



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen DP1200 Çeliğinin Kaynak Metali Sertlik Değeri Üzerinde Kaynak Parametrelerinin Etkisinin İstatistiksel Analizi

 Medine Nur TÜRKOĞLU ELİTAŞ^{a,*},  Muhammed ELİTAŞ^b

^a *Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE*

^b *Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: medine.elitas@bilecik.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.1090298

ÖZ

Bu çalışmada özellikle otomotiv endüstrisinde çift fazlı çelik sacların birleşiminde en sık kullanılan nokta direnç kaynak yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan işlemler 5 ve 7 kA kaynak akımlarında, 2-6 bar elektrot basınç değerlerinde oluşturulmuştur. Farklı kaynak parametrelerinin kaynak metali sertlik değeri üzerindeki etkileri çoklu doğrusal regresyon analizi ile incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu analiz sonucunda elde edilen korelasyon tablosu ve ANOVA analiz değerleri yorumlanmıştır. Kaynak akımı ve elektrot basıncının önem dereceleri belirlenerek, kaynak metali sertlik değeri üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve belirlenen etki değerlerine göre çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre sertlik değerine etki eden en önemli değişkenin kaynak akımı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Çift fazlı çelik, Nokta direnç kaynağı, Regresyon analizi, Sertlik.*

Statistical Analysis of the Effect of Welding Parameters on the Weld Metal Hardness Value of DP1200 Steel Combined with Resistance Spot Welding

ABSTRACT

In this study, resistance spot welding, which is the most frequently used method in the joining of dual-phase steel sheets in the automotive industry, was preferred. The processes were created at 5 and 7 kA welding currents, 2-6 bar electrode pressure values. The effects of different welding parameters on weld metal hardness value were investigated by multiple linear regression analysis. The correlation table and ANOVA analysis values obtained with this analysis were interpreted. The importance of the weld current and electrode pressure was determined, their effects on the weld metal hardness value were compared and a multiple linear regression model was created according to the determined effect values. According to the statistical analysis results, the most important variable affecting the hardness value was the welding current.

Keywords: *Dual phase steel, Resistance spot welding, Regression analysis, Hardness.*

I. GİRİŞ

Araç hafifletme çalışmaları, son yıllarda otomotiv endüstrisinde gelişme eğilimindedir. Araç ağırlığının hafif olması enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, güvenlik gereksinimi de artmaktadır [1], [2]. Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik, yüksek mukavemet, yüksek enerji emme oranı ve iyi çarpışma önleme performansı gibi kapsamlı avantajları nedeniyle araç imalat uygulamalarında umut verici hafif malzemelerden biri haline gelmektedir. Araç gövdesine geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik uygulandığında, araç gövdesi ağırlığında yaklaşık olarak %15–20 oranında azalma elde edilmektedir [3], [4]. Ultra hafif çelik gövde (ULSAB) planında, geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliğin kapsamlı kullanımı ile maliyeti artırmadan gövde mukavemeti iyileştirilmektedir. Örneğin, statik eğilme sertliği %52, statik burulma sertliği ise %80 artmakta ve özellikle ağırlık %25 azalmaktadır [5]. Araç gövdesinde geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik malzeme uygulaması ile nokta direnç kaynak bağlantısının kalitesi daha da ön plana çıkmaktadır [6].

Nokta direnç kaynağı (NDK), otomobil gövdesi montajının yaklaşık %90'ını içerdiğinden otomobil endüstrisi için büyük önem taşımaktadır. İyi kaynak kalitesi, yalnızca araç gövdesinin güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda araç montajının doğruluğunu da etkiler [7], [8]. Düşük maliyeti, kolay otomasyonu, minimum beceri gereksinimleri ve parça tolerans varyasyonlarına karşı sağlamlığı nedeniyle araç gövde yapımında yaygın olarak kullanılan önemli bir kaynak işlemidir [9]. NDK, sac metal birleştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

NDK işlemi sırasında yüksek soğuma hızı ve kimyasal bileşimin etkisi ile kaynak metalinde martenzit fazı oluşmakta ve bu doğrultuda numunenin sertliğinde artış görülmektedir. Sonuç olarak, kaynak metalinin sertliğinin ana metale göre 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir [11]. Sertlik, malzemenin diğer özellikleri hakkında da bilgi sağlaması yönünden çok önemlidir. Sertlikteki artış dayanımda artışa sebep olmaktadır. Ancak sertlik değeri artışı ile ters orantılı olarak kaynak metalinin çevresinde kırılğan bölge meydana geleceğinden süneklik gittikçe düşmektedir. Öneminden dolayı sertlik bu çalışmada ayrıca ele alınmıştır.

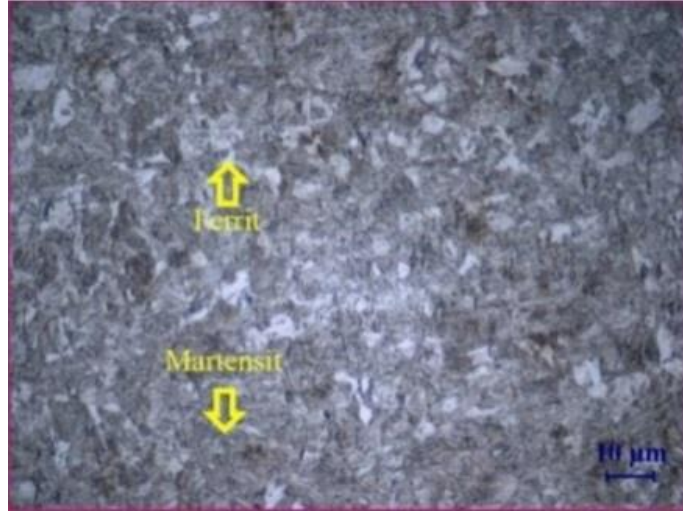
Bu çalışmada endüstride kullanımı yavaş yavaş artan DP1200 çeliği incelenmiştir. Farklı kaynak parametrelerinde NDK birleşimleri yapılmıştır. Literatürde kaynak parametrelerinin kaynak çekirdek çapı ve çekme makaslama dayanımı üzerinde etkileri ile ilgili istatistiksel analiz çalışmaları bulunmaktadır. Fakat kaynak metalinin sertliği üzerinde sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu sebeple çalışmada özellikle literatürde sınırlı sayıda çalışmanın bulunduğu NDK DP1200 çeliğinin sertlik değeri üzerinde kaynak parametrelerinin etkisinin istatistiksel analizi üzerine odaklanılmıştır. Yapılan istatistiksel analiz ile elde edilen tablolarda değerler analiz edilmiştir. Kaynak parametrelerinin önem düzeyleri belirlenmiş olup, kaynak metalinin sertlik değeri üzerindeki etki dereceleri incelenmiş ve saptanan değerlere göre çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

DP1200 çeliğinin kimyasal bileşimi spektral analiz uygulanarak belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Ayrıca düşük düzeyde ferrit ve ağırlıklı olarak ise martenzit fazlarından meydana gelen mikroyapısı Şekil 1'de görülmektedir.

Tablo 1. DP1200 çeliğinin kimyasal bileşimi [8]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Co	Cu	Ti	V	Fe
0,078	0,190	1,67	0,026	0,040	0,044	0,021	0,013	0,036	0,010	97,856



Şekil 1. DP1200 çeliğinin mikroyapısı [12]

NDK işlemleri, 60 kVA güce sahip BAYKAL SPP60 marka kaynak cihazında gerçekleştirilmiştir. NDK işleminde 8 mm uç çaplı bakır elektrotlar kullanılmıştır. Kaynak akımı 5 ve 7 kA değerlerinde hesaplanmıştır. Elektrot basıncı 2 ile 6 bar aralığında 1 bar mesafe olacak şekilde yükseltilmiştir. 0,02 s: 1 çevrim olarak alınmıştır.

Tablo 2. NDK kaynak değişkenleri

Kaynak akımı (kA)	Elektrot basıncı (bar)	Kaynak zamanı (çevrim)
5	2	20
	3	
	4	
	5	
	6	
	2	
7	3	
	4	
	5	
	6	

Mikrosertlik deneyleri Qness Q10A+ marka Vickers mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı malzemelerin kaynak metali sertlik değerlerini belirlemek için 10 s'lik periyotlarda 4.906 N'luk bir kuvvet uygulanarak deneyler yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümü Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Mikrosertlik ölçümü şematik gösterimi

Kaynak parametrelerinin kaynak metali sertlik değeri üzerine etkisi çoklu doğrusal regresyon istatistiksel analizi ile araştırılmıştır. ANOVA ve istatistiksel analiz programlarından IBM SPSS STATISTICS 22.0 çoğunlukla literatürde kullanılan uygulamalardır. Bu yüzden çalışmamızda kullanılmıştır [12]–[15]. Yapılan analizler ile elde edilen tablolardaki sayısal veriler karşılaştırılmıştır. Parametreler önem düzeylerine göre yorumlanarak bağımlı değişken (kaynak metali sertliği) ile olan

doğrusal ilişkiye bakılmıştır. Bu doğrultuda bir çoklu doğrusal regresyon modeli formülasyonu oluşturularak sayısal değerlerle ilişki düzeyleri saptanmıştır.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZ SONUÇLARI

Çalışmada sertlik değerlerini etkileyen iki önemli değişken (elektrot basıncı ve kaynak akımı) saptanmıştır. Elektrot basıncı ile kaynak akımının sertliğe olan etkileri çoklu doğrusal regresyon analizi ile belirlenmiştir. Hipotezler kurularak geçerli olup olmadığına bakılmıştır. Sonuçlar Tablo 3-6'da gösterilmiştir.

Tablo 3'te bulunan R değeri 0,976'dır. Değerin yüksek olması kurulacak olan modelin geçerlilik seviyesinin fazla olması demektir. Yani çıktılar sağlıklı ve uyumludur. Anlamlılık düzeyi yüksektir.

Tablo 3. Model özeti

Model	R	R ²	Düzeltilmiş R ²	Tahminin Standart Hatası	Durbin Watson (DW)
1	0,976 ^a	0,953	0,942	45,576	0,200

Tablo 4. ANOVA

Model	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Regresyon	377270,588	2	188635,294	90,813	0,000 ^b
Artıklar	18694,750	9	2077,194	-	-

Tablo 5. Korelasyonlar

	Sertlik	Akım	Basınç
Pearson Korelasyon	1,000	0,972	0,867
	Akım	0,972	1,000
	Basınç	0,867	0,842
			1,000

Tablo 6. Bağımsız değişkenler ve katsayıları

Model	B	Standart Hata	Standart Katsayılar (B)	t	Önem Derecesi	
1	Sabit Değer (Sertlik)	-57,951	21,334	-	-2,716	0,024
	Akım	86,620	13,965	0,832	6,203	0,000
	Basınç	46,808	37,747	0,166	1,240	0,246

Bağımsız olarak hesaplanan değişkenlerin, bağımlı değişkeni tahmin ettiği düşünülen formülasyonda aşağıdaki hipotezler kurulmuştur:

H₀=Model anlamsızdır.

H_s=Model anlamlıdır.

ANOVA tablosu analizi Tablo 4'te görülmektedir. F değeri 90,813 ve (p) önem düzeyi 0,000 olarak saptanmıştır. Elde edilen (p) değeri 0,05'ten daha düşük olduğu için formülasyonun açıklayıcı bir

düzeyle sahip olması istatistiksel olarak önemlidir ve bu yüzden H_0 hipotezi reddedilir. Kurulan modelin anlamlı olduğu görülmektedir ($p=0,000<0,05$).

Pearson korelasyon tablosuna bakıldığında (Tablo 5) sertlik ile akım arasında 0,972'lik doğrusal bir ilişki bulunurken; sertlik ile basınç arasında 0,867'lik bir ilişki bulunmuştur. Akım ile basınç değişkenleri arasında ise 0,842'lik doğrusal ilişki olduğu hesaplanmıştır. Buna göre sertlik ile akım arasındaki doğrusal ilişkinin basınç ile sertlik arasındaki ilişkiye göre %11 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde B değerine göre sertlik değerine etki eden en önemli parametre kaynak akımı olmuştur. Feujofack Kemda vd. [16] çalışmalarında ASTM A36 ve ASTM A653 çeliklerinin NDK işlemini araştırmışlardır ve kaynak akımının kaynak metali sertlik değerini etkileyen en önemli değişken olduğunu belirtmişlerdir. “t” değerleri ise, modeldeki değişkenlerin %5 anlamlılık düzeyinde olduğunu işaret etmektedir.

Sertlik bağımlı değişkendir. Bu değişken ile kaynak akımı arasında (86,620) oranında bir ilişki bulunurken, sertlik ile elektrot basıncı arasında (46,808) oranında daha düşük seviyede bir ilişki bulunmuştur. Standart hatalara bakıldığında kaynak akımı için 13,965 iken, elektrot basıncı için 37,747' lik daha yüksek bir değer olarak ortaya çıkmıştır. Akımın sertlik değerini etkileme oranının standart hatalar da eklendiğinde basınca göre daha üst düzeyde olduğu belirlenmiştir. Kaynak akımının daha güçlü bir bağımsız değişken olduğu görülmüştür. Önem düzeylerine bakıldığında sertlik 0,024 iken; kaynak akımı 0,000 ve elektrot basıncı 0,246 olarak bulunmuştur. Bu iki değerden birincisi (kaynak akımı), bağımlı değişkenin önem seviyesine daha yakın olduğu görülmüştür. Yani modelin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmayı literatürle paralel olarak destekleyen bir çıktıdır. Elde edilen analizler ve karşılaştırılan değerler sonucunda sertlik (S), elektrot basıncı (EB) ve kaynak akımı (KA), arasında kurulan model ise şu şekildedir (Eşitlik 1):

$$S = -57951 + (86,620 \times KA) + (46,808 \times EB) \quad (1)$$

IV. SONUÇ

Çalışmada aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir:

1. DP1200 çeliğinin az miktarda ferrit ve yoğunluklu olarak martenzit fazlarından meydana geldiği belirlenmiştir.
2. Kaynak metali sertlik değerini etkileyen en önemli parametrenin kaynak akımı olduğu ortaya çıkmıştır.
3. Kaynak metali sertlik değerine etki eden elektrot basıncı ve kaynak akımı arasında formülasyon hesabı ile çoklu doğrusal regresyon modeli kurulmuştur.
4. Sertlik ile kaynak akımı arasındaki doğrusal ilişkinin basınç ile sertlik arasındaki ilişkiye göre %11 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
5. Gelecek çalışmalarda farklı kaynak parametrelerine (kaynak zamanı vb.) çeşitli istatistiksel analiz yöntemleri uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

V. KAYNAKLAR

[1] A. N. Bhagat, A. Singh, N. Gope, and T. Venugopalan, “Development of cold-rolled high-strength formable steel for automotive applications,” *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 1-3, pp. 202-205, 2010.

- [2] H. Yang, X. Lai, Y. Zhang, and G. Chen, "Investigations on the weldability of high-strength steels sheet to cylindrical tube single-sided spot welding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 49, no. 5-8, pp. 513-518, 2010.
- [3] Y. L. Kang, "Lightweight vehicle, advanced high strength steel and energy-saving and emission reduction," *Iron Steel*, vol. 43, no. 6, pp. 1, 2008.
- [4] D. K. Matlock and J. G. Speer, "Processing opportunities for new advanced high-strength sheet steels," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 1-3, pp. 7-13, 2010.
- [5] G. Meschut, M. Matzke, R. Hoerhold, and T. Olfermann, "Hybrid technologies for joining ultra-high-strength boron steels with aluminum alloys for lightweight car body structures," *Procedia Cirp*, vol. 23, pp. 19-23, 2014.
- [6] Y. Li, H. W. Liu, Y. DU, and P. Zhang, "Applications and developments of AHSS in automobile industry," *Mater. Rev. A*, vol. 25, no. 7, pp. 101-104, 2011.
- [7] X. Luo, J. Ren, D. Li, Y. Qin, and P. Xu, "Macro characteristics of dissimilar high strength steel resistance spot welding joint," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 87, no. 1-4, pp. 1105-1113, 2016.
- [8] M. Elitas, "Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel," *Materials Testing*, vol. 63, no. 2, pp. 124-130, 2021.
- [9] R. Qiu, H. Shi, H. Yu, K. Zhang, Y. Tu, and S. Satonaka, "Effects of electrode force on the characteristic of magnesium alloy joint welded by resistance spot welding with cover plates," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 11, pp. 1304-1308, 2010.
- [10] M. H. Bina, M. Jamali, M. Shamanian, and H. Sabet, "Investigation on the resistance spot-welded austenitic/ferritic stainless steel," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 75, no. 9-12, pp. 1371-1379, 2014.
- [11] C. Ma, D. L. Chen, S. D. Bhole, G. Boudreau, A. Lee, and E. Biro, "Microstructure and fracture characteristics of spot-welded DP600 steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 485, no. 1-2, pp. 334-346, 2008.
- [12] M. Elitaş, "Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen DP1200 çeliğinin dayanımı üzerinde kaynak parametrelerinin etkisinin istatistiksel analizi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 242-251, 2021.
- [13] T. Ersöz, M. T. Elitaş, ve F. Ersöz, "Oecd ülkelerinde biyokütle enerji üretiminin çok boyutlu ölçkleme analizi ile incelenmesi," *TÜBAV Bilim Dergisi*, c. 8, s. 3, ss. 1-11, 2015.
- [14] İ. Çiftçi, ve H. Gökçe, "Molibden alaşımlarının işlenmesinde kesici takım ve kesme parametrelerinin taguchi metodu ile optimizasyonu," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 34, s. 1, ss. 201-214, 2019.
- [15] H. Gökçe, "Modelling and optimization for thrust force, temperature and burr height in drilling of custom 450," *Experimental Techniques*, vol. 46, pp. 707-721, 2021.
- [16] B. V. Feujofack Kemda, N. Barka, M. Jahazi, and D. Osmani, "Optimization of resistance spot welding process applied to A36 mild steel and hot dipped galvanized steel based on hardness and nugget geometry," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, no. 5, pp. 2477-2491, 2020.