



## PLASTİK PARÇALAR ÜZERİNE SICAK PLAKA KAYNAĞI AMACIYLA GELİŞTİRİLEN BİR SİSTEM İÇİN ETKİN PROSES PARAMETRELERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

*Abdullah UYAR\**   
*Mustafa Cemal ÇAKIR\*\** 

Alınma:18.03.2019; düzeltme: 24.12.2019; kabul: 28.01.2020

**Öz:** Bu çalışmada, endüstriyel seri üretimde en çok kullanılan kaynak prosesi olan sıcak plaka kaynağı ele alınmış, Lupolen 4261AG malzemededen üretilmiş plastik parçalara uygulanan sıcak plaka kaynağı araştırılmıştır. Sıcak plaka kaynağı, ısıtılmış takım plakası kullanılarak iki plastik parçanın kaynaştırılması işlemidir. İşlemden her bileşen üzerindeki bir kaynak kabartması veya kordon, sıcak plaka ile temas ettirilir ve ısı, kaynak kabuğunun erimesine neden olur. Sonrasında parçalar birbirine bastırılır. Bu çalışmada kaynaklı parçalar arasındaki en yüksek mukavemet için en uygun sıcaklığın belirlenmesine çalışılmış, en uygun kaynak eritme kuvveti ve en uygun malzeme davranışı kopma testleri, hasar analizleri ve microtome testleri ile belirlenmiştir. Yapılan bu test sonuçlarına göre kaynak parametreleri fiziksel olarak belirlenmiş, iyileştirmeler yapılmış, gereksiz enerji giderleri engellenmiş, kaynak süreleri optimize edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sıcak plaka kaynağı, Plastiklerde kaynak işlemi, Proses parametreleri, Optimizasyon

### Improving Effective Process Parameters of a System Developed for Hot Plate Welding on Plastic Parts

**Abstract:** In this study, hot plate welding, which is the most widely used welding process in mass production, was emphasized and hot plate welding for Lupolen 4261AG material was investigated. The hot stamping source is the process of fusing two plastic pieces using the heated tool plate. A weld bulb or bead on each component is contacted with the hotplate and heat causes the welding shell to melt. The heated tool is then removed and parts are pushed together until they are connected to each other. In the present paper, the temperature was optimized to ensure the maximum strength of the welded section, the most suitable welding melting force and material behavior were obtained by shear test, damage analysis, microtone tests. According to these test results, welding parameters were determined, redundant energy costs were eliminated and welding times were optimized.

**Keywords:** Hot plate welding, Welding process in plastics, Process parameters, Optimization

## 1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde yakıt tankı olarak plastik yakıt tanklarının kullanımının yaygınlaşması sıcak plaka kaynağının ve kaynak parametrelerinin önemini her geçen gün artırmaktadır. Kaynak işlemleri için sürekli yeni sistem tasarımları geliştirilmekte, işlemin daha hızlı ve istenilen seviyede

\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüsü, 16059 Bursa  
İletişim Yazarı: Abdullah UYAR (abdullahuyar52@gmail.com)

\*\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüsü, 16059 Bursa  
İletişim Yazarı: Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR (cemal@uludag.edu.tr)

gerçekleştirilmesi için kaynak parametreleri optimize edilmektedir. Yakıt tankı üretiminde kullanılan malzemelerin en önemlilerinden biri olan lupolen 4261AG, yüksek moleküler ağırlıklı, yüksek

yoğunluklu bir polietilendir. Bu malzemeler paletlerle temin edilip ve ekstrüzyon işlemi için antioksidanlarla stabilize edilirler. Mükemmel bir düşük sıcaklık darbe dayanımı ile birlikte mükemmel bir kimyasal dirence, çok yüksek bir çevre stres çatlama direncine (ESCR) sahiptirler.

Bu malzemeler otomotiv sektöründe araç üreten fabrikaların çeşitli testler sonucunda karar verdikleri malzemelerdir. Bu malzemeler yüksek yoğunluklu polietilen olup bazı özel uygulamalar ile yakıt depolarının imalatında kullanılmak üzere özel olarak elde edilirler. Yakıt tankı üretimi için seçilen bu malzemenin üretilen yakıt tankı -40 ve +80 °C' ye kadar özel dolaplarda bekletilir, daha sonra belirlenmiş yüksekliklerden düşme testi su ya da helyum gazı kullanılan özel kaplarda sızdırmazlık testlerine tabi tutulurlar ve malzeme davranışları test edilerek malzemenin proses için uygun olup olmadığına karar verilir. Bu testlerin yanında bazı simülasyon programları yardımı ile malzeme testleri yapılır. Söz konusu malzemelerin otomotiv endüstrisinde spesifik uygulamalarda kullanılmalarından dolayı literatürde malzemeler ile ilgili detaylı bilgiye ulaşılamamaktadır. Bu çalışmada lupolen 4261AG in sıcak plaka kaynak işlemindeki malzeme davranışları uygulanan testler yardımıyla belirlenmiştir. Tablo 1' de lupolen 4261AG malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri gösterilmiştir(<https://www.lyondellbasell.com/en/polymers/p/Lupolen-4261AG>).

**Tablo 1. Lupolen 4261AG malzemesinin özellikleri**

<b>Fiziksel özellikler</b>	<b>Nominal değer</b>	<b>Birim</b>
Yoğunluk	0,945	$g/cm^3$
Eriyik Akış Hızı (190° C / 21.6 kg)	5,9	$g/10min$
Yığın yoğunluğu	> 0,500	$g/cm^3$
Çevresel Gerilme-Çatlama Direnci	1000	hr
<b>Mekanik özellikler</b>	<b>Nominal değer</b>	<b>Birim</b>
Gerilme modülü	900	MPa
Eğilme gerilmesi	1100	MPa
Çekme gerilmesi	24	MPa
Erime sıcaklığı	131	°C
Gerilme direnci	23,1	MPa

Bu alandaki diğer çalışmalardan birinde ağırlıkça % 15 cam elyaf takviyeli (PA6 GF15) polimer kompozit, poliamid 6 malzemesinin sıcak plaka kaynağı incelenmiştir. Bu çalışmada plaka sıcaklığı, kaynak yer değişim miktarı, ısıtma süresi ve kaynak süresi gibi parametreler optimize edilmiştir (Kocatüfek ve diğ., 2014). PA6 GF15 polimer kompoziti için 270 ° C plaka sıcaklığının, 1 mm kaynak yer değiştirme miktarının ve 25 saniye ısıtma süresinin Taguchi metodu tarafından önerilen optimum kombinasyon olduğu belirlenmiştir.

Diğer bir çalışmada, polimer esaslı malzemelerde dolgu maddelerinin sıcak plaka kaynağı mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada da plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, kaynak yer değişim miktarı ve kaynak süresi parametrelerinin bu mukavemete etkileri gözlenmiştir (Taşkiran, E, 2014). Çalışmada % 40 talk dolgulu ve % 40 kalsit dolgulu polipropilen malzemeler sıcak plaka kaynağı metoduyla birbirleriyle kaynatılmıştır.

Bu çalışmada plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, kaynak yer değişim miktarı ve kaynak süresinin yanı sıra literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, basınç faktörü de dikkate alınmış ve kaynak parametreleri optimize edilmiştir. Basınç sayesinde kaynak işleminin daha kısa sürede gerçekleştiği, sistemin kaynak için gerekli ergime sıcaklığına daha kısa sürede ulaştığı görülmüştür. Bu kaynak işlemlerinde daha yüksek bir mukavemetin elde edildiği testler sonucu belirlenmiştir.

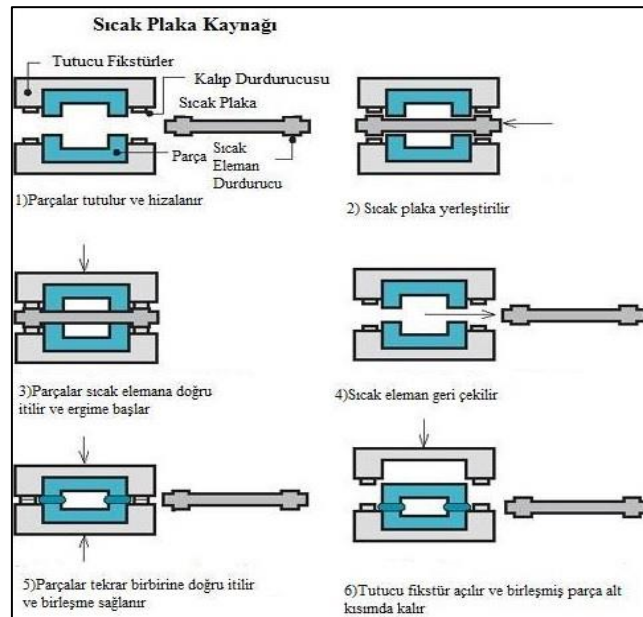
## **2. KAYNAK İŞLEMİ VE GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN TASARIMI**

Sıcak plaka kaynak işlemi, genel olarak, iki prensip kullanılarak gerçekleştirilir. İlk prensipte işlem basınç kontrolüyle gerçekleştirilir. İkinci prensipte ise işlem, basıncı sabit tutarak hareket ve konum

kontrolü altında gerçekleştirilir. Bu çalışmada kullanılan kaynak grubu, tasarlanan bir çok sıcak plaka kaynak ünitesinden farklı olarak hareket ve konum kontrol prensibine göre tasarlanmış olup sistem üzerinde proses şartlarına göre değiştirilmesi gereken parametreler için ekstra bir işlem uygulanmadan kaynak ünitesi üzerinde gerçekleştirilmesine olanak sağlanmıştır. Ve tasarlanan kaynak ünitesi fabrika şartlarında denendiğinde daha önce bu işlem için kullanılan ünitelerden daha iyi hareket kabiliyeti ve kaynak işleminin daha hızlı ve istenilen koşullara uygun gerçekleştiği saptanmıştır. Sıcak plaka kaynak grubunun işlevi temel olarak üç ana üniteden oluşmaktadır. Bunlar, ısıtma plakası düzeneği, pnömatik hareket düzeneği ve kontrol ünitesidir. Isıtma plakası düzeneği, yüzeylerin bağımsız olarak ısıtılmasına izin verecek şekilde tasarlanmıştır, böylece termoplastik malzemelere de sıcak levha kaynağı yapılabilecektir. Pnömatik hareket düzeneğindeki iki pistondan biri esas parçaya kaynak yapılacak parçayı ısıtmak, diğeri ise esas parçanın kaynak yapılacak yüzeyini ısıtmak için kullanılır. Kaynak grubu lineer yataklı bir sistem üzerine monte edilmiştir. Bu sistemin yatay ekseninde hareketi servo motor vasıtasıyla kontrol edilir.

## 2.1. Kaynak İşlemi Aşamaları

Isıtma plakalarının teflon kaplı yüzeyleri önceden ayarlanmış bir sıcaklıkta muhafaza edilir, kaynak yapılacak parçalar aksel olarak çalışan aparatlara yerleştirilir. Yükleme sisteme genellikle manuel olarak yaptırılır, ancak değişik prosesler de yapılacak işleme göre besleme otomatik olarak da gerçekleştirilebilir. Parçalar aynı zamanda, bir gripper (pnömatik tutucu sistem) yardımıyla da tutturulurlar. Isıtma kaynak yüzeyi ile kaynak yapılacak parçaların yüzey teması, sistem üzerindeki ayar vidaları ve basınç kontrolünü sağlayan regülatör kullanılarak, 0,015 mm hassasiyetle konumlandırılır. Kaynak, sıcak plaka ve kaynak yapılacak parçaların yüzeylerinin temas ettirilmesiyle başlayan ısı iletimi sayesinde gerçekleştirilir. Önceden ayarlanmış ısıtma süresine ulaşıldığında, parçalar yatay hareket eden bir lineer sistem ile dışarı çekilerek sıcak plakadan ayrılırlar (Troughton, 2008). Bu arada sıcak plaka pozisyon değiştirir. Parçaların ısıtılmış yüzeyleri, önceden ayarlanmış kaynak süresine ve kaynak yer değiştirme değerlerine ulaşılan kadar birbirleriyle temas ettirilir. Sıcak plaka kaynağı için toplam çevrim süresi 10 saniyeden bir dakikaya kadar değişmektedir. Isıtılan parçalar, kaynak yapılacak parçalara göre tasarlanırlar. Sıcak levha kaynak işleminde plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, geçiş süresi, birleştirme basıncı ve tutma süresi parametreleri parçaların boyutu, şekli ve bileşimine göre değişkenlik gösterir (Stokes ve Conway, 2004). Şekil 1’de sıcak plaka kaynak işlemi aşamaları gösterilmiştir.

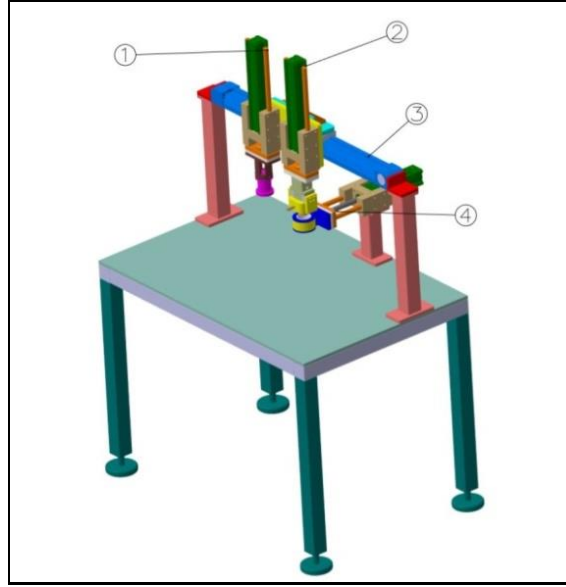


Şekil 1:

Sıcak plaka kaynak işlemi (Troughton, 2008)

## 2.2. Tasarlanan Sistem ve İyileştirilecek Parametreler

Bu çalışmada, dikkate alınan parametreler plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, kaynak yer değişimi, kaynak süresi ve basıncıdır. Uygun değerler tayin edildikten sonra kaynak süresinin de kısaltılması amaçlanmıştır. Bu parametreler için uygun değerler seçilirken kaynaklı parçalar arasında en yüksek mukavemeti veren en uygun sıcaklık belirlenmiş, en uygun kaynak eritme kuvveti ve malzeme davranışı kopma testi, hasar analizleri, sızdırmazlık testleri ve microtome testleri ile tespit edilmiştir. Sıcak kaynak makineleri standart modeller olabileceği gibi isteğe özel uyarlanmış, özelleştirilmiş de olabilmektedirler (Troughton, 2008). Standart kaynak makineleri değişken sıcak plakalar ve kalıp sistemi sayesinde farklı türden parçaları kaynak edebilmektedirler. Şekil 2’de sıcak plaka kaynak işlemi için tasarlanan kaynak grubu gösterilmiştir.



Şekil 2:

Tasarlanan sıcak plaka kaynak grubu

Şekil 2’de 1 tank eritme grubunu, 2 kaynak yapılacak parçanın tutulmasını sağlayan grubu, 3 yatay ekseninde yer değiştirmeyi sağlayan lineer taşıma grubunu, 4 ise kaynak yapılacak parçanın erimesini sağlayan grubu sembolize etmektedir. Lineer gruba hareketi servo motor yardımı ile verilmekte, bu da istenilen noktada durma ve işleme devam etme olanağı sağlamaktadır. Grup 1 ‘de bir adet pnömatik piston kullanılmıştır, kaynak grubundaki tüm pistonların çapı 40mm’dir. Bu pistonun ve grubun ucuna bağlanmış rezistans yardımıyla kaynak yapılacak esas parçanın yüzeyi, bu işlem devam ederken grup 2 vasıtasıyla da kaynak yapılacak parçanın yüzeyi ısıtılır. Isıtma süresi malzemenin yapısal özelliklerine ve ortam koşullarına bağlı olarak değişir. Isıtma işlemi tamamlandıktan sonra lineer sistem istenilen konuma gelir ve kaynak işlemi pnömatik pistonlar yardımı ile uygun basınçta gerçekleştirilir. Burada işlem basıncı malzeme özelliklerine ve istenilen kaynak mukavemetine göre değişkenlik gösterir.

Tablo 2’de lupolen 4261AG malzemeden üretilmiş parçaya uygulanan sıcak plaka kaynağı için seçilen bazı parametreler gösterilmiştir. Isıtma süresi, kaynak süresi ve basınç sabit tutulmuştur. Burada, değişik sıcaklıklarda malzeme davranışları da göz önüne alınarak, optimum kaynak sıcaklığı, plaka sıcaklığı, kaynak işlemi sonrasında istenilen mukavemeti sağlayacak kaynak derinliği tayin edilmiştir. Tablo 2’de görüldüğü üzere dört farklı sıcaklıkta kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir ve 3. adımda istenilen kaynak mukavemeti sağlanmıştır. Kaynak yapılan parçanın kopma testinde  $\sigma_{kopma} > 2000N$  değerini sağlaması gerekmektedir ve bu değer 3. adımda sağlanmıştır. Aynı mukavemet değeri 4. adımda da sağlanmıştır, ancak malzemenin 270 dereceye kadar ısıtılması ekstra enerji maliyetleri getirmiştir. Bu nedenle 250° C optimum değer olarak seçilmiştir. Tablo III’ de ise 5 bar basınç altında

kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. 5 bar basınç altında yapılan kaynak işleminde yine ısıtma süresi ve kaynak süresi sabit tutulmuş, sıcaklık değişimi ile kaynak yer değişim davranışları gözlenmiştir.

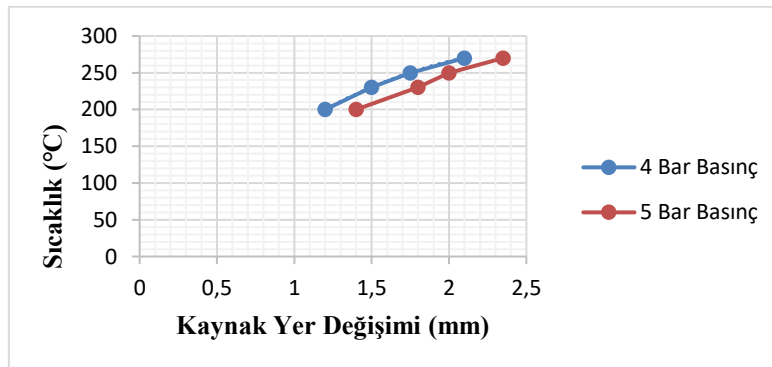
**Tablo 2. Kaynak parametreleri (4 bar basınç için)**

İşlem	Kaynak parametresi	Birim	1.Adım	2. Adım	3. Adım	4.Adım
A	Plaka sıcaklığı	°C	200	230	250	270
B	Kaynak yer değişimi	mm	1,2	1,5	1,75	2,1
C	Isıtma süresi	s	12	12	12	12
D	Kaynak süresi	s	3	3	3	3
E	Basınç	psi	4	4	4	4

**Tablo 3. Kaynak parametreleri (5 bar basınç için)**

İşlem	Kaynak parametresi	Birim	1.Adım	2. Adım	3. Adım	4.Adım
A	Plaka sıcaklığı	°C	200	230	250	270
B	Kaynak yer değişimi	mm	1,4	1,8	2	2,35
C	Isıtma süresi	s	12	12	12	12
D	Kaynak süresi	s	3	3	3	3
E	Basınç	psi	5	5	5	5

Tablo 3'de de dört farklı sıcaklıkta kaynak işlemi gerçekleştirilmiş ve 2. adımda istenilen kaynak mukavemeti sağlanmıştır. Bu basınçta, kaynak yapılan parçanın kopma testinde  $\sigma_{kopma} > 3000N$  değerini sağlaması istenmiştir. Yine 3. ve 4. adımlarda da aynı mukavemet sağlansa da ekstra enerji maliyetlerinden kaçınılması için 2. adım kaynak işlemi için uygun adım olarak seçilmiştir. Kaynak işlemi ayrı ayrı 1, 2 ve 3 bar basınç altında da gerçekleştirilmiştir ve test sonuçlarında malzemenin istenilen mukavemet değerine ulaşamadığı görülmüştür. Şekil 3'de basıncın kaynak yer değişimine etkisi gösterilmiştir. 4 ve 5 bar basınç altındaki kaynak işlemleri yedi kez tekrarlanmış ve ortalama sıcaklık ve yer değiştirme değerleri Tablo II ve III de elde edilmiştir.



**Şekil 3:**

4 ve 5 bar basınç için sıcaklığa bağlı olarak kaynak yer değişimi

Şekil 3’de görüldüğü üzere kaynak işleminde basınç değeri artırıldığında daha düşük sıcaklıklarda istenilen kaynak derinliğine ulaşıldığı görülmüş ve kaynak plakasının yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmasının önüne geçilmiştir. Ancak basınç parametresinin gereğinden fazla değerlere çıkarılıp kaynak işlemi yapıldığında kaynak yapılacak yüzeylerde çökme ve kaynak zafiyetleri görülmüştür. Plastik şişirme üretim proseslerinde uygun parçanın üretilmesi aşaması diğer enjeksiyon üretim prosesine göre farklılıklar göstermektedir. Şişirme üretim teknolojisi ile üretilen parçalar kalıptan çıktıktan sonra ayrı bir soğutma testine tabi tutulurlar ki bu işlem üretilen parçaların arzu edilen rijitliğinin sağlanması ve parçalar üzerindeki ölçüsel farklılıkların ortadan kaldırılması için şarttır. Bu işlemde üretilen parçanın içine 1-2 bar aralığında basınç uygulanarak parçanın soğutma kalıp yüzeylerine teması sağlanır ve plastik parçanın kısa sürede nihai ölçü ve rijitliğine gelmesi amaçlanır. Soğutma kalıplarının içerisinden 2 ila 5° C aralığında soğuk su geçirilerek soğutma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem ve kontrollerin yapılmasının nedeni, uygun parça üretimi ve bu üretilen parçalara uygulan sıcak plaka kaynak işlemi ve kaynak parametrelerinin doğruluğu için önemli olup, aksi takdirde kaynak parametreleri sürekli değişkenlik gösterebilir.

### 3. UYGULANAN TESTLER VE SONUÇLARIN YORUMLANMASI

#### 3.1. Kopma Testi

Kopma testi Zwick /Roell Z010 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak yapılan parçanın kopma testinde  $\sigma_{kopma} > 3000N$  değerini sağlaması arzu edilmiştir. Bu değer yakıt tankı üreticileri tarafından belirlenen bir değerdir. Bu değere, yakıt tankı üzerine kaynak yapılan parçanın, herhangi bir durumda maruz kaldığı kuvvet ve zorlamalara göre karar verilir. Kaynak işlemi yapıldıktan sonra parçaya uygulanan kopma testinde de arzu edilen değer doğruluğu kontrol edilir. Bu işlem her üretim başlangıcında yapılır ve üretim boyunca kademeli olarak devam eder. Tablo 4’de sıcaklık değişimine göre kopma mukavemeti değerleri gösterilmiştir. Bu değerler 4 bar basınç altında kaynak yapılan parçalara uygulanmış kopma testidir. Tablo 5’de ise 5 bar basınç altında kaynak yapılan parçalara uygulanmış kopma testi sonuçları gösterilmiştir.

**Tablo 4. 4 bar basınç için sıcaklık değişimine göre kopma kuvveti değerleri**

Sıcaklık	200° C	230° C	250° C	270° C
Kopma Değeri	1856 N	2508N	3454 N	3758 N

**Tablo 5. 5 bar basınç için sıcaklık değişimine göre kopma kuvveti değerleri**

Sıcaklık	200° C	230° C	250° C	270° C
Kopma Değeri	1926 N	2618N	3664 N	3854 N

Şekil 4’de test cihazının yapısı ve kopma testi uygulanan parçanın cihaza bağlanmış haldeki detayı gösterilmiştir.





**Şekil 4:**

*Kopma test cihazı ve kopma testi uygulanan parçanın cihaza bağlanması*

### **3.2. Microtome Testi**

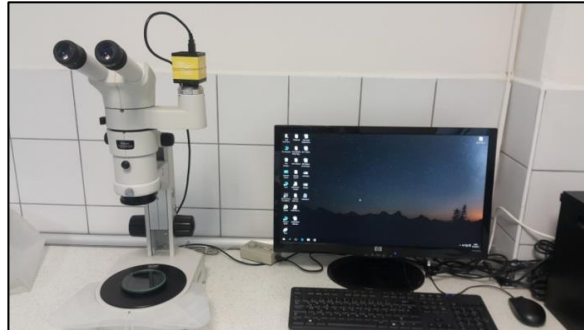
Microtome testi endüstriyel uygulamalar için tasarlanan leica SM 2400 kayan microtome cihazı ile yapılmıştır. Bu testte kaynak yapılan parçalar 4 eşit parçaya ayrılmış, her bir grup parça tek tek microtome cihazı ile testi yapılacak boyuta getirilmiş ve mikroskop altında kaynak yer değişim mesafeleri hesaplanmıştır(<https://www.leicabiosystems.com/sliding-and-vibrating-blade-microtomes>). Şekil 5’de microtome test cihazı gösterilmiştir.



**Şekil 5:**

*Microtome test cihazı*

Kaynak yer değişimin mesafesini belirlemek için SMZ800N marka mikroskop kullanılmıştır. (<https://www.nikoninstruments.com/SMZ800N>). Mikroskoptan alınan sonuçlar bilgisayar üzerinde kurulu olan NIS-Elements Documentation programı ile analiz edilmiştir. Şekil 6’da SMZ800N model mikroskop gösterilmiştir.

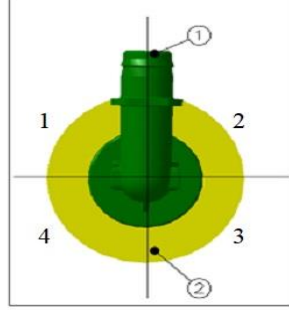


**Şekil 6:**

*SMZ800N model mikroskop*

Şekil 7’de kaynak işlemi yapılmış parçalar gösterilmiştir (1 ve 2). Bu parçalarının birbirine kaynak yapılan yüzeyleri dört ayrı bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerden ayrı ayrı numuneler alınıp mikroskop

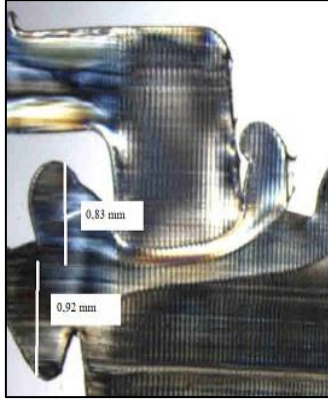
altında incelenmiş, kaynak yer değişim miktarları tayin edilmiştir. Kaynak yer değişim miktarı kaynak yapılan iki parçanın birbirine nüfuz miktarıdır. Ayrıca mikroskop altında parçanın kaynak kalitesi, eriyik miktarı ve kaynak yüzeyinde hava kabarcıklarının olup olmadığına da bakılmıştır.



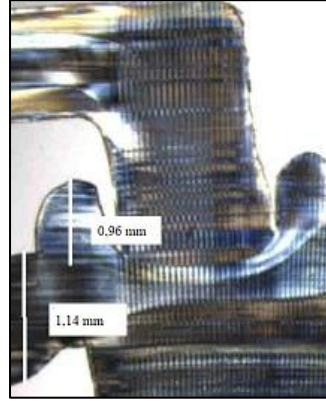
**Şekil 7:**

*Kaynak yapılmış numune*

Şekil 8 ve 9'da kopma testi sonucu uygun çıkan parçaların mikroskop altında kaynak yer değişim uzunlukları gösterilmiştir. Dört eşit parçaya ayrılan kaynak yüzeyi için, her bölgeden bir numune test edilmiş ve bu testlerin sonucunda optimum değer belirlenmeye çalışılmıştır.



a) 250°C 'de test edilen numune

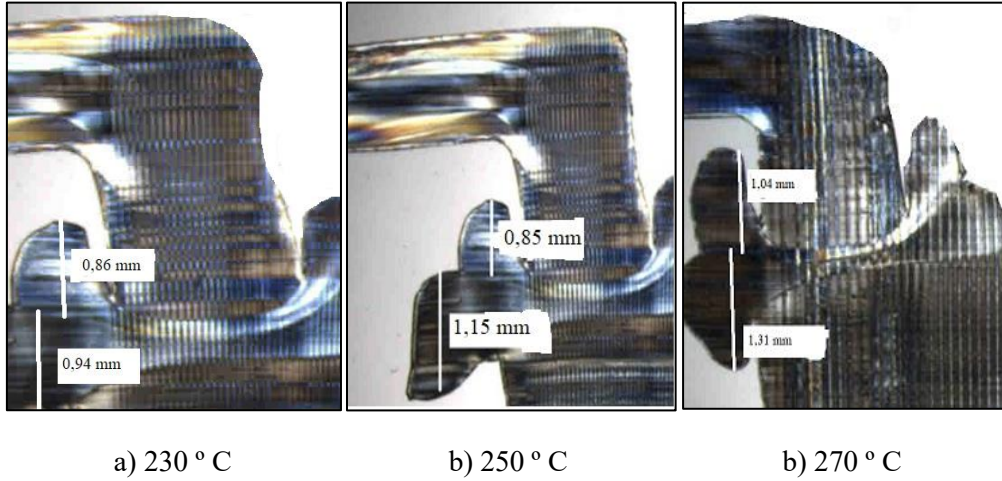


b) 270°C 'de test edilen numune

**Şekil 8:**

*4 bar basınç altında kaynak yer değişim uzunlukları*





**Şekil 9:**

*5 bar basınç altında kaynak yer değişim uzunlukları*

Şekil 8’de 4 bar basınç altında, 250° C ve 270° C’ de kaynak yapılan ve uygun bulunan parçaların kaynak yer değişim uzunlukları, Şekil 9’da ise 5 bar basınç altında, 230° C, 250° C ve 270° C’de kaynak yapılan ve uygun bulunan parçaların kaynak yer değişim uzunlukları gösterilmiştir. Bu testlerin tekrarlanma amacı üretim esnasında parça kaynak yüzeyinde oluşabilecek bozuklukların, düzlemsel farklılıkların ve üretim sonrası soğutma işlemindeki yetersizliklerinden kaynaklı hataların belirlenmesidir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada lupolen 4261 AG plastik malzemesinden üretilen plastik yakıt tankından alınan numuneler için kaynak işlemi yapılmış ve en uygun plaka sıcaklık ve kaynak yer değişim miktarları, kopma ve microtome testleri ile başarılı bir şekilde tayin edilmiştir. Farklı sıcaklıkta kaynak işlemi yapılan parçalara uygulanan testler sonucunda basınç parametresinin de etkisi dikkate alınarak plakaların çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmaması gerektiği görülmüş, basınç parametresinin sıcak plaka kaynak işlemindeki önemi vurgulanmıştır. Lupolen 4261 AG malzemedan üretilmiş ve kaynak işlemi yapılmış numuneler için deneysel sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- 4 bar basınç altında 250°C’de yapılan kaynak işleminin uygun olduğu görülmüş ve plakanın 270 °C ve daha üstü sıcaklıklara kadar ısıtılmasına gerek olmadığı anlaşılmıştır.
- 5 bar basınç altında 230°C’de yapılan kaynak işleminin uygun olduğu görülmüş ve plakanın 250 °C ve daha üstü sıcaklıklara kadar ısıtılmasına gerek olmadığı anlaşılmıştır.

Sıcak plaka kaynak işleminde kaynak parametrelerine önem verilmeli, kaynak parametrelerinde küçük değişimlerin bile kaynak işlemi üzerindeki etkisi fark edilmelidir. Malzemenin uygun kaynak sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara ısıtılması yüzeyde yanmaların başlaması, dolayısıyla malzemenin fiziksel özelliklerinin bozulması nedeniyle sakıncalıdır.

#### KAYNAKLAR

1. Akkurt, A., & Ertürk, İ. (2010). Sıcak Elaman Alın Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen PE Doğalgaz Borularının Güvenirliklerinin Araştırılması. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 16(2). 221-233.
2. Campanelli, L. C., Suhuddin, U. F. H., Santos, J. F. D., & Alcântara, N. G. D. (2012). Parameters optimization for friction spot welding of AZ31 magnesium alloy by Taguchi method. Soldagem & Inspeção, 17(1). 26-31. doi:10.1590/S0104-92242012000100005

3. El-Bagory, T. M., Sallam, H. E., & Younan, M. Y. (2015). Evaluation of Fracture Toughness Behavior of Polyethylene Pipe Materials. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 137(6). 061402. doi:10.1115/1.4029795
4. Grewell, D., & Benatar, A. (2007). Welding of plastics: fundamentals and new developments. *International Polymer Processing*, 22(1). 43-60. doi:10.3139/217.0051
5. Han, J. J., Ryu, H. W., Kim, Y. J., Kim, J. S., Oh, Y. J., & Park, H. B. (2014). Failure assessment diagram analysis of high density polyethylene pipes. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(12). 4929-4938. doi:10.1007/s12206-014-1113-3
6. Kocutüfek, U., Yeni, Ç., Ülker, A., & Sayer, S. (2014). Optimization of hot plate welding parameters of glass fibered reinforced Polyamide 6 (PA6 GF15) composite material by Taguchi method. *Usak University Journal of Material Sciences*, 3(1). 69-85. doi: 10.12748/uujms.201416502.
7. Leica Biosystems, (2005). Sliding and Vibrating Blade Microtome Equipment. Erişim Adresi: <https://www.leicabiosystems.com/histology-equipment/sliding-and-vibrating-blade-microtomes> (Erişim Tarihi: 11.02.2019).
8. LyonellBasell Instruments, (2000). Plastics and Chemicals Materials. Erişim adresi: <https://www.lyondellbasell.com/en/polymers/p/Lupolen-4261AG> (Erişim Tarihi: 17.01.2019).
9. Nonhof, C. J. (1996). Optimization of hot plate welding for series and mass production. *Polymer Engineering & Science*, 36(9). 1184-1195. doi:10.1002/pen.10512
10. Nikon Instruments, (2001). Microscope and Camera Systems Configurations. Erişim Adresi: <https://www.nikoninstruments.com/SMZ800N> (Erişim Tarihi: 23.01.2019).
11. Stokes, V. K., & Conway, K. R. (2001). A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics. 4. Weld strength data for several blends. *Polymer*, 42(17). 7477-7493. doi:10.1016/S0032-3861(00)00395-5
12. Takasu, N. (2003). Friction welding of plastics. *Welding international*, 17(11). 856-859. doi:10.1533/wint.2003.3198
13. Taşkıran, E. (2014). Dokuz Eylül Üniversitesi, Polimer esaslı malzemelerde dolgu maddelerinin sıcak plaka kaynağı mukavemeti üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi.
14. Troughton, M. J. (2008). Handbook of plastics joining: a practical guide. William Andrew.