



---

**Makale / Research Paper**

---

**Boru İle Lamanın Robot Ark Kaynak Tekniğiyle Birleştirilmesinde  
Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi**

**Ahmet Alper Tunga OKUYAN<sup>1,a</sup>, Hüseyin UZUN<sup>2,b</sup>**

<sup>1</sup> Toyota Boshoku Türkiye, ARGE Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

<sup>a</sup> [alper.okuyan@toyota-boshokutr.com](mailto:alper.okuyan@toyota-boshokutr.com) , <sup>b</sup> [huzun@sakarya.edu.tr](mailto:huzun@sakarya.edu.tr)

---

**Özet:** Bu çalışmada, otomobil koltuk kasnağı üzerindeki boru profile, destek lamasının robot ark kaynak metoduyla, yeterli nüfuziyet değerlerinde birleştirilebilmesi için optimum kaynak parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kaynak parametreleri, robot torcunun kaynak ekseninden sapma miktarı, odak noktasının değişme miktarı ve eksen kaçıklık miktarı dikkate alınarak belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen numunelerin kaynak kesitleri ve nüfuziyet değerleri optik mikroskopla incelenerek, uygun kaynak parametre seçimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, robot ark kaynak tekniği ile boru profile destek lamasının birleştirilmesinde, optimum kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı parametreleri tayin edilerek önerilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Robot ark kaynak metodu, otomobil koltuk kasnağı, boru ile destek lamasının birleştirilmesi

---

**Determination of Optimum Welding Parameters For Welding of Tube With  
Bracket Steel Bar By Robotic Arc Welding Technique**

---

**Abstract:** The aim of this study is the determination of optimum welding parameters at good penetration for welding of tube with bracket steel bar of car seat pulley by robotic arc welding technique. It was established the welding parameters according to the welding axis deflection and focus point changing of robotic welding torch. It was investigated the weld penetrations of cross sections by optical microscopy. According to the results, it was advised the optimum welding parameters such as welding current, welding voltage and welding speed for the tube with bracket steel bar of car seat pulley welded by robotic arc welding technique.

**Key Words:** robotic arc welding, car seat pulley, welding penetration.

---

## 1. Giriş

Günümüzün artan küresel rekabet ortamı, işletmeleri, yüksek kaliteli ürünleri düşük maliyetle üretmeye zorlamaktadır. Kaynaklı imalat sektöründe de kaynakçı hatalarını minimuma indirmek, üretimin hızını arttırmak ve hatasız kaynaklı birleştirme işlemlerinin gerçekleştirilerek maliyetlerin en düşük seviyeye indirilmesinde robot kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Robot kaynak uygulamaları, hatasız ve hızlı bir seri imalat için vazgeçilmez bir imalat tekniğidir. Sıfır hata ile imalat yapmayı hedefleyen otomobil üreticilerinin de en çok tercih ettiği kaynaklı imalat yöntemi, robot ark kaynağıdır[2,3,5].

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Okuyan, A.A.T., Uzun, H. "Boru İle Lamanın Robot Ark Kaynak Tekniğiyle Birleştirilmesinde Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 297-307.

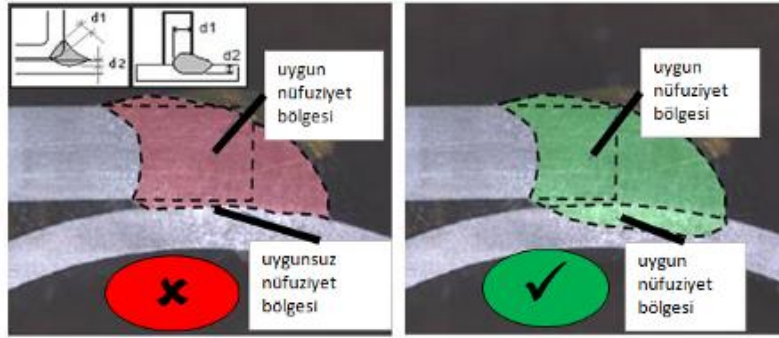
*How to cite this article*

Okuyan, A.A.T., Uzun, H. "Determination of Optimum Welding Parameters For Welding of Tube With Bracket Steel Bar By Robotic Arc Welding Technique" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 297-307.

Bu çalışmada otomobillerin koltuk kasnak sistemlerinin robot ark kaynak tekniği ile birleştirilmesi incelenecektir. Otomobil koltuk kasnağı imalatında, boru profil aksamı ile destek lamasının yeterli nüfuziyet değerlerinde birleştirilebilmesi oldukça büyük önem arz eder. Yetersiz nüfuziyet, kaza anında koltuk kasnağının kolayca hasara uğrayarak yolcuya zarar verme riskini arttırmaktadır. Tatmin edecek bir seviyede nüfuziyetin gerçekleştirilebilmesi için birleştirme işlemleri, robot ark kaynak metoduyla yapılmaktadır.

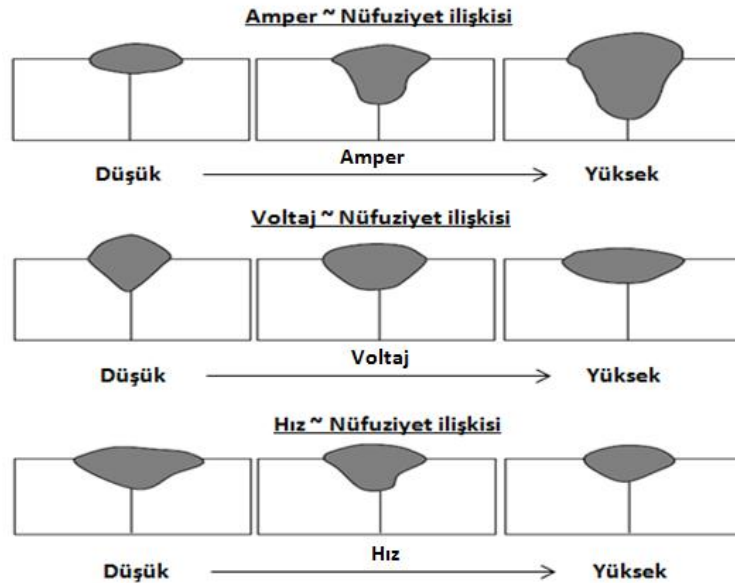
Robot ark kaynak işlemiyle yeterli nüfuziyetin sağlanmasında, robot torcunun kaynak ekseninden sapma miktarının, torç odak noktasının değişme miktarının ve eksen kaçıklık miktarının değişmesi, büyük bir önem taşımaktadır. Dolayısıyla kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı parametrelerinin doğru tayin edilebilmesi, bu faktörlerin oldukça düzgün ayarlanmasına ve belirli toleranslar içerisinde kalmasına büyük bir önem verilmesi gerekir.

Kaynak nüfuziyetindeki en kritik konu, kaynak parametreleridir. Kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak hızı, torch açısı, ilerleme açısı ve odak noktası parametrelerinin doğru belirlenmesi iyi bir nüfuziyet için zorunludur. Şekil 1'de iyi bir nüfuziyet ile kötü bir nüfuziyet şematik olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Uygun bir nüfuziyet ile uygun olmayan nüfuziyetin şematik karşılaştırılması.

Kaynak parametreleri kaynak kalitesine direkt etki etmektedir bu nedenle doğru belirlenmiş kaynak parametreleri ile üretim yapmak çok önemlidir. Kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı değerlerinin nüfuziyetle olan ilişkisi de Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre amper arttıkça nüfuziyet yükselmekte, voltaj arttıkça nüfuziyet azalmakta ve kaynak genişliği yükselmektedir. Kaynak hızı yükseldiği durumda da nüfuziyet azalmaktadır.



Şekil 2. Kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızı parametrelerinin nüfuziyetle ilişkisi.

Bu çalışmada, robot ark kaynak metoduyla, otomobil koltuk kasağındaki boru profil aksamı ile destek lamasının yeterli nüfuziyet değerlerinde birleştirilebilmesi amacıyla, robot torcunun kaynak ekseninden sapma miktarına, torç odak noktasının değişme miktarına ve eksen kaçıklık miktarına bağlı olarak, optimum kaynak parametrelerinin tayin edilmesi hedeflenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada 1mm ve 4mm kalınlığındaki SPH440 çelik lama ile 1.2 mm kalınlığında ve Ø31,8 mm çapında STKM800 boru profil kullanılmıştır. Lama ve profil malzemelerine ait kimyasal içerik ve mekanik özellikleri, Tablo 1’de verilmektedir.

Birleştirme işleminde, Yaskawa marka robot ark kaynak makinası kullanılmıştır. Birleştirme işleminde 18 farklı kaynak parametre kombinasyonu (Parça No: 1-18) kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır.

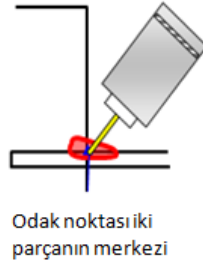
Tablo 2’de robot ark kaynak tekniği ile otomobil koltuk kasağındaki boru profil aksamı ve destek lamasının birleştirilmesinde kullanılan 18 farklı kaynak parametre kombinasyonları verilmiştir. Amper değeri  $\pm 10$ , Voltaj değeri  $\pm 1$  ve Kaynak hızı +5 toleranslarında değiştirilerek değişik parametre kombinasyonlarında denemeler yapılmıştır. Bu çalışmada, robot odak noktası iki parçanın merkezi olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Şekil 4’te de robot ark kaynak tekniğiyle lama ile profilin birleştirilmesindeki robot torcunun konumu gösterilmektedir.

Tablo 1. SAPH440 çelik lama ile STKM800 boru profile ait kimyasal içerik ve mekanik özellikler.

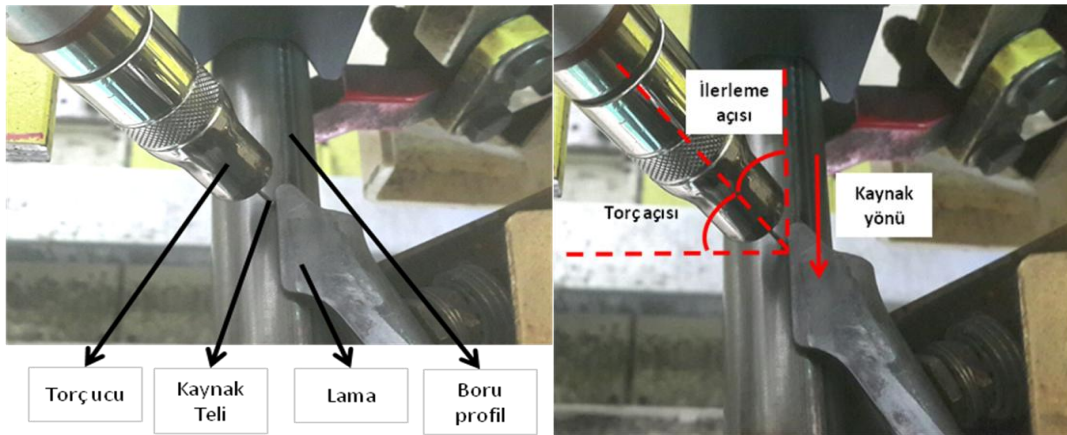
Malzeme	Kimyasal İçerik (% ağırlık)						
	C $\leq$	Mn $\leq$	P	S $\leq$	Si $\leq$	Al	Ti
SPH440 Çelik Lama	0,21	1.50	0,04	0,04	0,30	0,034	0,003
	Mekanik Özellikler						
	Akma Mukavemeti (MPa)			Çekme Mukavemeti (MPa)		% Uzama	
	305			440		30	
Malzeme	Kimyasal İçerik (% ağırlık)						
	C	Mn	P	S	Si	Al	Ti
STKM800 Boru Profil	0,114	1,67	0,080	0,004	0,190	0,374	0,003
	Mekanik Özellikler						
	Akma Mukavemeti (MPa)			Çekme Mukavemeti (MPa)		% Uzama	
	650			800		16	

Tablo 2. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri.

PARÇA NO	Kaynak Akımı (Amper)		Kaynak Gerilimi (Volt)		Kaynak Hızı (cm/dk)
	ARCON	ARCOF	ARCON	ARCOF	
1	175	150	19,5	16,5	55
2	185	157,5	19,5	16,5	55
3	185	157,5	20,5	17,5	55
4	175	150	20,5	17,5	55
5	165	142,5	20,5	17,5	55
6	165	142,5	19,5	16,5	55
7	165	142,5	18,5	15,5	55
8	175	150	18,5	15,5	55
9	185	157,5	18,5	15,5	55
10	175	150	19,5	16,5	60
11	185	157,5	19,5	16,5	60
12	185	157,5	20,5	17,5	60
13	175	150	20,5	17,5	60
14	165	142,5	20,5	17,5	60
15	165	142,5	19,5	16,5	60
16	165	142,5	18,5	15,5	60
17	175	150	18,5	15,5	60
18	185	157,5	18,5	15,5	60



Şekil 3. İki parçanın merkezi olarak tayin edilen, robot odak noktası



Şekil 4. Lama ile profilin birleştirilmesindeki robot torcunun konumu, ilerleme ve torç açısının gösterimi

## 2.1 Parça ve kaynak ekipmanlarındaki varyasyonların cp-cpk ile hesaplanması

Birinci adım: Aynı parçayı kaynak fikstürü üzerine 10 defa setleyerek kaynak ekipmanının süreklilik hassasiyetinin (varyasyon) ölçümü yapılmıştır. Şekil 3’de ölçüm yapılan bölge gösterilmiştir.

Aynı parça sürekli aynı kaynak fikstürüne setlenerek klamplere kapatılır, parçalar kaynak pozisyonuna getirilmiş olur ve parçaların her defasında aynı şekilde konumlandırılıp konumlandırılmadığının incelemesi yapılır. Ekipman üzerinde ölçüm yapılabilecek bir bölge belirlenir ve parçalar her konumlandırma sonrasında bu noktadan ölçülmüştür. Tablo 3’te yapılan ölçüm sonuçlarını göstermektedir.

İkinci adım: Değişik parçalar aynı kaynak fikstürüne setlenerek parçaların süreklilik hassasiyetinin (varyasyon) ölçümü yapılır. Ölçüm adeti minimum 10 parça olmalıdır. Şekil 5 de ölçüm yapılan bölge gösterilmiştir.

Değişik parçalar aynı kaynak fikstürüne setlenerek klamplere kapatılır, parçalar kaynak pozisyonuna getirilmiş olur ve parçaların her defasında aynı şekilde konumlanıp konumlanmadığının incelemesi yapılır. Ekipman üzerinde 1. maddede ölçüm yapılan bölgeden parçalar her konumlandırma sonrasında ölçüm yapılır (Tablo 4’te yapılan ölçüm sonuçlarını göstermektedir [1]).

Tablo 3. Birinci adımdaki ölçüm sonuçları

<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>L (mm)</b>	14,7	14,5	14,4	14,8	14,8
<b>n</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>L (mm)</b>	14,6	14,7	14,5	14,8	14,4

<b>Avr.</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>Fark</b>
14,62	14,8	14,4	0,4

Tablo 4. İkinci adımdaki ölçüm sonuçları

<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>L (mm)</b>	14,3	14,4	14,44	14,57	14,67
<b>n</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>L (mm)</b>	14,4	14,48	14,33	14,56	14,68

<b>Avr.</b>	<b>max</b>	<b>min</b>	<b>Fark</b>	<b><math>\sigma</math></b>
14,48	14,68	14,3	0,38	0,13

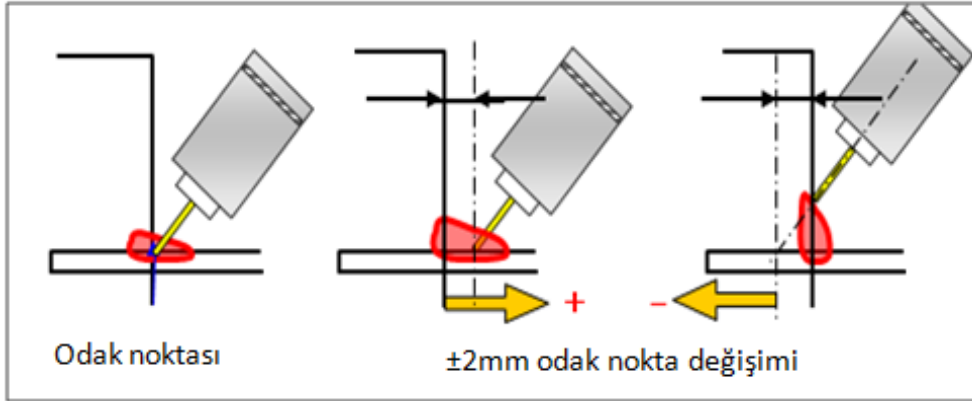
Yapılan varyasyon ölçümleri neticesinde Proses kapasitesi (Cp,Cpk) hesaplaması yapılarak prosesin kapasitesine karar verilir. Robot torç odak kaçıklık sınırını standart yaparak parça ve jigteki varyasyonuna göre proses kapasitesi hesaplanır [1].

Proses kapasitesi Cp, Cpk hesaplama metodu şu şekildedir:

Proses kapasite endeksi Cp, Cpk formülü:

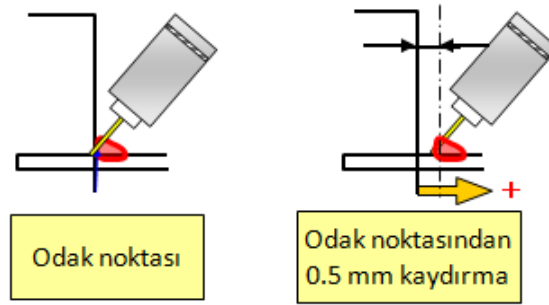


nüfuziyetinin standart değerlerin içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Robot odak noktasının değişmesinden dolayı, odak noktasının üzerine kaydığı parçanın nüfuziyeti fazla, odak noktasının üzerinden uzaklaştığı parçadaki nüfuziyet az olmaktadır. Şekil 6'da robot eksen kaçıklığının nüfuziyete olan etkisi görülmektedir.



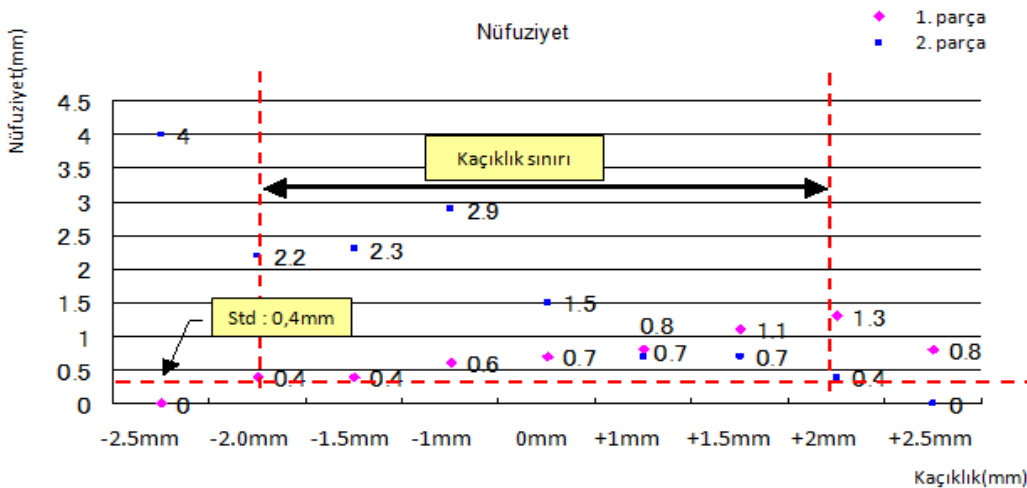
Şekil 6. Ark kaynağı robot odak noktasının kaydırılması

Robot eksenini  $\pm 2\text{mm}$  kaynak odak noktasında değişebileceği öngörülerek bu çalışma yapılmıştır. Eğer  $\pm 2\text{mm}$  den daha fazla varyasyon sözkonusu ise çalışma kapsamı genişletilebilir. Robot ekseninin  $+2\text{mm}$  veya  $-2\text{mm}$  pozisyonunda değişmesi durumunda da kaynak nüfuziyetinin uygun olmasını sağlayacak kaynak parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.



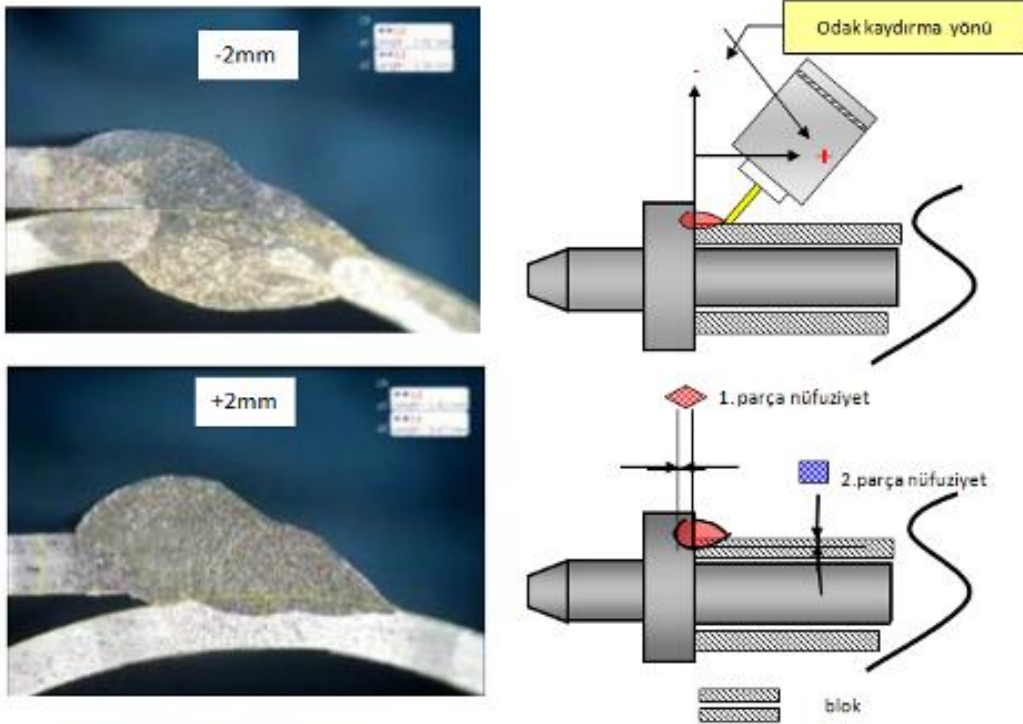
Şekil 7. Robot odak noktası 0.5 er mm kaydırma

Robot odak noktası 0.5 er mm kaydırılarak numuneler üretilir(Şekil 7). Üretilen numuneler kaynak bölgesi orta noktasından kesilip yüzeyi temizlendikten sonra mikroskop altında incelenir. Üretilen numunelere ait test sonuçları Şekil 8'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 8. Robot +2.5mm ve -2.5mm ekseninden kaydırılarak yapılan kaynak sonuçları


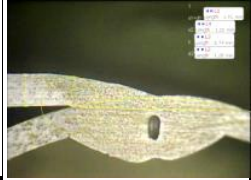












Robot odak noktası +2mm ve -2mm eksenden kaydırıldığı durumda kullanılan parametre ile uygun sonuç alındığı için mevcut parametre ekipman, parça ve robot hareketinde oluşacak toplam varyasyonu karşılayabilecek değerdedir. Şekil 9’da robot eksen kaymasının +2mm ve -2mm olduğu durumda yani en kötü durumda yapılan kesme testi resimleri gösterilmektedir.




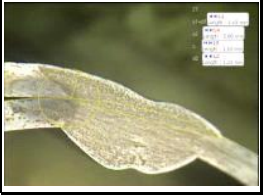

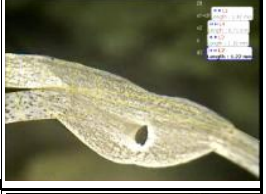





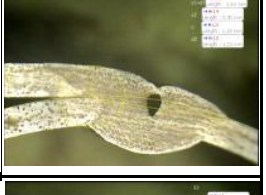






Şekil 9. Robot +2mm ve -2mm eksenden kaydırılarak yapılan kaynak sonuçları

Test sonucuna göre mevcut parametrede odak noktası  $\pm 2$ mm aralık içerisinde değişse de nüfuziyetin sağlandığı anlaşılıyor. Dolayısıyla kaynak ekipmanında yada parçadaki varyasyon bu aralığı aşmadığı sürece kaynak nüfuziyetinin uygun olduğuna karar verilebilir. Kaynak prosesinde parçalarda istenen seviyede nüfuziyet sağlanabilmesi için parçaların uygun olarak konumlandırılması ve kaynak parametrelerinin uygun olması gerekmektedir. Parça pozisyonlarının değişmesi, robot eksen kayıklığı veya uygun parametrelerin seçilmemesi durumunda istenen seviyede kaynak nüfuziyeti sağlanamayacaktır. Şekil 10’da Tablo 2 de belirtilen farklı kaynak parametreleri ile birleştirilen 18 farklı parçanın test sonuçları gösterilmektedir. Bu çalışma sonucunda Tablo 2 deki 1 numaralı parametrenin (Kaynak akımı:175amper, kaynak gerilimi:19,5 volt ve kaynak hızı:55cm/dk) en uygun parametre olduğuna karar verilmiştir.



Parça No	KAYNAK UÇ UZUNLUĞU (LEG LENGTH)			KAYNAK BOĞAZ GENİŞLİĞİ (THROAT)			NUFUZİYET (PENETRATION)			KAYNAK RESMİ	KESİT RESMİ
	STANDART	ÖLÇÜM	OK / NG	STANDART	ÖLÇÜM	OK / NG	STANDART	ÖLÇÜM	OK / NG		
	$S1, S2 \geq 0,8 X t$			$C \geq 0,7 X t$			$d1, d2 \geq 0,2 X t$				
1	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,22	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,74	O				$d2 \geq 0,3$	1,28	O		
2	$S1 \geq 1,0$	1,44	O	$C \geq 0,9$	1,15	O	$d1 \geq 0,3$	1,44	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,44	O				$d2 \geq 0,3$	1,29	O		
3	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,30	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	7,08	O				$d2 \geq 0,3$	1,26	O		
4	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,47	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,28	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		
5	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,36	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,09	O				$d2 \geq 0,3$	1,20	O		
6	$S1 \geq 1,0$	1,38	O	$C \geq 0,9$	1,24	O	$d1 \geq 0,3$	1,38	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,10	O				$d2 \geq 0,3$	1,20	O		
7	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,46	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,18	O				$d2 \geq 0,3$	1,23	O		
8	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,54	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,47	O				$d2 \geq 0,3$	1,24	O		
9	$S1 \geq 1,0$	1,40	O	$C \geq 0,9$	1,65	O	$d1 \geq 0,3$	1,40	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,07	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		

10	$S1 \geq 1,0$	1,44	O	$C \geq 0,9$	1,13	O	$d1 \geq 0,3$	1,44	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,16	O				$d2 \geq 0,3$	1,22	O		
11	$S1 \geq 1,0$	1,43	O	$C \geq 0,9$	1,18	O	$d1 \geq 0,3$	1,43	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,88	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		
12	$S1 \geq 1,0$	1,40	O	$C \geq 0,9$	1,10	O	$d1 \geq 0,3$	1,40	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,71	O				$d2 \geq 0,3$	1,22	O		
13	$S1 \geq 1,0$	1,43	O	$C \geq 0,9$	1,11	O	$d1 \geq 0,3$	1,43	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,63	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		
14	$S1 \geq 1,0$	1,44	O	$C \geq 0,9$	1,07	O	$d1 \geq 0,3$	1,44	O		
	$S2 \geq 1,0$	6,54	O				$d2 \geq 0,3$	1,23	O		
15	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,06	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,48	O				$d2 \geq 0,3$	1,20	O		
16	$S1 \geq 1,0$	1,43	O	$C \geq 0,9$	1,19	O	$d1 \geq 0,3$	1,43	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,30	O				$d2 \geq 0,3$	1,23	O		
17	$S1 \geq 1,0$	1,41	O	$C \geq 0,9$	1,30	O	$d1 \geq 0,3$	1,41	O		
	$S2 \geq 1,0$	5,22	O				$d2 \geq 0,3$	1,20	O		
18	$S1 \geq 1,0$	1,40	O	$C \geq 0,9$	1,42	O	$d1 \geq 0,3$	1,40	O		
	$S2 \geq 1,0$	4,95	O				$d2 \geq 0,3$	1,21	O		

Şekil 10. Farklı parametreler ile kaynatılan 18 farklı parçanın test sonuçlarını.

#### 4. Genel Sonuçlar

Çalışmada kaynak odak noktası sabit olduğu durumda parametrelerin belli oranda değiştirilmesine rağmen kaynak nũfuziyet, kaynak u uzunluğu, kaynak boğaz genişliği hesaplamaları yapılmış ve sonuçların standart değerlerin içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Bu alışma sonunda, otomobil koltuk kasnağı üzerindeki boru profile ile destek lamasının robot ark kaynak metoduyla birleştirilebilmesinde, yeterli nũfuziyet değerlerinin elde edildiği optimum kaynak parametreleri şunlardır: Kaynak akımı: 175amper, kaynak gerilimi: 19,5volt ve kaynak hızı: 55cm/dk.

Bu alışma sayesinde robot eksen kayıklıkları, kaynak ekipmanı ve parça varyasyonları nedeniyle oluşan odak kaıklıklarının kaynak kalitesine olan etkileri göz önünde bulundurulmuş ve bu durumlar karşısında kaynak kalitesini istenen seviyede tutacak kaynak parametrelerinin nasıl belirleneceği açıklanmıştır. Yapılan kaynağın kalitesinin artmasıyla birlikte hurda oranı azaltılmakta dolayısıyla da maliyet düşmektedir.

Ülkemizde başta otomotiv sektörü olmak üzere çok sayıdaki endüstriyel kuruluşta ark kaynak robotları kullanılmaktadır. Uygun parametrelerin robotlara yüklenmesi ile kaynak kalitesi arttırılmış olacaktır.

#### 5. Teşekkür

Bu alışma, Toyota Boshoku Türkiye fabrikası Ar-ge Bölümü yetkililerin desteğiyle yapılmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] Toyota Boshoku Türkiye PE yönetmeliği Kaynak Yoyuudo alışma püf noktası (TBTPE12-01)
- [2] G. Vargın GÖK, . AFYON, Altınay Robotik ve Otomasyon A.ř. Kaynak uygulamalarında robot teknolojisi
- [3] Prof. Dr. S. ANIK, Prof. Dr. K.TÜLBENTÇİ, Yrd. Doç. E.KALUÇ Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü İstanbul(1991)
- [4] S.YUMURTACI, T.MERT Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri cilt: 44, sayı: 526
- [5] Arş. Gör. Dr.A. Gamze ifti AYTEKİN Robotik Gazaltı Köşe Kaynak İşleminin Taguchi Yöntemi ile Eniyilenmesi