

12th International
**Foundry
Congress**

19-21 September / Eylül 2024 Istanbul Expo Center, Istanbul - Türkiye
12. Uluslararası Döküm Kongresi
12th International Foundry Congress



«Hadfield Çeliklerinde Çökelme Sertleşmesi Sıcaklıklarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi»

*«Effect of Precipitation Hardening Temperatures on
Microstructure and Mechanical Properties in Hadfield
Steels»*

Faruk Öztürk & Uğur Gürol & Mehmet Uysal & İsmail Kankal
(Silvan Sanayi & Foseco & Sakarya Üni. & Gedik Üniversitesi)

5. Oturum / 5th Session

Oturum Başkanı / Session Chairman: Prof. Dr. Ali Kalkanlı
(Orta Doğu Teknik Üniversitesi)



HADFIELD ÇELİKLERİ

HADFIELD ÇELİKLERİ

- Hadfield çelikleri en temel anlamda ortalama 1:10 oranında olmak kaydıyla; %1,0-1,4 karbon ve %10-14 aralığında mangan ihtiva eden çeliklere verilen isimdir.
- Bu çelikler 1882 yılında İngiltere’de Sir Robert Hadfield tarafından bulunmuş ve 1883 yılında patenti alındığından beri **Hadfield çeliği** şeklinde de isimlendirmektedir
- Hadfield çelikleri ya da yüksek manganlı çelikler hafriyat, demiryolu, petrokimya, çimento, madencilik sektörlerinde kullanılabilirlerdir.
- **Yüksek tokluk** ve **yüksek mukavemet** özellikleri bu çelikler için belirleyicidir.



Örnek Hadfield çeliği dökümleri

RWE, Bagger
14200 ton



Örnek Hadfield çeliği dökümleri



**Omega
Undercarriage**



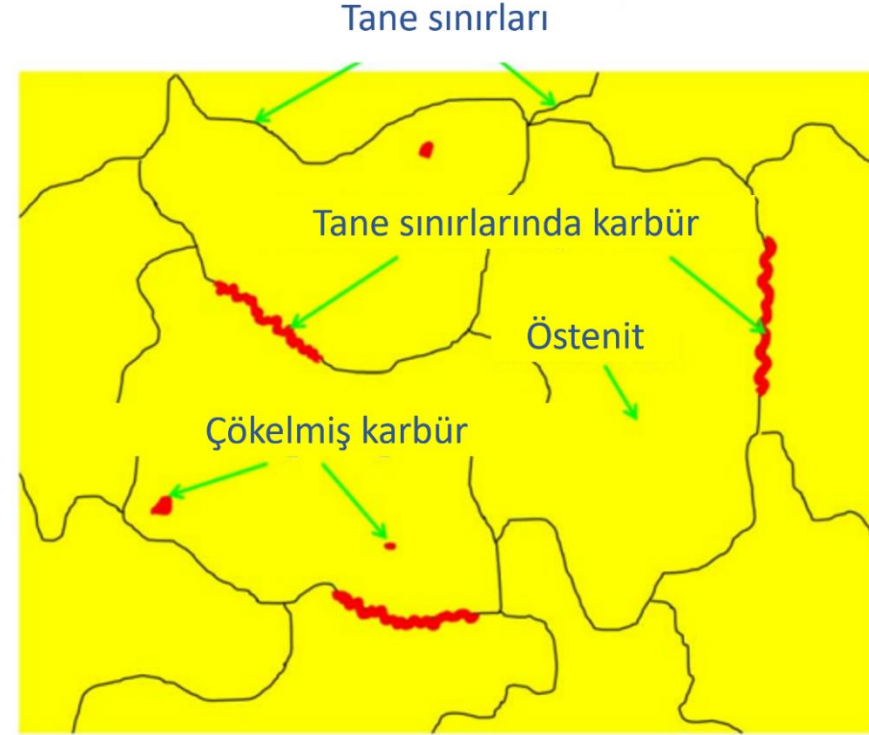
ASTM A128 Standardına göre Hadfield çelikleri

Sınıf	Bileşim (%)						
	Karbon	Mangan	Krom	Molibden	Nikel	Silisyum	Fosfor
A	1,0-1,35	Min. 11,0	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
B-1	0,9-1,05	11,5-14	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
B-2	1,05-1,20	11,5-14	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
B-3	1,12-1,28	11,5-14	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
B-4	1,20-1,35	11,5-14	-	-	-	Max. 1	Max. 0,07
C	1,05-1,35	11,5-14	1,5-2,5	-	-	Max. 1	Max. 0,07
D	0,70-1,30	11,5-14	-Sertlik Aşınma	-	3-4	Max. 1	Max. 0,07
E-1	0,70-1,30	11,5-14	-	0,9-1,2	-Tokluk	Max. 1	Max. 0,07
E-2	1,05-1,45	11,5-14	-	1,8-2,1	-	Max. 1	Max. 0,07
F	1,05-1,35	6-8	-	0,9-1,2	-	Max. 1	Max. 0,07

Akma
Uzama

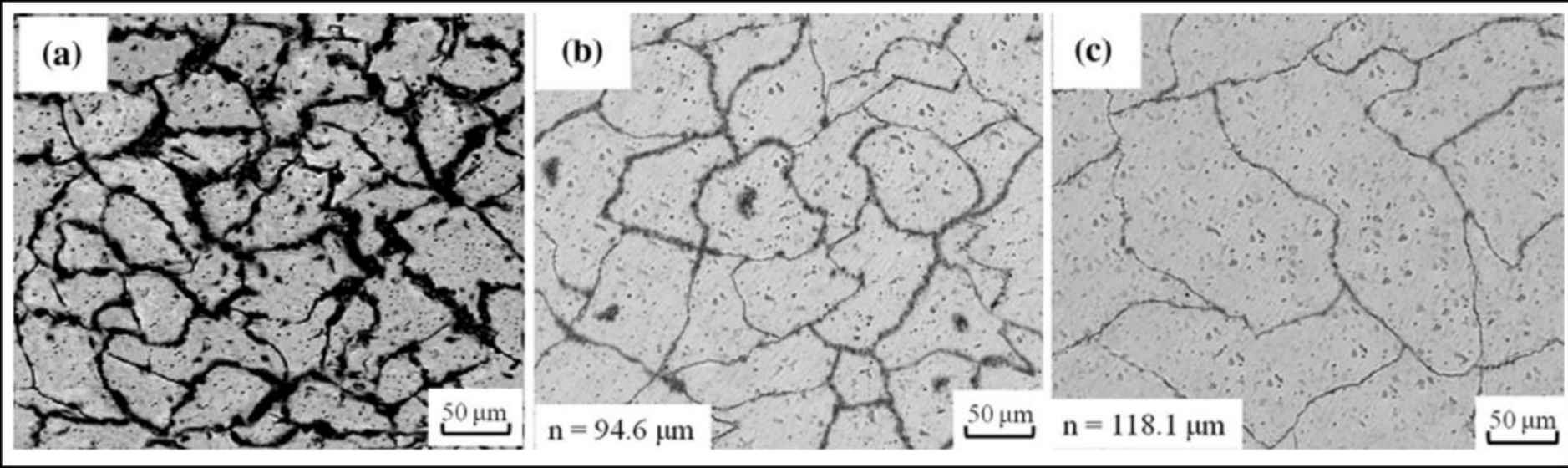
Hadfield çeliklerinin özellikleri

- Yüksek manganlı çelikler dökümden sonraki mikro yapıları itibari ile tane sınırlarını çevreleyen **karbür çökeltilerine sahiptirler**.
- Döküm sonrası gerçekleşen katılaşma veya soğuma sırasında oluşan bu karbür içeren, düşük mekanik özelliklere, özellikle düşük tokluğa sahip manganlı yapısını uygun şartlara getirmek için **ısıtım işlemi gerekmektedir**



- Bu sebeple **Fe-Mn-C faz diyagramının A_{cm} çizgisinin üzerinde olan sıcaklıklarda** belirli bir süre bekletilip ardından karbür çökmesine izin vermeyecek bir sürede su verme (**çözelti tavlaması**) ısıtım işlemine tabii tutulmaları gerekmektedir.

Hadfield çeliklerinde çözelti tavlaması

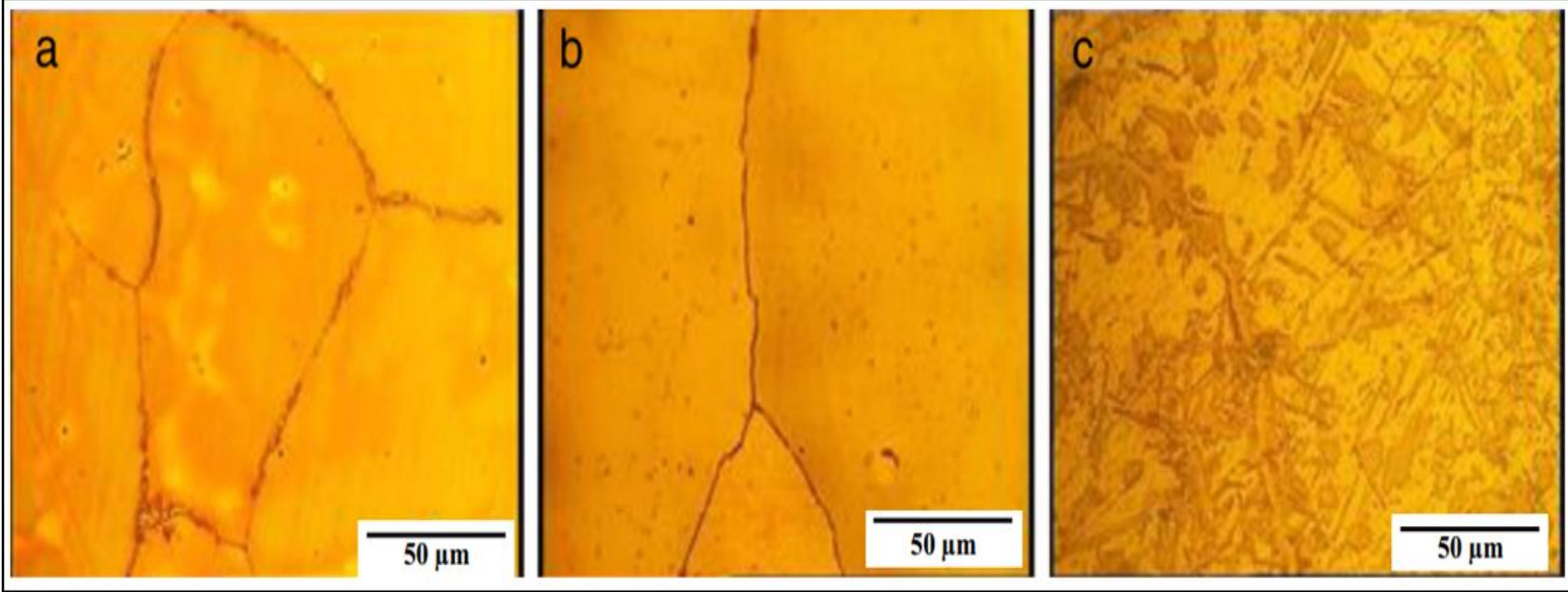


Hadfield çeliklerinin a) döküm hali, b) suda çözelti tavlaması, c) %3 NaCl çözeltisinde çözelti tavlaması optik mikroskop görüntüleri.

➔ Soğuma hızı

- Çözelti tavlamasında ısıtılan manganlı parçanın soğuma hızı mikro yapı ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir.

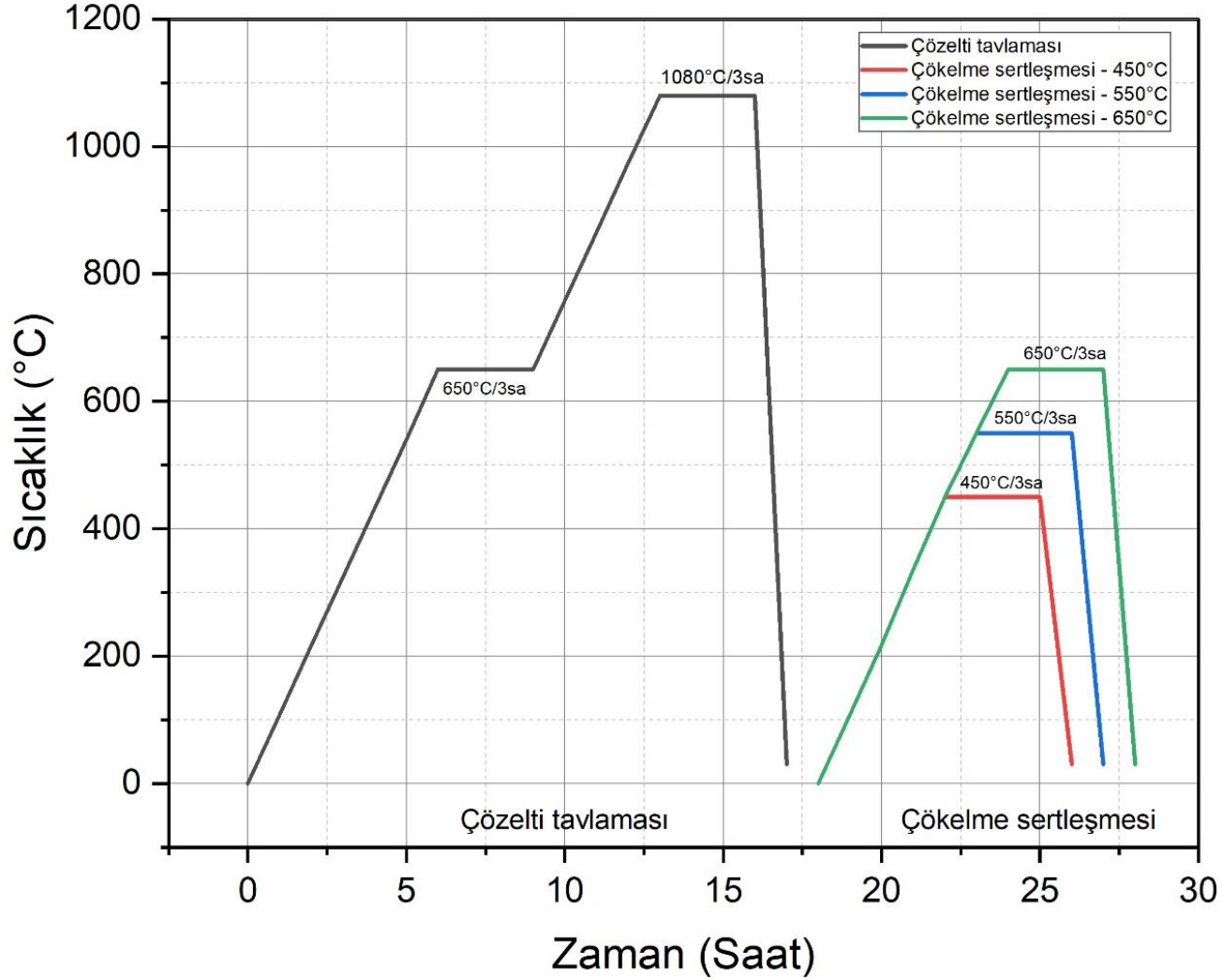
Hadfield çeliklerinde çökeltme sertleşmesi



Manganlı çeliğin mikroyapısı a) Döküm sonrası b) Çözelti tavlaması c) Çökeltme sertleşmesi..

- Çökeltme sertleşmesi ısıl işlemler parçaların karbür çökeltilmesi prensibi ile aşınma özelliklerinin ve sertlik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılır.

Deneysel çalışma



Numune bloklarına uygulanan ısıtım işlem grafiği.

Deneysel çalışma



3500 kg kapasiteli indüksiyon ocağı.



3000 kg kapasiteli pota, döküm anı.

- Düşük fosfor, düşük kükürt

- 800-900°C ısıtılmış pota
- 1450°C'de döküm

Deneysel çalışma

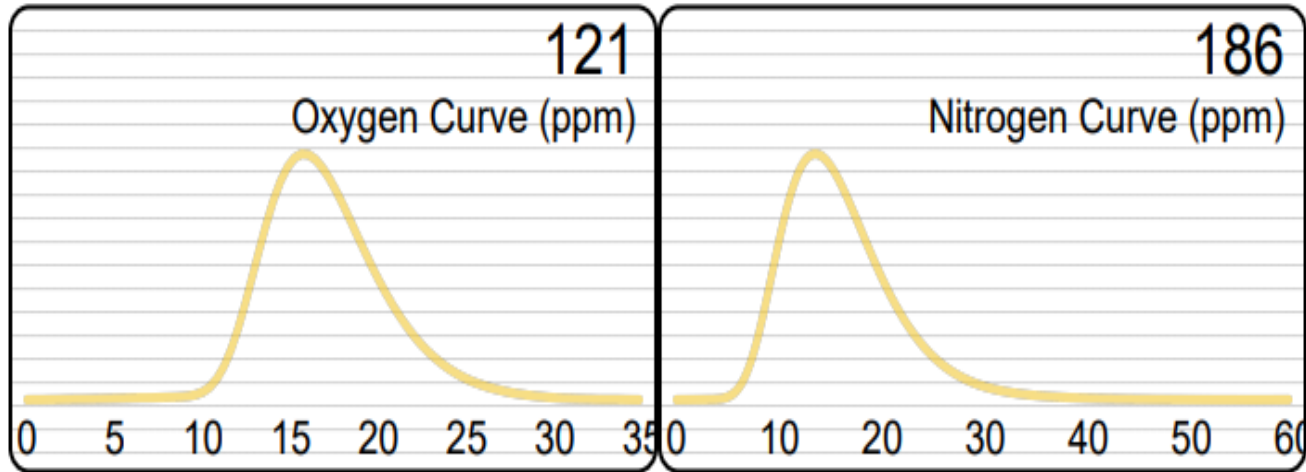


Numune bloklarının a) Kalıp, b) Döküm sonrası, c) Isıl işlem sonrası, d) Nihai görünüşleri.

Deneysel sonuçlar

C	Mn	Si	Cr	P	S	Fe
1,16	13,21	0,43	2,13	0,040	0,001	Kalan

Numune bloklarının kimyasal analiz değerleri (% ağırlıkça).



Numune blokları döküm azot ve oksijen LECO ölçüm sonuçları.

Deneysel sonuçlar



Azot miktarı 1200 ppm olarak ölçülen bir manganlı çelik

Deneysel sonuçlar

Numune bloğunun ölçüleri

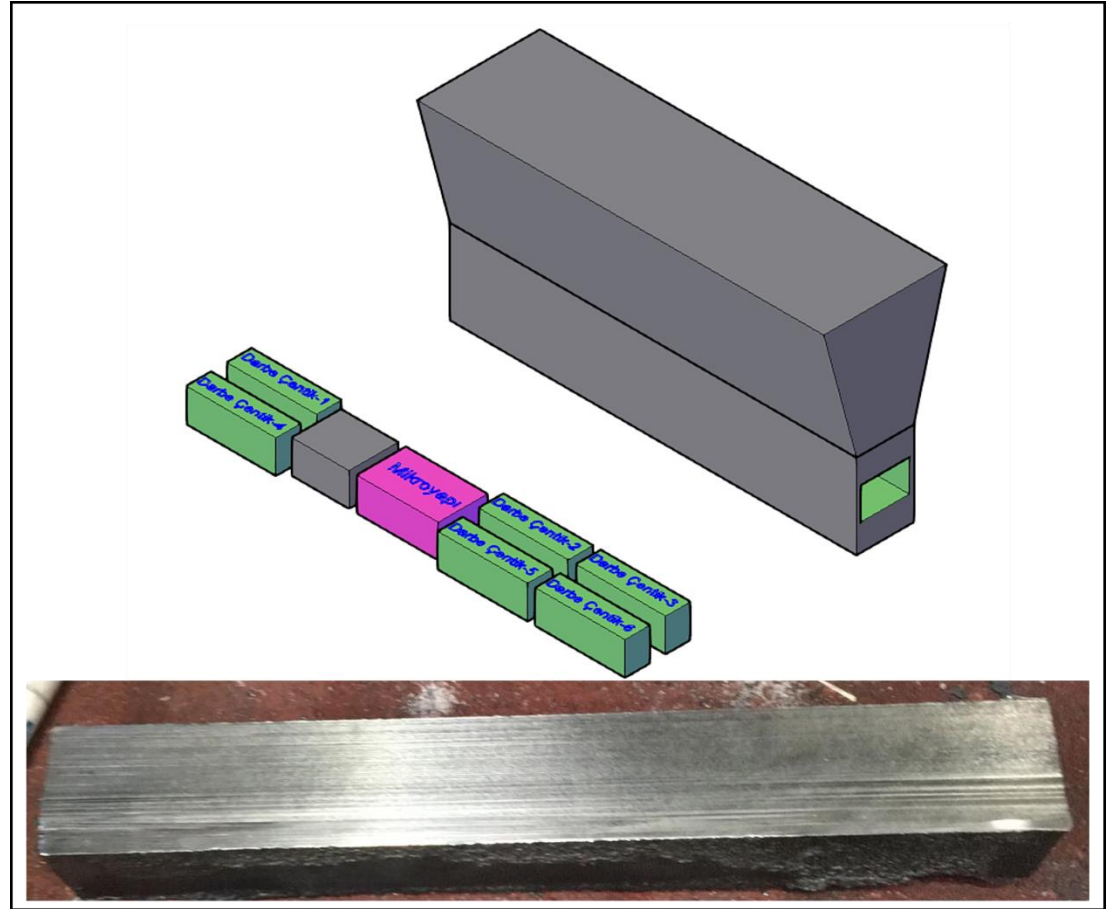
- 35x52x250 mm (15 adet)

Mikro yapısal testler

- Optik mikroskopi
- Taramalı elektron mikroskopisi
- X-ışınları difraksiyonu

Mekanik testler

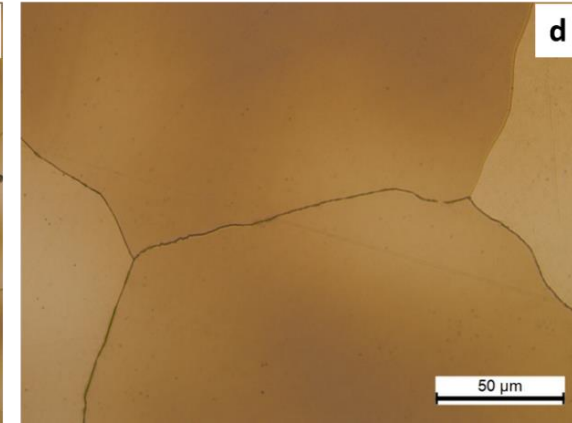
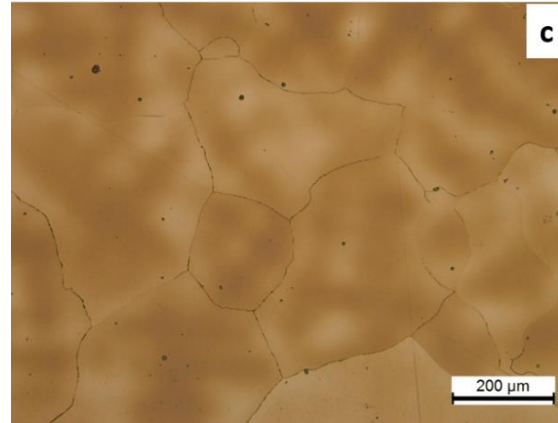
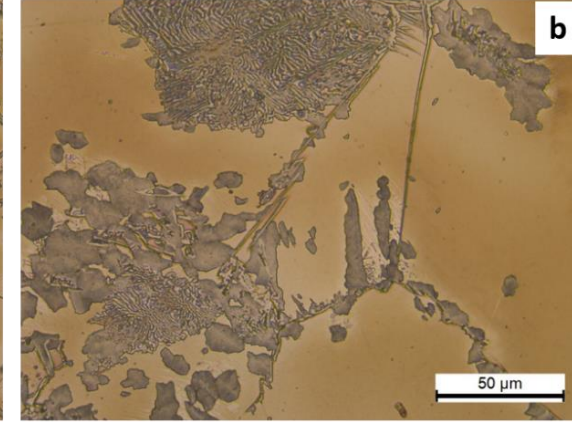
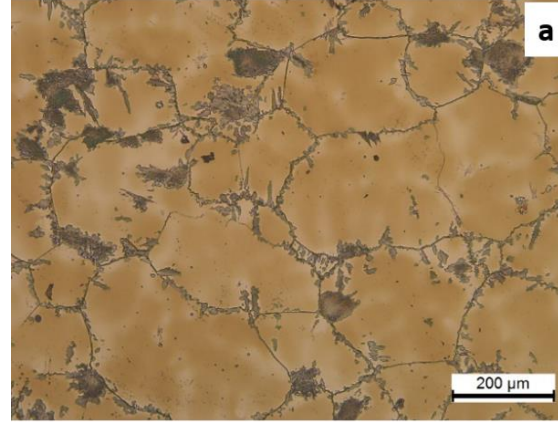
- Sertlik testi
- Darbe çentik testi



Test numunelerinin konumu.

Deneysel sonuçlar

- Döküm yapısı tane sınırı karbürleri ve perlit kolonileri içermektedir. Bu durum düşük mekanik özelliklere ve kırılganlığa sebep olmaktadır.
- 1080°C'de çözelti tavlamasına alınan çelik karbür ve perlit kolonilerinin çözünmesi ile östenitik manganlı çelikten beklenen yapıya ve mekanik özelliklere ulaşmıştır.

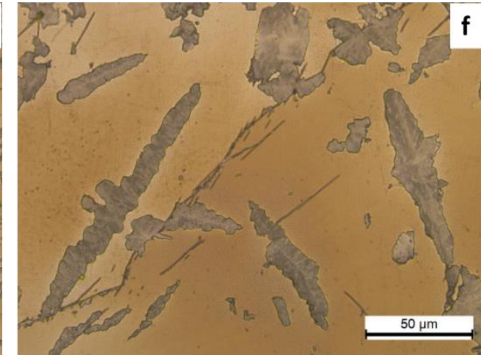
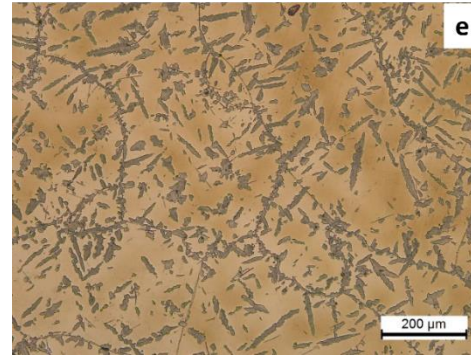
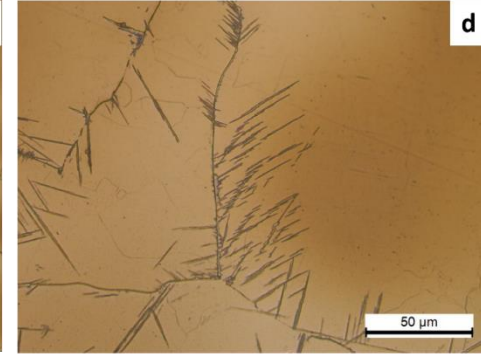
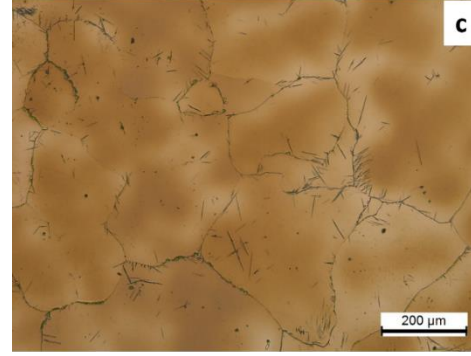
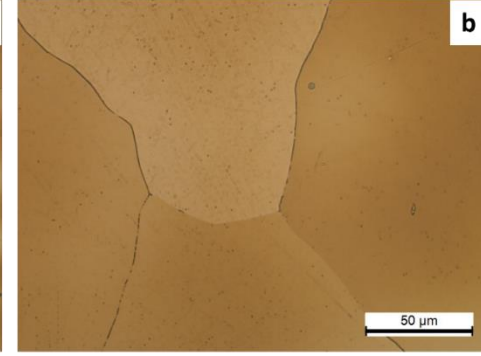
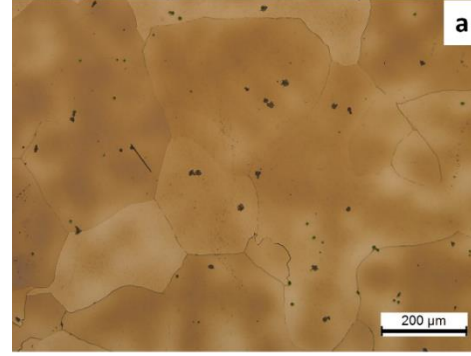


Numune bloklarının a,b) Döküm sonrası c,d) Çözelti tavlaması sonrası optik mikroskop görüntüleri.

Deneysel sonuçlar

Çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi sonrası elde edilen optik mikroskop görüntülerine göre artan sıcaklık ile karbür çökeltme miktarı artış göstermekte olup;

450°C'de yalnızca tane sınırlarında görülen çökelmiş karbürler 650°C'ye gelindiğinde tüm matrisi kaplamaktadır.



Çökeltme sertleşmesi a,b) 450°C, c,d) 550 °C, e,f) 650 °C

Deneysel sonuçlar

Döküm → Çözelti Tavlaması:

4,5 J'den 206 J'e (%4577 artış)

263 HV'den 228 HV'ye

Karbür çözünmesi sağlandı.

Çözelti tav. → 450°C çökeltme ser.:

206 J'den 194 J'e

228 HV'den 211 HV'ye

Karbür çökmesi yetersiz.

Çözelti tav. → 550°C çökeltme ser.:

206 J'den 37 J'e (%82 düşüş)

228 HV'den 233 HV'ye

Karbür çökmesi sağlandı.

Çözelti tav. → 650°C çökeltme ser.:

206 J'den 4 J'e (%98 düşüş)

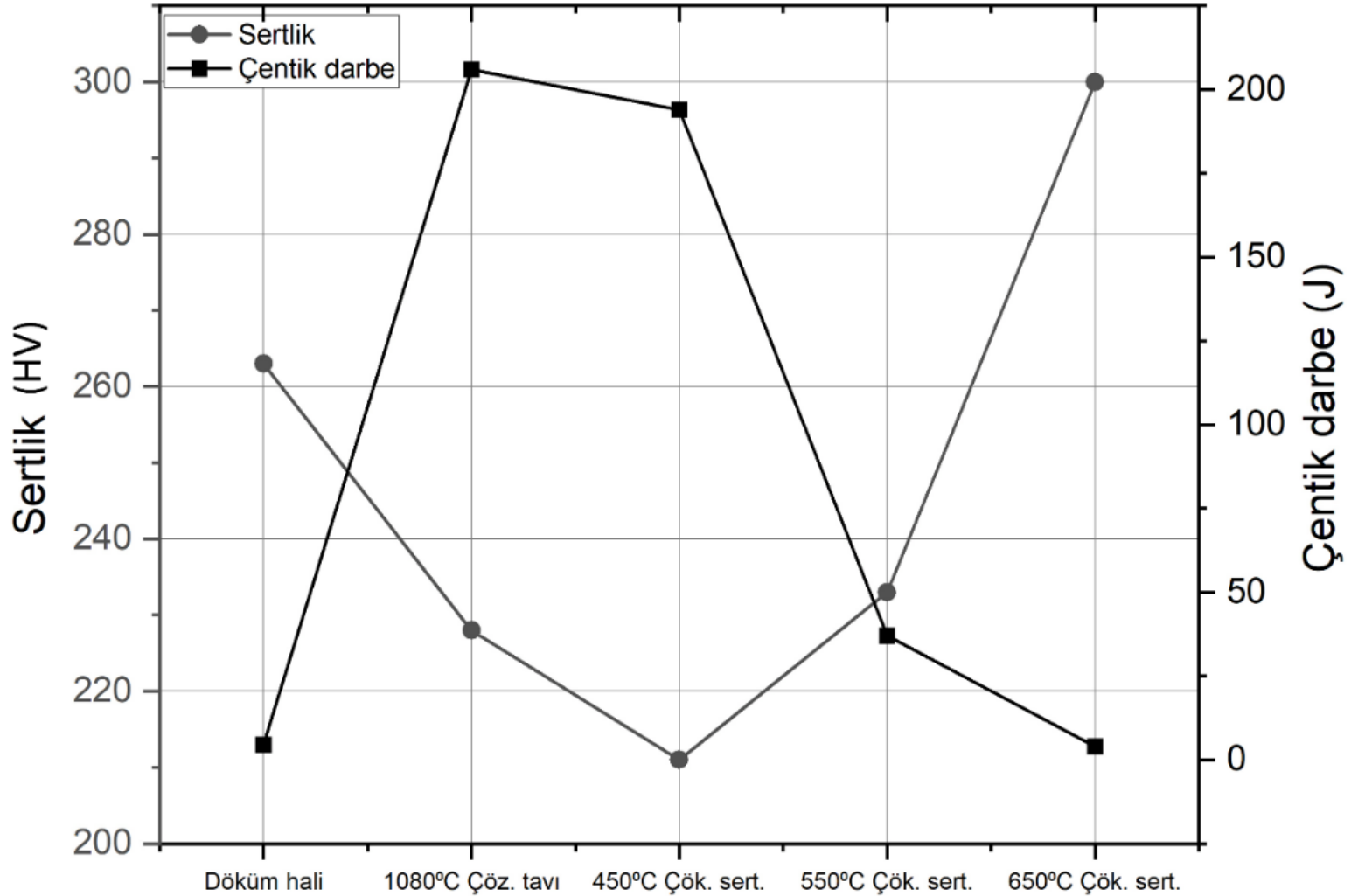
228 HV'den 300 HV'ye (%32 artış)

Karbür ağları tüm matrisi sardı.

Numune adı	Sertlik (HV5)	Çentik darbe (J - @ Oda Sıc.)
Döküm hali	263	4,5
1080°C Çözelti tavlaması	228	206
450°C Çökeltme sertleşmesi	211	194
550°C Çökeltme sertleşmesi	233	37
650°C Çökeltme sertleşmesi	300	4

Mekanik test sonuçları

Deneysel sonuçlar



Numunelerin döküm hali ve farklı ısı işlemler sonucundaki mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.

Tartışma ve Sonuç

Mikro yapı incelemelerine göre;

- Döküm yapısı itibari ile manganlı çelik tane sınırlarında ve tane içleri boyunca karbür içermektedir.
- 1080°C'de yapılan çözelti tavlaması ile yapının karbürlerden arındırılması sağlanmıştır.
- 450°C'de yapılan çökeltme sertleşmesi işlemi karbür çökeltmesi açısından başarılı olmamıştır.
- 550°C'de yapılan çökeltme sertleştirilmesi tane sınırlarını ve tane sınırlarına yakın bölgelerde karbür çökeltmesine sebebiyet vermiştir. Bu anlamda manganlı çelikte karbür çökeltmesi gerçekleştirilmiş olmuştur.
- 650°C'de gelindiğinde ise karbür çökeltmesi tüm yapıyı kaplamış olup, artık östenit matris kararlılığını kaybetmiştir.

Tartışma ve Sonuç

Mekanik özellik incelemelerine göre;

- Manganlı çeliğin döküm yapısı içerdiği karbür ağları sebebi ile süneklik kaybı yaşamıştır.
- Uygulanan çözelti tavlama ısı işlemi ile çeliğin süneklik özelliği ciddi bir artış göstermiştir. Bu durum elde edilen mikro yapı sonuçları ile örtüşmektedir.
- 450°C'de uygulanan çökelme sertleşmesi ısı işlemi, mikro yapı sonuçlarına benzer olarak mekanik özelliklerde de ciddi bir değişim yaratmamıştır.
- 550°C'de uygulanan çökelme sertleşmesi ile çeliğin süneklik özelliği büyük bir düşüş göstermiş ve bu durum elde edilen mikro yapı sonuçları ile uyum göstermekte olup; sonuç olarak bu sıcaklıkta yapılan çökelme sertleşmesi ısı işleminin manganlı çelikte karbür çökmesi davranışını gerçekleştirdiğini göstermektedir.
- 650°C'ye gelindiğinde ise çelik mekanik özellikleri döküm haline kadar gerilemiş, süneklik özelliğini tamamen kaybetmiştir. Bu durum 650°C'de çökelme sertleşmesi ısı işleminin uygulanabilirliği açısından sorun teşkil etmektedir.

Öneriler

Bu çalışmanın devamı niteliğinde;

- Sıcaklığın karbür çökmesi üzerindeki daha detaylı incelemek amacıyla 500°C, 600°C gibi ara sıcaklıklar içinde çalışmalar gerçekleştirilebilir ve böylece farklı tokluk/aşınma direnci oranları için farklı ısıl işlem reçetelerinin kullanılması sağlanabilir.
- Manganeli çeliğin kimyasal bileşimine krom yerine molibden ilavesi yapılabilir. Böylece molibden elementinin karbür yapısı üzerinde olan çökmeyi geciktirici, küresel karbür oluşumunu teşvik edici ve tane küçültücü etkileri nedeniyle daha yüksek aşınma/tokluk değerlerinin eldesi sağlanabilir.

TEŐEKKÜRLER

İsmail KANKAL