

*Original Research Article*

# Kaynak Uygulaması İle S355J2N Yapı Çeliğinde Artık Gerilme Oluşturulması Ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Nurşen Öntürk<sup>1,\*</sup> , Esra Özkan<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Makine Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

Geliş: 10.10.2018

Kabul: 20.11.2018

**Özet:** Artık gerilme; çeşitli imalat yöntemlerinden sonra malzeme üzerindeki dış yükün kaldırılmasına rağmen mevcut olan gerilmedir. Artık gerilme; malzemenin mekanik özelliklerini önemli derecede etkilediğinden mukavemet değerlerinde değişime sebep olmaktadır. Bu çalışmada; kaynak uygulamasıyla oluşan artık gerilmenin mekanik özelliklere etkisinin belirlenebilmesi için; 6 mm et kalınlığında, S355J2N kalitesinde malzeme, EN standartları referans alınarak kaynatılmıştır. Tüm kaynak parametreleri kontrol altında tutulmuş ve kaynak yöntemi olarak MAG kaynak yöntemi kullanılmıştır. Böylece kontrollü olarak yapılan kaynak uygulaması ile artık gerilme oluşturulmuştur. Kaynak sırasında oluşan yüzeysel veya hacimsel bir hata artık gerilmeyi artıracak için tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrol edilmiştir. Ardından kaynak dikişinde hata olmadığı belirlenen numune tahribatlı muayene yöntemleriyle kontrol edilmiş ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Tespit edilen mekanik özellikler, ana malzemenin mekanik özellikleriyle karşılaştırılmış ve artık gerilmenin etkisi ölçülmüştür. Artık gerilmelerin etkisi ile malzemenin mukavemet değerlerinde azalma olduğu ve malzemenin mekanik etkilere karşı dayanımının da azaldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Artık gerilme, Kaynak uygulaması, Tahribatlı muayene, Tahribatsız muayene, MAG

## The Generation of Residual Stress in S355J2N Structure Steel and Its Influence on Mechanical Properties

**Abstract:** Residual stress is stress that exist after all loads been removed over the material after various manufacturing processes. Residual stress has a significant effect on the mechanical properties so that one should consider different strength values higher than the reference strength values. In this study, S355J2N quality material with thickness of 6 mm was welded according to EN standards in order to determine the effect of residual stress caused by welding on mechanical properties. All welding parameters were kept under control and MAG welding method was used as a method. In this way, residual stress is formed in a controlled manner of welding. Samples were examined using non-destructive testing methods after welding to observe the planar and volumetric defects formed during the welding, which may increase residual stress. Then, the defect free samples were examined through destructive inspection methods and their mechanical properties were determined. The effect of the residual stress on the mechanical properties was measured by comparing the mechanical properties of the main material to the mechanical properties of the material including residual stress. Reduction of the mechanical properties due to residual stress was determined. Reduction of the resistance to mechanical effect was determined.

**Keywords:** Residual stress, Welding applications, Destructive inspection, Non-destructive inspection, MAG

Received: 10.10.2018

Accepted: 20.11.2018

\* Sorumlu yazar.

E-posta adresi: [nonturk@nku.edu.tr](mailto:nonturk@nku.edu.tr) (N. Öntürk)

## 1. Giriş

Kaynak uygulamasında, kaynak metalinden ısı tesiri altındaki (ITAB) bölgeye doğru olan ısı girdisi malzeme üzerinde artık gerilmeler oluşturur. Artık gerilmelerin mekanik özelliklere etkisi; kaynak konstrüksiyonunda dayanımın azalması, kaynak dikişinde kırılma, çatlama ve distorsiyondur. Uygun parametre değerlerinin altında veya üstünde uygulanan kaynak parametreleri daha fazla artık gerilme oluşmasına ve kaynak dikişinde hataların oluşmasına sebebiyet verir. Bu sebeple kaynak uygulamalarında, standartlar referans alınarak uygun parametreler seçilirse artık gerilmelerin oluşumunu tamamen engellemek mümkün olmasa da minimum boyutta oluşturmak ve ısı işlem ile önemli ölçüde azaltılmak mümkün olur.

Kaynak dikişinde bulunan; hacimsel ve yüzeysel kusurlar artık gerilmeyi arttıran faktörlerdir. Çatlak, boşluk, cüruf ve benzeri kusurlar bu kusurlara örnektir. Doğru parametreler ile yapılmış olsa bile kaynak dikişinin bu hatalara sahip olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu hataların tespiti için tahribatsız muayene yöntemleri kullanılmaktadır. Yüzeysel hataların tespiti için; görsel muayene, manyetik parçacık testi, sıvı penetrant testi kullanılmaktadır. Hacimsel hataların tespiti için de ultrasonik muayene yöntemi kullanılmaktadır. Yüzeysel ve hacimsel hatalar kontrol edilerek daha fazla artık gerilme oluşmadığı tespit edilebilmektedir. Tahribatlı muayene yöntemleriyle de test edilerek mekanik özelliklerdeki değişim tespit edilebilmektedir. Böylece deneylerin sonuçları kıyaslanarak artık gerilmenin etkisi belirlenmektedir.

## 2. Malzeme ve Metot

Deneyisel çalışmada; S355J2N kalitesinde yapı çeliği kullanılarak mekanik özellikler belirlenmiştir. Bu mekanik özellikler; uzama yüzdesi, akma mukavemeti, kopma mukavemeti, çentik darbe kuvvetidir. Belirtilen bu mekanik özelliklerin yanı sıra çentik tipi, kesit alanı, test sıcaklığı gibi parametrik değerlere de dikkat edilmiştir.

Numune; EN 15613 ve EN 15614-1 standartlarına uygun olarak, 6x150x350 mm boyutlarında S355J2N yapı çeliği plakalara kaynak ağzı açılarak hazırlanmıştır. Şekil 1'de bu plakalar görülmektedir.



Şekil 1. Hazırlanan numune

Standartlara ve malzeme kalitesine uygun olarak seçilen kaynak parametreleri uygulanmıştır.

Akma mukavemeti ve çekme mukavemetine Tablo 1'de, çentik darbe kuvvetine ise Tablo 2'de yer verilmiştir.

Tablo 1. S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları

Numune No	Numune kesit alanı	Lo	Rp%0.2 [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	Uzama [A%]
1	150,00 mm <sup>2</sup> t:6 mm	80	489	607	28

Tablo 2. S355J2N yapı çeliğinin çentik darbe deneyi sonuçları

Numune No	Çentik Tipi	Sıcaklık	Sonuç [Joule ]	Sonuç [Joule ]	Sonuç [Joule ]
1	ISO V 10x10 x55 mm (1 takım)	-20 °C	67	73	71

Yanma hızı dakikada 7 metre olarak sabit tutulmuştur. Bu değerler kayıt altında tutularak numune hazırlanmıştır. Tablo 3'de parametre değerleri görülmektedir.

Tablo 3. Kaynak parametreleri

Bölge Adı	Tel Çapı mm	Akım	Gerilim	Akım	Kaynak Hızı cm/dk	Isı Girdisi kJ/mm
Kök	1.2	200-280	21-32	DC+	20	1,26-2,6
Sıcak	1.2	200-280	21-32	DC+	15	1,68-2,6
Dolgu	1.2	200-280	21-32	DC+	15	1,68-2,6
Kep	1.2	200-280	21-32	DC+	20	1,26-2,6

Kaynak uygulamasından sonra numune görsel olarak kontrol edilmiştir. Şekil 2'de kaynak uygulaması tamamlanmış numune görülmektedir.



Şekil 2. Uygun kaynak parametreleri ile kaynak uygulaması tamamlanmış numune

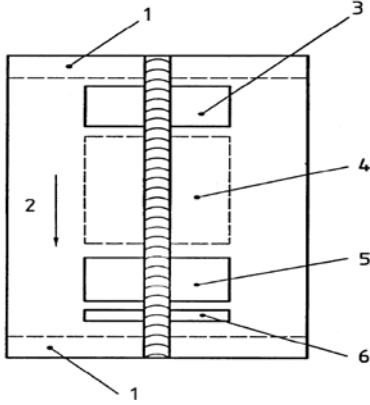
Kaynak uygulaması tamamlandıktan sonra tahribatsız muayene uygulanmıştır. Uygulanan muayene yöntemleri; görsel muayene manyetik parçacık testi, sıvı penetrant testi, ultrasonik muayenedir.

Standartlar referans alınarak tüm tahribatsız muayene gereklilikleri yerine getirilmiştir. Şekil 3'te tahribatsız muayene uygulanmış numune görülmektedir.



Şekil 3. Vt, Mt, Pt, Ut uygulanmış numune.

Kaynak uygulamasından sonra malzemeye uygulanan tahribatsız muayenenin ardından, EN ISO 15614-1 standardına göre malzemeden deney numuneleri çıkarılmıştır. Numune çıkarılan bölgeler şekil 4'te gösterilmiştir. 1. bölge hurda, 2. bölge kaynak yönüdür. 3. bölgeden; çekme deney numuneleri ile 1 eğme deney numunesi, 4. bölgeden; gerektiğinde vurma numunesi ile ilâve deney numuneleri, 5 bölgeden; çekme-eğme deney numuneleri, çıkarılmıştır. Bu numunelere ilaveten sertlik deney numunesi hazırlanmıştır. Numune çıkarılan bölgeler şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Tahribatlı muayene numunelerinin çıkarıldığı bölgeler

Şekil 5'te hazırlanan numuneler gösterilmektedir. Çekme, eğme, çentik darbe ve sertlik deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Deney öncesi hazırlanan numuneler

### 3. Deneysel Sonuçları ve Bulgular

Kaynaklı numuneler için; Tablo 4'te çekme deneyi sonuçları görülmektedir.

Tablo 4. S355J2N çeliğinde kaynak sonrası çekme deneyi sonuçları

Numune No	Numune kesit alanı	Lo	Uzama [% A]	Rp%0.2 [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]
2	150,00 mm <sup>2</sup> t:6mm	75,00	25,60	433	555
3	150,00 mm <sup>2</sup> t:6mm	75,00	23,33	441	574

Kaynak sonrası eğme deneyi sonuçları Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5. S355J2N çeliğinde kaynak sonrası eğme deneyi sonuçları

Numune No	Mesnetler Arası Mesafe	Mandrel Çapı	Eğme Açısı	Sonuç
Numune 6 Yüz Eğme	39	24	180°	Uygun
Numune 7 Yüz Eğme	39	24	180°	Uygun
Numune 8 Kök Eğme	39	24	180°	Uygun
Numune 9 Kök Eğme	39	24	180°	Uygun

Tablo 6'da çentik darbe deneyi sonuçları görülmektedir.

Tablo 6. S355j2N yapı çeliğinde kaynak sonrası çentik darbe deneyi sonuçları

Numune No	Çentik Tipi	Sıcaklık	Sonuç [Joule]	Sonuç [Joule]	Sonuç [Joule]
4	V (Kaynak bölgesi)	-20 °C	77,63	71,48	76,31
5	V (Haz Bölgesi)	-20 °C	68,19	71,48	64,36

Tahribatlı muayene sonuçlarını desteklemek için HV10 sertlik

testi de yapılmış, sonuçları Tablo 7’de görülmektedir.

**Tablo 7.** S355J2N yapı çeliğinde kaynak sonrası HV10 sertlik deneyi sonuçları

Ölçüm Alanı Adı	1.	2.	3.	4.	5.	Sonuç
Malzeme	141	147	145	148	150	146,89
	148	150	147	148		
ITAB	166	164	168	162	165	165
	162	161	164	166	162	
	165	169	167	168	166	
Kaynak	155	158	159	158	152	156,89
	153	159	160	158		
ITAB	166	164	162	160	164	164,27
	169	162	166	162	159	
	166	164	165	167	168	
Malzeme	148	146	142	145	149	147,44
	150	152	148	147		

#### 4. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1) Kaynak uygulamasından önce malzemenin Tablo 1’de verilen kopma mukavemeti 607 N/mm<sup>2</sup> iken, kaynak uygulamasından sonra Tablo 4’te verilen bu değer her iki numune için sırasıyla; 555 N/mm<sup>2</sup> ve 574 N/mm<sup>2</sup> değerlerine düşmüştür. Bu durum kaynak uygulaması sonrası oluşan artık gerilmelerden dolayı malzemenin gevrekliğinin arttığını göstermektedir.

2) Kaynak uygulamasından önce V çentik darbe deneyi için Tablo 2’de verilen değerler, 1 takım numune için sırasıyla; 73 joule, 71 joule, 67 joule olarak belirlenmiştir. Kaynak uygulamasından sonra, malzemede kaynak dikişine en yakın bölge olan ITAB bölgesinde, 1 takım numune için Tablo 6’da verilen değerler sırasıyla; 68,19 joule, 71,48 joule, 64,36 joule şeklinde elde edilmiş olup değerlerde düşüş tespit edilmiştir. Bu durum dikiş bölgesinde bu sonuçların biraz daha düşük çıkacağını göstermektedir. Artık gerilmelerin sertlik değerlerinde azalmaya da sebep olduğu görülmüştür.

3) Kaynak uygulamasından önce Tablo 1’de verilen uzama değeri %28 değerinden, kaynak uygulamasından sonra Tablo

4’te de görüldüğü gibi %23 ve %25 değerlerine gerilemiştir. Bu durum; oluşan artık gerilmelerin etkisiyle malzemenin sünekliğinin düştüğünü göstermektedir.

Kaynak uygulaması sonrası oluşan artık gerilmelerin, mukavemet değerlerinde oluşturduğu değişim, malzemenin mukavemetinin azaldığını göstermiştir. Malzemenin kopmaya karşı direncini kaybettiği ve daha gevrek bir hal aldığı saptanmıştır. Aynı zamanda malzemenin sertliği düşmüştür.

Bu çalışma; kaynak sonrası gerilme giderme tavlamaının gerekliliğini araştıran araştırmacılara, WPS ve PQR çalışması yapan mühendislere ve sektör çalışanlarına referans olabilecek niteliktedir.

#### Kısaltmalar

<b>A</b>	Uzama
<b>DC+</b>	Doğru Akım
<b>EN</b>	Avrupa Standartları
<b>HV10</b>	Vickers Sertliği
<b>ISO</b>	Uluslararası Standart Organizasyonu
<b>ITAB</b>	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
<b>KV</b>	V Çentik Tipi
<b>Lo</b>	Başlangıç Boyu
<b>MAG</b>	Metal Aktif Gaz Kaynağı
<b>Mt</b>	Manyetik Parçacık Testi
<b>Pt</b>	Penetrant Sıvı Testi
<b>PQR</b>	Prosedür Yeterlilik Belgesi
<b>Rm</b>	Kopma Mukavemeti
<b>Rp</b>	Akma Mukavemeti
<b>Ut</b>	Ultrasonik Muayene
<b>Vt</b>	Görsel Muayene
<b>WPS</b>	Kaynak Prosedürü Şartnamesi

#### Kaynaklar

- [1] Kaleli T., Yelbay İ. (2017). Kaynak İşlemi Nedeniyle Oluşan Kalıntı Gerilmelerin Mikro-Manyetik Teknikle Tahribatsız Olarak Ölçülmesi, X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Ankara Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara.
- [2] Anonim (2010).TS 5415, Tahribatsız muayene metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [3] Anonim (2012).TS 7481, Tahribatsız muayene, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [4] Anonim (2012).TS ISO 3057, Tahribatsız muayene, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] Anonim (2007). TS ISO 15614-1, Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması, Kaynak prosedürü deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [6] Ozkan E. (2018). Kaynak Sonrası Oluşan Gerilmelerin Tahribatlı ve Tahribatsız Muayene Yöntemleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Seminer Çalışması, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- [7] Tekiz Y. (1984). Tahribatsız Deneyler, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.