

Derin Sıfıraltı Isıl İşlemin Bimetallerin Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi

Zafer ÖZDEMİR^{1*}

¹ Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Haliç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
¹ ozdemirzafer@yahoo.com

(Geliş/Received: 31/07/2023;

Kabul/Accepted: 26/02/2024)

Öz: Bu çalışmada kırıcı sanayiinde kullanılan bimetallerin mekanik özelliklerine derin sıfır altı-kriyojenik işlemin (DKİ) etkisi incelenmiştir. Son yıllarda yüksek sertliğin yanısıra yüksek tokluk ihtiyacının da olduğu darbeli kırıcılarda bimetal kompozitler yüksek manganlı östenitik çeliklerin yerine yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Konvansiyonel ısıl işlem bimetallerde uygulanmakla beraber, çalışmamızda sıfıraltı işlemin malzemenin belirli mekanik özelliklerine etkisi ve içyapı analizi de incelenmiştir. İnceleme 800°C de tavlama, -180°C de derin sıfır altı işlem 250°C de temperleme, charpy darbe testi, optik mikroskop analizi, tarayıcı elektron mikroskop analizi, X-Ray analizini ve sertlik ölçümlerini içermektedir. Her sette 5 adet deney numunesi olmak üzere 2'şer set bimetal malzeme önce 5 saat süre ile tavlama işlemine tabii tutulmuş, ardından 24 saat sıfır altı işleme ve 3-4 saat süre ile de temperleme işlemine tabii tutulmuştur. Darbe tokluk deneyleri ve sertlik ölçümleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak derin sıfır altı işlem sonrası tokluk ve sertlik değerlerinde önemli değişimlerin ortaya çıktığı görülmekte olup, aynı zamanda temiz bir içyapı ve homojen bir bileşimin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Derin Sıfıraltı İşlem+Temperleme sonrası numunelerin darbe tokluğunun sadece Derin Sıfıraltı İşlemi sonrasına kıyasla ortalama %20 arttığı ve sertlik oranlarının ise %10 azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kriyojenik sıfıraltı işlem, bimetal, çentik darbe testi, yüksek alaşımli krom dökme demir, düşük alaşımli çelik.

Effect of Deep Cryogenic Heat Treatment to Some Mechanical Properties of Bimetals

Abstract: Deep cryogenic (subzero) treatment (DCT) is at great importance when high toughness and hardness is aimed to obtain in metal industry. Bimetals have a great importance in crushing industry also. DCT influence on the mechanical properties of bimetals have been examined and analyzed in the current study. Examinations include annealing at 800°C, DCT, tempering at 250°C, charpy impact test, optic microscope (OM) images analysis, scanning electron microscope images analysis, X-RAY images analysis and hardness measurement as Rockwell C. Bimetals (2 set each, 1 set is 5 sample) are put to annealing at 800°C for 5 hours, then DCT is conducted at -180°C for 24 hours. Tempering is followed out at 250°C for 3 hours for 1 set. Noteworthy hardness and toughness rates are observed after DCT. It was also observed that after DCT and tempering, hardness is reduced, but impact energy/toughness is increased. A clean microstructure has been observed after DCT in OMs and SEMs. X-RAY analysis also reveals pure and clean chemical composition. The impact toughness rates of samples after DCT+Tempering are determined %20 more compared with the rates after DCT. Hardness rates decreases %10 after DCT+Tempering compared with the rates after DCT.

Key words: Subzero cryogenic treatment, bimetal, impact test, high alloy cast iron, low alloy steel.

1. Giriş

Bimetaller, yüksek mekanik özellikleri nedeniyle kırıcı ve darbeli yük ile çalışan endüstrilerde kullanılan önemli yapısal metalik malzemelerdir [1]. Yaklaşık son kırk yılda geliştirilmişler ve özellikle Hadfield çeliği gibi yüksek manganlı çelik alaşımlarına ciddi bir alternatif olmuşlardır [2]. Yüksek aşınma direnci özellikleri ve darbe dayanımları nedeniyle son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar [3].

Mekanik özelliklerini iyileştirmek ve artık gerilmeleri ortadan kaldırmak için döküm işleminden sonra geleneksel ısıl işlem yöntemleri uygulanmaktadır [4]. Ancak yüksek tokluk ve darbe dayanımına ihtiyaç duyulduğunda, konvansiyonel ısıl işlemin yanı sıra alternatif bir yöntem olan Derin Kriyojenik İşlem (DKİ) de uygulanabilmektedir. DKİ'de; metaller yüksek sıcaklıklardan (800-900°C) yaklaşık 24 saat boyunca sıvı azot uygulanarak -180°C'ye kadar düşürüldükten sonra yaklaşık 250°C'de temperleme işlemine tabii tutulabilmektedir [5,6].

^{1*} Sorumlu yazar: ozdemirzafer@yahoo.com Yazarın ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-7919-5642

Bu yöntem sayesinde yüksek tokluk ve sertlik değerleri elde edilebilmektedir. Bu özellikler aşınma direnci ve darbe dayanımı için çok önemlidir [7]. Konvansiyonel ısıl işlem prosesi, sıg kriyojenik işlem ve bimetallerin mekanik özellikleri daha önceki çalışmalarında Z.Özdemir tarafından incelenmiştir [8,9]. Bugüne kadar bimetallerin kriyojenik işlemi üzerine yapılan bazı önemli çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

M.Ş. Adin ve M.Okumuş, AISI 420 ve AISI 1018 çeliklerinin metal kaynağının mikro yapısını ve mekanik özelliklerini araştırmış, çekme testleri yapmış ve sertlik değerlerini ölçmüş ve dikkate değer sonuçlar elde etmişlerdir [10]. M.Ş.Adin ayrıca kriyojenik işlemin kesici takımlar üzerindeki etkisini [11] ve MIG ve TIG kaynaklı farklı çelik bağlantılarının mekanik özelliklerine kriyojenik işlemin etkisini [12] incelemiştir.

Çalışmamızın bilimsel amacı, HCCI ve LCS bimetallik dökümlerin tokluk, sertlik ve metalografi açısından incelenmesi, DCT ve DCT+Temperleme sonrası karşılaştırılmasıdır. DCT ve DCT+Temperleme işlemlerinin etkisi tokluk ve sertlik açısından karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Metod

İncelemeler için yüksek krom alaşımlı dökme demir [13] ve düşük alaşımlı çelik [14] seçilmiştir (Tablo 1-2).

Tablo 1. Düşük karbonlu çelik kimyasal analizi (%)

C	Si	Mn	P	Al	Cu	Cr
0,17	0,20	1,40	0,045	0,005	0,15	0,13
Ni	Mo	W	S	V	Fe	
0,06	0,01	0,001	0,042	0,05	kalan	

Tablo 2. Yüksek alaşımlı dökme demir (G-X300CrMo27) kimyasal analizi (%)

C	Si	Mn	P	Al	Cu	Cr
3,10	0,398	0,822	0,002	-	0,135	21,8
Ni	Mo	W	S	V	Fe	
0,47	1,60	-	0,059	-	kalan	

Süreç 5 adımdan oluşmaktadır:

1. Döküm
2. Isıl İşlem/DKİ/Temperleme (Şekil 1)
3. Darbe Testleri,
4. OM/SEM/X-RAY'ler
5. Sertlik Testi.

Yapılan işlemler bulgular bölümünde açıklanmıştır. Kimyasal bileşim Tablo 1 ve 2'de gösterilmiştir. OM Nikon Eclipse LV 150 ile, SEM/X-RAY analizi FEI/Quanta 450 FEG ile, kimyasal analiz BAIRD-DVG Spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik değerleri Rockwell C olarak test edilmiştir [15]. Tüm numuneler, işlemler başlamadan önce standart; ASTM E23-02 "Metalik Malzemelerin Çentikli Çubuk Darbe Testi için Standart Test Yöntemleri" [16] uyarınca Charpy Darbe Testi numunesi olarak hazırlanmış, daha sonra süreçteki işlemler tatbik edilmiştir.

3. Bulgular

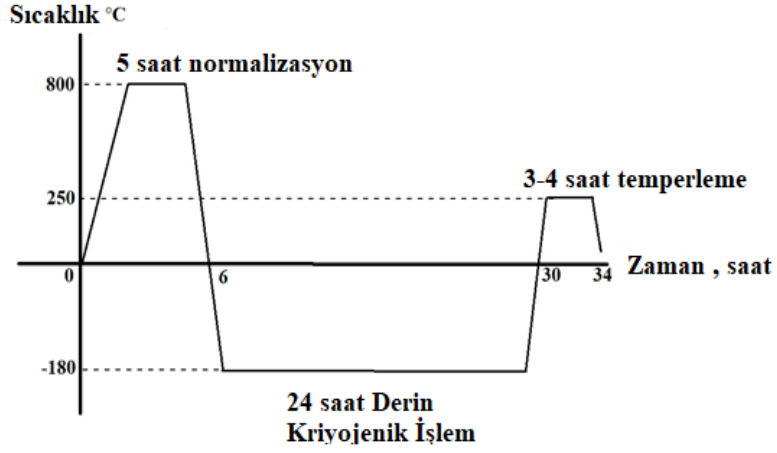
3.1. Döküm süreci

Döküm işlemi kum kalıba döküm olarak gerçekleşmiş, önce 1580°C'deki sıvı metalin (düşük karbonlu çelik) döküm işlemi gerçekleştirilmiş, ara yüzey sıcaklığı Pt-PtRh13 termokupl kullanılarak ölçülmüştür. Uygun sıcaklık elde edildikten sonra, oksidasyonu önlemek ve iki farklı malzeme bileşimine sahip metaller arasında kalıcı bir bağlantı elde etmek için sıvı düşük karbonlu çeliğe döküm işleminin hemen akabinde bir aktivatör (bor ve sodyum karışımı) eklenmiştir. Hemen ardından 1420°C'de yüksek kromlu beyaz dökme demirin döküm işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2. Isıl işlem/DKİ/temperleme süreci:

Tavlama, Şekil 2'de gösterilen bimetallere (2 katman, biri yüksek alaşımlı dökme demir ve diğer katman düşük alaşımlı çelik) 800°C'de 5 saat boyunca gerçekleştirilir [17].

Tavlamadan sonra, DKİ -180°C'de 24 saat boyunca gerçekleştirilir. DKİ'den sonra, 1 grup (5 numune) için 250°C'de 5 saat süreyle temperleme işlemi gerçekleştirilmiş ve ikinci grup (5 numune) oda sıcaklığına getirilmiştir (Şekil 1). [18].



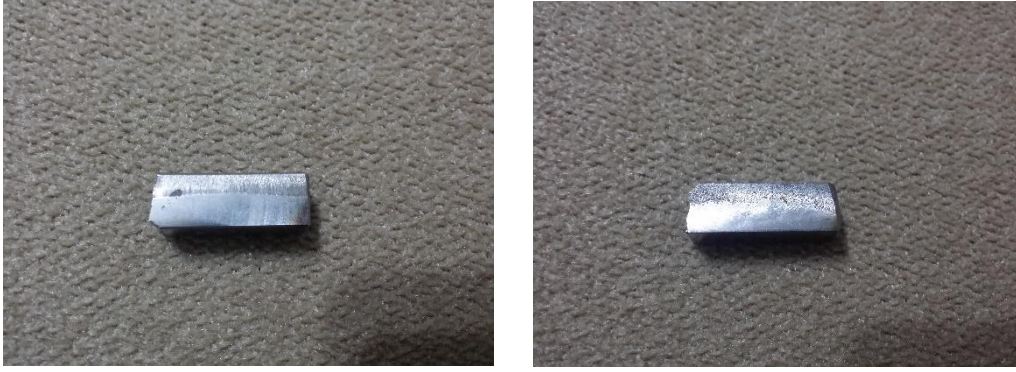
Şekil 1. Isıl İşlem (Normalizasyon Tavı)/DKİ/Temperleme

3.3. Charpy darbe testleri

Darbe testleri ASTM E23-02 "Metalik Malzemelerin Çentikli Çubuk Darbe Testi için Standart Test Yöntemleri" ne uygun olarak gerçekleştirilir [16]. Test parçaları bimetal dökümlerden alınmış ve Şekil 2'de görüldüğü gibi DKİ/Temperleme ve DKİ öncesi ayrı ayrı ayarlanmıştır. Tablo 3 ve 4'teki sonuçlar elde edilmiştir.



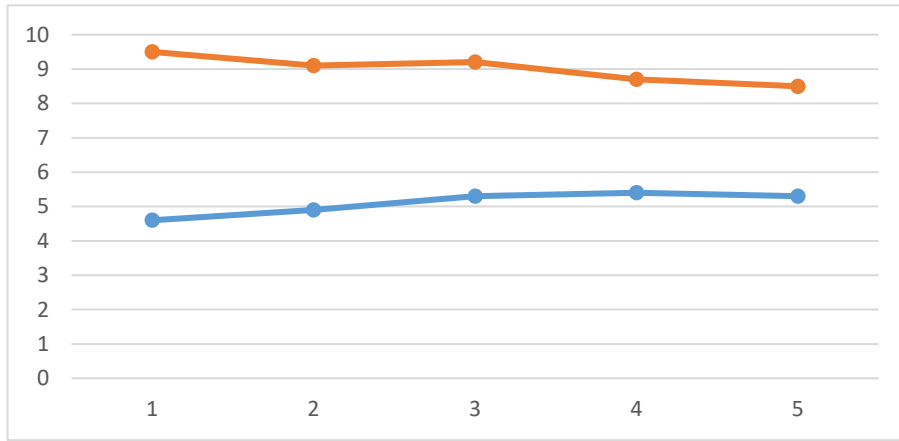
Şekil 2. Charpy darbe test numunesi



Şekil 3. Charpy darbe test numunesi (deneyden sonra)

Table 3. Charpy darbe testi sonuçları (DKİ sonrası)

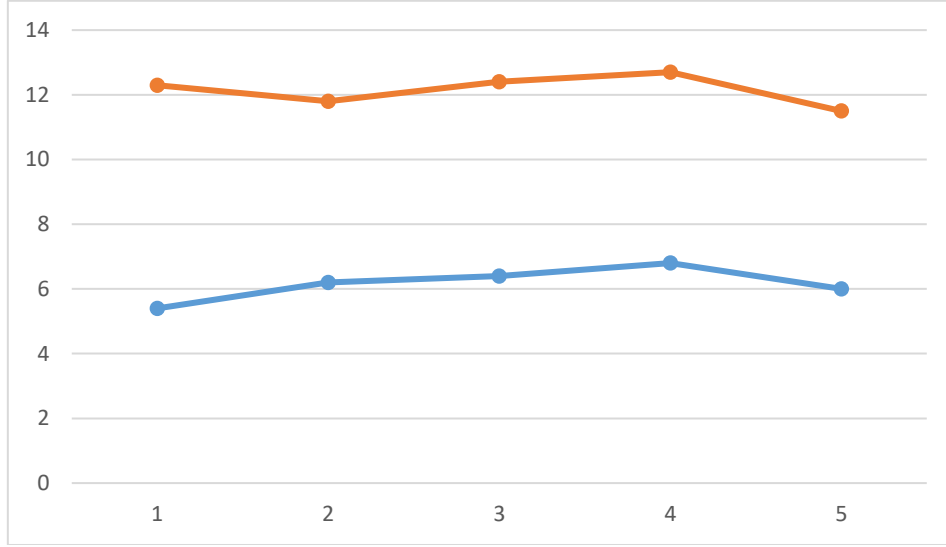
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
Darbe Enerjisi (J.) (Çentik tarafı Düşük-Karbonlu Çelik)	4,6	4,9	5,4	5,3	5,4
Darbe Enerjisi (J.) (Çentik tarafı Yüksek Kromlu Dökme Demir)	9,5	9,1	9,2	8,7	8,5



Şekil 4. Tablo 3’deki verilere göre Charpy darbe testi kırılma enerjisi (y-ekseni) (Joule), (x-ekseni-numuneler-5 adet) turuncu yüksek kromlu dökme demirdir, mavi düşük karbonlu çeliktir. (DKİ sonrası)

Table 4. Charpy darbe testi sonuçları (DKİ+temperleme sonrası)

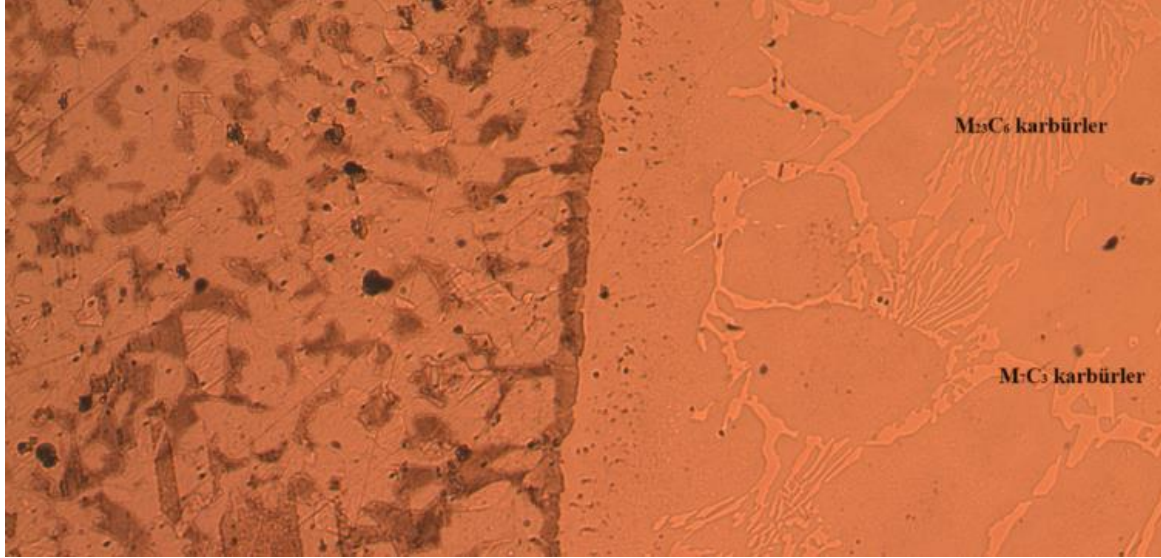
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5
Darbe Enerjisi (J.) (Çentik tarafı Düşük-Karbonlu Çelik)	5,4	6,2	6,4	6,8	6,0
Darbe Enerjisi (J.) (Çentik tarafı Yüksek Kromlu Dökme Demir)	12,3	11,8	12,4	12,7	11,5



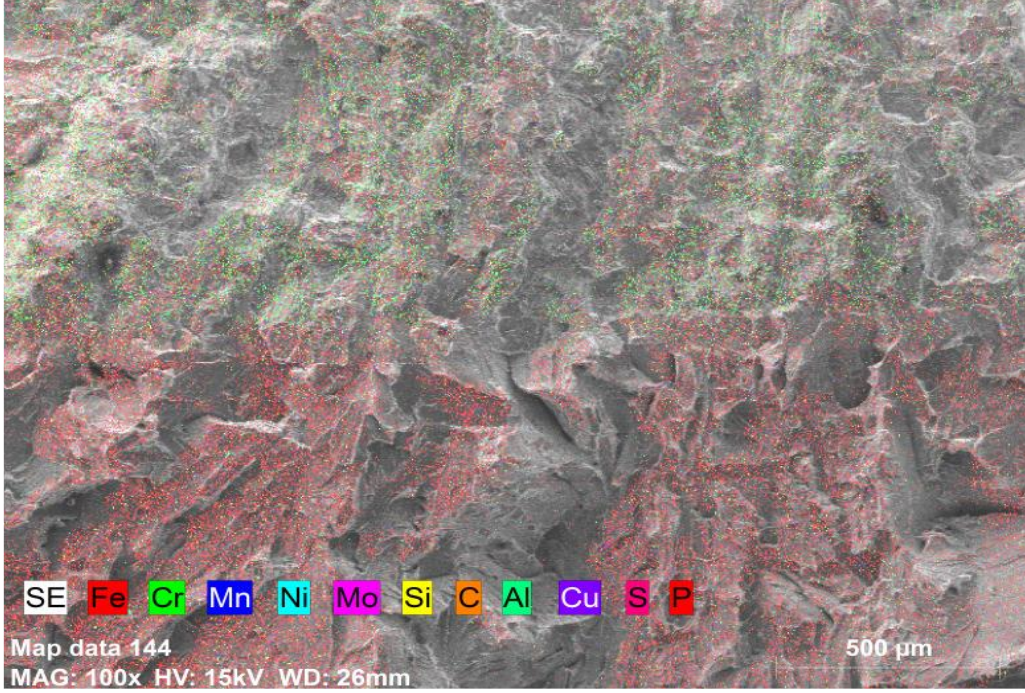
Şekil 5. Tablo 4'deki verilere göre Charpy darbe testi kırılma enerjisi (y-ekseni)(Joule), (x-ekseni-numuneler-5 adet) turuncu yüksek kromlu dökme demirdir, mavi düşük karbonlu çeliktir. (DKİ+temperleme sonrası)

3.4. DKİ sonrası ve DKİ/temperleme sonrası mikroyapı (OM/SEM/X-RAYs)

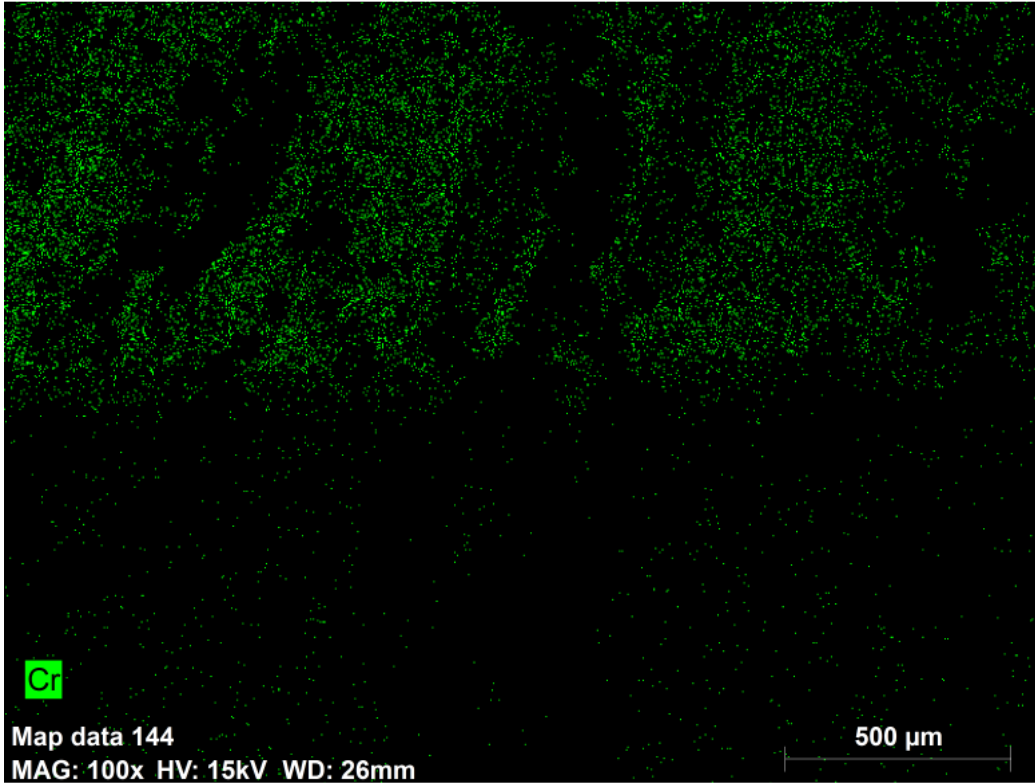
DKİ ve DKİ/Temperleme sonrasında numunelerin mikroyapı incelemesi gerçekleştirilmiştir. Karbürler bimetalde tokluk ve sertliği etkiler. Yüksek kromlu dökme demir bileşimindeki molibden karbürler ($M_{23}C_6$ ve M_7C_3) hem sertliği hem de tokluğu artırmaktadırlar.



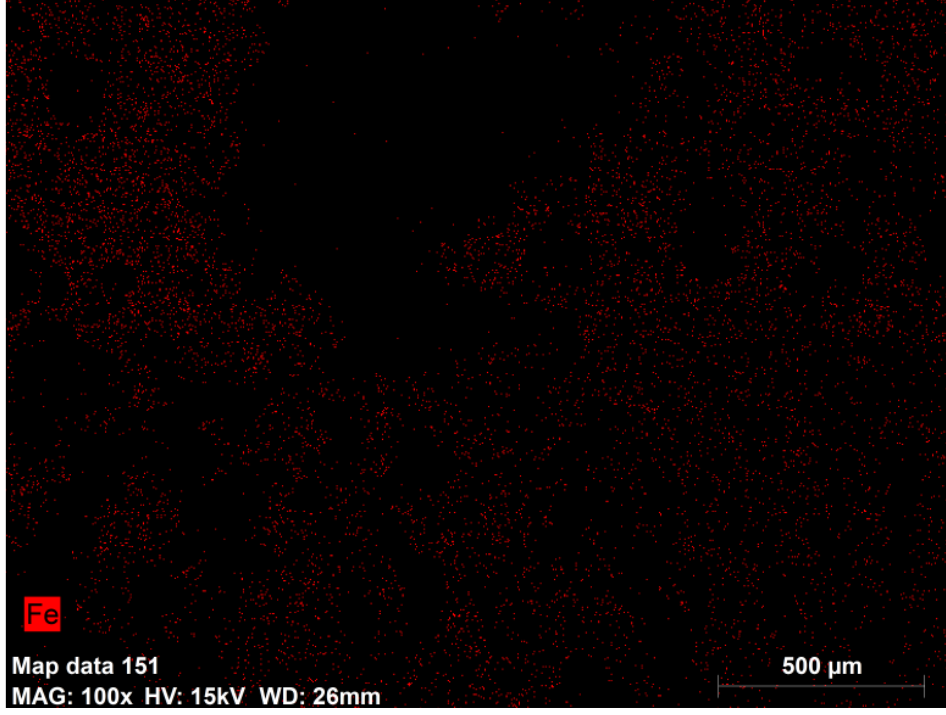
Şekil 6. DKİ/temperleme sonrası optik metalografi (400 X)



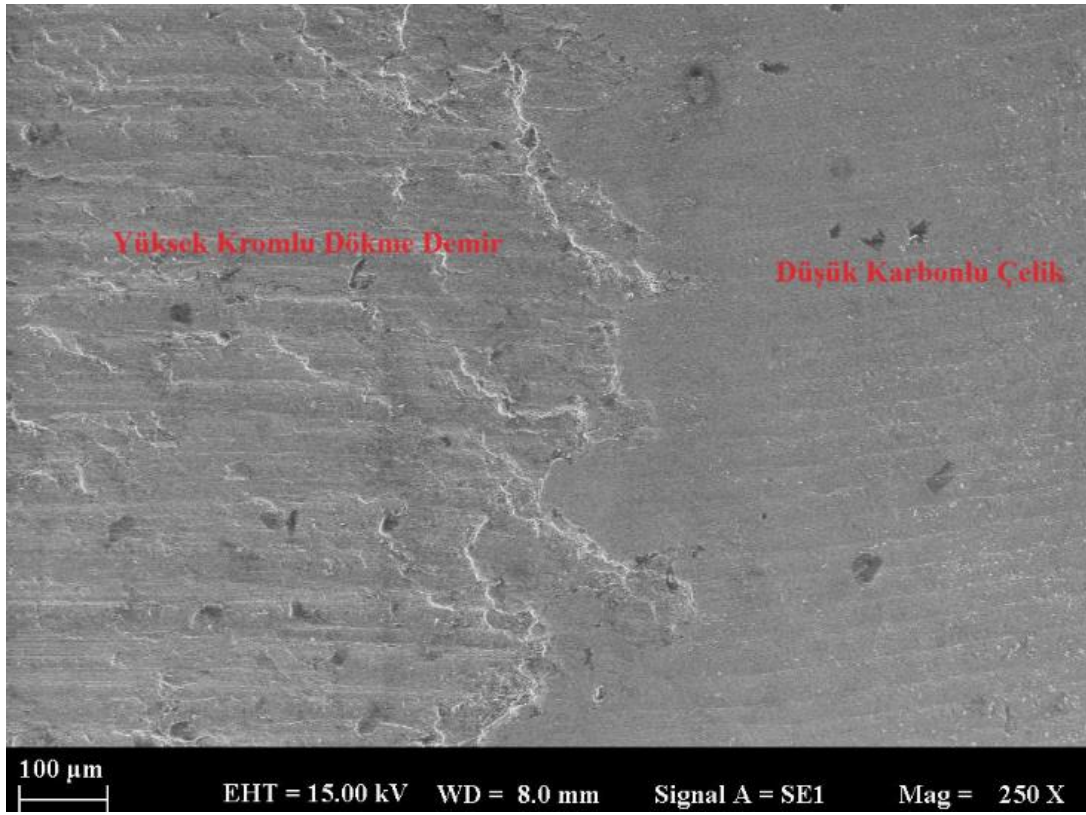
Şekil 7. DKİ/temperleme sonrası X-Ray analizi (tüm yapı)



Şekil 8. DKİ/temperleme sonrası SEM ve X-Ray analizi (krom)



Şekil 9. DKİ/temperleme sonrası SEM ve X-Ray Analizi (ferrit)



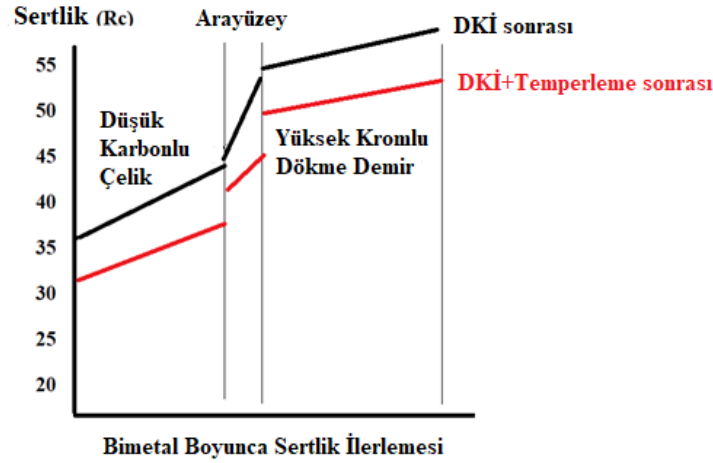
Şekil 10. DKİ/temperleme sonrası SEM analizi (250 X)

3.5. Sertlik

Sertlik oranları numunelerin 3 farklı noktasından Rockwell C olarak alınmıştır [15]. DKİ ve DKİ+Temperleme sonrasında sertlik değerlerinin ve tokluk değerlerinin eş zamanlı olarak arttığı (Şekil 11) gözlemlenmiştir [8,9].

Tablo 5. Sertlik değerleri

DKİ Sonrası Bimetal Sertlik Değerleri								
Düşük Karbonlu Çelik (HRC)			Arayüzey (HRC)			Yüksek Kromlu Dökme Demir (HRC)		
36,6	37,4	38,2	49,2	53,2	46,7	54,2	56,5	55,6
DKİ+Temperleme Sonrası Bimetal Sertlik Değerleri								
Düşük Karbonlu Çelik (HRC)			Arayüzey (HRC)			Yüksek Kromlu Dökme Demir (HRC)		
32,3	31,5	31,2	42,1	43,5	43,3	52,5	51,3	50,7



Şekil 11. Sertlik ilerlemesi

4. Tartışma

Çalışma yazarın önceki çalışmaları [8,9] ile karşılaştırıldığında DKİ'ye tabi tutulan numunelerin sertlik ve tokluklarında dikkate değer ve eş zamanlı bir artış gözlenmiştir. Bununla birlikte, temperlemeden sonra sertlikte küçük bir düşüş gözlenmiştir. Aynı zamanda, tokluk değerlerinde bir artış açıkça görülmektedir. SEM ve OM görüntüleri, bimetalin iç yapısını ve malzeme dağılımı ortaya koymaktadır. (Şekil 6 ve 10). X-Ray analizi de yüksek alaşımlı dökme demir ve düşük alaşımlı çelik bileşenin mükemmel uyumunu ve bileşimini göstermektedir (Şekil 7).

DKİ sonrasında; bimetalin sertlik oranları ve darbe tokluğu aynı anda artar. Bu olguyu, X-Ray görüntülerinde görüldüğü gibi bimetal bileşenlerinin homojen dağılımının büyük ölçüde etkilediğini açıklayabiliriz (Şekil 7,8,9). İç yapı ve döküm hatası gözlenmemiştir, bu nedenle kayda değer sonuçlar elde edilmiştir. Bunu özellikle karbon difüzyonunun etkisi ve ötektik karbürlerin, özellikle M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ karbürlerinin çökmesi ile açıklayabiliriz (Şekil 6).

5. Sonuçlar

Çalışma konvansiyonel ısıtma işlem ve derin kriyojenik işlem açısından aşağıdaki sonuçları ortaya koymaktadır. DKİ'den sonra sertlik ve toklukta eşzamanlı artış gözlemlenmiştir. Temperleme sonrası sertlikten bir miktar ödün vererek tokluk artışı gözlemlenmiştir. X-Ray analizinde (Şekil 7.) görüldüğü gibi homojen bir element dağılımı görülmektedir. Karbürler, bimetalin daha sert tarafındaki yüksek kromlu dökme demir tarafında Cr miktarına bağlı olarak yüksek sertliğin yanı sıra yüksek tokluk sağlar.

Kaynaklar

- [1] S Zic, I Dzambas, ve M Ikonic. Possibilities of Implementing Bimetallic Hammer Castings in Crushing Industries, *Metalurgija* 2009; 48(1): 51–54.
- [2] X Xiaofeng, Y Shengping, Z Xiaoguang, ve X Qiong. High Cr White Cast Iron/Carbon Steel Bimetal Liner by Lost Foam Casting with Liquid-liquid Composite Process, *China Foundry* 2012; 9(2):136–142.
- [3] X Xiao-Feng, Y Sheng-Ping, Y Wei-Xin, ve X Qiong. HCWCI/Carbon Steel Bimetal Liner by Liquid-Liquid Compound Lost Foam Casting, *Journal Of Iron And Steel Research International* 2012; 19(0): 13-19.
- [4] ASM Handbook Volume 4, Heat Treating ASM Handbook, Volume 4A, Steel Heat Treating Fundamentals and Processes. ASM International.pp. 382–386. ISBN 978-1-62708-011-8. 2013.
- [5] I Reddy, Dr Y S Rao, A S P Seshank, ve V Inturi. Characterization and Performance Evaluation of HSS Cutting Tools under Deep Cryogenic Treatment, *International Journal of Engineering And Science* 2015; 5(10): 13-19.
- [6] K Prudhvi, ve V V Lakshmi. Cryogenic Tool Treatment, *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2016; 2(9): 1204-1211.
- [7] T Yugandhar, P K Krishnan, C V B Rao, ve R Kalidas. Cryogenic Treatment and It's Effect on Tool Steel, 6th International Tooling Conference 2002; Vol:2: 672-683.
- [8] Z Özdemir. Effect of Heat Treatment on the Impact Toughness of 'High-Chromium Cast Iron – Low-Carbon Cast Steel' Bi-Metal Components, *Metal Science and Heat Treatment* 2017; Vol. 58: 738-741.
- [9] Z Özdemir. Shallow cryogenic treatment (SCT) effects on the mechanical properties of high Cr cast iron – low-carbon cast steel bimetallic casting, *Int. J. Metalcast* 2021; 15(3): 952-961.
- [10] M Ş Adin, ve M Okumuş. Investigation of Microstructural and Mechanical Properties of Dissimilar Metal Weld Between AISI 420 and AISI 1018 Steels, *Arabian Journal for Science and Engineering* 2022; 47:8341–8350.
- [11] M Ş Adin. Performances of cryo-treated and untreated cutting tools in machining of AA7075 aerospace aluminium alloy, *European Mechanical Science* 2023; 7(2): 70-81.
- [12] M Ş Adin. A parametric study on the mechanical properties of MIG and TIG welded dissimilar steel joints, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2022.
- [13] DIN EN 12513:2001, "Abrasion Resistant Cast Irons". English Version Of DIN EN 12513 (Foreign Standard). 2001.
- [14] ASTM A27M "Standard Specification For Steel Castings, Carbon, For General Application". 2006.
- [15] ASTM E18-02 "Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials" (2004).
- [16] ASTM E23-02 "Standart Test Methods For Notched Bar Impact Testing Of Metallic Materials". 1982.
- [17] George H.T. "Steel Heat Treatment Metallurgy and Technologies", Second Edition, Portland State University Of Portland, 148-150. 2006.
- [18] I.S. Jawahir and Colleagues "Cryogenic Manufacturing Processes", *CIRP Annals Manufacturing Technology*, Isıl İşlem <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.007>. 2016.