MAG KAYNAĞI SONRASI FARKLI SOĞUTMA ORTAMLARININ SDG KAPLAMAYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mükerrem Nur ADANIR
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0003-1418-6398

Dr. Öğr. Üyesi Uğur ARABACI
Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
ORCID:0000-0003-4850-3275

Prof. Dr. Süleyman TEKELİ
Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0001-9826-6875

ÖZET
Bu çalışmada S355JR yapı çeliğinde metal aktif gaz (MAG) kaynağı sonrası farklı soğutma ortamlarının sıcak daldırma galvaniz (SDG) kaplama üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda numuneler TS-EN ISO 15614-1 standardına uygun olarak hazırlanmış ve MAG kaynağı sonrası 22 °C'deki su içerisinde 10 dakika (numune MSS) ve 150 °C'deki fırın (numune MSF) içerinde 20 dakika olmak üzere 2 farklı ortamda soğumaya bırakılmıştır. İşlem sonrası numunelere banyo sıcaklığı 450 °C'de 5 dakika süresince SDG işlemi uygulanmıştır. SDG sonrası numunelerin kaplama kalınlığı ölçümü ve kaynak dikişi üzerinde kaplama sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve numune MSS'nin sertliği ortalama 112.4 HV0.2 ve numune MSF'nin sertliği ortalama 102.6 HV0.2 olarak belirlenmiştir. Kaynak dikişi, ITAB ve ana malzeme olmak üzere üç farklı bölgeden gerçekleştirilen kaplama kalınlığı ölçümleri soğutma ortamının kaplama kalınlıkları üzerinde de etkili olduğunu göstermiştir. Numune MSS için bu değerler sırasıyla 223.8, 68.9 ve 73.4 µm ve numune MSF için 204.9, 65.8 ve 62 µm olarak belirlenmiştir. Ayrıca soğutma ortamının mikroyapı farklılıklarına neden olduğu, numune MSF'nin ana malzeme, geçiş ve ITAB bölgelerindeki kaplama kısmında bulunan delta (δ) tabakasının numune MSS'den daha az olduğu ve yine bu bölgelerde numune MSS'nin katmanlarının diziliminin bir düzen içerisinde olduğu görülmüştür. Ancak kaynak metali üzerindeki kaplamada bunun tam tersi olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tüm deneysel çalışmalar sonucunda numunelere uygulanan kaynaklı birleştirme sonrası soğuma ortamının, galvaniz kaplama özelliklerini etkilediği, özellikle kaplama kalınlıkları ile mikro yapılarda farklılıklar ortaya koyduğu tespit edilmiştir.
Anahtar kelimeler: Metal Aktif Gaz (MAG), S355JR, Sıcak Daldırma Galvaniz (SDG), Kaplama Kalınlığı, Sertlik

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT COOLING ENVIRONMENTS ON HDG COATING AFTER MAG WELDING

ABSTRACT
In this study, the effects of different cooling environments on hot-dip galvanizing (HDG) coatings after metal active gas (MAG) welding of S355JR structural steel were investigated. In this context, samples were prepared in accordance with the TS-EN ISO 15614-1 standard, and after MAG welding, they were cooled in two different environments: in water at 22 °C for 10 minutes (sample MSS) and in an oven at 150 °C for 20 minutes (sample MSF).

Following the process, the samples were subjected to the HDG process with a bath temperature of 450 °C for 5 minutes. Post-HDG, coating thickness measurements and hardness measurements on the weld seam were conducted, revealing that the hardness of sample MSS averaged 112.4 HV0.2, while the hardness of sample MSF averaged 102.6 HV0.2. Coating thickness measurements performed on three different regions, namely the weld seam, heat-affected zone (HAZ), and base material, indicated that the cooling environment significantly influenced coating thicknesses. For sample MSS, these values were determined to be 223.8, 68.9, and 73.4 µm respectively, while for sample MSF, the values were 204.9, 65.8, and 62 µm. Additionally, it was observed that the cooling environment induced microstructural differences, with the delta (δ) layer in the coating section of the base material, transition, and HAZ regions of sample MSF being less than that of sample MSS. Moreover, the layers of sample MSS exhibited an orderly arrangement in these regions, whereas the opposite was found for the weld metal coating. As a result of all experimental studies, it has been determined that the cooling environment after welded joining applied to the samples affects the galvanized coating properties and causes differences, especially in coating thicknesses and microstructures.
Keywords: Metal Active Gas (MAG), S355JR, Hot-dip Galvanized (HDG), Coating Thickness, Hardness

1. GİRİŞ

Günümüz sanayisinde, farklı malzemeleri birleştirmede yaygın kullanılan kaynak teknolojisi, sunduğu avantajlarla birçok sektörde kullanımını artırmaktadır. Tasarım esnekliği, otomatik üretimde kolaylık, ağırlık ve maliyet tasarrufu sağlar (TÜRK and DEMİRER 2021, Chiocca, Frendo et al. 2022). Civatalı bağlantılardan farklı olarak, flanş gerektirmediği için daha hafif yapılar oluşturur ve malzeme tasarrufu yapar. Kaynak işlemi, bileşenin yerinde montajını mümkün kılarak büyük yapıların taşınmasını kolaylaştırır (Benedetti, Fontanari et al. 2013).

Demir ve çelikler yaygın kullanılsa da atmosferle etkileşimleri sonucu korozyona uğrar ve bu da büyük ekonomik kayıplara neden olur (PEKTAŞ , Kania, Mendala et al. 2020). Bu kayıpları azaltmak için geliştirilen yöntemlerden biri, demir ve çeliğin çinko ile kaplandığı galvaniz işlemidir. Sıcak daldırma galvaniz kaplama (SDGK), korozyon direnci, metalik parlaklık, estetik görünüm, düşük maliyet ve uzun ömür sağladığı için tercih edilir ve araç, elektrikli cihazlar, dolap sacı gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılır (Kardeş 2020, Zhao and Song 2022).

Yapılan bu çalışmada S355JR yapı çeliğine metal aktif gaz (MAG) yöntemi ile kaynak işlemi uygulanmıştır. Ardından kaynaklı numuneler soğuma için fırın (MSF numunesi) ve su (MSS numunesi) ortamlarına alınarak soğumaya bırakılmıştır. Belirlenen sürelerin ardından soğuyan numuneler sıcak daldırma galvaniz (SDG) yöntemi ile galvaniz kaplanmıştır. Böylece MAG kaynağı sonrası farklı soğuma ortamlarının galvaniz kaplamaya etkisi incelenmiştir.

2. MALZEME VE METOT

2.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda ana malzeme olarak S355JR düşük karbonlu yapı çeliği kullanılmıştır. Kaynak işlemi öncesinde numuneler, TS-EN ISO 15614-1 standardında belirtilen ölçülere uygun şekilde kesilmiş ve kaynak ağızları açılarak çifter halinde gruplanmıştır. S355JR yapı çeliğinin kimyasal bileşimi ve kullanılan ölçü değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. SS355JR yapı çeliğinin tipik kimyasal bileşimi ve kullanılan ölçü değerleri (Kaya 2018, Kolhe, Teshome et al. 2020)

Alaşım elementi (%)	**C**	**Mn**	**Si**	**P**	**S**	**N**	**Cu**	**Ti**	**Fe**
S355JR	0.24	1.6	0.5	0.04	0.035	0.012	0.55	0.24	Kalan
Kaynak ağzı tipi	Küt kök yüzeyli tek taraftan V alın kaynağı								
Malzeme kalınlığı	5 mm								
Açı	60°								
Kök yüzeyi kalınlığı	2 mm								
Genişlik	100 mm								

Hazırlanan numuneleri kaynaklamak için MAG kaynağı tercih edilmiştir. Kaynak işlemi esnasında Ø 1.0 mm olan özel tel ER 70S-2 kullanılmıştır. İçerisinde eser miktarlarda C, Si, Mn, Zr, Ti ve Al elementlerini içermektedir. Ayrıca koruyucu gaz olarak CO_2 ve Ar karışımı olan M20 grubu aktif gaz kullanılmıştır.

2.2. Metot

Numunelerin birbirlerine kaynaklanması için Buğra MIG 550 SW kaynak makinesi kullanılarak kök ve dolgu paso olmak üzere iki pasolu MAG kaynak yöntemi uygulanmıştır. Soğuma ortamının galvaniz kaplamaya etkisinin net bir şekilde belirlenebilmesi amacıyla, tüm numunelerde aynı kaynak parametreleri kullanılmış ve bu parametrelerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Kaynak işleminin ardından, numuneler iki gruba ayrılmış; bir grup su ortamında, diğer grup ise fırın ortamında soğumaya bırakılmıştır. Tablo 2'de, bu ortamların sıcaklık değerleri ve numunelerin bekletilme süreleri verilmiştir.

Tablo 2. MAG kaynağı sonrası soğutma ortamlarının sıcaklıkları ve numune bekletilme süreleri

Ortamlar	**Sıcaklık (°C)**	**Süre**
Su	22	10
Fırın	150	20

İşlem sonrası su ortamında soğutulan numuneler (MSS) ve fırın ortamında soğutulan numuneler (MSF), sıcaklığı 450°C olan bir Zn havuzuna 5 dakika boyunca daldırılarak SDG yöntemi ile galvaniz kaplanmıştır. SDG kaplaması yapılan numunelere test ve incelemeler için gerekli karakterizasyon işlemleri uygulanmıştır. Böylece MSF ve MSS numuneleri sertlik testi, galvaniz kaplama kalınlığı ölçümü ve mikroyapı incelemesine alınmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Sertlik Ölçümü

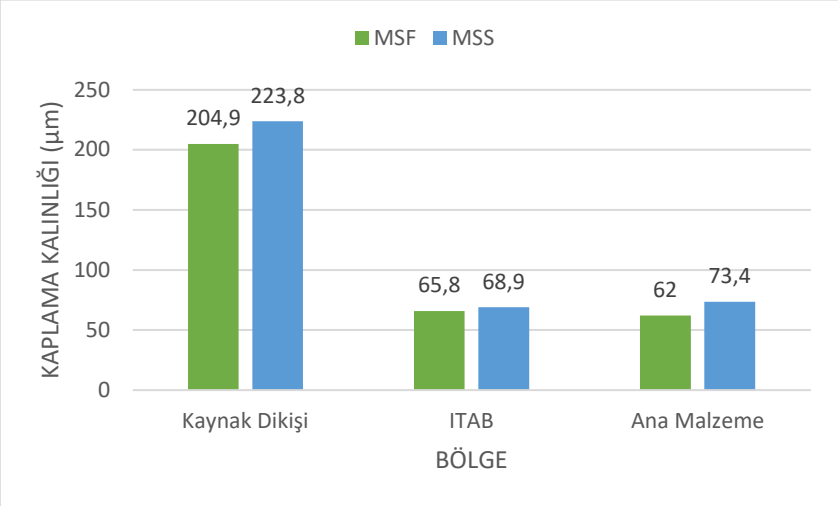
SDG kaplanmış MSS ve MSF numunelerinin kaynak dikişi üzerinden sertlik taraması yapılmıştır. Testler QNESS GmbH Q30 M serisi sertlik cihazı kullanılarak HV0.2 ile yapılmış, kaynak dikişi üzerinden belirli aralıklarla 5 farklı ölçüm alınmıştır. Elde edilen ölçümlerin ortalaması hesaplanarak bir değer belirlenmiştir. MSS numunesinin sertliği 112.4 HV0.2 ve MSF numunesinin 102.6 HV0.2 hesaplanmıştır. Ana malzemeden yapılan ölçümler sonucu S355JR çeliğinin kaplamasız halinin ortalama 161 HV0.2 değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Galvaniz kaplamanın sertlik değerlerini düşürdüğü özellikle en düşük değerin SDG kaplamada elde edildiği literatürde bilinmektedir ve yapılan testler sonucu elde edilen değerler bunu doğrulamaktadır. Bunun sebebi SDG kaplamanın sebep olduğu intermetalik fazlar içeren katmanlardır. Bunlar Eta (η), Zeta (ζ), Delta (δ) ve Gamma (Γ) ve bileşenleridir. Her katmanda Fe ve Zn içeriği farklı olmaktadır ve farklı intermetalik bileşikler gözükmektedir. Bu durum genel sertliği ana malzemeye göre düşürürken, kaplamanın kendisinde de katmanlar arası sertliğin farklı olmasına sebep olur.

3.2. Kaplama Kalınlığı Ölçümü

MSS ve MSF numuneleri üzerinde kaplama kalınlığı ölçüm cihazı ile ölçüm yapılmış ve optik mikroskop üzerinde de ölçüm gerçekleştirilerek değerler teyit edilmiştir. Ölçümler birbirlerini doğrulamıştır. Yapılan ölçümler sonucunda ortalama değerler elde edilmiş ve Tablo 3'de verilmiştir.

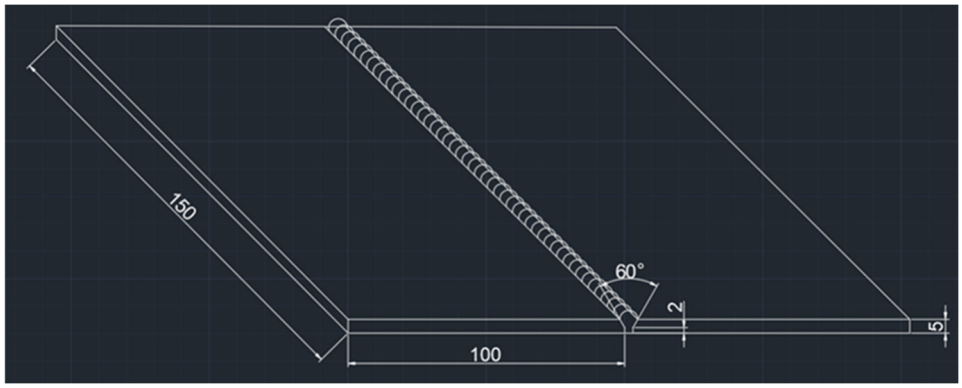
Ana malzeme ve ITAB bölgesi değerleri her iki numune içinde birbirine yakın olsa da kaynak dikişi üzerinde ciddi bir fark gözlemlenmiştir. Her üç bölgede de MSS numunesinin kaplama kalınlığı MSF numunesinden daha fazladır.



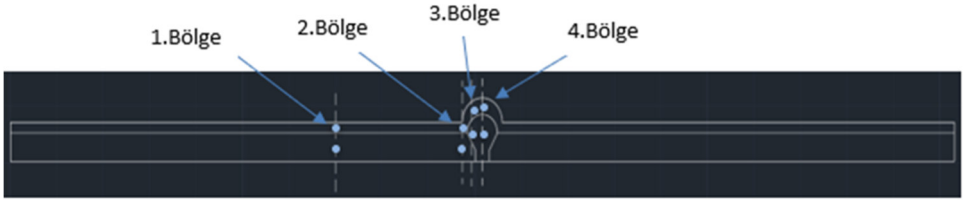
Şekil 1. MAG kaynağı sonrası su ve fırın ortamlarında soğutulup SDG kaplanmış S355JR çeliklerinin bölgelere göre kaplama kalınlıkları

3.3. Mikroyapı İncelemesi

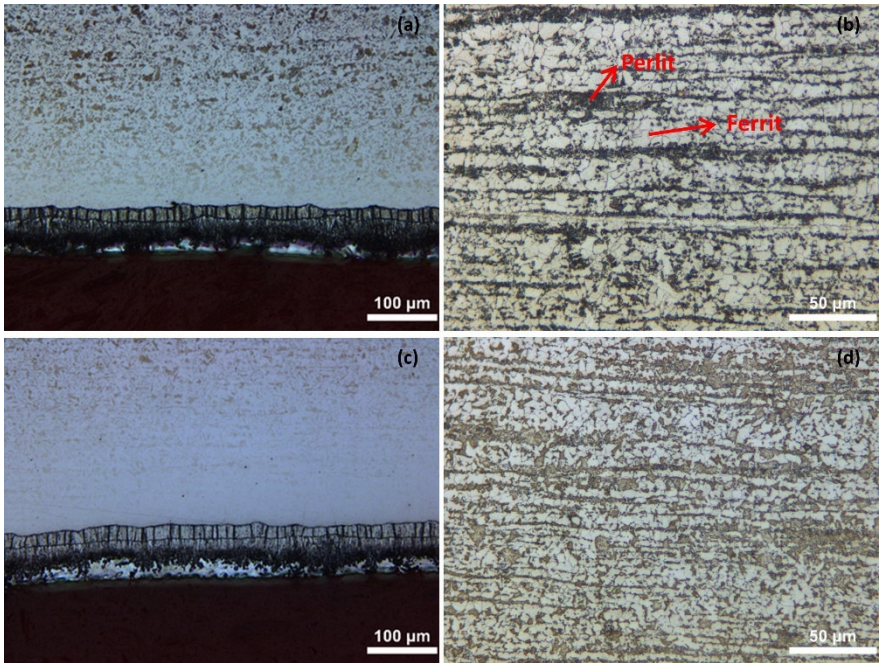
Görüntüler farklı ortamlarda soğutulan MSS ve MSF numuneleri için 4 ayrı bölgeden optik mikroskop kullanılarak alınmıştır. 1.Bölge ana malzemeyi, 2. Bölge aşırı tavlanmış iç yapı ile normalize yapının beraber gözlenebileceği iri taneliden ince taneli bölgeye geçişi, 3. ve 4. Bölgeler kaynak pasosu üzerinde iri taneli yapıların gözleneceği ITAB bölgeleridir.



Şekil 2. Kullanılan malzeme ve ölçülerin mm cinsinden şematiği

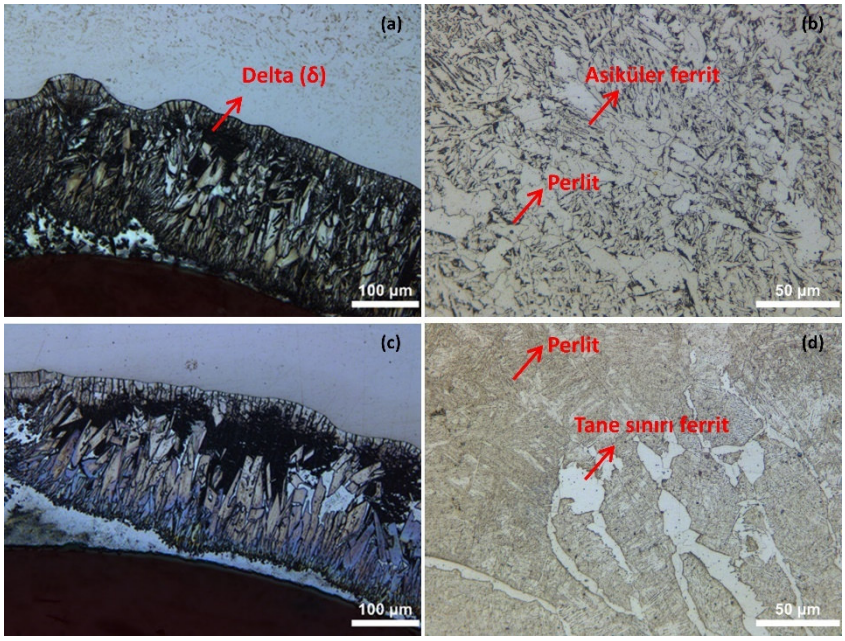


Şekil 3. MSS ve MSF numuneleri üzerinde mikroyapı görüntüsü alınan bölgelerin şematiği



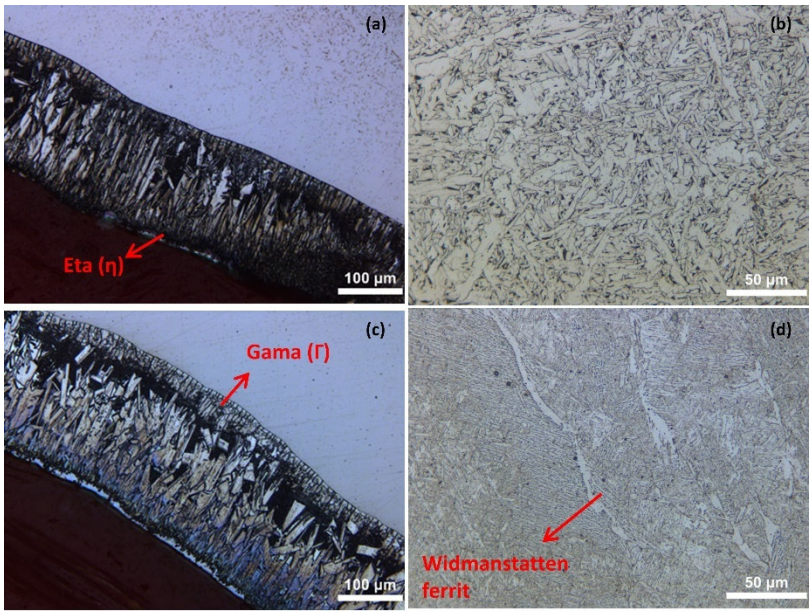
Şekil 3. Verilen mikroyapı görüntüleri 1. Bölgeye aittir. a) 200 büyütmede MSF numunesinin SDG kaplama görüntüsü b) 500 büyütmede MSF numunesinin ana malzeme görüntüsü c) 200 büyütmede MSS numunesinin SDG kaplama görüntüsü d) 500 büyütmede MSS numunesinin ana malzeme görüntüsü

S355JR yapı çeliğinin doğası gereği ferrit ve perlit taneleri gözükmektedir. SDG kaplama kısmında büyük farklar göstermemektedir.



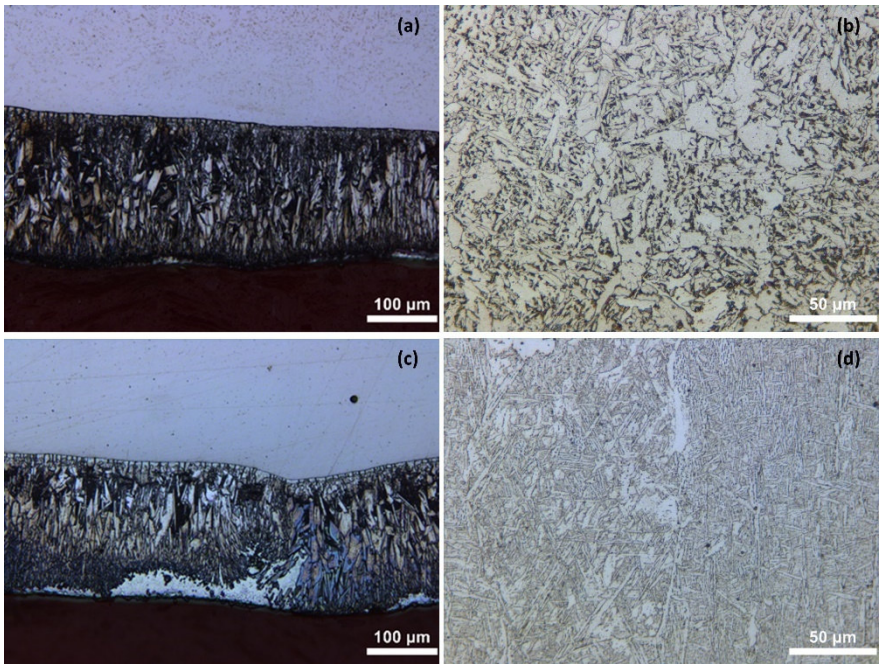
Şekil 4. Verilen mikroyapı görüntüleri 2. Bölgeye aittir. a) 200 büyütmede MSF numunesinin SDG kaplama görüntüsü b) 500 büyütmede MSF numunesinin ana malzeme görüntüsü c) 200 büyütmede MSS numunesinin SDG kaplama görüntüsü d) 500 büyütmede MSS numunesinin ana malzeme görüntüsü

MSF numunesinde SDG kaplamada bulunan delta (δ) tabakası MSS numunesine göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. MSS numunesinin katman dizilimleri MSF numunesine göre daha düzenlidir. 2. bölge üzerinde aşağıya inildiğinde her ikisinde de tane sınırı ferrit, perlit ve asiküler ferrit fazları gözlemlenmektedir. Ancak MSF numunesinde tane sınırı ferritin daha çok olduğu, MSS numunesinde ise perlitin daha çok olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Verilen mikroyapı görüntüleri 3. Bölgeye aittir. a) 200 büyütmede MSF numunesinin SDG kaplama görüntüsü b) 500 büyütmede MSF numunesinin ana malzeme görüntüsü c) 200 büyütmede MSS numunesinin SDG kaplama görüntüsü d) 500 büyütmede MSS numunesinin ana malzeme görüntüsü

SDG kaplamalar incelendiğinde MSS numunesinde MSF numunesine göre katmanların diziliminin daha düzenli olduğu, gama (Γ) katmanının daha geniş bant aralığına sahip olduğu ve delta katmanının daha çok görüldüğü gözlemlenmiştir.
MSF numunesinde eta (η) katmanın çok az miktarda olduğu tespit edilmiştir. MSF numunesinde büyük oranda tane sınırı ferrit, belirli miktarlarda perlit, asiküler ferrit ve az miktarda widmanstatten ferrit gözlemlenmiştir. MSS numunesinde ise büyük oranda asiküler ferrit, belirli oranda widmanstatten ferrit ve az miktarda tane sınırı ferrit bulunmaktadır.



Şekil 6. Verilen mikroyapı görüntüleri 4. Bölgeye aittir. a) 200 büyütmede MSF numunesinin SDG kaplama görüntüsü b) 500 büyütmede MSF numunesinin ana malzeme görüntüsü c) 200 büyütmede MSS numunesinin SDG kaplama görüntüsü d) 500 büyütmede MSS numunesinin ana malzeme görüntüsü

SDG kaplamalar incelendiğinde her iki numunede de katman dizilimlerinin düzensizdir. MSF numunesinde delta (δ) katmanı ve MSS numunesinde eta (η) katmanının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Her iki numunede de tane boyutu ferrrit, asiküler ferrit ve perlit fazları gözlemlenmiştir. Ancak MSF numunesinde tane sınırı ferrit miktarı daha çokken, MSS numunesinde asiküler ferrit miktarı daha yoğundur.

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

1. MSF numunesinde kaynak dikişinden ana malzemeye doğru gidildikçe kaplama kalınlığı azalmıştır. MSS numunesinde kaynak dikişi kaplama kalınlığı büyük farkla daha fazladır. ITAB bölgesi az bir farkla ortalama olarak ana malzemeden daha kalın kaplamaya sahiptir.
2. Her iki numunede de sertlik değerleri ana malzemeye göre çok düşüktür. MSS numunesinin MSF numunesinden daha sert olmasının sebebi soğuma ortamı sebebiyle daha hızlı soğumasıdır. Bunun sonucunda mikroyapıda sert fazların oranı daha yüksektir.
3. Soğutma ortamının mikroyapı farklılıklarına neden olduğu ortaya konmuştur. MSF numunesinin ana malzeme, geçiş ve ITAB bölgelerindeki kaplama kısmında bulunan delta (δ) tabakasının numune MSS'den daha az olduğu ve yine bu bölgelerde numune MSS'nin katmanlarının diziliminin MSF numunesine göre daha düzenli bir dizilime sahip olduğu

görülmüştür. Ancak kaynak metali üzerindeki kaplamada bunun tam tersi olduğu tespit edilmiştir. MSF numunesinde delta (δ) tabakası daha yoğunken MSF numunesinde eta (η) tabakası daha yoğundur. Her iki numune de düzensiz dizilim göstermektedir.

4. MSF numunesinde yalnızca asiküler ferrit, tane sınırı ferrit ve perlit fazları görülürken, MSS numunesinde bunların yanında özellikle 3. bölgede widmanstatten ferritte gözlemlenmektedir.

KAYNAKÇA

1. Benedetti, M., et al. (2013). "Crack growth resistance of MAG butt-welded joints of S355JR construction steel." Engineering Fracture Mechanics **108**: 305-315.

2. Chiocca, A., et al. (2022). "Residual stresses influence on the fatigue strength of structural components." Procedia Structural Integrity **38**: 447-456.

3. Kania, H., et al. (2020). "Development of bath chemical composition for batch hot-dip galvanizing—A review." Materials **13**(18): 4168.

4. Kardeş, F. B. (2020). Sicak daldırma galvaniz kaplama özelliklerine etki eden faktörlerin pilot bir firmada incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

5. Kaya, Y. (2018). "S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması." Politeknik Dergisi **21**(3): 597-602.

6. Kolhe, K. P., et al. (2020). Effects of Shielded Metal Arc Welding Process Parameters on Mechanical Properties of S355JR Mild Steel. Advances of Science and Technology: 7th EAI International Conference, ICAST 2019, Bahir Dar, Ethiopia, August 2–4, 2019, Proceedings 7, Springer.

7. PEKTAŞ, İ. "Galvanizcinin El Kitabi."

8. Türk, M. and A. Demirer (2021). MAG Kaynak Yöntemiyle Birleştirlen Yüzeyi Sertleştirilmiş S355jo Çeliğin Kaynak Dikiş Geometresi Üzerine Koruyucu Gazin Etkisi. International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies.

9. Zhao, Z. and R. Song (2022). "Early oxidation of the dimple area leading to darkening hot-dip galvanized sheet." Vacuum **205**: 111457.