

Farklı Alaşımdaki Çeliklerin Kaynaklı Birleştirilmesinde Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

Bünyamin Çiçek*, Şenol Liman⁺

*Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Çorum, Türkiye
cicekbunyamin78@gmail.com

⁺Efor Endüstriyel Tesisler Montaj, İmalat ve İnşaat A.Ş.
Ankara, Türkiye
senolliman@eforendustriyel.com.tr

Özet- Gelişen sanayi ile çelik ağırlıklı endüstriyel yapılarda farklı alaşımlardaki çeliklerin birbiri ile kaynağı vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Farklı özelliklerde çeliklerin kullanılması gereken alanlarda kullanılması ve aynı çalışma bölgelerinde diğer kalitedeki çeliklerle kaynaklanması çok önemli bir süreçtir. Çalışmamızda sürünme direnci yüksek olan Cr-Mo (13CrMo4-5) serisi bir çelik ile düşük karbonlu çelik (Q345B) malzeme birbiri ile kaynak edilmiştir. Kaynak işlemi elektrik ark kaynağı ile sertifikalı kaynakçılar tarafından gerçekleştirilmiştir. Kaynak sonrası numunelere standartlara uygun olarak çekme, eğme, sertlik, darbe çentik testleri ile makro yapı incelemesi yapılmıştır. Sonuç olarak test sonuçları standart şartlarını karşılamış ve kaynak geçerli sayılmıştır.

Anahtar kelimeler: Cr-Mo çeliği, farklı alaşım, kaynak, mekanik özellik.

Abstract— With the developing industry, welding of steels with different alloys in steel weighted industrial structures has become an indispensable element. It is a very important process to use steel with different properties and weld with other quality steels in other working areas. Cr-Mo (13CrMo4-5) series steel and low carbon steel (Q345B) material weld together. The welding process perform by certified welders with electric arc welding. Tensile, bending, hardness, impact notch tests and macro structure analysis perform to the samples after welding. As a result, the test results met the standard requirements and the welding process consider valid.

Keywords: Cr-Mo steel, dissimilar alloy, mechanical properties, weld.

I. GİRİŞ

Gelişen sanayinin her aşamasında finans kaynakları vazgeçilmez bir unsurdur. Bu amaçla her aşamada gerektiği kadar malzeme kullanılması ve çalışma şartları değiştiğinde kalitenin de değişmesi gerekmektedir. Buradan yola çıkarak çelik sektöründe de farklı çalışma ortamlarına sahip malzemelerin farklı ortamlarda kullanılması durumlarında birbirleriyle birleştirilmesi çok önemli bir süreçtir [1-4]. En basit ve hızlı birleştirme yöntemi olarak kaynak; bu durumlarda çok daha önem arz etmektedir. Farklı alaşımlara sahip farklı

kalitedeki çeliklerin kaynaklanmasında uzman personellerin yer alması ve sonucunda ilgili standartlara göre kaynak metalinin değerlendirilmesi gerekmektedir [2, 5, 6].

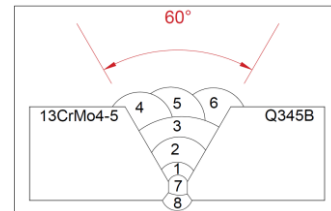
Çalışmamızda bu bilgiler çerçevesinde sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde kullanılan sürünme direnci yüksek bir çelik ile sıcaklık seviyesinin düştüğü bir bölgede kullanılan bir düşük karbonlu çeliğin kaynağı incelenmiştir [2, 6-9].

Çalışmamızda termik santral kazan duvarlarında yaklaşık 350 °C çalışma sıcaklığında kullanılan 13CrMo4-5 kalite bir çelik ile kazan duvarı dışında soğuk suyun aktarma yapıldığı bölgede kullanılan Q345B kalite bir düşük karbonlu çelik kaynak edilmiştir [5, 10, 11].

Kaynaklı malzemelerden çıkarılan numunelerin çekme, eğme, darbe çentik, sertlik testleri ile makro incelenmesi sonucunda kaynaklı birleştirmenin ilgili kaynak yöntem şartnamesi standardına göre geçerliliği incelenmiştir.

II. MALZEME VE YÖNTEMLER

Kaynak malzemesi olarak 10 mm kalınlıkta 13CrMo4-5 ve Q345B kalite plakalar üretim sertifikaları ile temin edilmiştir. Kaynak plakaları 150mm x 300mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Malzemelere kaynak ağız açma merdaneleri ile kaynak boşluğu 60° açı yapacak şekilde kaynak ağızı açılmıştır. Kaynak ağızı detayı ve planlanan paso sıralaması Şekil 1'de verilmiştir. Kaynak öncesi temizlikleri tamamlanan malzemeler Elektrik Ark Kaynağı yöntemine göre sertifikalı kaynakçılar tarafından E8018-B2 (CrMo1) ilave metali ile kaynak edilmiştir. Malzemelerin ve ilave metalin kimyasal analizleri Tablo 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Kaynak ağızı detayı ve planlanan paso sıralaması

Kaynak sırasında her paso öncesinde bir önceki paso yüzeyi el taşlama aparatları ile temizlenmiş ve pasolar arası geçiş sıcaklığı 150C-200C seviyelerinde tutulmuştur. Malzemelere ön ısıtma ve son ısıtma uygulanmamıştır. Kaynak ağızı tarafında tamamlanan pasolar sonrasında arkadan oyma işlemi ile 2 paso daha kaynak yapılmış ve tam penetrasyon sağlanmıştır (Şekil 1).

Tablo 1. Kaynak sırasında kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri

Ağırlıkça %	13CrMo4-5	Q345B	E8018-B2
C	0,120	0,170	0,063
Si	0,250	0,250	0,410
Mn	0,460	1,520	0,710
P	0,010	0,015	0,015
S	0,002	0,003	0,011
Cu	0,030	0,100	0,083
Ni	0,040	0,200	0,045
Cr	0,920	0,600	1,116
Nb	0,003	0,001	-
Mo	0,470	0,003	0,517
V	0,010	0,001	0,009
Ti	0,002	0,014	-

ASME QW-405 standart detayında verilen 3G pozisyonunda gerçekleştirilen kaynak işleminde aşağıda yukarıya bir kaynak yönü izlenmiştir. Kaynak sırasında uygulanan parametreler Tablo 2’de verilmiştir. Parametre değerlerine göre hesaplanan ısı girdisi miktarları da Tablo 2’de hesaplanmıştır.

Tablo 2. Ortalama kaynak uygulama parametreleri ve ısı girdisi

Paso	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/d) (S)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	70	20	39	1,723
2	85	22	40	2,244
3	90	22	42	2,263
4-5-6	90	22	60	1,584
7	95	22	55	1,824
8	90	22	70	1,358

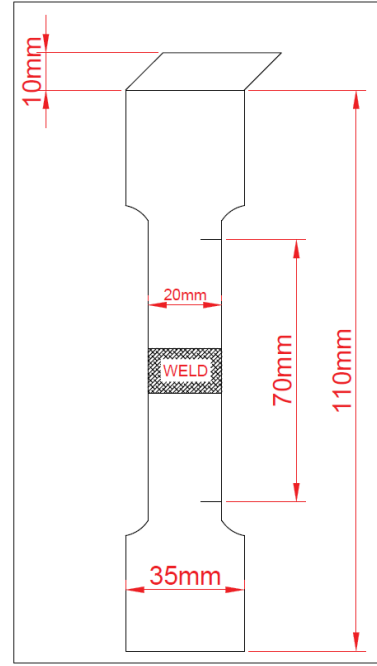
Isı Girdisi = $(0.8 \times A \times V) / (S)$ (EN ISO 1011-1)

Kaynak sonrasında son temizlik işlemleri yapılan malzemeler tahribatsız muayene yöntemleri ile incelenmiş ve başarılı olan numuneler mekanik test aşamasına alınmıştır.

Kaynaklı malzemelerin mekanik yönden incelenmesi sırasında çekme, eğme, darbe çentik ve sertlik testleri uygulanmış ve paso haritasını incelemek adına makro görüntü analizi yapılmıştır.

2.1. Çekme Testi

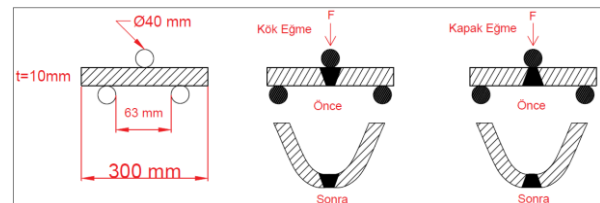
Hazırlanan kaynaklı numunelerden talaşlı imalat yöntemleri ile Şekil 2’de verilen çekme numunesi hazırlanmıştır. Enine çekme testi ASME Sec. IX standartına göre oda sıcaklığında ve Instron marka test cihazında 5mm/dk hızda uygulanmıştır.



Şekil 2. Çekme numunesi ölçüleri

2.2. Eğme Testi

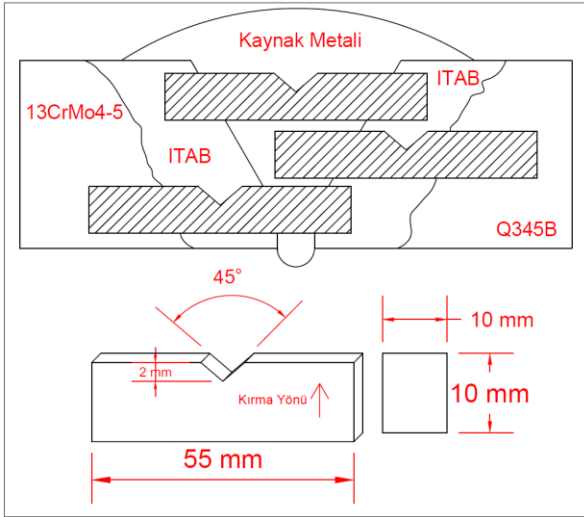
Kaynaklı numunelerin eğme mukavemetlerini gözlemek adına ASME Sec. IX standardına göre eğme testi uygulanmıştır. Talaşlı imalat yöntemleri ile hazırlanan numunelere Instron marka çekme cihazının eğme modülünde hem kapak hem de kök eğme testi uygulanmıştır. Eğme testi parametreleri ile test uygulama görselleri Şekil 3’te verilmiştir. Oda sıcaklığında ve 180° büküm ile “U” tipinde uygulanan testler sonrasında tahribatsız muayene yöntemleri ile yüzey çatlak analizi yapılmıştır.



Şekil 3. Eğme numunesi ve eğme deneyi detayları

2.3. Darbe Çentik Testi

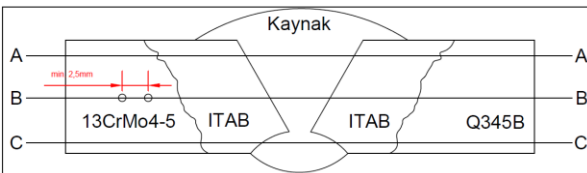
Kaynak bölgesinin darbe enerji seviyesini belirlemek adına uygulanan test yönteminde Charpy tipi deney seti kullanılmıştır. Numune sıcaklığı 0C olacak şekilde 300J anma değerinde Instron marka cihazda gerçekleştirilen testte EN ISO 9016 standardı detayları kullanılmıştır. Farklı alaşımların her ikisindeki ısı tesiri altındaki bölgeden (ITAB) ve kaynak metalinden numune hazırlanmıştır. Her bölgeden en az 3 numune deneye tabi tutulmuş ve aritmetik ortalamalı değerler hesaplanmıştır. Numune ölçüleri ve numune alım noktaları Şekil 4'te detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Darbe çentik numunesi bölgeleri ve numune ölçüleri

2.4. Sertlik Testi

EN ISO 9015-1 standardına göre uygulanan sertlik testi numuneleri kaynaklı bölgeyi yan taraftan görecektir şekilde hazırlanmıştır. Kaynaklı bölgede ortaya çıkan ITAB ve kaynak metalini bölgelerini görebilmek adına yapı %5 Nital dağlayıcı ile dağlanmıştır. İlk pasonun geçtiği hat, kapak hattı ve kök hattı olmak üzere 3 hat üzerinden Vickers yöntemi ile alınan sertlik değerleri oda sıcaklığında ve 10 kg yük altında gerçekleştirilmiştir. Sertlik değeri alım hatları Şekil 5'te gösterilmiştir. Q-ness marka cihazda uygulanan test yönteminde her bölgeden en az 3 ölçüm alınmıştır. ITAB-kaynak metalini sınırı olan erime bölgesinden ek olarak fazla ölçüm alınmıştır.



Şekil 5. Sertlik testi için ölçüm hatları

2.5. Makro Yapı İncelemesi

Kaynak sonrasında numunelere kaynak metalini ve ITAB bölgelerinde oluşan bölgesel geçişleri ve tam penetrasyon yapısını görmek adına makro inceleme yapılmıştır. Malzemelerin yan tarafından çıkarılan numuneler klasik metalografi yöntemleri ile hazırlanmış ve %5 Nital reaktifi ile dağlanmıştır. Elde edilen görüntü üzerinden kaynak metalini ve ITAB bölgeleri izlenmiştir. Görüntüler yüksek açılı makro inceleme mikroskobunda alınmıştır.

Malzemeler kaynak öncesi, kaynak sırası ve kaynak sonrasında uzman personeller tarafından takip edilmiştir. Uygulanan tüm mekanik testler sonucunda elde edilen verilerle farklı alaşıma sahip malzemelerin kaynak edilebilirliği tartışılmıştır.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kaynaklı malzemelerin birleştirme sonucunda ilgili standartlara göre mekanik testleri yapılmış ve raporlanmıştır.

3.1. Çekme Testi

Çekme testi sonucunda elde edilen veriler Tablo 3'te verilmiştir. Maksimum çekme mukavemeti sonucunda kopma 13CrMo4-5 tarafından ve ITAB bölgesinden gerçekleşmiştir. Kırılma yüzeyinde herhangi bir süreksizlik gözlenmemiştir.

Tablo 3. Çekme testi detayları ve sonuçları

Numune	Boyutlar (mm)	Yük (N)	Çekme Dayanımı (Rm) (N/mm ²)	% uzama
1	9,36x18,53	94500	545	18,9
2	9,41x18,61	95000	543	18,9

Çekme mukavemeti 13CrMo4-5 malzemesi tarafından gerçekleştiği için bu malzemenin sertifika değerlerine yakın değerler göstermiştir. Ancak % uzama verilerine göre sertifika değerleri % 30-32 seviyelerinde iken kaynak sonrasında % 18-19 seviyelerine düşmüştür. Bunun sebebinin ITAB bölgesinde meydana gelen faz değişikliklerinden oluştuğu söylenebilir. Kaynak esnasında yüksek ısıya maruz kalan kaynak metalini ITAB bölgesini de ısıtmakta ve bu bölgenin daha gevrek bir yapı göstermesine sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra standart gerekliliklerine göre; çekme mukavemeti kopma gerçekleşen malzemenin çekme mukavemetini karşıladığı için kaynak geçerli sayılmaktadır [9, 12-14].

3.2. Eğme Testi

Kaynak metalinin hem kapak ve hem de kök tarafına uygulanan test yönteminde her iki versiyondan da 2 test yapılmış ve test sonrası bükülen bölgelere uzman personel tarafından uygulanan sıvı penetrasyon testinde çatlak başlangıcına rastlanmamıştır. "U" tipine kadar 180° büküm yapılmasına karşın her iki versiyonda da yüzey deformasyonu

oluşmamıştır. EN ISO 15614 standardına göre “Kaynak Yöntem Şartnamesi” (PQR) gerekliliklerini taşıyan bir kaynaklı malzeme elde edilmiştir [2, 6].

3.3. Darbe Çentik Testi

Kaynaklı malzemede her iki taraftaki ITAB bölgelerine ve kaynak metaline uygulanan test sonucunda elde edilen veriler Tablo 4’te verilmiştir.

Darbe çentik testi sonuçlarına göre kaynak metalini ortalama olarak 55 J kırılma enerjisi göstermiştir. 13CrMo4-5 malzemesi ITAB bölgesinden alınan numunelerde ise ortalama kırılma enerjisi değeri 192 J seviyelerindedir. Q345B malzemesi ITAB tarafından hazırlanan numuneler ise ortalama 37 J kırılma enerjisi değeri elde edilmiştir. Malzemelerin sertifika değerleri göz önünde bulundurularak ITAB bölgesi değerleri ile karşılaştırıldığında Q345B malzemesi için yaklaşık %45 kırılma enerjisi azalması gözlemlenirken 13CrMo4-5 malzemesinde ise sertifika değerine göre %15 artış görülmüştür. Q345B malzemesinde kaynak sonrasında ısı tesiri ile ilk malzemeye göre gevrek bir yapı oluştuğu ortaya çıkmıştır. 13CrMo4-5 malzemesinde ise malzemenin yüksek sıcaklıkta sürünme direnci özelliği de düşünüldüğünde malzemenin ısı tesiri altında daha sünek bir yapı gösterdiği sonucunda ulaşılmıştır [5, 13, 15].

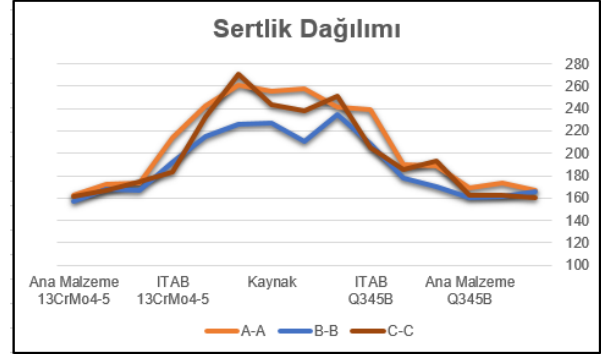
Tablo 4. Darbe çentik testi için numune deney noktaları ve sonuçları

Test No	Malzeme	Çentik Noktası	Kırılma Enerjisi (Joule)
1	13CrMo4-5	ITAB	236,03
2			170,87
3			169,27
4	Kaynak		60,20
5			51,83
6			54,65
7	Q345B	ITAB	38,10
8			36,55
9			36,93

Düşük karbonlu çelik sınıfına giren Q345B alaşımı için sıcaklık karşısında yapının gevrek bir forma bürünmesi zaten beklenen bir sonuçtur. Yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan sürünme direnci yüksek bir malzeme olan 13CrMo4-5 malzemesi içinde kırılma enerjisinin artışı beklenen ve bilinen bir sonuçtur. Ek olarak standart gerekliliklerinde yer alan en az 27 J değeri bütün bölgeler için karşılanmış ve kaynak işlemi başarılı sayılmıştır [5, 13, 15].

3.4. Sertlik Testi

10 mm kalınlıktaki malzemelere uygulanan kaynak işlemi sonrasında ısı işlem uygulanmamıştır. 3 farklı hat üzerinden elde edilen sertlik testi sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde kaynak metalini ile ITAB bölgeleri arasında sertlik değerinin ani bir azalma ve yükselme durumlarını incelemek için yapılan test yönteminde ulaşılan sonuçlar grafik olarak Şekil 6’da verilmiştir.

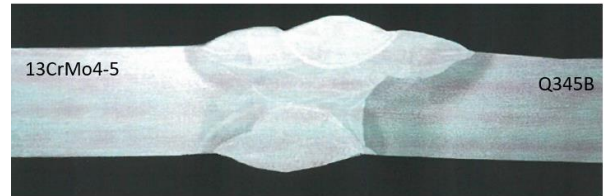


Şekil 6. Sertlik testi sonuçları

Sertlik sonuçlarından yola çıkarak hem ITAB bölgelerinde hem de kaynak metalinde ani azalma veya yükselme gözlemlenmemiştir. Isı miktarının artışına göre sertlik artmış ve EN ISO 15614 standardı gereği herhangi bir bölgede en yüksek 350 HV değeri aşılmamıştır. Bu veri ile de kaynak işlemi geçerlidir [8, 11, 14].

3.5. Makro Yapı İncelemesi

Kaynaklı malzemelerin kaynak sonrasında hem paso geçişlerini hem de nüfuziyet durumunu incelemek adına yapılan testte elde edilen görüntü Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Makro inceleme görüntüsü

Görüntü incelendiğinde paso sırasına uygun olarak pasolar görülmekte ve kaynak metalini ile ITAB geçişleri gözlemlenmektedir. Nüfuziyet tam penetrasyonla gerçekleşmiş olup herhangi bir harici yapıya ve boşluğa rastlanmamıştır.

IV. SONUÇLAR

Farklı alaşımların elektrik ark kaynağı ile kaynaklanması ile mekanik değerlerin ve bölgesel incelemelerin sonucunda aşağıdaki özet sonuç bilgilerine ulaşılmıştır.

- 1- Farklı aşımılara sahip çeliklerin elektrik ark kaynağı ile kaynak edilmesi sonucunda PQR kurallarına uygun bir kaynaklı birleştirme elde edilmiştir.
- 2- Mekanik testler sonucunda elde edilen verilerle PQR gerekliliklerini karşılayan bir kaynaklı malzeme elde edilmiştir.
- 3- Uygulanan makro inceleme ile paso haritası ve tam nüfuziyet sağlandığı görülmüştür.
- 4- Uygulanan bu kaynaklı birleştirme ile 13CrMo4-5 ve Q345B malzemelerinin elektrik ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebileceği tespit edilmiştir.

REFERANSLAR

- [1] (JWS), J.W.S. Calculation software of welding. 2011 27.11.2020]; Available from: http://www-it.jwes.or.jp/weld_simulator/en/call.jsp.
- [2] Lancaster, J.F., Metallurgy of welding. 1999: Elsevier.
- [3] Omar, A., *Parameters on Hard Zone Dissimilar Metal Welds*. Welding Journal, 1998. vol. 1998: pp. 86-93.
- [4] Soysal, T., et al., *Macroseggregation in dissimilar-metal fusion welding*. Acta Materialia, 2016. vol. 110: pp. 149-160.
- [5] Han, Q., et al., *Fatigue behaviour of G20Mn5QT cast steel and butt welds with Q345B steel*. International Journal of Steel Structures, 2016. vol. 16(1): pp. 139-149.
- [6] Hu, X., et al., *High-Cycle Fatigue Properties and Damage Mechanism of Q345B Structural Steel*. Strength of Materials, 2017. vol. 49(1): pp. 67-74.
- [7] Bhaduri, A.K., et al., *Evaluation of repair welding procedures for 2.25 Cr-1Mo and 9Cr-1Mo steel welds*. Science and technology of welding and joining, 2001. vol. 6(2): pp. 89-93.
- [8] Turnbull, A. and A. Griffiths, *Corrosion and cracking of weldable 13 wt-% Cr martensitic stainless steels for application in the oil and gas industry*. Corrosion engineering, science and technology, 2003. vol. 38(1): pp. 21-50.
- [9] Winterton, K., *Weldability prediction from steel composition to avoid heat-affected zone cracking*. Welding Journal, 1961. vol. 40(6): pp. 253-258.
- [10] Kirbas, C., et al. Post-weld heat treatment applied in examining the mechanical properties of 13CrMo4-5 and X10CrMoVNb9-1 grade steel. in International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'16), April 6-8, 2016, Nevsehir, Turkey. 2016.
- [11] You, X., et al., "Low cycle fatigue behaviour and life prediction of Q345B steel and its welded joint". Materials Research Innovations, 2015. vol. 19(sup5): pp. S5-1299-S5-1303.
- [12] Pandey, C., et al., "Homogenization of P91 weldments using varying normalizing and tempering treatment". Materials Science and Engineering: A, 2018. vol. 710: pp. 86-101.
- [13] Pandey, C., et al., "Comparative study of autogenous tungsten inert gas welding and tungsten arc welding with filler wire for dissimilar P91 and P92 steel weld joint". Materials Science and Engineering: A, 2018. vol. 712: pp. 720-737.
- [14] Sopoušek, J., R. Foret, and V. Jan, "Simulation of dissimilar weld joints of steel P91". Science and Technology of Welding and Joining, 2004. vol. 9(1): pp. 59-64.
- [15] Silwal, B., et al., "Effect of postweld heat treatment on the toughness of heat-affected zone for grade 91 steel". welding Journal, 2013. vol. 92(3): pp. 80S-87S.