

Demir Çelik Entegre Sinter Tesisleri Palet Yan Duvarlarında Oluşan Çatlak Hasarının İncelenmesi

Investigation of Crack Damage on Pallet Side Walls of Integrated Iron and Steel Sinter Facilities

Bilge DEMİR¹, Sevdener BOSTANCI², Onur ACUR³, Fatih ESİN³, Berkman İŞÇİ³
Cansu BESUN³, Mücahit SEVİM³

¹Balıklarkayası Mevki, Karabük Üniversitesi, 78000 Karabük, Türkiye
²Fabrikalar Sahası Kardemir A.Ş. Sinter Müdürlüğü, 78170 Karabük, Türkiye
³Fabrikalar Sahası Kardemir A.Ş. Ar-Ge Merkezi, 78170 Karabük, Türkiye

Başvuru: 28/07/2023 **Kabul:** 23/08/2023 **Çevrimiçi Basım:** 08/12/2023

Öz
Bu çalışmada, kullanılmış ve hasara uğramış AISI 4140, 17CrMo5.5 kalite palet yan duvarı parçaları ve kullanılmamış AISI 4140 kalite palet yan duvarı parçaları hasar analizi yöntemleri ile incelenmiştir. Deneysel olarak; çekme, darbe ve mikroyapı görüntü analizi çalışmaları yapılmıştır. Mikroyapı incelemesinde, mikroyapıda mevcut perlit yapının miktarının yoğunluğunun fazlalığının etkinliği gözlenmiştir. Sonuç olarak, perlit yapının hacim oranının ferrite oranına daha fazla olmasının ısı iletkenliği bozarak ısı gerilim miktarının artmasına neden olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Sinter Palet Duvarı, Isıl Gerilim, Çatlak, Isıl İletkenlik, AISI 4140

Abstract

In this study, used and damaged AISI 4140, 17CrMo5.5 quality pallet sidewall parts and unused AISI 4140 quality pallet sidewall parts were examined by damage analysis methods. Experimentally, Tensile, impact and microstructure image analysis studies were carried out. In the microstructure examination, the excess density of the amount of perlite structure present in the microstructure was observed. As a result, it is evaluated that the volume ratio of the perlite structure is higher than that of ferrite causing an increase in the amount of thermal stress by disrupting the thermal conductivity.

Key Words

Sinter Pallet Wall, Thermal Stress, Crack, Thermal Conductivity, AISI 4140



***Sorumlu Yazar:** Bilge Demir

Not: Bu çalışmanın özeti 6. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumunda bildiri olarak sunulmuş ve Proceeding Book'ta yayınlanmıştır. JESRED'in bu sayısında ise tam metni yayınlanmıştır.

Bu makaleyi alıntılanmak için; Bilge Demir ve ark., Demir Çelik Entegre Sinter Tesisleri Palet Yan Duvarlarında Oluşan Çatlak Hasarının İncelenmesi, Journal of Steel Research and Development, 4(2), 14-23.

1. Giriş

Yüksek fırınlara direkt olarak şarj edilemeyecek şartlardaki sinter harmanının, sinter makinelerinde ergime sıcaklığı (~1000°C) altında yüzey ergitme işlemine tâbi tutularak birleştirilmesi sonucunda sinter elde edilmektedir. Temel olarak sonsuz bir palet zincirinden oluşmakta olan sinter makinelerinde paletler sinterleme için temel karışımı taşımakta ve paletlerin yan duvarları yatak yüksekliğinin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Harman düzenli aralıklarla bir ateşleme fırınına girer. Bu nedenle, bir sinterleme makinesinin palet yan duvarları sürekli termal döngüye tabi tutulur. Malzemenin çalışma koşulları ve tasarlanan geometrisi malzeme ömrünün belirlenmesindeki iki önemli etkidir. Parça üzerinde gerilme birikimlerine neden olabilecek süresizler, hasara karşı direncini etkileyecektir. Çatlakların çoğu, alt yan duvarların civata deliği konumları arasında ve palet duvarının üst kısımlarında gözlenmektedir [Mukhopadhyay, G., Bhattacharyya, S. (2012)]. Civata bağlantısının rijitliği ve yekpareliğinden dolayı termal genleşme ve büzülme sırasındaki değişimlerin tolere edilebilirliği oldukça düşüktür.

Literatürde palet yan duvarlarının uygun olmayan malzemeden dolayı gevrekleşme nedeniyle döngüsel yüksek termal stres altında çatlamaya başladığını göstermektedir [Mukhopadhyay, G., Bhattacharyya, S. (2012), Sarkar, P., Dhua S., Dhara, S., & De, S. (2016)]. Değişken sıcaklıklardaki proses şartları palet yan duvarlarında çatlaklara, şekil deformasyonlarına sebep olmakta ve bu durum da sistemde verim kaybına yol açmaktadır.

Çalışmada öncelikle bulgular araştırılmış ve numuneler alınmıştır. Sonrasında numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi ile hasar mekanizmaları arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Çalışma konsepti klasik bir hasar analizi üzerine dayandırılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

3 farklı palet yan duvarından abrasif kesme diskleri ile kesilerek numuneler alınmıştır. 2 farklı kalitede 3 farklı palet yan duvarı kullanılmıştır. 1 numaralı numune palet üzerinde çalışmış ve hasara uğramış DIN 17CrMo5.5 kalitedeki palet yan duvarından, 2 numaralı numune palet üzerinde çalışmış ve hasara uğramış DIN 42CrMo4 kalite palet yan duvarından ve 3 numaralı numune ise montajı yapılmamış palet yan duvarından alınmıştır. Her bir palet yan duvarından kimyasal analiz (1, 2, 3) çekme (1-c, 2-c,3-c), çentik darbe (1-d, 2-d, 3-d) ve mikroyapı testi (1-m, 2-m 3-m) numunesi alınmıştır.



Şekil 1. Palet üzerinde çalışmış ve hasara uğramış palet yan duvarı

Tablo 1. Çeliklerin standart kimyasal kompozisyonu

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
17CrMo5.5	0,15-0,20	0,30-0,60	0,50-0,80	maks. 0,3	maks. 0,3	1,00-1,50	0,45-0,55
42CrMo4	0,35-0,44	0,15-0,35	0,60-0,90	0,0-0,040	0,0-0,040	0,8-1,10	0,15-0,25

2.1. Kimyasal Analiz

TS EN ISO 14284 standartlarına uygun hazırlanan numuneler Spectro M11 optik emisyon spektrometre cihazı ile analiz edilmiştir.

2.2. Çekme Testi

TS EN ISO 6892-1 standardına göre hazırlanan Ø10x100mm ölçülerindeki numunelere ASTM E-415 standardına uygun olarak 60 ton kapasiteli Zwick Z600 çekme cihazı ile çekme testi yapılmıştır.

2.3. Darbe Testi

55x10 mm ölçülerinde hazırlanan her palet yan duvar kalitesi için 3'er adet numuneye TS EN ISO 148-1 standardına uygun olarak 450J kapasiteli Zwick RKP450 marka darbe cihazı ile 8 mm darbe uç kullanılarak darbe testi yapılmıştır.

2.4. Mikroyapı İncelemesi

TS EN ISO 4499-1 standardına göre hazırlanan 10x10 mm ölçülerindeki numunelerin incelemeleri Nikon MA 200 marka optik mikroskop cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

2.5. SEM İncelemesi

Standartlara uygun olarak hazırlanan çekme testi (1-c, 2-c, 3-c), darbe testi (1-d, 2-d, 3-d) numunelerinin incelemeleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde SEM Laboratuvarlarındaki "Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem" cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kimyasal Analiz

Optik emisyon spektrometresi analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kimyasal analiz sonuçları

Numune Adı	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	0,215	0,282	0,685	0,015	0,015	1,136	0,465
2	0,414	0,283	0,746	0,018	0,023	1,024	0,210
3	0,349	0,334	0,668	0,013	0,011	0,959	0,238

Tablo 1'den anlaşıldığı üzere referanslardan kontrol edildiğinde 2 ve 3 numaralı 4140 çeliklerin mangan değerinin standarda göre düşük olduğu 3 numaralı 4140 çeliğinin karbon oranının standarda göre düşük olduğu görülmektedir. Yüksek kükürt seviyesi, tane sınırlarında ayrılması nedeniyle gevreklemeye neden olabilir [Fredriksson, H., Sunnerkrantz, P., & Ljubinković P. (1988)].

4140 çeliği referanslarda sementasyon çeliği olarak geçmektedir. Bu malzemelerin, yüksek dayanım özelliği ve Cr, Mo içeriğinin yüksek olması nedeni ile yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edildiği değerlendirilmektedir. Palet yan duvarlarının rijit konstrüksiyonluğu sebebi ile ve ayrıca çalışma şartlarında kuvvete maruziyetin çok fazla olmamasından dolayı dayanım seviyelerinin bütün çelikler için yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

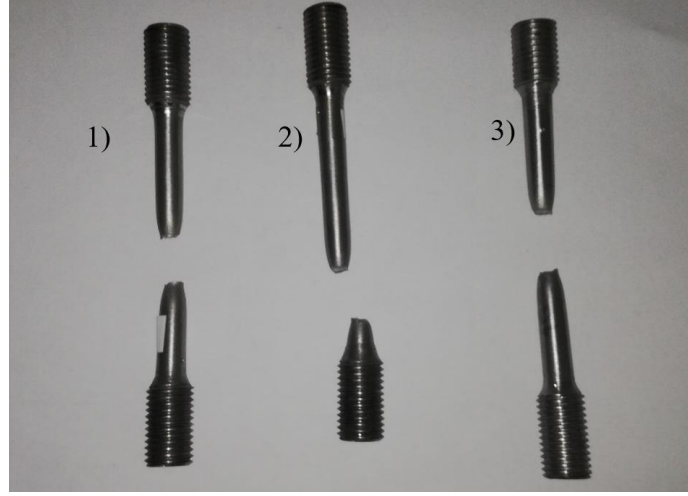
3.2. Çekme Testi

1, 2 ve 3 numaralı palet yan duvarı numunesine yapılan çekme testi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çekme testi sonuçları

Numune Adı	Akma Dayanımı R_{eH} (N/mm ²)	Akma Dayanımı $R_{p0,2}$ (N/mm ²)	Çekme Dayanımı R_m (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
1-c	315	-	595	22	59
2-c	-	417	636	20	56
3-c	-	358	601	23	59

% uzama değerinin 42CrMo4 çeliği için 25,7 ve 17CrMo5.5 çeliği için 12 olması beklenmektedir. 2 ve 3 numaralı 4140 çelikleri için standarda göre % uzama değerleri düşük durumda iken, 1 numaralı 17CrMo5.5 çeliği için % uzama değeri standardın üzerindedir. Literatürle karşılaştırıldığında ıslah edilmemiş ıslah çeliklerinin ham halleri ve döküm yapılmış büyük kütleli bir parçanın yavaş soğutulması sebebi ile kesit daralmasının yüksek çıktığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Çekme testi sonrası numunelerin genel görünüşleri

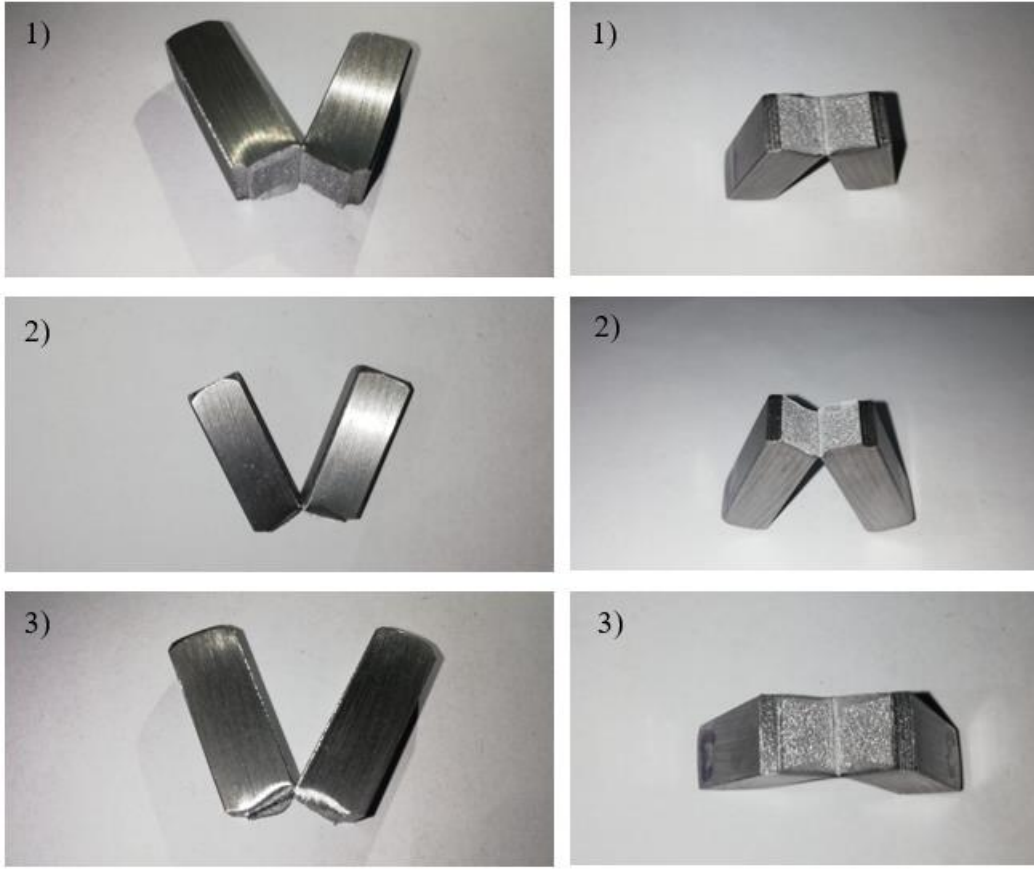
3.3. Darbe Testi

Her üç numuneden 3'er adet palet yan duvarı numunesine yapılan Charpy darbe testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Charpy darbe testi sonuçları

Numune Adı	Darbe Enerjisi (Joule)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Kalınlık (mm)	Taban Yüksekliği (mm)	S ₀ (mm)	Sıcaklık (°C)
1-1-d	40,7	55	10	10	8	80	22
1-2-d	32,2	55	10	10	8	80	22
1-3-d	45,3	55	10	10	8	80	22
2-1-d	37,6	55	10	10	8	80	22
2-2-d	36,4	55	10	10	8	80	22
2-3-d	29,3	55	10	10	8	80	22
3-1-d	37,1	55	10	10	8	80	22
3-2-d	43,1	55	10	10	8	80	22
3-3-d	33,5	55	10	10	8	80	22

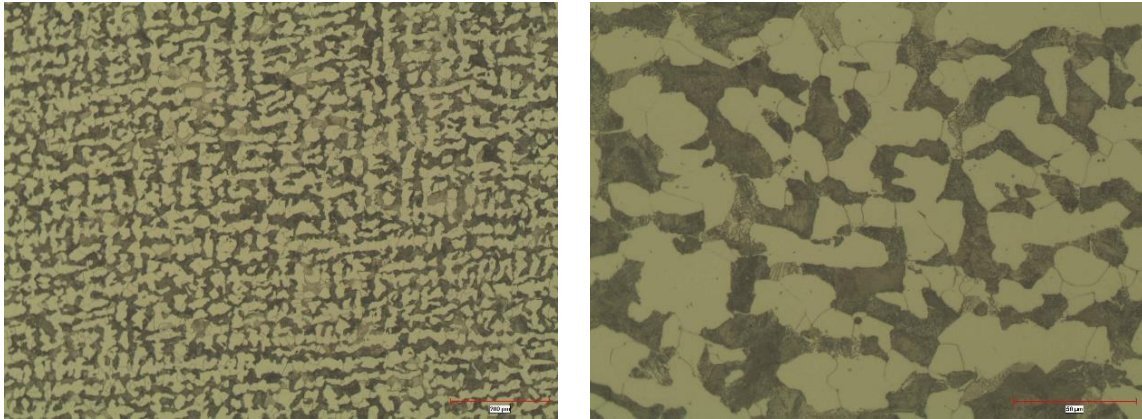
Testler sonucunda ortalama darbe enerjisi; 1. numune 39,4 J, 2. numune 37,9 J, 3. numune 37,9 J elde edilmiştir. 4140 çeliği için standarda göre darbe enerjisinin 16 mm'den küçük kesitlerde 35 J'nin üzerinde olması beklenmektedir [Taş, Z. (2006)]. 17CrMo5.5 çeliği için değer 23 J'nin üzerinde olması beklenmektedir [Hasırcı, H. (2020)]. Her iki kalite için çentik darbe testi sonucunda standarda uygun darbe enerjileri elde edilmiştir. Daha düşük darbe enerjisi değeri, malzemede daha düşük tokluğa işaret eder. Çentik darbe tokluğu üzerinde en büyük etkiye tane boyutu sahiptir. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırları yoğunluğu artar ve dislokasyon hareketleri engellenir. Ferrit oranının artması ve tane boyutunun küçülmesi tokluk ve mukavemet değerlerinin yükselmesini sağlayacaktır [DeRose, J., Barbero, D. R. (2020)].



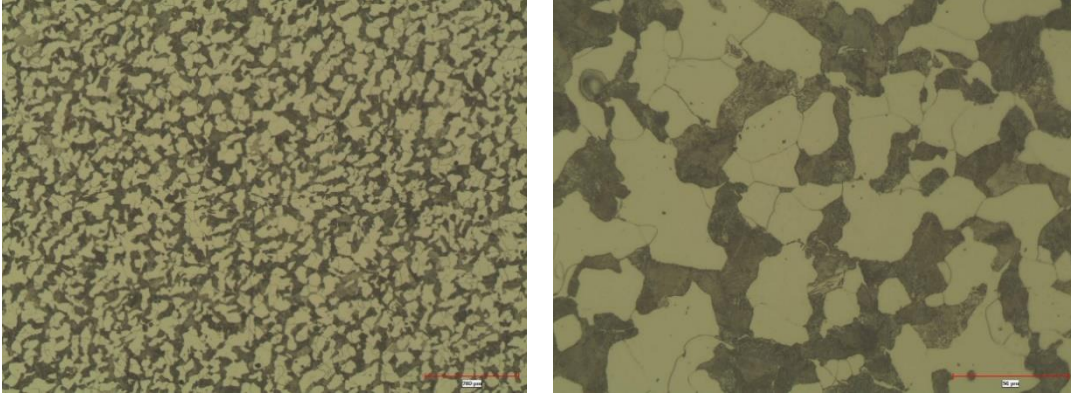
Şekil 3. Darbe testi sonrası numunelerin genel görünüşleri

3.4. Mikroyapı İncelemesi

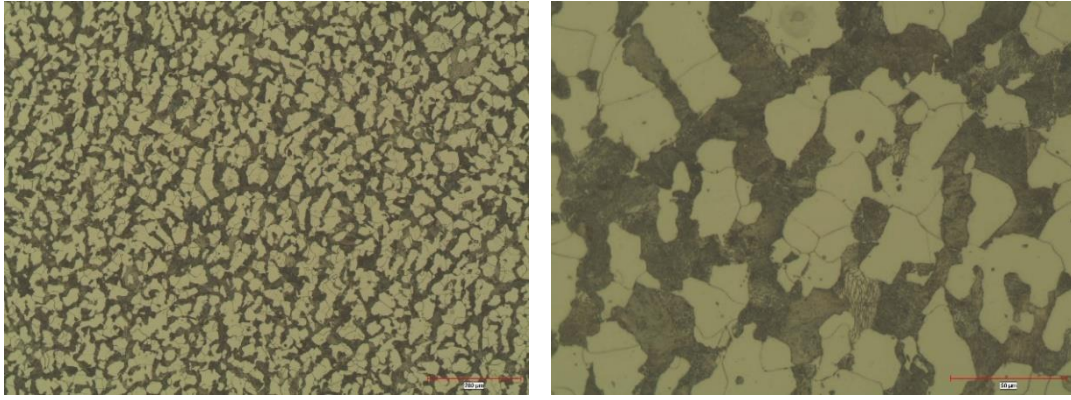
Palet yan duvarı numunelerinin optik mikroskop ile elde edilen mikroyapı görüntüleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. Numune 1, 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü



Şekil 5. Numune 2, 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü

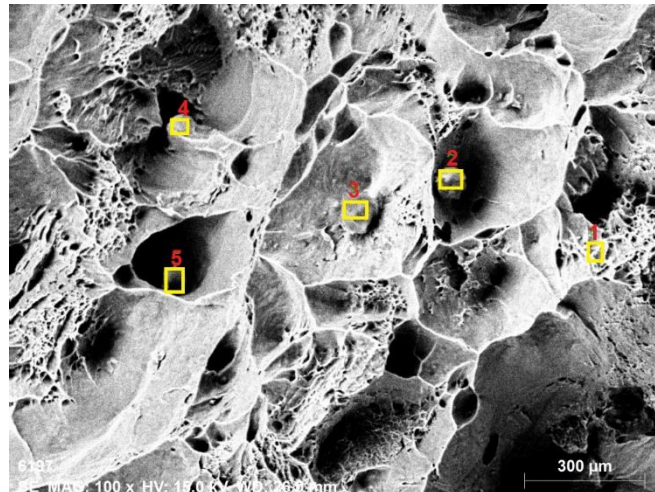


Şekil 6. Numune 3, 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü

1. numunede ~%70, 2. numunede %65, 3. numunede %68 perlit varlığı belirlenmiştir. Perlitin varlığı dökümün ısı iletkenliğini bozarak ısı ı gradyanı artırır ve bu da döngüsel ısı ık yük altında gerilimi artırır [Mukhopadhyay, G., Bhattacharyya, S. (2012)]. Matrisin plastik deformasyonu perlit ile sınırlandığığından, matristeki daha yüksek perlit içeriği malzeme sertliğini artırır ve uzamayı azaltır [Sarkar, P., Dhua S., Dhara, S., De, S. (2016)]. Perlit matris içeriğinin düşürölüp, ferritik yapıya geçişin yeni dökülecek malzemede ve ısı ık işlem süreçlerinde dikkate alınması gerektiği önerilmektedir [Mukhopadhyay, G., Bhattacharyya, S. (2012)].

3.5. SEM İncelemesi

Çekme testi ve darbe testi numunelerinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüler aşağıda verilmiştir.

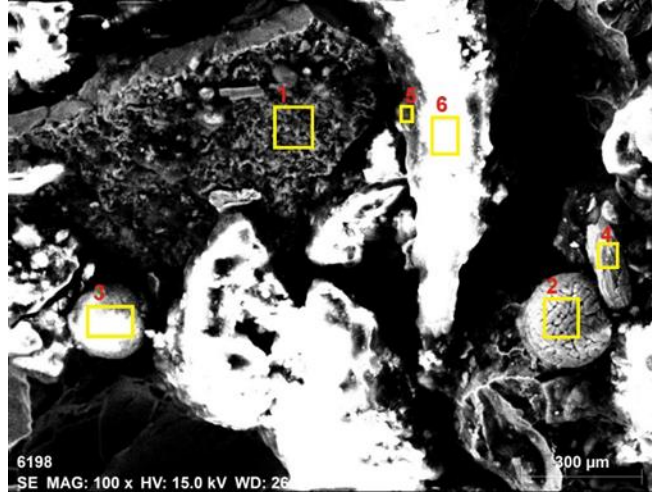


Şekil 7. Numune 1-c 5kx büyütme

Tablo 5. Numune 1-c 5kx büyütme EDX sonuçları

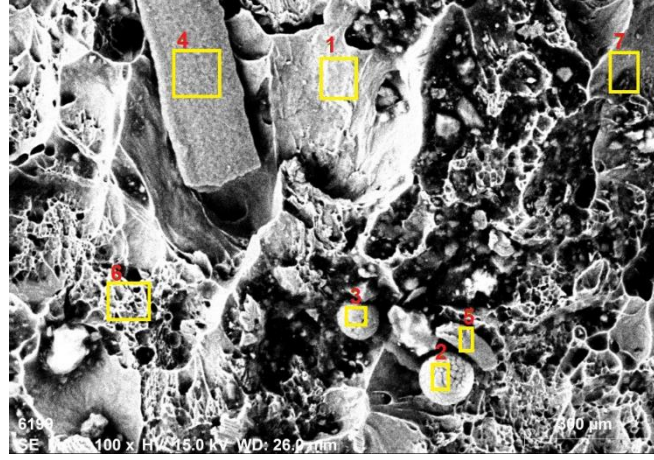
	C	N	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo
1	4,30	12,23	42,33	4,37	17,16	0,47	0,30	0,00	11,56	0,00	0,13	5,64	1,51
2	3,83	12,24	35,16	2,03	9,59	0,33	0,11	1,70	15,44	0,04	0,00	0,92	18,62
3	4,57	12,37	20,90	0,90	3,71	0,41	0,00	3,20	19,72	0,16	0,20	0,89	32,97
4	16,41	16,45	6,09	2,35	1,85	1,65	0,80	0,00	0,66	0,61	0,79	50,33	2,01
5	4,36	12,93	42,33	4,64	17,28	0,56	0,54	0,00	11,64	0,40	0,46	2,86	2,00

Analizin 1. bölgesinde alüminyum (Al) miktarında yoğunluk görülmektedir. İnklüzyonun alüminyum oksit (Al_2O_3) kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir. 2. bölgede alaşım elementlerinin haricinde kalsiyum (Ca) elementi dikkat çekmektedir. 3. bölgede Al ve Ca yoğunluğu bulunmaktadır. Al_2O_3 kaynaklı inklüzyonlar olduğu değerlendirilmektedir. 2, 3, 4. ve 5. bölgelerde ise alaşım elementlerinin dışında sadece Ca'nın yoğun olarak grafikte yer aldığı, Ca'nın kalıp refrakterinden döküme geçerek kalıntıya neden olduğu değerlendirilmektedir.

**Şekil 8.** Numune 2-c 5kx büyütme**Tablo 6.** Numune 2-c 5kx büyütme EDX sonuçları

	C	N	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo
1	22,00	3,14	56,29	0,15	0,09	0,18	0,03	0,00	0,57	0,19	0,00	16,55	0,80
2	11,24	3,90	68,61	0,57	0,41	0,31	0,18	0,00	0,10	0,00	0,02	14,38	0,27
3	25,24	4,57	57,02	0,49	0,40	0,44	0,19	0,00	0,44	0,21	0,32	9,46	1,21
4	36,81	6,35	40,50	0,56	0,58	0,49	0,31	0,00	0,62	0,28	0,33	11,94	1,23
5	48,17	7,96	40,01	0,47	0,21	0,31	0,09	0,00	0,55	0,03	0,00	0,70	1,52
6	55,81	4,00	38,40	0,21	0,14	0,15	0,06	0,12	0,17	0,00	0,01	0,24	0,69

Analizde Mn ve S oranlarının deoksidasyon nedeniyle yapıda meydana gelen MnS kalıntısından dolayı var olduğu değerlendirilmektedir. Optik mikroskop görüntülerinde küresel inklüzyonların yoğunlukta olması reoksidasyon sırasında meydana gelmiş oksitler olarak değerlendirilmektedir [Bostancı, S. (2022)].

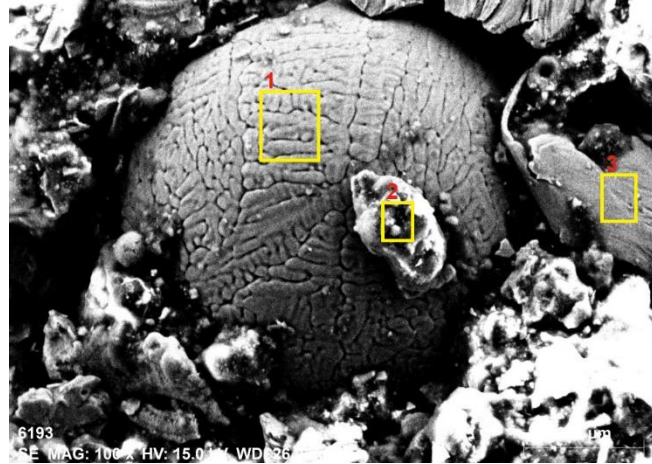


Şekil 9. Numune 3-c 5kx büyütme

Tablo 7. Numune 3-c 5kx büyütme EDX sonuçları

	C	N	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo
1	20,13	12,13	5,47	1,36	0,91	1,25	0,62	0,00	0,48	0,34	0,81	55,08	1,41
2	8,00	4,25	68,58	0,68	0,56	0,42	0,23	0,00	0,06	0,00	0,12	16,49	0,61
3	10,34	3,62	67,93	0,62	0,44	0,51	0,30	0,00	0,35	0,00	0,38	15,07	0,45
4	8,95	3,80	64,96	0,57	0,51	0,40	0,37	0,00	0,37	0,29	0,05	18,53	1,21
5	24,82	2,50	47,03	0,26	0,17	0,21	0,00	0,00	0,33	0,00	0,83	23,43	0,41
6	39,74	10,52	14,24	0,64	0,51	0,54	0,49	0,00	0,52	0,02	0,41	30,90	1,49
7	10,70	0,00	1,85	0,03	0,19	0,34	0,00	0,22	1,99	3,46	1,16	80,07	0,00

3. numunenin SEM görüntülerinde küresel ve düz yapıda farklı kalıntılar gözlemlenmiştir. 1. bölgenin analizinde diğer numunelerde olduğu gibi deoksidasyon işleminden kaynaklı intermetalik ve karbürlerin oluşabileceği bilinmektedir. Ca ve Mg'nin refrakter kalıptan döküm yapısına katıldığı ve Mg'nin magnezyum oksit (MgO) olarak da var olabileceği değerlendirilmektedir [Bostancı, S. (2022)].

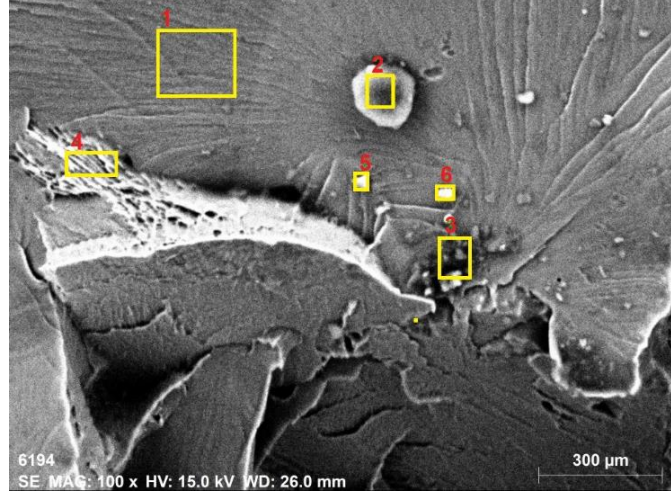


Şekil 10. Numune 1-d 5kx büyütme

Tablo 8. Numune 1-d 5kx büyütme EDX sonuçları

	C	N	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo
1	9,92	4,36	67,37	0,64	0,55	0,60	0,27	0,00	0,26	0,00	0,19	15,23	0,60
2	51,63	2,84	39,73	0,37	0,26	0,39	0,09	0,00	0,64	0,10	0,09	2,73	1,13
3	20,69	10,19	28,59	1,08	0,97	1,30	0,67	0,00	0,68	0,38	0,93	32,67	1,85

1 numaralı kalıntı bölgesinde belirgin küresel yapı gözlemlenmiştir. Analiz ile birlikte değerlendirildiğinde yüksek oranlardaki Mn ve S elementlerinin birleşik oluşturmuş olabileceği, optik mikroskop inklüzyon görüntülerinde küresel kalıntıların yoğunluğu nedeni ile oksitlerden kaynaklı kusurların var olabileceği değerlendirilmektedir [Bostancı, S. (2022)].

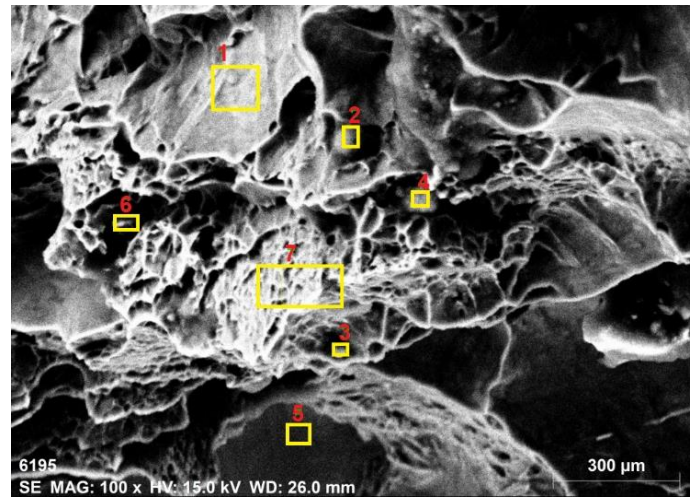


Şekil 11. Numune 2-d 10kx büyütme

Tablo 9. Numune 2-d 10kx büyütme EDX sonuçları

	C	N	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo
1	2,66	0,00	2,21	0,00	0,34	0,02	0,00	0,19	0,00	3,62	2,51	88,45	0,00
2	14,42	3,49	3,62	0,00	0,00	0,55	0,77	0,00	0,00	3,62	4,00	69,53	0,00
3	16,28	0,43	0,00	0,87	0,96	1,68	0,32	0,00	0,26	1,32	0,00	77,07	0,80
4	25,01	5,18	11,17	0,51	0,26	0,37	0,02	0,29	0,87	0,00	0,84	55,49	0,00
5	5,08	1,12	0,75	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,40	1,48	2,76	88,09	0,00
6	22,32	5,49	7,15	0,38	0,88	0,56	0,00	0,00	0,21	1,13	1,38	60,15	0,34

Analizde yer alan empürite elementleri optik mikroskop inklüzyon görüntüleriyle birlikte değerlendirildiğinde 2. numunede küresel ve açılal kontürler bulundurması nedeniyle kalıntıların oksitlerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir [Bostancı, S. (2022)].



Şekil 12. Numune 3-d 10kx büyütme

Tablo 10. Numune 3-d 10kx büyütme EDX sonuçları

	C	N	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo
1	31,69	16,34	6,43	1,37	1,04	0,85	0,33	0,00	0,00	0,40	0,00	40,92	0,64
2	28,12	5,29	51,94	0,53	0,40	0,56	0,18	0,00	0,43	0,21	0,13	11,39	0,82
3	7,99	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,22	0,13	2,81	5,84	2,93	79,15	0,00
4	32,37	3,44	51,09	0,78	0,47	0,51	0,23	0,01	0,56	0,00	0,59	8,64	1,32
5	33,97	3,42	47,85	0,48	0,41	0,40	0,24	0,00	0,53	0,17	1,04	10,46	1,05
6	26,70	7,00	0,88	0,00	0,00	0,10	0,12	0,00	0,68	1,12	1,62	60,76	1,01
7	38,41	13,97	11,63	0,79	0,67	0,41	0,03	0,00	0,37	0,00	0,66	32,28	0,77

SEM görüntüsünde küresel ve düz yapıda farklı kalıntılar gözlemlenmiştir. 2. ve 3. bölgelerin analizinde küresel kalıntı yoğunluğunun olduğu optik mikroskop inklüzyon görüntülerinde saptanmıştır [Bostancı, S. (2022)].

4. Sonuçlar

42CrMo4, 17CrMo5.5 kalite palet yan duvarı parçaları ve kullanılmamış 42CrMo4 kalite palet yan duvarı parçaları hasar analizi yöntemleri ile incelenmiştir. Çalışmanın elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Çatlakların çoğu, alt yan duvarların civata deliği konumları arasında ve palet duvarının üst kısımlarında gözlemlenmiştir.
- Palet yan duvarlarının civata bölgesindeki çatlakların bu bölgedeki civata deliğinin neden olduğu süreksizlikten kaynaklandığı değerlendirilmiştir.
- Değişken sıcaklıklardaki proses şartları palet yan duvarlarında çatlaklara, şekil deformasyonlarına sebep olmaktadır.
- Çalışma şartlarındaki termal döngü, malzemede termal yorgunluk oluşturmakta ve çatlakların yayılmasını kolaylaştırmaktadır.
- Kükürt ve fosfor gibi empüritelerin tane sınırlarında meydana getirdiği segregasyonların malzemede kırılma eğilimine yol açmaktadır.
- Mikroyapıda yoğunluğun perlit yapıdan oluştuğu gözlemlenmiştir. Perlit yapının hacim oranının ferrite oranla daha fazla olmasının ısıl iletkenliği bozarak ısıl gerilim miktarının artmasına neden olduğu değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada vermiş oldukları katkılar adına KARDEMİR Sinter Müdürlüğü, Kalite Güvence Metalurji ve Laboratuvarlar Müdürlüğü, KARDÖKMAK çalışanlarına, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MARGEM Laboratuvarları ekibine teşekkür ederiz.

Referanslar

- Mukhopadhyay, G., Bhattacharyya, S. (2012). An investigation on the cracking of pallet side walls at a sinter plant. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 12 (4), 354–360. doi:10.1007/s11668-012-9582-0
- Sarkar, P., Dhua S., Dhara, S., De, S. (2016). Metallurgical investigation into the failure of an iron ore sintering car pallet. *Engineering Failure Analysis*, 63, 31-42. doi:10.1016/j.engfailanal.2016.02.010
- Taş, Z. (2006). Nb-V-Alaşımli boru çeliklerinde mikroyapı - mekanik özellikler ilişkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (1-2) 152-160
- Hasırcı, H. (2020). Çelik dökümde alternatif gaz giderme malzemesi olarak alüminyum cürufu kullanımının incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 23(3): 641-647. doi:10.2339/politeknik.532616
- DeRose, J., Barbero, D. R. (2020). Changes faced when manually rating non-metallic metallic inclusions. <https://www.leica-microsystems.com/science-lab/rate-the-quality-of-your-steel-free-webinar-and-report/>
- Bostancı, S. (2022). Demir Çelik Entegre Sinter Tesisleri Palet Yan Duvarlarında Oluşan Çatlak Hasarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Fredriksson, H., Sunnerkrantz, P., & Ljubinković P. (1988). Relationship between structure and thermal fatigue in cast iron. *Materials Science and Technology*, 4 (3): 222-226 doi:10.1179/MST.1988.4.3.222