



Taguchi Tekniği Kullanılarak SAE 1021/ Dillidur 400 / Dillimax 500 Çeliklerinin Sürtünme Kaynağı için İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu

Arif UZUN^{1,*}, Özkan ESKİ¹, Ertuğrul ÇELİK²

¹Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KASTAMONU

²Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, TUNCELI

Öz

Bu çalışmanın amacı sürtünme kaynağı ile birleştirilen SAE 1021 karbonlu çelikler ile aşınma direnci yüksek Dillidur 400 ve yüksek dayanıma sahip Dillimax 500 çeliklerin mekanik özellikleri üzerine etki eden parametrelerin optimizasyonunu Taguchi analiz yöntemi ile sağlamaktır. Taguchi analizi, yığılma basıncı ve sürtünme devir hızı gibi kaynak parametreleri ile birleştirilen malzeme türlerini optimize etmek için istatistiksel deneysel tasarım olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla çelikler 1250, 1500 ve 1750 dev/dak sürtünme devirlerinde ve 4, 6 ve 8 MPa yığılma basınçlarında birleştirilmiştir. Bağlantının mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi ve mikro sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre malzeme çifti olarak Dillidur 400-Dillimax 500, sürtünme devri olarak 1500 dev/dak ve yığılma basıncının 6 MPa seçilebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlara göre maksimum çekme dayanımı 651 MPa ile Dillidur 400- Dillimax 500 çiftinde elde edilmiştir. Aynı malzeme çiftinde kaynak ara yüzeyi sertlik değeri 353 HV'dir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 07/01/2017

Düzeltilme: 06/03/2017

Kabul: 20/04/2017

Anahtar Kelimeler

Sürtünme kaynağı

Taguchi

Kaynak parametreleri

SAE 1021

Dillidur 400

Dillimax 500

Keywords

Friction welding

Taguchi

Welding parameters

SAE 1021

Dillidur 400

Dillimax 500

Optimization of Process Parameters for Friction Welding of SAE 1021/ Dillidur 400 / Dillimax 500 Steels Using Taguchi Technique

Abstract

The aim of this study is to optimize the welding parameters on the mechanical properties of SAE 1021 carbon steels and Dillidur 400 (high wear resistance) and Dillimax 500 (high strength) steels joined with friction welding with Taguchi analysis method. Taguchi analysis is used as a statistical experimental design to optimize material types joined with welding parameters such as pressure of upsetting and friction rotational speed. For this purpose, the steels were joined at 1250, 1500 and 1750 rpm and at upsetting pressures of 4, 6 and 8 MPa. Tensile tests and microhardness measurements were applied to determine the mechanical properties of the joint. According to the results of analyse, it was determined that Dillidur 400-Dillimax 500 could be selected as material pair. In addition, the friction speed and upsetting pressures can be selected 1500 rpm and 6 MPa respectively. Also, according to the experimental results, maximum tensile strength was obtained at the pair of Dillidur 400- Dillimax 500 with 651 MPa. In the same material pair, the welding interface hardness value was 353 HV.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1.1. Sürtünme Kaynağı (Friction Welding)

Metallerin birleştirilmesi, endüstrinin en önemli ihtiyaçlarından biridir [1]. Günümüz imalat sanayii kalite ve güvenlik standartları ile birlikte uygun maliyetli malzemelere ve prosedürlere ihtiyaç duymaktadır. Ne yazık ki bazı metal kaynakları imalat ve metalurjik açıdan birtakım dezavantajlara sahiptir [2]. Metalurjik

*İletişim yazarı, e-mail: auzun@kastamonu.edu.tr

uyumsuzluk, ergime noktasındaki farklılık, termal uyumsuzluk gibi nedenlerden dolayı geleneksel ergitmeli kaynaklar ile pek çok benzer olmayan metalin kombinasyonunu sağlamak mümkün olmayabilir [3]. Bu gibi durumlarda genellikle katı-hal birleştirme tekniklerine başvurulur. Sürtünme kaynağı, bu tür durumlarda sıklıkla tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir [3, 4].

Sürtünme kaynak yöntemi, birleştirilecek parçaların ara yüzeylerinde sürtünme yoluyla üretilen ve mekanik enerjiyi termal enerjiye dönüştürerek elde edilen ısı enerjisi kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemde, bileşenlerden en az birisi dairesel veya doğrusal titreşim hareketi gerçekleştirir ve basınç altında birbirlerine temas eder. Sürtünme işlemi, kaynak edilecek parçalar plastik deformasyon sıcaklığına erişene kadar devam eder. Plastikleşme sonrası malzemeler basınçlı kaynak sıcaklığına ulaşır ulaşmaz sürtünme durdurulur. Bu arada, aksel basınç artar ve yığıntı oluşur. Herhangi bir ek metal kullanmadan ısı işleme tabi tutulan bağlantı noktası, homojen bir form alır ve tüm yüzeyde ve çapta yüksek kaliteli kaynak dikişi elde edilir [5, 6]. Malzemeler için uygun kaynak parametreleri seçilerek birbirine uyumlu ve kaynak kalitesi yüksek bağlantılar elde edilebilir. Bağlantı kalitesini etkileyen ve sürekli kontrol altında olması gereken bu parametreler sürtünme devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığıntı basıncı ve yığıntı süresidir [5]. Literatürde kaynak parametrelerinin bağlantı kalitesi üzerine etkisini belirlemek için yapılmış birçok çalışmaya rastlanmaktadır [7 -10].

1.2. Taguchi Yöntemi (Taguchi Method)

Sürtünme kaynağı ile üretilen bağlantıların dayanım özellikleri üzerine kaynak parametrelerinin optimizasyonu oldukça önemlidir. Deney tasarımı ve istatistiksel teknikler işlem parametrelerini optimize etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Taguchi yöntemi, kaynak parametrelerini optimize etmek için kullanılabilir popülar optimizasyon tekniklerinden biridir. Taguchi yöntemi, maliyeti artırmadan yüksek kaliteye ulaşmak için işlem parametrelerinin optimizasyonunu sağlayan önemli bir adımdır. Taguchi yönteminden elde edilen optimum işlem parametreleri çevresel koşulların ve diğer gürültü faktörlerinin değişimine duyarlı değildir [11]. Genellikle, klasik süreç parametre tasarımı karmaşıktır ve çözülmesi kolay değildir. Bu durum esasen işlem parametrelerinin sayısı arttığı zaman çok sayıda deneyin yapılması gerektiğini belirtmektedir. Bu problemi çözmek için, dikdörtgen dizilerin özel bir tasarımı olan Taguchi yöntemi, tüm süreç parametre alanını az sayıda deneyle incelemek için kullanılabilir [12]. Proses parametrelerinin optimum kombinasyonu daha sonra tahmin edilebilir [13]. Taguchi yönteminde asgari deneyler yoluyla kalite özelliklerini incelemek için dikey dizinin özel bir tasarımı kullanılmaktadır. Daha sonra dikey dizine dayanan deneysel sonuçlar, performans özelliklerini bulmak için sinyal/gürültü (S/N) oranlarına dönüştürülür. Bu nedenle, Taguchi yöntemi varyasyonların ortalamalarına değil, kalite özelliklerine olan etkisine odaklanmaktadır [14].

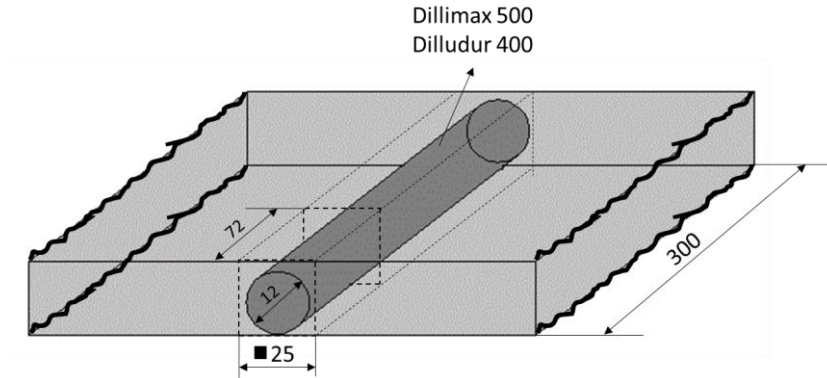
Bu çalışmada gün geçtikçe uygulama alanları giderek artan, sürtünme kaynağı ile birleştirilen SAE 1021 karbonlu çelikler ile aşınma direnci yüksek Dillidur 400 ve yüksek dayanıma sahip Dillimax 500 çeliklerin optimum çekme mukavemetlerine sahip olabilmeleri için gerekli olan kaynak parametrelerinin tespit edilmesi hedeflenmiş, bu amaçla kaynak parametrelerinin Taguchi yaklaşımı ile deney tasarımı oluşturulmuştur. En yüksek – en iyi deney yaklaşımı ile kaynak parametrelerinin çekme dayanımı üzerine etkileri belirlenmiştir. Bununla birlikte bağlantının mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi ve mikro sertlik testleri uygulanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

2.1. Malzemeler (Materials)

Deneysel çalışmalarda SAE 1021 karbonlu çelikler ile aşınma direnci yüksek olan Dillidur 400 ve yüksek dayanıma sahip Dillimax 500 çelikleri kullanılmıştır. SAE 1021 karbonlu çelikler Ø12×300 mm boyutlarında çubuk formunda ticari olarak elde edilirken Dillidur 400 ve Dillimax 500 çelikleri 25×300×300 mm boyutlarında levha şeklinde elde edilmiştir. Öncelikli olarak bu levhalar 25×25×300 mm boyutlarında plazma kesme makinesi ile kesilmiştir. Kare kesitli bu malzemeler 12 mm çapında silindirik forma getirilmek için torna tezgâhında işlenmiştir (Şekil 1). Malzemeler abrasif kesme makinesi ile 72 mm uzunluğunda kesilmiştir. Kesilen bu malzemelerin birleştirme yüzeylerindeki oksit, kir ve pas gibi atıkların

giderilmesi için 70 mm uzunluğa tornalama işlemi yapılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2’de çeliklere ait kimyasal kompozisyonlar ve mekanik özellikler verilmiştir.



Şekil 1. Dillidur 400 ve Dillimax 500 çeliklerinin sürtünme kaynağına hazırlık formlarının şematik gösterimi (Schematic illustration of preparation forms of Dillidur 400 and Dillimax 500 steels for friction welding)

Tablo 1. Çeliklere ait kimyasal kompozisyonlar (Chemical compositions of steels)

		Elementler										
		Fe	Mn	C	S	P	Si	Ni	Mo	Cr	V	Nb
Dillidur 400	Kalan	≤ 1.80	≤ 0.20	≤ 0.010	≤ 0.025	≤ 0.50	≤ 0.80	≤ 0.50	≤ 1.50	≤ 0.08	≤ 0.05	
Dillimax 500	Kalan	1 - 1.75	≤ 0.09	≤ 0.005	≤ 0.005	0.15 - 0.55	≤ 0.070	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.08	≤ 0.05	
SAE 1021	Kalan	0.6 - 0.9	0.18 - 0.23	≤ 0.05	≤ 0.04							

Tablo 2. Çeliklere ait mekanik özellikler (Mechanical properties of steels)

Mekanik özellikler			
Malzeme	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	% uzaman
Dillidur 400	1200	800	12
Dillimax 500	610	500	17
SAE 1021	480-540	260-450	17-28

2.2. Sürtünme Kaynağı (Friction Welding)

Kaynak işlemleri özel olarak tasarlanmış sürekli tahrikli kaynak cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz üzerindeki elektronik kontrol panelleri ile kaynak parametreleri rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Optimizasyon için kullanılan kaynak parametreleri ve seviyeleri Tablo 3’te belirtilmiştir.

Tablo 3. Optimizasyon için kullanılan kaynak parametreleri ve seviyeleri (Levels and welding parameters used for optimization)

Seviye		1	2	3
A	Malzeme	Dillidur 400-SAE1021	Dillidur 400-Dillimax 500	Dillimax 500-SAE1021
B	Yığıma Basıncı (MPa)	4	6	8
C	Sürtünme devri (dev/dak)	1250	1500	1750

2.3. Mikro sertlik Ölçümü (Microhardness Measurement)

Kaynak işlemi sonrası numuneler mikro sertlik ölçümleri için birleşme bölgesine dik doğrultuda ortadan kesilmiştir. Kesme işlemi süresince yapısal dönüşümlere neden olabilecek ısınmalara engel olabilmek için soğutma sıvısı kullanılmıştır. Daha sonra numunelerin yüzeyleri geleneksel metalografik işlemler ile hazırlanmıştır. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin mikro sertliği Shimadzu marka HMV-T1 model Vickers sertlik test cihazı ile ölçülmüştür. Tüm kaynaklı birleşimler mikro sertlik testine tabi tutulmuş ve sertlikler 10 s bekleme süresinde 0,5 kg yük ile ölçülmüştür.

2.4. Çekme Testi (Tensile Test)

Her bir numune için kaynak parametrelerinin bağ kuvveti üzerindeki etkisini belirlemek için çekme testleri yapılmıştır. Deneylerde Shimadzu marka universal test cihazı kullanılmıştır (Şekil 2a). Çekme hızı 1 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Test numunesi ASTM E8 standartlara göre hazırlanmıştır (Şekil 2b) [15].



Şekil 2. Çekme test cihazı (a) ve test numunesi (b) (Tensile testing device (a) and test sample (b))

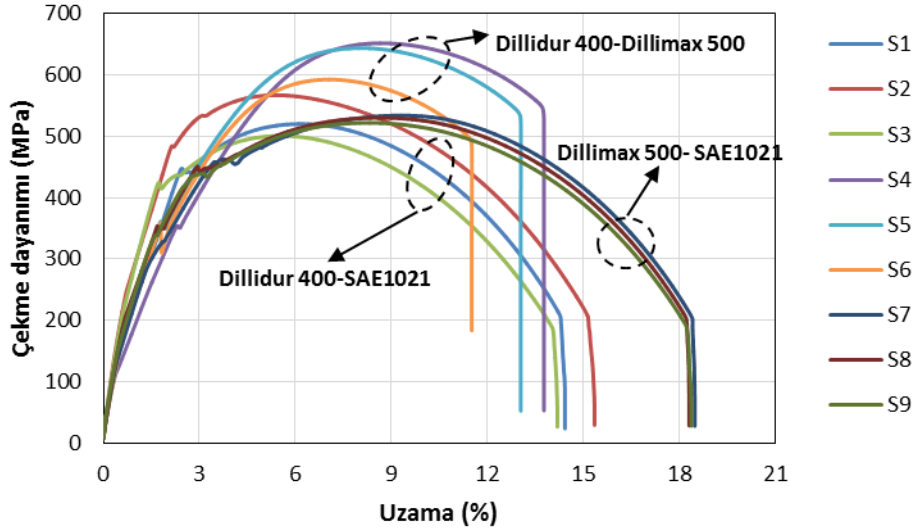
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Taguchi Yöntemi ile Çekme Dayanımı Analizi (Tensile Strength Analysis with Taguchi Method)

Taguchi yöntemi ile kaynak parametrelerinin etkisini belirlemek için Minitab 17 istatistik programı kullanılmıştır [17]. Yapılan 9 adet deneyden elde edilen çekme dayanımı sonuçlarının (Şekil 3) her biri Taguchi yöntemi ile S/N oranları bulunmuştur. Bu değerlerin küçük olanı kötü, nominal olanı iyi ve büyük olanı en iyi olarak değerlendirilir. S/N oranı amaçlanan değere bağlı olarak farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir [18]. Yapılan bu çalışmada S/N oranı aşağıdaki Eşitlik 1'den hesaplanmıştır.

$$S/N = -10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (1)$$

Burada y_i ; i . test için çekme dayanımı değeri, n ; test sayısı ve N ; veri noktalarının toplam sayısıdır. Tablo 4'te Taguchi'nin L9 ortogonal sıralama ile deney planı ve deney sonucu elde edilen çekme dayanımı değerleri ve hesaplanan S/N oranları gösterilmektedir. Tablo 5'te ise S/N oranları için cevap tablosu verilmiştir.



Şekil 3. Numunelere ait çekme dayanımı-uzama grafiği (Tensile strength-elongation graph of the samples)

Tablo 4. Taguchi'nin L9 ortogonal sıralama için deney planı ile çekme dayanımı ve S/N oranı (Experimental setup for Taguchi's L9 Orthogonal Array with tensile strength and S/N ratio)

Numune no	Malzeme	Yığılma Basıncı (MPa)	Sürtünme devri (dev/dak)	Çekme mukavemeti (MPa)	S/N oranı (dB)
S1	1	4	1250	520	54,32
S2	1	6	1500	566	55,05
S3	1	8	1750	500	53,97
S4	2	4	1500	651	56,27
S5	2	6	1750	643	56,16
S6	2	8	1250	592	55,44
S7	3	4	1750	533	54,53
S8	3	6	1250	530	54,48
S9	3	8	1500	521	54,33

Tablo 5. Sinyal/Gürültü oranları için cevap tablosu (En büyük en iyi)(Response Table for Signal to Noise Ratios (Larger is better))

Seviye	Malzeme	Yığılma Basıncı	Sürtünme devri
1	54,45	55,04	54,75
2	55,96	55,24	55,22
3	54,45	54,59	54,89
Delta	1,51	0,65	0,47
Sıralama	1	2	3

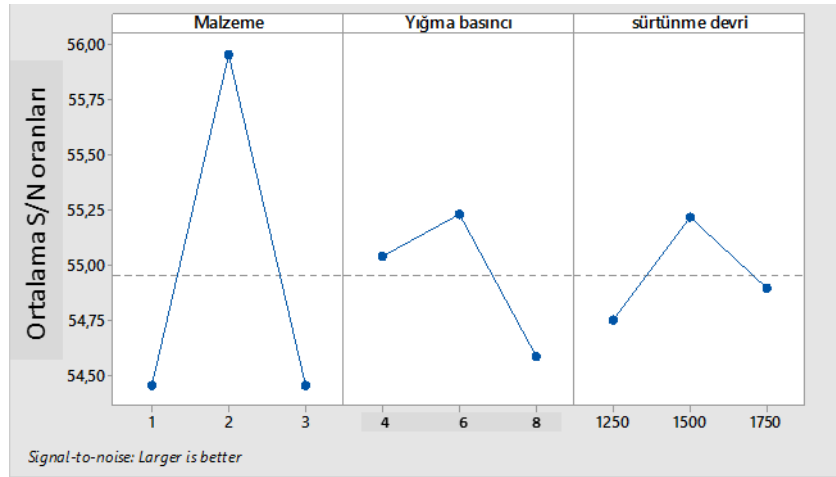
3.1.1 Varyans analizi (Analysis of variance)(ANOVA)

ANOVA işlem parametresini, gerilme mukavemetini ve analizde yer alan her bir faktörün önem derecesini ne derecede etkilediği konusunda net bir tablo ortaya koymaktadır. Tablo 6 çekme dayanımı ve S/N oranı için ANOVA tablosunu göstermektedir. Yüksek F- değeri (Fisher oranı), sürecin tepkisini etkilemek açısından son derece önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, malzeme türü son derece önemli bir faktördür ve kaynağın çekme dayanımını etkilemekte büyük rol oynamaktadır. Ayrıca etkinlik (katkı) yüzdelere bakıldığında %82 ile malzeme türünün en fazla değere sahip olduğu görülmektedir. ANOVA analizi sonrasında hata miktarının % 5'in altında olması yapılan optimizasyonun kabul edilebilir olduğunu göstermektedir [19].

Tablo 6. Varyans analizi (Analysis of variance-(ANOVA)) ($R-sq = 99.93\%$, $R-sq(adj) = 99.71\%$)

Kaynak	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalaması (MS)	F- Değeri (Fisher Oranı)	Etki oranı (%)
Malzeme	2	20134,2	10067,1	1146,89	82,00
Yığıma basıncı	2	2820,2	1410,1	160,65	11,49
Sürtünme devri	2	1579,6	789,8	89,97	6,44
Hata	2	17,6	8,8		0,07
Toplam	8	24551,6			

S/N oranının ana etkileri Şekil 4'te verilen grafiklerde gösterilmektedir. Malzeme çifti -Dillidur 400-Dilimax 500 (Seviye 2), sürtünme devri - 1500 dev/dak (Seviye 2) ve yığıma basıncı - 6 MPa (Seviye 2) en iyi deney sonuçlarını veren parametreler olarak görülmektedir.

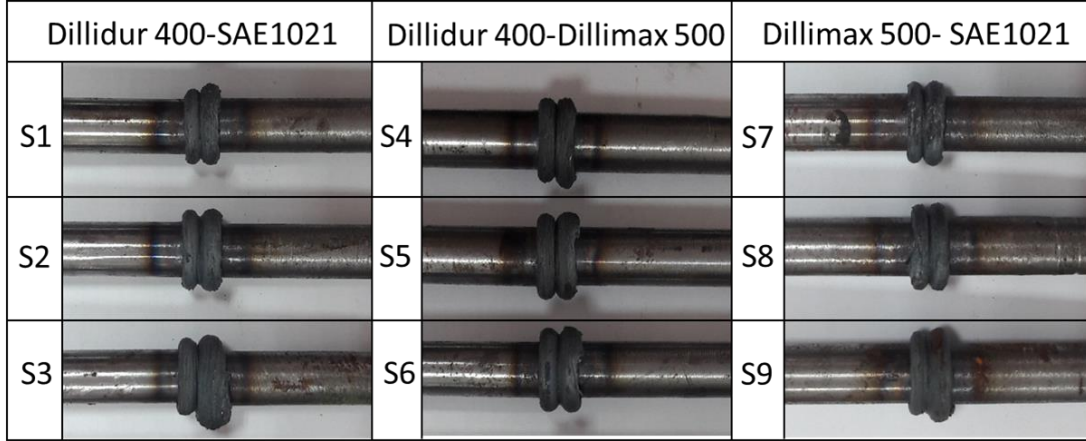


Şekil 4. S/N oranlarının ana etki grafiği (Main effect plot for S/N ratios)

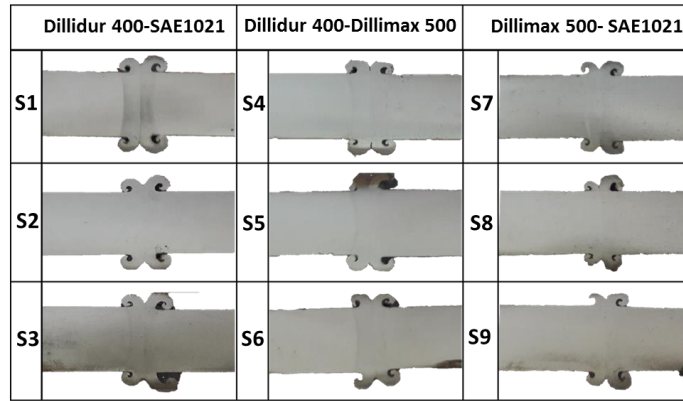
3.2. Makro Gözlemler (Macro Observations)

Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemelerde kaynak ara yüzeyinden dışarı doğru flanş şeklinde malzeme akışı meydana gelmektedir. Taşan bu kısım aynı zamanda malzemenin uzunluğunu kısaltmaktadır. Bilindiği gibi kaynaklı birleştirmelerde ısıdan etkilenen bölgeler, bağlantı kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bakımdan Şekil 5'te gösterilen makro fotoğraflarda malzeme türündeki ve kaynak parametrelerindeki değişimlerin neden olduğu termal şok altındaki alanlar açıkça görülmektedir. Bununla birlikte kaynak parametrelerine bağlı olarak flanşların büzülme durumları da görülmektedir. Özellikle Dillidur 400 ve Dillimax 500'e kıyasla SAE 1021 tarafında büzülmelerin fazla olduğu dikkat çekmektedir. Şekil 6'da verilen ara yüzey fotoğraflarında da flanşların büzülme şekilleri ve miktarları daha net görülmektedir. Deneysel çalışmalarda tercih edilen yığıma basıncı ve sürtünme süreleri ara yüzeylerde plastik deformasyon için gerekli olan ısıyı üretmiştir. Mercan ve ark., [16] fazla materyalin şekli ve

büyüklüğü üzerinde döngü sayısının, sürtünme süresinin, sürtünme basıncındaki değişikliğin önemli bir rolü olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada fazla materyalin şekli ve büyüklüğü üzerine tercih edilen kaynak parametreleri ile birlikte birleştirilen malzemelerin kimyasal kompozisyonunun da etkin olduğu anlaşılmaktadır.



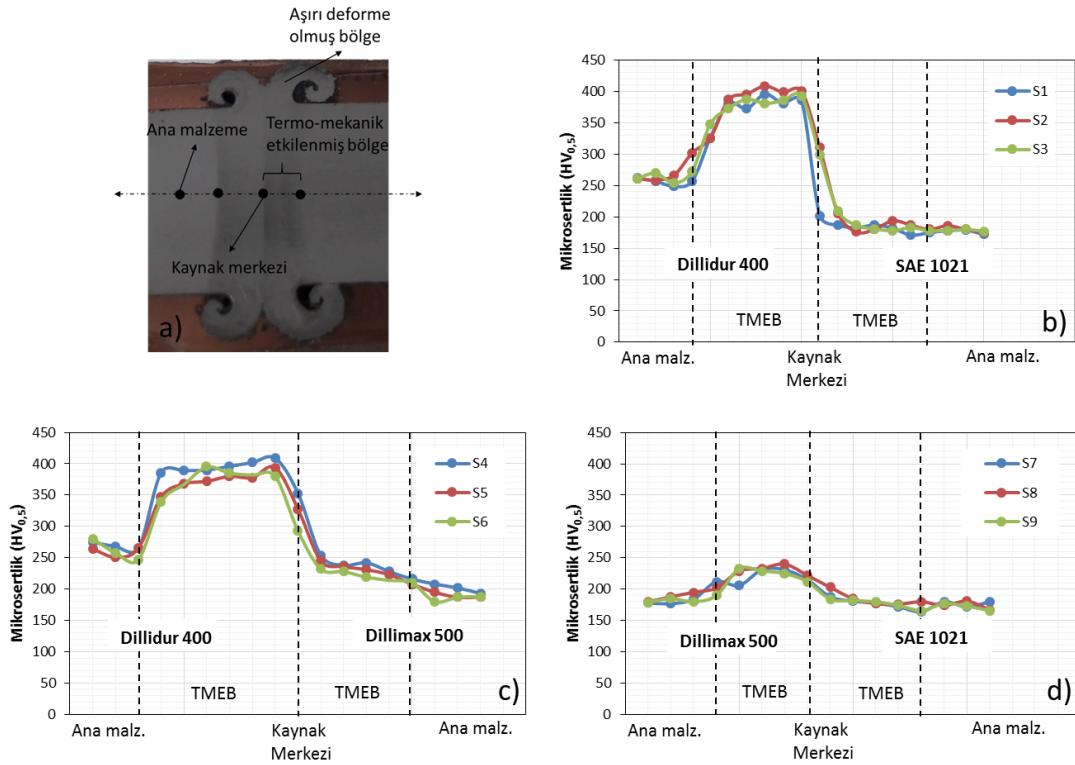
Şekil 5. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin makro görüntüsü (Macro image of samples joined with friction welding)



Şekil 6. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelerin ara kesit görüntüsü (Cross-sectional image of specimens joined with friction welding)

3.3. Mikro sertlik Değişimi (Microhardness Change)

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen numunelere ait sertlik değişimleri ve sertlik ölçüm bölgeleri Şekil 7’de gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde her üç grup için sertlik profilleri kendi içerisinde (S1-S3, S4-S6, S7-S9) birbirine benzemekle birlikte kaynak parametrelerindeki değişim termo-mekanik etkilenmiş bölgelerin genişliğinde de farklılık oluşturmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık ve deformasyon miktarı ile birlikte Dillidur 400 ve Dillimax 500 çeliklerinde kaynak bölgesine yakın kısımlarda önemli ölçüde sertlik artışı meydana gelmiştir (Şekil 7b-c). Bu bölgelerde aşırı deformasyona uğramış taneler sertlik artışına neden olmuştur [20]. SAE 1021 çeliğinde ise önemli ölçüde sertlik değişimine rastlanmamıştır. Kaynak ara yüzey merkezinde en yüksek sertlik 353 HV ile Dillidur 400 – Dillimax 500 çiftinde elde edilirken (Şekil 7c), en düşük sertlik 202 HV ile Dilimax 500 – SAE 1021 çiftinde elde edilmiştir (Şekil 7d).



Şekil 7. Numunelerin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı (Microhardness distribution in the welding area of the specimens)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, sürtünme kaynağı ile birleştirilen SAE 1021 karbonlu çelikler ile aşınma direnci yüksek Dillidur 400 ve yüksek dayanıma sahip Dillimax 500 çeliklerin mekanik özellikleri üzerine kaynak parametrelerinin optimizasyonu Taguchi analiz yöntemi ile sağlanmıştır. Çelikler 1250, 1500 ve 1750 dev/dak sürtünme devirlerinde ve 4, 6 ve 8 MPa yığıma basınçlarında birleştirilmiştir. Bağlantının mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi ve mikro sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Bu çalışmada kullanılan çelikler sürtünme kaynağı ile belirlenen kaynak parametrelerinde başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
- Malzeme türünün kaynak çekme dayanımı üzerinde en etkin parametre (% 82) olduğu tespit edilmiştir.
- Analiz sonuçlarına göre malzeme çifti -Dillidur 400-Dilimax 500 (Seviye 2), sürtünme devri - 1500 dev/dak (Seviye 2) ve yığıma basıncı - 6 MPa (Seviye 2) en iyi deney sonuçlarını veren parametreler olarak tespit edilmiştir.
- Deneysel sonuçlara göre maksimum çekme dayanımı 651 MPa ile Dillidur 400- Dillidmax 500 çelik çiftinde elde edilmiştir. Aynı malzeme çiftinde kaynak ara yüzeyi sertlik değeri 353 HV'dir.

Semboller (Symbols)

S/N	Sinyal/Gürültü
yi	i. test için çekme dayanımı
n	Test sayısı
N	Veri noktalarının toplam sayısı

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetimi Koordinatörlüğü tarafından KÜ-HIZDES/2015-12 kodlu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Handa, A. ve Chawla, V., “Experimental evaluation of mechanical properties of friction welded AISI steels”, *Cogent Engineering*, 1(1), 93699, 2014.
- [2] Arivazhagan, N., Singh, S., Prakash, S. ve Reddy, G. M., “An assessment of hardness, impact strength, and hot corrosion behaviour of friction-welded dissimilar weldments between AISI 4140 and AISI 304”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7-8), 679-689, 2008.
- [3] Meshram, S. D., Mohandas, T. ve Reddy, G. M., “Friction welding of dissimilar pure metals”, *Journal of Materials Processing Technology*, 184(1), 330-337, 2007.
- [4] Kırık, I. ve Ozdemir, N., “Weldability and joining characteristics of AISI 420/AISI 1020 steels using friction welding”, *International Journal of Materials Research*, 104(8), 769-775, 2013.
- [5] Mercan, S., Aydın, S. ve Özdemir, N., “Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205–AISI 1020 joined by friction welding”, *International Journal of Fatigue*, 81, 78-90 2015.
- [6] Yan, J. H., Zheng, X. L. ve Zhao, K., “Prediction of fatigue life and its probability distribution of notched friction welded joints under variable-amplitude loading”, *International Journal of Fatigue*, 22(6), 481-494, 2000.
- [7] Celik, S. ve Ersozlu, I., “Investigation of the mechanical properties and microstructure of friction welded joints between AISI 4140 and AISI 1050 steels”, *Materials & Design*, 30(4), 970-976, 2009.
- [8] Mumin Sahin, H., Akata, E. ve Gulmez, T., “Characterization of Mechanical Properties in AISI 1040 Parts Welded by Friction Welding”, *Materials Characterization*, 5, 1033-1038, 2007.
- [9] Satyanarayana, V. V., Reddy, G. M. ve Mohandas, T., “Dissimilar metal friction welding of austenitic–ferritic stainless steels”, *Journal of Materials Processing Technology*, 160(2), 128-137, 2005.
- [10] Paventhan, R., Lakshminarayanan, P. R. ve Balasubramanian, V., “Fatigue behaviour of friction welded medium carbon steel and austenitic stainless steel dissimilar joints”, *Materials & Design*, 32(4), 1888-1894, 2011.
- [11] Tarng, Y. S., Juang, S. C. ve Chang, C. H., “The use of grey-based Taguchi methods to determine submerged arc welding process parameters in hard facing”, *Journal of Materials Processing Technology*, 128(1), 1-6, 2002.
- [12] Montgomery D.C., “Design and analysis of experiments”, Wiley, Singapore, 1991.

- [13] Ross P.J., “Taguchi techniques for quality engineering”, McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.
- [14] Javadi, Y., Sadeghi, S. ve Najafabadi, M. A., “Taguchi optimization and ultrasonic measurement of residual stresses in the friction stir welding”, *Materials & Design*, 55, 27-34, 2014.
- [15] ASTM E8M-03, Standard test methods for tension testing of metallic materials, vol 01.02., 2003.
- [16] Mercan, S., Aydin, S. ve Özdemir, N., “Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205–AISI 1020 joined by friction welding”, *International Journal of Fatigue*, 81, 78-90, 2015.
- [17] Minitab 17. User Manual Making Data Analysis Easier. Minitab Inc. State College, USA, 2014.
- [18] Koilraj, M., Sundareswaran, V., Vijayan, S. ve Rao, S. K., “Friction stir welding of dissimilar aluminum alloys AA2219 to AA5083–Optimization of process parameters using Taguchi technique”, *Materials & Design*, 42, 1-7, 2012.
- [19] Campanelli, L. C., Suhuddin, U. F. H., Santos, J. F. D. ve Alcântara, N. G. D., “Parameters optimization for friction spot welding of AZ31 magnesium alloy by Taguchi method”. *Soldagem & Inspeção*, 17(1), 26-31, 2012.
- [20] Mercan, S. ve Özdemir, N., “AISI 2205/AISI 1020 Malzeme Çiftinin Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmesi”, *Technological Applied Sciences*, 8(2), 15-34, 2013.