



# Kalın Kesitli Hadfield Çeliklerine Karbon ve Molibden İlavesinin Etkisinin İncelenmesi

Faruk Öztürk<sup>1\*</sup>, Uğur Gürol<sup>2</sup>, Mehmet Uysal<sup>3</sup>

1\* Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2818-6690), oztfaruk@hotmail.com

2 İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3205-7226), ugr.gurol@yahoo.com

3 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9396-7450), mehmetu@sakarya.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 13 Kasım 2022 ve Kabul Tarihi 31 Ocak 2023)

(DOI: 10.5281/zenodo.10439835)

**ATIF/REFERENCE:** Öztürk, F., Gürol, U., Uysal, M. (2022). Kalın Kesitli Hadfield Çeliklerine Karbon ve Molibden İlavesinin Etkisinin İncelenmesi. *European Journal of Science and Technology*, (52), 193-200

## Öz

Hadfield çelikleri madencilik endüstrisinde özellikle yüksek tokluk ve aşınma direnci gerektiren astar plakalarında, konik kırıcıların cevher ile temas eden ve cevheri öğüten kırıcı mantolarında, kırıcı çenelerinde ve iş makinalarının yürüyüş takımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çeliklerde artan kalite gereksinimleri nedeniyle, daha yüksek tokluk ve aşınma özellikleri elde etmek için dökümhanelerin Ar-Ge departmanları tarafından alaşım geliştirme ve ısıtım işlem optimizasyon çalışmaları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada kalın kesitli Hadfield çeliklerinde karbon ve molibden ilavesinin mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Döküm numunelerinin karakterizasyonu için mikro yapı incelemelerine ek olarak sertlik, çekme ve darbe çentik testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar en yüksek çekme ve süneklik değerlerinin düşük karbon içeriğine sahip (1.09%C) molibdensiz analiz ile elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, daha yüksek akma mukavemetine sahip karbürsüz bir yapı eldesi için molibden ilavesi olması durumunda ise ısıtım işlem sıcaklığının veya süresinin artırılması gerektiğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hadfield çelikleri, Alaşımlama, Çözeltiye alma, Mikroyapı, Mekanik özellikler

## Investigation of the Effect of Carbon and Molybdenum Addition on Thick-walled Hadfield Steels

### Abstract

Hadfield steels are widely used in the mining industry, especially in mill liners, crusher mantles of cone crushers that contact and grind ore, crusher jaws, and undercarriage of construction machinery, where the high toughness and wear resistance properties are required. Due to the increasing quality requirements in these steels, alloy development and heat treatment optimization are gaining importance by the R&D departments of the foundries to obtain higher toughness and wear properties. This study investigated the effects of carbon and molybdenum additions on the microstructure and mechanical properties of thick-section Hadfield steels. The hardness, tensile and Charpy impact tests were applied in addition to microstructure examination to characterize the casting samples. The results showed that the highest tensile and ductility values can be obtained with molybdenum-free analysis with low carbon content (1.09%C). In addition, it was revealed that the heat treatment temperature or time should be increased in case of molybdenum addition to obtaining a carbide-free structure with higher yield strength.\*

**Keywords:** Hadfield steel, Alloying, Solution annealing, Microstructure, Mechanical properties

\* Sorumlu Yazar: oztfaruk@hotmail.com

## 1. Giriş

Hadfield çelikleri 1882 yılında İngiliz metalurjist Sir Rober Hadfield tarafından keşfedilmiştir. Bı çelikler yüzyılı aşkın bir süredir özellikle madencilik endüstrisinde, öğütme sistemlerinde kullanılan astar plakalarında, konik kırıcıların cevher ile temas eden ve cevheri öğüten kırıcı mantolarında, kırıcı çenelerinde ve iş makinelerinin yürüyüş takımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebebi ostenitik yapıda olmalarının yanı sıra darbe altında soğuk şekil değiştirme (work hardening) göstermeleri ve yüzeylerinde aşınmaya dayanıklı bir tabaka oluşmasıdır [1-2]. Bu tip çelikler sahip oldukları yüksek tokluk değerleri sayesinde kuzey kutbu iklimlerindeki sıfır altı sıcaklıklarda çalışan madencilik parçalarında dahi ferritik çeliklere nazaran önemli bir emniyet faktör sağlamaktadır [3].

Hadfield çelikleri kalıp içerisinde yavaş soğumaları nedeniyle döküm yapılarında tane sınırları boyunca çökelmiş kompleks karbürler ve üçlü fosfor ötektikleri içerirler [4]. Oluşan bu ikincil çökeltilerin çatlak başlangıç noktaları oluşturmaları nedeniyle döküm yapıları kırılmalıdır. Bu sebeple özellikle kalın kesitli numunelerde döküm sonrası mutlaka bir ısıl işlem yapılması gerekmektedir. İçerdikleri alaşım elementlerine bağlı olarak Hadfield çelikleri 900°C ile 1150°C sıcaklığa ısıtılır ve inç başına 1 saat bekletildikten sonra yavaş soğumalarına soğumalarına izin verilmeksizin oda sıcaklığındaki suya daldırılır. Sonucunda karbürsüz ve %100 ostenitik bir yapının hedeflendiği bu ısıl işleme verilen isim çözeltiye alma ısıl işlemi adı verilir [5].

Yüksek manganlı çeliklere darbeli yükler altında çalışmaları durumunda çözeltiye alma ısıl işlemi sonrasında ön ısıtma veya temperleme işlemleri önerilmez. Çünkü kısa süreliğine de olsa parça sıcaklığının 595°C'nin üzerine veya uzun süreli ısıtımlarda 315 °C üzerine çıkması durumunda kararlı olan ostenitik fazında bölgesel dönüşümler veya tane sınırları boyunca karbür çökelmeleri başlayacaktır [6]. Bu nedenle özellikle düşük karbon içeriğine sahip parçaların ısıtılma veya ısınma durumlarında karbür oluşumunu geciktirmek, mevcut karbürlerin daha küresel bir formda çökmesini sağlamak ve aynı zamanda parçaların kırılma eğilimine karşı olan dayanımlarını arttırmak amacıyla %1'e kadar Mo ilavesi yapılmaktadır. Böylece döküm uygulamalarında zorunlu koşullar sebebi ile uygulanan yüksek sıcaklık uygulamalarının (besleyici ve yolluk gibi ilavelerin parçadan kesilmesini içeren kesim uygulamaları gibi) daha kolay uygulanmakta ve çatlama riski minimize edilmektedir [7]. İlâveten, Mohammednezhad ve arkadaşları tarafından artan Mo miktarı ile MoC'lerin oluştuğu ve bu karbürlerinde katılaşma esnasında bir çekirdeklenme bariyeri gibi davranarak ostenitik manganlı çeliklerde tane küçültücü etki oluşturduğu raporlanmıştır [8]. Benzer şekilde, Zhuang ve arkadaşları tarafından 25 mm çapındaki ingot parçalar üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda %0,9 Mo ilavesi ile sertlik ve darbe çentik değerlerinin sırasıyla %49,41 ve %44,7 oranında arttığı belirtilmiştir [9].

Molibden elementinin oluşturduğu tüm bu olumlu etkiler yapıdaki karbon miktarının değişmesi ile etkisini kaybedebilmektedir. Çünkü yüksek manganlı çeliklerde artan karbon miktarı ile tane sınırlarına çökelen karbür ağlarının ciddi oranda sünekliliği düşürdüğü bilinmektedir [10]. Lencina ve arkadaşları yaklaşık %1,4 karbon içeriğinin tane sınırlarında karbür oluşumuna sebep olduğunu, 100 mm'den büyük dökümlerde artan kırılma eğiliminin sonuç olarak tokluk değerini düşürdüğünü belirtmiştir [11]. Gürol ve Kurnaz tarafından 60 mm et kalınlığına döküm numuneleri kullanılarak sabit mangan içeriğindeki (%17Mn) yüksek manganlı çeliğe karbon ilavesinin etkisinin incelendiği çalışmada optimum karbon içeriğinin %1 olduğu, artan karbon miktarı tane sınırlarında karbürlerin çökelmeye başladığı ve buna bağlı olarak da çekme mukavemeti ile sünekliliği düştüğü raporlanmıştır. Yine aynı çalışmada artan karbon oranı ile döküm parçaların katılaşma aralığının arttığı ve bunun sonucunda da tane boyutlarının arttığı belirtilmiştir [12]. Bu sebeple endüstriyel uygulamalarda bilhassa karbür çökme riskinin çok yüksek olduğu kalın kesitli döküm parçalarda (t:>100mm) kırılma ve aşınma problemlerinin önüne geçilebilmesi için Mo ve C ilavesinin birlikte düşünülerek optimize edilmesi gerekmektedir.

Yüksek manganlı ostenitik çelikler içerdikleri C, Mn, Cr, Mo ve Ni gibi alaşımların % oranlarına bağlı olarak ASTM A 128 standardında alt gruplar dahil 10 farklı gruplarda sınıflandırılmaktadır [13]. Standartın B-1, B-2, B-3 ve B-4 sınıfları dışındaki diğer gruplarında karbon aralığı daha geniş tutulmuştur. Fakat, dökümhanelerde standart bir kalitenin elde edilebilmesi için bu aralıklar daha da daraltılarak kullanılmak zorundadır. Aksi takdirde standartın belirttiği karbon ve molibden aralıklarında oldukça geniş analize sahip parçalar döküldüğünde mikro yapı ve mekanik özelliklerin kolay bir şekilde kontrol edilememesi nedeniyle kırılmalar veya aşınma problemleri kaçınılmaz olacaktır. Bu çalışmada literatürdeki birçok çalışmalardan farklı olarak endüstriyel şartlar altında üretimi gerçekleştirilen 200 mm kesit kalınlığına sahip ASTM A 128 Grade E-1 sınıfındaki yüksek manganlı ostenitik çeliğe molibden (%0,90) ve farklı oranlarda karbon ilavesi (%1.09, %1.15 ve %1.20) gerçekleştirilerek mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

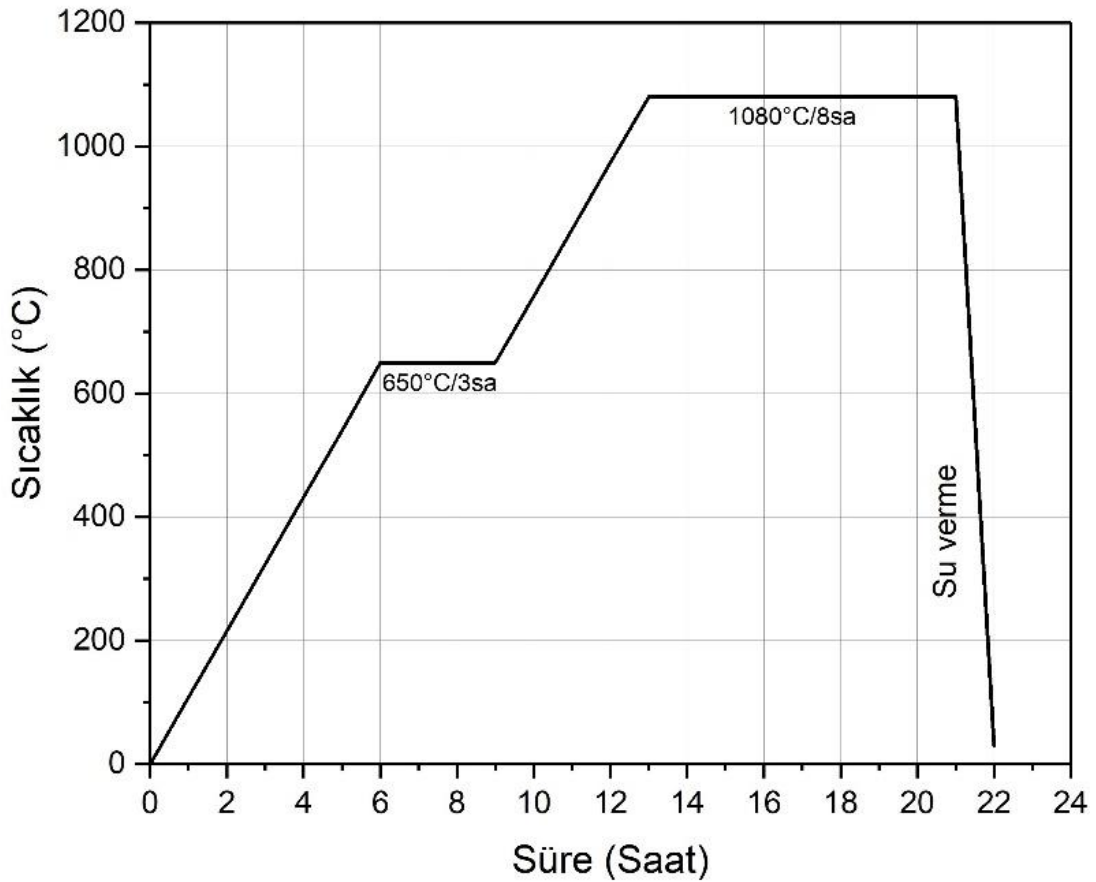
Bu çalışmada kullanılan 240x240x200 mm ebatlarındaki döküm test blokları silis kumu kullanılarak kum kalıp döküm yöntemi ile kalıplanmış ve atmosfere açık 3500 kg kapasitesi olan indüksiyon ocağı ile dökülmüştür. Ergitme işlemi esnasında silisyum, mangan, kükürt ve fosfor elementlerinin mikro yapı ve mekanik özelliklere olası etkilerini bertaraf edebilmek için tüm deneme dökümlerinde istenilen analiz aralıkları dar toleranslarda tutularak birbirlerine yakın olacak şekilde alaşımlamalar yapılmıştır. Ayrıca mangan içeriği standartın üst sınırı, molibden ilavesi ise standartın alt limitine hedeflenmiştir. Döküm numunelerin kimyasal analiz testleri ARL İspark 8860 marka spektrometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 3 adet yakma yapılmış ve nihai analiz olarak bunların ortalaması esas alınmıştır. Numune test bloklarının pota analizleri Tablo 1'de verilmiştir.

Döküm işlemi ısıl kayıpların engellenmesi için önceden 900°C'ye ısıtılmış pota ile gerçekleştirilmiştir. Döküm sıcaklıkları ergimiş metalin önceden ısıtılmış potaya aktarılmasından hemen sonra pirometre yardımıyla ölçülmüştür. Tüm dökümler 1465±10°C'de gerçekleştirilmiştir. Parçaların yolluk ve besleyicileri soğumadan doğacak ilave gerilimlerden kaçınmak için 200°C'de kesilmiş, akabinde yüzeylerinde bulunan tüm tufal ve cüruf kalıntılarının giderilmesi amacıyla 10 dk süreyle kumlama işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo 1. Döküm test numunelerinin kimyasal bileşimi, % ağırlıkça (Chemical composition of the casting samples, wt.%)

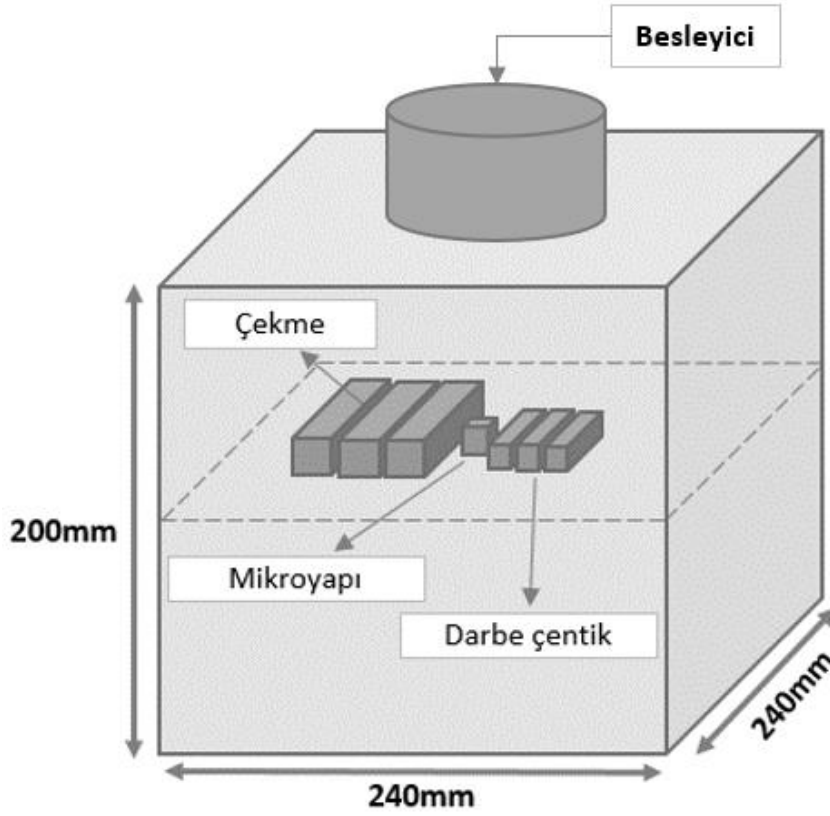
Numune adı	Standart kalitesi	C	Mn	Si	Mo	P	S	Fe
1,20C-14Mn-0,90Mo	A128 E-1	1,20	13,92	0,49	0,91			Kalan
1,15C-14Mn-0,90Mo	A128 E-1	1,15	13,96	0,50	0,90			Kalan
1,09C-14Mn-0,90Mo	A128 E-1	1,09	13,95	0,52	0,90			Kalan
1,09C-14Mn	A128 B-2	1,09	13,93	0,56	-			Kalan

Kum püskürtme işlemi ile kalıp artıklarından temizlenen parçalara  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  sıcaklık sapması olan oksijen kontrollü otomatik ısıtma işlemi fırınında  $1080^{\circ}\text{C}$ 'de 8 saat boyunca çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra arabalı otomatik ısıtma işlemi fırını sayesinde tüm parçalar 55 saniye içerisinde sıcaklığı  $28^{\circ}\text{C}$  olan 90 tonluk ısıtma havuzuna daldırılmıştır. Fırın sıcaklık rampası tüm parça yüzeyinde homojen ısınmanın sağlanabilmesi için  $1,67^{\circ}\text{C}/\text{dk}$  olarak belirlenmiştir. Isıtma esnasında parçalar nihai östenizasyon sıcaklığına çıkarılmadan önce  $650^{\circ}\text{C}$ 'de 3 saat bekletilmiştir. Bu ara proses ile test numunelerinin yüzey ve merkezleri arasındaki sıcaklık farklılıklarının eşitlenmesi, döküm yapısında bulunan perlit miktarının azaltılması ve buna bağlı olarak da ısıtma esnasındaki iç çatlakların oluşmasının engellenmesi hedeflenmektedir [14]. Yapılan ısıtma işlemi uygulamasına ait gösterim Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Döküm test numunelerine uygulanan ısıtma işlemi rejimi (The applied heat treatment process for the casting samples)

Çözeltiye alma ısıtma işlemi tamamlanan parçalara mekanik özelliklerin tayini için çekme testi, darbe çentik testi ve sertlik testi uygulanmıştır. Parçalara ait test çubuklarının yerleşim planı Şekil 2'de verilmiştir. Çekme testleri 300 kN kapasiteli Instron 300LX marka çekme cihazı ile oda sıcaklığında EN ISO 6892-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Çentik testleri ise ALŞA marka ve 300 J kapasiteli test cihazı kullanılarak TS EN ISO 148-1 standardına göre yine oda sıcaklığında yapılmıştır. Çekme ve darbe çentik testleri için her bir döküm parçadan üçer adet numune test edilmiş ve bunların ortalaması baz alınmıştır. Akabinde ASTM E3 standardına göre numunelere standart kesme, zımparalama ve parlatma adımları uygulanmıştır. Optik mikroskop ile mikro yapı görüntüleme işlemleri Olympus PME Tokyo marka optik mikroskop gerçekleştirilmiştir. Tane boyutu ölçümleri ise ASTM E112 standardına uygun olarak kesişim yöntemi seçilerek belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri mikroyapı numunelerinin optik görüntüleri çekildikten sonra, bu numunelerin  $3\ \mu\text{m}$  ve  $1\ \mu\text{m}$ 'lik alümina süspansiyonu ile tekrar parlatılmasından sonra aynı numuneler üzerinden yapılmıştır. Sertlik ölçümleri 1 mm çapa sahip bilye ve 30 kgf yük ile yapılmıştır. Her numune için 3 ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu sonuçların ortalaması alınmıştır.



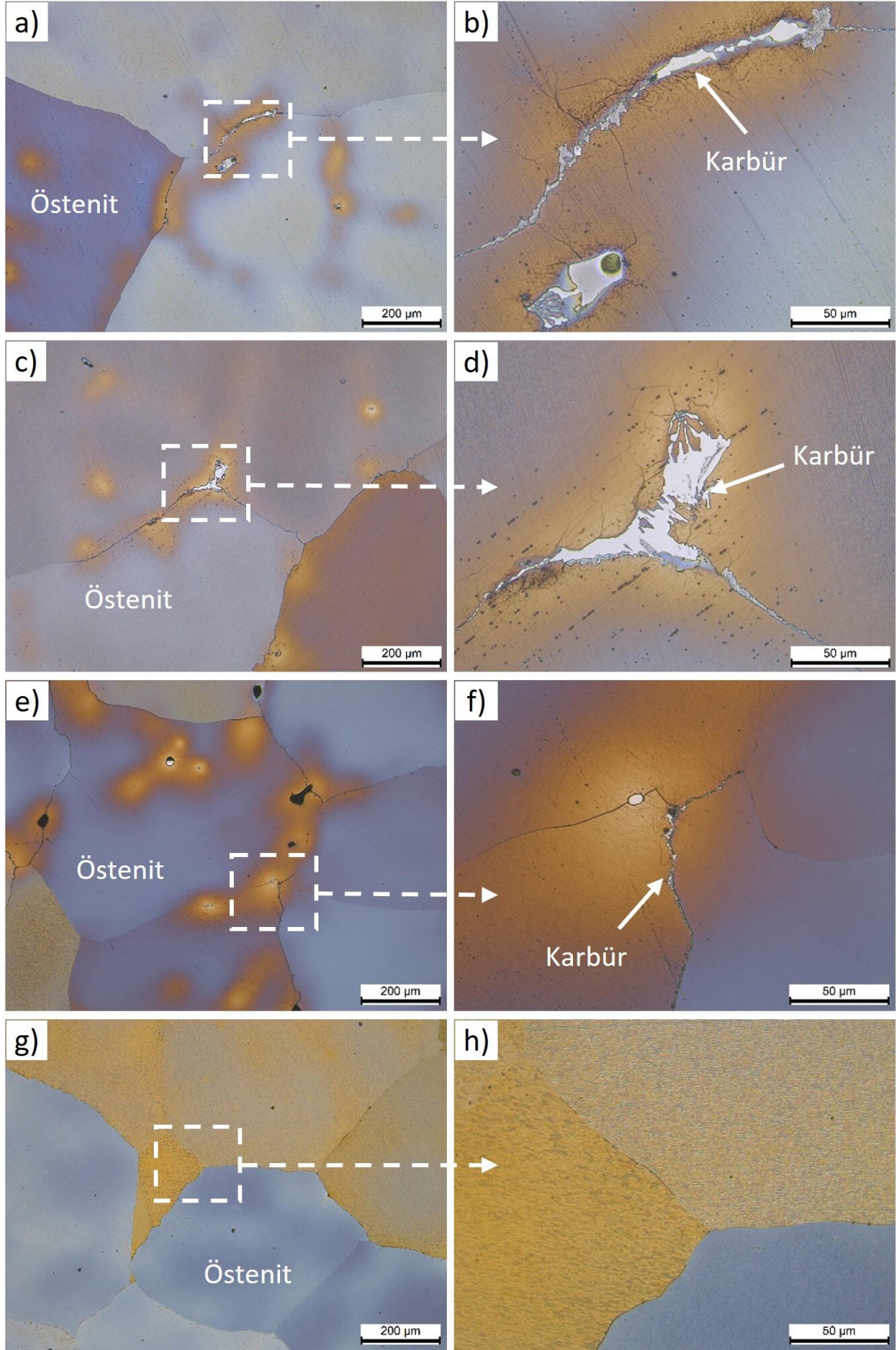
Şekil 2. Test çubuklarının parça üzerindeki yerleşim planı (*The layout of the test specimens on the sample block*)

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 3’de kum kalıba döküm yöntemiyle farklı karbon ve molibden oranlarında üretimi gerçekleştirilen kalın kesitli yüksek manganlı test bloklarının optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. İçerdikleri yüksek karbon, mangan ve molibden elementleri nedeniyle oda sıcaklığında genel mikro yapı literatür çalışmaları ile benzer nitelikte ostenitik matris ile farklı miktarda karbür yapısından oluşmaktadır [15-18]. Şekil 3a-b’de %1,20 karbon içeriğine sahip molibden içerikli test parçasının genel ve detay mikro yapıları gösterilmektedir. Tane sınırlarında ve tane sınırlarına yakın bölgelerde oluşan karbür yapılarına ilaveten belli bölgelerde kalın karbür tabakaların varlığı dikkat çekmektedir. Aynı şekilde %1,15 C içeriğine sahip bir diğer molibden içerikli numunede de %1,20 C içeriğine benzer şekilde karbür yapıları tespit edilmiş olup, buradaki karbürlerin nispeten daha ince ve daha az tane sınırlarını çevrelediği görülmüştür (Şekil 3c-d). Genel olarak mangan çeliklerinde 0,2  $\mu\text{m}$  den daha küçük kalınlığa sahip karbürler ince karbür olarak tanımlanırken, 0,5  $\mu\text{m}$  den daha büyük karbürler kalın karbür olarak sınıflandırılmaktadır. Kuyucak ve arkadaşları tarafından ince karbürlerin yüksek manganlı çeliklerin tokluk değerlerine çok fazla etkisi olmadığı fakat kalın karbürlerin ise malzemelerin sünekliğini önemli ölçüde azalttığı raporlanmıştır [19].

İçerdikleri yüksek karbon, mangan ve molibden elementleri nedeniyle oda sıcaklığında tüm parçaların genel mikro yapısı literatür çalışmaları ile benzer nitelikte ostenitik matris ile farklı miktarda karbür yapısından oluşmaktadır [15-18]. Şekil 3a ve Şekil 3b’de %1,20 karbon içeriğine sahip molibden içerikli test parçasının genel ve detay mikro yapıları gösterilmektedir. Tane sınırlarında ve tane sınırlarına yakın bölgelerde oluşan karbür yapılarına ilaveten belli bölgelerde kalın karbür tabakaların varlığı dikkat çekmektedir. Aynı şekilde %1,15 C içeriğine sahip bir diğer molibden içerikli numunede de %1,20 C içeriğine benzer şekilde karbür yapıları tespit edilmiş olup, buradaki karbürlerin nispeten daha ince ve daha az tane sınırlarını çevrelediği görülmüştür (Şekil 3c-d). Genel olarak mangan çeliklerinde 0,2  $\mu\text{m}$  den daha küçük kalınlığa sahip karbürler ince karbür olarak tanımlanırken, 0,5  $\mu\text{m}$  den daha büyük karbürler kalın karbür olarak sınıflandırılmaktadır. Kuyucak ve arkadaşları tarafından ince karbürlerin yüksek manganlı çeliklerin tokluk değerlerine çok fazla etkisi olmadığı fakat kalın karbürlerin ise malzemelerin sünekliğini önemli ölçüde azalttığı raporlanmıştır [19].

Şekil 3e ve Şekil 3f’de %1,09 C içeriğine sahip molibden içerikli test numunesinin mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Daha yüksek karbon oranlarına sahip (%1,20 ve 1,15 C) numunelere nazaran mikro yapıdaki karbürlerin miktarının ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Ayrıca diğer numunelerde tane sınırları boyunca çökelen ve yüksek büyütmelerde görülebilen ince karbürlerin karbon oranının %1,09’a düşmesiyle kesintiye uğradığı ve tanenin tamamını kapsamadığı görülmektedir. Şekil 3g ve Şekil 3h’de ise yine %1,09 C içeriğine sahip fakat molibdensiz test numunesinin mikro yapısı verilmiştir. Diğer tüm test numunelere nazaran mikro yapı da optik mikroskop altında görülebilecek herhangi bir karbür test edilmemiş olup yapının tamamı ile ostenitik olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Test parçalarının mikro yapı görüntüleri; a,b) 1,20C-14Mn-0,90Mo c,d) 1,15C-14Mn-0,90Mo e,f) 1,09C-14Mn-0,90Mo, g,h) 1,09C-14Mn (Microstructure of the test samples; a,b) 1,20C-14Mn-0,90Mo c,d) 1,15C-14Mn-0,90Mo e,f) 1,09C-14Mn-0,90Mo, g,h) 1,09C-14Mn)

Tablo 2’de karbon ve molibden ilavesine bağlı olarak ısıtılma sonrası test numunelerinin tane boyutu ölçümleri verilmiştir. Karbon miktarının %1,20’den %1,15’e düşmesiyle tane boyutunda %28 azalma görülürken, %1,15’ten 1,09’a düşmesiyle ~ %70 azalma olduğu tespit edilmiştir. Tane boyutundaki bu düşüşün sebebi olarak karbon oranının azalması ile katılma aralığının daralması gösterilebilir [12]. İlâveten aynı karbon ve mangan içeriğine sahip numunelerde ise molibden ilavesi ile tane boyutunun %11 oranında azaldığı görülmüştür.

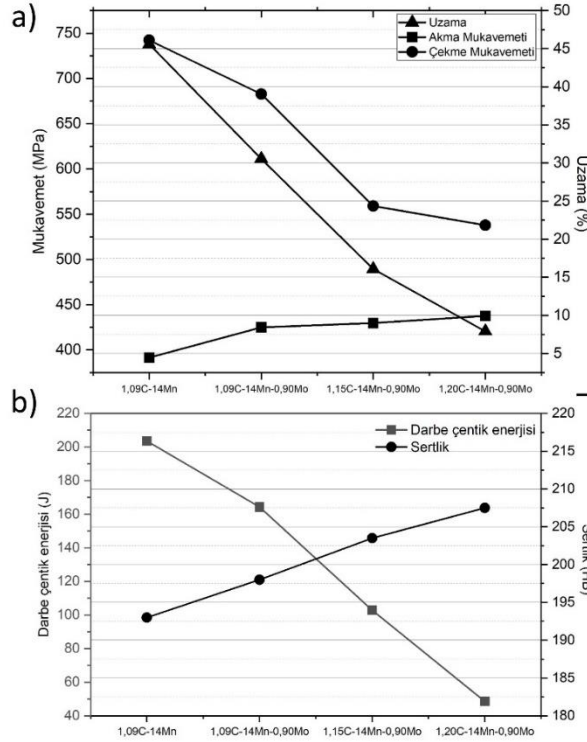
Tablo 2. Tane boyutu ölçümleri (Grain size measurements)

	1,20C-14Mn-0,90Mo	1,15C-14Mn-0,90Mo	1,09C-14Mn-0,90Mo	1,09C-14Mn
Tane Boyutu (mm)	1,315	0,951	0,387	0,436

Tablo 3’de döküm test bloklarına ait ısıtılma sonrası mekanik test sonuçları özetlenmiş ve akma mukavemeti, çekme mukavemeti, %uzama, sertlik ve çentik darbe enerjilerinin birbirleri ile olan ilişkisi Şekil 4 a-b’de verilmiştir. Karbon miktarının %1,09’dan %1,20’ye artırılması ile çekme mukavemetinde, çentik darbe enerjisinde ve % uzama değerlerinde sırasıyla %27, %70, %74 oranında düşüş olduğu görülmüştür. Burada özellikle malzemenin sünekliğindeki düşüşe dikkat edilmelidir. Mikro yapı test sonuçlarından da görüleceği üzere (Şekil 3a-f) parçaların süneklik değerlerinin etkileyen en önemli parametrenin tane sınırları boyunca uzanan karbürlerin miktarı, dağılımı ve kalınlığı olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle en düşük çekme, çentik darbe enerjisi ve % uzama değerleri tane sınırları boyunca uzanmış kalın karbür yapıları içeren 1,20C-14Mn-0,90Mo numunesinde tespit edilirken, en yüksek değerler %100 östenitik yapının elde edildiği molibdensiz 1,09C-14Mn numunesinde elde edilmiştir. Aynı şekilde, sabit karbon (%1,09) ve mangan (%14) oranındaki numuneye %0,90 oranında molibden ilavesi ile çekme mukavemeti, darbe çentik enerjisi ve % uzama değerlerinin sırasıyla %8, %33, %19 oranında azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Buna karşılık molibden ilavesi malzemenin akma mukavemetinde % 9 oranında bir artış olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Oda sıcaklığında yapılan çentik darbe testi ve sertlik test sonuçları (The test results of the Charpy impact and hardness tests performed in ambient temperature)

Numune adı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)	Darbe çentik (J)	Sertlik (HB)
1,20C-14Mn-0,90Mo	437,54	537,76	7,90	48,6	207,5
1,15C-14Mn-0,90Mo	429,71	559,14	16,08	102,9	203,5
1,09C-14Mn-0,90Mo	425,04	682,86	30,54	164,3	198
1,09C-14Mn	391,55	742,19	45,59	203,5	193



Şekil 4. Mekanik test sonuçları; a) Çekme test sonuçları, b) Sertlik ve çentik darbe test sonuçları (The mechanical test results; a) Tensile test results, b) Hardness and Charpy impact test results)

## 4. Sonuç

Bu çalışmada endüstriyel şartlarda dökümü gerçekleştirilen kalın kesitli ve yüksek manganlı Hadfield çeliğine karbon ve molibden ilavesinin etkisi incelenmiş ve sonuçları birbirleri ile detaylı olarak kıyaslanmıştır. Elden edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Karbon miktarının artması ile tane sınırları boyunca çökelen karbür miktarının arttığı ve buna bağlı olarak da çekme mukavemeti, çentik darbe enerjisi ve % uzama değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Buna karşılık akma mukavemeti ve sertlik değerlerinde ise her ne kadar ufak bir artış olsa da ciddi bir değişim gözlenmemiştir.

- Molibden ilavesi ile çözeltiye alma ısıl işlemi sonrasında karbürlerin tamamının çözünmediği ve tane sınırları boyunca bir miktar ince karbürlerin olduğu görüşmüştür. Bu da çekme mukavemeti, darbe çentik enerjisi ve % uzama değerlerinde sırasıyla %8, %33, %19 oranında düşüşe sebebiyet vermiştir. Buna karşılık akma mukavemetinde %9 oranında bir artış olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak kalın kesitli parçalarda yüksek darbe direnci gerektiren uygulamalarda düşük karbon içeriğine sahip (1.09%C) numunelerin daha uygun olduğu, molibden ilavesi olması durumunda ise ısıl işlem sıcaklığının veya süresinin artırılması gerektiği görülmüştür.

## Kaynakça

- [1] Havel, D. (2017). Austenitic Manganese Steel Complate Overview. Columbia Steel Casting Co. Inc., 1-19.
- [2] Okechukwu, C., Dahunsi, O. D., Oke, P. O., Oladele, I. O., Dauda, M. (2017). Prominence of Hadfield steel in mining and minerals industries: A review. International Journal of Engineering Technologies-IJET, Vol.3, No:2, 83. <https://doi.org/10.19072/ijet.299068>
- [3] ] Çıktı, E. (2015). Kırıcı ve Öğütücülerde Kullanılan Demir Esaslı Malzemelerin Yapı, Mekanik Özellikler ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 21-22.
- [4] Ayadi, S. ve Hadji, A. (2021). Effect of Chemical Composition and Heat Treatments on the Microstructure and Wear Behavior of Manganese Steel. . Inter Metalcast, 15, 510-519. <https://doi.org/10.1007/s40962-020-00479-2>
- [5] Alyaz, S., (2003). Effects of heat treatment and chemical composition on microstructure and mechanical properties of Hadfield Steels. (Yüksek lisans tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 14-15.
- [6] Gürol, U. (2022). Welding of High Manganese Austenitic Cast Steels Using Stainless Steel Covered Electrode. Inter Metalcast, 2. <https://doi.org/10.1007/s40962-022-00834-5>
- [7] Tüfenk, E. (2012). Farklı Kimyasal Kompozisyona Sahip Östenitik Manganlı Çeliklerin Isıl İşlemler Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek lisans tezi). On dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 20-21.
- [8] Mohammadnezhad, M., Javaheri, V., Naseri, M. (2013). Effect of the molybdenum on the microstructural and mechanical properties of Hadfield austenitic manganese steel. The Second International and the Seventh Joint Conference of Iranian Metallurgical Engineering and Iranian Foundryman Scientific Societies, 12816, 1-7.
- [9] Yan, Z., Zhang, P., Wang, X. (2021). Effect of Mo Alloying on Properties of High Manganese Steel Castings and Cost Analysis. 4th World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing (WCMEIM). <http://dx.doi.org/10.1109/wcmeim54377.2021.00137>
- [10] Dziubek M, Rutkowska-Gorczyca M, Dudziński W, Grygier D. (2022). Investigation into Changes of Microstructure and Abrasive Wear Resistance Occurring in High Manganese Steel X120Mn12 during Isothermal Annealing and Re-Austenitisation Process. Materials (Basel), 15(7), 2622, 2. doi:[10.3390/ma15072622](https://doi.org/10.3390/ma15072622)
- [11] Lencina, R., Caletti, C., Brunelli, K., Micone, R. (2015). Assessing wear performance of two high-carbon Hadfield steels through field tests in the mining industry. Procedia Materials Science, 358-366. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.05.005>
- [12] Gürol, U., Kurnaz, S. C. (2020). Effect of carbon and manganese content on the microstructure and mechanical properties of high manganese austenitic steel. Journal of Mining and Metallurgy, Section B Metallurgy, 56(2), 171-182. <https://doi.org/10.2298/JMMB191111009G>
- [13] Standard Specification for Steel casting, Austenitic Manganese, ASTM Designation: A128/A128M-19. [https://doi.org/10.1520/A0128\\_A0128M-19](https://doi.org/10.1520/A0128_A0128M-19)
- [14] Gürol, U. (2020). Döküm proses parametrelerinin yüksek manganlı östenitik çeliklerin özelliklerine etkisinin incelenmesi. (Doktora tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 19-20.
- [15] Grzegorz, T. ve Zapata, R. (2018). Changes in Impact Strength and Abrasive Wear Resistance of Cast High Manganese Steel Due to the Formation of Primary Titanium Carbides. Archives of Foundry Engineering, 18(1): 119-122.
- [16] Tecza, G. ve Sobula, S. (2014). Effect of Heat Treatment on Change Microstructure of Cast High-manganese Hadfield Steel with Elevated Chromium Content. Archives of Foundry Engineering, 14(3):67-70.

- [17] Jafarian, H. R., Sabzi, M., Mousavi Anijdan, S. H., Eivani, A. R., Park, N. (2021). The influence of austenitization temperature on microstructural developments, mechanical properties, fracture mode and wear mechanism of Hadfield high manganese steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 819-831. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.003>
- [18] Gürol, U., Karadeniz, E., Çoban, O., Kurnaz, C. S. (2021). Casting properties of ASTM A128 Gr. E1 steel modified with Mn-alloying and titanium ladle treatment. *China Foundry*, 18, 199-206. <https://doi.org/10.1007/s41230-021-1002-1>
- [19] Kuyucak, S., Zavadil, R., Gertsman, V. (2001). On the Heat-Treatment Processing of Austenitic Manganese Steels, Including Quenching and Control of Distortion: An International Symposium in Honor of Professors Bozidar Liscic and Hans M. Tensi. *Proceedings of the 21st Conference*, 1-16.