



Alimünotermit Kaynağıyla Birleştirilmiş, Mantarı Sertleştirilmiş “R350HT” Rayın Boyuna Sertlik Taramasının İncelenmesi

Adem ARI¹, Bilge DEMİR², Atila KESKİN³

¹TCDD Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürlüğü, Araç Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye
²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye
³TCDD Datem İşletme Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

*demaria06@hotmail.com

(Alınış/Received: 11.05.2023, Kabul/Accepted: 26.05.2023, Yayımlama/Published: 31.07.2023)

Öz: Günümüzde ray ömrünü uzatan sıcak hadde sonrası kontrollü ve hızlı soğutmayla ray mantar sertleşmesi sağlanarak önemli ekonomik kazançlar elde edilmektedir. Ray kaynak metodlarından Aluminotermit kaynağı saha birleştirme yöntemi olarak günümüzde de önemini devam ettirmektedir. Kaliteli bir termit kaynağı yapmak için termit alaşımının sıkı denetimi ve ateşlemeden sıvı çeliğin hazneye dolmasına kadar geçen kademelerin kontrollü bir şekilde yapılması gerekir. Bütün bu ön koşullar tavsiye edildiği şekilde yerine getirilmiş olsa bile ve hatta mikro hatalar da olmasa, yine de kaynağın mekanik özellikleri rayın kendi özelliklerinden düşük kalır. Ray termit kaynağı, basitliği, taşınabilirliği ve ekonomisi nedeniyle demiryolu endüstrisi için değerli bir kaynak teknolojisidir. Bununla birlikte özellikle termal işlem ile üretilen R350HT mantarı sertleştirilmiş rayların birleştirmesinde yüksek ısı, kaynağın ulaştığı maksimum sıcaklık derecesine, bu sıcaklıkta kalma süresine ve soğuma hızına bağlı olarak kritik dönüşümlere sebep olabilmekte ve bunlar ray ömür ve performansını oldukça etkilemektedir. Bundan dolayı bu çalışmada R350HT mantarı sertleştirilmiş rayın Aluminotermit kaynaklı birleştirmeden kaynaklanan sertlik yapısının kaynak parametrelerine bağlı olarak değişimi ve gelişimi incelenmiş ayrıca ilgili uluslararası standartlara uygunluğu ve avantajları araştırılmıştır. Bu makale, esas olarak ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) olmak üzere, kaynaklı ray bağlantılarının sertlik değişimini etkileyen faktörler açısından incelemeyi amaçlamıştır. Deneysel çalışmalar da R350HT mantarı sertleştirilmiş ray numuneleri 120 cm uzunluğunda kesilerek hazırlanmış ve bu numunelere sow-5 yöntemi aluminotermit kaynağı uygulanmıştır. Esas kaynak bölgesiyle ITAB bölgesindeki boyuna sertlik taraması TS EN 14730-1+A1 standardı ile de karşılaştırılarak kritik yapılmıştır. SkV Elite L25 ve Pandrol firmasının PLA yöntemi termit kaynaklarının eğme ve yorulma deneyi sonuçları, standartları karşılamadığı için çalışmalara sow5 yöntemiyle kaynaklanmış ray numuneleriyle devam edilmiştir [7] Deney sonuçlarında sow5 yöntemi termit kaynağının istenilen standartlara en uygun yöntem olduğu bulunmuştur. Deneysel sonuçlar bu çalışmada kullanılan parametrelerle üretilen kaynaklı birleştirmelerin bu standartlara uygunluğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: R350HT, Aluminotermit kaynağı, Mantarı sertleştirilmiş ray, Mikroyapı ve mekanik özellikler

Investigation of Longitudinal Hardness Scan of Aluminothermite Welded Head-Hardened “R350HT” Rail

Abstract: Today, significant economic gains are obtained by providing rail head-hardening with controlled and rapid cooling after hot rolling, which prolongs the rail life. Aluminothermite welding, one of the rail welding methods, continues its importance as a field joining method today. In order to make a quality thermite welding, strict control of thermite alloy and the steps from ignition to filling the liquid steel into the chamber must be carried out in a controlled manner. Even if all these prerequisites are fulfilled as recommended, and even without micro-defects, the mechanical properties of the weld still remain inferior to those of the rail itself. Rail thermite welding is a valuable welding technology for the rail industry due to its simplicity, portability and economy. However, especially in the joining of R350HT head-hardened rails produced by thermal process, high heat can cause critical transformations depending on the maximum temperature reached by the weld, the residence time at this temperature and the cooling

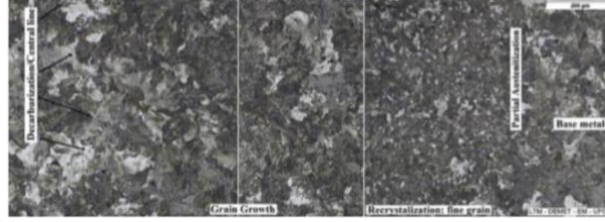
Atıf için/Cite as: A. Arı, B. Demir, A. Keskin, “Alimünotermit kaynağıyla birleştirilmiş, mantarı sertleştirilmiş “R350HT” rayın boyuna sertlik taramasının incelenmesi,” *Demiryolu Mühendisliği*, no. 18, pp. 50-58, July 2023. doi: 10.47072/demiryolu. 1295654

rate, and these affect the rail life and performance. Therefore, in this study, the change and development of the hardness structure of the R350HT head-hardened rail, resulting from the aluminothermite welded joint, depending on the welding parameters, was examined, and its compliance and advantages with the relevant international standards were investigated. This article aimed to examine the factors affecting the hardness variation of welded rail joints, mainly the heat affected zone (ITAB). In experimental studies, R350HT head-hardened rail samples were prepared by cutting 120 cm in length and sow-5 method aluminothermite welding was applied to these samples. The longitudinal hardness scanning of the main weld area and the ITAB area has been made critical by comparing it with the TS EN 14730-1+A1 standard. Since the bending and fatigue test results of PLA method thermite welds of SkV Elite L25 and Pandrol company did not meet the standards, the studies were continued with rail samples welded with the sow5 method [7]. In the test results, it was found that thermite welding with the sow5 method is the most suitable method for the desired standards. Experimental results showed that the welded joints produced with the parameters used in this study comply with these standards.

Keywords: R350HT, Aluminotermit welding, Head-hardened rail, Microstructure and mechanical properties

1. Giriş

Normalde aliymanda ray ömrü 20-25 yıl iken dar çaplı kurbalarda ($R \leq 300m$) bu süre 2-3 yıla kadar inmektedir. Kurbların, tanjanttan başlayarak developmanda, dever verilen dış raylarında ve sürekartman verilen kısımlarında mantarı sertleştirilmiş rayların kullanılması UIC tarafından da tavsiye edilmektedir. Demiryollarının bu kısımlarında, mantarı sertleştirilmiş ray kullanılarak ray ömrü uzatılmış, bakım ve onarım masraflarını azaltmak mümkün olmuştur. Mantarı sertleştirilmiş rayların tamamı yurt dışından temin edilirken günümüzde artık ülkemizde üretimi yapılmaktadır [1,2]. Sertleştirme de ki amaç; rayın servis ömrü süresince aşınmayı azaltmak ve özellikle dar ve orta çaplı kurbalarda rayların tekerlek takımına teması sonucu görülen yuvarlanma temas yorulmasına (RCF) karşı direncini artırmayı amaçlamaktır. Mantar sertleştirilmesi, ray üretim hadde çıkışında hızlı soğutma ile %100 ince perlitik yapının, basınçlı sprey su püskürtme yöntemiyle elde edilmesidir. Bu ince perlitik yapı hadde sonrası 280 Brinell yerine 350 Brinelle kadar yüksek sertlik sağlarken martenzit'de içermeyebilir. Bu şekilde gerilmelerden veya ağ şeklinde sementitten arındırılmıştır. Esasen, pratikte ince perlitik yapı oluşumu, perlitik dönüşüm sabit sıcaklığını elde etmek için; önce hava+su sprey püskürtme yöntemiyle soğutulmuş P_s sıcaklığına, ardından da daha küçük nozullarla sprey püskürtme yöntemi kullanılarak oluşturulan yüksek soğuma hızlarına ve son olarak hava ile elde edilen yavaş soğuma sıralamasıyla elde edilmektedir. Bu işlem ayrıca çeliğin sertliği ve sünekliği (güvenlik) arasındaki dengeyi korumak için, perlitik lamellerin mikroyapı içindeki demir karbür fazının aralıklarının kontrol edilmesi ve hem ferritin hem de fazla sementitin süreklilik gösteren network ağlarının oluşumunu en aza indirmek/yok etmek içinde çok önemlidir [3-4]. Diğer taraftan, muhakkak ki rayların demiryollarına döşenmesi ve birleştirilmesi olağan bir üretim şeklidir. Birleştirerek sahada döşeme işlemi Aluminotermit olarak ifade edilen kaynak yöntemi ile yapılmaktadır. Bu noktada önemli olan konu; Kaynak esnasında oluşan yüksek ısının kaçınılmaz olarak etkileyerek değiştirdiği ray çeliklerinin, perlitik mikro yapısının ve mekanik özelliklerinin kontrol edilme parametrelerinin anlaşılmasının önemidir. Bu noktada metalürjik yapı açısından birçok değerlendirme yapılabilir ve birçok faktörden bahsedilebilir. Örneğin: Isıdan etkilenen bölgede (ITAB) özellikle enine kesitte sert bir nokta bulunabilir ve bu da yorulma kırılmasına yol açar. Azaltılmış sertliğe ve dayanıklılığa sahip kısmi sementit "küreselleşmesi" tarafından oluşturulan daha yumuşak bir "bölge", bakım için önemli bir sorun olan plastik deformasyon noktası olabilir vb. Şekil 1'de kaynak malzemesi ITAB bölgesi ve ana ray malzemesi arasındaki mikro yapı farklılıkları görülmektedir.



Şekil 1. Ray mantarının enine kesitinde, kaynaklı bağlantının yakınında mikro yapı değişiklikleri [5]

Bu varyasyonlar, hizmet koşullarında kaynak hatası riskini artırmada önemli roller oynayabilir. Bütün bunlar için de metallerin özellikleri kimyasal bileşim, mekanik işlemler ve ısıl işlemlerin bir kombinasyonu olarak ifade edilmektedir. Bu üçlemede etkin ve değişerek etkinliğini gösteren faktörlerin en önemlilerinden bir tanesi kaynak sırasında oluşan tavlanmanın sonucu olarak yapı dolayısıyla morfoloji ve özellikleri üzerinde etkin olan önceki östenit tane boyutu (PAG) ve sonrasındaki soğuma rejimidir ki kaynak merkezi ve merkezden uzaklaştıkça ciddi bir sıcaklık gradyanı ve buna bağlı soğuma ortaya çıkar [6].



Şekil 2. Hazırlanan R350HT ray numuneleri [7]

Termit kaynağı (TW), şekil 2’de görüldüğü gibi sürekli kaynaklı (CWR) rayları birleştirmek için kullanılan ana kaynak yöntemlerinden biridir. Bununla birlikte, ana raya göre mikro yapı, mekanik özellikler ve artık gerilim seviyelerindeki farklılıklar nedeniyle kaynaklar hala yol yapısında bir süreksizliği temsil etmektedir. Termit kaynağı temelde bir döküm işlemi olduğundan, kaynağın mikro yapısı dökme metale benzer. İğne taneli Perlitik yapıya sahiptir. Bu, dökümde yapıldığı gibi ısıl işleme iyileştirilebilir. Bu nedenle, tane boyutunun inceltilmesi, tokluk, süneklik ve çekme mukavemeti gibi mekanik özelliklerin geliştirebilmesi için kaynak numuneleri üzerinde kaynak sonrası normalleştirme yapılması gerekmektedir. Normalleştirme, 825 °C’lik bir sıcaklıkta 50 dakika boyunca östenit aralığına kadar yapılır ve ardından numuneler durgun havada soğumaya bırakılmalıdır [8]. Bu çalışmanın amacı termit kaynağı esnasında, perlitik yapıdaki mantarı sertleştirilmiş rayın, mikro yapısal özelliklerinin kritik dönüşümlere sebep olan termal etkinin, makro ve mikro düzeyde ne derece etkili olduğunu araştırıp incelemek şeklinde olmuştur. Bu makale, esas olarak ısıdan etkilenen bölgede (ITAB) olmak üzere, kaynaklı ray bağlantılarını sertlik değişimi açısından incelemeyi amaçlamaktadır. EN13674 standardına göre ray kesitinde sertlik ölçülecek noktalar ve sağlanması gereken değerler şekil 3’te görülmektedir.

		R350HT
RS		350-390
2, 3, 4		340 min
5, 6		331 min
7		321 min
1, 8		340 min

Şekil 3. EN13674’e göre sertlik ölçüm bölgeleri ve ‘R350HT’ için sınır değerler (HV) [9]

Ray boyunca sertlikte meydana gelecek bir dalgalanma, gerilme yığılması ya da kontrolsüz bir iç gerilme gibi problemlere yol açarak mikro çatlakların oluşumunu hızlandıracaktır. Bu durum da özellikle raylarda çok karşımıza çıkan, “rolling contact fatigue” olarak ifade edilen, ray ve teker arasındaki aşınma-yorulma kompleks dinamiğini olumsuz etkileyecektir [10].

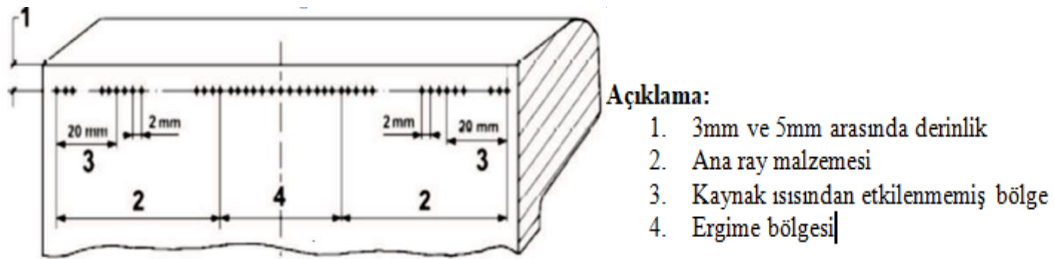
2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada elde edilen kaynaklı bağlantıların ana malzeme kaynak metali, ana malzeme hattında TS EN 6507-1, TS EN 14730-1 Standartlarına göre, HV30 ile ölçülen örnek numunelerin sertlik değerleri boyuna sertlik deney sonuçları şekil 5 ve 6’da çizgi grafik haline dönüştürülmek suretiyle görselleştirilmiştir. Sırasıyla 21 ve 35 Nolu numunelerde sertlik taraması yapılmış ve her bir numunede ortalama 100 noktanın sertlik derecesine bakılmıştır. En düşük sertlik değeri “21” nolu numunede 250 hv ile yeniden kristalleşme bölgesinde, azami sertlik ise 372 hv ile yine “21” Nolu numunede kaba taneli bölgenin başlangıcında görülmüştür. Kırmızıçizgi siyah ana metal çizgisinden ‘x’ değeri kadar aşağıdan oluşturulmuştur. X değerleri R350HT için 25 tir [11].

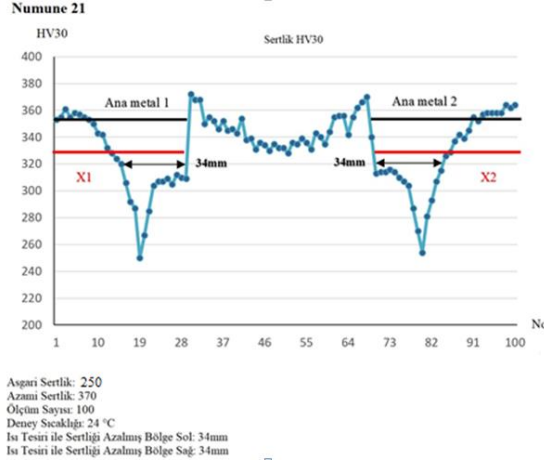
Tablo 1. R350ht rayın kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri [12]

Steel grade		% by mass									10 ⁴ (ppm) by mass max.		Tensile strength R _m min Mpa	Elongation A min %	Hardness of the rail running surface . centre line ^c HBW
Steel name	sample	C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Al max	V max	N max	O ⁴	H ²			
R350HT	Liquid	0,72 to 0,80	0,15 to 0,58	0,70 to 1,20	0,020	0,025	≤0,15	0,004	0,030	0,009	20	2,5			
	Solid	0,70 to 0,82	0,13 to 0,60	0,65 to 1,25	0,025	0,030	≤0,15	0,004	0,030	0,010	20	2,5	1175	9	350 to 390

Boyuna sertlik ölçümü, ısının tesiri ile sertliği azalmış bölgenin sertlik dağılımı TS EN ISO 6507-1’e uygun şekilde vickers yöntemi kullanılarak 30 kg yük altında belirlenmiştir. Sertlik ölçüm izleri şekil 4’te görüldüğü gibi rayın yuvarlanma yüzeyinin boylam ekseninin 3-5 mm altında bir çizgi üzerinde yapılmıştır. Sertlik ölçüm hattı, ısıdan etkilenmemiş ana ray malzemesi sınırını 20 mm geçinceye kadar devam etmiştir. Ölçümler 2 mm aralıklarla yapılmıştır.

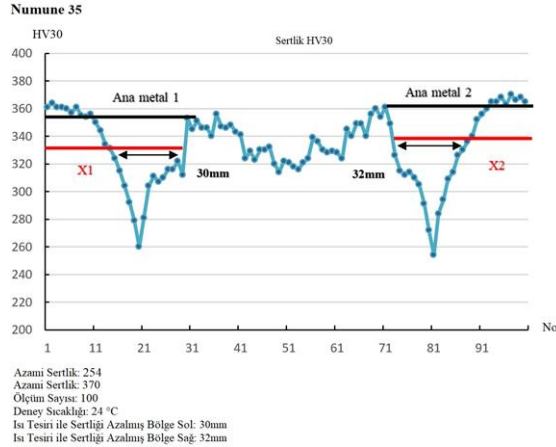


Şekil 4. Boyuna sertlik ölçümü [12]



Şekil 5. Sow-5 yöntemi “21” nolu kaynak bölgesinin nokta grafiği [7]

Termit kaynaklı ray numunesinden ölçülen bütün sertlik değerleri ile şekil 5’te gösterilen sertlik profili oluşturulmuştur. Numunede ısıdan etkilenen bölge sağ ve sol tarafta 34mm olarak ölçülmüştür. Şekilde ki siyah ana metal çizgisi ana rayın ortalama sertlik değeri ile çizilmiştir. Kırmızıçizgi, siyah ana metal çizgisinden 25hv çıkartılarak çizilmiştir. Kırmızıçizginin grafiği kestiği noktalar ITAB bölgesinin genişliğini vermektedir. Isı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) en düşük sertlikler yeniden kristalleşme bölgesi ile kısmi dönüşmüş bölge sınırlarında, sağ tarafta 250hv, sol tarafta ise 254hv’ye kadar düşmüştür. ITAB dan ana metale geçişlerdeki temperlenmiş bölgelerde ise, maruz kalınan ısının etkisiyle 550 °C üzerine çıkmayan A₁ bölgesinin altında kalan kısımlarda yumuşama görülmemiştir [13].



Şekil 6. Sow-5 yöntemi “35” nolu kaynak bölgesinin grafiği [7]

Şekil 6’da görülen 35 nolu numunede ITAB bölgesi sağ tarafta 32 mm, sol tarafta 30 mm olarak ölçülmüştür. 21 nolu parçaya göre ısı tesiri altında kalan bölgenin genişliği 2 mm daha küçüktür. Ölçüm farklılıklarının kalıp yerleştirmedeki eksen kaçıklığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Termit kaynağının soğuma hızı kontrollü yapılamadığı için kritik dönüşümlere sebep olmakta ve ITAB’de sertliği azalmış bölge süre aşımı dikkate alınmadığında makul seviyelerden geniş olmaktadır. Bu istenmeyen bir durumdur. ITAB bölgesinin genişliğinin minimum olması istenmektedir. ITAB bölgesi sertlik değerleri sağ tarafta yeniden kristalleşme bölgesinde 254hv, sol tarafta ise 260hv dir. Ana metalde ise 550 °C’nin altında kalan kısımlarda yumuşama görülmemiştir.

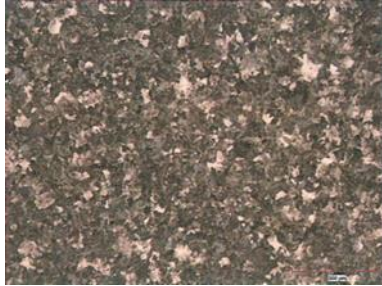
Sertlik profili grafiği üzerinde ortalama sertlik değerine denk gelen bir çizgi çizilir. (çizgi 1) Ana metalden R350HT rayları için 25hv aşağıya bir çizgi çizilerek, X_1 ve X_2 çizgileri elde edilmiştir. “21” nolu parça için ITAB’da sertliği azalan bölge sol ve sağ tarafta 34 mm dir. “35” nolu numunede ise ısı tesiri altında sertliği azalmış bölge sol tarafta 30 mm sağ taraftaysa 32 mm olarak ölçülmüştür. ITAB bölgesinin genişliğini minimum düzeyde tutmak için kaynak sonrası bekleme süresi ve ön ısıtma dereceleri oldukça etkili olmaktadır.



a) 100X Ray mantarı-Kaynaklı Bölge-Perlitik İç yapı-Tane sınırlarında ferritler



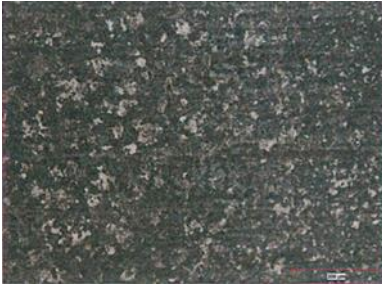
b) 100x Yeniden kristalleşme bölgesi



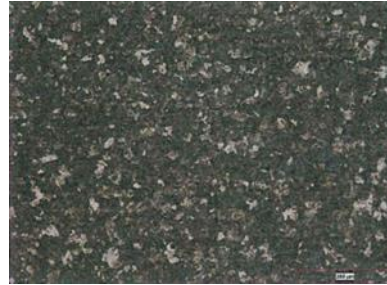
c) 100X Ana metal- perlitik içyapı



d) 100X Ray Tabanı-Kaynaklı Bölge-Ana Yapı-Perlitik Tane Sınırlarında Ferritler



e) 100X Yeniden kristalleşme bölgesi



f) 100X Ana metal-Perlitik iç yapı ve tane büyümesi-perlitik yapı

Şekil 7. 35 nolu numuneye ait mikroyapı görüntüleri [7]

3. Deneysel Çalışma Sonuçları ve Tartışma

Hızlı tren yollarında kullanılan R350HT mantarı sertleştirilmiş rayın alüminotermit kaynağıyla ilgili çalışmalar ülkemizde yeterince yapılmadığı için literatüre katkısı açısından çalışmamız ilk ve özgündür. 21 Nolu numunede ısı tesiri altında kalan bölgede ki sertlik değerlerinin ergimiş bölge ve ray ana malzemesindeki sertlik değerlerine göre daha düşük olduğu grafikten de anlaşılmaktadır. Bunun nedeninin ITAB bölgesine tesir eden ısının ergime ısısından düşük, dönüşümlere yol açmayacak ısıdan (550°C) yüksek olmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. 35 nolu numunede ise kaynak sonrası kaynak metalinde soğuma hızının kontrol edilememesi, karışık bir yapı elde edilmesine yol açmış ve bunun sonucunda sertlik değerleri farklılıkları düzensiz olarak ortaya çıkmıştır. Yine burada da ısı tesiri altında kalan bölgede ki sertlik değerlerinin ergimiş bölge ve ray ana malzemesindeki sertlik değerlerine göre daha düşük olduğu grafikten de anlaşılmaktadır. Bunun nedeninin buraya tesir eden ısının

ergime ısısından düşük, dönüşümlere yol açmayacak ısıdan yüksek olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Termit kaynağının soğuması kontrollü yapılamadığı için kritik dönüşümlere sebep olmakta ve ısı tesiri altında kalan bölgede sertliği azalmış alan geniş olmaktadır. Bu istenmeyen bir durumdur. ITAB bölgesinin genişliğinin minimum olması istenmektedir. Kaynak sonrası kaynak metalinde soğuma hızının kontrol edilememesi, karışık bir yapı elde edilmesine yol açmış ve bunun sonucunda sertlik değerleri farklılıklarındaki artış ve azalış düzensiz olarak ortaya çıkmıştır. Birleştirilen ray parçaları arasındaki ısı farkı ile havanın atmosferik şartları bu durumda etkilidir. Ray yüksek karbonlu çelik olduğundan kaynak işleminde martenzit oluşumu ve buna bağlı sertleşmeye karşı oldukça hassastır. Ancak yapılan ön ısıtma ve reaksiyon sonucu açığa çıkan yüksek ısı nedeniyle martenzit oluşumunu engellemek için yeteri kadar düşük bir soğuma hızı ile elde edilmesi gerçekleştirilmiştir.

4. Genel Değerlendirme

Daha iyi ve doğruya en yakın sonuçları elde etmek için sahada kullanılan rayların termit kaynaklı kısımlarının sertliğinin, belirli bir süre kullanımdan sonra geldiği son durumla ilk durumunu kıyaslamak gerekmektedir.

Bu çalışma ile aşağıdaki önemli yargıların altı çizilmiştir;

1. SOW-5 yöntemiyle yapılan termit kaynağında kaynak bölgesi ve ITAB bölgesi sertlik değerleri istenilen sınırlar dâhilindedir. Daha iyi sonuçların elde edilmesi için normalizasyon işlemine tabi tutulmalıdır. Fakat işletme şartlarında adyabatik ortamı sağlamak için özel düzeneklere ihtiyaç duyulduğu için maliyet artışına ve uzayan zaman dilimlerine neden olacağından bu durum pek mümkün görünmemektedir.

2. Kaynak sırasında yüksek ısı ray metalinde kritik dönüşümlere sebep olmaktadır. ITAB içerisindeki kaba taneli bölgenin varlığı iki önemli sonucu doğurur; birincisi hızlı soğuma şartlarında östenit fazının martenzite dönüşme ihtimali çok yüksektir. Bölge içerisinde martenzit fazı sünekliğin, tokluğun azalmasına ve soğuk çatlama riskinin ortaya çıkmasına neden olacaktır. İkincisi, östenit tane boyutları ne kadar büyürse oda sıcaklığındaki çentik darbe direnci o nispette azalacaktır. Yani tane büyüklüğü çentik darbe direncini negatif yönde etkilemektedir.

3. ITAB içerisindeki ince taneli bölge (yeniden kristalleşen bölge); Çeliklerde, 1100 °C ile A₃ dönüşüm sıcaklığına kadarki sıcaklık aralığında yer alan bölgedir. Bu sıcaklık aralığı, östenitin tane yapısının incelmeye çok elverişlidir. İnce taneli bu bölgenin çentik darbe direnci yüksektir. Fakat östenitin soğuma hızına bağlı olarak martenzite dönüşme riskinin var olduğu gerçeği dikkatlerden kaçırılmamalıdır.

4. Kısmen dönüşmüş ITAB bölgesi; Çeliklerde bu bölge, A₃ veya A_{cm} dönüşüm sıcaklığı ile A₁ dönüşüm sıcaklığı aralığında yer alan bölgedir. Bu sıcaklık aralığında az da olsa östenit fazı mevcuttur. Orta ve yüksek karbonlu çeliklerde, az miktardaki östenit fazı, büyük miktarda çözünmüş karbon elementi içerir. Bu nedenle, östenit fazı, soğuma hızına bağlı olarak martenzite dönüşme eğilimindedir.

5. Temperlenmiş ITAB bölgesi (kritikaltı ITAB); Çeliklerde bu bölge A₁ dönüşüm sıcaklığından 550 °C'ye kadarki temperleme sıcaklık aralığında yer alan bölgedir. Bu bölgedeki çelikte, kaynak ısısı temperleme ısıl işlemi gibi işlem gördüğü için çekme mukavemeti ve sertlik düşüşü meydana gelir. Faz dönüşümü oluşmaz. Çünkü sıcaklık aralığı A₁ dönüşüm sıcaklığının altındadır.

Teşekkür

Bu çalışma, TCDD Demiryolu Teknoloji ve Araştırma Merkezinin (DATEM) katkıları ile yapılmıştır. Bu çalışmanın yapılması için resmi izin ve desteklerinden dolayı DATEM Araç Teknolojileri Müdürü ve DEMUHDER Başkanı Sayın Çetin TEKİN'e Laboratuvar ve deney çalışmalarında bize verdikleri destekten dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca, TCDD Ankara Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezi Müdürü, Sayın Dursun YAVUZ'a teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Ö. Onat, "Mantarı sertleştirilmiş raylarda aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012, 316278
- [2] S. Özçelik, "Mantarı sertleştirilmiş raylarda yorulma davranışı incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 411504
- [3] A Perspective on the manufacture of modern-day high-strength steel rail, AREMA 2013
- [4] B. Demir, "A Metalurgical Perspektif On Rail Steel Development In Turkey And Future," *Symposium on Railway System Engineering , ISERSE*, 2018 Karabük
- [5] R. R. Porcaroa, G. L. Fariaa, L. B. Godefroida, G. R. Apolonioa, L. C. Cândidoa, E. S. Pinto, "Microstructure and mechanical properties of a flash butt welded pearlitic rail," *Journal of Materials Processing Tech.*, Vol. 270, 2019, pp. 20-27
- [6] Vander Voort GF, *Metallography: principles and practice*. New York: McGraw-Hill Book, 1984.pp. 219–23
- [7] A. Arı, "Alimünotermite kaynağıyla birleştirilmiş mantarı sertleştirilmiş 'r350ht' rayın mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi" PhD Thesis 2021 Ankara
- [8] International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 23950056 Volume: 07 Issue: 07 July 2020
- [9] EN 13674-1, (2003). Railway Applications Track Rail Part 1: Vignole Railway Rails 46 kg/m and Above, Brussels
- [10] K.M. Lee, ve A.A. Polacarpou, "Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels," *Wear*, 259: 391-399
- [11] TS-EN-14730-1-A1:2011-01. "Demiryolu uygulamaları – Demiryolu - Rayların Alüminotermite kaynağı" K4 Yorulma deney yöntemi. Syf:13-37
- [12] TS EN 13674-1:2011+A1:2017(E) Syf:21. "Demiryolu uygulamaları - Demiryolu hattı - Ray Bölüm 1: 46 kg/m ve üzeri vignole demiryolu rayları Ocak 2018
- [13] Y. Uğurlu, "Demiryolu mühendisliği sektör tahmini ve etkinliklerimiz," *Demiryolu Mühendisliği*, 4, 30-34

Özgeçmiş**Adem ARI**

1969 tarihinde doğmuştur. Lisans eğitimini Selçuk Üniversitesinde tamamlamıştır. 2021 yılında Karabük Üniversitesinde Yüksek Lisans eğitimini tamamlamış, halen bu üniversitede Doktora eğitimine devam etmektedir. TCDD Taşımacılık A.Ş. Araç Bakım Dairesinde çalışmaktadır.

E-Posta: demaria06@hotmail.com

**Bilge DEMİR**

1970 yılında doğmuştur. Lisans ve Doktora eğitimini Gazi Üniversitesinde tamamlamıştır. Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon ve İmalat Teknolojisi bölümünde öğretim üyesidir. İlgi alanına giren araştırma konuları Üretim ve Kaynak Teknolojileri, Toz teknolojisi, Kompozit malzemeler ve Malzeme Tasarım ve Davranışlarıdır.

E-Posta: bdemir@karabuk.edu.tr

**Atila KESKİN**

1967 Yılında doğmuş Lisans ve Yüksek Lisans Eğitimi Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme ve Metalürji Mühendisliğinde tamamlamış, Türkiye ve Ortadoğu Anma İdaresi Enstitüsünde de Kamu Yönetiminde Yüksek Lisans yapmış ve halen TCDD DATEM İşletme Müdürlüğü'nde çalışmaktadır. İlgi alanları demiryolu malzemelerinin kırılma analizi, tahribatsız muayenesi, araştırma ve testleridir.

E-Posta: atilakeskin@hotmail.com; atilakeskin@tcdd.gov.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Adem ARI: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Kaynaklar, Doğrulama, Yazma-orijinal taslak hazırlama, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme. Bilge DEMİR: Kontrol. Atila KESKİN: Görselleştirme, İnceleme.