



Kimyasal Bileşimin Paslanmaz Çelik Kaplamaların Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi

Fatih Nedim Yorulmaz^{1*}, Hülya Durmuş², Nilay Çömez³

^{1*} Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1726-9965), fatih45yorulmaz@gmail.com

² Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7270-562X), hulya.durmus@cbu.edu.tr

³ Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6432-6582), nilay.comez@cbu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082931)

ATIF/REFERENCE: Yorulmaz, F. N., Durmuş, H., Çömez, N., (2022). Kimyasal Bileşimin Paslanmaz Çelik Kaplamaların Mekanik ve Korozyon Özelliklerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 485-491.

Öz

Paslanmaz çelikler yüzeyinde bulunan yoğun, tok ve çok ince olan krom oksit (Cr_2O_3) tabakası pasifleşerek oksidasyon ve korozyon oluşumunu engellemektedir. Paslanmaz çeliklerin gruplarından olan östenitik paslanmaz çelik kaynak işlemine uygundur. Korozyona dayanımlarından dolayı gemi pervanesi şaftı üretiminde östenitik paslanmaz çelikler seçilmekte ve kaynak işlemlerinde TIG kaynağı tercih edilmektedir. Bu çalışmada, gemi pervane şaftı için tüm malzemenin paslanmaz çelik olması yerine alternatif üretim olarak orta karbonlu çelik şaft üzerine kaplama yapılmıştır. Farklı kimyasal içeriğe sahip olan 308L ve 316L östenitik paslanmaz çelik tellerin TIG kaynağı ile farklı akımlar (140 A, 160 A ve 180 A) kullanılarak S235JR çelik altlığın üzerine kaplama yapılmıştır. Kaplama işlemi sırasında hem kimyasal içeriğin farklı olması hem de üç farklı akım değerinin kullanılması ile mekanik ve korozyon özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Farklı parametrelerde oluşturulan kaplamalar hem kesit hem de yüzeyden incelenmiştir. Mikrosertlik sonuçlarına göre 308L paslanmaz çelik ile oluşturulan kaplamalarda 316L paslanmaz çelik numunelere göre en yüksek sertlikler elde edilmiştir. Akım değerlerindeki değişimler sertlik değerlerini kesitte çok fazla etkilemediği görülürken, yüzeyden yapılan sertlik ölçümlerinde en yüksek sertlikler 180 A ile oluşturulan kaplamalarda elde edilmiştir. Mikroyapı incelemeleri, Cr - Ni eşdeğerlilik hesabı ile Schaeffler diyagramı yardımı sonucunda kaplama mikroyapısının ferritik ve östenitik yapıda olduğu görülmüştür. Ferrit oranının artması sertlik değerini arttırdığı anlaşılmıştır. Ayrıca kaplamaların korozyon testi sonucunda 308L paslanmaz çelik kaplama numunelerinde akım değeri arttıkça korozyon hızı azalmıştır, ancak 316L paslanmaz çelik ile kaplanmış numunede de akım değeri arttıkça korozyon hızı artmıştır. Korozyon testi sonucunda 88 kodlu numunenin en yüksek korozyon direncine sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: 308L, 316L, Korozyon, Sertlik, Mikroyapı.

Effect of Chemical Composition on Mechanical and Corrosion Properties of Stainless Steel Coatings

Abstract

The dense, tough and very thin chromium oxide (Cr_2O_3) layer on the surface of stainless steels becomes passive and prevents the formation of oxidation and corrosion. Austenitic stainless steel, which is one of the groups of stainless steels, is suitable for welding. Austenitic stainless steels are chosen in the production of ship propeller shafts due to their corrosion resistance and TIG welding is preferred in welding processes. In this study, instead of all material being stainless steel for the ship propeller shaft, a medium carbon steel shaft was plated as an alternative production. TIG welding of 308L and 316L austenitic stainless steel wires with different chemical content, using different currents (140 A, 160 A and 180 A), was coated on the S235JR steel substrate. During the coating process, the effects of both the different chemical content and the use of three different current values on the mechanical and corrosion properties were investigated. The coatings formed in different parameters were examined from both the cross-section and the surface. According to the microhardness results, the highest hardness was obtained in the coatings formed with 308L stainless steel compared to 316L stainless steel samples. While it was observed that the changes in the current values did not affect the hardness values much in the section, the highest hardnesses were obtained in the coatings formed with 180 A in the hardness measurements made from the surface. As a result of microstructure investigations, Cr - Ni equivalence calculation and Schaeffler diagram, it was seen that the coating microstructure was ferritic and austenitic. It was understood that the increase in the ferrite ratio increased the hardness value. In addition, as a result of the corrosion test of the coatings, the corrosion rate decreased as the current value increased in the 308L stainless steel

* Sorumlu Yazar: fatih45yorulmaz@gmail.com

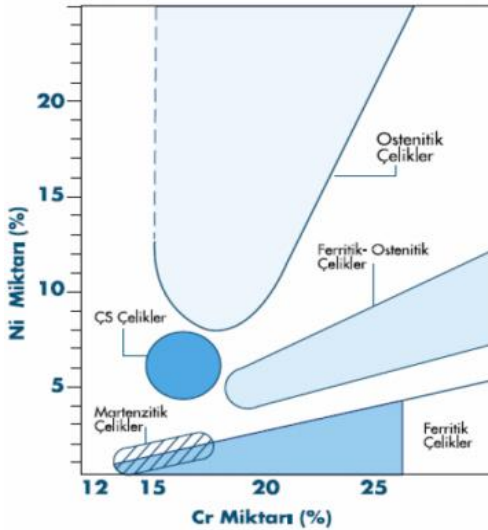
coating samples, but the corrosion rate increased as the current value increased in the 316L stainless steel coated sample. As a result of the corrosion test, it was seen that the sample coded 88 had the highest corrosion resistance.

Keywords: 308L, 316L, Corrosion, Hardness, Microstructure

1. Giriş

Paslanmaz çelikler pek çok sektörde uygulama alanı bulan çelik grubudur. Yüzeylerinde bulunan çok ince krom oksit (Cr_2O_3) tabakası pasifleşerek oksidasyon ve korozyon oluşumunu engellemektedir [1] - [3]. Bu çelikler, yapısında yüksek orandan krom (Cr) ve bunun yanında nikel (Ni), kısmen de molibden (Mo) yer almaktadır [4]. Bu elementler sayesinde korozyon ve aşınma direncine sahiptir. Paslanmaz çelikler sınıflandırılmasında kimyasal içeriğinde bulunan Cr ve Ni oranı önemli rol oynamaktadır (Şekil 1). Ni miktarı %8' den fazla olduğunda östenit oda sıcaklığında kararlı duruma gelir ve östenitik paslanmaz çelik olarak adlandırılır [5].

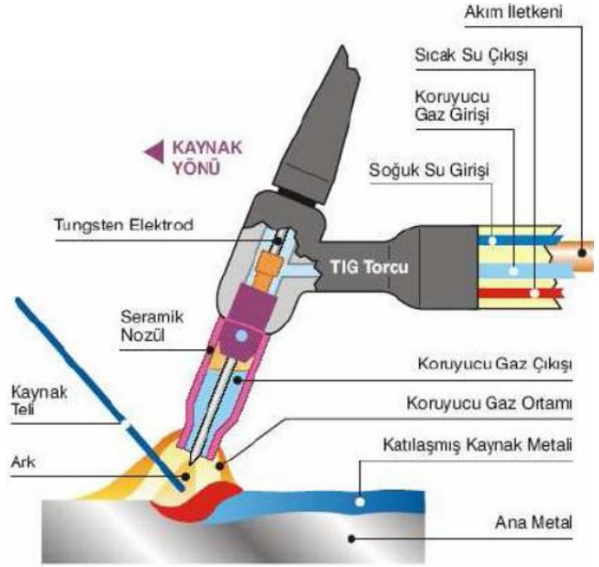
Paslanmaz çeliklerin bir grubu olan östenitik paslanmaz çeliklerin süneklik özellikleri yüksektir ve haddelemeyle sertleştirilebilirler. Ayrıca iyi işlenebilirlik özelliğine ve kaynaklanabilirlik özelliğine sahiptirler [6]. Petrokimya, deniz yapılarında, nükleer ve arıtma tesisleri ve medikal ürünlerde östenitik paslanmaz çelikler kullanılmaktadır [5].



Şekil 1. Cr - Ni miktarına göre paslanmaz çelikler [3], [7]

Östenitik paslanmaz çelikler için birçok kaynak yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemlerden birisi olan TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yöntemidir. Düşük ısı girdisi, kullanım kolaylığı, düzgün kaynak dikişi, her pozisyonda ve yüksek kaliteli kaynak yapabileme özellikleri sayesinde diğer kaynak yöntemlerine göre daha avantajlıdır.

TIG kaynağında gereken ısı, tungsten elektrot (tükenmeyen elektrot) ve iş parçası arasında oluşan ark tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2). Nozülünden gönderilen asal gaz kaynak bölgesini kaplayıp, korumaktadır. Bu yöntemde asal gaz olarak Helyum ve/veya Argon kullanılmaktadır [3], [8] - [10].



Şekil 2. TIG kaynağı şematik gösterimi [3], [7], [11]

TIG kaynağında ilave tel kaplama malzemesi olarak kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin katılaşma modu alaşım bileşimine göre değişmektedir. Katılaşma modu için sırasıyla $Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değeri ile bulunur [12]. $Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerlerini bulmak için literatürde ve uygulamalarda Hull [13], Schaeffler [14] ve WRC 92 [15] yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler kaynaktan sonra oluşacak olan mikroyapı hakkında bilgi vermektedir. Schaeffler [14] ve WRC 92 [15] sayesinde mikroyapıdaki ferrit oranı tahmin edilebilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin katılaşma modu dörde ayrılmaktadır; östenitik (A veya Ö), östenitik-ferritik veya birincil östenit (AF veya ÖF), ferritik-östenitik veya birincil ferritik (FA veya FÖ) ve ferritik (F) moddur [16], [17].

Bu çeliklerin katılaşma modlarında oluşan ferrit ve östenit dönüşümleri; Ö modda tam östenit, ÖF modunda östenit + östenitik ve ferrit, FÖ modda östenit + çitasal (skeletal) ferrit ve östenit + levhalı ferrit ve son olarak F modunda östenit + iğnemsil ferrit ve ferrit + Widmanstatten östenit'ten oluşmaktadır [15].

Ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılaşma modunda, ilk önce δ -ferrit (delta ferrit) kristalleşir, soğutma işlemi sırasında δ - γ dönüşümü meydana gelir, oda sıcaklığına soğutulduktan sonra östenit oluşur ve dönüşüm tamamlanmadığı için artık δ -ferrit kaplamada kalır [12], [18].

Ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılaşmanın diğer bir formu ise levha veya iğne morfolojisinde olmasıdır. Ferrit, kaynak metalinde hızlı soğuma ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Levhalı ve çitasal mikroyapıların birlikte bulunduğu bölgelerde sık olarak rastlanır. Kaynak metalinde ferrit fazı giderek daha kararlı bir duruma geçecek olursa östenit dönüşümü zor gerçekleşmektedir. Bunun nedeni, katılaşma sırasında ferritin delta ferrit olarak oluşmasıdır [17], [19], [20].

Bu çalışmada, gemi pervanesi şaftında kullanılması amacıyla S235JR çelik altlık üzerine östenitik paslanmaz çelikler olan 308L ve 316L kullanılarak farklı akımlarda TIG kaynağı ile kaplama yapılmıştır. Kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal içeriğindeki nikel oranının ve kaplama işlemi sırasındaki akımın değişmesi ile sertlik ve korozyon dayanımına etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Altlık malzemesi olarak 150 x 200 x 5 mm³ boyutunda S235JR çeliği kullanılmıştır. Altlığın üzerine farklı akımlar (140 A, 160 A ve 180 A) ve 17 V voltaj kullanılarak TIG Kaynağı ile 3 paso şeklinde 308L ve 316L östenitik paslanmaz çelikler ile kaplama yapılmıştır. Tablo 1 ve 2’de altlık ile kaplamanın kimyasal içeriği verilmiştir. Şekil 3 ’te kaplama işleminden sonra oluşan numunelerin şematik görüntüsü yer almaktadır; açık gri renk altlık malzeme: S235JR çeliği, mavi renk 308L ve koyu gri renk 316L östenitik paslanmaz çeliği göstermektedir. Numunelerin kodlama şekli Tablo 3’ de gösterilmektedir.

Tablo 1. 308L ve 316L paslanmaz çeliklerinin kimyasal içeriği

Ağr%	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Si
308L	0,02	19	9	2,1	0,02	0,4
316L	0,02	19	12	1,9	2	0,4

Tablo 2. Altlık metalinin (S235JR) kimyasal içeriği

Ağr%	C	Mn	Cu	Al	Mo	Si	P	S
S235JR	0,16	0,4	0,03	0,04	0,03	0,016	0,05	0,017

Tablo 3. Numunelerin kodlanması

Numune Kodu	Kaplama Malzemesi	Kaynak Akımı (A)
84	308L	140
86	308L	160
88	308L	180
164	316L	140
166	316L	160
168	316L	180

$Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerlerini bulmak için Schaeffler [14]’ e göre; 1. ve 2. denklemler kullanılarak mikroyapıdaki yüzde ferrit miktarı bulunmaktadır. WRC 92 [15]’e göre ise; 3. ve 4. Denklemler kullanılarak ferrit numarası elde edilmektedir. Hull [13] denkleminde göre ise; 5. ve 6. denklemler ile katılma modu bulunmaktadır.

$$Cr_{eş} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb \quad (1)$$

$$Ni_{eş} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn \quad (2)$$

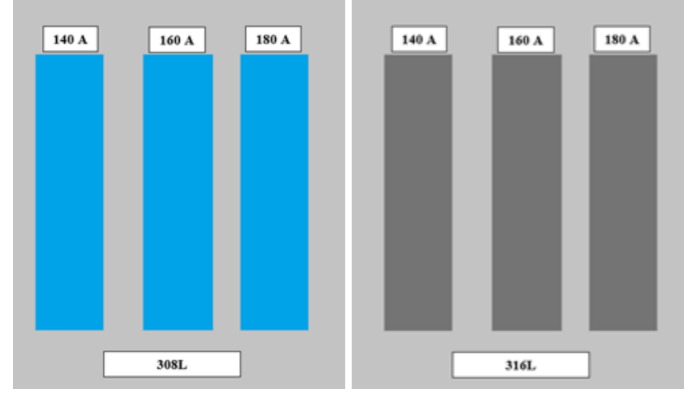
$$Cr_{eş} = \%Cr + \%Mo + 0,7\%Nb \quad (3)$$

$$Ni_{eş} = \%Ni + 35\%C + 20\%N + 0,25\%Cu \quad (4)$$

$$Cr_{eş} = \%Cr + 1,21\%Mo + 0,48\%Si + 0,14\%Nb + 2,2\%Ti + 0,72\%W + 0,21\%Ta + 2,27\%V + 2,48\%Al \quad (5)$$

$$Ni_{eş} = \%Ni + 0,11\%Mn + 24,5\%C + 18,4\%N + 0,44\%Cu + 0,41\%Co \quad (6)$$

Kaplama işleminden sonra kaplama yapılan parçalardan sertlik ve korozyon testine uygun numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere zımparalama (400, 600, 800, 1000, 1200 grit ile) yapılmıştır ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra mikroyapı incelemesi için Viella çözeltisi (45 ml gliserin, 15 ml HNO₃, 30 ml HCl) ile numuneler dağlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinde Nikon marka Clemex yazılımlı 50 - 1.000X büyütme optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 3. Kaplanan numunelerin şematik görünümü

Numunelerin kesit ve yüzeyinden sertlik testi yapabilmek için mikro sertlik testi tercih edilmiştir. Mikro sertlik testi için Vickers sertlik ölçme yöntemi ile HV_{0,1} yani 100 gram-kuvvet yük altından 10 saniyede uygulanmıştır.

Korozyon testi için numunelere parlatma işleminden sonra dağlama işlemi uygulanmamıştır. Test için de Metrohm DropSens µStat400 Potentiostat-Galvanostat kullanılarak, ağırlıkça %3,5 NaCl içeren 75 ml tuz çözeltisi içinde oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Korozyon testine başlamadan önce numunelerin açık devre potansiyeli 30 dakika boyunca ölçülmüştür. Korozyon testinde, doymuş kalomel referans elektrot, grafit elektrot ve kaplama çalışma elektrodu bulunan üç elektrotlu korozyon hücresi kullanılmıştır. Korozyon ölçümünün gerçekleştiği yüzey alanı 25 mm² olarak belirlenmiştir ve geriye kalan alan yalıtkanla kaplanmıştır. Ölçümlerden sonra korozyon hızları hesaplanmıştır. Korozyon testi sonrasında yüzeyler optik mikroskop altında incelenmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

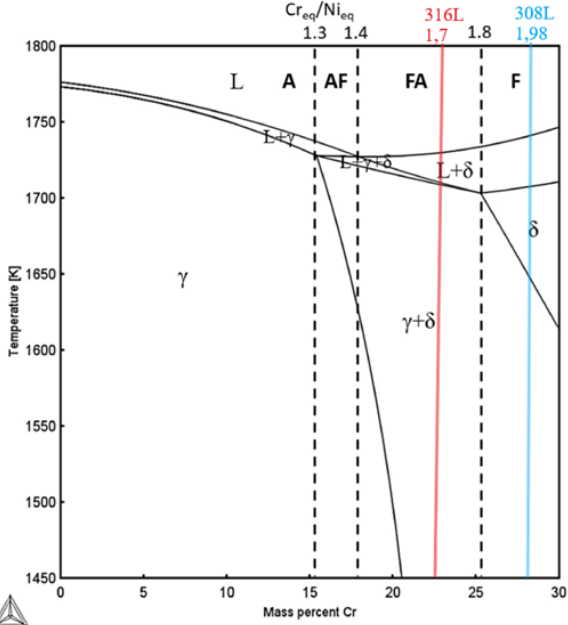
$Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerleri kullanılarak Hull [13], Schaeffler [14] ve WRC 92 [15] denklemleri ile Tablo 4 oluşturulmuştur.

Tablo 4. Farklı denklemler kullanılarak oluşturulan $Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerleri

Denklemler	Malzeme	$Cr_{eş}$	$Ni_{eş}$
Hull [13]	308L	19,22	9,77
	316L	21,61	12,7
Schaeffler [14]	308L	19,62	10,65
	316L	21,6	13,55
WRC 92 [15]	308L	19,02	9,7
	316L	21,0	12,7

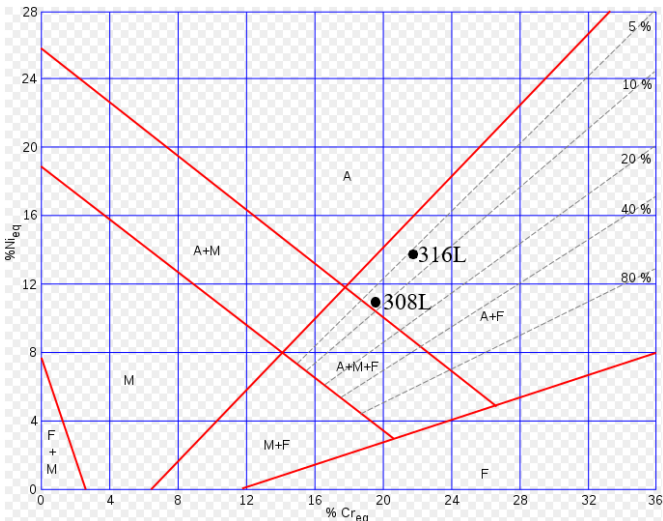
Kaplama malzemesi olarak kullanılan ilave 308L ve 316L tellerin kimyasal kompozisyonlarına bağlı olarak altlık malzemesinden dolayı az miktarda da olsa seyrelme sonucu kaplama metali kimyasal bileşiminde değişim olacağı öngörülmektedir.

Hull denkleminde yararlanılarak hesaplanan ve Tablo 4’ de verilen Cr_{eq} ve Ni_{eq} değerleri 308L ve 316L kaplamaların Cr_{eq}/Ni_{eq} değeri bulunmuştur. Cr_{eq}/Ni_{eq} değeri paslanmaz çeliklerde katılma modunun bulunmasında yardımcı olmaktadır. 308L kaplama teli için bu oran 1,98 bulunarak ferritik katılma modunda olduğu tahmin edilmektedir. 316L kaplama teli için ise oran 1,7’ dir ve ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılma modunda olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. 308L ve 316L için Cr_{eq}/Ni_{eq} değerlerine dayalı olarak farklı katılma modlarını gösteren faz diyagramı [11].

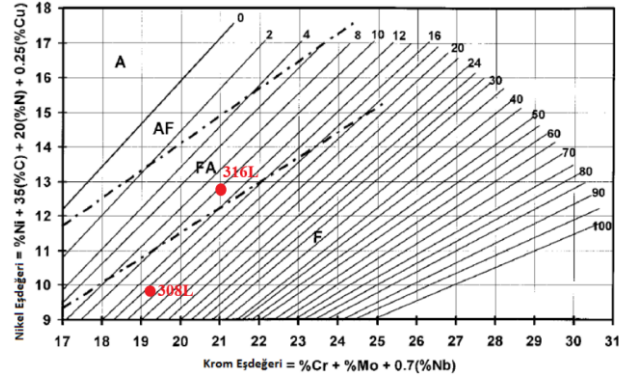
Şekil 5’te Schaeffler diyagramında Tablo 4’ deki Cr_{eq} ve Ni_{eq} değerleri kullanılarak kaplama teli halindeki 308L ve 316L paslanmaz çeliklerin östenit+ferrit mikroyapısı içerisindeki ferrit oranları hesaplanmıştır. Schaeffler diyagramına göre 308L, Östenit + %9 ferrit iken, 316L ise östenit + %6 ferrit fazlarına sahip olduğu bulunmuştur. Östenit matris içinde %3-10 delta ferrit fazı bu çeliklerin katılma çatlamasına karşı direncini arttırmaktadır [5]. %12 ferritten fazla olduğu durumda esneklik kabiliyeti azalmaktadır [21].



Şekil 5. Schaeffler Diyagramı [22]

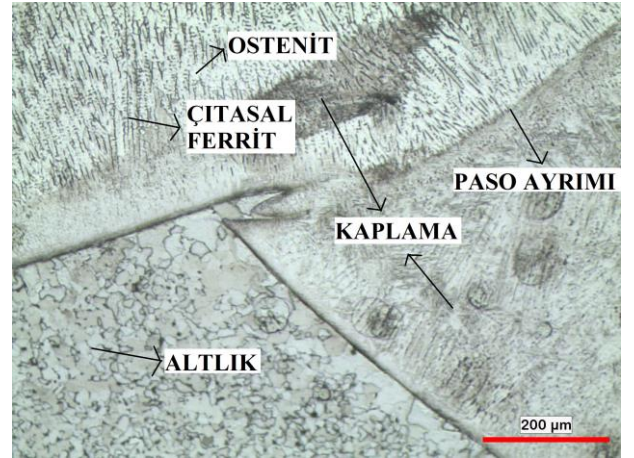
Tablo 4’ de verilen Cr_{eq} ve Ni_{eq} değerleri kullanılarak, WRC 92 diyagramı yardımıyla kaplama teli halindeki 308L ve 316L paslanmaz çelik kaplamaların mikroyapı içerisindeki ferrit

numaraları hesaplanmıştır. WRC 92 diyagramına göre 308L kaplamaların ferrit numarası 15 iken, 316L kaplamaların ferrit numarası 11 olduğu tahmin edilmektedir. 308L ferrit katılma modunda iken 316L ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılma modunda olduğu tahmin edilmektedir.

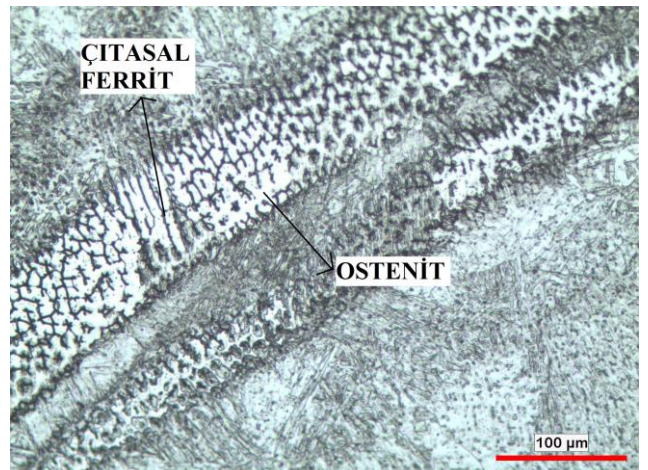


Şekil 6. WRC 92 Diyagramı [14]

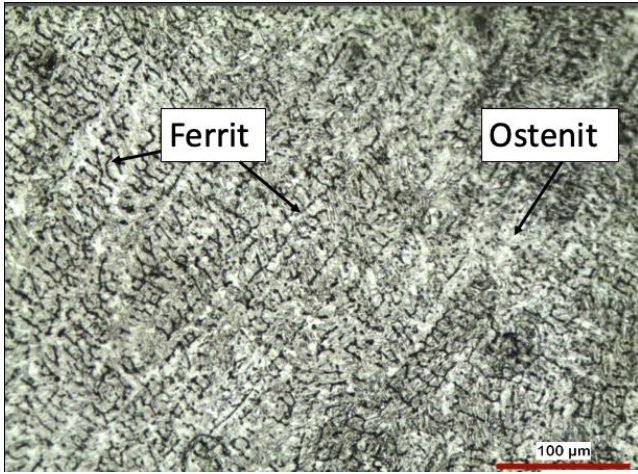
Şekil 7’de 168 kodlu numunenin altlık malzemesi ve kaplama malzemesinin mikroyapı görüntüsü bulunmaktadır. Kaplama işlemi 3 paso olarak gerçekleştirildiğinden dolayı paso ayrımı (çizgisi) mikroyapı görüntüsünde östenit ve ferrit fazı görülmektedir. Ferrit yapısı mikroyapıda çitasal ferrit olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 8’de çitasal ferritler belirgin bir şekilde görülmüştür. Çitasal ferritin varlığı katılmanın FÖ alanında gerçekleştiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 7. 168 kodlu numunenin kesitten mikroyapı görüntüsü

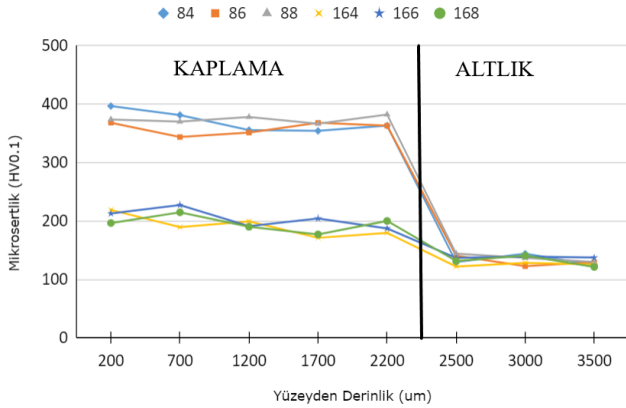


Şekil 8. 84 kodlu numunenin yüzey mikroyapı görüntüsü

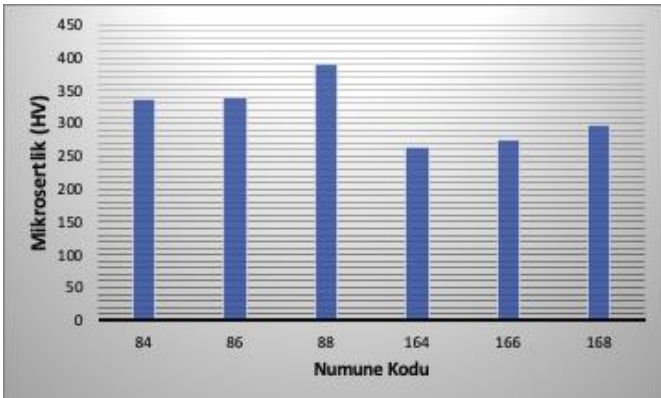


Şekil 9. 88 kodlu numunenin kaplama kesitindeki mikroyapı görüntüsü

Şekil 10'da numunelerin kesitten alınan mikrosertlikleri yer almaktadır. Akımın değişmesi sertlik değerlerinde önemli ölçüde farklar oluşturmamıştır. 308L kaplamaların kesitteki sertlik değerleri 316L kaplamaların sertlik değerlerine göre yüksek değerlere sahiptir. Şekil 11'de numunelerin yüzeyden alınan ortalama mikrosertlik sonuçları yer almaktadır. En yüksek sertlik sonucunu 88 kodlu numunede 391.1 HV olarak elde edilmiştir. Kaplama işlemi sırasında kullanılan akım değerinin artması ile sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Fakat bu artış ciddi oranda değildir. 308L ile hazırlanan kaplamaların 316L ile hazırlanan kaplamalara göre daha sert olmasının sebebi mikroyapısındaki daha yüksek olan ferrit oranından kaynaklandığı düşünülmektedir.

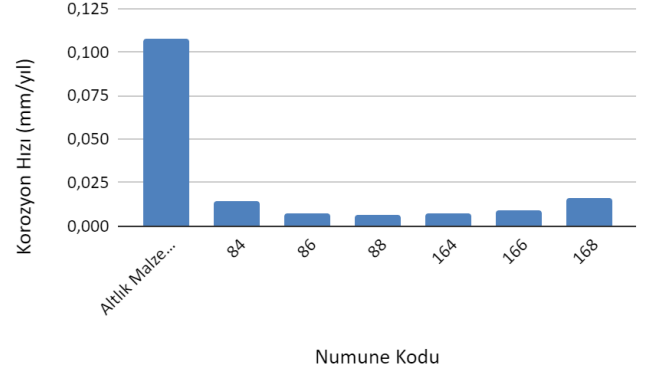


Şekil 10. Numunelerin kesit, mikrosertlik değerleri



Şekil 11. Numunelerin yüzey, ortalama mikrosertlik grafiği

Şekil 12'de korozyon testi sonucunda numunelerin korozyon hızları hesaplanmıştır. Korozyon testi sonucunda en az korozyona uğrayan 88 kodlu numunede 0,00657 mm/yıl korozyon hızı bulunmuştur. 308L teli ile farklı akımlar kullanılarak hazırlanan kaplamalarda akım değerinin artması ile korozyon hızı azalmıştır. 316L teli ile hazırlanan kaplama numunelerinde ise akımın artması, korozyon hızını artırmıştır.



Şekil 12. Numunelerin korozyon hızları grafiği

Şekil 13'te 88 kodlu numunenin korozyon testi sonrası yüzeyinde korozyon sonucu oluşan izler görülmektedir. 180 A ile kaplanan bu numunede korozyon direnci en yüksek olan numunedir.

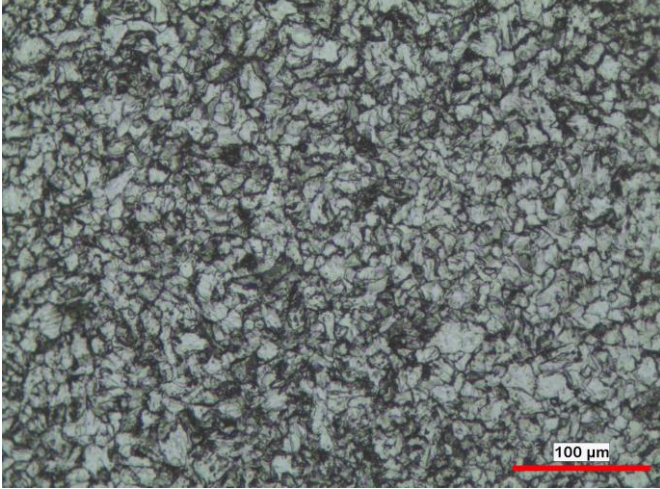


Şekil 13. 88 nolu numunenin korozyon testi sonrası görüntüsü

Şekil 14'te 168 kodlu numunenin korozyon sonrası kaplama yüzeyinden elde edilen optik mikroskop görüntüsü yer almaktadır. Kaplama numunelerinde korozyon testi sonucunda korozyon direnci en düşük olan numunedir. Bölgesel olarak pitting korozyon olduğu görülmektedir.



Şekil 14. 168 nolu numunenin korozyon testi sonrası görüntüsü



Şekil 15. Altlık malzemesi (S235JR) korozyon testi sonrası görüntüsü

Şekil 15'te altlık malzemesinin korozyon testinden sonraki mikroyapı görüntüsü yer almaktadır. Altlığın östenitik paslanmaz çeliklere göre ciddi oranda korozyona uğradığı görülmektedir.

Tablo 4'deki 308L ve 316L östenitik paslanmaz çeliklerin $Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerleri ile denklemlerle ve sonrasında diyagramlar kullanılarak % ferrit oranları hesaplanmıştır. Kaplamalarda seyrelme sonucu kaplama metali kimyasal bileşiminde değişim olacağı literatürdeki çalışmalarda görülmektedir. Kimyasal içerikteki değişim % ferrit fazının artmasını neden olmaktadır [15].

164-166-168 kodlu numunelerin mikroyapıları göz önünde bulundurulduğunda ferritik-östenitik veya birincil ferritik ve 84-86-88 kodlu numunelerin ise ferritik dönüşüm modundan olduğu anlaşılmaktadır. Bu moddan her iki malzemeyle hazırlanan kaplamaların mikroyapısında da çıtasal ferritler görülmektedir.

Şekil 10 ve 11'de 308L ve 316L arasında sertlik değerinde fark olduğu görülmektedir. Bu sertlik mikroyapıdaki % ferrit oranı ve mikroyapıdaki ferrit fazının türü ile ilgili olduğu literatürdeki çalışmalarda görülmektedir [14], [15]. Ayrıca üç tane kaynak dikişi yanyana yapıldığından dolayı kısa ferrit içeriği artmıştır. İç gerilmeler azalmıştır. Daha fazla Fe ve C yayılmasından dolayı sertlik artmıştır [23]. Yüzeiden alınan sertlik sonuçlarında ise akım artması sertlik değerinin artmasını sağlamıştır ve en yüksek sertlik değeri 180 A kullanarak kaplanan 308L'nin yüzeyinde 391.1 HV ile elde edilmiştir. Akımın artması oluşan ferrit türlerini etkilemiştir. 308L ferritik katılaşma modunda olduğundan dolayı sertlik değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Şekil 12'de numunelerin korozyon hızları yer almaktadır. Altlık malzemesi olan S235JR çeliğinin korozyon hızı, kaplama çeliklerine göre fazladır. Bu durum altlık malzemesinin içerisinde Cr elementinin bulunmamasından dolayı korozyon direnci çok düşüktür. Kaplama malzemelerine oranla altlık malzemesi 9-10 kat daha fazla korozyona uğramıştır. Kaplamalarda korozyon hızı krom elementinin varolmasından dolayı düşüktür. 308L ve 316L kaplamalarını karşılaştırırsak korozyon hızlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kaplama sonrası oluşan mikroyapıların birbirine yakın olması bu sonucu doğurmuştur. 308L ile kaplamalarda akımın artması korozyon hızını düşürmektedir.

Tüm kaplamaların korozyon dayanımı altlık malzemesine göre çok yüksektir. İki kaplama malzemesinde de ferrit oranları birbirlerine yakın çıkmıştır. Östenit fazına göre ferrit fazı daha fazla krom içeriğine sahiptir. Bundan dolayı pasif ferrit tabakası östenitten daha yüksek korozyon direncine sahiptir. δ -ferrit daha incedir ve yapıya dağılır. Bundan dolayı pitting korozyon direnci kaplamaların çoğunda iyidir [14].

Şekil 13'te 88 kodlu numunenin korozyon testi sonrası optik mikroskop görüntüsü yer almaktadır. Korozyonun çok küçük ve noktasal olduğu görülmektedir. Şekil 15'te ise S235JR'nin yani altlığın korozyon sonrası optik mikroskop görüntüsü görülmektedir. Korozyonun 308L'ye göre çok fazla olduğu optik mikroskop görüntüsünde görülmektedir. Bu görüntüde tane sınırı korozyonuna uğradığı düşünülmektedir.

4. Sonuç

S235JR altlığa 308L ve 316L östenitik paslanmaz çelikler ile kaplanması sonucundan ortaya çıkan sonuçlar:

- 84-86-88 kodlu numuneler ferritik katılaşma modunda 164-166-168 kodlu numuneler ise ferritik-östenitik veya birincil ferritik katılaşma modunda olduğu görülmüştür. Tüm numunelerde çıtasal ferritler oluşmuştur.
- 84-86-88 kodlu numunelerin 164-166-168 nolu numunelere göre daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum 84-86-88 kodlu numunelerin daha yüksek ferrit fazına sahip olması sayesinde gerçekleşmiştir. Ferrit fazının ve akımın sertliği artırdığı görülmüştür. 88 kodlu numune en yüksek sertlik değerine sahiptir. Bu sertlik değeri 391.1 HV'dir.
- Korozyon testi sonucundan kaplamalar arasında ciddi oranda korozyon farkı oluşmamıştır. Altlık malzemesinde ise 9-10 kat korozyona uğradığı tespit edilmiştir. Altlıkta oluşan korozyon türü taneler arası korozyon olduğu düşünülmektedir. Kaplamalarda oluşan korozyon türü ise pitting korozyonudur.

Kaynakça

- Türkan, M., "Kaynaklı ve Kaynaksız Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Korozif Ortamlardaki Çekme Davranışları," Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 2013.
- Yüksel, M., *Malzeme Bilgisi*, Cilt 1, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara, 2001.
- Murat, M, G., "Savunma Sanayinde Kullanılan 420 ve 304L Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı Sonrası Korozyon ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi," Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Kırıkkale, 2018.

- [4] Gökmen, M., "Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemleri ile Kaynağında Koruyucu Gaz ve İlave Metalin Mekanik Özelliklere Etkisi," Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2009.
- [5] Köse, C., and Kaçar R., "The effect of preheat & post weld heat treatment on the laser weldability of AISI 420 martensitic stainless steel." *Materials & Design* 64: 221-226, 2014.
- [6] Öcal, M., "AISI 316L Östenitik Paslanmaz Çeliğin Korozyonlu Yorulma, Termal Çevrim ve Darbeli Aşınma Davranışlarına Farklı Kaplamaların Etkisi," Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 2020.
- [7] Sarıtaş Çelik, "Paslanmaz Çeliklerin İç Yapı ve Türleri," Sarıtaş Çelik, İstanbul, 2012.
- [8] Nevcanoğlu, A., "TIG Kaynağı Yöntemi ile Birleştirilmiş Inconel 718 Süper Alaşım Malzemenin Kaynak Sonrası Özelliklerinin İncelenmesi," Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2019.
- [9] Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., Bakır ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der.*, V. 20 (2): s 183-190, 2005.
- [10] Althouse, A.D., Turnquist, C.H., Bowditch, W.A., Bowditch, K.E., *Gas Tungsten Arc Welding*, Modern Welding, Goodheart-Willcox Pub., p327- 328, 1999.
- [11] Emet, A. O., "Lazer ve TIG Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 304 Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin ve Gerilmeli Korozyon Davranışının İncelenmesi," Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2019.
- [12] Sabzi, H. E., Maeng, S., Liang, X., Simonelli, M., Aboulkhair, N. T., & Rivera-Díaz-del-Castillo, P. E., Controlling crack formation and porosity in laser powder bed fusion: Alloy design and process optimisation. *Additive Manufacturing*, 34, 101360, 2020.
- [13] Hull, F. C. Delta ferrite and martensite formation in stainless steels. *Welding journal*, 52(5), 193, 1973.
- [14] Feng, Y., Luo, Z., Liu, Z., Li, Y., Luo, Y., & Huang, Y. Keyhole gas tungsten arc welding of AISI 316L stainless steel. *Materials & Design*, 85, 24-31, 2015.
- [15] Tümer, M., "Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Özlü Tel Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi," Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 2012.
- [16] Rajani, H. Z., Torkamani, H., Sharbati, M., & Raygan, S. Corrosion resistance improvement in Gas Tungsten Arc Welded 316L stainless steel joints through controlled preheat treatment. *Materials & Design*, 34, 51-57, 2012.
- [17] Lippold J. C, Kotecki D. J., *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*. John Wiley&Sons, Amerika, 8-16, 2005
- [18] Fukumoto, S., Fujiwara, K., Toji, S., & Yamamoto, A. Small-scale resistance spot welding of austenitic stainless steels. *Materials Science and Engineering: A*, 492(1-2), 243-249, 2008.
- [19] Odabaş, C., *Paslanmaz Çelikler*, As Kaynak Yayınları, s66-67, İstanbul, 2002.
- [20] Nishimoto, K., "Fundamentals of stainless steel welding" Part 1 - Structures of stainless steel welds, *Welding International* 15 (1), 74-80, 2001
- [21] Gözütok, E., Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında argon-hidrojen gaz karışımının kaynaklı birleştirmenin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi, MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [22] 2022, Wikimedia Commons, (Online), Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme_schaeffler.svg
- [23] AghaAli, I., Farzam, M., Golozar, M. A., & Danaee, I. (2014). The effect of repeated repair welding on mechanical and corrosion properties of stainless steel 316L. *Materials & Design*, 54, 331-341, (1980-2015).