

Projeksiyon Kaynağı Çıkıntılarının Mekanik ve Metalgrafik Özelliklere Etkisi

¹Hilal Kır, ^{*2} Mustafa Yazar, ³Şükrü Talaş

¹ Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Bursa Uludag University, Turkey

^{*2} R&D Department, Machine and Spare Parts Manufacturing Co. Ltd., Turkey

³ Faculty of Technology, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Afyon Kocatepe University, Turkey

Özet

Bu çalışmada 2 mm kalınlığındaki DC03 sac parçalar üzerine M6x12 kaynak cıvatası projeksiyon kaynağı ile birleştirilmektedir. Çalışmada farklı kaynak kabartma yüksekliklerinin, kaynak kalitesi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla 0.7 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının kaynak kopma yükü ile 1 mm kaynak kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının kopma yükü karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar; 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının 0,7 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasından daha yüksek kopma kuvveti sağladığı görülmüştür. Kaynak parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi L9 deney tasarımı kullanılarak farklı kaynak akımı ve kaynak kuvveti değerleri incelenmiştir. En yüksek kopma yükü, 27 kA kaynak akımı ve 450 daN kaynak kuvveti ile elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, kabartma yüksekliğinin ve kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Ayrıca, SEM analizleri 1 mm kabartmalı kaynaklarda çatlak oluşumunun engellendiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Kaynak kabartma yüksekliği, projeksiyon kaynağı, SEM analizi, kaynak kopma kuvveti, Taguchi yöntemi

Effect of Projection Weld Overhangs on Mechanical and Metallographic Properties

Abstract

In this study, M6x12 weld bolts are joined to 2 mm thick DC03 sheet metal parts with projection welding. In order to evaluate the effect of different weld relief heights on weld quality, the weld failure load of the weld bolt with 0.7 mm relief height and the weld bolt with 1 mm relief height were compared. The results obtained showed that the weld bolt with 1 mm relief height provided higher failure force than the weld bolt with 0.7 mm relief height. Different welding current and welding force values were examined using Taguchi L9 experimental design for the optimization of welding parameters. The highest failure load was obtained with 27 kA welding current and 450 daN welding force. The findings obtained show that the relief height and welding parameters have significant effects on weld quality. In addition, SEM analyses reveal that crack formation is prevented in welds with 1 mm relief.

Keywords: Weld relief height, projection welding, SEM analysis, weld failure force, Taguchi method

1. Giriş

Kaynak prosesi çelikler başta olmak üzere üstün bir birleştirme yöntemi olarak otomotiv, beyaz eşya, uzay ve havacılık gibi birçok alanda ön plana çıkmaktadır. Kaynak prosesi uygulamalarında

*Sorumlu yazar: Adres: AR-GE Merkezi Şahinkul Makina ve Yedek Parça San. Tic. A.Ş., Bursa TÜRKİYE. E-mail: yazatmustafa08@gmail.com, GSM: +902242611530

farklı kaynak çeliklerinin kullanılması, karmaşık geometriler, uygulama ortam koşulları gibi birçok çeşitli faktör kaynak verimliliği üzerinde etkili olmaktadır [1]. Kaynak prosesinin en yaygın kullanılan birleştirme proseslerinden biri olması da üretim verimliliğinin önemini arttırmaktadır [2]. Otomotiv endüstrisinde kaynak proseslerinin geniş çapta kullanılmasının yanı sıra elektrik direnç kaynak yöntemleri diğer kaynak proseslerinden daha düşük maliyetli olmaları, yüksek üretim adetlerinde dahi yüksek hızlı üretim kabiliyetleri ile dikkat çekmektedir [3].

Elektrik direnç kaynağı yöntemlerinden en yaygın kullanılanları direnç nokta kaynakları ve direnç projeksiyon kaynaklarıdır. Direnç nokta ve projeksiyon kaynağı temel olarak aynı prensiple çalışmasına rağmen; projeksiyon kaynağında iki malzemedan biri plastik olarak önceden deforme edilerek çıkıntılı temas alanına sahip olmaktadır. Bu da projeksiyon olarak adlandırılmaktadır [4]. Akım etkisi altında bu çıkıntılı yapılar olan kaynak kabartmaları üretilen kaynak direnç ısısı ile yumuşamakta ve elektrot basıncı ile ezilerek kaynak bağlantısı oluşturmaktadır [5].

Direnç nokta kaynağında kaynak kalitesi ve mukavemeti birçok faktöre bağlıdır. Buna rağmen kaynak prosesi üzerinde çalışılan ana parametreler kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvvetidir. Bu parametrelerden en kritik olanı projeksiyon kaynak prosesi için genel olarak kaynak akımıdır. Bunun nedeni kaynak akımının kaynak kalitesi üzerinde doğrudan etkiye sahip olmasıdır [6]. Projeksiyon direnç kaynağı da nokta kaynağı ile aynı kaynak kalite ve mukavemet parametrelerine bağlıdır ancak bu yöntemde mevcut olan kaynak kabartmaları kaynak akımı için direnci arttırarak uygulanan kuvveti ve kaynak süresini azaltmaktadır. Buna ek olarak projeksiyon kaynağında kaynak malzemesi üzerindeki kabartmalar karşı kaynak malzemesi üzerine kaynak kuvveti etkisi ile ergimesi sebebiyle kabartısız kaynak proseslerine göre yüzey kalitesi daha yüksek kaynaklar elde edilmektedir [7].

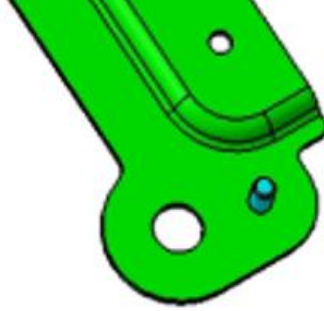
Bu çalışmada projeksiyon kaynak proseslerinde kullanılan mekanik iyileştirmeyi amaçlayan kaynak kabartma yüksekliklerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Çalışmada farklı kabartma yüksekliklerine bağlı olarak kaynak akımı, kaynak baskı kuvveti tartışılmıştır. Kaynak kalitesinin arttırılmasının amaçlandığı çalışmada parametrelerin deneysel analizi için Taguchi L9 metodu kullanılmıştır. Elde edilen deneysel çıktılar kaynak kopma kuvvetine göre yorumlanmıştır. Deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen numuneler SEM analizleri ile incelenmiştir.

2. Yöntem

Bu çalışmada, DC03 kaliteye sahip otomobil sac parçaları 2 mm kalınlığında olup üzerlerinde Ø6 mm çapında delik geometrisine sahiplerdir. Bu sac parçalar, Ø6x12 mm boyutlarındaki 3 kabartma noktasına (3 meme) sahip projeksiyon kaynak cıvataları ile projeksiyon kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmektedir. Deneysel çalışmada, kabartma yükseklikleri 0.7 mm ve 1 mm olan bu projeksiyon kaynak cıvataları incelenmiştir. Elde edilen projeksiyon kaynak numuneleri, kopma testi ile değerlendirilmiş ve yüksek mukavemetli kaynak kabartma yüksekliği belirlenmiştir. Kabartma yükseklikleri yorumlanarak, optimum kaynak parametreleri üzerinde çalışılmıştır.

2.1. Çalışmada Kullanılan Yöntem ve Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan sac malzeme yüksek derin çekme kabiliyetine sahip düşük karbonlu DC03 çeliğidir [8]. Şekil 1’de parçanın CAD data resmi gösterilmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2’de sırasıyla DC03 sac malzemenin mekanik ve kimyasal özellikleri verilmiştir.



Şekil 1. Projeksiyon kaynak prosesinde kullanılan 2 mm kalınlığındaki sac parça CAD modeli

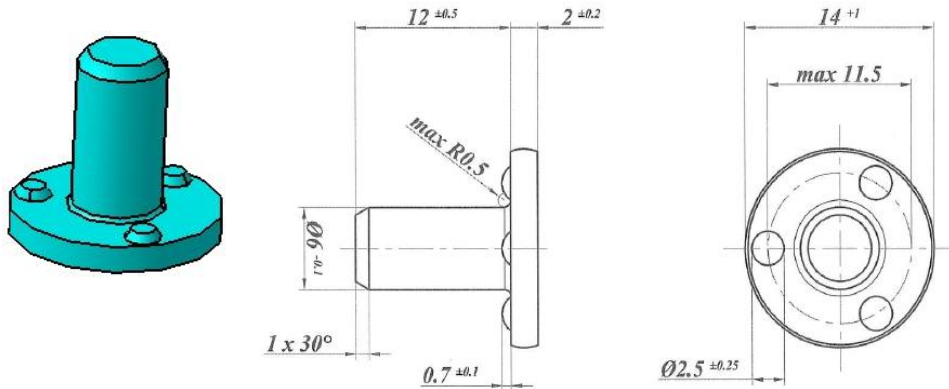
Tablo 1. DC03 sac malzeme kimyasal özellikleri

Element	%C	%Si	%S	%P	%Mn	%Al	%Cr	%Ni
	0.057	0.009	0.0054	0.01	0.237	0.041	0.023	0.004

Tablo 2. DC03 sac malzeme mekanik özellikleri (Test açısı 90 derece)

Akma (N/mm2)	Çekme (N/mm2)	Uzama (%)	R	N
195	301	41.0	1.54	0.20

Çalışmada projeksiyon kaynak prosesinde kullanılan 8.8 kalitedeki 0.7 mm kabartma yüksekliğine sahip 3 meme kaynak cıvatasının teknik resmi Şekil 2’de verilmiştir. Tablo 3’te kaynak cıvatalarına ait kimyasal özellikler ve Tablo 4’te ise mekanik özellikler yer almaktadır.



Şekil 2. 0,7 kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatası teknik resmi

Tablo 3. Kaynak cıvatalarının kimyasal özellikleri (% ağırlık)

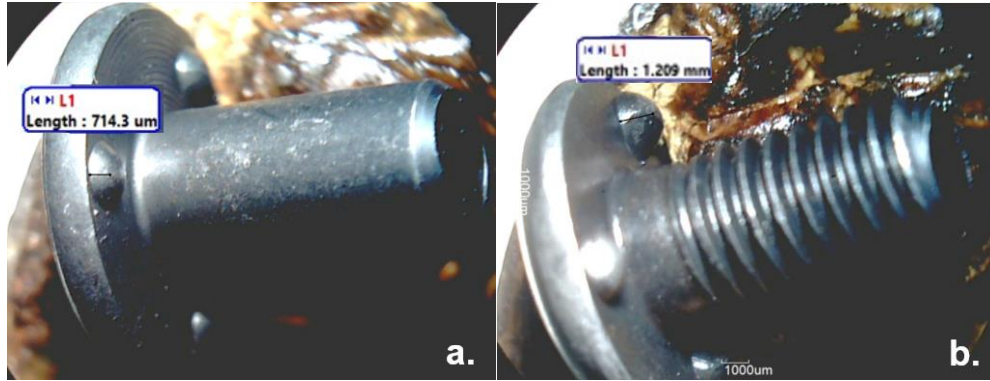
Element	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Cu
	0,2211	0,0703	0,9723	0,0120	0,0112	0,0417	0,0275	0,0104

Tablo 4. Kaynak cıvatası mekanik özellikleri

Kaynak Cıvatası	Çekme Dayanımı (N/mm2)	Akma Dayanımı (N/mm2)	Uzama (%)
-----------------	------------------------	-----------------------	-----------

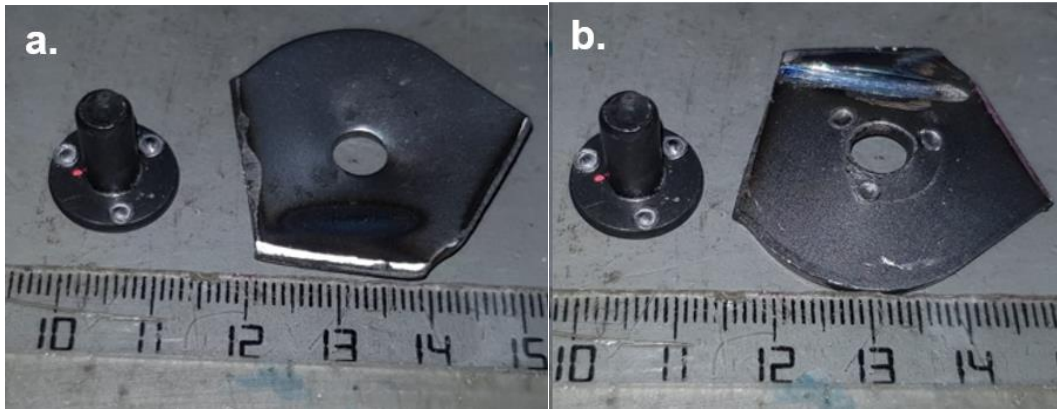
2.2. Kaynak Proses Parametreleri

Çalışmada Şekil 1’de gösterilmiş olan 2 mm kalınlığındaki sac parçaya üzerine 8.8 kalitede M6x12 kaynak cıvatası projeksiyon kaynağı ile birleştirilmektedir. Bu süreçte kullanılan cıvataların kaynak kabartma yüksekliklerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla 0.7 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının kaynak kopma yükü ile 1 mm kaynak kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının kopma yükü karşılaştırılmıştır. Şekil 3’te 8.8 kalitedeki M6x12 kaynak kabartma yükseklikleri farklı olan kaynak cıvataları verilmiştir.



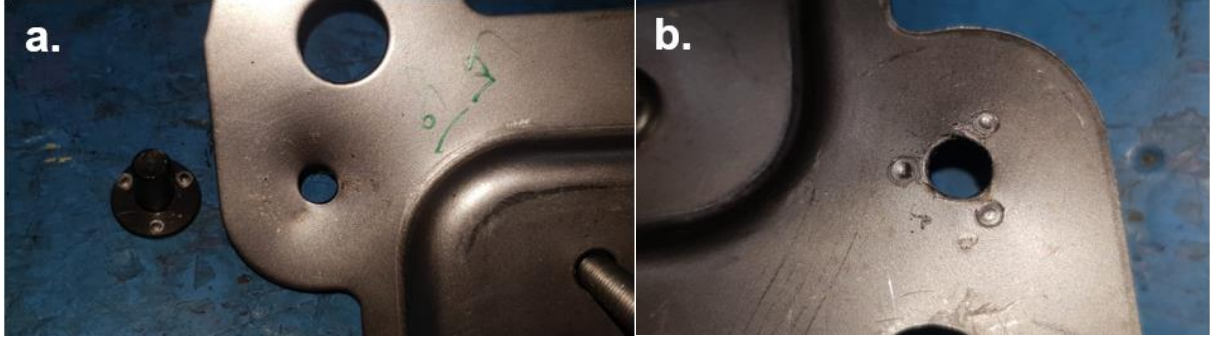
Şekil 3. 8.8 kalite M6x12 kaynak cıvatası 1000µm büyütülmüş mikroskop görüntüleri a. kabartma yüksekliği 0,7 mm 3 meme kaynak cıvatası b. kabartma yüksekliği 1 mm 3 meme kaynak cıvatası

Kaynak cıvataları Şekil 1’te gösterildiği gibi sac parça üzerine 27 kA kaynak akımı, 550 kg kaynak kuvveti ve 1 cycle kaynak zamanında sırasıyla projeksiyon kaynağı ile birleştirilmektedir. Farklı kaynak cıvatası kabartma yükseklikleri için yapılan deneysel çalışmada elde edilen numuneler tahribatlı testlerle değerlendirilmiştir. Şekil 4a’da 0,7 mm kaynak kabartma yüksekliğine sahip cıvatanın kopma test sonucu ve Şekil 4b’de 1 mm kabartma yüksekliğine sahip cıvatanın kopma testi sonucu gösterilmiştir.



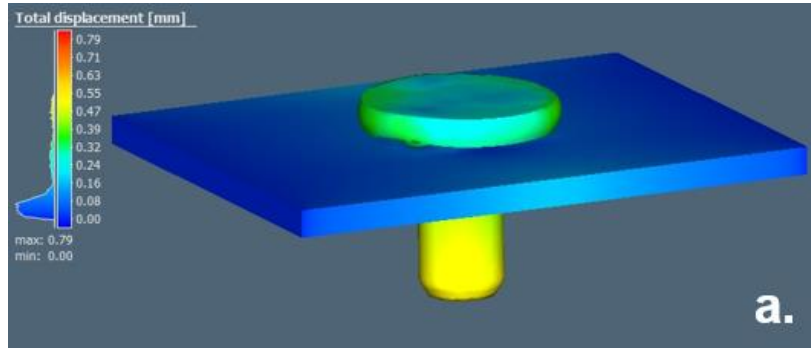
Şekil 4. Kopma test sonuçları a. 0,7 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatası kopma testi b. 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatası kopma testi

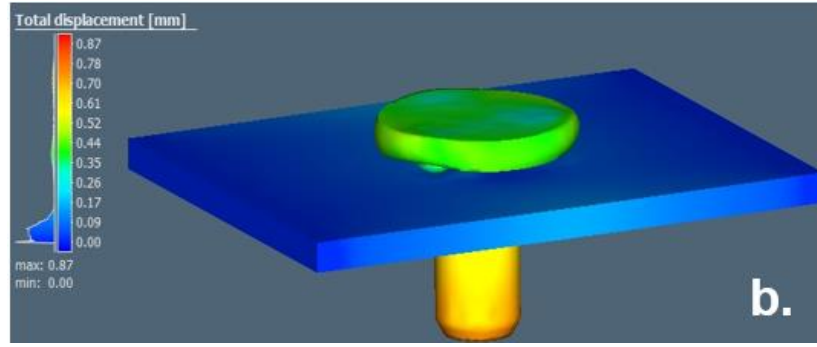
Farklı kabartma yüksekliğine sahip 8.8 kalitedeki M6x12 kaynak cıvatalarının projeksiyon kaynak prosesi sonrasında yapılan kopma testlerinde 0,7 mm kabartma yüksekliğine sahip cıvatanın kopma yükü 190 kg olarak ölçülmüştür. 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatası için kopma yükü 640 kg'dır. Şekil 5a'da 0,7 mm abartma yüksekliğine sahip cıvatanın kopma yükü testi sac numunesi, Şekil 5b'de 1 mm kabartma yüksekliğine sahip cıvatanın kopma testi sac numunesi verilmiştir.



Şekil 5a. 0,7 mm kabartma yüksekliğine sahip cıvata kopma testi sac numunesi Şekil 5b. 1 mm kabartma yüksekliğine sahip cıvata kopma testi sac numunesi

Elde edilen veriler Simufact Welding sonlu elemanlar programı ile de çalışılmıştır. Yapılan analiz çalışması için geometrik kaynak parametreleri deneysel verilere göre belirlenmiş olup, kaynak sac malzemesi için program malzemesinde hazır olarak bulunan DC04 çelik ve cıvata çeliği olarak seçilmiştir. Şekil 6a'da 0,7 mm kabartma yüksekliğine sahip cıvatanın ve Şekil 6b'de ise 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının kaynak prosesinde maksimum yer değiştirme sonuçları verilmiştir. Sonuçlar geometrik parametrelere göre değerlendirilmiştir.





Şekil 6. Kabartma yüksekliğine sahip 3 meme kaynak cıvatası kaynak proses sonlu elemanlar modeli toplam yer değiştirme analizi a. 0,7 mm b. 1 mm

Belirlenen kaynak prosesi parametrelerine göre yapılan deneysel 1 mm kaynak kabartma yüksekliğine sahip 3 mm kaynak cıvatasının daha yüksek kaynak mukavemet değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 5a ve Şekil 5b’de verilen kopma yükü test numunelerine göre 0.7 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının yeterli direncin oluşmaması sonucunda sac numunesinin de deformasyona uğramadığı ve düşük kopma yükü ile kaynak cıvatasının sac parçadan ayrıldığı görülmektedir. Sonlu elemanlar kaynak prosesi analizinde de kaynak kabartma yüksekliklerine bağlı olarak 0.7 mm kabartma yüksekliğine sahip cıvatanın 0.79 mm maksimum yer değiştirmeye sahip olduğu, 1 mm olan kaynak cıvatasının sac malzeme ile 0.87 mm maksimum yer değiştirme değerine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analiziyle de kabartma yüksekliğinin artmasıyla cıvatanın daha fazla nüfuziyet gösterdiği, deformasyon bölgesinin genişlediği ve kaynak dayanımının arttığı görülmüştür. Çalışmanın sonraki aşamasında kaynak kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının optimum parametre değerleri çalışılmıştır. Optimum kaynak parametrelerini elde etmek amacıyla deneysel analizler için kaynak süresi sabit tutulmuştur, 3 farklı kaynak akımı ve 3 farklı kaynak kuvveti değerleri incelenmiştir. Deneysel kaynak analizi için Taguchi L9 yöntemi kullanılmıştır. Tablo 5’te kaynak kontrol faktörleri ve seviyeleri verilmiştir.

Bu yöntem sayesinde, kaynak kalitesini etkileyen temel faktörlerin ve bunların etkileşimlerinin analizi yapılmış, yüksek mukavemet ve minimum deformasyon için en uygun parametre kombinasyonu tespit edilmiştir.

Tablo 5. Kaynak kontrol faktörleri ve seviyeleri

Kaynak Faktörleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kaynak akımı (kA)	23	25	27
Kaynak baskı kuvveti (daN)	450	550	650

2.3. Projeksiyon kaynak parametre optimizasyonu

Çalışmada 3 meme kaynak cıvatası kabartma yüksekliği analiz edilerek kopma testine göre yüksek kaynak mukavemetini sağlayan kaynak cıvata geometrisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yeterli kaynak mukavemetini sağlayan 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının kaynak parametre değerleri incelenmiştir. Deneysel analizler için 3 farklı seviyedeki kaynak akımı ve kaynak baskı kuvvetleri tartışılmıştır. Bu analizler için Taguchi L9 ortogonal deneysel analiz yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi az sayıdaki deney sayısı ile farklı parametre değerleri

arasından en etkili parametrenin elde edilmesi için kullanılan bir metottur [9]. Deneysel analizden elde edilen sonuçlar Sinyal/Gürültü (S/N) oranına göre prosesteki kaliteyi iyileştirmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde sinyal sistemin çıktısını temsil ederken gürültü ise kontrol edilemeyen değişkenliklerdir. S/N yönteminde 3 farklı değerlendirme kriteri kullanılmaktadır; “en küçük en iyidir”, “nominal en iyi” ve “en büyük en iyidir” [10]. Deneyler MFCD kaynak robotunda gerçekleştirilmiştir. Tablo 6’da Taguchi L9 deneysel analizi ve bu analizler sonucunda elde edilen kopma yükü test sonuçları verilmiştir.

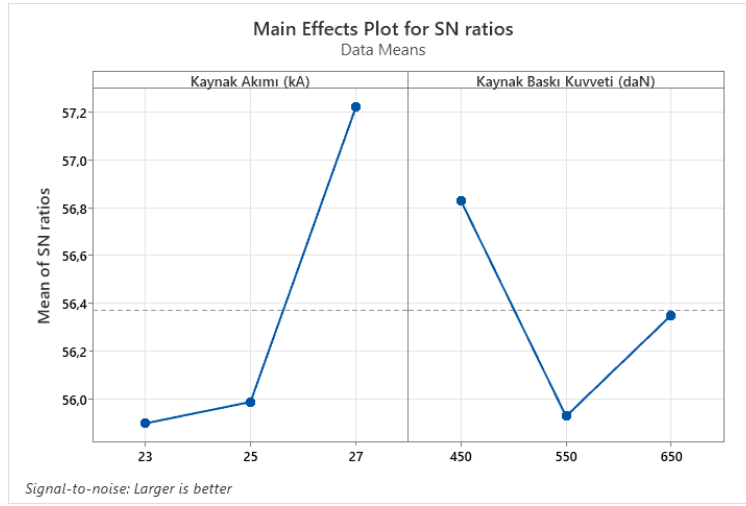
Tablo 6. Deney tasarımı ve kaynak kopma test sonuçları

No	Kaynak akımı (kA)	Kaynak baskı kuvveti (daN)	Kaynak kopma testi (kg)
1	23	450	682,5
2	23	550	637
3	23	650	558
4	25	450	708
5	25	550	592
6	25	650	597
7	27	450	692
8	27	550	650
9	27	650	851

Çalışmada sonuçların değerlendirilmesi amacıyla kopma yükleri en büyük en iyidir analizine göre incelenmiştir.

3. Deneysel Bulgular

Çalışmada 9 adet kaynak numunesine kaynak kalitesini değerlendirme amacıyla tahribatlı test yöntemi olan keski-çekiç testi uygulanmıştır. Bu proseste keski kaynak punto bağlantısına çekiç ile vurularak kaynaklı bağlantıların dayanımını analiz edilmektedir [11, 12, 13]. Yapılan deneysel analizler S/N “en büyük en iyidir” yöntemine göre değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 7’deki grafiklerle gösterilmiştir. **Tablo 7’**de 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak civatasının 2 mm kalınlığındaki DC03 sac malzemesine projeksiyon kaynak operasyonuna ait değişkenlerin etkisini ifade eden tablo verilmiştir.

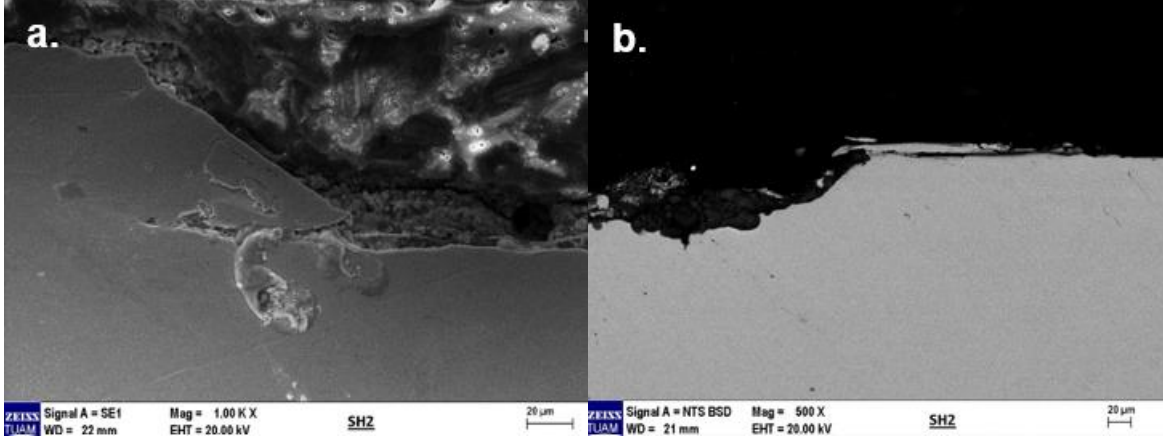


Şekil 8. Taguchi deney tasarımı S/N grafiği

Tablo 7. Değişkenlerin etkisi

	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Baskı Kuvveti (daN)
Delta	1,32	0.90
Rank	1	2

Çalışma kapsamında yapılan 9 farklı kaynak prosesine göre elde edilen parametrelerin kaynak prosesindeki etkisi Tablo 7'ye göre yorumlanmıştır. Tablo 7'de ifade edilen Delta değeri en büyük ve en küçük ortalama değerleri için hesaplanan farktır. Rank değeri ise kaynak prosesinde belirlenen parametreler için en etkili olanını temsil etmektedir [14, 15]. Bu çalışmada S/N grafiğine göre en yüksek kopma yükünü veren çalışılan değerler aralığında optimum parametrenin kaynak akımı için 27 kA olduğu, kaynak baskı kuvveti için ise bu değer 450 daN olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Kaynak parametre değişkenleri incelendiğinde kaynak akımı değerinin kopma kuvveti üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu çıkarım kaynak prosesi üzerine yapılan çalışmalarla da örtüşmektedir. Çalışmada sonuçlar ANOVA yöntemi ile değerlendirildiğinde kaynak akımı (kA) için p-value (güvenilirlik faktörü $<0,05$) 0,367'dir ve kaynak baskı kuvveti için ise 0,672 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar her iki parametrenin de kaynak proses parametrelerinin de kopma kuvveti üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Elde edilen R-sq değeri ise %46.58 olarak hesaplanmıştır. R-sq değeri modelin güvenilirliğini ve parametrelerin açıklayıcılığını temsil etmektedir [16, 17]. Çalışma sonucunda elde edilen bu değer çalışmadaki parametrelerin kopma kuvveti üzerinde yeterince açıklayıcı olmadığını ifade etmektedir. Bu durum, modelin daha kapsamlı bir açıklayıcılığa ulaşabilmesi için ek parametrelerin ve daha geniş bir veri kümesinin çalışmaya dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir. Farklı kaynak cıvata kabartı yüksekliklerinin değerlendirildiği çalışma sonucunda elde edilen numuneler SEM mikroskobu altında incelenmiştir. Şekil 8'de koparma testi yapılan kaynak numuneleri gösterilmiştir. Kaynak bölgesinin eliptik bir şekle sahip olduğu ve aynı zamanda nokta kaynağının alt kısmında bulunan çıkıntının formu net bir şekilde görülmektedir. Bu çıkıntıların 0.7 mm kabartı yüksekliğinde metal sac kısmı ile ergimiş çıkıntı arasında yırtılmaya sebep olduğu ancak 1 mm de tamamıyla hasara sebep olmadığı her iki numune grubu için söylenebilmektedir.



Şekil 8 a. 0.7 mm kabartı yüksekliğine sahip kaynak cıvatası 8 b. 1 mm kabartı yükseliğine sahip kaynak cıvatası ile üretilmiş projeksiyon kaynak noktaları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada projeksiyon kaynak prosesinde kaynak kabartma yüksekliğinin kaynak kopma yükü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kaynak mukavemeti daha iyi sonuçlar veren kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının farklı kaynak akımı ve kaynak kuvveti altındaki kopma yükü değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda;

0,7 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının ortalama kopma kuvveti 190 kg'ken, 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının ortalama kopma kuvveti 640 kg'dır. 1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının 0,7 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasından daha yüksek kopma kuvveti sağladığı görülmüştür.

1 mm kabartma yüksekliğine sahip kaynak cıvatasının optimum kaynak parametreleri araştırılmış, en etkili parametrelerin 450 daN kaynak baskı kuvveti ve 27 kA kaynak akımı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak, enerji verimliliğini sağlamak amacıyla kaynak akımı azaltılmış ve kaynak baskı kuvveti artırılmıştır. Üretim prosesi açısından, 23 kA kaynak akımı ve 550 daN kaynak baskı kuvvetinin yeterli kopma yükü sağladığı görülmüştür.

DeneySEL çalışma sonucunda elde edilen numunelerin SEM analizlerine göre ergimiş halde oluşan projeksiyon kaynak noktasının 0.7 mm de çatlara sahip olduğu ancak 1 mm'lik kabartı ile üretilen kaynaklarda çatlak bulunmadığı görülmektedir.

Kaynak akımı ve kaynak baskı kuvvetinin etkilerinin incelendiği çalışmada, Taguchi deney tasarımı Delta-Rank değerlerine göre, kaynak akımının kaynak mukavemeti üzerinde daha yüksek bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Kopma yükü sonuçları ANOVA yöntemine göre incelendiğinde; güvenilirlik yüzdesi %46,58 bulunmuştur. Bu değer deney parametrelerinin kaynak sırasında farklı etmenlerden etkilendiğini, deney sayısının artırılması gerektiğini göstermektedir.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında, parametrelerin ve deney sayılarının artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle, elde edilen kopma yüklerinin daha yüksek güvenilirlikle değerlendirilmesi için aynı parametrelerle en az üç tekrarlı deney yapılması önerilmektedir. Bu

yaklaşım, kaynak güvenilirliğinin artırılmasına ve sonuçların daha iyi bir şekilde doğrulanmasına katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada görev alan bursiyer, TÜBİTAK BİDEB (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı) tarafından (Proje No: 119C053) desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Chi P, Wang Z, Liao H, Li T, Wu X, Zhang Q. Towards new-generation of intelligent welding manufacturing: A systematic review on 3D vision measurement and path planning of humanoid welding robots. *Measurement* 2025;Volume 242, Part C.
- [2] Verma RP, Lila MK. A short review on aluminium alloys and welding in structural applications. *MaterialsToday:Proceedings* 2021;46(part 20):Pages 10687-10691.
- [3] Kim KY, Ahmed F. (2018), “Semantic weldability prediction with RSW quality dataset and knowledge construction”, *Advanced Engineering Informatics* 2018; Volume 38: 41-53.
- [4] Dell'Avvocato G, Palumbo D. Thermographic procedure for the assessment of Resistance Projection Welds (RPW): Investigating parameters and mechanical performances. *Journal of Advanced Joining Processes* 2024; Volume 9.
- [5] Xing L, Yu T, Zhang J, Xing X, Lu H. Optimization and Improvement of the Projection Welding of Nut Based on Regression Analysis. *ISIJ International* 2023; 63(4): 694-702.
- [6] Bousnina K, Hamza A, Yahia NB. Effect of vibration and welding parameters on spot weld resistance: modeling integrating PSO-ANN and GA algorithm. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design* 2024; 7: 1755-1767.
- [7] Dell'Avvocato G, Palumbo D, Pepe R, Galietti U. Non-destructive evaluation of resistance projection welded joints (RPW) by flash thermography. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*;Volume 1038, The 49th AIAS Conference (AIAS 2020) 2nd-5th September 2020, Genova, Italy.
- [8] Trzepieciński T, Szwajka K, Szewczyk M. Analysis of Coefficient of Friction of Deep-Drawing-Quality Steel Sheets Using Multi-Layer Neural Networks. *Lubricants* 2024. 12(2):50.
- [9] Lakache HE, Badji R, May A. Parametric Investigation of Similar TiAl6V4 and AA2024 Rotary Friction Weld Joints Using Taguchi-L9 Array Method. *Iranian Journal of Materials Science and Engineering* 2023; 20(3).

- [10] Mamedov A. Taguchi Yöntemleri Kullanılarak Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Araştırılması. Mühendis ve Makine 2021; 321-331.
- [11] Seto N, Tachibana K, Nakano K, Nagatani T, Kotaki H, Ogawa K. Dissimilar Laser Welding of Titanium and Steel Using Chrome Insert Metal”, ISIJ International 2024; 64(3): 587-596.
- [12] Oikawa H, Murayama G, Hiwatashi S, Matsuyama K. Resistance Spot Weldability of High Strength Steel Sheets for Automobiles and the Quality Assurance of Joints. Welding in the World 2007; 51.
- [13] Yazar M, Yıldız A, Mutlu E, Talaş Ş. Direnç Punta Kaynak Robotlarında FEE 340 ve DP600 Farklı İki Çelik Sacın Birleştirilmesinde Kaynak Akımı Değerinin Punta Kalitesine Etkisi”, 10th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 21-23 October 2022 (ISITES2022 Bursa - Turkey).
- [14] Ergül E, Kurt Hİ. Al Matrisli Kompozitlere ANFIS, ANN ve Taguchi Yaklaşımları Uygulanarak Özelliklerin Karşılaştırılması. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi 2021; 13(2): 406-416.
- [15] Kaya A, Aslan M, Yılmaz NF, Kurt Hİ. Al-Mg-SiC Kompozitlerin Görünür Yoğunluklarının Taguchi Analizi. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2020; 7(2): 773-780.
- [16] Şık A, Akay A, Bingöl T. Tozaltı Ark Kaynak (Saw) Yönteminde Kaynak Genişliğinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 2023; 31(1): 558-571.
- [17] Kejanlı H, Keskin MS, Tosun G. 304-430 Paslanmaz Çeliklerin Bakır Aratabaka Kullanılarak Difüzyon Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Kaynak Mukavemetinin Optimizasyonu. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2023; 14(1):95-102.