



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK
FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 31

Özel Sayı/Special Issue: 1

Ağustos/August 2016

ISSN 1019-1011



**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ**



Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Mesut BAŞIBÜYÜK

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Özen KILIÇ

ÖZEL SAYI YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)

Adem KURT

Necip Fazıl YILMAZ

Ağustos 2016 Cilt 31 Özel Sayı 1 Hakemleri

Abdulkadir EKŞİ (ÇÜ)

Oğuzhan YILMAZ (GU)

Mikail ASLAN (GAUN)

Mete KALYONCU (SU)

Yahya BOZKURT (MU)

Ahmet DURGUTLU (GU)

Ramazan KAÇAR (KÜ)

Abdulaziz KAYA (GAUN)

Selçuk MISTIKOĞLU (İSTE)

Kubilay KARACİF (HÜ)

Mehmet EROĞLU (FÜ)

Halil İbrahim KURT (GAUN)

Murat ODUNCUOĞLU (GAUN)

M. Veysel ÇAKIR (GAUN)

MUAMMER KOÇ (GAUN)

C.Hakan GÜR (ODTU)

Ömer EYERCİOĞLU (GAÜN)

Serdar SALMAN (MU)

Bilge DEMİR (KÜ)

Ali GÜRSEL (IUS)

* Cilt 31 Özel Sayı 1'de yayınlanan makaleler 4th International Conference on Welding Technologies and Exhibition isimli sempozyumda yayınlanan bildiriler arasından seçilmiştir.

YAZIŞMA ADRESİ

Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı Balcalı 01330 Sarıçam/ADANA
Tel : (322) 338 63 57 Fax : (322) 338 61 26 E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr - cu.mmfdergi@gmail.com

Hakemli Bir Dergidir. Yılda İki Sayı Basılır. / Refereed Journal. Published Semi-annually.

Dergimiz TÜBİTAK ULAKBİM Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi'nde taranmaktadır.
(Bu sayı Çukurova Mühendisler - Mimarlar Güçlendirme Derneği tarafından bastırılmıştır)

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda iki sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Dergi akademik ve araştırma kurumlarındaki mühendislik ve mimarlık alanındaki araştırmacı ve uygulamacılara hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan yenilikçi, değerli ve yararlı araştırma makaleleri kabul edilmektedir.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering and Architecture of Çukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published semi-annually. The journal aims to serve researchers and practitioners in the fields of engineering and architecture in academic and research organizations. All innovative, valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- API 5L X65 Çeliklerinin MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde, Kaynak İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi ÖS 1**
The Investigation of Effect of Welding Process on the Microstructure and Mechanical Properties of API 5L X65 Steel Welded with Gas Metal Arc Welding Method
Hakan ADA, Sinan AKSÖZ, Tayfun FINDIK, Cemil ÇETİNKAYA, Bülent BOSTAN ve İlhan CANDAN
- En Aw 6063 Alüminyum Alaşımı Boruların Plakalara Dıştan Bir Takım Yardımıyla Sürtünme Kaynağı Yapılabilirliğinin İncelenmesi ÖS 11**
Investigation of Friction Weldability of En Aw 6063 Aluminium Alloy Tube to Tube Plate Using an External Tool
- Cemal MERAN, Emre KORKMAZ, Elif AYKANAT ve Selin DEĞİRMENCİ**
Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler..... ÖS 19
Methods Used in Joining Thermoplastics by Friction Stir Welding
İdris KARAGÖZ ve Mustafa ÖKSÜZ
- Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yaşlandırılabilir Parçalar Üzerinde Etkisi ÖS 29**
Effect of Stir Friction Welding on Age Hardenable Parts
Fikret SÖNMEZ ve Hüdayim BAŞAK
- Gemilerdeki Kaynaklı Yapılarda Isı Yalıtımı ÖS 35**
Thermal Insulation in Ships for Welding Structure
Mehmet ŞAHİN ve Yahya BOZKURT
- Kondansatör Deşarjlı Saplama Kaynağı Kaynak Voltunun Aa6082 Alüminyum Alaşımında Birleşmeye Etkisi ÖS 43**
Joint of Aa 6082 T6 Aluminium Alloy by Welded Capacitor Discharge Stud Welding Technique
Mehmet ÇAKMAKKAYA, Ahmet YÖNETKEN ve Ayhan EROL
- Microstructure and Mechanical Properties of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Sprayed Nickel Powder Coating on Welding Regions of Aluminum Alloy AA5754 and DP600 Welded Steel Plates with the Friction Stir Spot Welding Process ÖS 51**
Yüksek Hızlı Oksijen Yakıtlı Alev Toz Püskürtme Yöntemiyle Nikel Kaplanmış AA5754 Alüminyum Alaşımı ve DP600 Galvanizli Çeliğin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesinde Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi
Mesut ÖZER, Hasan KAYA, Egemen AVCU, Abdullah DEMİR, Mehmet UÇAR ve Ramazan SAMUR

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Damping and Vibration Behavior of Adhesively Bonded Glass Fiber Reinforced Composite Laminates ÖS 61**
Yapıştırma ile Birleştirilmiş Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Tabakaların Sönümleme ve Titreşim Davranışları
Ömer Yavuz BOZKURT, Özkan ÖZBEK ve Mehmet BULUT
- Al 2024 Esaslı B4C/SiC Parçacık Takviyeli Hibrit Kompozitlerin TIG Kaynağı ile Birleştirilmesi..... ÖS 69**
Joining of Al 2024 Based B4C/SiC Particle-Reinforced Hybrid Composites with TIG Welding
Uğur GÖKMEN
- Saplama Kaynak Bağlantılarının Çekme Dayanımının ANFIS ile Modellenmesi..... ÖS 79**
ANFIS Modelling of the Tensile Strength of Arc Stud Welding Joints
Necip Fazıl YILMAZ, M. Veysel ÇAKIR ve Musa YILMAZ
- Characterization and Analysis of Welding Area Between Alloy Steel Main Part and Bended End Part..... ÖS 89**
Çelik Alışımı Ana Kısımı ile Kıvrılmış Uç Kısım Arasındaki Kaynak Bölgesinin Karakterizasyonu ve Analizi
Emre YALAMAÇ, Ufuk İNCELİ, Mustafa KARAAĞAÇ ve Selçuk YILDIZ
- Cam Elyaf Kompozitlerin Alüminyum Plaka ile Yapıştırılması ve Yapışmanın Mekanik Özelliklerinin Araştırılması ÖS 99**
Adhesive Bonding of Aluminium Plate to Glass Fibre Composites and Investigation of its Mechanical Properties
M. Veysel ÇAKIR ve Didem KINAY
- Elektrofüzyon Kaynaklı Polietilen 80 Kalite Doğalgaz Borularının Tokluğu ÖS 109**
The Toughness of Electrofusion Welded PE 80 Quality Natural Gas Pipes
Aşgar NAJAFIĞHAREHTAPEH ve Ramazan KAÇAR
- Toz Metal Parçalar ile Çelik Parçaların İndüksiyon ile Sinterleme Yöntemiyle Birleştirilmesi..... ÖS 117**
Joining of Powder Metal Parts with Steel Parts by Induction Sintering Method
Enver ATİK, Can ÇİVİ, Cansu KÖKEY ve Gökhan EYİCİ

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Çarpılma Kuvvetleriyle Kaynak Sırasının Optimizasyonu ve Çeşitli Uygulamaların Değerlendirilmesi..... ÖS 123**
Optimization of Welding Sequence by Distortion Forces and Evaluation of Some Applications
Yusuf ÖZÇATALBAŞ
- Orbital Tig Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmiş Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Mekanik, Metalurjik ve Korozyon Özellikleri ÖS 133**
The Mechanical, Metallurgical and Corrosion Properties of Duplex Stainless Steel Pipes Welded by Orbital GTAW
Umut SÖNMEZ, Niyazi ÇAVUŞOĞLU ve Vural CEYHUN
- Effect of Heat Input on Weld Microstructure in TIG Welding of Duplex Stainless Steels ÖS 143**
Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Isı Girdisinin Kaynak Mikroyapısı Üzerindeki Etkisi
Alptekin KISASÖZ ve Ahmet KARAASLAN
- Düşük Alaşımli Çelik Kaynaklarda Sıcak Çatlak Oluşumunun Matematiksel Olarak Modellenmesi ÖS 147**
Mathematical Modelling of the Hot Crack Formation in Low Steel Alloy Welds
Alptekin DURMUŞOĞLU
- Farklı Kaynak Ağız Açılarının 307Si Elektroduyla Kaynak Edilmiş Mı-A 46100 Zırh Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi..... ÖS 155**
Experimental and Numerical Analysis of Weld Geometry and Groove Angle Effect on the Microstructure and Mechanical Properties of the Welded High Hardness Armor Plates
Suat KURT, Celal EVÇİ, Halil IŞIK, Mehmet Samir IŞIK

API 5L X65 Çeliklerinin MAG Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde, Kaynak İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

Hakan ADA^{*1}, Sinan AKSÖZ¹, Tayfun FINDIK²
Cemil ÇETİNKAYA², Bülent BOSTAN², İlhan CANDAN³

¹Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojisi Bölümü, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara

³Emek Boru Mak. San. ve Tic. A.Ş, Ankara

Geliş tarihi: 14.10.2015

Kabul tarihi: 30.04.2016

Özet

Bu çalışmada; doğalgaz ve petrol boru hatlarında kullanılan API 5L X65 kalitesindeki çelik malzemeler, MAG kaynak yöntemiyle özlü rutil tel ile birleştirilmiştir. Birleştirmelerden alınan numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda makro ve mikroyapısal olarak, ana malzeme, ITAB) ve kaynak metali incelenmiş, oluşan yapıların tipik kaynak işlem özelliklerine sahip yapılar olduğu tespit edilmiştir. Çekme, çentik darbe, sertlik ve eğme testlerinde kaynak işlemi kusursuz özellikler sergilemiştir. Elde edilen tüm sonuçlar, kaynak işleminin mikroyapısal ve mekanik olarak kendinden beklenen lokal özellikleri karşılayabilecek bir tavır sergilediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak, Çelik boru, MAG Kaynağı, Kaynak teli

The Investigation of Effect of Welding Process on The Microstructure and Mechanical Properties of API 5L X65 Steel Welded with Gas Metal Arc Welding Method

Abstract

In this study, API 5L X65 steel pipes, used in natural gas and oil pipelines, was welded by the FCAW method using rutile flux-cored wire electrodes. The microstructure and mechanical properties of the samples were investigated. In the experimental studies, the microstructure of main material, HAZ and FZ was examined. It was determined that the formed structures were typical characteristic structures for medduring welding process. Welding process demonstrated perfect features in tensile, charpy impact, hardness and guided bend tests. All results obtained from experimental studies have showed that the welding process exhibits expected local properties as microstructural and mechanical.

Keywords: Welding, Steel pipe, Gas metal arc welding, Welding wire

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Hakan ADA, Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojisi Bölümü, Ankara, hakanada@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ

Boru hattı sistemleri; gaz, petrol ya da buhar gibi akışkan ürünlerin güvenli bir şekilde taşınması işlemlerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Doğalgaz ve petrol taşımacılığında kullanılan boru hatları; toprak kayması, göçük gibi dış kuvvetlerin sebep olduğu plastik deformasyona maruz kalabilir. Bu nedenle boru hattı malzemesi ve bağlantı sistemlerinin, dışarıdan gelebilecek olumsuz etkilere karşı koyabilecek mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir [1-4].

X65 çeliklerinin kimyasal ve mekanik şartnameleri API 5L standardına göre belirlenmiştir. API 5L X65 çelikleri, büyük çaplı gaz boru hatlarının yapım işlerinde kullanılan yüksek mukavemetli ve düşük alaşımlı çelik (HSLA) serilerinden biridir [5]. Bu çelikler, boru hatları için tercih edilen ve ince taneli asiküler ferritin hâkim olduğu, kontrollü termomekanik haddeleme yöntemi ile üretilen karbon çelikleridir [6-8]. Karbon çelikleri doğalgaz ve petrol ürünlerinin taşındığı boru hattı sistemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çelikler mühendislik uygulamaları için önemli ölçüde ekonomik özellikleri ile düşük maliyet, kolay elde edilebilirlik ve yüksek mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır [9-11]. API çeliklerinin üretiminde kullanılan termomekanik haddeleme; dinamik toparlanma ve yeniden kristalleşme adı altındaki iki farklı yumuşatma mekanizması ile gerçekleşmekte olup, çeliklerin mikro yapı dönüşümleri ve mekanik özelliklerini kontrol etmek için haddeleme esnasında ve sonrasında sıcak deformasyon uygulanmaktadır [12, 13].

Doğalgaz boru hatları için üretilen borular genellikle tozaltı kaynak yöntemi ile üretilmekte olup, boruların sahada birleştirme işlemleri ise örtülü elektrodla elektrik ark kaynak yöntemi ile gerçekleşmektedir. Son zamanlarda, yapım işi imalat sürecini hızlandırarak, enerji, maliyet ve zamandan tasarruf etmek için sahada yapılan birleştirme işlemlerinde gazaltı kaynak yöntemleri

de denenmektedir [14]. Örtülü elektrodla ark kaynağı manuel bir kaynak yöntemi olup, prosesin performans ve başarısı tamamen optimum kaynak parametrelerinin tercih edilmesine ve kaynakçının maharetine bağlıdır. Gazaltı kaynak yöntemleri tel besleme hızı ve kesintisiz kaynak yapabilmek özelliği nedeniyle sanayi uygulamalarında yoğun olarak kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca kaynak işlemlerinde otomasyon sürecine geçiş noktasında gazaltı kaynağı önemli bir yer tutmaktadır. Otomatik gazaltı kaynağının uygulandığı robotik uygulamalarda son zamanlarda giderek artmaktadır. Otomatik gazaltı kaynağı doğalgaz ve petrol boru hatlarının kaynaklı birleştirme işlemlerinde son zamanlarda denenmekte olup, kullanımı her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır [15].

Bu çalışmada; Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (Erdemir) tarafından doğalgaz boru hatlarında kullanılmak üzere üretilen API 5L standardında, X65 kalitesinde çelik malzemeler MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Elde edilen birleştirmelerden alınan numunelere mikrosertlik, çekme, çentik – darbe ve eğme testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynaklı birleştirmelerin makro ve mikroyapı fotoğrafları çekilerek, kaynak işleminin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada, sürekli döküm yolu ile imal edilmiş, termomekanik haddelemeye tabi tutulmuş, hidrojen kırılma hızına karşı yüksek dirençli API 5L standartlarında, X65 kalitesinde ve 16 mm kesit kalınlığında çelik kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan API5L X65 malzemesine ait kimyasal analiz ve mekanik test sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. İlave tel olarak, Çizelge 2’de kimyasal ve mekanik özellikleri verilen 1,2 mm çapında E71T-1 özlü rutil tel kullanılmıştır. Koruyucu gaz atmosferi ise EN439 standardında M21 koduyla belirtilen %86 Argon, %12 CO₂ ve %2 O₂ içeriğine sahip, karışım gaz olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. API 5L X65 malzeme kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri

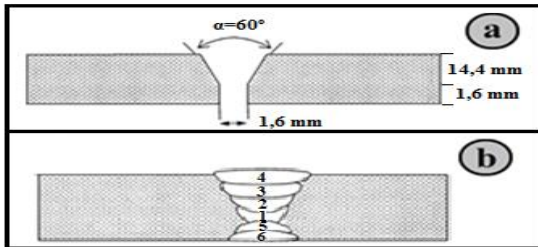
C	Si	Mn	P	S	Karbon Eşd. (%)
Maksimum					
0,12	0,45	1,6	0,03	0,02	0,43
Ak. Muk. MPa	Çek. Muk. MPa	Akma / Çekme Muk. Oranı		% Uzama (min)	Dar. Ener. (Joule) (-20°C)
450-600	535-760	0,93		24	54

Çizelge 2. E71T-1 ilave telin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri

İlave Tel	C	Si	Mn
E71T-1	0,04-0,08	0,03-0,07	1,10-1,5
Akma Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa	% Uzama (min)	Darbe Enerjisi (Joule) (-20°C)
450	540-640	22	54

2.1. Metot

Birleştirme işlemleri 6 pasoda gerçekleştirilmiş olup, kaynak ağzı geometrisi ve paso sıralaması sırasıyla Şekil 1. a ve b'de görüldüğü gibidir. Birleştirmeler, Emek Boru Mak. San. ve Tic. A.Ş'nin Ankara'daki Fabrikasında Çizelge 3'teki kaynak parametrelerine göre, MAG kaynak yöntemi ile doğru akımda (DC) ve pozitif kutuplamada 1G pozisyonunda gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminden önce malzemelere 80°C'de önısıtma işlemi gerçekleştirilmiş, pasolar arası sıcaklık ise maksimum 200°C'de tutulmuştur.



Şekil 1. a) Kaynak ağzı geometrisi, **b)** Kaynak pasoları

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri

Paso No	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (cm/dak)
1	190-200	26-27	10,6
2	240-250	27-28	8,5
3	300-310	32-33	8,6
4	225-235	28-29	10,3
5	230-240	27-28	19,8
6	220-230	28-29	15,6

Çizelge 3'te verilen kaynak parametrelerine uygun olarak birleştirilen parçalardan çekme, çentik darbe ve eğme deneyleri için 5'er adet numune alınarak, testler uygulanmış, ayrıca mikroyapı numunesinden mikro ve makro yapı fotoğrafları alınarak, numunelere mikrosertlik testleri uygulanmıştır. Makroyapı, mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında, çekme, çentik - darbe, eğme testleri ise Emek Boru Makine San. ve Tic. A.Ş. Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Makroyapı - mikroyapı incelemeleri ve mikrosertlik ölçümleri için numuneler, metalografik metotlara uygun olarak hazırlanmıştır. Numuneler sırasıyla; 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gridlik zımparalama işlemine tabi tutulmuş, 6 ve 3 µm'lik keçelerde parlatılmıştır. Parlatılan numuneler, daha sonra %3 HNO₃ (Nital) dağlayıcı ile dağlanarak makro ve mikro incelemelere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikroyapı fotoğrafları için Leica marka optik mikroskop kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri ise, makro ve mikro ölçümler yapılabilen, Shimadzu marka sertlik cihazında 0,5 ve 1 kg yükler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

ASTM E8 standardına uygun olarak hazırlanan çekme numuneleri 600 KN yük kapasitesine sahip Instron marka çekme cihazında test edilmiştir. Deneylerde maksimum çekme mukavemeti ve % uzama değerlerine bakılarak, ortalama değerler belirlenmiştir. Eğme testleri ise yine aynı cihazda 40 mm çapında mil (mandrel) ile 63,2 mm kalıp mesafesinde ve 180° açıda kök bükme (root) ve yüzey bükme (face) olarak gerçekleştirilmiştir.

Çentik – darbe deneyleri ise maksimum 300 Joule enerji ölçebilen ve çarpma hızı 5,42 m/sn olan bir cihaz yardımı ile yapılmıştır. Numuneler EN 10045 standardına göre sivri çentikli ISO-V şeklinde testler için hazırlanmıştır. Numune soğutması, sıvı azot banyosu içinde $\pm 0,5$ °C hassasiyet ile yapılmış olup, numunelerin banyo içinde tutulma süresi 7 dakikadır. Çentik – darbe deneyleri, -20 °C’de gerçekleştirilmiş olup, numuneler cihaza çentik eksenine mesnet açıklığının tam ortasında ve çentikli yüz, çekicinin vuracağı yüzün ters tarafında olacak şekilde yapılmıştır.

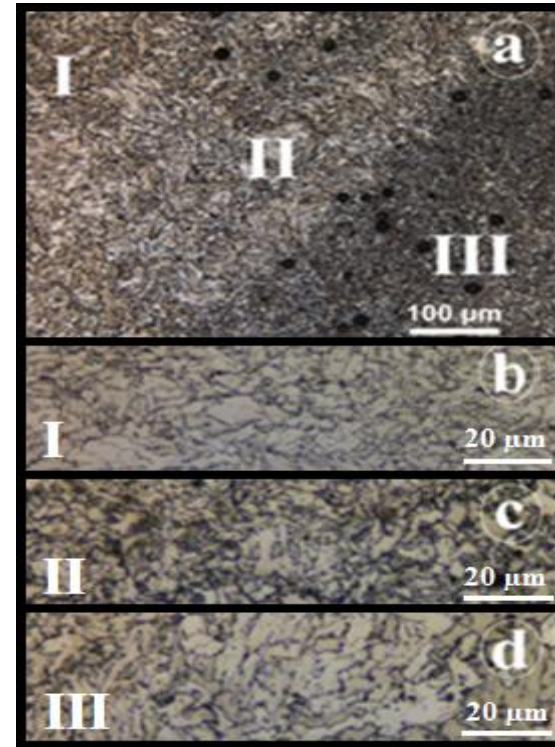
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Metalografik numune hazırlama metodlarına uygun olarak hazırlanan mikroyapı numunesi; makroyapı, mikroyapı ve mikrosertlik incelemelerine tabi tutulmuştur. Şekil 2’de kaynaklı birleştirmeden alınan numunenin makroyapı fotoğrafı görülmektedir. Makroyapı fotoğrafı incelendiğinde, ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinin birbirinden ayrıldığı bölgeler açıkça görülebilmektedir. 6 pasoda gerçekleşen kaynaklı birleştirme işleminde (Şekil 1.b), paso geçişleri de makroyapı fotoğrafında açıkça görülebilmektedir. İlave metal ile birlikte ana metalden ergiyerek kopan taneler yoğun türbülansın da etkisiyle birlikte katılarak, kaynak metalini oluşturmuştur. Kaynak metalindeki katılmanın epitaksiyel olarak ana metalin tanelerinden başlayarak merkeze doğru ilerlediği bilinmektedir [16-18]. Isının tesiri altındaki bölge katılmanın başladığı çizgiden ana metale kadar uzanan ve yapısal farklılıkların makro olarak da görülebildiği bir yapıdır. Ana metal ve kaynak metal arasında kalan, ergime - katılma olmadan yüksek ısı etkisi ile yapısal olarak değişime uğrayan bölge ise, ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak Şekil 2’de görülmektedir [16-19]. Maruz kaldığı ısı miktarına göre ITAB içerisinde de yapısal farklılıklar oluşmaktadır. Kaynak metalini sınırında koyu renkte görülen ITAB makroyapısının, ana metale yaklaştıkça daha açık renkte olduğu görülmektedir. Mikroyapı incelemelerinde oluşan bu yapısal farklılıklar açıkça görülmektedir (Şekil 3.a).



Şekil 2. X65 malzeme makroyapı fotoğrafı

Şekil 3’te ise mikroyapı görüntüleri ayrıntılı olarak verilmektedir. Şekil 3.a’da 100 μm ’de ölçeklendirilmiş mikroyapı fotoğrafında ana metal, ITAB ve kaynak metalini mikroyapısını birlikte görülmektedir. Şekil 3.b’de ana metal, Şekil 3.c’de ITAB ve Şekil 3.d’de ise kaynak metalini mikroyapısı 20 μm olarak ölçekli fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 3. a) Kaynak metalini - ITAB - Ana metal mikroyapı görüntüsü, b) Ana metal mikroyapı görüntüsü, c) ITAB mikroyapı görüntüsü, d) Kaynak metalini mikroyapı görüntüsü

Şekil 3.a'da verilen mikroyapı fotoğrafında, tipik ana metal, ITAB ve kaynak metali mikroyapısı bir arada görülmektedir. Fotoğraf üzerinde, I, II ve III numara ile numaralandırılan bölgeler sırasıyla; ana metal, ITAB ve kaynak metali bölgelerini göstermektedir. I ve III numara ile gösterilen bölgelerde ana metal ve kaynak metali tanelerinin homojen dağılımlı tane yapısında oluştuğu görülmektedir [20]. Ana metal tanelerinde daha iri taneli yapılar oluşurken, kaynak işlemine aşırı ısınma ve hızlı soğuma etkilerine bağlı olarak oluşan asiküler ferrit tanelerinin yoğunluğu nedeniyle, kaynak metali içerisinde daha ince taneli yapının oluştuğu görülebilmektedir [21, 22]. ITAB'da ise ısının etkisi ile ana metal ve kaynak metalinde oluşan yapılardan daha farklı yapıların oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu durum Şekil 3.a'da verilen II numaralı bölgede açıkça görülmektedir. Bu bölgedeki ITAB yapısında tanelerin, ana metal yönünden kaynak metali yönüne doğru dendritik olarak uzadığı görülmektedir. Dendritik yapının hâkim olduğu ITAB tane yapısı içerisinde yer yer iğnemsî widmanstätten yapının oluştuğu da tespit edilmiştir [23]. Yine kaynak metali içerisinde sütunsal ferrit tanelerinin yoğun olarak bulunduğu görülmektedir. Bu duruma, paso sayısının artmasıyla birlikte ısı girdisinde meydana gelen artışın neden olabileceği düşünülmektedir [24].

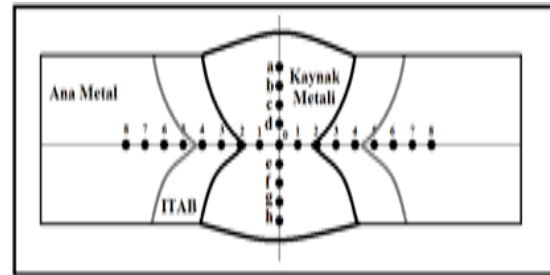
Çizelge 4'teki çekme deney verileri incelendiğinde, bütün numunelerde kopmanın ana malzeme meydana geldiği, kaynaklı bölgede kopmanın olmadığı tespit edilmiştir. Bu sonuç; uygulanan kaynak işleminin mekanik yüklemelerdeki dayanımının kaynak metalinde, ana malzemeye göre daha iyi tavırlar sergilediğini göstermektedir. Buna sebep olarak kaynaklı bölgede yüksek ısı girdisi ve hızlı soğumadan kaynaklanan ince taneli ve iğnemsî yapıların oluşması gösterilebilir. Oluşan ince taneli yapıların mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediği bilinmektedir [25]. İnce taneli yapıların deformasyona karşı gösterdiği direnç yüksek olduğu için kopma kaynak metalinde gerçekleşmeyip, daha iri tane yapısına sahip olan ana metalde meydana gelmiştir. Kaynaklı bölgenin çekme testi esnasında deformasyona karşı gösterdiği direnç, çekme numunelerinin % uzama

değerlerinin ana malzemeye oranla daha düşük çıkmasına neden olmakta ve bu nedenle kopma ana malzemede oluşmaktadır. Buna paralel olarak çekme mukavemetinin artması yine kaynaklı bölgenin deformasyona karşı gösterdiği direnç nedeniyledir [25,26].

Çizelge 4. Çekme testi sonuçları

Numune	Maksimum Çekme Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama	Kırılma Bölgesi
1	590	26	Ana malzeme
2	587	27	Ana malzeme
3	601	22	Ana malzeme
4	595	24	Ana malzeme
5	603	22	Ana malzeme
Ortalama	595	24	Ana Malzeme

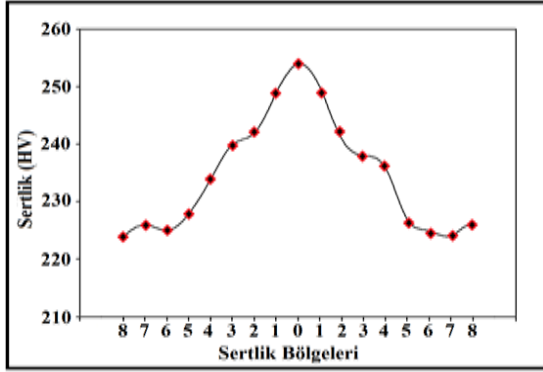
Çekme testi sonuçları incelendiğinde en yüksek maksimum çekme mukavemeti değerinin 603 MPa ile 5 numaralı numunede olduğu görülürken, en düşük maksimum çekme mukavemetinin ise 587 MPa ile 2 numaralı numunede olduğu tespit edilmiştir. 3 ve 5 numaralı numunelerde %22 ile en düşük % uzama değerleri görülürken, en yüksek değer %27 uzama ile 2 nolu numunede görülmektedir. Ortalama değerler ise maksimum çekme mukavemeti için 595 MPa, % uzama değeri için ise %24'tür.



Şekil 4. Sertlik alınan bölgelerin şematik gösterimi

Sertlik ölçümleri ise Şekil 4'te şematik olarak gösterilen noktalardan alınmıştır. Enine 17 noktadan alınan sertlik ölçümleri kaynak işlemi sonucunda oluşan farklı mikroyapıların (ana metal, ITAB, kaynak metali) sertlik davranışını tespit etmek için yapılmıştır. Kaynak metali içerisinde 9 farklı noktadan boyuna alınan sertlik ölçümleri ise, kaynak pasolarının kaynak metali sertliği üzerine

etkilerini tespit etmek için yapılmıştır. Sertlik sonuçları Şekil 5'te verilen grafikteki gibidir.



Şekil 5. Sertlik grafiği

Sertlik sonuçları irdelendiğinde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak metalinde ölçüldüğü görülürken, en düşük değerler ise ana malzemede ölçülmüştür (Şekil 5). En yüksek sertlik değerlerinin kaynak metalinde oluşmasına, yüksek ısı girdisi ve hızlı soğuma neticesinde oluşan ince taneli yapıların sebep olduğu düşünülmektedir. Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde kaynak metalinde ince taneli ve benzer yapıların varlığı dikkat çekmektedir (Şekil 5). Tüm kaynak bölgelerinin enine incelendiği ölçümlerde en yüksek sertlik değeri kaynak metalinde 0 noktasında 254 HV olarak ölçülmüştür. En düşük değerler ise ana malzemede, 6,7 ve 8 numara ile belirtilen noktalarda yaklaşık 225 HV olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmalarda benzer sertlik sonuçları elde edilmesi yapılan çalışmanın doğruluğunu göstermektedir [27-31].

Çizelge 5. Kaynak metal boyuna sertlik ölçümleri

Bölge	a	b	c	d	0
HV	257	247	237	243	254
Bölge	e	f	g	h	Ort.
HV	261	232	250	235	246

Kaynak bölgesinden boyuna alınan sertlik ölçümlerinde ise Çizelge 5'te verilen sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; kaynak metal sertliğinde, ana malzeme sertlik sonuçlarına oranla daha yüksek sertlik değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. En yüksek sertlik değeri 261 HV ile e

noktasında tespit edilirken, en düşük sertlik değeri 232 HV ile f noktasında elde edilmiştir. Boyuna alınan sertlik ölçümlerindeki sonuçların farklılık göstermesi, kaynak işleminin çok pasoda gerçekleştirilmesine bağlanmaktadır. Ergime ve katılmanın birden fazla gerçekleştiği, çok pasolu kaynak işlemleri, yüksek ısı girdisine ve soğuma hızlarına sebep olduğu için kaynak metal tane yapısının kontrollü ve homojen olarak oluşmasını engellemiştir. Bu nedenle boyuna alınan sertlik sonuçlarında farklı sertlik değerlerine ulaşılmıştır [32].

Kaynak metalinden alınan numunelere, -20 °C'de yapılan çentik – darbe deneylerinde Çizelge 6'da verilen değerler tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek kırılma tokluğu 68 Joule ile 3 nolu numunede görülürken, en düşük ölçüm 63 Joule ile 1 numaralı numunede olduğu görülmüştür. Çentik darbe sonuçlarının ortalaması alındığında ise 66 Joule'lük bir darbe enerjisi elde edilmiştir.

Çizelge 6. Kaynak metal sertlik sonuçları

Numune	Enerji (Joule) Test sıcaklığı:-20°C
1	63
2	66
3	68
4	65
5	67
Ortalama	66

Eğme deneyleri; kaynaklı malzemelerde makro olarak bir hatanın oluşup oluşmadığını görmek için Çizelge 7'de verilen mandrel çapı ve kalıp mesafesinde kaynağın her iki yönüne (kök ve yüzey) uygulanmıştır. 180° açıda uygulanan eğme deneylerinde, malzemelerde çatlama, yırtılma v.b. hataların oluşmadığı görülmüştür (Çizelge 7).

Çizelge 7. Eğme testi parametreleri ve sonuçları

Mandrel Çapı (mm)	Kalıp Mesafesi (mm)	Kök Bükme		Yüzey Bükme	
		Açı	Sonuç	Açı	Sonuç
40	63,2	180°	Hata yok	180°	Hata yok

Eğme testi sonuçları birleştirme işleminin uygun bir şekilde yapıldığını göstermektedir. Şekil 6’da eğme deneyi uygulanmış bir numunenin görüntüsü verilmektedir.



Şekil 6. Eğme testi uygulanmış numune

4. SONUÇLAR

- İlave metal ile birlikte ana metalden ergiyerek kopan taneler yoğun türbülansın da etkisiyle birlikte katılarak, kaynak metali yapısını oluşturmuştur.
- Maruz kaldığı ısı miktarına göre ITAB içerisinde de yapısal farklılıklar oluşmuştur. Kaynak metali sınırında koyu renkte görülen ITAB makroyapısının, ana metale yaklaştıkça daha açık renkte olduğu görülmüştür.
- Kaynak metali ve ana malzeme mikroyapısının homojen dağılımlı tane yapısında oluştuğu tespit edilmiştir.
- Ana metal tanelerinde daha iri taneli yapılar oluşurken, kaynak işleminde aşırı ısınma ve hızlı soğuma etkilerine bağlı olarak oluşan asiküler ferrit tanelerinin yoğunluğu nedeniyle, kaynak metali içerisinde daha ince taneli yapının oluştuğu görülmüştür.
- Isının tesiri altındaki bölgede tanelerin, ana metal yönünden kaynak metali yönüne doğru dendritik olarak uzadığı ve yer yer iğnemi widmanstatten yapının oluştuğu tespit edilmiştir.
- İnce yapılı kaynak metali tanelerinin deformasyonu engellemesi nedeniyle kopma, tüm numunelerde ana malzemelerde meydana gelmiş, kaynaklı bölgelerden herhangi bir kopmanın olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum kaynak işleminin doğru yapıldığını göstermiştir.

- Sertlik sonuçları irdelendiğinde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak metalinde ölçüldüğü görülürken, en düşük değerler ise ana malzemede ölçülmüştür. Bu durum uygulanan kaynak işleminin uygun performansta olduğunu desteklemiştir.
- Boyuna alınan ölçümlerde sertlik sonuçlarının farklılık göstermesi, kaynak işleminin çok pasoda gerçekleştirilmesinden kaynaklanmıştır.
- Mekanik test sonuçları, birleştirme işleminin uygun bir şekilde yapıldığını göstermiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Bai, Y., 2001. Pipelines and Risers, Elsevier, Oxford, UK.
2. Baek, J. H., Kim, Y. P., Kim, K., Kim, C.M., Kim, W.S. and Seok, C. S., 2010. Effects of Pre-strain on the Mechanical Properties of API 5L X65 Pipe, Materials Science and Engineering (A), 527, p. 1473-1479.
3. Baek, J., Kima, Y., Kima, W., Koo, J., Seok, C., 2012. Load bearing capacity of API X65 pipe with dent defect under internal pressure and in-plane bending, Materials Science and Engineering (A) 540, p. 70-82.
4. Cosham, A., Hopkins, P., 2004. The effect of dents in pipelines - guidance in the pipeline defect assessment manual, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 81 pp. 127-139.
5. API Specifications 5L, 2007. Specifications for Line Pipe, 44th Edition, American Petroleum Institute, USA.
6. Hashemi, S.H., 2011. Strength - hardness statistical correlation in API X65 steel, Material Science and Engineering (A) 528, pp. 1648-1655.
7. Hashemi, S.H., Mohammadyani, D., 2012. Characterisation of weldment hardness, impact energy and microstructure in API X65 steel, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 98, pp. 8-15.
8. Rakhshkhorshid, M., Hashemi, S.H., 2013. Experimental study of hot deformation behavior in API X65 steel, Materials Science and Engineering (A) 573, pp. 37-44.
9. Ada, H. 2006. Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların tozaltı ve spiral kaynak

- yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
10. Migahed, M.A., Al-Sabagh, A.M., Khamis, E.A., Zaki, E.G., 2015. Quantum Chemical calculations, synthesis and corrosion inhibition efficiency of ethoxylated-[2-(2-{2-[2-(2-benzene sulfonyl amino ethylamino) - ethylamino] -ethylamino} - ethylamino - ethyl] - 4 - alkyl benzene sulfonamide on API X65 steel surface under H2S environment, *Journal of Molecular Liquids*, 212, pp. 360–371.
 11. Rani, B.E., Amitha. and Basu, Bharathibai, J., 2009. Green corrosion inhibitors - an overview, Technical Report, National Aerospace Laboratories, Bangalore, India.
 12. Shaban, M., Eghbali, B., 2010. Determination of critical conditions for dynamic recrystallization of a microalloyed steel, *Materials Science and Engineering (A)*, 527, pp. 4320–4325.
 13. Jin, W., Jun, C., Zhen, Z., Xue-yu, R.J., 2008. *Iron Steel Res. Int.* 15, pp. 78–81.
 14. Moradpour, M.A., Hashemi, S.H., Khalili, K., 2015. Multi - objective Optimization of Welding Parameters in Submerged Arc Welding of API X65 Steel Plates, *Journal of Iron and Steel Research*, 22, pp. 870-878.
 15. Kirkwood, P.R., Prosser, K., Boothby, P.J., 1984. The Properties of Pipeline Girth Weld Produced by Arcwelding Process, *Welding in Energy Related Projects*, pp. 359-377.
 16. Keehan, E., 2004. Effect of Microstructure on Mechanical Properties of High Strength Steel Weld Metals Department of Experimental Physics, Göteborg University, pp. 1-72.
 17. Ada, H., Aksöz, S., Fındık, T., Çetinkaya, C., Gülsün, M., 2016. Investigation of Microstructure and Mechanic Properties of Petroleum and Natural Gas Pipeline Weldment by Submerged Welding Processes, *Journal of Polytechnic*, 19 (3) : 275-282.
 18. Ada H., Aksöz, S., Özer, A., Candan, İ., 2016. Investigation of Metallurgical and Mechanical Properties of Welded Region of API 5L X80 Steel Merged by Submerged Arc Welding Method, ICAT 2016 International Conference on Advances Technology and Science, Konya, 309.
 19. Aucott, L.A., Wen, S.W., Dong, H. 2015. The role of Ti carbo nitride precipitates on fusion zone strength - toughness in submerged arc welded pipeline joints, *Materials Science and Engineering (A)*, 622, pp. 194–203.
 20. Ju, J.B., Kim, W., Jang, J., 2012. Variations in DBTT and CTOD with in weld heat affected zone of API X65 pipeline steel, *Materials Science and Engineering (A)*, 546, pp. 258–262.
 21. Shanmugam, S., Misra, R.D.K., Hartmann, J., Jansto, S.G., 2006. Microstructure of high strength niobium containing pipeline steel, *Materials Science and Engineering (A)*, 441, pp. 215-229,
 22. Hashemi, S.H., Mohammadyani, D. 2012. Characterisation of weldment hardness, impactenergy and microstructure in API X65 steel, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 98, pp. 8-15.
 23. Easterling, K., 1992. Introduction to the physical metallurgy of welding, Butterworth-Heinemann; England.
 24. Sulea, J., Gangulya, S., Coules, H., Pirling, T., 2015. Application of local mechanical tensioning and laser processing to refine microstructure and modify residual stres state of a multi - pass 304L austenitic steels welds, *Journal of Manufacturing Processes*, 18, pp. 141–150.
 25. Lehto, P., Remes, H., Saukkonen, T., Hänninen, H., Romanoff, J., 2014. Influence of grain size distribution on the Hall–Petch relationship of welded structural steel, *Materials Science and Engineering (A)*, 592, pp. 28–39.
 26. Kahraman, N., Gülenç, B., Durgutlu, A., 2005. Tozaltı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkisinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18 (3), 473-480.
 27. Eroğlu, M., Aksoy, M., 2002. 15Mo3 Çeliğinin Kaynağında Enerji Girişinin Kaynak Bölgesinin Mikroyapısı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi*, 38.
 28. Pouralihakbar, H., Khalaj, M., Nazerfakhari, M., Khalaj, G., 2015. Artificial Neural Networks

- for Hardness Prediction of HAZ with Chemical Composition and Tensile Test of X70 Pipeline Steels, *Journal of Iron and Steel Research*, 22-5, pp. 446-450.
29. Ada, H., Aksöz, S., Özer, A., 2016. Investigation of Metallurgical and Mechanical Properties of Welded Region of API 5L X80 Steel Merged by Gas Metal Arc Welding Method, *International Multidisciplinary Congress of Eurasia 216*, 11st-13th July, Ukraine, 2: 156 – 162.
30. Özer, A., Aksöz, S., Ada, H., Candan, İ., 2016. Investigation of Metallurgical and Mechanical Properties of Welded Region of API 5L X80 Steel Merged by Electric Arc Welding Method, *International Multidisciplinary Congress of Eurasia 216*, 11st-13th July, Ukraine, 2: 354-360.
31. Aksöz, S., Ada, H., Fındık, T., Çetinkaya, C., Bostan B., Candan, İ. 2016. The Investigation of Effect of Welding Process on the Microstructure and Mechanical Properties of API 5L X65 Steel Welded with Electric Arc Welding Method, 4. *International Conference on Welding Technologies and Exhibition*, 11-13 May, Gaziantep, 684-693.
32. Alipooramirabada, H., Paradowska, A., Ghomashchi, R., Kotousova, A., Reid, M., 2015. Quantification of residual stresses in multi - passwelds using neutron diffraction, *Journal of Materials Processing Technology*, 226, pp. 40–49.

En Aw 6063 Alüminyum Alaşımı Boruların Plakalara Dıştan Bir Takım Yardımıyla Sürtünme Kaynağı Yapılabilirliğinin İncelenmesi

Cemal MERAN^{*1}, Emre KORKMAZ¹, Elif AYKANAT¹, Selin DEĞİRMENCİ¹

¹*Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 20160, Denizli*

Geliş tarihi: 23.12.2015

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Eşanjör ve ekonomizerlerde sıklıkla rastladığımız boru-plaka kaynak bağlantılarında kullanılan geleneksel kaynak yöntemlerine alternatif olabilecek olan bu çalışmada AlMg0,7Si (EN AW 6063) alüminyum alaşımı malzemeden üretilen boruların yine aynı malzemeden üretilen plakalara dışarıdan bir takım yardımıyla sürtünme kaynağı yapılabilirliği incelenmiştir. Çalışma esnasında 5x50x70 mm boyutlarındaki AlMg0,7Si malzemeden plakalara önce Ø20,5, Ø21, Ø21,5, Ø22 mm ölçülerinde delikler açılmıştır. Plakalara 2 mm et kalınlığında, 20 mm çapında ve sırasıyla 45,5, 46, 46,5, 47 mm olmak üzere 4 farklı uzunluktaki borular 950 min⁻¹ devir sayısında dışarıdan bir takım yardımıyla sürtünme kaynağı (DTYSK) ile birleştirilmiştir. Deneyler sırasında takım omzu ve boru arasındaki baskı yükleri sabit tutularak her bir parametre için kaynak esnasında ulaşılan deney sıcaklıkları tespit edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların özel olarak hazırlanan fiyestür yardımıyla kesme deneyleri yapılmıştır. Kaynaklı bağlantı kesme mukavemetleri deney parametrelerine bağlı olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 6063, AlMgSi, DTYSK, Sürtünme kaynağı, Sürtünme karıştırma kaynağı

Investigation of Friction Weldability of En Aw 6063 Aluminium Alloy Tube to Tube Plate Using an External Tool

Abstract

The traditional welding methods are commonly used tube to tube plate of heat exchangers and economiser. In this study it was investigated that application of an alternative welding method which called friction welding of tube to tube plate by using an external tool was used joining of AlMg0,7Si (EN AW 6063) aluminium alloy. The AlMg0,7Si plates with dimensions 5x50x70 mm were drilled Ø20,5, Ø21, Ø21,5, Ø22 mm. The four different sizes AlMg0,7Si tubes with dimensions 2 mm wall thickness, 20 mm outer diameter, respectively 45,5, 46, 46,5, and 47 mm length friction welded to plate using an external tool (FWTPET) at constant 900 min⁻¹ tool rotational speed. The vertical force between tool shoulder and tube was constant during the welding, and temperature was measured at every different welding parameters. The shear test was done for determining for welded joints using special fixture. Shear strength of welded joints were determined depend on welding parameters

Keywords: 6063, AlMgSi, FWTPET, Friction welding, Friction stir welding

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Cemal MERAN, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli.
cmeran@pau.edu.tr

1. GİRİŞ

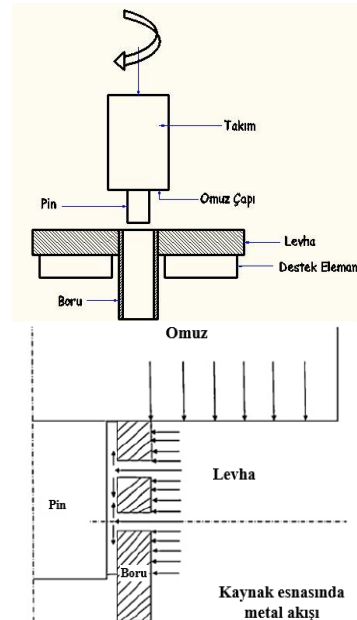
Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) günümüzden yaklaşık 15 yıl önce İngiliz Kaynak Enstitüsü'nde (TWI) geliştirilen ve halen üzerinde oldukça fazla araştırma yapılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Geleneksel ergitmeli kaynak yöntemleriyle kaynağı güç olan özellikle yaşlanma sertleşmesine tabi tutulmuş alüminyum alaşımlarının kaynağında başarı ile kullanılmaktadır [1]. Bu yöntem kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü avantajlarından dolayı uygun bir alternatif kaynak olarak günümüzde kullanılmaktadır [2]. Bu yöntemden bazı alüminyum alaşımlarının yanı sıra bakır alaşımlarının, titanyum alaşımlarının ve bazı tür çeliklerin birleştirilmesinde yararlanılmaktadır [3]. Birleştirilecek parçalar alın altına arada boşluk kalmayacak şekilde sabitlendikten sonra parça hareketi ile veya takımın dönme ve ilerleme hareketi ile kaynak yapılabilir [4].

Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan omuz ve karıştırıcı uçtan (pim) oluşan tükenmeyen takım, iş parçalarının birleştirme bölgesinden daldırılır ve birleşme çizgisi boyunca dönerek ilerletilir. Takımın iki ana görevi vardır: (a) iş parçasının ısıtılması, (b) kaynaklı birleşmenin oluşması için malzeme akışı [5]. Pim, malzemelere temas ettiğinde sürtünme kaynağında ki duruma benzer bir durum oluşarak temas noktasında ısı sürtünmenin de etkisi ile artarak malzemenin plastik şekil değişimine sebep olur. Bu malzemelerin akışına olanak sağlar. Karıştırıcı uçtan omuza kadar olan bölgedeki sürtünme ısı, karıştırıcı çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas yüzeyi arasında yumuşamış (hamurlaşma) bir metal oluşturur ve bu malzeme pimin ucundan arkaya doğru karıştırılır. Karıştırılan malzeme, hidrostatik basınç yardımı ile soğuyarak katılaştır ve birleşme sağlanır [3].

Sürtünme kaynağında ise birleştirme ergimeye bağlı olmadan birleştirilecek parçaların ara yüzeylerinde meydana gelir. Sürtünme kaynağı esnasında malzeme ara yüzeyleri düşük yük altında temas haline getirilir ve deformasyon işlemi

sağlanır. Daha sonra uygulanan yükler artırılarak kaynaklanacak parçaların ara yüzeyleri boyunca sürtünme ısı oluşumu sağlanır. Bu aşamadan sonra sürtünme ısı üretimi sona erer ve kaynaklanacak parçaların ara yüzeylerinin her iki tarafında ısınan malzemeye uygulanan gerilme yavaşça artırılır ve kaynaklı birleşme sağlanır. İşlem sonrası birleşme bölgesinde oluşan metal yığılması torna ile alınarak düzensizlik giderilir [6].

Dıştan bir takım yardımıyla sürtünme kaynağı (DTYSK) ise yukarıda açıklanan sürtünme ve sürtünme karıştırma kaynaklarının bir nevi karışımından oluşmaktadır. Bu yöntemde sürtünme karıştırma kaynağına benzer şekilde omuz ve uçtan oluşan bir takım boru yüzeyine farklı baskı yükleri ve devirlerde sürtünerek boruda sürtünme sebebiyle yumuşama sağlamaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağından farklı olarak ise takım ucun yani pin karıştırma işlemi yapmamakta, boru içinde boşta dönmekte ve takıma ya da iş parçasına ilerleme hareketi verilmemektedir (Şekil 1). İşlem öncesi plaka üzerine boru çapından çok az büyüklükte bir delik açılır. Devamında boru plaka yüzeyinden hafif çıkıntı yapacak şekilde elle montajı yapılır.



Şekil 1. DTYSK Mekanizması ve kaynak esnasındaki metal akışı [7, 26]

Devamında boru iç çapından daha küçük çapa sahip uca sahip (sadece yataklama amaçlı) takım boru içine daldırılır ve omuzlardan boru yüzeyine sürtünerek çıkıntı boru kısmını sürtünme ısısı yardımıyla hamurlaştırır. Hamurlaşan metal takım omzunun aşağı yönlü baskı yüküyle boru ile plaka çapları arasındaki boşluklu kısımdan aşağı doğru akmaya başlar ve kaynak işlemi gerçekleştirilir.

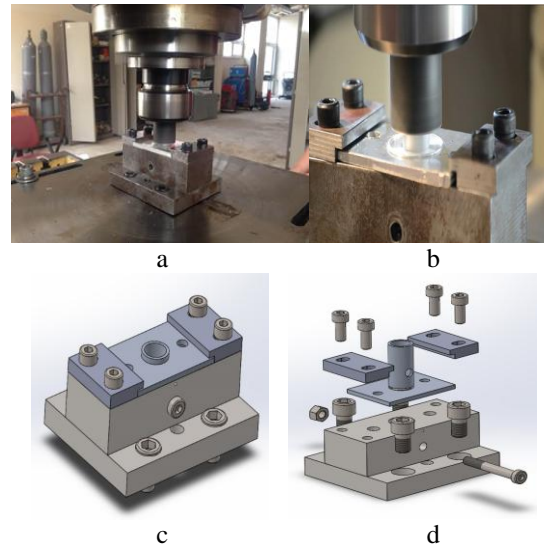
DTYSK'da kaynak kalitesine etki eden parametreler takımın devir sayısı, takımın baskı kuvveti, boru ile takım arasındaki boşluk, boru uzunluğu (boru ucunun plakadan taşma miktarı), uygulanma süresi, omuz çapı ve sıcaklık olarak sıralanabilir. Bu parametreler arasında kaynaklanabilirlik üzerinde en etkili iki parametre takım devir sayısı ve baskı kuvvetidir. Bu değişkenliklerin her ikisi de kaynak esnasında sürtünme esaslı sıcaklığı doğrudan etkilemekte ve kaynak bölgesinin metalurjik özelliklerinin değişmesine yol açmaktadır. Dıştan bir takım yardımıyla boruların plakalara sürtünme kaynağı üzerine ülkemizde bu bildirinin sahiplerine ait bir adet çalışmadan başka herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır [10]. Uluslararası alanda ise bu çalışmaları ilk defa yapan S. Muthukumaran'a ait çalışmalara rastlanmıştır [11-25].

2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneyler için kullanılan boru ve plaka malzemesi kimyasal bileşimi Çizelge 1'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 2'de verilen EN AW 6063-T5 (AlMg0,7Si) alüminyum alaşımıdır. Plaka boruya dıştan bir takım yardımıyla sürtünme kaynağı (DTYSK) yöntemiyle kaynak edilmiştir. DTYSK deneylerinde dik başlı freze, sıcaklık ölçme sistemi, yük ölçer, sürtünme için takım ve deney numunesi bağlama aparatları kullanılmıştır. DTYSK deneylerinde Şekil 2'de görülen dik başlı freze tezgahı ve tutturma tertibatı kullanılmıştır.

Kaynak edilecek plakalar 5x50x70 mm boyutlarında kesilmiştir. Plaka üzerine \varnothing 20,5-22 mm çapında delikler açılmış ve \varnothing 20 mm çapında 2 mm et kalınlığında 4 farklı boyda (45,5, 46, 46,5 ve 47 mm) boru, delik içerisine arada 0,25-1 mm arasında boşluk kalacak şekilde yerleştirilerek

kaynak edilmeye çalışılmıştır (Şekil 3). Borunun plaka ile birleşeceği kısma yumuşayan metalin akıp doldurmasıyla bağlantısının daha iyi oluşması için boru ucundan 3 mm aşağıda merkezi olacak şekilde çepre çevre 3'er mm çapında 8 adet delik açılmıştır. 45,5 mm boyunda alınan borunun levha yüzeyinden taşma miktarı 0,5 mm iken 47 mm boyunda alınan boruda ise bu değer 2 mm olmaktadır.



Şekil 2. Deney düzeneği; freze (a, b), numune tutturma aparatı (c), numuneleri tutturma tertibatı patlatılmış görünüm (d)

Çizelge 1. EN AW 6063 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%) - EN 573-3 [7]

	Si	Mg	Fe Maks.	Cr Maks.	Cu Maks.	Zn Maks.	Mn	Ti Maks.	Diğ.
EN AW 6063	0,2 0,6	0,45 0,90	0,35	0,10	0,10	0,10	0,1	0,10	Her biri maks. % 0,05. Toplam maks. % 0,15

DTYSK çalışmalarında Şekil 4'de boyutları verilen X210Cr12 (1,2080) soğuk iş takım çeliğinden tek bir takım kullanılmıştır. Kaynaklı bağlantıların deney için üretilen özel bir aparat içine yerleştirilerek kesme dayanımları tespit edilmiştir. Yapılan tertibatla kaynaklı bağlantının

kaynak dikişinden kopması sağlanarak kesme dayanımı değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 2. EN AW 6063 Alüminyum Alaşımının Farklı Temperleme İşlemlerindeki Mekanik Özellikleri - TS EN 755-2:2010 [7,8,9]

	Temper Şekli*	R _m (MPa)	R _{p0,2}	A (%)	HBW En az	Kesme Dayanımı, R _{mk} (MPa)
EN AW 6063	O, H111	130	-	18	25	0,52R _m = 0,52x175= 90 ^[8] 56 ^[9]
	T4	130	65	14	50	
	T5	175	130	8	65	
	T6	215	170	10	75	
	T64	180	120	12	65	
	T66	245	200	10	80	

* Temper şekilleri açıklamalar;

O: Sıcak şekillendirme işlemlerinden sonra gerekli tavlama özelliklerine ulaşan tavllanmış mamuller O temper olarak gösterilir.

H111: Germe veya doğrultma gibi daha sonraki işlemler sırasında tavllanmış ve hafifçe gerinme sertleşmesine (H11'den az) uğramış.

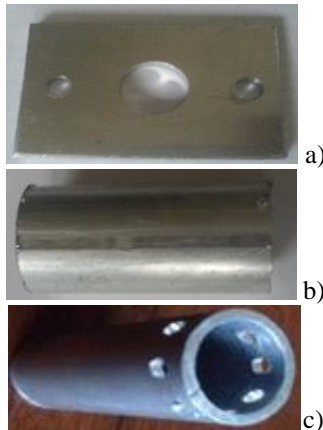
T4: Katı çözelti ısıtılması görmüş ve doğal yaşlandırılmış.

T5: Yüksek sıcaklıktaki bir şekillendirme işleminden soğutulmuş, sonra yapay yaşlandırılmış.

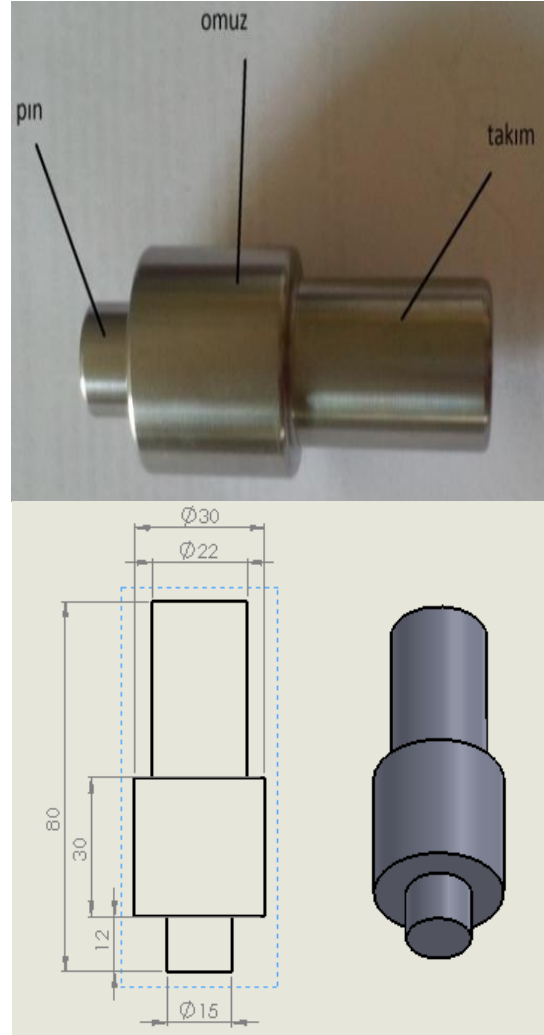
T6: Katı çözelti ısıtılması görmüş ve yapay yaşlandırılmış.

T64: Katı çözelti ısıtılması görmüş ve sonra da şekillendirilebilir özelliğini iyileştirmek için eksik yaşlandırma şartlarında (T6 ile T61 arasında) yapay yaşlandırılmış.

T66: Katı çözelti ısıtılması görmüş ve yapay yaşlandırılmış – Mekanik özellik seviyesine özel proses kontrolüyle ulaşılan T6'dan daha yüksek (6000 serisi alaşımlar).



Şekil 3. Deneylerde kullanılan 5x50x70 mm ebatlarındaki levha (a) ve Ø20 çapındaki boru delik açılmadan önce (b) ve sonrası (c)



Şekil 4. DTYSK esnasında kullanılan takım

3. DENEYLER VE SONUÇLAR

Deneylerde bir boru plakaya DTYSK yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu çalışmada çalışılan deney parametreleri Çizelge 3'de verilmiştir. 16 farklı parametrede yapılan deneysel çalışmalar esnasında takım dönme devri 950 min⁻¹ olarak sabit tutulmuştur.

Deneyler esnasında takım omzu tarafından boruya uygulanan dikey yük 1,4-2,3 kN arasında ve oluşan sıcaklık ise ortalama 410-660 °C arasında ölçülmüştür. Ölçümler kaynaklanan boru

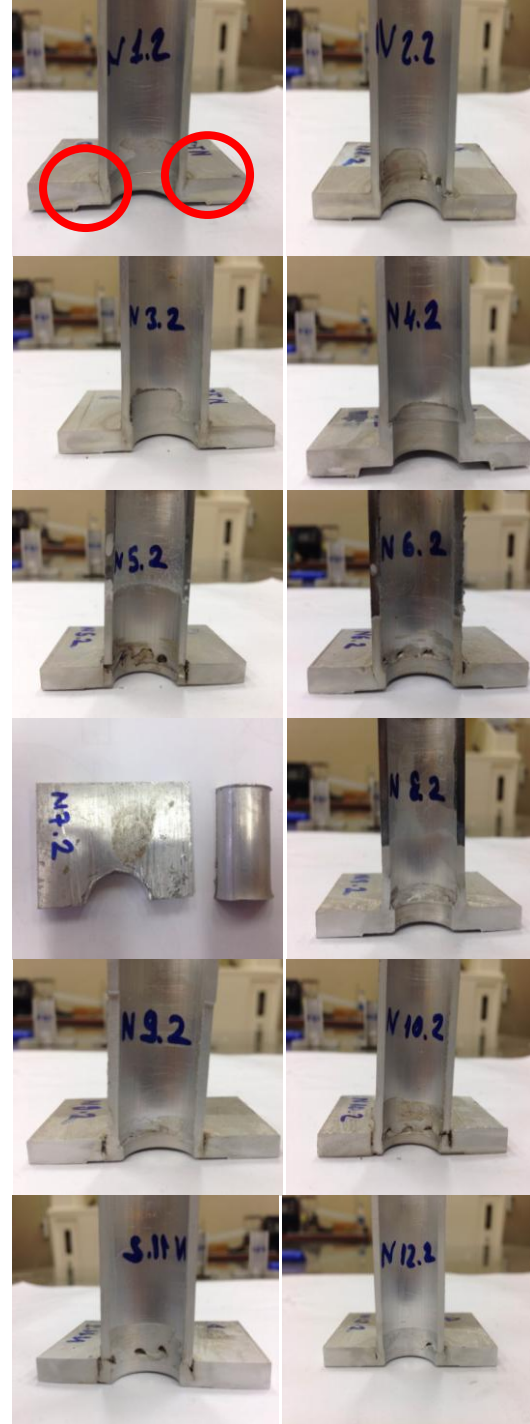
yüzeyinin en sıcak olacağı öngörülen bölgeden Testo kızılötesi sıcaklık ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

Çizelge 3. Deney parametreleri ve kesme deneyi sonuçları

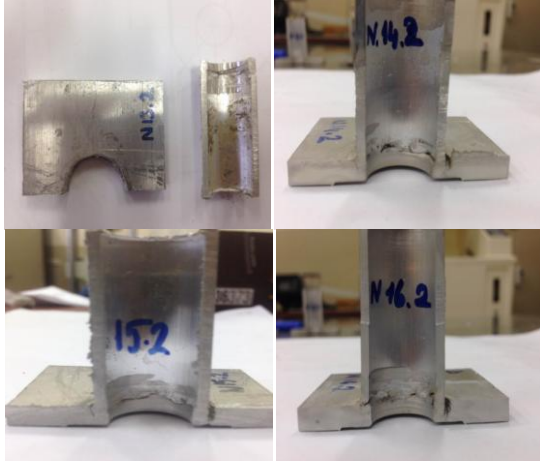
	Takım Dönme Devri (rpm)	Boru Uzunluğu (mm)	Plaka Yüzeyinden Taşma Miktarı (mm)	Plaka Üzerine Açılan Delik Çapı (mm)	Boru Dış Çapı ile Plaka Deligi Arası Fark (mm)	Sıcaklık (°C)	Yük (kN)	Kesme Dayanımı, R_{maks} (MPa)
N1	950	45,5	0,5	20,5	0,25	550	2,3	53
N2	950	46	1	20,5	0,25	500	2	33
N3	950	46,5	1,5	20,5	0,25	550	2	40
N4	950	47	2	20,5	0,25	550	2	44
N5	950	45,5	0,5	21	0,5	410	1,8	22
N6	950	46	1	21	0,5	600	2	35
N7	950	46,5	1,5	21	0,5	550	1,6	10
N8	950	47	2	21	0,5	650	1,7	2
N9	950	45,5	0,5	21,5	0,75	550	1,5	36
N10	950	46	1	21,5	0,75	500	1,5	5
N11	950	46,5	1,5	21,5	0,75	550	1,5	10
N12	950	47	2	21,5	0,75	650	1,7	35
N13	950	45,5	0,5	22	1	550	1,5	4
N14	950	46	1	22	1	600	2	37
N15	950	46,5	1,5	22	1	660	1,4	5
N16	950	47	2	22	1	600	2,2	17

Her bir kaynak parametresinde 3 adet kaynak yapılmıştır. Bunlardan biri dikey olarak kesilerek, kaynaklı bölge görünür hale getirmek için dağlanmıştır. Şekil 5’de görüleceği üzere bazı kaynak parametrelerinde kaynaklı birleştirmenin gerçekleşmediği makroskobik kesitte net olarak görülmektedir. Bu bağlantıların kesme dayanımları da diğerlerine göre çok düşük çıkmıştır (N7, N8, N10, N13, N15).

Kaynaklı bağlantıların kesme dayanımlarını ölçmek için özel bir aparat kullanılarak bir pin yardımıyla boru plakadan ayrılmıştır (Şekil 6). Boru plaka ara yüzey kesme dayanımları Çizelge 3’de verilmiştir.



Şekil 5. DTYSK bağlantıların görünüşleri



Şekil 5. DTYSK bağlantılarının görünüşleri (devamı)

Kesme dayanımları ve makroskobik açıdan değerlendirildiğinde en iyi kaynaklı birleştirme N1, N3, N4 kodlu kaynak parametrelerinde elde edilmiştir. Borunun çapı ile takımın pin arasındaki boşluk ne kadar yakın olursa o kadar daha iyi sonuçlar vermektedir.

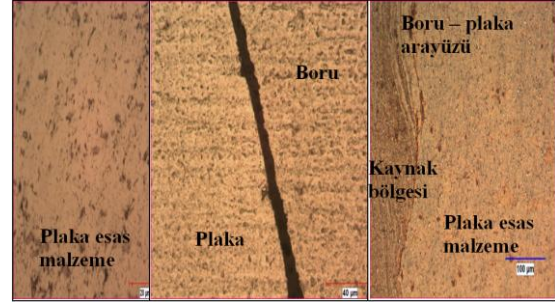


Kesme pimi Aparat Deney sonrası ayrılmış boru - plaka

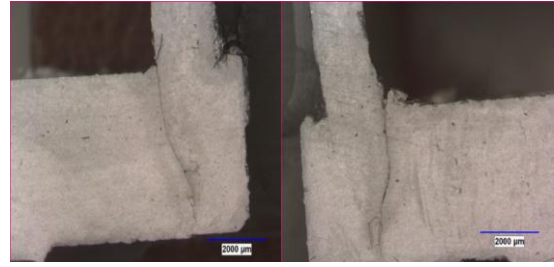
Şekil 6. DTYSK bağlantılarının kesme deneyinde kullanılan aparat ve deney sonrası

Literatürde alüminyum ve alaşımlarının kesme dayanımlarına bakıldığında 6063-T5 için 56-90 MPa arasında değerlerle karşılaşılmaktadır [8-9]. Yapılan deneysel çalışmalarda 53 MPa kesme dayanımına sahip boru plaka bağlantıları tespit edilmiştir. Buradan sonuçların tatmin edici olduğu söylenebilir. Borunun çapı ile takımın pin arasındaki boşluk ne kadar yakın olursa o kadar daha iyi sonuçlar vermektedir. Metalografik içyapı incelendiğinde gerek kaynak bölgesinde gerekse dışında daha önce oluşmuş olan katı çökeltilerin

varlığını sürdürdüğü görülmektedir (Şekil 7). Yani kaynak esnasında ulaşılan sıcaklıklar bu katı çökeltilerin bozulmasına neden olmamıştır.



Şekil 7. DTYSK boru-plaka bağlantılarının iç yapı görünüşleri



Şekil 8. DTYSK yapılmış boru-plaka ara yüzünde birleşme eksikliği

Bu durumda bazı kaynaklı bağlantıların mukavemetinin istenilenden düşük çıkmasının sebebi yeterli birleştirme sağlanamaması olarak açıklanabilir. Düşük dayanımlı boru-plaka birleştirme ara yüzüne dikkatli bakıldığında dayanımın düşmesine neden olan nüfuziyet eksikliklerinin, çatlakların olduğu, boru-plaka üst birleşim yerinin perçinlemeye benzer kapandığı görülmektedir (Şekil 8). Ancak bu bağlantılar dahi çok yüksek dayanım gerektirmeyen, sızdırmazlık gereken yerlerde yeterli gelebilir.

4. TARTIŞMALAR

Boruların plakalara dışarıdan bir takım yardımıyla sürtünme kaynağı üzerine yapılan bu çalışma yöntemi ülkemizde uygulanan ikinci çalışma olma özelliği taşımaktadır. Çalışmalarda bazı geliştirilmesi gereken noktaların bulunduğu görülmüştür. Özellikle çalışmalar esnasında

uygulanan dikey yükü sabit tutan bir sistem, gerçekleştirilecek birleştirmelerin daha istikrarlı ve tekrar edilebilir olmasını sağlayacaktır. Ayrıca birleştirme esnasında erişilen sıcaklık mertebesinin farklı noktalardan daha hassas olarak ölçülmesi malzemelerde ortaya çıkacak olan yaşlanma etkisinin yorumlanmasını kolaylaştıracaktır.

Deneylerde literatürde yapılan bir çalışmaya dayanılarak [14] borular üzerine 3 mm çapında 8 adet delik açılmış ve ön deneyler yapılmıştır. Delik açılan borularda tatmin edici sonuçlar alındığından çalışmalarda bu şekilde devam edilmiştir. Aynı çalışma üzerine delik açılmadan da tekrarlanabilir. Bununla beraber yapılan çalışmalarda dışarıdan bir takım yardımıyla boruların plakalara sürtünme kaynağı ile birleştirilebileceği görülmüştür. Elde edilen dayanım sonuçları da memnun edici sınırlar içindedir. Kaynak işleminin kolay uygulanabilir olması sebebiyle alüminyum ve alaşımları ile başlayan çalışmaların hızla çeliklere doğru yönlendirilmesi özellikle kazan, eşanjör vb. ürünler imal eden firmalar açısından önem teşkil edecektir.

Bununla birlikte farklı baskı kuvvetlerinde, takım omuz çapı ve profilinin etkileri de yine çalışılabilecek parametreler arasında düşünülmektedir. Elbette ki çalışılabilecek diğer bir parametre ise bu yöntemin diğer malzemelere uygulanabilirliğidir.

Sonuç itibarıyla yapılan çalışma göstermiştir ki boruların plakalara dışarıdan bir takımla birleştirilebilirliği üzerine kullanılan borunun plaka yüzeyinden taşma miktarı, boru dış çapı ile levha deliği arasında kalan boşluk kaynaklı bağlantı mukavemetini etkileyen önemli bir parametredir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar metalografik iç yapı inceleme esnasındaki yardımlarından dolayı Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümünden Araş.Gör. Ali Tekin Güner'e teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

1. Çam, G., 2002. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulamaları, 9. Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 8-10 Mayıs 2002, Pamukkale Üniversitesi, 450-458, Denizli.
2. Çam, G., 2003. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Takımlardaki Geliştirmeler, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, 47-62, Kocaeli.
3. Şık, A. ve Kayabaş, Ö., 2003. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Yapılan Alüminyum Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniv. Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fak. Der., 11, 30-43.
4. <http://bilginform.com/surtunme-karistirma-kaynagi.html>
5. Mishra, R. S. and Ma, Z. Y., 2005. Friction Stir Welding and Processing, Materials Science and Engineering R 50, 1-78.
6. Kang C.Y., North T.H., Perovic D.D., 1996. Microstructural Features Of Friction Welded MA 956 Superalloy Material” Metall. And Mater. Trans. A, V26A, 4019-4029.
7. Yüksel, M., Meran, C., 2013. Malzeme Bilgisine Giriş, Malzeme Bilimleri Serisi -Cilt 2, MMO yayını, yayın No: MMO/545/2, Ankara, 568.
8. Can, A.Ç., 2015. Makine Elemanları, Boy Yayınları, sy12, Denizli.
9. Yelbey, İ., 2002. Yelbey B., Kalıp Konstrüksiyonu ve Kalıp yapımı, 11.
10. Meran, C., Korkmaz, E., Küçükömeroğlu T., Aksoy, A., Kestel, M., Akder, İ., 2015. Boruların Plakalara Dışarıdan Bir Takımla Sürtünme Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, IX. Ulusal Kaynak Teknolojileri Kongre ve Sergisi, Ankara, 471-480.
11. Muthukumaran, S., Athul, P., Venukumar, S., 2013. Friction Welding of Cu-Tube To Al-Tube Plate Using An External Tool By Threaded Tube Interference Method, Proceedings of the 1st International Joint Symposium on Joining and Welding, 129-135.
12. Senthil Kumaran, S., Muthukumaran, S., Vinodh, S., 2011. Optimization of friction

- welding of tube to tube plate using an external tool by hybrid approach, *Journal of Alloys and Compounds* 509, 2758–2769.
13. Senthil Kumaran, S., Muthukumaran, S., Vinodh, S., 2010. Optimization of friction welding of tube to tube plate using an external tool, *Struct Multidisc Optim*, 42:449–457.
 14. Senthil Kumaran, S., Muthukumaran, S., Vinodh, S., 2011. Optimization of friction welding of tube-to-tube plate using an external tool by Taguchi method and genetic algorithm, *Int J Adv Manuf Technol*, 57:167–182.
 15. Muthukumaran, S., Senthil Kumaran, S., Saket Kumar, S., 2011. Friction welding of Cu-tube to Al-tube plate using an external tool, *Trans. IIM Vol. 64, Issue 3*, 255-260.
 16. Senthil Kumaran, S., Muthukumaran, S., and Chandrasekhar Reddy, C., 2013. Effect of Tube Preparations on Joint Strength in Friction Welding of Tube-to-Tube Plate Using an External Tool Process, *Experimental Techniques* 37,24–32.
 17. Senthil Kumaran, S., Muthukumaran, S., and Chandrasekhar Reddy, C., 2013. Suitability of Friction Welding of Tube to Tube Plate Using an External Tool Process for Different Tube Diameters—A Study, *Experimental Techniques* 37, 8–14.
 18. Kumar, C.V., Muthukumaran, S., Pradeep, A., Kumaran, S.S., 2011. Optimizational study of friction welding of steel tube to aluminum tube plate using an external tool process, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME)*, Vol.6, No.2, 300-306.
 19. Balaji, G.K., Muthukumaran, S., Senthilkumaran, S., Pradeep, A., 2012. Optimization of Friction Welding of Tube-to-Tube Plate Using an External Tool with Filler Plate, *Journal of materials engineering and performance* 21 (7), 1199-1204.
 20. Senthil Kumaran S., Muthukumaran, S., 2014. Effect of projection on joint properties of friction welding of tube-to-tube plate using an external tool, *Int J Adv Manuf Technol*, 75:1723–1733.
 21. Senthil Kumarana, S., Muthukumarana, S., Venkateswarlua, D., Balajia, G.K. and Vinodhb, S., 2012. Eco-friendly aspects associated with friction welding of tube-to-tube plate using an external tool process, *International Journal of Sustainable Engineering*, Vol. 5, No. 2, 120–127.
 22. Senthil Kumaran, S., Muthukumaran, S., Vinodh, S., 2010. Taguchi method and genetic algorithm based optimization of FWTPET process parameters, *International Conference on Frontiers in Mechanical Engineering (FIME)*, v60.
 23. Muthukumaran, S., Kumar, C.V., Kumaran, S.S., Pradeep, A., 2012. Interfacial Microstructure and Strength of Friction Welding of Steel Tube to Aluminium Tube Plate using an External Tool, *Advanced Materials Research* 383, 877-881.
 24. Senthil Kumaran, S., Muthukumaran, S., 2014. Effect of projection on joint properties of friction welding of tube-to-tube plate using an external tool, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 75, Issue 9, pp 1723-1733.
 25. Muthukumaran, S., Pradeep, C., Vijaya Kumar, C., Senthil Kumaran, S., 2010. Mechanical and metallurgical properties of aluminium 6061 alloy tube to tube plate welded joints welded by friction welding using an external tool process, *International Welding Symposium*, 235-239.
 26. Aykanat, E., Değirmenci, S., 2016. AA6063 (AlMg0,7Si) Boruların Plakalara Dıştan Bir Takımla Sürtünme Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, Lisans Tezi, PAÜ Müh. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cemal Meran.

Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler

İdris KARAGÖZ*¹, Mustafa ÖKSÜZ²

¹Yalova Üniversitesi, Yalova Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Yalova

²Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Polimer Mühendisliği Bölümü, Yalova

Geliş tarihi: 24.12.2015

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Plastiklerin kaynakla birleştirilmesinde sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) diğer kaynak yöntemlerine oranla oldukça yeni bir kaynak tekniğidir. Metal ve alaşımlarına kıyasla, plastiklerin birleştirilmesinde sürtünme karıştırma kaynağının kullanımı endüstriyel olarak henüz yaygınlaşmamıştır. Bu çalışmada plastikler için uygulanan mevcut sürtünme karıştırma kaynak yöntemleri derlenmiştir. Mevcut yöntemlerle yapılan çalışmaların sonuçları incelenerek birbiri ile karşılaştırılmış ve endüstriyel olarak uygulanabilirlikleri ve avantajları ön plana çıkartılmaya çalışılmıştır. Ayrıca yöntemin uygulanması ile ilgili olarak mevcut çalışmalar ışığında yapılan öneriler ve sonuçların değerlendirilmesiyle geliştirilmeye en uygun sürtünme karıştırma kaynak yöntemi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, Termoplastiklerin kaynağı, Birleştirme, Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, Kaynaklı birleştirmeler

Methods Used In Joining Thermoplastics By Friction Stir Welding

Abstract

Joining thermoplastics by friction stir welding (FSW) is a pretty new method compared to other welding methods. When compared to metals and alloys joining plastics by friction stir welding has not become industrially widespread. In this study the existing friction stir welding methods used for plastics were compiled. The results of the studies made by existing methods were examined and compared with each other and their advantages as well as industrially applicabilities were emphasized. Besides a friction stir welding method which is most suitable for development was determined by evaluating the suggestions and results in light of the current studies related with application of the method.

Keywords: Friction stir welding, Joining plastics, Friction stir spot welding, Joining sheets, Methods used in joining thermoplastics

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : İdris KARAGÖZ, Yalova Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Yalova.
idris_karagoz@yalova.edu.tr

1. GİRİŞ

Termoplastiklerin kaynağında kullanılan bazı kaynak teknikleri, sıcak gaz kaynağında olduğu gibi metal kaynak tekniklerine benzemektedir. Metal ve plastiklerin sahip olduğu özellikler birbirinden farklılık göstermekte ve metallere uygulanan bir kaynak yönteminin plastiklere uygulanabilir hale getirilmesi için pek çok çalışma yapılmaktadır. Metal kaynak teknikleri arasında yer alan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), başlangıçta alüminyum alaşımlarının kaynağı için geliştirilerek patenti alınan ve plastiklere uygulanması için üzerinde çalışmalar yapılan bir kaynak yöntemidir.

Metal ve alaşımları için SKK endüstriyel olarak uygulanabilmekte, ancak metallerin aksine plastikler için SKK, plastiklerin termal ve viskoelastik özelliklerine bağlı olarak sınırlı kalmaktadır [1,2]. Metallerden farklı olarak Şekil 1’de görüldüğü gibi termoplastiklere SKK bir kaç farklı yöntem ile uygulanmaktadır. Termoplastiklere uygulanan SKK’ını, Geleneksel SKK, Dikey Hareketli SKK, Titreşim-Sürtünme SKK ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (SKNK) şeklinde sınıflandırmak mümkündür [2].

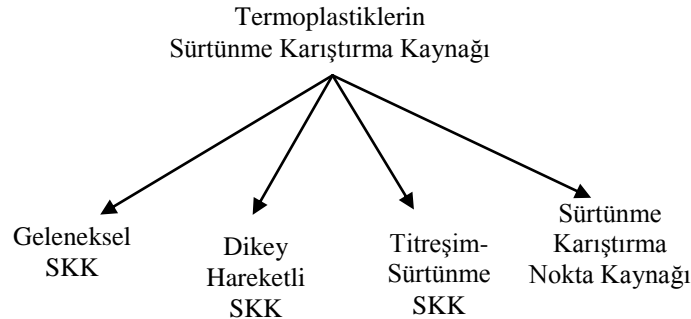
2. KAYNAK YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

2.1. Geleneksel Sürtünme Karıştırma Kaynağı

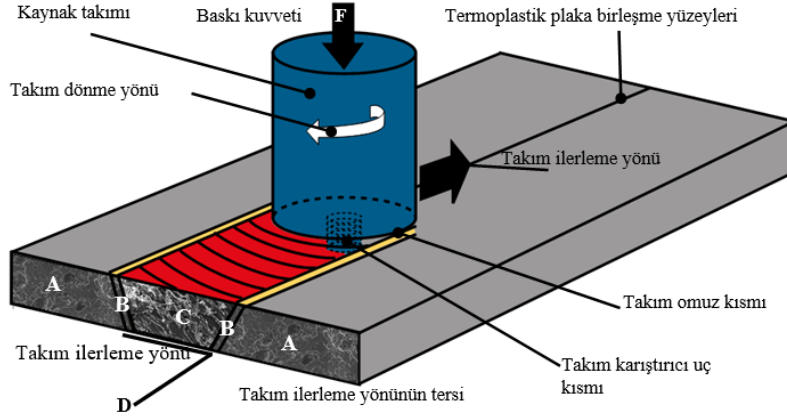
Metallerde olduğu gibi plastikler içinde SKK yönteminin uygulanması oldukça basittir.

Birleştirilmek üzere sabitlenmiş plaka, boru vb. malzemelerin kaynak bölgesine sabit devirde silindirik omza sahip bir takım daldırılır ve kaynak yapılacak hat boyunca sabit ilerleme hızı ile hareket ettirilir. Kaynak bileşenlerinin (kaynak takımı ve malzeme) sürtünmesiyle kaynağın gerçekleştirilmesi için gerekli olan ısı meydana gelir ve oluşan bu ısı malzemeyi yumuşatır. Kaynak takımının omzu, pim tarafından yumuşatılarak geriye atılan malzemelere baskı uygulayıp kontrol ederek malzemelerin kaynaklanmasında rol oynar [1-3]. Şekil 2’de Termoplastiklerin SKK ile birleştirilmesi ve oluşan mikroyapılar şematik olarak gösterilmektedir.

Geleneksel SKK yönteminde ısı girdisinin iyi sağlanması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde düşük devirde takım tarafından kaynak bölgesine yüksek basınç kuvveti uygulanmazsa ya da ilerleme hızı yüksek olarak seçilmiş ise etkin ısı girdisi sağlanamamaktadır. Bu durumda yeterli ısı elde edilemediği için malzeme yumuşatılmamakta ve pim tarafından arka tarafa yeterli malzeme taşınmadığı için de kaynak mukavemeti zayıf olmaktadır. Kaynak bölgesine yüksek ısı girdisi, takım omzunun malzeme yüzeyine daha fazla baskı uygulaması, yüksek devir ve düşük ilerleme hızı ile sağlanabilmektedir. Takım omzu tarafından malzemeye daha yüksek baskı kuvveti uygulanması ısı girdisini arttırmakta ancak kaynaklı bölgede aşırı deformasyon oluşturarak malzeme kaybına neden olmaktadır. Bu durum kaynaklı bağlantının mukavemetini zayıflatmaktadır.



Şekil 1. Termoplastiklere uygulanan sürtünme karıştırma kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması



Şekil 2. Termoplastiklerin SKK ile birleştirilmesinin ve oluşan mikroyapıların şematik gösterimi, A- Isıdan etkilenmeyen bölge (ana malzeme), B- Birleşme ara yüzeyi, C- Termomekanik olarak etkilenen karışım bölgesi, D- Birleştirilmeyen kaynak takımı karıştırıcı uç kısmı altında kalan bölge

Devir sayısının ve ilerleme hızının artırılması yüksek baskı kuvveti ile elde edilen ısı girdisini sağlamakta ve kaynaklı bölgede malzeme yüzeyi daha az deformasyona uğramaktadır. Düşük ilerleme hızlarında kaynak yapma süresinin artması, kaynak maliyetini arttırmaktadır. Araştırmacılar geleneksel SKK yönteminin plastiklere uygulanmasında aşağıdaki problemlerle karşılaştığını ifade etmişlerdir [1-9]:

- Birleştirme bölgesinde malzeme tutulmasındaki zorluk nedeniyle kaynak yapısında boşluk meydana gelmesi,
- Kaynak hızlarının oldukça düşük olması
- Kaynak bölgesinde polimerin karıştırılmasındaki zorluklar,
- Üniform olmayan bir kaynak yüzeyi ya da plastiğin küçük parçalar şeklinde birbiri ile kaynaması,
- Zayıf kaynak mukavemeti,
- Kaynak için gerekli olan ısının elde edilmesinde ve taşınmasındaki zorluklar.

Araştırmacılar tarafından yukarıda ifade edilen problemlerin giderilmesi amacıyla, kaynak takımı omuz kısmına eğim verilmesi [1,4,6,10], takım dönme devrinin artırılması [10,12], takım omuz kısmının bilyeli olarak tasarlanması ve kaynak bölgesindeki deformasyonun önlenmesi [9,12],

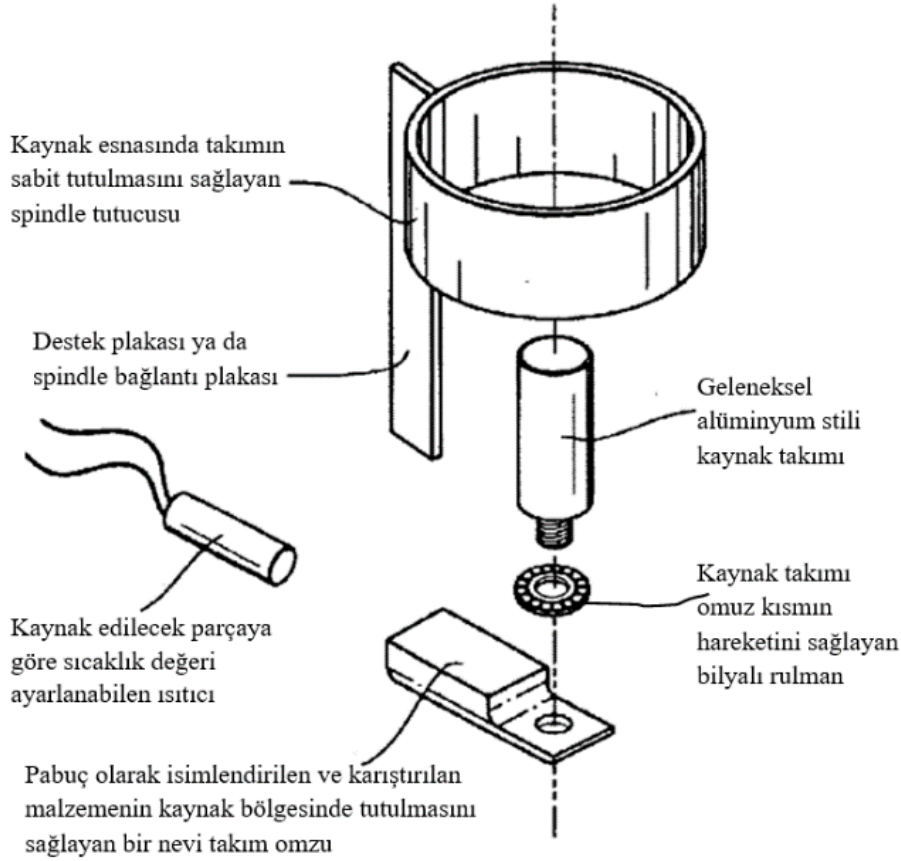
takım karıştırıcı uç geometrisinin farklı geometrik profillerde tasarlanması [7], kaynak bölgesine dışarıdan ısı verilmesi gibi farklı yöntemler ve kaynak takımları geliştirilmiştir [3,9]. Düşük hızlarda yapılan çalışmalar arasında en iyi sonuçlar Nelson, Strand ve Johns tarafından benzer şekilde geliştirilen ve sıcak pabuç olarak isimlendirilen takım ile alınmıştır. Şekil 3'te Nelson tarafından geliştirilen sıcak pabuç tasarımlı kaynak takımı gösterilmektedir. Ancak bu takım tasarımı ile yapılan birleştirme işlemlerinde bile istenilen sonuçların tam olarak elde edilemediği ve aşağıdaki sonuçların elde edildiği Johns tarafından ifade edilmiştir [3]:

1. Pim çapının artmasına paralel olarak, kaynak bağlantı mukavemetinin arttığı,
2. İlerleme hızının artmasıyla bağlantı mukavemetinin arttığı ancak belli bir ilerleme hızından sonra (305 mm/dk.) bağlantı mukavemetinde kayda değer bir artış sağlanamadığı,
3. Pabuç sıcaklığının artmasıyla kaynak mukavemetinin de arttığı,
4. Malzeme yüzeyine uygulanan basınç süresi ile ilgili olarak net bir verinin elde edilemediği.

Yukarıda yapılan çalışmalardan farklı olarak Karagöz ve Öksüz tarafından CNC dik işleme

merkezinde kaynak takımına malzeme türüne göre değişiklik göstermekle birlikte 3000–6000 devir/dk yüksek devirler uygulanmış ve Polietilen (PE) için %96, PP için %85 oranında ana malzemenin mukavemetine yakın oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır [1]. Malzeme yüzeyinde takım

omuz kısmının yaptığı baskı ayarlanarak oluşan deformasyon önlenmiş ve kaynakta mukavemet kaybının önüne geçilmiştir. Şekil 4’te yüksek devir hızlarında CNC dik işleme merkezinde uygulanan birleştirme işlem sırası ve kaynaklı levhalar gösterilmiştir.

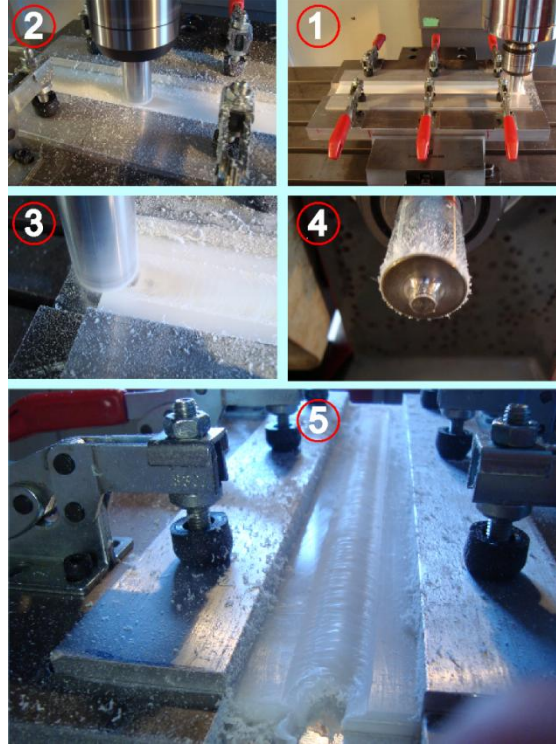


Şekil 3. Nelson tarafından geliştirilen SKK kaynak takımı [9]

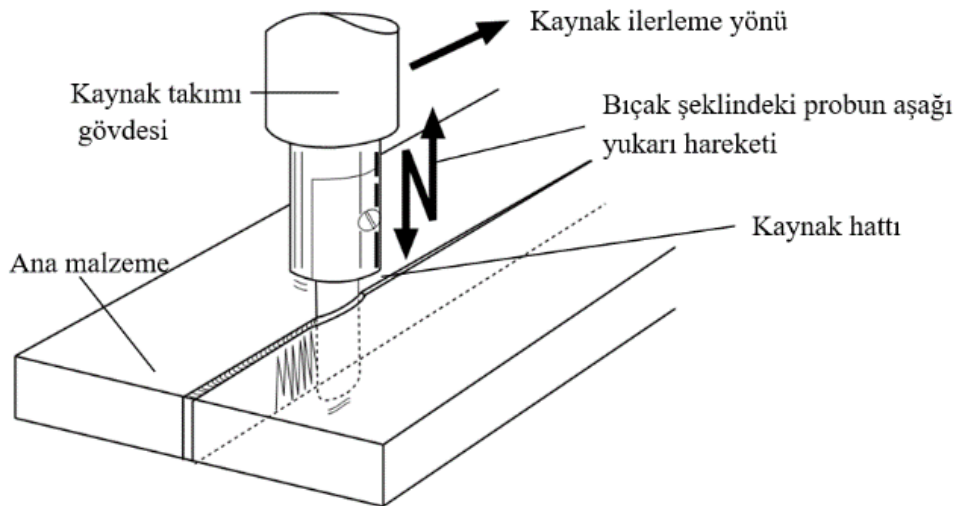
2.2. Dikey Hareketli Sürtünme Karıştırma Kaynağı (DHSKK)

Dikey hareketli sürtünme karıştırma kaynağının uygulanması Şekil 5’te gösterildiği gibidir. Sistem kaynak takımı pim ve omzundan oluşan silindirik bir takım yerine aşağı ve yukarı olmak üzere dikey yönde hareket eden bıçak şeklinde yassı bir takımdan oluşur [5]. Bıçak şeklindeki takım birleştirilmek üzere sabitlenmiş plaka, boru vb.

malzemelerin kaynak bölgesine daldırılır ve kaynak yapılacak hat boyunca sabit bir ilerleme hızı ile hareket ettirilir. Kaynak için gerekli olan ısı plastik malzeme ve bıçak şeklindeki yassı takımın birbiri ile sürtünmesiyle elde edilir. Kaynak bileşenlerinin (kaynak takımı ve malzeme) sürtünmesiyle kaynağın gerçekleştirilmesi için gerekli olan ısı meydana gelir ve oluşan bu ısı malzemeyi yumuşatır.



Şekil 4. CNC dik işleme merkezinde SKK uygulama işlem adımları, 1- Birleştirilecek parçalara kaynak takımının daldırılması, 2- Sabit bir hızda kaynak hattı boyunca kaynak takımının ilerletilmesi, 3- Kaynağın sonlandırılması, 4- Kaynak takımının yukarı çekilmesi, 5- SKK ile birleştirilmiş malzemelerin bağlama kalıbında bekletilmesi [1]



Şekil 5. Dikey hareketli SKK uygulamasının şematik gösterimi [5]

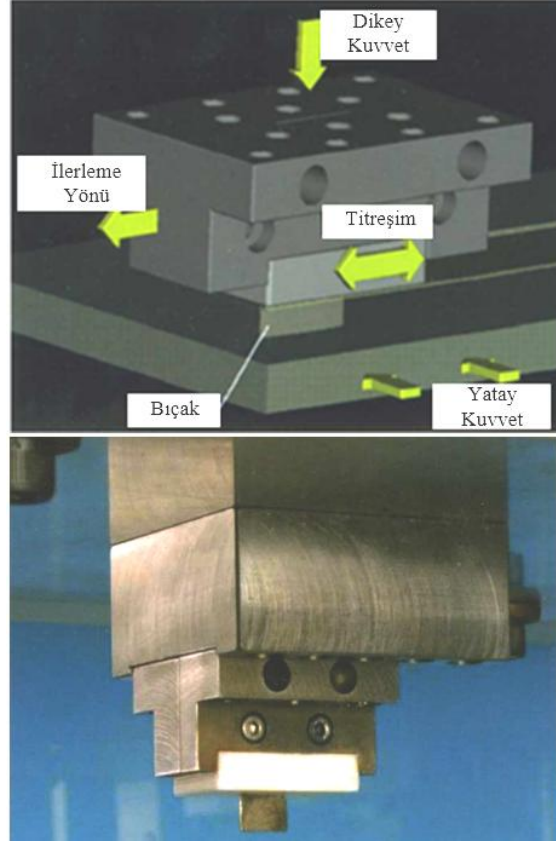
Panneerselvam ve arkadaşları tarafından 2 mm kalınlığında akrilik malzemelere DHSKK uygulanmış ve kaynak bağlantısının mukavemeti ve kalitesi yapısal ve mekanik çalışmalarla analiz edilmiştir. Araştırmacılar malzeme kalınlığının, kaynak probunun (bıçağının) kalınlığı ve geometrisinin, kaynağa etkiyen parametreler olduğunu ifade etmişlerdir. Uygulamalarda termomekanik olarak etkilenen kaynak bölgesinde gözenekli bir yapı meydana geldiği, malzeme akışının yetersiz olduğu ve bunda kaynak mukavemetini azalttığını ifade etmişlerdir [13]. Bu yöntemin en temel problemi erimiş malzemeyi kaynak bölgesinde tutacak bir mekanizmanın olmamasıdır. Erimiş malzeme kaynak bölgesinde tutunamadığı için kaynak bölgesinde boşluklar oluşmakta ve buna bağlı olarak zayıf kaynak mukavemeti elde edilmektedir. Erimiş plastiği kaynak bölgesinde tutacak bir mekanizmanın geliştirilmesi kaynak mukavemetini arttıracaktır. Mevcut durumda bu yöntem çok fazla uygulanabilir değildir ve bu nedenle çok fazla yaygınlaşmamıştır.

2.3. Titreşim-Sürtünme Yöntemi ile Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Yukarıda bahsedilen kaynak yöntemleriyle istediği sonuçları elde edemeyen İngiliz Kaynak Enstitüsü (TWI) tarafından geliştirilmiş yeni bir yöntemdir. Uygulama itibari ile dikey hareketli SKK'na benzemektedir. Bu proseste ileri geri hareket ederek titreşim oluşturan ve kaynak hattına paralel ilerleyen bıçak şeklinde yassı bir takım ve bir omuzdan oluşan montajlı bir kaynak takımı kullanılır. Kaynak için gerekli olan ısı, plastik malzeme ile bıçak şeklindeki yassı takım ve takım omzunun malzeme yüzeyleri ile sürtünmesinden elde edilir. Elde edilen ısı dikey kuvvet altında takımın hareket ettiği kenarların kalınlığı boyunca malzeme yüzeyini eritir ve takımın ilerleme hareketiyle arkada kalan bölgede birleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olur [2]. Yöntemin uygulanması Şekil 6'da şematik olarak gösterilmiştir.

Kaynak başlangıcında plastiklerin sahip olduğu düşük ısı iletkenliğinden dolayı omuz tarafından üretilen ısı, kaynak merkezine yakın malzemenin ertilmesi için yeterli değildir. Bu yüzden alın

kaynağında, yüzeylerin birleştirilmesi için ihtiyaç duyulan ısının tamamı bıçak şeklindeki yassı takım tarafından oluşturulmalıdır. Yöntemin uygulanmasında iki temel adım vardır:



Şekil 6. Titreşim-Sürtünme yöntemi ile plastik malzemelere SKK uygulanması [2]

- 1- Kaynak için gerekli olan ısı, bıçak şeklindeki yassı takım ve plastik levhalar arasındaki sürtünmeden dolayı elde edilir.
- 2- Kaynaklı birleştirmenin gerçekleşmesi ve kaynak bölgesinde elde edilen ısının korunması için parçalar ile takım temasının devam ettirilmesi yani sürekli olarak bir temasın sağlanması gerekmektedir.

Omuz tarafından uygulanan dikey yük, plaka üst yüzeylerinde malzemeleri eritmek için bir ısı

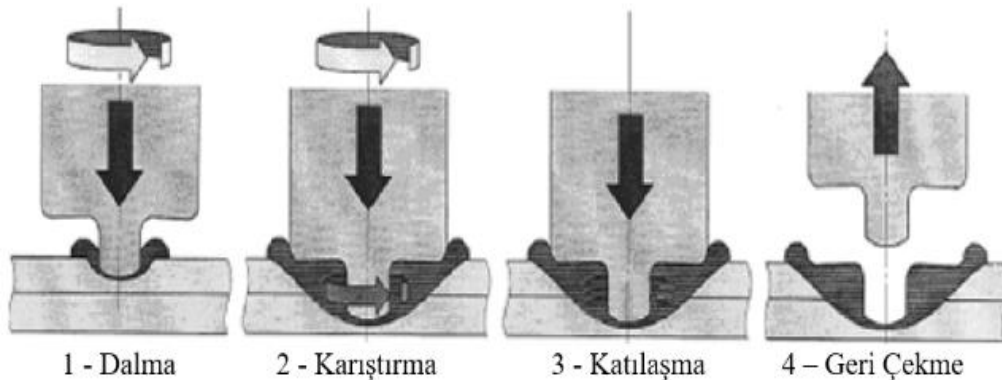
girdisi oluşturur ancak takım omzunun kaynaklı parçaların birbiri ile temas ettiği birleştirme yüzeylerine direkt olarak etkisi yoktur. Yöntemde uygulanan yatay kuvvet üç farklı bileşenle tanımlanır. Yatay kuvvetin uygulanmasına bağlı olarak, birleştirme işlemi için malzemenin ısıtılmasıyla ısıl genişleme meydana gelir. Bıçağın ilerleme hareketi ile bıçak şeklindeki yassı takımın çevresinde açığa çıkan ergimiş haldeki plastik malzemeler birbiri ile kaynatılır. Yatay kuvvetin uygulanması, bıçağın ilerleme hareketi ve bıçak şeklindeki yassı takımın yüzeyleriyle malzemelerin sürtünmesinin sonucu olarak doğrudan ısı oluşturulur. Birleştirilmek üzere sabitlenmiş parçaların temas yüzeyleri arasındaki baskı kuvveti, bıçak şeklindeki yassı takımın ilerlemesi ve buna bağlı olarak oluşan yatay kuvvet ve ısıl genişlemenin etkisi ile oluşturulur.

Bu yöntemin en önemli avantajı, kaynak takım ucunun sürekli kaynak bölgesinde olması ve erimiş malzemenin kolayca kaynak bölgesinde tutulmasını sağlayan bir sistemin olmasıdır. Dikey hareketli sürtünme karıştırma kaynağı ile karşılaştırıldığında, kaynak bölgesinde elde edilen ortalama sıcaklık daha yüksektir ve sistemdeki ısı kayıpları önemli derecede azaltılmıştır.

Scialpi ve arkadaşları tarafından titreşim-sürtünme yöntemi ile düşük (1270 N) ve yüksek (2400 N) dikey kuvvet etkisi altında PP malzemelere SKK uygulanmıştır. Kaynak sonrası kaynak parametrelerinin kaynak mukavemeti üzerindeki

etkileri incelenmiştir. Araştırmalar tarafından elde edilen sonuçlar şu şekilde açıklanmıştır [2]:

- 1- Kaynakta kullanılan takımın sahip olduğu özellikler (boyu, bıçak kalınlığı vb.) mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Bıçak kalınlığının azaltılması diğer kaynak parametrelerinden bağımsız olarak mekanik özelliklerde artış sağlamaktadır.
- 2- Yatay kuvvet kaynak görünümü üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Üst yüzeye aşırı yatay kuvvet uygulanması, kaynak hattı üzerinde malzemeyi şişirerek baloncuk (gaz boşluğu) oluşturmaktadır.
- 3- Yatay kuvvet ve bıçak boyu kaynak bölgesinde elde edilen sıcaklık üzerinde etkili olmaktadır. Yatay kuvvetin yüksek olması, birleştirilen levha kalınlıklarına göre bıçak boyunun doğru ayarlanamaması kaynak hattı üzerinde aşırı baloncuk (gaz boşluğu) oluşmasına neden olmaktadır.
- 4- Yapılan eğme deneylerinde, kaynak kök bölgesinde bıçak uzunluğu hariç tüm parametrelerin (bıçak kalınlığı, düşey yük ve yatay kuvvet) etkisi olumsuzdur.
- 5- Dikey kuvvetin yüksek olması, sürtünmeyle birlikte kaynak bölgesindeki ısıyı artırarak eriyen malzeme miktarını da artıracaktır.



Şekil 7. SKNK uygulamasında kaynak işlem adımları [14]

2.4. Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK), geleneksel yöntemlerle birleştirilmesi zor ve masraflı olan demir dışı metallerin birleştirilmesi amacıyla ortaya çıkan ve son zamanlarda plastikler içinde başarılı bir şekilde uygulanan bir birleştirme yöntemidir. Uygulama şekli itibari ile SKK'na benzemektedir. 2001 yılında alüminyum alaşımlarının nokta kaynak yöntemi ile birleştirilmesi amacıyla otomotiv endüstrisi tarafından geliştirilmiştir. SKNK kullanılan kaynak takım omuz çapı daha geniş, karıştırıcı uç (pim) çapı ise daha küçük olacak bir tasarım yapılmaktadır. Şekil 7'de gösterildiği gibi SKNK plastiklere 1-Dalma, 2-Karıştırma, 3-Katılaşma, 4- Geri Çekme olmak üzere dört adımda uygulanmaktadır.

Bu yöntemle yapılan çalışmalar incelendiğinde araştırmacılar tarafından takım dönme hızının artmasıyla kaynak bölgesindeki ısının arttığı, belirli bir süre sonra sürtünme katsayısının azalmasına bağlı olarak kaynak bölgesinde sıcaklığın sabit hale geldiği, kaynak bölgesinde bekleme süresinin kaynak mukavemeti ve kaynak kalitesi üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir [14,15].

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Genel hatlarıyla mevcut tüm çalışmalar incelendiğinde başarılı bir SKK uygulamasının önündeki en büyük engelin kaynak için gerekli olan ısının elde edilmesi ve taşınmasındaki zorluklar olduğu görülmektedir. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak araştırmacılar tarafından daha önceki bölümlerde bahsedilen farklı uygulama teknikleri ve kaynak takımları geliştirilmiştir. Bu yöntem ve takımlar arasında en iyi sonuçların yüksek takım dönme ve ilerleme hızlarında CNC kontrollü olarak yapılan ve klasik alüminyum stili kaynak takımlarının kullanıldığı yöntemle ve ön ısıtmalı pabuç kullanılan geleneksel SKK yöntemleriyle elde edildiği görülmüştür.

Yöntemin plastikler için endüstriyel olarak uygulanabilmesi ancak yüksek devirlerde CNC kontrollü makinelerle yapılan uygulamalarla mümkün olmaktadır. Düşük devirli universal tezgahlarla yapılan uygulamaların kaynak mukavemeti ve kaynak yüzey kalitesi üzerindeki etkisi oldukça sınırlı olmakta ve olumsuz sonuçlar elde edilmektedir. Mevcut durumda yeni çalışmaların yüksek devirler kullanılarak yapılması yöntemin endüstriyel olarak kullanımını yaygınlaştıracak ve ülkemiz ekonomisine bir katma değer yaratacaktır. Ancak bunun öncesinde birleştirilecek malzeme türü, kalınlığı, kaynak mesafesi vb. parametrelere ait optimizasyon çalışmalarının yapılması ve uygulamalara ait bir veri havuzunun oluşturulması gerekmektedir. Ancak bu sayede mevcut sorunlara ya da yeni ürün geliştirme çalışmalarına geniş bir perspektiften çözüm önerileri sunulabilecektir.

4. KAYNAKLAR

1. Karagöz, İ., 2014. Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Kaynak Özellikleri, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Göztepe, İstanbul-Türkiye.
2. Scialpi, A. Troughton, S., Andrews, S., Filippis L., 2009. Viblade™-Friction Stir Welding For Plastic, Welding International, 23-11, pp. 846-855.
3. Strand, S.R., 2004. Effects of Friction Stir Welding On Polymer Microstructure, Master of Science, Brigham Young University Department of Mechanical Engineering Utah, USA.
4. Şelale, S., 2006. Polietilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
5. Troughton, M., 2008. Handbook of Plastics Joining A Practical Guide, 2nd Edition, Published William Andrew Inc., USA.
6. Bozkurt, Y., 2012. The Optimization of Friction Stir Welding Process Parameters to Achieve Maximum Tensile Strength in Polyethylene Sheets. Material and Design, 35, pp. 440-445.

7. Ahmadi, H., Arab, N.B.M., Ghasemi, F.A., Farsani, R.E., 2012. Influence of Pin Profile on Quality of Friction Stir Lap Welds in Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composite. *International Journal of Mechanics and Applications*, 2-3, pp. 24-28.
8. Czigány, T., Kiss, Z., 2011. Friction Stir Welding Of Fiber Reinforced Polymer Composites. 18th International Conference On Composite Materials, 21-26 August, Jeju Island, Korea.
9. Nelson, W.T., Sorenson, C.D., Johns, C.J., 2004. Friction Stir Welding of Polymeric Materials. United States Patent US 6, 811,632 B2, November 2.
10. Payganeh, G.H., Arab, M., Asl, Y.D., Ghasemi, F.A., Broujeni, M.S., 2011. Effects of Friction Stir Welding Process Parameters on Appearance and Strength of Polypropylene Composite Welds. *International Journal of The Physical Sciences*, 6-19, pp. 4595-4601.
11. Rezgui, M.A., Ayadi, M., Cherouat, A., Hamrouni, K., Zghal, A., Bejaoui, S., 2010. Application of Taguchi approach to Optimize Friction Stir Welding Parameters of Polyethylene. *EPJ Web of Conferences* 6 – 07003.
12. Squeo, E.A., Bruno, G., Guglielmotti, A., Quadrini, F., 2009. Friction Stir Welding of Polyethylene Sheets. *The Annals of Dunărea De Jos University of Galati, Fascicle V Technologies in Machine Building* 1221-04566, pp. 241-246.
13. Panneerselvam, K., Aravindan, S., Haq, A.N., 2004. Joining of Plastics By Frictional Vibration. *International Symposium of Research Students on Materials Science and Engineering*, 20-22 December, Chennai, India.
14. Bilici, M.K., Yükler, A.İ., Fidaner, O., 2012. Termoplastiklerin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Etkileri. 3. Ulusal tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 29-30 Kasım, Balıkesir, Türkiye.
15. Kurtulmuş, M., 2012. Friction Stir Spot Welding Parameters for Polypropylene Sheets. *Scientific Research and Essays*, 7-8, pp. 947-956.

Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yaşlandırılabilir Parçalar Üzerinde Etkisi

Fikret SÖNMEZ^{*1}, Hüdayim BAŞAK²

¹*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Ankara*

²*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Ankara*

Geliş tarihi: 28.12.2015

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Bu çalışmada, yaşlandırılabilir alüminyum alaşım Al-7075-T6 (yaşlandırılmış) malzemenin kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Al-7075-T6 plakalar Al-7075-0 (tavlı/yumuşak) ısıl işlemine tabi tutulmuş ve farklı kaynak parametreleri ile sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirme sonrası çekme ve eğme deneylerine tabi tutulan parçalar incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda düşük devir ve düşük ilerleme hızının daha iyi kaynak çekme dayanımını oluşturduğu görülmüştür. Eğme deneylerinde çekme deneyleri ile karşılaştırıldığında ana malzemeye daha yakın kaynak dayanımı görülmüştür. Bununla birlikte en yüksek çekme dayanımının elde edildiği numunenin eğme dayanımı beklenenin altında gerçekleşmiştir. Bunun nedeni olarak malzeme kaynak alt noktasında bulunan mikro çatlaklar olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, Yaşlandırma, Isıl işlem

Effect of Stir Friction Welding on Age Hardenable Parts

Abstract

In this study, age hardenable material Aluminum alloy Al-7075-T6 (aged) was investigated for weldability. Al-7075-T6 plates were subjected to Al-7075-0 heat treatment and were joined with different welding parameters by means of friction stir welding method. After Joining, the parts which were subjected to tensile and bending tests were examined. As a result of the studies, it was observed that low speed and feed rate generate better tensile strength. When compared with tensile tests, in bending tests, specimen bending strength was observed to be closer to the main material strength. However, the bending strength of the specimen which has the highest tensile strength was lower than expected. It was observed that the reason for this situation is the micro-cracks which were located at the bottom point of the welding material.

Keywords: Friction stir welding, Aging, Heat treatment

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Fikret SÖNMEZ, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Ankara. sonmezfikret@gmail.com*

1. GİRİŞ

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, kaynatılacak malzeme için ergime sıcaklığına ulaşmadan yapılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Bu yöntemde pim ve omuz yapısından oluşan sert ve ergitme kaynak yöntemlerinde kullanılan elektrot benzeri kaynak ekipmanlarının aksine tükenmeyen yapıda bir kaynak takımı ile kaynak işlemi yapılır [1-2]. Kaynak işlemi, oluşan ısının etkisi ile plastikleşen malzemenin pim yardımı ile birleştirilmesi esasına dayanır. Bu yöntemde ergitme yöntemlerinde ihtiyaç duyulabilen dolgu malzemesine ihtiyaç yoktur. Aynı zamanda gaz, toz gibi etkenler olmadığından çevreci bir yöntemdir. Yöntemin ana parametreleri ilerleme hızı ve takım devri olarak sayılabilir [1-4]. Diğer kaynak yöntemlerinde görülen eğilme, büzülme gibi olumsuzluklar daha az oluşur [4]. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile alın, bindirme ve köşe kaynakları başarı ile yapılabilir [5]. Kaynak yapılan bölgede ana kaynak metali dışında kaynak merkezi, termo-mekanik olarak etkilenmiş bölge ve ısı tesiri altındaki bölgeler oluşur [3,5]. Isı girdisinin diğer yöntemlere oranla daha az olması nedeni ile oluşan bu bölgelerdeki mekanik özellik

farqları ergitme kaynaklarındaki kadar fazla olmaz. Sürtünme karıştırma kaynağı daha çok demir içermeyen ve düşük sıcaklıklarda ergiyen metallere uygulanırsa da farklı oranlarda karbon içeren çeliklere de uygulanabilmektedir [6]. Sürtünme karıştırma kaynağı farklı alaşımların kaynağı noktasında da başarı ile uygulanabilen bir kaynak yöntemidir [7].

Yapılan bu çalışmada Al-7075 malzeme ısıl işlem metodu ile Al-7075-0 temperine çekilmiş ve farklı kaynak parametreleri ile Sürtünme Karıştırma Kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak işleminin etkinliğinin araştırılması için çekme ve eğme testleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzeme

Yapılan kaynak işlemlerinde 5 mm kalınlıkta ve kimyasal bileşimi Çizelge 1’de verilmiş olan Al-7075 malzeme kullanılmıştır. Kalınlığı 5 mm olan Alüminyum alaşım 300x100x5 mm ölçülerine getirilmiştir.

Çizelge 1. Al-7075 kimyasal bileşimi

	Cu	Zn	Mg	Si	Mn	Fe	Cr	Ti	Diğer	Al
En az	1,20	5,10	2,10	0,40	0,30	0,50	0,18	0,20	0,15	Kalan
En fazla	2,00	6,10	2,90	0,40	0,30	0,50	0,28	0,20	0,15	Kalan

Al-7075 malzeme farklı temper durumlarında birbirinden oldukça farklı mekanik özellikler gösterebilmektedir. Çizelge 2’de görüldüğü gibi tavllanmış (yumuşak) yapıda ki malzeme ile T6 arasında 2 kat dayanım farkı bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan kaynak deneyleri tavllanmış (yumuşak) malzeme tercih edilerek yapılmıştır. Bu işlem için öncelikle Al-7075-T6 malzeme öncelikle 480°C sıcaklıkta solüsyona alınmış ardından kendi halinde soğumaya bırakılarak sertlik özellikleri alınmıştır.

2.2. Kaynak Parametreleri ve Kaynak Takımı

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilecek alüminyum alaşım levhalar öncelikle bu işlemler için imal edilmiş olan bir bağlama kalıbına bağlanmıştır. Bağlama kalıbında alın alına birleştirilen parçalar civata ile tespit edilmiştir. Tezgâh başlığına 2° açı verilerek daha düzgün bir kaynak işlemi hedeflenmiştir. Kaynak işleminde en belirleyici faktör olan ısı girdisinin oluşturulması için farklı devir ve ilerleme hızları kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler Çizelge 3’de görülmektedir.

Çizelge 2. Al-7075 dayanım özellikleri

Malzeme Türü	Kopma Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Süneklik %
Al-7075-0	276	145	9-10
Al-7075-T6	572	503	5-8

Çizelge 3. Kaynak parametreleri

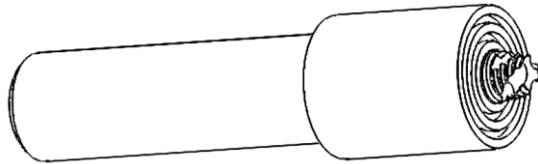
İlerleme Hızı	40,70 (mm/dk)
Takım Devri	710,1000 (dev/dk)
Bağlama Yöntemi	Bağlama Kalıbı
Tezgâh Başlık Açısı	2°
Yağlama- Soğutma	Kullanılmamış

Kaynak takımı AISI H13 sıcak iş çeliği malzemeden tercih edilmiştir. AISI H13 malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 4’de görülmektedir. H13 malzeme yüksek sıcaklıklarda sertlik ve mukavemet değerlerini koruyan bir alaşımdır. Takım talaşlı imalat tezgâhları ile işlenmiş sonrasında yağda soğutularak 53 HRC sertliğe çıkarılmıştır.

Çizelge 4. AISI H13 (1.2344) kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,39	1,0	0,40	5,30	1,40	0,90

Şekil 1’de görülen kaynak takımının omuz yapısında dairesel kanallar kullanılmış pim kısmı ise konik yüzey üzerine vida açılarak şekillendirilmiştir. Takım birleştirilecek parçaların tam karışmasının sağlanması amacıyla 3 adet helisel kanala sahiptir. Kaynak edilecek parçaların kalınlığı 5 mm olduğundan kaynak takımı pim uzunluğu 4,8 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Sürtünme karıştırma kaynak takımı

2.3. Kaynak İşlemi

Deneyler için kullanılan freze tezgâhında Çizelge 3’de bulunan parametreler kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan işlem 3 ana kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak kaynakla birleştirilecek parçaların uç kısımlarına takım temas ettirilmiş ve ısı oluşması sağlanmıştır. Isı oluşumu sağlandıktan sonra tezgâh otomatik ilerleme sistemi çalıştırılmıştır. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra tezgâh tablası indirilerek kaynak işlemi sonlandırılmıştır. Sürtünme Karıştırma Kaynak yöntemi ile parçaların birleştirilmesini gösteren resim Şekil 2’de verilmiştir.



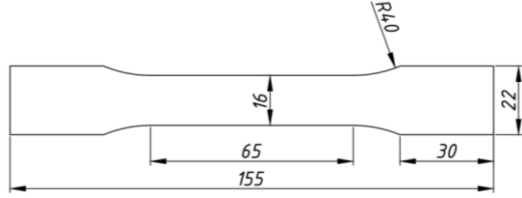
Şekil 2. Sürtünme karıştırma kaynak işlemi

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Al-7075 parçalar üzerinde yapılan kaynaklı birleştirmeler sonrasında Yapılan birleştirmeler çekme ve eğme deneylerine tabi tutulmuştur.

3.1. Çekme Testi Sonuçları

Kaynak işlemine tabi tutulan parçalardan çekme testi için numune çıkartılması için Tel Erozyon tezgâhı kullanılmıştır. Deney sonuçlarının daha sağlıklı yorumlanabilmesi için 2 mm aralıklar ile 3 numune TSE 138 [8] standardına göre hazırlanmıştır. Çekme testlerinde kullanılan numuneye ait ölçüler Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3. Çekme numunesi

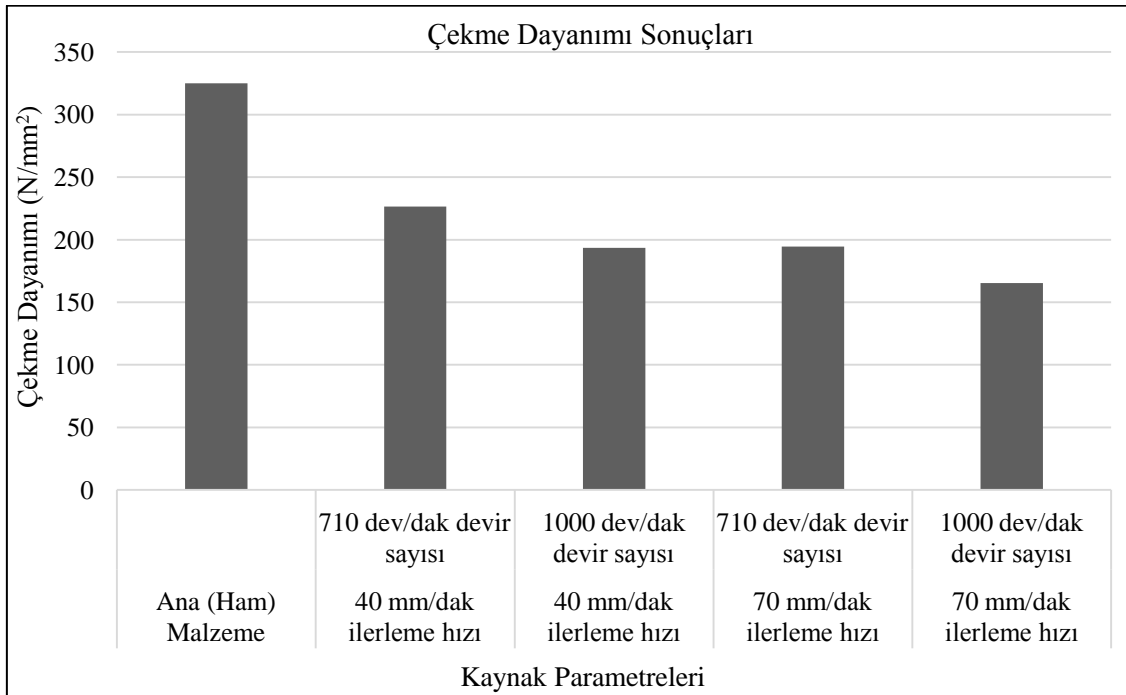
Çekme deneyleri Instron 3369 marka test cihazında sabit 5 mm/dk çekme hızı ile yapılmıştır. Çekme testi sırasında ön yük kullanılmamıştır. Çekme testi sonucunda elde edilen dayanım değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5'te bulunan deney sonuçları incelendiğinde farklı kaynak parametrelerinin kaynak işlemi üzerinde çekme dayanımı açısından etkili olduğu görülmektedir. Isı etkisini oluşturan takım sürtünmesi artışının parça üzerinde oluşan

ısıyı da arttırdığı bunun da dayanım üzerinde olumsuz etki olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Çizelge 5. Çekme dayanımı sonuçları

İlerleme Hızı	Takım Devir Sayısı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
Ana (Ham) Malzeme		325,08
40 mm/dk	710 dev/dk	226,37
40 mm/dk	1000 dev/dk	193,60
70 mm/dk	710 dev/dk	194,62
70 mm/dk	1000 dev/dk	165,33



Şekil 4. Çekme dayanımı sonuçları

Şekil 4'te görüldüğü gibi düşük ilerleme hızı ve düşük devir sayısı daha başarılı bir kaynak dayanımı sağlamıştır. Deneylerde en düşük devir

sayısı ve ilerleme değeri ile yapılan deneylerde Ana malzemeye kıyasla yaklaşık %70 kaynak başarımları ortaya koymuştur. Deneylerin yapıldığı

ve daha yüksek ilerleme hızı ve devir sayısının tercih edildiği diğer numunelerde ise kaynak başarımının daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük dayanım ise en yüksek devir ve en yüksek ilerleme hızının kullanıldığı deney şartlarında ortaya çıkmıştır. Bu durumda hem yüksek devir sayısının hem de yüksek ilerleme hızının olumsuz etkisi ortaya çıkmaktadır.

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen parçaların dayanımının ana malzemeye yakın dayanım özellikleri vermesi beklenmiştir. Ancak parçalarda ölçülen çekme dayanımı değerleri istenen düzeyde oluşmamıştır. Bunun nedeninin, kaynak çekirdeğinin alt kısmında bazı boşluklar ve mikro çatlaklar olduğu düşünülmektedir. Birleştirilen parçalardaki bu yapının dayanımı düşürdüğü kanaati oluşmuştur.

3.2. Eğme Testi Sonuçları

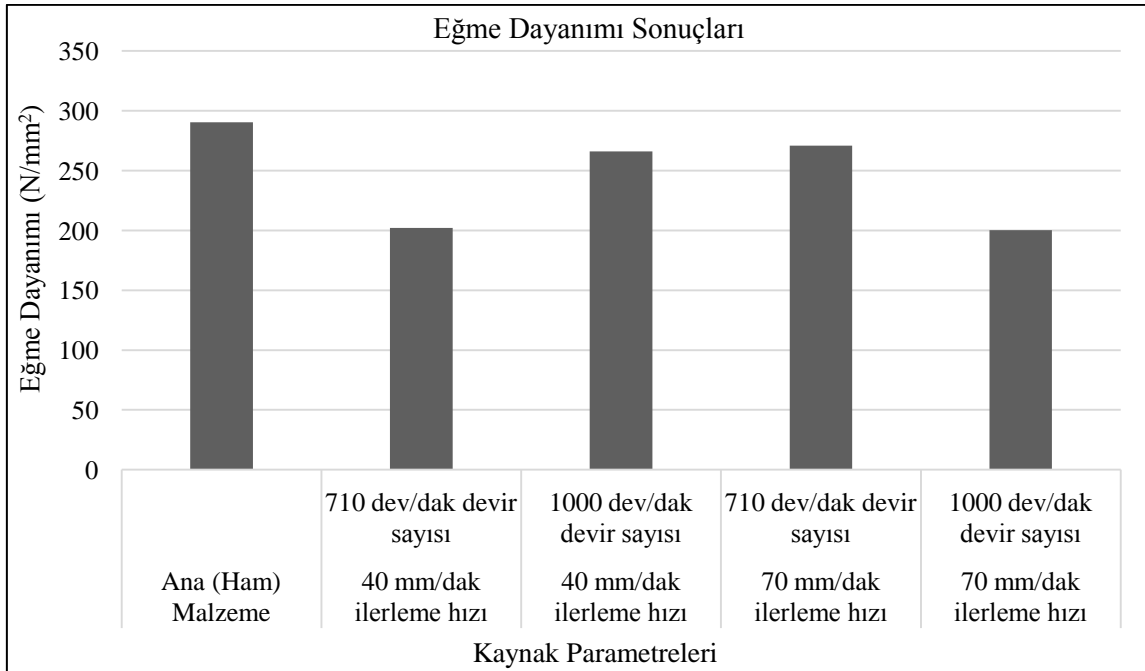
Eğme numuneleri de çekme numuneleri gibi tel erozyon tezgâhında kesilmiş ve 3 nokta eğme testi

ile kaynak bölgesinin merkezinden uygulanan baskı sonucu oluşan eğme dayanımı test edilmiştir. Testler Instron 3369 marka test cihazı ile yapılmıştır.

Çizelge 6. Eğme dayanımı sonuçları

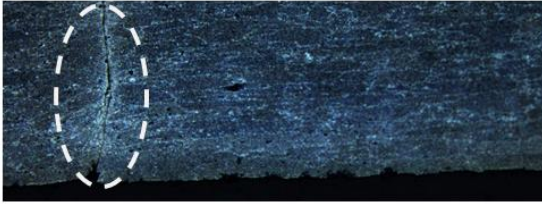
İlerleme Hızı	Takım Devir Sayısı	Eğme Dayanımı (N/mm ²)
Ana (Ham) Malzeme		290,45
40 mm/dk	710 dev/dk	201,99
40 mm/dk	1000 dev/dk	265,90
70 mm/dk	710 dev/dk	270,89
70 mm/dk	1000 dev/dk	200,08

Çizelge 6'de bulunan eğme sonuçlarına göre farklı kaynak parametreleri ile kaynak edilen numunelerin eğme testinden elde edilen dayanımları görülmektedir.



Şekil 5. Eğme dayanımı sonuçları

Şekil 5 incelendiğinde eğme sonuçlarının ana malzemeye yakın değerler aldığı görülmektedir. Deneylerde en yüksek çekme dayanımını düşük ilerleme ve düşük devir sayısı ile ulaşılabileceği düşünülmüştür. Bununla birlikte eğme sonuçları da içyapıda bulunan mikro çatlaklardan etkilenmiştir. Şekil 6'da görülen mikro çatlaklar her numunede farklı yapı göstermiştir. Mikro çatlaklar derinliğine bağlı olarak dayanım da değişmektedir. 40 mm/dk ilerleme hızı ve 710 dev/dk kaynak parametreleri kullanılarak yapılan birleştirmelerde mikro çatlak yapısının daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6'da en düşük ilerleme ve en düşük devir sayısı ile yapılan birleştirme sonucu ortaya çıkan mikro çatlak görülmektedir.



Şekil 6. 40 mm/dk ve 710 dev/dk ile birleştirilen numunenin içyapı çatlakları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada ergitme kaynak yöntemlerine bir alternatif olan katı hal kaynak yöntemlerinden sürtünme karıştırma kaynağı kullanılarak yapılan birleştirmeler incelenmiştir. Birleştirilen deney parçaları çekme testi ve eğme testine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

Çekme testleri sonrası düşük ilerleme hızı ve düşük devir sayısı kaynak başarımına olumlu etki göstermiş ve en iyi kaynak koşullarında yaklaşık %70 dayanım elde edilmiştir. Yapılan yüksek ilerleme hızı ve yüksek devir sayısı çalışmasında ise çekme dayanımı yaklaşık %50 olarak şekillenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yüksek devir sayısı ve yüksek ilerleme hızının kaynaklı birleştirmelere olumsuz etki ettiği görülmektedir.

Eğme sonuçları çekme sonuçlarına oranla ana malzemeye daha yakın çıkmıştır. Çekme deneylerinde en iyi sonucun alındığı en düşük ilerleme ve en düşük devir sayısı ile yapılan birleştirmenin eğme dayanımı beklentilerin altında çıkmıştır. Bunun nedeninin bu numunede oluşan mikro çatlaklı içyapı olduğu düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C., Murch, M.G., Temple-Smith, P., Dawes, C.J., 1999. Friction Stir Butt Welding. International Patent Application No PCT/GB92/02203, GB Patent Application No.9125978.8.
2. Thomas, W. M., Nicholas, E.D., 1998. Friction Stir Welding for the Transportation Industries, Materials and Design, 18-4, p. 269-273.
3. Munoz, A.C., Rückert, G., Huneau, B., Sauvage, X., Marya, S., 2008. Comparison of TIG Welded and Friction Stir Welded Al-4,5Mg-0,26Sc alloy, Journal of Materials Processing Technology, 197, p. 337-343.
4. Çam, G., 2005. Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK): Al-Alaşımları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi, Mühendis ve Makine, 46-541, p. 30-39.
5. Kaluç, E., Taban, E. 2007. Sürtünen Eleman ile Kaynak (FSW) Yöntemi (Sürtünme Karıştırma Kaynağı, Makine Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
6. Fujii, H., Cui, L., Tsuji, N., Maeda, M., Nakata, K., Nogi, K., 2006. Friction stir welding of carbon steels, Materials Science and Engineering, A 429, p. 50-57.
7. Chen, Y., Ni, Q., Ke, L., 2012. Interface characteristic of friction stir welding lap joints of Ti/Al dissimilar alloys, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 22, p. 299-304.
8. Türk Standartları Enstitüsü TSE 138.

Gemilerdeki Kaynaklı Yapılarda Isı Yalıtımı

Mehmet ŞAHİN^{*1}, Yahya BOZKURT¹

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Göztepe Kampüsü, Kadıköy / İSTANBUL

Geliş tarihi: 28.12.2015

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Dünyada enerjinin verimli kullanılmasının gerekliliğine, insan konforu ve sağlığı ile çevreye verilen öneme paralel olarak, yalıtım uygulamalarına verilen önem daha da artmıştır. Gemiler, yolcu ve çalışanların güvenliğini ve konforunu sağlamak, enerji tüketimini azaltmak, yatırım ve işletme maliyetlerini düşürmek, yoğunlaşma, terleme ve buzlanmayı önlemek amacıyla yalıtılırlar. Bunun yanında, taşınan malzemeleri korumak, geminin ağırlığını düşürüp kullanılan hacmi arttırmak, yapı elemanlarının ve sistemlerin ömürlerini uzatmak gibi amaçlarla da yalıtılmaktadırlar. Kaynaklı yapıdaki yalıtımın en önemli özelliklerinden biri de yakıt tüketimini azaltarak çevreye atılan zararlı bileşenlerin miktarını düşürmektir.

Bu çalışmada, dünyada gemilerdeki kaynak üzerine yapılan ısı yalıtımı uygulamaları hakkında yapılmış araştırmalar ve kullanılan yöntemler incelenmiş, uygulama detayları ve ülkemiz şartlarına uyarlanmış detaylar ve hesap değerleri irdelenmiştir. Çalışma, kapsamı itibarıyla gemilerde ısı yalıtımı konusunda çalışacak araştırmacı ve tasarımcılara rehber olacak niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Gemilerde ısı yalıtımı, Gemilerde kaynak, Yalıtım uygulamaları

Thermal Insulation in Ships For Welding Structure

Abstract

The importance of insulation applications in the world ascended in parallel with the necessity of the energy to be used efficiently, the significance that has been assigned to human comfort and environmental concerns. Ships are insulated for purposes such as maintaining the security and the comfort of the passengers and the crew, reducing energy consumption, reducing investment and operating costs, preventing condensation, sweating and freezing, protecting and conditioning cargo, decreasing the weight of the ship and increasing volume to be used, lengthening the physical life of the constructions and the systems, reducing the amount of emissions which has been thrown away by reducing fuel consumption, controlling noise and fire.

In this study, researches, studies and regulations worldwide about insulation of ships, applications have been analyzed welding, important parts have been gathered and selected, a guide was compiled, by using the application details, examples and calculation values which are adapted to our country's conditions. Considering its scope, this study has the characteristics of a guidebook for the researchers and designers who will work on the subject of thermal insulation of the ships.

Keywords: Thermal insulation in ships, Welding in ships, Insulation applications

^{*} Sorumlu yazar (Corresponding author) : Yahya BOZKURT., *Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Göztepe Kampüsü, Kadıköy / İstanbul.*
ybozkurt@marmara.edu.tr

1. GİRİŞ

Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME)'nin yayınlamış olduğu raporda gemilerde bulunan yapı elemanlarında toplam ısı geçiş katsayısı değerlerine dair sınırlamalar getirilmiş, bir dizi test süreci ile elde edilmiş mukavemet elemanları tipi, yerleşimi, mevsim şartları, ısı akışı yönü gibi değişkenlere bağlı toplam ısı geçiş katsayısı değerleri, detayları ile birlikte sunulmuştur. Bu yayında ayrıca gemilerde kullanılan çeşitli malzemelerin özellikleri ve mahaller arası ısı geçişinin hesaplanmasında kullanılacak sıcaklık farkı değerleri de tablolar halinde verilmiştir. Yoğuşma ve terleme üzerine örnekler ile hesaplamalar anlatılmış, istenmeyen durumların engellenmesi için alınacak önlemlere yer verilmiştir [1].

Bu alanda yapılmış en önemli çalışmalardan bir diğeri de American Society of Testing and Materials, International (ASTM)'in yayınlamış olduğu yönetmelikte, gemilerde tesisatın yalıtım yapılmasının gerekli olduğu yerler ve şartlar, kullanılacak ısı yalıtım malzemeleri, uygulama kalınlıkları, uygulamada kullanılacak tespit elemanları, uygulama detayları kapsamlı olarak verilmiştir [2].

Bir diğer çalışma Amerikan Donanması, Askeri Deniz Ulaştırma Komutanlığı'na yapılan çalışmada yukarı bahsi geçen iki kaynak temel alınmış ve üzerine bazı eklemeler yapılmıştır. Bunun yanında bu çalışma gemi elemanlarının ısı yalıtımı için sıcaklık farkı ve toplam ısı geçiş katsayısı değerlerinin okunabileceği bir tablo içermektedir [3].

Bunun yanında Amerikan Denizcilik Bürosu (American Bureau of Shipping) tarafından yayınlanmış "Gemilerde Yolcu Konforu" (Passanger Comfort on Ships) yönetmeliğinden gemilerdeki yaşama alanlarında sağlanması gereken ısı değerleri alınmıştır. Bu değerler tasarım aşamasında dikkate alınıp örnek hesaplarda kullanılmıştır [4].

International Maritime Organisation (IMO) tarafından yayınlanmış International Convention

on the Safety of Life at Sea (SOLAS) yönetmeliğinden, gemilerde kullanımına izin verilen, kısıtlı izin verilen ve tamamen izin verilmeyen malzemeler konusunda faydalanılmıştır [5].

Hart [6] ile Fulton ve arkadaşları [7] gemilerdeki bölme, kabuk ve güverte gibi yapısal elemanların yalıtılması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu gemilerde çalışmalar ısı yalıtımı konusu odaklı önem arzeden bilimsel makalelerdir [6,7]. Cox ve Curtin [7] gemilerde mekanik tesisat yalıtımının 3E Plus programı ile irdelenmesi temelli çalışmayla katkı sağlamıştır. Burton [9] gemilerde kullanılan yalıtım malzemelerine yanma sınıfları ile ilgili getirilen kısıtlamaları konu alan bir çalışma yapmıştır. Mekanik tesisatın yalıtılması [10,11], mukavemet elemanları üzerinden gerçekleşen ısı geçişi hesapları [12], illerdeki hesap sıcaklıkları ve nem değerleri ile yoğuşma, terleme ve buhar kesiciler konusunda çalışmalar yapmışlardır [13,14].

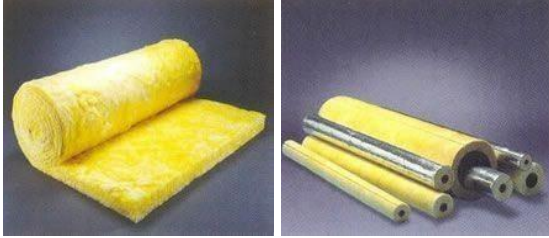
Bu çalışmada, tasarım ve hesaplarda kullanılması için Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden deniz suyu tasarım sıcaklığı değerleri alınmıştır [15,16]. Gemilerin çelik gövdeleri ısı yalıtımı ile kaplanarak gemide ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji miktarını düşürmek, yolcular ve mürettebat için uygun ortam koşullarını ve güvenliği sağlamak, iç yüzeylerde yoğuşma ve terlemeyi önlemek, taşınan ya da depolanan malzemeleri, gıdaları, eşyaları korumak veya şartlandırmak, yangın yayılımını engellemek, gürültü ve akustik kontrolü yapmak, bazı hallerde ortamdaki nemi kontrol etmek üzerine yapılan çalışmalar irdelenmiştir.

2. GEMİLERDE ISI YALITIMINDA KULLANILAN MALZEME TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Cam Yünü

İnorganik bir hammadde olan silis kumunun 1200°C-1250°C'de ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır. Şekil 1'de cam

yünü gösterilmiştir. Camın kendisi kırılğan bir madde olduğu halde ince lifli türleri esnek, bükülebilen ve çok yönlü amaçlara hizmet edebilecek niteliktedir. Malzemenin lifleri arasındaki durgun hava ısı geçiş direncini sağlamaktadır. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kaplama malzemeleri ile şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilebilmektedir. Isı yalıtımı, ses yalıtımı ve akustik düzenleme ile birlikte yangın güvenliği de sağlamaktadır. Alman Normu olan DIN 4102'ye ve Türk Standardı TS EN 13501- 1'e göre yanmaz malzemeler olan A sınıfındadır. Isı iletkenlik değeri 0,040 W/mK'dır.



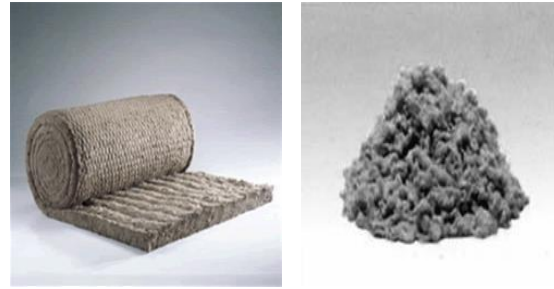
Şekil 1. Cam yünü [17]

-200 °C /+500 °C aralığında kullanılan özel cam yünü ürünler üretilebilmektedir. Sıcağa ve rutubete maruz kalması halinde boyutsal kararlılığını korur. Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve pas yapmaz. Böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez. Higroskopik ve kapiler değildir [17-19].

2.2. Taş Yünü

İnorganik bir hammadde olan bazalt taşının 1350°C-1400°C' de ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır (Şekil 2). Diğer çoğu elyafli malzeme gibi malzemenin lifleri arasındaki durgun hava ısı geçiş direncini sağlamaktadır. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kaplama malzemeleri ile şilte, levha, boru ve dökme şeklinde üretilebilmektedir. Isı yalıtımı, ses yalıtımı ve akustik düzenleme için kullanılabilir. Yangın güvenliği hususunda en yaygın kullanılan malzemedir. Yoğunluğu kalınlığa da bağlı olarak 30-200 kg/m³ arasında

değişir. Isı iletkenlik değeri 0,040 W/mK, kullanım sıcaklığı -50°C / +750°C aralığındadır. Sıcağa ve rutubete maruz kalması halinde boyutsal kararlılığını korur. Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve pas yapmaz. Böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez. Higroskopik ve kapiler değildir [17-19].



Şekil 2. Taş yünü [17,18]

2.3. Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)

Polistren ham maddesinden ekstrüzyon yolu ile üretilmektedir. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve basma mukavemetinde, değişik kenar ve yüzey şekillerinde levha olarak üretilebilmektedir. (Şekil 3). 20-52 kg/m³ yoğunlukları arasında üretilebilmektedir. Isı iletkenlik değeri 0,035 W/mK'dır.



Şekil 3. Ekstrüde polistren (XPS) [19]

Su buharı difüzyon direnç faktörü 90-100 arasında değişir. Kullanım sıcaklığı 50°C/+75°C aralığındadır. %100 kapalı gözenekli homojen hücre yapısına sahip olup bünyesine su almamaktadır. Kapiler emiciliği yoktur ve basma dayanımı çok yüksektir. TS EN 1350-1'e göre E sınıfındadır [17-20].

2.4. Genleştirilmiş Polistren Köpük (EPS)

Polistren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen ürünlerde taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan şişirici gaz pentandır. Pentan tanecikler içinde çok sayıda küçük gözeneklerin oluşmasını sağladıktan sonra üretim sırasında ve üretimi takiben çok kısa sürede hava ile yer değiştirir. Böylece genleştirilmiş polistren köpük levhaların bünyesinde bulunan çok sayıda küçük kapalı gözenekli hücreler içinde durgun hava hapsolür. Malzemenin %98'i hareketsiz havadır. Mekanik dayanım şişirici gazın çok kısa sürede hava ile yer değiştirmesi ürünün performansının kullanım ömrü boyunca sabit kalmasını sağlar.



Şekil 4. Genleştirilmiş polistren köpük (EPS) [19]

Malzemenin üretiminin son aşaması olan kalıplamada taneciklerin birbiri ile sıkıca kaynaşması sağlanır. Bu uygulamanın başarısı ürünün yüzeyindeki taneciklerin bal peteği şeklindeki görüntüsünden anlaşılır (Şekil 4). Malzemenin hafif olması malzemenin diğer bir önemli özelliğidir.

Kullanım yeri amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde değişik kenar ve yüzey şekillerinde levha ve kalıp olarak üretilebilmektedir. Isı yalıtımı ve ambalaj amacıyla kullanılmaktadır. Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır. Asit ve baz kimyasallara dirençli olmasına karşın baca gazları, metan grubu gazları, benzin grubu, eter, ester ve amin grubu kimyasallara karşı hassastır. 10-30kg/m³ yoğunlukları arasında üretilebilmektedir. Isı iletkenlik değeri 0,040 W/mK, su buharı difüzyon direnci ise

20-100 arasındadır. Kullanım sıcaklığı -50°C/+75°C aralığındadır. Kapiler emiciliği yoktur [17-19].

2.5. Polietilen Köpük

Kullanım yeri amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde boru ve levha olarak üretilebilmektedir. Isı yalıtımı ve yoğuşma kontrolü maksadıyla kullanılmaktadır. (Şekil 5.) Isı iletkenlik beyan değeri 0,040 W/mK'dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu > 5000$ 'dir. Kullanım sıcaklığı -45°C/+80°C aralığındadır.



Şekil 5. Polietilen köpük [18]

Esnektir, kapalı gözeneklidir. Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır. 25-35 kg/m³ yoğunlukları arasında üretilmektedirler [17].

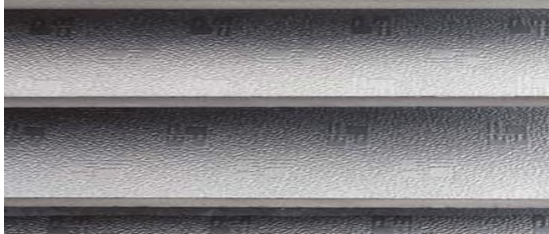
2.6. Kauçuk Köpük

Kullanım yeri amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde boru ve levha olarak üretilebilmektedir. Isı yalıtımı ve yoğuşma kontrolü maksadıyla kullanılmaktadır. Isı iletkenlik beyan değeri 0,038 W/mK'dir. Yoğunluğu 120 kg/m³'tür. Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu > 3000-7000$ 'dir. Kullanım sıcaklığı -60°C/+105°C aralığındadır. Esnektir. Kapalı gözeneklidir. Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır [18-20].

2.7. Fenol Köpüğü

100°C'de kullanılabilen yanıcı ve yakıcı gaz çıkarmama, ayrışırken erimeme, alev iletmeme gibi özelliklere sahip olmasından dolayı sentetik köpükler arasında önemli bir yer alır. Genellikle çok sıcak ve çok soğuk koşullarda çalışan

sistemlerde, soğuk depolarda ve düşük basınçlı buhar iletim borularında yalıtım amaçlı kullanılırlar (Şekil 6).



Şekil 6. Fenol köpüğü [19]

Isı iletkenlik değeri 0,04 W/mK değerindedir. Buhar difüzyon direnç katsayısı 10 ile 50 arasındadır. Kullanım sıcaklığı -180°C ile 120°C arasındadır. Yanma sınıfı BS 476 standardına göre 100-150 kPa arasında basınç mukavemetine sahiptir [18,19].

2.8. Seramik Yünü

Kullanım yeri amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde rulo, dökme ve levha olarak üretilebilmektedir. Isı iletkenlik beyan değeri 0,040 W/mK'dir. Sıcağa ve rutubete maruz kalması halinde dahi boyutsal kararlılığını korur. BS 476'ya göre yanmaz malzeme sınıfında olduğundan yangın yalıtımı amacıyla da kullanılır. Kullanım sıcaklığı 1400 °C değerini bulmaktadır. Yoğunluğu 60-160 kg/m³ arasında değişir (Şekil 7).



Şekil 7. Seramik yünü [19]

Maliyeti yüksek bir malzeme olmasından dolayı genellikle uygulama sıcaklığının taş yününün kritik sıcaklık değerlerini aştığı yerlerde tercih

edilir. Higroskopik veya kapiler değildir. Beyaz renkli, elyafı, kokusuz malzemedir [18,19]. Çizelge 1 - Çizelge 3'de gemilerde kullanılan yalıtım malzemeleri, yüzey alevlenme kısıtları ve döşeme kaplamalarına ait özellikler belirtilmiştir.

Çizelge 1. Gemilerde kullanılan yalıtım malzemeleri ve özellikleri

Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Kat sayısı (W/Mk)	Yoğunluk (kg/m ³)	Yangın Dayanımı	Kullanım Sıcaklığı (°C)	Buha Geçirgenlik	Ses Yutma
Cam yünü	0,04	10/120	Yanmaz	-50/ 250	1	+
Taş yünü	0,04	30/200	Yanmaz	-50/750	1	+
Ekstrüde polistren	0,035	20/52	Alev yürütmez	-50/75	90/100	-
EPS	0,04	10/30	Alev	-50/75	20/100	-
Poliüretan köpük	0,04	25/35	Alev yürütmez	-45/80	5000	-
Kauçuk köpük	0,038	120	Alev yürütmez	-60/105	3000/7000	-
Poliüretan	0,025 /0,035	30/40	Alev yürütmez	-200/120	40/50	-
Fenol köpüğü	0,04	30/120	Alev yürütmez	-180/120	10/50	-
Seramik yünü	0,04	60/160	Yanmaz	-50/1400	1	+

Çizelge 2. Ara bölme, duvarlar ve tavanda kullanılan malzemelerde düşük alev yayılım hızının belirlenmesi için yüzey alevlenme kısıtları [9]

Ara Bölme, Duvarlar ve Tavan			
Kritik Sönüm Akısı (kW/m ²)	Yanma Isısı (MJ/m ²)	Açığa Çıkan Toplam Isı (MJ)	Açığa Çıkan En Yüksek Isı Oranı (Kw)
> 20,0	> 1,5	< 0,7	< 4,0

Yüksek miktarda duman ve zehirli yanma ürünleri açığa çıkarmama şartı için malzemeler IMO FTP'ye uygun olarak test edilmelidirler. Yanma sonucu ortaya çıkan yedi zehirli gaz bileşeni yoğunluğu ve konsantrasyonu için sınırlamalar ISO 5659-2:1994.6 ile belirtilmiştir.

Çizelge 4’de bu yedi gaze ait müsaade edilen en yüksek konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 3. Döşeme kaplamalarında kullanılan malzemelerde düşük alev yayılım hızının belirlenmesi için yüzey alevlenme kıstasları [9]

Döşeme Kaplamaları			
Kritik Sönüm Akısı (kW/m ²)	Yanma Isısı (MJ/m ²)	Açığa Çıkan Toplam Isı (MJ)	Açığa Çıkan En Yüksek Isı Oranı (Kw)
> 7,0	> 0,25	< 1,5	< 10,0

Çizelge 4. Gaz konsantrasyon sınırları [9]

Gaz	Gaz Konsantrasyonu (ppm)
Karbon Monoksit (CO)	1450
Hidroklorik Asit (HCL)	600
Hidrojenflorik Asit (HF)	600
Azot Oksit (NO _x)	350
Hidrobromik Asit (HBr)	600
Hidrosiyanik Asit (HCN)	140
Sodyum Dioksit (SO ₂)	120

Yanıcı bağlayıcı ve yapıştırıcılar mümkün olan en az miktarda kullanılmalı ve yangının ilk safhalarında yangına destek vermemelidirler. Yanıcı bağlayıcı ve yapıştırıcılar ısı kaynaklarıyla direk temasta bulunmamalıdır [17].

3. FORMÜLLER VE DENKLEMLER

Yapısal elemanların yalıtımında kullanılacak yalıtım kalınlığını tespit etmek için ilk adım yalıtım yapılacak mahalın komşu mahal ya da dış hacim ile arasındaki sıcaklık farkını tespit etmek olacaktır. Bu değerler, Çizelge 5 ve Çizelge 6’da verilmiştir.

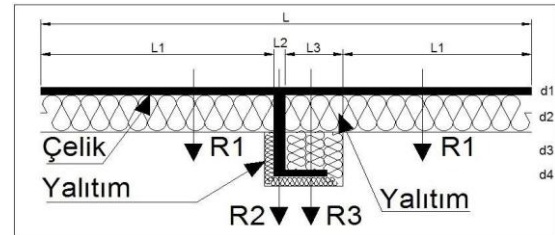
Bu verilerin deneysel veriler olması itibariyle; uygulayıcının benzer yapı elemanı boyutları,

yapı elemanı yerleşimi, yalıtım malzemesi ve yalıtım uygulamalarında yapacağı hesaplarında bu verileri kullanması uygun olacaktır [18].

Çizelge 5. Müsaade edilen en yüksek toplam ısı geçiş katsayısı değerleri [1]

Ortamlar Arası Sıcaklık Farkı (°C)	En yüksek U Değeri (W/m ² K)
0 - 8,3	9,94
8,3 -16,6	2,10
16,6 - 27,7	1,48
27,7 üzeri	0,908

Şekil 8’de tam olarak yalıtılan yapı bileşeninin ısı geçişi şematik olarak, Çizelge 6’da ise, güneş ve hava sıcaklıkları gösterilmiştir.



Şekil 8. Tamamen yalıtılmış yapı bileşeninden ısı geçişi [18]

Çizelge 6. Güneş-hava sıcaklıkları, Tb [18]

Güneşe Maruz Yüzey Sayısı	Düşey Yönlü Isı Geçişi	Yatay Yönlü Isı Geçişi
Tek Yüzey	52°C	63°C
Birden Fazla Yüzey	46°C	55°C

Sname [1], Isı Yalıtım Raporu’nda ise güneş-hava sıcaklıklarının, tüm soğutma sezonu için yapılacak hesaplarda Çizelge 7’deki gibi alınmasını tavsiye etmiştir.

Türkiye için yüzeye dik gelen toplam güneş enerjisinin en yüksek değerinin soğutma sezonunda yaklaşık 800 W/m² olduğu düşünülürse, Çizelge 4’de verilen, Çizelge 5 ve Çizelge 6’nın ülkemiz şartlarında gelişmeler ile ortaya çıkan farklı yapı seçeneklerinden olan ısı geçişinin hesabı için tasarımcının toplam ısı geçiş katsayısı değerlerini hesap etmesi

gerkebilemektedir. Uygulayıcı bu değerleri hesap ederek uygulamada karşılaşılabilecek farklı ebatlardaki mukavemet elemanları, farklı yapı seçenekleri ve uygulanacak farklı yalıtım malzemeleri için uygulama yüzeyinden gerçekleşecek ısı geçişini tespit edebilecektir [1,6,7].

Çizelge 7. Sname Isı Yalıtım Raporu'nda verilen güneş-hava sıcaklıkları, T_b [1]

Güneşe Maruz Yüzey	Yüzey Sıcaklığı
Çelik ve alüminyum güverteler	60°C
Ahşap güverteler	49°C
Dikey metal yüzeyler	49°C

Mukavemet elemanları ise kanat etkisi gösterdiklerinden ötürü üzerlerinden geçen ısı kanat hesabı ile bulunabilir. Gemilerde kullanılan mukavemet elemanları dikdörtgen kesitli kanat modeline uymaktadır. Bu durumda bir mukavemet elemanından gerçekleşen ısı transferi sınır şartları;

$$Q_{me} = \sqrt{hpA_k} (T_{iç} - T_{dış}) \frac{\sin_h mL + \frac{h}{mk} \cosh mL}{\cosh_h mL + \frac{h}{mk} \sin_h mL} \quad (1)$$

ifadesi ile verilir. Mukavemet elemanları uzunlamasına dikdörtgen kesitli kanat modeline uyduklarından, kanat kalınlığı kanat boyuna göre çok küçük kaldığından ve kanat ucu küçük bir alana sahip olup buradan gerçekleşen ısı geçişi ihmal edilebilir düzeyde küçük olduğundan denklem;

$$Q_{me} = k \cdot \delta \cdot L \cdot m \cdot \tan_h mb \cdot (T_{iç} - T_{dış}) \quad (2)$$

ifadesi ile ya da;

$$Q_{me} = \sqrt{h \cdot p \cdot k \cdot A_k} \tan_h mb (T_{iç} - T_{dış}) \quad (3)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada;

k = Mukavemet elemanının ısı iletim katsayısı (W/mK)

h = Kanatçıgın bulunduğu ortamın ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

δ = Mukavemet elemanının et kalınlığı (m)

L = Mukavemet elemanının genişliği (m)

B = Mukavemet elemanının boyu (m)

P = Mukavemet elemanı kesitinin çevre uzunluğu (m)

A_k = Mukavemet elemanının kesit alanı (m²)

Mukavemet elemanlarının yapısı itibariyle $b \geq \delta$ yazılabilir. Yine buradan m değeri şu ifade ile hesaplanabilir: Verilen denklemler yardımıyla toplam ısı geçişi bulunur. Bulunan bu değerlerin toplam alan ve sıcaklık farkına bölünmesi ile yüzey için toplam ısı geçiş katsayısı hesap edilir.

4. SONUÇLAR

Dünyada artan nüfus, gelişen teknoloji ve sanayi ile artan enerji ihtiyacı ve tükenmekte olan fosil kaynaklı yakıt rezervleri enerji tasarrufunu tüm sistemlerde zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada dünyada bu konuda yapılmış çalışmalar incelenerek gemilerin yapısal elemanlarının, gemilerdeki mekanik tesisatın ve soğuk depo ve konteynerlerin yalıtımı, malzeme seçimi, terleme ve yoğuşma kontrolü konuları ele alınarak hesap metotları açıklanmış ve tasarım kıstasları ülkemiz şartlarına uyarlanarak bir kılavuz oluşturulmuş, örnekler ile de anlatılanlar pekiştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada, gemilerin düz yüzeylerinde ve mukavemet elemanlarından olan ısı geçişinde, toplam ısı geçiş katsayılarının tespiti için hesap yöntemleri verilmiştir. Bulunan değerler ile Sname Isı Yalıtım Raporu'nda verilen deney yoluyla elde edilmiş değerlerin örtüşmesi üzerine bu yayındaki değerlerin benzer koşullarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu değerler ülkemiz şartlarında işletilen bir gemi için yapılan uygulama örneğinde ele alınmış ve uygunluğu teyit edilmiştir. Borularda ısı kaybı ve yalıtım kalınlığı hesapları verilmiş, örneklerde elde edilen sonuçların ASTM standardındaki veriler ile örtüştüğü gözlenmiş, bu standarttaki verilerin ülkemiz şartlarında da kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Gemilerdeki mukavemet elemanları, gelişen teknoloji ile gemilerde

kullanım amacıyla üretilen teknolojik malzemeler, gemilerde yangın ve ses yalıtımı, farklı gemi tiplerine göre çeşitlenen uygulama metotları, bu alanda öncelikli olarak araştırma konusu olarak ele alınabilecek bazı başlıklardır. Ülkemizde denizcilik faaliyetlerinin önemi ve gemi inşa sanayisinin büyüme hızı göz ardı edilmemeli, bu konuya gereken ilgi gösterilmelidir.

5. TEŞEKKÜR

Finansal desteklerinden dolayı Marmara Üniversitesi Sağlık, Kültür ve Spor Daire Başkanlığı'na teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKLAR

1. Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), 1974. Thermal Insulation Report, Technical and Research Bulletin No. 4-7, New York.
2. ASTM-F683-03, 2004. Standard Practice for Selection and Application of Thermal Insulation for Piping and Machinery, American Society of Testing and Materials, International (ASTM), PA.
3. Military Sealift Command, 1997. General Technical Requirements No.22, US Navy, Washington D.C.
4. American Bureau of Shipping (ABS), 2001. Passenger Comfort on Ships, Houston, TX.
5. TS-825, 2008. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
6. Hart, G. 2004. Ship Configurations: Insulation Design and Application Insulation Outlook, National Insulation Association.
7. Fulton, P. Hart, G. Cox, G, 2005. Improved Thermal Insulation Design Practices on Ships' Structural Boundaries, Sname organization dated, New York. 06-22-05.
8. Cox, G. Curtin, M. 2008. Shipboard System Insulation Design - Using 3E Plus As an Integral Factor, Insulation Outlook, National Insulation Association.
9. Burton, G. 2006. Regulatory Requirements for Insulation Products in Marine Applications, Insulation Outlook National Insulation Association.
10. Parmaksızoğlu, C. Özdemir, M. 2005. Mekanik Tesisatta Ekonomik Yalıtım Kalınlığı, Teskon, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
11. Parmaksızoğlu, C. Mayıs-Haziran 2005. Isı Yalıtımının Amaçları ve Tesisatlarda Sıcaklık Düşmesi, İzolasyon Dergisi,
12. Kraus, A. Aziz, A. Welty, J. 2001. Extended Surface Heat Transfer, John Wiley & Sons, Inc., New York.
13. Genceli, O. 1995. Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme Yardımcı Tabloları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
14. Ashrae. 1996. Isı Yalıtımı ve Buhar Kesiciler Temel El Kitabı (Fundamentals) / çev. Osman F. Genceli, Tesisat Mühendisleri Derneği, İstanbul.
15. <http://www.shodb.gov.tr>, 08.10.2015. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı Resmi internet Sitesi.
16. DMI, 2009-2014 Yılları Arasında Türkiye Denizlerindeki İstasyonlarda Ölçülen En Düşük Sıcaklık Değerleri, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığı İstatistik ve Yayın Şube Müdürlüğü, Ankara. 2015.
17. <http://www.izocam.com.tr>, İzocam A.Ş. Resmi internet sitesi.
18. <http://www.sistembau.com>
19. <http://www.dkmyalitim.com>
20. <http://www.ode.com.tr>

Kondansatör Deşarjli Saplama Kaynağı Kaynak Voltunun Aa6082 Alüminyum Alaşımında Birleşmeye Etkisi

Mehmet ÇAKMAKKAYA^{*1}, Ahmet YÖNETKEN², Ayhan EROL³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü,
Afyonkarahisar

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü,
Afyonkarahisar

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
Afyonkarahisar

Geliş tarihi: 29.12.2015

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Bu çalışmada Ø4 mm standart alüminyum saplamalar kullanılarak 6082 Alaşımı farklı volt ayarlarında kaynaklanmıştır. Düşük ve yüksek volt değerlerinde yapılan saplamalarda birleşme zayıf ve yada hiç sağlanamamıştır. Fakat saplama çapına uygun seçilen volt değerlerinde (150 V ve 160 V) ise kaynak bölgesinde kopma olmadan yapılan bağlantı saplamaları kendi ekseninde doksan derece eğilerek test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşımları, Isıl işlem, Saplama kaynağı, TIG ve MIG kaynakları

Joint Of Aa 6082 T6 Aluminium Alloy By Welded Capacitor Discharge Stud Welding Technique

Abstract

In this study, Aluminum Alloys of aluminum stub using a standard 4 mm in diameter resulted in different source voltage. Low and high voltage junction studs made from combining weak or not provided at all. But the stud diameters according to the selected source voltage value in combining with the studs are tested leaning ninety degrees on its axis. 150 V and 160 V has been shown to bend without breakage of stud welding voltage

Keywords: Aluminum alloys, Heat treatment, Stud Welding, TIG and MIG welds

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Mehmet ÇAKMAKKAYA, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, cakmakkaya@aku.edu.tr

1. INTRODUCTION

Aluminum alloy as forging and casting alloys are divided into two groups. A wrought alloy, plastic deformation capability is good can be formed easily. Aluminum forging and heat treatment can be applied to a large portion of the cast alloy. 6xxx series aluminum alloy as the main alloying elements of magnesium and silicon. This alloy element found in certain ratios, chemical composition morphology and structural components has a significant impact on beneficial properties [1], [2], [3], [4] and [5]. Besides the added intentionally made to commercial aluminum alloy in such transition metals such as Fe and Mn alloys, it is always available. Large amounts of these impurities in the non-phase causes the formation of certain new components [5].

The formation of their composition and microstructure affect the status of the re-formed the most important factor is that how do casting. This will directly affect the number of phases formed and volume [4].

6xxx series aluminum alloys during casting, the phase of Al-Fe, Al-Fe-Si and Al-Fe-Mn-Si and Fe-containing intermetallic aluminum dendrites are formed by a wide range [1], [2], [3], [4], [5] and [6]. Formed during this phase of the casting speed and the type of alloy cooling rate depends mainly faze [1]. This unit cell forms the intermetallic phase with a variety of different morphology, stable, has physical and mechanical properties [6]. This study was used 6082 series aluminum alloys used in. Because this series alloys exhibit excellent resistance to corrosion. These have resistance values that are known to be superior to other aluminum alloys. It provides structural integrity against the aluminum series welding process commonly used, but represents a decrease in strength in the weld fusion welding. Arc melting in the welding seams have been made in the work to increase the strength decrease in 4043 using additional welding wire [9]. They tested the strength of the stud using a stud welding done [7,8]. Gurjind study by Singh et al showed that the effect of microstructure and hardness of the current violence [9]. In this study condenser discharge

welding machine it is used. This method results in a sudden discharge of my sources back in the stud conical nozzle tip to the base metal surface melting occurs sources this region and pushing force of the gun.

During the conduct of the source voltage source and the strength of the force applied to the welding gun may be effective.

2. EXPERIMENTAL STUDY AND MICROSTRUCTURE ANALYSIS

Chemical ratio of elements used in the 6082 alloy is given in Table 1 for stud welding. The mechanical properties of these alloys are given in Table 2. Surface preparation the samples were cut in appropriate size from the alloy after 150, as shown in Figure 1, 160, 170 and 200 volt stud welding using voltage values are made.

Table 1. The chemical composition of the 6082 alloy [12]

%	Cu	Mn	Si	Fe	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Min		0.4	0.7		0.6				
Max	0.1	1.0	1.3	0.5	1.2	0.25	0.2	0.1	Kalan

Table 2. The mechanical properties of the 6083 alloy [12]

Alloy	Tensile Strength (MPa)	Yield strength 0.2% (MPa)	Shear strength (MPa)	Hardness Vickers (HV)	Elongation A5 (%)
6082	130	60	85	35	27
6082T6	340	310	210	100	11

As shown in Figure 1 high voltages at high energy discharge that occurs in the weld zone by the effect of extremes in temperature reduces the strength of the weld. Because the used stud diameter stud welding machine to get out due to the high voltage from the source region are distributed in more than melts, however, because it consists in welding molten liquid resources from the effects of high voltage. So they could not provide enough strength to unite. The owner of the stud diameter of the resistance value is selected according to the voltage at the source of liquid metal dispersion

formed from the merger could be achieved provided that the stud member joins or higher strength from him.

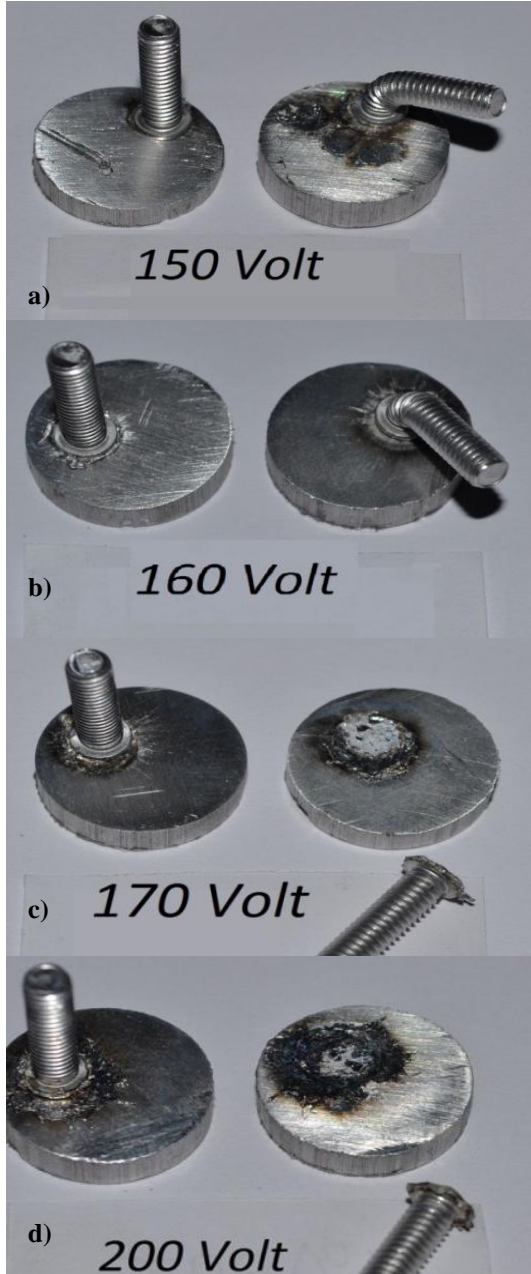


Figure 1. Stud welding image made from different sources volts a) 150, b) 160, c) 170, d) 200 Volt

Microhardness measurements performed on samples of stud welding of metal substantially as shown in Figure 2, the hardness values and the stud material from the weld zone is obtained. This measurement in the Micro Hardness test equipment to Shimadzu stuck using a 1,962 N load. This micro hardness values are given in Table 3 with increasing current value in the base metal of the welding process causes a decrease in strength occurs between the coupling studs. Increasing the supply voltage to indicate the source region and the HAZ hardness values can be changed (Figure 3). Get merge with GTAW process was measured to be made here microhardness increase in parallel with increasing current. There are 100 Amps at 75 VHN and main source of metal to metal towards 99.6 VHN, 240 VHN of 55.8 amps were also measured as the value rises to 95.2 VHN [9].

This work is seen in the table which is subject to change microstructural 3 parallel to the increasing source of tension. Due to the increase in the value of the supply voltage can occur in low voltage high welding strength in combining confirms this idea.

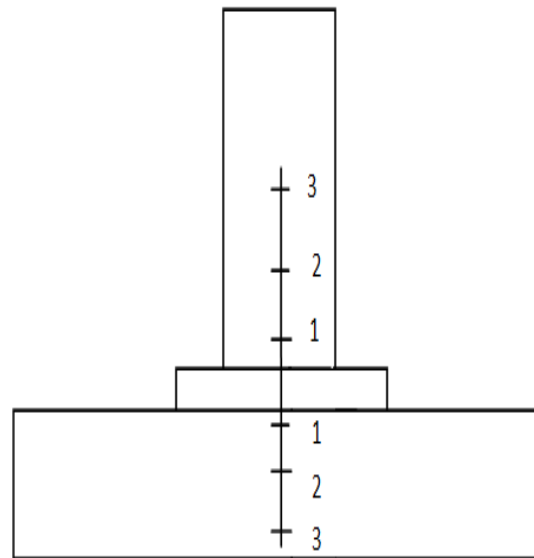


Figure 2. Base metal and studs and micro hardness measurement reference points

Table 3. Micro-hardness values depending on the source voltage

Sample Name	Source Voltage	Main Metal HV _{0,2}		Stud HV _{0,2}	
		1	2	1	2
6082	150	1	79,6	1	67,9
		2	84,1	2	63,3
		3	89,8	3	68,2
	160	1	97	1	58
		2	114	2	74
		3	104	3	65,5
	170	1	96,7	1	87,2
		2	97,7	2	80
		3	108	3	84,3
	200	1	112	1	60,9
		2	115	2	67,4
		3	131	3	62

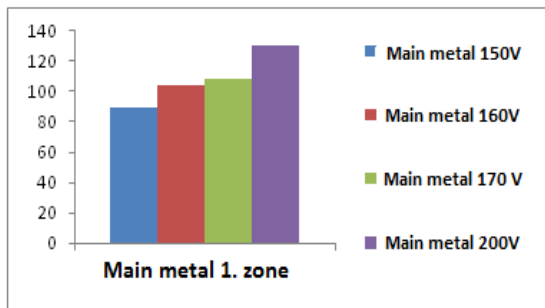


Figure 3. Zone 1 main metal of different hardness change of the voltage source

2.1. Microstructure of Welded Joints and Stiffness Analysis

Combine with increased supply voltage in stud welding, the main interface with the metal stud (in source zone) shows brittle fracture behavior in

difficulty bending the stud member. The agglomerate of creep rupture of the show instead of honey honeycomb shaped fracture behavior is observed in the SEM micrograph. Figures (6,7) GTAW welding of the same alloy formed in the interlocking and inter dendritic dendritic structures can lead to decreased strength. The increase in heat input by increasing the welding current has been shown to lead to increased dendritic and interdendritic regions [9, 10]. Stud welding fluid of joints made with very low volume and dendritic weld metal cooling rate is high, however, and interlying solidify without the formation of dendritic structure are contemplated. S the best place for stud welding stud and base metal merge or close to the same origin when they have a better quality of composition can be achieved.

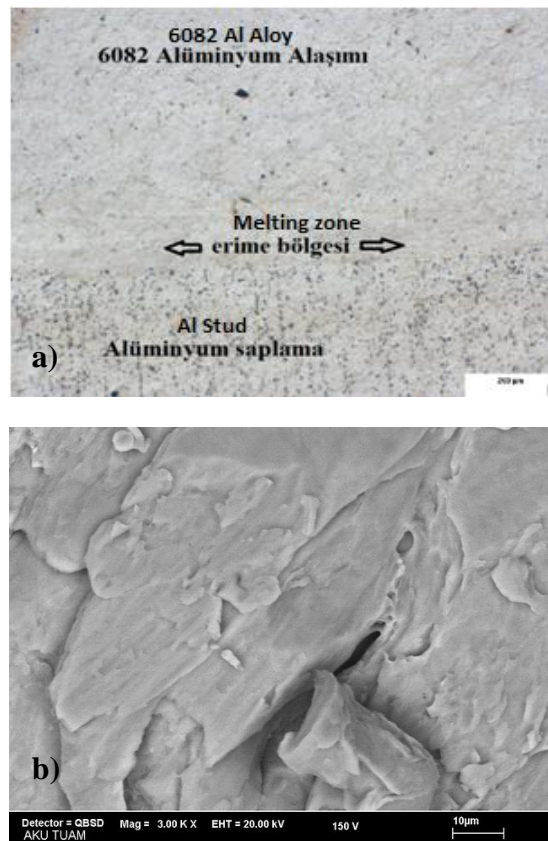


Figure 4. Supply voltage of 150 volts a) optical microstructure b) SEM image of avulsion fracture surface

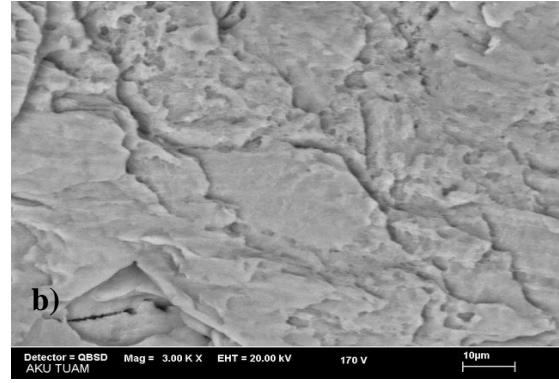
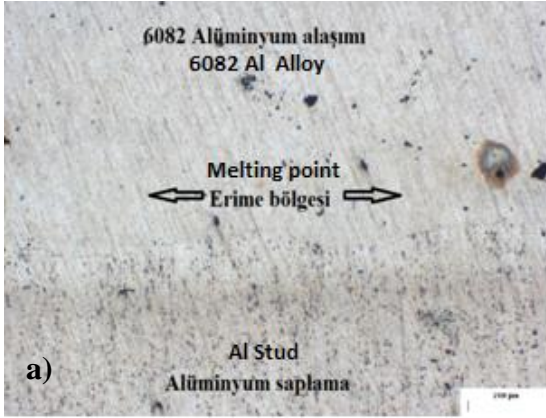


Figure 6. Supply voltage of 170 volts a)optical microstructure b) SEM image of avulsion fracture surface

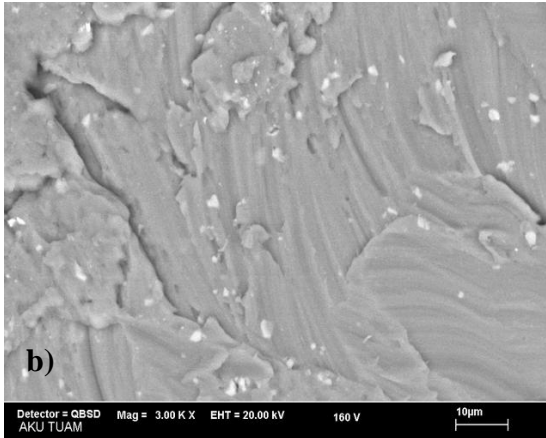


Figure 5. Supply voltage of 160 volts a) optical microstructure b) SEM image of avulsion fracture surface

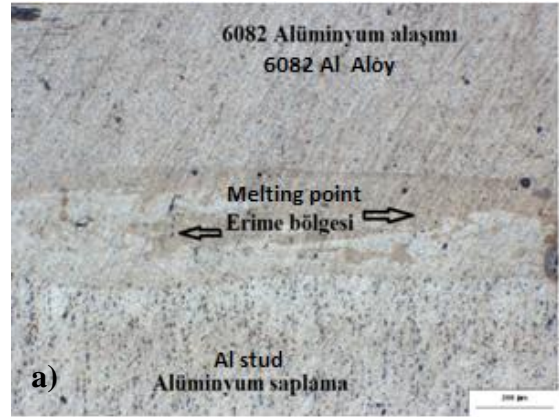


Figure 7. Supply voltage of 160 volts) optical microstructure b) SEM image of avulsion fracture surface

Welded joints obtained from the results of the experimental work are given in Figure 1. Photos pictures in the work they are doing with Harry A. Chambers (Figure 7) were compared. Here, the effect of increasing the supply of quality welded joints can be observed in current values.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Capacitor discharge arc stud welding with these studies, in addition to this effect, and resource discovery and depth of penetration of the welding current is determined formation of fragile regions. The most important of the factors affecting the depth of penetration of the related material was found to be the source of tension. I SIMARDZIC and his friends study in stud welding the welding current penetration of effective parameters, time and resources are expressed in the resulting metal geometry [11]. However, the power supply unit capacitor discharge time is used for stud welding in this study it should have been selected fixed in all applications. Search stud welding, especially when the surface hardness accurate analysis and evaluation of the main metal was found to be effective on the hardness change of the voltage source. Correspond to the diameter of the stud welding current can be used and results in more value near the strength of the stud used the strength of the coupling is selected. With stud in high-voltage supply source material consisting of an increase in the hardness between the weld interface consists of a crisp break.

3. CONCLUSION

1. Suitable welding voltage used the stud of selected the diameter suitable increases the strength of the Join
2. Surface material between the stud in the weld metal formed the high supply voltage welding material of brittle fracture it consists
3. TIG welding method in the base metal thickness as well as in the MIG process need for pre-heating occurs of removing the stud welding can be performed without pre-heating welding.

4. REFERENCES

1. Michna, S. et al., 2005. Encyclopedia of Aluminium. Prešov: Adin s.r.o. ISBN 80-89041-88-4, (in Slovak).
2. Sperlinkş K., 2003. The Future Use of Aluminum and Aluminum Alloys. Proceeding of Aluminium 2003, Desin: Strelnice.
3. Mathers, G., 2002. The welding of aluminium its alloys. Cambridge England, CRC Press, Boca Raton Boston New York Washington, Dc Woodhead Publishing Limited.
4. Cavaliere, P. Santis, A. Panella F., 2009 Thermoelasticity and CCD analysis of crack propagation in AA6082 friction stir welded joints, International Journal of Fatigue 31, pp. 385-392.
5. Kumar, A. Sundarrajan S., 2009. Optimization of pulsed TIG welding process parameters on mechanical properties of AA5456 Aluminium alloy weldments”, Journal of Materials and Design Vol. 30, pp. 1288-1297.
6. Cabello Munoz, A., Ruckert, G., Huneau, B., Sauvage, X., Marya, S., 2008. Comparasion of TIG welded and friction stir welded Al-4.5Mg-0.26Sc alloy, Journal of materials processing technology Vol. 197, pp. 337-343.
7. Strigel, Roberta M., Pincheira, José A., and Oliva, Michael G., 2000. Reliability of 3/8 in. Stud-Welded Deformed Bar Anchors Subject to Tensile Loads, PCI JOURNAL, V. 45, No. 6, November-December, pp. 72-82.
8. Anderson, Neal S., and Meinheit, Donald, F., 2000. Design Criteria for Headed Stud Groups in Shear: Part 1 – Shear Capacity and Back Edge Effects,” PCI JOURNAL, V. 45, No. 5, September-October, pp. 36-75.
9. Gurjinder S., Sunil K., Amrik S., 2013. Influence of current on microstructure and hardness of butt welding aluminum AA6082 using GTAW process” IJRMET vol.3, Issue 2, May-Oct.
10. Harry A., 1988. Chambers Stud Welding Applications: Concrete Connections, Nelson Stud Welding, Inc., Elyria, OH.
11. I. SAMARDZIC et al., 2009. The influence of welding parameters on weld characteristics in

electric arc stud welding METABK 48(3) 181-186.

12. <http://seykoc.com.tr/aluminyum-alasimlar/6082.aspx>., Seykoç Alüminyum., erişim tarihi 26.12.2015.

Microstructure and Mechanical Properties of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Sprayed Nickel Powder Coating on Welding Regions of Aluminum Alloy AA5754 and DP600 Welded Steel Plates with the Friction Stir Spot Welding Process

**Mesut ÖZER¹, Hasan KAYA², Egemen AVCU³, Abdullah DEMİR⁴,
Mehmet UÇAR¹, Ramazan SAMUR^{*5}**

¹Department of Automotive Engineering, Faculty of Technology, Kocaeli University, Kocaeli

²Department of Machine and Metal Technology, Asim Kocabiyik Vocational School of Higher Education, Kocaeli University, Kocaeli

³Department of Machine and Metal Technology, Ford Otosan Vocational School of Automotive, Kocaeli University, Kocaeli

⁴Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul,

⁵Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul

Geliş tarihi: 30.12.2015 Kabul tarihi: 30.03.2016

Abstract

In this study, it is aimed to investigate microstructural and mechanical properties of friction stir spot welding joints coated with nickel powder by using high velocity oxygen fuel method HVOF. The welding surfaces of AA5754 alloy was coated with nickel powder with a thickness of 200 µm by using HVOF. Friction Stir spot welding tool was designed and manufactured from hot worked tool steel by machining. Metallographic specimens were cut from welding samples by using abrasive water jet. Specimens were metallographically prepared and Vickers hardness of base metal, welding zone and heat affected zones were measured. Microstructure of the specimens investigated by using scanning electron microscope (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and optical microscope analysis. The results of experimental studies were interpreted in order to analyze microstructural and mechanical properties of welding joints.

Keywords: Friction stir spot welding process, High velocity oxygen fuel nickel powder spraying (HVOF), DP600 steel

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ramazan SAMUR, Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul, rsamur@marmara.edu.tr

Yüksek Hızlı Oksijen Yakıtlı Alev Toz Püskürtme Yöntemiyle Nikel Kaplanmış AA5754 Alüminyum Alaşımı ve DP600 Galvanizli Çeliğin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesinde Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

Özet

Bu çalışmada, sürtünme karıştırma nokta kaynağının yüksek hızlı oksijen yakıtlı alev toz püskürtme yöntemiyle nikel kaplanmış malzemelerdeki mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. AA5754 alüminyum alaşımı kaynak yüzeyleri HVOF metodu kullanılarak 200 µm kalınlığında nikel ile kaplanmıştır. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı takımı sıcak işlem çeliğinden tasarlanmış ve imal edilmiştir. Metalografik numuneler abrasif su jeti ile kaynaklı parçalardan kesilmiştir. Numuneler Metalografik olarak hazırlanmış ve temel metal, kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenen bölge Vickers sertliğinde ölçülmüştür. Numunelerin mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu, EDS analizi ve optik mikroskop görüntüleme ile incelenmiştir. Deneysel çalışma sonuçları, mikroyapı ve kaynaklı birleştirmenin mekanik özellikleri analizi için yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, Yüksek hızda oksijen yakıtlı yüksek hızlı alev toz püskürtme yöntemiyle nikel kaplama, DP600 çelik

1. INTRODUCTION

Friction stir spot welding method, was invented by the Kawasaki Heavy Companies in 2000 as a derivation of the stir welding method [1]. The two most important parameters in friction stir spot welding; is the rotational speed and dwell time of the tool. These parameters form a welding geometry with the material flow around the pin during the formation of welding spot and heat is generated. Moreover, they also determine the mechanical properties of the welding spot. A review of recent studies by several researchers reveal a big surge in the number of studies on the effect of the rotation speed and dwell time on physical and mechanical properties of the welding spots created during the joining of Al and Mg alloys using the friction stir spot welding method. However, only a very few researchers are studying the joining of different materials, such as aluminum and steel with the friction stir spot welding method [2]. Initially, there were only a limited choice of suitable steel tool materials that could withstand high temperatures during friction stir spot welding (FSSW) of aluminum alloys. However, with the development of new tool materials the friction stir spot welding (FSSW) can now be applied to steel [3]. Friction stir spot

welding method have become a quiet popular topic among researchers due to its excellent mechanical properties, low distortion, ease of use, low cost and clean and un-messy operation. The plunge of the tool into the material and the dwell time is the main factors that generate heat in the friction stir spot welding method. Furthermore, as the plastic deformation of the material around the pin determines the welding geometry, it also determines the mechanical properties of welded joints [4]. The 5xxx series aluminum alloys containing significant amounts of Mg, can be used in the construction of aircraft and naval vessels due to their processing characteristics offering usability from room temperature to high temperatures. Ultrasonic welding of these alloys continues to be a subject of interest for many researchers. Welding of aluminum alloys with the friction stir welding method was invented by the Welding Institute UK (TWI) in 1991, [5]. Particularly, the 5XXX series containing Mg in solid solution, or Al₃Mg₂ particles dispersed in a random matrix, have good corrosion resistance properties. Friction stir welding (FSW) is a solid state joining process involving different areas of heating and cooling than conventional fusion welding method. Therefore, it is possible to say that formation of different microstructures provides uniformity in itself. Therefore such an homogeneity can be the

driving force that can suppress stress corrosion cracking (SCC) and intergranular corrosion cracking (IGC). The tool which is rotating at a high speed plunges into material and provides softening without melting the materials during friction stir. Furthermore, the tool advancing along the welding axis by rubbing on the material in front of it during friction stirring causes a heterogeneous chemical change in the initial material pushing it toward the rear of the tool. Because no additive material is used, welding joints have the same chemical composition with the main material. This should reduce the corrosion sensitivity observed in joints with two factors [7]. Due to their low weight aluminum and its alloys can be considered as a building material in advanced applications for energy-saving purposes. Aside from corrosion resistance, their weight ratio and other superior characteristics make this material and its alloys more attractive for transportation industries such as automobiles, trains and aircraft [8]. When the different chemical composition and mechanical properties of base materials are taken into account, it can be said that the results from the friction stir welding of different materials have become comparable to that of similar materials. Because fusion welding of dissimilar aluminum is problematic, friction stir welding process (FSW) are widely used with success in the welding of different materials that do not form a secondary phase, as the temperature in this method is below the melting temperature of the base material [9]. Some studies (FSW) focused on the corrosion behavior of welding seams of aluminum alloys have shown that friction stir welding zones (AA2024, AA5454, AA5456, AA7050, AA7075) are locally more sensitive to corrosion compared to base metals. Only a few authors have shown the electrochemical surface reactivity change between the various regions of FSW. The highest anode reaction in regions where the potential for failure is measured was detected in the 5456 FSW welding seam nugget [10]. As the double-layered sheets both have the desired properties, they can have unique features such as wear resistance, improved mechanical and physical

properties. For example, in the two-layered Al-Cu structure, copper provides a 50% reduction in the aluminum mass because it has equivalent conductivity features with Al [13]. High-velocity oxy-fuel thermal spraying (HVOF), is a conventional thermal spray technique used in coating base materials for high temperature applications. One of the unique features of this technology are the high impact velocity formed during the powder injection molding process. During spraying of dust particles to sub-layers at high-speed powder is melted through acceleration and dense and non-porous coatings are created. High velocity oxy-fuel-spraying (HVOF) method should particularly be used in order to obtain dense and homogenous microstructures formed by plastic deformation of sprayed powder. Because, HVOF spray systems operate at atmospheric pressure, investment and operating costs are much lower than other thermal spray processes operated at vacuum [15].

In this study, the friction stir spot welding FSSW technique was used for the dissimilar welding of a 2mm-thick AA5754 Aluminum alloy to a DP600 steel sheet, which are the most common materials used in the car industry. The welding processes were carried out with same welding parameters but with the rotating tools having 3.2mm and 3.5mm different pin length. The mechanism of the nickel coated interfacial microstructure formation was analyzed and the effect of the nickel and pin length used in the first step on the final microstructure and mechanical properties of the flattened AA5754/DP600 steel sheet welds was investigated.

2. EXPERIMENTAL

2.1. The Design of the Materials to be Joined by Friction Stir Welding

Chemical and mechanical properties of used materials are shown in Table 1 and 2.

Table 1. Chemical analysis of aluminum and steel materials used in the welding process.

Material	% Fe	%C	% Si	%Cu	%Mn	% Mg	% Zn	%Ti	%Cr	%Al
AA5754	0,312	-	0,23	0,024	0,34	3,2	0,16	0,098	0,26	Remain.
DP600	Remaining 0.10	0.15	-	1.40	%N 0.009	%P0.07	%S 0.008			0.02

Table 2. Mechanical properties of the aluminum and steel materials used in the welding process.

Sample	Tensile Strength (N/mm ²)	% Elongation	Hardness (H _v)
AA5754	232	15	76
DP600	625	25	286

2.2. High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Sprayed Nickel Powder Coating on Welding Regions of AA5754

Thermal spraying is a well established means of forming relatively thick coatings. In particular, high velocity oxy fuel (HVOF) spraying has been developed into a reliable technique to apply hard, tribologically superior and well adherent metallic and composite cermets coatings to a great variety of metallic surfaces. Among the thermal spraying techniques, HVOF is effectively used to prepare coatings with dense structure at a particle velocity of above 700 m/s [17]. The HVOF thermal spray method is cost effective and has been applied to Ni-based coatings.

Nickel is often used as the bond strength-enhancing layer. Ni powder coatings deposited by means of HVOF thermal spray, onto AA5754 aluminum alloy substrate. The parameters of the process in this study are listed in Table 3. The morphology and chemical composition of the phases that are present in the coatings were characterized by means of SEM, EDS techniques.

Table 3. High velocity oxygen fuel (HVOF) powder spray parameters

Powder spray Process parameters	High velocity oxygen fuel spray
Spray Gun Type	Metco Diomont Jet
Spray distance	330 mm
Spraying rate	5,7 kg/h
Oxygen pressure	9,35 atm
Nitrogen pressure	3,2 atm
Flammable gass pecies	Natural Gas
The coating powder	Nickel

The results show that the nanostructured coating has excellent mechanical properties due to the microstructural homogenization and the well preserved nanostructure characteristic of the ball milled powders. It is shown in Figure 1.

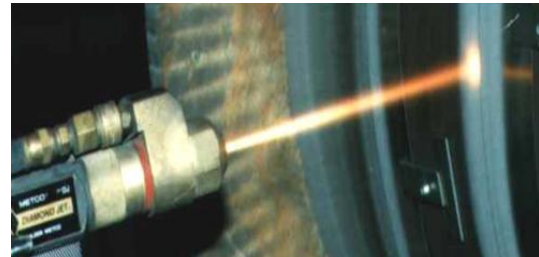


Figure 1. High velocity oxygen fuel nickel powder spraying method (HVOF) [6]

2.3. Tool Tip Geometry, Design of Materials to Manufacturing and Machining Production

HB44UF Carbide tool material is very fine (ultrafine) particles have a structure. Having balanced wear resistance and ductility values HB44UF is an ideal quality. It is especially ideal for high speed tool with a quality that can be processed hardened steels up to 64 HRC.

Figure 2 and Table 4 represent friction stir spot welding tools, tools profile and the experimental parameters



Figure 2. Tapered pin having 3.2 mm and 3.5 mm length of friction stir spot welding tool

Table 4. Tool profile and the experimental parameters used in friction stir spot welding

Friction Stir Spot Welding Sheets	AA5754/ DP600	AA5754/ DP600
Friction Stir Spot Welding Tool Profile	Conical	Conical
Tool Rotational Speed (rpm)	1600	1600
Tool Penetration Depth Rate (mm/min)	12,5	12,5
Dwell Time (s)	5	8
Tool Penetration Depth (mm)	3,2	3,5

2.4. The Design of Steel Mold Used in Welding and Machining Process to Manufacturing Production and Use on Milling Machines

Overlapped sheets were placed on the steel mold on the milling machine table. The number of revolution of milling machine spindle is adjusted. However the spot places are marked on the sheet metals. The stages of the process are demonstrated in Figure 3, the milling machine and its apparatus are shown in Figure 4.

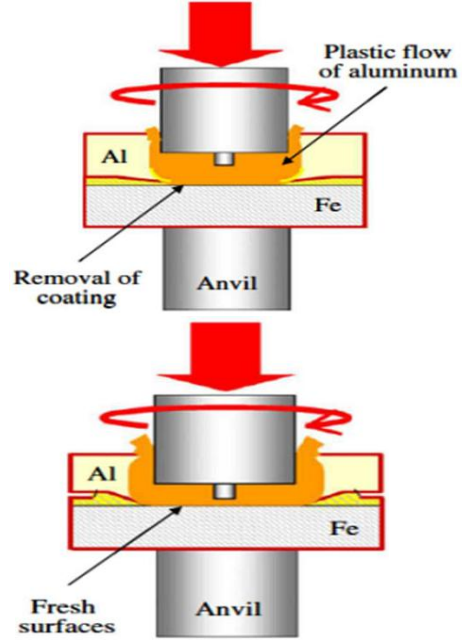
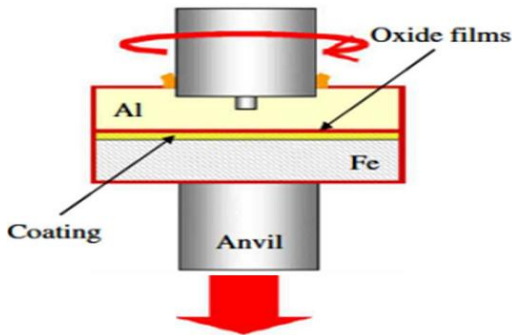


Figure 3. A schematic illustration of the friction stir spot welding FSSW process steps for joining Aluminum with Galvanized steel [11]



Figure 4. The milling machine used for friction stir spot welding process

2.5. Metallographic Sample Preparation and Mechanical Testing After the Welding

After a successful friction stir spot welding process, specimens were cut by waterjet cutting as shown in Figure 5 dimensions. After cutting operations, the specimens are prepared for the metallographic scanning (Figure 6-7). As the mechanical testing, tensile lap-shear test was applied, appearance and cross-sectional macrostructure of the fractured specimen are investigated (Figure 8).

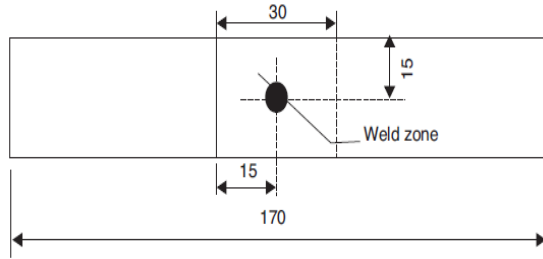


Figure 5. Dimensions of lap-shear tensile specimen [3]



Figure 8. Appearance and cross-sectional macrostructure of the fractured specimen after shear tensile tests with Interfacial mode

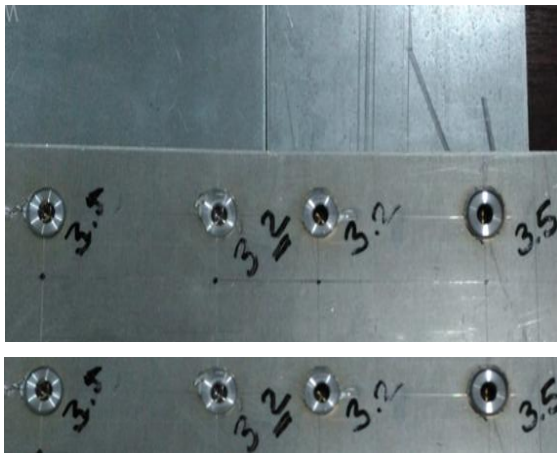


Figure 6. High velocity oxygen fuel (HVOF) sprayed nickel powder coating on welding regions of aluminum alloy AA5754 and DP600 welded steel plates with the friction stir spot welding



Figure 7. Metallographic specimens

2.6. Performing Tensile Testing After Welding

Lap-shear test data obtained from welding inserts (Figure 9), made with friction stir spot welding (FSSW) method shows the tensile load and deformation rate. Data obtained from welding joints, created with plunge depths of 3.2 mm and 3.5 mm in very short periods of time, which are respectively 2.169 kN, 2.387 kN, demonstrate that they have sufficient tensile strength. Fracture type, can be described as rupture from the interface with low tensile strength, .With the addition of nickel to the microstructure, the tensile strength increased slightly compared to joining with nickel-free interface. A higher tensile strength value than would be expected from the joining of two materials with different chemical compositions such as aluminum and steel, was obtained. These results can be explained with the presence of nickel on the nickel-plated AA5754 aluminum sheet, and the formation of a strong metallurgical bonding between the DP600 steel plate and the corresponding interface. The shear tensile tests of the welds were carried out using an Instron-type testing machine with a crosshead speed of 3mm/min, according to the ASTM E8M-04 standard. The relationships between tensile-shear strength and tool dwell time are shown in (Table 5) and (Table 6). The tensile-shear strength is strongly affected by shoulder plunge depth. The tensile-shear strength increases with increasing shoulder plunge depth. The tensile-shear strengths are the highest (2387,66 N) at the pin plunge depth of 3.5 mm. Pin penetration depth increases, the tool dwell time is increasing in parallel.

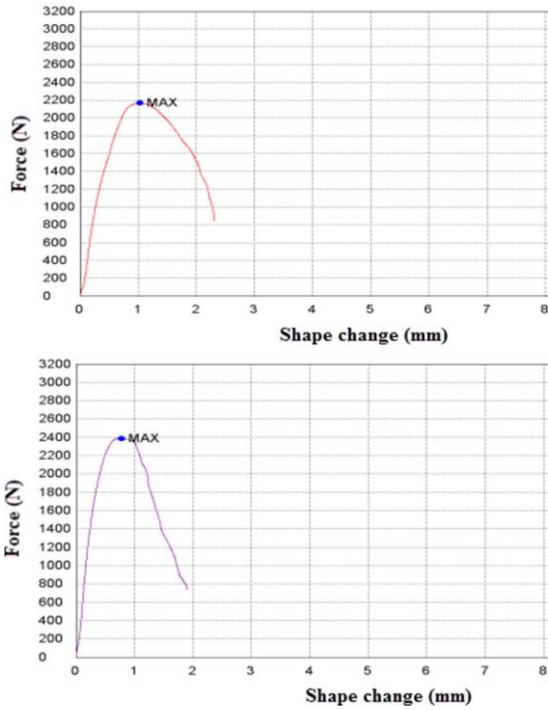


Figure 9. Tensile strength and strain graph of pin penetration depth and dwell time

Table 5. Tensile strength change with tool penetration depth

Welded Materials	Tool Penetration Depth (mm)	Force (N)
5754/DP600	3,2	2169,53

Table 6. Tensile strength change with tool penetration depth

Welded Materials	Tool Penetration Depth (mm)	Force (N)
5754/DP600	3,5	2387,66

2.7. Scanning Electron Microscope (SEM) Macro and Microstructure Analysis

When the friction stir tool first plunges down to the DP600 steel plate underneath it, the plate close to the pin forces the interface to bend upwards, but this effect is dampened by excessive shear deformation forces around it. The metallurgical bonding process between the AA5754 aluminum and DP600 steel plates which are friction stir spot

welded by super-positioning on top of each other takes place at the welding zones. A thin oxide film usually occurs at the surface of the metallic materials facing the atmosphere. At the same time, the upper AA5754 aluminum plate welding interface has a 200 μm thick nickel coating, while the lower DP600 steel plate has a 4 μm thick zinc coating. The oxide film, formed on the plate interface around the pin of the friction stir tool rotating at high speed, the zinc film, and the nickel-coating, are broken into fine particles and spread across the welding metal matrix heterogeneously. The most important feature of the nickel and zinc coating is the minimization of the formation of oxide during the friction stir process. Furthermore it is possible to improve the metallurgical bonding between the plates in this way. While these discontinuous oxide particles formed into an array partially prevent the formation of a metallurgical bond between the superimposed sheets, zinc and nickel particles which exist in the structure can be said to improve the formation of a metallurgical bond. When examined in detail the friction stir spot welding method produces a similar microstructure to friction stir welding method. Agglomerated nickel particles exist in the dynamic stirring zone where recrystallization takes place from the welding key hole towards the base metal. The zone adjacent to the dynamic stirring zone can be named as thermomechanical impact zone, and the nearest neighbouring zone to the base metal as the heat impact zone [14]. (Figure 10-11)

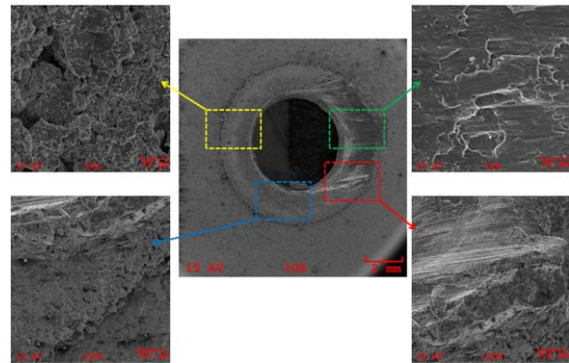


Figure 10. SEM fractograph micrographs regions of AA5754

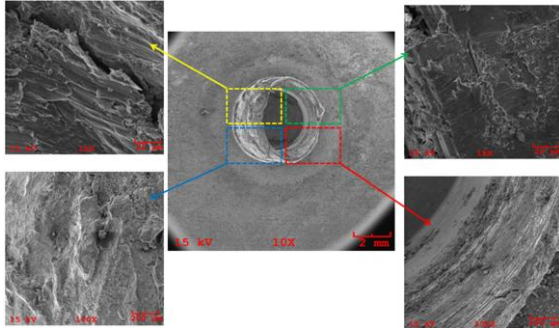


Figure 11. SEM fractograph micrographs regions of DP 600

2.8. Microhardness Distributions Analysis of the FSSW Joint in AA5754 Aluminum Alloy and DP600 Steel Sheets

The Vickers hardness tests on the cross-sectional of the welds were carried out using an Vickers hardness testing machine according to the ASTM: E384-11. (Figure 12)

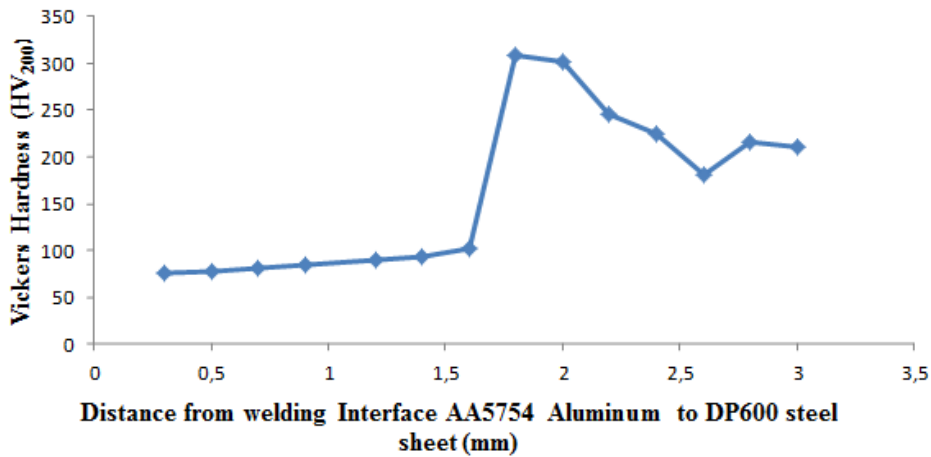


Figure 12. Microhardness distributions of the FSSW joint in AA5754 aluminum alloy and DP600 steel sheets

4. CONCLUSION

1. It was aimed in this study to improve the mechanical strength of the joints of AA5754 medium strength aluminum sheets containing Mg as alloying elements joined with friction stir spot welding by altering the chemical composition of the weld seam. In this context, the plate edges of AA5754 aluminum alloy sheets, were coated with 200 µm nickel using high velocity oxy-fuel thermal powder spraying (HVOF) method.
2. Friction stir spot welding process can quickly be applied to nickel coated AA5754 aluminum

alloy which is widely used in the industry and the zinc plated DP600 grade steel sheet.

3. In order to obtain reliable welding joints with sufficient strength in friction stir spot welding applications, it is necessary to work with optimal welding parameters. If the tool rotation speed is low, re-crystallization temperature cannot be achieved particularly at the core section and the tool tip may be worn in a very short time. If the rotational speed of the tool is higher than the desired values, high heat generated due to high rotational speeds may cause alloy elements with low melting temperatures such as zinc and magnesium to be burnt lowering the strength of the welded joint.

4. Friction stir spot welding is a solid state welding process which is applied very quickly. The most important feature of the nickel and zinc coating is the minimization of the formation of oxide during the friction stir process. While inter metallic composite oxide formation that may occur at the interface is minimized, it is possible to speak of a strong metallurgical bond. Furthermore, thanks to the achieved high strength the structure also features high tensile strength Fig. 10.
5. In terms of Friction stir spot welding process design, the strength value of the top AA5754 nickel coated aluminum alloy is lower compared to the zinc-coated steel sheet DP600. Since the temperature during the process is at low levels, nickel particles which are agglomerated during friction-plunge are spread to the microstructure. As the temperature is low and the area affected by heat effect is narrower damage is likely to be reduced Fig. 11.
6. In the application of the friction stir spot welding process to the nickel coated AA5754 aluminum alloy and the zinc coated DP600 steel sheet, the aluminum side of the HAZ-TMAZ zones which constitute the joining interfaces of the plates, are the weakest zones. Although this zone has a very diverse microstructure, there are formations not completed with the friction stir process which are not recrystallized. In this context the tensile damage during the destructive pull test occurred mostly in these regions Fig. 11.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

Asst. Prof. Dr. SAMUR acknowledges the support by Marmara University, Scientific Research Projects Department (BAPKO), Project FEN-C-YLP-030114-0014.

Note: The responsible translator for English language is Dr. O. Faruk CANTEKİN, School of Foreign Languages, Gazi University, Turkey

6. REFERENCES

1. Kano, Y., Inuzuka M., Yamashita, S., Nakashima, Y., Nagao, Y., Iwashita, T., 2000. Spot Joining Method and Spot Joining Device, Japanese Patents Application no.P2000-355770.
2. Fereiduni E. et al., 2015. Aluminum/Steel Joints Made by an Alternative Friction Stir Spot Welding Process, Journal of Materials Processing Technology 224, pp. 1–10.
3. Lakshminarayanan, A. K., Annamalai, V. E., Elangovan, K., 2015. Identification of Optimum Friction Stir Spot Welding Process Parameters Controlling The Properties Of Low Carbon Automotive Steel Joints, Jmaterrestechol., 4, pp. 262-272.
4. Badarinarayan, H., Yang, Q., Zhu, S., 2009. Effect of Tool Geometry on Static Strength of Friction Stir Spot-Welded Aluminum Alloy, Int J Mach Tools Manuf, 49, pp.142–148.
5. Thomas, W. M., Nicholas, E. D., Needham, J. C., Murch, M. G., Temple Smith P., Dawes C. J., 1991. International Patent Application No. PCT/GB92/02203 and GB Patent Application No. 9125978. The Welding Institute, TWI.
6. Çamcı, Ş., Ustaoglu, G., Güler, S., 2004. Isıl Püskürtme Yöntemiyle Tungsten-Karbür Kaplama, M.Ü.T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü Bitirme Tezi, İstanbul.
7. Choi, D. H., Ahn, B. W., 2013. Quesnel, D. J., Jung, S. B., Behavior of β phase (Al_3Mg_2) in AA 5083 During Friction Stir Welding, Intermetallics 35, pp. 120-127.
8. Al-Jarrah, A. J., Swalha, S., Mansour, T. A., Ibrahim, M., Al-Rashdan, M., Al-Qahsi D. A., 2014. Welding Equality and Mechanical Properties of Aluminum Alloys Joints Prepared by Friction Stir Welding, Materials and Design, pp. 929–936.
9. Sadeesh, P., Venkatesh, M. K., Rajkumar, V., Avinash, P., Arivazhagan, N., Devendranath, K. R., Narayanan, S., 2014. Studies on Friction Stir Welding of AA 2024 and AA 6061 Dissimilar Metals, Procedia Engineering, pp. 145 – 149.
10. Bousquet, E., Quintin, A. P., Puiggali, M., Devos, O., Touzet, M., 2011. Relationship

Microstructure and Mechanical Properties of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) Sprayed Nickel Powder Coating on Welding Regions of Aluminum Alloy AA5754 and DP600 Welded Steel Plates with the Friction Stir Spot Welding Process

- Between Microstructure, Microhardness and Corrosion Sensitivity of an AA 2024-T3 Friction Stir Welded Joint, *Corrosion Science*, pp. 3026–3034.
11. Tran, V., Pan, J., 2010. Fatigue Behavior of Dissimilar Spot Friction Welds In Lap-Shear and Cross-Tension Specimens of Aluminum and Steel Sheets, *International Journal of Fatigue*, pp. 1167-1179.
 12. Sun, Y.F., Fujii, H., Takaki N., Okitsu, Y., 2012. Microstructure and Mechanical Properties Of Mild Steel Joints Prepared by a Flat Friction Stir Spot Welding Technique, *Materials and Design*, pp. 384–392.
 13. Lee, J. E., Bae D. H., Chung, W. S., Kim, K. H., Lee, J. H., Cho, Y. R., 2007. Effects of Annealing on the Mechanical and Interface Properties of Stainless Steel/Aluminium/Copper Clad-Metal Sheets, *Journal of Materials Processing and Technology*, pp. 187–188, pp. 546–549.
 14. Hovanski, Y., Santella, M., Grant, G., 2007. *Scripta Mater.*, pp. 873–876.
 15. Lugscheider, E., Herbst, C., Zhao L., 1998. *Surf Coat., Technol.* 108–109, pp. 16–23.
 16. Sundman, B., Ohnuma, I., Dupin, N., Kattner, U.R., Fries, S.G., 2009. An Assessment of the Entire Al-Fe System Including DO₃ Ordering, *Acta Mater.*, pp. 2896-2908.
 17. Salman, A., Gabbitas, B., Cao, P., Zhang, D., 2009. Tribological Properties of Ti(Al,O)/Al₂O₃ Composite Coating by Thermal Spraying, *International Journal Of Modern Physics B Vol. 23, Nos. 6 & 7*, pp. 1407–1412.

Damping and Vibration Behavior of Adhesively Bonded Glass Fiber Reinforced Composite Laminates

Ömer Yavuz BOZKURT^{*1}, Özkan ÖZBEK¹, Mehmet BULUT¹

¹Gaziantep University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep

Geliş tarihi: 04.01.2016

Kabul tarihi: 04.04.2016

Abstract

Recently, the fiber-reinforced composite materials have been widely used for structural applications due to their superior mechanical properties. The structural applications require a method to join the components of the system. Due to the ease of fabrication and installation, adhesively bonded joint receives particular attention in recent years. In the current study, damping and vibration characteristics of glass fiber-reinforced composite laminated materials have been investigated with respect to the bonded length of adhesively single strap joint type. The experimental studies were performed using six symmetric laminates having $[(0/90)_6]_s$ fiber orientation angle at four different bonded length. The vibration characteristics of the composite laminates were determined by dynamic modal analysis. The damping properties were obtained using half power bandwidth method from the results taken vibration response curves. The obtained results were compared with original laminates.

Keywords: Single strap joint, Composite laminates, Damping, Vibration

Yapıştırma ile Birleştirilmiş Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Tabakaların Sönümlenme ve Titreşim Davranışları

Öz

Son zamanlarda, elyaf takviyeli kompozit malzemeler üstün mekanik özelliklerinden dolayı yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı bileşenlerinin sisteme dahil olması için bir yöntem gerekmektedir. Son yıllarda yapıştırma ile birleştirme yöntemi üretim ve kurulum kolaylığından dolayı dikkat çekmektedir. Bu çalışmada cam elyaf takviyeli kompozit tabakalı plakaların sönümlenme ve titreşim davranışları tek takviyeli bindirme bağlantısı kullanılarak birleşim uzunluğuna göre araştırılmıştır. $[(0/90)_6]_s$ fiber yönelimlerine sahip altı simetrik tabakadan oluşan plakalar dört farklı birleşim uzunluğunda deneysel olarak incelenmişlerdir. Kompozit plakaların titreşim özellikleri dinamik model analizi yapılarak belirlenmiştir. Sönümlenme özellikleri titreşim tepkisi eğrilerinden alınan sonuçların yarım bant genişlik yöntemini kullanmak sureti ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar birleştirme yapılmamış kompozit tabaka ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tek takviyeli bindirme, Kompozit tabakalar, Sönümlenme, Titreşim

^{*} Sorumlu yazar (Corresponding author) : Ömer Yavuz BOZKURT, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Gaziantep. oybozkurt@gantep.edu.tr

1. INTRODUCTION

Nowadays, the fiber-reinforced composite material have been widely used in many engineering applications because of their superior mechanical properties. The determination and investigation of their behaviors at various parameters have become so important. The structural composite applications require a connection type to join the components of the system. Many joint types for composite materials are examined by researchers, but adhesively bonded joints such as single/double lap, single/double strap, tongue/groove etc [1] receive particular attention in recent years. Quaresimin and Ricotta [2] performed an experimental study about the behavior of single lap joints of composite materials under static and fatigue loading. They found the nominal tensile stress on the adherends increases with the overlap length. Lee et al. [3] compared to adhesively single lap and double strap joints for pultruded glass fiber-reinforced polymer composites. Dvorak et al. [4] examined the tongue and groove joint type for the thick composite laminates. They performed experimental studies such as tension tests on steel and composite material and discussed the obtained results.

Damping is an important parameter that effects the reducing or preventing oscillations on the structures. Also, it measures the ability of vibration energy absorption of the materials. Several studies related to damping and vibration properties of the composite laminates can be found in the literature. He and Rao [5] studied a theoretical study about the vibration analysis of adhesively bonded lap joint. They derived the equations of motion under distributed loads using energy method and Hamilton's principle. Botelho et al. [6-7] investigated the damping behavior of fiber/metal hybrid composite materials by the free vibration method. They also researched hygrothermal effects on damping behavior of metal/glass fiber hybrid composite materials. Khan et al. [8] damping and vibration characteristics of carbon fiber-reinforced composite laminates having nanoparticles.

According to literature review, some studies are present about dynamic properties of the adhesively

bonded fiber-reinforced composite laminates. However, none of them have been considered the single strap joints. The current study presents an investigation on damping and vibration behaviors of adhesively bonded single strap joint by experimentally. The obtained results were compared with those of the results obtained from original unbonded-one piece specimen.

2. MATERIALS AND METHODS

Plain weave glass fiber having six symmetrical laminate with $[(0/90)_6]_s$ orientation is used as reinforcement. Polyester resin (Polipol 3401-TAB) and hardener (methyl-ethyl-ketone-peroxide, MEKP) were mixed in the ratio of 99:1 as common matrix. Adhesively bonded specimens, shown Figure 1, were prepared at the different bonded lengths, L of 40 mm, 50 mm, 60 mm and 70 mm as shown in Table 1. The fiber-reinforced glass laminate was fabricated using hand layup technique under 0,3 MPa pressure with 80C° temperature. Afterward, curing of composite laminate was performed at room temperature. Epoxy resin (MOMENTIVE-MGS L285) with hardener (MOMENTIVE-MGS H285) in the ratio of 100:40 were used as adhesive to bond each lamina. Thicknesses, t and 2t on the midpoints of the original and bonded specimens were measured as 2.0 mm and 4.0 mm, respectively.

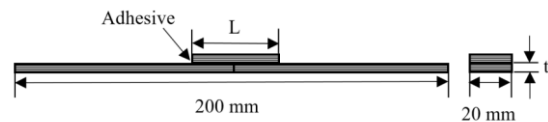


Figure 1. Illustration of adhesively bonded specimen with single strap joint

Table 1. Produced specimens according to adhesively bonded lengths

Bonded Length, L (mm)	Naming
0	$(A_{12})^0$
40	$(A_{12})^{40}$
50	$(A_{12})^{50}$
60	$(A_{12})^{60}$
70	$(A_{12})^{70}$

2.1. Vibration Tests

Experimental studies on dynamic behavior of specimens were performed using test device, shown in Figure 2, according to ASTM E756 standard [9]. A National Instrument product NI 9234 data acquisition device with LABVIEW program was used as software. PCB 352C03 ceramic shear ICP® accelerometer and PCB 086C03 modal impact hammer were employed for output and stimulus force signal, respectively.

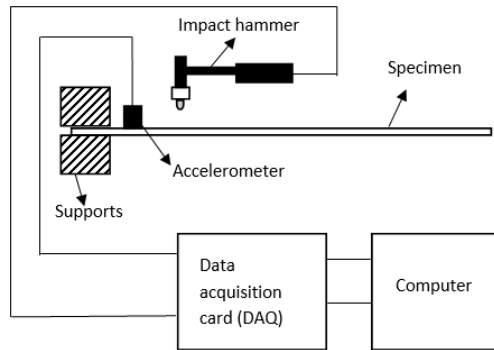


Figure 2. Vibration test set-up. (a) Sketch of vibration test mechanism and unbonded-one piece specimen, (b) Overall view of vibration set-up

Time dependent acceleration response of the specimens was measured by the usage of impact hammer. Afterwards, determination of the magnitude versus frequency due to responses was performed using the Fast Fourier Transforms (FFTs). The results belong to frequency responses were extracted within the constant frequency range from 0 to 500 Hz. Five specimens were prepared for each bonded length and three vibration tests were recorded for each specimens.

2.2. Damping Ratios

Half-power bandwidth method was used to measure first mode natural frequencies as shown in Figure 3. Then, damping ratios of the specimens were calculated using Eq. (1).

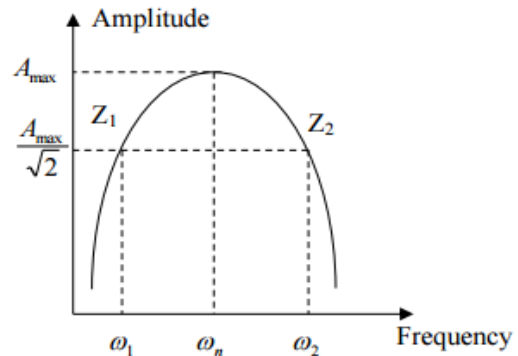


Figure 3. Half-power bandwidth method

$$\xi = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2 \times \omega_n} \tag{1}$$

where ω_1, ω_2 are the bandwidth, ω_n is the natural frequency of first mode, and ξ is the damping ratio.

The storage and loss modulus of the adhesively bonded specimens cannot be calculated since their discontinuous structures. This two modulus was obtained for only unbonded-one piece specimen. The storage modulus (E') of the beam specimen was obtained using Eq. (2).

$$\omega_1 = \frac{1.875^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E'I}{\rho A}} \tag{2}$$

where ρ is density of the beam, A is the cross-section of the beam, I is the moment of inertia of the given cross-section of beam, E' is the storage modulus, L is the free length of the beam and w_1 is the natural frequency of first mode.

Similarly, loss modulus (E'') of the beam specimen can be found using the following relationship between loss and storage modulus.

$$E'' = E'(\omega) \tan(\delta) = 2E'(\omega)\xi(\omega) \quad (3)$$

3. RESULT AND DISCUSSION

The frequency response curve versus amplitude were recorded as shown in Figure 4 after the vibration experiments. The values of first, second natural frequencies and maximum amplitudes that is given in Table 3 was obtained from the frequency response curve. It is observed that first natural frequency value has maximum value on the bonded length is 50 mm. However, frequency value in the second mode has higher than others at

the bonded length is 60 mm. Also, it is observed that there is an increase up to 50 mm, after this value it takes a decreasing trend for the damping ratio results. According to below results, the bonded length having 50 mm looks like the most suitable length for stability of the system when comparing to other ones. Also, storage and loss modulus of the unbonded- one piece specimen was calculated as 18.8 GPa and 5.33 GPa from the Eq. (2) and (3).

Table 2. Damping and natural frequency values

Bonded Length, L (mm)	First mode (Hz)	A ₁ (g/N)	Second mode (Hz)	A ₂ (g/N)	Damping ratio
0	37,99	107,10	234,53	122,64	0,142
40	41,29	93,80	241,14	116,32	0,593
50	46,25	70,68	257,65	109,40	0,646
60	44,6	93,97	265,91	109,42	0,332
70	26,62	100,43	163,84	116,53	0,188

A1: Maximum Amplitude of First Mode; A2: Maximum Amplitude of Second Mode

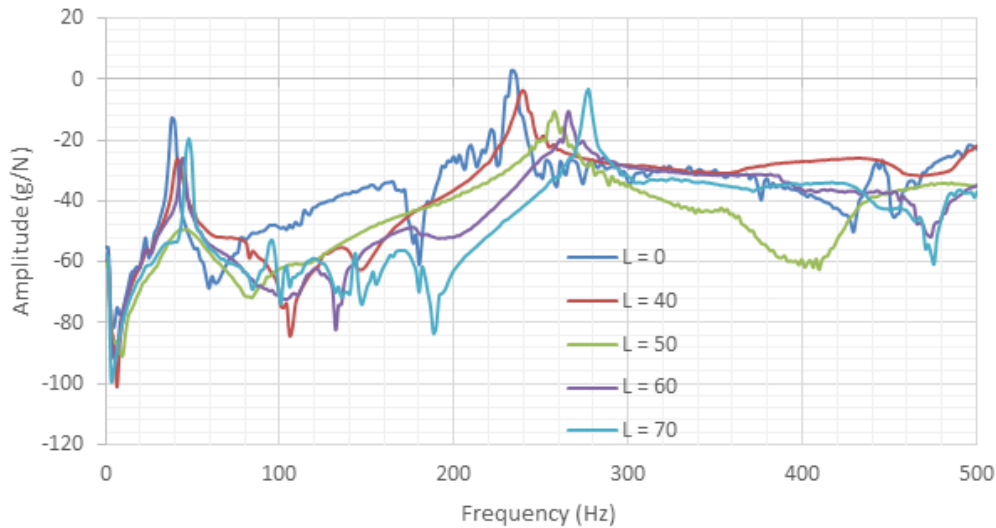


Figure 4. Frequency responses of specimens

Figure 5 presents the effects of bonded lengths resulting from the time versus acceleration records. Amplitude-time decaying curves were recorded within the same time intervals (a second) to compare damping properties of the specimens. The

unbonded-one piece specimen has the worst value because of the thickness is half of the others. Among the adhesively bonded specimens, 40 mm seems the best one, but all of them diverge the stability with a close intervals.

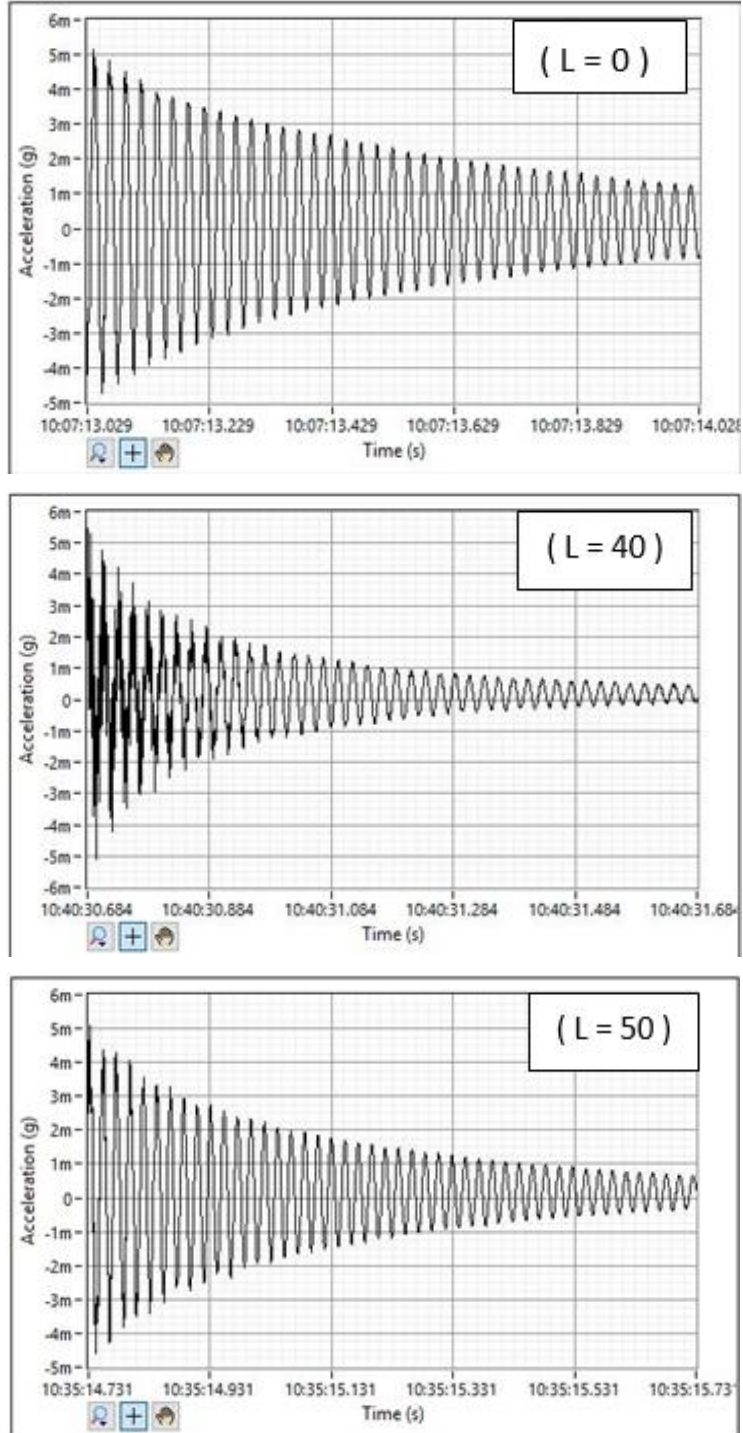


Figure 5. Time dependent acceleration responses of specimens

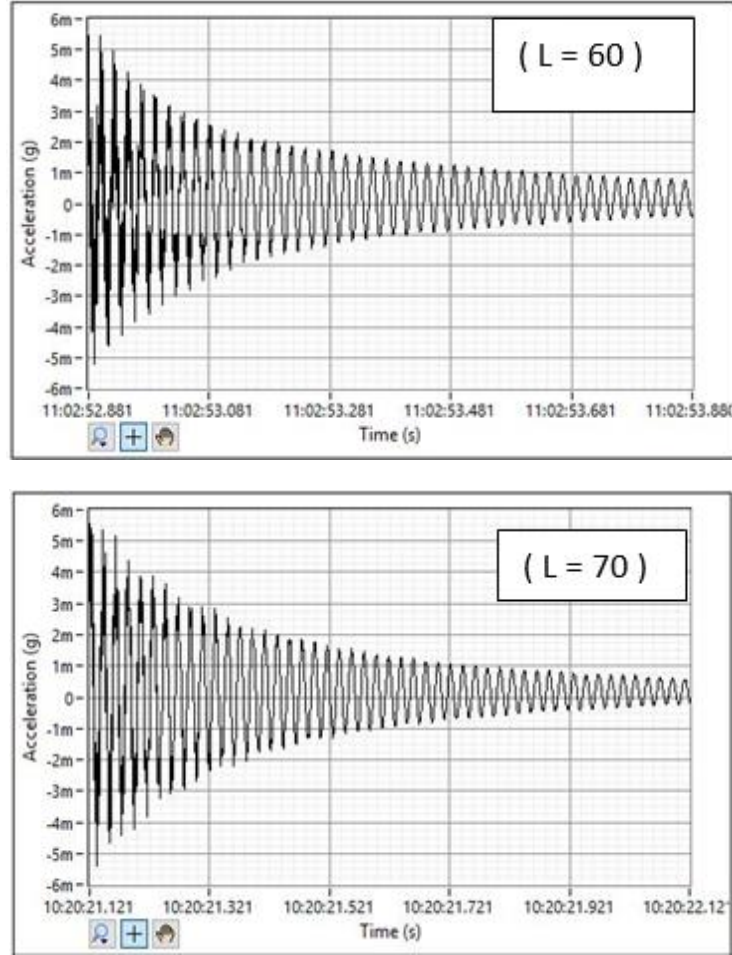


Figure 5. Time dependent acceleration responses of specimens (Continue)

4. CONCLUSIONS

In this work, damping and vibration characteristics of adhesively bonded glass/polyester fiber-reinforced composite laminates were experimentally determined. The effect of bonded lengths applying epoxy resin as adhesive was performed. Using half-power bandwidth method and FFTs, the damping properties were measured from vibration response envelope curve. The main conclusions from this study can be summarized as follows;

- Damping and vibration characteristics of the composite specimens are strongly affected by the adhesively bonded lengths,
- Damping ratio of the specimens is increasing up to certain bonded length (50 mm) and after that decreasing happens.

Finally, the results recommend that the application of adhesively bonded length will be appropriate up to certain length for stability of the structures. It should be determined before performing in structures during the service

5. REFERENCES

1. Banea, M. D., da Silva, L. F., 2009. Adhesively bonded joints in composite materials: an overview. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials Design and Applications, 223(1), p. 1-18.
2. Quaresimin, M., Ricotta, M., 2006. Fatigue behaviour and damage evolution of single lap bonded joints in composite material. Composites Science and Technology, 66(2), p. 176-187.
3. Lee, H. K., Pyo, S. H., Kim, B. R., 2009. On joint strengths, peel stresses and failure modes in adhesively bonded double-strap and supported single-lap GFRP joints. Composite Structures, 87(1), p. 44-54.
4. Dvorak, G. J., Zhang, J., Canyurt, O., 2001. Adhesive tongue-and-groove joints for thick composite laminates. Composites science and technology, 61(8), p. 1123-1142.
5. He, S., Rao, M. D., 1992. Vibration analysis of adhesively bonded lap joint, part I: theory. Journal of Sound and Vibration, 152(3), p. 405-416.
6. Botelho, E. C., Campos, A. N., De Barros, E., Pardini, L. C., Rezende, M. C., 2006. Damping behavior of continuous fiber/metal composite materials by the free vibration method. composites part B: Engineering, 37(2), p. 255-263.
7. Botelho, E. C., Pardini, L. C., Rezende, M. C., 2005. Hygrothermal effects on damping behavior of metal/glass fiber/epoxy hybrid composites. Materials Science and Engineering: A, 399(1), p. 190-198.
8. Khan, S. U., Li, C. Y., Siddiqui, N. A., Kim, J. K., 2011. Vibration damping characteristics of carbon fiber-reinforced composites containing multi-walled carbon nanotubes. Composites science and technology, 71(12), p. 1486-1494.
9. ASTM E756, 2010. Standard Test Methods for Measuring Vibration Damping Properties of Materials, American Society for Testing and Materials.

Al 2024 Esaslı B₄C/SiC Parçacık Takviyeli Hibrit Kompozitlerin TIG Kaynağı ile Birleştirilmesi

Uğur GÖKMEN^{*1}

¹Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 06.01.2016

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Yapılan çalışmada, toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yolu ile üretilmiş Al 2024 esaslı B₄C/SiC parçacık takviyeli hibrit kompozitlerin kaynaklanabilirliği incelenmiştir. Ön alaşımlı Al 2024 (Al-Cu-Mg) tozu içerisine B₄C ve SiC ilave edilmiştir. Matris malzeme ve takviye elemanları 3 boyutlu karıştırıcıda 45 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karışım tozlar tek yönlü basınç altında preslenerek toz metal blok numuneler üretilmiştir. Elde edilen blok numuneler 600°C de sinterlenmiş ve akabinde 500°C sıcaklıkta ekstrüze edilmiştir. Ekstrüze edilmiş nihai ürünler Tungsten Inert Gas (TIG) yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak işlemi sonrası takviye elemanın türüne bağlı olarak makro ve mikro incelemeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Al 2024, Hibrit kompozit, TIG kaynağı

Joining of Al 2024 Based B₄C/SiC Particle-Reinforced Hybrid Composites with TIG Welding

Abstract

In the present study, weldability of Al 2024 based B₄C/SiC particle-reinforced hybrid composite materials produced by powder metallurgy and hot extrusion route is investigated. B₄C and SiC are added to the pre-alloyed Al 2024 (Al-Cu-Mg). Matrix material and reinforcing components are mixed in a three-dimensional mixer for 45 min. Powders are compacted with uniaxial compression and the samples of powder metal block are produced. Produced block samples are sintered at 600°C and then extruded at 500°C. Ultimate extruded products are joined by the Tungsten Inert Gas (TIG) welding. Macro and micro examination depending on the type of reinforcing component after welding operation are studied.

Keywords: Al 2024, Hybrid composites, TIG welding

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Uğur GÖKMEN, Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Ankara, ugurgokmen@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ

Modern teknolojinin sunduğu kolaylıklar araştırmacıların farklı bilim alanlarına yönelmesine ve elde edilen verileri birleştirerek özgün tasarımların ortaya çıkmasına imkân sağlamaktadır. Malzeme bilimi alanında gelinen nokta teknolojik yeniliklere paralel olarak hızla gelişmeye devam etmektedir. Son yıllarda özellikle metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üstün mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı birçok mühendislik alanında yeni nesil mühendislik malzemeleri olarak sunulmaktadır [1,2]. Alüminyum matrisli kompozitler ise düşük ağırlıklarına karşılık mükemmel mekanik ve tribolojik özelliklerinden dolayı MMK kategorisinde en çok talep edilen mühendislik malzemelerinden birisini temsil etmektedir. Al matrisli kompozitler başta otomotiv ve havacılık endüstrisi olmak üzere çok geniş bir alanda yapısal ve fonksiyonel malzemeler olarak kullanılmaktadır [3-6].

Matris yapı içerisine kompozit malzeme elde etmek için ilave edilen seramik parçacıkların en çok tercih edilen türleri arasında B₄C, Al₂O₃ ve SiC gösterilmektedir ve alüminyumun içerisine takviye elemanı olarak ilave edilen bu seramik parçacıklar alüminyum matrisli kompozitlerin gelişmesinde etkili bir rol oynamaktadır [7-9]. Hibrit metal matrisli kompozitler birbirinden farklı takviye elemanının aynı matris içerisinde bir arada bulunduğu, kullanılan takviye elemanlarının üstün özelliklerinden yararlanmak için kombine edilmiş günümüz mühendislik malzemelerinin spesifik bir türünü temsil etmektedir. [10,11]. MMK'ler birçok farklı yöntemle üretilebilmektedirler. MMK malzemelerin üretiminde döküm, sıvı infiltrasyon ve toz metalurjisi yöntemleri günümüz teknolojisinde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Özellikle toz metalurjisi yöntemi farklı fiziksel ve kimyasal malzemelerin bir arada değerlendirildiği özel malzeme tasarımlarının elde edilmesine imkân sunmaktadır [12,13]. Alüminyum ve alaşımlarının geliştirilmeye başlandığı yıllarda, bu alaşımların uçak endüstrisinde kullanılması ve kaynakla birleştirilmesi gereksinimi, günümüzde gaz altı kaynak yöntemleri olarak bilinen TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin bulunmasını ve geliştirilmesini sağlamıştır [14].

Yapılan çalışmada toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yöntemiyle ağırlıkça %10 oranında B₄C ve SiC içeren Al 2024 esaslı kompozit malzemeler üretilmiştir. Ağırlıkça %5 B₄C ve %5 SiC parçacıkları aynı matris içerisinde bir araya getirilerek hibrit kompozit yapılar oluşturulmuştur. Üretilen hibrit/kompozitler TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme öncesi ve sonrası kompozit numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ve SEM yardımıyla karakterize edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme ve Metot

Bu çalışma kapsamında kompozitlerin üretiminde matris malzeme olarak ön alaşımlı Al 2024 tozu, parçacık takviyesi olarak B₄C ve SiC tozları kullanılmıştır. Toz metalurjisi yöntemi ve sıcak ekstrüzyon ile hibrit/kompozitler üretilmiştir. Al 2024 tozunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de sunulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozların fiziksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Matris malzemesi ve takviye elemanı olarak kullanılan tozların ortalama parçacık boyutları Malvern Mastersizer marka toz boyut ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Al 2024 alaşımının kimyasal kompozisyonu

Element	Cu	Mg	Mn	Fe	Al
Oran (% Ağırlıkça)	4,4	1,8	0,25	0,5	Kalan

Çizelge 2. Tozların fiziksel özellikleri

Malzeme	Fiziksel Özellikler		
	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime sıcaklığı (°C)	Toz boyutu (µm)
Al 2024	2,74	630	<160
B ₄ C	2,50	2350	<20
SiC	3,12	2820	<50



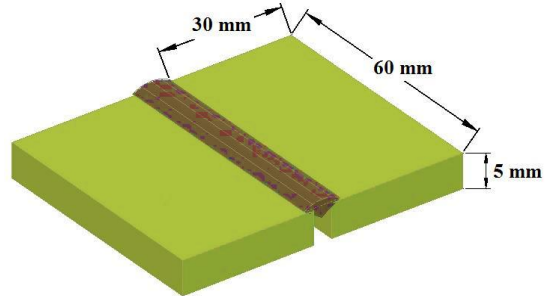
Şekil 1. a) Preslenmiş b) Ekstrüze edilmiş numune

Al 2024 tozu içerisine ağırlıkça %10 oranında B₄C ve SiC tozları ayrı ayrı ilave edilmiştir. Aynı matris içerisine ağırlıkça %5 B₄C ve %5 SiC tozları ilave edilerek hibrit kompozitler elde edilmiştir. Al 2024 tozu ile takviye elemanları 3 boyutlu karıştırıcı ile 45 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi ile elde edilen karışım tozlar çelik kalıplar içerisinde tek yönlü preslenerek silindirik toz metal blok numuneler üretilmiştir. Toz metal blok numuneler mufle tipi fırın içerisinde 600°C sıcaklıkta 1 saat süreyle sinterlenmiştir. Akabinde numuneler ekstrüzyon kalıbı içerisine yerleştirilerek 500°C sıcaklıkta 1 saat bekletilmiş ve 1/4 oranında ekstrüze edilmiştir. Ekstrüze numuneler haddeleme işlemine tabi tutularak 5 mm kalınlığına getirilmiştir. Kalıplanmış ve ekstrüze edilmiş numune görüntüleri Şekil 1’de sergilenmiştir.

2.2. Birleştirme İşlemi

Presleme ve sıcak ekstrüzyon işlemlerinden geçilerek elde edilen toz metal numuneler haddeleme işlemine tabi tutularak yassı plakalar haline getirilmiştir. Elde edilen hibrit/kompozit numunelere V kaynak ağzı açılmıştır. Kaynak işlemi için hazırlanan numuneler küt alın pozisyonunda tek pasoda Tungsten Inert Gaz (TIG) yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemi

sonrası numuneler herhangi bir işleme tabi tutulmadan atmosfer ortamında soğumaya bırakılmıştır. Kaynaklı birleşirmenin şematik çizimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Birleştirme işleminde kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 3’te verilmiştir.



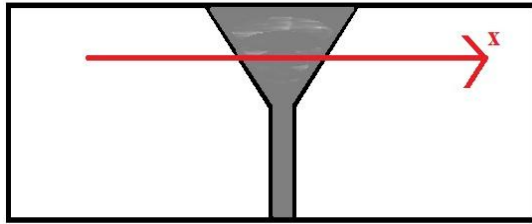
Şekil 2. Kaynaklı toz metal parçaların şematik gösterimi

Çizelge 3. Kaynaklı birleştirme işleminde kullanılan parametreler

Kaynak Parametreleri	
Kaynak akım türü	Alternatif
Kaynak Akımı (A)	75 Amper
Dolgu teli kalınlığı	2.4 mm
Gaz akış debisi	12/dak

2.3. Karakterizasyon

Sıcak ekstrüze edilmiş toz metal malzemelerin yoğunlukları Sartorius marka terazi ve yoğunluk kiti kullanılarak Arşimet prensibine göre belirlenmiştir. Hibrit/kompozitlerin içerisinde dağılmış B₄C/SiC parçacıkların matris malzeme ile ara yüzeyleri ve kaynak metali içerisindeki davranışları Leica marka optik mikroskop ve JEOL JSM 6060LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile incelenmiştir. Sertlik ölçümleri Emco test duravison 2000 marka sertlik ölçüm cihazı kullanılarak Brinell olarak ölçülmüştür. Şekil 3'te şematik olarak gösterildiği gibi sertlik değerleri her numune için ana metalden kaynak metaline ve tekrar ana metale doğru bir akış düzeninde farklı bölgeden alınan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.



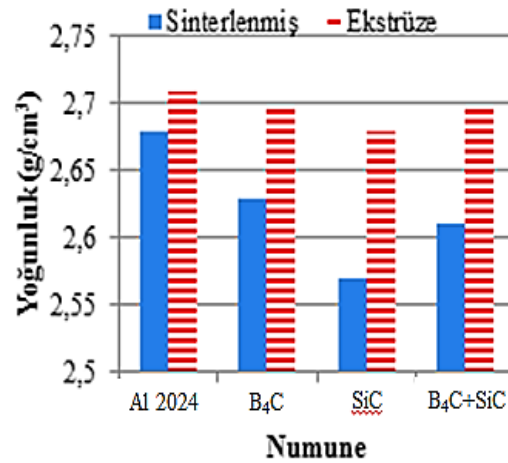
Şekil 3. Kaynaklı numunenin sertlik ölçüm yönü

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Yoğunluk

Çalışma kapsamında Al 2024 tozu içerisine ağırlıkça %10 B₄C ve SiC ilave edilerek kompozit numuneler, ağırlıkça %5 B₄C ve SiC aynı matris içerisine ilave edilerek hibrit kompozit numuneler üretilmiştir. Arşimet prensibi esas alınarak hesaplanan yoğunluk değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Kompozit numuneler takviye elemanı içermeyen Al 2024 numuneye kıyasla daha düşük yoğunluk sergilemişlerdir. Tüm numunelerde ekstrüzyon işlemi sonrası yoğunlukta artış tespit edilmiştir. B₄C ve SiC parçacıkların ilavesine bağlı olarak yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalmanın sebebinin matris malzeme ile parçacık ara yüzeyinde tespit edilen boşluklardan

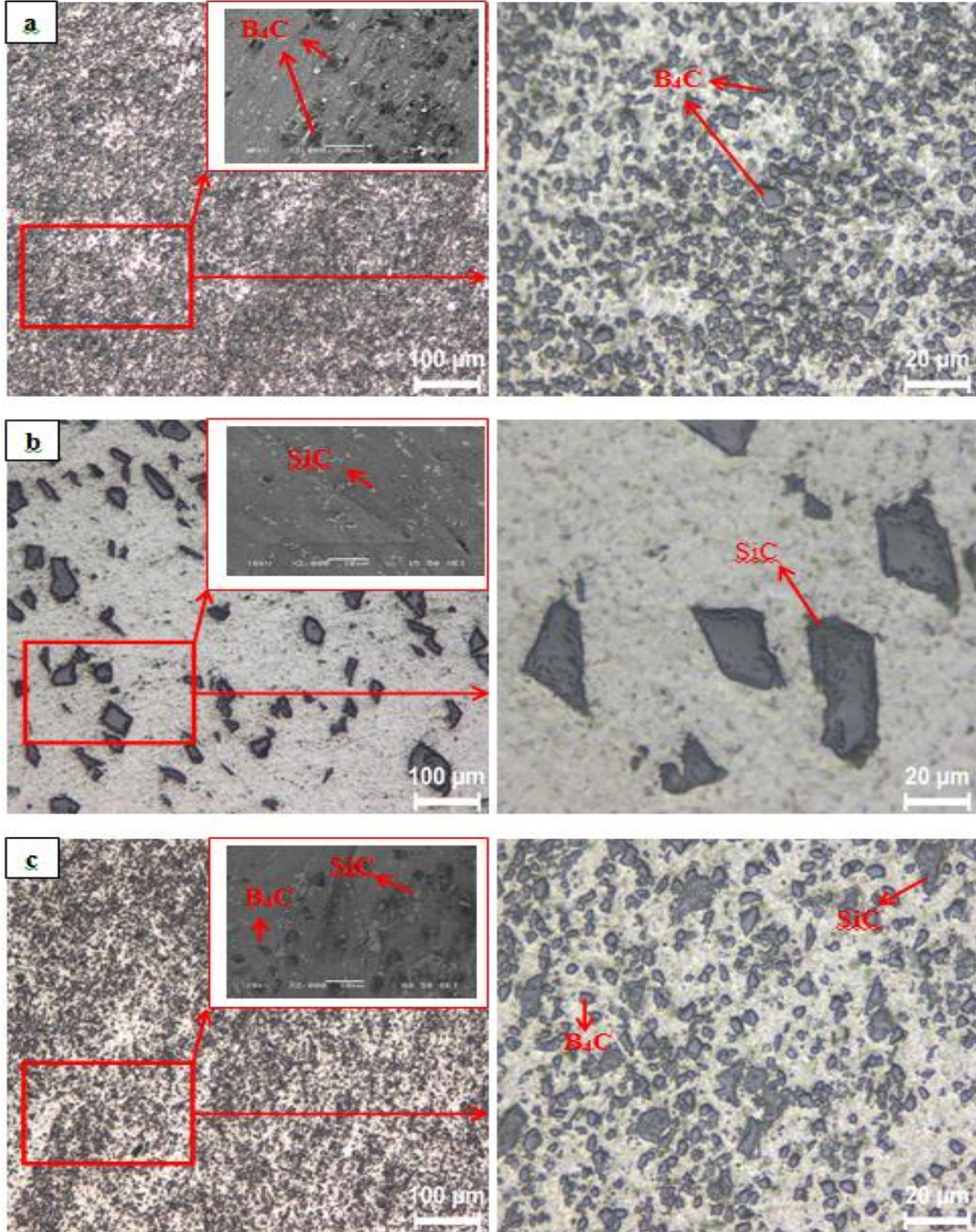
kaynaklandığı düşünülmektedir. Ekstrüzyon işlemi ile meydana gelen kısmi yoğunluk artışının uygulanan basınç ve sıcaklıkla birlikte parçacık/matris arayüzeyinde bulunan boşlukların kapanmasından kaynaklı olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen hibrit kompozitin yoğunluğunun ağırlıkça %10 SiC içeren numunelerden daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Eşit miktarda takviye elemanı içeren numunelerde farklı yoğunluk değerlerinin elde edilmesinin parçacık boyutundaki değişimden kaynaklandığı söylenebilir. Toz metal malzemelerde parçacık boyutundaki değişime bağlı olarak yoğunlukta azalma gözlemlenebilir [15].



Şekil 4. Kompozitlerin yoğunluk değişimi

3.2. Mikroyapısal Karakterizasyon

B₄C ve SiC takviyeli hibrit/kompozitlerin kaynak öncesine ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 üzerinde kutucuklar içerisinde SEM resimleri gösterilmiş ve matris içerisinde bulunan parçacıklar oklar yardımıyla işaretlenmiştir. Şekil 5'te sergilenen optik mikroskop görüntülerine göre Al 2024 matris içerisinde bulunan parçacıkların homojen olarak dağıldığı söylenebilir. Al 2024 matris yapı üzerinde bulunan gözeneklerin ise birbirinden bağımsız olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Hibrit/kompozit numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri a) B₄C b) SiC c) B₄C+SiC

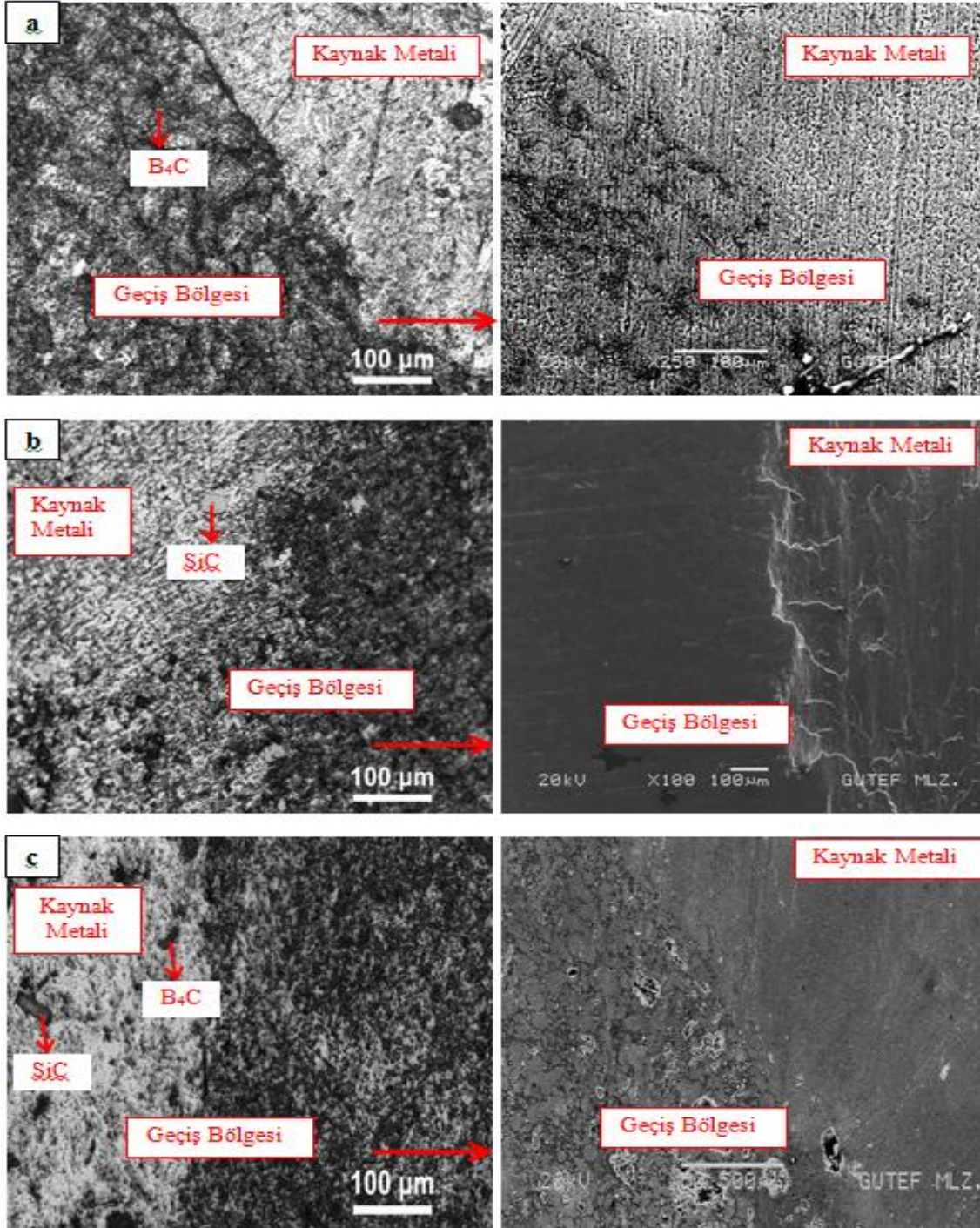
Matris malzeme yüzeyinde B₄C ve SiC ilavesi ile birlikte gözenek miktarının artışı belirlenmiştir. Al 2024 matris ile B₄C ve SiC parçacıklar arasında gözlenen boşluklar saf Al 2024 numunelere kıyasla parçacık takviyeli kompozitlerde tespit edilen yoğunluk azalmasını destekler niteliktedir. Ekstrüzyon işlemi öncesi yapılan incelemelerde matris yapı içerisinde bulunan parçacıkların kısmen topaklanma sergiledikleri tespit edilmiştir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş metal matrisli kompozit malzemelerde parçacıkların topaklanmaya, gözeneklere sebep olduğu ve bu durumun malzemenin özelliklerini etkilediği rapor edilmiştir [16]. Toz metal kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılan yöntemlerden birisinin ekstrüzyon işlemi olduğu bilinmektedir [17]. Yaygın tercih edilen ekstrüzyon yöntemlerinden birisi olan sıcak ekstrüzyon işlemi ile Al esaslı kompozit malzemelerin yüzeyinde bulunan oksit filminin ortadan kaldırılacağı ve bu durum neticesinde parçacıklar arası uyumun geliştirileceği ayrıca matris yapı içerisindeki takviye elemanı topaklanmasının giderilebileceği ve böylece daha homojen dağılmış parçacıklar içeren bir yapı elde edilebileceği rapor edilmiştir [18]. Şekil 5'te verilen optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde parçacıklarda ekstrüzyon öncesi gözlenen topaklanmaların dağıtıldığı tespit edilmiştir.

Şekil 6'da kaynaklı birleştirme sonrası kompozit numunelerin farklı bölgelerinden alınan optik mikroskop ve SEM görüntüleri sergilenmiştir. Kompozit numunelerin tümünde birleştirme parametreleri sabit tutulmuştur. Şekil 6'da verilen optik mikroskop ve SEM görüntüleri incelendiğinde kaynaklı birleştirmelere ait geçiş bölgeleri ve kaynak metali arasında düzgün bir kesit boyunca birleşme olmadığı söylenebilir. Hibrit/kompozitlerin matris yapısı içerisinde gözlenen boşlukların numunelerin birleşme kesitleri boyunca varlığını sürdürdüğü ve kısmen gözeneklerde birleşme olduğu tespit edilmiştir. Matris malzemede gözlenen gözenekler kaynaklı parçaların geçiş bölgelerinde yoğun bir şekilde tespit edilirken kaynak metali içerisinde kısmen

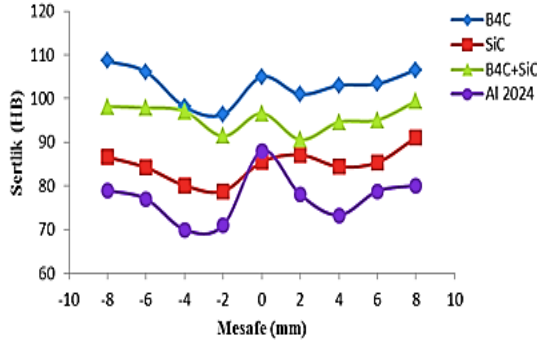
gözlenmektedir. Birleştirme işlemi esnasında kullanılan ilave telin kaynak metali içerisinde bulunan gözeneklerin kapanmasına etki ettiği düşünülmektedir. Gökmen ve arkadaşları toz metalurjisi yöntemiyle ürettikleri Al matrisli SiC takviyeli kompozit numuneleri TIG kaynak yöntemiyle kaynatmışlar ve mikroyapıyı karakterize etmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada kaynak işlemi esnasında kullanılan kaynak telinin ergiyerek kaynak metalini oluşturduğunu ve sinterlenmiş ana malzemeye nazaran bu bölgenin daha yoğun olduğunu bildirmişlerdir [19]. Şekil 6'da verilen kaynaklı bölgelere ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde görülmektedir ki ağırlıkça %10 B₄C içeren numunelerin birleşme bölgelerinde gözlenen boşlukların B₄C ve SiC takviyeli hibrit kompozitlere kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin geçiş bölgesinde tespit edilen gözenek yoğunluğunun artışına paralel olarak kaynak kesiti boyunca gözenek birleşmeleri tespit edilmiştir. Şekil 6'da verilen SEM görüntülerine göre hibrit kompozit numunede geçiş bölgesi boyunca uyumlu bir birleşme olduğu söylenebilir.

3.3. Sertlik Değişimi

Sıcak ekstrüze edilmiş ve TIG yöntemi ile birleştirilmiş kompozit numunelerde esas metalden başlayarak kaynak metalinin merkezine kadar ve devamında tekrar esas metale kadar 2 mm aralıklarla sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sertlik değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde B₄C ve SiC içeren numunelerin sertlik değerlerinin takviye elemanı içermeyen numunelere kıyasla daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Esas metalde ve kaynaklı bölgede en yüksek sertlik değeri ağırlıkça %10 B₄C içeren numunelerde tespit edilmiştir. B₄C ve SiC takviyeli hibrit kompozitlerin sertlik değerleri takviye elemanı içermeyen Al 2024 ve %10 SiC içeren kompozitlere kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Hibrit kompozit içerisinde bulunan B₄C sertlik değerinin artışında etkili bir rol üstlenmiştir.



Şekil 6. Birleştirme işlemi sonrası hibrit/kompozit numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri
a) B₄C, b) SiC, c) B₄C+SiC



Şekil 7. Birleştirme işlemi sonrası kompozit numunelere ait sertlik grafiği

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada B₄C ve SiC parçacık takviyeli Al 2024 esaslı hibrit/kompozit numuneler toz metalurjisi ve sıcak ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Al 2024 matris içerisine ağırlıkça %10 oranında B₄C ve SiC seramik parçacıklar ilave edilerek kompozit numuneler ağırlıkça %5 B₄C ve %5 SiC tek bir matris içerisine ilave edilerek hibrit kompozit numuneler üretilmiştir. Elde edilen hibrit/kompozit numuneler TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Birleştirme öncesi ve sonrası elde edilen mikroyapılar karakterize edilmiş, ulaşılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

- Hibrit/kompozit numunelerin tamamında sinterleme işleminden sonra yapılan sıcak ekstrüzyon işlemi ile yoğunlukta artış tespit edilmiştir.
- Al 2024 esaslı numunelerde en yüksek sertlik değeri ağırlıkça %10 B₄C içeren kompozitlerde elde edilmiştir. En düşük sertliği takviye elemanı içermeyen numuneler sergilemiştir. Hibrit kompozit numunelerde SiC içeren kompozitlerden daha yüksek sertlik değeri tespit edilmiştir.
- Kaynaklı birleştirmelerde sertlik değeri esas metalden geçiş bölgesine doğru azalma sergilerken kaynak metalinde artış göstermiştir. Hibrit kompozit

numunelerin kaynak bölgesinden ölçülen sertlik değerlerinin takviye elemanı içermeyen Al 2024 numunelerden ve %10 SiC içeren numunelerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Karabulut, Ş., 2015. Optimization of surface roughness and cutting force during AA7039/Al₂O₃ metal matrix composites milling using neural networks and Taguchi method, Measurement 66: 139–149.
2. Kok, M., 2005. Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites, Journal of Materials Processing Technology 161(3): 381–387.
3. Fathy, A., El-Kady, O., Mohammed, M.M.M., 2015. Effect of iron addition on microstructure, mechanical and magnetic properties of Al-matrix composite produced by powder metallurgy route, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 25: 46–53.
4. Padmavathi, K. R., Ramakrishnan, R., 2014. Tribological behaviour of Aluminium Hybrid Metal Matrix Composite, Procedia Engineering 97: 660–667.
5. Topcu, I., Gulsoy, H.O., Kadioglu, N., Gulluoglu, A.N., 2009. Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites”, Journal of Alloys and Compounds 482: 516–521.
6. Emamy, M., Oliayee, M., Tavighi, K., 2015. Microstructures and tensile properties of Al/2024–Al4Sr composite after hot extrusion and T6 heat treatment”, Materials Science & Engineering A 625: 303–310.
7. Venkatesh, B., Harish., 2015. Mechanical Properties of Metal Matrix Composites (Al/SiCp) Particles Produced by Powder Metallurgy, International Journal of Engineering Research and General Science 3(1): 1277–1284.
8. Garreno-Gallardo, C., Mendoza-Duarte, J.M., Lopez-Melendez, C., Estrada-Guel, I., Martinez-Sanchez, R., 2015. Evaluation of Mechanical Properties of Aluminum Alloy (Al-

- 2024) Reinforced with Carbon-Coated Silver Nanoparticles (AgCNP) Metal Matrix Composites, *Microscopy and Microanalysis* 21, 3: 1041-1042.
9. Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P., Froyen, L., 2003. Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: a comparative study”, *Journal of Materials Processing Technology* 142: 738–743.
 10. Ahamed, A.R., Asokan, P., Aravindan, S., Prakash., M.K., 2010. Drilling of hybrid Al-5%SiC_p-5%B₄C_p metal matrix composites, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 49(9): 871-877.
 11. Ahmadi, A., Toroghinejad, M.R., Najafizadeh, A., 2014. Evaluation of microstructure and mechanical properties of Al/Al₂O₃/SiC hybrid composite fabricated by accumulative roll bonding process”, *Materials and Design* 53: 13-19.
 12. Xiao, Z., Li, Z., Fang, M., Xiong, S., Sheng, X., Zhou, M., 2008. Effect of processing of mechanical alloying and powder metallurgy on microstructure and properties of Cu–Al–Ni–Mn alloy, *Materials Science and Engineering: A*, 488, 266-272.
 13. Jang, G.B., Kang, S.S., 2000. A study on the development of a substitution process by powder metallurgy in automobile parts, *Journal of Materials Processing Technology*, 100, 110-115.
 14. Karadağ, A., Özaraç, U., Aslanlar, S., Ekici, M., Varol, F., 2012. Alüminyum alaşımlarının TIG kaynağında mekanik özelliklere kaynak parametrelerinin etkisi, 2th International Conference on Welding Technologies and Exhibition, ICWET’12, 23-25 May Ankara/Turkey, pp.438-446.
 15. Rahimian, M., Ehsani, N., Parvin, N., Baharvandi, H.R., 2009. The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al–Al₂O₃ composites, made by powder metallurgy, *Journal of Materials Processing Technology* 209: 5387–5393.
 16. Dobrzanski, L.A., Wlodarczyk, A., Adamiak, M., 2005. Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al₂O₃ ceramic particles, *Journal of Materials Processing Technology* 162–163 27–32.
 17. Rahmani Fard, R., Akhlaghi, F., 2007. Effect of extrusion temperature on the microstructure and porosity of A356–SiC_p composites, *Journal of Materials Processing Technology* (187) 188: 433–436.
 18. Zheng, R., Hao., Xiaoning, Yuan, Y., Wang, Z., Ameyama, K., Ma., Chaoli, 2013. Effect of high volume fraction of B4C particles on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloy based composites, *Journal of Alloys and Compounds* 576: 291–298.
 19. Gökmen, U., Karakoç, H., Uzun, A., Çinici, H., Ateş, H. 2012. Alumix 231 esaslı SiC takviyeli kompozit malzemelerin TIG kaynağı ile kaynaklanabilirliği, 2th International Conference on Welding Technologies and Exhibition, ICWET’12, 23-25 May Ankara/Turkey, pp.558-563.

Saplama Kaynak Bağlantılarının Çekme Dayanımının ANFIS ile Modellenmesi

Necip Fazıl YILMAZ^{*1}, M. Veysel ÇAKIR², Musa YILMAZ¹

¹ Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

² Gaziantep Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Uzay Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

Geliş tarihi: 10.01.2016

Kabul tarihi: 04.04.2016

Özet

Saplama kaynak yönteminde istenilen özellikleri sağlayan iyi bir kaynak bağlantısı elde etmek için işlem parametrelerinin doğru ayarlanması gerekmektedir. Bunun için istenilen kalite özelliklerine sahip çıktı parametreleri ile girdi değişkenleri arasındaki karmaşık ilişkinin matematiksel olarak modellenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu makalede, saplama kaynak bağlantılarının çekme dayanımı tahmin eden bir model Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ile geliştirilmiştir. Girdi parametreleri olarak saplama çapı, akım, zaman, kaldırma yüksekliği ve dalma miktarı alınmıştır. Geliştirilen bu model endüstride saplama kaynağı kullanıcılarına işlem parametreleri seçimi için bir rehber olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Saplama kaynağı, Çekme dayanımı, Matematiksel modelleme, ANFIS

ANFIS Modelling of the Tensile Strength of Arc Stud Welding Joints

Abstract

In arc stud welding process, welding parameter set must be properly adjusted to obtain good welding joints which have desired properties. Therefore, it is needed to be mathematically modelling of the complex relationships between the input variables and output variables which have desired quality. In this article, a model that predicts the tensile strength of stud welding connections based on Adaptive Neural Network Fuzzy Inference System (ANFIS) was developed. Stud diameter, welding current, welding time, plunge and lift are taken as input parameters in this model. Developed model will be a guide for the selection of the process parameters for stud welding industry and its users.

Keywords: Stud welding, Tensile strength, Mathematical model, ANFIS

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : N. Fazıl YILMAZ, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Gaziantep. nfyilmaz@gantep.edu.tr

1. GİRİŞ

Saplama kaynağı, genellikle cıvata veya özel olarak hazırlanmış bir somunu elektrot olarak kullanarak sac veya levha şeklindeki bir iş parçasına birleştirme metodudur. Saplama kaynak ürünleri, endüstriyel ve ticari yapılar, köprüler, askeri araçlar, kazan üretimi, otomobil, kamyon, demiryolu, gemi yapımı, demiryolu araçları, elektrik parçaları, uçak, metal, mobilya ve diğer metal işleme sanayileri için kullanılır [1]. Bu metotta kaynak elemanları, ilave malzeme olmadan ve bağlama elemanlarını sabitlemek için herhangi bir delme, zımbalama, diş açma, yapıştırma ve perçinleme işlemi gerektirmeden sadece ark ile birleştirilir. Birçok alanda saplama kaynağı en ucuz birleştirme tekniğidir. Özellikle ince plakalarda, saplama kaynağı genellikle tek çözümdür.

Diğer kaynak işlemleriyle kıyasladığımızda, saplama kaynağı metodu, özellikle verimliliğinin giderek artması, kaynak hızı, otomasyona uygunluğu, ekipmanların kullanım kolaylığı, ucuzluk ve saplama lokasyonunun doğruluğu gibi birçok avantajlara sahiptir. Saplama kaynak işleminin bir diğer avantajı ise levhaya tek taraflı kaynak yapılabilirliğidir. Ayrıca, saplama kaynağı yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir ve kaynak işlemi sırasında akım, voltaj ve saplamanın hareketi monitörle izlenebilir [2].

Saplama kaynağı, diğer kaynak çeşitleriyle aynı elektriksel, ısıl, metalürjik ve mekanik prensiplere haizdir [3]. Saplama kaynak işlemi birçok faktörden etkilenir, örneğin saplamanın tasarımı, malzeme tipi, levha malzemesinin kalınlığı, saplamanın kesit alanı, kaynak pozisyonu, yüzey durumu, çevresel koşullar ve kaynak parametreleri; kaynak akımı, kaynak süresi, kaldırma yüksekliği ve dalma miktarı gibi. Her bir faktörün kaynak kalite performansı üzerinde kendine özgü etkisi vardır[4].

Saplama kaynağı üzerine birçok araştırmalar yapılmıştır. Yılmaz ve Hamza [5] saplama kaynağının başarılı bir şekilde AISI 304 östenik paslanmaz çeliğe uygulanabileceğini gösterdiler. Yaptıkları çalışmada, farklı saplama çaplarına

göre, ayarlanabilen kaynak parametreleri olan kaynak akımı, kaynak süresi, kaldırma yüksekliği ve dalma miktarı seviyelerini değiştirerek deneysel çalışmalar yaptılar ve kaynağın mekaniksel ve mikroyapısal özelliklerini araştırdılar. Kaynaklı parçaların çekme dayanımına etki eden en önemli kaynak parametrelerinin akım ve süre olduğunu, sonra kaynak dalma miktarı ve en az etkili olan parametrenin ise kaldırma yüksekliği olduğunu belirttiler.

Klaric ve arkadaşları [6] seramik halka ile yapılan çekmeli ark saplama kaynaklarında kaynak penetrasyon derinliğine kaynak parametrelerinin (akım, zaman, kaldırma yüksekliği ve dalma miktarı) etkisini araştırdılar. Samardzic ve arkadaşları [7] kaynak parametrelerinin penetrasyon derinliği ve sertleşmiş bölge uzunluğuna etkisini araştırdılar. Her iki çalışmada elde edilen sonuçlar, penetrasyon derinliğinin artmasında en etkili parametrenin kaynak akımı, sonra kaynak süresi, diğer iki faktörün ise daha az öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Hamza [8] yaptığı çalışmada, kaynak parametrelerinin (akım ve zaman) malzemenin türüne, saplama ve ana malzemenin (kaynak sacı) boyutlarına bağlı olduğunu vurguladı. Fricke ve Tchuindjang [9] saplama ark kaynağının döngüsel yüklü başlıca gemi yapılarına (hollanda profilleri) uygulanabilirliğini, saplama çapı, kaynak pozisyonu ve diğer kaynak parametreleri değiştirerek yaptıkları birçok yorulma testleri ile kanıtladılar.

Diğer kaynak işlemlerinde olduğu gibi kaynak bağlantısının kalitesi kaynak parametrelerinin doğru seçimine ve kaynak işlemi sırasında tam olarak uygulanmasına bağlıdır. Ancak kaynak performansına etki eden birçok parametreler bulunmakta ve bu parametreler arasında genellikle lineer bir ilişki kurulamamaktadır. Bir sistemi etkileyen parametreler çok ve aralarındaki ilişki doğrusal değil ise aralarında matematiksel ilişki kurmak oldukça güçtür. Ancak, son yıllarda mühendislik alanında kullanımı hızla yaygınlaşan esnek hesaplama (matematiksel modelleme) yöntemleri non-lineer parametreler arasında ilişki kurmada da önemli mesafe kaydetmektedir. Birçok

mühendislik problemleri doğal olarak karmaşık olduğundan, esnek hesaplama teknikleri genellikle bu tip problemlerde uygun çözümler sağlamaktadır.

Literatüre baktığımızda Ark saplama kaynağı işlemlerinde matematiksel modelleme çalışmalarına örnek olarak Hamza [10] 2011'de yaptığı çalışmayı örnek olarak verebiliriz. Bu çalışmada Hamza [10] ark saplama kaynağı ile yapılan bağlantıların, çekme dayanımı ile girdi parametreleri arasındaki karmaşık ilişkiyi bulmak için yapısal sinir ağı (YSA) tabanlı bir model geliştirdi. Bu modelde, bir çok katmanlı algılayıcı (MLP), geriye yayılma algoritması Levenberg-Marquardt tarafından örnek deneysel veriler kullanılarak eğitildi. Sonuçlar Taguchi deney tasarımı metodu ile karşılaştırıldı. YSA'nın ark saplama kaynağı performans çıktıları ile girdi parametreleri arasında doğrusal olmayan ilişki kurmada etkili bir araç olduğunu belirtti.

Bu çalışmada makine mühendisliği bölümünde, Ark saplama kaynak yöntemi ile yapılan deneysel çalışmalardan [5] elde edilen veriler kullanılarak adaptif ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemi ile saplama çapı göz önüne alınarak kaynak parametreleri olan; akım, zaman, kaldırma yüksekliği (lift) ve dalma miktarının (plunge), saplama kaynak bağlantılarının çekme dayanımı tahmin eden kullanıcı dostu bir model adaptif sinir ağına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemi ile geliştirilmiştir. Bu model endüstride saplama kaynağı kullanıcılarına işlem parametreleri seçimi için bir rehber olacaktır.

2. ARK SAPLAMA KAYNAĞI

Ark saplama kaynağı metal plaka ile civata, somun v.b. saplama parçalarının uç kısmının ark ile ısınarak erimesi ve daha iyi birleşme ve katılma sağlanması için çubukların basınçla eriyiğe daldırılmasıyla ilave malzeme gerektirmeden oluşturulan bir kaynak yöntemidir. Çok sayıda ark saplama kaynağı tipleri bulunmasına rağmen, genel olarak kondansatör boşaltmalı (capacitor discharge (CD)) ve çekmeli (drawn arc (DC)) ark saplama kaynağı olarak sınıflandırılma

yapılmaktadır. Hangi ürünün kaynak edileceği, uygulama alanı, kaynak edilecek parçaların malzemesi, saplama çapı ve plaka kalınlığı hangi tip kaynak türünün seçileceği konusunda önemli etkenlerdir [11].

Çekmeli ark saplama kaynağı çoğunlukla seramik halka ile yapılmakta ve 12 mm'den büyük çaplı saplama için kullanılmaktadır, kaynak süresi 100 ila 1500 milisaniye'dir. Bu yöntem otomatik uygulamalar için uygundur.

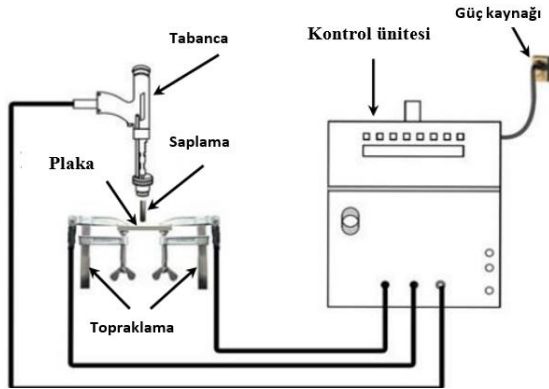
Kondansatör boşaltmalı (CD) ark saplama kaynağı küçük çaplı parçaları (M3-M10) ince sac malzemelere (minimum kalınlık 0,6 mm) uygulanmakta ve sac kalınlığının çapa oranı yaklaşık 1/10 olan uygulamalar yapılabilmektedir. Tüm kaynak süreci milisaniye içinde tamamlandığından dolayı, kaynaklar belirgin bozulma, yanma yada ters yönde renk değiştirme olmadan yapılabilir. Bağlantı elemanının bir ucu, bir CD kaynağı yapmak için tasarlanmış olduğu sürece, saplama parçalar hemen hemen tüm geometrik şekilleri için CD kaynağı yapılabilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ark saplama kaynağında kaynak performans kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Dayanıklı kaynak bağlantıları elde etmek için, saplama kaynak parametrelerinin seçimine oldukça dikkat etmek gerekir. Her bir parametrenin kaynak bağlantısı üzerinde ayrı ayrı etkileri vardır. Bu çalışmada, önemli kaynak parametreleri olan; saplama çapı (D), kaynak akımı (I), kaynak süresi (T), daldırma miktarı (P) ve kaldırma yüksekliği (L) farklı seviyelerde alınarak (Çizelge 1), saplama kaynağı işlemleri, Şekil 1'de görülen düzenek kullanılarak yapılmış ve birleştirilen numunelerin çekme dayanımları ölçülmüştür (Çizelge 3-4). Saplama ve plaka malzemesi AISI 304 paslanmaz çelik olup, tüm deneylerde sac kalınlığı 5 mm olarak alınmıştır.

Mekanik testler, özellikle aksel yük uygulanarak yapılan çekme testi, kaynak bağlantısı ve kaynak metalinin performanslarını değerlendirilmesinde, kaynak işleminin geliştirilmesi ve kaynak

kalitesinin kontrol edilmesi açısından önemli rol oynamaktadır. Yüke maruz kalan bir mühendislik uygulamasında kullanılması planlanan kaynak bağlantısının, kaynak bölgesinin çalışma sırasındaki servis yüklerine dayanıp dayanamayacağını bilmesi gerekir, kaynaklık parçaların çekme testleri [12] bu açıdan önemlidir.



Şekil 1. Deney düzeneği [5]

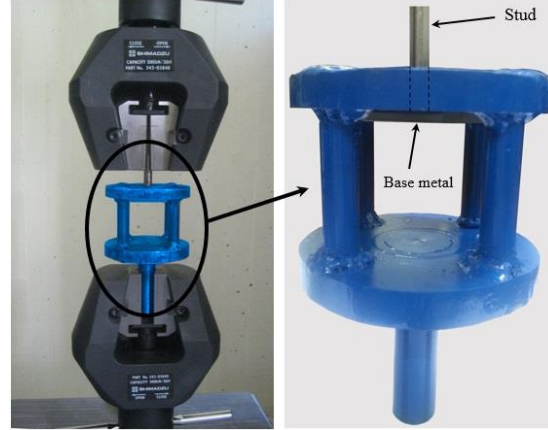
Bu çalışmada kullanılan çekme test makinesi Şekil 2’de gösterilmektedir. Makinenin maksimum çekme yük kapasitesi 600 KN’dur. Kaynaklı numunelere tek eksenli yük, kopma gerçekleşene kadar uygulanmış ve çekme dayanımı kaydedilmiştir.

Çizelge 1. Kaynak parametreleri ve seviyeleri

Parametre	Birim	Seviyeler
Saplama çapı(d)	mm	6,8,10,12
Kaynak akımı(I)	Amper	300, 400, 500, 600 700, 800, 900, 1000
Kaynak süresi(T)	Saniye	0,1 0,2 0,3 0,4
Daldırma miktarı(P)	mm	1, 2, 3, 4
Kaldırma yüksekliği(L)	mm	1,5 2 2,5 3

Kaynak numunelerinin bir tarafı saplama ve diğer tarafı plaka olduğundan dolayı, numuneler standart çekme çenelerine bağlama için uygun değildir. Bu nedenle kaynak numunelerinin çekme testini

yapmak için özel bir bağlama aparatı kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Özel bağlama aparatı ve çekme testinin yapılışı

4. ADAPTİF AĞ TEMELLİ BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ

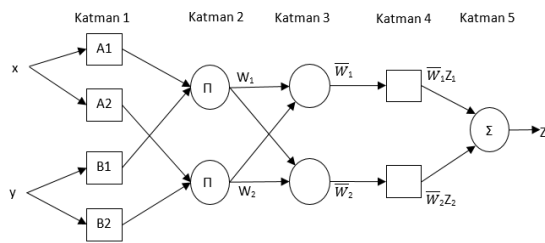
Adaptif ağı temelli bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), yapay sinir ağlarının (YSA) öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın insan gibi karar verme özelliklerinin birleşmesi ile ortaya çıkan melez bir modeldir [13]. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları belirsizlikler için uygun bir çözüm sunabilen 2 farklı yöntemdir. Bulanık mantık ve YSA’nın uygun birleşimi (hybridization) ile geliştirilen hibrit bir yöntem olan ANFIS, birisinin üstünlüğü ile diğerinin zayıflığının üstesinden gelmeye olanak sağlar. Bu sayede, farklı alanlara ait geniş problem yelpazesine uygun çözümler bulunabilir [14;15]. Şekil 3’te görüldüğü üzere ANFIS model sistemi, bulanık çıkarım sistemi ile adaptif ağların bütünleşmiş halidir.



Şekil 3. ANFIS model sistemi

Adaptif ağ, çeşitli sayıda birbirine bağlanmış düğümler içeren, eldeki girdi ve çıktı veri setini ortaya koymaya yarayan ağ yapısını ifade eder [16]. Adaptif ağlardaki düğümler arası bağlantılar, birleştirilen düğümlerle aradaki nedensellik ilişkisini belirtir. Bulanık çıkarım sistemleri ise, giriş değişkenlerinin çıkış değişkenlerine dönüşümünde bulanık kümeleri sunan sistemlerdir [17]. Bulanık sistemler; sayısal olarak ifade edilemeyen, belirsiz şartlar altında insan gibi hareket eden sistemlerdir. Bulanık çıkarım sistemleri için çok sayıda, farklı modeller geliştirilmiştir. Mamdani, Tsukamoto ve Sugeno tipi çıkarım sistemleri bu modellerden birkaç tanesi olarak sayılabilir. Sugeno tipi çıkarım sistemi, girdi ve çıktı veri setlerine göre bulanık kuralların oluşturulması için sistematik yaklaşım sağlayan bir sistemdir. İlk olarak 1993 yılında ortaya çıkarılan Jang'ın ANFIS modeli de insan gibi karar vermede "Sugeno Bulanık Mantık Çıkarım Sistemini" esas alır. Jang, çalışmasında doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarının modellenmesi ve kaotik zaman serilerinin tahmin edilmesi için ANFIS'i geliştirmiştir [18].

ANFIS öğrenme yöntemi YSA'larına benzer şekilde çalışır. ANFIS sistemlerde, verilen giriş/çıkış veri kümesi kullanılarak, üyelik fonksiyonları parametreleri; ya yalnızca bir geriyayılım algoritması ile ya da en küçük kareler yöntemi ve geriyayılım algoritmasının birleşimi (hibrit) ile ayarlanır [18]. Bu ayarlamalar, modellenecek verilerden bulanık sisteminin eğitilmesine olanak sağlar.



Şekil 4. Tipik bir ANFIS mimarisi [18]

2 giriş verisine sahip (x ve y), düğüm fonksiyonu ile ilişkili dilsel etiketleri (A1, A2, B1 ve B2), normalize edilmiş ateşleme dayanımı (Wi) ve

düğüm etiketi (II) olan tipik bir ANFIS mimarisi Şekil 4'te görülmektedir. ANFIS, 5 katmanlı ileri beslemeli ağ yapısına sahip Sugeno-tipi bir bulanık sistemdir. Birinci katmanda bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilir, ikinci katman kural katmanıdır ve bu katmandaki her bir nöron basit Sugeno-tip bulanık bir kuralı temsil eder. Üçüncü katmanda üyelik fonksiyonları normalleştirilir. Kuralların sonuçlandırma kısımlarının çalıştırıldığı yer durulama katmanı olan 4. Katmandır. 5. Katman tüm giriş sinyallerinin toplamı olarak tüm anfis çıkışlarını hesaplar [19].

4.1. ANFIS Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada, ANFIS modelini oluşturmada MATLAB'ın ANFIS araç kutusu kullanılmıştır. Bu araç kutusu, bir geri yayılım algoritması ve/veya en küçük kareler yöntemi ile birlikte kullanılarak fuzzy sistemler oluşturmaya yardımcı olur. ANFIS modellerinde, deneysel verilerin, %73'i eğitim (train) ve %27'i ise test veri dataları olarak rastgele seçilmiş ve programa yüklenmiştir (Çizelge 3-4). Buna göre Çekme dayanımı modelinin oluşturulması için 33 adet öğrenme ve 12 adet test verileri oluşturulmuştur.

Eğitim verisi dışında oluşturulan bir kontrol veri kümesi, ANFIS modeli genelleme yeteneklerini doğrulamak için uygulanır. ANFIS eğitimi için verilen bir giriş/çıkış verisi üzerinde eksiltmeli kümeleme uygulanarak model tarafından bir başlangıç bulanık çıkarım sistemi (FIS) oluşturulur. Hibrit öğrenme algoritması kullanılarak hızlı bir parametre tanımlanması gerçekleşir böylece yakınsamaya yaklaşması için gerekli zaman azaltılmış olur. Minimum doğrulama hatası ise aşırı uyumdan kaçınmak için durdurma kriteri olarak kullanılır.

ANFIS ile kurulan modeller, elde bulunan girdi-çıkış setine uygun üyelik fonksiyonu ve kurallar ile belirlenmektedir. Uygun üyelik fonksiyonunun belirlenmesi sürecinde, her bir fonksiyon için hesaplanan eğitim ve test verilerinin sonuçları incelenmiş, modellerin kurulmasında en düşük hata payını veren üyelik fonksiyonları (MFS) uygun görülmüştür. Üyelik fonksiyonu sayısının

belirlenmesinde ise veri setinin eğitilecek parametre sayısından fazla olması gerektiği hususu göz önüne alınmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Model Performans Kriterleri

Bir modelleme işleminin performansı; geliştirilen model tarafından temsil edilen gerçek sistemin, belli bir girdi değerine karşılık ürettiği çıktı değeri ile modelin aynı girdiye karşılık ürettiği çıktı arasındaki farkın (hata) temel alındığı çeşitli tanımlamalara göre belirlenir [20]. Modellerin hassasiyeti doğruluğu bu istatistiksel verilere göre değerlendirilmektedir.

Hata kareleri ortalaması (Mean Square Error - MSE) bunlardan bir tanesidir. MSE fonksiyonu istenen sonuç ile hesaplanan sistem çıkışı arasındaki farkın kareleri toplamının ortalaması olup aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - y_i)^2 \quad (1)$$

Burada d_i , istenen çıkış değerini, y_i ise modelleme programı tarafından hesaplanan çıkış değerini ifade eder. N ise çıkış hücre sayısını belirtmektedir. Hata kareleri ortalamasının sifıra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir [21].

Model performanslarının karşılaştırılması için kullanılan ölçütlerden biri de, ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error-MAE)'dir. Aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - y_i|}{N} \quad (2)$$

MSE ve MAE sonuçları ne kadar düşüğe modellerin performansı o ölçüde iyi olduğu söylenebilir. Çünkü hata paylarının düşük çıkması tahmin edilen değerler ile gerçekleşen değerler arasındaki sapmanın düşük olduğu anlamına gelmektedir.

Belirlilik katsayısı R^2 (korelasyon katsayısının karesi) deneylerden elde edilen veriler ile

geliştirilen modellerin tahminleri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. R^2 'nin 1'e yaklaşması modelin iyi tahmin ettiğini 0'a yaklaşması ise tahminin kötü olduğunu göstermektedir. R^2 korelasyon katsayısının karesi olup aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [22].

$$R^2 = \left[\frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \right]^2 \quad (3)$$

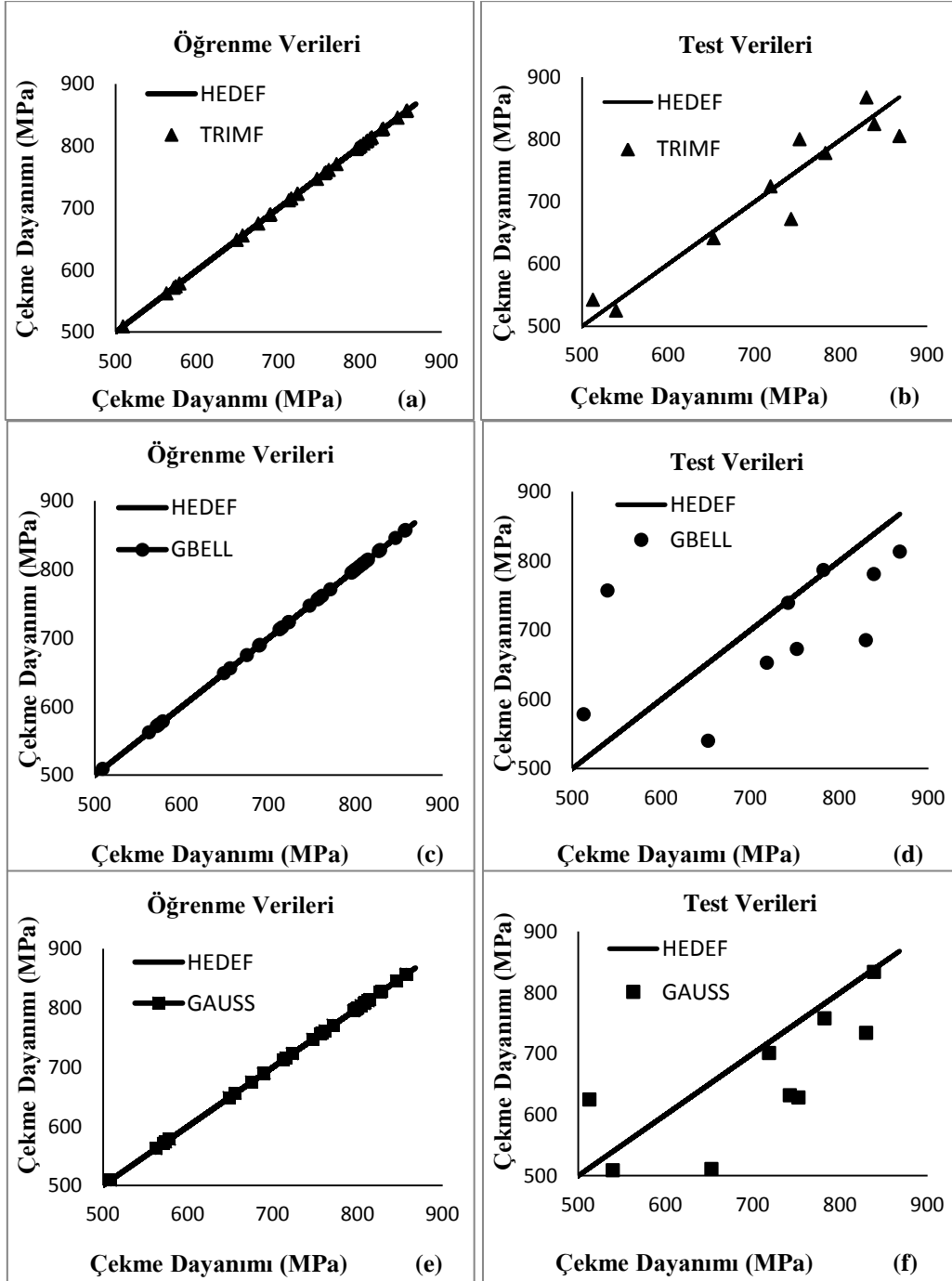
Çizelge 2. ANFIS mimarisi ve öğrenme parametreleri

Üyelik Fonksiyon (MF) sayısı	2 2 3 2 3	3 4 2 2 2	3 3 3 3 3
Üyelik fonksiyon (MF) tipi	Trimf	Gbell	Gauss
Düğüm sayısı	176	226	524
Lineer parametre sayısı	432	576	1458
Non-lineer parametre sayısı	36	39	30
Toplam parametre sayısı	468	615	1488
Bulanık kural sayısı	72	96	243

5.2. ANFIS Modelleme Sonuçları

ANFIS araç kutusunda birçok farklı üyelik fonksiyonları olmakla birlikte; trimf, trapmf, gauss, ve gbell üyelik fonksiyonları çoğunlukla kullanılan üyelik fonksiyonlarıdır. Bu çalışmada yapılan denemelerde Trimf, gaussian ve gbell üyelik fonksiyonlarının modeller için daha iyi sonuçlar verdiği görüldü. Üyelik fonksiyon sayıları ise 2-2-2-2-2 ten 5-5-5-5-5'e kadar değiştirilerek çok sayıda denemeler yapıldı.

Deneme ve yanılma metodu ile tüm üyelik fonksiyonları denendikten sonra elde edilen en iyi üyelik fonksiyon tipleri ve sayılarına ulaşıldığında elde edilen ANFIS mimarisi ve öğrenme parametreleri Çizelge 2'de görüldüğü gibi elde edildi. Elde edilen en iyi modellerin tahmini değerleri ile deneysel verilerin sonuçları (Çizelge 4 ve 5)'te verilmektedir.



Şekil 5. ANFIS modellerinin eğitim ve test performanslarının deneysel verilerle karşılaştırılması (a) trimf eğitim (b) trimf test (c) gbell eğitim (d) gbell test (e) gauss eğitim (f) gauss test grafiği

Çizelge 3. ANFIS modellerinin tahmini eğitim verileri ile deneysel sonuçları

Girdi Parametreleri					Sonuçlar			
D	I	T	P	L	Deneysel	Modelleme		
					S _{UT}	Trimf	Gbellmf	Gaussmf
6	300	0,3	3	2,5	798,5	798,5	798,5	798,4
6	300	0,4	4	3	655,9	655,9	655,9	655,9
6	400	0,2	1	3	807,7	807,7	807,7	807,7
6	400	0,4	3	2	573,9	573,9	573,9	573,9
6	500	0,2	4	2,5	800,4	800,4	800,4	800,3
6	500	0,3	1	2	578,5	578,5	578,5	578,4
6	300	0,1	1	1,5	648,7	648,7	648,7	648,7
6	600	0,2	3	1,5	571,5	571,5	571,6	571,5
12	900	0,4	2	1,5	796,5	796,4	796,4	796,5
8	500	0,1	1	1,5	828,3	828,3	828,4	828,3
8	500	0,2	2	2	857,5	857,5	857,5	857,5
8	500	0,4	4	3	690,1	690,1	690,0	690,0
8	600	0,1	2	2,5	757,9	757,9	757,9	757,9
8	700	0,2	4	2,5	845,9	845,9	845,9	845,9
8	700	0,4	2	1,5	509,2	509,2	509,2	509,2
8	800	0,1	4	2	761,6	761,6	761,6	761,5
8	800	0,2	3	1,5	723,3	723,3	723,3	723,4
8	600	0,2	1	3	747,2	747,2	747,2	747,1
10	600	0,1	1	1,5	689,1	689,1	689,1	689,0
10	600	0,4	4	3	809,1	809,1	809,0	809,0
10	700	0,2	1	3	856,7	856,7	856,8	856,7
10	700	0,3	4	1,5	804,1	804,1	804,1	804,2
10	900	0,2	3	1,5	771,1	771,1	771,1	771,1
10	900	0,3	2	3	712,7	712,7	712,7	712,6
12	700	0,1	1	1,5	562,5	562,5	562,5	562,5
12	700	0,3	3	2,5	814,4	814,3	814,4	814,4
12	700	0,4	4	3	812,5	812,5	812,5	812,4
12	800	0,1	2	2,5	675,1	675,1	675,1	675,1
12	800	0,2	1	3	756,3	756,3	756,3	756,3
12	900	0,1	3	3	715,6	715,6	715,6	715,5
12	1000	0,1	4	2	723,1	723,1	723,1	723,0
12	1000	0,3	2	3	826,8	826,8	826,8	826,8
12	1000	0,4	1	2,5	795,3	795,3	795,3	795,5

Belirlilik katsayısı (R^2) değeri 0,7 ila 1 arasında ise modelin istenilen çıktı performans değerini tahmin etmede iyi olduğu 0,7'den küçük ise yeterli olmadığı ifade edilmektedir. Eğitim verilerinin istatistiksel sonuçlarına bakıldığında tüm fonksiyon tiplerinin öğrenme yeteneklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 3). Ancak test verilerine bakıldığında, Trimf ve gauss

fonskiyon tipi ile üretilen modellerin sırasıyla belirlilik katsayılarının (R^2) 0,87 ve 0,82 olduğu Gbell fonksiyon tipi ile elde edilen modelin ise belirlilik katsayısının 0,65 olduğu dolayısıyla en iyi tahmin eden modelin Trimf daha sonra gauss ile elde edilen model olduğu, ancak gbell ile oluşturulan modelin ise yeterli olmadığı görülmektedir.

Modellerin tahmin sonuçları ile deneysel sonuçlarının karşılaştırmaları hem eğitim hem de test verileri için grafiksel olarak Şekil 5'te verilmektedir. Bu grafiklere bakıldığında deneysel veriler ile modellerden elde edilen tahmini değerler arasında eğitim verileri açısından çok az bir sapma

olduğu görülmektedir (Şekil 5a, c ve e). Buna karşın test verileri açısından ise en az sapmaya sahip olan modelin trimf (Şekil 5b) daha sonra gaus (Şekil 5f) olduğu gbel modelinde ise sapmanın oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. ANFIS modellerinin tahmini test verileri ile deneysel sonuçları

Girdi Parametreleri					Sonuçlar			
					Deneysel	Modelleme		
D	I	T	P	L	S _{UT}	Trimf	Gbellmf	Gaussmf
6	300	0,2	2	2	718,7	724,8	652,9	701,3
6	600	0,3	2	3	419,8	550,2	486,5	348,2
8	500	0,3	3	2,5	829,8	867,7	685,5	734,2
8	600	0,3	4	1,5	742,5	672,3	739,5	632,0
8	800	0,3	2	3	539,6	525,3	757,3	509,1
10	600	0,2	2	2	868,0	805,6	813,4	953,4
10	600	0,3	3	2,5	838,8	824,9	781,0	834,1
10	900	0,1	4	2	782,2	778,4	786,9	758,0
12	1000	0,2	3	1,5	752,3	800,6	672,8	628,3
10	800	0,4	2	1,5	652,7	641,6	540,2	511,1
6	500	0,4	2	1,5	405,1	309,2	406,6	293,0
8	700	0,3	1	2	512,8	542,7	578,5	625,1

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ark saplama kaynak bağlantıları; saplama çapı (D), kaynak akımı (I), kaynak süresi (T), daldırma miktarı (P) ve kaldırma yüksekliği (L) farklı seviyelerde alınarak 45 farklı çekme deneyi yapılmıştır. Daha sonra, deneysel çalışmalardan elde edilen veri setleri, adaptif sinir ağına dayalı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modellerini geliştirmek için kullanılmıştır. ANFIS modelleri MATLAB'ın ANFIS araç kutusu ile oluşturulmuştur. Trimf, Gaus ve Gbell fonksiyon tipleri kullanılarak ve bunların fonksiyon sayıları değiştirilerek çok sayıda denemeler yapılmıştır. Modellerin hassasiyeti ve doğruluğu R^2 , MAE ve MSE gibi istatistiksel verilere göre değerlendirilmiş aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Eğitim verilerinin istatistiksel sonuçlarına bakıldığında tüm fonksiyon tiplerinin öğrenme yeteneklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

- En iyi model, Trimf fonksiyon tipi ve fonksiyon sayısı 2-2-3-2-3 olan modeldir ve istatistiksel değerleri; $R^2 = 0,87$, MAE = 43,67 ve MSE = 3353,66'dır.
- Gauss fonksiyon tipi ve fonksiyon sayısı 3-3-3-3-3 olan model ikinci iyi model olup istatistiksel değerleri; $R^2 = 0,82$, MAE = 77,49 ve MSE = 8016,1'dir
- Gbell fonksiyonu ile elde edilen modelin belirlilik katsayısı R^2 değeri 0,7'nin altında olduğundan uygun olmadığı görülmektedir.

Ark saplama kaynağı kullanıcıları, dayanıklı (çekme dayanımı) bir kaynak bağlantısı elde etmek için ANFIS ile oluşturulan yukarıdaki modelleri kullanarak, saplama çapı için uygun olan kaynak parametre seti değerlerini seçebilir.

7. KAYNAKLAR

1. <http://www.nelsonstud.com/portal/>
2. Behrens B.A., Gruß D., Jenicek A., 2011. Stud welding within sheet metal working tools. *Prod. Eng. Res. Devel.* pp. 283–292.
3. Hildebrand J., Soltanzadeh H., 2014. A Review on Assessment of Fatigue Strength in Welded Studs. *International Journal of Steel Structures.* pp. 421-438.
4. Hamza A.A., 2014. Investigation of the Effect of Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Arc Stud Welding. MSc thesis in Mechanical Engineering in Gaziantep University.
5. Yılmaz N.F., Hamza A.A., 2014. Effect of Process Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Arc Stud Welds. *Materials Testing* pp: 806-811.
6. Klaric S., Kladaric I., Kozak D., Stoic A., Ivandic Z., Samardzic I. 2009. The Influence of the Stud Arc Welding Process Parameters on the Weld Penetration. *Fascicle: Mechanics. Tribology. Machine Manufacturing Technology. Series C.* pp. 79-84.
7. Samardzic I., Kladaric I., Klaric S. 2009. The Influence of Welding Parameters on Weld Characteristics in Electric Arc Stud Welding. *Metalurgija* pp. 181-185.
8. Hamza R.M.A., 2012. Optimized stud arc welding process control factors by Taguchi experimental design technique. Gulf University, Chapter 15. pp. 369-394. Kingdom of Bahrain.
9. Fricke W., Tchuindjang D.D. 2013. Fatigue strength behaviour of stud-arc welded joints in load-carrying ship structures. *Weld World* pp.495–506.
10. Hamza R.M.A. 2011. Multi-objective neural network modelling for improving stud arc welding process joining. *Journal of Engineering Science and Technology.* pp. 382 – 391.
11. Hsu C., Mumaw J., 2011. Weldability of advanced high strength steel drawn arc stud welding. *Welding Journal* pp. 45-53.
12. Davis, J.R., 2004. Second edition Tensile Testing. ASM International, United States of America.
13. Elmas, Ç., 2003. Bulanık Mantık Denetleyiciler (Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık). Seçkin Yayıncılık.
14. Jang, J.S.R., Sun, C.T., Mizutani, E., 1997. Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence. Prentice Hall, Inc.
15. Kim, J., Kasabov, N., 1999. ANFIS: Adaptive Neurofuzzy inference systems and their application to nonlinear dynamical systems. *Neural Networks.* pp. 1301-1319.
16. Yücel, A., Güneri, A.F., 2010. Application of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System to Supplier Selection Problem. *Journal of Engineering and Natural Sciences,* pp. 224-234.
17. Subaşı, S., Şahin, İ., Çomak, B., 2010. Tahribatsız Test Sonuçları Kullanılarak Uçucu Kül İkameli Betonlarda Basınç Dayanımının ANFIS ile Tahmini. *International Journal of Technologic Sciences* pp. 9-16.
18. Jang, J.S.R., 1993. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern* pp.665-685.
19. Sugeno, M., Kang, G.T., 1988. Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy Sets and Systems.* pp.15–33.
20. Demirel, Ö., 2009. ANFIS ve ARMA Modeller İle Elektrik Enerjisi Yük Tahmini. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
21. Singh, K. P., Basant, A., Malik, A., Jain, G., 2009. Artificial neural network modeling of the river water quality—a case study. *Ecological Modelling.* pp. 888-895.
22. Doğan, E., Ateş, A., Yılmaz, E.C., Eren, B. 2008. Application of Artificial Neural Networks to Estimate Wastewater Treatment Plant Inlet Biochemical Oxygen Demand. *Environmental Progress.* pp. 439-446.

Characterization and Analysis of Welding Area Between Alloy Steel Main Part and Bended End Part

Emre YALAMAÇ^{*1}, Ufuk İNCELİ^{1,2}, Mustafa KARAAGAÇ², Selçuk YILDIZ²

¹Metallurgical and Materials Engineering Department, Manisa Celal Bayar University, Manisa

²Olgun Çelik San. Tic. A.Ş. Manisa

Geliş tarihi: 10.01.2016

Kabul tarihi:30.03.2016

Abstract

In this study, 51CrV4 alloy steel bar was heated up to 900°C and rolled to produce round shape at the end of the steel bar. A gap takes place inevitably between the end and main part of steel. The gap should be closed by welding to avoid displace of bushing during the service life of tool. Therefore, rolled end part was welded to main body by gas-metal arc welding (GMAW-MIG) and the shielded metal arc welding (SMAW) methods. After filling the gaps, welded steels were annealed at 920°C for 50 minutes. In order to investigate the microstructure of welding regions, some samples were taken from welding areas. Present elements and chemical changing of the areas were analyzed by optical emission spectrometry. Sectional micro hardness was applied by Rockwell hardness unit. The residual stresses on the welded samples were investigated by X-ray stress analyzer based on solid state linear sensor technique.

Keywords: 51CrV4 alloy steel, MIG and SMAW, X-ray, Residual stress analysis

Çelik Alışımı Ana Kısımı ile Kıvrılmış Uç Kısım Arasındaki Kaynak Bölgesinin Karakterizasyonu ve Analizi

Özet

Bu çalışmada 51CrV4 alışım çeliğinden üretilmiş çubuklar 900°C'ye kadar ısıtıldı ve daha sonra bu çubukların uçları kıvrılarak sonlarında bir yuvarlak şekil oluşturulmuştur. Bu yuvarlak tamamen kapanmadığı için kaçınılmaz olarak ana malzeme ile ucu arasında bir aralık oluşur. Bu yuvarlak kısma yerleştirilen burcun kullanım ömrü boyunca yerinden çıkmaması için bu aralığın kaynak ile kapatılmalıdır.

Dolayısıyla kıvrılmış uç ana gövdeye gaz altı ark kaynağı (GMAW-MIG) ve korunmalı metal ark kaynağı (SMAW) metotları ile birleştirilmiştir. Aralıklar doldurulduktan sonra kaynaklanmış çelikler 920°C'de 50 dakika tavlansmıştır. Kaynak bölgelerinin mikroyapısı incelenmesi için örnekler alınmıştır. Optik emisyon spektrometresiyle kaynak ve çevre bölgelerindeki mevcut elementler ve kimyasal kompozisyon değişimi analiz edilmiştir. Rockwell sertlik yöntemiyle kesit alanın mikro sertlikleri ölçülmüştür. Kaynak numunelerindeki kalıntı gerilimleri X-ışını stres analizörünün katı hal doğrusal sensör tekniği ile araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 51CrV4 alışım çeliği, MIG ve SMAW, X-ışını, Kalıntı stress analizi

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Emre YALAMAÇ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa. emre.yalamac@cbu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Welding is a fabrication process to make high strength joint between two or more parts by heating to their melting temperature, with or without the application of pressure and with or without the use of filler metal. The filler metal has a melting point approximately same as the base metal. Welding has become highly automatized over the last decade, and the use of robots is now commonplace in certain industries, such as the automotive manufacturing plants. It is possible to weld items in unusual conditions, including underwater and in outer space [1-3].

Gas-Metal Arc Welding (GMAW) is also called the Metal Inert Gas (MIG) welding, an electric arc is established between the work piece and a consumable bare wire electrode. The arc continuously melts the wire as it is fed to the weld puddle. The weld metal is shielded from the atmosphere by a flow of an inert gas, or gas mixture. This maintains the strength and durability of the weld metal [1-3].

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is performed with the heat of an electric arc that is maintained between the end of a coated metal electrode and the work piece. The metal electrode has a solid coating of inert materials which vaporizes as you weld. This creates an inert cloud or gases which protect the molten metal and displace any oxygen that might come into contact with it [1-3].

SMAW and MIG welding processes are extensively used to joint different materials. Pathak et al., [4] used these methods to joint austenitic stainless steel. In another study, Gürsel and Kurt [5] SMAW welded SS30-type stainless steel and A36 low-carbon steel.

Heat from welding may cause localized expansion, which is taken up during welding by either the molten metal or the placement of parts being welded. When the finished weldment cools, some areas cool and contract more than others, leaving residual stresses. In measuring residual stress using X-ray diffraction (XRD), the strain in the crystal

lattice is measured and the associated residual stress is determined from the elastic constants assuming a linear elastic distortion of the appropriate crystal lattice plane. Residual stress diffractometers can be divided into two types Fixed, laboratory based systems and Portable systems. The portable system can be taken to a large structure (for example, a bridge) and placed on the component of interest. The instrument shown is an omega diffractometer. The sample remains stationary, only the assembly carrying the tube and detectors moves, allowing the machine to accommodate very bulky samples, or even to be placed onto a large structure [6].

51CrV4 alloy steel group is particularly being used for components subject to high stress, thus when a combination of high strength (wear resistance) and good toughness is crucial. Because of their chemical composition are suitable for hardening, and in the quenched and tempered condition have good toughness at a given strength [7]. The material receives its special characteristics through quenching and tempering. The processors need to make sure that their calculation method, design technique and processing procedure are aligned with the material. Precise temperature control is crucial for the part's characteristics. Therefore, the temperature needs to be adjusted according to the respective purpose of the material [8].

Leaf springs are mainly used in suspension systems to absorb shock loads in automobiles like light motor vehicles, heavy duty trucks and in rail systems. Leaf springs are designed according to axle where they assembled. A leaf spring which is used for this study has a round shape each side of it. Round shape is called eye in industry. Bushing is fixed into the eye. After that leaf spring is assembled to axle by inserting pin through the bushing. Centrifugal force is applied on bushing when the vehicle is at curb position especially on the winding road. Bushing might be off under this force. The gap between eye and base material can be ease bushing out therefore the gap is filled by using welding to prevent bushing out. The main objective of this work was to experimentally investigate the microstructure and mechanical

properties of the welded joints prepared by SMAW and MIG welding processes.

2. EXPERIMENTAL

In this study, 51CrV4 alloy steel (base metal) bar was heated up to 900 °C and rolled to produce round shape at the end of the steel bar. A gap takes place inevitably between the end and main part of steel. The rolled end part was welded to main body by using two different types of welding method. The first one is metal–inert gas (MIG) method and the second method is the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method with supercito basic electrodes. Schematic illustration of rolled and welded steel bar was given in Figure 1. After filling the gaps, welded steels were annealed at 920°C for 50 minutes. The steel bars were quenched in oil (at 60°C). The bars were tempered at 425°C for 120 minutes. In order to investigate the microstructure of welded regions, transition regions and main steel parts, some samples were taken. The samples were ground, polished and etched before microscopic inspection. Grain size were measured by image analysis program (NIS-Elements D, Nikon). Present elements and chemical changing of the areas were analyzed by optical emission spectrometry. Sectional micro hardness was applied under 1 kg pressure by Rockwell hardness unit. The residual stresses on the welded samples were investigated by X-ray stress analyzer (Stresstech, Xstress 3000 G2) based on solid state linear sensor technique. Figure 2 shows the X-ray stress analyses of welded samples.

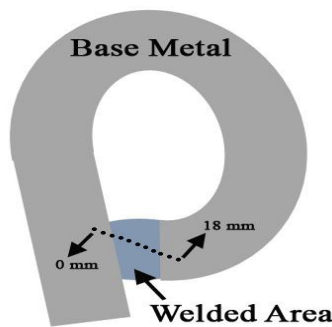


Figure 1. Schematic illustration of rolled and welded steel bar

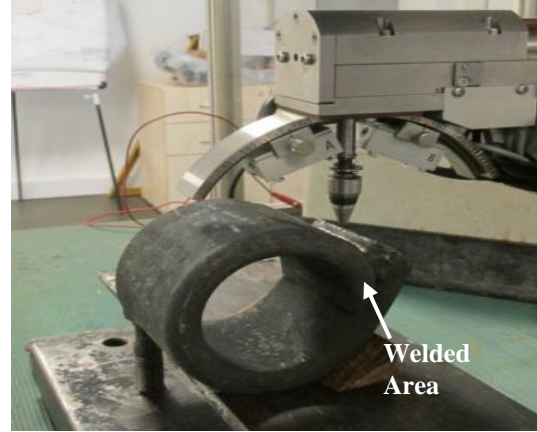


Figure 2. Residual stress measurement

3. RESULTS AND DISCUSSION

Chemical composition of welded and main steel parts of materials were measured and the results were given in Table 1. According to elemental analysis of regions, carbon and silicon ratios were significantly different than base metal.

Residual stresses were analyzed welded areas and base metal by portable X-ray analyzer. The mean residual stress were given in table 2. According to results, compressive stresses were present at welded areas but tensile stress was present on the base metal.

Table 1. Chemical composition of welded regions and base metal

Quantity %	Base Metal	MIG Welded Area	SMAW Welded Area
C	0.549	0.197	0.252
Si	0.269	0.305	0.155
Mn	0.862	0.654	0.544
P	0.046	0.0149	0.015
S	0.001	0.0089	0.004
Cr	1.170	0.329	0.350
V	0.149	0.0363	0.0282

Table 2. Residual stress analysis

Material Regions	Mean Residual Stress (MPa)	Std. Deviation (MPa)
Base Metal	39.8	16.10
MIG Welded Area	-226.6	48.73
SMAW Welded Area	-140.0	25.20

Figures 3 and 4 show the microstructures of polished and chemically etched surface of welded

regions and base metal. The microstructures of the base metal was almost martensitic with some ferrite phases (Figs 3a and 4a). On the other hand, SMAW and MIG welded areas composed of pearlite and ferrite phases. In higher magnification (500X) at figures 3 (b, c) and 4 (b, c), ferrite phase is white grains and gray regions are perlite phase. In figures 5 a and b, heat affected zone between base metal and MIG welded area or SMAW welded area are demonstrated, respectively.

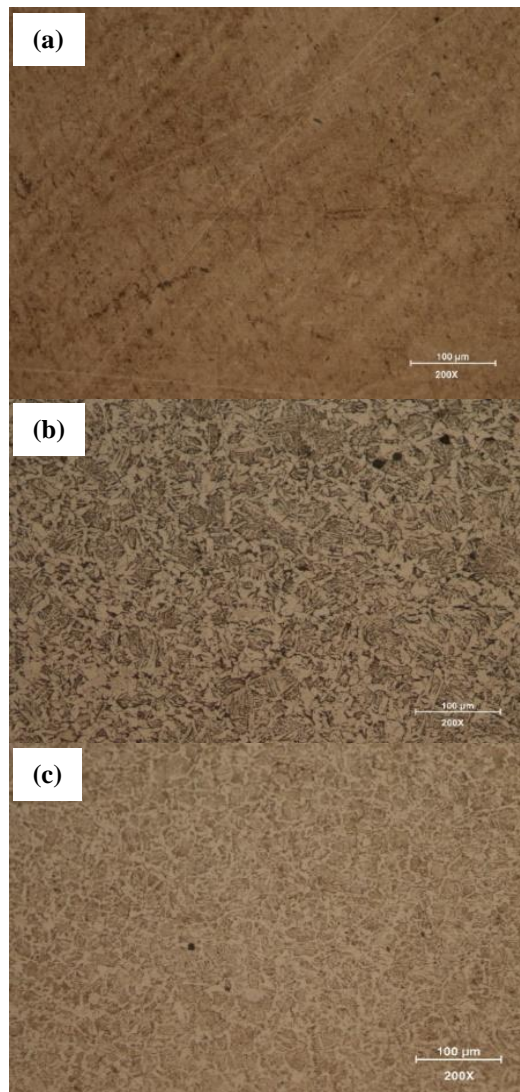


Figure 3. Microstructures of regions at 100 X magnification a) Base metal, b) MIG welded area, c) SMAW welded area

Grain size of base metal, MIG and SMAW welded areas were measured with image analysis program. Figure 6 shows representative selected images for the base metal, MIG and SMAW welded areas. The grain size results were tabulated in Table 3.

According to the results, grain size of base metal and SWAM welded area are nearly same value of 26 μm . But, MIG welded area has lower grain size than the other areas.

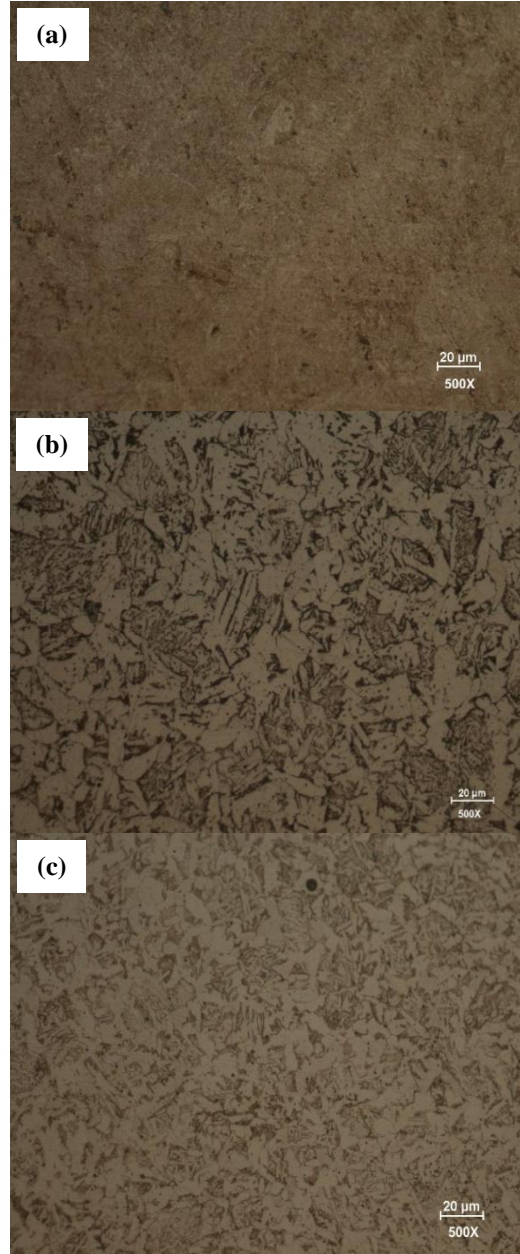


Figure 4. Microstructures of regions at 500 X magnification a) Base metal, b) MIG welded area, c) SMAW welded area

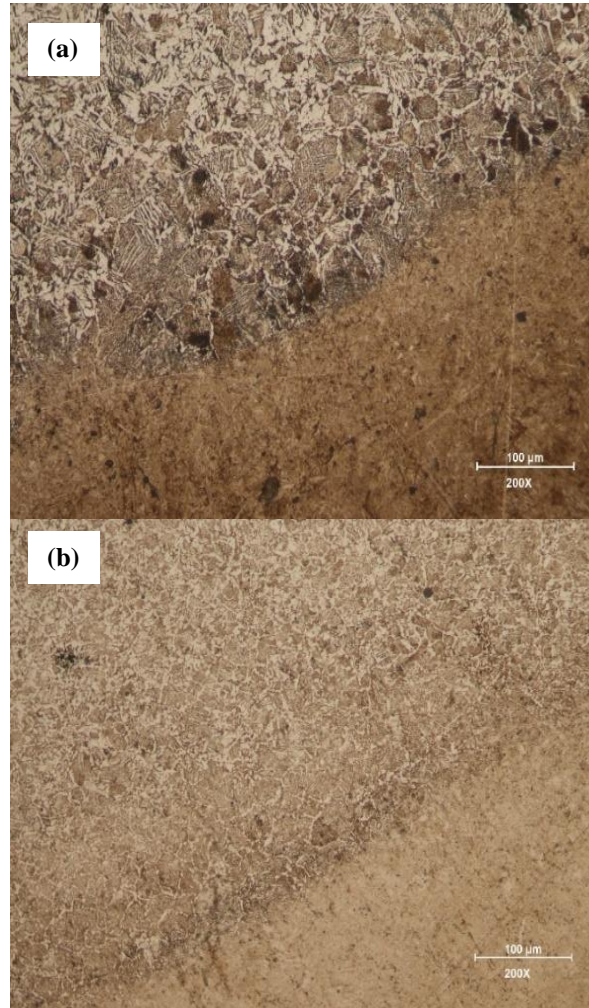


Figure 5. Heat affected zone between base metal and a) MIG welded area, b) SMAW welded area

Hardness is an important factor in controlling the quality of a weldment. Strength/hardness mismatch between various micro-structural regions significantly affects the fracture behavior of a weldment. The Vickers hardness testing machine was used to test the hardness. Representative indentation marks are shown for the base metal, MIG welded and SMAW welded areas in Figure 7. Indentation mark of base metal is smaller than welded areas means that hardness of it higher than the others.

The hardness of base metal, heat affected zone, and welded area were measured starting from one

side of base metal to the other side of base metal by passing welded areas. The starting point (0 mm) and end point (18 mm) are depicted also in Figure 1. The hardness results are plotted in Figure 8. According to graph, the base metal hardness is around 493 Vickers, the heat affected zone hardness is around 300 between base metal and SMAW welded area. The heat affected zone hardness is around 265 between base metal and MIG welded area. Depend on the welding method, the hardness slightly changes from 215 to 173 Vickers for SMAW and MIG welded areas, respectively.

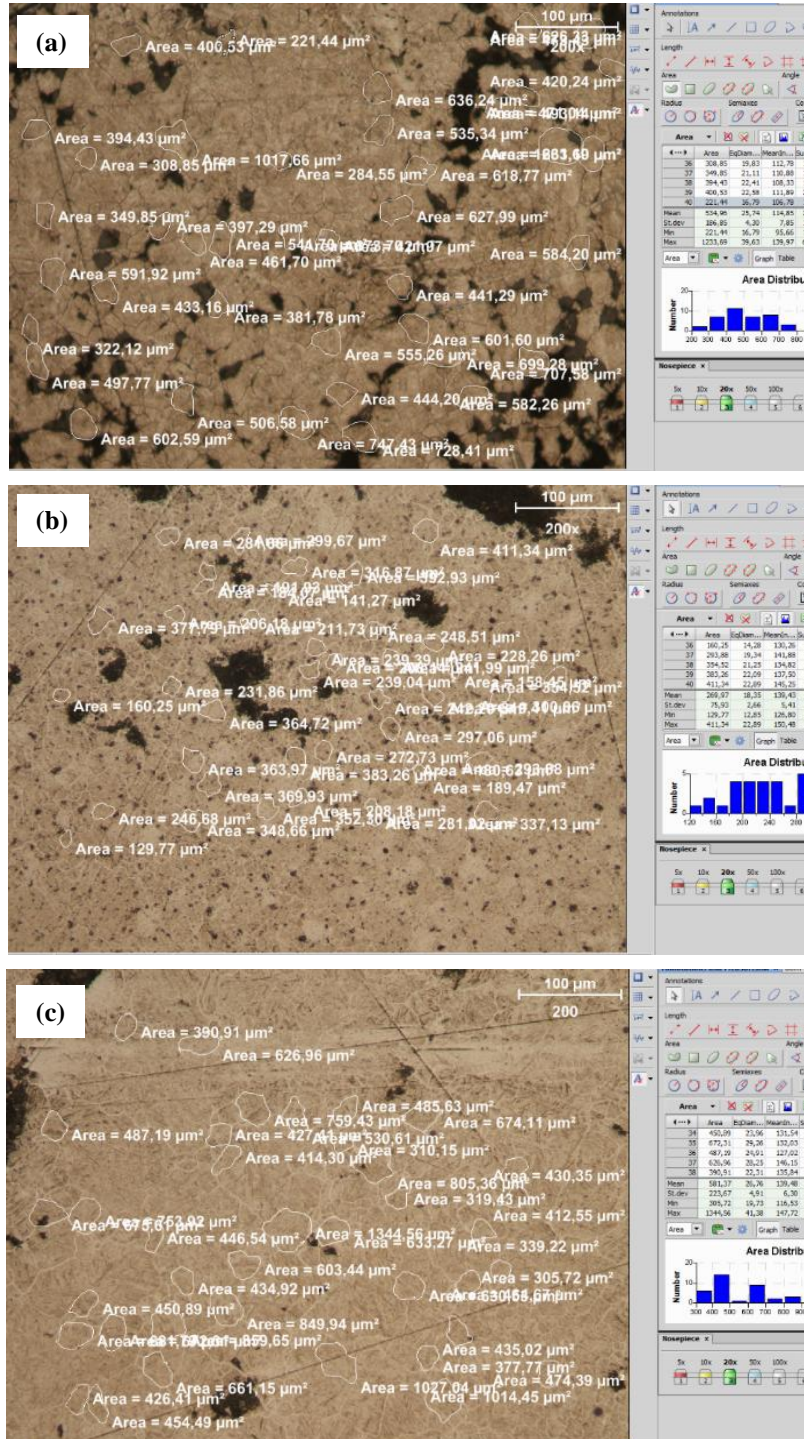


Figure 6. Grain size measurement at 200 X magnification a) Base metal, b) MIG welded area, c) SMAW welded area

Table 3. Grain size measurement results

Material	Grain Size (μm)	Std. Deviation (μm)
Base Metal	25,74	4,30
MIG welded area	18,35	2,66
SMAW welded area	26,76	4,61

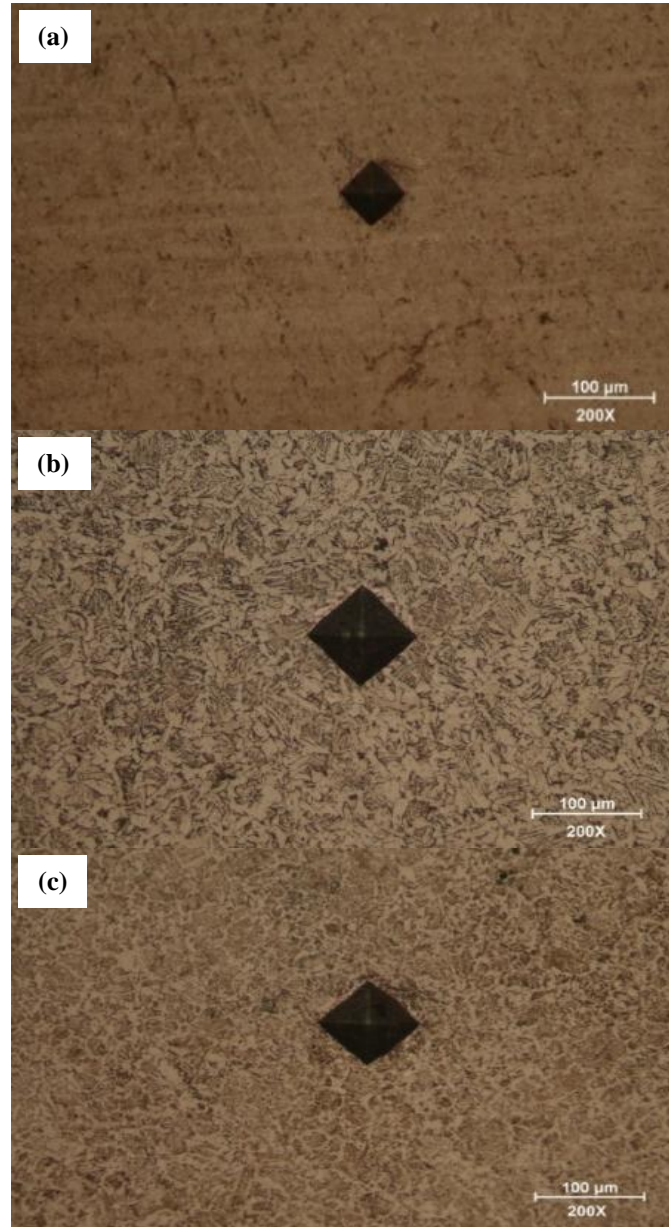


Figure 7. Vickers indentation marks at 200X magnification a) Base metal, b) MIG welded area, c) SMAW welded area

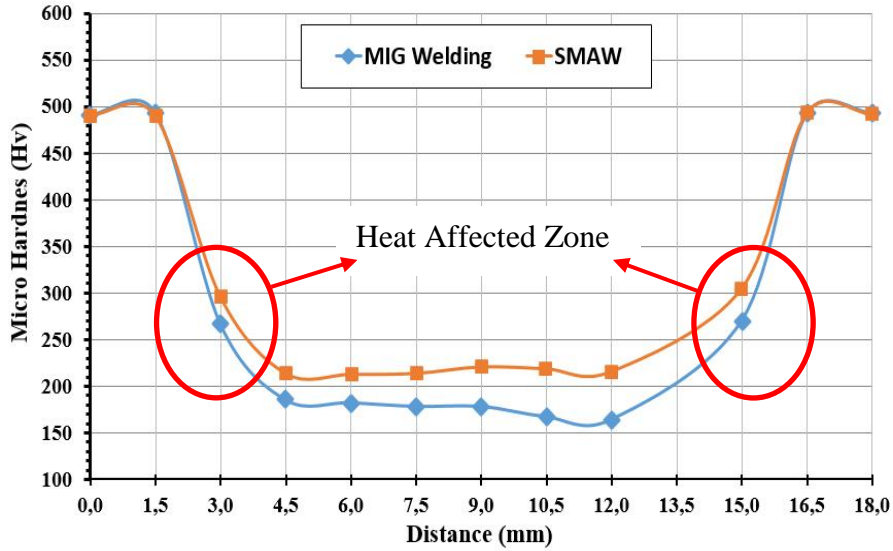


Figure 8. Micro hardness distribution of base metal, SMAW and MIG welded areas

4. CONCLUSION

In this study, 51CrV4 alloy steel bar was rolled to produce round shape at the end of the steel bar rolled. The rolled end part was welded to main body by using MIG and SMAW welding methods. The microstructure and mechanical properties of welded areas were experimentally investigated. Martensitic phase was observed in the base metal, on the other hand ferritic and pearlitic phases were detected in the welded areas. Base metal and SMAW welded areas were measured nearly same grain size values. Welded areas subjected to under compressive residual stress in contrast to base metal. MIG welded area has the highest compressive values. Base material mechanical properties is closed to SWAM welded area but they are higher than MIG welded area. In terms of preferring 51CrV4 for leaf springs, SWAM welding might meet requested specification.

5. REFERENCES

1. Welding Hand Book, 2001. 9th Edition, Welding Science and Technology Vol.1, American Welding Society, Miami.
2. Kou, S., 2002. Welding Metallurgy, Second Edi. Wiley Interscience.
3. Blondeau, R., 2008. Metallurgy and Mechanics of Welding. Wiley.
4. Pathak, A.K., Ansari, M.S., and Khan, M.R., 2014. Experimental Study of Weldability of Austenitic Stainless Steel Using SMAW and MIG Welding, in 3rd International Conference on Welding Technologies and Exhibition, ICWET'14, Manisa-Turkey, pp. 115-125.
5. Gürsel A., and Kurt, A., 2014. Radiation Exposures From SMAW Applications on SS304 And A36 Materials, in 3rd International Conference on Welding Technologies and Exhibition ICWET'14, Manisa-Turkey, pp.84-93.
6. Determination Of Residual Stresses By X-Ray Diffraction, <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/>.
7. SSAB Swedish Steel. Ltd., Domex Hardenable Steel - High Carbon Steel Hot Rolled Sheet For Quenching and Tempering.
8. Salzgitter Flachstahl GmbH, 51CrV4 Quenched and Tempered Steels, http://www.salzgitter-flachstahl.de/warmgewalzte_produkte/eng/51crv4.pdf

Cam Elyaf Kompozitlerin Alüminyum Plaka ile Yapıştırılması ve Yapışmanın Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

M. Veysel ÇAKIR^{*1}, Didem KINAY²

¹Gaziantep Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Gaziantep.

²Gaziantep Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Gaziantep.

Geliş tarihi: 12.01.2016

Kabul tarihi: 04.04.2016

Özet

Özellikle havacılık endüstrisinde enerji verimliliğini artırmak ve ağırlığı azaltmak için kompozit malzemelerin kullanımı giderek artmıştır. Ancak kompozit malzemelerin örneğin cam elyaf bazlı kompozitlerin elektrik iletkenliğinin oldukça az olması, uçak üzerine yıldırım düşmesi ve sürtünme etkisi ile oluşan statik elektrik akımının uçak yüzeyinden taşınmamasına ve uçağa zarar vermesine neden olmaktadır. Bu nedenle genellikle kompozit tabakanın üzerine veya değişik katmanlarına alüminyum tabaka yapıştırılarak elektrik iletkenliği sağlanmaya çalışılmaktadır. Farklı tür malzemelerin yapıştırılma tekniği, malzemelerin mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre değiştiğinden uygun yapıştırıcının tespit edilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, cam elyaf kompozit malzemelerin alüminyum plaka ile yapışmasında kullanılan farklı yapıştırıcıların yapışma mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum-Kompozit yapıştırma, Cam elyaf kompozit

Adhesive Bonding of Aluminium Plate to Glass Fibre Composites and Investigation of its Mechanical Properties

Abstract

Especially in the aviation industry, using of composite materials has gradually increased to improve the energy efficiency and to reduce the weight. However, since the composite materials such as glass fiber based composites have very few of the electrical conductivity, it causes lightning strikes on aircraft, non-moving of static electricity (due to the friction effect) over the surface of aircraft and cause damage on aircraft. Therefore, it is usually tried to be glued aluminium layer to different layers of the composite layers for obtaining electrical conductivity. Bonding technique of dissimilar materials is changing according to mechanical, chemical and physical properties of the materials. Therefore, determining of the proper adhesive is important. In this paper, the effect of different adhesives, which are used for bonding of glass fibre composite with aluminium plates, on the mechanical properties have been experimentally investigated.

Keywords: Aluminium-Composite bonding, Glass fibre composite

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : M. Veysel ÇAKIR, Gaziantep Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Gaziantep. cakir@gantep.edu.tr

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler havacılık ve otomotiv endüstrisinde yaygın olmasının yanı sıra inşaat ve gemi mühendisliği alanlarında da kullanılmaktadır. Birçok uygulamada tek bir gövde halinde bütün yapıyı tamamlamak neredeyse imkânsızdır. Bu bağlamda, farklı parçaların birleştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Kompozit ve metal malzemelerin birleştirilmesinde yaygın olarak cıvata veya perçin kullanılır. Bunların montaj ve demontaj işlemleri oldukça kolay yapılabilmektedir. Fakat bu tür uygulamalar kompozit malzemeler üzerinde uygulandığı zaman birleştirme noktalarındaki deliklerde mikro veya makro tahribatlar oluşabilmektedir. Dolayısıyla yapıştırma bağlantılarının cıvata ve perçine göre avantajları bulunmakta ve bu birleştirmelere alternatif olarak kullanımları artmaktadır.

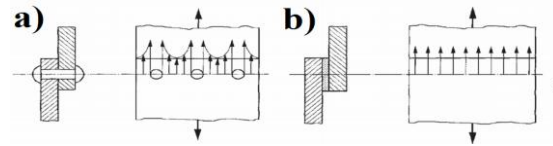
Yapıştırıcılar basit anlamda, doğal veya sentetik olmak üzere yüzey ya da kimyasal bağları kullanarak malzemeleri yapıştıran akışkan veya yarı akışkan sıvılardır. Yapışma işlemi ise temelde iki yüzey arasında atomik ve moleküler etkileşim sonucu meydana gelir [1].

Kullanılan yapıştırıcı tipine, bağlantı tasarımına, uygulama metoduna ve son sistemin amaçlanan işlevine bağlı olarak yapıştırıcı ile birleştirme bir veya daha fazla avantajlar sunabilir. Bunlar;

- Bileşim, genleşme katsayısı, elastik modülü ve kalınlık gibi özellikler bakımından farklılık arz eden değişik tip malzemeleri birleştirme kabiliyetleri
- Cıvata, perçin gibi bağlama elemanlarınca sebep olunan düzensiz yüzey hatlarının yapıştırıcı ile birleştirme durumunda ortadan kaldırılarak son sistemin görüntüsünde daimi bir iyileşme sağlanabilir
- Cıvata, perçin gibi bağlama elemanları ve nokta kaynağından dolayı küçük temas alanlarında ortaya çıkan küçük gerilme yığılmalarının azalması ile tüm yapışma alanı

boyunca daha düzenli bir gerilme dağılımı elde edilebilir

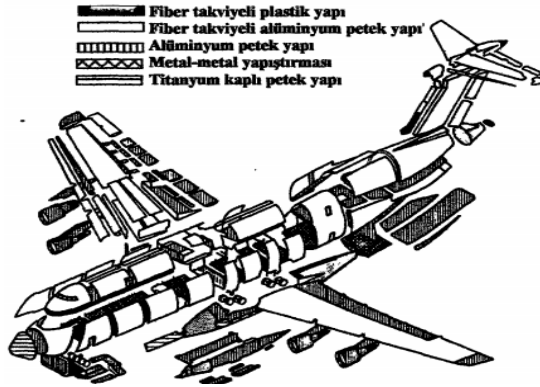
- Fretting (Birbiri üzerinde çalışan parçaların mikro hareketi sonucu oluşur) korozyonunu önler
- Farklı iki malzemenin birleşmesi sonucu oluşabilecek galvaniz korozyonu önler
- Gerilmeleri absorbe edebilme, uniform dağılılabile veya iletebilmeleri sayesinde birçok yapıştırıcının yapışma bağları dinamik darbelerle karşı daha yüksek dayanım ve gerilip uzama kabiliyeti sağlar. Bu sayede yorulma dayanımı iyileşir ve titreşimlere direnebilir ve esneklik özellikleri artar (Şekil 1)
- Daha hassas rijit bağlantılar elde edilebilir
- Konstrüksiyonel bir bütünlük düşünüldüğünde kaynaklı ve perçinli bağlantılara nazaran hafiflik sağlar
- Küçük kuvvet ve momentlerin üretilmesinde talaşlı imalat ücretlerini azaltır, daha az malzeme kullanılabilir ve daha yüksek toleranslarla çalışılabilir [2, 3].



Şekil 1. Perçin (a) ve yapıştırma bağlantısında, (b) kuvvet iletimi [2]

Yapıştırma bağlantılarının bu avantajları ile birlikte, kolay taşınabilirlik, az yer kaplama ve birbirinden farklı bileşenleri bir araya getirme gibi faydaları da bulunmaktadır. Yapıştırma işlemlerinin kolayca otomatik hale getirilebilir olması bu metotla birleştirme yöntemlerinin uygun ve düşük maliyetli olmasını da sağlar. Geleneksel birleştirme yöntemlerine göre uygulamadaki kolaylığı, düşük maliyeti ve hafifliğinden dolayı kompozit malzemelerin birleştirilmesinde yaygınlaşmıştır. Ayrıca gerilme yığılmalarını giderdiği (Şekil 1), korozyona karşı dayanıklı ve yorulma ömrü uzun olduğu için kompozit malzemelerde meydana gelen hasarın tamirinde tercih edilmektedir. Bu nedenle, otomotiv ve özellikle havacılık sektöründe sıkça kullanılmaktadır [4, 5, 6]. Uçak konstrüksiyonların da kullanılan ve yapıştırıcı kullanılarak imal edilen

yapılar Şekil 2'de görülmektedir. Uçağın yan duvarları ve kaplamada kullanılan petek dokulu yapılar genellikle alüminyum olan plakalar ile yapıştırıcılar aracılığıyla birleştirilmektedir [7].



Şekil 2. Lockheed C-5A uçağında yapıştırıcıların kullanıldığı alanlar [8]

Yapıştırıcılar ile ilgili yapılan çalışmalarda, Adams ve Comyn [9] yapıştırma bağlantılarının önemini vurgulayarak, diğer birleştirme tekniklerine bir alternatif olduğu, özellikle kompozit malzemelerin yapıştırılmasında, uygun yüzey işlemi ve uygun yapıştırıcı seçiminin yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Lees [10], yapıştırma işleminde dikkat edilecek hususların; yapıştırıcının kimyası, yapıştırıcı kullanmanın avantaj ve dezavantajları, bindirme bağlantılarındaki bindirme uzunluğu, yapıştırılan malzeme kalınlığının etkisi ve uygun yüklenme şekillerinin belirlenmesi olduğunu belirtmiş ve en çok kullanılan mühendislik malzemelerinin yüzey hazırlama metodları üzerinde durmuştur.

Kinloch [11], yapıştırıcıların kullanımındaki gelişmeleri göstermiş, otomotiv ve uçak sanayisinde kompozit malzeme yapımında kullanımları üzerinde durmuştur. Yapıştırıcıların kullanma nedenleri ve kullanımlarını kısıtlayan faktörler ve konstrüktif olarak dikkat edilmesi gereken kurallar, adhezyon, kohezyon ve curing (sertleşme) olaylarını açıklamaya çalışmıştır. Ayrıca yine Kinloch [12] tarafından hazırlanan "Adhezyon ve Yapıştırıcılar" adlı yayında adhezyon olayının açıklanmasında kullanılan

teoriler incelenilerek, adhezyon olayını tek bir teori ile açıklamanın yeterli olmadığı sonucuna varılmış, teorilerden birkaçının bir araya gelmesi ile açıklanabileceğini belirtilmiştir. Yapışma yüzeyinin hazırlanması ve yapıştırıcıların sertleşme mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiş ve yapışma bağlantılarının mekanik davranışları ve kırılma mekaniği hakkında açıklamalar yapılmıştır.

Bunların yanı sıra, Gediktaş [13] yapıştırma bağlantısının iyi olabilmesi için yüzeylerin uygun şekilde hazırlanması gerektiğini, bir yapıştırma bağlantısında adhezyon kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün kuvvet iletiminde en etkili olan faktörler olduğunu belirtmiştir. Yapıştırıcının pürüzler arasına girip sertleşmesi ile bir şekil bağı meydana geldiği bu sebepten yapıştırılacak olan yüzeylerin çok düzgün olmaması gerektiği ve yüzeylerin pürüzlendirilmesi gerektiği bu işlemin de zımpara ile yapılabileceği vurgulanmıştır ve yüzeyin zımpara izleri çeşitli yönlerde olacak şekilde hazırlanmasının gereği üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada, cam elyaf kompozit malzemelerin yeni nesil yapıştırıcılar (Araldite 2014-1 ve Carbonkleber CG-49) kullanılarak, elektrik iletkenliği yüksek olan dövme alüminyum alaşımı 1050-A plaka ile cam elyaf kompozitin tek bindirmeli yapıştırılarak, yapışma mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalarda cam elyaf kompozit ve alüminyum plakalardan belirlenen ölçülere göre numuneler çıkarılmış, numune yüzeyleri zımparalanarak pürüzlülük uygun hale getirilmiş ve yüzeyler temizlenmiş, yapıştırma işlemi uygulanmış, yapıştırma ile birleştirilmiş numuneler çekme deneyine tabi tutulmuştur.

2.1. Malzeme Özellikleri

Deneysel çalışmada elektrik iletkenliği yüksek (61% IACS) 1050 Alüminyum (0,4Fe, 0,25Si, 0,07Zn, 0,05Ti, 0,05Mg, 0,05Mn, 0,05Cu) ve cam elyaf epoksi reçine matris kompozit plakalar sırasıyla 400×200×2mm ve 350×150×2mm

ölçülerinde ticari olarak satın alınmıştır [14, 15]. Yapıştırma yüzeylerinin hazırlığı için Nikon marka 400-C silikon karbit zımpara, yüzey temizliği için ise saf aseton temin edilmiştir. Yapıştırma işlemi için Carbonkleber CG-49 ve Araldite 2014-1 isimli ticari epoksi türü yapıştırıcılar kullanılmıştır.

2.2. Numune Hazırlığı

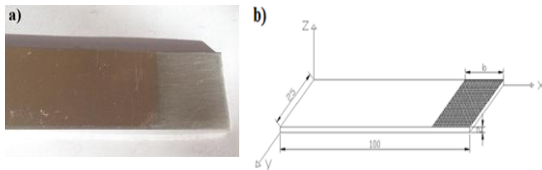
Alüminyum ve cam elyaf kompozit plakalar giyotin ile kesilerek 100x25x2 mm boyutlarına getirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Alüminyum ve cam elyaf kompozit numuneler

2.3. Metot

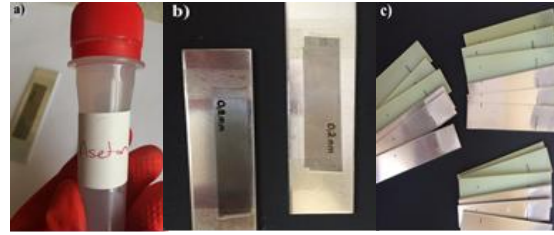
Yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcı alan yüzeylerinin çok parlak olmaması gerektiği, çok parlak olan yerlerde pürüzlülüğün kama etkisinin ortadan kalktığı ve yüzey pürüzlülüğünün $Ra=0,8-3,2$ μm aralığında olması gerektiği belirlenmiştir [3]. Bu bilgiler ışığında, Şekil 4-b'de gösterilmiş olan yapıştırıcının uygulanacağı bölge (b =bindirme uzunluğu), farklı bindirme (15, 20, 25, 30 mm) uzunluklarına göre giyotin ile kesildikten sonra, 400 Grid zımpara ile zımparalanıp yapıştırılmaya uygun hale getirilmiştir (Şekil 4-a).



Şekil 4. a) Alüminyum plakadaki zımparalanmış bölge, b) Plaka boyutu (100x25x2 mm)

Numunelerin yüzeyleri saf aseton yardımı ile temizlenip yağdan ve kirden arındırılmış (Şekil 5-a), yapıştırmanın uygulanması için

0,2 mm kalınlığında basit bir levha kullanılmıştır (Şekil 5-b). Yapıştırıcıların sertleştirici ve epoksi reçineleri 1/2 oranda karıştırılarak yapıştırmaya hazırlanmıştır. Yapıştırıcı tabakası 0,2 mm kalınlığında olacak şekilde, farklı bindirme uzunluklarına göre numunelere uygulanmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. a) Yüzey temizliğinde kullanılan aseton, b) Yapıştırma kalınlığını ayarlamak için kullanılan 0.2 mm levha, c) Ölçülendirilmiş ve uygulamaya hazır numuneler



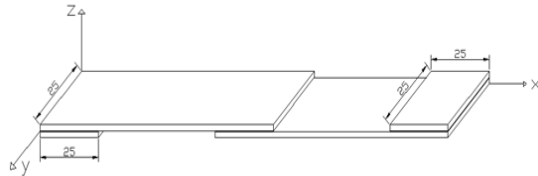
Şekil 6. Yapıştırıcı uygulama

Çizelge 1'de mekanik özellikleri verilen yapıştırıcılardan Carbonkleber CG-49 uygulanan numuneler yedi günlük, Araldite 2014-1 uygulanan numuneler bir günlük kuruma süreci oda sıcaklığında (23C°) tamamlanmıştır.

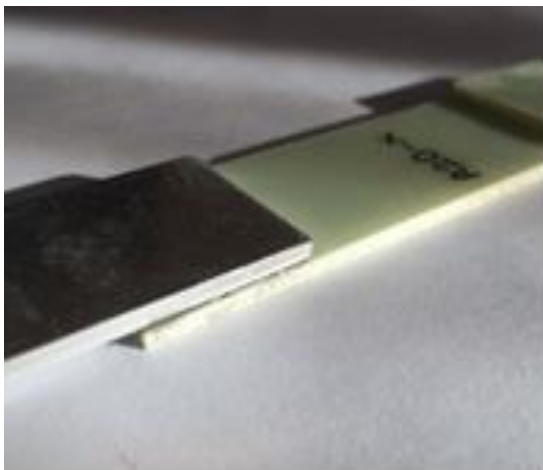
Çizelge 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan yapıştırıcıların mekanik özellikleri

Özellikler	Araldite 2014	CG-49 Carbonkleber
Sertleştirici-Epoksi Reçine oranı	1/2	1/2
Renk	Koyu Gri	Siyah
Kuruma Süresi (23 C°)	40 dakika	7 gün
Viskozite	100 MPa.s	300 MPa.s
Gerilme Dayanımları	19 MPa	26 MPa
Kesme Modülü	4 MPa	5 MPa

Sonrasında numuneler, burkulma kuvvetlerini minimize etmek amacıyla çekme deneyi yapılacak cihazın kavrama çeneleri kısmı için her iki ucundan 25×25 mm ölçülerinde olan cam elyaf kompozitler ile yapıştırılarak deney mekanizmasına hazır hale getirilmiştir (Şekil 7-8).



Şekil 7. 25×25 mm ölçülerindeki kompozitlerin numuneler üzerinde gösterilmesi



Şekil 8. Çekme deneyine hazır numune

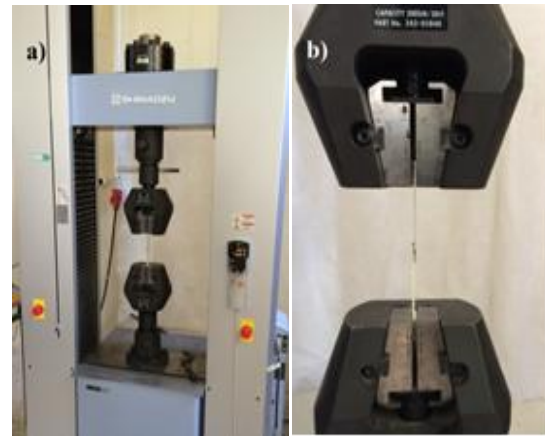
Numune isimleri; yapıştırıcı ismi ve bindirme mesafelerine göre belirlenmiştir. Carbonkleber CG-49 ve Araldite 2014-1 yapıştırıcıları ile 15, 20, 25, 30 mm bindirme uzunluklarına göre üçer adet olarak toplam 24 adet numune hazırlanmıştır (Şekil 9). Numunelerin kodlanması Çizelge 2'de verilmiştir

Çizelge 2. Numunelerin bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı tipine göre kodlandırılması

Numune Kodu	Bindirme Uzunluğu (mm)	Yapıştırıcı Türü
C15	15	Carbonkleber CG-49
C20	20	Carbonkleber CG-49
C25	25	Carbonkleber CG-49
C30	30	Carbonkleber CG-49
A15	15	Araldite 2014-1
A20	20	Araldite 2014-1
A25	25	Araldite 2014-1
A30	30	Araldite 2014-1

2.4. Çekme Deneyleri

Numuneler ASTM D 3039 standartlarında 300 kN kapasiteli Shimadzu AG-X (Şekil 10-a) universal test makinesi ile eksenel çekme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler, 1 mm/dak ilerleme hızında test edilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilip, sonuçlar için ortalama değerler alınmıştır.



Şekil 10. (a) Shimadzu AG-X çekme test cihazı, (b) Örnek bağlama şekli



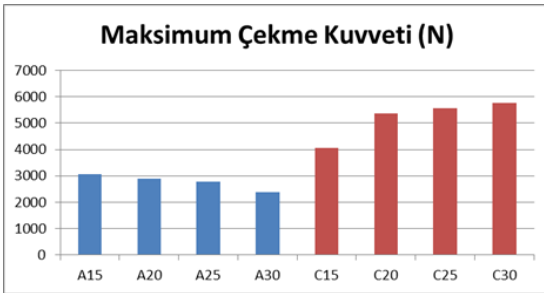
Şekil 9. Farklı bindirme uzunluklarında yapıştırılmış numuneler

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Yapıştırma ile birleştirilen numuneler çekme kuvveti uygulandıktan sonra, maksimum çekme kuvvetine göre kesme mukavemeti, denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{F}{w*b} \quad (1)$$

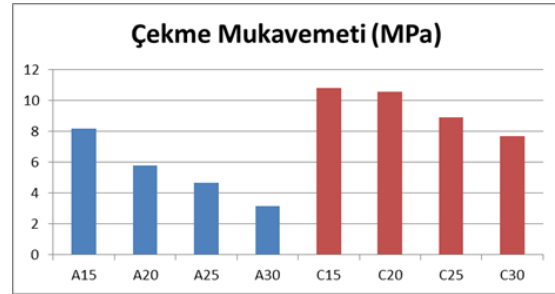
Denklemdaki F kopma yükünü, w yapışma genişliğini, b ise bindirme uzunluğunu göstermektedir. Uygulanan mekanik testlerin sonuçları Çizelge 3'te ve Şekil 11-12'de görülmektedir.



Şekil 11. Çekme testi sonucu numunelere uygulanan yük değerleri grafiği

Araldite 2014-1 isimli yapıştırıcı ile yapılan deneylerde bindirme mesafesi 15mm olan numune değerlerinin ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda daha fazla yüke dayandıkları kaydedilip, bindirme mesafesi artan numunelerde bu oranın azaldığı gözlemlenmektedir (Şekil 11). Araldite 2014-1 yapıştırıcıdaki 15 mm'lik

bindirme uzunluğundaki maksimum çekme kuvveti 20 mm, 25 mm ve 30 mm bindirme mesafesine göre sırasıyla %6, %10 ve %29 oranlarında yüksek görülmektedir. Çekme mukavemetleri (Şekil 12) ise 15 mm'lik bindirme uzunluğunun diğer bindirme uzunluklarına göre %42, %83 ve %159 oranlarında yüksek olduğu elde edilmiştir.



Şekil 12. Yapıştırılmış numunelerin kesme mukavemetlerinin karşılaştırılması

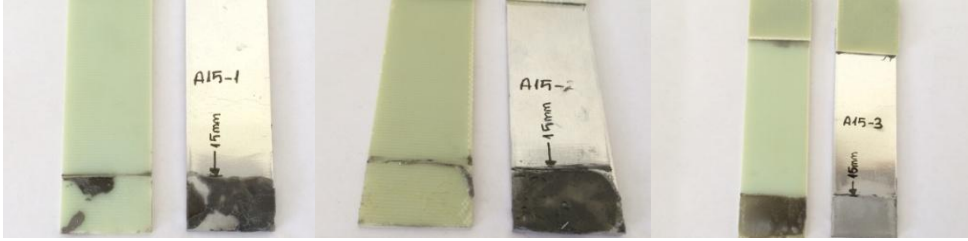
Carbonkleber CG-49 isimli yapıştırıcı ile yapıştırılan C serisi numunelerin bindirme mesafesi arttıkça daha fazla yüke dayandıkları görülmektedir. Bu artış kademeli olarak yükselmekte ve en fazla uygulanan yük C30 serisi numunelerde gözlenmektedir. Buna göre maksimum C30 numunesindeki maksimum çekme kuvveti, C25, C20 ve C15 numunelerdeki maksimum çekme kuvvetine göre sırasıyla %3, %7 ve %42 artış göstermektedir. Ancak çekme mukavemeti C15 numunesinde en yüksek olmakla birlikte C20, C25 ve C30 numunelerine göre sırasıyla %0,5, %21 ve %40 oranlarında yüksek olduğu görülmektedir. İki farklı yapıştırıcının maksimum çekme kuvvetleri karşılaştırıldığında

C30 serisi numunelerdeki maksimum kuvvet A15 serisi numunelerdeki kuvvetten %87 fazla olduğu, çekme mukavemetleri kıyaslandığında ise, C15 numunedeki çekme mukavemeti A15 numunedeki çekme mukavemetine göre %32 fazla olduğu tespit edilmiştir. Yapıştırma alanının, bağlantı mukavemeti üzerine etkisini araştırmak için yapılan deneysel bir çalışmada [16] yapıştırma alanı artırıldığında bağlantının Şekil 12'de görüldüğü gibi çekme mukavemetinin önemli bir oranda azaldığı gözlemlenmiştir, bu olay

deformasyon direncinin alan büyüdükçe azalmasından kaynaklanmaktadır. Buna göre Şekil 12'de görüldüğü üzere A15 ve C15 numunelerinde maksimum çekme gerilmesi elde edilmiştir. C20-1, C30-1, C30-3 numuneleri deneyinde uygulanan çekme kuvvetleri 5438,63 N, 5712,46 N, 5760,91 N'da iken kopmanın yapıştırıcıdan değil, numuneden (alüminyumdan) olduğu görülmüştür (Şekil 13-20). Dolayısıyla, bu test için malzemeler arası yapıştırma mukavemetinin numune mukavemetinden yüksek olduğu da söylenebilir.

Çizelge 3. Çekme testi sonuçları

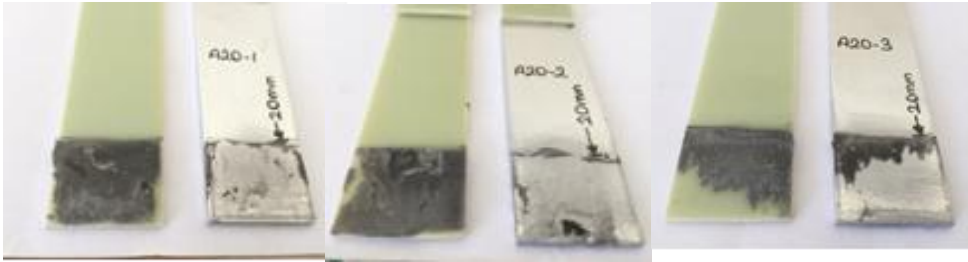
Dene y No	Yapıştırıcı	Numune	Maksimum Çekme Kuvveti (N)	Maksimum Deformasyon (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)
1	Araldite	A15-1	3300,01	1,82	8,80
2	Araldite	A15-2	3001,55	1,76	8,00
3	Araldite	A15-3	2923,96	1,55	7,80
4	Araldite	A20-1	2751,02	1,63	5,50
5	Araldite	A20-2	3065,35	1,80	6,13
6	Araldite	A20-3	2851,55	1,45	5,70
7	Araldite	A25-1	2701,40	1,50	4,32
8	Araldite	A25-2	2854,44	1,54	4,57
9	Araldite	A25-3	2824,02	1,32	4,52
10	Araldite	A30-1	2511,84	1,27	3,35
11	Araldite	A30-2	2394,30	1,70	3,19
12	Araldite	A30-3	2202,54	1,34	2,94
13	Carbonkleber CG49	C15-1	4032,37	2,83	10,75
14	Carbonkleber CG50	C15-2	4115,95	3,86	10,98
15	Carbonkleber CG51	C15-3	3999,09	2,29	10,66
16	Carbonkleber CG52	C20-1	5438,63	3,42	10,88
17	Carbonkleber CG53	C20-2	5462,84	3,23	10,93
18	Carbonkleber CG54	C20-3	5216,85	1,64	10,43
19	Carbonkleber CG55	C25-1	5478,38	1,46	8,77
20	Carbonkleber CG56	C25-2	5650,73	2,89	9,04
21	Carbonkleber CG56	C25-3	5549,55	3,56	8,88
22	Carbonkleber CG58	C30-1	5712,46	4,42	7,62
23	Carbonkleber CG59	C30-2	5813,65	4,58	7,75
24	Carbonkleber CG60	C30-3	5760,91	4,85	7,68



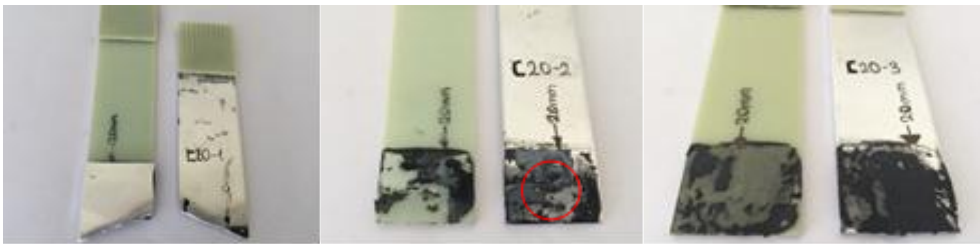
Şekil 13. Kesme deneyi sonrası A15 numuneleri



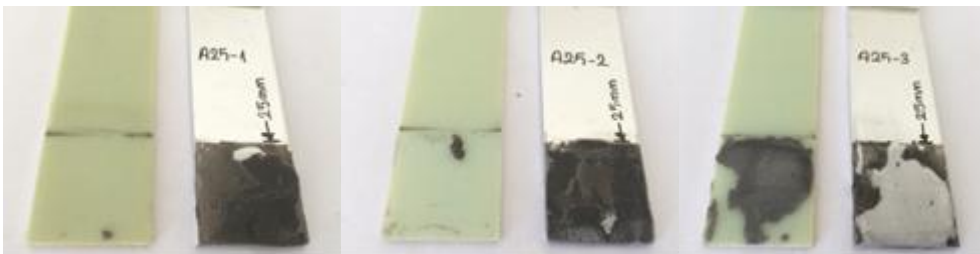
Şekil 14. Kesme deneyi sonrası C15 numuneleri



Şekil 15. Kesme deneyi sonrası A20 numuneleri



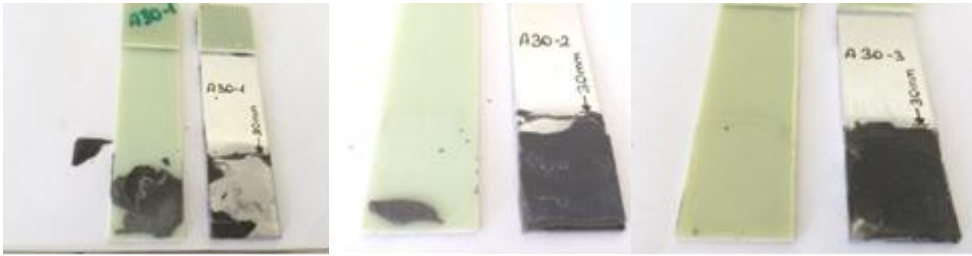
Şekil 16. Kesme deneyi sonrası C20 numuneleri



Şekil 17. Kesme deneyi sonrası A25 numuneleri



Şekil 18. Kesme deneyi sonrası C25 numuneleri



Şekil 19. Kesme deneyi sonrası A30 numuneleri



Şekil 20. Kesme deneyi sonrası C30 numuneleri

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada alüminyum ve cam elyaf plaka plakaların yeni nesil yapıştırıcılar ile yapıştırılabilme kabiliyetlerinin incelenmesi için tek bindirmeli yapıştırma metodu uygulanmıştır. Deneylerde tutarlılığın gözlenebilmesi için her bindirme mesafesinde üç numune ile çalışılmıştır. Hazırlanan tüm numunelere çekme deneyi uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre;

- Alüminyum ve cam elyaf kompozitin yapışma dayanımlarının daha yüksek olabilmesi için yapıştırma öncesi yüzeylerinin yeterli bir biçimde hazırlanması gerekmektedir.

- Numunelerin hasar sonrası fotoğraflarında yapışma yüzeyleri incelendiğinde Araldite 2014-1 ile yapıştırılan plakalarda tam yapıştırma olmadığı, yapıştırıcının neredeyse tamamının tek bir yüzeyde kaldığı görülmektedir. Karbonkleber CG-49'un ise numunelerde her iki yüzeye yapıştığı, numunelerin çoğunda kompozit yüzeyden parçalar kopardığı görülmüştür.
- Araldite 2014-1 isimli yapıştırıcı ile yapılan deneylerde 15mm bindirme mesafeli olan numunelerin daha fazla yüke dayandığı ve bindirme mesafesi arttıkça bu oranın azaldığı gözlemlenmiştir. Yine bu yapıştırıcının uygulandığı 15mm bindirme mesafeli numunelerde maksimum kesme mukavemeti görülürken, bindirme mesafesi arttıkça bu

oranın %42, %89 ve %159 oranlarında azaldığı gözlemlenmiştir.

- Maksimum kuvvet, Araldite 2014-1 yapıştırıcısının uygulandığı 15 mm bindirme mesafeli numunelerde görülürken, Karbonkleber CG-49 isimli yapıştırıcının uygulandığı 30 mm bindirme mesafeli numunelerde görülmüştür.
- Karbonkleber CG-49 isimli yapıştırıcı ile hazırlanan numunelerin bindirme mesafesi arttıkça daha fazla yüke dayandıkları, en yüksek yük dayanımının C-30 serisi numunelerde olduğu görülmüştür. Çekme mukavemeti ise en yüksek C15 serisinde gözlemlenirken, çekme mukavemetinin bindirme mesafesi arttıkça %5, %21, %40 oranlarında arttığı gözlemlenmiştir.
- Yapıştırıcıların maksimum çekme kuvvetleri karşılaştırıldığında Karbonkleber CG-49 uygulanan C30 serisindeki maksimum kuvvetin, Araldite 2014-1 uygulanan A15 serisindeki maksimum kuvvete oranla %87 fazla olduğu gözlemlenmiştir. Yapıştırıcıların kayma mukavemetleri kıyaslandığında ise C15 serisindeki kayma mukavemetlerinin A15 serisindeki kayma mukavemetlerine oranla %32 fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- Yapıştırılan bazı numunelerdeki yapıştırma mukavemetinin numune mukavemetinden yüksek olduğu görülmüştür.
- Araldite 2014-1 ile Karbonkleber CG-49 tipi yapıştırıcıların kıyaslanmasında, Karbonkleber CG-49 tipi epoksi yapıştırıcı bağlantılarının daha yüksek mukavemetli olduğu belirlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Pukanszky, B., Fekete, E., 1999. Advanced polymer science 139 pp.53-109.
2. Loctite Corporation, 1995. Loctite Worldwide Design Handbook 1996/1997 Edition, pp. 463.
3. Loctite Corporation: Loctite Worldwide Design Handbook Second Edition. 1998. on CD.
4. Kinloch, A.J., Little M.S.G., Watts J.F., 2000. The role of the interphase in the environmental failure of adhesive joints. Acta Materiala. 48 (18-19): 4543-4553.
5. Yarrington, P., Zhang, J., Collier, C., Bednarczyk, B.A., 2005. Failure analysis of adhesively bonded composite joints. 46th AIAA/ ASME/ ASCE/ AHS/ ASC Structures, Structural Dynamics & Materials Conference, Austin-Texas.
6. Papanikos, P., Tserpes, K.I., Pantelakis, S., 2007. Innovation and progression of composite patch debonding in adhesively repaired cracked metallic sheets. Composite structures. 81(2):303-311.
7. Wahab, M.M.A., 2012. Fatigue in Adhesively Bonded Joints. ISRN Materials Science. pp.5-16.
8. Engineered Materials Handbook, 1990. Adhesives and Sealants. Vol. 3. ASM International, USA.
9. Adams, R.D., Camyn, J., 2000. Joining Using Adhesives. Assembly Automation. 20(2):109-117.
10. Lees, W.A., 1989. Adhesives and the Engineer. National Starch & Chemical-PermaBond Division Mechanical Engineering Publications, Vol. 1. London.
11. Kinloch, A.J., 1997. Adhesives in Engineering, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part G: Journal of Aerospace Engineering. 211:307-335.
12. Kinloch, A.J., 1986. Adhesion and Adhesives Science and Technology. Vol. 1, Chapman and Hall, London.
13. Gediktaş, M., 1984. Bağlama Elemanları - Konstrüksiyon ve Hesap. Vol. 1, İTÜ Matbaası, İstanbul.
14. Conrad Electronic International GmbH&Co. KG, Aluminium Plate, <https://www.conrad.de/de/aluminium-platte-al-995-400-mm-200-mm-2-mm-229825.html> , [25/10/2016].
15. CG TEC GmbH, GFRP Epoxy Panel, <http://www.carbonscout-shop.de/GFRPEpoxy-panel-350-x-150-x-2-mm.html>, [25/10/2016].
16. Pfeiffer, P., Shakal, M., 1988. Effect of Bonded Metal Substrate Area and its Thickness on the strength and Durability of Adhesively Bonded Joints. Journal of Adhesion Science Technology. 12(3): 339-348.

Elektrofüzyon Kaynaklı Polietilen 80 Kalite Doğalgaz Borularının Tokluğu

Asghar NAJAFIĞHAREHTAPEH^{*1}, Ramazan KAÇAR²

¹Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya

²Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük

Geliş tarihi: 13.01.2016

Kabul tarihi:30.04.2016

Özet

Farklı standartlarda polietilen boruların elektrofüzyon kaynaklı birleştirmeleri -5°C ile +30°C sıcaklık aralığında yapılması önermektedir. Ancak iklim şartları düşünüldüğünde özellikle soğuk ülkelerde ve acil durumlarda belirtilenden daha düşük çevre sıcaklığında kaynak gerçekleştirildiğinde birleştirmenin tokluğu üzerinde detaylı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu amaçla orta yoğunluklu polietilen (PE80) borular elektrofüzyon kaynak yöntemi ile oda sıcaklığı, 0°C ve -30°C sıcaklıkta temin edildiği şekliyle birleştirilmiştir. Birleştirmelere izod darbe deneyi testi uygulanmış ve kırık yüzey incelemesi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak birleştirmelerin darbe dayanımını birleştirme çevre sıcaklığından etkilendiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Orta yoğunluklu polietilen, Elektrofüzyon kaynağı, Çevre sıcaklığı, Tokluk

The Toughness of Electrofusion Welded PE 80 Quality Natural Gas Pipes

Abstract

Standards used in electrofusion welding of polyethylene(PE) pipes, recommends to be carried out at the temperature range between -5°C and +30°C. However, when climatic conditions considered especially in cold countries and emergency situations when the welding process performed at lower ambient temperatures than specified; we need a detailed study about toughness of the weldments. For this purpose, medium density (PE80) pipes were joined with electrofusion welding method at the various environment temperatures (room temperature, 0°C and -30°C) as recieved. The impact resistance of weldments were investigated by Izod impact test and fracture surface inspection was carried out. As a result, the weldments impact resistance was determined to be affected by the ambient temperature.

Keywords: Medium density polyethylene, Electrofusion welding, Ambient temperatures, Toughness

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Asghar NAJAFIĞHAREHTAPEH, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya. najafi.asghar@yahoo.com

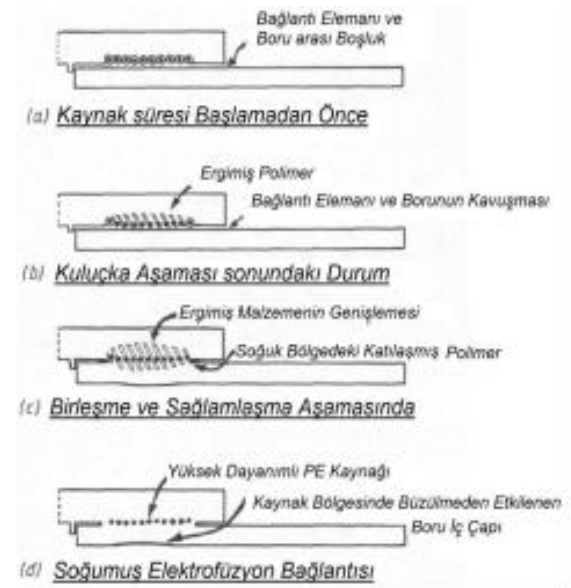
1. GİRİŞ

Termoplastikler içerisinde polietilenler (PE) ekonomikliği, iyi mekanik ve korozyon özellikleri sebebiyle ilgi çekici malzemelerdir [1-4]. Dış ortam uygulamaları için oldukça iyi potansiyele sahipler. Temelini hidrokarbonların oluşturduğu polietilenler etilen moleküllerinin molekül zincirleri şeklinde bağlanmasıyla oluşan plastik malzemelerdir [2,4]. Yapısal olarak kısmi kristal malzeme sınıfında yer alırlar. Yapıdaki kristalin miktarı, moleküllerin özgül ağırlığına ve yönlendirmesine bağlı olarak değişir [5]. Kristal yapı; molekül zincirlerinin bir araya gelerek yönlendirmesiyle lamellerden ve lamellerinde bir araya gelerek oluşturduğu "spherulite"lerden meydana gelir [6-8]. Kristal miktarı malzemenin dayanımının ve sertliğinin bir göstergesidir. Amorf yapı oranının yüksek olması malzemenin düşük dayanımlı ve daha sünek olması anlamını ifade etmektedir [5].

Polietilenler (PE) yoğunluklarına göre düşük yoğunluklu polietilen (DYPE), lineer düşük yoğunluklu (LDYPE), orta yoğunluklu polietilen (OYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) diye sınıflandırılmaktadır [9]. Orta yoğunluklu polietilen (OYPE) yoğunluğu 0,925-0,94 gr/cm³ arasında olup, yüksek veya düşük basınç proseslerinde elde edilir. Modern alt yapı sistemlerin imalatında, özellikle doğal gaz ve suyun taşınması veya dağıtılmasında orta yoğunluklu polietilen borular tercih edilmektedir [1].

Artan taleple beraber plastik malzemelerinin kaynaklı birleştirmeleri gündeme gelmiştir. PE boruların birleştirilmesinde en çok kullanılan alın ve elektrofüzyon olmak üzere iki çeşit kaynak yöntemi mevcuttur [2-4]. Doğalgaz dağıtım hatlarında daha emniyetli olduğu için elektrofüzyon kaynağı kullanılır [1-2]. Bu yöntemde borular manşon denilen birleştirme elemanı kullanarak dış yüzeyden birbirine kaynatılırlar. Bağlantı elemanları içine yerleştirilmiş rezistans sargı tellerine uygun bir gerilim ve akım verilerek, tellerin ısıtılması sonucu bağlantı elemanı iç yüzeyindeki PE malzeme ile

borunun dış yüzeyindeki tabakanın erimesi sonucu birleşme sağlanır [1,3]. Elektrofüzyon kaynak yöntemi, kuluçka, birleşme ve sağlamlaşma, plato ve soğuma aşaması olmak üzere dört kaynak zamanından oluşur. Daha fazla ısı girdisi devamında ise yapıda bozulma süreci başlar [5]. Elektrofüzyon kaynak yöntemi aşamaları şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Elektrofüzyon kaynak yöntemindeki aşamaların şematik göstergesi [10]

Literatür araştırmalarında PE borularla ilgili kaynak yöntemleri ve bilhassa elektrofüzyon kaynak uygulamaları ilgili çalışmalara rastlanmaktadır [1-3,5,7-10]. Ancak uygulamadaki çevresel faktörlerin belirlenmesi ve kaynak sonrası birleştirmenin özelliklerini iyileştirme çalışmaları hala devam etmektedir.

PE doğal gaz boru elektrofüzyon kaynaklı birleştirmelerin standartlarda -5°C ile +25°C sıcaklık aralığında yapılması önerilmektedir [2,3]. Bir başka standartta +3°C üzerindeki sıcaklıklarda birleştirmenin yapılması gerekliliğini vurgulanmıştır [11]. DVS 2207 göre ise birleştirme sıcaklık aralığı ise +5 ile +50°C olarak ifade edilmiştir [2,3,12]. Tokluk malzemelerin en önemli özelliklerinden sayılmaktadır ve genellikle darbe dayanım testleri ile ölçülmektedir. Darbe

testi polimerin ani darbe karşısında kırılma davranışını belirler.

Test için levha halinde üzerine çentik açılmış standart numune kullanılır [13]. Polimerlerin darbe direncini etkileyen önemli bir faktörde sıcaklıktır. Bu sebeple deneysel çalışmalar çoğunlukla oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Buna rağmen polimerik malzemelerin çevre koşullarına göre farklı sıcaklıklarda darbeye maruz kalma ihtimalleri de düşünülmesi gerektiğinden farklı sıcaklıklardaki darbe dirençlerinin de bilinmesi gerekir [14-17]. Bu sebeple iklim şartları ve çevre koşulları düşünüldüğünde özellikle soğuk ülkelerde ve acil durumlarda belirtilenden daha düşük sıcaklıklarda kaynak gerçekleştirildiğinde birleştirmenin özellikleri üzerinde detaylı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu amaçla doğalgaz dağıtım hatlarında kullanılan polietilen (PE80) borulara uygulanan elektrofüzyon kaynağında çevre sıcaklığının birleştirmenin özellikleri üzerindeki etkisi etraflıca araştırılmıştır. Farklı çevre sıcaklıklarında (oda sıcaklığı, 0°C ve -30°C) temin edildiği şekliyle birleştirilen PE80 borulara standartlarda göre darbe testi uygulanmıştır.

2. DENEYSEL METOT

2.1. Malzeme

Çalışmada özellikleri Çizelge 1’de verilen 10 mm et kesit kalınlığına sahip, Ø110 mm çapında ve 220 mm boyunda, OYPE (PE80 kalite) boru alın alına birleştirilmesi için bağlantı elemanı kullanılmıştır. PE80 boru ve bağlantı elemanı Şekil 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. PE80 boru ve bağlantı elemanlarının özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Akma katsayısı (190°C, 5 kg)	Sıcaklık dayanımı (OIT 200°C)
PE80	94	0,4	≥20 min

2.2. Boruların Kaynak Öncesi Hazırlığı

Şekil 2’de gösterildiği gibi kesme makası ile dik olarak kesilen boruların bağlantı elemanının içerisine girecek kısmı mengeneyle sabitlenerek yüzeyinden uygun bir kazıyıcı ile homojen bir şekilde 0,2 mm derinlikte oksit tabakası kazınarak keten bir bezle silinerek iyice temizlenmesine özen gösterildi. Temizlenen boru bağlantı elemanı içerisine yerleştirildikten sonra konum sabitleyiciye doğru bir şekilde tuturuldu.



Şekil 2. PE80 boru, bağlantı elemanı ve kazıma işlemi

2.3. PE80 Borularının Birleştirilmesi

Birleştirilme öncesi kaynak makinesinin kalibrasyonu gerçekleştirildikten sonra bağlantı elemanının özellikleri bir barkot okuyucu sistemle kaynak makinesine aktarıldı. Bu özelliklere uygun çevre sıcaklığını hesaba katarak üzerinden elektrik akımı geçirilen rezistans bakır tellerin ısınmasıyla bağlantı elemanının iç yüzeyi ile borunun dış yüzeyi arasında bir bağ oluşturmaya yetecek süre makine tarafından ayarlanarak uygulandı. Şekil 3’de çalışmada kullanılan elektrofüzyon kaynak makinesi ve boru konum sabitleyici gösterilmiştir.



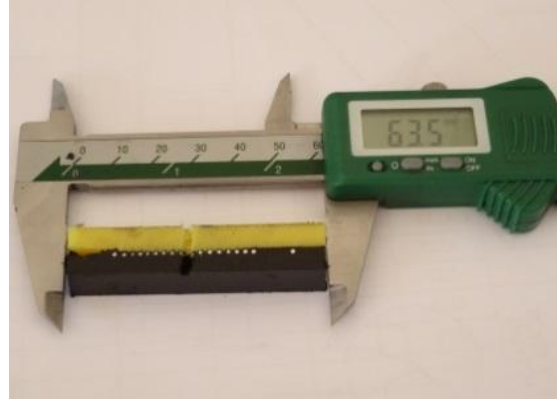
Şekil 3. Elektrofüzyon kaynak makinesi, boru konum sabitleyici

Çalışmanın amaçlarından birisi çevre sıcaklığının PE80 boruların kaynak kabiliyetine etkisinin belirlenmesi olduğu için düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilecek borular konumlandırıcıya yerleştirilmiş durumda ve kaynak makinesiyle birlikte iki saat derin dondurucuda istenilen çevre sıcaklığında bekletildi. Böylece makine tarafından birleştirme için çevre sıcaklığına uygun zaman dilimi akım geçmesine müsaade edilerek borular birleştirilmiştir. Kaynaktan sonra borular 15 dakika soğutularak bağlantı elemanının soketinden kaynak makinesi ayrılmış ve 30 dakika boruların konumlandırıcı üzerinde kalmasına müsaade edilmiştir. Daha sonra borular numaralandırılarak teste hazır boyutlarda numuneler haline getirilmiştir.

2.4. İzod Darbe Testi

Elektrofüzyon kaynaklı doğalgaz borularının ani bir kuvvet altındaki davranışları darbe çentik deneyi ile belirlenir. Bu amaçla çalışmada ASTM D256 standardına göre kaynaklı birleştirmelerden deney numuneleri hazırlanarak izod darbe testine tabi tutulmuştur [13]. Numuneler rezistans direnç telleri tam ortaya gelecek şekilde yarısı bağlantı elemanından ve yarısı borudan oluşacak şekilde ASTM D256 standardında belirtilen boyutlarda (12,7x12,7x63,5 mm) hazırlandı (Şekil 4). Rezistans direnç tellerinin etkisini minimize etmek

için iki tel arasından 2.54 mm derinlikte ağız açısı 45° çentik açıldı.



Şekil 4. İzod darbe test numunesi

2.4.1. İzod Darbe Deneyinin Uygulanması

Bu deney yöntemini uygulamak için darbe çentik test cihazından yararlanılmıştır (Şekil 5). Kaynaklı birleştirmelerin kırılmasında 24J enerji uygulayan çekiçten yararlanılmıştır. Deney numunelerini tutucu mengeneyle dik bir şekilde tutacak tutucu kalıp hazırlanarak darbe çentik deney cihazına sabitlenmiştir. Deney numunesini kırmak için üretilen 24J darbe enerjisi sağlayan çekiç ve numune tutucusu Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Darbe çentik cihazı ve izod darbe numune tutucusu

Şekil 5'de gösterildiği ve standartta belirtildiği gibi çentik çekice bakacak şekilde ve çekiç

çentikten 22 mm daha yukarıya vurdurularak numuneler kırılmıştır. Her bir parametre için sekiz numune oda sıcaklığında test edilmiştir. Daha sonra numuneyi kırmak için harcanan enerji numune kesit alanına oranlanarak, numunelerin darbe emme enerjisi hesaplanmıştır. Ancak çalışmada sonuçların tutarlılığı açısından birbirine en yakın dört numune ortalamasından yararlanılmıştır.

2.4.2. İzod Darbe Deney Numunelerinin Kırılma Yüzey İncelenmesi

Deney numunelerinin kırık yüzey incelemesi de gerçekleştirilmiştir. İnceleme öncesi deney numuneleri kırık yüzeyi içerisine alacak şekilde 15 mm uzunluğunda kesildikten sonra iletkenliği sağlamak amacıyla yüzeyi paladyum tozu ile kaplanmıştır. Numuneler Carl Zeiss marka SEM mikroskobu ile incelenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. PE80 Doğal Gaz Borularının Çevre Sıcaklığı İle Kaynak Zamanı İlişkisi

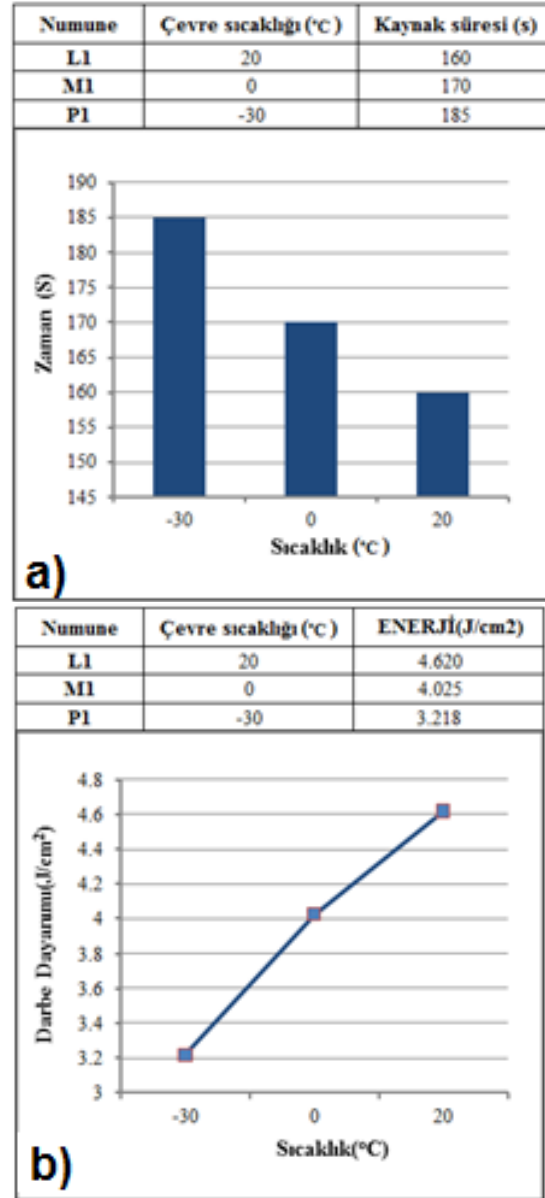
Elektrofüzyon kaynak yöntemi ile birleştirilen OYPE80 doğal gaz borularının çevre sıcaklığına bağlı olarak birleştirme sırasında kaydedilen kaynak süreleri Şekil 6a'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

3.2. Çevre Sıcaklığının PE80 Birleştirmelerinin Darbe Dayanımına Etkisi

Çalışmada farklı çevre sıcaklığında birleştirilen PE80 doğal gaz boru kaynaklı birleştirmelerinin izod darbe deney sonucu grafiksel olarak Şekil 6b'de gösterilmiştir.

Şekil 6a'dan görüldüğü gibi azalan çevre sıcaklığı ile birlikte PE80 birleştirmesi için gerekli kaynak süresinin değiştiği tespit edilmiştir. Düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen boruların kaynak süresinin daha fazla olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığı ile 30 °C çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin kaynak zamanında 25 saniye gibi bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu farkın

oluşmasında etkin olan husus kaynak yönteminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



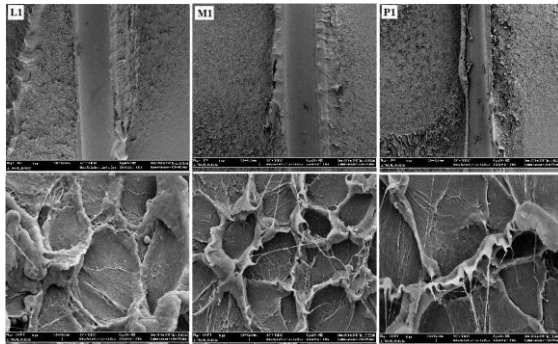
Şekil 6. Çevre sıcaklığının a) kaynak süresi, b) darbe dayanımına etkisi

Çünkü elektrofüzyon kaynak işleminde birleştirme için gerekli parametreler manşon üzerindeki üretici firmanın önerdiği unsurlar bir barkod okuyucu ile

makineye aktarıldıktan sonra kaynak makinesi sıcaklık sensörü çevre sıcaklığını da dikkate alarak bir kaynak zamanı belirler. Bu sebeple daha düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilecek numuneler için azalan çevre sıcaklığıyla birlikte kaynak makinesi daha uzun kaynak zamanı tanımlamaktadır. Birleştirme kaynak zamanının azalan çevre sıcaklığıyla değiştiği başka çalışmalarda da rapor edilmiştir [2,3].

Şekil 6b ise numunelerin darbe dayanımının azalan çevre sıcaklığından olumsuz olarak etkilendiğine işaret etmektedir. En yüksek darbe dayanımı oda sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilirken, en düşük darbe dayanımı ise -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilmiştir. Genel eğilim azalan çevre sıcaklığıyla deney numunelerinin darbe dayanımının azalması yönündedir. Bu durum PE80 borunun özellikleri ve yapısıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çentik açısı da sonuçlar üzerinde etkili olan bir diğer parametre olarak düşünülebilir.

Çalışmada oda sıcaklığında, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen PE80 doğalgaz borularının darbe deney numunelerinin kırılma yüzeyi SEM mikroskobu ile incelenmiştir. Kırık yüzey görüntüleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Oda sıcaklığı, 0°C ve -30°C çevre sıcaklıklarında birleştirilen izod darbe numunelerinin kırılma yüzeyi

Şekil 7'den görüldüğü gibi oda sıcaklığında birleştirilen numunenin kaynak bölgesindeki daha fazla kristalin miktarına bağlı olarak gevrek kırılma davranışıyla kopmanın meydana geldiğine işaret etmektedir. Azalan çevre sıcaklığıyla kaynak

bölgesinin yapısındaki kristalin miktarı azalmasına bağlı olarak daha sünek bir kırılma davranışıyla kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Amorf bölgedeki lif şeklindeki uzamalar numunelerin sünekliğinin göstergesidir. Darbe dayanımının sünek malzemelerde daha düşük bulunmasının sebebi numuneyi kırmak için açılan çentik açısıyla da alakalı olabilir. Ayrıca yüksek çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin yapısındaki amorf bölge ile çevrelenmiş sert kristalin etki eden darbe kuvvetini daha fazla absorbe etmesinden dolayı darbe dayanımının daha yüksek bulunmasına neden olabilir.

Sonuçlar deney numunelerinin darbe dayanımının azalan çevre sıcaklığından olumsuz olarak etkilendiğine işaret etmektedir. PE80'de en yüksek darbe dayanımı oda sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilirken, en düşük darbe dayanımı -30°C çevre sıcaklığında birleştirilen numunede tespit edilmiştir. Çevre sıcaklığıyla deney numunelerinin darbe dayanımının azaldığı net olarak görülmektedir. Azalan çevre sıcaklığıyla darbe dayanımının azalmasında küçük boyutlu kristalinlerin etrafını çevreleyen ince sünek amorf tabakanın darbe etkisini yeterince absorbe edememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek çevre sıcaklığında birleştirilen numunelerin yapısındaki kaba kristalinlerin etrafındaki kalın amorf tabaka darbe etkisini daha fazla sönmüleyerek darbe tokluğunun daha yüksek bulunmasının sebebi olarak düşünülmektedir.

4. GENEL SONUÇLAR

- Elektrofüzyon kaynağıyla birleştirilen OYPE80 boruların kaynak zamanı azalan çevre sıcaklığı ile arttığı tespit edildi.
- PE80 birleştirmeleri için azalan çevre sıcaklığıyla kaynak bölgesinin yapısındaki kristalin miktarının azalmasına bağlı olarak, diğer bir ifadeyle bölgedeki artan amorf yapı miktarıyla ilişkili olarak daha sünek bir kırılma davranışıyla kırılmanın gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum düşük çevre sıcaklıklarında birleştirilen numunelerin kristalin çekirdeklenme sayısının artışına neden

olurken onu çevreleyen amorf yapı hacim oranının artmasına fakat amorf katman kalınlığının incelenmesine neden olarak darbe etkisini yeterince absorbe edemez duruma getirdiği düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karabük üniversitesi proje destek ofisi ve Karabük Kargaz doğalgaz dağıtım firması ve 2K Welding Teknoloji Makine İmalat Müh. Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından desteklenmiştir. Adı geçen kurum ve kuruluşlara teşekkür edilir.

6. KAYNAKLAR

1. Weissbach, W., 2007. Materials Science and Materials Testing, Verlag, Taschenbuch, Vieweg & Teubner.
2. Akkurt, A., 2014. An Analysis Of Electromelting and Hot Element Welding Method's Safety Used to Join PE Natural Gas Pipes, International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering, Vol. 3, No 2, 493-504.
3. Akkurt, A., ve Saraç, E., 2012. Farklı Ortam Sıcaklıklarında Elektroergitme Kaynağı ile Birleştirilen PE Doğalgaz Transfer Hatlarının Güvenirliklerinin Araştırılması, Electronic Journal of Machine Technologies, Vol. 9, No 2, 39-52.
4. Akkurt, A., ve Ertürk, İ., 2010. Sıcak Elaman Alın Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen PE Doğalgaz Borularının Güvenirliklerinin Araştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 16, No 2, 221-233.
5. Bowman, J., 1997. A Review of The Electrofusion Joining Process For Polyethylene Pipe Systems, Polymer Engineering and Science, Vol. 37, No 4, 674-691.
6. Joy, J.J., 2008. Mechanical and Chemical Properties of High Density Polyethylene: Effects of Microstructure on Creep Characteristics, Doctoral Thesis, University of Waterloo.
7. Say, S.S., ve Akgüngör, A.A., 2009. Welding Defects and Their Reasons Observed in Electrofusion Welding of Polyethylene Pipes, 24th World Gas Conference, WGC Argentina.
8. Hiroyuki, N., Fumio, I., Akio, N., and Testuo, I., 1994. Design of Electrofusion Joints and Evaluation of Fusion Strength Using Fusion Simulation Technology, Polymer Engineering and Science, Vol. 34, No 20, 1529-1534.
9. Stakenborghs, R., ve Rouge, B., 2009. Microwave Based NDE Inspection of HDPE Pipe Welds, The 17th International Conference on Nuclear Engineering, Brussels, Belgium.
10. Fujikakef, M., Fukumurat, M., ve Kitao, K., 1997. Analysis of the Electrofusion Joining Process In Polyethylene Gas Piping Systems, Computer and Structures, Vol. 64, No 5/6, 939-948.
11. Iranian Gas Standards, IGS-C-DN-001, Code of Practice for Construction and Commissioning of P.E. Gas Networks.
12. DVS 2207-1 Standard, Supplement, Welding of Thermoplastics – Heated tool welding of pipes, pipeline components made of PE-HD.
13. ASTM-D256-10: 2010. Standard, Test Methods For Determining The Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.
14. Boyer, S.A.E., and Haudin, J.-M., 2010. Crystallization of Polymers at Constant and High Cooling Rates: A New Hot-Stage Microscopy Set-UPQ, Polymer Testing, Vol. 29, 445-452.
15. Strobl, G., 2006. Crystallization and melting of bulk polymers: New observations, conclusions and a thermodynamic scheme, Progress in Polymer Science. Vol 31, 398-442.
16. Wang, L.Y., Lugito, G., Woo, E.M., and Wang, Y.H., 2012. Phase behavior, polymorphism and spherulite morphology in Poly (1,4-butylene adipate) interacting with two structurally similar acrylic polymers, Polymer, Vol. 53, 3815-3826.
17. Weissbach, W., 2007. Materials Science and Materials Testing, Verlag, Taschenbuch, Vieweg & Teubner.

Toz Metal Parçalar ile Çelik Parçaların İndüksiyon ile Sinterleme Yöntemiyle Birleştirilmesi

Enver ATİK¹, Can ÇİVİ^{*1}, Cansu KÖKEY¹, Gökhan EYİCİ¹

¹*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa*

Geliş tarihi: 11.01.2016 Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Bu çalışmada, ST 37-2 çeliği üzerine bakır ve grafit içerikli demir tozu farklı basınçlarda preslenmiş, elde edilen parça indüksiyon ile ve karşılaştırma amaçlı olarak geleneksel sinterleme yöntemleri ile sinterlenerek, çelik ile toz metalden oluşan kademeli malzemeler üretilmiştir. Üretilen numunelere üç nokta eğme testi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerin Rockwell - B sertlik değerleri ve mikro yapıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalürjisi, Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme, İndüksiyon ile sinterleme, İndüksiyon ile birleştirme

Joining of Powder Metal Parts with Steel Parts by Induction Sintering Method

Abstract

In this study, Fe based copper and graphite included metal powder were pressed on ST 37-2 steel with different pressures. Obtained components were sintered with induction and conventional sintering methods and gradual parts were produced. Three point bending test were applied to produced samples. Also Rockwell-B hardness and microstructures of samples were investigated

Keywords: Powder metallurgy, Functionally graded materials, Induction sintering, Joined with induction

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Can ÇİVİ, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, can.civi@cbu.edu.tr*

1. GİRİŞ

Toz Metalurjisi, metal tozlarının işlemde geçirilerek yararlı mühendislik parçalarına dönüştürülmesi ile ilgilidir. Toz metalürjisinin ana adımları toz teknolojisi, toz işleme ve üretilen malzemelerin özelliklerinin belirlenmesidir [1]. Tozlar farklı gerilmeler altında sıvılar gibi davranırlar ve şekillendirilebilirler. Bu özelliklerinden dolayı karmaşık şekilli parçalar kolaylıkla üretilir. Şekillendirilen tozlar, istenen mukavemete sinterleme yapılmaksızın sahip olamazlar. Sinterleme geleneksel olarak sinterleme fırınlarında gerçekleştirilir [2]. Bunun yanı sıra hızlı sinterleme yöntemleri geleneksel sinterlemeye önemli bir alternatiftir. İndüksiyonla sinterleme, mikrodalga ile sinterleme, plazma sinterleme, lazer sinterleme, deşarj sinterleme, hızlı sinterleme yöntemleridir [3]. İndüksiyon ile sinterleme yöntemi, akımı vasıtası ile oluşan ısı enerjisinin kullanılarak sinterlemenin gerçekleştirildiği ve hızlı sinterleme yöntemleri adı verilen yöntemlerden bir tanesidir. Hızlı sinterleme yöntemleri, yaygın olarak sinterleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Yöntemlerin en önemli avantajı hızlı ısıtma/soğuma oranlarına sahip olmaları ve malzemelerin yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalmasını engelleyerek ince taneli ve yüksek yoğunluklu yapıların elde edilebilmesidir. Ayrıca ısının geleneksel ısıtmada yüzeyden içeriye doğru yayılması dolayısı ile oluşan sıcaklık gradyanları hızlı sinterleme yöntemleri vasıtası ile önlenir [4-7]. Son yıllarda ısı değiştiricilerin üretilmesi gibi uygulamalarda metal plaka üzerine toz katman oluşturma uygulamaları yapılmaktadır. Bu çalışmada metal tozu, metal plakaların üzerine preslenip sinterlenerek toz katman oluşturulması hedeflenmiştir [8].

Bu çalışmada, ST 37-2 (ASTM SAE 1015) çeliği üzerine demir esaslı toz 600 MPa ve 800 MPa basınçta sinterlenmiş, elde edilen parça indüksiyon ile ve karşılaştırma amaçlı olarak geleneksel sinterleme yöntemleri ile sinterlenerek katmanlı bir malzeme üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca farklı basınçların ve iki farklı sinterleme yönteminin malzemelerin birleşmeleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda, alt kısımda malzeme olarak 5 mm kalınlığındaki ST 37-2 (ASTM SAE 1015) çelik sac kullanılmıştır. Çelik sacın üstüne %3 Cu, % 0,5 grafit ve yağlayıcı olarak kenolube içeren ASC 100.29 su atomize demir tozu preslenerek numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan metal tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri ile elek analizi Çizelge 1’de yer almaktadır. St 37 Çeliğinin kimyasal özellikleri ise Çizelge 2’de yer almaktadır.

Çizelge 1. Högenas ASC 100.29 demir tozu kimyasal, fiziksel özellikleri ve elek analizi

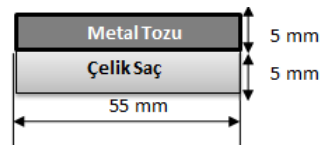
Kimyasal Özellikler (%)		Fiziksel Özellikler		Boyut Analizi (%)	
C	0,5	Görünür Yoğunluk	2,42 g/cm ³	45 µm<	23
O	0,7			45-150 µm	69
Cu	3	Akış	31s/50 g	150-180 µm	8
Demir	Balans			>180 µm	0

Çizelge 2. St 37 çeliğinin kimyasal özellikleri

Malzeme	Kimyasal bileşim (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
SG7	0.17	0.3	0.3	0.05	0.05	Kalan

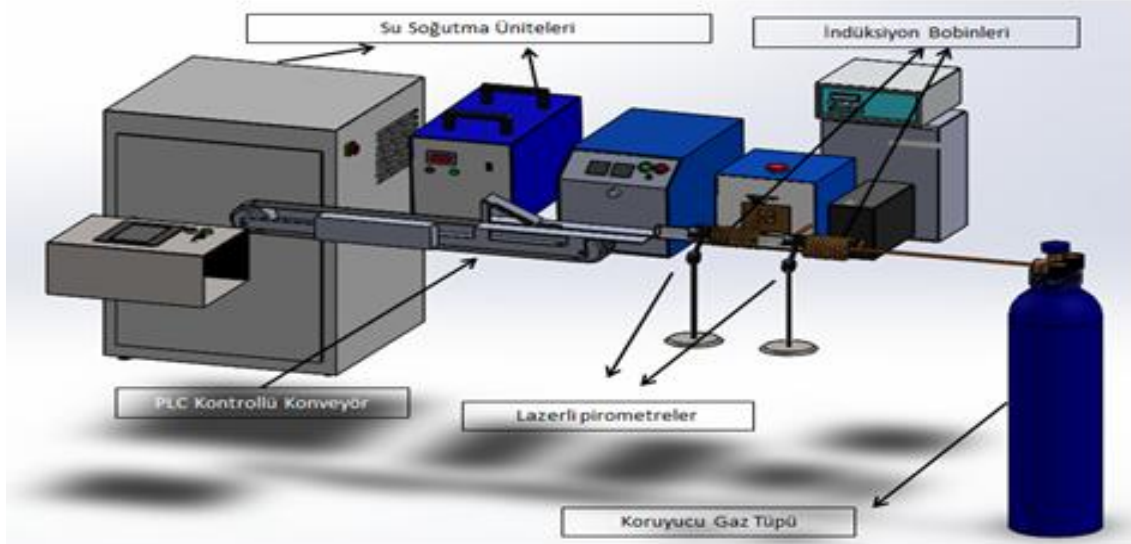
2.2. Metot

Çelik üzerine tozların presleme işlemi 600 ve 800 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Preslenen numunelerin şematik gösterimi Şekil 1’de yer almaktadır.



Şekil 1. Numunelerin presleme şekli

Preslenen numuneler, geleneksel olarak ve indüksiyon ile 1120°C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Geleneksel sinterleme işlemi klasik direnç fırınında gerçekleştirilmiştir. İndüksiyon ile sinterleme işleminin gerçekleştirildiği sinterleme düzeneği Şekil 2’de görülmektedir.



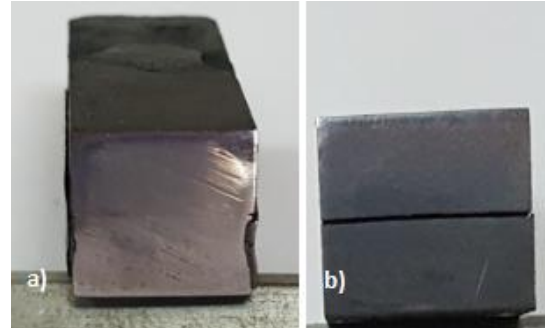
Şekil 2. İndüksiyonla Sinterleme Düzenegi

Sinterleme süresi geleneksel sinterlemede 30 dakika, indüksiyon ile sinterlemede ise 15 dakika olarak belirlenmiştir. Numuneler sinterlemeden sonra 3 nokta eğme deneyine tabi tutulmuşlardır. Üç nokta eğme testi 100 kN kapasiteli SHIMADZU-AG marka cihazda 2 mm/dk hızda yapılmıştır. Test, numuneler ayrılıncaya kadar sürdürülmüş ve numunelerin ayrılmaya kadarki taşıdığı gerilmeler elde edilmiştir. Üç nokta eğme deneyinin haricinde, numunelerin Rockwell-B sertlikleri incelenmiştir. Rockwell-B sertlik testleri BMS 200 RB marka cihazda 100 kg (981 Newton) kuvvet ile ASTM E18-12 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak Mikro yapı incelemeleri için numuneler Struers labotom-3 marka hassas kesme cihazı ile kesildikten sonra çeşitli gridlerdeki zımparalar ile parlatma cihazında zımparalanıp 3 ve 1 mikron'luk elmas solüsyon ile parlatılmıştır. Parlatma işleminin ardından numuneler %3'lük nital çözeltisinde dağlanıp, mikroyapı görüntüleri Nikon Eclipse LV150 marka optik mikroskopta elde edilmiştir. Deney sonuçları ilerleyen kısımda yer almaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sinterlemelerden sonra 800 MPa basınçta preslenen ve indüksiyon ile sinterlenen

numunelerin toz metal kısımlarının ile çelik kısımlarının birbiri ile birleştiği, diğer numunelerde ise yüzeylerde çizgi şeklinde ayrıklar olduğu görülmüştür. Numunelerin sinterleme sonrası görüntüleri Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. Numunelerin Sinterleme Sonrası Görüntüleri a) Sinterleme sonrası birleşmiş numune (800 MPa basınçta preslenen indüksiyon ile sinterlenen numune) b) Ayrık numune (800 MPa basınçta preslenen, geleneksel sinterlenen numune)

Sinterleme sonrasında Numunelere uygulanan Üç nokta eğme deneyi ve Rockwell-B sertlik incelemesi ile mikro yapı incelemelerinin sonuçları aşağıda yer almaktadır.

3.1. Üç Nokta Eğme Deney Sonuçları

Uygulanan üç nokta eğme deneyi sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Numunelerin üç nokta eğme deney sonuçları

Sinterleme Yöntemi	Üç Nokta Eğme Dayanımı	
	600 MPa	800 MPa
Geleneksel Sinterleme	181,77 Nmm ²	190,39 Nmm ²
İndüksiyonla Sinterleme	418,95 N mm ²	287,21 Nmm ²

Üç nokta eğme dayanımı değerleri incelendiğinde, indüksiyon ile birleştirilen numunelerin dayanım değerlerinin fırında birleştirilen numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da indüksiyon ile ısıtmada numuneler arası birleşmenin daha iyi olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, deney sonuçları incelendiğinde, geleneksel sinterlemede presleme basıncıyla üç nokta eğme dayanımı artarken, indüksiyon ile sinterlemede bu olguya rastlanamamıştır.

3.2. Rockwell-B Sertlik Ölçümü Sonuçları

Uygulanan Rockwell-B sertlik ölçümü sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

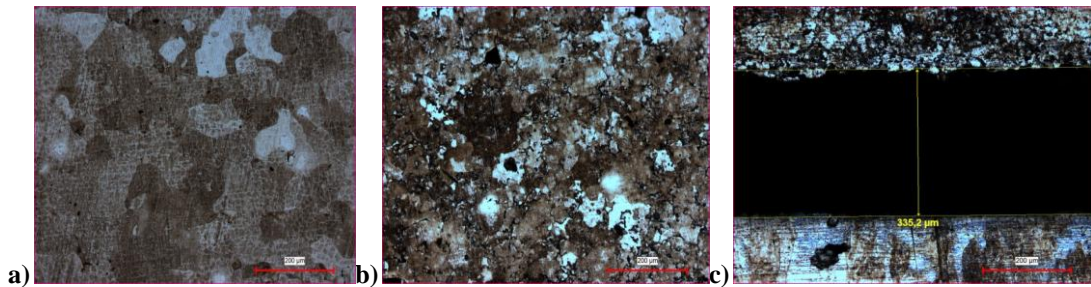
Çizelge 4. Rockwell-B sertlik ölçümü sonuçları

Sinterleme Yöntemi	Basınç			
	600 MPa		800 MPa	
	Çelik Bölge	TM Bölge	Çelik Bölge	TM Bölge
Geleneksel Sinterleme	28 HRB	35,5 HRB	32 HRB	39,5 HRB
İndüksiyonla Sinterleme	44 HRB	54,5 HKB	41 HRB	52,6 HRB

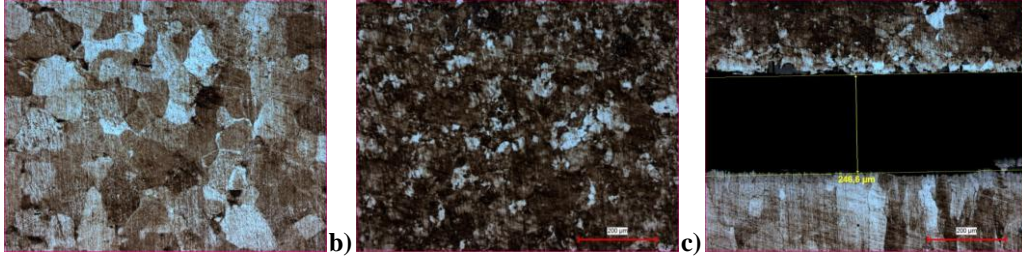
Rockwell B sertlik sonuçlarına göre, toz metal kısmın sertlik değerleri, hem indüksiyon ile hem de geleneksel ısıtma ile birleştirilen numunelerde çelik kısma göre daha yüksektir. Metal tozunda bulunan %0,5 grafit ve %3 Cu vasıtası ile, toz kısım düşük karbonlu çelik yapıdan daha yüksek sertlik değerlerine sahiptir. Ayrıca toz metal parçaların indüksiyon ile sinterleme prosesinde, hızlı ısınmadan ve indüksiyon akımının numunelere yaptığı fiziksel ve kimyasal etkilerden dolayı, geleneksel sinterlemeye oranla daha iyi mekanik özellikler elde edilebilmektedir [8]. Bu çalışmada toz metal malzeme ile çelik malzemenin birleştirilmesinde kullanılan indüksiyon akımı ile de daha iyi birleşme dayanımı elde edilmiştir.

3.3 Metalografik İncelemeler

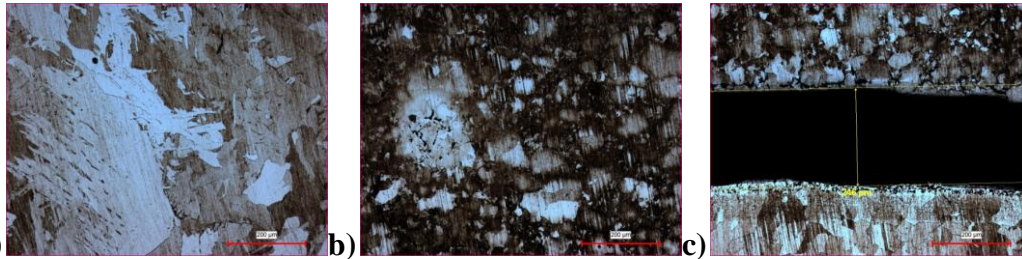
Numunelerin mikro yapı fotoğrafları Şekil 4-7'de yer almaktadır.



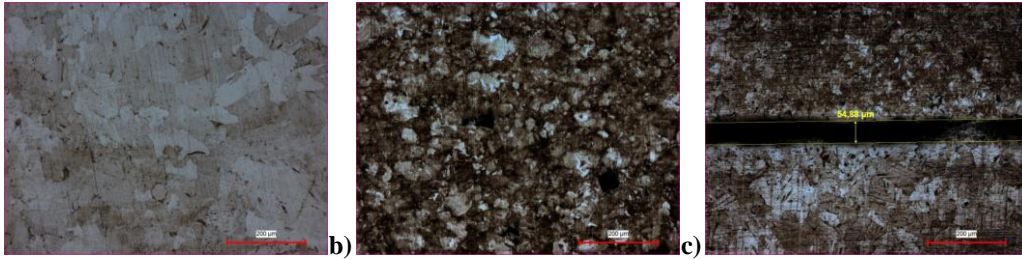
Şekil 4. 600 MPa basınçta preslenen geleneksel olarak sinterlenen numunelerin mikro yapı görüntüsü
a) Çelik kısım b) Toz metal kısım c) Geçiş bölgesi



Şekil 5. 800 MPa basınçta preslenen geleneksel olarak sinterlenen numunelerin mikro yapı görüntüsü
a) Çelik kısım b) Toz metal kısım c) Geçiş bölgesi



Şekil 6. 600 MPa basınçta preslenen indüksiyon ile sinterlenen numunelerin mikro yapı görüntüsü
a) Çelik kısım b) Toz metal kısım c) Geçiş bölgesi



Şekil 7. 800 MPa basınçta preslenen indüksiyon ile sinterlenen numunelerin mikro yapı görüntüsü
a) Çelik kısım b) Toz metal kısım c) Geçiş bölgesi

Numune birleştirmelerinde numunelere herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamıştır. Ayrıca tutunmayı artırma amaçlı bir ara yüzey de uygulanmamıştır. Bu nedenle numunelerin mikro yapı fotoğraflarında ayırık kalan kısımlar görülmüştür. 800 MPa basınçta birleştirilen numunelerde, ayrılma yüzeyi 600 MPa da birleştirilenlere göre daha kısa iken (geleneksel sinterlemede 335,2-246,6 μ , indüksiyon ile sinterlemede 246-54,88 μ) indüksiyon ile sinterlenen numunelerde ayrılma yüzeyi geleneksel sinterlemeye göre daha kısadır. Bu da indüksiyon ile sinterlemede difüzyonun geleneksel sinterlemeye göre daha iyi olduğunu

göstermektedir. 800 MPa basınçta sinterlenen numunelerde, gözle görülür bir ayrılma yüzeyi yoktur. Mikroyapıda da kısım kısım ayrılan yüzeyler gözlenmiştir, bazı bölgelerin tam olarak birleştiği gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada çelik üzerine kademeli olarak preslenen toz metal parçaların sinterleme işlemleri indüksiyon ile ve geleneksel sinterleme metotları ile farklı basınç parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde;

- 800 MPa basınç altında sinterlenen parçaların 600 MPa basınçta sinterlenenlere göre daha iyi birleşim gösterdiği görülmüştür.
 - İndüksiyon ile sinterlenen numunelerin, geleneksel sinterlenenlere göre iyi birleştiği görülmektedir. İndüksiyon ile 800 MPa basınç altında sinterlenen numunelerde tam birleşmeye yakın bir sonuç elde edildiği görülmüştür. Bu da indüksiyon akımı altında difüzyonun daha yüksek olduğunu göstermiştir.
 - İlerleyen çalışmalarda birleşme yüzeylerinde oluşan açıklığın giderilmesi için çelik plakanın yüzey pürüzlülüğü artırılarak daha iyi tutunma özelliği sağlanabilir.
 - Yapışma özelliği sağlayabilecek bir ara malzemeyle ya da kısmi bir sıvı faz oluşumu ile de daha iyi bir birleşme sağlanabileceği ön görülmektedir.
- Bulletin : American Ceramic Society 59, p. 626-629.
8. Çivi, C., 2016. Toz Metal Parçaların Orta ve Düşük Frekanslı İndüksiyon ile Sinterlenmesinde Sinterleme Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı.

5. KAYNAKLAR

1. German, R. M. Editörler; Durlu, N., Sarıtaş, S. Türker, M., 2007. Toz ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, TMMD, Ankara.
2. German, R. M. Çeviri: Gülsoy, H. O., 2014. Sinterleme Teorisi ve Uygulamaları, Nobel Yayınevi, Ankara.
3. Atik, E., Çavdar, U., 2011. Geleneksel ve Hızlı Sinterleme Yöntemleri, CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi Cilt 1, Sayı:15.
4. Li, W. Gao, L. 2000. Rapid sintering of nanocrystalline ZrO₂(3Y) by spark plasma sintering. Journal of the European Ceramic Society. 20, p. 2441-2445.
5. Hamer, M. P., Brook, R. J., 1981. Fast firing-microstructural benefits. Journal of the British Ceramic Society. 80, p.147-149.
6. Hamer, M. P., Roberts, E. V., Brook, R. J., 1979. Rapid sintering of pure and doped a-Al₂O₃. Transactions of the British Ceramic Society. 78, p. 22-25.
7. Morell, A., Mermosin, A., 1980. Fast sintering of soft Mn-Zn and Ni-Zn ferrite pot cores.

Çarpılma Kuvvetleriyle Kaynak Sırasının Optimizasyonu ve Çeşitli Uygulamaların Değerlendirilmesi

Yusuf ÖZÇATALBAŞ*¹

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Beşevler-Ankara

Geliş tarihi: 11.01.2016

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Bu çalışmada, kompleks kaynaklı birleştirmeli konstrüksiyonların imalat sürecinde ve sonrasında oluşabilecek çarpılmaların belirlenmesi için yeni bir metot geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Kaynaklı birleştirme sürecinde çarpılma kuvvetlerinin ölçülmesi esasına dayanan bu yöntemin uygulanması ile karmaşık kaynaklı yapıların kaynak sıralarının (KS) optimizasyonu yapılabilmektedir. Yöntemin esası, rijit bir kafes hücre içerisine yerleştirilmiş konstrüksiyon modeline uygulanan kaynak sıralarının meydana getirdiği çarpılma kuvvetlerinin ölçülmesine dayanır. Üç boyutlu ölçülen kuvvetlerin yönleri ve şiddetlerine bağlı olarak çarpılma eğilimleri belirlenebilir. Çeşitli KS uygulamalarından elde edilen kuvvetlerin sayısal değerleri kullanılarak yapılan analizlerle çarpılma formları oluşturulabilir. Kaynaklı konstrüksiyonlarda en uygun kaynak sıralarının belirlenmesi ve minimum çarpılma/kalıntı gerilme oluşturulması açısından uygun bir metot olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynaklı konstrüksiyon, Çarpılma, Çarpılma kuvvetleri, Kaynak sırası

Optimization of Welding Sequence by Distortion Forces and Evaluation of Some Applications

Abstract

In this study, a new method has been developed to determine the distortion tendencies of welded structures, by means of distortion forces, caused by welding process in complex welded structures. During welding process, optimization of complex welding procedures can be done with this method based on measuring of distortion forces. For this purpose, a rigid lattice frame and load cells (LCs), which takes the distortion forces in the welded structures, were designed. Distortions in the some samples, which occur at the welding of connection points, were obtained as forces by means of LCs. Distortion tendencies can be determined depend on direction and intensity of measured forces in 3D space. By using the numerical value of the force obtained from the various welding sequence (WS) applications, representative distortion forms can be created. The method can be used to determine the most appropriate WS and minimal distortion/residual stress in welded structures.

Key words: Welded structure, Distortion, Distortion forces, Welding sequence

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Yusuf ÖZÇATALBAŞ, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Beşevler-Ankara
yusufoz@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ

Geleneksel tasarım metotları, kaynaklı yapıların boyutsal kontrolünü ve yapısal düzgünlüğüne kaynak işleminin etkilerini değerlendirmek için ya deneysel teknikler kullanır veya ihmal edilir. Yapı performansı üzerine kaynak etkilerinin değerlendirmesini yapmak ve kaynak çarpılmalarını minimize etmek veya kontrol etmek amacıyla, kaynaktan dolayı oluşan çarpılmaları belirlemek için bir metodoloji uygulamak gereklidir.

Kaynak sebepli çarpılmanın değişik tiplerini kontrol etme ve azaltma tekniklerini bilinmektedir. Gemi yapımında, demir yollarında, havacılık ve otomobil endüstrisinde sıklıkla kullanılan ince kesitli yapılarda burkulma (buruşma) çarpılması genel bir çarpılma tipidir. Bu tip çarpılma olduğunda, çarpılma eğilimlerinin şiddeti çok fazla olabilir. Daha da önemlisi burkulma düzensizlikleri, kaynaklı yapıların yapısal bütünlüğünü azaltır. Tahmin analiz ve araçlarının kullanımı, değişik çarpılma tipleri için hassas bir tasarım belirleyebilir ve çarpılmayı minimize edebilecek üretim prosesleri ve geometrik biçimlerin seçimine yardımcı olabilir [1,2].

Son zamanlarda, kaynak çarpılmasının kontrolü belirli şartlar altında gerçekleştirilen deneysel verilerin kullanımıyla gerçekleştirilir. Geometrik faktörler ve değişik kaynak işlemlerinin etkilerini parametrelerle ifade eden bir ilişki geliştirmek için deneysel sonuçlar kullanılır ve sonra kabul edilebilir yapıların üretimi için izin verilen kaynak prosedürleri belirlenir [3]. Bu tip deneysel olarak türetilmiş kriterler yalnızca test edilen kaynak şartları ve geometrik konfigürasyonlar için uygulanabilir. Modife edilen geometri ve şartları değerlendirmek için ilave testler gerekir. Masubuchi, burkulmaya duyarlı kaynak şartlarının değerlendirilmesi için basitleştirilmiş yakın formulu analitik çözümler sunmuştur. Fakat bu çözümler yalnızca basitleştirilmiş geometriler için uygulanabilmektedir.

Yirmi yılı aşkın süredir, kaynak sebepli oluşan kalıntı gerilmeleri ve çarpılmaları belirlemek amaçlı sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır

[4-6]. Aynı analizle yapılan son gelişmeler ise, faz dönüşümlerinin kalıntılarını ve plastisite dönüşümlerini içermektedir [7-10]. Bu simülasyon çalışmalarının çoğunluğu, kaynak dikişinin hemen bitişik alanında, basit yapısal parçalardaki kalıntı gerilme, bölgesel çarpılma ve mikroyapı araştırmalarına odaklanmıştır [11-14].

Brown ve Sonng [15], kaynak bölgesi ve yapısı arasındaki etkileşimin toplam çarpılma miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Çoğu durumlarda gerilme ve çarpılma durumuna yapının katkısı hakimdir ve bu durum yalnızca kaynak bölgesinin simülasyonu ile belirlenenden çok daha farklıdır. Bazı çarpılma modelleri, özellikle boyuna gerilmeler sebebiyle oluşan burkulma (buckling), kaynak doğrultusuna dik düzlem içindeki iki boyutlu modeller yoluyla tanımlanamaz. Bununla birlikte kompleks yapıların termo-mekanik kaynak simülasyonlarını yapmak için üç boyutlu bir modelin oluşturulması kullanışsız ve analitik çözümü engelleyicidir [16].

Literatürde ki çalışmaların çoğu, özel konstrüksiyonlarda karşılaşılan çarpılma problemlerinin çözümüne yönelik kaynak sıralarının sunulmasına veya çarpılmaya ilgili temel deneysel verilerden elde edilen sonuçların sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesine yöneliktir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda kullanılan yöntem ise, bir konstrüksiyona uygulanan kaynak sırasının meydana getirdiği çarpılmaların belirli doğrultularda boyutsal değişimi çeşitli mekanik, elektronik veya optik cihazlarla ölçülmesini içerir [17-21]. Ancak, çarpılma sebepli boyutsal ve geometrik sapmaların ölçüm hassasiyeti, çarpılmanın analizinin hassasiyetini de etkiler. Bu sebeple, konstrüksiyonun belirli bir bölgesine uygulanacak kaynak işleminin meydana getireceği çarpılmanın sınır şartlarının doğru ve yeterli hassasiyette belirlenmesi, çarpılma analizlerinin doğruluk derecesini de arttıracaktır.

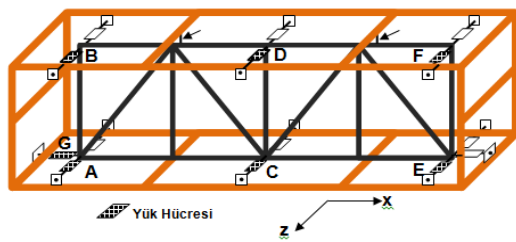
Bu çalışmada, özellikle karmaşık ve yoğun kaynaklı birleştirmeler içeren konstrüksiyonlarda oluşabilecek çarpılma eğilimlerinin, çarpılmaya sebep olan kuvvetlerin ölçümüyle belirlenmesi amaçlanmıştır [22,23]. Her tür kaynaklı

konstrüksiyonun belirli ölçekte küçültülmüş bir modelinin veya gerçek boyutlardaki prototipinin rijit bir kafes içerisine yerleştirilerek, uygulanan bir kaynak sırası veya kaynak yönteminin oluşturacağı çarpılma eğilimlerinin, üç boyutlu olarak ölçülebilmesi için bir sistem hazırlanmıştır. Geliştirilen sistemin uygulanabilirliği kafes kiriş üretimi sırasında oluşan çarpılma etkileri tartışılarak açıklanmıştır.

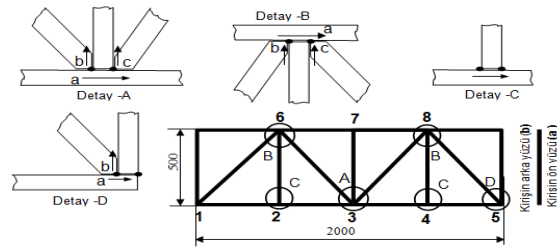
2. DENEY METODU

2.1. Yük Hücresi (YH)

Kaynaklı birleştirme sürecindeki ısıl genişlemeler ve birleştirme tamamlandıktan sonra soğuma sürecindeki çarpılma kuvvetlerini (kendini çekme kuvvetlerini) belirlemek için gerinim ölçerli yük hücreleri (YH) kullanılmıştır. 175x22x0,5 mm boyutlarındaki ve SAE1080 kalitesinde çelik sac, YH malzemesi olarak kullanılmıştır. Boyuna (eksenel) doğrultudaki gerinimi ölçmek için 2 adet ve bu doğrultuya dik gerinimi ölçmek için de 2 adet gerinim ölçer kullanılarak tam Wheatstone köprüsü kurulmuştur. Bu sayede, sıcaklık değişimlerinin YH'lerin ölçüm hassasiyetine etkileri minimize edilmiştir. Ayrıca, kaynak işlemi sırasında gerinim ölçerler ve devrelerin zarar görmemesi için YH'ler, ince kesitli ara bağlantı parçasıyla kirişe bağlanmış ve kuvvet algılayıcı plakaların yüzeyleri silikon kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Hazırlanan 7 adet YH'lerin her biri sabit ağırlıklar kullanılarak kalibre edilmiştir [23].



a) Rijit kafes içine konumlanmış kafes kiriş



b) Kafes kiriş ve düğüm noktalarına uygulanan kaynak yolları

Şekil 1. Çarpılma kuvvetleri ölçüm düzeneği ve örnek kafes kiriş kaynak yolları

2.2. Çarpılma Kuvvetinin Ölçülmesi

Şekil 1'de, karşılık plakaları ve YH'ler arasında yerleştirilmiş numune bir kafes kirişin x ve z doğrultularında ön germe kuvvetiyle yüklenmiş konumu görülmektedir. Numune kafes kiriş, rijit kafes tavanına iki noktadan asılarak (oklarla gösterilmiştir) yerleştirilmiştir. Hazırlanan YH'ler, kafes kiriş ile rijit kafes arasında 7 noktadan bağlanmıştır. YH'lerin yerleştirildiği konumların eksenleri doğrultusunda kafes kirişin diğer yüzeylerine karşılık plakaları bağlanmıştır. Bu sayede numune kiriş, gergi vidaları vasıtasıyla gerilerek YH'ler üzerinde belirli miktarda çekme gerilmesi oluşması sağlanmıştır. Yük hücrelerindeki ön germe sayesinde, YH plakalarında 200 N basma kuvvetine kadar meydana gelebilecek flambaj etkisi giderilmiştir. YH'lerde meydana gelen çekme veya basma kuvvetleri 0,4 N hassasiyette algılanabilmektedir. Deneyler sırasında, YH'lerde algılanan öngerme kuvvetleri sıfıra eşitlenmiştir [23].

Yapılan çalışma, kaynak işlemi ile kafes kirişe meydana getirilen çarpılma eğiliminin yük hücrelerinde oluşturduğu basma veya çekme kuvvetlerini ölçme prensibine dayanmaktadır. A, B, C, D, E ve F harfleri ile gösterilen YH'ler, deney numunelerine dik yerleştirilmiş (z eksenine doğrultusunda) ve numunede oluşacak yanal çarpılma eğilimini belirlemek için kullanılmıştır. G yük hücresi ise, kafes kirişin boyuna eksenine doğrultusunda yerleştirilmiş (x eksenine doğrultusunda) ve numunenin boyuna çarpılma eğilimlerinin tespiti için kullanılmıştır.

Rijit kafes içine yerleştirilen 30x500x2000 mm boyutlarındaki kiriş için 30x30x1,2 mm kare profil boru kullanılmıştır. Bu çalışmada çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan kafes kiriş bir numunenin kaynaklı birleştirilmesi sırasında en uygun kaynak sırasının belirlenmiştir. Özellikle otobüs şase ve kasasında oluşan geometrik sapmalar, boyutsal değişimler, şase üzerine monte edilecek üst elemanların uyumunda yaşanan problemler ve aşırı kalıntı gerilmelerin meydana getirdiği yorulma çatlakları vb. olumsuz etkiler bu kirişin çalışma sebebini oluşturmuştur. Şekil 1’de, kafes kirişe bağlanan ve z ile x doğrultusunda çarpılma

kuvvetlerini ölçen yük hücreleri ve kodları (A dan G ye kadar) ile düğüm noktalarına uygulanan kaynak yolları detaylıca gösterilmiştir. Çizelge 1’de ise kirişin sekiz adet düğüm noktasının ön ve arka yüzeyine olmak üzere toplam 16 adet kaynak yolunun kaynak sıraları gösterilmiştir. Kirişin “a” yüzeyi YH tarafı olan ön yüzey, “b” yüzeyi ise gergi levhasının bulunduğu arka yüzeydir. Çizelge 1 ve Şekil 2’de gösterilen KS-1, kiriş merkezinden başlanan ve arkalı-önlü karşılıklı ve yanlara doğru çapraz yürütülen kaynak sırasını temsil eder. KS-2 ise, çift yönlü karşılıklı ve karışık tip KS örnekleme içerir [22].

Çizelge 1. Kafes kirişin kaynağında uygulanan kaynak sıraları

Kaynak Sırası	Kaynak Sayısı															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Kirişin düğüm noktası ve kaynaklanan yüzeyi															
KS-1	7a	7b	3a	3b	6a	6b	4a	4b	2a	2b	8a	8b	1a	1b	5a	5b
KS-2	6a	5b	1a	8b	3a	4b	7a	2b	6b	5a	1b	8a	3b	4a	7b	2a

3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

3.1. Kafes Kiriş Kaynak Sırası Uygulaması

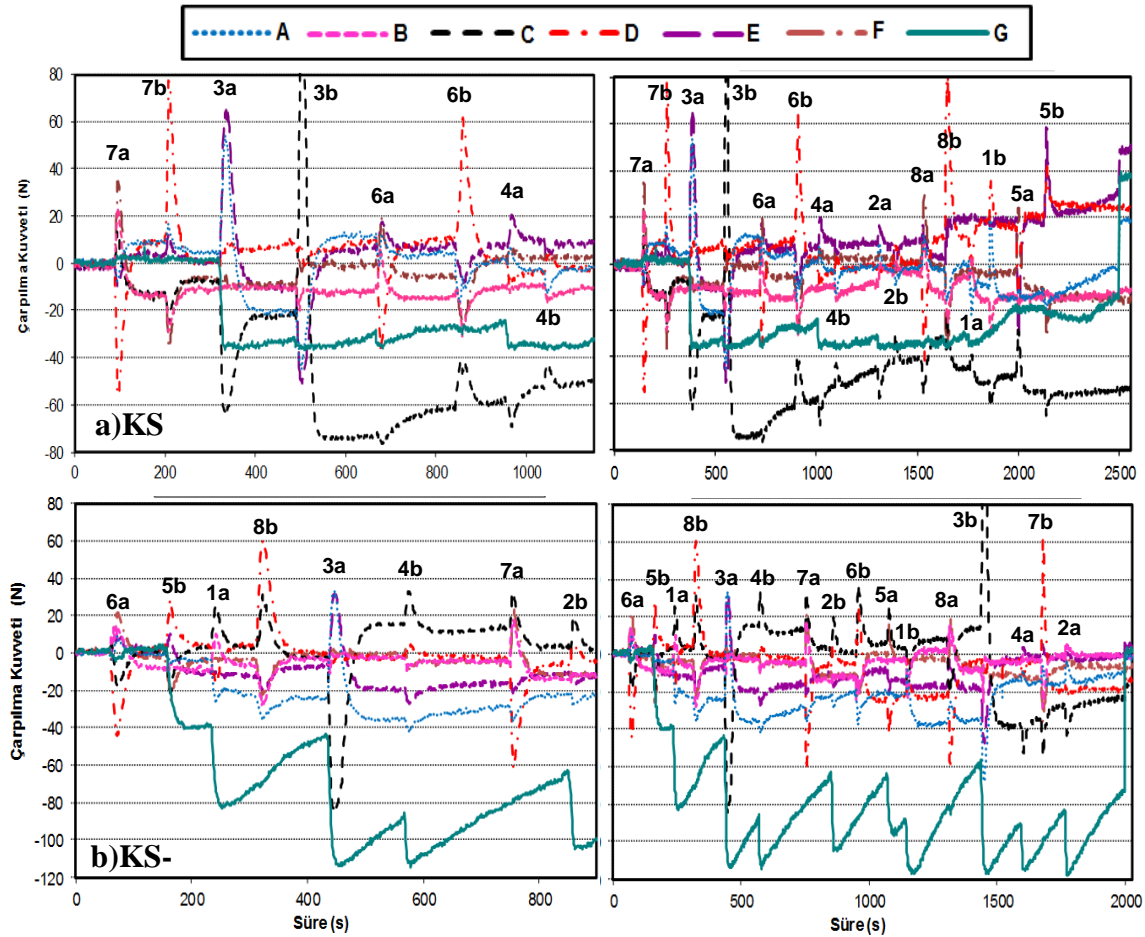
Şekil 2a’daki ilk grafikte, KS-1 uygulamasının ilk 1200 s’lik süresi gösterilmiştir. Punta ile birbirine bağlanmış kafes kirişin ilk birleştirme kaynağı orta dikmenin üst ucu ön yüzeyine (7a) yapılırken, D noktası yaklaşık 55 N’luk kuvvetle basma ile z yönünde deformasyona zorlanırken B, C ve F noktalarındaki YH’ler çekmeye maruz kalmış yani bu noktalar z’ yönünde deformasyona zorlanmışlardır. Soğuma sürecinde ise, tamamen ters yönlere zorlanan bu noktalarda yaklaşık 10 N’luk kalıcı çarpılma kuvvetleri meydana gelmiştir. Devamında 7b kaynağı uygulanırken oluşan ısıl genişleme etkisiyle belirtilen noktalarda tamamen ters yönde kuvvetler meydana gelmiş ve soğuma sürecindeki çekme etkisiyle D noktasındaki kuvvet dengelenerek yaklaşık sifıra eşitlenmiştir. Ancak B, C ve F noktaları, 10N civarında kalıcı basma kuvveti ile z yönünde deformasyona zorlanmıştır. Grafikte 3a ile gösterilen ve kirişin 3 nolu düğüm noktasının ön yüzeyinde (C yük hücresi) yapılan kaynak işlemi sırasında ise, C noktası 62 N basma kuvveti ile z

yönünde, A ve E noktaları ise zıt yönde sırasıyla 55 N ve 65 N kuvvetlerle çekilmeye zorlanmaktadır. Kirişin 3 nolu düğüm noktasında soldan sağa doğru E noktasına yönelen kaynak yolu (Şekil 1, Detay-A) sebebiyle E noktasındaki çekme kuvveti A dan daha fazladır. Bu noktada kirişin boyuna doğrultuda yaklaşık 40 N ile basıldığı yani kaynak sürecinde genişlediği görülmektedir. Soğuma süreci sonunda ise D noktası hariç kirişin diğer bütün noktalarında kalıcı basma etkisiyle z yönünde deformasyon belirlenmiştir. Aynı düğüm noktasının diğer yüzeyine yapılan kaynak işlemi ile oluşan kuvvet değişim pikleri 3b ile gösterilmiştir. Kaynak işlemi sırasında C noktası 80 N’u aşan kuvvetle z’ yönünde çekilirken, soğuma sürecinde bu noktada yine 80 N’a yakın kalıcı basma kuvveti ile z yönünde deformasyona zorlanmıştır. 3b kaynağının ilerleme yönünde olan kirişin A noktası dışındaki diğer noktalarda belirgin bir çarpılma eğilimi görülmemiştir. Kirişin 6a dikiş ile hemen her noktada stabil kalan çarpılma kuvvetlerinde, 6b dikişi ile sadece C ve D noktalarında kaynak sırasında belirgin çarpılma eğilimi meydana gelmiş ancak soğuma sürecindeki tersinir etki ile minimize edilmiştir. KS-1 uygulamasındaki her bir kaynak işlemi sırasındaki genişleme etkisinin ve soğuma sürecindeki kendini

çekme kuvvetlerinin meydana getirdiği çarpılma eğilimleri detaylıca açıklanmıştır.

KS-1 uygulamasının tamamının meydana getirdiği etkiler ise Şekil 2a'daki ikinci grafikte genel olarak gösterilmiştir. Burada, KS-1 uygulamasındaki 16 adet kaynak yolunun uygulanması sırasında ve birleştirme sonunda kafes kirişte meydana gelen çarpılma kuvvetleri hakkında genel bir bilgi vermektedir. Kafes kirişin uçlarında olan 1 ile 5 ve kaynak miktarı az olan 2 ile 4 numaralı düğüm noktalarının kaynağı sırasında oluşan çarpılma kuvvetleri minimumdur. Ancak yoğun kaynak içeren 3 ile 6 ve 8 düğüm noktalarında ve özellikle

kiriş ortasındaki 7 nolu düğüm noktasında durum tersinedir. Birleştirme tamamlandıktan sonra kafes kirişte meydana gelen kalıntı çarpılma kuvvetleri ise 2500 s sonrasında görülmektedir. C noktasındaki YH tarafından yaklaşık 55 N'luk z yönünde basma kuvveti oluşurken, sırasıyla F ve P noktalarında ise daha düşük (12 ve 17N) basma kuvvetleri mevcuttur. Ayrıca E noktasında en fazla (50N) olmak üzere, sırasıyla G, D ve A noktalarında daha az kalıcı çekme kuvvetleri mevcuttur. Kirişte mevcut kalıntı kuvvetler değerlendirildiğinde, alt başlık boyunca dış bükey, üst başlık iç bükey ve ciddi miktarda boyuna çekme etkisiyle çarpılma eğilimindedir.

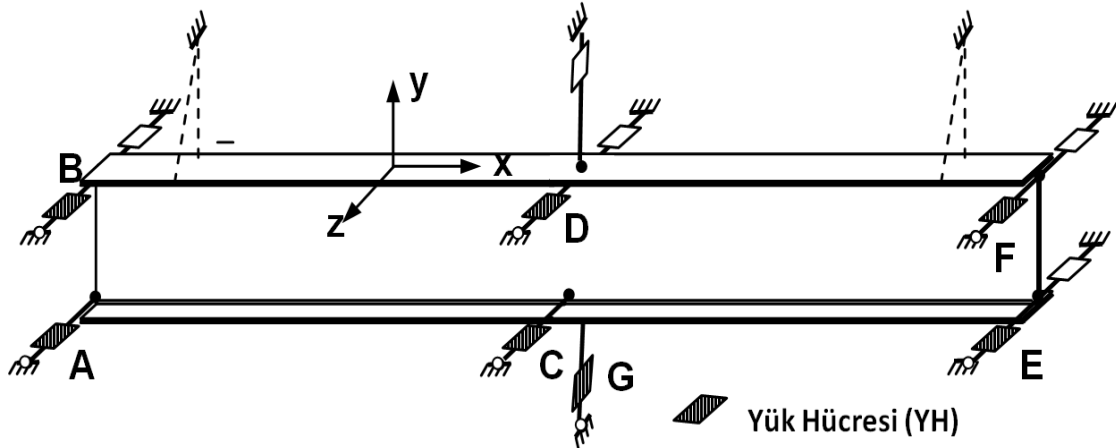


Şekil 2. Kafes kirişe uygulanan kaynak sıraları ve çarpılma kuvvetleri ilişkisi

Şekil 2b de gösterilen KS-2 uygulamasında ise, kirişin 6 numaralı düğüm noktasının ön yüzeyinde (6a) yapılan kaynak işlemi sırasında D noktasında önemli miktarda basma etkisi ile z yönünde deformasyona zorlanmıştır. Ancak diğer ölçüm noktalarında da olduğu gibi soğuma sürecinde bu kuvvetler minimize olmuştur. 5b ve 1a kaynaklarında da benzer etkiler meydana gelmiştir. Ancak, bu iki kaynak adımında da kirişin boyuna doğrultuda kaynak sırasında önemli basma etkileri yani kirişin genişleme etkisi soğuma sırasında ise belirgin çekme etkileri görülmektedir. Özellikle kirişin alt düğüm noktalarında yapılan kaynak işlemlerinde (5b, 1a, 3a, 4b ve 2b) boyuna doğrultudaki genişlemenin etkileri daha belirgindir. 3a kaynağı sürecinde C noktasında önemli basma, A ve E noktalarında çekme kuvvetleri oluşurken, soğumada ise ters yönde önemli miktarda kalıcı kuvvetler meydana gelmiştir. Genleşme ve büzülme sürecinde oluşan bu etkiler, tamamen

kirişin ağırlık merkezi boyuna eksenine uygulanan moment etkisi ile meydana gelmektedir.

Şekil 2b’de dikişin KS uygulamasının tamamını içine alan ikinci grafikte ise, kaynak işlemi tamamlanan kafes kirişte meydana gelen kalıntı çarpılma kuvvetleri görülmektedir. Son kaynak işlemi olan 2a uygulamasında da kaynak sırasındaki genişleme sebebiyle YH’de belirgin bir basma etkisi oluşmuş, ancak kirişin tamamının ortam sıcaklığına düşmesi sonunda bu kuvvette minimize olarak sıfırlanmıştır. Genel olarak KS-2 de kirişin C ve D noktalarında minimal düzeyde basma etkisi yani z yönünde deformasyon eğilimi mevcuttur. Çift yönlü karşılıklı ve karışık tip kaynak işlemlerinin uygulandığı bu kaynak sırasındaki çarpılma kuvvetlerinin ve dolayısı ile çarpılma eğilimlerinin bir önceki KS-1 uygulamasından çok daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Örnek I kiriş çarpılma kuvvetleri ölçüm deney düzeneği

3.2. I Kiriş Kaynak Sırası Uygulaması

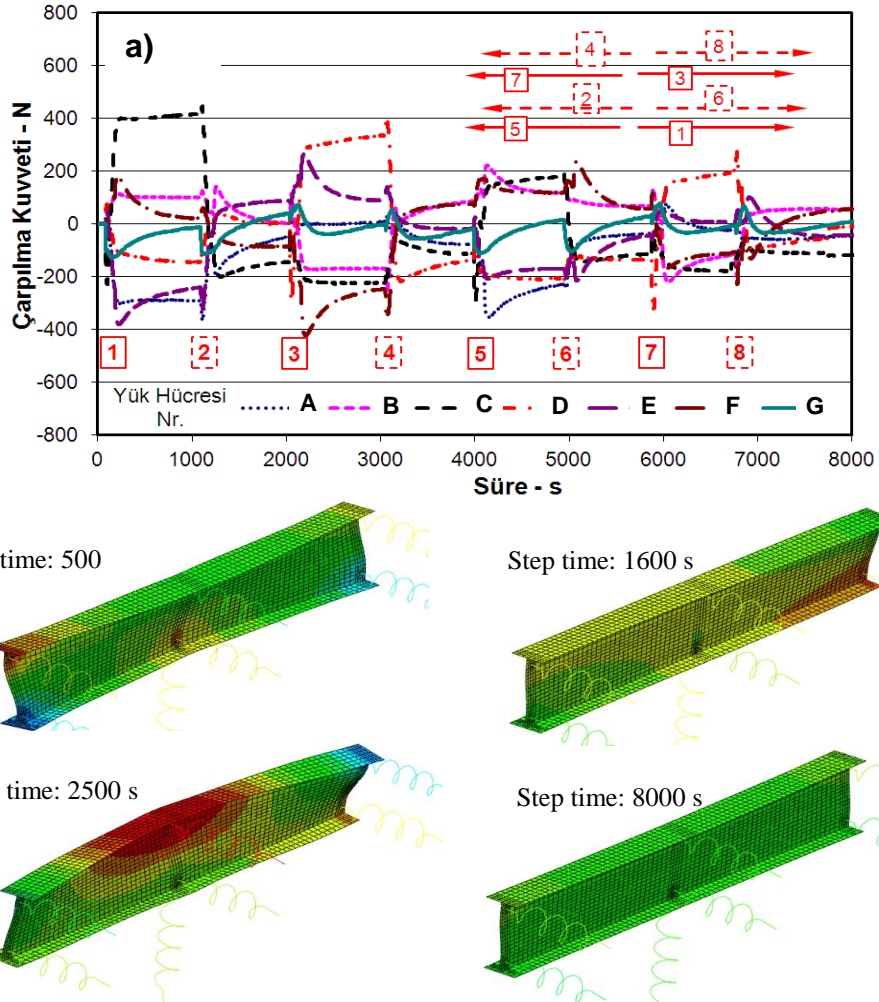
Şekil.3 de, farklı boyutlarda tasarıma özel olarak kaynaklı birleştirme ile üretilen I kirişlerin kaynak sıralarını optimize etmek için kullanılan yük hücresi yerleşim düzenleri gösterilmiştir. I kirişin merkezinde başlanıp uçlarında sonlandırılan kesikli-karşılıklı-çapraz sekiz adet kaynak sırası içeren KS-8 uygulamasına ait sonuçlar Şekil 4a’da verilmiştir. Gayet net olarak görülmektedir ki, grafikte gösterilen kaynak sırası uygulamasındaki

her bir kaynak işlemi sırasında çarpılma kuvvetleri şiddetle artmakta, soğuma sürecinde ise kalıntı kuvvetler ya azalmakta veya stabil kalmaktadır. Bir sonraki kaynak işleminde ise, önceki kaynak işleminin oluşturduğu kuvvetlerin tersi kuvvetler oluşmakta bir önceki kaynağın çarpılma etkisi nötrlenmekte veya ters yönde çarpılma eğilimleri oluşmaktadır. Dolayısıyla, uygulanan her kaynak işlemi sonunda oluşan çarpılma eğilimleri bir sonraki kaynak işlemi ile dengelenmiştir. Son birleştirme işlemi sonunda oluşan kalıntı çarpılma

kuvvetleri minimal düzeydedir ve ihmal edilebilecek miktarda açılma çarpılma eğilimi görülmektedir.

Şekil 4b’de ise, deneysel ölçümler neticesinde elde edilen kuvvet değerleri kiriş üzerindeki yay eleman bağlantılarına uygulanarak elde edilen sonlu elemanlar analizi gösterilmiştir. Çalışmanın sonlu elemanlar ile modellenmesi Abaqus kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde toplam 2550 quadratic shell eleman bulunmaktadır. Analizlerde kirişin sabitlendiği yük hücrelerine bağlı çubukların rijitlikleri yay elemanlarla tanımlanmıştır. Sonlu elemanlar yaklaşımının avantajları sonucunda

kirişin farklı kaynak sıralarındaki şekil değişimleri kaynak süresi boyunca gözlenebilmiştir. Bu analizlerin temsil ettiği süredeki çarpılma şekilleri, Şekil 4a’da gösterilen kuvvet değişimleri ile örtüşmekte, daha somut ve görsel bir modelle çarpılma eğilimleri gösterilmektedir. Sonuç olarak, çarpılma kuvvetleri vasıtasıyla bir kaynak sırasının konstrüksiyonda meydana getireceği çarpılma eğilimleri ve optimum KS bu metodlarla belirlenebilir. Ancak burada belirtilen kuvvetler ve kuvvetlere bağlı hazırlanan boyutsal değişim analizleri gerçek çarpılma veya şekil değiştirme değerlerini vermez.



Şekil 4. I kirişe uygulanan bir kaynak sırası/çarpılma kuvvetleri ilişkisi ve sonlu elemanlar analizi

4. SONUÇLAR

Kaynaklı konstrüksiyonlarda oluşan çarpılma eğilimlerinin belirlenmesi amacıyla, çarpılma kuvvetlerini ölçme esasına dayalı deneysel bir metodun uygulanmasıyla elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuç ve öneriler söylenebilir;

- Kaynaklı birleştirme işlemleri sırasında ve sonrasında konstrüksiyonda meydana gelen çarpılma kuvvetleri bu metod vasıtasıyla başarı ile ölçülmüş, kaynak sürecinde oluşan genleşme ve büzülme (kendini çekme) etkilerinin oluşturduğu kuvvetler ölçülebilmektedir.
- Bu metotla, kaynak prosedürlerinin uygulanması sürecindeki her bir işlem sırasında eş zamanlı olarak konstrüksiyonda meydana gelen çarpılma eğilimlerini izleyebilmek ve kayıt edebilmek mümkün olabilmektedir.
- Farklı konstrüksiyonlar için farklı kaynak sıralarının uygulanmasında oluşan kalıntı çarpılma kuvvetleri analiz edilebilmiş ve her bir konstrüksiyon için optimum kaynak sıraları belirlenebilmiştir.
- Çarpılmayı önleyici temel yaklaşımlarla belirlenemeyecek kadar karmaşık kaynaklı birleştirme uygulamalarına sahip bir konstrüksiyonun prototipine veya belirli ölçekte küçültülmüş bir modeline bu metodun uygulanması ile konstrüksiyon için en uygun kaynak sıraları ve prosedürleri oluşturulabilir.
- Bu metod vasıtasıyla elde edilen sayısal veriler, kaynakta çekme ve çarpılma etkilerinin belirlenmesi amacıyla, sonlu elemanlar yöntemiyle modellenip değerlendirilebilir veya benzer çalışmaların deneysel olarak doğrulanması amacıyla kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Masubuchi, K., 1980. Analysis of Welded Structures, Oxford, Pergamon Press.
2. Deng, D., Hidekazu M. and Yukio U., 2002. Theoretical Prediction of Welding Distortion Considering Positioning and the Gap between Parts, The 12th International Offshore and Polar Engineering Conference, International Society of Offshore and Polar Engineers.
3. Chakravarti, L., Malik M., and Goldak, J., 1986. Prediction of Distortion and Residual Stresses in Panel Welds. Symposium on Computer Modeling of Fabrication Processes and Constitutive Behavior of Metals, Ottawa, Ontario, pp. 547-561.
4. Bibby, M. J., Goldak, J. A., Szyszkowicz, M.S. and Jefferson, I., 1988. Computational Developments in the Watt Transient Microstructure Algorithm. Modeling of Casting and Welding Processes IV, The Metals Society, 81-91.
5. Free, A. J. and Goff, R. F. D., 1989. Predicting Residual Stresses in multi-pass Weldments With the Finite Element Method, Computers and Structures, 32(2), 365-378.
6. Teckiwal, P. and Mazumder, J., 1991. Transient and Residual Thermal Strain-stress Analysis of GMAW, Journal of Engineering Materials and Technology, 113:336-343.
7. Watt, D. F., Coon, L. Bibby, M. J., Goldak, J. and Henwrod, C., 1988. An Algorithm for Modeling Microstructural Development in Weld Heat Affected Zones (Part A) Reaction Kinetics, Acta. Metall. 36:3029-3035.
8. Oddy, A. S. Goldak, J. A. and McDill, J. M., 2009. Numerical Analysis of Transformation Plasticity in 3D Finite Element Analysis of Welds. European Journal of Mechanics, A/Solids (3):253-263.
9. Le Blond, J. B., 1989. Mathematical Modeling of Transformation Plasticity in Steels II: Coupling With Strain Hardening Phenomena, International Journal of Plasticity, 5:573-591.
10. Das, S., Upadhyay, G. C., Kleinosky, M. J. and Tims, M. L., 1993. Finite Element Modeling of a Single-pass GMA Weldment. Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification

- Processes VI. pp. 593-600, The Minerals & Metals Society.
11. Guangming, F., 2014. Effect of Boundary Conditions on Residual Stress and Distortion in T-joint Welds, *Journal of Constructional Steel Research*, 102, 121-135.
 12. Guangming, F., 2016. Influence of the Welding Sequence on Residual Stress and Distortion of Fillet Welded Structures, *Marine Structures*, 46 30-55.
 13. Bai-Qiao, C., and Soares, C. G., 2016. Effect of Welding Sequence on Temperature Distribution, Distortions and Residual Stress on Stiffened Plates, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-12.
 14. Gannon, L., 2010. Effect of Welding Sequence on Residual Stress and Distortion in Flat-bar Stiffened Plates, *Marine Structures*, 23.3, 385-404.
 15. Brown S. B., and Song, H., 1992. Finite Element Simulation of Welding of Large Structures, *Journal of Engineering for Industry*, 114:441-451.
 16. Panagiotis, M., and DeBiccari, A., 1997. Prediction of Welding Distortion, *Welding Journal-Including Welding Research Supplement*, 76.4 172.
 17. Sikström, F., 2006. 3D-scanning for Weld Distortion Measuring, *Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC2006, Proceedings of the IEEE*.
 18. Hackmair, C., Werner, E. and Pönisch, M., 2003. Application of Welding Simulation for Chassis Components Within the Development of Manufacturing Methods, *Computational Materials Science*, 28.3 540-547.
 19. Voutchkov, I., 2005. Weld Sequence Optimization: the Use of Surrogate Models for Solving Sequential Combinatorial Problems, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194.30, 3535-3551.
 20. Junqiang, W., 2016. Predicting Distortion in Butt Welded Plates Using an Equivalent Plane Stress Representation Based on Inherent Shrinkage Volume, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 138.1, 110-112.
 21. Zargar, S. H., Farahani, M., and Kazem, M., Givi, B., 2015. Numerical and Experimental Investigation on the Effects of Submerged Arc Welding Sequence on the Residual Distortion of the Fillet Welded Plates. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*
 22. Ozcatalbas, Y., and Vural., H. I., 2009. Determination of Optimum Welding Sequence and Distortion Forces in Steel Lattice Beams, *Journal of Materials Processing Technology*, 209.1 599-604.
 23. Özçatalbaş, Y., 2008. Kaynaklı Birleştirmeli Konstrüksiyonların Çarpılma Eğilimlerinin Belirlenmesi İçin Deneysel Bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23.1, 52-28.

Orbital Tig Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmiş Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Mekanik, Metalurjik ve Korozyon Özellikleri

Umut SÖNMEZ^{*1}, Niyazi ÇAVUŞOĞLU¹, Vural CEYHUN¹

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir

Geliş tarihi: 14.02.2016

Kabul tarihi: 30.03.2016

Özet

Bu çalışmada özellikle kimya, petrol ve doğalgaz, gemi inşa, ilaç, gıda sanayi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan dupleks paslanmaz çelik boruların orbital TIG kaynağı konusu incelenmiştir. 150 mm uzunluğunda, 1 mm et kalınlığı ve 25 mm çapındaki dupleks paslanmaz çelik borular (UNS 31803 ve EN 1.4462 ile tanımlı) üç farklı kaynak parametresi kullanılarak koruyucu ve kök koruyucu gaz olarak saf argon gazı altında alın altına kaynak edilmiştir. Kaynak edilen numunelere çekme, taneler arası ve oyuk korozyon testleri (EN ISO 3651-1, ASTM G48-11), SEM-EDX analizleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Tüm numuneler IEB'den kırılmıştır. C₂N, intermetalik fazlar ve karbür oluşumlarına rastlanılmamıştır. Tüm kaynaklı numuneler taneler arası ve oyuk korozyonu için yeterli dayanımı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Dupleks Paslanmaz Çelik, Orbital Kaynak, Taneler Arası Korozyon, Oyuk korozyonu

The Mechanical, Metallurgical and Corrosion Properties of Duplex Stainless Steel Pipes Welded by Orbital GTAW

Abstract

In this study, orbital GTAW welding of duplex stainless steel pipes which especially being used in areas such as chemistry, oil and gas, shipbuilding, medicine, food industry, is investigated. Duplex stainless steel pipe specimens (defined by UNS 31803 and EN 1.4462) which have 150 mm long, 1 mm thickness and 25 mm diameter, were butt-welded with three different welding parameters using pure argon gas as shielding gas. Intergranular and pitting corrosion tests (EN ISO 3651-1, ASTM G48-11), tensile test, SEM-EDX analysis and microstructure analysis were performed on welded samples. All specimens were fractured from HAZ. C₂N precipitates, intermetallic phases and carbide formation were not found. All welded specimens performed good intergranular and pitting corrosion properties.

Keywords: Duplex stainless steel, Orbital welding, Intergranular corrosion, Pitting corrosion

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Umut SÖNMEZ, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.
usonmez1979@gmail.com

1. GİRİŞ

Dupleks paslanmaz çelikler latince’de iki parçadan oluşan anlamına gelir. Mikro yapılarında hem ferrit hem de ostenit fazlarını bir arada içeren paslanmaz çeliklerdir. Dupleks paslanmaz çelikler, normal oda sıcaklığında genelde eşit miktarda %50 ostenit ve %50 ferrit içerirler. Mikro yapıdaki ferrit/ostenit dengesi, mekanik özellikler ve korozyon davranışı üzerinde çok önemli etkiye sahiptir. Dupleks paslanmaz çelikler, ostenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında gerilmeli korozyon çatlağı ve oyuk korozyonuna karşı yüksek direnç ve yüksek mekanik dayanıma sahiptir. Bu nedenle nükleer tesisler, petrol ve doğalgaz boru hatları, kimyasal tesisler ve denizcilik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Dupleks malzemelerin karmaşık alaşım içerikleri nedeniyle 1000°C altında birincil ve ikincil fazların (krom nitrür, krom karbür, ikincil ostenit ve intermetalik fazlar) oluşumu beklenmelidir. Dupleks paslanmaz çeliklere uygulanan ısı işlemlerde işlem sıcaklığı ve soğuma şartları, birincil ve ikincil fazlar üzerinde önemlidir [1]. Bu malzemelere uygulanan ısı işlemler sırasında oluşan ferrit-ostenit oranına, tane sınırlarında çöken intermetalik fazlara dikkat edilmelidir [2]. Oluşan intermetalik fazlardan en yaygın görülen σ (sigma) ve chi fazları süneklik, tokluk ve korozyon dayanım özellikleri üzerinde olumsuz etkiye sahiptir [3]. Kromca zengin nitrürler soğuma esnasında ferrit tane sınırlarında aşırı doyumluk nedeniyle oluşur [4]. Düşük sıcaklık fazlarının meydana getireceği reaksiyonlar dupleks paslanmaz çelik kullanımını yaklaşık 280°C ile sınırlamaktadır.

Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti genellikle ferritik paslanmaz çeliklerden daha iyi, fakat ostenitik paslanmaz çeliklerden daha kötüdür. Kaynak metalinde ferrit/ostenit dengesinin sağlanması gerekmektedir [5]. Isıdan etkilenmiş bölgede ferrit miktarının artması beklenmelidir. KM ve IEB mikroyapısı Cr/Ni eş değeri ile birlikte kaynak esnasında malzemeye verilen ısı girdisine bağlıdır. KM ve IEB de yeterli miktarda ostenit oluşumunu sağlayacak ısı girdisi

uygulanmalıdır. Bu açıdan, çok düşük ısı girdisi ve buna bağlı olarak hızlı soğumalardan kaçınılmalıdır. Çok yüksek soğuma hızlarında yüksek ferrit miktarı, nitrür çökelmeleri ve sonuçta düşük tokluk ve düşük korozyon direnci ile karşılaşılır. Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynağı alaşım içeriklerine bağlı olarak kontrollü bir ısı girdisi ile yapılmalıdır [6].

Orbital kaynak yöntemi özellikle boruların yüksek kaliteli kaynağında TIG kaynağı ile birlikte tercih edilmektedir. Orbital denmesinin sebebi, kaynak edilecek boruların dairesel olarak hareket eden başlık içerisinde yer alan elektrot ve iş parçası arasında oluşan ark ile kaynak edilmesi nedeniyle [7,8]. Orbital kaynağı kaynak akımı, ark uzunluğu, ilerleme hızı gibi kaynak parametrelerini ayarlanabilir ve tekrar edilebilir hale getirdiğinden boruların birleştirilmelerinde kaliteli, tutarlı ve sürekli olarak aynı tip kaynakların elde edilmesine sağlar [9,10]. Bununla birlikte yüksek üretim hızı, düşük çarpılma, ısı girdisinin kontrolüyle daha dar IEB oluşması yöntemin diğer avantajları arasında sayılabilir [11,12].

Orbital kaynak yönteminde kaynak edilecek dairesel alan, sektörlere bölünmektedir. Genellikle 4 sektöre bölünerek kaynak işlemi yapılır. Boruların kaynağında aynı anda çok farklı pozisyonlar söz konusudur. Bu nedenle ergiyen ve katılaştıran kaynak metalinin kontrolü önemlidir ve darbeli akım kullanılması zorunludur [13].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada, 150 mm uzunluğa, 1 mm et kalınlığına sahip ve 25 mm çapında dupleks paslanmaz çelik borular (UNS 31803 ve EN 1.4462) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan paslanmaz çelik malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Kaynak işlemleri orbital TIG kaynak makinası kullanılarak, saf argon gaz ortamında alın altına bağlantı tipinde gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmenin özelliklerine etki edecek kaynak parametreleri; koruyucu gaz debisi (m^3/s), kök koruyucu gaz debisi (m^3/s), son süpürme zamanı

(s), ilerleme hızı (mm/dk), yüksek akım (A), düşük akım (A), yüksek-düşük akım zamanı (s) olarak belirlenmiştir. Bu parametrelere bağılı olarak kaynak denemelerinde iki farklı elektrot kullanılmıştır; WL-20 (%2 seryum içeren, 30° uç geometrisine sahip elektrot) ve WT-40 elektrot (%3,80-4.20 toryum içeren, 30° uç geometrisi sahip elektrot). Kaynak parametreleri ile WL ve WT elektrot isimleri birleştirilerek numuneler isimlendirilmiştir. Kaynak işlemlerinin her aşamasında kaynak voltajı 20V olarak alınmıştır. Çizelge 2’de kaynak parametre değerleri çizelge halinde gösterilmiştir.

Çizelge 1. Ana malzemenin kimyasal bileşim oranları

Kimyasal Bileşim (%)									
Cr	Ni	Mn	C	Mo	Si	P	S	N	Fe
22,31	5,26	0,76	0,017	3,15	0,49	0,023	0,0007	0,17	-

Literatür incelemeleri sonucunda ince et kalınlığına sahip dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak işlemlerinde, 0.1 kJ/mm ısı girdisinin kaynak metalinde yüksek miktarda ferrit içeriğine neden olduğu görülmüştür. Buradan hareketle uygun ısı girdisinin belirlenebilmesi için çeşitli denemeler yapılmıştır. 0.2 kJ/mm ısı girdisinin nüfuziyet eksikliğine neden olduğu 0.40 kJ/mm ısı girdisi değerleri üzerine çıkıldığında ana malzemenin ergiyip delindiği belirlenmiştir. Farklı kaynak pozisyonlarının, kaynak işlemi süresince borunun bazı kısımlarında yetersiz ısı girdisine sebep olmasından dolayı kaynak bölgesi 4 ayrı sektöre bölünmüştür.

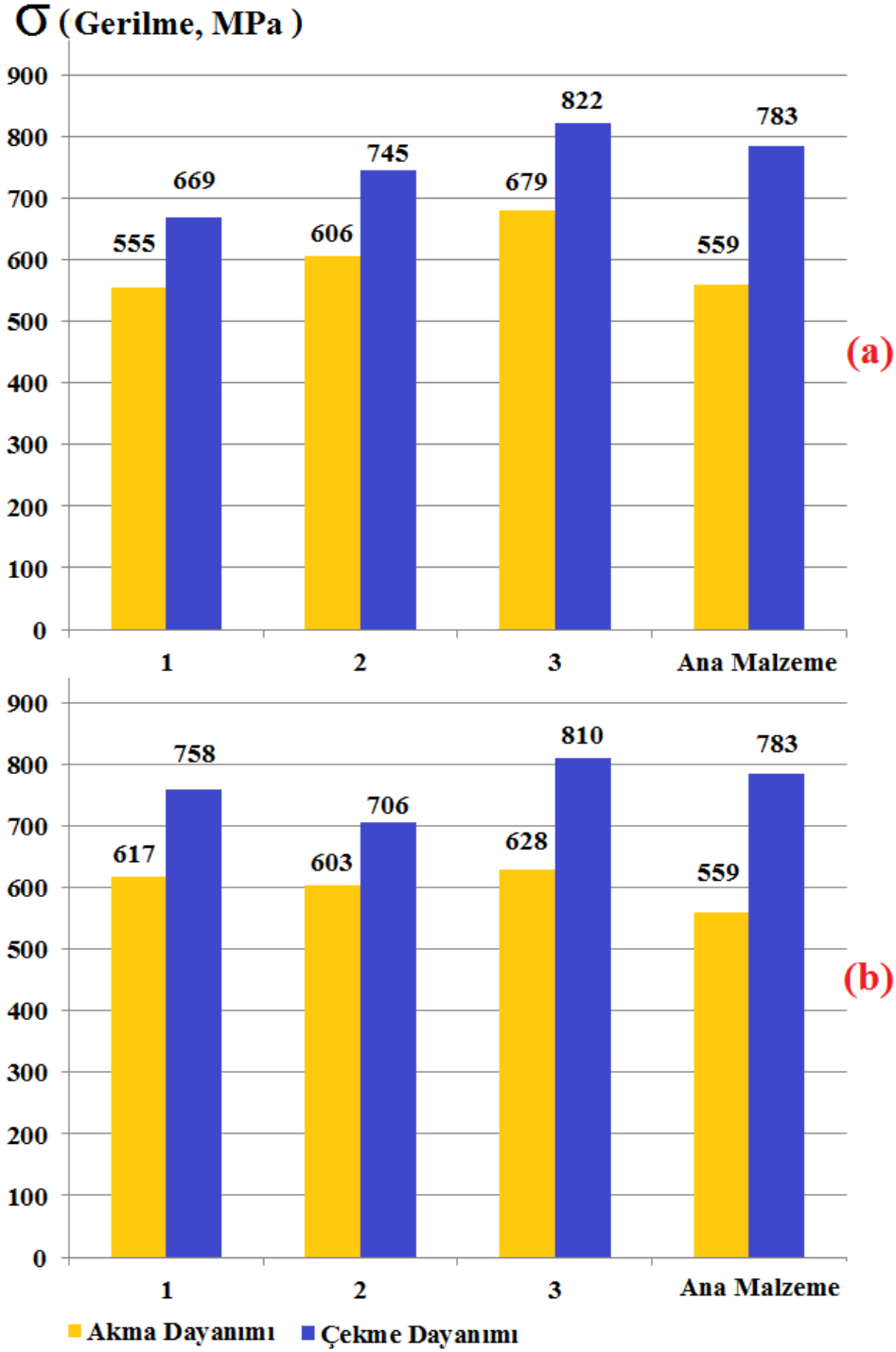
Kaynak edilen numunelere çekme, sertlik, taneler arası korozyon testi (EN ISO 3651-1) ve oyuk korozyon testi (ASTM G48-11) uygulanmıştır. Ayrıca, SEM-EDX analizleri ile mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Kaynak parametrelerinin gösterimi

	Kaynak parametreleri	1.	2.	3.
	Elektrot tipi	WL/WT	WL/WT	WL/WT
Koruyucu gaz debisi (m ³ /s)		25	30	32
Kök koruyucu gaz debisi (m ³ /s)		15	15	17
Son süpürme zamanı (s)		20	20	20
1. Bölge	İlerleme hızı (mm/dk)	85	80	80
	Yüksek akım (A)	42,3	44,5	43,6
	Düşük akım (A)	19,1	20,0	19,6
	Yüksek-düşük akım zamanı(s)	0,20	0,18	0,18
2. Bölge	İlerleme hızı (mm/dk)	85	80	80
	Yüksek akım (A)	40,7	42,7	41,8
	Düşük akım (A)	18,3	19,2	18,8
	Yüksek-düşük akım zamanı(s)	0,20	0,18	0,18
3. Bölge	İlerleme hızı (mm/dk)	85	80	80
	Yüksek akım (A)	43,2	45,4	42,1
	Düşük akım (A)	19,4	20,4	19,1
	Yüksek-düşük akım zamanı(s)	0,20	0,18	0,18
4. Bölge	İlerleme hızı (mm/dk)	85	80	80
	Yüksek akım (A)	41,5	44,1	43,2
	Düşük akım (A)	18,7	20,0	19,6
	Yüksek-düşük akım zamanı (s)	0,20	0,18	0,18

2.1. Çekme Testleri

Kaynaklı numunelerin çekme testleri TS EN ISO 4136:2012 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri kaynak yönüne dik gelecek konumda tel erozyon makinasıyla kesilmiştir. Testler sonucunda elde edilen dayanım değerleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1, 2 ve 3 numunelerinin çekme değerleri a) WL b) WT

Çekme testleri incelendiğinde, kaynaklı birleştirilmiş numunelere ait akma dayanımı değerlerinin ana malzemeninkinden yüksek olduğu görülmektedir. Çekme dayanımı değerlerinin ise ana malzemeye kıyasla 1 ve 2 no'lu numunelerde düşük, 3 no'lu numunelerde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak, tüm numunelerde yüzde uzama değerlerinin ana malzemeye kıyasla daha düşük (%3-4 kadar) kaldığı görülmüştür. Tüm kaynaklı numuneler IEB'den kırılmıştır. Bu tespitlere göre kaynak işleminde ulaşılan yüksek tepe sıcaklığı (~1350°C) ve yüksek soğuma hızlarına maruz kalan IEB'nin göreceli ferritik tane iriliği birlikte düşünüldüğünde, ferrit tane sınırlarında oluşması muhtemel intermetalik fazlar ve ferrit/ostenit dengesinin kaynaklı bağlantıların süneklik değerleri üzerinde kuvvetli olumsuz bir etki yarattığı değerlendirilmiştir.

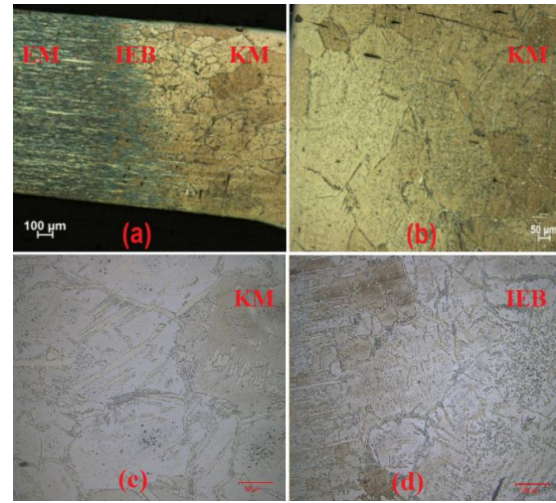
İlave dolgu malzemesi kullanılmadan yapılan dubleks malzemelerin kaynağında ferrit/ostenit dengesi, akma ve çekme dayanımlarından ziyade süneklik değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında artan ferrit içeriği sünekliği azaltmaktadır. Kaynaklı numunelere ait akma dayanımı değerlerinin ana malzemeden yüksek çıkması, yüksek ferrit içeriği ve düşük hacimsel yüzdeye sahip sigma ve chi fazlarının varlığı ile açıklanabilir.

2.2. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

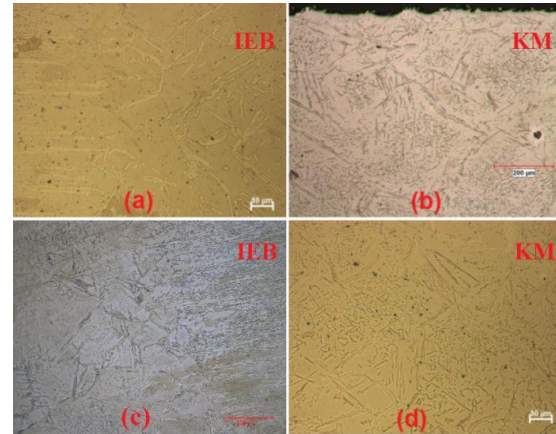
Kaynaklı parçalardan kalınlık kesiti boyunca hazırlanan numuneler, zımparalama ve parlatma işlemlerinin ardından Kalling's No:2 ve Beraha çözeltileri ile dağlanmıştır. Dağlanmış numunelerin kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) mikro yapıları değerlendirilmiştir. Şekil 2'de WL numunelerine ait mikro yapı resimleri, Şekil 3'de WT numunelerine ait mikro yapı resimleri gösterilmiştir.

Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında yapı tamamen ferritik katılaşma gösterir. Katılaşma süresince ostenit oluşumu gözlenmez. Fakat sıcaklık azaldıkça katı-katı dönüşümüyle ferrit fazından ostenit çökelir. Soğuma hızlarının IEB'ye nazaran daha yavaş olduğu kaynak metali ferrit

taneleri içerisinde ve tane sınırlarında asiküler yapıda ve Widmānstätten plakaları halinde oluşan ostenit oranının fazla olduğu görülmektedir (Şekil 2b-c, Şekil 3b-d). Kaynak metalinin üst ve alt kısımlarında yeterli miktarda ostenit oluşumu gözlenmektedir (Şekil 3b). Bahse konu ostenit oluşumu oyuk korozyon dayanımı üzerinde olumlu etki meydana getirmektedir.



Şekil 2. WL 1-2-3 numunelerine ait mikroyapı fotoğrafları



Şekil 3. WT 1-2-3 numunelerine ait mikroyapı fotoğrafları

Tüm numunelerde IEB genişliğinin göreceli olarak birbirine yakın olduğu görülebilir. IEB'ye bitişik

bölgede oluşan görece iri tanelerin, ostenitin yüksek sıcaklık altında çözünüp ferrite dönüşmesi neticesinde oluştuğu söylenebilir. IEB’ de ferritik katılaşma esnasında meydana gelen tane büyümesine bağlı olarak ferrit miktarında artış ve ferrit tane sınırlarında ostenit oluşumu görülmektedir (Şekil 2d, Şekil 3c).

Tüm numunelerin kaynak metalinde ortalama tane büyüklükleri mikroyapı fotoğrafları kullanılarak 260 ile 300 µm aralığında bulunmuştur. Görece ferrit tane büyüklüğünün katılaşma esnasında yüksek ferrit içeriğine ve soğuma esnasında daha düşük ostenit oluşumuna neden olduğu değerlendirilmektedir. Tüm numunelerin KM ve IEB’lerinde ferrit/ostinit oranları İmage Proplus 6.0 görüntü analiz programı kullanılarak tespit edilmiştir. Tüm numunelerin KM ve IEB’lerinde ferrit miktarının ana malzemeye kıyasla biraz arttığı gözlenmektedir. Elde edilen değerler Çizelge 3’te verilmektedir.

Çizelge 3. Numunelerin ferrit/ostinit oranlarının gösterilmesi

Numune adı	KM	IEB
WL-1	% 65 Ferrit % 35 Ostenit	% 68 Ferrit % 32 Ostenit
WL-2	% 62 Ferrit % 38 Ostenit	% 66 Ferrit % 34 Ostenit
WL-3	% 66 Ferrit % 34 Ostenit	% 69 Ferrit % 31 Ostenit
WT-1	% 65 Ferrit % 35 Ostenit	% 70 Ferrit % 30 Ostenit
WT-2	% 67 Ferrit % 33 Ostenit	% 69 Ferrit % 31 Ostenit
WT-3	% 65 Ferrit % 35 Ostenit	% 68 Ferrit % 32 Ostenit

2.3. SEM-EDX Analiz Sonuçları

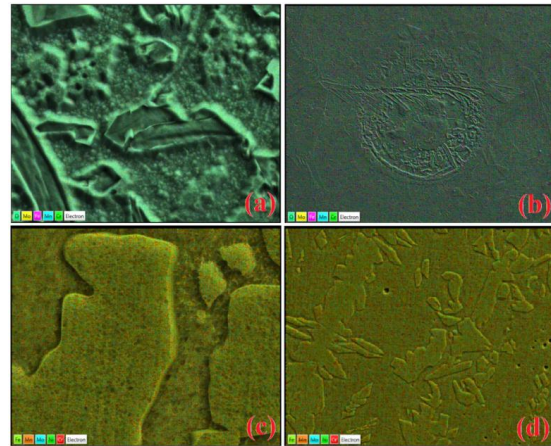
Dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonunun yüksek mekanik özellikler ve korozyon dayanımını sağlaması açısından, kaynak işlemi gibi ısı işlemler sonucunda yapılarının eşit miktarda ostenit ve ferrit içermesi beklenmektedir. Ferrit ve ostenit içeriğinin belirlenebilmesi amacıyla parlatılarak dağlanmış numunelerde ana metal ve kaynak metali kısımlarında ana

alaşım elementleri olan demir, krom, nikel, molibden ve mangan içeriklerine ait EDX analizi yapılmıştır. Kimyasal kompozisyonu oluşturan alaşım elementleri ve miktarlarına ait değerler sırasıyla, Çizelge 4’de gösterilmektedir.

Çizelge 4. WL/WT 1-2-3 numunelerine ve ana malzemeye ait EDX sonuçlarının gösterimi

Analiz Bölgeleri	Elementler (%)					Numune Adları
	Cr	Ni	Mo	Fe	Mn	
Ana Malzeme	20.66	4.66	2.59	60.91	1.62	2205
Kaynak Metali	20.48	4.64	2.98	60.71	1.62	WL-1
	20.86	4.85	3.04	60.69	1.51	WT-1
	21.26	4.70	2.86	62.13	1.61	WL-2
	21.56	4.88	2.58	63.47	1.61	WT-2
	20.89	4.64	2.85	61.03	1.65	WL-3
	20.89	4.71	3.11	61.34	1.60	WT-3

EDX analizi sonucunda, tüm numunelerin kaynak metalindeki kimyasal kompozisyonlarının esas metale yakın olduğunu görülmektedir. Cr ve Mo (ferrit yapıcı) elementlerinin miktarları ana malzemeden yüksek, Ni (ostinit yapıcı) miktarının yüksek, Mn miktarının ise çok az düşük ve yakın olduğu belirlenmiştir. Kaynak metalindeki yüksek ısı girdisi ve soğuma hızına bağlı olarak ferrit miktarının daha yüksek olduğu bir ferrit/ostinit faz dağılımı oluştuğu söylenebilir.



Şekil 4. a) WT-2, b) WT-1, c) WL-2 ve d) WL-3 numunelerinin KM ve IEB’lerine ait EDX sonuçları

Tüm numunelerde ferrit tane sınırları ve ferrit tanelerinin içerisine doğru uzayıp büyüyen Widmānstätten plakalarının içerisinde, ostenit/ferrit ara yüzeyi ile ferrit taneleri içerisinde σ ve λ (chi) fazları ile Cr_2N varlığı SEM-EDX ve ikincil elektronlar kullanılarak incelenmiştir (Şekil 4). Fe-Cr-Mo içeriğine sahip σ fazı ile aynı yapıda olan fakat daha yüksek Mo içeriğine sahip λ (chi) fazı, krom nitrit ile karbür oluşumuna rastlanılmamıştır. Düşük tokluk değerlerine sebebiyet veren σ ve λ (chi) fazlarının tespit edilememesi gerçekten olmadığı anlamına gelmemelidir.

2.4. Taneler Arası Korozyon Deneyi Sonuçları

İleri derecede yükseltgen ortamlarda kullanılması düşünülen (örneğin nitrik asit ortamında) borulara Taneler arası korozyon deneyi (TS 3156 EN ISO 3651-1) uygulanır. Numuneler 120 mesh zımpara ile yüzeyleri ve kenarları zımparalanarak mekanik tufalı giderildikten sonra % 65'lik nitrik asidin içerisinde 48 saatlik dönemler halinde 5 defa kaynatılmıştır.

Her dönem sonunda oluşan kütle kaybını belirlemek için hassas terazi kullanılmıştır. Nitrik asit çözeltisinin kimyasal reaksiyon etkileri, her deney periyodunun sonunda ve toplam deney süresinin sonunda ölçülen kütle kaybıyla belirlenmiştir. Kütle kaybı belirlenirken her defasında cihaz kalibre edilmiş, her ölçüm 5'er defa yapılmış ve standart sapma göz önüne alınarak ortalama değerleri hesap edilmiştir. Deney dönemlerindeki korozyon hızı ve deney sonuçları başlangıç ağırlıklarına göre korozyon hızları Çizelge 5'de yer almaktadır.

Korozyon deneyi sonuçları incelendiğinde, elde edilen korozyon hızları, KM ve IEB' de kaynak işlemi sonucunda nitrik asit içerisinde taneler arası korozyona karşı hassasiyeti oluşturan krom karbürlerin ve nitritlerin çökmesi, sigma fazı gibi metaller arası bileşiklerin çökmesi veya safsızlık elementlerinin tane sınırlarında ayrışması durumlarının yoğun/aşırı olmadığını göstermektedir.

Çizelge 5. Numunelerin deney dönemlerindeki korozyon hızı

Deney periyotları	Numunelerin korozyon hızı (mm.a^{-1})					
	WL-1	WL-2	WL-3	WT-1	WT-2	WT-3
1	0,0010	0,0007	0,0009	0,0008	0,0009	0,0029
2	0,0071	0,0005	0,0008	0,0007	0,0006	0,0059
3	0,0010	0,0008	0,0012	0,0014	0,0015	0,0082
4	0,0012	0,0013	0,0015	0,0021	0,0017	0,0036
5	0,0017	0,0018	0,0017	0,0036	0,0012	0,0028

2.5. Oyuk Korozyon Deneyi Sonuçları

Oyuk korozyon deneyi oksitleyici klor içeren ortamlara maruz kalan paslanmaz çeliklerin oyuk korozyonuna dayanımını belirlemek amacıyla kullanılır. Oyuk korozyon deneyi ASTM G48-11 (Demir Klorür Çözeltisi İçerisinde Paslanmaz Çeliklerin Oyuk Ve Aralık Korozyon Dayanımının Belirlenmesi Standart Testi) standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Standartın Metod A-Demir klorür Oyuk Testi ve Metod E-Paslanmaz Çelikler İçin Kritik Oyuk Sıcaklığı Testi kısımları uygulanmıştır. Metod-A için hazırlanan korozyon çözeltisinin kimyasal reaksiyon etkileri, her deney periyodunun sonunda ölçülen kütle kaybıyla belirlenmiştir. Kütle kaybı belirlenirken her defasında cihaz kalibre edilmiş, her ölçüm 5'er defa yapılmış ve standart sapma göz önüne alınarak ortalama değerleri hesap edilmiştir. Başlangıç ile deney dönemi (24 saat) sonunda elde edilen kütle değerleri esas olarak hesaplanan korozyon hızı değerleri tüm numuneler için $0,0001 \text{ g/cm}^2$ 'dir.

Optik mikroskop kullanılarak tüm numunelerden makro ile mikro görüntüler alınmıştır. Bu görüntüler Şekil 5'de gösterilmektedir. İncelenen görüntülerde oyuklara rastlanılmamıştır.



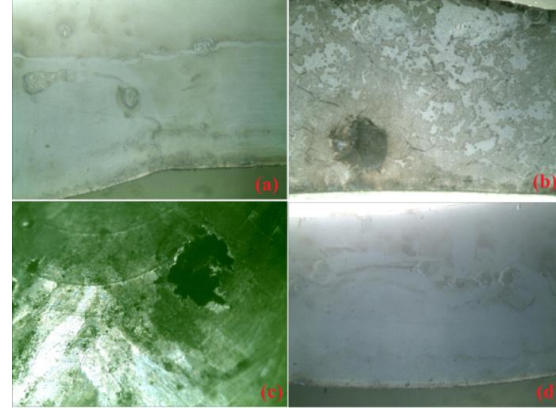
Şekil 5. a) WL-2 numunesine ait makroyapı fotoğrafı (30x) dağlanmış, b) WT-3 numunesine ait makroyapı fotoğrafı (30x) parlatılmış

Metod-E testi uygulanmadan önce ana malzemenin kritik oyuk sıcaklığı 40°C olarak hesaplanmıştır. Dupleks malzemelerin dolgu teli kullanılmadan yapılan kaynağında, kaynak bölgesinin kritik oyuk sıcaklığının ana malzemeden düşük kalması beklenmelidir. Metod-E testi sonucunda oluşan oyukların derinlikleri iğne uçlu komparatör yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen ortalama ve en yüksek derinlik değerleri Çizelge 6'da yer almaktadır.

Çizelge 6. Numunelere ait derinlik ölçümleri

Numune Adı	Ortalama Derinlik (mm)	Maksimum Derinlik (mm)
WL-1	0,042	0,060
WL-2	0,041	0,055
WL-3	0,045	0,054
WT-1	0,047	0,058
WT-2	0,044	0,065
WT-3	0,042	0,067

Çizelge 6 incelediğinde standardın öngördüğü 0.025 mm değerinden yüksek değerler olduğu görülmektedir. Optik mikroskop kullanılarak tüm numunelerden oyuk oluşumlarını içeren görüntüler alınmıştır. Bu görüntüler Şekil 6'da gösterilmektedir. Bu durum esas alınarak kritik oyuk sıcaklığının tüm numuneler için 27°C±1 olduğu söylenebilir.



Şekil 6. a) WL-1 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (50x), b) WT-1 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (60x), c) WT-3 numunesine ait makroyapı fotoğrafı (40x), d) WL-3 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı (50x)

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada Orbital TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş dupleks paslanmaz çelik boruların mekanik, mikroyapı ve korozyon özellikleri konusu araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- SEM-EDX analizi sonucunda, tüm numunelerin kaynak metalindeki kimyasal kompozisyonlarının esas metale yakın olduğunu görülmüştür. Tüm numunelerde intermetalik faz, krom nitrür ve krom karbür oluşumlarına rastlanılmamıştır. Bu oluşumlara rastlanılmaması olmadıkları anlamına gelmemelidir.
- Tüm numuneler IEB' den kopmuştur. Tüm numunelerde, EM' in uzama değerlerine (%30) kıyasla çok düşük uzama değerleri (% 3-4 kadar) elde edilmiştir. WL20 ve WT40 elektrod ile kaynak edilen numunelerin akma ve kopma dayanımlarının ASTM'nin minimum değerlerini fazlasıyla karşıladığı görülmektedir.
- Mikroyapı fotoğraflarına baktığımızda; tüm numunelerde kaynak metali içerisinde, ferrit

tane sınırlarında ostenit oluşumu, Widmānstaten ostenit plakalarının oluşumu ve ferrit taneleri içerisinde ostenit oluşumu görülmektedir. Tane sınırlarında ve tane içerisinde zengin ostenit oluşumu difüzyon süresinin yeterli olduğunu göstermektedir. Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynağında bu oluşumlar tipik olarak görülür.

- Taneler arası korozyon deneyi sonuçlarını incelediğimizde; orbital GTAW kaynak yöntemi ile birleştirilen dupleks paslanmaz çelik borulardan hazırlanan tüm numunelerin standart tasarım ve kullanım kriterleri açısından yeterli taneler arası korozyon dayanımını sağladıkları tespit edilmiştir.
- Oyuk korozyon deneyi sonuçlarını incelediğimizde; tüm numunelerin standardın gerektirdiği oyuk korozyon dayanımını sağladıkları ve $27\pm 1^\circ\text{C}$ CPT (kritik oyuk sıcaklık değeri) değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir.

4. KAYNAKLAR

1. Kısasöz, A., Karaaslan, A., 2012. Dupleks Paslanmaz Çeliklerde Oluşan Yüksek Sıcaklık Fazlarına Genel Bir Bakış, Teknik Yazı, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası, 7(162), 57-61s.
2. Nowacki, J., Lukojc, A., 2005. Structure and Properties of the Heat-Affected Zone of Duplex Steels Welded Joints, Journal of Materials Processing Technology, 164–165, pp. 1074–1081.
3. Karlsson, L., 1999. Review, Intermetallic Phase Precipitation in Duplex Stainless Steels and Weld Metals–metallurgy, Influence on Properties, Welding and Testing Aspects, Welding in the World, vol. 43, no. 5, pp. 20-41.
4. Ogawa, T., Koseki, T., 1989. Effect of Composition Profiles on Metallurgy and Corrosion Behavior of Duplex Stainless Steel Weld Metals, Welding Journal 68, pp. 181-191.
5. Kaluç, E., Taban, E., 2007. Paslanmaz Çelikler, Geliştirilen Yeni Türleri ve Kaynak Edilebilirlikleri, TMMOB, İstanbul.
6. Lippold, J.C. Kotecki, D.J., 2005. Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels, John Wiley and Sons, New Jersey, USA.
7. Wilsdorf, R. Pistor, R., Sixsmith, J.J. Jin, H., 2006. Welding Aluminum Pipe And Tube With Variable Polarity, Welding Journal, Vol. 85, no. 4, pp. 42-43.
8. Emmerson, J., 2000. Orbital Narrow Gap MCW Pipe Welding, Welding&Metal Fabrication, vol. 68, no. 8, pp. 9-11.
9. Benway, E.A., 2000. Advancements in Automatic Orbital Welding Expand Its Use, Provide Welders With More Option, Industrial Maintenance & Plant Operation, vol. 61, no. 7, pp. 22.
10. Latifi, H., 2012. Advanced Orbital Pipe Welding, Ms thesis, Lappeenranta University of Technology, Finland.
11. Harris, I.D., 2011. Welding Advances in Tube And Pipe Applications, Welding Journal, vol. 90, no. 6, pp. 58-63.
12. Benway, E.A., 2009. What To Look For in Orbital Welding Training Programs, Penton's Welding Magazine, vol. 82, no. 5, pp. 18-22.
13. POLYSOUDE, Orbital Welding Handbook, <http://www.polysoude.com/orbital-welding> (erişim tarihi 12 Haziran 2015).

Effect of Heat Input on Weld Microstructure in TIG Welding of Duplex Stainless Steels

Alptekin KISASÖZ^{*1}, Ahmet KARAASLAN¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 12.01.2016

Kabul tarihi:30.04.2016

Abstract

Duplex stainless steels are used in many applications as in oil, chemical, petrochemical, nuclear and marine industries. Welding of duplex stainless steels requires higher attention due to changes in ferrite and austenite phase ratio in weld metal. Higher ferrite or austenite phase ratio induces decreases in mechanical properties and corrosion resistance. In this study, effect of heat input on weld microstructure of duplex stainless steels in TIG welding were investigated. Higher heat input induce austenite structure and grain size changes in weld metal.

Keywords: Duplex stainless steels, TIG welding, Mechanical properties

Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Isı Girdisinin Kaynak Mikroyapısı Üzerindeki Etkisi

Özet

Çift fazlı paslanmaz çelikler kimya, petrokimya ve nükleer sanayii ile açık deniz uygulamalarında yaygın bir kullanıma sahiptir. Çift fazlı paslanmaz çeliklerin kaynağı, kaynak metalinde ferrit ve östenit faz oranlarının değişimi nedeniyle yüksek özen gerektirmektedir. Ferrit veya östenit oranı mekanik özelliklerin ve korozyon dayanımının olumsuz yönde değişmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, çift fazlı paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında ısı girdisinin kaynak mikroyapısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek ısı girdisinin östenit yapısında ve tane boyutunda değişimlere yol açtığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çift fazlı paslanmaz çelikler, TIG kaynağı, Mekanik özellikler

* Sorumlu yazar (Corresponding author) : Alptekin KISASÖZ., Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul. akisasoz@gmail.com

1. INTRODUCTION

Duplex stainless steels (DSS) have ferrite and austenite phases in approximately equal amounts. DSS have been used in many application areas such as in oil, chemical, petrochemical, nuclear and marine industries due to their higher mechanical properties and corrosion resistance [1-4].

Welding of DSS requires higher attention because of the changes in ferrite-austenite phase ratio and the formation of intermetallic phases in weld metal. Especially, phase ratio and microstructure of the weld bead is strongly dependent on the heat input and the thermal cycle. Higher heat input will be reveal the higher ferrite phase ratio and contrary, lower heat input will be lead limited austenite phase ratio. Higher ferrite or austenite phase ratio induces decreases in mechanical properties and corrosion resistance [5].

In this study, effect of heat input on weld microstructure of duplex stainless steels were investigated. Specimens were joined by TIG welding method with two different filler metal diameter. Moreover, microstructure and mechanical properties were investigated with optical microscope analysis and charpy impact test, respectively.

2. EXPERIMENTAL

EN 1.4462 duplex stainless steel plates with 400x150x10 mm dimension were joined with ER2209 filler metal. Filler metals were used with two different diameters as 2.00 mm and 2.40 mm. The chemical compositions of base material and filler metal are given in Table 1.

Specimens were joined with V welding groove joining design by TIG welding. Welding parameters and V welding groove joining design are shown in Table 2 and Figure 1.

The microstructure of the weldments were characterized by optical microscopy. Metallographic preparation was performed by

grinding, polishing and etching. Water cooled silicon carbide papers of 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 and 2000 grit size in grinding. Latter, the samples were polished using 1 μm diamond paste. Electro-chemical etching was performed using KOH solution.

Table 1. Chemical compositions of base material and filler metal (wt. %)

	C	Cr	Ni	Mo	Mn
EN 1.4462	0.02	22.56	5.42	2.95	1.29
ER 2209	0.03	22.00	10.00	2.70	0.90
	Si	P	S	N	Fe
EN 1.4462	0.457	0.031	0.014	0.17	Bal.
ER 2209	0.50	-	-	0.12	Bal.

Table 2. Welding parameters

	Specimen 1	Specimen 2
Filler Metal Diameter (mm)	2.40	2.00
Current (A)	190	160
Voltage (V)	15	15
Welding Speed (mm/s)	1.60	2.70
Shielding Gas	Ar	Ar

Effects of the welding process on the mechanical properties of the specimens were investigated with charpy impact tests. Charpy impact tests were carried out according to TS EN ISO 9016:2012 charpy impact test standard.

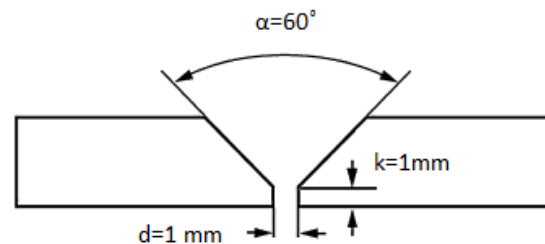


Figure 1. V groove joining design

3. RESULTS AND DISCUSSION

Microstructure properties of welded specimens were characterized by optical microscopy and

image analyses, and mechanical properties determined with help charpy impact test. Figure 2 shows the weld seam and HAZ microstructures of welded specimens. In weld seam, different type of austenite phases occur depending on heat input, base material properties (austenite/ferrite ratio), filler metal properties and welding parameters. These structures are Widmanstatten austenite, grain boundary austenite, intergranular austenite and secondary austenite. During the cooling of weld metal, grain boundary austenite comprises from δ ferrite. Also, other austenite structures comprise due to thermal cycles [6, 7].

Moreover heat input (H_{net}) during the welding can be calculated from Equation 1.

$$H_{net} = EI / V \quad (1)$$

In Equation 1, E is welding voltage, I is welding current and V is welding speed. Calculated heat inputs for specimen 1 and specimen 2 are calculated as 1781 Ws/mm and 888 Ws/mm, respectively.

Specimen 1 were joined with higher welding current and heat input than Specimen 2. Thus, weld bead of specimen 1 has larger austenite grain size and greater secondary austenite ratio. Also, intergranular austenite phase occurs in specimen 2 due to lower thermal cycle characteristics.

HAZ microstructures of specimen 1 and specimen 2 are shown in Figure 2b and Figure 2d, respectively. According to HAZ microstructures, grain coarsening is more decent in specimen 1 owing to higher amount of welding heat input.

Table 3. Impact test results of welded specimens

Test Temperature (°C)	Specimen 1		Specimen 2	
		24	-40	24
Weld Bead Impact Strength (J/cm ²)	122.30	102.20	131.10	87.95
HAZ Impact Strength (J/cm ²)	224.10	111.32	232.12	156.30

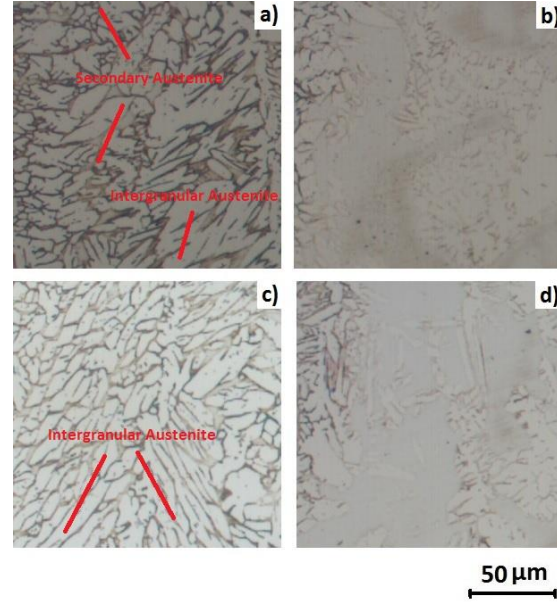


Figure 2. Weld metal structures a) Weld bead microstructure of specimen 1 b) HAZ microstructure of specimen 1 c) Weld bead microstructure of specimen 2 d) HAZ microstructure of specimen 2

Charpy impact test results are given in Table 3. Impact strength values of specimen 1 and specimen 2 is decreasing with decreasing test temperature. Impact strength values of HAZ for both specimens are higher than weld bead impact strength values. Also, impact strength of specimen 2 is higher than specimen 1. Higher heat input values in specimen 1 enhance the grain coarsening and thus, specimen 2 has greater impact strength values.

4. CONCLUSION

In this investigation, heat input values for specimen 1 and specimen 2 were calculated as 1781 Ws/mm and 888 Ws/mm, respectively.

Grain coarsening occurred in weld bead and HAZ of specimen 1. Secondary austenite occurs in specimen 1. Also, intergranular austenite occurs in specimen 2 due to lower thermal cycle characteristics.

Higher heat input values during welding enhanced the grain coarsening and decreased the impact strength values.

In TIG welding of duplex stainless steels, weld seam and HAZ microstructures are strongly dependent on heat input during the joining. Austenite/Ferrite phase ratio and types of austenite structures have great importance for mechanical properties of weld structure.

5. REFERENCES

1. Kısasöz, A., Karaaslan A., 2014. Finite Element Analysis of 2205 Duplex Stainless Steel Welds, *Materials Testing*, 56, 795-799.
2. Kısasöz, A., Gurel, S., Karaaslan A., 2016. Effect of Annealing Time and Cooling Rate on Precipitation Processes in a Duplex Corrosion-Resistant Steel, *Metal Science and Heat Treatment*, 57, 544-547.
3. Neessen, F., Bandsma, P., Smitweld, L., 2001. Tankers – A Composition in Duplex Stainless Steels, *Welding Innovation*, 18, 2-8.
4. Horvarth, W., Prantl, W., Stuwe, H.P., Werner, E., 1995. Influence of Thermal Cycling on the Microstructure of a Ferritic–Austenitic Duplex Stainless Steel, *Materials Characterization*, 34, 277-285.
5. Hertzman, S., Ferreira, P.J., Brolund, B., 1997. An Experimental and Theoretical Study of Heat-Affected Zone Austenite Reformation in Three Duplex Stainless Steels, *Metallurgical and Materials Transactions*, 28 A, 277-285.
6. Geng, S., Sun, J., Gou, L., Wang, H., 2015. Evolution of Microstructure and Corrosion Behavior in 2205 Duplex Stainless Steel GTA Welding Joint, *Journal of Manufacturing Processes*, 19, 32-37.
7. Ramirez, A.J., 2003. The Relationship Between Chromium Nitride and Secondary Austenite Precipitation in Duplex Stainless Steels, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 34A, 1575-1597.

Düşük Alaşımli Çelik Kaynaklarda Sıcak Çatlak Oluşumunun Matematiksel Olarak Modellenmesi

Alptekin DURMUŞOĞLU*¹

¹Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

Geliş tarihi: 12.01.2016

Kabul tarihi:04.04.2016

Özet

Çelik alaşımların kaynak malzemesi olarak yaygın kullanımı; alaşım özelliklerinin ve kaynak koşullarının, sıcak çatlamların oluşumundaki etkilerinin araştırılmasında önemli bir rol oynamıştır. Deneysel çalışmalar, metallerin kimyasal özelliklerinin, alaşımli kaynakların sıcak çatlama ile sonuçlanmasında etkin rol oynadığını gösterse de, faktörlerin etkilerinin büyüklüklerine göre ayrıştırılması tam anlamıyla gerçekleştirilememiştir. Bu çalışmada; Cambridge Üniversitesi tarafından; “Malzeme Veri Kütüphanesi”nde yayınlanan deney sonuçları analiz edilerek; sıcak çatlama belirleyen faktörlerin matematiksel olarak modellenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla kurulan modeller arasında %81.8 tahmin doğruluğuyla “En İyi İlk Karar Ağacı” (BFTree) en iyi çözüm üreten yöntem olmuş, bilimsel yazında aynı veri setini kullanan çalışmalara göre daha yüksek doğruluk oranını yakalamıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıcak çatlama, Düşük alaşımli çelik kaynaklar, Matematiksel model

Mathematical Modelling of the Hot Crack Formation in Low Steel Alloy Welds

Abstract

The wide usage of steel alloys as the welding material has played an important role through the research on the role of alloy features and welding conditions on the formation of hot cracks. Although the experimental studies indicate that, chemical structure of metals have major role on the hot crack formation, effects of the factors have not been decomposed completely yet. In this paper, it is aimed to develop a mathematical model explaining the factors causing hot cracks by utilizing the results of the experiments published by the Cambridge University in the Material Data Library. “Best First Tree” has been the model producing the best results with the forecasting accuracy of %81.8 among the model alternatives and it reached a higher accuracy when compared with the studies using the same data.

Keywords: Hot cracking, Low alloy steel welds, Mathematical model

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Alptekin DURMUŞOĞLU, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gaziantep. durmusoglu@gantep.edu.tr

1. GİRİŞ

Alaşımın kaynak malzemesi olarak kullanılmasında rastlanılan en önemli problemler; deformasyon, sıcak çatlama, pürüzlülük ve azalan dayanım olarak sıralanmaktadır [1]. Kaynağın genel fonksiyonun, güvenilirliğinin ve dayanımının etkilenmesi dolayısıyla, sıcak çatlama bu problemler arasında en önemli olanıdır. Sıcak çatlaklar, solidüs (katılaşma) sıcaklığı bölgesinde veya dar katılaşma aralığında oluşurlar. Nedeni, tane segregasyonu yani katı taneler arasında düşük sıcaklıkta eriyen maddelerin toplanması ve bunların çekme gerilmelerine dayanamayıp ayrılmasıdır [2]. Kaynaklarda sıcak çatlak kavramı doğru kaynak koşullarının oluşturulmasında halen başlıca meselelerden biridir [3]. Alaşımın sıcak çatlama ile sonuçlanmasındaki en önemli faktör, alaşım içerisindeki metallerin kimyasal özellikleridir [4]. Ancak diğer kaynak parametrelerinin de etkisinin olması, etkilerin faktörlere göre ayrıştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bilimsel yazında sıcak çatlamanın önlenmesine yönelik olarak malzeme seçimiyle ilgili oldukça fazla sayıda çalışma olmasına karşın; ortaya konulan sonuçlar genelde fiziksel ve doğrusal modellerle sınırlı kalmış, faktörler arasındaki kompleks ilişkiler tam anlamıyla gösterilememiştir.

Bu çalışmada; Cambridge Üniversitesi'nin Malzeme Algoritmaları Projesi kapsamında gerçekleştirilen deney sonuçlarının yayınladığı; "Malzeme Veri Kütüphanesi"ndeki veri setleri [5] kullanılarak; sıcak çatlama belirleyen faktörlerin matematiksel olarak modellenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda kullanılan veri setinde yer alan değişkenler Çizelge 1'de özetlenmiştir. Söz konusu değişkenlerden sekizi; oluşturulan alaşımlardaki karbon, silikon, manganez, fosfor, nikel, krom ve molibdenin ağırlıkça yüzdeleri ifade etmektedir. Mikro-alaşım malzemeleri bahsi geçen deneylerde kullanılmamış olduğundan bu çalışmada da kapsam dışında tutulmuştur. Geri kalan beş faktör ise; kaynak koşullarını gösteren; kaynak akım şiddeti, kaynak çalışma gerilimi, kaynak hareket hızı, kaynak açısı, ön ısıtma derecesi gibi değişkenlerdir. Belirtilen değişkenlerin dışında sıcak çatlamanın oluşup

oluşmadığını gösteren "ikili" (binary) bir değişken de deney sonucunu işaret edecek şekilde yapılandırılmıştır. Sıfır (0) değeri çatlak oluşmadığını; bir (1) ise çatlak oluştuğu göstermektedir. Mevcut veri setinde sıcak çatlak oluşmadığı 95; oluştuğu 59 deney sonucu yer almaktadır.

Çizelge 1. Sıcak çatlama etkili olduğu düşünülen parametreler

Parametre Adı	Simge	Birim
Karbon (A1)	C	% Ağırlık
Silikon (A2)	Si	% Ağırlık
Manganez (A3)	Mn	% Ağırlık
Fosfor (A4)	P	% Ağırlık
Sülfür (A5)	S	% Ağırlık
Nikel (A6)	Ni	% Ağırlık
Krom (A7)	Cr	% Ağırlık
Molibden (A8)	Mo	% Ağırlık
Kaynak akım şiddeti (A9)	A	Amper
Kaynak çalışma gerilimi (A10)	V	Volt
Kaynak hareket hızı (A11)	S _T	cm/dk
Kaynak açısı (A12)	A _G	derece
Ön ısıtma derecesi (A13)	P _T	santigrat

2. SICAK ÇATLAK OLUŞUMU

Alaşım; metallerin kabiliyetlerinin artırılmasına yönelik olarak homojen bir şekilde bir araya getirilmesidir. Düşük/alçak alaşımli çelikler, endüstriyel alanda yaygın kullanıma sahip alaşımlardır. Bu alaşımlarda, toplam alaşım oranının %8'ün altındadır [6]. Düşük/alçak alaşımli çeliklerin kaynaklarda kullanımı hususunda en temel problem sıcak çatlakların oluşmasıdır [7]. Sıcak çatlakların oluşumunda; metallerin oransal dağılımı ve kaynakla ilgili ortam parametrelerinin etkili olduğuna dair çalışmalar mevcuttur.

Alaşımların kaynak kabiliyeti üzerine etkisi araştırmak üzere yürütülen bilimsel çalışmaları iki temel kategoride toplamak mümkündür. Yaygın olarak kullanılan ilk kategori; fiziksel modellerdir. Fiziksel modellerde daha çok malzemenin mekanik ve ısıl davranışı üzerinde durulmakta ve mikro düzeydeki değişiklikler gözlenmektedir. Matematiksel modellerde ise amaç mevcut deney sonuçlarını açıklayabilecek en iyi matematiksel eşitliğin oluşturulmasıdır. Matematiksel modellerde anlamlandırma işlemi; model ortaya çıktıktan sonra yapılmaktadır.

Fiziksel modelleme çalışmaları; çeliklerin kaynak kabiliyetine etkisi bakımından alaşım elementleri hususunda şu temel kaidenin geçerli olduğunu ortaya koymaktadır: alaşım elementi azaldıkça kaynak kabiliyeti artmaktadır [8]. Skandiyum (Sc) ve Titanyum (Ti) gibi elementlerin ise sıcak çatlamayı önleyebildiği düşünülmektedir [9]. Bilimsel yazımda, sıcak çatlama dayanımın test edilmesine yönelik farklı birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları: Vastrestraint testi, Fissure Bend testi, Dairesel Yama (Circular Patch) testi, Houldcroft testi, Sıcak Süreklilik testi (Hot ductility) ve Gerginlik Yüklemeli atlak Açma (Strain-Induced Crack Opening) testidir [10]–[13].

Sıcak kaynakların oluşumu üzerindeki etkenleri araştıran matematiksel model içerikli çalışmalar ise olduksa sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada kullanılan verilerin aynısı kullanarak geerleştirilen bir yapay sinir ağ çalışması [5] bulunmaktadır. Bahsi geçen çalışmada değişik model nerileri arasından en yüksek doğruluk yüzdesine sahip yapay sinir ağ yapıları okuyuculara sunulmuştur. Verilerin %50’sinin öğrenme/eğitim amacıyla kullanıldığı çalışmada model doğruluğu en yüksek %75’lerde kalmıştır. En yüksek doğruluğa sahip model yapısı tüm veriler dâhil edilerek tekrar eğitildiğinde doğruluk %90’lara ulaşmıştır.

3. METOT VE SONUÇLAR

Bu alışmada, Cambridge niversitesi’nin Malzeme Algoritmaları Projesi kapsamında geerleştirilen deney sonuçlarının yayınladığı; “Malzeme Veri Kütüphanesi”ndeki veri setleri [5] kullanılarak; sıcak çatlamayı belirleyen faktörlerin matematiksel olarak modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kurulan matematiksel modellerde bağımlı değişken olarak tanımlanan “atlama varlığı”; var (1) ya da yok (0) değerlerini sınıflama değişkeni olarak ele almaktadır. Bu nedenle incelenen problem matematiksel olarak tipik bir sınıflandırma problemidir.

Sınıflandırma problemlerinde, girdileri sınıf etiketine eşleyen fonksiyonun ve parametrelerinin tahmin edilmesi amaçlanır. Eğitilmiş bir sınıflandırıcı kullanarak hesaplanan sınıflandırma hatasının minimum değere sahip olması analiznin esasını oluşurmaktadır [14].

Bu alışmada; Waikato niversitesi tarafından geliştirilen Java programlama dili tabanlı Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) programı sınıflandırma amaçlı kullanılmıştır. Modelin doğruluk değerinin yükseltilmesi amacıyla pek çok sınıflandırma, regresyon, demetleme ve bağıntı kuralları algoritmaları denenmiştir. Tüm bu algoritmaların parametreleri, yaygın olarak kullanılan ve varsayılan değerler olarak bilinen değerlerde bırakılmıştır, böylelikle model başarımına belirgin bir etki oluşturulmasından kaçınılmıştır.

Algoritmaları çalıştırırken test yöntemi olarak “Rassal ğrenme Verisi Seçimi” metodu kullanılmıştır. Bu yöntemle verilerin %50si öğrenme/eğitim modeli geliştirilmesi için ayrılmış ve geri kalan kısmı ise geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Deneme yapılan modellerden doğruluk değeri %70’in üzerinde olan algoritmalar izelge 2’de sunulmuştur. Her bir

algoritma denemesi için ilgili algoritma 100 kez koşturulmuş ve başarımları bu koşturumların ortalaması alınarak hesaplanmıştır. %81,8 doğrulukla “En İyi İlk Karar Ağacı” (BFTree) en iyi çözüm üreten yöntem olmuştur. Tüm ölçütler bakımından (doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F-ölçütü) “En İyi İlk Karar Ağacı”nın en üst sırada yer alması; sınıflandırma yöntemi olarak kullanılabilirliğini işaret etmektedir.

Çizelge 2. Model başarımları değerleri

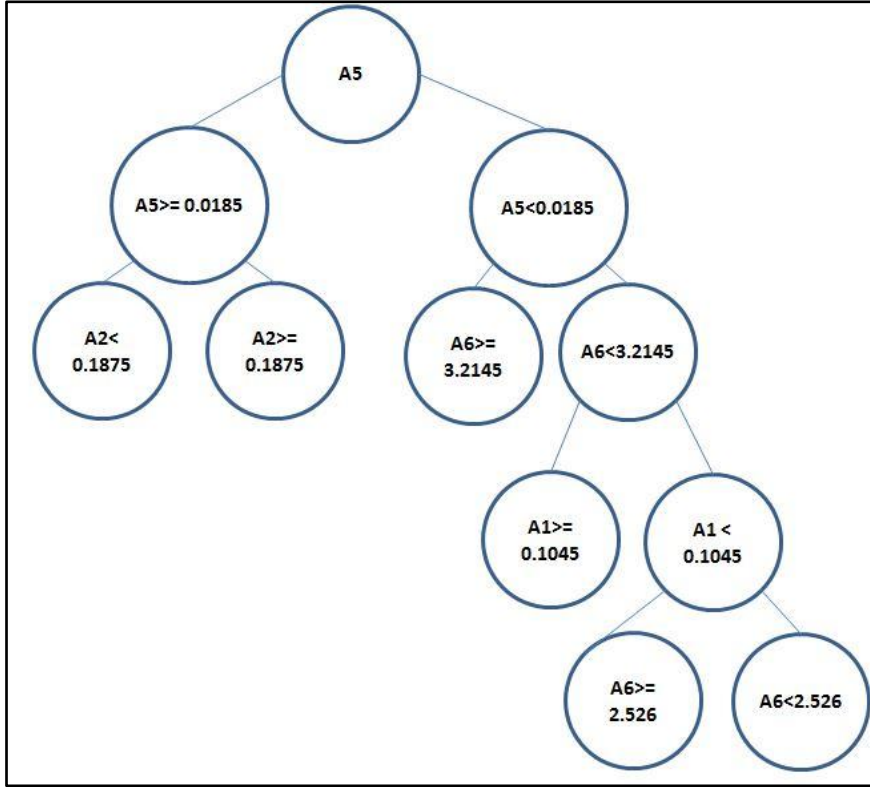
Algoritma	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F Ölçütü
Lojistik Regresyon Algoritması	%79,2	%80,4	%79,2	%78,2
Naive Bayes	%75,3	%78,3	%75,3	%73,1
K Star	%74,0	%73,7	%74,0	%73,7
BFTree	%81,8	%81,8	%81,8	%81,6
J48 Algoritması	%70,1	%69,8	%70,1	%69,8

“En İyi İlk Karar Ağacı” algoritmik olarak en iyi sonucu veren ağaç dalından ilerlenmesi esası üzerine inşa edilmiş bir karar ağacı algoritmasıdır [15]. Her yeni dal oluşturma aşamasında; tüm uygun olasılıklar üzerinde en iyi küme seçilir ve işlem tüm düğümler saf (pure) hale gelinceye kadar devam ettirilir.

Bu çalışmada elde edilen karar ağacının tamamı Çizelge 3’te, temel belirleyicileri içeren şematik gösterim ise Şekil 1’de sunulmuştur. Çizelge 3’de sonuç sütununun boş olduğu satırlar; kuralın alt döngülerle devam ettiğini göstermektedir. Sonuçların listelendiği sütunda, parantez içindeki sayılardan ilki kuralın doğru çalıştığı deney sayısını; ikincisi ise yanlış çalıştığı deney sayısını göstermektedir. Geliştirilen kurallar; toplam 154 deney sonucuyla kıyaslanmış ve 125’inin doğru çalıştığı görülmüştür.

Çizelge 3. Elde edilene karar ağacı kuralları

Kural (Eğer...ise)	Sonuç (Çatlama Var/Yok)
Sülfür Yüzdesi < 0,0185	
Nikel Yüzdesi < 3,2145	
Karbon Yüzdesi < 0,1045	
Nikel Yüzdesi < 2,526	
Karbon Yüzdesi < 0,047	
Karbon Yüzdesi < 0,0225	Yok (4/0)
Karbon Yüzdesi >= 0,0225	
Karbon Yüzdesi < 0,043	
Karbon Yüzdesi < 0,034	Yok (1/1)
Karbon Yüzdesi >= 0,034	Var (4/0)
Karbon Yüzdesi >= 0,043	Yok (2/2)
Karbon Yüzdesi >= 0,047	
Karbon Yüzdesi < 0,094	
Karbon Yüzdesi < 0,0535	
Karbon Yüzdesi < 0,0525	Yok (3/0)
Karbon Yüzdesi >= 0,0525	Yok (1/1)
Karbon Yüzdesi >= 0,0535	Yok (63/0)
Karbon Yüzdesi >= 0,094	Yok (3/2)
Nikel Yüzdesi >= 2,526	
Sülfür Yüzdesi < 0,0115	Yok (11/2)
Sülfür Yüzdesi >= 0,0115	
Nikel Yüzdesi < 2,8575	
Sülfür Yüzdesi < 0,0125	Var (2/0)
Sülfür Yüzdesi >= 0,0125	
Nikel Yüzdesi < 2,7495	Yok (5/1)
Nikel Yüzdesi >= 2,7495	Var (2/1)
Nikel Yüzdesi >= 2,8575	Var (6/0)
Karbon Yüzdesi >= 0,1045	Var (4/0)
Nikel Yüzdesi >= 3,2145	Var (13/0)
Sülfür Yüzdesi >= 0,0185	
Silikon Yüzdesi < 0,1875	Var (2/1)
Silikon Yüzdesi >= 0,1875	Var (17/0)



Şekil 1. “En İyi İlk Karar Ağacı” yöntemiyle elde edilen karar ağacı görünümü

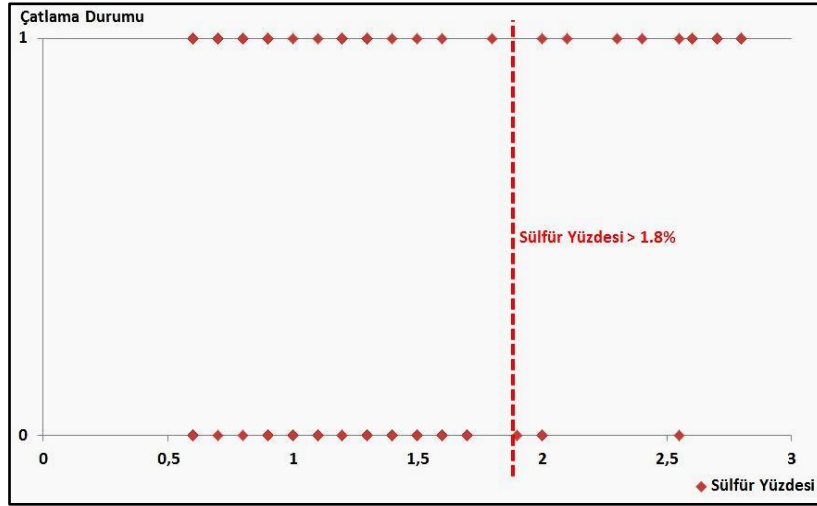
4. SONUÇLARIN YORUMLANMASI

Şekil 1’de gösterildiği üzere karar ağacında sıcak çatlak oluşumunu belirleyen ana faktör “Sülfür yüzdesi” (A5) olmuştur. Sülfür miktarındaki yükseklik (>%1,85), Şekil 2’de gösterildiği üzere sıcak çatlakların oluşumunu tetiklemektedir. Ancak; yüksek sülfür varlığı durumunda, “Silikon yüzdesi”ndeki (A2) artış dengeleyici bir unsur olarak çatlakları azaltmaktadır. Sülfür miktarındaki her türlü azalmanın, katılma çatlaklarına karşı direnci artırabileceği gerçeğine karşın tamamen yok edemeyeceği de açıktır.

Bu durumda (sülfür yüzdesi <%1,85), karar ağacında görüldüğü üzere ilk belirleyici faktör “Nikel yüzdesi” (A6) olmaktadır. Nikel yüzdesi %3,2’den büyük olan tüm alaşımlı kaynaklarda (13 durum) sıcak çatlama gözlenmiştir.

Deney parametresi olarak kullanılan çevresel faktörlerin (A9-Kaynak akım şiddeti, A10-Kaynak çalışma gerilimi, A11-Kaynak hareket hızı, A12-Kaynak açısı, A13-Ön ısıtma derecesi) karar ağaçlarında bir dal oluşturmadıkları ve sonuç üzerinde etki doğurmadıkları anlaşılmıştır. Ayrıca alaşım malzemesi olarak veri setinde yer alan ve analize tabii tutulmalarına rağmen; karar ağacında etkileyici değere sahip olmayan metaller de söz konusudur. Bu metaller; Manganez, Fosfor, Krom ve Molibdendir.

Çalışma sonuçlarını kıyaslanması için, Ichikawa ve arkadaşlarının, 1996 yılında gerçekleştirdikleri çalışma [5] dikkate alınmıştır. Yazarlar, yapay sinir ağlarını kullanarak oluşturdukları modellerde; model doğruluğu en yüksek 75%’lere ulaşabilmiştir. Bu çalışmada ise; aynı veri seti, aynı parametreler (öğrenme seti/test seti oranı-1:1) kullanılarak; %81,8 doğruluk seviyesi yakalanabilmiştir.



Şekil 2. Sulfür yüzdesi ve sıcak çatlama durumu (0: Çatlama Yok; 1: Çatlama Var)

Ichikawa ve arkadaşları, geliştirdikleri modeli tüm verileri dahil ederek tekrar eğitmiş doğruluk oranının %90'lara yaklaştığını gözlemlemiştir. Bu çalışmada da aynı uygulama gerçekleştirilmiş (model tüm verileri dâhil ederek tekrar eğitilmiş) ve doğruluk oranı %92,9'a yükselmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Cheng, C. M., Chou, C. P., Lee, I. K., Lin, H. Y., 2005. Hot Cracking of Welds on Heat Treatable Aluminium Alloys, *Science and Technology of Welding and Joining*, 10(3), 344-352.
2. Anık, S., Vural, M., 2007. Kaynak Dikişlerindeki Sıcak Çatlakların Nedenleri ve Önlenmesi, *Mühendis ve Makine*, 48(573), 52-54.
3. Bordreuil, C., Niel, A., 2014. Modelling of Hot Cracking in Welding with a Cellular Automaton Combined with an Intergranular Fluid Flow Model, *Computational Materials Science*, 82, 442-450.
4. DuPont, J. N., Robino C. V., Marder, A. R., 1999. Modelling Mushy Zones in Welds of Multicomponent Alloys: Implications for Solidification Cracking, *Science and Technology of Welding and Joining*, 4(1), 1-14.
5. Ichikawa, K., Bhadeshia, H. K. D. H., MacKay D. J. C., 1996. Model for Solidification Cracking in Low Alloy Steel Weld Metals, *Science and Technology of Welding and Joining*, 1(1), 43-50.
6. ASM Handbook Committee, 1991. Classification and Designation of Carbon and Low-Alloy Steels, in *ASM Handbook*, 10th ed., 1, ASM International, 140-194.
7. Kou, S., Solidification and Liquation Cracking Issues in Welding, *JOM*, 55(6), 37-42.
8. Oğuz, B., 1985. Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, Oerlikon Yayınları.
9. Mousavi, M. G., Cross, C. E., Grong, O., 1999. Effect of Scandium and Titanium-Boron on Grain Refinement and Hot Cracking of Aluminium Alloy 7108, *Science and Technology of Welding and Joining*, 4(6), 381-388.
10. Savage, W. F., Lundin, D. D., 1965. The Vareststraint Test, *Welding Journal*, (44)10, 433-442.
11. Gittos, N. F., Scott, M. H., 1987. Heat-Affected Zone Cracking of Al-Mg-Si Alloys, *Welding Journal*, 60(6) 95-103.
12. Lundin, C. D., Lingenfelter, G. E., Grotke, G. E., Matthews, S. J., 1982. The Vareststraint Test, *WRC Bulletin*, 280, New York, NY, USA: Welding Research Council.

13. Lundin, C. D., Spond, D. F., 1976. The Nature and Morphology of Fissures in Austenitic Stainless Steel Weld Metals, *Welding Journal*, 55(11), 356-367.
14. BaŐer, F., Apaydın, A., 2015. Sınıflandırma Amaçlı Destek Vektör Makinelerinin Lojistik Regresyon ile Karşılaştırılması, *Anadolu University of Sciences & Technology-B: Theoretical Sciences*, 3(2), 53-65.
15. Shi, H., 2007. Best-first Decision Tree Learning, Yüksek Lisans Tezi, University of Waikato.

Farklı Kaynak Ağız Açılarının 307Si Elektroduyla Kaynak Edilmiş Mıl-A 46100 Zırh Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Suat KURT^{*1}, Celal EVCİ², Halil IŞIK¹, Mehmet Samir IŞIK¹

¹Kara Harp Okulu, Makine Mühendisliği Böl., Ankara, Türkiye

²Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enst., Teknoloji Yönetimi A.D., Ankara, Türkiye

Geliş tarihi: 04.01.2016

Kabul tarihi: 04.04.2016

Özet

Bu çalışmada, yüksek sertlikli zırh çeliği östenitik paslanmaz çelik elektrot kullanılarak MIG (Metal Inert Gas) yöntemiyle kaynak edilmiştir. MIL A 46100 zırh çeliğinden, 6 farklı açıda plakalar hazırlanmış ve 307Si östenitik paslanmaz çelik elektrot kullanılarak kaynak edilmiştir. Hazırlanan bu numunelere çekme deneyi ve 3 bölgeyi kapsayacak şekilde (kaynak metali, ısı tesiri altında kalan bölge, esas metal bölgesi) mikro sertlik taraması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılıklı olarak değerlendirilerek en uygun kaynak açısı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zırh çeliği, Östenitik kaynak teli, Metal ark kaynağı, Çekme testi, Mikrosertlik tarama

Experimental and Numerical Analysis of Weld Geometry and Groove Angle Effect on the Microstructure and Mechanical Properties of the Welded High Hardness Armor Plates

Abstract

This study covers an investigation on welding high strength armor steels with austenitic filler material using Gas Metal Arc Welding process. Armor plates conforming to MIL A 46100 standard were prepared with six different groove angles using 307 Si austenitic stainless steel electrode. Welded test specimens were subjected to tensile testing and microhardness measurements in three zones (fusion zone, heat affected zone and base metal zone) were recorded. Comparing the results obtained from both tensile testing and microhardness measurements, the optimum groove angle to result in the highest mechanical properties is determined.

Keywords: Armor steel, Austenitic welding wire, Metal arc welding, Tensile testing, Microhardness measurement

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Suat KURT, Kara Harp Okulu, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara. suatkurt@kho.edu.tr, suatkurt81@gmail.com

1. GİRİŞ

Zırh çelikleri, her ne kadar malzeme teknolojisi gelişse de kolay ulaşılabilirlik ve uygun maliyet nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Zırh çeliklerinin en çok kullanıldığı alan askeri araçlar tanklar, zırhlı personel taşıyıcılar, obüsler olmaktadır. Bu tür araçların maruz kalacakları tüm tehditlere karşı maksimum dayanımı göstermeleri gerekmektedir. Ayrıca silah teknolojisinin de her geçen gün gelişmesi zırhların da gelişimini kaçınılmaz kılmaktadır [1,2,3].

Bu araçların imalatında farklı tasarımlar için plakaların birleştirilmesine, bunu için ise kaynak işlemine gereksinim duyulmaktadır. Ancak kaynak işlemi esnasında gerçekleşen ısı girdisi malzemenin mekanik davranışını etkileyen parametreler arasında yer almaktadır [2,4].

Isı girdisi özellikle ısı tesiri altındaki bölge (ITAB)'ın büyüklüğünü ve buradaki tane yapılarını etkilemektedir. Ortaya çıkan yapı ise kaynaklı birleştirmenin mukavemetini belirlemektedir. Bu etki, kaynağın türü, kullanılan elektrot özellikleri, kullanılan ana malzeme, voltaj gibi parametrelere bağlıdır [5].

Bu çalışmada MIL-A-46100 zırh çeliği plakaları, gazaltı metal ark kaynak yöntemi ile 1mm çaplı 307Si östenitik paslanmaz çelik elektrot kullanılarak birleştirilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada; kaynak işlemi sonrası mekanik özelliklerini incelemek istediğimiz MIL A 46100 zırh çeliği esas metal (iş parçası) olarak, 307Si malzemesi ise kaynak elektrotu olarak kullanılmıştır. MIL A 46100 zırh çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de, 307Si elektrotunun kimyasal bileşimi ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. MIL A 46100 zırh çeliğinin kimyasal bileşimi [6]

MIL A 46100	C	Cr	Ni	Mo	Mn
Kimyasal Bileşim (%)	< 0,3	1,6	Maksimum 1,85	0,5	0,95

Çizelge 2. Kaynak telinin mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi [6]

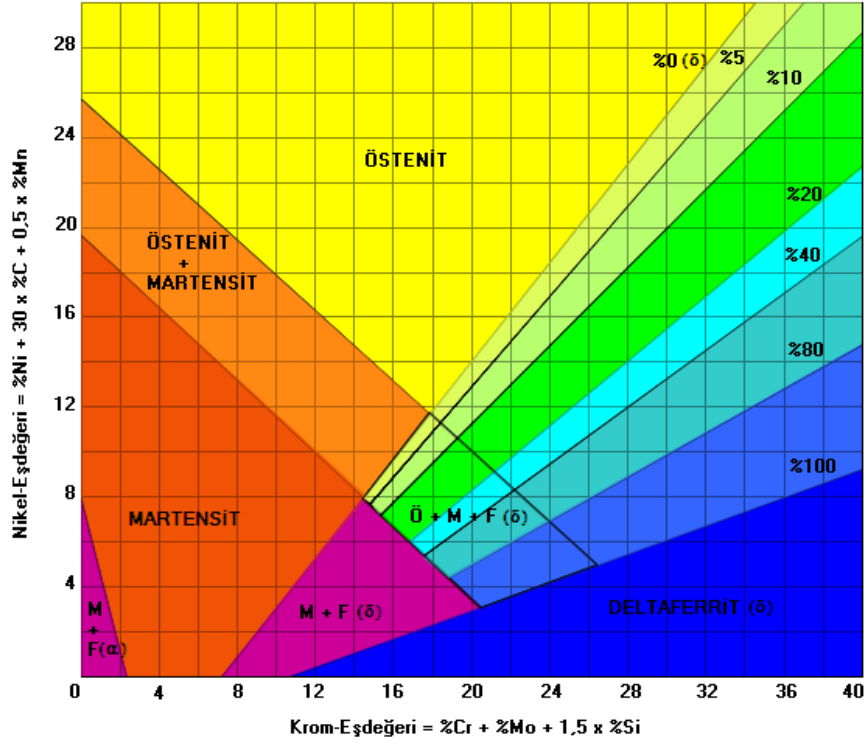
307Si	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Kimyasal Bileşim (%)	0,08	0,8	7	0,017	0,012	19	9

Kaynak işleminde kullanılan elektrotun mikro yapısını bilmek, esas metalle uyum sağlayıp sağlamayacağı açısından önemlidir. Bunun tespiti için Şekil 1'deki Schaeffler diyagramından [7] yararlanılabilir. Krom (Cr) ve Nikel (Ni) eş değerliklerine bakıldığında; (1) numaralı denklem yardımıyla $Cr_{eş}=20,7$, (2) numaralı denklem yardımıyla $Ni_{eş}=14,4$ olarak hesaplanır.

$$Ni_{eş} = \% Ni + 30x\% C + 0,5x\% Mn \quad (1)$$

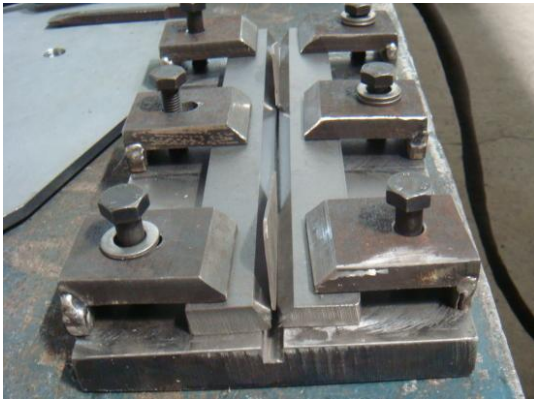
$$Cr_{eş} = \% Cr + 30Mo + 1,5x\% Si \quad (2)$$

Hesaplanan Krom ve Nikel eşdeğerlikleri Schaeffler diyagramı üzerine yerleştirildiğinde; 307Si elektrotunun, %1 ferritten teşkil östenitik bir yapıya sahip olduğu sonucuna varılır. Kaynakta kullandığımız esas metal ise düşük alaşımlı martenzitik MIL-A 46100 zırh çeliğidir. Bu kaynak işleminde elektrotun östenitik olması, ön ısıtma gerekliliğini ortadan kaldırmıştır. Yani, oda sıcaklığında kaynak edilebilme imkânı oluşmuştur. Aynı zamanda elektrot, içerdiği Mangan (Mn) sayesinde 850°C'ye kadar olan sıcaklıklarda dayanımını koruyabilir. Buna bağlı olarak kaynak edilebilirlik artar, işçilik azalır ve zamandan tasarruf edilmiş olur [8].



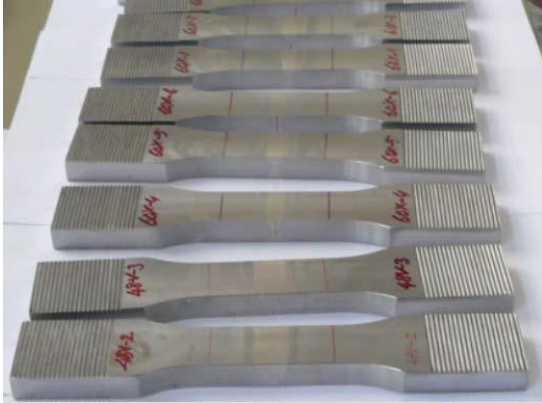
Şekil 1. 307Si kaynak metaline ait fazları gösteren Schaeffler diyagramı

Kaynak işlemleri öncesi MIL A 46100 malzemesinden hazırlanan plakalar, çarpılma olmaması ve kaynak dikişinin daha sağlıklı olması amacıyla Şekil 2'deki gibi sabitlenerek kaynağa hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2. Kaynak işlemi öncesi sabitlenmiş MIL A 46100 plakaları

Kaynağa hazır hale getirilen MIL A 46100 zırh çeliği plakaları; 1mm çapında 307Si elektrot kullanılarak, %97 Argon + %3 CO₂ karışımı koruyucu gaz altında, V kaynak ağız geometrisinde, 6 farklı açıda (30°, 36°, 42°, 48°, 54°, 60°), 3 pasolu olarak birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerindeki kaynak akımı 150A, kaynak gerilimi 24,5 V, kaynak hızı ise 16cm/dak olarak seçilmiştir. Elde edilen kaynaklı plakalardan, TS 287 EN 895 standardına uygun çekme numuneleri ve mikro-sertlik taramasında kullanılmak üzere 90x15x12 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Çekme deneyi numunelerinin baş kısımlarına, çekme cihazının çenelerine daha iyi tutunmaları için dişler açılmıştır. Son olarak tüm numunelerin üzerindeki pürüzler ve kalıntılar taşlanarak, deneylere hazır hale getirilmiştir. Çekme deneyi için hazırlanan numuneler Şekil 3'te, mikro sertlik taraması için hazırlanan numune örneği ise Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çekme deneyi için hazırlanmış numuneler



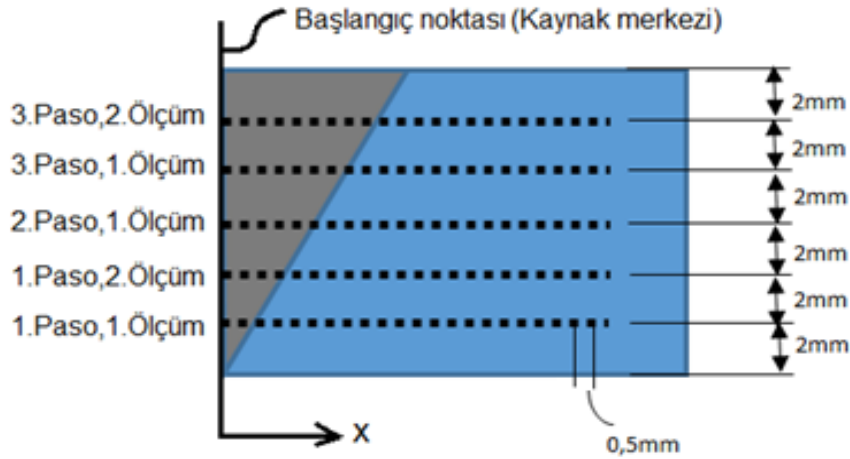
Şekil 4. Mikro sertlik taraması için hazırlanmış numune

2.2. Çekme Deneyi

TS 287 EN 895 standardına uygun olarak, farklı açılarda hazırlanan numunelerin deneyleri; 500 kN kapasiteli çekme cihazıyla, 5mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Her bir açı değeri için 5 farklı deney gerçekleştirilerek, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri elde edilmiş ve değerlerin ortalamaları hesaplanmıştır.

2.3. Mikro Sertlik Taraması

Deney numuneleri kaynak işleminden sonra zımparalanıp, parlatılarak yüzey pürüzlülükleri giderilmiş ve sertlik taramasına hazır hale getirilmiştir. Mikro sertlik taraması; QNESS marka, Q10 Plus model mikro sertlik deney cihazında, Vickers metoduyla, 0,5 kg'lık yük uygulayarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik taraması, her bir numune için Şekil 5'te gösterildiği gibi; kaynak merkez çizgisinden yatayda 0,5 mm aralıklarla 24 noktada ve düşeyde 2 mm aralıklarla 5 sıra olacak şekilde toplam 120 noktada gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Mikro sertlik taraması yapılan noktaların şematik görüntüsü

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyleri sonucunda gerçekleşen kopmalar, tüm numunelerde kaynak metali

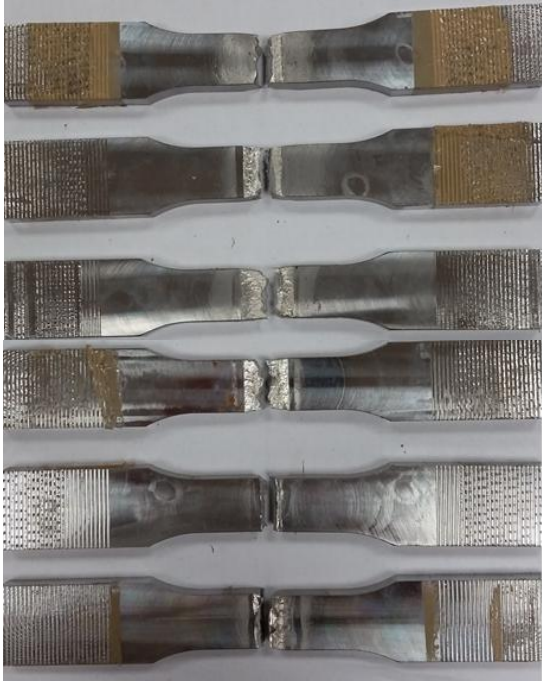
bölgesinden gerçekleşmiştir (Şekil 6). Deneyler sonucunda elde edilen ve hesaplanan veriler Çizelge 3'te sunulmuştur. Çizelge 3'teki değerlere göre; en yüksek dayanım 773,8 MPa değeri ile 48° açılı numunede tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla 42°, 36°, 60°, 54°, 30°açıları takip etmektedir.

Çizelge 3. Çekme mukavemeti

	Numune Numarası	Çekme Mukavemeti (MPa)	Ortalama
30V	1	632	670,2
	2	665	
	3	715	
	4	687	
	5	652	
36V	1	830	740,0
	2	755	
	3	765	
	4	720	
	5	630	
42V	1	745	758,0
	2	805	
	3	750	
	4	780	
	5	710	
48V	1	774	773,8
	2	730	
	3	805	
	4	790	
	5	770	
54V	1	730	726,0
	2	685	
	3	715	
	4	745	
	5	755	
60V	1	718	735,8
	2	759	
	3	710	
	4	762	
	5	730	

Çizelge 4. % uzama değerleri

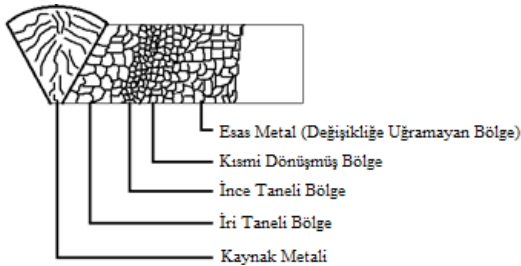
	Ortalama	%Uzama	Ortalama
30V	670,2	5,2	5,7
		5,6	
		6,2	
		6,0	
		5,3	
36V	740,0	7,5	7,2
		7,7	
		7,8	
		6,8	
		6,4	
42V	758,0	6,5	7,0
		8,0	
		7,5	
		6,8	
		6,2	
48V	773,8	7,6	7,6
		9,0	
		6,4	
		7,2	
		7,9	
54V	726,0	8,3	8,7
		8,4	
		8,4	
		8,7	
		9,7	
60V	735,8	8,0	8,4
		7,8	
		9,4	
		8,0	
		8,6	



Şekil 6. Çekme deneyi sonucunda kopmuş numuneler

3.2. Mikro Sertlik Dağılımları

Bilindiği gibi, kaynak işlemleri sonrası Isı Tesiri Altında Kalan Bölgede (ITAB), mikro yapı değişimleri söz konusu olur. Bu bölgeler incelendiğinde (Şekil 7); kaynak metalinden uzaklaştıkça sırasıyla, iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmi dönüşmüş bölge ve son olarak ısıdan etkilenmeyen esas metal bölgeleri gelmektedir.

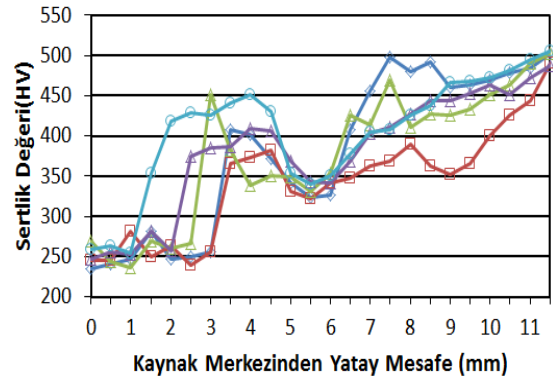


Şekil 7. Kaynak işlemi sonrası ITAB bölgesinin dağılımı

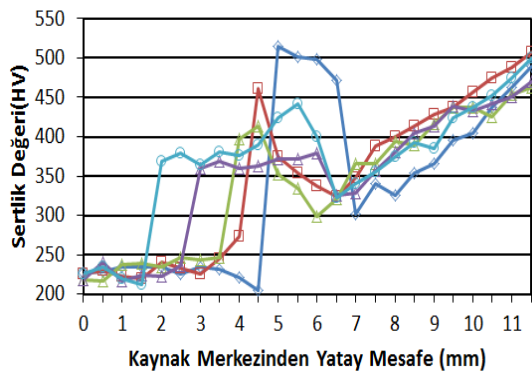
Tüm numunelerin, Şekil 5'te verilen dağılıma göre elde edilen sertlik değerlerinin grafikleri Şekil 8'de

sunulmuştur. Şekil 8 incelendiğinde; kaynak metalinin daha az sertliğe sahip olduğu, ince taneli bölgeye geçildiğinde sertliklerin en yüksek seviyede olduğu ve iri taneli bölgede beklendiği gibi düşüşlerin olduğu, son olarak esas metale yaklaştıkça değerlerin tekrar arttığı görülmektedir.

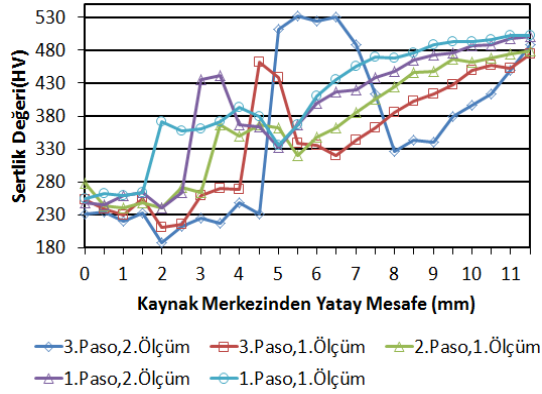
Çalışmamızda kullanılan elektrotun sertlik değerinin, esas metale göre çok düşük olması; tüm açılarda en düşük sertliğin kaynak metalinde çıkmasına sebep olmuştur. Bu kapsamda; incelemelerimiz kaynak metali bölgesinde yoğunlaşmıştır. Farklı açılara göre bu bölgelerin sertlik dağılımları Şekil 9'da verilmiştir.



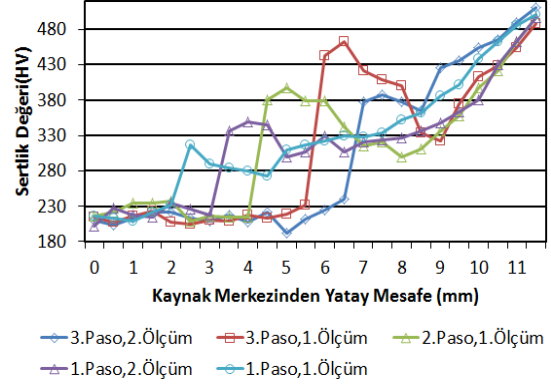
a) 30°



b) 36°

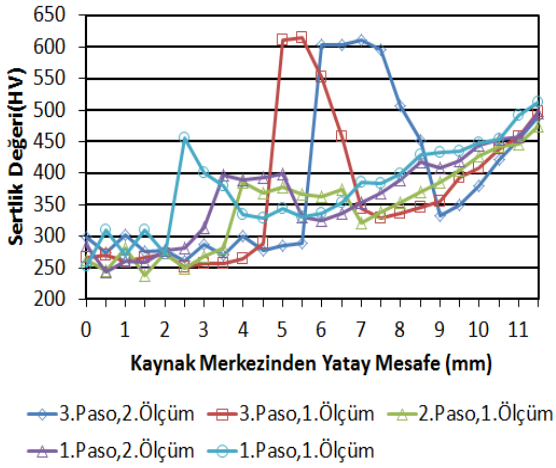


c) 42°

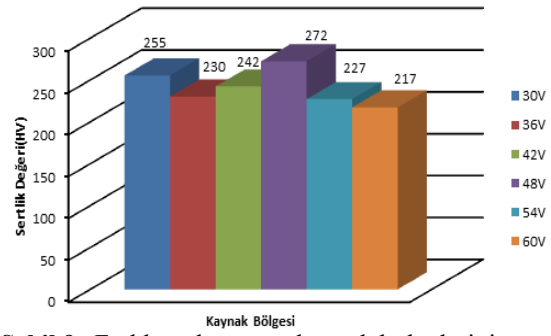


e) 60°

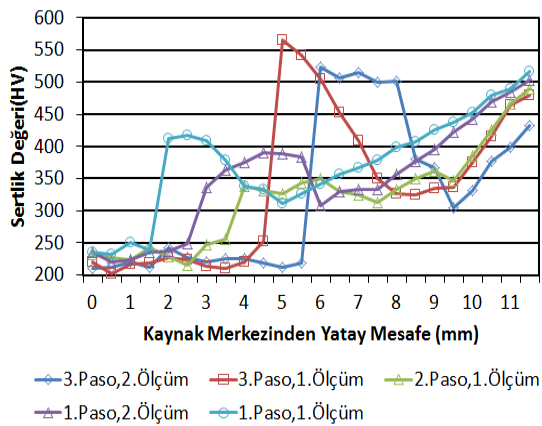
Şekil 8. Farklı açılardaki numunelerin mikro sertlik dağılımları



d) 42°



Şekil 9. Farklı açılara göre kaynak bölgelerinin sertlik değerleri



d) 54°

Şekil 9 incelendiğinde; en yüksek sertlik değerinin 48° açılıya sahip numunede çıktığı görülmektedir. Bunu sırasıyla; 30°, 42°, 36°, 54°, 60° açılıları takip etmektedir.

4. SONUÇLAR

Çalışmamızda, MIL A 46100 zırh çeliği plakaları; 1mm çapında 307Si elektrot kullanılarak, koruyucu gaz altında, V kaynak ağız geometrisinde, 6 farklı açıda (30°, 36°, 42°, 48°, 54°, 60°) 3 pasolu olarak birleştirilmiştir. Numunelere çekme deneyi ve mikro sertlik taraması yapılmıştır. Varılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Çekme deneyi sonuçlarına göre, en yüksek dayanım 773,8 MPa değeri ile 48° açılı numunede tespit edilmiştir.
2. Çekme deneyi sonucunda; tüm numunelerde meydana gelen kopmalar, kaynak metali bölgesinden gerçekleşmiştir.
3. Tüm numunelerde, en düşük sertlik değerleri kaynak metali bölgesinde ortaya çıkmıştır.
4. Farklı açılara göre kaynak metali bölgelerinin sertlik değerleri karşılaştırıldığında; en yüksek sertlik değeri 48° açılı numunede tespit edilmiştir.
5. Deney sonuçlarına göre; en yüksek sertlik ve çekme dayanımı 48° açılı numunede ortaya çıktığından; MIL A 46100 çeliğinin 307Si elektrotu ile birleştirilmesinde 48° optimum sonuçları vermiştir.
8. Kara, S., ve Korkut, M.H., 2012. Zırlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Zırh Plakalarında Kaynak Sonrası Isıl İşlemin Birleşim Mukavemetine Etkisinin Araştırılması, Savunma Bilimleri Dergisi, Cilt/ 11, Sayı/ 2, 159-171.

5. KAYNAKLAR

1. Atapek, H.Ş., 2011. Bor Katkılı Bir Zırh Çeliğinin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi ve Balistik Performansının Değerlendirilmesi” Kocaeli Üniversitesi.
2. Evcı, C., 2009. Seramik Kompozit Zırh Sistemlerinin Darbe ve Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi.
3. Kara, S., ve Korkut, M.H., 2012. “Zırh Çeliklerinde Kaynak Ağızı Tasarımının Metalurjik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 9, No: 1,35-45.
4. Edwards, M.R. and Mathewson, A., 1997. The ballistic properties of tool steel as a potential improvise darmorplate, International Journal of Impact Engineering, 19/4 297-309.
5. Eryürek, B, İ., 2007. Kaynak Teknolojisi, Gazaltı Ark Kaynağı”, 2, 47-120, Askaynak Yayını, İstanbul.
6. www.askaynak.com.tr[web
7. http://www.oerlikon.com.tr/paslanmaz_celikler_mig_mag.html

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. **Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract** (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar,**

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin (bildirinin veya kitabın) tam başlığı; **Makale ise:**, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl. **Kitap ise:** cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl. **Bildiri ise:** konferansın adı, yapıldığı yer, yıl. **Elektronik ortamdan alınmış ise:** Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanmış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir." **Tez ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, yıl. **Rapor ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl. **Web Sitesi ise:** Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Kurum/Kuruluşlara ait ise:** Kurum adı, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Elektronik kitap/rapor ise:** Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl.

Dergi İletişim Adresleri

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı 01330 ADANA

E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr
Tel: (322) 3387050

cu.mmfdergi@gmail.com
Faks: (322) 3386126