

Araştırma Makalesi - Research Article

Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilen 316L Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi

Investigation of Weldability of 316L Austenitic Stainless Steel Produced by Powder Metallurgy Method

Muhammed Elitaş^{1*}, Mehmet Akif Erden²

Geliş / Received: 25/06/2022

Revize / Revised: 01/09/2022

Kabul / Accepted: 08/09/2022

ÖZ

Bu çalışmada 600 MPa ve 700 MPa presleme basınçlarında toz metalürjisi yöntemi ile 316L östenitik paslanmaz çelikler üretilmiştir. Bu çeliklerin nokta direnç kaynak yöntemi uygulanarak kaynaklanabilirliği incelenmiştir. Kaynaklı numunenin mikroyapısı optik mikroskopta detaylı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca nokta direnç kaynak işlemi sonucunda oluşan esas metal, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak metali bölgelerinin sertlik değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, esas metal mikroyapısının ağırlıklı olarak östenit fazından oluştuğu görülmüştür. Nokta direnç kaynak işleminde meydana gelen yüksek ısı sebebiyle kaynak metalinin ağırlıklı olarak östenit matris içerisinde delta ferrit fazından oluştuğu gözlenmiştir. Esas metalden kaynak metaline doğru sertlik değerleri artış göstermiştir. Ayrıca 700 MPa presleme basıncında elde edilen numunenin farklı kaynak bölgelerinde ölçülen sertlik değerleri 600 MPa presleme basıncında elde edilen numuneye göre daha yüksek bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler- *Toz Metalürjisi, 316L, Nokta Direnç Kaynağı, Mikroyapı, Sertlik*

ABSTRACT

316L austenitic stainless steels were produced by powder metallurgy method at 600 MPa and 700 MPa pressing pressures in this study. The weldability of these steels was investigated by applying the resistance spot welding method. The microstructure of the welded sample was analyzed in detail with optical microscope. In addition, the hardness values of the base metal, heat-affected zone and weld metal regions formed as a result of resistance spot welding process were measured. Consequently, it was observed that the base metal microstructure was mainly composed of austenite phase. Due to the high heat occurring in resistance spot welding process, weld metal mainly consisted of delta ferrite phase in the austenite matrix. Hardness values increased from base metal to weld metal. Also, the hardness values measured in different welding regions of the sample obtained at 700 MPa pressing pressure were found to be higher than the sample obtained at 600 MPa pressing pressure.

Keywords- *Powder Metallurgy, 316L, Resistance Spot Welding, Microstructure, Hardness*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: muhammed.elitas@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5358-1783>)

Makine Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye

²İletişim: makiferden@karabuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-1081-4713>)

Biomedikal Mühendisliği, Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karabük, Türkiye

I. GİRİŞ

Toz metalurjisi (TM) genellikle otomotiv bileşenlerini imal etmek için kullanılır [1–3]. Örneğin, zamanlama dişlileri Fe esaslı bir toz alaşımından yapılır [4]. İmalat sürecinde toz bileşenlerin dövme alaşımlara birleştirilmesi kaçınılmazdır. Kaynak işlemi otomotiv endüstrisinde sıklıkla tercih edilen birleştirme işlemidir [5]. Genel olarak, otomotiv endüstrilerinde birleştirme için ultrasonik nokta kaynağı [6], geleneksel sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) [7,8], pinsiz SKNK [9], lazer nokta kaynağı [10] ve nokta direnç kaynağı (NDK) gibi çeşitli yaklaşımlar vardır [11]. NDK, bu birleşimlerin yapılması için en basit ve en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemidir. Bu yöntem, otomotiv endüstrisinde anahtar teknolojidir [12]. Otomobiller binlerce NDK içerdiğinden nokta kaynağının kalitesi önemli bir konudur [13]. Bileşenlerin elektriksel direnci, ısı oluşumuna neden olur ve iş parçalarını elektrot basıncı altında birleştirir ve levhaların yüzey durumuna ve elektrot kuvvetine bağlıdır [14,15]. İş parçaları arasındaki akım, zaman ve direncin ısı miktarını kontrol ettiği gösterilmiştir [16].

Çelikler demir karbon alaşımı olup mühendislik malzemeleri arasında önemli yere sahiptir [17,18]. Çeliklerin bir çeşidi olan paslanmaz çelikler endüstride mekanik özelliklerinin ve korozyon dayanımlarının iyi olması sebebiyle tercih edilmektedir. Birçok alanda tercih edilen östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklanabilirliği endüstrinin dikkatini çekmektedir. 316L östenitik paslanmaz çeliğin farklı kaynak yöntemleri ile birleşimi ve bu kaynaklı birleşimlerin mikroyapı-mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine literatürde yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Sabzi ve Dezfuli [19] 316L paslanmaz çeliğin gaz tungsten ark kaynak yöntemi sırasında elektromanyetik titreşimle mekanik özelliklerindeki ve kaynaklanabilirliğindeki gelişimi incelemiştir. Skowronska vd. [20] 316L çeliğin sürtünme kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğini değerlendirmiştir. Huysmans vd. [21] eklemeli imalat (Eİ) ile elde edilen 316L paslanmaz çeliğin gaz tungsten ark kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğini araştırmıştır. Sampath vd. [22] Eİ 316L paslanmaz çeliğin korozyif ortamlarda kaynaklanabilirliğini incelemiştir. Matilainen vd. [23] ise Eİ 316L paslanmaz çeliğin lazer kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğini değerlendirmiştir.

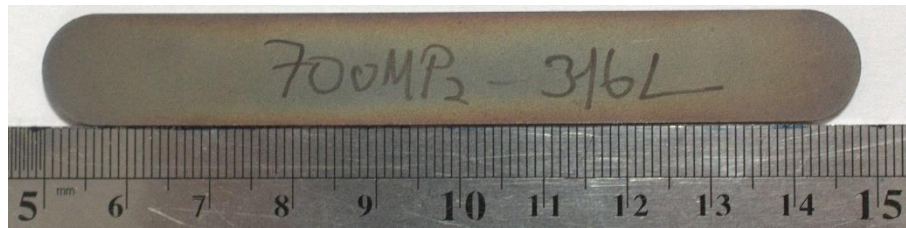
Bu çalışmada TM yöntemiyle farklı presleme basınçlarında üretilen 316L paslanmaz çeliklerin nokta direnç kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği incelenmiştir. Literatürde temin edilen hazır 316L çeliklerin farklı kaynak yöntemleri ile kaynaklanabilirliği araştırılmıştır. Fakat bu çalışmanın orijinalliyi hazır 316L yerine TM yöntemi ile üretilen 316L östenitik paslanmaz çeliğin NDK ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesidir. Bu bağlamda TM 316L çeliğin NDK birleşiminin mikroyapısı ve sertliğine etkisi detaylıca araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

316L östenitik paslanmaz çelik tozu Höganäs firmasından temin edilmiştir. Tozun özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Tozlar 32 mm çaplı silindirik kalıp vasıtasıyla 600 MPa ve 700 MPa olmak üzere 2 farklı presleme basıncında Hidroliksan marka hidrolik tek pistonlu pres ile tek yönlü olarak preslenerek blok haline getirilmiştir. Sinterleme işlemi ise Protherm PTF 16/75/610 marka fırında 1200 °C’de 1 saat argon atmosferinde gerçekleştirilmiştir. TM yöntemiyle 700 MPa presleme basıncında üretilen 316L paslanmaz çeliğin resmi Şekil 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Temin Edilen 316L Paslanmaz Çelik Tozunun Özellikleri

Toz Boyutu (µm)	Yoğunluk (g/cm ³)	% Saflık Değeri
<149	7,9	99,9



Şekil 1. TM Yöntemiyle 700mpa Presleme Basıncında Üretilen Numune Resmi

NDK işlemi Heron DN-80KVA'lık kaynak makinesinde ISO 5821 standartlarında 6 mm uç çaplı LUVATA marka A-TRODE bakır elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametreleri ve NDK birleşim bölgesi sırasıyla Tablo 2 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 2. NDK kaynak parametreleri

Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (ms)	Elektrot Kuvveti (daN)
6,5	180	2,1



Şekil 2. NDK Birleşim Bölgesi

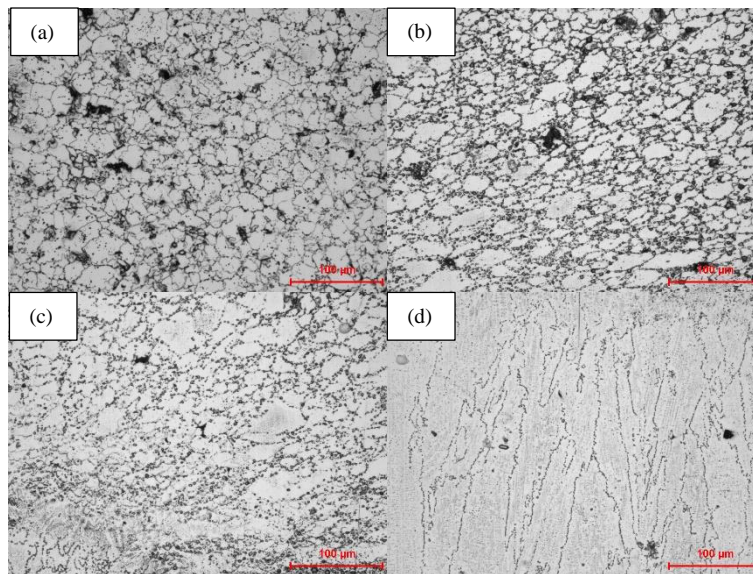
Birleşimin mikroyapısını incelemek için sırasıyla 120, 240, 360, 600, 800, 1000, 1200, 1500 ve 2000 meshlik SiC zımparalar vasıtasıyla zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeyi, 3 µm ve 1 µm elmas pasta solüsyonları ile parlatılarak dağlama işlemine geçilmiştir. Dağlama işlemi kral suyu (3 ml HCL+1 ml HNO₃) kullanılarak 2 saniye süreyle gerçekleştirilmiştir. Numune mikroyapısı Nikon Eclipse LV1500 marka optik mikroskop ile incelenmiştir.

Mikro sertlik deneyleri Vickers sertlik ölçüm cihazıyla esas metal (EM), ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak metali (KM) sırasıyla HV 0,5 yük 10 saniye süreyle uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlem 600 MPa ve 700 MPa presleme basınçlarında üretilen numuneler için ayrı ayrı uygulanmıştır.

III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. Mikroyapı

NDK işleminde oluşan yüksek ısı ve sonrasında hızlı soğuma neticesinde EM, ITAB ve KM bölgelerinde farklı mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 3'te sunulmuştur.

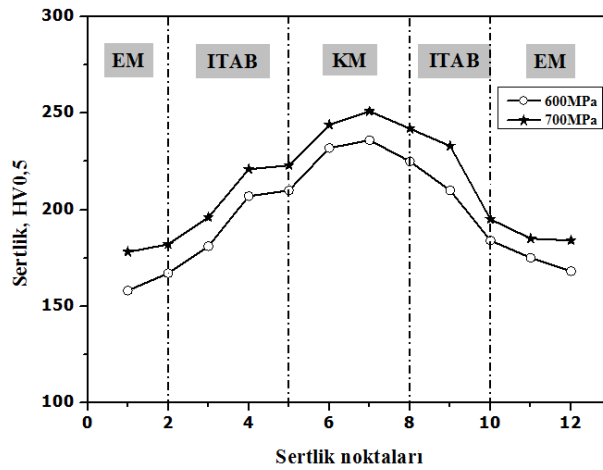


Şekil 3. NDK İşlemi Sonrası Oluşan Optik Mikroskop Görüntüleri a) EM b) EM-ITAB geçiş bölgesi c) ITAB d) KM

Şekil 3a'da EM mikroyapısının östenit faz yapısından oluştuğu görülmektedir. EM'den ITAB bölgesine doğru tane boyutu büyümüştür (Şekil 3b). ITAB bölgesi de östenit fazından oluşan mikroyapıya sahiptir (Şekil 3c). KM mikro yapısının diğer bölgelere göre farklı olduğu görülmektedir (Şekil 3d). Kaynak işlemi sırasında yüksek ısı girdisi meydana gelmektedir. Bu sebeple yapının ağırlıklı olarak delta ferrit fazından meydana geldiği gözlenmiştir. Literatürde 316L çeliğin KM mikro yapısının soğuma hızına bağlı östenit matrisin içinde çatlak, karıncalanma ve çıta tipi morfolojiye sahip delta ferrit fazlarından oluştuğu bildirilmiştir [24, 25]. Östenit fazı içerisinde bulunan delta ferrit fazı özellikle katılma çatlama olan direnci arttırmaktadır. Birleşimde mikro boşluk ve porozite gibi hatalar gözlenmemiştir. TM yöntemiyle üretilen 316L östenitik paslanmaz çeliğin NDK yöntemiyle uygun kaynak parametrelerinde başarılı bir şekilde birleştirilebileceği görülmüştür.

B. Mikrosertlik

600 MPa ve 700 MPa presleme basınçlarında TM yöntemiyle üretilen 316L östenitik paslanmaz çeliklerin EM, ITAB ve KM bölgelerinde eksenlere paralel doğrultuda ölçülen sertlik değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Numunelerin Sertlik Profili

Şekil 4 incelendiğinde presleme basıncının artması ile sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Presleme basıncı arttıkça üretilen parçanın yoğunluğu artmaktadır. Yoğunluk artışı ile parça içerisindeki gözenek miktarının azalması sertlik değerlerinin artmasına sebep olmaktadır [26]. Sertlik değerlerinin EM'den KM'e doğru arttığı görülmektedir. EM'den KM'e doğru NDK işleminde meydana gelen yüksek ısı girdisi sebebiyle sertlik değerlerinin artış gösterdiği literatürde belirtilmiştir [27–31]. KM'de EM'e göre sertlik değerinin artmasının önemli bir sebebi NDK işleminde meydana gelen hızlı soğuma ve katılma sonucunda oluşan KM'nin ince taneli mikroyapısıdır. Kwok vd. [32], Sathiy ve Jaleel [33] ince taneli KM'nin sertlik artışına sebep olduğunu bildirmişlerdir.

IV. SONUÇLAR

600 MPa ve 700 MPa presleme basınçlarında preslenip 1200 °C'de 1 saat argon atmosferinde sinterlenerek TM yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen numunelerin kaynaklanabilirliğinin incelendiği bu çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda bildirilmiştir;

1. TM yöntemiyle üretilen 316L östenitik paslanmaz çeliğin NDK yöntemiyle kaynaklanabilir olduğu görülmüştür.
2. EM'den KM'e doğru mikroyapısal değişimler meydana gelmiştir. EM'nin östenit fazından, ITAB bölgesinin EM'e göre tane boyutu nispeten daha büyük östenit fazından, KM'nin ise ağırlıklı olarak delta ferrit fazından oluştuğu gözlenmiştir.
3. Presleme basıncı arttıkça yoğunluğun artması ve gözenek miktarının azalması sebebiyle sertlik değerleri artmıştır.
4. NDK işleminde meydana gelen yüksek ısı girdisi ve hızlı soğuma sonucunda sertlik değerleri EM'den KM'e doğru artış göstermiştir.

5. KM'nin EM'e göre nispeten ince taneli mikroyapısı sertlikte artışa sebep olmuştur.

TEŞEKKÜR

Kaynak işleminin gerçekleştirilmesinde katkı sağlayan ALBAKSAN MAKİNE ve Ayhan YILMAZ'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Neystani, R., Beidokhti, B., & Amelzadeh, M. (2019). Fabrication of Dissimilar Fe-Cu-C Powder Metallurgy Compact/Steel Joint Using the Optimized Resistance Spot Welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 43, 200–206.
- [2] Ahssi, M.A.M., Erden, M.A., Acarer, M., & Çuğ, H. (2020). The Effect of Nickel on the Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Properties of Niobium–Vanadium Microalloyed Powder Metallurgy Steels. *Materials*, 13, 4021.
- [3] Erden, M.A., & Aydın, F. (2021). Wear and Mechanical Properties of Carburized AISI 8620 Steel Produced by Powder Metallurgy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28, 430–439.
- [4] Funatani, K. (2004). Heat Treatment of Automotive Components: Current Status and Future Trends. *Trans Indian Inst Met*, 57, 381–396.
- [5] Ramazan, E., & Esener, E. (2017). Gaz Altı Ark Kaynağı İşleminde Proses Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 30–35.
- [6] Wang, T., Shukla, S., Frank, M., & Mishra, R.S. (2019). Evolution of Bond Formation and Fracture Process of Ultrasonic Spot Welded Dissimilar Materials. *Science and Technology of Welding and Joining*, 24, 171–177.
- [7] Haghshenas, M., & Gerlich, A.P. (2018). Joining of Automotive Sheet Materials by Friction-Based Welding Methods: A Review. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21, 130–148.
- [8] Güney, B. (2022). *Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği. Güncel Multidisipliner Teknik Araştırmalar*. SRA, Klaipeda, 1-20.
- [9] Yazdi, S.R., Beidokhti, B., & Haddad-Sabzevar, M. (2019). Pinless Tool For FSSW of AA 6061-T6 Aluminium Alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 267, 44–51.
- [10] Kundu, J., Ray, T., Kundu, A., & Shome, M. (2019). Effect of the Laser Power on the Mechanical Performance of the Laser Spot Welds in Dual Phase Steels. *Journal of Materials Processing Technology* 267, 114–123.
- [11] Li, T., Yuan, X., Hu, Z., Wu, K., Wang, H., & Zhang, B. (2018). Dissimilar Resistance Spot Welding of DP 600/A5052/DP 600 Triple Sheets. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 19, 1673–1679.
- [12] Thakur, A.G., & Nandedkar, V.M. (2010). Application of Taguchi Method to Determine Resistance Spot Welding Conditions of Austenitic Stainless Steel AISI 304. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69, 680-683.
- [13] Jia, Q., Liu, L., Guo, W., Peng, Y., Zou, G., Tian, Z., & Zhou, Y. N. (2018). Microstructure and Tensile-Shear Properties of Resistance Spot-Welded Medium Mn Steel. *Metals*, 8, 48.
- [14] Vignesh, K., Elaya Perumal, A., & Velmurugan, P. (2017). Optimization of Resistance Spot Welding Process Parameters and Microstructural Examination for Dissimilar Welding of AISI 316L Austenitic Stainless Steel and 2205 Duplex Stainless Steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93, 455–465.
- [15] Güney, B., & Öz, A. (2020). *Kaynağın Katılma Mekanizması. Mühendislik ve Fen Bilimlerinde Yeni Gelişmeler*. SRA, Klaipeda, 85-124.
- [16] Eşme, U. (2009). Application of Taguchi Method for the Optimization of Resistance Spot Welding Process. *Arabian Journal for Science & Engineering*, 34, 519-528.
- [17] Güney, B. (2021). Microstructure Analysis of Welding Fume of Low And Medium Carbon Steels. *Revista de Metalurgia*, 57, 187.
- [18] Güney, B., Dilay, Y., Solomon, M.M., Gerengi, H., Özkan, A., & Yıldız, M. (2022). Corrosion Characteristics of Plasma Spray, Arc Spray, High Velocity Oxygen Fuel, and Diamond Jet Coated 30MnB5 Boron Alloyed Steel in 3.5 Wt.% NaCl Solution. *Corrosion Reviews*, 40, 51–63.
- [19] Sabzi, M., & Dezfali, S. M. (2018). Drastic Improvement in Mechanical Properties and Weldability of 316L Stainless Steel Weld Joints by Using Electromagnetic Vibration During GTAW Process. *Journal of Manufacturing Processes*, 33, 74–85.

- [20] Skowrońska, B., Chmielewski, T., Pachla, W., Kulczyk, M., Skiba, J., & Presz, W. (2019). Friction Weldability of UFG 316L Stainless Steel. *Archives of Metallurgy and Materials*, 64, 1051-1058.
- [21] Huysmans, S., Peeters, E., De Bruycker, E., & De Prins, K. (2021). Weldability Study of Additive Manufactured 316L Austenitic Stainless Steel Components—Welding of AM With Conventional 316L Components. *Welding in the World*, 65, 1415–1427.
- [22] Sampath, V.K., Silori, P., Paradkar, P., Niauzorau, S., Sharstniou, A., Hasib, A., Villalobos, S., & Azeredo, B. (2022). 3D Printing of Stainless Steel 316L and Its Weldability for Corrosive Environments. *Materials Science and Engineering: A*, 833, 142439.
- [23] Matilainen, V. P., Pekkarinen, J., & Salminen, A. (2016). Weldability of Additive Manufactured Stainless Steel. *Physics Procedia*, 83, 808–817.
- [24] Ventrella, V. A., Berretta, J. R., & De Rossi, W. (2010). Pulsed Nd: YAG Laser Seam Welding of AISI 316L Stainless Steel Thin Foils. *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 1838–1843.
- [25] Dadfar, M., Fathi, M. H., Karimzadeh, F., Dadfar, M. R., & Saatchi, A. (2007). Effect of TIG Welding on Corrosion Behavior Of 316L Stainless Steel. *Materials Letters*, 61, 2343–2346.
- [26] Erden, M. A. (2017) Presleme Basıncının Toz Metalürjisi ile Üretilen Alaşımız Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6, 257–264.
- [27] Pal, T. K., & Bhowmick, K. (2012). Resistance Spot Welding Characteristics and High Cycle Fatigue Behavior Of DP 780 Steel Sheet. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21, 280–285.
- [28] Ma, C., Chen, D. L., Bhole, S. D., Boudreau, G., Lee, A., & Biro, E. (2008). Microstructure and Fracture Characteristics of Spot-Welded DP600 Steel. *Materials Science and Engineering: A*, 485, 334–346.
- [29] Khan, M. I., Kuntz, M. L., Biro, E., & Zhou, Y. (2008). Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Advanced High Strength Steels. *Materials Transactions*, 49, 1629-1637.
- [30] Holovenko, O., Ienco, M. G., Pastore, E., Pinasco, M. R., Matteis, P., Scavino, G., & Firrao, D. (2013). Microstructural and Mechanical Characterization of Welded Joints on Innovative High-Strength Steels. *La Metallurgia Italiana*, 3, 3-12.
- [31] Gould, J. E., Khurana, S. P., & Li, T. (2006). Predictions of Microstructures When Welding Automotive Advanced High-Strength Steels. *Welding Journal*, 85, 111-116.
- [32] Kwok, C. T., Fong, S. L., Cheng, F. T., & Man, H. C. (2006). Pitting and Galvanic Corrosion Behavior of Laser-Welded Stainless Steels. *Journal of materials processing technology*, 176, 168–178.
- [33] Sathiya, P., & Jaleel, M. A. (2010). Measurement of the Bead Profile and Microstructural Characterization of a CO₂ Laser Welded AISI 904 L Super Austenitic Stainless Steel. *Optics & Laser Technology*, 42, 960–968.