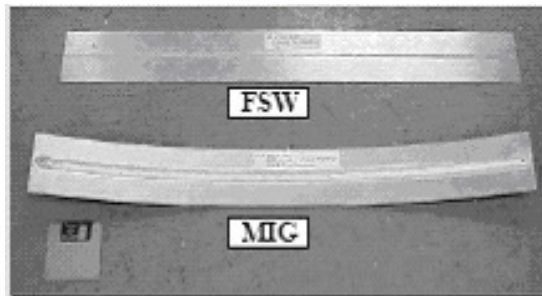
Sürtünme karıştırma kaynağı ile elde edilen yüzey kalitesi, ergitme kaynağı ile yapılan birleştirmelere göre daha düzgün ve pürüzsüzdür. Bu yöntemde kaynak dolgu malzemesi, koruyucu gaz ve ark gibi ekstra değerlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca kaynak esnasında çevreye zararlı gazlar ve ışınlar çıkmamaktadır. Farklı türdeki malzemelerin birbirleriyle kaynak edilebilmesi bu yöntemle mümkündür.

Sürtünme karıştırma kaynağının bir diğer avantajı ise farklı pozisyonlardaki malzemelerin kaynağına elverişli olmasıdır (Şekil 2.4). Ayrıca diğer kaynak yöntemlerinde meydana gelen çarpılma ve çekmeler oluşmaz (Şekil 2.5).



a)Küt alın birleştirme b)Birleştirilmiş ek ve bindirme birleştirme c)Bindirme d) Çoklu bindirme e)İki pasolu T- köşe birleştirme f)Tek pasolu T- köşe birleştirme g)Dış köşe birleştirme h)İç köşe birleştirme (Kaluç, Bozduman 1998)

Şekil 2.4 SKK ile çeşitli birleştirme şekilleri (ANONYMOUS, 2000)



Şekil 2.5 SKK ve ark kaynak yöntemi ile kaynatılmış bakır plaka numunelerinin çarpılmasının karşılaştırılması (OHBA H. vd., 2001)

Sağlık ve çevre yönünden zararsız, kolay yapılabilirlik, farklı şekillerde kullanılabilirlik ve düşük maliyet gibi avantajları bulunan sürtünme karıştırma kaynağı teknolojisi, kara, hava, demiryolu, deniz ve uzay araçları ile askeri savunma araçlarının imalatında kullanılmaktadır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Deneyleer için kullandığımız ve freze tezgâhı tablası üzerine bağladığımız düzener, delikli ve kanallı sac levhalardan oluşmaktadır. Tablaya bağlanmış levha üzerine yük hücresi bağlanarak, kablo ile bilgisayar bağlantısı sağlanmıştır. Yük hücrelerinin üstünde ise, üzerinde bağlantı için kılavuz açılmış delikleri bulunan 30 mm kalınlığında ana levha bulunmaktadır. Bu ana levhanın aşınmaması ve termoelemanların bağlanabilmesi için üzerinde delikler ve kablo kanalları bulunan ikinci bir levha sac kullanılarak, deney numunelerinin bu levhayla temas etmesi sağlanmıştır. Numunelerin sabitlenmesi için ise, kenarlardan baskı uygulayacak şekilde ana levhadaki kılavuz çekilmiş deliklere cıvata ile bağlanan yan baskı sacları kullanılmıştır.

Kaynak uçları, pens takımları sayesinde freze başlığına bağlanarak dönme hareketi verilmiştir. Freze üzerindeki devir ayar kolu ile istenilen parametre seçilmektedir. İlerleme hareketi, yine ayar kolu ile parametrenin seçilmesinden sonra, tablanın otomatik ilerlemesinden faydalanılarak sağlanmıştır. Baskı kuvveti, freze tablasının yukarı-aşağı hareket kolunun, kaynağı yapan kişi tarafından deney esnasında el ile hareket ettirilmesi ile ayarlanmaktadır. Kuvvetin sabit tutulması, deneyde seçilen parametre doğrultusunda, yük hücresinin ekranda gösterdiği değere göre, tablayı dönen takım uca yaklaştırmak veya uzaklaştırmak sağlanmaktadır. Sıcaklık ise, termoelemanların ucunun üst levhadaki delikten çıkarılarak, kaynağı yapılan malzemeye alttan teması ile ölçülmüştür. Sıcaklık ölçüm noktası, takım ucun kaynağa bağladığı konumdaki, omuz çapının izdüşümü içinde kalacak şekilde belirlenmiştir. Bu sayede ilerleme hareketi vermeden önce numunenin hangi sıcaklık değerine ulaştığı belirlenmiştir.

3.1 Deney Malzemesi ve Boyutları

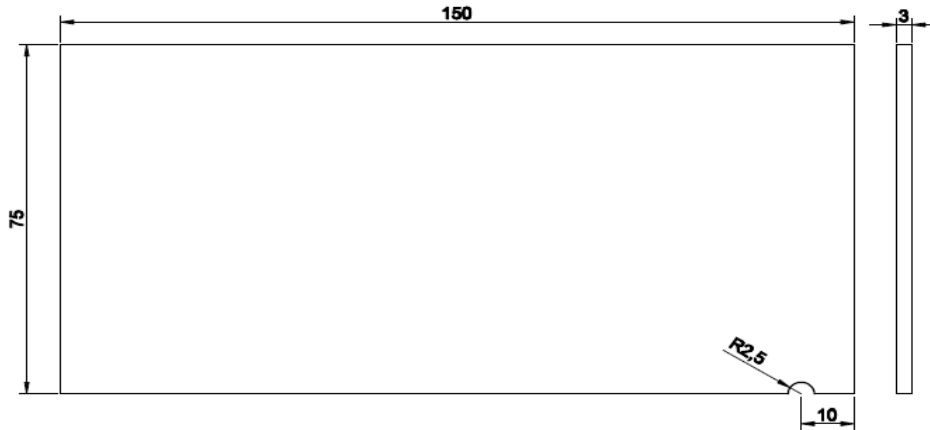
Deney numunesi olarak seçmiş olduğumuz 304 ve 304L kalite paslanmaz çelikleri, günümüzde çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılan bir malzeme türüdür. Gıda, endüstriyel, mimari ve ulaşım alanlarında, yiyecek işleme ekipmanları, mutfak araç ve ekipmanları, dış cephe kaplamaları, kimyasal taşıma konteynerleri, ısı dönüştürücüleri ile cıvata, vida ve yay yapımında kullanılmaktadır.

304L kalite paslanmaz çeliği, 304 kalitesine göre daha az karbon içermektedir ve Ni oranı biraz daha fazladır (Tablo 3.1). Ayrıca ostenitik yapının, bu kalitedeki paslanmaz çeliklere mükemmel tokluk sağladığı bilinmektedir.

Tablo 3.1 Deney numunelerinin kimyasal bileşimleri (%) [1]

Kalite		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
304	min.	-	-	-	-	-	18,0	-	8,0	-
	max.	0,08	2,0	0,75	0,045	0,03	20,0	-	10,5	0,1
304L	min.	-	-	-	-	-	18,0	-	8,0	-
	max.	0,03	2,0	0,75	0,045	0,03	20,0	-	12,0	0,1

Deney numuneleri 75 mm x 150 mm boyutlarında, 3 mm kalınlığında levha sacdan hazırlanmıştır (Şekil 3.1). Asıl deneylerde kullanılan takım ucu omuz çapı 16 mm olup, üçgen profilli pim uzunluğu 2,5 mm'dir.

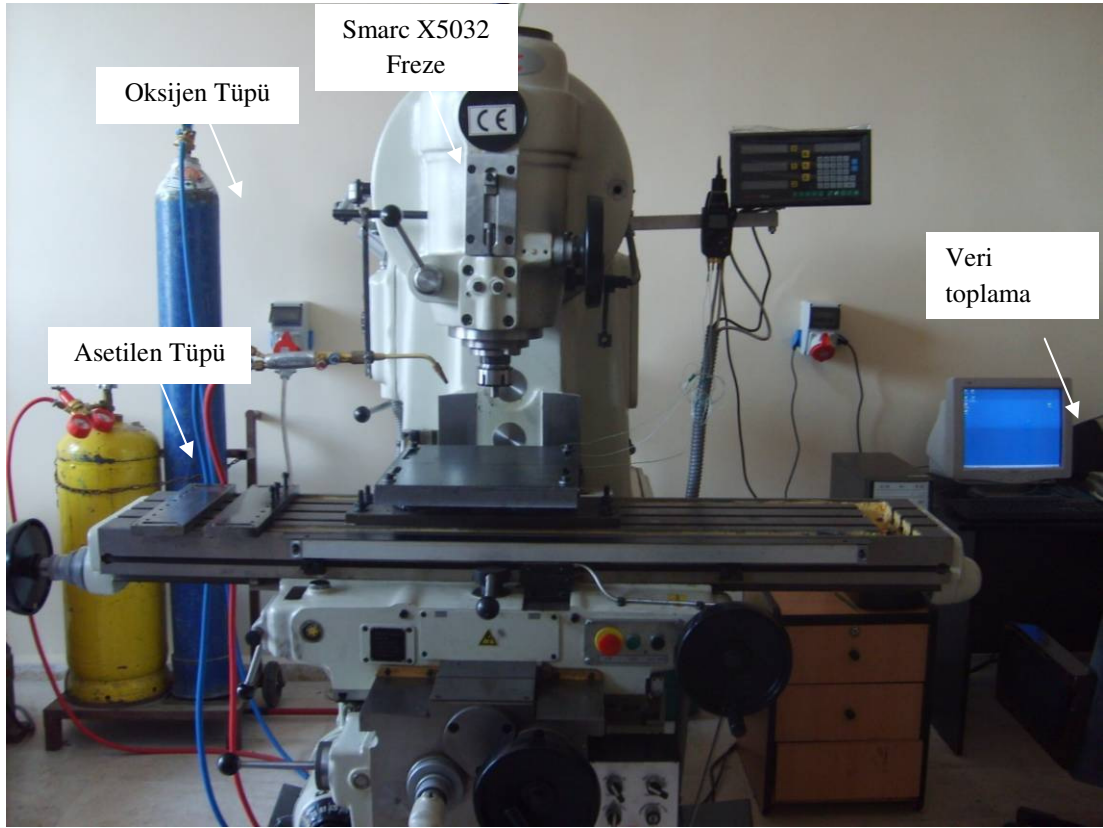


Şekil 3.1 Deney numunesi boyutları

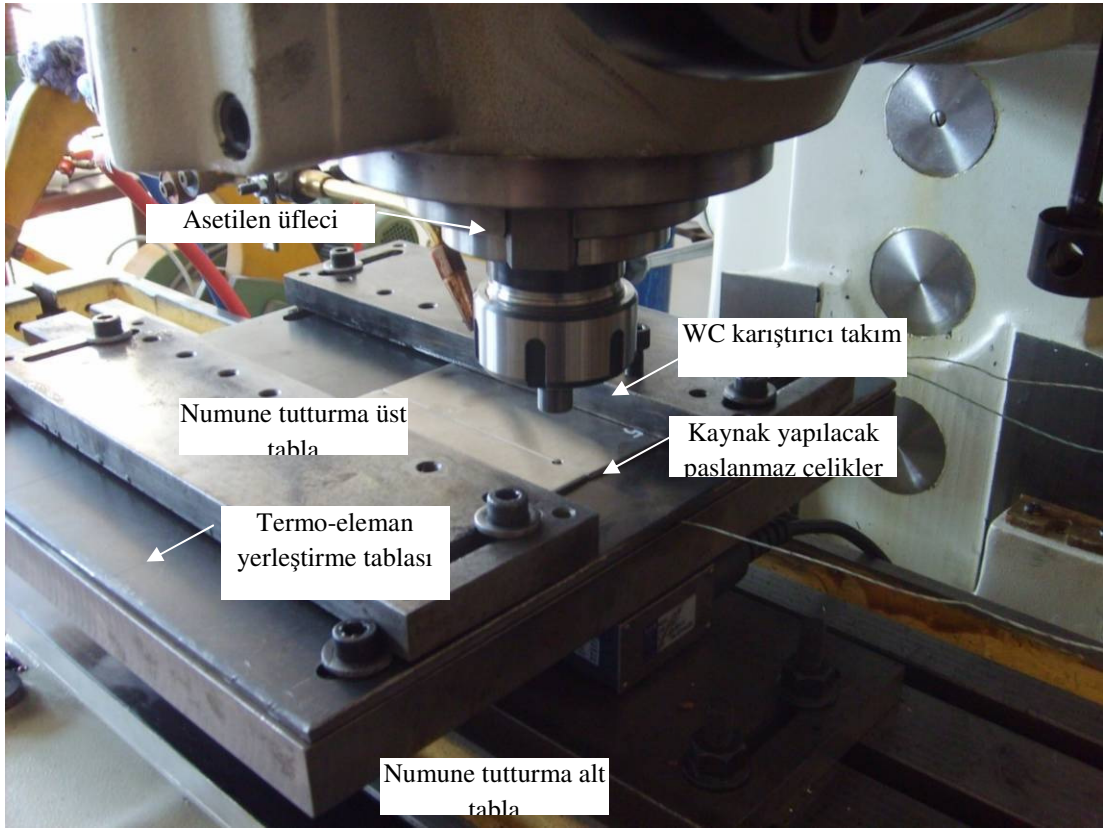
3.2 Deney Düzeneginin Kurulması

Deneylerin yapılmasında kullanılan tezgâh, 7,5 kW gücünde ana motora ve 320x1600 mm ebatlarında iş tablasına sahip dik kafa tarama frezesidir. Üzerinde 0,005 mm hassasiyetli dijital ölçüm sistemi bulunmaktadır. Ayrıca freze kafası 45° sağa ve sola yatabilme özelliğine sahiptir (Şekil 3.2).

[1] <http://www.teknikgroup.com/ai304.htm>



a



b

a) Deneylerde kullanılan freze tezgâhı, b) Freze tablası üzerine kurulan tutturma aparatı

Şekil 3.2 Deney düzeneği

75x150 mm ebatlarında kesilen numuneler, deneye başlamadan önce birkaç işleme tabi tutulmaktadır. Plakaların düzgün olup olmadığı kontrol edildikten sonra, kaynak çizgisi boyunca kesit yüzeylerin birbiriyle tamamen temas halinde olması için çapak veya pürüzlülüklerin giderilmesi sağlanmaktadır. Daha sonra yüzeyler sabit tutularak, kaynak başlangıcında takım uç piminin temas etmeden omuzun teması için, plakalara matkapta pim çapından büyük delik açılmaktadır. Bu işlemlerin tamamlanmasının ardından numuneler, plaka üzerine kesit yüzeyler birbirine çizgi boyunca değecek şekilde sabitlenir. Ayrıca takımın, ara kesitte ilerlemesi için tablanın hareket çizgisine paralel olması sağlanır. Paslanmaz çelik üzerindeki oksit tabakasının kaldırılması amacıyla kaynak bölgesine el ile zımparalama işlemi yapılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Deney öncesi deney numunesi üzerinden zımpara ile oksit tabakasının kaldırılması

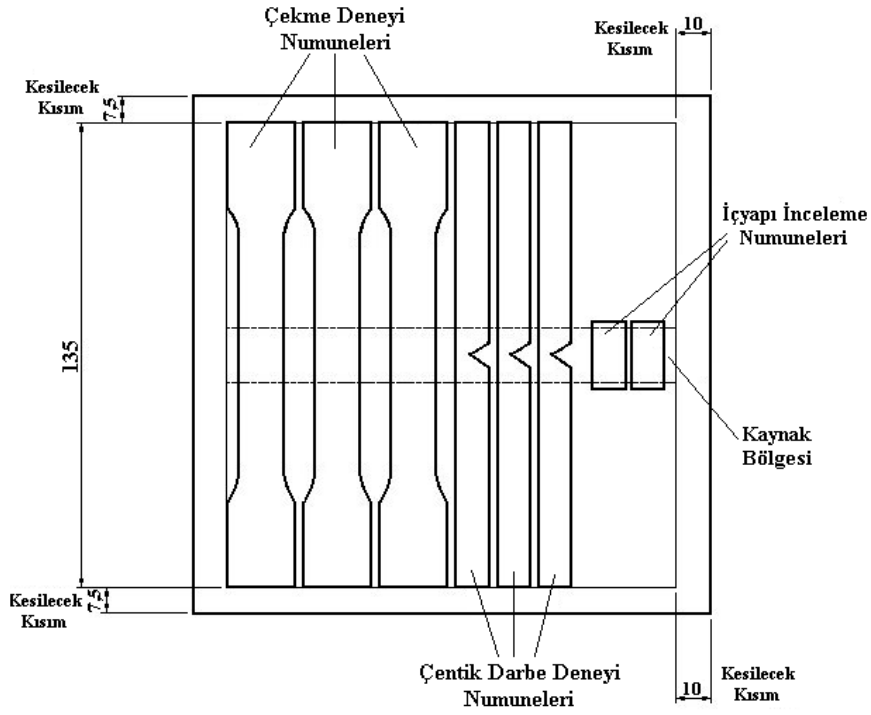
Ön ısıtma işlemi için, oksî-asetilen düzeneği, alev kaynak bölgesine gelecek şekilde sabitlenir. Takımı soğutmak için hazırlanan delikli, kıvrılmış bakır boru, takım ucu etrafına yerleştirilir. Termo-elemanlar ve yük hücresinin bilgisayarla bağlantıları kontrol edilir.

3.3 Deneysel Çalışmalar

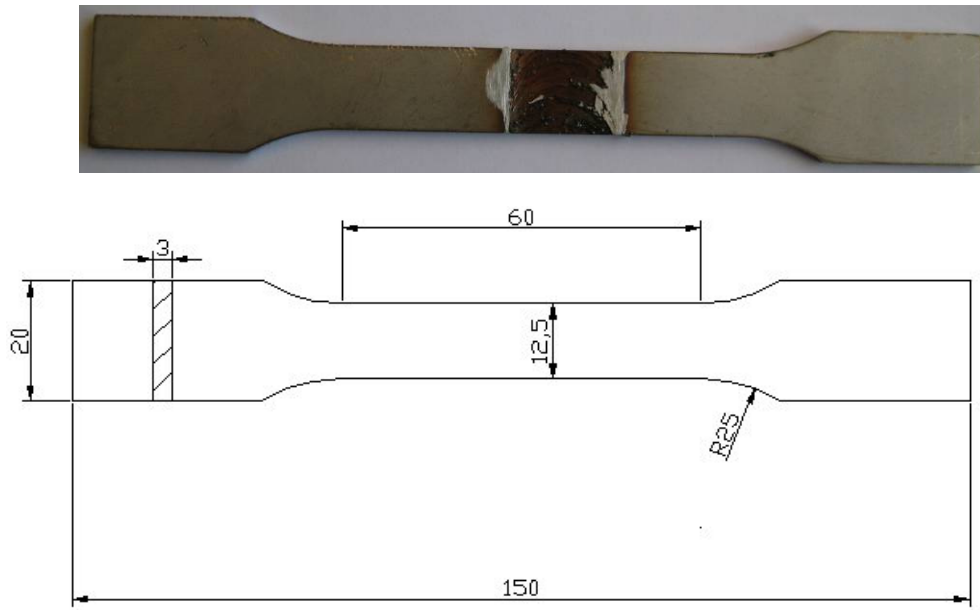
Düzeneğin hazırlanmasından sonra, deneyde kullanılacak parametreler (takım açısı, devir sayısı ve ilerleme hızı) freze üzerinden ayarlanır. Ön ısıtma yapılacak olan deneyler için oksitlenmiş tüpleri açılarak alevin kaynak bölgesine gelmesi sağlanır. Kompresör çalıştırılarak basınçlı hava sayesinde bakır boru ile takım ucunun kaynak esnasında aşırı ısınması engellenir. Termo-elemanlar ile yük hücresinin bilgisayar üzerinde kayıt almaya başlaması için programlar çalıştırılır ve frezeyi çalıştırarak kaynak için hazırlıklar tamamlanır. Takım uç piminin, paslanmaz plakalar üzerine açılan deliğe getirilmesi için freze tablası hareket ettirilir. Omuz profilinin sürtünmeye başlamasına kadar, tabla el ile yukarı kaldırılır ve istenilen baskı kuvveti değerine ulaşana kadar yavaş yavaş yukarı kaldırma işlemi devam eder. İstenilen değere ulaşıldığında, freze tablasına otomatik ilerleme hareketi verilir. Baskı kuvveti, ekranda görülen değer yardımıyla, kaynak çizgisi boyunca, freze tablasının yukarı aşağı hareket kolu ile sabit tutulur. Kaynak, bitiş noktasına geldiğinde önce ilerleme hareketi durdurulup daha sonra takımın uzaklaşması için tabla aşağıya indirilir ve freze durdurulur. Oksitlenmiş gaz bağlantısı ve kompresör hava bağlantısı kapatılır. Sıcaklık ve yük ölçüm kayıtları durdurulup, sonuçlar excel tablosu olarak kayıt edilir.

3.4 Tahribatlı – Tahribatsız Deney Numuneleri ve Boyutları

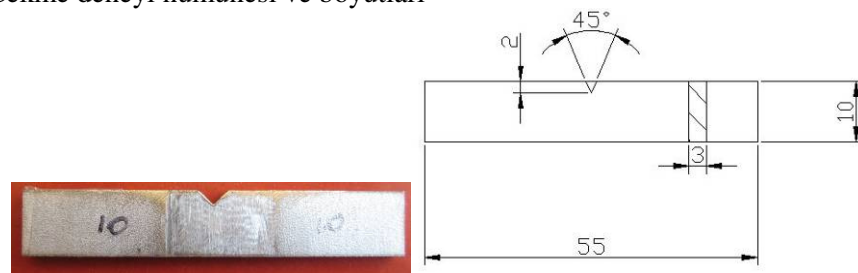
Kaynağı yapılmış olan parçalardan, yapılacak muayeneler için numuneler alınmıştır (Şekil 3.4). Çekme deneyi numunesi Şekil 3.5'te ve darbe deneyi numunesi Şekil 3.6'da belirtilen ölçülerde, lazer kesim ile parçanın içerisinden kaynak bölgesini ortalayacak şekilde kestirilmiştir. İyapı incelemeleri ve sertlik ölçüm deneyleri için bakalite alınan numuneler de, kaynak bölgesinden 15-30 mm arasında kesilen parçalardan hazırlanmıştır.



Şekil 3.4 Kaynaklı bağlantıdan deney numunelerinin çıkarılması



Şekil 3.5 Çekme deneyi numunesi ve boyutları



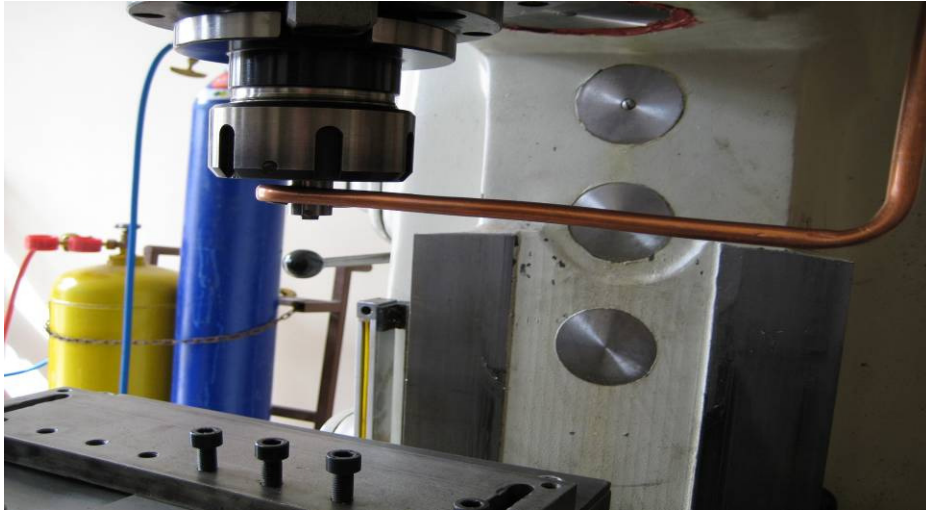
Şekil 3.6 Çentik darbe deneyi numunesi ve boyutları

3.5 Deney Parametreleri

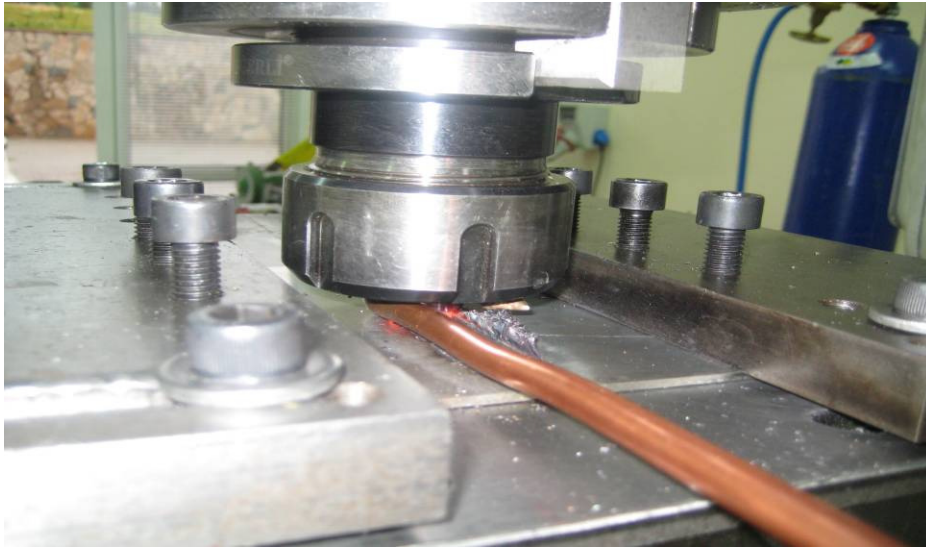
Parametrelerin karşılaştırılabilmesi için farklı eşleştirmeler ile 29 adet deney yapılmıştır. 5 farklı devir sayısı (600 - 750 - 950 - 1180 - 1500 min⁻¹), 4 farklı takım açısı (0 - 1 - 1,5 - 2°) ve 3 farklı ilerleme hızı (37,5 - 47,5 - 60 mm/min) ile baskı kuvveti (5 - 7 - 9 kN) değerleri seçilmiştir. Bu değerler, yapılan ön deneylerdeki sonuçlara bağlı olarak belirlenmiştir.

3.6 Deney Düzeneği İle İlgili Karşılaşılan Sorunlar ve Yaşanan Gelişmeler

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, önceden belirlenen parametrelere bağlı olarak deneylerin yapılmasına başlanmıştır. Öncelikli olarak yüksek ısı ve baskı kuvvetine karşı dayanıklı, farklı firmalardan alınan takım uçlarının, paslanmaz çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağına uygunluğu denenmiştir. Özellikle Karcan firmasından alınan farklı malzeme ve uç profiline sahip takımlar denenmiştir. Ön deneyler sırasında bu takımların çabuk kırılması ve uç profilinin deforme olması nedeniyle, alternatif takım uçları denenmeye başlanmıştır. Kullanılan takımlar karşılaştırıldığında, parmak freze saplarından yaptırılan takımların, diğer malzemelere göre daha dayanıklı ve ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Takım uç profili olarak ise üçgen profile sahip uçlu takımlarla düz silindirik uçlu takımlara göre daha sağlıklı kaynak yapabildiği gözlemlenmiştir. Ön ısıtma işlemi için oksii-asetilen üfleci kullanılarak ayrıca farklı ısıtma teknikleri denenmemiştir. Soğutma sistemi olarak da, dönen takım ucun etrafında duracak şekilde sabitlenen ve deney sırasında takıma basınçlı hava veren delikli bakır boru düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.7).



a



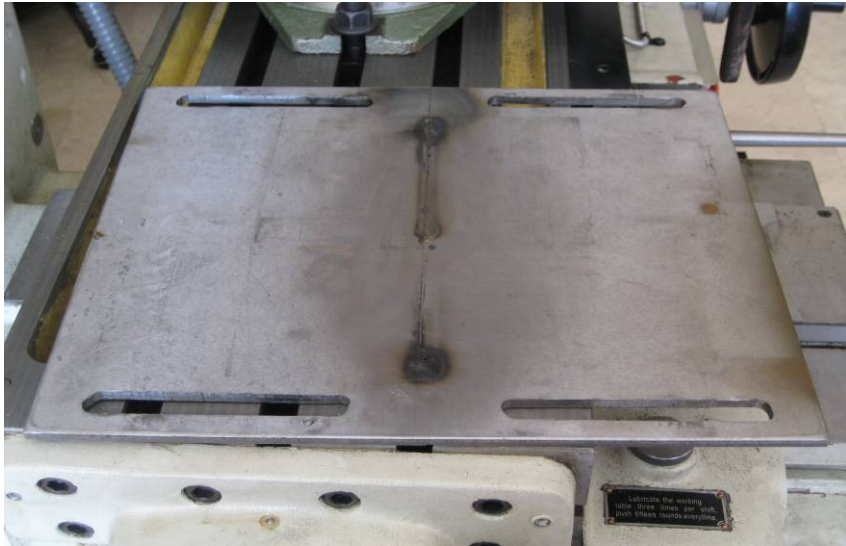
b

a) Soğutma borusunun gösterilmesi, b) Soğutma sistemi ile kaynağın yapılması anı
Şekil 3.7 Deneylede kullanılan soğutma sistemi

Deneylede sırasında en çok karşılaşılan sorun, üzerine numunelerin bağlandığı 4mm sac levhanın deforme olmasıydı (Şekil 3.8). Ön ısıtmada ortaya çıkan ısı ve deney esnasında sürtünmeden meydana gelen ısı ile termo-elemanların kablosu için açılan ve kalınlığı bu bölgede azalan levhada ısı genleşmeden kaynaklanan deformasyonlar meydana gelmiştir. Ayrıca deneylede sırasında fark edilemeyen dalma miktarları yüzünden takım ucun levhaya teması ile yüzeysel bozulmalar oluşmuştur. Bu nedenle aynı ölçülerde 8mm kalınlığında yeni bir levha üzerinde çalışmalar devam etmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8 Deforme olan sac levhanın görüntüsü



Şekil 3.9 Değiştirilen sac levhanın görüntüsü

4. BULGULAR

Yapılan 16 adet ön deney, yapılacak olan asıl deneyler için ilerleme hızı, dönme devri, uç profili, baskı kuvveti ve takım açısı parametreleri ile ilgili ön bilgi edinilmesini ve asıl deneyler için seçilecek parametrelerin belirlenmesini sağlamıştır.

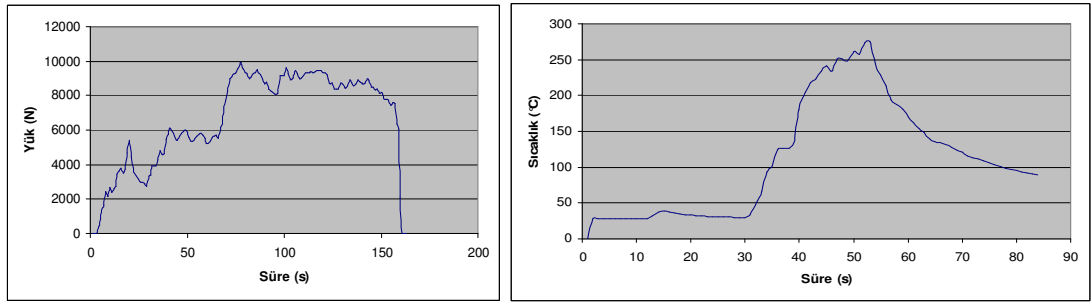
4.1 Birinci Aşama Ön Deneyler

Ön Deney No:1

Malzeme	: 8 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5,75 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Var
Ölçülen maks. sıcaklık	: 275°C
Takım daldırma miktarı	: 0,45 mm

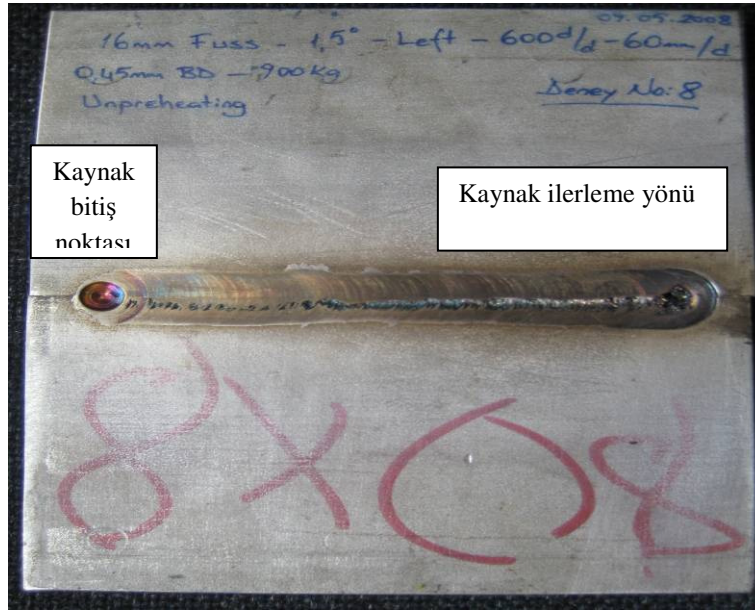
Yapılan İşlemler:

Kaynak için hazırlanan numunelerin tablaya sabitlenmesinin ardından, üzerlerindeki oksit tabakasının kaldırılması için zımparalama işlemi yapılmıştır. Isıtma düzeneği ile ön ısıtma işlemi uygulanıp, soğutma sistemi çalıştırılmıştır. Kaynak yapılacak numuneye açılmış başlangıç deliğine sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü bir şekilde daldırılması sağlanmıştır. Basma kuvvetinin 5,75 kN'a ulaştığı anda ucun kızardığı görülmüş kaynak işlemine başlanmıştır. Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ile sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.1'de görülmektedir. Kullanılan takım ucu pimi yüksekliğinin 2,5 mm olması ve numune kalınlığının 8mm olması nedeniyle, kaynak dikişi numunelerin üst yüzeyinde meydana gelmiştir.



a

b



c

Şekil 4.1 600 min^{-1} , 60 mm/min , $5,75 \text{ kN}$, $1,5^\circ$ ve $0,45 \text{ mm}$ takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) görünümü

Deney Sonucu: Deney numunesinin kalın olması sebebiyle, numune yeterli sıcaklığa ulaşmadan, takım ucunun kızardığı fark edilmiş ve tablaya ilerleme hareketi verilerek kaynak işlemine başlanmıştır. Kaynağın başarısız olmasının sebebi olarak, numunenin yeterli ısıya ulaşmadan kaynağa başlanması fikrine varılmıştır. Bu nedenle takım ucunun dalma miktarının artırılmasına karar verilmiştir.

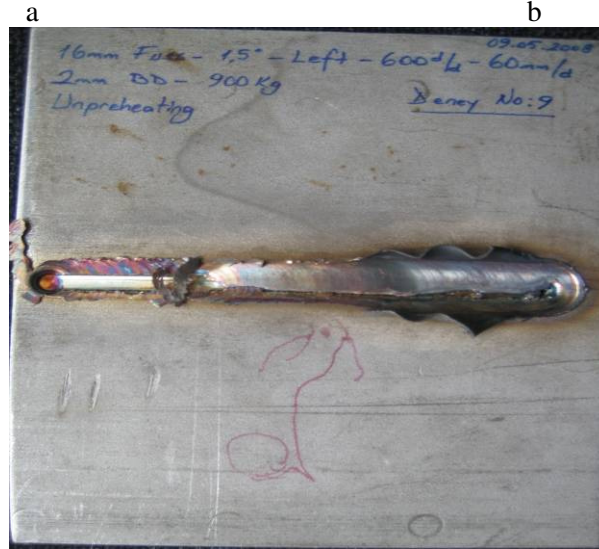
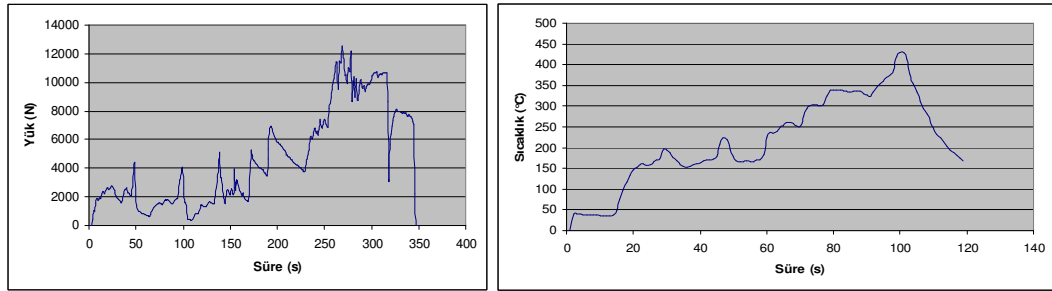
Ön Deney No:2

Malzeme	: 8 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min^{-1} , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 6 kN
Takım açısı	: $1,5^\circ$

Ön ısıtma işlemi : Var
 Ölçülen maks. sıcaklık : 430°C
 Takım daldırma miktarı : 2 mm

Yapılan İşlemler:

Kaynak için hazırlanan numunelerin tablaya sabitlenmesinin ardından, üzerlerindeki oksit tabakasının kaldırılması için zımparalama işlemi yapılmıştır. Isıtma düzeneği ile ön ısıtma işlemi uygulanıp, soğutma sistemi çalıştırılmıştır. Kaynak yapılacak numuneye açılmış başlangıç deliğine sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü bir şekilde daldırılması sağlanmıştır. Basma kuvvetinin 6 kN'a ulaştığı anda ucun kızardığı görülmüş kaynak işlemine başlanmıştır. Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ile sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.2'de görülmektedir. Kullanılan takım ucu pimi yüksekliğinin 2,5 mm olması ve numune kalınlığının 8 mm olması nedeniyle, kaynak dikişi numunelerin üst yüzeyinde meydana gelmiştir.



c

Şekil 4.2 600 min⁻¹, 60 mm/min, 6 kN, 1,5° ve 2 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) görünümü

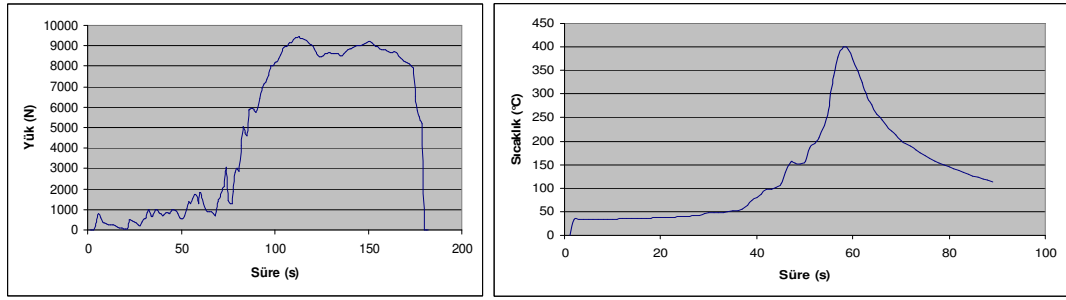
Deney Sonucu: Kaynağın başarısız olduğu gözlemlenmiştir. Malzemenin kalın olması, dalma miktarının artırılmasıyla yeterli sıcaklığa ulaşılmasına engel olmuştur. Bu nedenle, dalma miktarı yerine devir sayısının artırılmasına karar verilmiştir.

Ön Deney No:3

Malzeme	: 8 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 8 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 400°C
Takım daldırma miktarı	0,6 mm

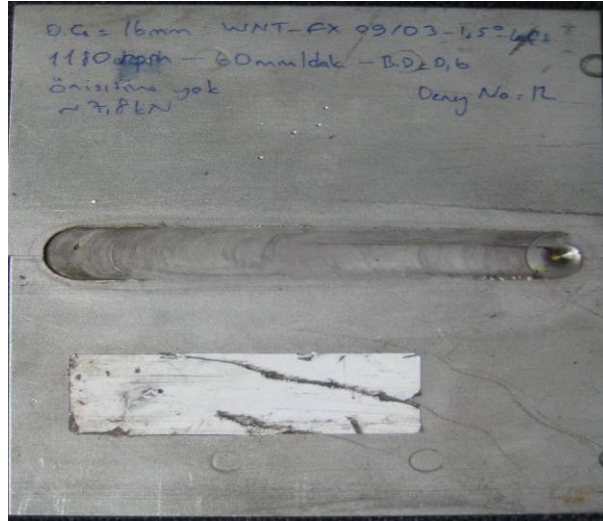
Yapılan İşlemler:

Kaynak için hazırlanan numunelerin tablaya sabitlenmesinin ardından, üzerlerindeki oksit tabakasının kaldırılması için zımparalama işlemi yapıp, soğutma sistemi çalıştırılmıştır. Kaynak yapılacak numuneye açılmış başlangıç deliğine sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü bir şekilde daldırılması sağlanmıştır. Basma kuvvetinin 8 kN'a ulaştığı anda ucun kızardığı görülmüş kaynak işlemine başlanmıştır. Kaynak esnasında oluşan baskı yükünün zamanla değişimi ile sıcaklığın zamanla değişimi Şekil 4.3'te görülmektedir. Kullanılan takım ucu pimi yüksekliğinin 2,5 mm olması ve numune kalınlığının 8 mm olması nedeniyle, kaynak dikişi numunelerin üst yüzeyinde meydana gelmiştir.



a

b



c

Şekil 4.3 1180 min^{-1} , 60 mm/min, 8 kN, 1,5° ve 0,6 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) görünümü

Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle dönme devrinin, malzemenin ısıtılmasında önemli bir etken olduğu anlaşılmıştır.

4.2 İkinci Aşama Ön Deneyle

Yapılan 1. aşama ön deney sonuçları, takım ucu devir sayısı ve dalma miktarı ile ilgili ön bilgi elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca sürtünme karıştırma kaynağı için numunelerin belirli bir ısıya ulaşmasının öneminin büyük olması sebebiyle, hem numunelerin daha fazla ısınması hem de takım uç piminin kaynak kesitindeki temas yüzeyinin numune kalınlığına olan oranının artması için, daha sonra yapılacak olan ön deneylerin 3 mm kalınlıktaki numuneler ile yapılmasına karar verilmiştir.

Ön Deney No:4

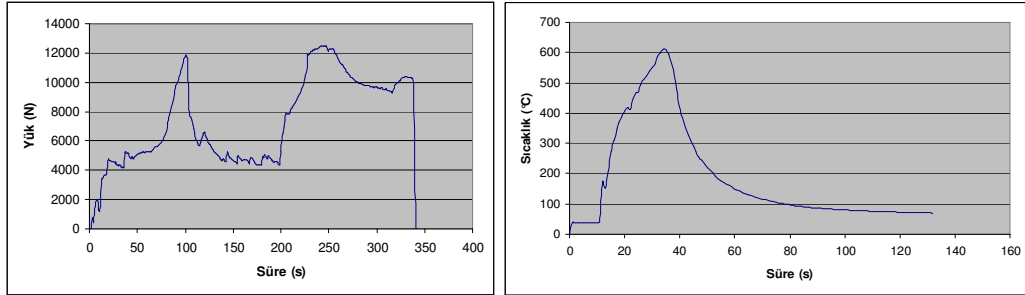
Malzeme : 3 mm 304

Kullanılan takım : 16 mm üçgen profilli takım

Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 47,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Var
Ölçülen maks. sıcaklık	: 611°C
Takım daldırma miktarı	: 0,6 mm

Yapılan İşlemler:

Diğer ön deneylerde olduğu gibi düzeneğin kurulmasının ardından, zımparalama işlemi yapıp, ön ısıtma ve soğutma sistemleri devreye alınmıştır. Başlangıç noktasına sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü olarak daldırma işlemi yapılmıştır. Takım ucunun, baskı kuvvetinin 5 kN'a çıktığı anda kızardığı görülmüş olup ilerleme hareketi verilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil.4.4).



a

b



c

d

Şekil 4.4 600 min⁻¹, 47,5 mm/min, 5kN, 0° ve 0,6 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

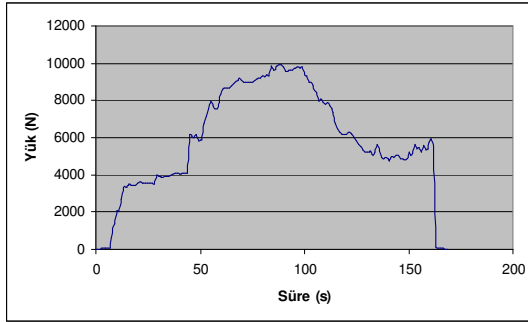
Deney Sonucu: Kök dikişinin gerçekleştiği görülmüştür. Omuz profilinin malzemeye fazla daldırılmasından dolayı çapak oluşumu gözlemlenmiştir.

Ön Deney No:5

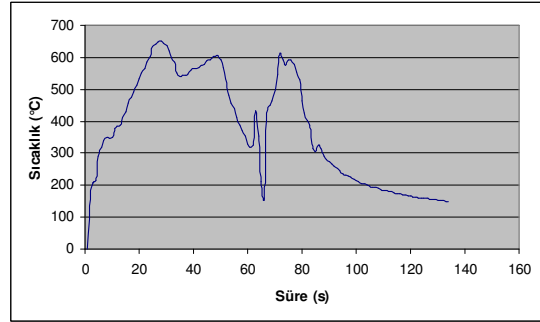
Malzeme	: 3 mm 304
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Var
Ölçülen maks. sıcaklık	: 650°C
Takım daldırma miktarı	: 0,25 mm

Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, zımparalama işlemi yapıp, ön ısıtma ve soğutma sistemleri devreye alınmıştır. Başlangıç noktasına sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü olarak daldırma işlemi yapılmıştır. Takım ucunun, baskı kuvvetinin 9 kN'a çıktığı anda kızardığı görülmüş olup ilerleme hareketi verilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.5).



a



b



c



d

Şekil 4.5 600 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , $1,5^\circ$ ve $0,25 \text{ mm}$ takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

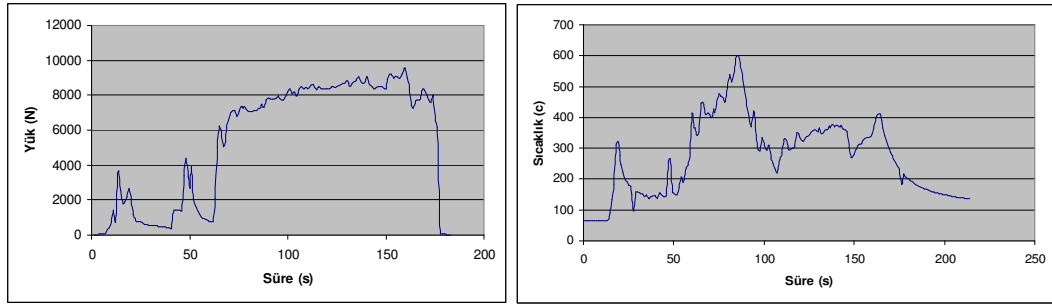
Deney Sonucu: Kaynak dikişinin sağlandığı görülmüştür. Ancak takım uç piminin kaynak başlangıcından 20 mm sonra kırıldığı anlaşılmış olup aynı parametrelerde bir deney daha yapılmasına karar verilmiştir.

Ön Deney No:6

Malzeme	: 3 mm 304
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min^{-1} , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: $1,5^\circ$
Ön ısıtma işlemi	: Var
Ölçülen maks. sıcaklık	: 602°C
Takım daldırma miktarı	: 1 mm

Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, zımparalama işlemi yapıldı, ön ısıtma ve soğutma sistemleri devreye alınmıştır. Başlangıç noktasına sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü olarak daldırma işlemi yapılmıştır. Takım ucunun, baskı kuvvetinin 9 kN'a çıktığı anda kızardığı görülmüş olup ilerleme hareketi verilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil.4.6).



a

b



c

d

Şekil 4.6 600 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Deney Sonucu: Kaynak üst ve kök dikişinin başarıyla sağlandığı görülmüştür.

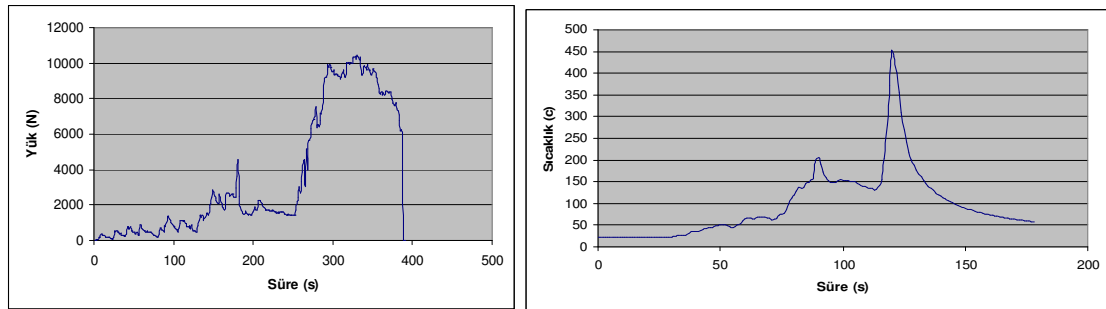
Ön Deney No:7

Malzeme : 3 mm 304
 Kullanılan takım : 16 mm üçgen profilli takım
 Devir sayısı, yönü : 600 min⁻¹, sol

İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deney başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 451°C
Takım daldırma miktarı	: 0,5 mm

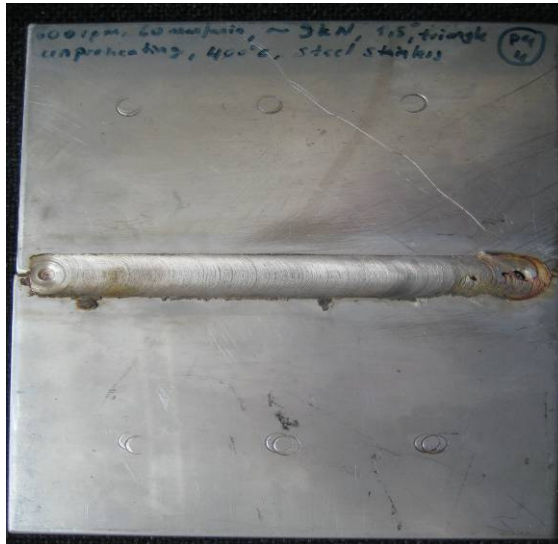
Yapılan işlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, zımparalama işlemi yapıp, ön ısıtma ve soğutma sistemleri devreye alınmıştır. Başlangıç noktasına sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü olarak daldırma işlemi yapılmıştır. Takım ucunun, baskı kuvvetinin 5 kN'a çıktığı anda kızardığı görülmüş olup ilerleme hareketi verilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.7).



a

b



c



d

Şekil 4.7 600 min⁻¹, 60 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 0,5 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

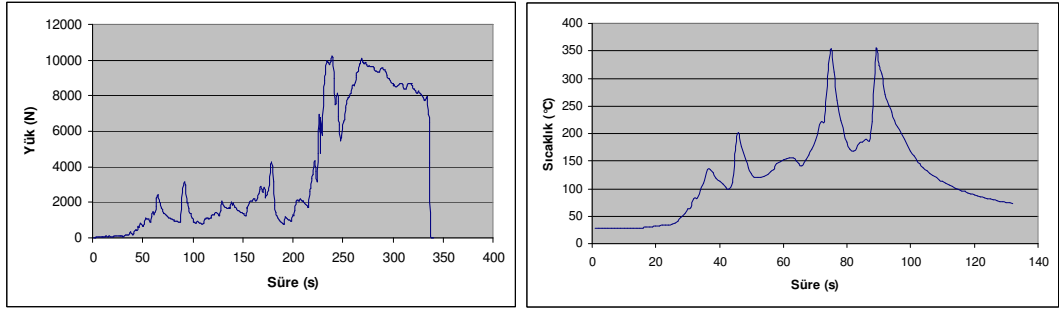
Deney Sonucu: Kaynak üst ve kök dikişinin başarıyla sağlandığı görülmüştür.

Ön Deney No:8

Malzeme	: 3 mm 304
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 354°C
Takım daldırma miktarı	: 0,85 mm

Yapılan işlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, zımparalama işlemi yapıp, ön ısıtma ve soğutma sistemleri devreye alınmıştır. Başlangıç noktasına sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü olarak daldırma işlemi yapılmıştır. Takım ucunun, baskı kuvvetinin 7 kN'a çıktığı anda kızardığı görülmüş olup ilerleme hareketi verilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.8).



a

b



c

d

Şekil 4.8 600 min^{-1} , 60 mm/min , 7 kN , $1,5^\circ$ ve $0,85 \text{ mm}$ takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

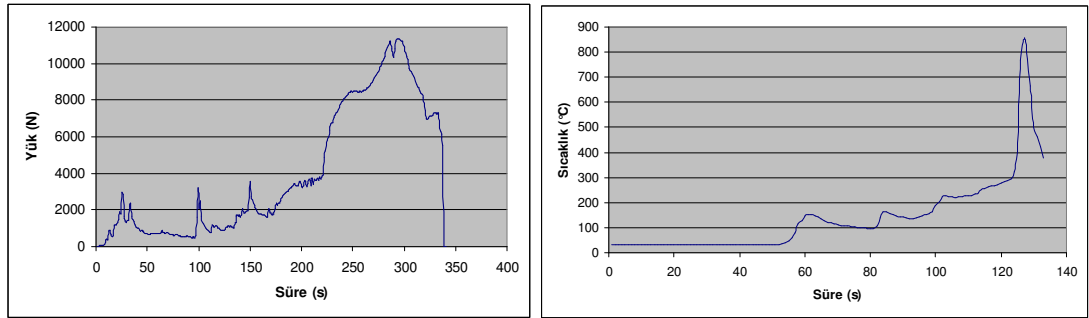
Deney Sonucu: Kaynak üst dikişinin sağlandığı görülmüştür. Ancak kaynak başlangıcında uç piminin kırılmasından dolayı kök dikişinin gerçekleşmediği anlaşılmıştır.

Ön Deney No:9

Malzeme	: 3 mm 304
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 950 min^{-1} , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: $6,5 \text{ kN}$
Takım açısı	: $0,5^\circ$
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 857°C
Takım daldırma miktarı	: $0,1 \text{ mm}$

Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, zımparalama işlemi yapılarak, ön ısıtma ve soğutma sistemleri devreye alınmıştır. Başlangıç noktasına sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü olarak daldırma işlemi yapılmıştır. Takım ucunun, baskı kuvvetinin 6,5 kN'a çıktığı anda kızardığı görülmüş olup ilerleme hareketi verilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.9).



a

b



c



d

Şekil 4.9 950 min⁻¹, 60 mm/min, 6,5 kN, 0,5° ve 0,1 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

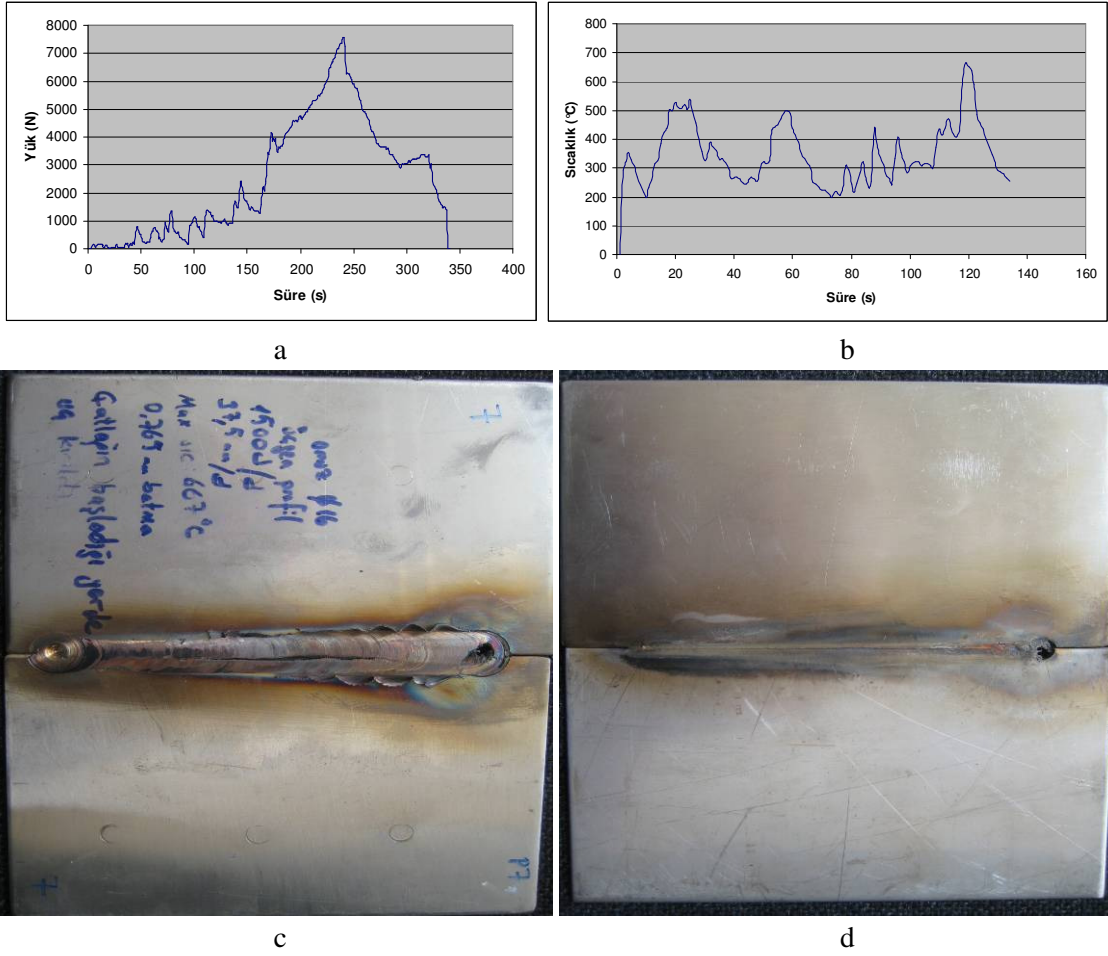
Deney Sonucu: Kaynak kök dikişinin sağlanmış olduğu görülmüştür. Ancak devir sayısına göre ilerleme hızının fazla olmasından dolayı, kaynak çizgisi boyunca yarılmaya olduğu gözlemlenmiştir.

Ön Deney No:10

Malzeme	: 3 mm 304
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1500 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 37,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Var
Ölçülen maks. sıcaklık	: 667°C
Takım daldırma miktarı	: 0,765 mm

Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, zımparalama işlemi yapıp, ön ısıtma ve soğutma sistemleri devreye alınmıştır. Başlangıç noktasına sıfırlanan takım ucuna dönme hareketi verilerek, numuneye kontrollü olarak daldırma işlemi yapılmıştır. Takım ucunun, baskı kuvvetinin 9 kN'a çıktığı anda kızardığı görülmüş olup ilerleme hareketi verilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 1500 min^{-1} , 37,5 mm/min, 5 kN, 0° ve 0,765 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Deney Sonucu: Kaynak başlangıç noktasından yaklaşık 30 mm sonra takım uç piminin kırıldığı anlaşılmış, bu yüzden kırılma noktasından itibaren, kaynak çizgisi boyunca yarık oluştuğu gözlemlenmiştir.

Yapılan birinci ve ikinci aşama ön deneyler sonucunda, soğutma sisteminin takım ucu dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. Ön ısıtma için kurulan düzeneğin, her deneyde ısıtmanın eşit olarak ayarlanamaması yüzünden ve baskı kuvvetinin ısıtmaya etkisinin daha sağlıklı araştırılabilmesi açısından asıl deneylerde ön ısıtma yapılmamasına karar verilmiştir.

Ön deneylerde elde edilen sonuçlar doğrultusunda, asıl deneylerde kullanılacak parametrelerin, devir sayısı için 600, 750, 950, 1180 ve 1500 min^{-1} , ilerleme hızı için ise 37,5 – 47,5 ve 60 mm/min olmasına karar verilmiştir. Yapılan ön deneylerde, ilerleme hareketinin verilmesinin zamanı olarak, takım ucunun sürtünen omuz bölgesinin

kızarmaya başladığı an olarak seçilmiştir. El yardımıyla tablanın yukarı – aşağı hareketi ile kontrol edilen baskı kuvvetinin, uç omuz bölgesinin kızardığı andaki değerleri kaydedilerek, asıl deneylerde kullanılacak baskı kuvveti parametrelerinin 5, 7 ve 9 kN olarak seçilmesini sağlamıştır.

Takım açısı parametrelerinin belirlenmesi için üçüncü aşama ön deneylerin yapılmasına karar verilmiştir.

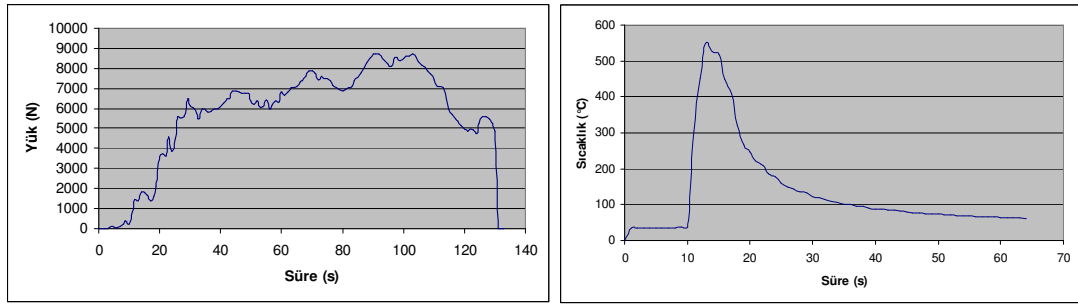
4.3 Üçüncü Aşama Ön Deneyler

Ön Deney No:11

Malzeme	: 2,5 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm WNT-FX 09/03 üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 548°C
Takım daldırma miktarı	: 0,655 mm

Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, numunelerin zımparalama işlemi yapılmıştır. Parametrelerin ayarlanmasının ardından soğutma sistemi çalıştırılarak kaynak işlemine geçilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.11).



a

b



c

d

Şekil 4.11 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 0,655 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

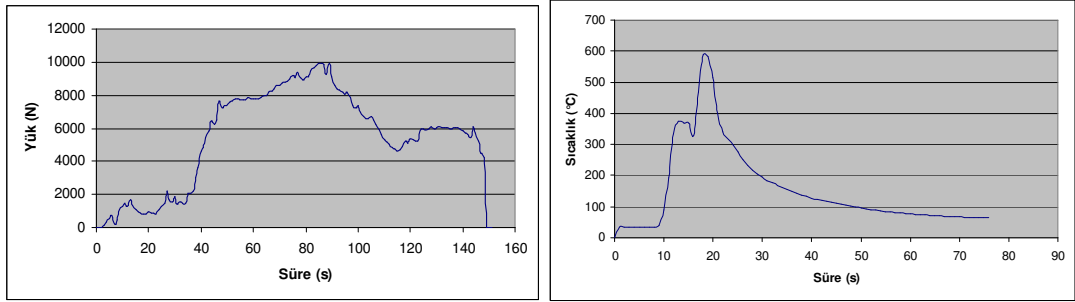
Deney Sonucu: Kaynak üst ve kök dikişinin başarıyla sağlandığı gözlemlenmiştir.

Ön Deney No:12

Malzeme	: 2,5 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm WNT-FX 09/03 üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7,8 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 590°C
Takım daldırma miktarı	: 0,6 mm

Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, numunelerin zımparalama işlemi yapılmıştır. Parametrelerin ayarlanmasının ardından soğutma sistemi çalıştırılarak kaynak işlemine geçilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.12).



a

b



Şekil 4.12 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 7,8 kN, 1,5° ve 0,6 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Deney Sonucu: Seçilen parametreler doğrultusunda, kaynak üst ve kök dikişinin başarıyla sağlandığı gözlemlenmiştir.

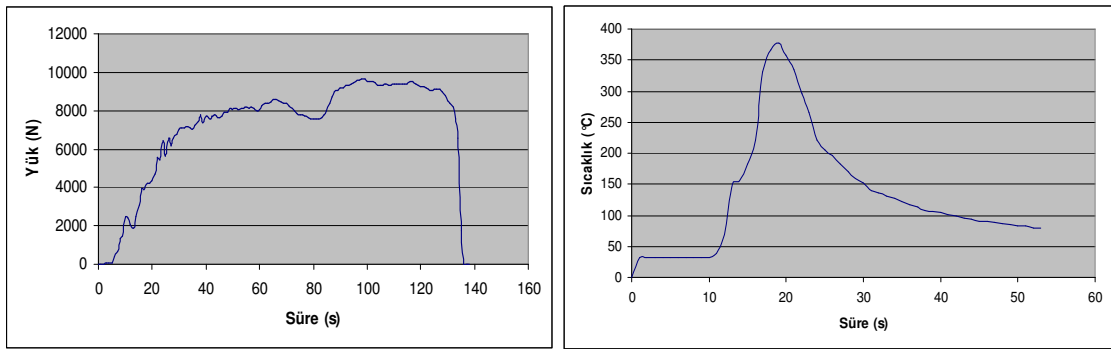
Ön Deney No:13

Malzeme	: 2,5 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm K30F TICN üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 6,55 kN

Takım açısı : 0°
 Ön ısıtma işlemi : Yok
 Ölçülen maks. sıcaklık : 377 °C
 Takım daldırma miktarı : 0,35 mm

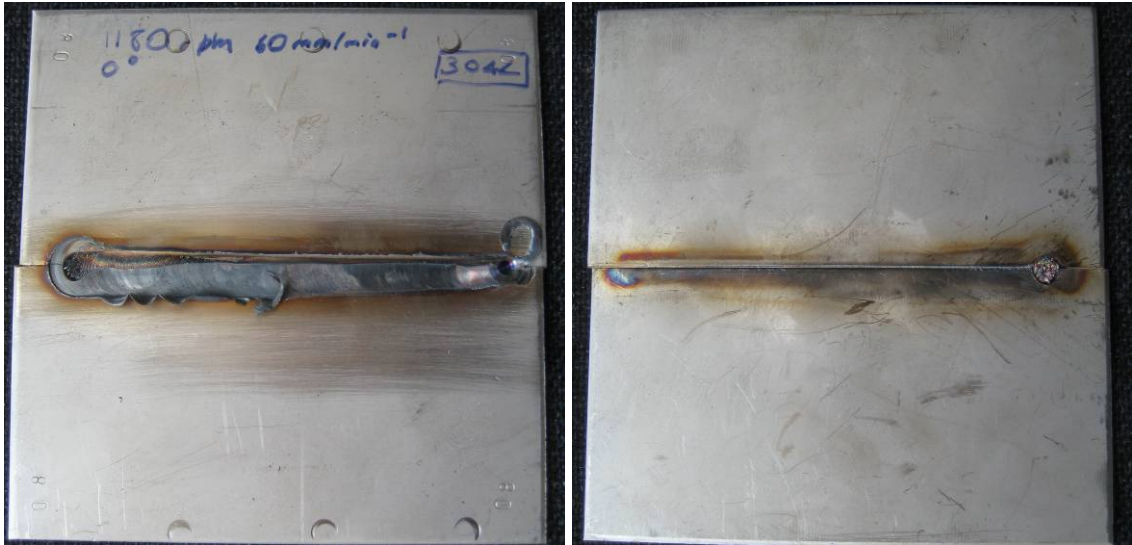
Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, numunelerin zımparalama işlemi yapılmıştır. Parametrelerin ayarlanmasının ardından soğutma sistemi çalıştırılarak kaynak işlemine geçilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.13).



a

b



c

d

Şekil 4.13 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 6,55 kN, 0° ve 0,35 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

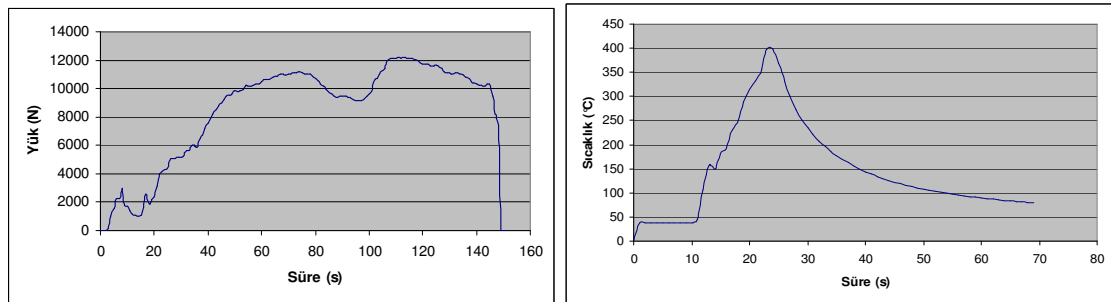
Deney Sonucu: Kaynak çizgisi boyunca yarıklar oluştuğu ve kök dikişinin sağlanmadığı gözlemlenmiştir.

Ön Deney No:14

Malzeme	: 2,5 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7,8 kN
Takım açısı	: 1°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 398°C
Takım daldırma miktarı	: 0,465 mm

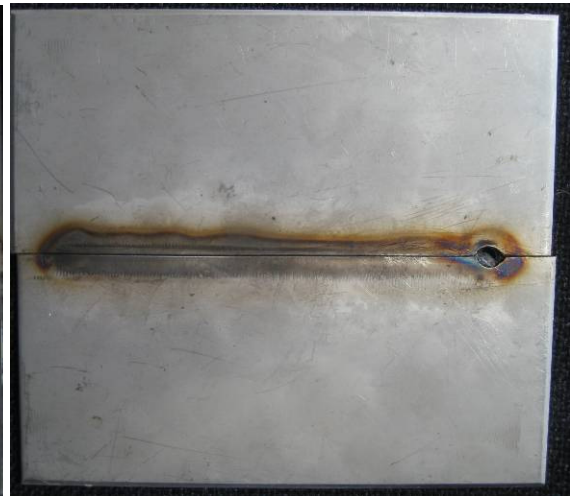
Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, numunelerin zımparalama işlemi yapılmıştır. Parametrelerin ayarlanmasının ardından soğutma sistemi çalıştırılarak kaynak işlemine geçilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.14).



a

b



c

d

Şekil 4.14 1180min⁻¹, 60 mm/min, 7,8 kN, 1° ve 0,465 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

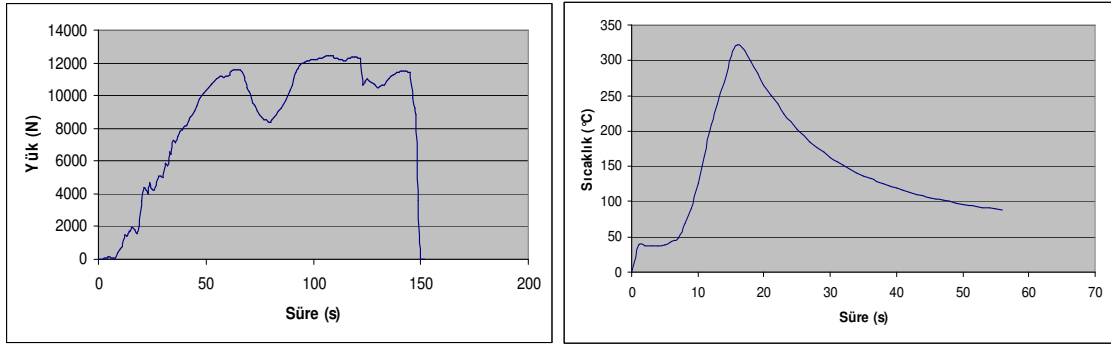
Deney Sonucu: 0° parametresi ile yapılan deneyde oluşan yarığın bu deneyde oluşmadığı gözlemlenmiştir. Ancak deney sonrasında uç profilinin deforme olduğunun fark edilmesi nedeniyle aynı parametrelerle bir deney daha yapılmasına karar verilmiştir.

Ön Deney No:15

Malzeme	: 2,5 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 1°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 323°C
Takım daldırma miktarı	: 0,72 mm

Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, numunelerin zımparalama işlemi yapılmıştır. Parametrelerin ayarlanmasının ardından soğutma sistemi çalıştırılarak kaynak işlemine geçilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.15).



a

b



Şekil 4.15 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 7 kN, 1° ve 0,72 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

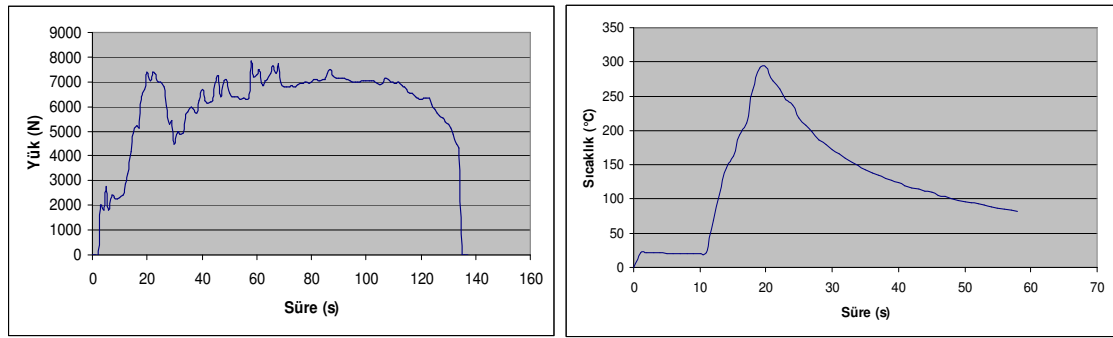
Deney Sonucu: İlerleme hareketinin verilmesinin ardından, baskı kuvvetinin 12kN değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Kaynak üst ve kök dikişinin sağlandığı görülmüştür.

Ön Deney No:16

Malzeme	: 2,5 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7,4 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 293 °C
Takım daldırma miktarı	: 1,45 mm

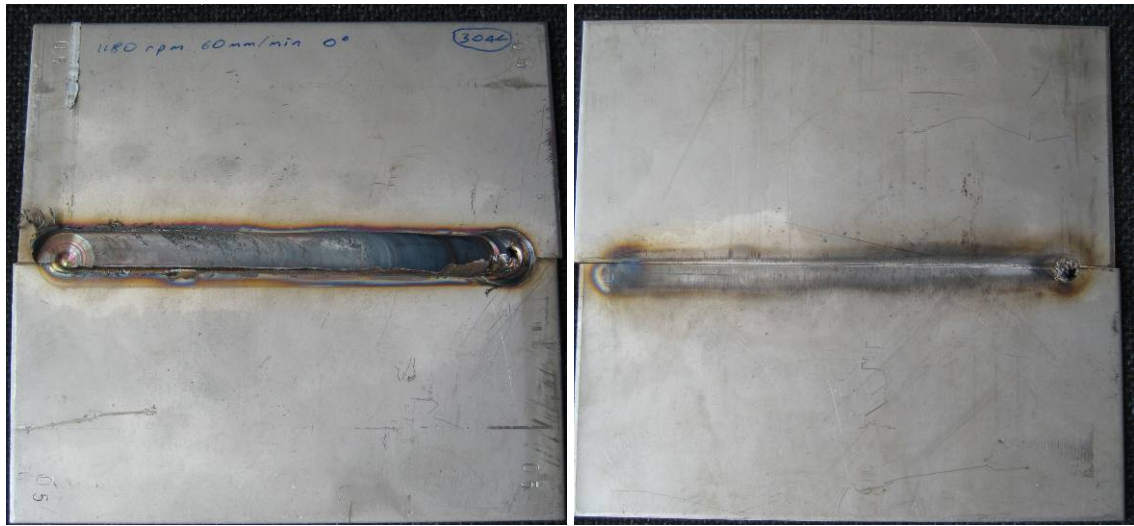
Yapılan İşlemler:

Deney düzeneğinin kurulmasının ardından, numunelerin zımparalama işlemi yapılmıştır. Parametrelerin ayarlanmasının ardından soğutma sistemi çalıştırılarak kaynak işlemine geçilmiştir. Kaynak sonucunda sıcaklığın ve baskı kuvvetinin zamana bağlı olarak değişimi kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.16).



a

b



c

d

Şekil 4.16 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 7,4 kN, 0° ve 1,45 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Deney Sonucu: Kaynak çizgisi boyunca yarı oluştuğu gözlemlenmiştir.

Üçüncü aşama ön deney sonuçları karşılaştırıldığında, 1180 min⁻¹ devir sayısı ve 60 mm/min ilerleme hızı parametrelerinde, 0° takım açısı ile yapılan deneylerin başarısız olduğu görülmüştür. Asıl deneylerde kullanılacak olan takım açısı parametrelerinin ise 0°, 1°, 1,5° ve 2° olmasına karar verilmiştir.

4.4 Asıl Deneyler

Ön deneyler sonucunda belirlenen ve Tablo 4.1’de gösterilen parametre aralıkları ile Tablo 4.2’de belirtilen eşleştirme listesi yapılarak, 29 adet deney yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan bu asıl deneylerle ilgili, her bir deneye ait seçilen parametreler, sıcaklığın zamana bağlı değişimini gösteren grafikler, baskı kuvvetinin zamana bağlı değişimini gösteren grafikler, kaynağı yapılan numunelerin üst ve kök dikişinin gösterildiği resimler ile kaynak sonucu hakkında kısa sonuç bilgisi bu bölümde verilmiştir. Deney sonuçlarına bağlı olarak yapılan karşılaştırmalar, tahribatlı ve tahribatsız muayene sonuçları ve içyapı incelemeleri 5. bölümdeki Deney Sonuçları başlığı altında belirtilmiştir.

Tablo 4.1 Deneylerde çalışılan parametreler

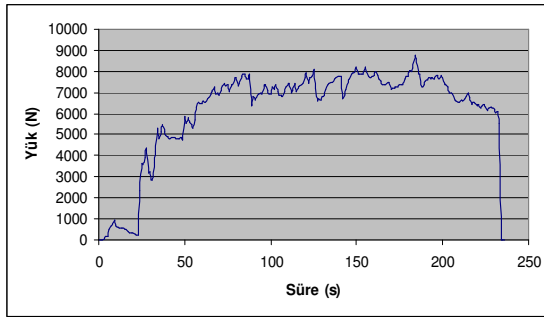
Devir Sayısı (min^{-1})	600	750	950	1180	1500
İlerleme Hızı (mm/min)	37,5	47,5	60		
Baskı Kuvveti (kN)	5	7	9		
Takım Açısı ($^{\circ}$)	0	1	1,5	2	

Tablo 4.2 Deneylere ait numaralar ve parametreler

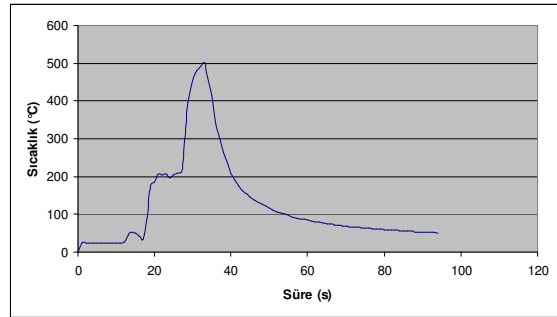
Deney No	Devir Sayısı (min⁻¹)	İlerleme Hızı (mm/min)	Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)
1	600	37,5	7	0
2	600	47,5	5	1,5
3	600	47,5	9	1
4	600	60	5	0
5	600	60	7	2
6	750	37,5	5	1,5
7	750	37,5	9	1,5
8	750	47,5	9	1,5
9	950	47,5	5	0
10	1180	60	7	1
11	1180	37,5	5	2
12	1180	37,5	9	0
13	1180	47,5	7	2
14	1500	37,5	7	1
15	1500	60	5	1,5
16	1500	60	7	0
17	1500	60	9	2
18	600	60	9	1,5
19	750	60	9	1,5
20	950	60	9	1,5
21	1180	60	9	1,5
22	1500	60	9	1,5
23	1180	37,5	9	1,5
24	1180	47,5	9	1,5
25	1180	60	5	1,5
26	1180	60	7	1,5
27	1180	60	9	1
28	1180	60	9	0
29	1180	60	9	2

Asıl Deney No:1

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 37,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 502°C
Takım daldırma miktarı	: 0,955 mm



a



b



c



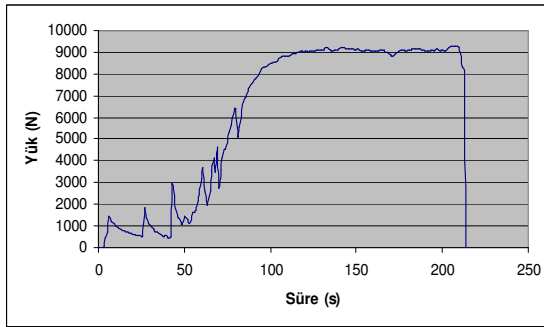
d

Şekil 4.17 600 min⁻¹, 37,5 mm/min, 7 kN, 0° ve 0,955 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü.

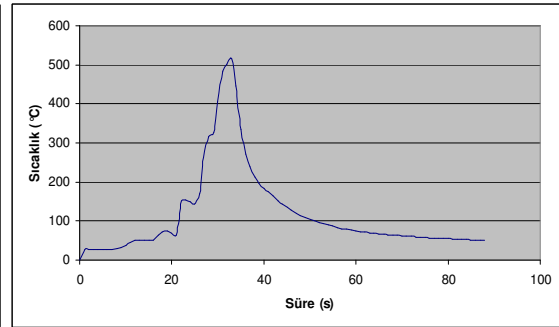
Deney Sonucu: Kaynak bölgesinde yarık oluştuğu ve dikişin başarısız olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.17).

Asıl Deney No:2

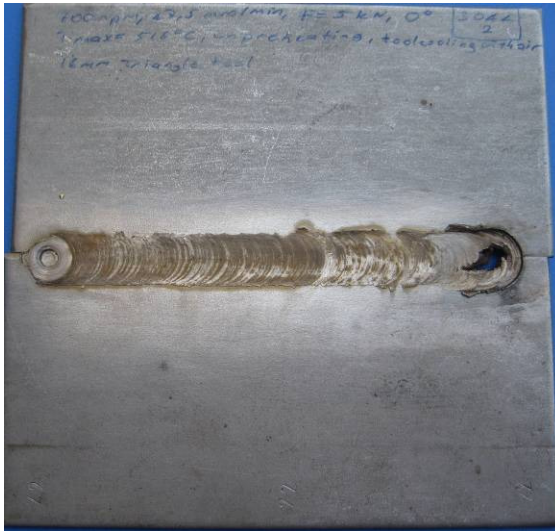
Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 47,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 516°C
Takım daldırma miktarı	: 1 mm



a



b



c



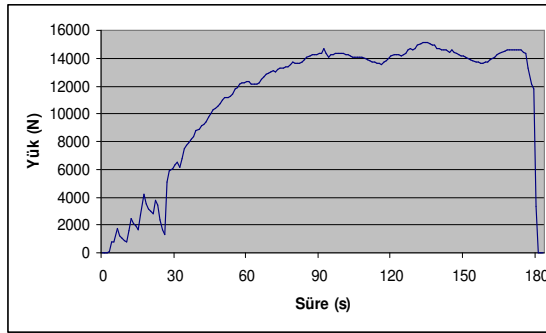
d

Şekil 4.18 600 min⁻¹, 47,5 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 1 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

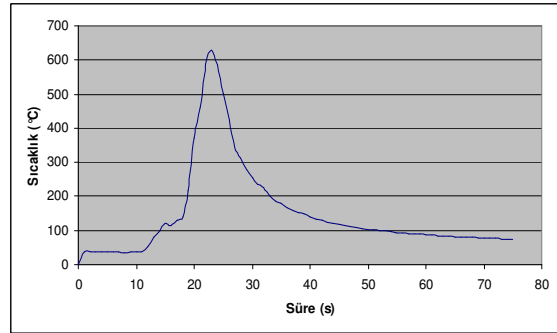
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.18).

Asıl Deney No:3

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 47,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 628°C
Takım daldırma miktarı	: 1,25 mm



a



b



c



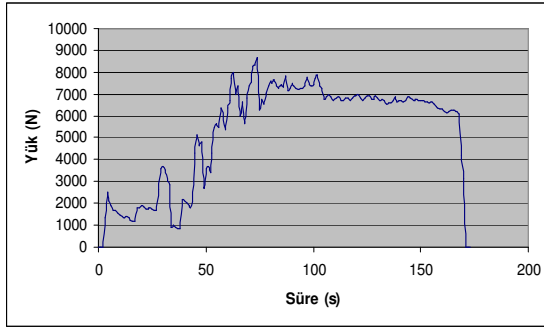
d

Şekil 4.19 600 min⁻¹, 47,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,2mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

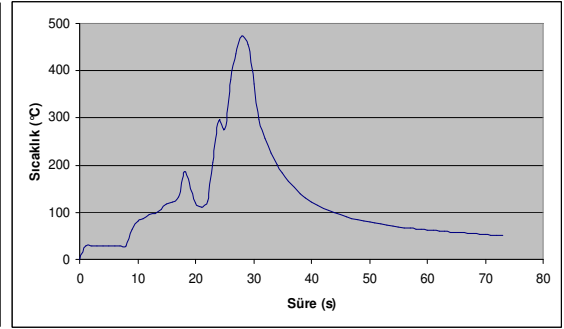
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.19).

Asıl Deney No:4

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 474°C
Takım daldırma miktarı	: 0,555 mm



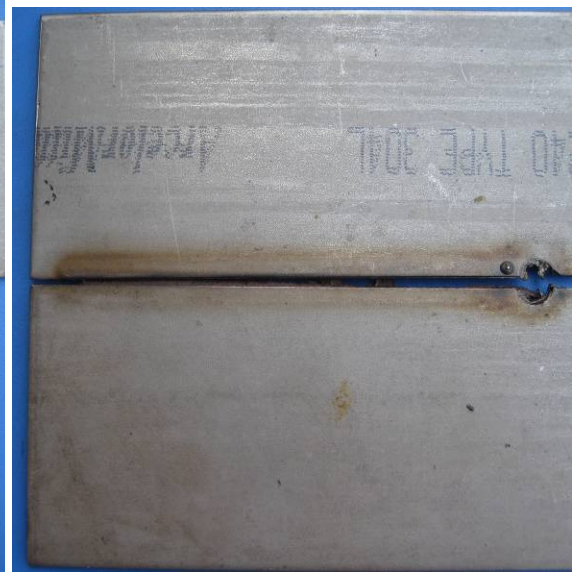
a



b



c



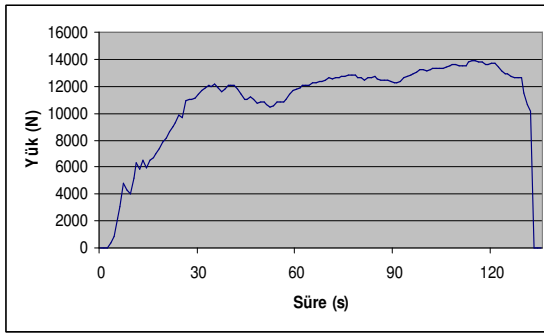
d

Şekil 4.20 600 min⁻¹, 60 mm/min, 5 kN, 0° ve 0,555 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

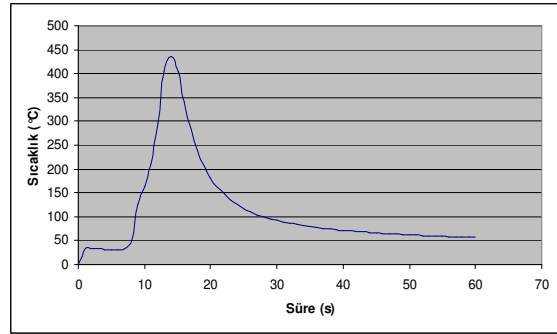
Deney Sonucu: Düşük devir sayısına bağlı olarak ilerleme hızının yüksek olması sebebiyle kaynak dikişi gerçekleşmemiştir (Şekil 4.20).

Asıl Deney No:5

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 2°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 436°C
Takım daldırma miktarı	: 1 mm



a



b



c



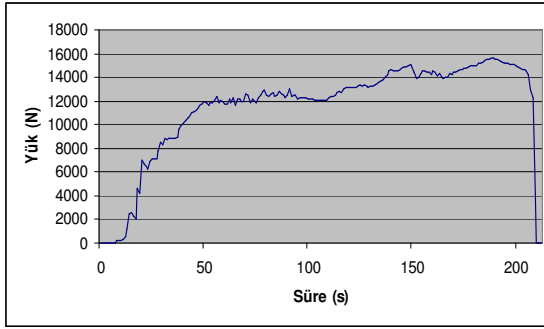
d

Şekil 4.21 600 min⁻¹, 60 mm/min, 7 kN, 2° ve 1mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

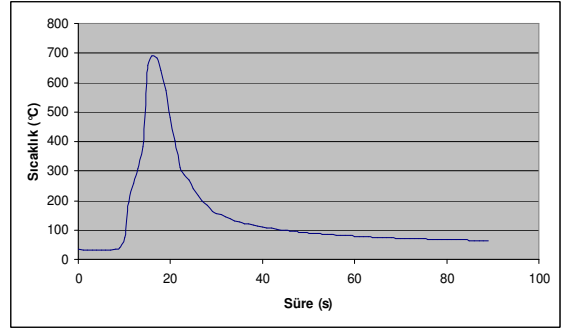
Deney Sonucu: Kaynağın başarıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.21).

Asıl Deney No:6

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 750 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 37,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 691°C
Takım daldırma miktarı	: 1,255 mm



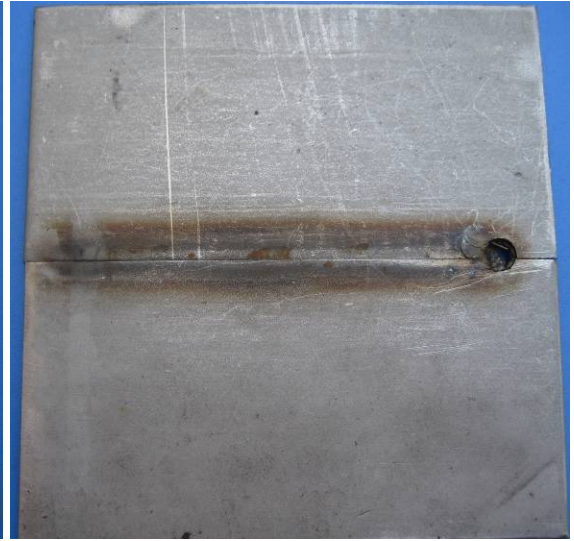
a



b



c



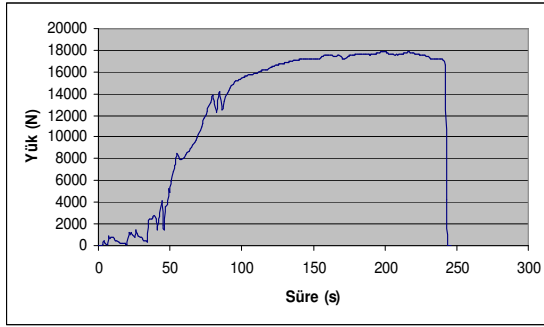
d

Şekil 4.22 750 min⁻¹, 37,5 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 1,255 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

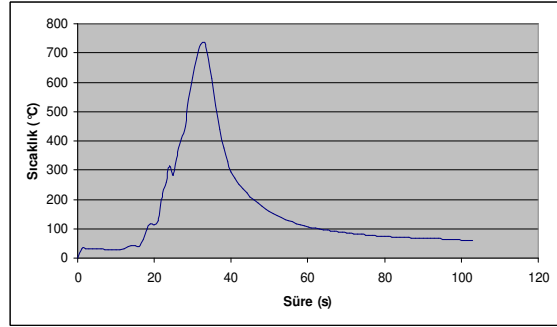
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.22).

Asıl Deney No:7

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 750 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 37,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 737°C
Takım daldırma miktarı	: 1,25 mm



a



b



c



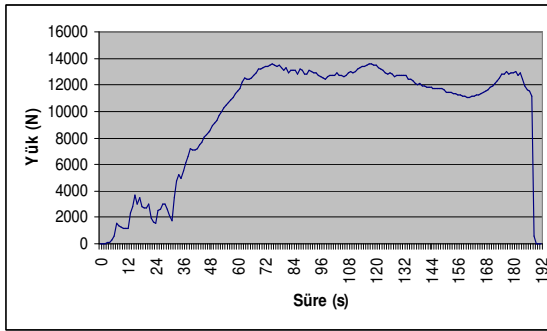
d

Şekil 4.23 750min⁻¹, 37,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,25 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görüntüsü

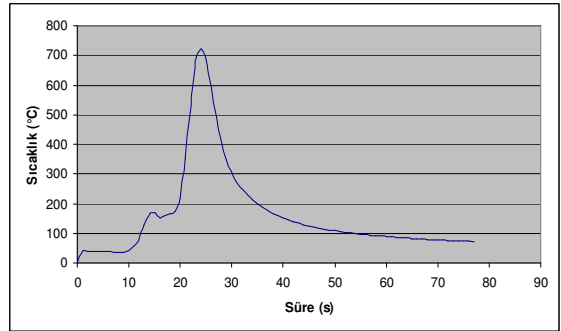
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.23).

Asıl Deney No:8

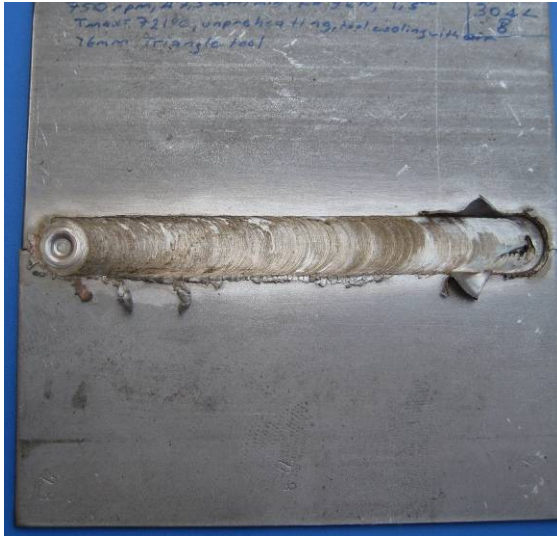
Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 750 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 47,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 721°C
Takım daldırma miktarı	: 0,78 mm



a



b



c



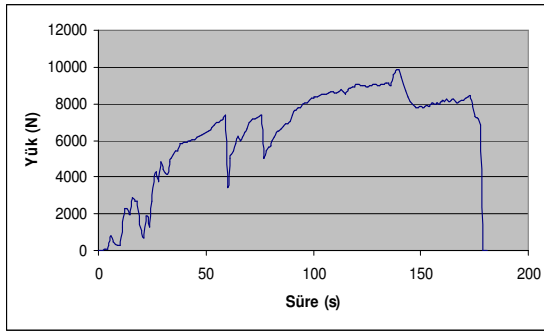
d

Şekil 4.24 750 min⁻¹, 47,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,78 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

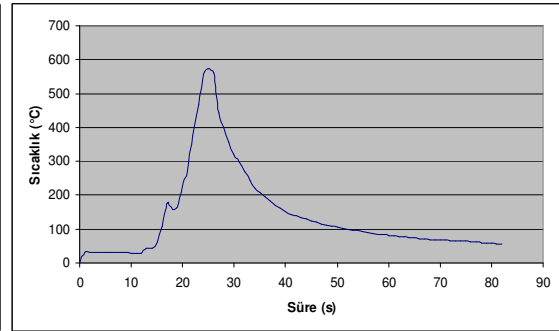
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.24).

Asıl Deney No:9

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 950 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 47,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 573°C
Takım daldırma miktarı	: 0,625 mm



a



b



c



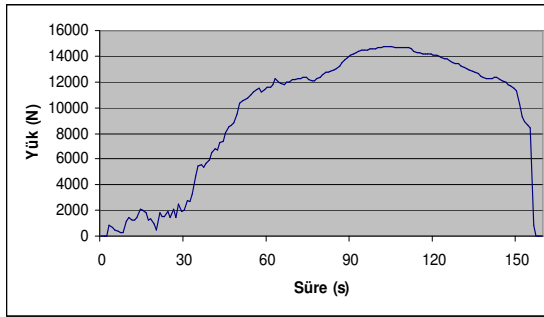
d

Şekil 4.25 950 min⁻¹, 47,5 mm/min, 5 kN, 0° ve 0,625 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

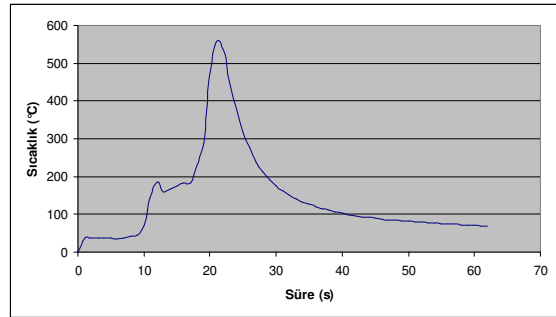
Deney Sonucu: Kaynak başlangıcında yarık oluştuğu fark edilerek, kaynak sırasında baskı kuvveti artırılmış ve yarığın giderilmesi sağlanmıştır (Şekil 4.25).

Asıl Deney No:10

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 1°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 558°C
Takım daldırma miktarı	: 0,78 mm



a



b



c



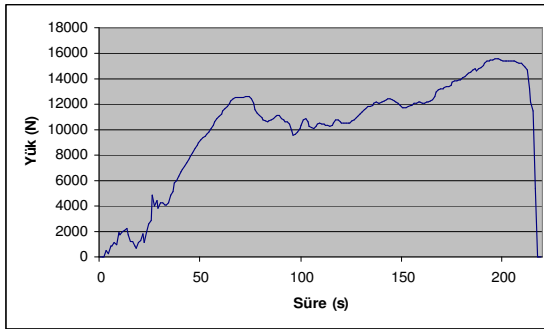
d

Şekil 4.26 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 7 kN, 1° ve 0,78 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

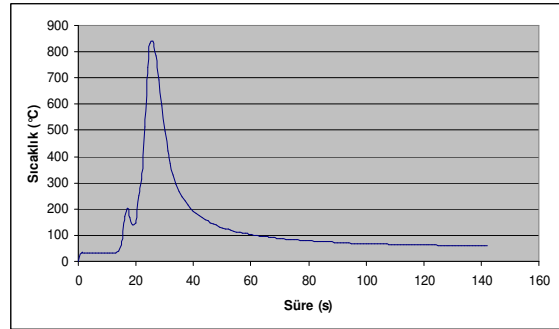
Deney Sonucu: Kaynak bölgesinde yarık oluştuğu ve kaynağın başarısız olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.26).

Asıl Deney No:11

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 37,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 2°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 840°C
Takım daldırma miktarı	: 1,05 mm



a



b



c



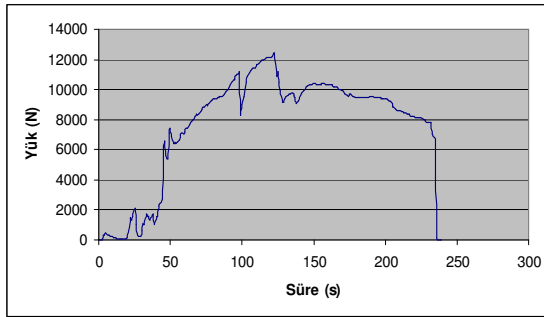
d

Şekil 4.27 1180 min⁻¹, 37,5 mm/min, 5 kN, 2° ve 1,05 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

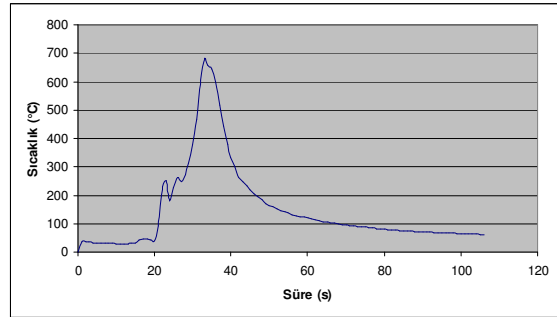
Deney Sonucu: Kaynağın son 35 mm'lik bölgesinde takım ucun yükselmesi nedeniyle yarık olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.27).

Asıl Deney No:12

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 37,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 680°C
Takım daldırma miktarı	: 0,96 mm



a



b



c



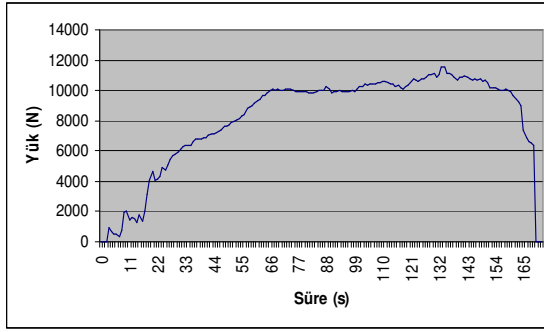
d

Şekil 4.28 1180 min⁻¹, 37,5 mm/min, 9 kN, 0° ve 0,96 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

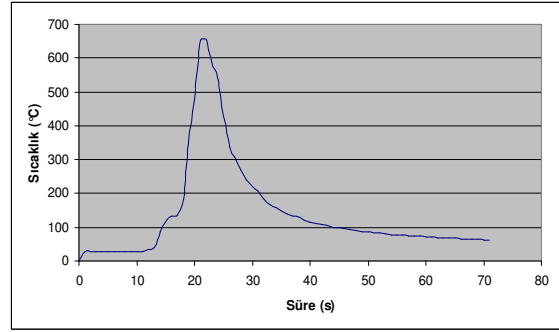
Deney Sonucu: Kaynak çizgisi boyunca yarı oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 4.28).

Asıl Deney No:13

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 47,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 2°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 653°C
Takım daldırma miktarı	: 0,8 mm



a



b



c



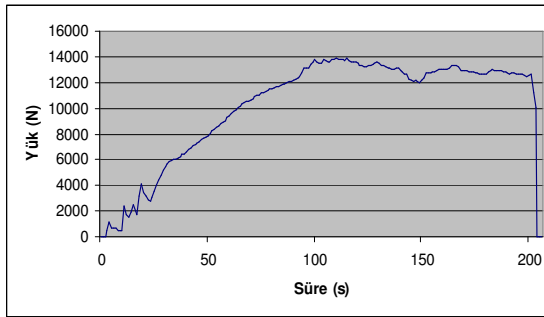
d

Şekil 4.29 1180 min⁻¹, 47,5 mm/min, 7 kN, 2° ve 0,8 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

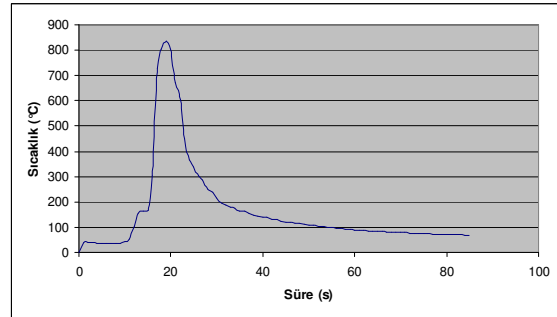
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.29).

Asıl Deney No:14

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1500 min^{-1} , sol
İlerleme hızı	: 37,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 1°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 837°C
Takım daldırma miktarı	: 0,86 mm



a



b



c



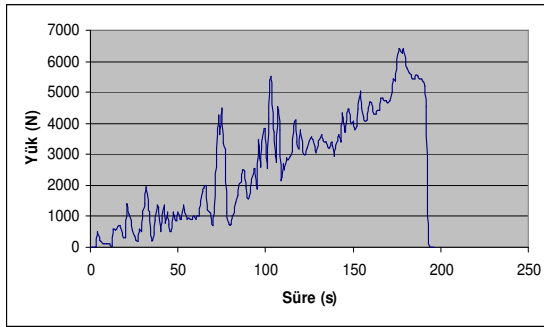
d

Şekil 4.30 1500 min^{-1} , $37,5 \text{ mm/min}$, 7 kN , 1° ve $0,86 \text{ mm}$ takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

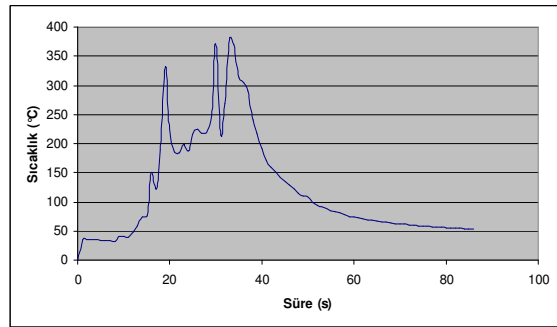
Deney Sonucu: Kaynak dikişinin gerçekleşmediği ve kaynak bölgesinde yarık olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.30).

Asıl Deney No:15

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1500 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 380°C
Takım daldırma miktarı	: 1,25 mm



a



b



c



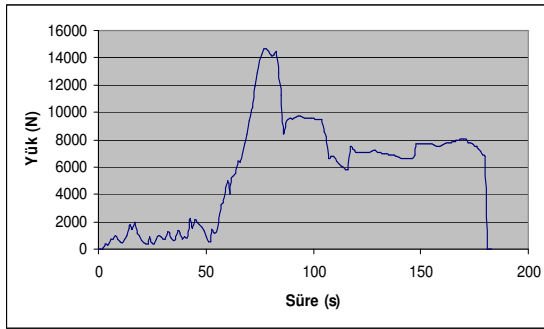
d

Şekil 4.31 1500 min⁻¹, 60 mm/min, 5 kN, 1° ve 1,25 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

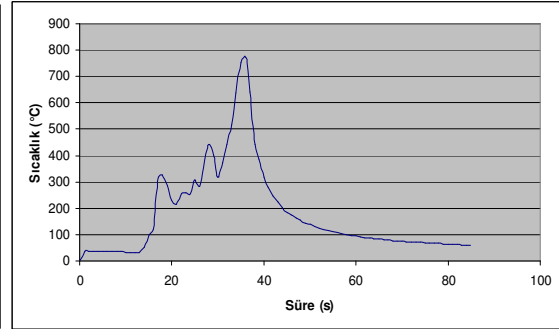
Deney Sonucu: Kaynak dikişinin gerçekleşmediği, çapak ve yarık olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.31).

Asıl Deney No:16

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1500 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 774°C
Takım daldırma miktarı	: 1,06 mm



a



b



c



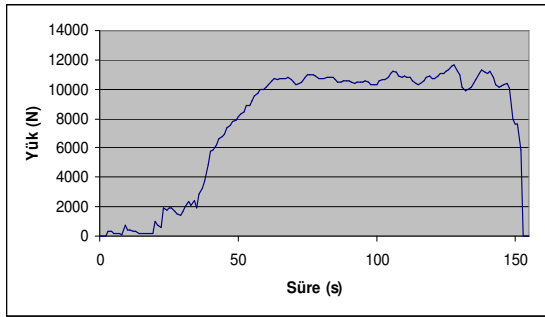
d

Şekil 4.32 1500 min⁻¹, 60 mm/min, 7 kN, 0° ve 1,06 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

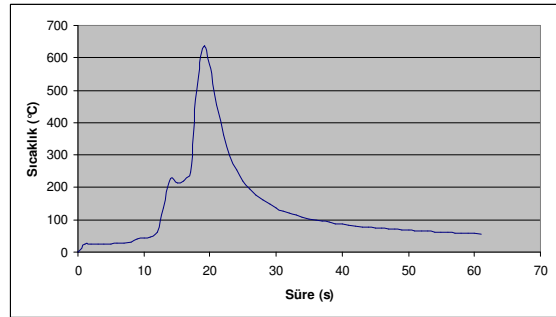
Deney Sonucu: Kaynak çizgisi boyunca dikişin sağlanmadığı ve yarık oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.32).

Asıl Deney No:17

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1500 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 2°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 636°C
Takım daldırma miktarı	: 0,835 mm



a



b



c



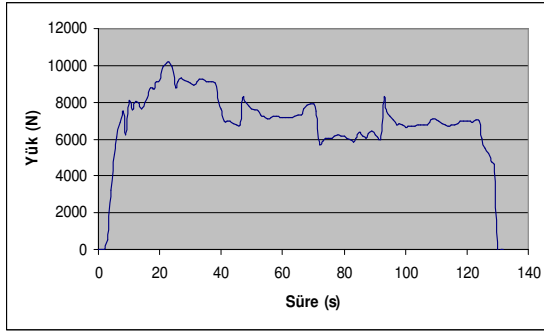
d

Şekil 4.33 1500 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 2° ve 0,835 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

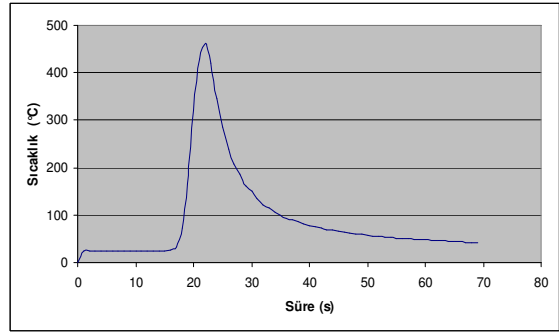
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.33).

Asıl Deney No:18

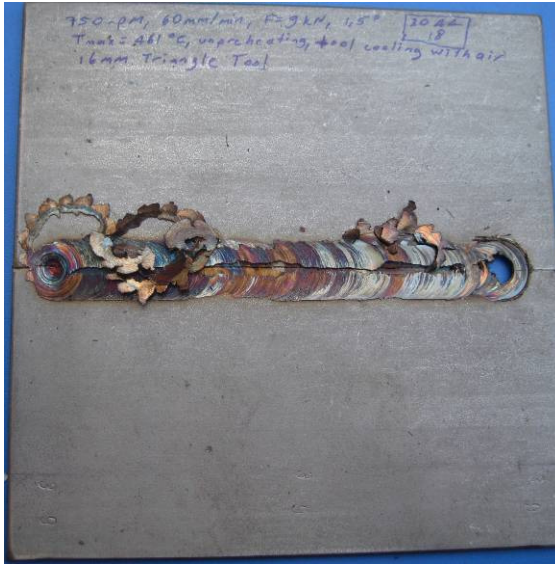
Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 600 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 461°C
Takım daldırma miktarı	: 0,985 mm



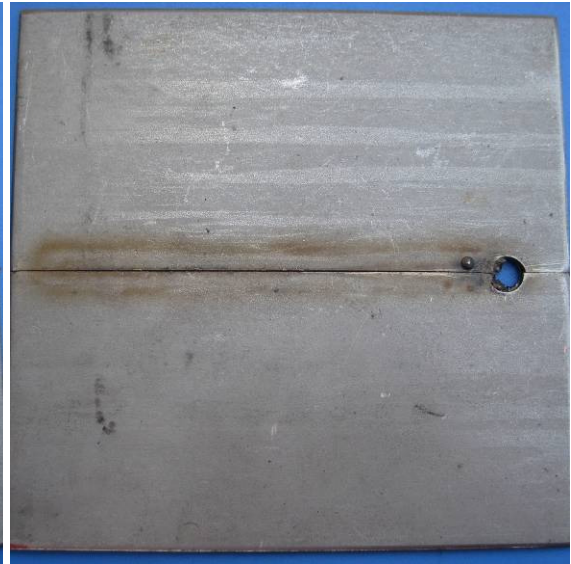
a



b



c



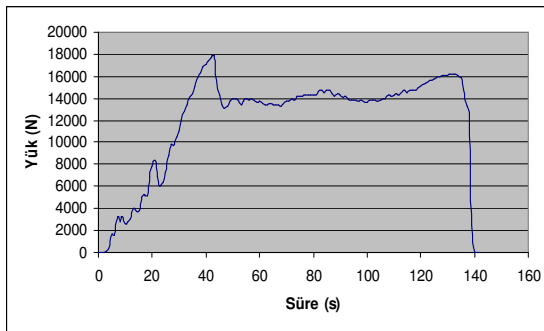
d

Şekil 4.34 600 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,985 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

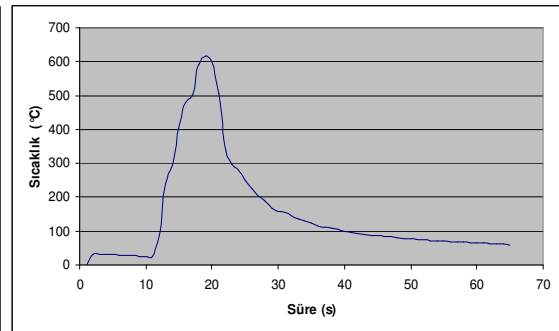
Deney Sonucu: Kaynak dikişinin gerçekleşmediği, çapak ve yarık oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.34).

Asıl Deney No:19

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 750 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 616°C
Takım daldırma miktarı	: 0,915 mm



a



b



c



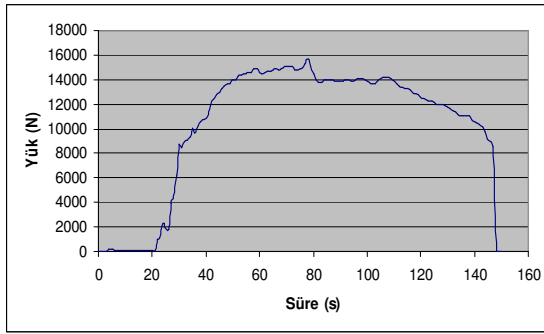
d

Şekil 4.35 750 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,915 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görüntümü

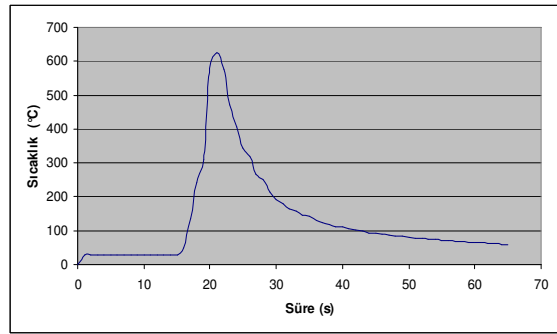
Deney Sonucu: Başlangıç bölgesinde yarık oluştuğu ancak daha sonra kapandığı ve kaynak üst ve kök dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.35).

Asıl Deney No:20

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 950 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 625°C
Takım daldırma miktarı	: 1,255 mm



a



b



c



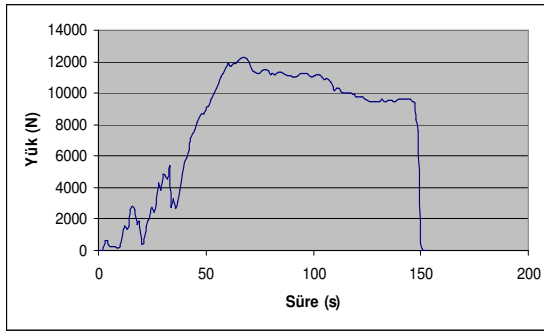
d

Şekil 4.36 950 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,255 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

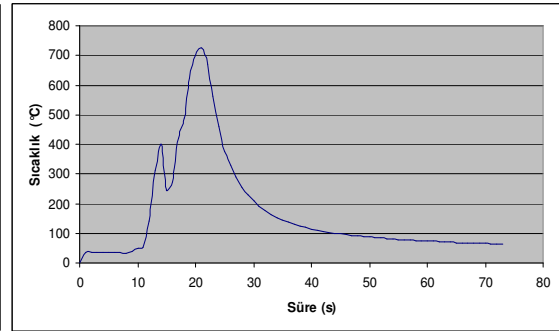
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.36).

Asıl Deney No:21

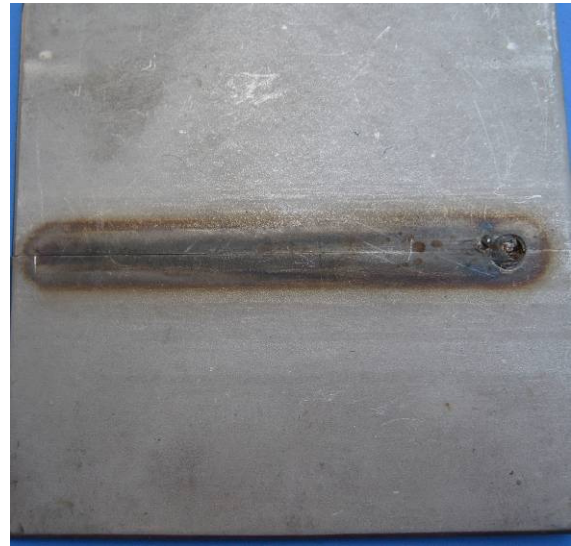
Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min^{-1} , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: $1,5^\circ$
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 725°C
Takım daldırma miktarı	: 1,45 mm



a



b

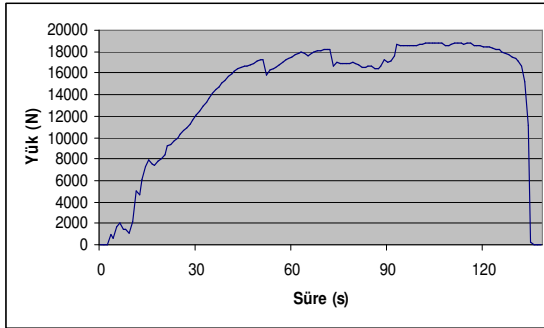


Şekil 4.37 1180 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , $1,5^\circ$ ve $1,45 \text{ mm}$ takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

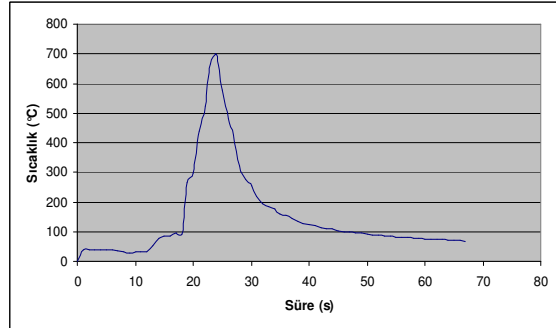
Deney Sonucu: Kaynak dikişinin başarıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.37).

Asıl Deney No:22

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1500 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 696°C
Takım daldırma miktarı	: 1 mm



a



b



c



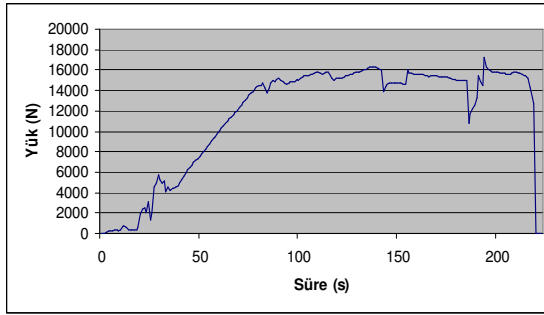
d

Şekil 4.38 1500 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

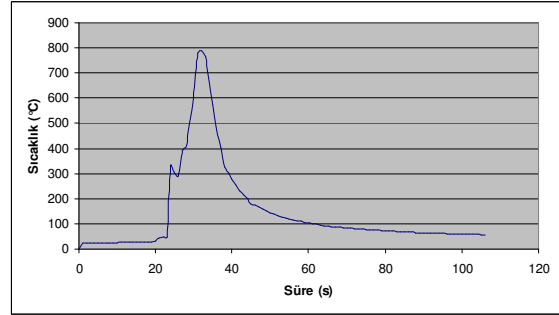
Deney Sonucu: Şekil 4.38’de görüldüğü gibi başlangıç noktasından itibaren 5 cm’lik bölümde kaynak dikişinin gerçekleştiği ancak takım ucun yükselmesi nedeniyle daha sonraki bölümde yarı oluştuğu gözlemlenmiştir.

Asıl Deney No:23

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 37,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 788°C
Takım daldırma miktarı	: 1,05 mm



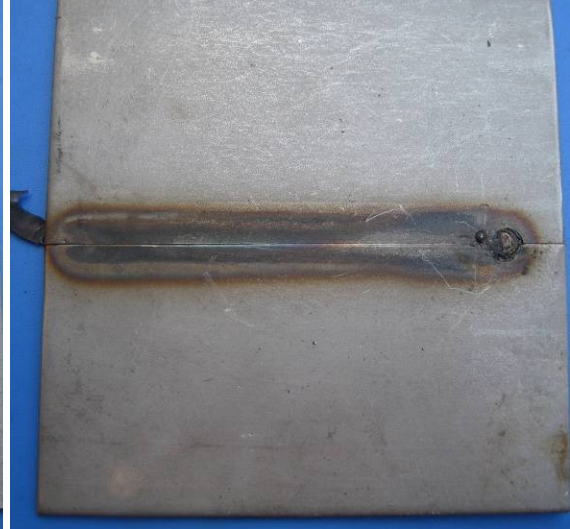
a



b



c



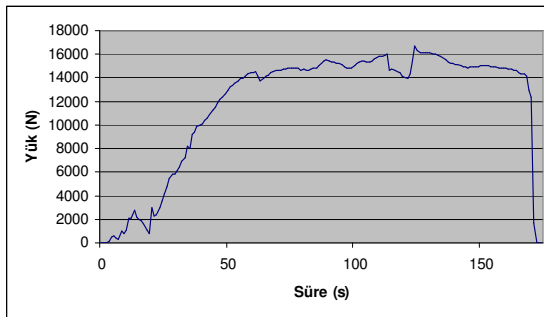
d

Şekil 4.39 1180 min⁻¹, 37,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 1,05 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

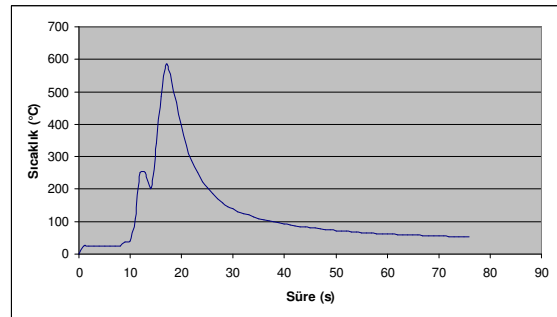
Deney Sonucu: Bir önceki deneyde de olduğu gibi, ilerleme esnasında takım ucun malzemeden uzaklaşması nedeniyle, kaynak dikişinin bozulduğu ve yarık oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.39).

Asıl Deney No:24

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 47,5 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 585°C
Takım daldırma miktarı	: 0,955 mm



a



b



c



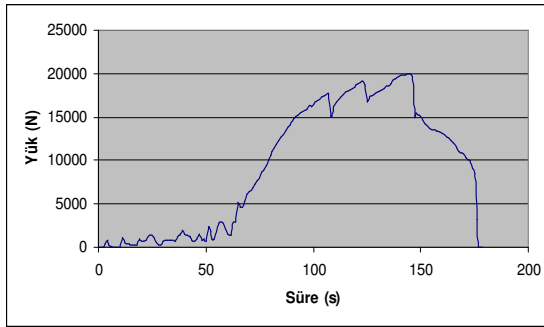
d

Şekil 4.40 1180 min⁻¹, 47,5 mm/min, 9 kN, 1,5° ve 0,955 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

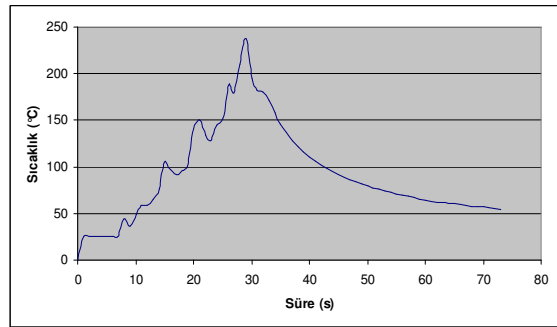
Deney Sonucu: Şekil 4.40'ta görüldüğü gibi kaynak çizgisinin orta bölümünde yarık oluşmaya başladığı fark edilerek, baskı kuvveti artırılmış ve yarığın küçülmesi sağlanmıştır.

Asıl Deney No:25

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 5 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 238°C
Takım daldırma miktarı	: 1,12 mm



a



b



c



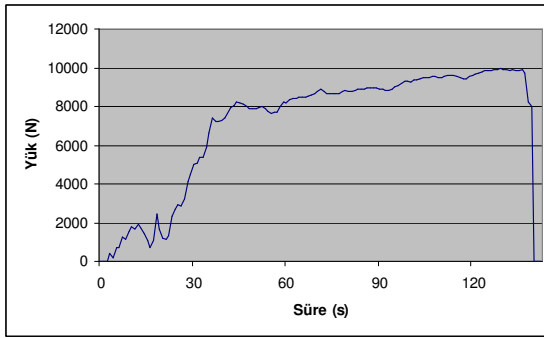
d

Şekil 4.41 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 5 kN, 1,5° ve 1,12 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

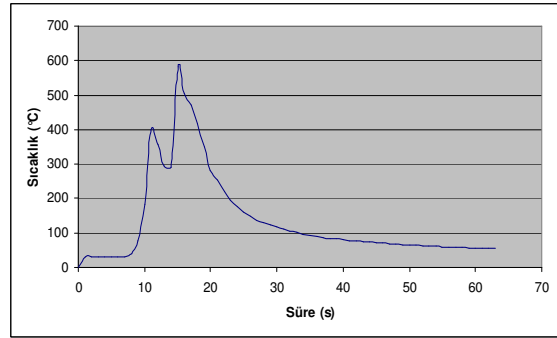
Deney Sonucu: Kaynak dikişinin gerçekleşmediği, çapak ve yarık oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.41).

Asıl Deney No:26

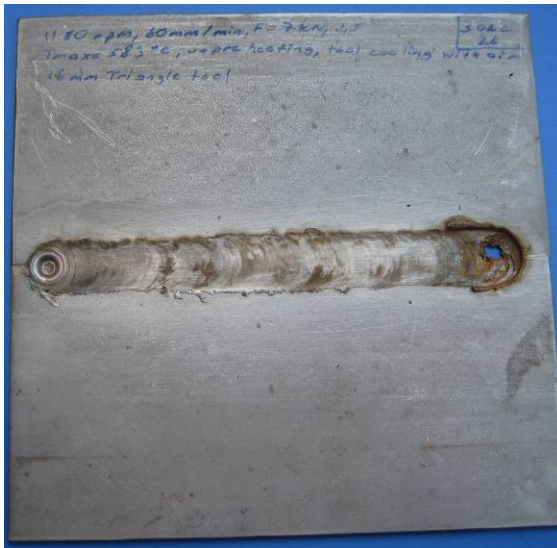
Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 7 kN
Takım açısı	: 1,5°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 583°C
Takım daldırma miktarı	: 1,215 mm



a



b



c



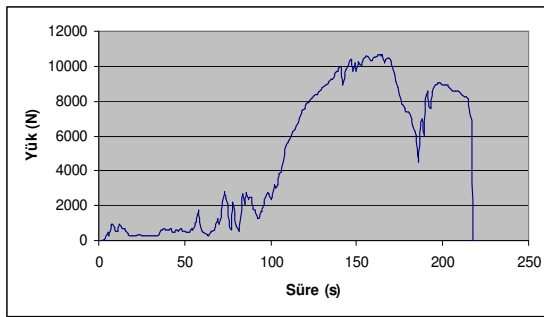
d

Şekil 4.42 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 7 kN, 1,5° ve 1,215 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

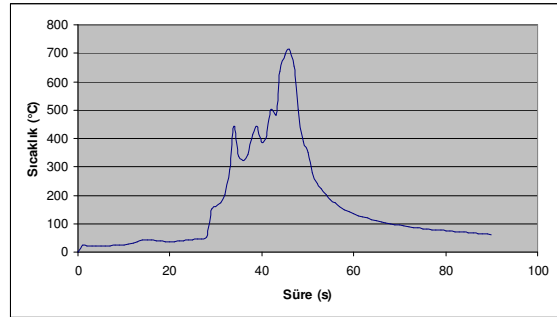
Deney Sonucu: Kaynağın başarılı olduğu, istenilen dikişin gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.42).

Asıl Deney No:27

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 0°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 715°C
Takım daldırma miktarı	: 0,985 mm



a



b



c



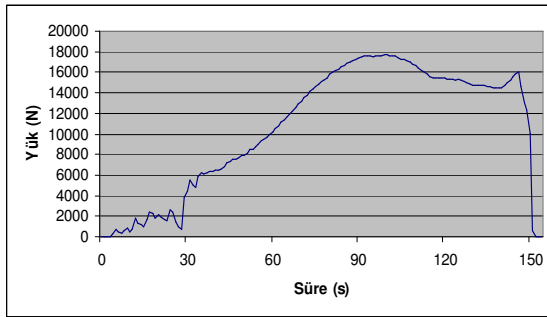
d

Şekil 4.43 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 0° ve 0,985 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

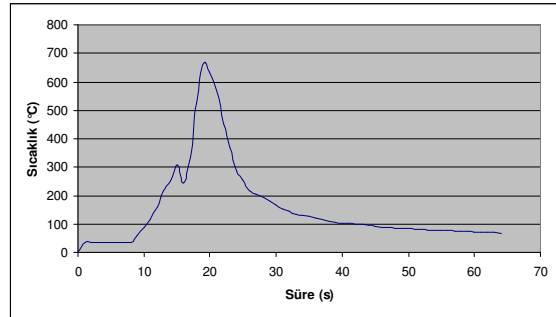
Deney Sonucu: Kaynak dikişinin gerçekleşmediği, kaynak boyunca yarık olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.43).

Asıl Deney No:28

Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 1°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 667°C
Takım daldırma miktarı	: 1,323 mm



a



b



c



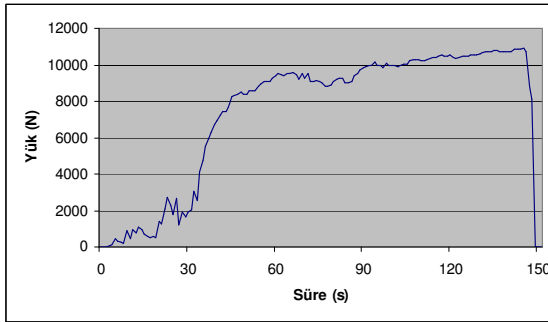
d

Şekil 4.44 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 1° ve 1,323 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

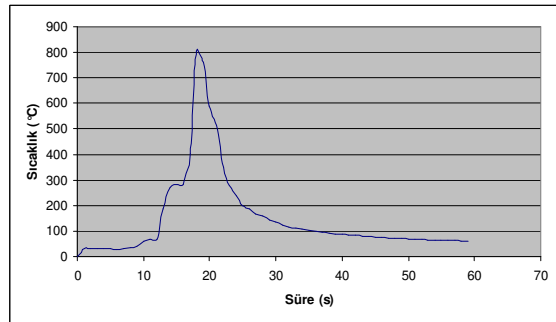
Deney Sonucu: Başlangıç bölgesinde çapak oluştuğu ancak kaynak dikişinin başarıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.44).

Asıl Deney No:29

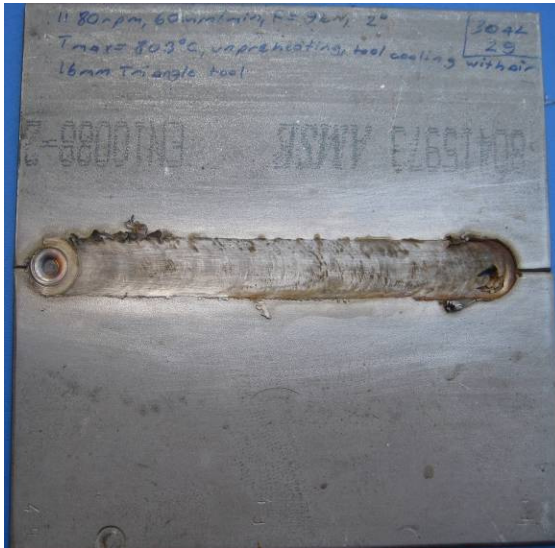
Malzeme	: 3 mm 304L
Kullanılan takım	: 16 mm üçgen profilli takım
Devir sayısı, yönü	: 1180 min ⁻¹ , sol
İlerleme hızı	: 60 mm/min
Deneye başlanılan yük	: 9 kN
Takım açısı	: 2°
Ön ısıtma işlemi	: Yok
Ölçülen maks. sıcaklık	: 803°C
Takım daldırma miktarı	: 0,93 mm



a



b



c



d

Şekil 4.45 1180 min⁻¹, 60 mm/min, 9 kN, 2° ve 0,93 mm takım daldırma için zamana bağlı yük (a) ve sıcaklık (b) değişimi ile kaynak dikişinin üst (c) ve kök kısmı (d) görünümü

Deney Sonucu: Şekil 4.45'te görüldüğü gibi kaynak üst ve kök dikişinin başarıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI

Yapılan asıl deneyler sonucunda, numunelerin gözle muayenelerine bağlı olarak, her bir deneyin kaynak dikişi kalitesine değerlendirme notu verilmiştir (Tablo 5.1). Bu değerlendirme notları, mikroskobik ve makroskobik içyapı incelemesi yapacak olduğumuz 16 adet deney numunesinin seçilmesinde yardımcı olmuştur.

Tablo 5.1 Deney parametreleri ve verilen değerlendirme notları

Deney No	Devir Sayısı (min ⁻¹)	İlerleme Hızı (mm/min)	Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Değerlendirme Notu 1:Çok Kötü 10:Çok İyi
1	600	37,5	7	0	5
2	600	47,5	5	1,5	10
3	600	47,5	9	1	8
4	600	60	5	0	1
5	600	60	7	2	9
6	750	37,5	5	1,5	10
7	750	37,5	9	1,5	10
8	750	47,5	9	1,5	9
9	950	47,5	5	0	6
10	1180	60	7	1	4
11	1180	37,5	5	2	6
12	1180	37,5	9	0	4
13	1180	47,5	7	2	10
14	1500	37,5	7	1	4
15	1500	60	5	1,5	5
16	1500	60	7	0	4
17	1500	60	9	2	10
18	600	60	9	1,5	3
19	750	60	9	1,5	7
20	950	60	9	1,5	10
21	1180	60	9	1,5	9
22	1500	60	9	1,5	4
23	1180	37,5	9	1,5	5
24	1180	47,5	9	1,5	6
25	1180	60	5	1,5	4
26	1180	60	7	1,5	9
27	1180	60	9	1	3
28	1180	60	9	0	7
29	1180	60	9	2	10

5.1 Zamana Bağlı Olarak Yük ve Sıcaklık Değişimleri

5.1.1 Takım Devri Değişimi Esnasında Yük ve Sıcaklık Değişimleri

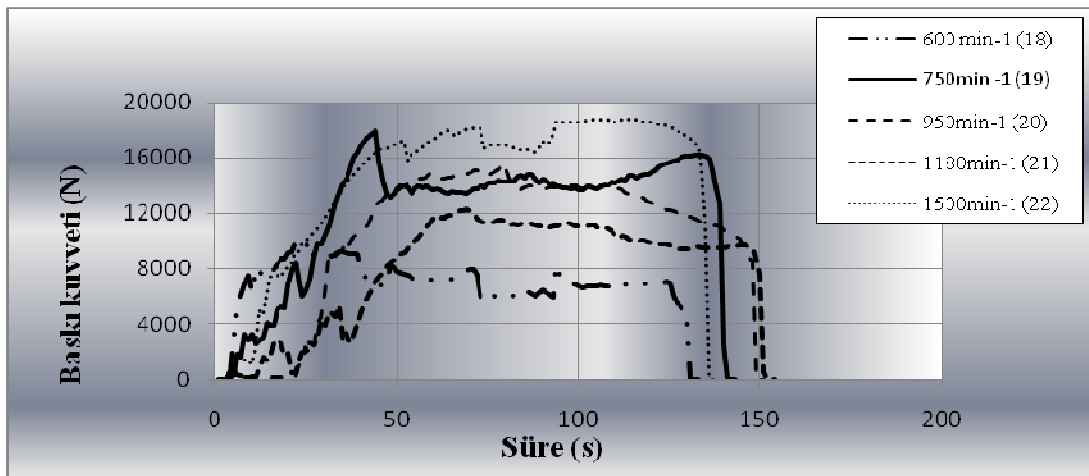
Seçilen parametreler;

İlerleme hızı: 60 mm/min

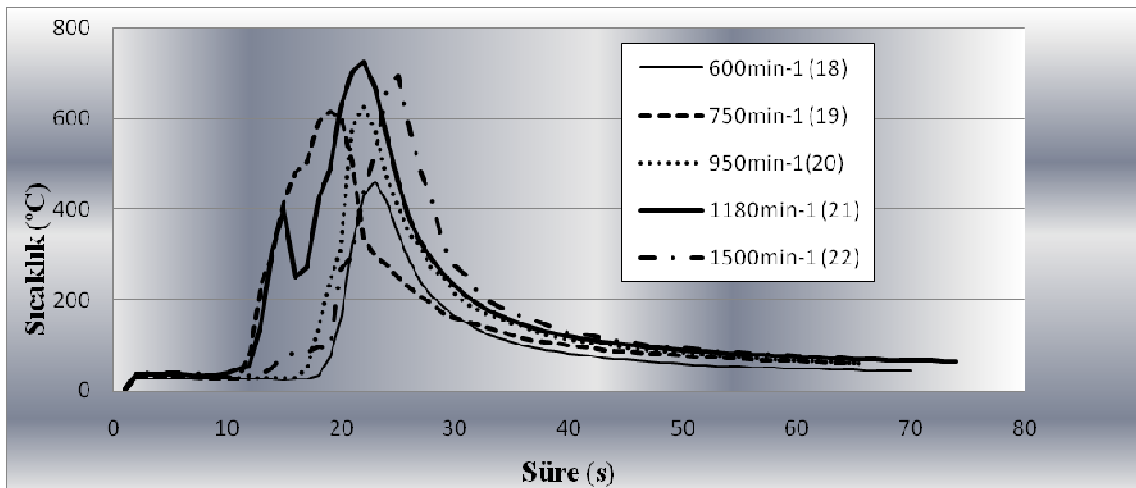
Baskı kuvveti: 9 kN

Takım açısı: 1,5°

Karşılaştırılan deney numaraları: 18, 19, 20, 21 ve 22



Şekil 5.1 Takım devri değişimine bağlı yük değişimi



Şekil 5.2 Takım devri değişimine bağlı sıcaklık değişimi

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de görüldüğü gibi takım devir sayısının artmasıyla, baskı kuvveti ve sıcaklık değerleri de yükselmiştir.

5.1.2 İlerleme Hızı Değişimi Esnasında Yük ve Sıcaklık Değişimleri

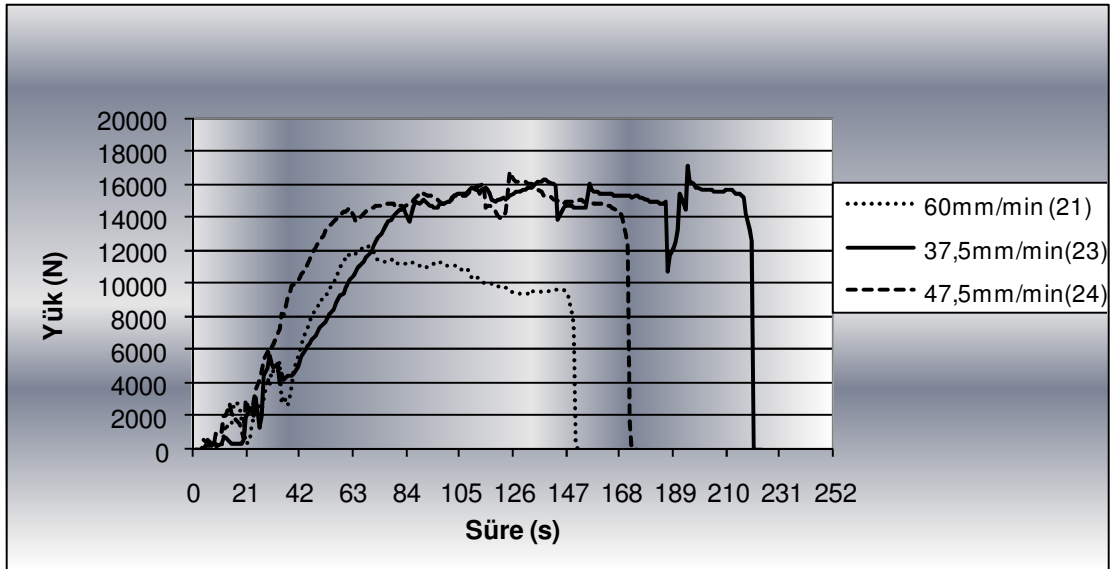
Seçilen parametreler;

Devir sayısı: 1180 min^{-1}

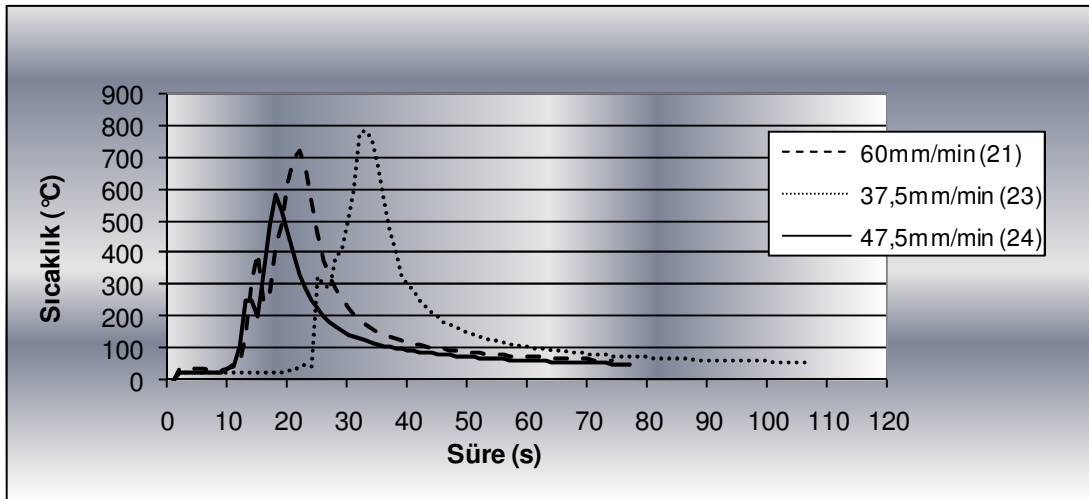
Baskı kuvveti: 9 kN

Takım açısı: $1,5^\circ$

Karşılaştırılan deney numaraları: 21, 23 ve 24



Şekil 5.3 İlerleme hızı değişimine bağlı yük değişimi



Şekil 5.4 İlerleme hızı değişimine bağlı sıcaklık değişimi

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te görüldüğü gibi seçilen sabit parametreler için, en yüksek baskı kuvveti ve sıcaklık değerleri 37,5 mm/min ilerleme hızında meydana gelmiştir.

5.1.3 Baskı Kuvveti Değişimi Esnasında Yük ve Sıcaklık Değişimleri

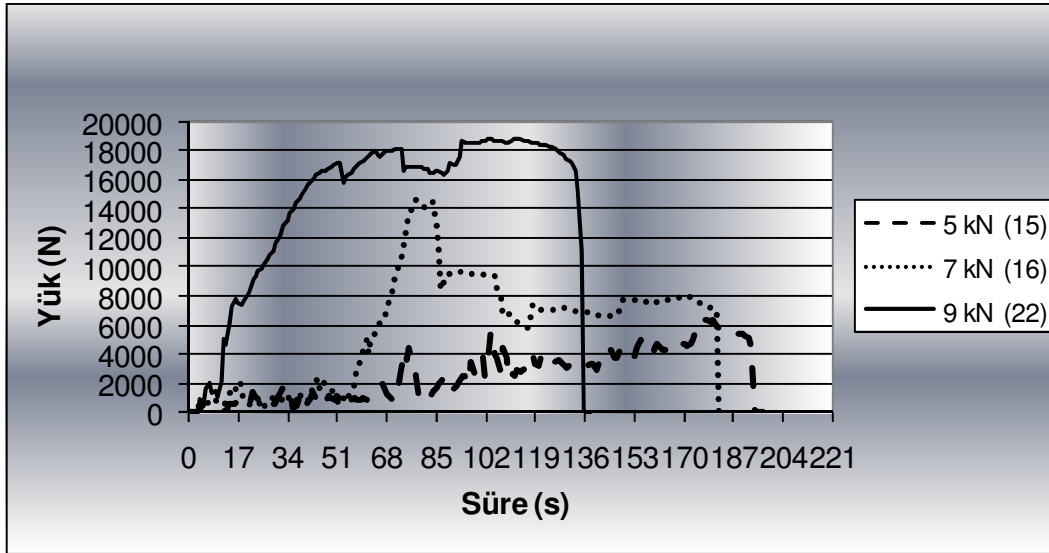
Seçilen parametreler;

Devir sayısı: 1500 min^{-1}

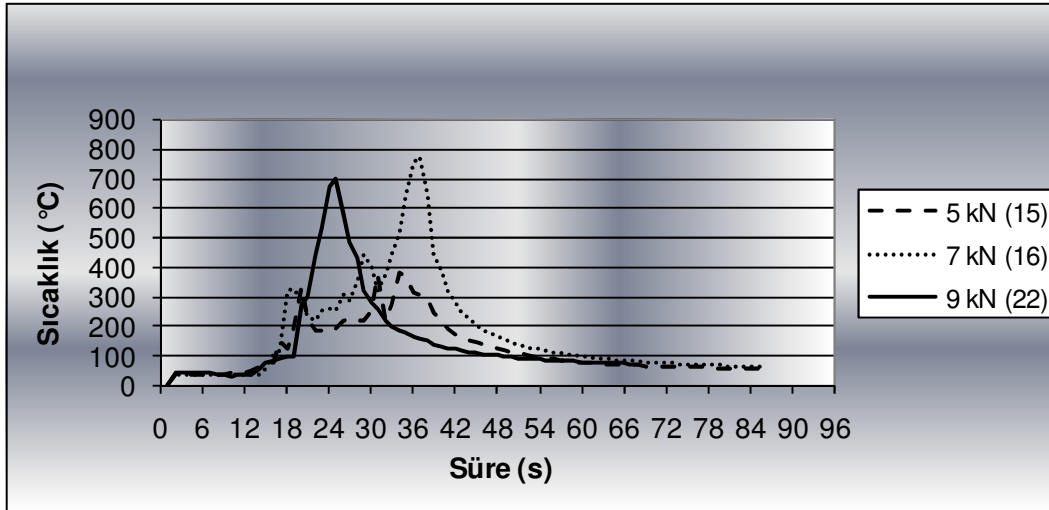
İlerleme hızı: 60 mm/min

Takım açısı: $1,5^\circ$ (0)

Karşılaştırılan deney numaraları: 15, 16 ve 22



Şekil 5.5 Baskı kuvveti değişimine bağlı yük değişimi



Şekil 5.6 Baskı kuvveti değişimine bağlı sıcaklık değişimi

Baskı kuvvetinin artmasıyla yük (Şekil 5.5) ve sıcaklık (Şekil 5.6) değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

5.1.4 Takım Açısı Değişimi Esnasında Yük ve Sıcaklık Değişimleri

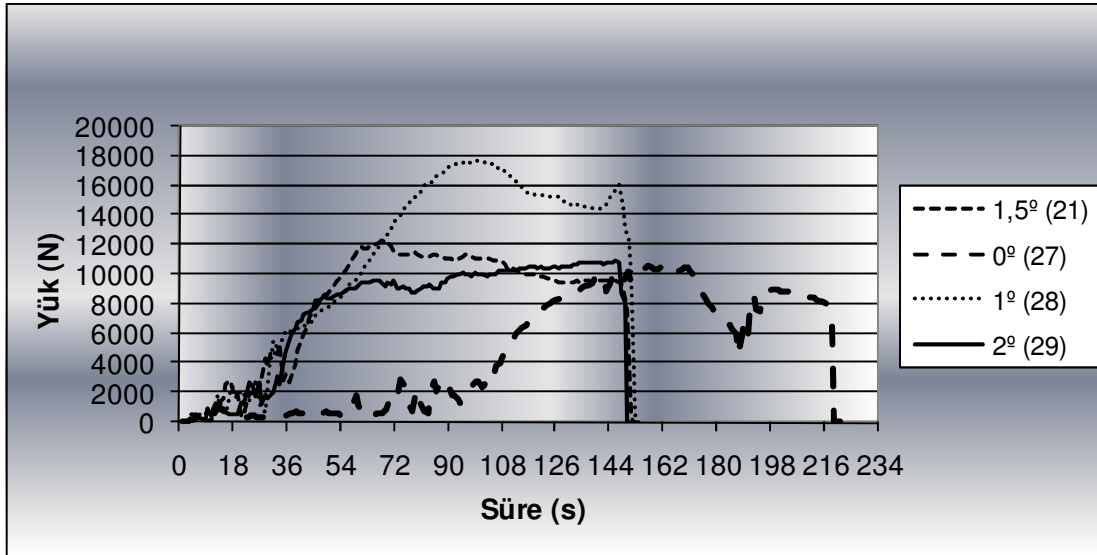
Seçilen Parametreler;

Devir sayısı: 1180 min⁻¹

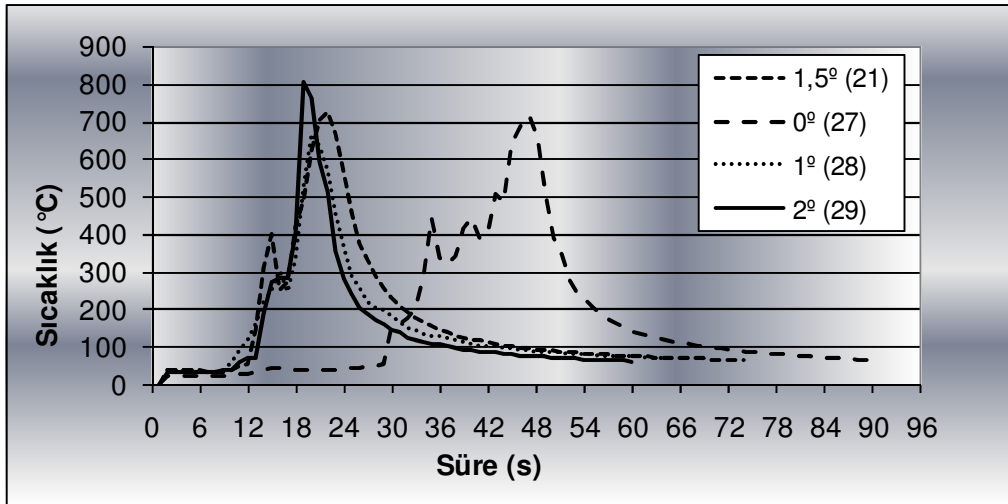
İlerleme hızı: 60 mm/min

Baskı kuvveti: 9 kN

Karşılaştırılan deney numaraları: 21, 27, 28 ve 29



Şekil 5.7 Takım açısı değişimine bağlı yük değişimi



Şekil 5.8 Takım açısı değişimine bağlı sıcaklık değişimi

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'den görülebileceği gibi, takım açısının, baskı kuvveti ve sıcaklık değerleri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir..

5.2 Kaynaklı Bağlantılara Yapılan Tahribatlı ve Tahribatsız Malzeme Muayeneleri

Deneylemler sonucunda verilen değerlendirme notlarına bağlı olarak, tahribatlı ve tahribatsız muayeneler için 16 adet numune seçilerek bunlar üzerinde incelemeler yapılmıştır (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 Deney parametreleri ve muayeneler için seçilen numune numaraları

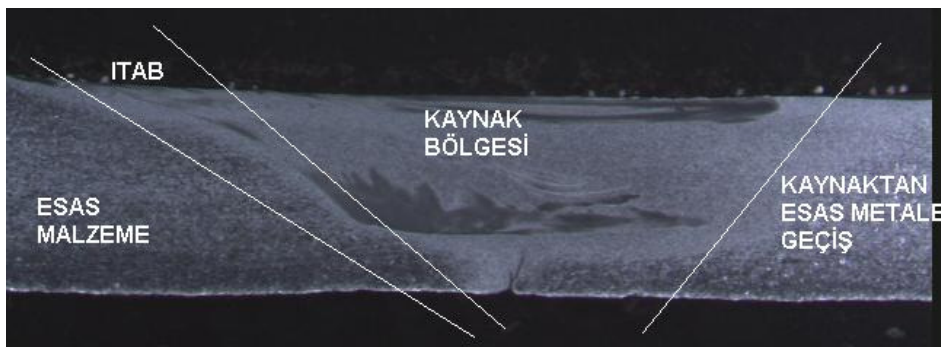
Deney No	Devir Sayısı (min ⁻¹)	İlerleme Hızı (mm/min)	Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Seçilen Numune Numaraları
1	600	37,5	7	0	
2	600	47,5	5	1,5	1
3	600	47,5	9	1	2
4	600	60	5	0	
5	600	60	7	2	3
6	750	37,5	5	1,5	4
7	750	37,5	9	1,5	5
8	750	47,5	9	1,5	6
9	950	47,5	5	0	7
10	1180	60	7	1	
11	1180	37,5	5	2	8
12	1180	37,5	9	0	
13	1180	47,5	7	2	9
14	1500	37,5	7	1	
15	1500	60	5	1,5	
16	1500	60	7	0	
17	1500	60	9	2	10
18	600	60	9	1,5	
19	750	60	9	1,5	11
20	950	60	9	1,5	12
21	1180	60	9	1,5	13
22	1500	60	9	1,5	
23	1180	37,5	9	1,5	
24	1180	47,5	9	1,5	
25	1180	60	5	1,5	
26	1180	60	7	1,5	14
27	1180	60	9	1	
28	1180	60	9	0	15
29	1180	60	9	2	16

5.2.1 Kaynaklı Bağlantıların İçyapısı ve Mikrosertlik İncelemeleri

Kaynak bölgesinde oluşan içyapıyı incelemek amacıyla kaynaklı levhalardan metalografi numuneleri kesilmiştir. Daha sonra kesilen bu parçalar kaynak kesiti yüzeyde olacak şekilde bakalite alınmıştır (Şekil 5.9). Bakalite aldığımız parçaların yüzeylerinin pürüzsüz olması için 400, 600, 800, 1000 ve 4000 numaralı zımpara kâğıtları ile sulu olarak zımparalanmıştır. Zımparalanmış olan kalıp SiO₂ solüsyonu kullanılarak parlatma disklerinde parlatılmıştır. Numunelere daha sonra %10 oksalit asit çözeltisinde elektronik dağlama yapılmıştır. Dağlama işlemi için 0-30 V ayarlanabilir dijital DC güç kaynağı kullanılmıştır. Güç kaynağı çıkışlarından (+ veya -) herhangi bir ucuna paslanmaz çelik çubuk koyularak ısıtılmış çözelti içine yerleştirilmiştir. Dağlama yapılacak olan parlatılmış numune de çözelti içine yerleştirilerek güç kaynağının diğer ucunun numuneye temas etmesi sağlanır. 15 - 20 saniye içerisinde dağlama gerçekleşmektedir. Hazırlanan bu numuneler üzerinde, kaynak bölgesinde oluşan mikroyapı ve herhangi bir kaynak hatasının olup olmadığının belirlenmesi için optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır (Şekil 5.10).

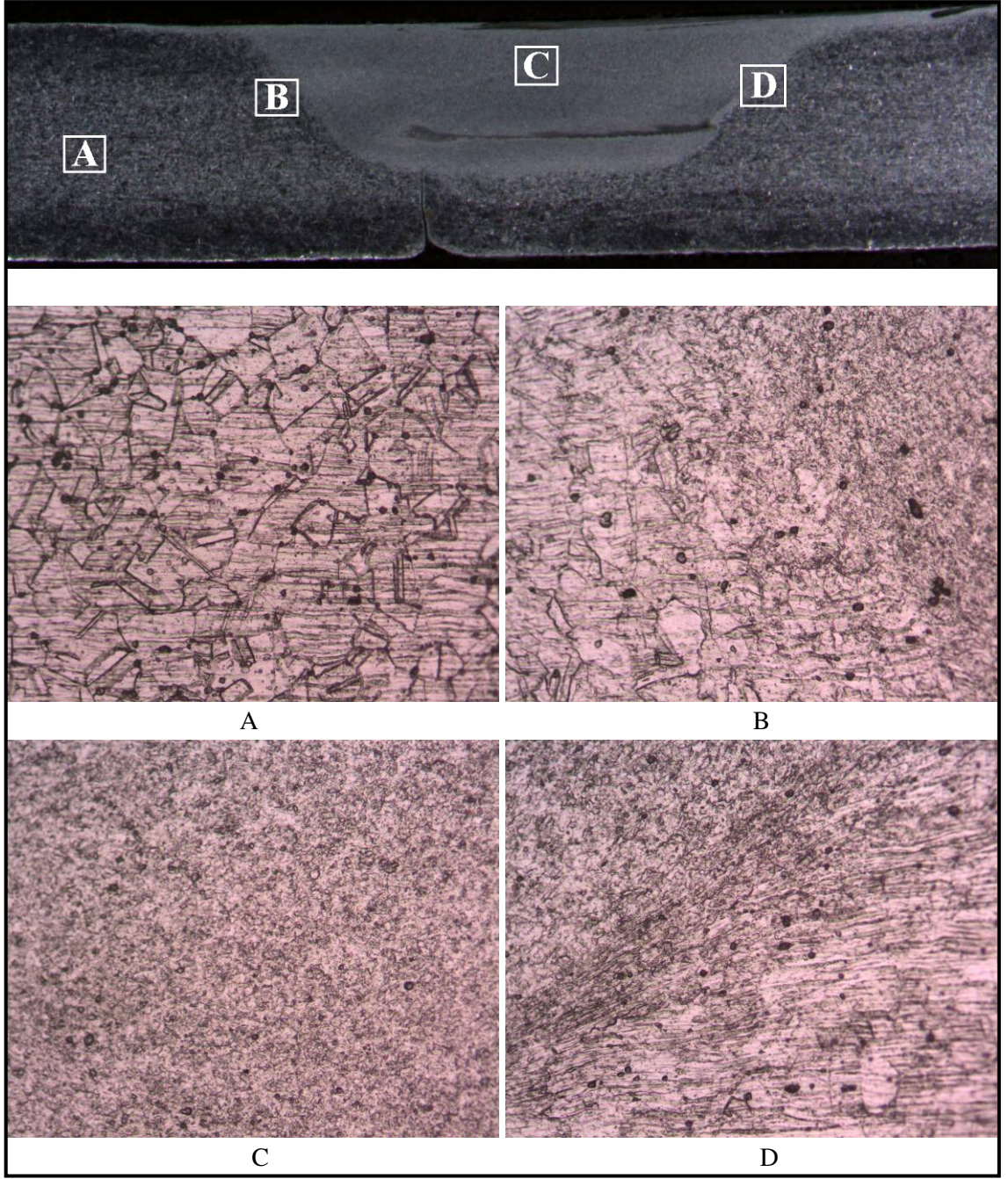


Şekil 5.9 Bakalite alınmış kaynaklı bağlantı bölgesi

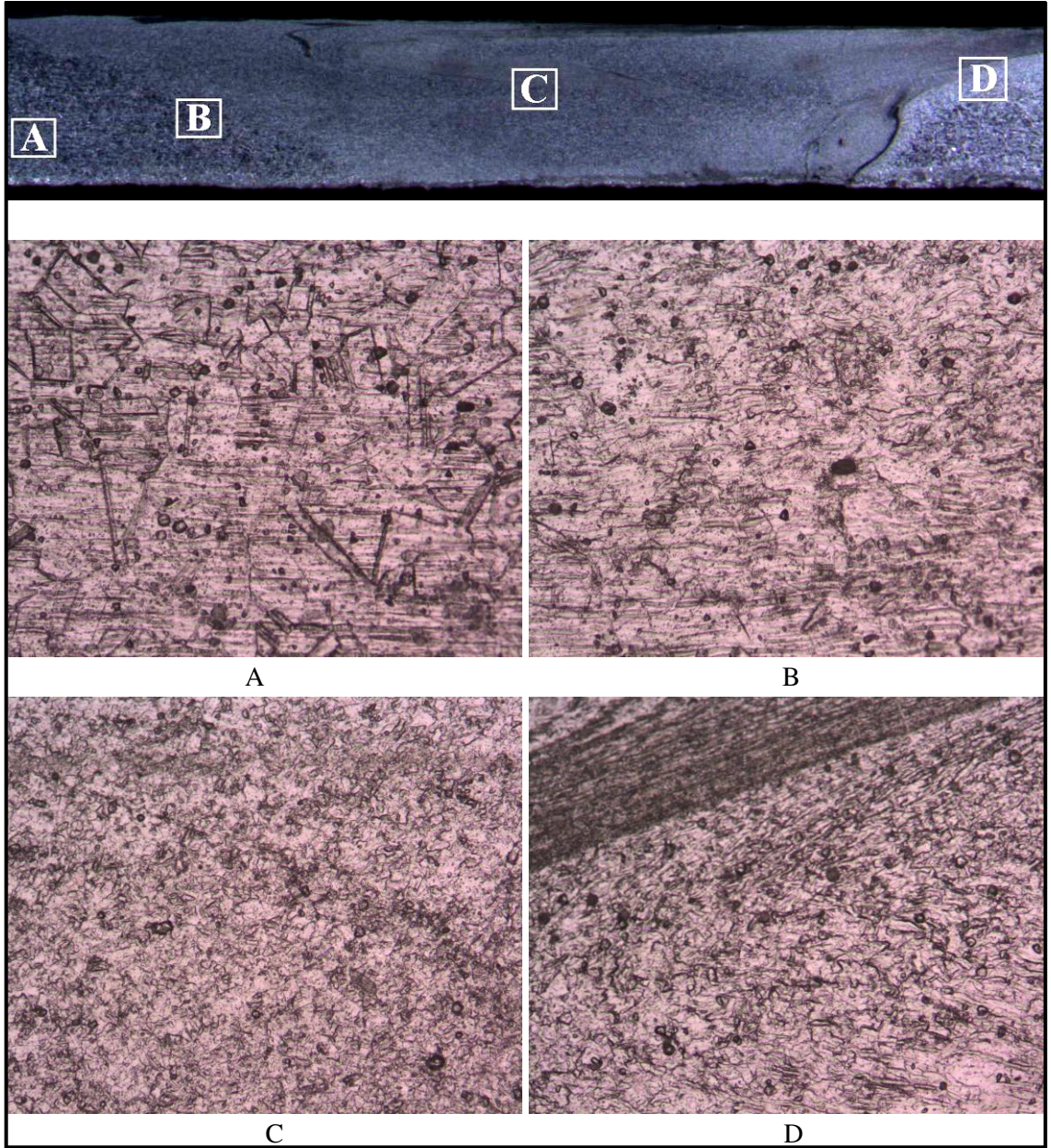


Şekil 5.10 Örnek numunenin mikroskop görüntüsü ve kaynak bölgelerinin gösterilmesi

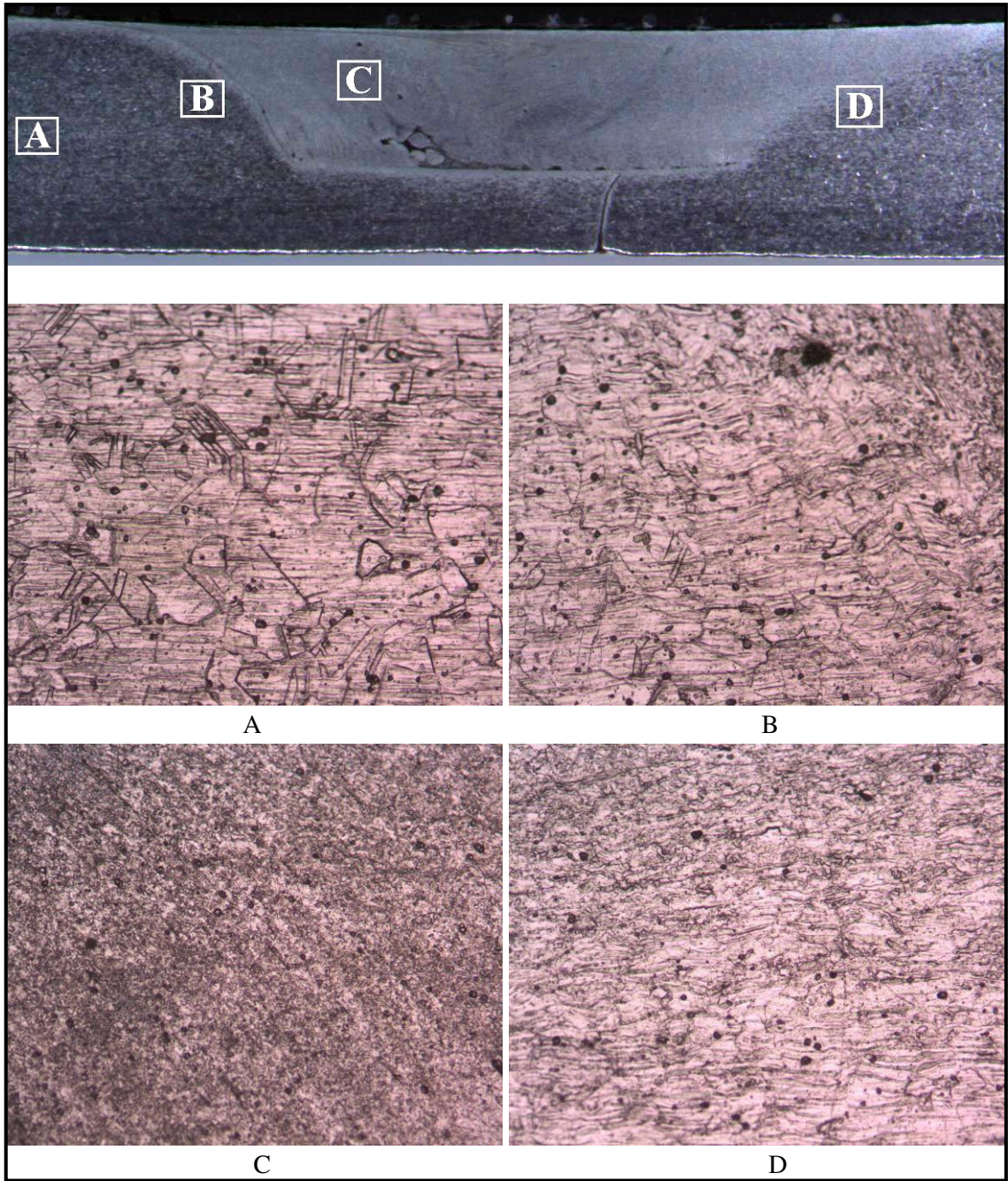
Farklı kaynak parametrelerinde yapılan deneylerin mikro yapılarının stereo ve metal mikroskobunda alınan görüntüleri, Şekil 5.11 ile Şekil 5.26 arasında verilmiştir.



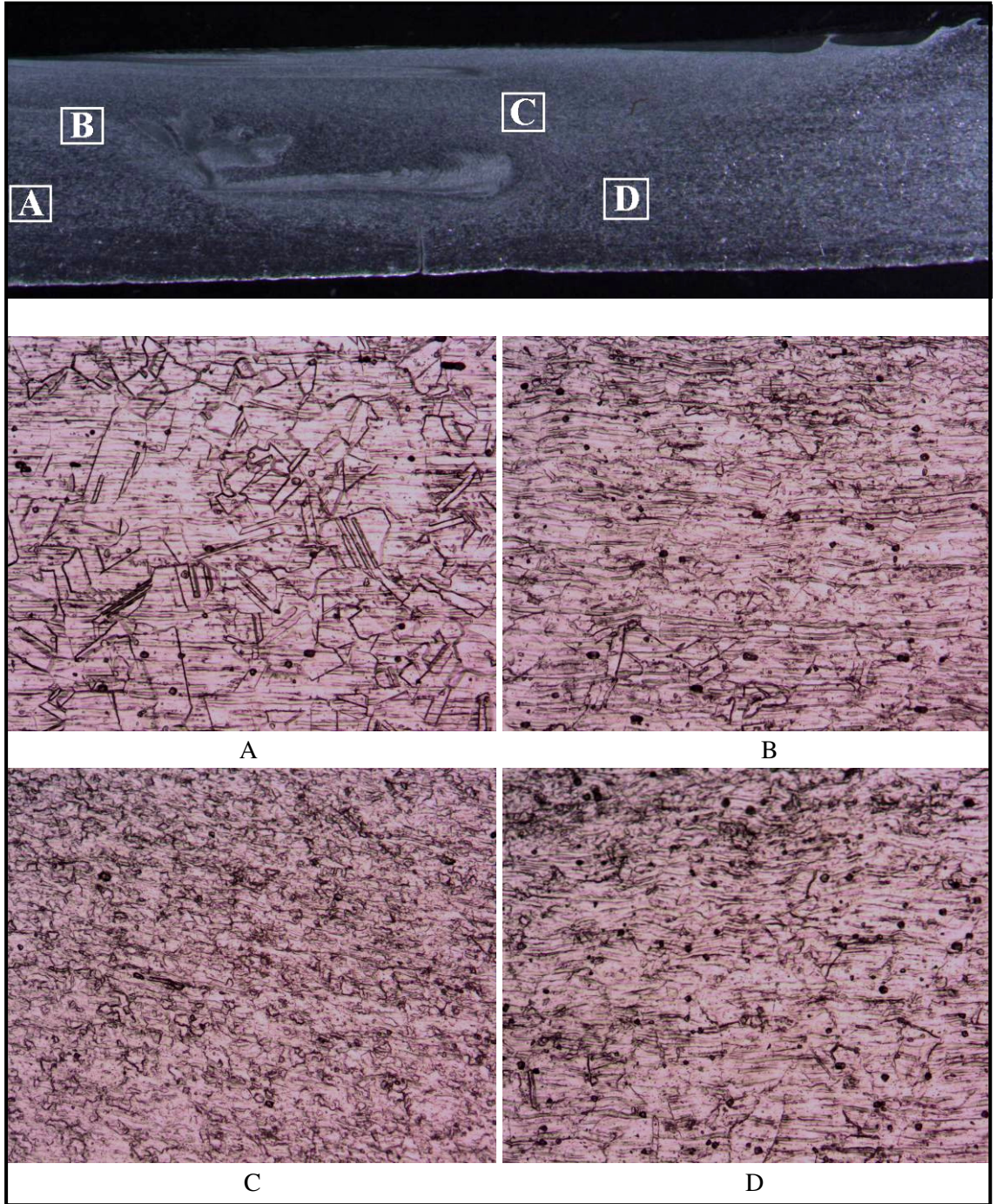
Şekil 5.11 600 min^{-1} , $47,5 \text{ mm/min}$, 5 kN , 0° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



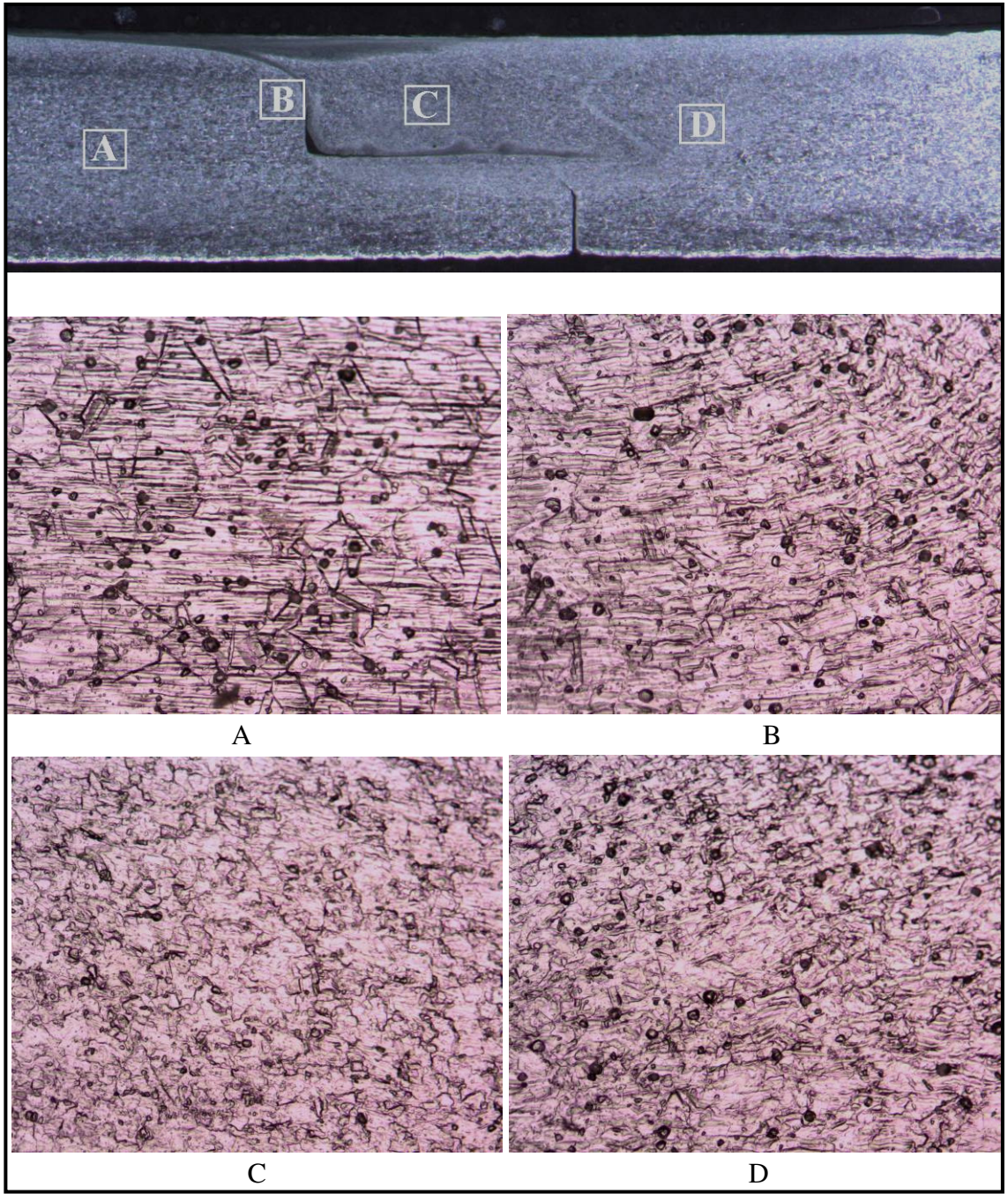
Şekil 5.12 600 min^{-1} , $47,5 \text{ mm/min}$, 9 kN , 1° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



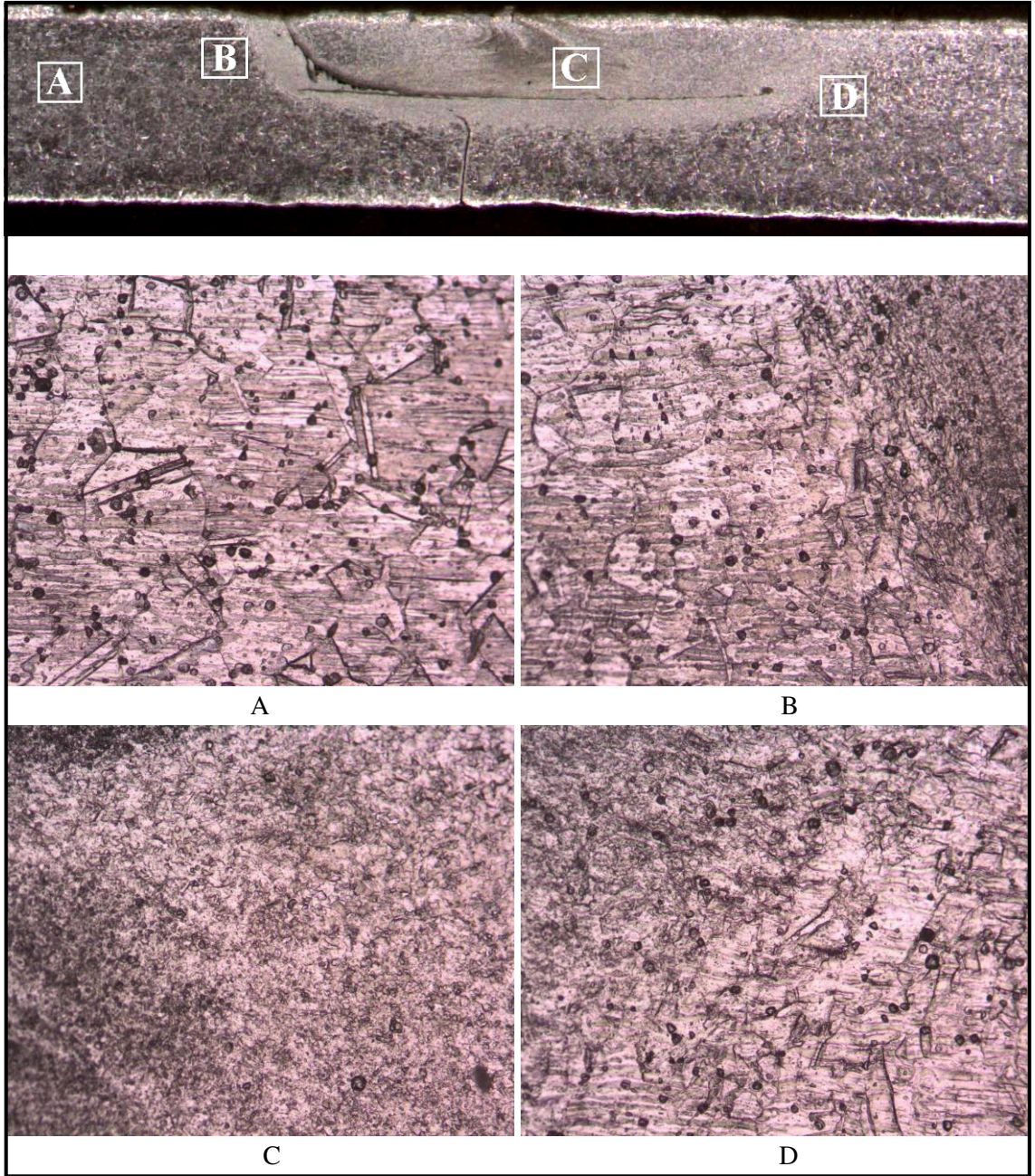
Şekil 5.13 600 min^{-1} , 60 mm/min , 7 kN , 2° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



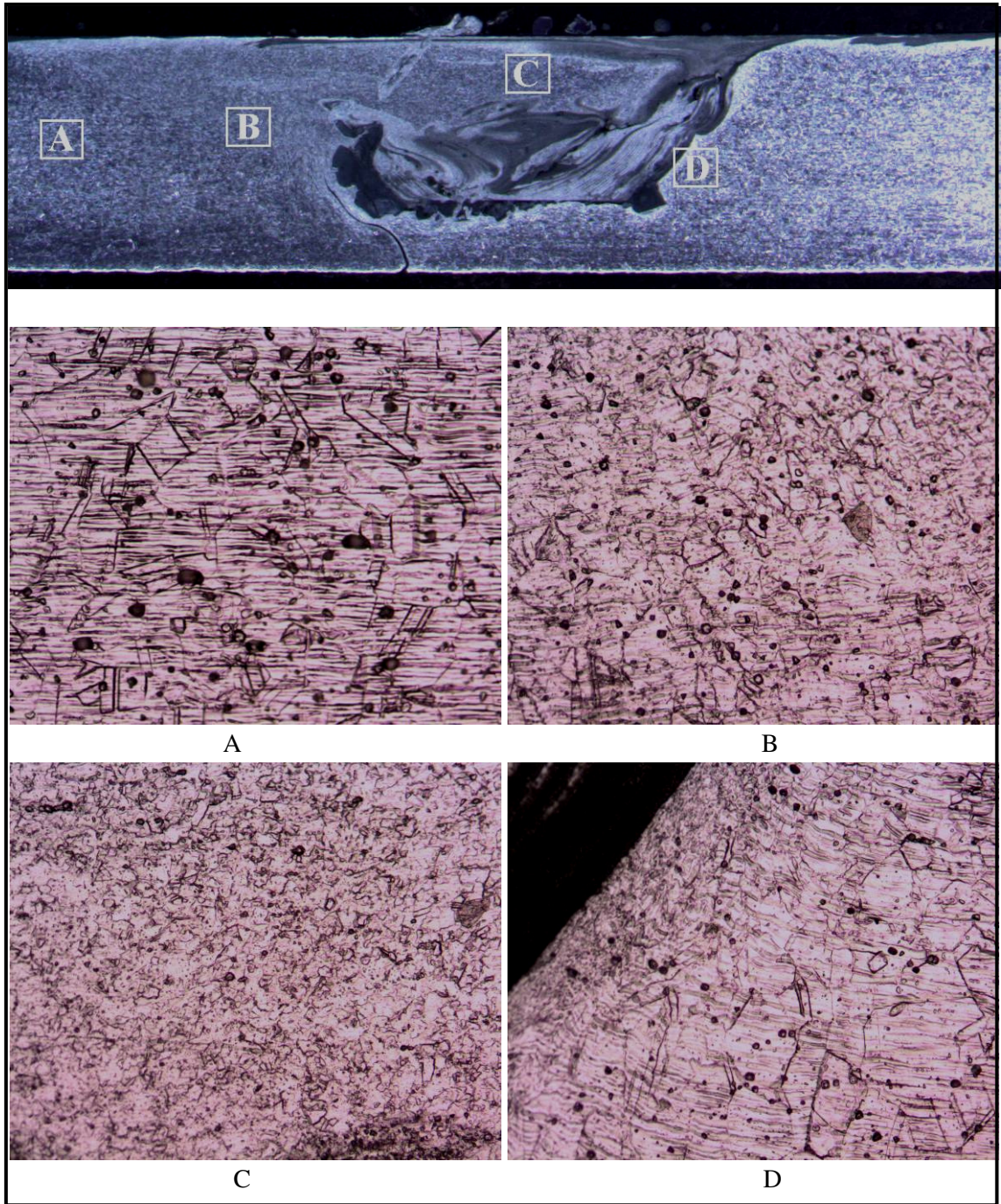
Şekil 5.14 750 min^{-1} , $37,5 \text{ mm/min}$, 5 kN , $1,5^\circ$ parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



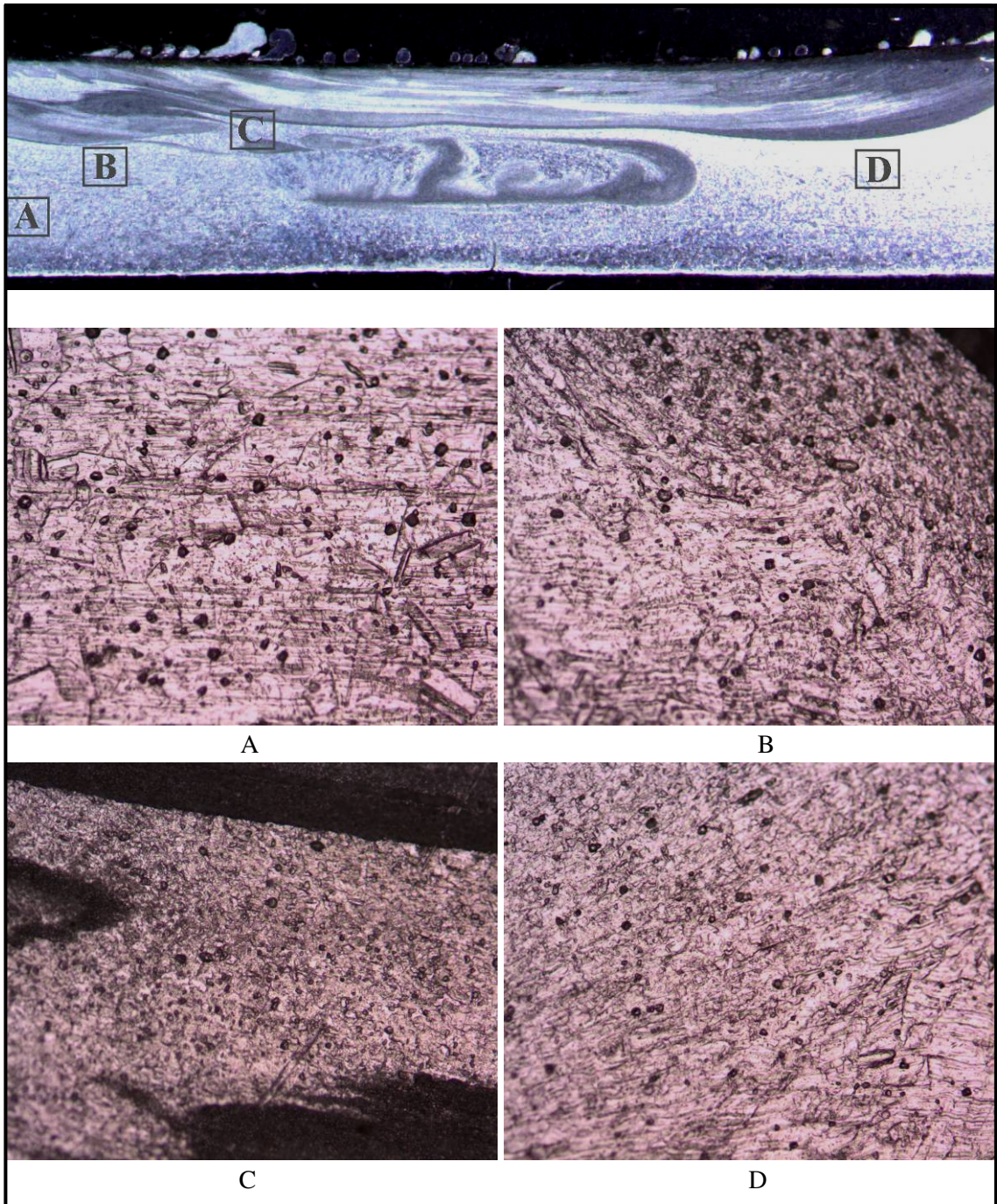
Şekil 5.15 750 min^{-1} , $37,5 \text{ mm/min}$, 9 kN , $1,5^\circ$ parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



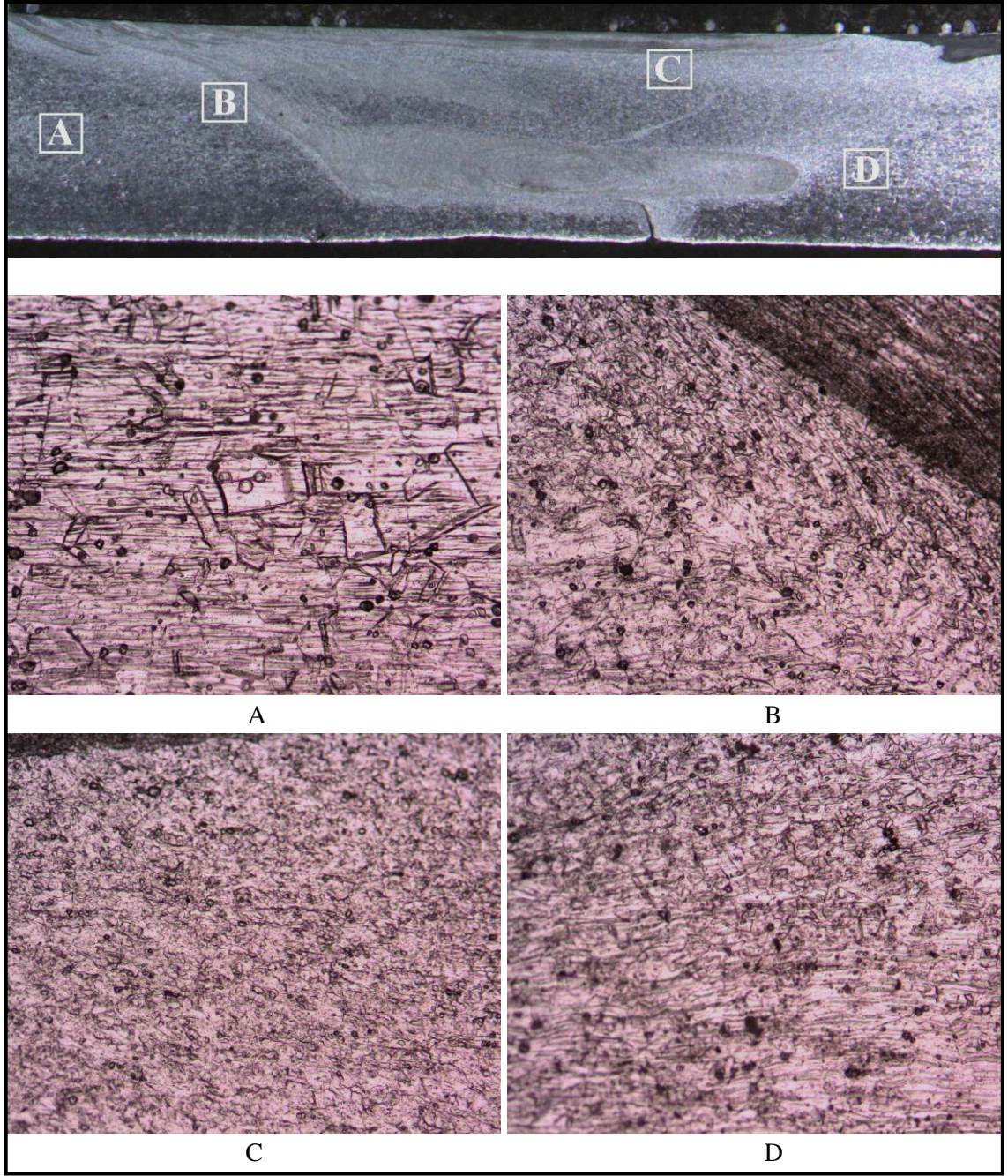
Şekil 5.16 750 min^{-1} , $47,5 \text{ mm/min}$, 9 kN , $1,5^\circ$ parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



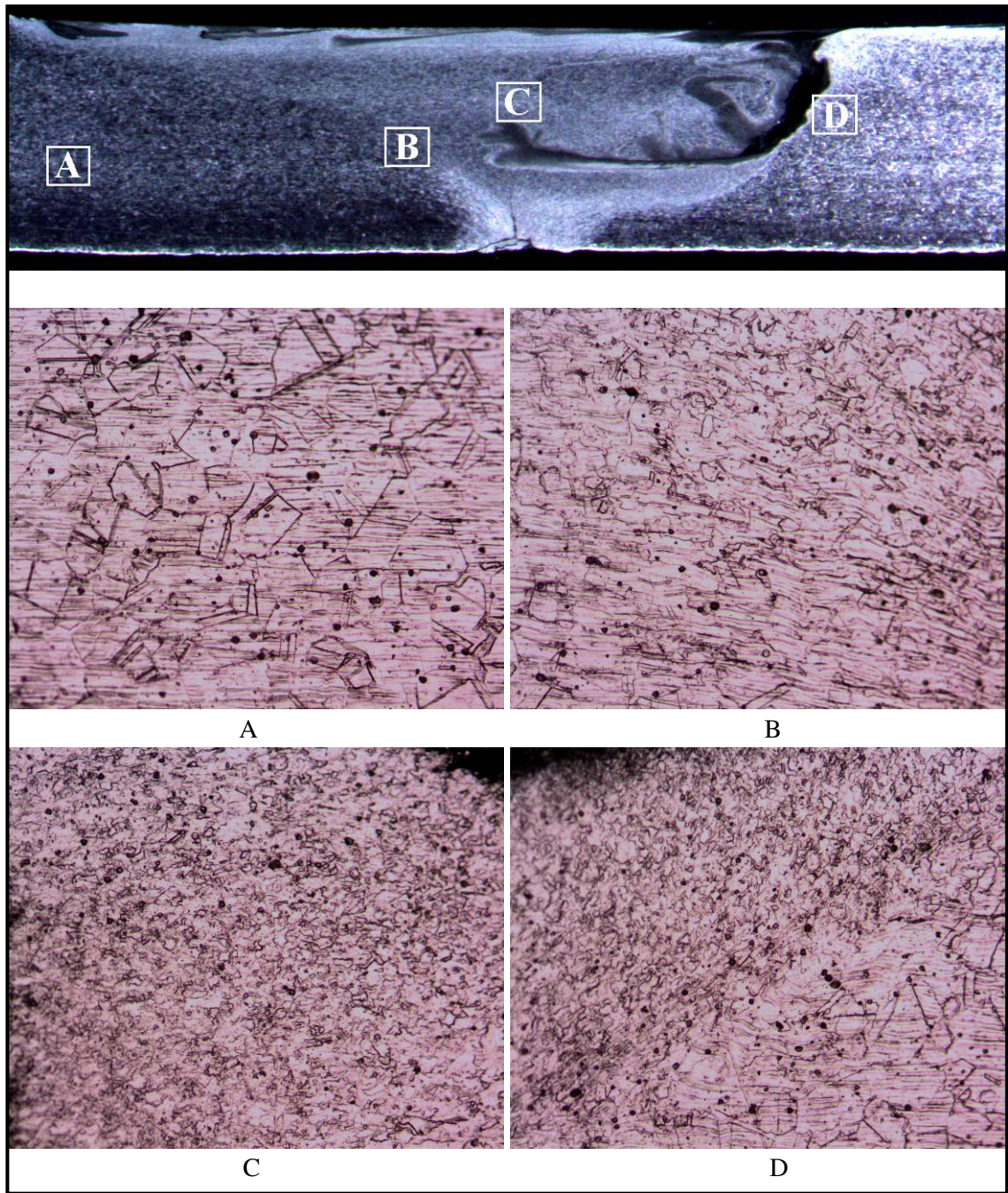
Şekil 5.17 950 min^{-1} , $47,5 \text{ mm/min}$, 5 kN , 0° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



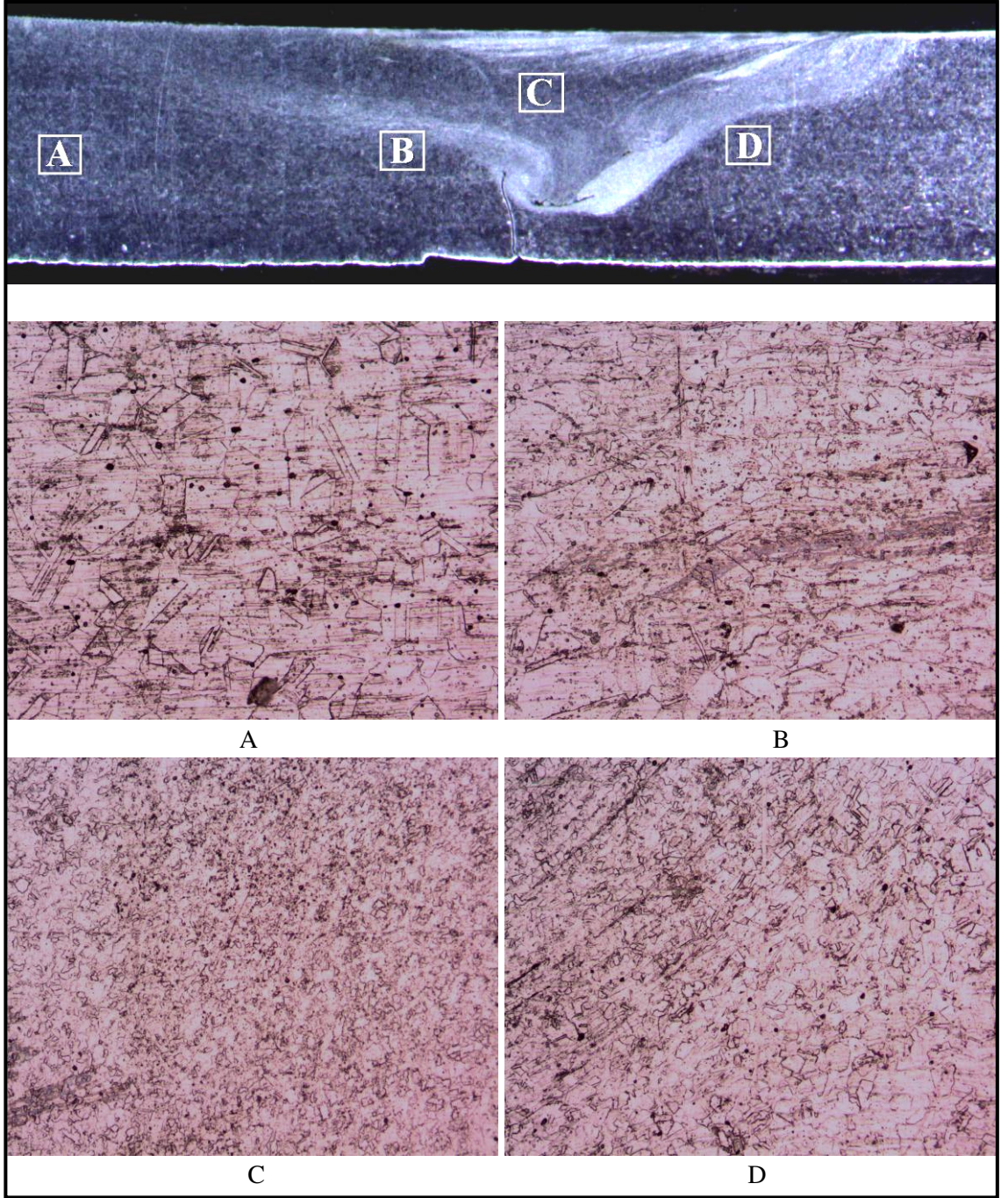
Şekil 5.18 1180 min^{-1} , $37,5 \text{ mm/min}$, 5 kN , 2° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



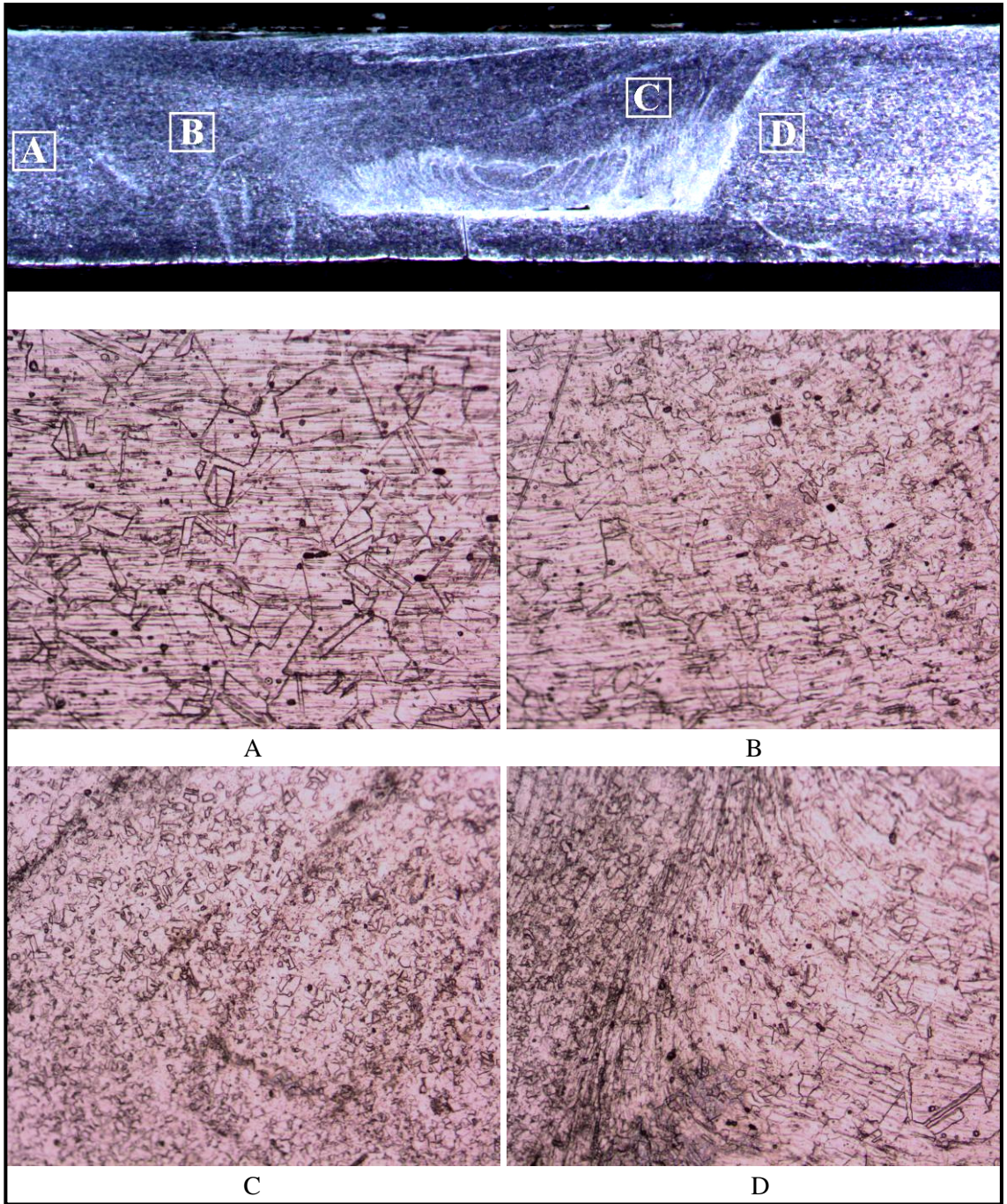
Şekil 5.19 1180min^{-1} , $47,5\text{mm/min}$, 7 kN , 2° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



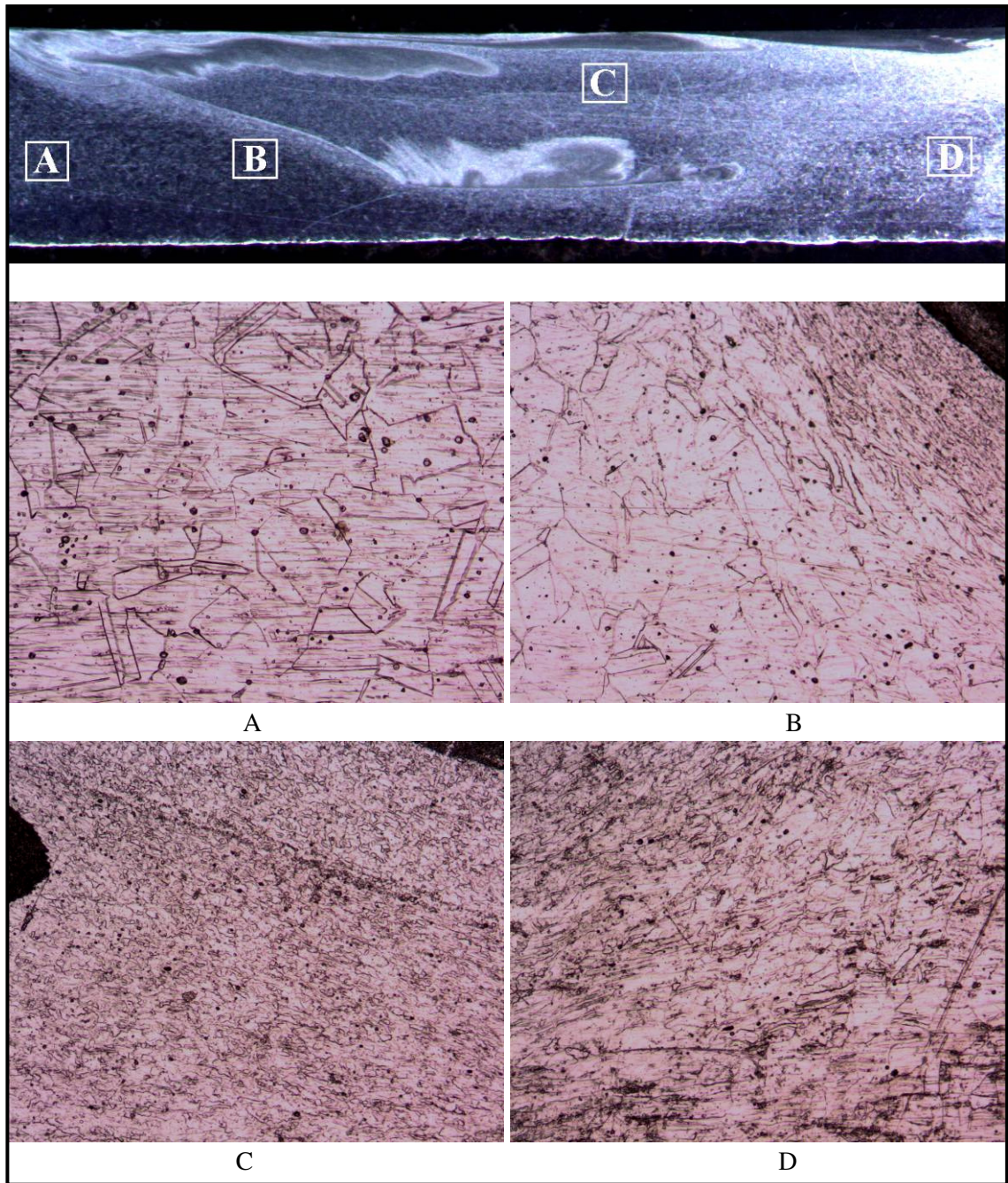
Şekil 5.20 1500 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , 2° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



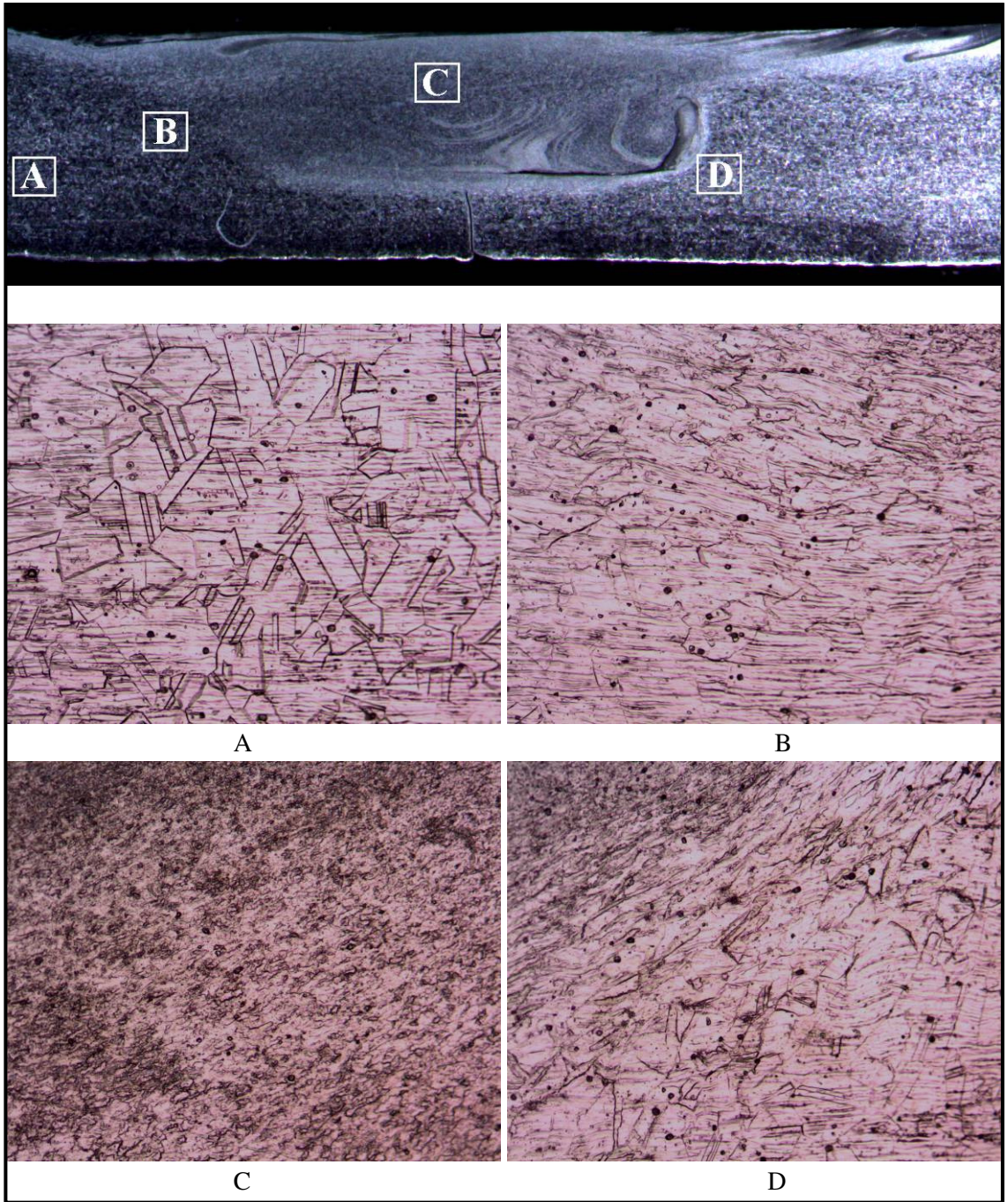
Şekil 5.21 750 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , $1,5^\circ$ parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esasa metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro yapıları



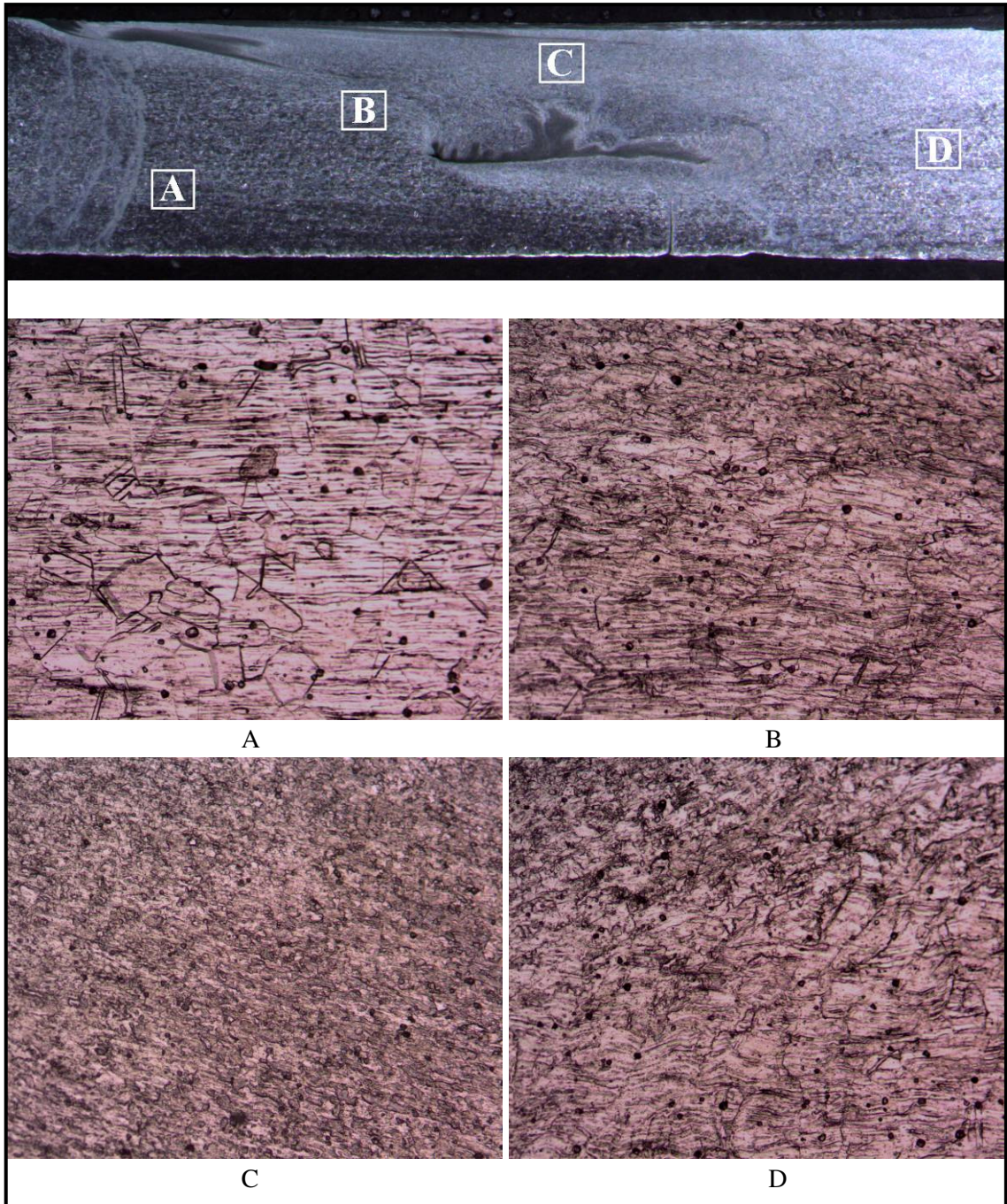
Şekil 5.22 950 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , $1,5^\circ$ parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



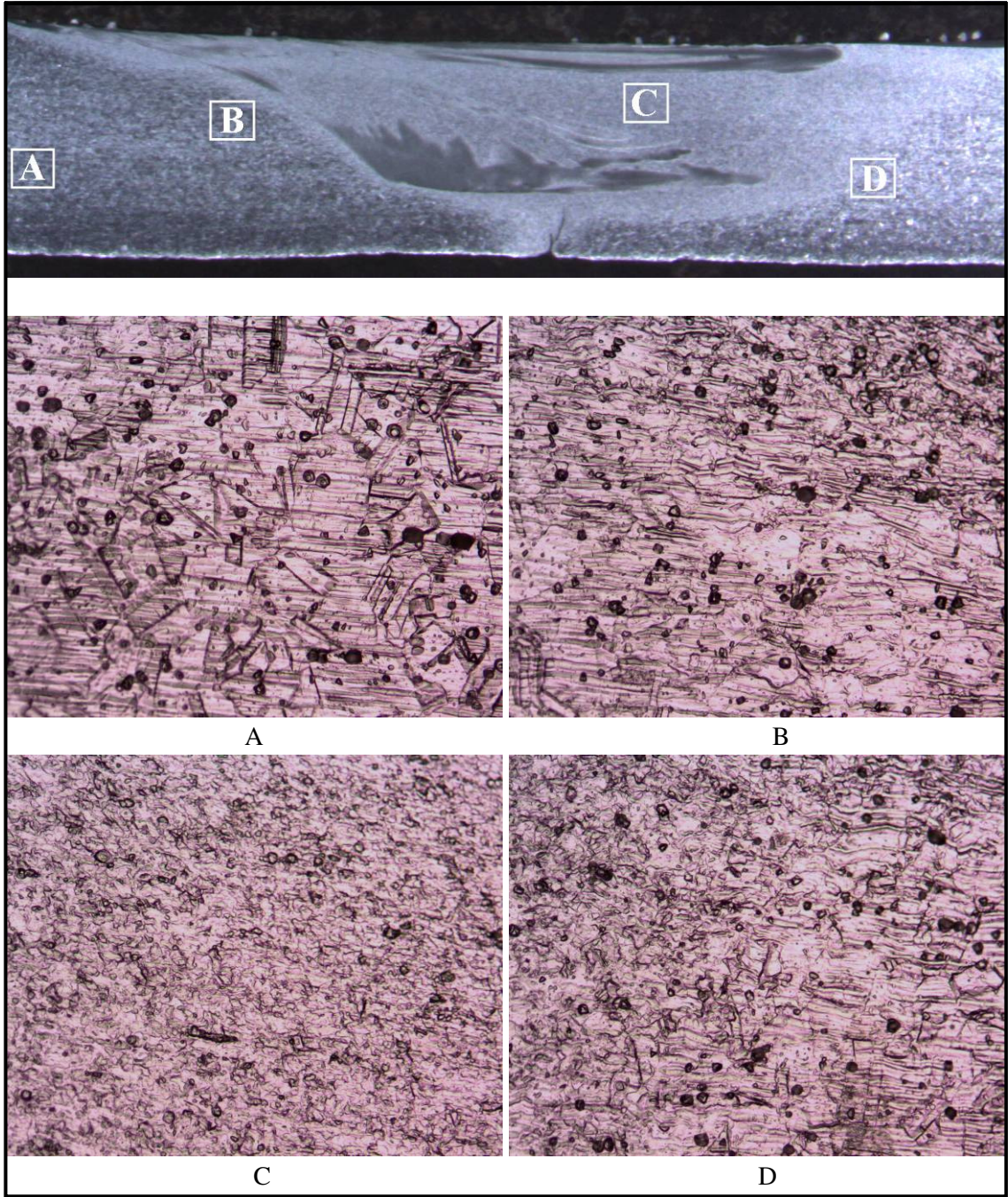
Şekil 5.23 1180 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , $1,5^\circ$ parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



Şekil 5.24 1180 min^{-1} , 60 mm/min , 7 kN , $1,5^\circ$ parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



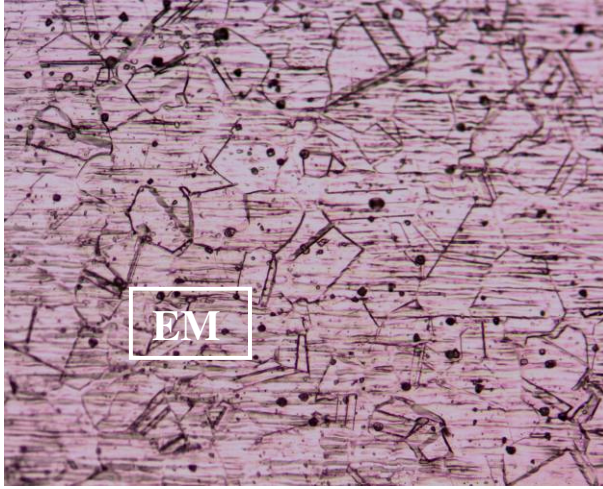
Şekil 5.25 1180 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , 1° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları



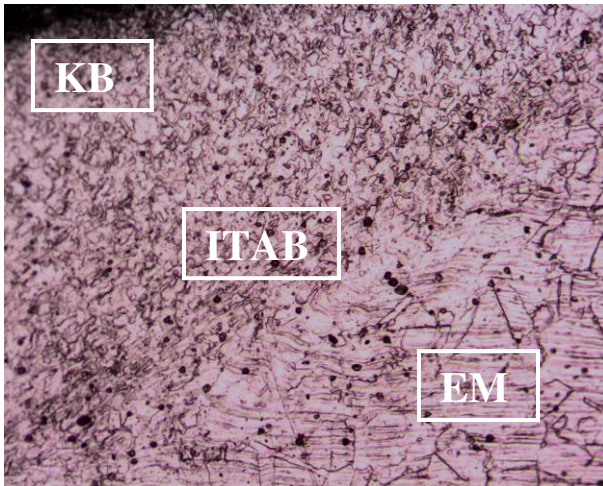
Şekil 5.26 1180 min^{-1} , 60 mm/min , 9 kN , 2° parametreleri için esas metal (A), ITAB (B), kaynak bölgesi (C) ve kaynaktan esas metale geçiş bölgesinin (D) makro ve mikro içyapıları

Yapılan mikroskobik içyapı incelemelerine bağlı olarak, esas malzemenin olduğu bölgedeki tanecik büyüklüğünden de anlaşılacağı gibi bu bölgenin kaynaktan etkilenmediği görülmüştür (Şekil 5.27). ITAB bölgesinde ise kaynak bölgesine doğru tane büyüklüğünde küçülmeler ve şeklindeki değişimler gözlemlenerek geçiş bölgesinin varlığı görülmüştür (Şekil 5.28). Bu bölgede kaynak gerilmelerinin fazla olduğu ve esas metale göre daha sert yapıya sahip olduğu düşünülmektedir.

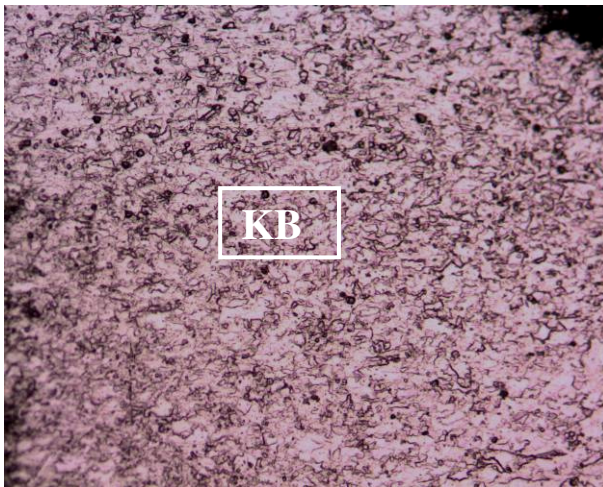
Kaynak bölgesine ait görünümlerden de anlaşılacağı gibi bu bölgede tanecikler tamamen küçülmüş, yeniden kristalleşme meydana gelmiştir (Şekil 5.29).



Şekil 5.27 Esas malzemenin (EM) içyapısının metal mikroskopunda görünümü.



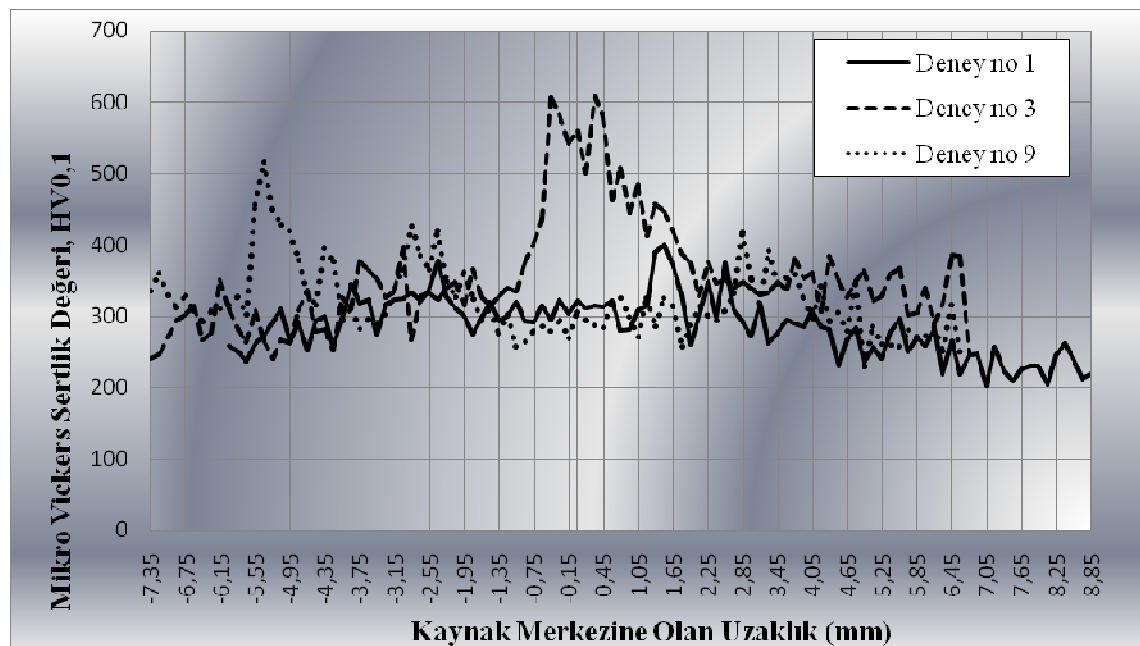
Şekil 5.28 Isıdan etkilenen bölgenin (ITAB) içyapısının metal mikroskopunda görünümü.



Şekil 5.29 Kaynak bölgesinin (KB) içyapısının metal mikroskopunda görünümü.

ASTM standartlarına göre esas malzemenin ortalama tane büyüklüğünün yaklaşık 40 μ m olduğu bilinmektedir. Bu değere göre ısı tesiri altındaki bölgedeki ortalama tane boyutunun 10-20 μ m arasında, kaynak bölgesinde ise 3-7 μ m arasında olduğu tespit edilmiştir.

İçyapıları incelenen numunelerden mikrosertlik deneyi için 3 adet (1, 3 ve 9 numaralı) örnek numune seçilmiştir. Düşük yüklü mikro vickers sertlik ölçme cihazı ile 100 g yük, 8 s bekleme süresi ve 150 μ ölçme aralığı ile deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5.30'da görülmektedir.



Deney no 1: 600 min⁻¹, 47,5 mm/min, 5 kN, 1,5°

Deney no 3: 600 min⁻¹, 60 mm/min, 7 kN, 2°

Deney no 9: 1180 min⁻¹, 47,5 mm/min, 7 kN, 2°

Şekil 5.30 Mikrosertlik deney sonuçlarının karşılaştırılması.

Yapılan 3 deney sonucuna bağlı olarak, özellikle 3 numaralı deney sonucuna göre kaynak sonrasında kaynak bölgesinin esas malzemedan daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu, ITAB ve kaynaktan esas metale geçiş bölgelerinde ise sertlik değerlerinde kısmi yükselmeler olduğu gözlemlenmiştir. Soğuk şekillendirme uygulanmış olan deney numunelerinin kaynak esnasındaki sıcaklık artışıyla yeniden kristalleşerek ince taneli içyapının oluşması ve buna bağlı olarak tane sınırlarının artmasıyla sertliğin de arttığı düşünülmektedir.

5.2.2 Kaynaklı Bağlantıların Darbe ve Çekme Deneyi İncelemeleri

Kaynatılan parçalardan lazer ile kestirilen numuneler ile çekme ve darbe deneyleri yapılarak sonuçların karşılaştırılabilmesi için aynı tabloda gösterilmiştir (Tablo 5.3).

Tablo 5.3 Çekme ve darbe deneyleri sonuçlarının karşılaştırılması

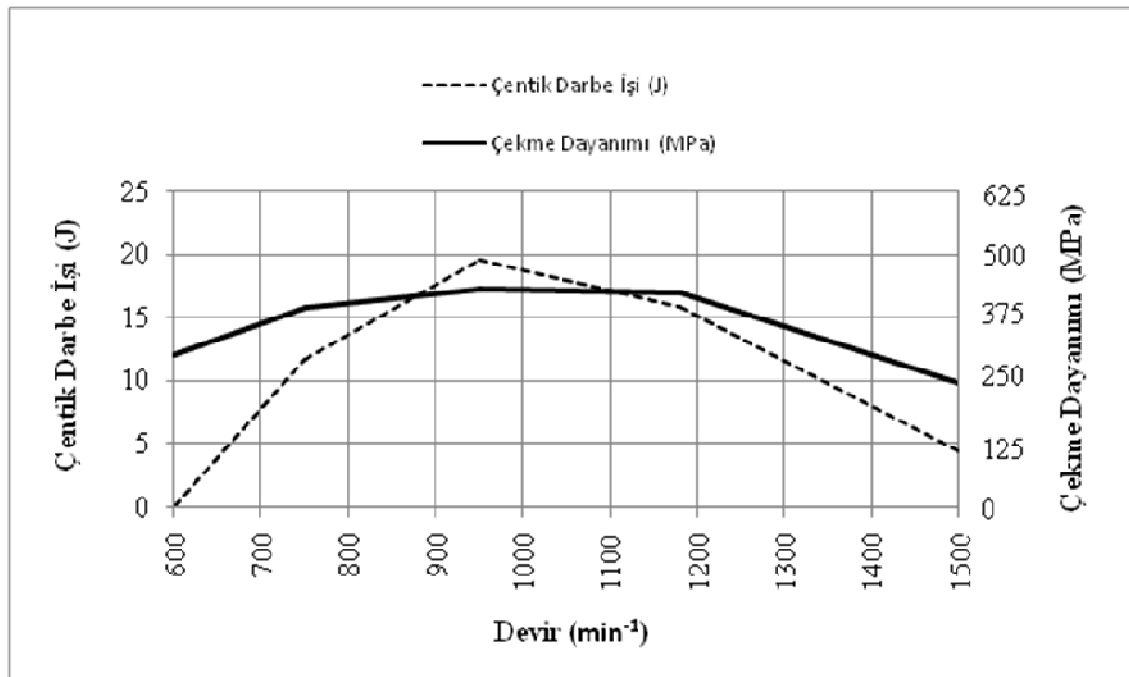
Deney No	Devir Sayısı (min ⁻¹)	İlerleme Hızı (mm/min)	Baskı Kuvveti (kN)	Takım Açısı (°)	Seçilen Numune Numaraları	Değerlendirme Notları	Darbe Enerjisi (J)	Çekme Dayanımı R _m (MPa)	Akma Sınırı R _{p0,2} (MPa)
1	600	37,5	7	0		5	6	55,83	52,66
2	600	47,5	5	1,5	1	10	14,5	542,09	338,25
3	600	47,5	9	1	2	8	19,5	560,57	352,91
4	600	60	5	0		1	0	0	0
5	600	60	7	2	3	9	12,5	542,85	352,99
6	750	37,5	5	1,5	4	10	15,5	568,02	361,96
7	750	37,5	9	1,5	5	10	9,3	469,7	325,43
8	750	47,5	9	1,5	6	9	14,9	483,95	355,75
9	950	47,5	5	0	7	6	4	357,46	263,05
10	1180	60	7	1		4	4	124,5	110,42
11	1180	37,5	5	2	8	6	10	482,74	342,75
12	1180	37,5	9	0		4	13,1	224,65	193,46
13	1180	47,5	7	2	9	10	13,6	587,41	263,11
14	1500	37,5	7	1		4	0,2	0	0
15	1500	60	5	1,5		5	0,2	254,75	200,66
16	1500	60	7	0		4	4	200	174,32
17	1500	60	9	2	10	10	9,1	432,87	297,16
18	600	60	9	1,5		3	0,1	300	231,67
19	750	60	9	1,5	11	7	11,7	394,47	287,87
20	950	60	9	1,5	12	10	19,5	430	340,48
21	1180	60	9	1,5	13	9	15,8	421,43	317,75
22	1500	60	9	1,5		4	4,4	246,32	207,46
23	1180	37,5	9	1,5		5	13	242,6	214,49
24	1180	47,5	9	1,5		6	27	313,85	273,1
25	1180	60	5	1,5		4	0,2	273,12	260,33
26	1180	60	7	1,5	14	9	11,5	479,59	352,08
27	1180	60	9	1		3	6,5	339	278,03
28	1180	60	9	0	15	7	17,2	268,53	211,13
29	1180	60	9	2	16	10	13,4	460,09	356,87

5.2.2.1 Devir Sayısının Çentik Darbe İşi ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi

Aynı ilerleme hızına (60 mm/min), 9 kN'luk baskı kuvvetine ve 1,5°'lik takım açısına sahip deney numunelerinde devir sayısının etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırması Tablo 5.4'te, grafiği ise Şekil 5.31'de belirtilmiştir.

Tablo 5.4 Devir sayısının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi

Devir Sayısı (min^{-1})	600	750	950	1180	1500
Çentik Darbe İşi (J)	0,1	11,7	19,5	15,8	4,4
Çekme Dayanımı (MPa)	300	394,47	430	421,43	246,32



Şekil 5.31 Devir sayısının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi

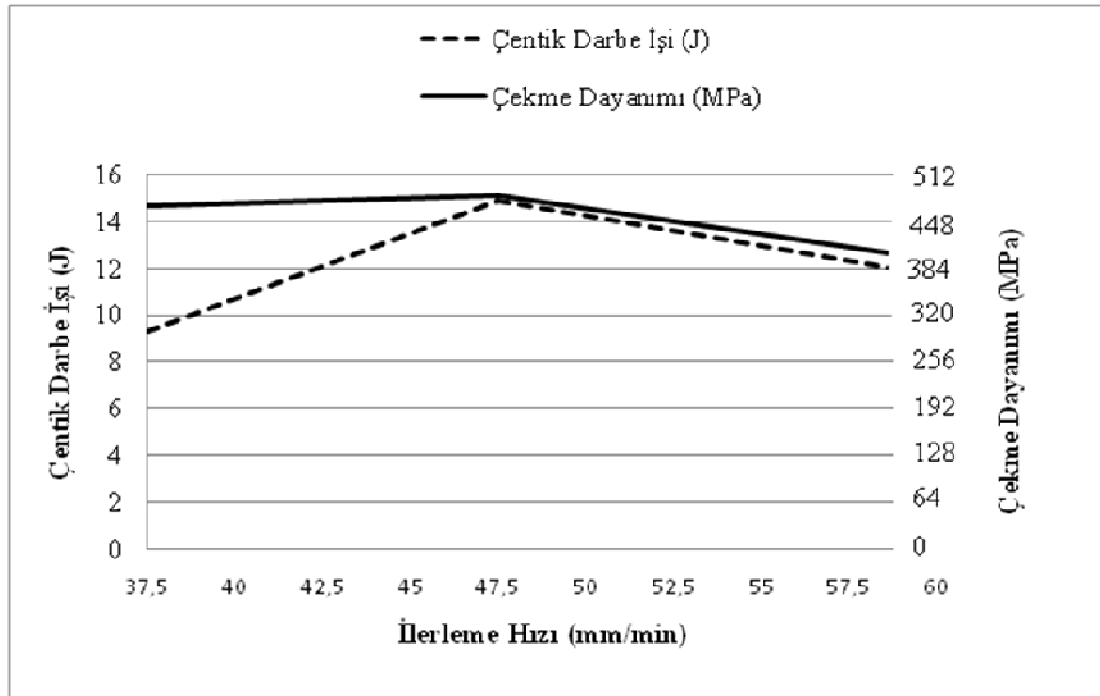
Seçilen sabit parametreler için, maksimum çentik darbe işi değerinin 950 min^{-1} devir sayısında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu değer optimum devir sayısı olduğu, bu değer altında ve üstündeki devirlerde çentik darbe işi değerlerinde düşüş olduğu ayrıca çekme dayanımı değerlerine bakıldığında da aynı sonuca varılabildiği görülmektedir (Şekil 5.31).

5.2.2.2 İlerleme Hızının Çentik Darbe İşi ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi

Aynı devir sayısına (750 min^{-1}), 9 kN'luk baskı kuvvetine ve $1,5^\circ$ 'lik takım açısına sahip deney numunelerinde ilerleme hızının etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırması Tablo 5.5'te, grafiği ise Şekil 5.32'de belirtilmiştir.

Tablo 5.5 İlerleme hızının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi

İlerleme Hızı (mm/min)	37,5	47,5	60
Çentik Darbe İşi (J)	9,3	14,9	11,7
Çekme Dayanımı (MPa)	469,7	483,95	394,47



Şekil 5.32 İlerleme hızının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi

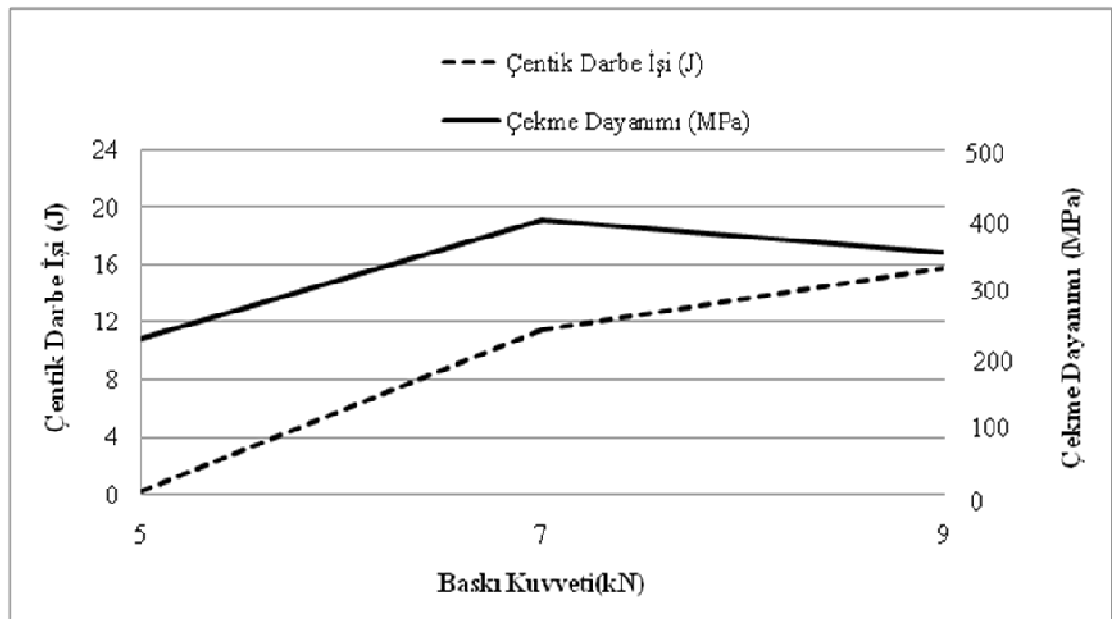
Seçilen sabit parametreler için, maksimum kaynak çekme dayanımının 47,5 mm/min ilerleme hızında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu değer optimum ilerleme hızı olduğu, bu değer altında ve üstündeki hızlarda çekme dayanımında düşüş olduğu ayrıca çentik darbe işi değerlerine bakıldığında da aynı sonuca varılabildiği görülmektedir (Şekil 5.32).

5.2.2.3 Baskı Kuvvetinin Çentik Darbe İşi ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi

Aynı devir sayısına (750 min^{-1}), 60 mm/min ilerleme hızına ve $1,5^\circ$ 'lik takım açısına sahip deney numunelerinde baskı kuvvetinin etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırması Tablo 5.6'da, grafiği ise Şekil 5.33'te belirtilmiştir.

Tablo 5.6 Baskı kuvvetinin çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi

Baskı kuvveti (kN)	5	7	9
Çentik Darbe İşi (J)	0,2	11,5	15,8
Çekme Dayanımı (MPa)	273,12	479,59	421,43



Şekil 5.33 Baskı kuvvetinin çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi

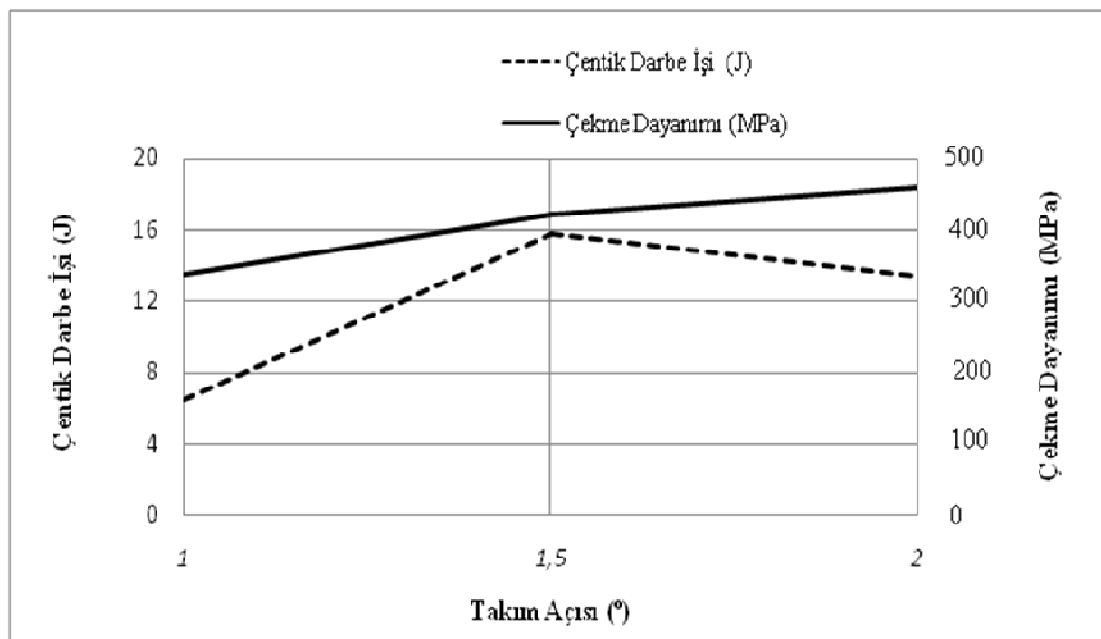
Seçilen sabit parametreler için, deney sonuçlarına göre maksimum kaynak çekme dayanımının 7 kN baskı kuvvetinde ancak maksimum çentik darbe işinin 9 kN baskı kuvvetinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.33).

5.2.2.4 Takım Açısının Çentik Darbe İşi ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi

Aynı devir sayısına (1180 min^{-1}), 60 mm/min ilerleme hızına ve 9 kN 'luk baskı kuvvetine sahip deney numunelerinde takım açısının etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırması Tablo 5.7 'de, grafiği ise Şekil 5.34'te belirtilmiştir.

Tablo 5.7 Takım açısının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi

Takım Açısı ($^{\circ}$)	1	1,5	2
Çentik Darbe İşi (J)	6,5	15,8	13,4
Çekme Dayanımı (MPa)	339	421,43	460,09



Şekil 5.34 Takım açısının çentik darbe işi ve çekme dayanımı üzerine etkisi

Sonuç olarak, kaynak deneyleri tamamlandıktan sonra, içyapı incelemeleri için gözle muayene ile seçilen 16 adet numunenin, çentik darbe ve çekme deneyleri sonuçlarına göre de düzgün kaynak edildiği gözlemlenmiştir. Çekme ve darbe deneyi sonuçlarının daha rahat karşılaştırılabilmesi için değerler kötüden iyiye doğru (açıktan koyuya gri tonlama) renklendirilmiştir (Bkz. Tablo 5.3). Çekme dayanımının yüksek olduğu durumlarda aynı malzeme için çentik darbe işi değerlerinin düşük olmasının normal olduğu göz önünde tutularak, yorumlamalar çekme dayanımı ve akma sınırı değerleri üzerinden yapılmıştır.

Tablo 5.8Deneylerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Kalite	Çekme Dayanımı (MPa) min	Akma Sınırı %0,2 (MPa) min	Rockwell B max (HR B)	Brinell max (HB)
304	515	205	92	201
304L	485	170	92	201

Tablo 5.8'deki değerler dikkate alınarak, kaynağın başarılı olduğu düşünülen deneylere ait çekme dayanımı ve akma sınırı değerlerinin esas malzemeye ait minimum değerlerden yüksek çıktığı gözlemlenmektedir. Bu sebeple uygun parametreler içerisinde sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan birleştirmelerde kaynağı yapılan malzemenin mekanik özelliklerini kaybetmediği sonucuna varılmıştır.

Çekme dayanımı değerlerine göre en iyi kaynağın 1180 min^{-1} devir sayısı, $47,5 \text{ mm/min}$ ilerleme hızı, 7 kN baskı kuvveti ve 2° takım açısı ile yapıldığı görülmektedir. Bu nedenle optimum kaynak parametreleri olarak bu değerler seçilebilir. Ancak dikkat edilmesi gereken bir husus, sıralamada çekme dayanımı değerlerinin yüksek olduğu diğer sonuçların çoğunluğunun 600 ve 750 min^{-1} devir sayısında yapılmış olmalarıdır. Ayrıca bu parametrelerde akma sınırı değerlerinin de yüksek olması, optimum parametrelerin seçilmesinde farklı fikirler elde edilmesini sağlamıştır. Kaynağı yapılan malzemelerin kaynaktan sonra nerede kullanılacağı, hangi yüklere maruz kalacağı ve hangi mekanik özelliklerin aranacağı bilinerek parametrelerin seçilmesinin daha uygun olacağı belirlenmiştir. Aynı şekilde kaynak bölgesinde tokluğun önemli olacağı parçalar için, çentik darbe işi değerinin en yüksek olarak ölçüldüğü 1180 min^{-1} , $47,5 \text{ mm/min}$, 9 kN ve $1,5^\circ$ parametrelerinin seçilmesi daha uygun olacaktır.

Gözlemlenen bir diğer sonuç ise takım açısının düşük değerlerde olduğu özellikle 0° ile yapılan deneylerin başarısız olduğudur. Açının büyümesiyle mukavemet değerlerinin arttığı görülmektedir. Özellikle 600 ve 750 min^{-1} devir sayısında ve $1,5$ ile 2° takım açısıyla yapılan deneylerin en yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yine aynı şekilde, baskı kuvveti değerinin de kaynak kalitesiyle doğru orantılı olduğu ortaya çıkmıştır.

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan deneyler ve elde edilen sonuçların yanı sıra aşağıda verilen bilgilerin bundan sonra yapılacak olan çalışmalar için yardımcı olacağı düşünülmüştür;

- Paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında en büyük problem takım ucu seçiminde yaşanmıştır. Literatür araştırmalarından edinilen bilgiler doğrultusunda, en iyi takım ucunun Amerika'daki MegaStir firmasına ait PCBN uçlar olduğu bilinmektedir. Ancak maliyetin 3000 \$ civarında olması, deneylerde alternatif uçlar kullanılmasına neden olmuştur.
- Deneyler sırasında, baskı kuvveti değerinin kontrol edilmesinde zorluklar yaşanmıştır. İlerleme hareketi verildikten sonra, kuvvetin sürekli değişiklik göstermesi, belirlenen değerde sabit tutmayı zorlaştırmıştır. Bu sebeple, baskı kuvvetini sabit tutabilecek, yük kontrollü bir mekanizma ile çalışmanın daha sağlıklı sonuçlar ortaya çıkaracağı düşünülmektedir.
- Paslanmaz çeliklerin sürtünme karıştırma kaynağı, freze tezgahı üzerinde yapılması gerekiyorsa, tezgahın ve tablasının güçlü olması gerekmektedir. Ayrıca zemin sabitlemesinin de sağlam yapılması gerekmektedir.
- Deney sonuçlarına göre, uygun takım ucu ve parametrelerin seçilmesi ile 3mm kalınlığındaki AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliklerin, sürtünme karıştırma kaynağı ile yüksek dayanımlı, düzgün yüzeyle ve iyi görünümlü kaynak edilebileceği görülmüştür.
- Ön deneyler ve asıl deneyler tamamlandıktan sonra, sıcaklık ölçümü için lazer termal kamera kullanılarak bir deney daha yapılmıştır. Ancak cihazın, ölçülecek noktayı gösteren lazer noktalarının parçaya çok yaklaşması gerektiğinden ve freze başlığının buna izin vermemesi nedeniyle, takım uçtan uzak bölgelerin ölçümleri yapılabilmıştır. Bu yüzden sadece termo-elemanlar ile yapılan sıcaklık ölçümlerinin doğrulamasını yapmak mümkün olmuştur. Kullanılabilecek farklı sıcaklık ölçüm sistemleri ile kaynak bölgesi ve etrafının sıcaklık ölçümlerinin yapılmasının bundan sonraki çalışmalar için yardımcı olacağı düşünülmektedir.
- Bulunan deney sonuçlarının birbirine yakın olması, yapılan çalışmanın sağlıklı olduğu ve bundan sonra yapılacak çalışmalar için yardımcı olacağını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Alptekin, A., (2006) Sürtünme Karıştırma Yönteminin AISI 304 Paslanmaz Çeliğine Uygulanabilirliğinin Araştırılması, **Pamukkale Üniversitesi FBE**.
- Boz, M., Kurt, A. (2004), The influence of Stirrer Geometry on Bonding and Mechanical Properties in Friction Stir Welding Process, Institute of Science and Technology, **Materials and Design** 25, s343–347
- Cui, L., Fujii, H., Tsuji, N., Nakata, K., Nogi, K., Ikeda, R., Matsushita, M. (2007a) Transformation In Stir Zone Of Friction Stir Welded Carbon Steels With Different Carbon Contents, **ISIJ International**, 47 (2), pp. 299-306.
- Feng, Z., Steel, R., Packer, S., and David, S.A., 2005 Friction Stir Welding Of API Grade X65 Steel Pipes, **Brigham University** -645
- Fujii, H., Cui, L., Nogi, K., (2007) Welding Of High Carbon Steel Without Transformation, **Key Engineering Materials**, 345-346 II, pp. 1411-1415.
- Gan, W., Li, Z.T., Khurana, S. (2007) Tool Materials Selection For Friction Stir Welding Of L80 Steel, **Science and Technology of Welding and Joining**, 12 (7), pp. 610-613.
- Ishikawa, T., Fujii, H., Genchi, K., Iwaki, S., Matsuoka, S., Nogi, K., (2008) High Quality-High Speed Friction Stir Welding of 304 Austenitic Stainless Steel, **Tetsu to Hagane-Journal of The Iron and Steel Institute of Japan**, 94-11, 539-544
- Jae-Hyung Cho, Donald E. Boyce, Paul R. Dawson, 2(005) Modeling strain hardening and texture evolution in friction stir welding of stainless steel, **Materials Science and Engineering A**, Volume 398, Issues 1-2, Pages 146-163
- Ke, L., Pan, J., Xing, L., Wang, S. (2007) Influence Of Pin Shape On Weld Transverse Morphology In Friction Stir Welding, **Hanjie Xuebao/Transactions of the China Welding Institution**, 28 (5), pp. 33-37.
- Konkol, P.J., Mruczek, M.F. (2007) Comparison Of Friction Stir Weldments And Submerged Arc Weldments In HSLA-65 Steel, **Welding Journal (Miami, Fla)**, 86 (7), pp. 187s-195s.
- Kurt, A., Özdemir, M., Boz M. (2002), Alüminyum Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Hızının Birleşebilirliğe Etkisi, 8. **Denizli Malzeme Sempozyumu**, Denizli, p72-75,
- Liechty, B.C., Webb, B.W., (2008) Modeling the frictional boundary condition in friction stir welding, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Volume 48, Issues 12-13, Pages 1474-1485
- Lienert, T. J., Stellwag, W. L., Grimmert Jr., And Warke R. W. (2003), Friction Stir Welding Studies on Mild Steel, **Welding Journal** , 82 (1), s1-7

- Liu, H., Zhou, L. (2007) Progress In Friction Stir Welding Of High Melting Point Materials, **Hanjie Xuebao/Transactions of the China Welding Institution**, 28 (10), pp. 101-104.
- Meran, C., Kovan, V., Alptekin, A. (2007) Friction Stir Welding Of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik**, 38 (10), pp. 829-835.
- Meran, C., Paslanmaz Çeliklerin Sürtünme Karıştırma Kaynak Yapılabilirliği ve Kaynak Kalitesini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi, **106M504 Nolu TÜBİTAK Projesi**, Haziran 2009
- Odabaş, C., (2004) Paslanmaz Çelikler Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, **Kaynak Yöntemleri, Kaynak Tekniği San. Ve Tic. A.Ş.**, İstanbul, p76,
- Orhan, N., Kurt, B., Çelik, E., (2006) AISI 430 Ferritik Paslanmaz Çeliğin Sürtünme Karıştırma Kaynağına Devir Sayısının Etkisi, **Proceedings of 11th International Materials Symposium**, Denizli, p 12-15
- Park, S.H.C., Yutaka, S., Kokawa, 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, s1175–1180
- Posada, M., Deloach, J., Reynolds, A.P., Halpin, J.P., in: David, S.A., DebRoy, T., Lippold, J.C., Smartt, H.B., Vitek, J.M. (Eds.), (2003) Proceedings of the Sixth International Conference on Trends in Welding Research, **ASM International**, Pine Mountain, pp. 307–312
- Reynolds, A.P., Posada, M., Deloach, J., Skinner, M.J., Halpin, J., Lienert, T.J., (2001) Proceedings of the Third International Symposium on Friction Stir Welding, Kobe, Japan
- Saeid, T., Abdollah-zadeh, A., Assadi, H., Malek Ghaini, 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
- Sato, Y.S., Nelson, T.W., Sterling, C.J., Recrystallization In Type 304L Stainless Steel During Friction Stirring, **Acta Materialia**, Volume 53, Issue 3, February 2005, Pages 637
- Sato, Y.S., Yamanoi, H., Kokawa, H., Furuhashi, T. (2007) Microstructural Evolution Of Ultrahigh Carbon Steel During Friction Stir Welding, **Scripta Materialia**, 57 (6), pp. 557-560.
- Sterling, C.J., Nelson, T.W., Sorensen, C.D., Steel, R.J., Packer, S.M., in: Jata, K.V., Mahoney, M.W., Mishra, R.S., Semiatin, S.L., Lienert, T. (Eds.), (2003) Friction Stir Welding and Processing II, **TMS**, pp. 165–171.
- Thomas, W. M., Nicholas, E. D., Smith, S. D. (2001), Friction Stir Welding – Tool Developments, **Aluminum Joining Symposium**, TMS Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, USA

- Zhang, Z., Zhang, H.W. (2007) Numerical Studies Of Preheating Time Effect On Temperature And Material Behaviours In Friction Stir Welding Process, **Science and Technology of Welding and Joining**, 12 (5), pp. 436-448.
- Zhang L., Zhang N., Zhao F., Chen Y.A., (2008) A Genetic-Algorithm-Based Experimental Technique For Determining Heat Transfer Coefficient Of Exterior Wall Surface, **Applied Thermal Engineering**, Volume 24, Issues 2-3, Pages 339-349, 2003

ÖZGEÇMİŞ

Adı – Soyadı : Asil Gürcan Atik
Doğum Tarihi : 17.10.1982
Doğum Yeri : Denizli
Eğitim Bilgileri : Mehmet Akif Ersoy YDA Lisesi, 2000
Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 2005
İş Tecübeleri : 2006 – 2009 Ekmak Metal İşl., İmalat sorumlusu
: 2009 - Bahçeli Makine Sanayi, Proje ve İmalat