

# 23MnB4 Kalite Çeliklerde Vakumda Gaz Giderme İşleminin Nihai Ürün Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Yasin DEVEÇEKER<sup>1</sup>, Engin ÇEVİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> KARDEMİR AŞ, Kalite Güvence Metalurji ve Laboratuvarlar Müdürlüğü Karabük, Türkiye [ydeveceker@kardemir.com](mailto:ydeveceker@kardemir.com)

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye [engincevik@karabuk.edu.tr](mailto:engincevik@karabuk.edu.tr)

(Alınış: 01 Haziran 2022, Kabul: 17 Haziran 2022, Online Yayınlanma: 30 Temmuz 2022)

**Özet**— Bu çalışmada, bağlantı elemanı olarak kullanılan 23MnB4 kalite kangallarda vakum da gaz giderme işleminin hidrojen ve azot kaynaklı çatlak ve kırılganlığa etkisi araştırılmıştır. Vakumlu ve vakumsuz döküm yöntemiyle üretilen kangallara elementel analiz, mikroyapı incelemeleri, çekme, sertlik ve basma testi uygulanarak kendi aralarında kıyaslama yapılmıştır. Yapılan testler neticesinde vakum altında gaz giderme işlemi yapılmış dökümlerden elde edilen kangal numunelerinde azot ve hidrojen değerinin daha düşük olduğu, mikroyapı incelemelerinde kalıntıların vakumsuz döküm yöntemiyle üretilen kangallara göre daha az ve daha küçük boyutlu olduğu ve basma testleri neticesinde kılcal çatlak oranının büyük oranda azaldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler**— vakumda gaz giderme, hidrojen, azot, civatasomun

**Abstract**- In this study, the effect of vacuum degassing on hydrogen and nitrogen-induced cracks and embrittlement was investigated in 23MnB4 steel grade coils used as fasteners element. With the instrumental analysis method, the nitrogen-hydrogen values of the coils used in the experimental study were noted and the compression test was performed to investigate whether there were any cracks in the samples. As a result of the tests, in the coil samples obtained from the castings that were degassed under vacuum, it was determined that the nitrogen and hydrogen values were lower, in microstructural examinations, it was found that the inclusions are less and smaller than the coils produced from vacuum casting and the capillary crack rate was lower as a result of the compression tests.

**Key word**— vacuum degassing, hydrogen, nitrogen, fasteners

## I. GİRİŞ

Özellikle son yıllardaki otomotiv ve uzay sanayindeki gelişmeler, sektördeki özel alaşımli bağlantı elemanlarına olan

ihtiyacı arttırmıştır. Bağlantı elemanı kalitesine örnek 23MnB4 kalite analizi Tablo 1 de verilmiştir. Bu ihtiyaç aynı zamanda bağlantı elemanlarının üretildiği yarı mamullerdeki çelik temizliğini de önemli hale getirmiştir. Temiz çelik üretimine olan ihtiyacın artmasıyla beraber yapı içerisinde bulunan kalıntıların mümkün olduğunca çelik içerisinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Çelik üretiminde oluşan ve metalik olmayan kalıntı bileşiklerine inklüzyon denir. Inklüzyon tipleri genellikle oksitler, sülfidler, nitrürler ve karbürlerden oluşmaktadır [1]. Bu kalıntılar yoğunluk, tür ve boyutlarına göre döküm esnasında ve nihai ürün üretimi sırasında olumsuz etki gösterebilirler [2]. Bu olumsuz etkilere bakıldığında çelikhane dökümün erken kesilmesine, nihai üründe ise mekanik özelliklerde kötüleşme ve yüzey pürüzlülüğü (çatlak, kopma vb) şeklinde sıralanabilir. İlave olarak, kalıntılar çatlak başlangıcına neden olur bu da haddeleme esnasında kalıntıların haddeleme kuvvetine dayanamamasından kaynaklanır. Bu çatlak, mukavemeti azaltır ve aynı zamanda haddelemede çekmenin de etkisiyle büyür ve kopma sorununa yol açar [3].

Çelik içerisinde istenmeyen elementlerden bazıları azot, hidrojen ve oksijen elementleridir. Bu elementlerin çeliğin içerisinde bulunması nihai üründe hem mekanik hem fiziksel olarak sorunlara sebep olmaktadır. Bu elementler genel itibarıyla gevrekliği ve kırılganlığa arttırmakla beraber çelik içerisinden uzaklaştırılmaları da bir hayli zordur. Bu elementlerin atmosfer bileşiminde de olduğu düşünülürse çelik içerisinden giderilseler bile tekrar çeliğe girmeleri mümkündür ve üretim esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardandır.

Çelik Kalitesi	23MnB4
%C	0.20-0.25
%Si	≤0.30
%Mn	0.90 to 1.20
%P	≤0.025
%S	≤0.025
%Cr	≤0.30
%Cu	≤ 0.25
%B	0.0008 to 0.0050

Tablo 1. 23MnB4 kalite çeliklerin EN 10263-4:2017 standardında belirtilen kimyasal içeriği [4].

Azot sıvı çelikte titanyum ve alüminyum ile reaksiyona girebilir ve çeliğin yüzeyine zarar verebilecek ve nihai ürünün kalitesini düşürebilecek nitrür inklüzyonları oluşturabilir [5]. Malzemede nitrür oluşumu, içerdeki, serbest azot oranını kritik seviyelere getirirse bu durumda iri taneli bir yapı oluşur. Ayrıca bu nitrür ve karbo nitrürler tane sınırlarına çökerek malzemede sertleşmeye neden olurlar. Bu sertleşme malzemede azot miktarı arttıkça artar ve bir süre sonra kırılğan bir yapı halini alır. Bunun sebebi taneler arasına çöken asimetric nitrür ve karbo nitrürlerdir. Tane sınırlarındaki bu yapılar, tanelerin hareketini zorlaştırarak malzemeye sertlik kazandırmaktadır [5]. Çelikteki azot, hem malzeme özelliklerini bozan istenmeyen bir element hem de bir alaşım elementi olarak kabul edilebilir. Azot, iki atomlu moleküler yapıya sahip gaz halinde bir elementtir. Ayrıca, hidrojen ve kükürt gibi azotun da erimiş çelikteki çözünürlüğünün Sievert yasasına uyduğu kanıtlanmış bir gerçektir. Azotun uzaklaştırılması, çelikte çözülmüş azotun gaz olarak çökmesini gerektirir.

Atom bazında yer alan azot elementi gerinim yaşanması açısından olumsuz etkilere sahiptir. Çelik gerinim etkileri altındayken elementel azot yapı içindeki dislokasyonlara doğru ilerler. Bu ilerleme esnasında kafes yapısına ve dislokasyonların yoğun olduğu yerlerde basınç düzlemleri oluşturarak, dislokasyonların daha hızlı ilerlemesine neden olur. Yoğunlaşan dislokasyonlar zorlamaya maruz kaldığında gerinim altında bulunan malzemede beklenenden daha çabuk kırılmaya neden olabilir [5].

Diğer yandan, hidrojenin çelikten giderilmesi, hidrojenin çelik içerisinde ppm düzeyinde dahi olsa varlığı birtakım hatalara yol açması nedeniyle, ikincil çelik üretiminin kritik bir parçasıdır. Bu hataların ortadan kaldırılabilmesi adına vakumda gaz giderme tekniği geliştirilmiştir. Bu işlem, çelik eriyiği düşük basınç ve argon temizleme kombinasyonuna tabi tutar. Hidrojenin çelikteki çözünürlüğü vakum altında önemli ölçüde azalır. Gaz kabarcıklar tarafından kütle transferi için sağlanan geniş ara yüzey alanı, eriyikten hidrojenin çıkarılmasını kolaylaştırır [6]. Pota rafinasyonu sırasında, kükürt giderme,

inklüzyon kontrolü ve ısı yalıtımı amacıyla eriyiğin üstünde bir cüruf tabakası oluşur. Yükselen kabarcıklar, cüruf tabakası içinde eriyiğin atmosfere maruz kaldığı bir göz (dana gözü) oluşturur ve kabarcıklar yüzeye ulaşır. Yüzeye ulaşan bu kabarcıklar cürufa alınmak suretiyle yapıdan uzaklaştırılır.

Hidrojen çelik içerisinde bulunan en zararlı elementtir. Atom çapı küçük olması nedeniyle ara yer elementi olarak yapıya girer. Hidrojenin yapı içerisine difuze olmasıyla, hidrojen metal tane sınırlarına yayılır ve metal tane sınırlarında diğer hidrojen atomlarıyla birleşerek kabarcıklar oluşturur. Bu sayede metalin süneklik kaybı ve yük taşıma kapasitesini azaltır ve yapıda gevrekliğe ve çentik etkisine yol açar. Hidrojen gevrekleşmesinin sonucu, metalin akma dayanımından daha düşük gerilmelerde çatlama ve kırılma yaşanır. Hidrojenin yapı içerisine absorpsiyonu ile metalin serbest yüzey enerjisi azalır [6]. Tane sınırlarında oluşan kabarcıklar yüzey enerjisinin de azalmasıyla beraber malzemede süreksizliğe yol açar ve yapıyı zayıflatır [7].

Kalıntıların neden olduğu olumsuz etkileri giderebilmek adına temiz bir pota metalürjisi işlemi gerekmektedir. Bu nedenle de vakum altında gaz giderme işleminin kullanılması ile istenmeyen gazları yapıdan ayırmak ve argon gazı ile vakum altında verimli bir karıştırma ile sıvı çelik cüruf arasında etkileşim sağlanarak yapıdan kalıntıların uzaklaştırılması sağlanabilmektedir [8].

Son yıllarda gelişen ve değişen vakum tekniğiyle bahsi geçen elementler çelik içerisinden uzaklaştırılmış ve nihai ürüne de olumlu yönde de katkıda bulunulmuştur. Birçok farklı vakum tekniği bulunmakta olup, bu çalışmada sıvı çelik potasının üzeri kapak yardımıyla kapatılmış, alttan inert bir gaz olan argon gazı üflenerek basıncın İmbar ın altına düşürülmesi suretiyle gaz giderme işlemi yapılmıştır. Bu işlem de gaz giderme işleminin etkinliği, erimiş çelik ile vakum arasındaki azaltılmış basınçtan kaynaklanır. Bu durum istenmeyen gazların sıvı çelik içerisinde daha az çözünür hale gelip çelikten ayrılmasını sağlar [9].

## II. YÖNTEM

Vakum altında gaz giderme işlemi, istenmeyen gazların çelik içerisinden uzaklaştırılması ve inklüzyonların yздürülerek cürufa geçirilmesi konusunda büyük avantaj sağlamaktadır. Bu sayede temiz çelik üretimi yapılarak otomotiv sanayi başta olmak üzere özellikle bağlantı elemanı sektöründe kullanılan nihai ürünlerde başta ürün ömrünün uzaması gibi önemli kazanımlar sağlanmaktadır.

Çalışmamızda yapılan literatür taramasıyla elde edilen bulgular ışığında vakum altında gaz giderme işlemi ile 23MnB4 kalite çeliğin nihai ürün özellikleri incelenerek bu çeliğin kullanıldığı sektörlere ışık tutabilmesi amacıyla kullanım koşulları göz önünde bulundurulup mikroyapı, kimyasal ve mekanik özellikleri irdelenmiştir.

Optik incelemeler Nikon MA200 marka cihazda yapılmıştır. Hazırlanan vakumlu-vakumsuz numuneler dağlanmamış ve %2 nital ile dağlanmış halde kendi aralarında kıyaslanmıştır. Bu

analizde inklüzyon tipi ve numunedeki faz yapısı kontrol edilmiştir. Sonrasında detaylı mikroyapı incelemeleri Carl Zeiss Ulrta Plus marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

O/N/H analiz cihazında analitik metot olarak inert gaz füzyon tekniği kullanılmaktadır. Numuneye 6000 watt güç uygulanır ve fırın ısısı anlık olarak 2000-2500°C dereceye çıkarılır. Bu güç karşısında numune parçalanır ve oksijen, hidrojen ve azot elementleri gaz fazına geçer. Bu gazlar, helyum gazı ile sürüklenerek gerekli kimyasal filtrelerden geçirildikten sonra oksijen ve hidrojen infrared detektör ile azot için termal iletkenlik detektörü ile ölçüm yapılır.

Deneysel çalışmalarımızda LECO ONH 836 marka elementel analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile farklı üretim vakumlu-vakumsuz olarak üretilen kangalların azot, hidrojen ölçümleri yapılmıştır. Üretilen kangal numunelerinden yaklaşık 1'er gram olacak şekilde pim numuneleri hazırlanarak grafit kroze içerisine yerleştirilmiş ve analizleri ASTM E 1019 standardı gereğince yapılmıştır [10].

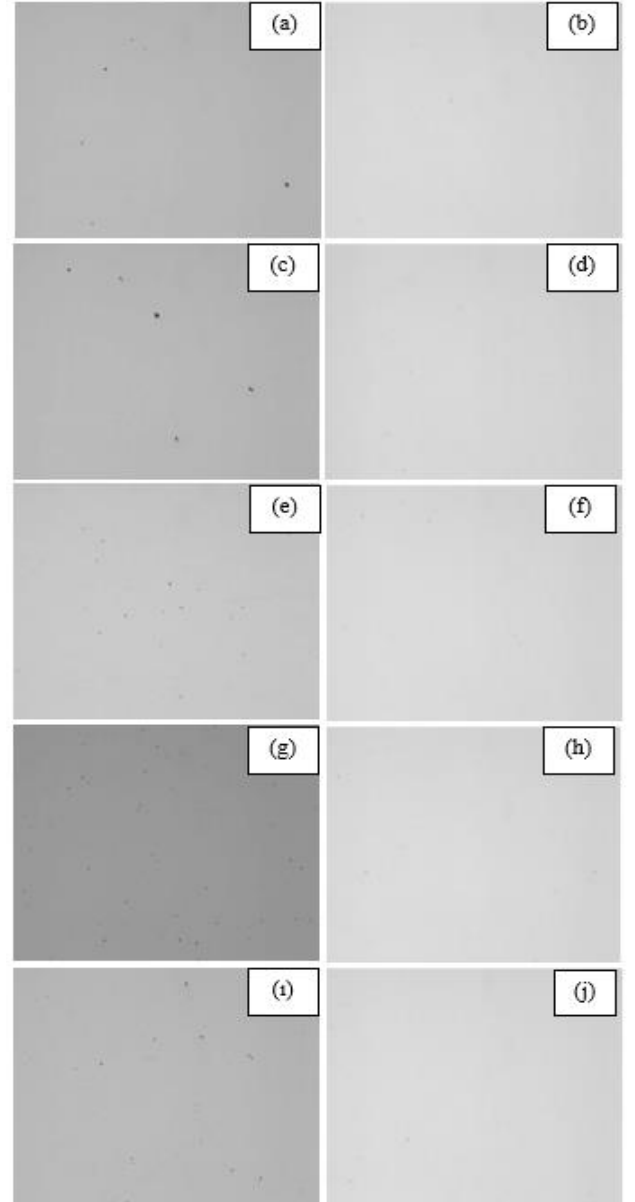
Sertlik ölçümleri EmcoTest Duravision 250kgf marka cihazda ve TS EN ISO 6508-1 standardına göre yapılmıştır [11].

Çekme testleri Zwick Roell Z600- 60 ton kapasiteli cihazda, 23°C ± 5° derecede, TS EN ISO 6892-1 standardı referans alınarak uygulanırken [12] basma testleri oda sıcaklığında TS EN 206 standardı referans alınmıştır [13].

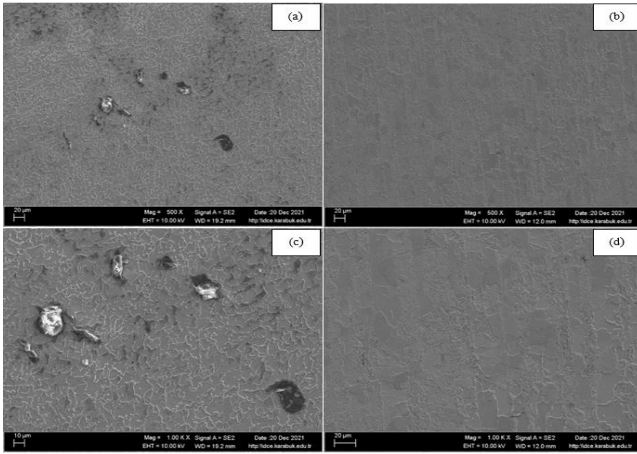
### III. SONUÇLAR

#### A. Metalografik İncelemeler

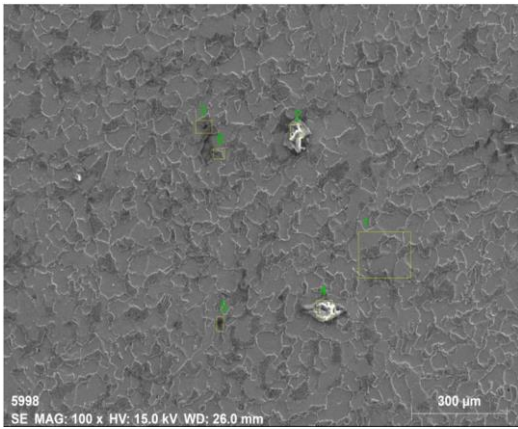
Numunelere yapılan SEM-EDS ve optik incelemeler Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4'te verilmiş olup, vakum uygulanan numunelerde inklüzyonların vakumsuz numunelere göre daha az sayıda ve daha küçük boyutta olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. Makroyapı fotoğrafları. a)Vakumsuz, b)Vakumlu 1 nolu döküm, c)Vakumsuz, d)Vakumlu 2 nolu döküm, e)Vakumsuz, f)Vakumlu 3 nolu döküm, g)Vakumsuz, h)Vakumlu 4 nolu döküm, ı)Vakumsuz, j)Vakumlu 5 nolu döküm



Şekil 2. Numunelere ait SEM mikroyapı görselleri (a) Vakumsuz 1 nolu döküm 500x büyütme (b) Vakumlu 1 nolu döküm 500x büyütme (c) Vakumsuz 1 nolu döküm 1000x büyütme (d) Vakumlu 1 nolu döküm 1000x büyütme



Şekil 3. Vakumsuz 1 nolu döküm 100x büyütme SEM mikro yapı kalıntı görseli

	C (%)	N (%)	O (%)	Al (%)	S (%)	Mn (%)	Fe (%)
1.Spektrum	29,57	16,06	22,25	0,78	0,58	0,41	30,36
2.Spektrum	52,67	18,16	28,70	0,16	0,26	0,06	0,00
3.Spektrum	47,57	11,22	24,20	0,53	0,32	0,80	15,34
4.Spektrum	51,31	15,39	32,65	0,14	0,22	0,15	0,16
5.Spektrum	52,85	13,43	22,14	0,45	0,31	0,30	10,52
6.Spektrum	41,96	12,58	27,71	0,38	0,46	0,21	16,68

Tablo 2. Vakumsuz 1 nolu döküme ait EDS analiz sonucu

Vakumsuz numunelere ait SEM görüntüleri üzerinden alınan EDX analizleri de makroyapı fotoğraflarını destekler niteliktedir. Farklı bölgelerden kalıntılar üzerinde yapılan analizlerde yüksek miktarlarda oksijen ve azot varlığı tespit edilmiştir.

## B. Elementel Analiz

Elementel analiz yöntemiyle azot ve hidrojen tayini yapılmıştır. Numuneler 1'er gramlık pim şeklinde hazırlanmış olup grafit kroze içerisine yerleştirilmiş ve Tablo 3'te verilen analiz sonuçları elde edilmiştir. Vakum yöntemi uygulanmamış ve vakum yönteminin uygulandığı 5'er adet döküme ait sonuçlar incelenmiştir.

Vakumsuz dökümler	Hidrojen (ppm)	Azot (ppm)	Vakumlu dökümler	Hidrojen (ppm)	Azot (ppm)
1	2,15	90	1	0,32	59
2	1,55	84	2	0,54	71
3	1,73	84	3	0,88	68
4	2,54	91	4	0,63	76
5	1,48	93	5	0,9	62

Tablo 3. Vakumsuz ve vakumlu dökümlere ait elementel analiz sonuçları

Elementel analiz ölçümlerinde, vakum uygulanan numunelerde gaz giderme işleminin etkisiyle hidrojen ve azot gibi istenmeyen gazların vakumsuz numunelere göre büyük oranda azaltıldığı kanıtlanmıştır.

## C. Sertlik Testi

Sertlik ölçümleri laboratuvara gelen kantal numunelerinden test için gerekli olan boya testere ile kesilmek suretiyle hazırlanmıştır.

Sertlik testleri, 120° tepe açılı Rockwell elmas konik uç kullanılarak 23°C ± 5°C sıcaklıkta yapılır. Ölçümler kantal parçasının enine kesitinden alınan numune üzerinden merkez noktadan en az beş ölçümün ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Vakumsuz dökümler	Sertlik (HRC) Merkez-Kenar	Vakumlu dökümler	Sertlik (HRC) Merkez-Kenar
1	41 - 43	1	43 - 43
2	42 - 42	2	41 - 42
3	42 - 43	3	42 - 43
4	41 - 42	4	42 - 42
5	42 - 42	5	43 - 44

Tablo 4. Vakumsuz ve vakumlu dökümlere ait sertlik testi sonuçları

Sertlik testi sonuçları incelendiğinde vakum uygulanan ve vakum uygulanmayan dökümler arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

## D. Çekme Testi

Çekme testi, laboratuvara gelen, birsarım kantal numunesinin 4'e bölünmesi suretiyle her bölgesinden olmak

üzere yapılır ve mekanik dalgalanma kontrol edilir. Bu deney esnasında numunenin bağlı olduğu çenelerden biri sabit hareket ettirilerek değişen miktarda çekme kuvveti uygulanır ve numune kopana kadar devam eder. Sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Vakumsuz	Uzama (%)	Akma (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme (N/mm <sup>2</sup> )
1 nolu Döküm (Vakumsuz)	20	351	562
1 nolu Döküm (Vakumlu)	23	342	539
2 nolu Döküm (Vakumsuz)	15	387	585
2 nolu Döküm (Vakumlu)	17	367	585
3 nolu Döküm (Vakumsuz)	20	399	578
3 nolu Döküm (Vakumlu)	18	398	596
4 nolu Döküm (Vakumsuz)	19	358	566
4 nolu Döküm (Vakumlu)	20	340	529
5 nolu Döküm (Vakumsuz)	23	348	544
5 nolu Döküm (Vakumlu)	20	397	578

Tablo 5. Vakumsuz ve vakumlu dökümlere ait çekme testi sonuçları

Çekme testi sonuçları incelendiğinde vakum uygulanan ve vakum uygulanmayan dökümler arasında akma-çekme mukavemetlerinde belirgin bir fark görülmemekle birlikte % uzama değerlerinde iyileşmeler kaydedilmiştir.

#### E. Basma Testi

Numune, 2 basma kafası arasına yerleştirilerek sabit hızla artan bir kuvvet uygulanır. Kangal parçasından alınan enine kesit numunesi nominal çapın 1,5 katı uzunluğunda kesilerek doğrultulmuş ve TS EN 206 standardına göre testler yapılmıştır [13].

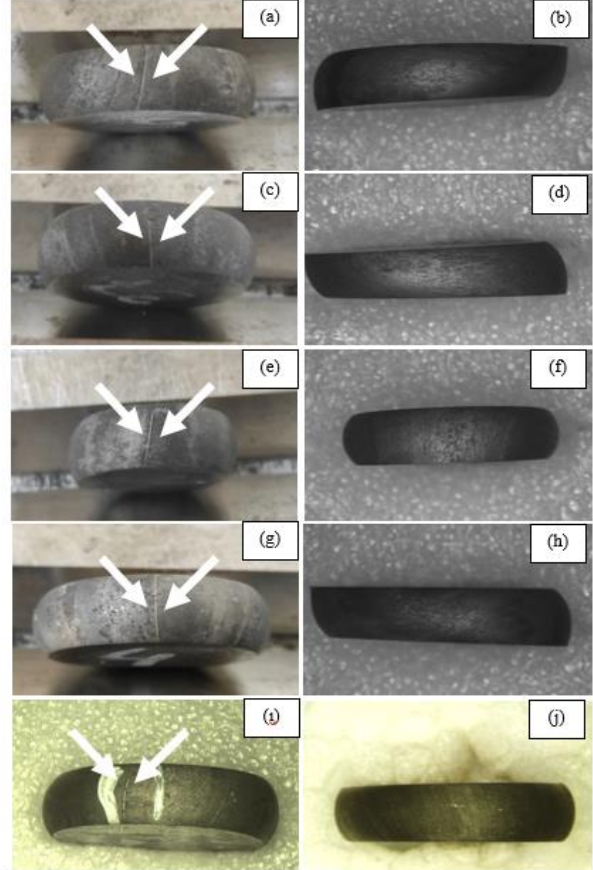
Cihazın yük gerilme artış hızı 2 kgf/mm<sup>2</sup> olarak başlar, cihaza tanımlanan numune ile ilgili parametreler doğrultusunda cihaz tarafından otomatik olarak belirlenerek devam eder. Numune boyu toplam boyun 1/3 üne kadar indirilir. Test sonrası numune görsel olarak incelenir. Basma test sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. İncelemeler sonucunda vakumsuz olarak üretilen kangallara yapılan basma test sonuçlarında, kılcal çatlaklar belirgin şekilde gözükmemektedir.

## TARTIŞMALAR

Numunelere yapılan SEM-EDS ve optik incelemeler neticesinde, vakum uygulanan numunelerde inklüzyonların vakumsuz numunelere göre daha az sayıda ve daha küçük boyutta olduğu tespit edilmiştir. Bu durum; vakum prosesinde potanın altından argon gazı üflenerek alttan karıştırma yapılması sayesinde istenmeyen gazların ve inklüzyonların

yüzdürülerek çelik yapıdan uzaklaştırılması şeklinde açıklanabilir.

Elementel analiz ölçümlerinde, vakum uygulanan numunelerde gaz giderme işleminin etkisiyle hidrojen ve azot gibi istenmeyen gazların vakumsuz numunelere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, vakum altında basıncın düşürülerek azot ve hidrojen gibi gazların çözünürlüğü azaltılması ve gaz halinde çökmesi, çöken gazın karbon monoksit ve argon gibi diğer gazlar tarafından emilerek kabarcık haline gelmek suretiyle, karıştırma ve yüzdürmenin etkisiyle yüzeye ulaşarak çelik dışarısına atılması şeklinde açıklanabilir [9].



Şekil 4. Basma testi sonucu fotoğrafları. a)Vakumsuz,b)Vakumlu 1 nolu döküm, c)Vakumsuz, d)Vakumlu 2 nolu döküm, e)Vakumsuz, f)Vakumlu 3 nolu döküm, g)Vakumsuz, h)Vakumlu 4 nolu döküm, i)Vakumsuz, j)Vakumlu 5 nolu döküm.

Uygulanan mekanik testlerde sertlik ve çekme testlerinde belirgin farklar görülmemekle birlikte basma test sonuçları incelendiğinde, vakumsuz üretilen kangallara yapılan basma test sonuçlarında, kılcal çatlaklar belirgin şekilde gözükmemektedir. Hidrojen, azot gibi yapıda istenmeyen gazlar ve inklüzyonların azaltılmasıyla yapı daha tok hale gelmiş ve basma testi sonuçlarını olumlu olarak etkilemiştir, ayrıca yapıda istenmeyen gazların mevcudiyeti nihai ürüne yapılan çekme testlerinde akma çekme mukavemetlerini etkilememiş

olmakla beraber daha sünek yapıya kavuşması neticesinde %uzama değerlerinde iyileşme kaydedilmiştir. Bu numunelerde, elementel analizdeki sonuçlar göz önüne alındığında azot ve hidrojen oranının vakumlu dökümlere nazaran daha yüksek olduğu ve bu istenmeyen gazların yüksek olmasıyla beraber yapı içerisinde kırılabilirliğe yol açtığı ve nihai ürünü olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Kaçar, Y., “Kalsiyum İşlemi İdeal İnküzyon Modifikasyonu Koşullarının Belirlenmesi ve Proses Optimizasyonu”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1 (2011)
2. Norasethaspon, S. ve Yoshida, K., “Influences of Inclusion Shape and size in drawing of copper shaped wire”, *Journal of Materials Processing Technology*, 172, 400-406 (2006).
3. Altun, K., “Soğuk Çekme Metoduyla Üretilen Kaynak Tellerinde Görülen Hataların Belirlenmesi ve Giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 67-68 (2015)
4. TS EN 10263-4: Soğuk şişirme ve soğuk ekstrüzyon için çelik çubuk, filmaşın ve tel-Bölüm-4: İslah çeliklerinin teknik teslim şartları, 2017. [Online].
5. İnternet: Industrial Metallurgists, LLC, “Hydrogen Embrittlement of Steel”<https://www.imetllc.com/hydrogen-embrittlement-steel/>
6. Karouni, F., Wynne, B.P., Talemantes-Silva, J., Phillips, S., “Hydrogen Degassing in a Vacuum Arc Degasser Using a Three-Phase Eulerian Method and Discrete Population Balance Model”, *Steel Research International*, 1 (2018)
7. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi, “Metallerde Gevrekleşmeler”<https://web.itu.edu.tr/gulmezt/MekanikD/Metallerde%20Gevreklesmeler.pdf>
8. Terzioğlu, M., “Vakum Metalürjisi Yöntemi İle Çelik Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 6 (2001)
9. Ahlin, B., “Nitrogen Removal in a Vacuum Tank Degasser: An Investigation on the Nitrogen Removal Performance”, *Stockholm-Sweden*, 6-9, (2019)
10. ASTM E1019-18: Standard Test Methods for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel, Iron, Nickel, and Cobalt Alloys by Various Combustion and Inert Gas Fusion Techniques, 2018.
11. TS EN ISO 6508-1: Metalik malzemeler- Rockwell sertlik deneyi-Bölüm 1: Deney metodu, 2016.
12. TS EN ISO 6892-1: Metalik malzemeler - Çekme deneyi - Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu, 2020.
13. TS EN 206: Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, 2014.